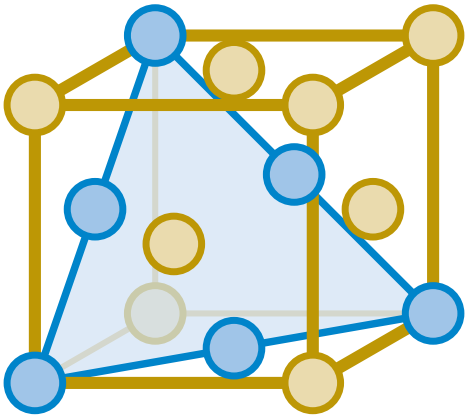
MALZEME BİLİMİ

SORU KİTABI

ÖRNEK SAYFALAR

13 ünite · 180 soru · adım adım çözümler



Ertan Sinan Şahin

ertansinansahin.com

Bu kitap nasıl kullanılır?

- Her ünite, soruların dayandığı tanım ve formülleri özetleyen bir hatırlatma kutusuyla açılır.
- Zorluk: ★☆☆ temel ★★☆ orta ★★★ ileri. Her ünitede birkaç çoktan seçmeli kavram sorusu vardır; ünitenin son sorusu, birden çok konuyu birleştiren sınav tipi bir karma sorudur.
- Her sorunun altındaki noktalı alan sizin çözümünüz içindir. Önce kendiniz çözün; takıldığınızda hatırlatma kutusuna ve ders notuna dönün, çözüme en son bakın.
- Bütün çözümler kitabın sonundadır. Sorunun yanındaki Çözüm → bağlantısı çözüme, çözümdeki ← Soru bağlantısı soruya götürür. Kısa cevaplar **CEVAP** kutusundadır. Gerektiğinde çözüm varsayımlarla başlar ve kullandığı Ek tablosunu adıyla anar.
- **Ek tablolar ve diyagramlar:** Element verileri, mekanik ve fiziksel özellikler, difüzyon verileri, hata fonksiyonu, faz diyagramları, dönüşüm (TTT, CCT) ve Jominy eğrileri ile elektrot potansiyelleri kitabın sonundaki Ek'tedir. Sorular yalnız bu Ek ile ve soru metnindeki verilerle çözülür; tablodaki iki satır arasında kalan değerler doğrusal enterpolasyonla bulunur.
- **İleri ünite: 13.** Fiziksel özellikler (elektriksel, ısıl, manyetik ve optik) derslerin yalnız bir kısmında işlenir; içindekilerde İLERİ diye işaretlenmiştir. Dersiniz bu konuları kapsamıyorsa bu üniteyi atlayabilirsiniz.
- **Vize ve final:** Üniteleri kendi izlencenize göre seçin. Bütün sorular SI birimlerindedir.

İçindekiler

Sayfa numaraları tam kitaba aittir. Renkli üniteler bu örnekte vardır; tıklayınca o üniteye gidersiniz.

1 Giriş, Atom Yapısı ve Atomlar Arası Bağ ..... 12 soru 4

2 **Kristal Yapılar** ..... 18 soru 11

3 Kristal Kusurları ..... 14 soru 21

4 Difüzyon ..... 12 soru 29

5 **Mekanik Özellikler** ..... 18 soru 36

6 Dislokasyonlar ve Pekleştirme Mekanizmaları ..... 12 soru 46

7 Hasar ..... 14 soru 54

8 **Faz Diyagramları** ..... 18 soru 64

9 Demir–Karbon Sistemi ve Faz Dönüşümleri ..... 14 soru 73

10 Isıl İşlem ve Metal Alaşımları ..... 14 soru 80

11 Seramikler, Polimerler ve Kompozitler ..... 14 soru 88

12 Korozyon ve Bozunma ..... 10 soru 96

13 Fiziksel Özellikler İLERİ ..... 10 soru 102

Çözümler 108

Ek: Tablolar ve Diyagramlar 182

2. ÜNİTE
KRİSTAL YAPILAR

örgü parametresi ve atom yarıçapı

BK: $a = 2R$, HMK: $a = \dfrac{4R}{\sqrt{3}}$, YMK: $a = 2\sqrt{2}R$

teorik yoğunluk $\rho = \dfrac{nA}{V_C N_A}$

atomik dolgu faktörü $\mathrm{ADF} = \dfrac{n\frac{4}{3}\pi R^3}{V_C}$

SDH hücre (6 atom)

$V_C = \dfrac{3\sqrt{3}}{2}a^2 c$, $\left(\dfrac{c}{a}\right)_{\text{ideal}} = 1.633$

yarıçap oranı r_K/r_A ve koordinasyon sayısı (KS)

0.225–$0.414 \to 4$, 0.414–$0.732 \to 6$, $\geq 0.732 \to 8$

doğrusal ve düzlemsel yoğunluk

$\mathrm{LD} = \dfrac{N_{\text{doğru}}}{L}$, $\mathrm{PD} = \dfrac{N_{\text{düzlem}}}{S_{\text{düzlem}}}$

kübik düzlemler arası uzaklık

$d_{hkl} = \dfrac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$

Bragg yasası $n\lambda = 2d_{hkl}\sin\theta$

HMK'de yansıyan düzlemler $h + k + l$ çift

YMK'de yansıyan düzlemler

h, k, l hepsi tek ya da hepsi çift

Miller–Bravais düzlem $(hkil)$: $i = -(h + k)$

doğrultu $[uvw] \to [UVTW]$

$U = \frac{2u - v}{3}$, $V = \frac{2v - u}{3}$, $T = -(U + V)$, $W = w$

Atom kütlesi, kristal yapı, örgü parametreleri (a, c), atom yarıçapı ve yoğunluk Tablo M-1'den, iyon yarıçapları Tablo M-2'den okunur; Ek'te bulunmayan değerler soru metninde verilir. Atomlar sert küre kabul edilir: metalde en yakın komşular birbirine değer, iyonik yapıda katyon ile anyon değer. Avogadro sayısı $N_A = 6.022 \times 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$, temel yük $e = 1.602 \times 10^{-19}$ C. Uzunluklar nanometre ile yazılır; yoğunluk hesabında $1\ \mathrm{nm} = 10^{-7}$ cm, yani $1\ \mathrm{nm}^3 = 10^{-21}\ \mathrm{cm}^3$. Atomik dolgu faktörü (ADF), birim hücrenin kürelerce doluluk oranıdır: kürelerin kapladığı hacim kesri. Koordinasyon sayısı (KS) bir atomun en yakın komşu sayısıdır. Miller indislerinde eksi işaret indisin üstüne çizgiyle yazılır: $(1\bar{1}0)$. Kırınım sorularında yalnız birinci mertebe ($n = 1$) yansımalar kullanılır. Şekillerde atomlar mavi (iyonik yapıda anyon) ve kırmızı (katyon) kürelerle, Miller düzlemleri yarı saydam yeşil, doğrultular kırmızı ve mavi oklarla çizilir.

