

Mukavemet (DAYANIM) Artırıcı Yöntemler

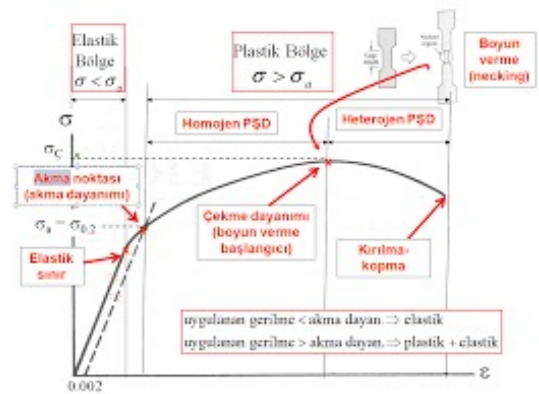
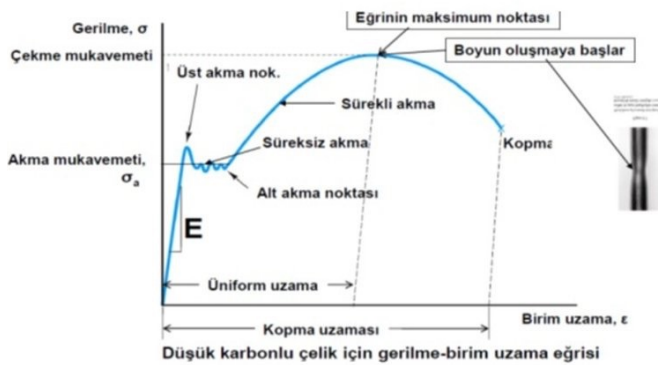
1

HATIRLATMA

*Dislokasyonlar, hareketli olan ve kayma gerilmesi uygulandığında kafes boyunca hareket edebilen çizgisel kristal kafes hatalarıdır (kusurlarıdır).

*Malzeme özellikleri üzerinde son derece önemli etkileri vardır. Özellikle mekanik dayanım üzerinde, çünkü malzemelerin akması ve plastik olarak deforme olmasını sağlayan mekanizmadır.

*Dislokasyonların hareketini zorlaştırarak metallerin dayanımı artırılabilir.



2

Dayanım Artırma

Kristal malzemelerin dayanımların artırılması için dislokasyon hareketinin (kaymasının) engellenmesi gerekir.

Bu amaçla çeşitli engellerden yararlanılır.

Kullanılan bu engeller:

- diğer dislokasyonlar
- tane sınırları
- Empürite atomları
- ikincil faz taneleri
 - Çökelti halinde
 - dışarıdan eklenen

Çoğu yüksek dayanımlı alaşım bu dayanım artırma mekanizmalarının birden fazlasının katkısıyla sertleştirilir.

3

Neredeyse bütün mukavemet (dayanım) artırıcı yöntemlerdeki esas aşağıdaki kurala dayanır:

DİSLOKASYON HAREKETLERİNİ SINIRLAMAK VEYA ENGELLEMEK MALZEMENİN DAHA YÜKSEK SERTLİĞE ULAŞMASINI VE DAHA YÜKSEK DAYANIMLI OLMASINI SAĞLAR

ÇOK SAYIDA YÖNTEMLE BU SAĞLANABİLİR

1. Tane Boyutunu Küçülterek Mukavemet Artırma
2. Katı Çözelti (Ergiyik) Sertleşmesi
3. Yaşlanma veya Çökelme/Çökelti Sertleşmesi
4. Dispersiyon Sertleşmesi
5. Soğuk İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi

4

1. Tane Boyutu Küçültülerek Mukavemet Artırma

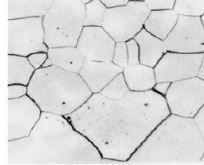
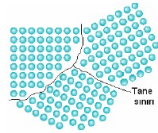
TANE VE TANE SINIRLARI

Taneler : Bir hacim kaplayan üç boyutlu kristal topluluklarıdır.

Tane büyüklükleri, biçimleri eşyönlülük yada eşyönsüzlük metalografide incelenir.

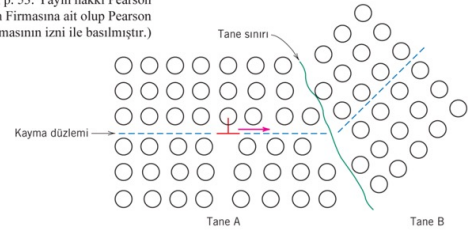
Tane sınırları: birbirine komşu olarak, tek kristal şeklinde bulunan **iki tanenin arasındaki yüzeydir.**

Katılma sırasında iki farklı bölgede büyümüş kristaller arasında kalan sınır yüzeyidir



7.8 TANE BOYUTU KÜÇÜLTÜLEREK DAYANIMIN ARTTIRILMA

Şekil 7.14 Tane sınırlarıyla karşılaşan bir dislokasyonun davranışı. Burada, tane sınırlarının devam eden bir kaymaya karşı nasıl engel görevi gördüğü şekil üzerinde açıklanmıştır. Tane sınırında kayma düzlemi sürekli olmayıp tane sınırında doğrultusunu değiştirmektedir. (Van Vlack, *A Textbook of Materials Technology*, 1st edition (1973), p. 53. Yayın hakkı Pearson Education Firmasına ait olup Pearson Education Firmasının izni ile basılmıştır.)



Tane sınırı sayısı arttıkça dislokasyon hareketlerine engel sayısı da artacaktır.

Üç boyutlu sistemlerde vida dislokasyonu olması durumunda dislokasyonun tane sınırında yön değiştirerek hareketi mümkün.

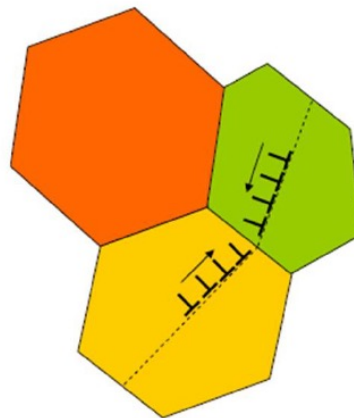
Ancak çoğunlukla dislokasyon hareketi tane sınırında durur.

5

1. Tane Boyutu Küçültülerek Mukavemet Artırma

TANE VE TANE SINIRLARI

- ❑ Tane sınırları da dislokasyon hareketlerini kısıtlayan engellerdendir.
- ❑ Tane sınırları, dislokasyonlardan veya empüritelere göre daha kuvvetli engellerdir.
- ❑ Dislokasyonun kayma düzlemi üzerinde bulunan bir engelle kıyaslandığında, tane sınırı (yüzey !) daha kuvvetli bir engelidir.
- ❑ Kristallografik olarak düşünüldüğünde; bir tane (kristal) içinde ilerleyen bir dislokasyon tane sınırına ulaştığında başka oryantasyona sahip tanelerle (kristallerle) karşılaşacağından daha fazla ilerleyemez.
- ❑ Böylece dislokasyon hareketi engellenmiş olur.
- ❑ Tane boyutunun küçük olması hem dayanımı hem de tokluğu aynı artıran bir etkidir.



6

1. Tane Boyutu Küçültülerek Mukavemet Artırma

Hall–Petch
denklemleri—akma
dayanımının tane
büyüklüğü ile olan
ilişkisi

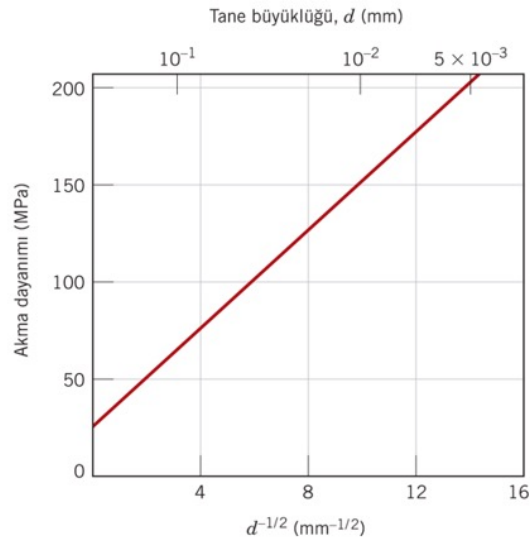
$$\sigma_{Ak} = \sigma_0 + k_y d^{-1/2} \quad (7.7)$$

- *Hall-Petch denklemi* adı verilen bu ifade de d , ortalama tane çapı, σ_0 ve k_y ise malzemeye özgü sabitlerdir.

7

1. Tane Boyutu Küçültülerek Mukavemet Artırma

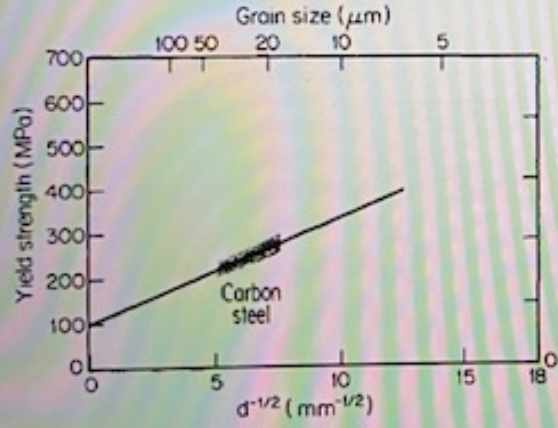
Şekil 7.15 70 Cu–30 Zn pirinç alaşımında tane büyüklüğünün akma dayanımına etkisi. Tane çapının sağdan sola doğru arttığına ve bu artışın doğrusal olmadığına dikkat ediniz (H. Suzuki, “The Relation Between the Structure and Mechanical Properties of Metals,” Vol. II, *National Physical Laboratory, Symposium No. 15*, 1963, p. 524.)



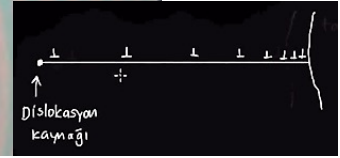
8

1. Tane Boyutu Küçültülerek Mukavemet Artırma

➤ Karbon çeliğinde Hall-Petch ilişkisi



$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k_y}{\sqrt{d}}$$



9

2. Katı Çözelti (Ergiyik) Sertleşmesi

KATI ÇÖZELTİ (ERGİYİK):

Malzemeler yapılarının içerisinde, belli oranlarda farklı atomları çözebilirler. Bu durum "katı çözeltiler" olarak adlandırılır. Bir çözelti çözen ve çözünen olmak üzere iki bileşenden oluşur.

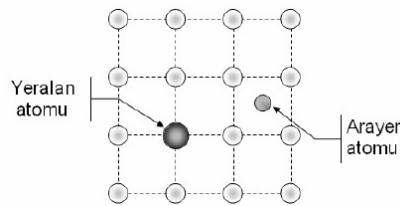
ÇÖZÜNÜRLÜK:

Yabancı bir atomun farklı bir elementin kristal yapısına **yeralan veya arayer** atomu olarak yerleşmesidir. Çözünürlükte meydana gelen yapıdaki elementler kendi özelliklerini kaybeder ve oluşan çözelti tek bir yapı gibi davranır.

