

Bölüm 7:

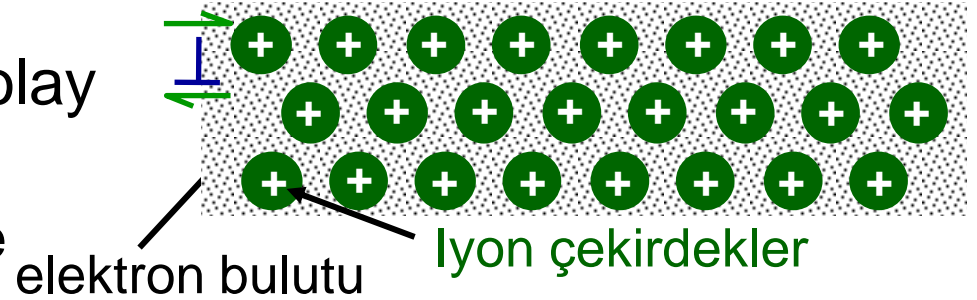
Dislokasyonlar & Dayanım Arttırıcı Mekanizmalar

- Neden metallerde dislokasyon daha fazla görünür?
- Dayanım ve dislokasyon hareketi nasıl ilişkilidir?
- Isı dayanım ve diğer özellikleri nasıl etkiler?

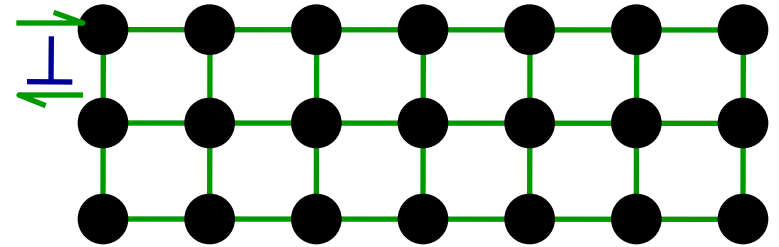


Dislokasyonlar & Malzemelerin Sınıflandırılması

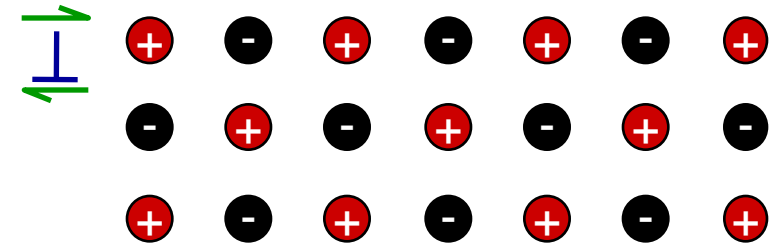
- Metaller (Cu, Al):
Dislokasyon hareketi en kolay
 - yönsüz bağ
 - kayma için sıkı paketlenme yönleri



- Kovalent Seramikler
(Si, elmas): Hareket zor
 - yönlü bağ



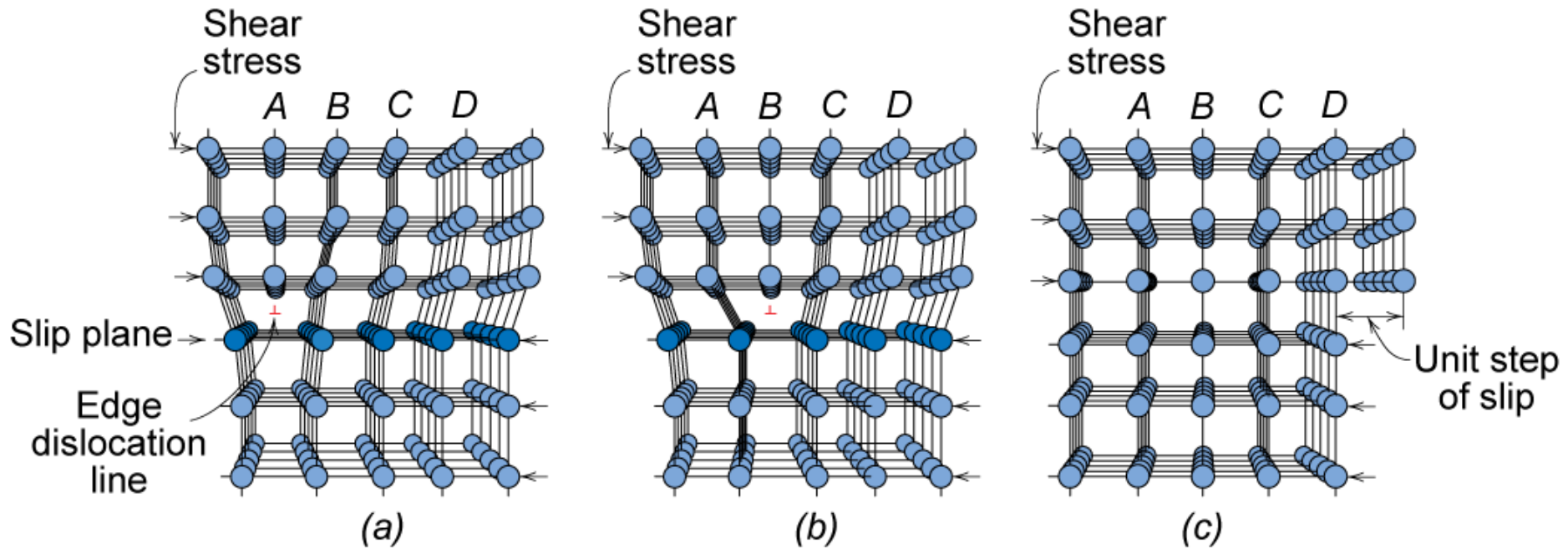
- İyonik Seramikler (NaCl):
Hareket zor
 - en yakın komşularının aynı yükte olmaması gerekir.



Dislokasyon Hareketi

Dislokasyon hareketi & plastik deformasyon

- Metaller - plastik deformasyon **kayma** ile olur – kenar dislokasyonları (ekstra yarım-düzlem atomlar) birbirleri üzerinden geçerler.



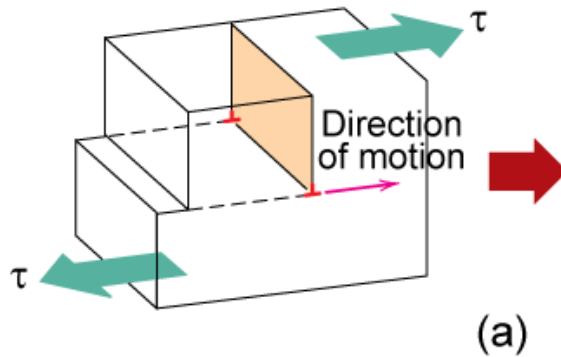
- Eğer dislokasyon hareketi olmazsa, plastik deformasyon olmaz!

Adapted from Fig. 7.1,
Callister & Rethwisch 8e.



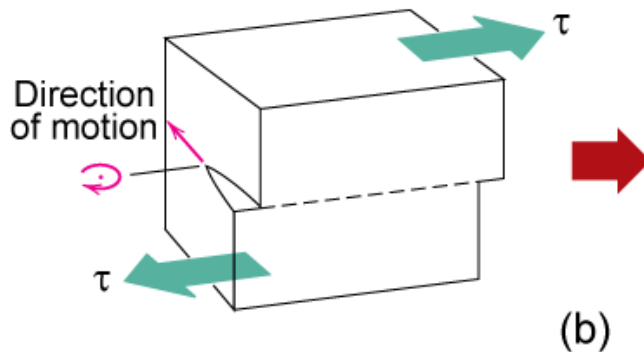
Dislokasyon Hareketi

- Dislokasyon kayma düzlemindeki kayma doğruları boyunca dislokasyon çizgisine dik olarak hareket ederler.



Kenar dislokasyonu

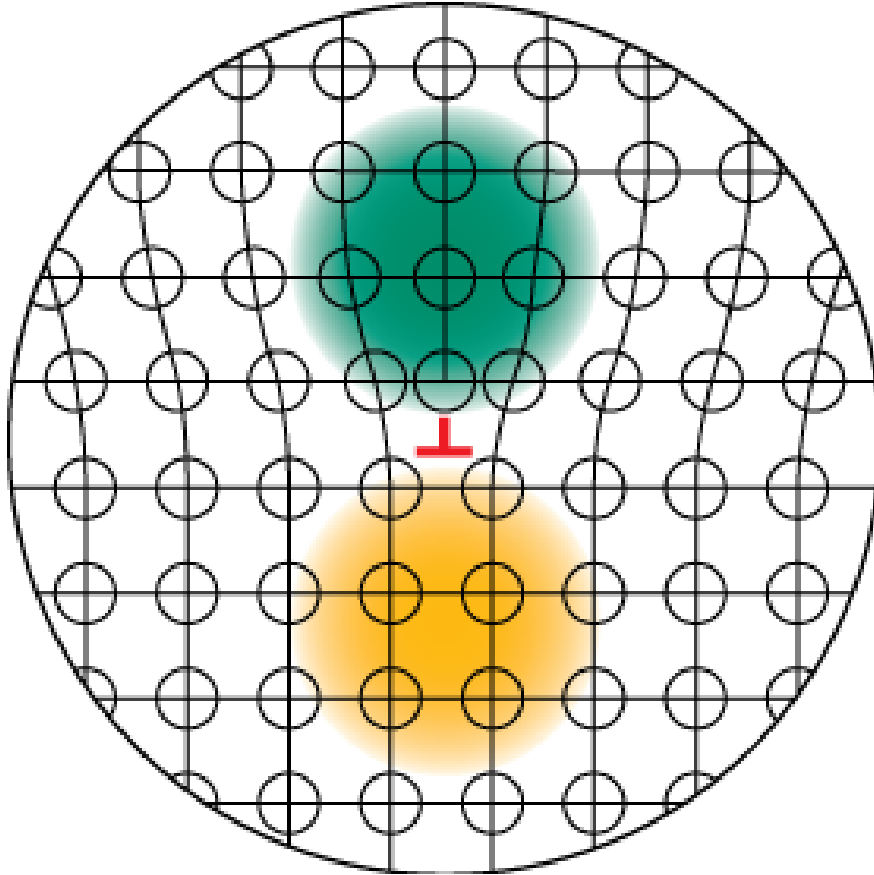
Adapted from Fig. 7.2,
Callister & Rethwisch 8e.