Birim hücre ve metallerin kristal yapıları

2.1 ★☆☆ Çözüm →

Metallerin kübik ve hekzagonal kristal yapıları ile ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

A) Hacim merkezli kübik (HMK) yapıda her atomun 12 en yakın komşusu vardır.

B) Yüzey merkezli kübik (YMK) birim hücreye düşen atom sayısı 2'dir.

C) Basit kübik (BK) yapıda atomlar yüz köşegeni boyunca birbirine değer.

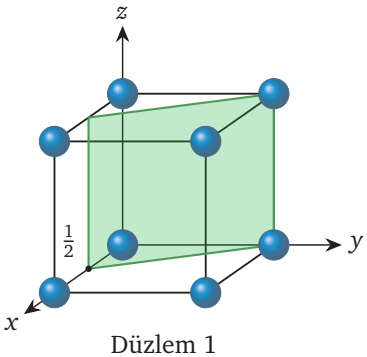
D) Sıkı düzenli hekzagonal (SDH) yapısının ideal ADF'si YMK'ninkinden belirgin biçimde küçüktür.

E) YMK yapıda her atomun koordinasyon sayısı 12'dir ve atomlar yüz köşegeni boyunca birbirine değer.

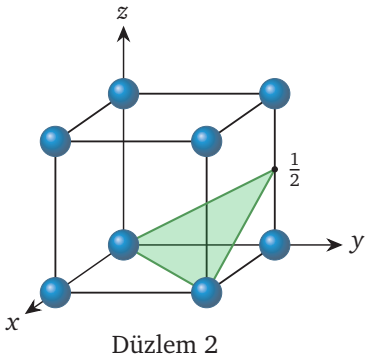
Miller indisleri

2.10 ★☆☆ Çözüm →

Şekildeki kübik birim hücrelerde iki düzlem gösterilmiştir. Düzlem 2 orijinden geçer. İki düzlemin Miller indislerini bulunuz.



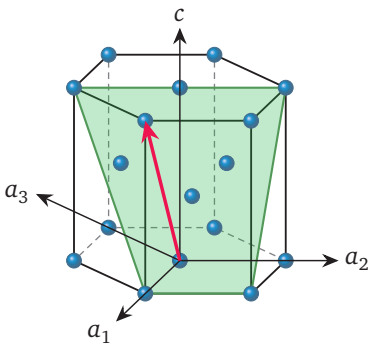
Düzlem 1



Düzlem 2

2.11 ★★☆ Çözüm →

Titanyumun (SDH) şekil değiştirmesinde taban, prizma ve piramit düzlemleri rol oynar. Şekildeki SDH hücrede a_1, a_2, a_3 ve c eksenleri taban altıgeninin merkezinden çizilmiştir. Yeşil düzlem, tabanın ön kenarından ve üst tabanın a_2'ye paralel, merkezden geçen uzun köşegeninden geçer. Kırmızı ok, orijinden a_1 ucundaki taban köşesinin tam üstündeki üst köşeye uzanır.



a. Yeşil düzlemin Miller–Bravais indislerini $(hkil)$ bulunuz.

b. Kırmızı doğrultunun üç indisli $[uvw]$ ve dört indisli $[UVTW]$ indislerini yazınız.

5. ÜNİTE
MEKANİK ÖZELLİKLER

mühendislik gerilmesi ve şekil değiştirmesi

$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Hooke yasası, Poisson oranı

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \nu = -\frac{\varepsilon_{\text{enine}}}{\varepsilon_{\text{eksenel}}}$$

kayma modülü (izotrop) $G = \dfrac{E}{2(1+\nu)}$

süneklik $\%\text{EL} = 100\,\dfrac{L_k - L_0}{L_0}$, $\%\text{RA} = 100\,\dfrac{A_0 - A_k}{A_0}$

emniyetli gerilme $\sigma_{\text{em}} = \dfrac{\sigma_{\text{a}}}{N}$

rezilyans modülü (birim hacimde) $U_r = \dfrac{\sigma_{\text{a}}^2}{2E}$

tokluk, sünek malzeme (yaklaşık)

$$U_T \approx \frac{\sigma_{\text{a}} + \sigma_{\text{ç}}}{2}\,\varepsilon_k$$

gerçek gerilme ve şekil değiştirme (boyun vermeden önce)

$$\sigma_T = \sigma(1+\varepsilon), \quad \varepsilon_T = \ln(1+\varepsilon)$$

pekleşme, boyun vermenin başlangıcı

$$\sigma_T = K\varepsilon_T^{\,n}, \quad \varepsilon_{T,u} = n$$

Brinell (P kilogram-kuvvet; D, d milimetre)

$$\text{HB} = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

çelikte yaklaşık $\sigma_{\text{ç}}\,(\text{MPa}) \approx 3.45\,\text{HB}$

Elastik modül E, Poisson oranı ν, akma dayanımı σ_{a} (%0.2 ofset), çekme dayanımı $\sigma_{\text{ç}}$, yüzde uzama ve yoğunluk Tablo M-5'ten okunur; ölçülen kuvvetler, boylar ve şartname sınırları soru metnindedir. Aksi yazılmadıkça gerilme ve şekil değiştirme mühendislik değerleridir (σ, ε); gerçek değerler σ_T, ε_T ile gösterilir. Çekme gerilmesi ve uzama artı, basma gerilmesi ve kısalma eksidir. Malzemeler izotrop kabul edilir. Seramik ve kompozitlerde akma yoktur: kırılmaya kadar doğrusal elastik davranış kabul edilir ve $\sigma_{\text{ç}}$ kullanılır. Birim hacimdeki enerji (rezilyans modülü, tokluk) megajul bölü metreküp ile yazılır; 1 MJ/m^3 sayıca 1 MPa'dır.

Gerilme, şekil değiştirme ve elastik davranış

5.2 ★☆☆ Çözüm →

Omurga cerrahisinde kullanılan Ti-6Al-4V sabitleme çubuklarından biri, 5.5 mm çapında ve 120 mm boyundadır. Çubuk laboratuvarda 6.0 kN eksenel çekme kuvvetiyle sınanır.

a. Çubuktaki gerilmeyi bulunuz; çubuğun elastik bölgede kaldığını gösteriniz.

b. Çubuğun boyundaki ve çapındaki değişmeyi hesaplayınız.

c. Çubukta akma hangi kuvvette başlar?