A)Sınırlı Çözünürlük

B)Sınırsız Çözünürlük (Kuralları var: boyut faktörü, kristal yapı, valans elektron sayısı, elektronegatiflik)

Cu-Zn (Pirinç) alaşımının saf Cu'dan ve Fe-C alaşımı olan çeliğin saf demirden daha mukavemetli olması katı çözelti sertleşmesi sayesinde olur.



10

Katı çözelti= Katı Eriyik (solid solution):

Katı halde bir fazın içinde ikinci bir katı fazın (daha fazla da olabilir) atomlarının çözünmesi durumu.

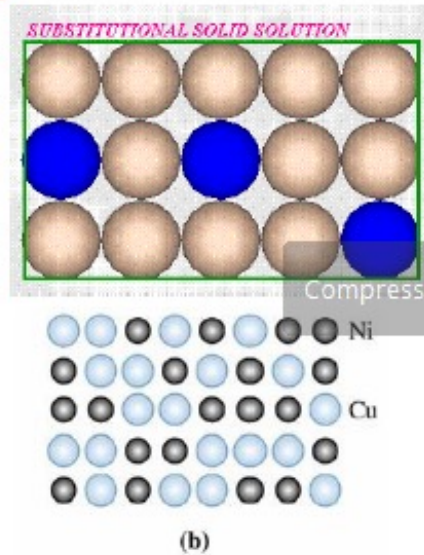
İki şekilde olabilir:

1. İkinci fazın atomları ana fazın atomlarının yerine geçiyorsa **yer alan katı çözelti (substitutional solid solution)**;
2. ikinci fazın atomları, ana faz atomlarının arasındaki boşluklara yerleşiyorsa **arayer katı çözelti (interstitial solid solution)** oluşur.

11

Yer Alan Katı Eriyiği

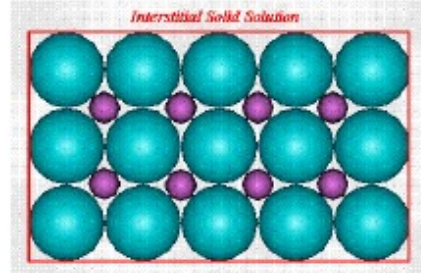
- Atom çapları birbirine yakın maddelerin kafes sistemlerinde **ana yapı içerisinde misafir atomların, ana atomların yerini almasıyla oluşur.**
- Bu tür katı çözeltilerde **yüksek oranda çözünürlük** ortaya çıkar (hatta uygun koşullarda her oranda çözünürlük).



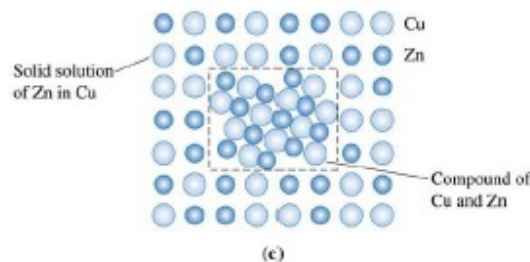
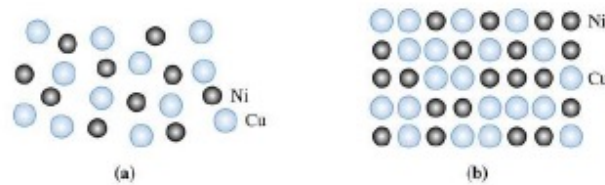
12

Ara Yer Katı Eriyiği

- Ara yer yerleşimi: **Küçük çaplı metal olmayan (C, N, B, O) atomların** ana kristal yapı içerisindeki atomlar arası boşluklara yerleşmesidir.
- Çözünürlük sınırlıdır (azami %1-2).
- **Ana yapının metalik özellikleri değişmez.**



13



©2011 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

(a) Sıvı bakır ve sıvı nikel birbiri içinde tam çözünürdür. (b) Katı bakır-nikel alaşımları tam katı çözünürlük gösterir bakır ve nikel atomları rastgele latis noktalarında yer alırlar. (c) Bakır-çinko alaşımları %30 dan fazla çinko içerirse ikinci faz oluşur çünkü bakır içinde çinko çözünürlüğü sınırlıdır.

14

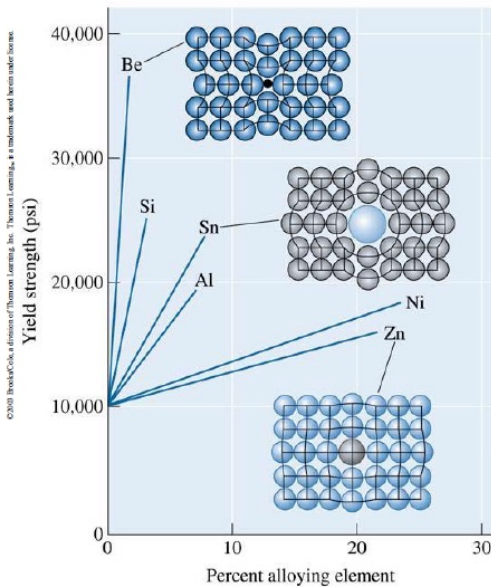
Metallerde Sınırsız Katı /Çözünebilirlik Eriyebilirlik İçin Şartlar



Hume-Rothery Şartları

- 1) Metal atomlarının yarıçapları farklı %15'den büyük olmamalıdır.
- 2) Metaller aynı kristal yapıya sahip olmalıdır.
- 3) Metal atomları aynı valansa sahip olmalıdır.
- 4) Metal atomları yaklaşık aynı elektronegatifliğe sahip olmalıdır.

15



Bakırın akma mukavemeti üzerine değişik alaşımların etkileri. Nikel ve çinko atomları bakır atomları ile yaklaşık aynı büyüklükte ama berilyum ve kalay oldukça farklı boyutlardadır. Atomik boyutlardaki farklar ve alaşımlama miktarındaki değişim katı-eriyik mukavemetlendirmesini artıracaktır.



KATI ÇÖZELTİ SERTLEŞMESİNİN ne kadar etkin olacağı iki faktöre bağlıdır;

1. Ev sahibi ve misafir (yabancı) atomlar arasındaki yarıçap farkı ne kadar fazla ise (yer alan atom için) oluşan mukavemet artışı o kadar büyüktür.
2. Alaşım elementinin miktarı arttıkça oluşan mukavemet artışı o kadar fazla olur.

16

Katı Eriyik Mukavemetlenmesinin Düzeyi



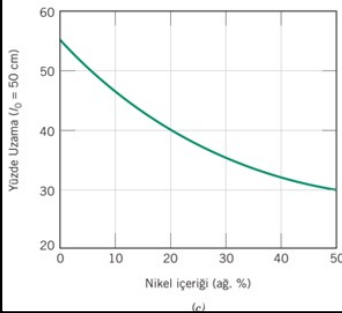
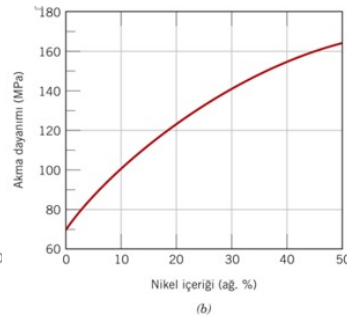
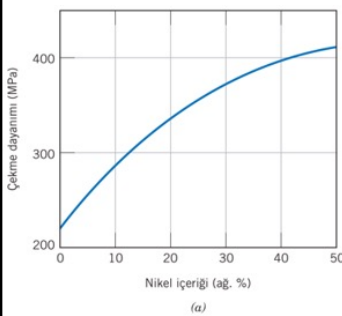
Orijinal (eriten) ve ilave (eriyen) atomlar arasındaki boyut farkı mukavemetlenme etkisini arttıracaktır.

Boyut Farkı ↑ Dislokasyon hareketleri zorlaşır Mukavemet ↑

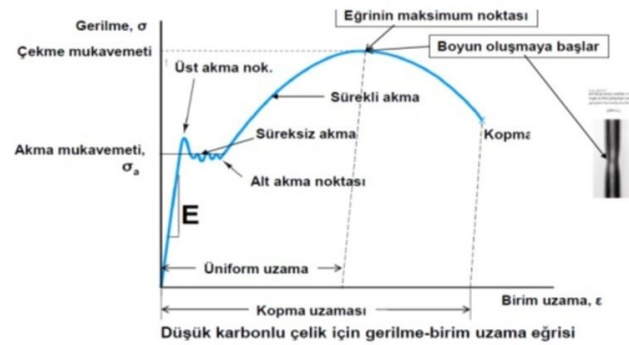
Alaşım Elementi Miktarı ↑ Mukavemet ↑

17

2. Katı Çözelti (Ergiyik) Sertleşmesi

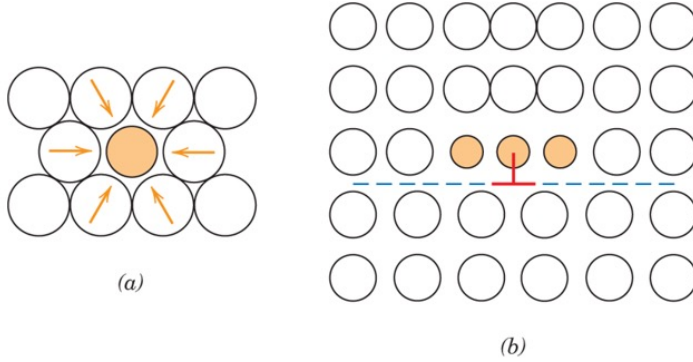


Şekil 7.16 Bakır-nikel alaşımında nikel içeriğiyle (a) çekme dayanımı (b) akma dayanımı ve (c) sünekliğin (% uzama) değişimi



18

2. Katı Çözelti (Ergiyik) Sertleşmesi



Şekil 7.17 (a) Daha küçük çapa sahip yeralan empürite atomlarının, matris atomları üzerine uyguladığı çekme şekil değişiminin şematik olarak gösterilmesi. (b) Empürite atomu ile dislokasyon arasındaki kafes şekil değişimlerini kısmi olarak yok edecek şekilde daha küçük empürite atomlarının kenar dislokasyona göre yerleşebileceği olası konumlar

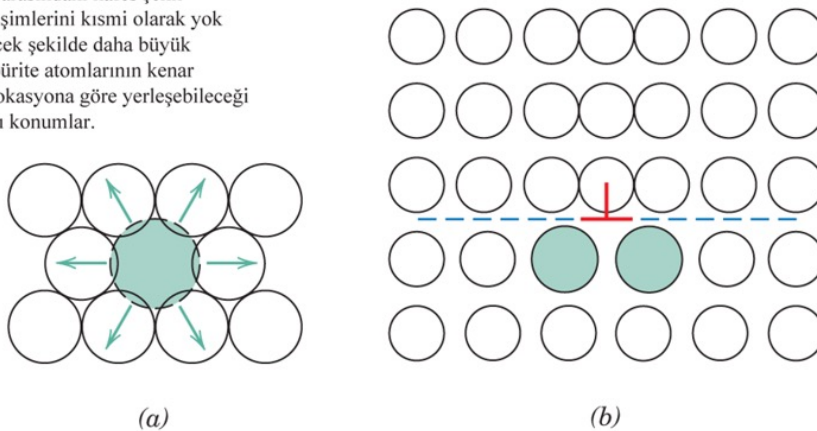
Yabancı atom etrafında aşırı gerilimler oluşur ve bunlarda dislokasyon hareketlerini kısıtlar, engeller.