Burgu dislokasyonu



Dislokasyonların Kafesteki Şekil Değişimi



↑
Basma

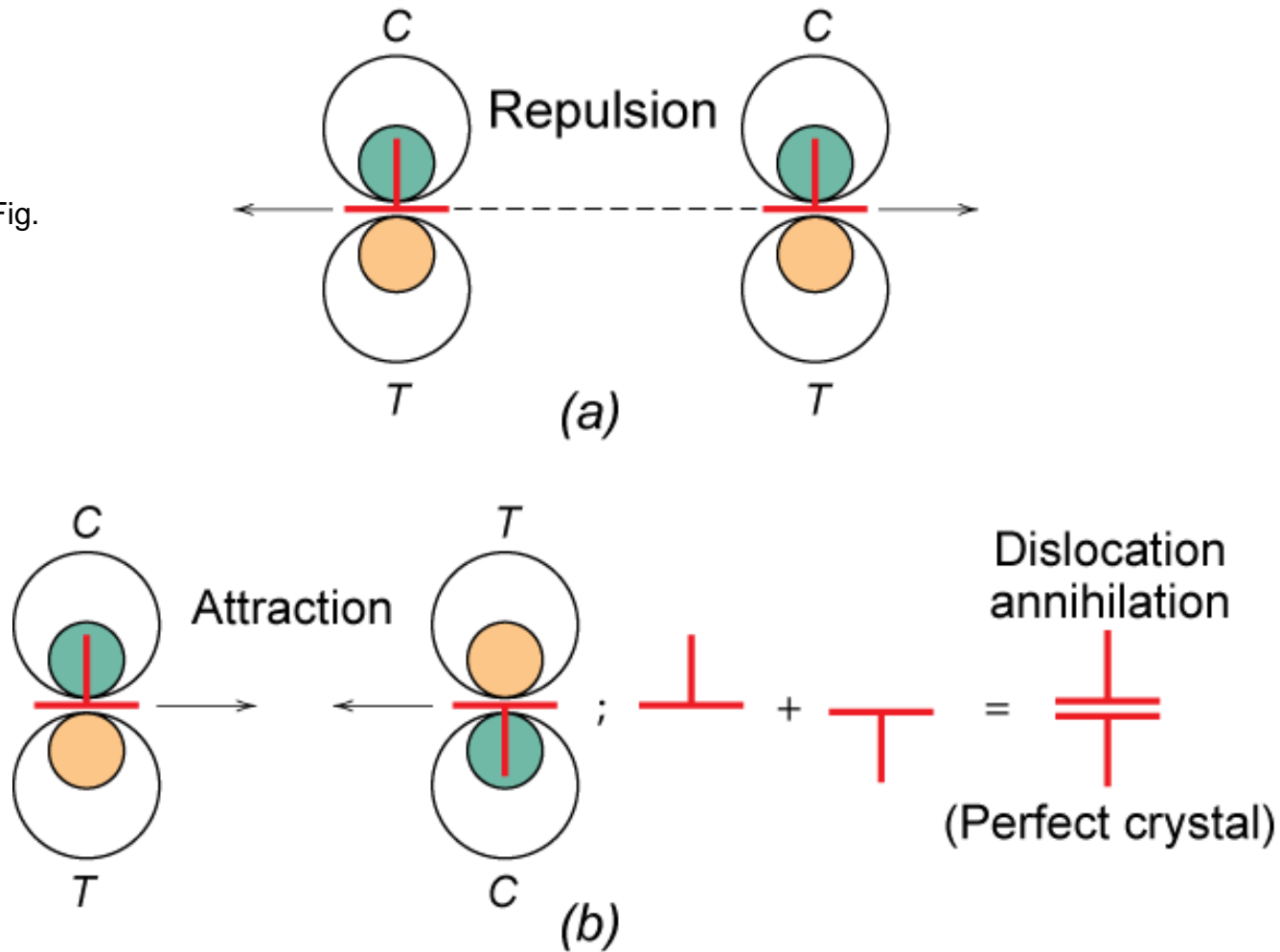
Çekme
↓

Adapted from Fig. 7.4,
Callister & Rethwisch 8e.



Kafes Şekil Değişiminin Birbirleri ile Etkileşimi

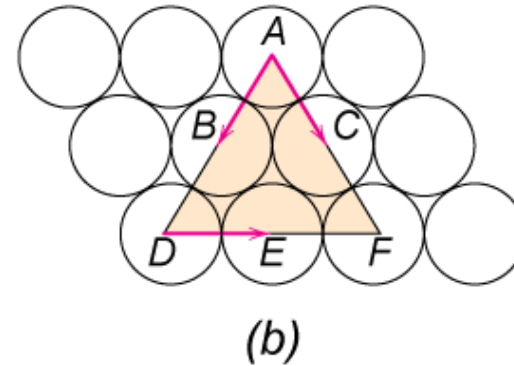
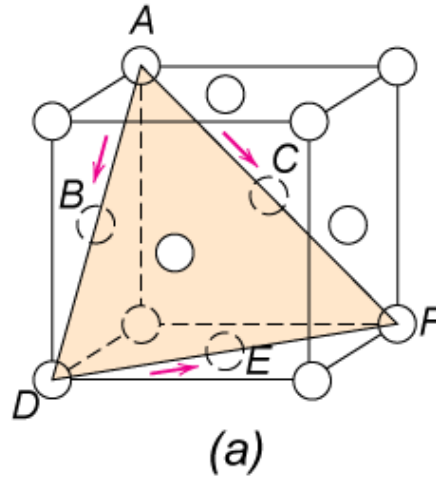
Adapted from Fig. 7.5, Callister & Rethwisch 8e.



Deformasyon Mekanizması

Kayma Sistemleri

- Kayma düzlemi- kaymanın en kolay gerçekleştiği düzlem
 - Düzlemsel yoğunluk en yüksek
- Kayma doğrultusu – hareketin yönü
 - Doğrusal yoğunluk en yüksek



Adapted from Fig. 7.6, Callister & Rethwisch 8e.

- YMK'da kayma $\{111\}$ düzlemlerinde (sıkı paketlenmiş) $\langle 110 \rangle$ doğrultularında (sıkı paketlenmiş) daha kolay olur.
 - =>YMK da toplam 12 tane kayma sistemi vardır.
- HMK & HSP de daha farklı kayma sistemleri mevcuttur.

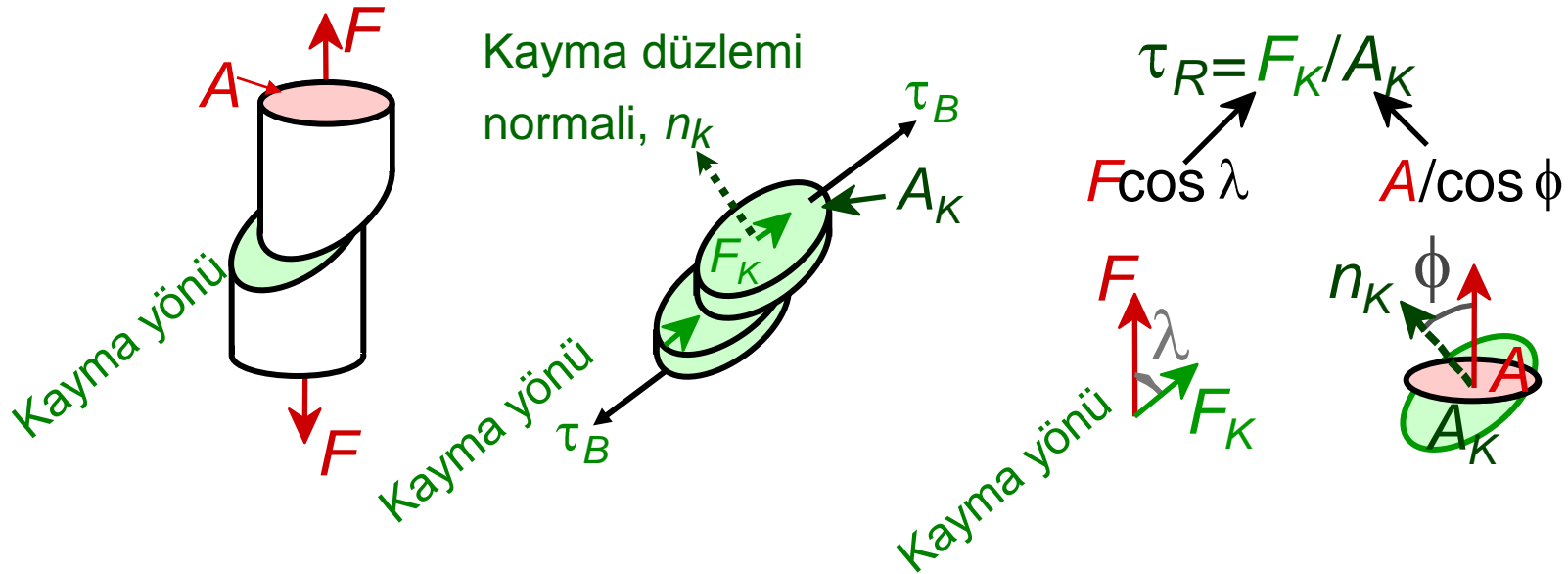


Gerinim ve Dislokasyon Hareketi

- Kayma gerilmesi bileşenleri, τ_B
 - uygulanan çekme geriliminden doğar

Uygulanan çekme gerilimi: $\sigma = F/A$ Kayma gerilmesi bileşeni: $\tau_B = F_K/A_K$

σ ve τ_B arasındaki ilişki



$$\tau_B = \sigma \cos \lambda \cos \phi$$

Kritik Kayma Gerilmesi Bileşeni

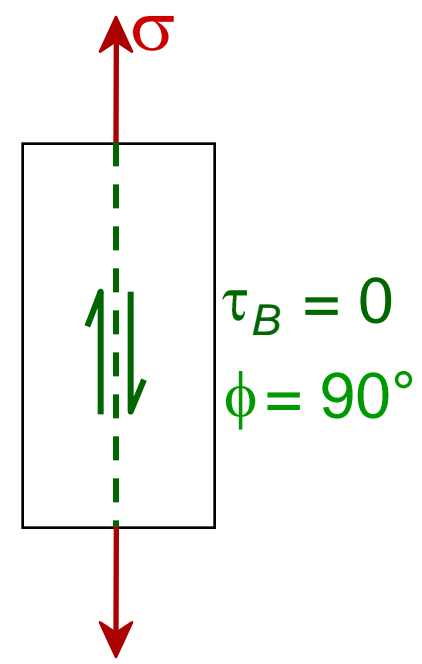
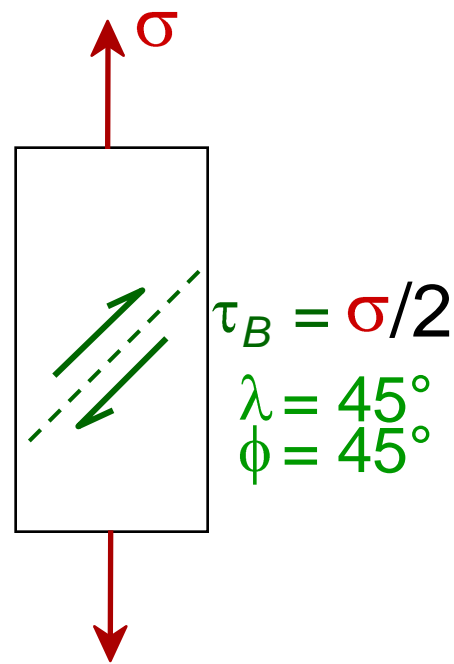
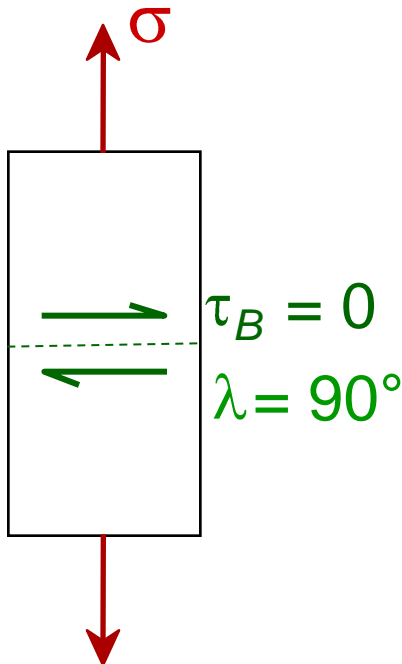
- Dislokasyon hareketinin şartı:
- Ease of dislocation motion depends on crystallographic orientation