5.4 ★★☆ Çözüm →

Bir öğrenci laboratuvarında Al 6061-T6'dan 10.0 mm çaplı bir çekme numunesi sınanır. Numunenin paralel boyu 80.0 mm'dir; ekstansometre takılmamıştır ve uzama çapraz kafanın yer değiştirmesinden okunur. 15.0 kN kuvvette çapraz kafa 0.380 mm yer değiştirmiştir.

a. Çapraz kafa okumasından bulunan (görünen) elastik modülü hesaplayınız ve Tablo M-5'teki değerle karşılaştırınız.

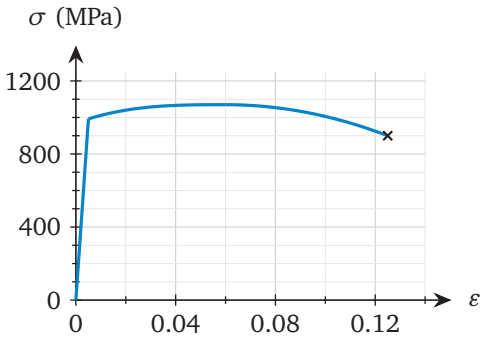
b. Farkın makinenin ve bağlama çenelerinin esnemesinden geldiğini kabul ederek makinenin rijitliğini (N/mm) bulunuz.

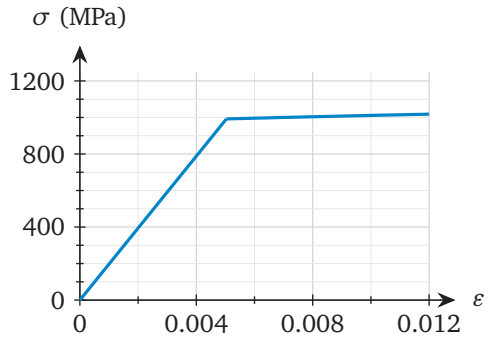
c. Aynı makinede aynı boyutlu çelik 1040 numune 15.0 kN ile çekilirse çapraz kafa ne kadar yer değiştirir ve görünen elastik modül ne çıkar?

Çekme deneyi: akma, çekme dayanımı ve süneklik

5.5 ★★☆ Çözüm →

Bir atölyede etiketi kaybolmuş bir çubuktan çekme numunesi alınır. Ekstansometreyle ölçülen mühendislik gerilme–şekil değiştirme eğrisi solda tamamı, sağda başlangıç bölgesi büyütülerek verilmiştir; × kırılma noktasıdır.





a. Elastik modülü, %0.2 ofset akma dayanımını ve çekme dayanımını eğrilerden okuyunuz.

b. Kırılmadan sonra ölçülecek yüzde uzamayı bulunuz.

c. Tablo M-5'in yardımıyla malzemeyi belirleyiniz.

8. ÜNİTE
FAZ DİYAGRAMLARI

kaldıraç kuralı ($\alpha + \mathrm{L}$; bağ çizgisi uçları C_L, C_α)

$$W_\mathrm{L} = \frac{C_\alpha - C_0}{C_\alpha - C_\mathrm{L}}, \quad W_\alpha = \frac{C_0 - C_\mathrm{L}}{C_\alpha - C_\mathrm{L}}$$

Gibbs faz kuralı (sabit basınç) $F = C - P + 1$

ötektik ve ötektoid (soğumada)

$$\mathrm{L} \to \alpha + \beta, \quad \gamma \to \alpha + \beta$$

peritektik (soğumada) $\alpha + \mathrm{L} \to \beta$

ötektik altı: birincil α' ve ötektik yapı

$$W_\text{ö} = \frac{C_0 - C_\alpha}{C_E - C_\alpha}, \quad W_{\alpha'} = \frac{C_E - C_0}{C_E - C_\alpha}$$

ötektik üstü: birincil β' $W_{\beta'} = \dfrac{C_0 - C_E}{C_\beta - C_E}$

atomca yüzde (w: ağırlıkça yüzde)

$$a_\mathrm{B} = \frac{w_\mathrm{B}/A_\mathrm{B}}{w_\mathrm{B}/A_\mathrm{B} + w_\mathrm{A}/A_\mathrm{A}} \times 100$$

Cu–Ni, Pb–Sn ve Al–Cu faz diyagramları Tablo M-6, M-7 ve M-9'dadır; atom kütlesi, atom yarıçapı ve yoğunluk Tablo M-1'den okunur. Ek'te bulunmayan sistemlerin verisi soru metninde verilir. Bileşimler ağırlıkça yüzdedir: "Pb–%30 Sn", ağırlıkça %30 Sn içeren Pb–Sn alaşımıdır; C_0 alaşımın, C_L, C_α, C_β fazların bileşimidir. W kütle kesridir; birincil (ötektik dışı) faz üssüyle (α', β'), ötektik yapı $W_\text{ö}$ ile gösterilir. Soğuma ve ısıtma, aksi belirtilmedikçe dengeyi koruyacak kadar yavaştır. Diyagramdan okunan bileşim ve sıcaklıklar okuma duyarlılığında (bileşimde 0.5–1 puan, sıcaklıkta yaklaşık 5 K) "≈" ile yazılır; ötektik ve ötektoid noktaları gibi Ek'te sayısı basılı değerler okunmaz, doğrudan kullanılır. "Ötektik sıcaklığın hemen altı" tepkimenin tamamlandığı ama solvüs değişiminin henüz etkili olmadığı durumdur.

Mikroyapı gelişimi

8.12 ★☆☆ Çözüm →

Pb–%14 Sn alaşımı 350 °C'den 25 °C'ye yavaşça soğutulur (Tablo M-7).

a. Alaşımın geçtiği faz sınırlarının sıcaklıklarını ve aralarda bulunan fazları belirtiniz.

b. 25 °C'de β fazının kütle kesrini bulunuz.