Küçük çaplı atomlarda bu etki daha fazla.

19

2. Katı Çözelti (Ergiyik) Sertleşmesi

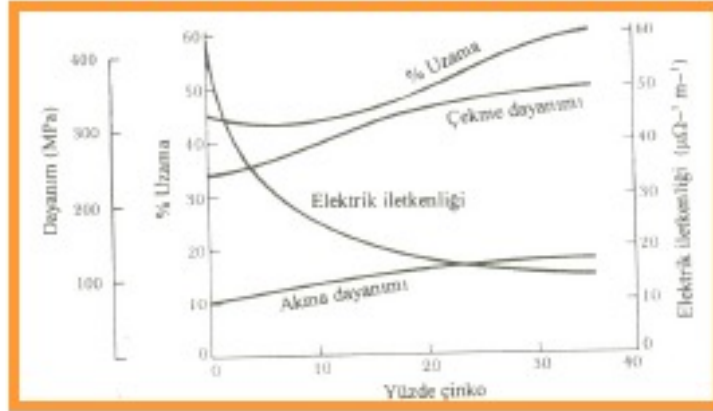
Şekil 7.18 (a) Daha büyük çapa sahip yeralan empürite atomlarının, matris atomları üzerine uyguladığı basma şekil değişiminin şematik olarak gösterilmesi. (b) Empürite atomu ile dislokasyon arasındaki kafes şekil değişimlerini kısmi olarak yok edecek şekilde daha büyük empürite atomlarının kenar dislokasyona göre yerleşebileceği olası konumlar.



Yabancı atom etrafında aşırı gerilimler oluşur ve bunlarda dislokasyon hareketlerini kısıtlar, engeller.

20

Katı Eriyik Mukavemetlenmesinin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi



- ❑ Alaşımlandırma ile
- ❑ Çekme, akma ve sertlik değerleri artar.
- ❑ Süneklik genellikle azalır (bazı Zn-Cu alaşımları hariç).
- ❑ Elektrik iletkenliği azalır.

21

3. Yaşlanma veya Çökelme/Çökelti Sertleşmesi

Üniform olarak dağılmış nanoboyutlu koherant parçaların daha yumuşak ve sünek matris içine çökmesi esasına dayanır. Yaşlanma ile malzemenin akma sınırı, çok kolay ısı işlemleri yardımıyla malzeme yoğunluğu artmadan yükseltilebilir. Örneğin alüminyumun akma dayanımı 20.000 psi'dan 60.000 psi'a çıkarılabilir (3 katına).

YAŞLANMA ISIL İŞLEMİ

1. Basamak: Solüsyona alma
2. Basamak: Soğutma
3. Basamak: Yaşlandırma

HATIRLATMA:

FAZ: fiziksel ve kimyasal özelliklerin değişmediği, her noktasında aynı olduğu homojen yapılardır. Faz, eğer saf bir elementten bahsediyorsak, elementin katı, sıvı ya da gaz hallerini ifade eder.

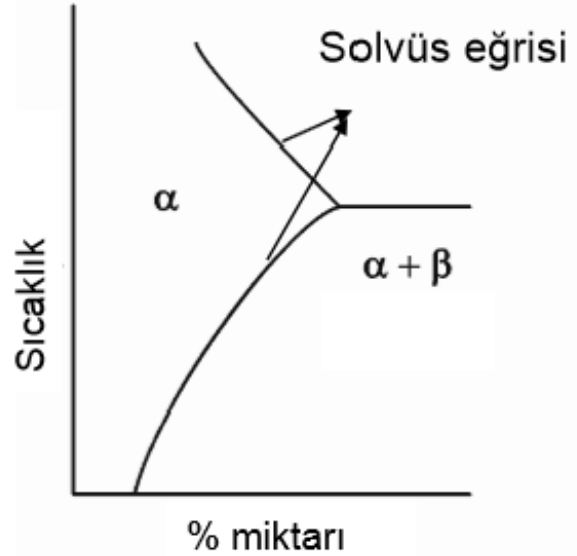
22

Çökelme sertleşmesi (yaşlanma)

İç yapıda, **dislokasyon hareketlerini engelleyerek** dayanımın artmasına sebep olan **çok küçük ve sert ikinci fazların çökeltilmesi** işlemidir.

Hangi sistemlere uygulanır?

- ▶ kısmi katı çözünürlük gösteren yani **solvüs eğrisi** içeren ve
- ▶ **katı çözünürlüğü azalan sıcaklıkla azalan** alaşım sistemlerine uygulanır.
- ▶ Bu sistem sıvı durumda birbiri içerisinde her oranda **katı durumda ise kısmen çözünen metallerin** oluşturduğu alaşım sistemlerine uygulanır.



23

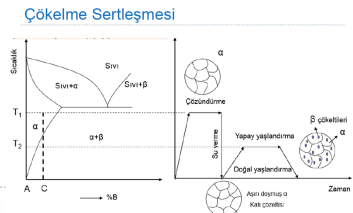
Çökeltme sertleşmesinde adımlar

1. **Çözündürme işlemi (solution treatment):** Malzeme tek faz bölgesine ısıtılarak çökecek olan sert 2. faz, tek faz içerisinde tamamen çözülür.

2. **Ani soğutma (Quenching):** Oda sıcaklığına **ani soğutma** ile 2. fazın **çökmesi engellenir** ve aşırı doymuş katı çözelti elde edilir.

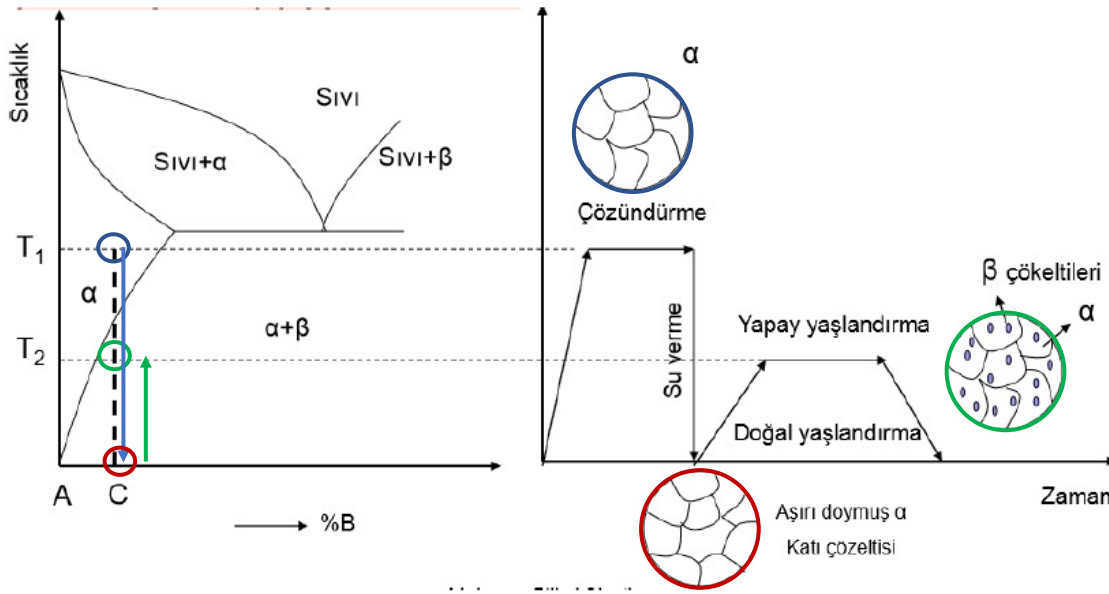
3. **Yaşlandırma işlemi:** aşırı doymuş katı çözelti, çözündürme sıcaklığından daha düşük olan yaşlandırma sıcaklığına tekrar ısıtılarak çok küçük uyumlu (koherent) 2. faz tanecikleri çökeltir. (Bu çökeltirler dislokasyonlara engel teşkil ederek malzemenin dayanımını artırır).

❖ Aşırı yaşlanma: çökelmelerin çok büyüyerek uyumluluğun (koherentliğin) kaybolması (bu durum istenmez).



24

Çökeltme Sertleşmesi



25

Çökeltme sertleşmesinde adımlar

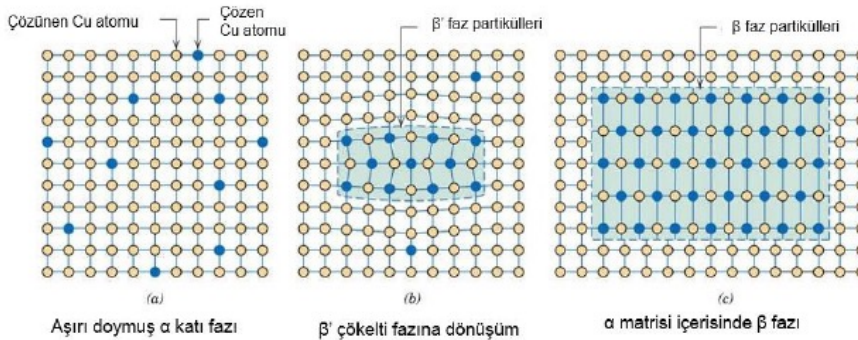
Yaşlandırma işlemi

- ▶ hazırlık devresi,
- ▶ yaşlandırma devresi ve
- ▶ aşırı yaşlandırma devresi olmak üzere üç aşamayı içerir.

26

Çökeltme sertleşmesinde adımlar

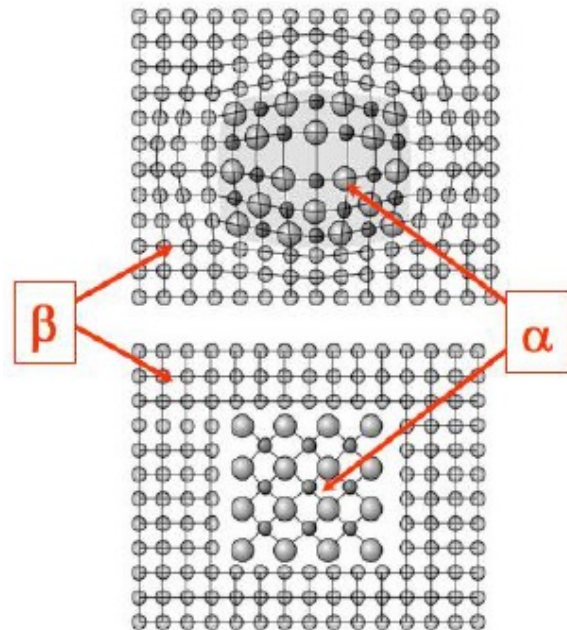
- Kuluçka devresi de denilen hazırlık devresinde, fazlalık **atomlar bir araya gelip kümelenerek ilk embriyoyu** meydana getirirler.
- Yaşlandırma esnasında fazlalık atomlar **çökelti fazının çekirdeklerini** oluşturur. Yaşlandırma esnasında oluşan ara kristal yapısı veya geçiş kafesi matrisin kafes yapısı ile uyumludur.