$$\tau_B > \tau_{BKri}$$

↑
tipik olarak

10^{-4} GPa 'dan 10^{-2} GPa

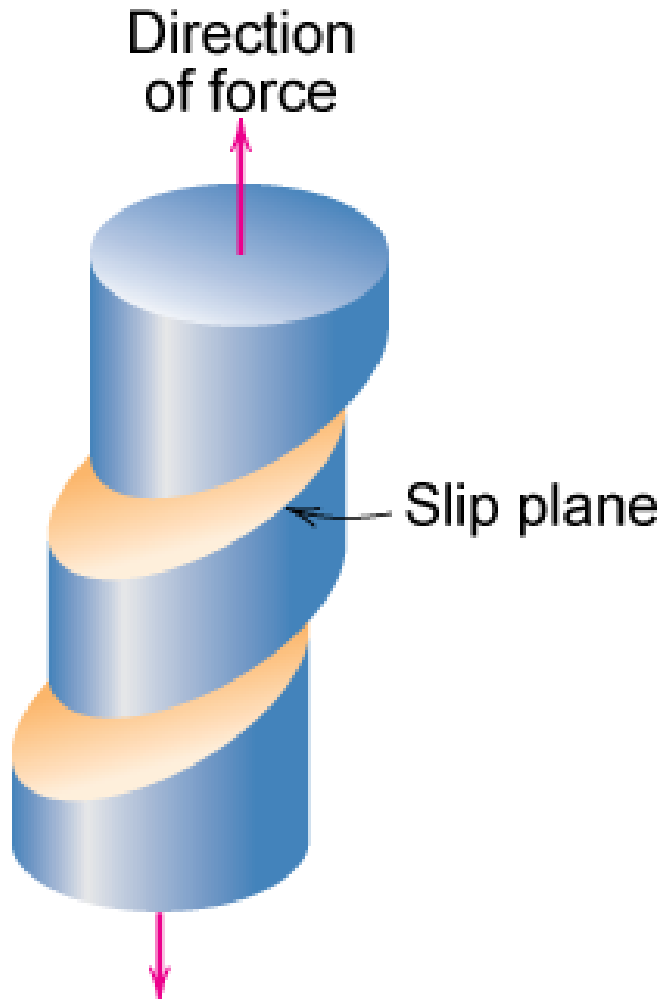
$$\tau_B = \sigma \cos \lambda \cos \phi$$



$\lambda = \phi = 45^\circ$ τ maksimum değerindedir.



Tek Kristallerde Kayma



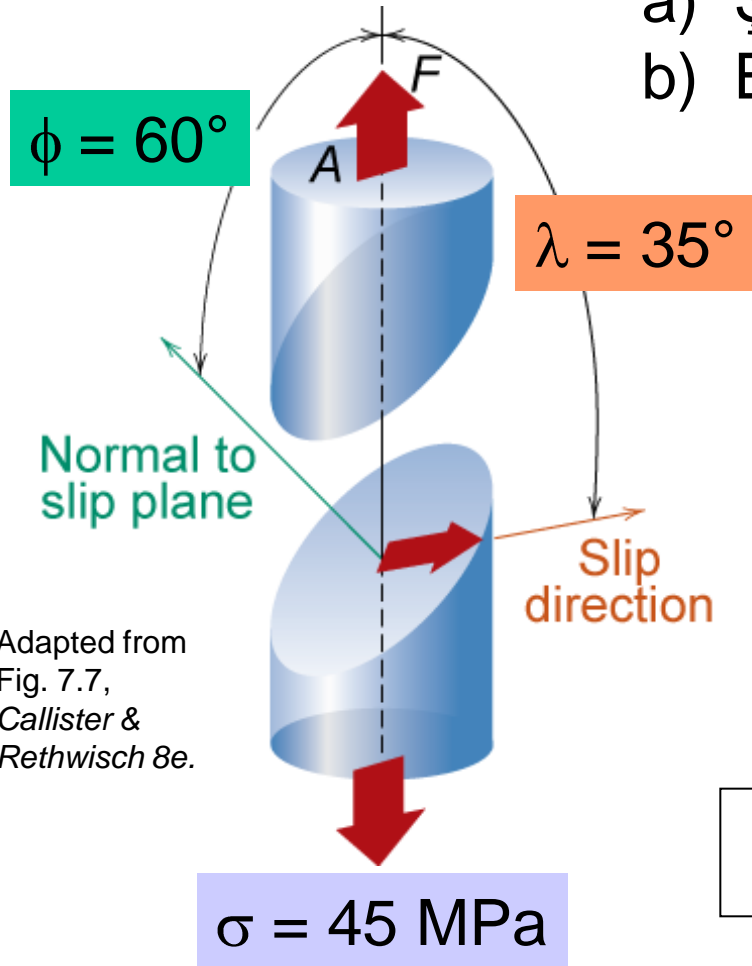
Adapted from Fig. 7.8,
Callister & Rethwisch 8e.

Adapted from Fig.
7.9, *Callister &
Rethwisch 8e.*



Ör: Tek kristallerde deformasyon

- a) Şekildeki tek kristalde akma olurmu?
b) Eğer hayırsa, ne kadar gerilim gerekir?



$$\tau_{BKri} = 20.7 \text{ MPa}$$

$$\tau = \sigma \cos \lambda \cos \phi$$

$$\sigma = 45 \text{ MPa}$$

$$\tau = (45 \text{ MPa}) (\cos 35^\circ) (\cos 60^\circ)$$
$$= (45 \text{ MPa}) (0.41)$$

$$\tau = 18.4 \text{ MPa} < \tau_{BKri} = 20.7 \text{ MPa}$$

45 MPa lık uygulanan gerilim kristalde akma yaratmaz.



Ör: Tek kristallerde deformasyon

Ne kadar gerilim gerekir (Akma gerilimi , σ_{Ak})?

$$\tau_{BKri} = 20.7 \text{ MPa} = \sigma_y \cos \lambda \cos \phi = \sigma_y (0.41)$$

$$\therefore \sigma_y = \frac{\tau_{BKri}}{\cos \lambda \cos \phi} = \frac{20.7 \text{ MPa}}{0.41} = \underline{\underline{50.5 \text{ MPa}}}$$

Deformasyonun gerçekleşmesi için uygulanan gerilimin akma gerilimine eşit yada büyük olması gerekir.

$$\sigma \geq \sigma_{Ak} = 50.5 \text{ MPa}$$



Polikristallerde Kayma Hareketi

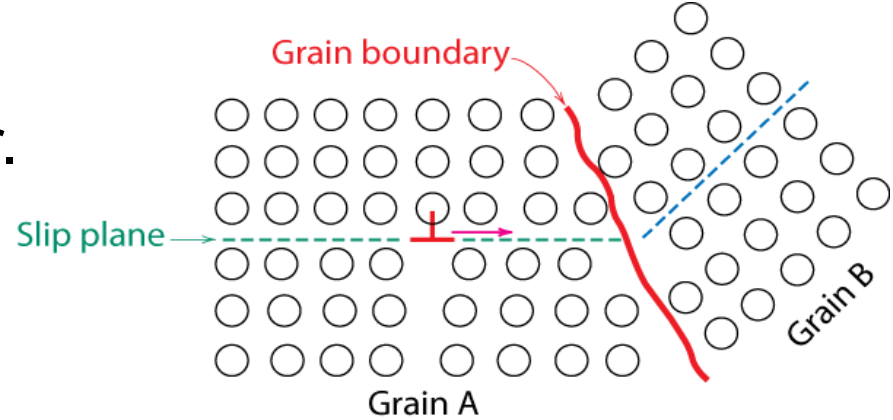
- Polikristaller tek kristallerden daha güçlüdür. – tane sınırları dislokasyon hareketine engeldir.
- Kayma düzlemi & doğrultuları (λ , ϕ) bir taneden diğerine değişir.
- τ_B bir taneden diğerine değişir.
- τ_B si en büyük olan en çabuk akar.
- Diğer (daha az tercih edilen oryantasyondaki) taneler sonra akar.



Adapted from Fig. 7.10, *Callister & Rethwisch 8e*. (Fig. 7.10 is courtesy of C. Brady, National Bureau of Standards [now the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD].)

Dayanım Arttırıcı Mekanizmalar: 1: Tane Boyutunu Küçültmek

- Tane sınırları kaymaya karşı baryer görevi görür.
- Bariyerin «dayanımı» yapının oriyantasyonun açısının artmasıyla artar
- Küçük tane boyutu: kaymaya karşı daha fazla bariyer.



Adapted from Fig. 7.14, *Callister & Rethwisch 8e*. (Fig. 7.14 is from *A Textbook of Materials Technology*, by Van Vlack, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.)