Karma sorular

8.15 ★★★ Çözüm →

Bir elektronik kart üreticisi dalga lehimleme hattı için Pb–Sn lehim seçecektir. Banyo 250 °C'de çalışır ve lehimin likidüs sıcaklığı banyonun en az 30 K altında olmalıdır. Bağlantının katılaşırken titreşimle bozulmaması için katılaşma aralığı (likidüs ile ötektik sıcaklık arası, "macunsu aralık") en çok 15 K olmalıdır. Kalay kurşundan pahalıdır. Tablo M-7'yi kullanınız.

a. Yalnız banyo koşulunu sağlayan Sn aralığını bulunuz.

b. İki koşulu birlikte sağlayan Sn aralığını bulunuz.

c. Maliyet açısından seçilecek bileşimi belirtiniz ve bu alaşımda ötektik sıcaklığın hemen altında birincil fazın kütle kesrini hesaplayınız.

d. Tesisat ek yerlerinde elle sıvanarak şekillendirilen lehimlerde neden tersine geniş bir macunsu aralık istendiğini açıklayınız.

8.16 ★★★ Çözüm →

Elektronikte kurşun kısıtlamasından sonra yaygınlaşan kurşunsuz lehimlerden biri Sn–Ag ötektiğidir. Sn tarafındaki ötektik 221 °C'de, ağırlıkça %3.5 Ag'de gerçekleşir: $\mathrm{L} \rightarrow \mathrm{Sn} + \mathrm{Ag_3Sn}$. Sn fazında çözünen Ag ihmal edilir.

a. Tablo M-1'deki atom kütleleriyle $\mathrm{Ag_3Sn}$'deki Ag'nin ağırlıkça yüzdesini bulunuz.

b. Sn–Ag ötektiğindeki $\mathrm{Ag_3Sn}$'nin kütle kesrini bulunuz; Pb–Sn ötektiğindeki (Tablo M-7) α ve β kesirleriyle karşılaştırınız.

c. Sn–%3.0 Ag lehimde ötektik sıcaklığın hemen altında birincil Sn'nin ve toplam $\mathrm{Ag_3Sn}$'nin kütle kesirlerini bulunuz.

d. Banyo ötektiğin sabit bir miktar üstünde tutulursa Pb–Sn ötektiğinden Sn–Ag ötektiğine geçişte banyo sıcaklığı ne kadar artar ve bunun kart üzerindeki bileşenler için sakıncası nedir?

Örnek sayfalar · Kitabın tamamı: ertansinansahin.com

ÇÖZÜMLER

2 KRİSTAL YAPILAR

2.1

← Soru

YMK hücrede bir köşe atomu, o köşeyi paylaşan üç yüzün merkezlerindeki atomlara değer; yüz köşegeni $4R$ uzunluğundadır ($a\sqrt{2} = 4R$). Her atomun çevresinde 12 komşu vardır. **E** doğrudur.

- (A): HMK'de bir atom yalnız cisim köşegeni boyunca, sekiz köşe atomuna değer: KS 8.
- (B): YMK hücrede $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ atom vardır; 2 atom HMK'nin sayısıdır.
- (C): BK'de atomlar küp kenarı boyunca değer ($a = 2R$); yüz köşegeni $2\sqrt{2}R$ olduğundan köşegen üzerindeki atomlar birbirine değmez.
- (D): İdeal SDH ($c/a = 1.633$) ile YMK aynı sıkı paketli düzlemlerin farklı sırayla (ABAB, ABCABC) dizilmesidir; ikisinin de ADF'si 0.74'tür.

CEVAP E

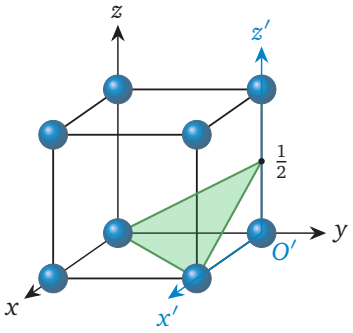
2.10

← Soru

Eksenleri kesim noktaları (hücre kenarı biriminde) bulunur, tersleri alınır, kesirler temizlenir.

Düzlem 1: $x = \frac{1}{2}$, $y = 1$, z ekseniyle kesişmez (∞). Tersleri $2, 1, 0$: (210).

Düzlem 2 orijinden geçtiği için orijin bir komşu köşeye taşınır. Yeni orijin $(0, 1, 0)$ alınırsa düzlem x eksenini 1'de, y eksenini -1'de (eski orijin $(0, 0, 0)$ noktası), z eksenini $\frac{1}{2}$'de keser. Tersleri $1, -1, 2$: $(1\bar{1}2)$.



Kontrol: $(1\bar{1}2)$ düzlemi $x - y + 2z = 0$ biçimindedir; $(0, 0, 0)$, $(1, 1, 0)$ ve $(0, 1, \frac{1}{2})$ noktaları bu eşitliği sağlar.

CEVAP Düzlem 1 (210), düzlem 2 $(1\bar{1}2)$

ertansinansahin.com

2.11

← Soru

a. Düzlem a_1'i tabandaki ön köşede ($a_1 = 1$), c'yi üst tabanın merkezinde ($c = 1$) keser; tabanın ön kenarı ve üst köşegen a_2'ye paraleldir ($a_2 = \infty$). a_3 ekseninin eksi yöndeki uzantısı ön kenarın öteki ucundaki köşeye varır: $a_3 = -1$.

$$(hkil) = \left(\tfrac{1}{1}, \tfrac{1}{\infty}, \tfrac{1}{-1}, \tfrac{1}{1}\right) = (10\bar{1}1).$$

Kontrol: $i = -(h + k) = -(1 + 0) = -1$.

b. Ok orijinden $a_1 + c$ noktasına gider: $[uvw] = [101]$. Dönüşüm:

$$U = \tfrac{2u-v}{3} = \tfrac{2}{3}, \quad V = \tfrac{2v-u}{3} = -\tfrac{1}{3},$$
$$T = -(U + V) = -\tfrac{1}{3}, \quad W = w = 1.$$

3 ile çarpılır: $[2\bar{1}\bar{1}3]$.