27

Çökeltme sertleşmesinde adımlar

- **Çökeltmenin ilk aşamasında**, çok küçük **koherent-GP bölgeler** (Guinier preston zones) oluşur,
- GP bölgeleri genelde **dislokasyon altındaki boşluklarda çekirdeklenir** (sistemin enerjisini düşürmek için) ve **dislokasyon hareketlerini engeller**.
- Bu bölgeler, daha büyük uyumlu (koherent) çökeltilere dönüşür. **Uyumlu çökelti kafesi aşırı gererek dayanım artışı oluştururlar**.
- Daha sonra **sıcaklığın veya zamanın gerekenden yüksek tutulması** halinde **tane büyümesi** gerçekleşir. **Dayanım düşmeye başlar**.

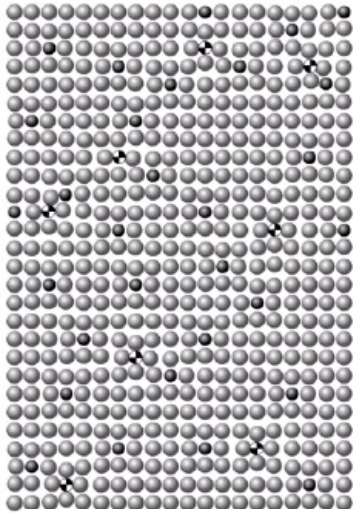


28

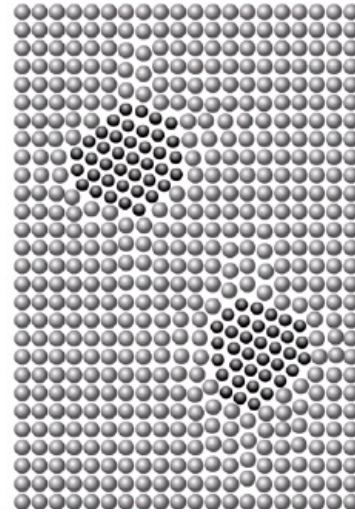
Çökeltme sertleşmesinde adımlar

Çözündürme sonrası

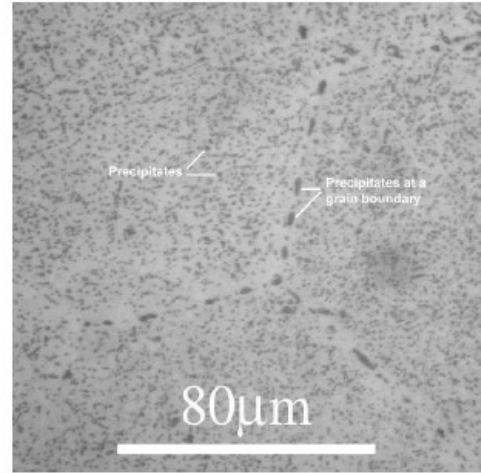
Yaşlandırma sonrası



Doymuş tek fazlı



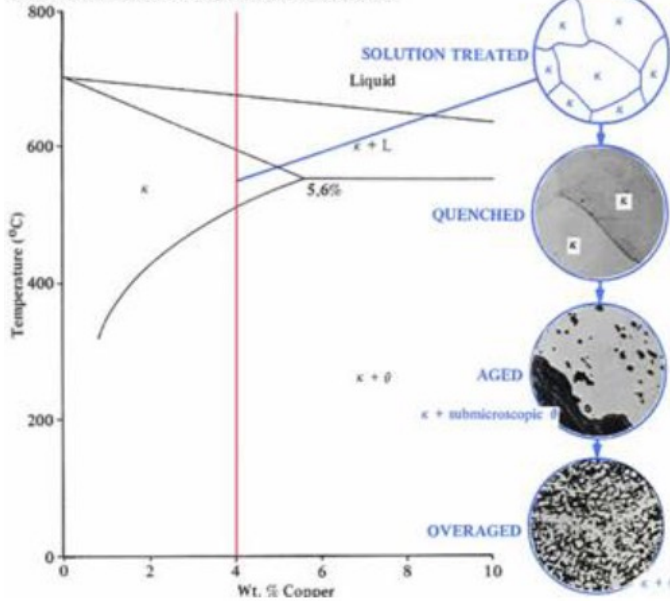
Çökelti oluşmuş iki fazlı



29

Çökeltme sertleşmesinde adımlar

ALUMINIUM – COPPER EQUILIBRIUM DIAGRAM



Çözündürme öncesi tek fazlı

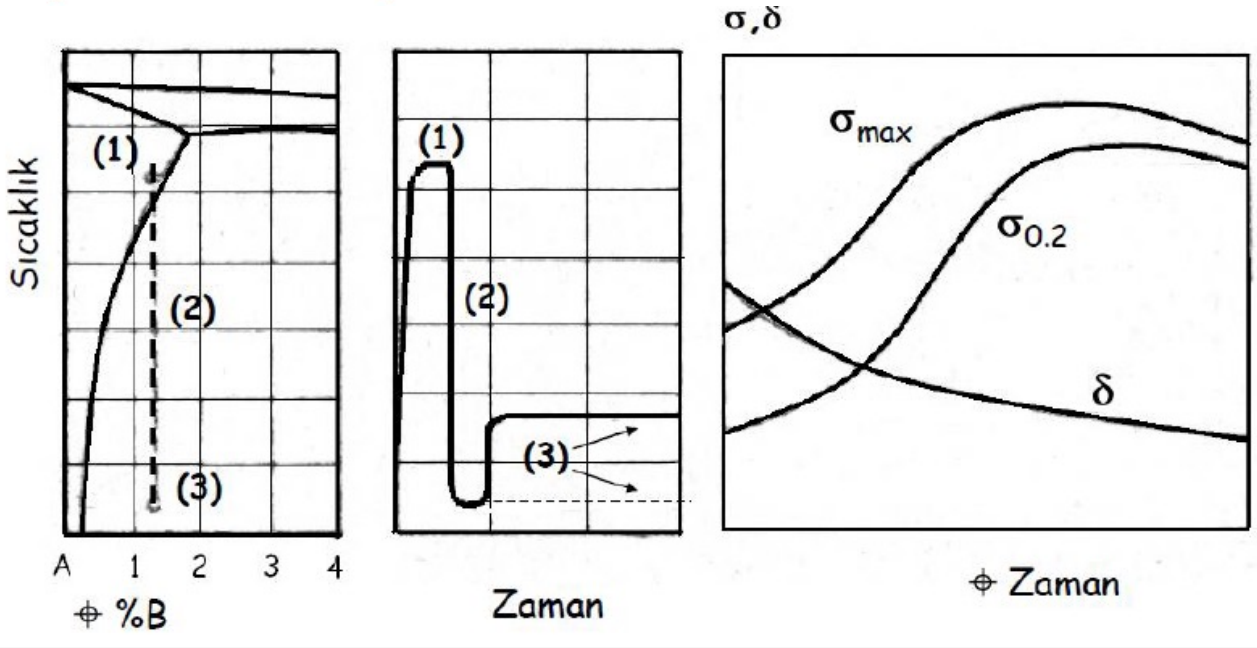
Çözündürme sonrası doymuş tek fazlı

Yaşlandırma sonrası çökelti oluşmuş çift fazlı

Aşırı doymuş çökelti Oluşmuş ve irilişmiş çift fazlı

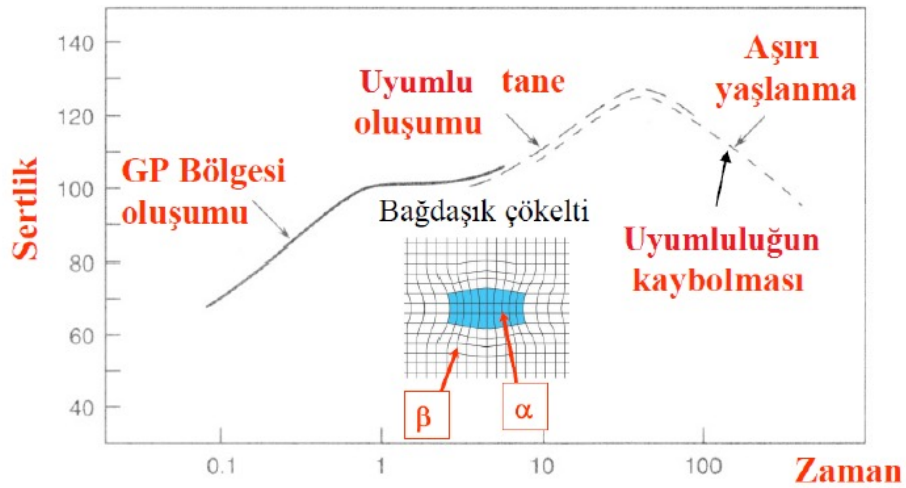
30

Çökeltme sertleşmesinde adımlar



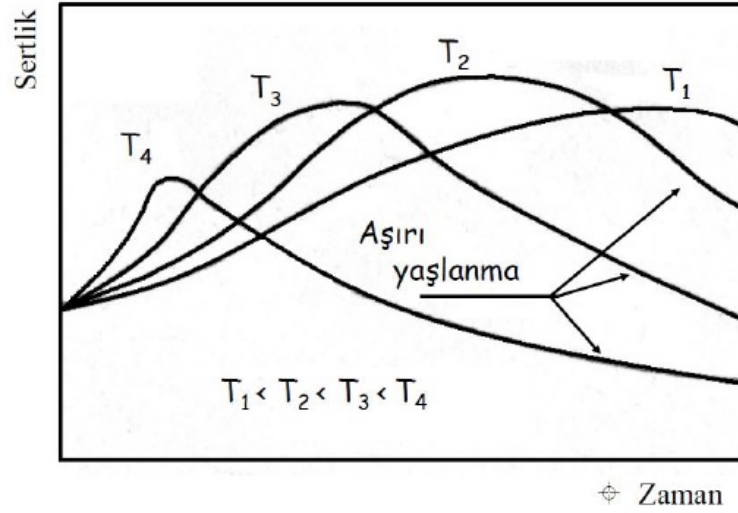
31

Çökeltme sertleşmesinde adımlar



Yaşlandırma ısısal işleminde **sürenin iç yapıya** ve dolayısıyla **malzeme özelliklerine etkisinin** şematik gösterimi.

32



Yaşılandırma ısısal işleminde sıcaklığın malzeme özelliklerine etkisinin şematik gösterimi.

33

4. Dispersiyon Sertleşmesi



Dispersiyon ile Sertleşmenin Prensipleri

- ❑ Birden fazla fazın bulunması zorunludur.
- ❑ Genellikle sürekli ve çok miktarda bulunan faz matris olarak ve küçük miktarda bulunan ikinci faz ise çökelti olarak adlandırılır.