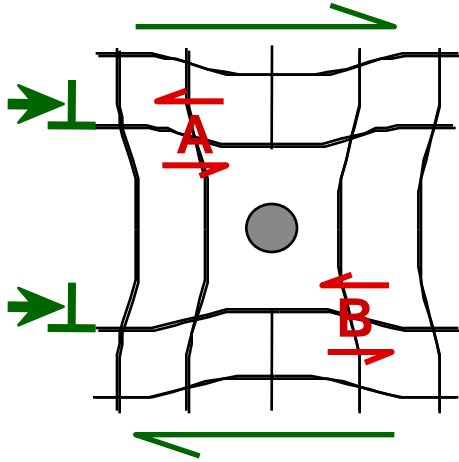
- Hall-Petch Denklemi:

$$\sigma_{Akma} = \sigma_o + k_y d^{-1/2}$$

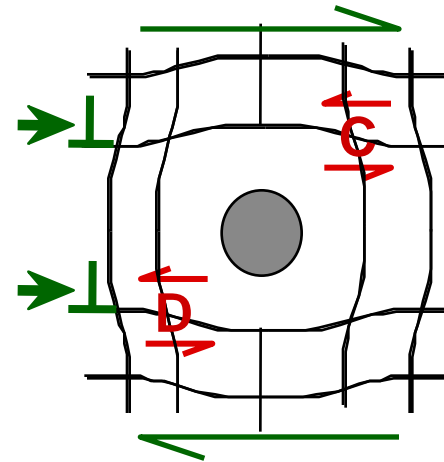
Dayanım Arttırıcı Mekanizmalar :

2: Katı Çözelti Oluşturmak

- Katışık atomlar kafesi çarpıtır & kafes gerinimi yaratır.
- Bu gerinimler dislokasyon hareketine karşı bariyer görevi görür.
 - Küçük yerelan impürite
 - Büyük yerelan impürite



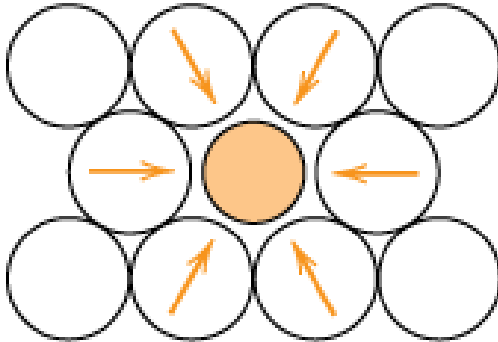
İmpürite dislokasyon hareketine karşı **A** ve **B** de lokal gerinim yaratır.



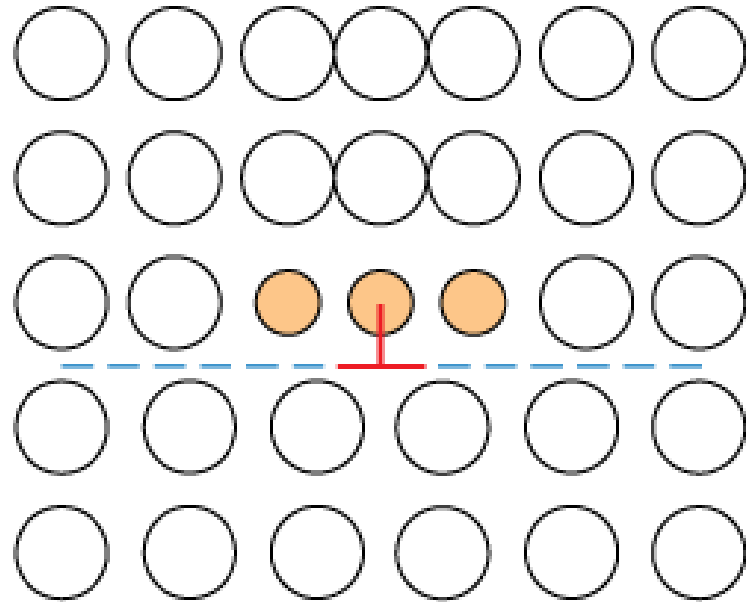
İmpürite dislokasyon hareketine karşı **C** ve **D** de lokal gerinim yaratır.

Katı Çözelti Alaşımı ile Dayanımı Arttırmak

- Küçük çaplı impüriteler matris atomları üzerinde çekme şekil değişimi uygular. – dislokasyonların çekme şekil değişimlerini uygun konumlara yerleşerek kısmi olarak yok eder.
- Dislokasyonları hareketliliği azalır ve dayanım artar.



(a)



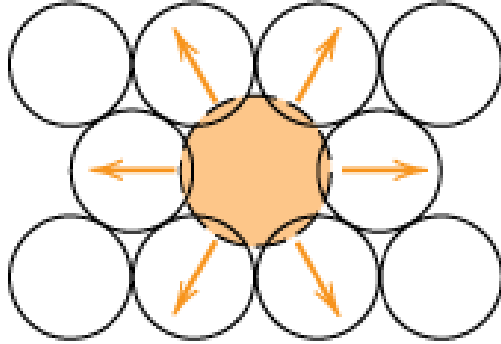
(b)

Adapted from Fig. 7.17,
Callister & Rethwisch 8e.

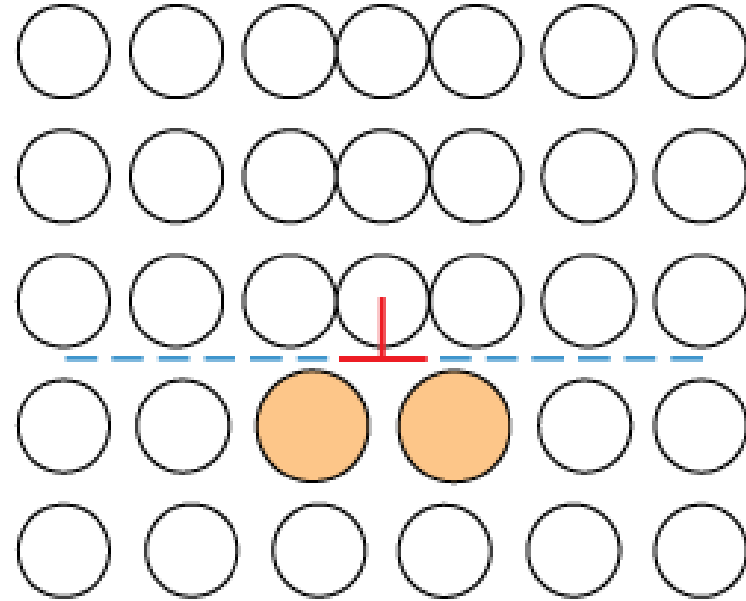


Katı Çözelti Alaşımı ile Dayanımı Arttırmak

- Büyük çaplı impüriteler matris atomları üzerinde basma şekil değişimi uygular.



(a)

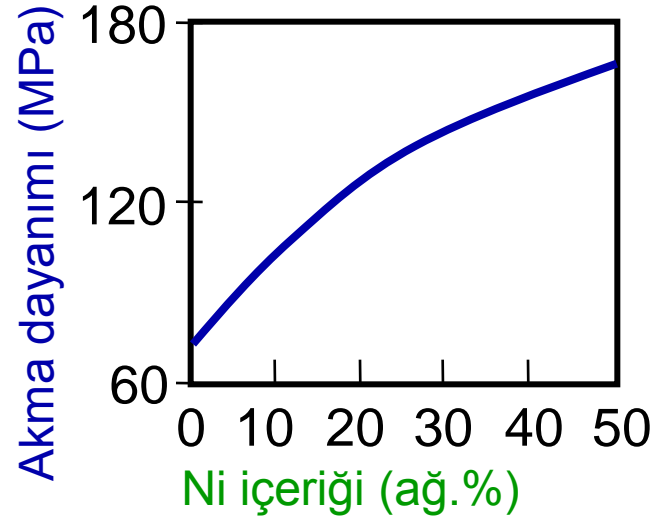
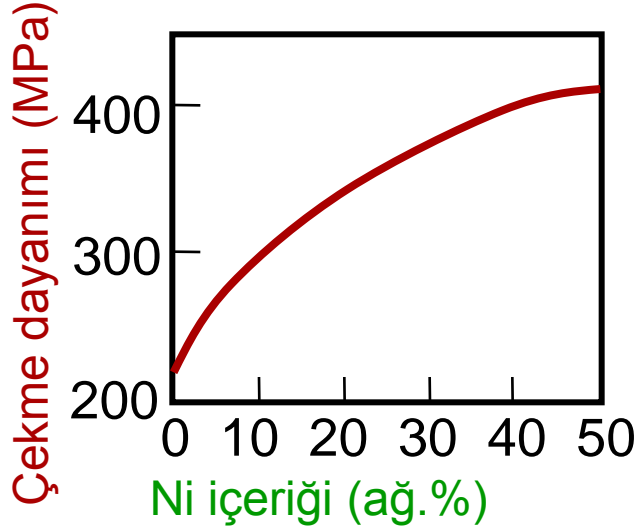


(b)

Adapted from Fig. 7.18,
Callister & Rethwisch 8e.

Ör: Bakırın katı çözelti dayanımı

- Çekme dayanımı & akma dayanımı ağırlıkça artan % Ni oranı ile artar.



Adapted from Fig. 7.16(a) and (b), Callister & Rethwisch 8e.

- Alaşımlama σ_{Ak} ve ÇD yi artırır

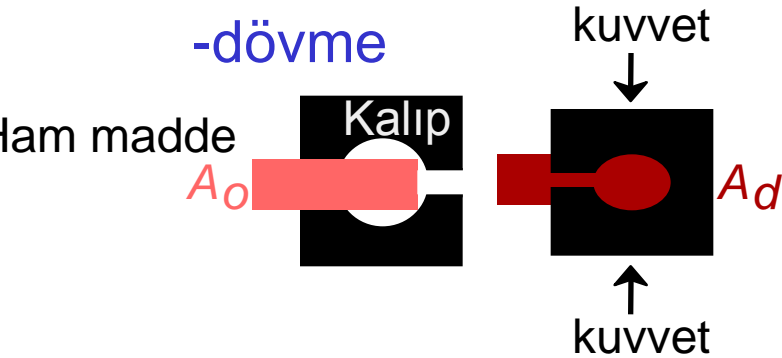


Dayanım Arttırıcı Mekanizmalar :

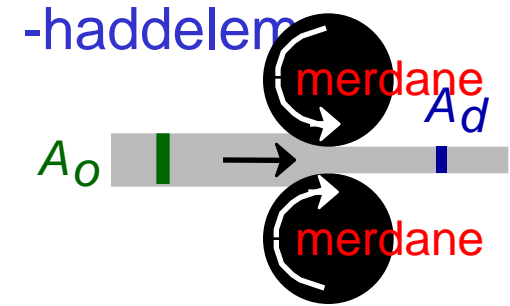
3: Pekleşme (Deformasyon sertleşmesi)

Soğuk işlem (Soğuk şekillendirme)

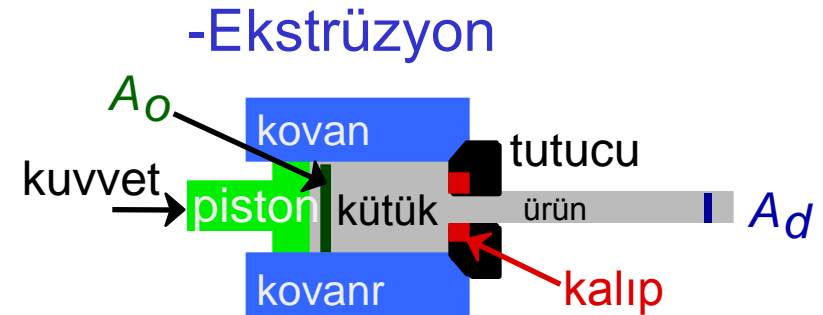
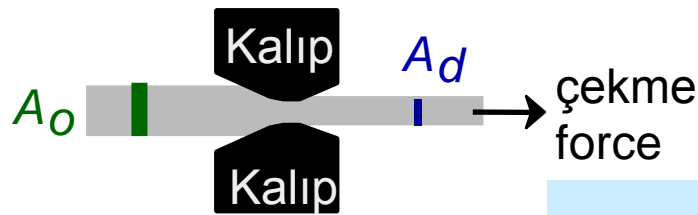
- Oda sıcaklığında yapılan deformasyonlar (bir çok metal için).
- Genel şekillendirici işlemler kesit alanı azaltır:



Adapted from Fig. 11.8, Callister & Rethwisch 8e.