CEVAP a. $(10\bar{1}1)$ b. $[101]$, $[2\bar{1}\bar{1}3]$

5 MEKANİK ÖZELLİKLER

5.2

← Soru

Tablo M-5'ten Ti-6Al-4V (tavlı): $E = 114$ GPa, $\nu = 0.34$, $\sigma_a = 880$ MPa.

a. Kesit alanı $A_0 = \pi(5.5)^2/4 = 23.758$ mm^2:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{6000}{23.758} = 252.5 \text{ MPa}.$$

$\sigma < \sigma_a = 880$ MPa: çubuk elastik bölgededir (akma dayanımının %29'u).

b. Eksenel ve enine şekil değiştirme:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{252.5}{114\,000} = 2.215 \times 10^{-3},$$
$$\Delta L = \varepsilon L_0 = 2.215 \times 10^{-3}\,(120) = 0.266 \text{ mm},$$
$$\Delta d = -\nu\varepsilon d_0 = -0.34\,(2.215 \times 10^{-3})(5.5)$$
$$= -4.14 \times 10^{-3} \text{ mm}.$$

Çubuk 0.266 mm uzar, çapı yaklaşık 4 µm küçülür.

c. Akma $\sigma = \sigma_a$ olduğunda başlar:

$$F_a = \sigma_a A_0 = 880\,(23.758) = 20\,910 \text{ N} \approx 20.9 \text{ kN}.$$

CEVAP a. $\sigma = 252.5$ MPa < 880 MPa, elastik
b. $\Delta L = 0.266$ mm; $\Delta d = -4.14 \times 10^{-3}$ mm
c. 20.9 kN

5.4

← Soru

a. $A_0 = \pi(10.0)^2/4 = 78.54$ mm^2,
$\sigma = 15\,000/78.54 = 190.99$ MPa:

$$E_{\text{gör}} = \frac{\sigma L_0}{\Delta L} = \frac{190.99\,(80.0)}{0.380} = 40\,208 \text{ MPa} \approx 40.2 \text{ GPa}.$$

Tablo M-5'te Al 6061-T6 için $E = 69$ GPa: görünen değer %42 küçüktür.

b. Numunenin gerçek uzaması ve makinenin payı:

$$\Delta L_{\text{num}} = \frac{\sigma L_0}{E} = \frac{190.99\,(80.0)}{69\,000} = 0.2214 \text{ mm},$$
$$\Delta_{\text{mak}} = 0.380 - 0.2214 = 0.1586 \text{ mm},$$
$$k = \frac{F}{\Delta_{\text{mak}}} = \frac{15\,000}{0.1586} = 9.46 \times 10^4 \text{ N/mm}.$$

c. Tablo M-5'ten çelik 1040: $E = 207$ GPa. Gerilme aynıdır:

$$\Delta L_{\text{num}} = \frac{190.99\,(80.0)}{207\,000} = 0.0738 \text{ mm},$$
$$\Delta_{\text{top}} = 0.0738 + 0.1586 = 0.2324 \text{ mm},$$
$$E_{\text{gör}} = \frac{190.99\,(80.0)}{0.2324} = 65\,750 \text{ MPa} \approx 65.8 \text{ GPa}.$$

Rijit numunede makinenin payı daha büyük yer tutar: çelikte görünen modül gerçeğin üçte biri bile değildir. Elastik modül bu yüzden numuneye takılan ekstansometreyle ölçülür.

CEVAP a. $E_{\text{gör}} \approx 40.2$ GPa (Tablo M-5: 69 GPa)
b. 9.46×10^4 N/mm c. 0.2324 mm;
$E_{\text{gör}} \approx 65.8$ GPa

ertansinansahin.com

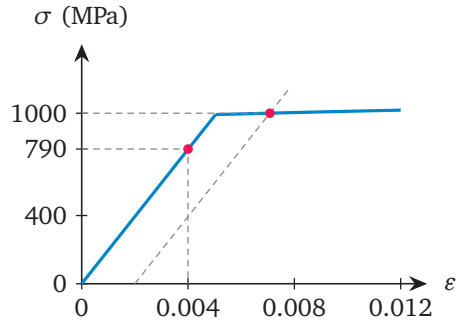
5.5

← Soru

a. Büyütülmüş eğride doğru, $\varepsilon = 0.004$'te $\sigma \approx 790$ MPa'dan geçer:

$$E \approx \frac{790}{0.004} = 1.975 \times 10^5 \text{ MPa} \approx 2.0 \times 10^2 \text{ GPa}.$$

$\varepsilon = 0.002$'den elastik doğruya paralel çizilen doğru eğriyi $\sigma \approx 1000$ MPa'da keser: $\sigma_a \approx 1000$ MPa. Tam eğrinin en yüksek noktası $\sigma_ç \approx 1070$ MPa.



b. Kırılmada toplam şekil değiştirme $\varepsilon_k \approx 0.125$, gerilme ≈ 900 MPa. Kırılınca elastik kısım geri döner:

$$\%\text{EL} \approx 100\left(0.125 - \frac{900}{197\,000}\right) = 12.0.$$

c. $E \approx 200$ GPa: çelik ya da Ni alaşımı. Tablo M-5'te akma dayanımı 1000 MPa dolayında olanlar: 17-4 PH paslanmaz (H1025) 1000/1070 MPa, %12; 4140 1080/1180 MPa, %15; Ni 718 1100/1340 MPa, %18. Çekme dayanımı ve uzama yalnız 17-4 PH ile uyar.

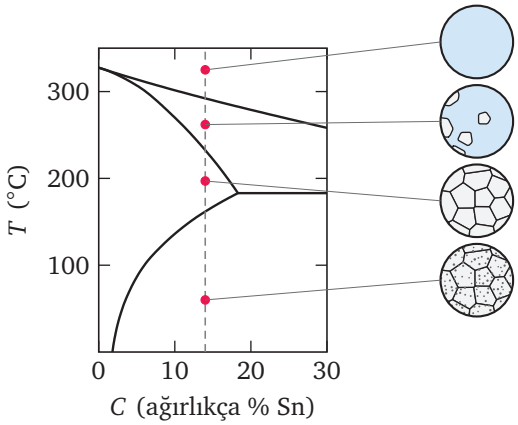
CEVAP a. $E \approx 2.0 \times 10^2$ GPa, $\sigma_a \approx 1000$ MPa, $\sigma_ç \approx 1070$ MPa b. %12.0 c. 17-4 PH paslanmaz çelik (H1025)

8 FAZ DİYAGRAMLARI

8.12

← Soru

a. %14 Sn dikeyi likidüsü ≈ 292 °C'de, solidüsü ≈ 232 °C'de, α solvüsünü ≈ 162 °C'de keser. Sırasıyla: L; α + L (likidüs ile solidüs arası); yalnız α (232 ile 162 °C arası); $\alpha + \beta$ (162 °C'nin altı; β, α tanelerinin içinde ve sınırlarında küçük parçacıklar olarak çöker). %14 < 18.3 olduğundan ötektik yatayına rastlanmaz, ötektik yapı oluşmaz.