34

4. Dispersiyon Sertleşmesi

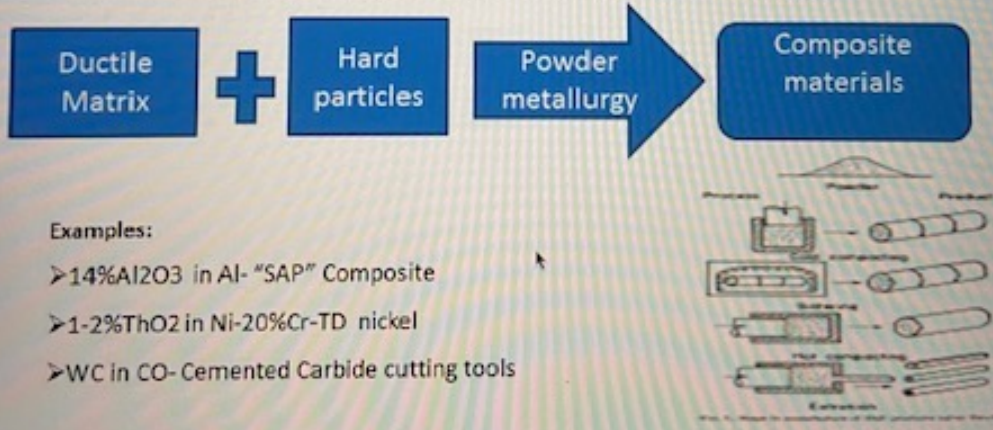
- Bu sertleştirme işlemi prensip olarak çökelme sertleştirmesinin aynıdır. Çökelme sertleştirmesinin dispersiyon sertleştirmesinden farkı, çökelme sertleştirmesinde ikinci fazın katı eriyikten çökerek tabii olarak oluşması, dispersiyon sertleşmesinde ise ikinci fazın ince tanecikler halinde matris fazı oluşturan malzeme içinde fiziksel olarak dağıtılmasıdır.
- Matris içerisinde çok küçük taneler halinde ikinci fazın bulunması durumunda malzemenin mukavemetinin artmasının nedenleri, deformasyon sırasında ikinci faz tanelerinin dislokasyonların hareketini engellemeleri ve de malzemede dislokasyon yoğunluğunun artmasına sebep olmalarından kaynaklanmaktadır.

35

4. Dispersiyon Sertleşmesi

Birinci fazın matrisi içinde ikinci faz partiküllerinin homojen dağıtılmasına bağlı dislokasyonların çivilenmesine (pining) sağlayan bir işlem

Normalde Sert parçacıkların boyut aralığı (1nm den 1 μ m

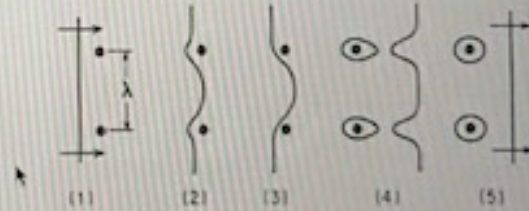


36

4. Dispersiyon Sertleşmesi

Orowan Modeli

- Orowan eğilme modeliyle dislokasyonların engelleri bypass ederek geçmesi
- Aralarında λ kadar mesafe olan iki parçacık arasında bir dislokasyon çizgisini eğmek için gereken kayma gerilmesi $\tau \sim Gb / \lambda$
- Düz bir dislokasyon çizgisi parçacıklara ulaşır.
- Araya giren çizgi eğilir
- Kritik bir yarıçapa ulaşır
- Her parçacığın etrafında bir halka bırakarak engellerden ayrılır



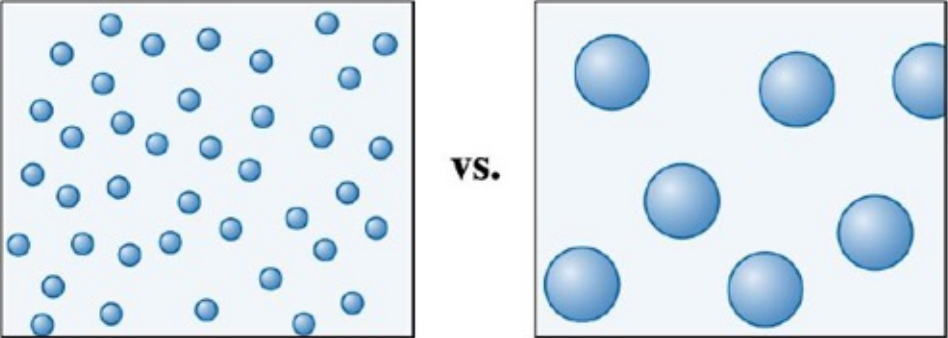
37

4. Dispersiyon Sertleşmesi

İkinci Faz Parçacıklarla Sertleşmeyi Etkileyen Faktörler

- 1- Parçacık veya Çökeltinin Sertliği
- 2- Parçacık veya Çökeltinin şekli
- 3- Parçacık veya Çökeltinin Büyüklüğü
- 4- Parçacık veya Çökeltilerin Hacimsel Oranı
- 5- Parçacık veya Çökeltilerin yapıdaki dağılımı

38



vs.

(b)

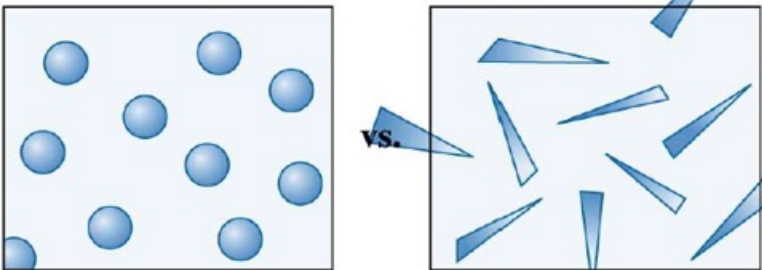
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

Verimli dispersiyon sertleştirmesi için gerekler

(b) Disperse olmuş faz küçük ve sayısı fazla olmalı.

39

4. Dispersiyon Sertleşmesi



vs.

(c)

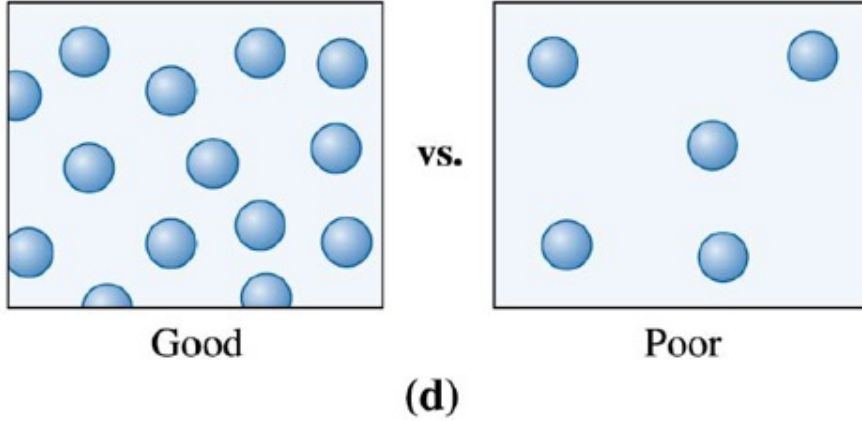
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

Verimli dispersiyon sertleştirmesi için gerekler.

(c) Disperse faz partikülleri iğneselden çok yuvarlak şekilli olmalıdır.

40

4. Dispersiyon Sertleşmesi



Verimli dispersiyon sertleştirilmesi için gerekler.

(d) Disperse fazın miktarı çoğaldıkça mukavemet artar.

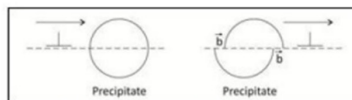
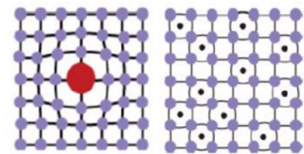
41

4. Dispersiyon Sertleşmesi & Çökelme Sertleşmesi: FARKLAR

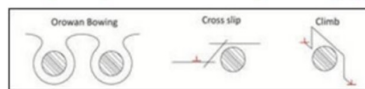
Çökelme
sertleştirilmesinin
dispersiyon
sertleştirilmesinden farkı,
çökelme
sertleştirilmesinde ikinci
fazın katı eriyikten
çökerek tabii olarak
oluşması, dispersiyon
sertleştirilmesinde ise ikinci
fazın ince tanecikler
halinde matris fazı
oluşturan malzeme
içinde fiziksel olarak
dağıtılmasıdır.

Dispersiyon Sertleşmesiyle Çökelme Sertleşmesi Arasındaki Farklar

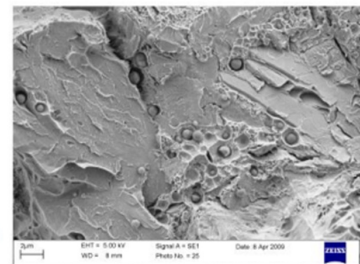
- ÇS de bağdaşıklık vardır, DS de yok
- DS tüm sıcaklıklarda kararlı iken ÇS değil
- DS de zaman faktörü önemli değil
- DS ile herhangi bir alaşım yapılabilir
- DS de kimyasal kararlılık daha fazla
- ÇS izotropik, DS anizotropik



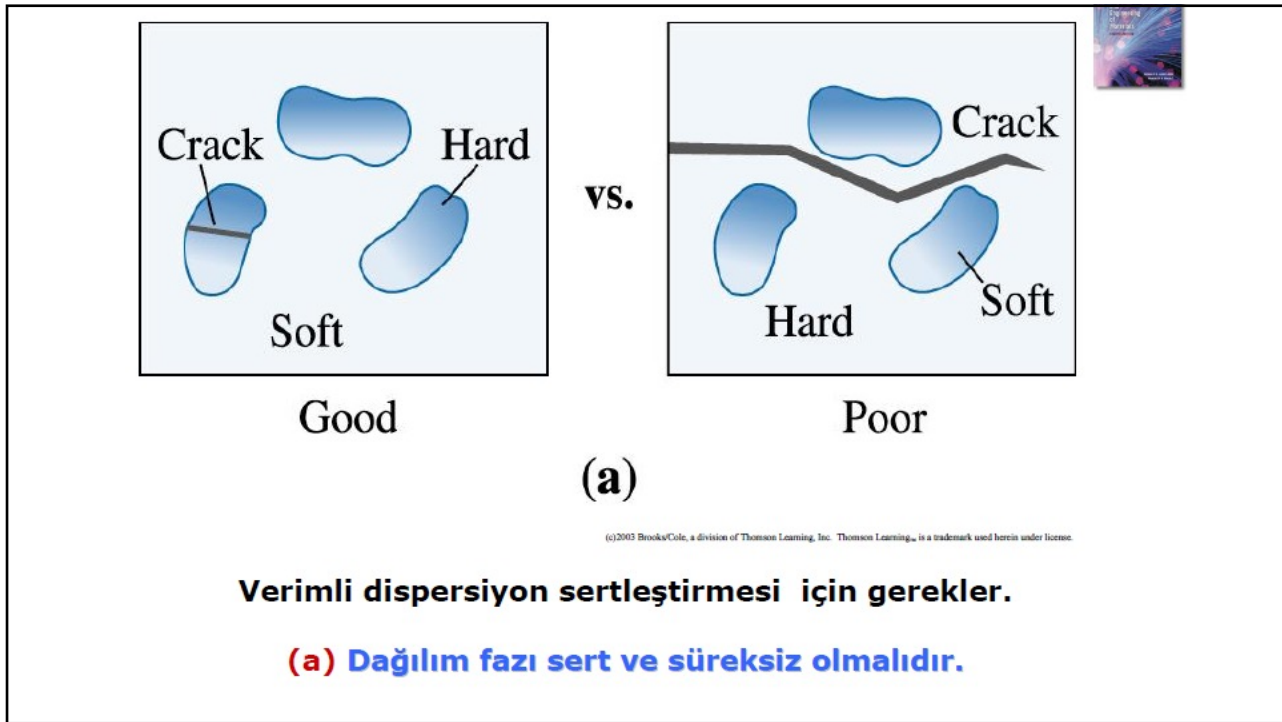
Koherent çökeltiliyi bir kenar dislokasyonunun geçişi.



nispeten büyük ve küçük bağdaşıklığa sahip bir çökeltili ile dislokasyon arasındaki karşılıklı etkileşim



42



43

5. Soğuk Şekil/ İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi

Soğuk işlem malzemeye plastik şekil verme yöntemleriyle uygulanır.