-çubuk çekme- dövme



$$\% S\text{ŞD} = \frac{A_o - A_d}{A_o} \times 100$$

Soğuk işlemden sonra Dislokasyon yapısı değişir

- Ti nin soğuk işlemden sonraki dislokasyon yapısı



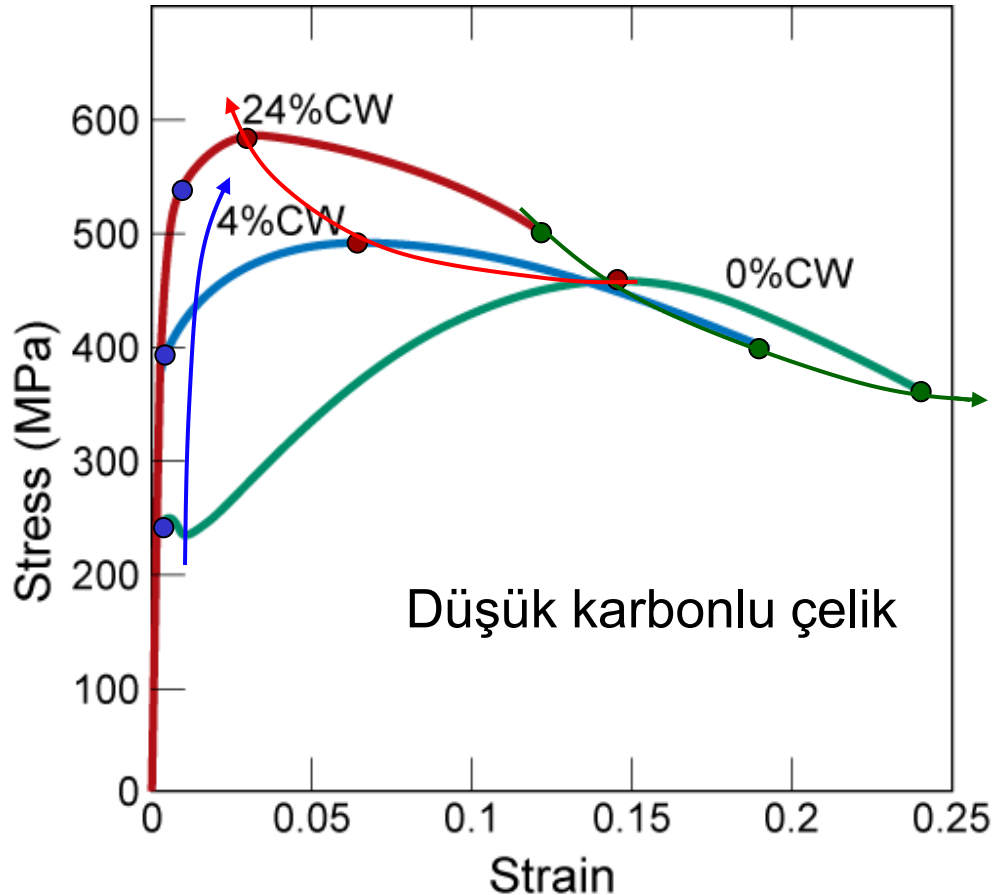
- Soğuk şekillendirmede dislokasyonlar birbirine dolanır.
- Dislokasyon hareketi zorlaşır.

Fig. 4.6, *Callister & Rethwisch 8e*.
(Fig. 4.6 is courtesy of M.R. Plichta, Michigan Technological University.)

Soğuk Şekillendirmenin etkisi

Soğuk şekillendirme yüzdesi arttıkça

- Akma dayanımı (σ_{Ak}) artar.
- Çekme dayanımı (ÇD) artar.
- Süneklik (%UZ veya %KD) azalır.

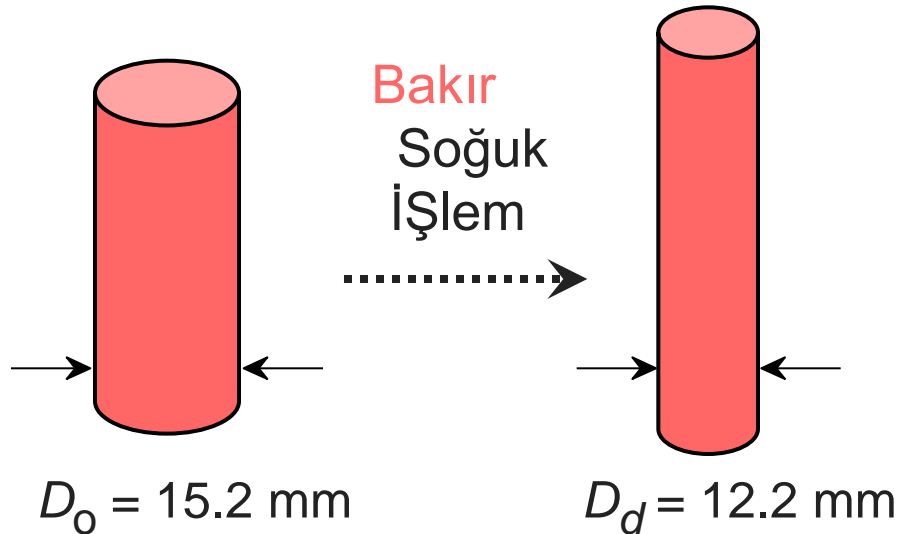


Adapted from Fig. 7.20,
Callister & Rethwisch 8e.



Soğuk Şekillendirmenin Mekanik Özelliklere Etkisi

- Cu'ya soğuk şekillendirme uygulandıktan sonra akma dayanımı, çekme dayanımı ve süneklik değerlerine ne olur?

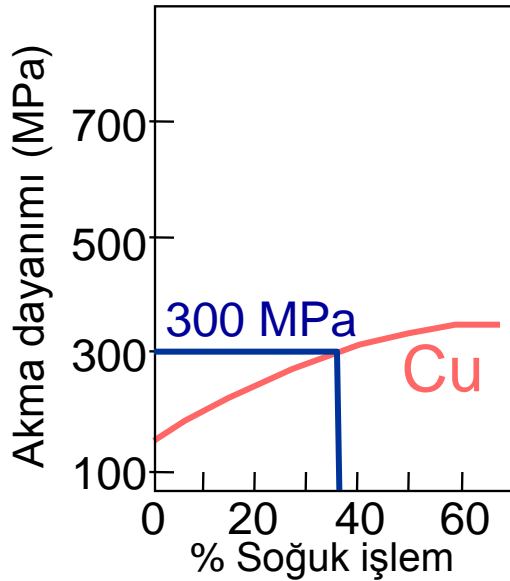


$$\% S\text{ŞD} = \frac{\frac{\pi D_o^2}{4} - \frac{\pi D_d^2}{4}}{\frac{\pi D_o^2}{4}} \times 100$$
$$= \frac{D_o^2 - D_d^2}{D_o^2} \times 100$$

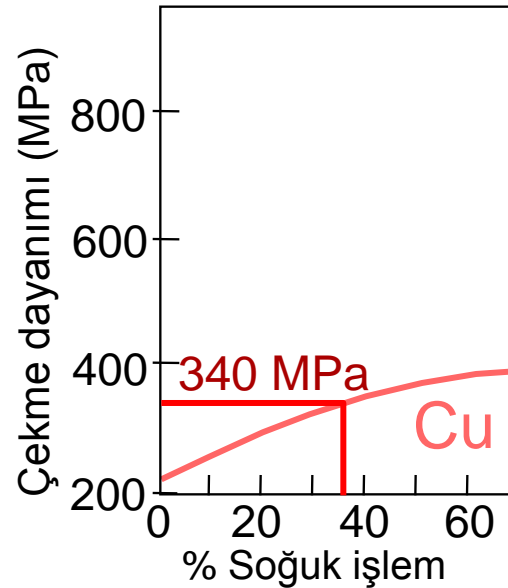
$$\% S\text{ŞD} = \frac{(15.2 \text{ mm})^2 - (12.2 \text{ mm})^2}{(15.2 \text{ mm})^2} \times 100 = 35.6\%$$

Soğuk Şekillendirmenin Mekanik Özelliklere Etkisi

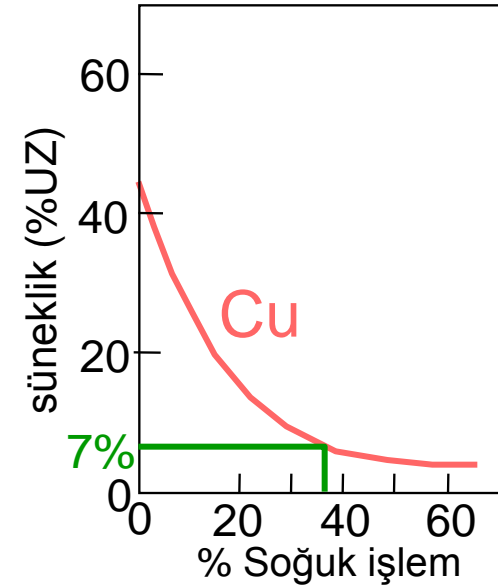
%SÇD=35.6 olan Cu'nun akma dayanımı, çekme dayanımı ve süneklik değerleri nedir?