b. 25 °C'de bağ çizgisi solvüsleri $C_\alpha \approx 2$ ve $C_\beta \approx 100$'de (pratikte saf Sn) keser:

$$W_\beta = \frac{14 - 2}{100 - 2} = 0.122 \approx 0.12.$$

CEVAP a. ≈ 292 °C likidüs, ≈ 232 °C solidüs, ≈ 162 °C solvüs; L → α + L → α → $\alpha + \beta$
b. $W_\beta \approx 0.12$

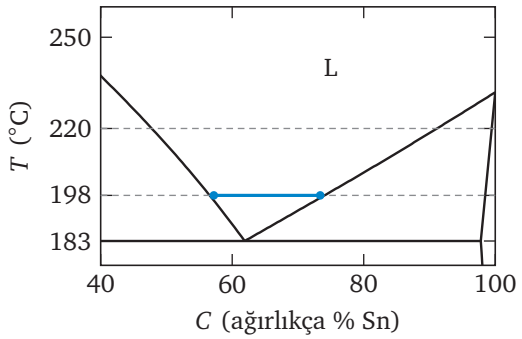
ertansinansahin.com

8.15

← Soru

a. Likidüs en çok $250 - 30 = 220\ ^\circ$C. $220\ ^\circ$C izotermi α tarafının likidüsünü $\approx$ %48, β tarafınınkini $\approx$ %91 Sn'de keser. Aradaki alaşımların likidüsü daha düşüktür: $\approx$ %48–91 Sn.

b. Bu aralıktaki alaşımlar 183 °C'de katılaşmayı bitirir; macunsu aralık ≤ 15 K için likidüs en çok 198 °C. 198 °C izotermi likidüsleri $\approx$ %57 ve $\approx$ %74 Sn'de keser: $\approx$ %57–74 Sn.



c. En az Sn, aralığın alt ucu: $\approx$ %57 Sn (yaygın 60/40 lehime yakın). Ötektik altıdır, birincil faz α:

$$W_{\alpha'} = \frac{61.9 - 57}{61.9 - 18.3} = \frac{4.9}{43.6} = 0.112 \approx 0.11.$$

Örneğin %48 Sn seçilseydi macunsu aralık ≈ 37 K olurdu.

d. Elle sıvanan lehimin katı ve sıvının bir arada bulunduğu macunsu durumda uzun süre kalması gerekir; usta bu sürede lehimi bezle sıvayıp biçimlendirir. Geniş likidüs–solidüs aralığı (Pb'ce zengin, %30–40 Sn dolayındaki alaşımlar) bunu sağlar; ötektik lehim ise bir anda katılaşır.

CEVAP a. $\approx$ %48–91 Sn b. $\approx$ %57–74 Sn c. $\approx$ %57 Sn; $W_{\alpha'} \approx 0.11$ d. şekillendirme için uzun macunsu süre gerekir

8.16

← Soru

Varsayımlar: denge soğuması; Ag_3Sn stokiyometrik ve tek bileşimli; Sn'de Ag çözünürlüğü sıfır.

a. Tablo M-1'den $A_{Ag} = 107.87$, $A_{Sn} = 118.71$ g/mol:

$$M = 3(107.87) + 118.71 = 442.32 \text{ g/mol},$$
$$w_{Ag} = \frac{323.61}{442.32} \times 100 = 73.16.$$

b. Ötektik yatayının uçları Sn (0 Ag) ve Ag_3Sn (73.16 Ag):

$$W_{Ag_3Sn} = \frac{3.5 - 0}{73.16 - 0} = 0.0478, \quad W_{Sn} = 0.952.$$

Pb–Sn ötektiğinde (61.9; 18.3 ile 97.8 arasında):

$$W_\alpha = \frac{97.8 - 61.9}{97.8 - 18.3} = 0.4516 \approx 0.452, \quad W_\beta = 0.548.$$

Pb–Sn ötektiği iki fazın yaklaşık eşit karışımıdır; Sn–Ag ötektiği ise neredeyse saf Sn matris içinde küçük bir payda (%4.8) sert ara faz parçacıklarından oluşur.

c. %3.0 Ag < 3.5: ötektik altı, birincil faz Sn:

$$W_{Sn'} = \frac{3.5 - 3.0}{3.5 - 0} = 0.143,$$
$$W_{Ag_3Sn} = \frac{3.0 - 0}{73.16 - 0} = 0.0410.$$

d. Artış $221 - 183 = 38$ K. Bileşenler (plastik kılıflı yongalar, kondansatörler) ve kart malzemesi daha yüksek sıcaklığa çıkar: ısıl gerilme, nem buharlaşmasıyla kılıf çatlaması ve kartta eğilme riski artar.

CEVAP a. %73.16 Ag b. 0.0478; Pb–Sn'de $W_\alpha = 0.452$, $W_\beta = 0.548$ c. $W_{Sn'} = 0.143$, $W_{Ag_3Sn} = 0.0410$ d. 38 K; bileşen ve kartta ısıl hasar riski

ertansinansahin.com

EK: TABLOLAR VE DİYAGRAMLAR

Bu ekteki tablolar ve diyagramlar soruların çözümünde kullanılır; birimler SI'dır. Değerler derlenmiş başvuru verilerinin (element ve iyon verileri, difüzyon katsayıları, elektrot potansiyelleri) yuvarlanmış hâlidir; mekanik ve fiziksel özellikler tipik değerlerdir. Faz diyagramları ve dönüşüm diyagramları literatürdeki karakteristik noktalarla çizilmiştir; ara değerler diyagramın kılavuz çizgilerinden okunur. Tabloda bulunmayan değerler için **doğrusal enterpolasyon** yapılır: $x_1 < x < x_2$ ise $y = y_1 + (y_2 - y_1)(x - x_1)/(x_2 - x_1)$. Sorulardaki sayısal sonuçlar bu ekteki değerlerle hesaplanmıştır.

Bu örnekte Ek'ten yalnız seçilen soruların kullandığı tablolar (M-1, M-5, M-7) vardır. Kitabın tamamındaki Ek 16 tablo ve 11 sayfadır: element ve iyon verileri, difüzyon ve hata fonksiyonu, mekanik özellikler, faz diyagramları, TTT, CCT ve Jominy eğrileri, elektrokimyasal ve galvanik seriler, elektriksel ve ısıl özellikler.