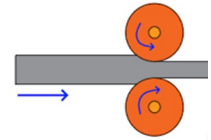
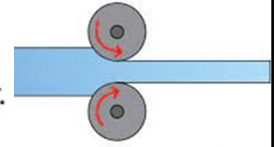
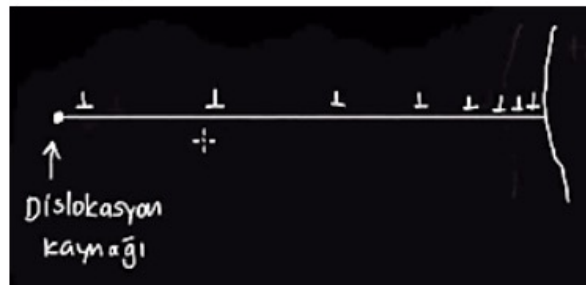
Plastik şekillendirme **hem dislokasyonların hareketini sağlar, hem de yeni dislokasyonların oluşumuna sebep** olur.

Soğuk işlem sonunda mukavemetin artması deformasyon sertleşmesi nedeniyledir.

Deformasyon sertleşmesi, dislokasyonların birbirleri ve dislokasyonların hareketini zorlaştıran çeşitli engeller ile etkileşimi sonucunda olur.

44

- Plastik deformasyon sırasında, dislokasyonlar kayma düzlemlerinde kayarak hareket ederler.
- Fakat bu sırada yeni dislokasyonlar meydana gelir ve yoğunlukları artar.
- Sayılarının artması ile birbirlerinin hareketini engellemeye veya başka engellere (boşluk, yer alan, ara yer, tane sınırı, faz sınırı, çökelti, vs.) takılmaya başlarlar.
- Böylece hareketleri için daha yüksek gerilmeler gerekir.
- Bu durum **deformasyon sertleşmesi** veya **PEKLEŞME** (strain hardening-work hardening) olarak adlandırılır.



45

5. Soğuk Şekil/ İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi

- Bazı durumlarda plastik deformasyon derecesini ifade etmek için birim şekil değişimi yerine daha kullanışlı olan **yüzde soğuk şekil değişimi** ifadesi kullanılır. A_0 , deformasyon öncesi ilk kesit alanı ve A_d ise deformasyon sonrası kesit alanı olmak üzere soğuk şekil değişimi yüzdesi (% SŞD) ,

Yüzde soğuk şekil değişimi—ilk ve deformasyon sonrası kesit alanıyla olan ilişkisi

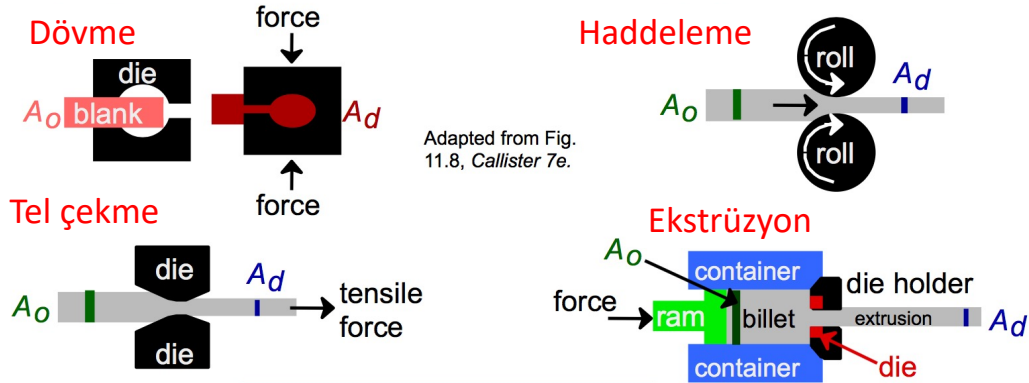
$$\% \text{ SŞD} = \left(\frac{A_0 - A_d}{A_0} \right) \times 100 \quad (7.8)$$

olarak tanımlanır.

46

5. Soğuk Şekil/ İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi

- Room temperature deformation.
- Common forming operations change the cross sectional area:

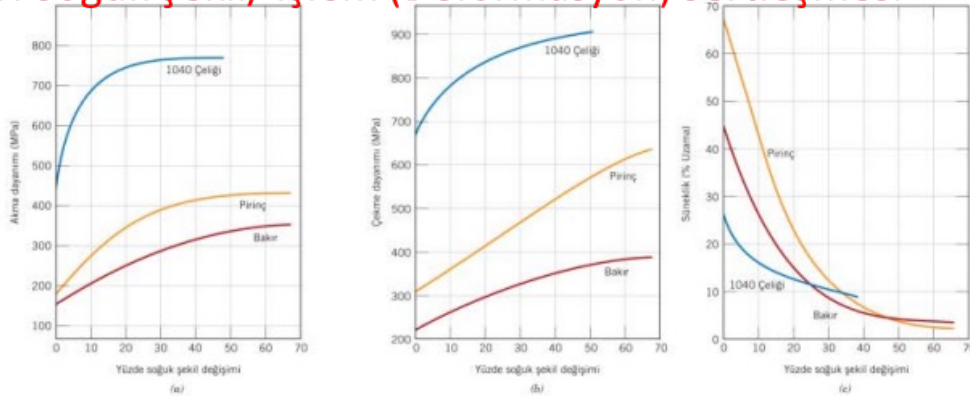


Yüzde Soğuk şekil
verme değişimi (CW)

$$\%CW = \frac{A_o - A_d}{A_o} \times 100$$

47

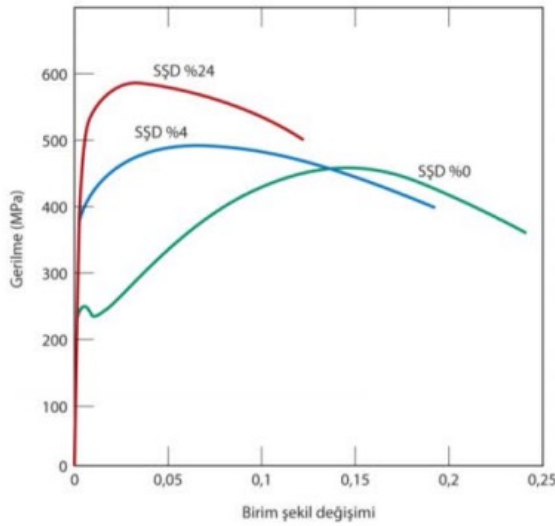
5. Soğuk Şekil/ İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi



Şekil 7.19 1040 çeliği, pirinç ve bakırda artan soğuk şekil değişimi yüzdesiyle (a) akma dayanımındaki artış (b) çekme dayanımındaki artış, ve (c) sınırlılıkteki (%uzama) azalma. [Metals Handbook: Properties and Selection: Irons and Steels, Vol. 1, 9th edition, B. Bardes (Editor), American Society for Metals, 1978, p. 226; and Metals Handbook: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals, Vol. 2, 9th edition, H. Baker (Managing Editor), American Society for Metals, 1979, p. 276-327.]

48

5. Soğuk Şekil/ İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi



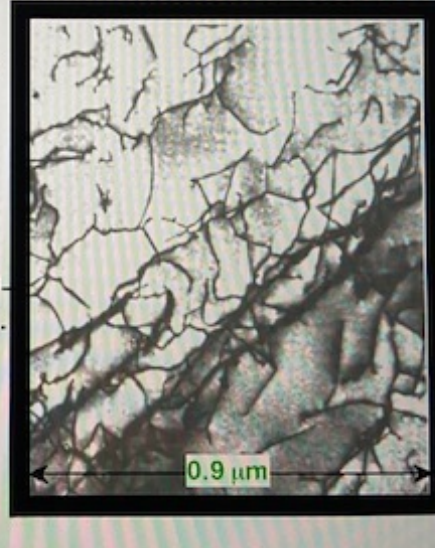
Şekil 7.20 Soğuk şekil değişiminin düşük karbonlu çeliğin gerilme-birim şekil değişimi davranışına etkisi; eğriler SSD'nin % 0, % 4 ve % 24 değerleri için çizilmiştir.

Winc

49

5. Soğuk Şekil/ İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi

- Soğuk şekil değiştirmiş yapı, deformasyon sertleşmesinin giderilmediği (0,0 - 0,5 Tm) bir sıcaklık bölgesine plastik deformasyon uygulandığında meydana gelir.
- Soğuk şekil değiştirmiş yapı $\sim 10^8 - 10^{10} \text{ mm}^{-2}$ dislokasyon içerirken, tavlınmış yapı, $\sim 10^3 - 10^4 \text{ mm}^{-2}$ dislokasyona sahiptir.
- Dislokasyonlar soğuk şekil verme sırasında birbirleriyle takılır/karışır. Bu nedenle dislokasyon hareketi daha zor hale gelir.