$$\sigma_{Ak} = 300 \text{ MPa}$$



$$\text{ÇD} = 340 \text{ MPa}$$



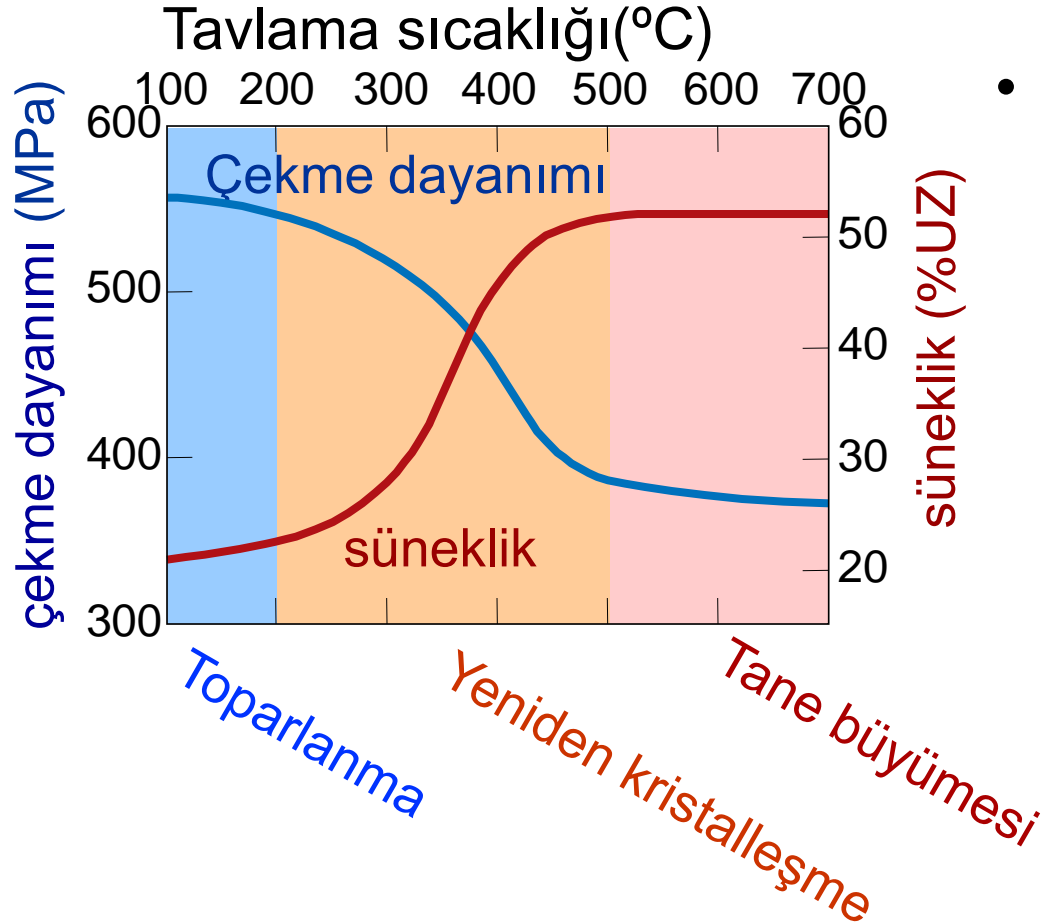
$$\%UZ = \% 7$$

Adapted from Fig. 7.19, Callister & Rethwisch 8e. (Fig. 7.19 is adapted from *Metals Handbook: Properties and Selection: Iron and Steels*, Vol. 1, 9th ed., B. Bardes (Ed.), American Society for Metals, 1978, p. 226; and *Metals Handbook: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals*, Vol. 2, 9th ed., H. Baker (Managing Ed.), American Society for Metals, 1979, p. 276 and 327.)



Soğuk Şekillendirmeden Sonra Uygulanan Isıl İşlemin Etkisi

- T_{tavlama} 'da gerçekleşen 1 saatlik işlem sonucu;
ÇD azalır ve %UZ artar.
- Soğuk işlemin etkisi yok edilir!



- Tavlamanın üç seviyesi:
 1. Toparlanma
 2. Yeniden kristalleşme
 3. Tane büyümesi

Adapted from Fig. 7.22, Callister & Rethwisch 8e. (Fig. 7.22 is adapted from G. Sachs and K.R. van Horn, *Practical Metallurgy, Applied Metallurgy, and the Industrial Processing of Ferrous and Nonferrous Metals and Alloys*, American Society for Metals, 1940, p. 139.)

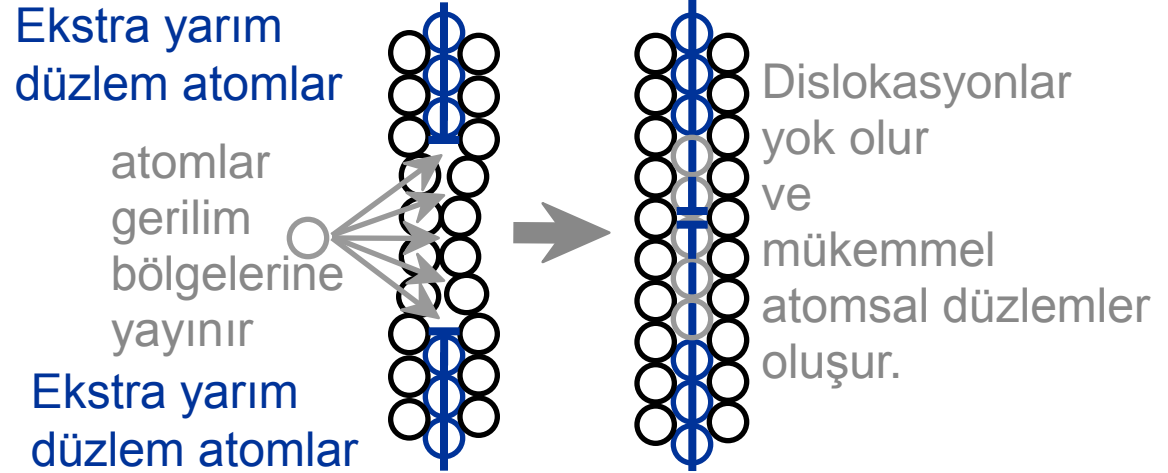


Isıl İşlemin Üç Basamağı

1. Toparlanma

Dislokasyon yoğunluğu birbirlerini yok eder.

- Senaryo 1
Yayınmanın sonucu



- Senaryo 2

3. “Yeni” disl. yeni kayma düzleminde ilerler

2. Diffüzyon sonucu ortaya çıkan gri atomlar Yeni bir dislokasyon oluşturur

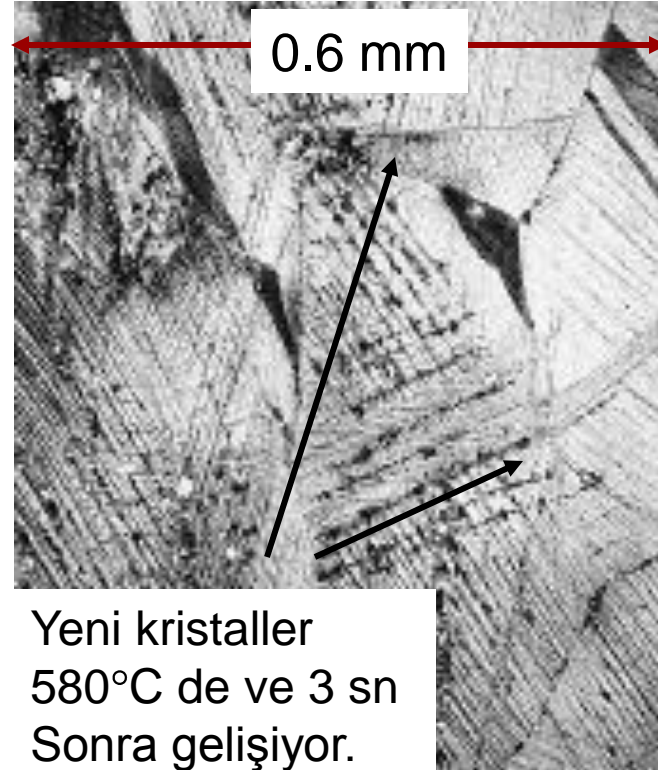
1. Dislokasyon bloke olur, sağa hareket edemez



Isıl İşlemin Üç Basamağı :

2. Tekrar Kristalleşme

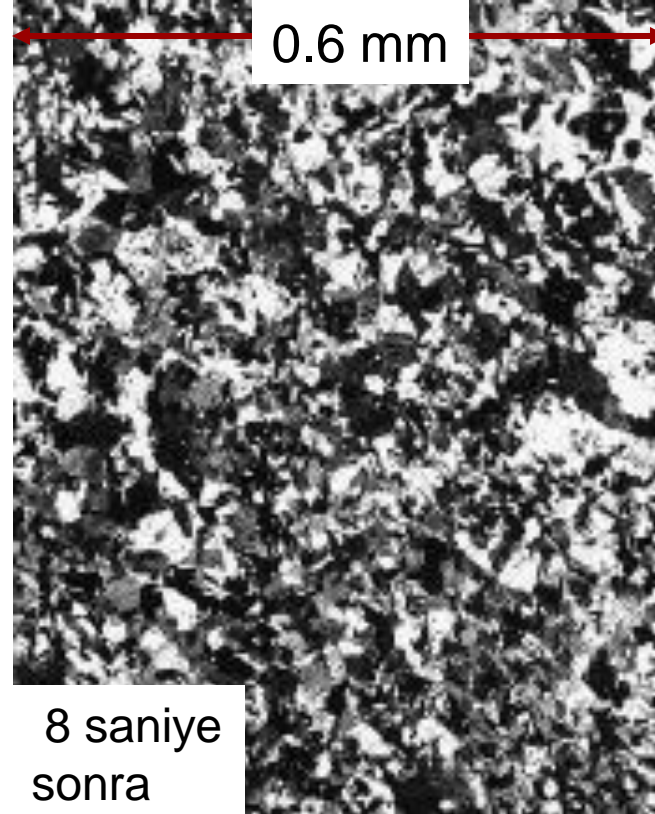
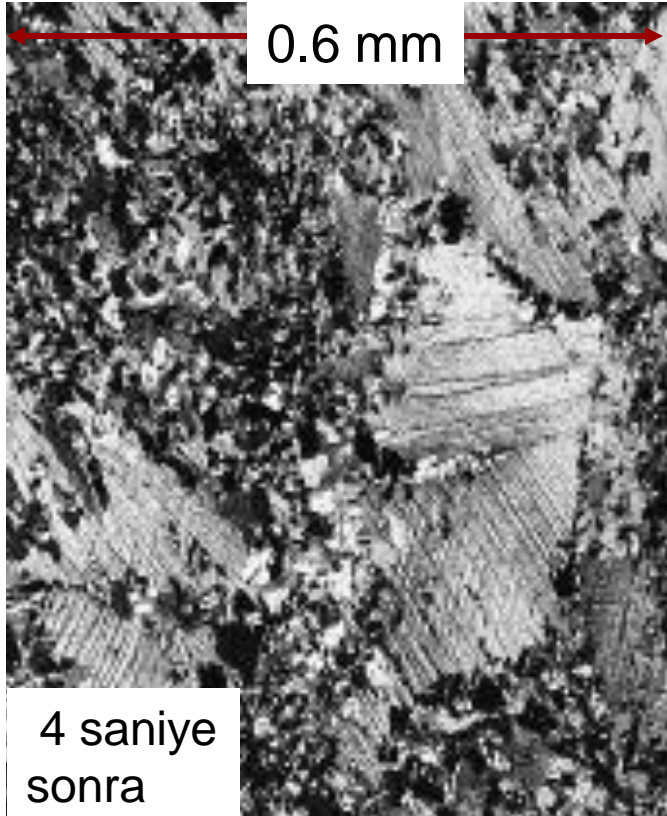
- Yeni oluşan taneler:
 - daha az dislokasyon yoğunluğuna sahiptir
 - boyutları daha küçüktür
 - yakın olan soğuk işlem görmüş taneleri içlerine alır ve yer değiştirirler..