Tablo M-1 Elementlerin atom ve kristal verileri

Element	Simge	Z	Atom kütlesi g/mol	Kristal yapı (20 °C)	a nm	c nm	R nm	ρ g/cm³	T_e °C
Hidrojen	H	1	1.0080	—	—	—	—	—	−259.2
Karbon (grafit)	C	6	12.011	Hekzagonal	0.2464	0.6711	0.0711	2.26	—
Azot	N	7	14.007	—	—	—	—	—	−210
Oksijen	O	8	15.999	—	—	—	—	—	−218.8
Sodyum	Na	11	22.990	HMK	0.4291	—	0.1858	0.968	97.8
Magnezyum	Mg	12	24.305	SDH	0.3209	0.5211	0.1599	1.74	650
Alüminyum	Al	13	26.982	YMK	0.4050	—	0.1432	2.70	660.3
Silisyum	Si	14	28.085	EK	0.5431	—	0.1176	2.33	1414
Kükürt	S	16	32.06	Ortorombik	—	—	—	2.07	115.2
Klor	Cl	17	35.45	—	—	—	—	—	−101.5
Potasyum	K	19	39.098	HMK	0.5328	—	0.2307	0.862	63.5
Titanyum	Ti	22	47.867	SDH	0.2951	0.4684	0.1448	4.51	1668
Vanadyum	V	23	50.942	HMK	0.3024	—	0.1309	6.11	1910
Krom	Cr	24	51.996	HMK	0.2885	—	0.1249	7.19	1907
Mangan	Mn	25	54.938	Kübik (karmaşık)	—	—	—	7.30	1246
Demir (α)	Fe	26	55.845	HMK	0.2867	—	0.1241	7.87	1538
Kobalt	Co	27	58.933	SDH	0.2507	0.4070	0.1249	8.86	1495
Nikel	Ni	28	58.693	YMK	0.3524	—	0.1246	8.91	1455
Bakır	Cu	29	63.546	YMK	0.3615	—	0.1278	8.96	1085
Çinko	Zn	30	65.38	SDH	0.2665	0.4947	0.1332	7.13	419.5
Germanyum	Ge	32	72.630	EK	0.5658	—	0.1225	5.32	938.3
Zirkonyum	Zr	40	91.224	SDH	0.3232	0.5148	0.1589	6.51	1855
Niyobyum	Nb	41	92.906	HMK	0.3300	—	0.1429	8.57	2477
Molibden	Mo	42	95.95	HMK	0.3147	—	0.1363	10.2	2623
Gümüş	Ag	47	107.87	YMK	0.4086	—	0.1445	10.5	961.8
Kadmiyum	Cd	48	112.41	SDH	0.2979	0.5619	0.1490	8.65	321.1
Kalay (β)	Sn	50	118.71	Tetragonal	0.5832	0.3182	0.1508	7.29	231.9
Tantal	Ta	73	180.95	HMK	0.3301	—	0.1430	16.7	3017
Tungsten	W	74	183.84	HMK	0.3165	—	0.1371	19.3	3422
Platin	Pt	78	195.08	YMK	0.3924	—	0.1387	21.5	1768
Altın	Au	79	196.97	YMK	0.4078	—	0.1442	19.3	1064
Kurşun	Pb	82	207.2	YMK	0.4950	—	0.1750	11.3	327.5

YMK: yüzey merkezli kübik, HMK: hacim merkezli kübik, SDH: sıkı düzenli hekzagonal, EK: elmas kübik. a, c: oda sıcaklığında örgü parametreleri. R: atom yarıçapı, en yakın komşu uzaklığının yarısı (YMK $a\sqrt{2}/4$, HMK $a\sqrt{3}/4$, EK $a\sqrt{3}/8$; SDH'de en yakın komşu uzaklığından). ρ: 20–25 °C'de yoğunluk (gazlarda —). T_e: 1 atm'de ergime noktası; karbon 1 atm'de ergimez, yaklaşık 3825 °C'de süblimleşir. β-Sn birim hücresinde 4, grafitte 4 atom vardır.

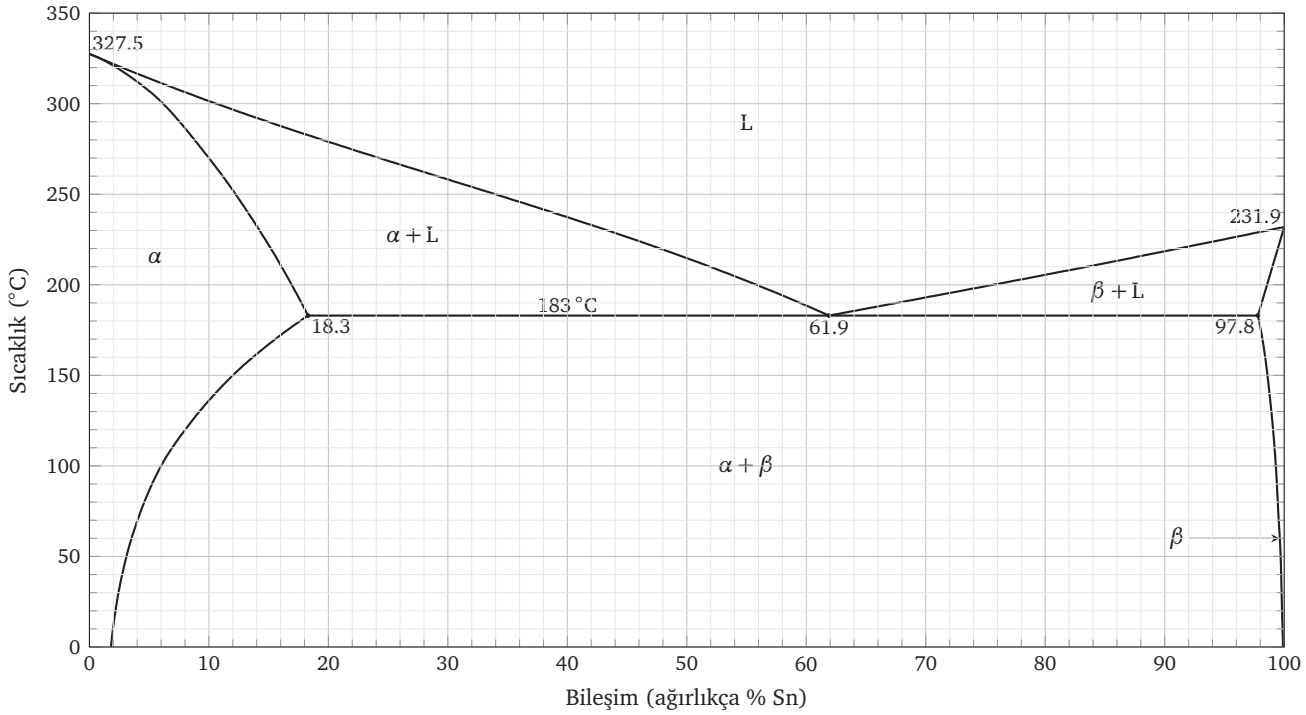
Tablo M-5 Mühendislik malzemelerinin mekanik özellikleri (oda sıcaklığı)