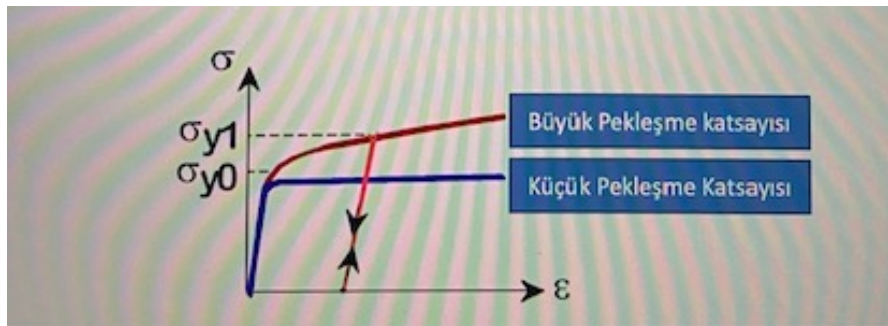


50

5. Soğuk Şekil/ İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi

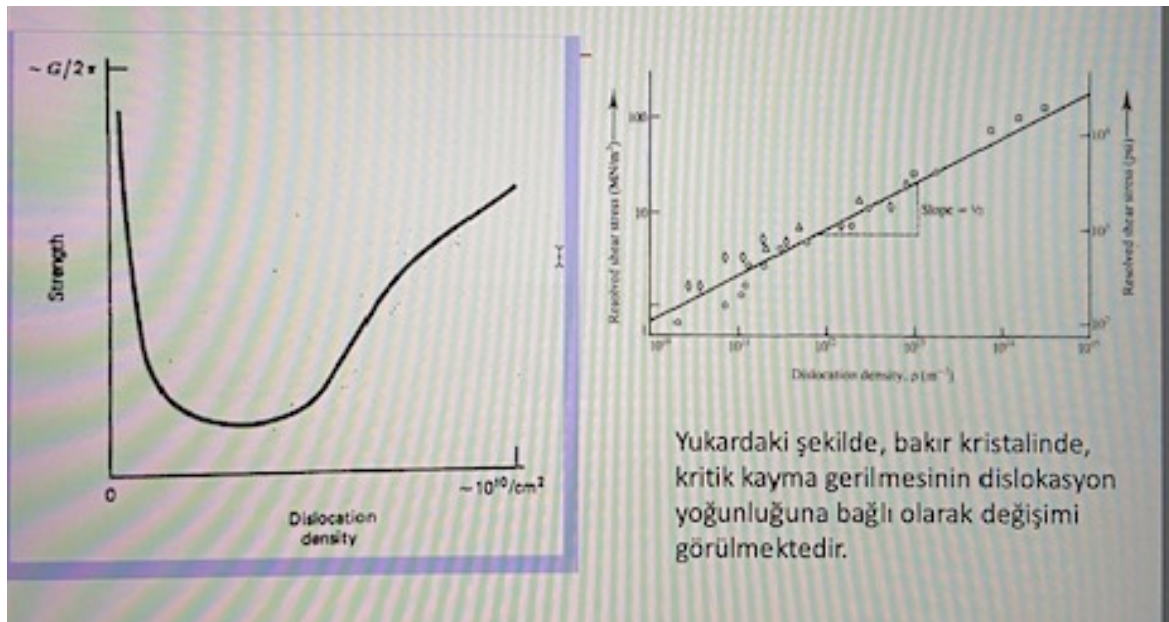
Soğuk Şekil Verme Sonucu:

- Dislokasyon yoğunluğu artar
- Bu da akma ve çekme mukavemetinde artışa döneklilikte düşüşe sebep olur.



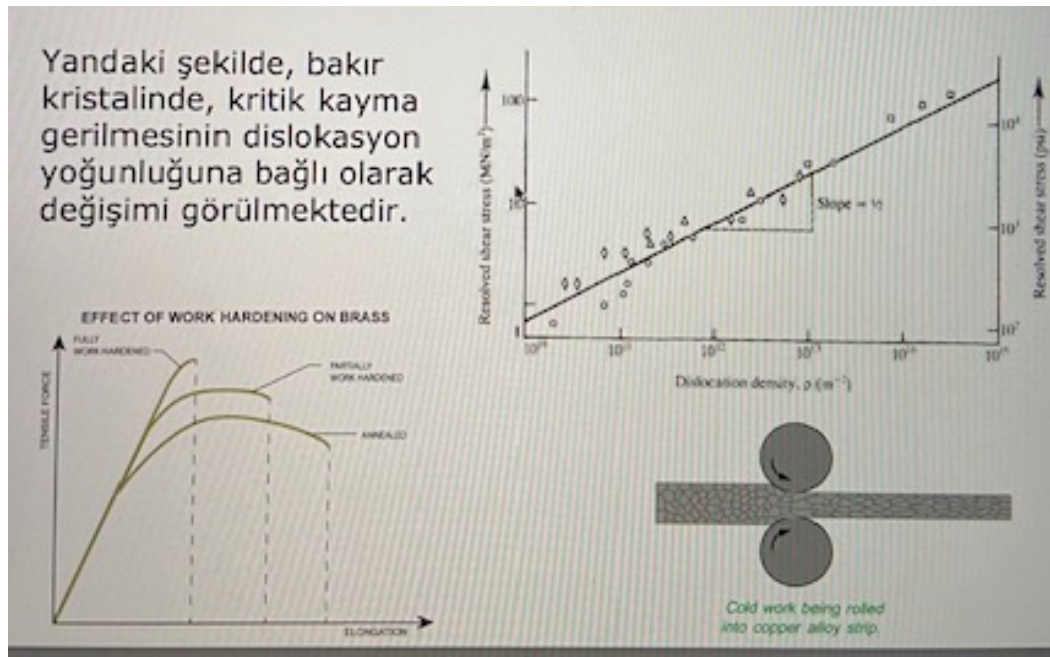
51

5. Soğuk İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi



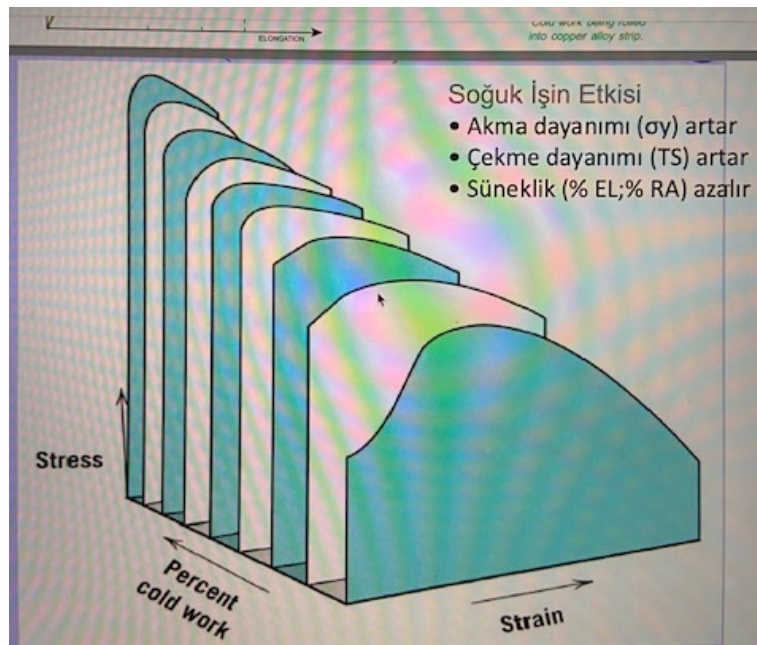
52

5. Soğuk İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi



53

5. Soğuk İşlem (Deformasyon) Sertleşmesi



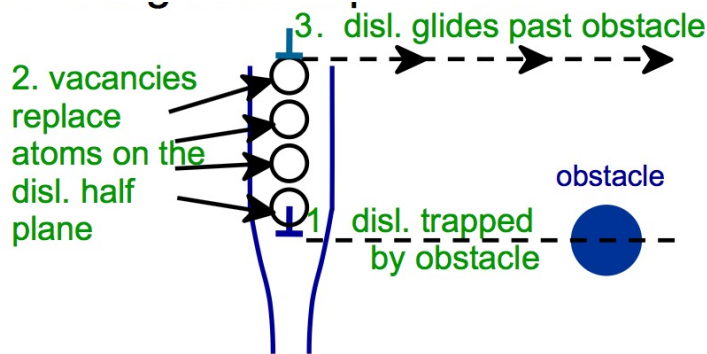
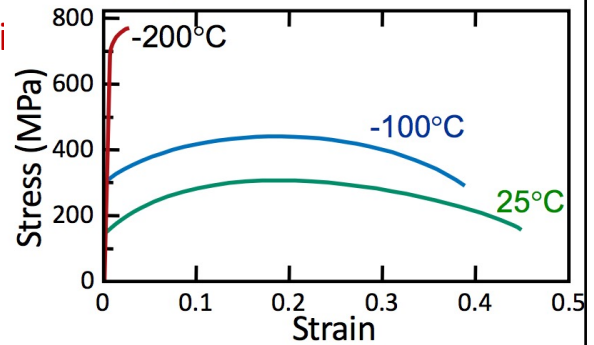
54

Sıcaklık ile Mukavemet-Süneklik İlişkisi

Polikristalin demir için sıcaklığı bağlı gerilme gerinim eğrisi

Akma ve Çekme dayanımları test sıcaklığı artışı ile düşerken süneklik artmaktadır.

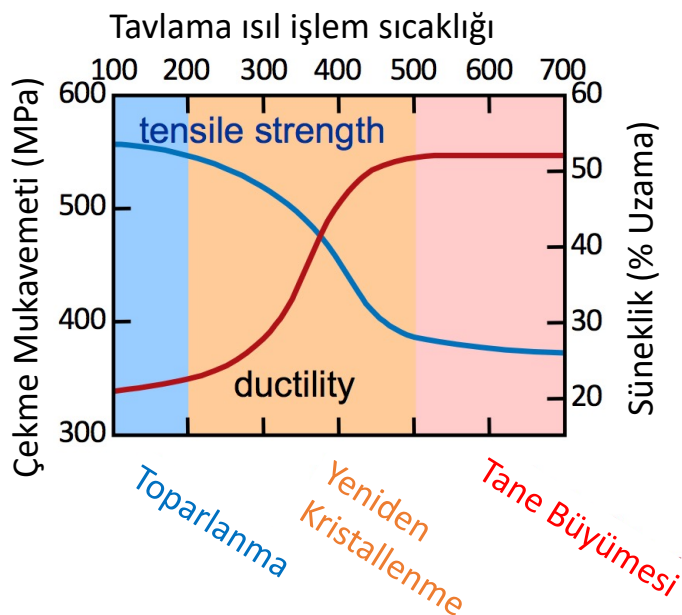
Neden?



- Peklesme ile oluşan yüksek dislokasyon yoğunluklu yapıda sıcaklıkla atomlar boşluklara difüze olmakta ve yarım düzlemleri tamamlamaktadır. Bu şekilde dislokasyon hareketini önündeki engeller kaybolmaktadır.