Adapted from Fig. 7.21(a),(b), Callister & Rethwisch 8e. (Fig. 7.21(a),(b) are courtesy of J.E. Burke, General Electric Company.)

Tekrar kristalleşme devam ettikçe...

- Bütün soğuk şekillenmiş tanecikler yeniden kristalleşir.

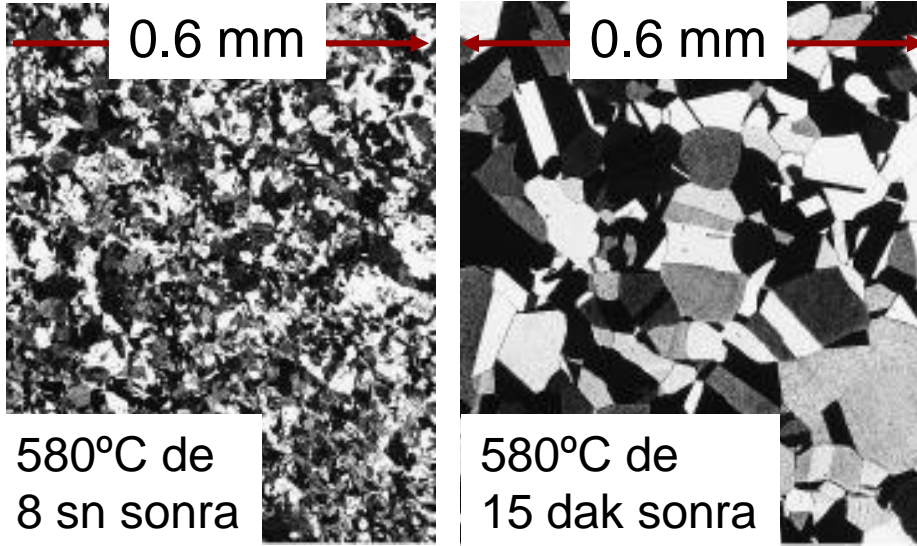


Adapted from
Fig. 7.21(c),(d),
*Callister &
Rethwisch 8e.*
(Fig. 7.21(c),(d)
are courtesy of
J.E. Burke,
General Electric
Company.)

Isıl İşlemin Üç Basamağı :

3. Tane Büyümesi

- Daha uzun zaman sonra, ortalama tane boyutu artar.
 - Küçük taneler büzülür (ve en sonunda yok olur)
 - Büyük taneler gelişmeye devam eder



Adapted from
Fig. 7.21(d),(e),
*Callister &
Rethwisch 8e.*
(Fig. 7.21(d),(e)
are courtesy of
J.E. Burke,
General Electric
Company.)

- Deneysel ilişki:

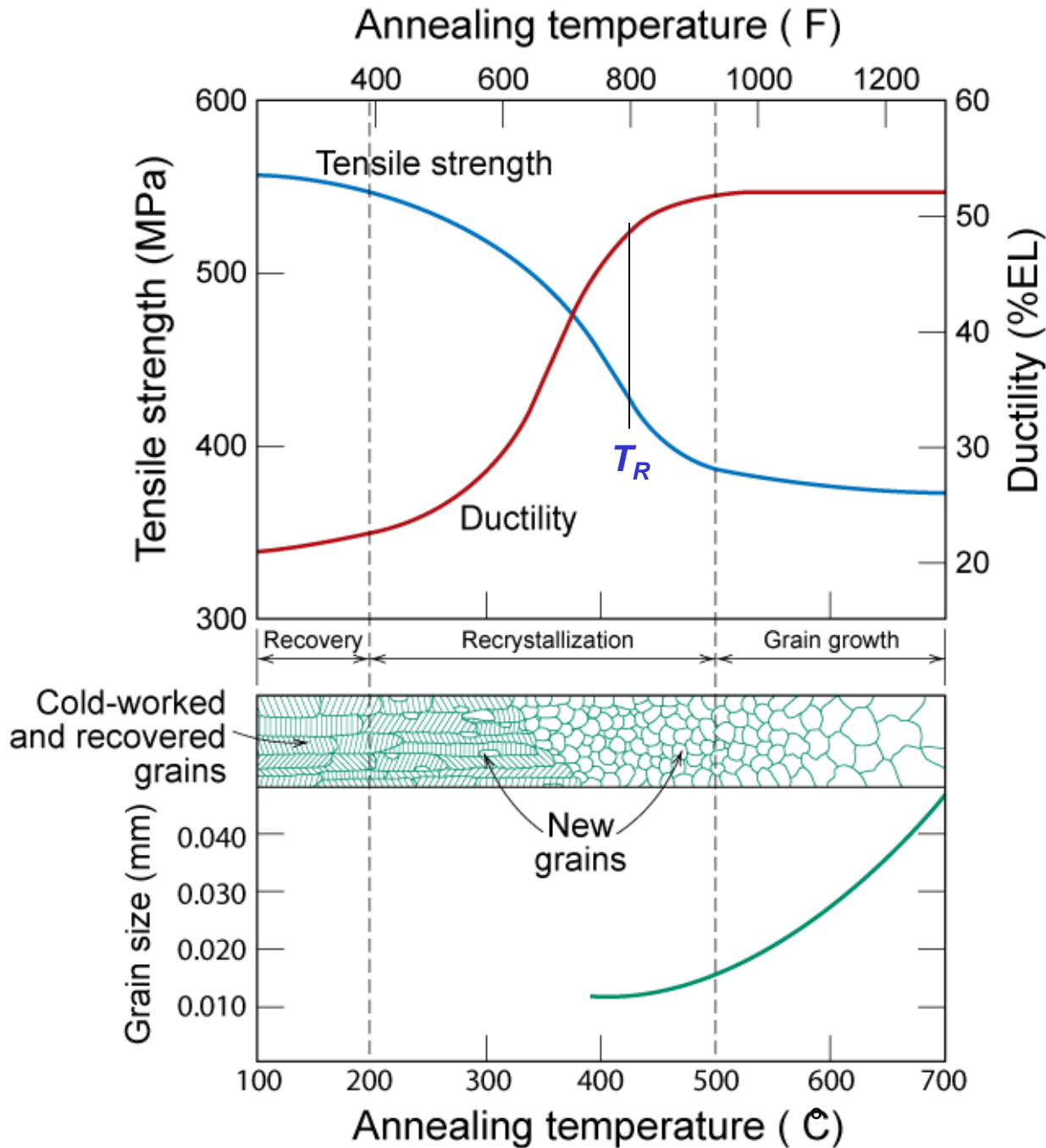
Üstel sabit genelde. ~ 2
t zamanında
tane çapı.

$$d^n - d_0^n = Kt$$

Malzeme ve T bağımlı
katsayı

Geçen süre





T_R = yeniden kristalleşme sıcaklığı

Adapted from Fig. 7.22, Callister & Rethwisch 8e.



Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı

T_R = yeniden kristalleşme sıcaklığı = yeniden kristalleşmenin 1 saat içinde tamamlanmaya eriştiği sıcaklık.

$$0.3 T_e < T_R < 0.6 T_e$$

Belirli metaller/alaşımalar için,

- %SÇD -- T_R artan %SÇD ile azalır.
- Metalin saflığı-- T_R artan saflıkla azalır.



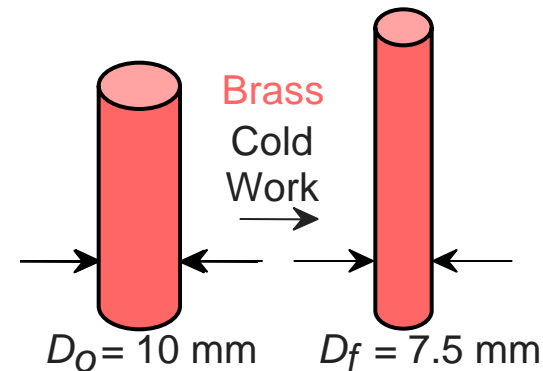
Çap Azaltma Prosedürü - Problem

Çapı 10 mm (0.39 inç) olan silindirik pirinç çubuk dövülerek soğuk şekillendirilmiştir. Deformasyon süresince kesit alan dairesel kalmıştır. Soğuk işlem çekme dayanımı 380 MPa (55,000 psi) aşacak ve sünekliği en az 15 % UZ olacak şekilde uygulanacaktır. Bunlara ilaveten, son çap 7.5 mm olmalıdır. Bu işlemin nasıl uygulanabileceğini izah ediniz.