Malzeme	Durum	ρ g/cm^3	E GPa	ν	σ_a MPa	$\sigma_ç$ MPa	Uzama %	K_{Ic} MPa$\sqrt{m}$
Metaller ve alaşımlar								
Mg alaşımı AZ31B	H24 levha	1.77	45	0.35	220	290	15	28
Al döküm alaşımı A356	T6	2.68	72	0.33	190	265	5	18
Al 1100 (ticari saf)	tavlı	2.71	69	0.33	34	90	35	—
Al alaşımı 6061	T6	2.70	69	0.33	275	310	12	29
Al alaşımı 2024	T3	2.78	73	0.33	345	485	18	37
Al alaşımı 7075	T6	2.81	72	0.33	505	570	11	26
Ti-6Al-4V	tavlı	4.43	114	0.34	880	950	14	70
Ti, Derece 2 (ticari saf)	tavlı	4.51	105	0.37	275	345	20	—
Gri dökme demir EN-GJL-250	döküm	7.20	110	0.26	—	250	0.5	18
Küresel grafitli dökme demir EN-GJS-500-7	döküm	7.10	169	0.28	320	500	7	50
Paslanmaz çelik 17-4 PH	H1025	7.80	197	0.27	1000	1070	12	110
Çelik 1020	sıcak haddelenmiş	7.87	207	0.29	210	380	25	—
Çelik 1040	soğuk çekilmiş	7.85	207	0.29	490	590	12	—
Çelik 1080	normalize edilmiş	7.85	207	0.29	520	965	11	—
Çelik 4140	temperlenmiş, 540 °C	7.85	205	0.29	1080	1180	15	80
Çelik 4340	temperlenmiş, 315 °C	7.85	205	0.29	1500	1720	11	55
Paslanmaz çelik 304	tavlı	8.00	193	0.29	215	505	50	—
Ni süperalaşımı 718	yaşlandırılmış	8.19	200	0.29	1100	1340	18	95
Berilyum bakırı C17200	yaşlandırılmış	8.25	128	0.30	1000	1200	5	—
Pirinç C26000 (70Cu-30Zn)	tavlı	8.53	110	0.35	100	340	60	—
Bakır C11000	tavlı	8.89	115	0.34	70	220	45	—
Seramikler ve camlar								
Ergitilmiş silika camı		2.20	73	0.17	—	100†	—	0.8
Soda-kireç camı		2.50	70	0.23	—	70†	—	0.8
Silisyum karbür (SiC)	sinterlenmiş	3.15	410	0.14	—	450†	—	3.5
Silisyum nitrür (Si_3N_4)	sıcak preslenmiş	3.25	310	0.27	—	800†	—	6.0
Alümina (Al_2O_3, %99.5)	sinterlenmiş	3.89	375	0.22	—	350†	—	4.0
Zirkonya (ZrO_2, Y_2O_3 katkılı)	sinterlenmiş	6.05	205	0.31	—	1000†	—	8.0
Polimerler								
Polipropilen (PP)		0.905	1.4	0.43	32	35	150	3.0
Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)		0.950	1	0.46	25	30	500	2.0
Polistiren (PS)		1.05	3.2	0.34	—	45	2	0.9
Naylon 6,6 (kuru)		1.14	2.9	0.39	80	82	60	3.0
PMMA		1.19	3.1	0.37	—	72	4	1.2
Polikarbonat (PC)		1.20	2.4	0.37	62	66	110	2.5
Epoksi	kürlenmiş	1.20	2.8	0.35	—	60	3	0.6
PVC (sert)		1.40	3	0.38	45	50	40	2.5
PTFE		2.17	0.5	0.46	12	25	300	—
Kompozitler								
Karbon lifi/epoksi, tek yönlü, $V_f = 0.60$	lif yönünde	1.60	140	0.28	—	2000	1.4	—
Cam lifi/epoksi, tek yönlü, $V_f = 0.60$	lif yönünde	2.10	45	0.28	—	1000	2.5	—

Tipik, yuvarlatılmış değerler (17-4 PH satırı şartnamenin en az değerleri); gerçek değerler üretim ve ısıl işlemle değişir. σ_a: akma dayanımı (%0.2 kalıcı uzama), $\sigma_ç$: çekme dayanımı, uzama: 50 mm ölçü boyunda kopma uzaması, K_{Ic}: düzlem şekil değiştirme kırılma tokluğu. —: tanımsız ya da sünek malzemede geçerli K_{Ic} ölçülemez (tokluk çok yüksek). †Seramik ve camlarda çekme yerine üç noktalı eğilme dayanımı (kırılma modülü); basma dayanımları bunun 5–15 katıdır. Polimerlerde değerler 23 °C ve yaklaşık 5 mm/dak çekme hızı içindir. Gri dökme demirde belirgin akma yoktur. Temperlenmiş çeliklere önce su verilmiştir. 2024-T3'te K_{Ic} T351 levha, L-T doğrultusu içindir.

Örnek sayfalar · Kitabın tamamı: ertansinansahin.com

Tablo M-7 Pb–Sn faz diyagramı



α: Pb'ce zengin, β: Sn'ce zengin katı çözelti. Ötektik: 183 °C, %61.9 Sn; L → α (%18.3 Sn) + β (%97.8 Sn).

KİTABIN TAMAMINDA

- 13 ünite, 180 soru ve hepsinin adım adım çözümü.
- Her ünitenin başında, soruların dayandığı bağıntıları özetleyen hatırlatma kutusu.
- Temel, orta ve ileri düzeyde sorular; her sorunun altında kendi çözümünüz için noktalı alan.
- Sorudan çözüme, çözümden soruya tek tıkla geçiş.
- Kitabın sonunda 16 tablo ve diyagram (11 sayfa): element atom ve kristal verileri, iyon yarıçapları, difüzyon verisi, hata fonksiyonu, mekanik özellikler, Cu–Ni, Pb–Sn, Fe–Fe_3C ve Al–Cu faz diyagramları, TTT, CCT ve Jominy eğrileri, standart indirgenme potansiyelleri, galvanik seri, elektriksel ve ısıl özellikler, yarıiletkenler.

ertansinansahin.com