55

Soğuk İşlem Sonrası Isıl İşlemin Etkisi (TAVLAMA)

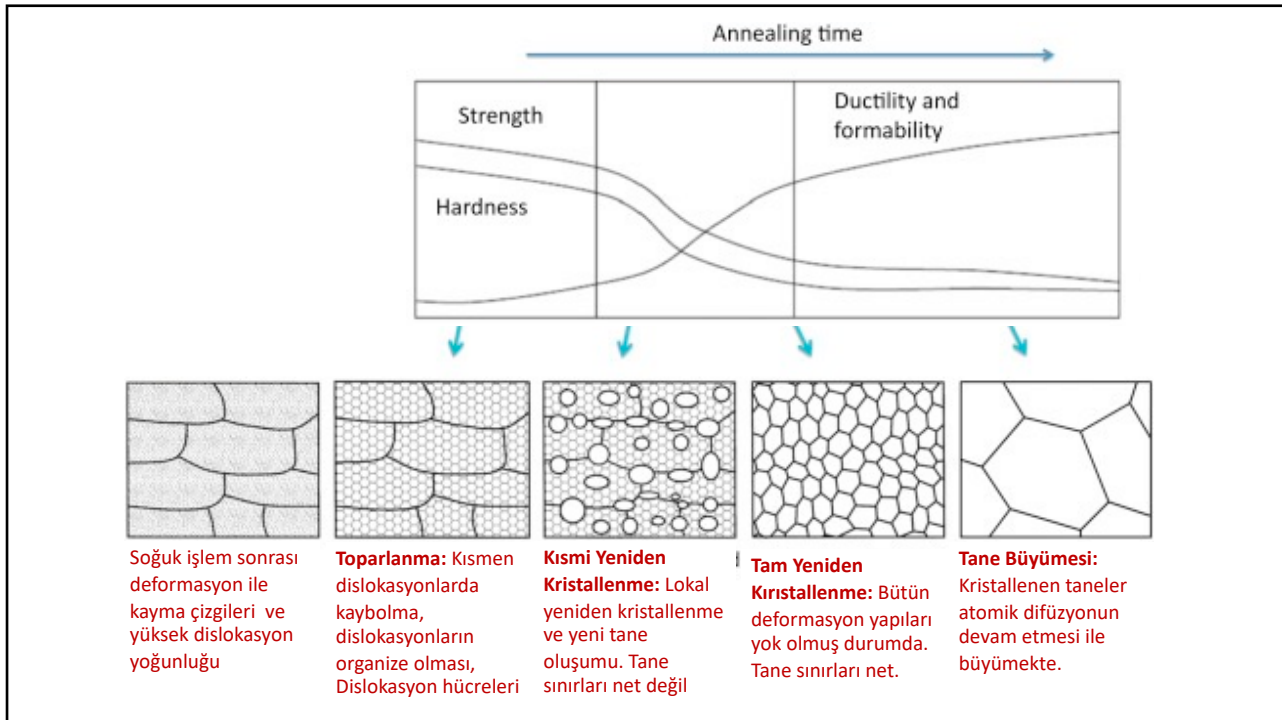


Soğuk işlem sonrası 1 saat süre ile tavlama ısısal işlemi sonrası çekme mukavemeti düşerken süneklik (% Uzama) artmaktadır.

Tavlama ısısal işlemi mikroyapıda gerçekleşen değişime bağlı olarak 3 adımdan oluşmaktadır.

1. Toparlanma
2. Yeniden Kristallenme
3. Tane Büyümesi

56



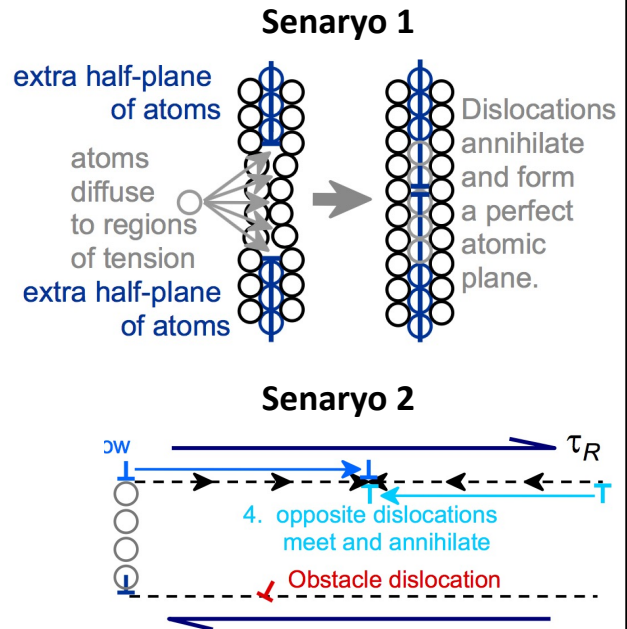
57

Tavlama Adımları: Toparlanma

Toparlanma adımı dislokasyonların bir kısmı kaybolur ken dislokasyonlar toparlanmakta ve organize olmaktadır. Mekanik değerler çok az değişmekle birlikte iç stress azalır

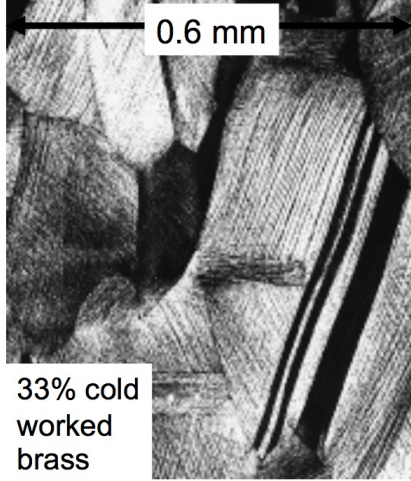
Senaryo 1: Isıl işlem ile atomlar dislokasyon oluşumu ile ortaya çıkan yarım düzlemlerdeki boşluklara difüze olarak düzlemleri tamamlamaktadırlar

Senaryo 2: Farklı yönlerdeki dislokasyonlar bir araya gelerek yarım düzlemler birbirini tamamlamakta ve dislokasyonlar kaybolmaktadır.

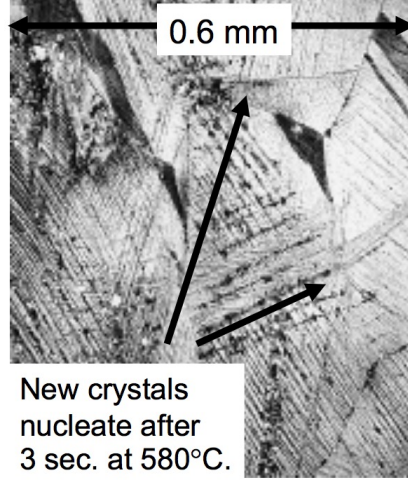


58

Tavlama Adımları: Toparlanma



Soğuk işlem sonrası kayma çizgileri ve yüksek dislokasyon yoğunluğu

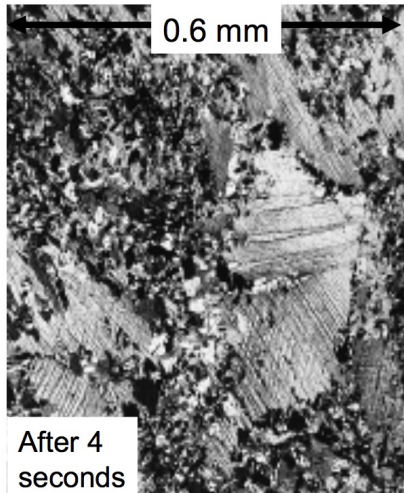


Toparlanma: Kısmen dislokasyonlarda kaybolma, dislokasyonların organize olması, Dislokasyon hücreleri

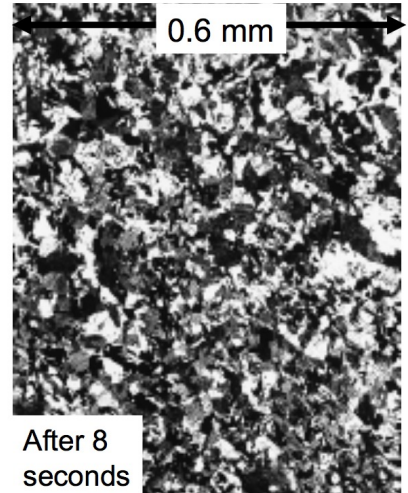
Adapted from Fig. 7.21 (a),(b), Callister 7e. (Fig. 7.21 (a),(b) are courtesy of J.E. Burke, General Electric Company.)

59

Tavlama Adımları: Yeniden Kristallenme



Kısmi Yeniden Kristallenme: Lokal yeniden kristallenme ve yeni tane oluşumu. Tane sınırları net değil

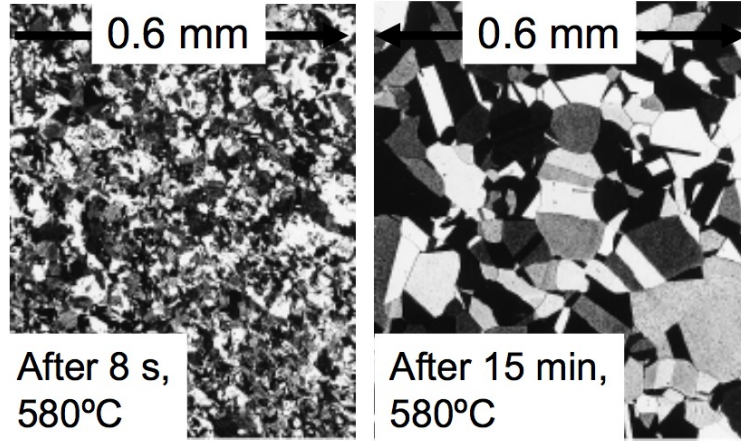


Tam Yeniden Kristallenme: Bütün deformasyon yapıları yok olmuş durumda. Tane sınırları net.

Adapted from Fig. 7.21 (c),(d), Callister 7e. (Fig. 7.21 (c),(d) are courtesy of J.E. Burke, General Electric Company.)

60

Tavlama Adımları: Tane Büyümesi

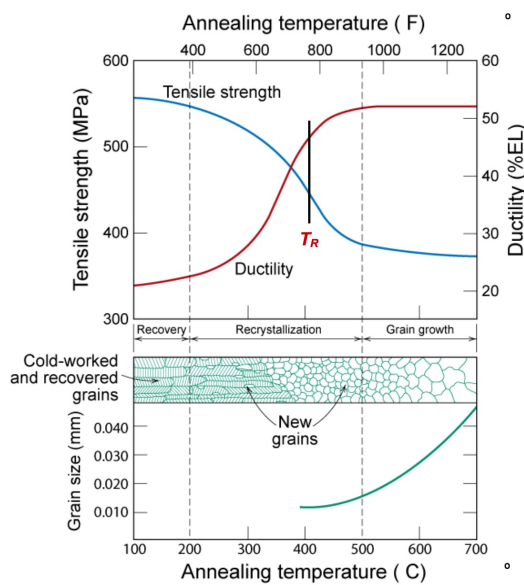


Adapted from
Fig. 7.21 (d),(e),
Callister 7e.
(Fig. 7.21 (d),(e)
are courtesy of
J.E. Burke,
General Electric
Company.)

Yüksek sıcaklıkta ve uzun süre tavlama işlemi uygulandığında taneler büyümeye başlamaktadır. Tane Büyümesi: Kristallenen taneler atomik difüzyonun devam etmesi ile büyümekte.

61

Tavlama Adımları: Yeniden Kristallenme Sıcaklığı



- Tam yeniden kristallenmenin gerçekleştiği sıcaklık değeri yeniden kristallenme sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır.

T_R = Yeniden Kristallenme Sıcaklığı

Soğuk işlem: Yeniden Kristallenme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda gerçekleşen plastik şekil verme işlemleridir.

Sıcak işlem: Yeniden Kristallenme sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda gerçekleşen plastik şekil verme işlemleridir.

62