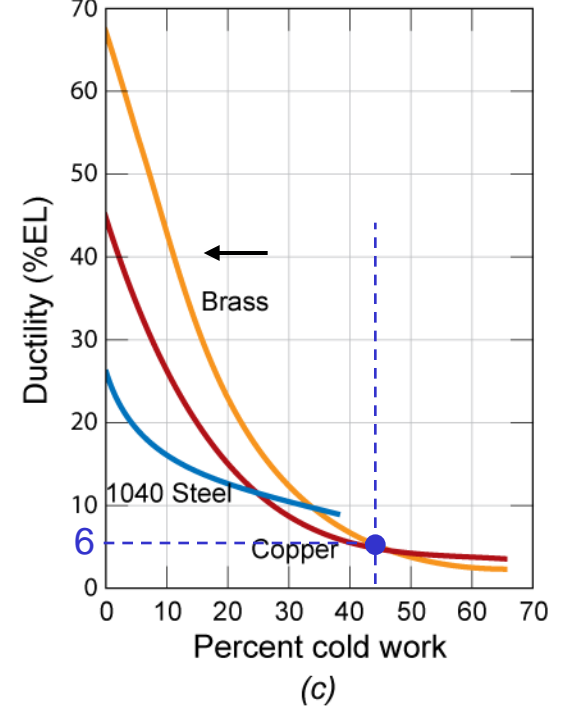
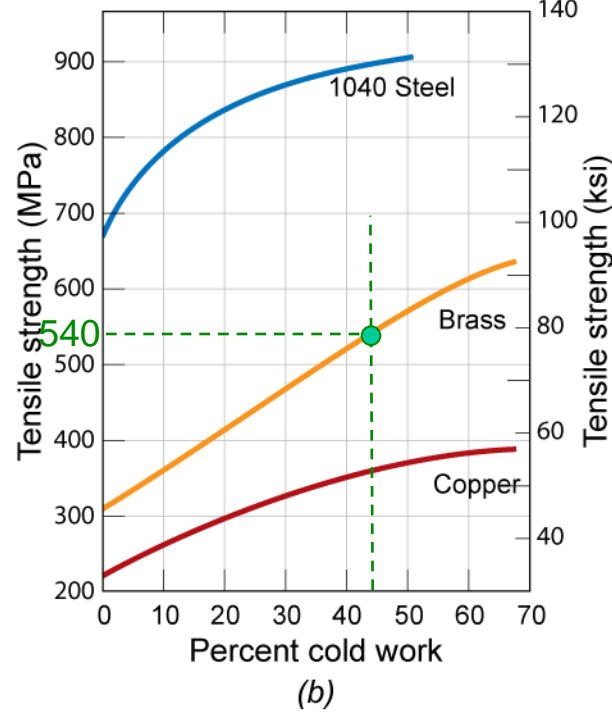
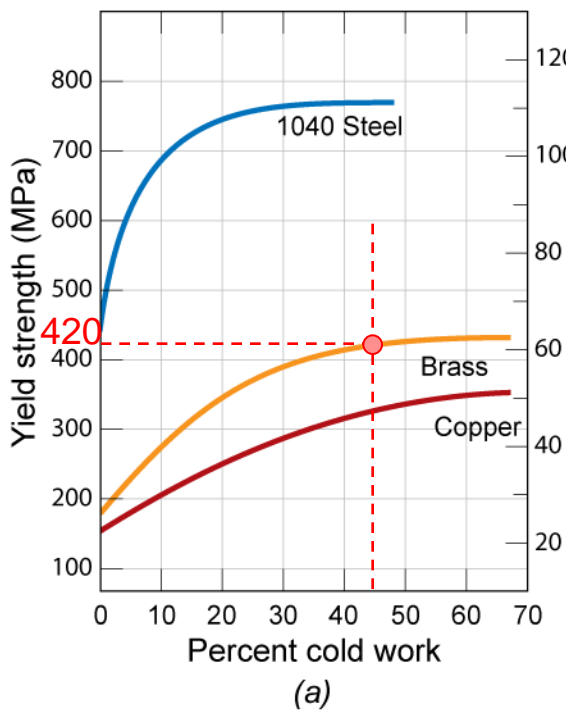
Çap Azaltma Prosedörü - Problem (devam)

Dövme işlemini son çapa ulaşılacak şekilde en başta uyguladığımızda sonuçları ne olur?



$$\begin{aligned}\%SSD &= \left(\frac{A_o - A_f}{A_o} \right) \times 100 = \left(1 - \frac{A_f}{A_o} \right) \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{\pi D_f^2 / 4}{\pi D_o^2 / 4} \right) \times 100 = \left(1 - \left(\frac{7.5}{10} \right)^2 \right) \times 100 = 43.8\%\end{aligned}$$

Çap Azaltma Prosedörü - Problem (devam)



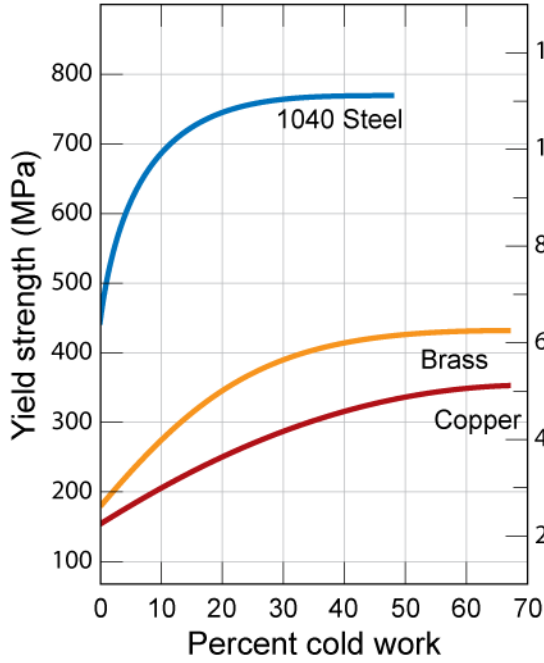
- %SŞD = 43.8% için
 - $\sigma_{Ak} = 420$ MPa
 - $\zeta D = 540$ MPa > 380 MPa
 - %UZ = 6 < 15

- Bu kriterleri sağlamaz... mümkün olan diğer seçenekler nedir?

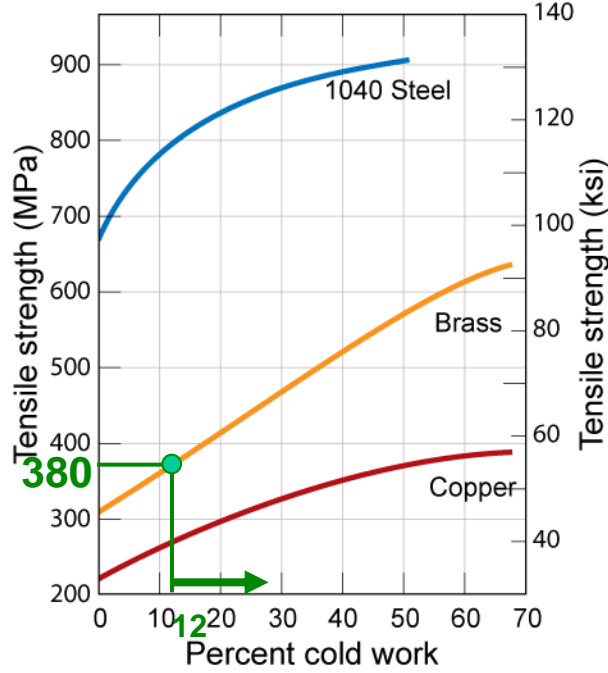
Adapted from Fig. 7.19,
Callister & Rethwisch 8e.



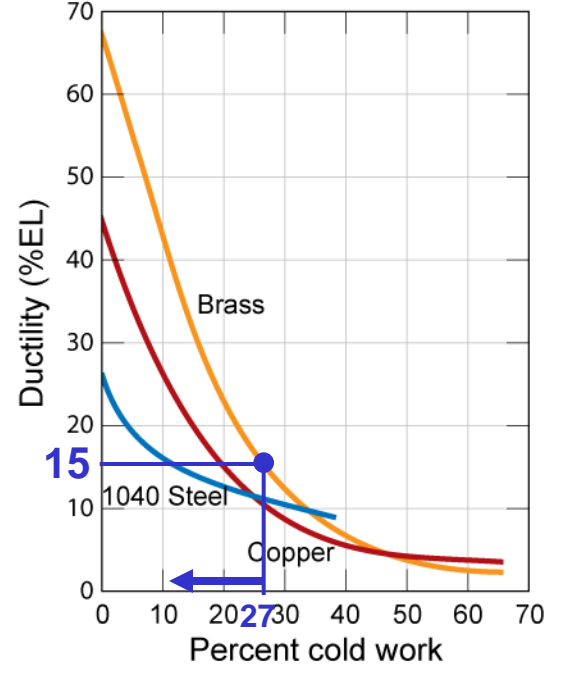
Çap Azaltma Prosedörü - Problem (devam)



(a)



(b)



(c)

Adapted from Fig. 7.19,
Callister & Rethwisch 8e.

$\sigma_D > 380 \text{ MPa}$ için



$> 12 \%S\text{ŞD}$

$\%UZ > 15$ için



$< 27 \%S\text{ŞD}$

\therefore işlem limiti $12 < \%S\text{ŞD} < 27$ arasındadır.



Çap Azaltma Prosedürü

- Problem (devam)

Soğuk şekillendirme, sonra tavlama, sonra yine soğuk şekillendirme

- Soğuk işlem $12 < \%S\text{Ş}D < 27$ arasında olmalı
 - 20 %SŞD kullanalım
- İlk soğuk işlem sonunda elde edeceğimiz çap (2nci soğuk işlemde önce) şöyle hesaplanır:

$$\%S\text{Ş}D = \left(1 - \frac{D_{f2}^2}{D_{02}^2}\right) \times 100 \Rightarrow 1 - \frac{D_{f2}^2}{D_{02}^2} = \frac{\%S\text{Ş}D}{100}$$

$$\frac{D_{f2}}{D_{02}} = \left(1 - \frac{\%S\text{Ş}D}{100}\right)^{0.5} \Rightarrow D_{02} = \frac{D_{f2}}{\left(1 - \frac{\%S\text{Ş}D}{100}\right)^{0.5}}$$

$$\text{Ara Çap} = D_{f1} = D_{02} = 7.5 \text{ mm} / \left(1 - \frac{20}{100}\right)^{0.5} = 8.39 \text{ mm}$$



Çap Azaltma Prosedürü - Özet

Basamak 1: Soğuk işlem– Çap 10 mm den 8.39 mm ye azalacak

$$\%SSD_1 = \left(1 - \left(\frac{8.39 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} \right)^2 \right) \times 100 = 29.6$$

Basamak 2: Tavlama yapılacak (yeniden kristalleşme oluşacak)

Basamak 3: Soğuk işlem– Çap 8.39 mm den 7.5 mm ye azalacak.

$$\%SSD_2 = \left(1 - \left(\frac{7.5}{8.49} \right)^2 \right) \times 100 = 20$$

Şekil 7.19
⇒

$$\sigma_{Ak} = 340 \text{ MPa}$$

$$\zeta D = 400 \text{ MPa}$$

$$\%UZ = 24$$

Bütün kriterler sağlanmıştır.



Soğuk İşlem \leftrightarrow Sıcak İşlem

- Sıcak İşlem (tavlama) \rightarrow deformasyon T_R nin üstünde
- Soğuk İşlem (şekillendirme) \rightarrow deformasyon T_R nin altında



Özet

- Dislokasyonlara temelde metallerde ve metal alaşımlarda rastlanır
- Dislokasyon hareketi kısıtlanarak dayanım arttırılır.
- metallerin dayanımları:
 - tane sayısını küçülterek
 - katı çözelti oluşturarak
 - soğuk şekillendirme uyguluyarak, arttırılır.
- Soğuk işlenmiş metale ısı uygulaması yaparak toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi sağlanır- bu da malzemenin özelliklerini değiştirir.

