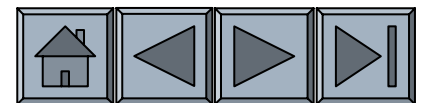




MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ

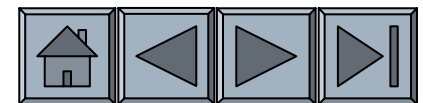
Bölüm 13 – Demir Dışı Alaşımlar





Hedef

- Cu, Al ve Ti alaşımlarının yük taşıyan uygulamalarda uygulama alanları ve özelliklerini incelemek.



İçerik

- Alüminyum Alaşımları
- Magnezyum ve Berilyum Alaşımları
- Bakır alaşımları
- Nikel ve Kobalt alaşımları
- Titanyum alaşımları
- Refrakter ve Değerli Metaller
- Zirkonyum alaşımları
- Çinko alaşımları

Metal ve alaşımları, demir ve demir dışı alaşımlar olmak üzere iki sınıfa ayrılır:

- ❑ Demir alaşımları, demir esaslıdır ve çelikler, paslanmaz çelikler ile dökme demirleri içerir.
- ❑ Demir dışı alaşımlar demirden ziyade diğer metallere esaslıdır.



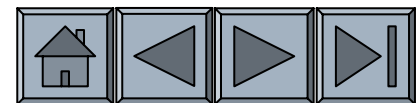
TABLE 13-1 ■ Specific strength and cost of nonferrous alloys, steels, and polymer composites

Metal	Density		Tensile Strength (psi)	Specific Strength (in.)	Cost per lb (\$) ^c
	g/cm ³	(lb/in. ³)			
Aluminum	2.70	(0.097)	83,000	8.6×10^5	0.60
Beryllium	1.85	(0.067)	55,000	8.2×10^5	350.00
Copper	8.93	(0.322)	150,000	4.7×10^5	0.71
Lead	11.36	(0.410)	10,000	0.2×10^5	0.45
Magnesium	1.74	(0.063)	55,000	8.7×10^5	1.50
Nickel	8.90	(0.321)	180,000	5.6×10^5	4.10
Titanium	4.51	(0.163)	160,000	9.8×10^5	4.00
Tungsten	19.25	(0.695)	150,000	2.2×10^5	4.00
Zinc	7.13	(0.257)	75,000	2.9×10^5	0.40
Steels	~7.87	(0.284)	200,000	7.0×10^5	0.10
Aramid/epoxy (Kevlar, vol. fraction of fibers 0.6, longitudinal tension)	1.4	(0.05)	200,000	4.0×10^6	—
Aramid/epoxy (Kevlar, vol. fraction of fibers 0.6, transverse tension) ^a	1.4	(0.05)	4,300	0.86×10^4	—
Glass/epoxy (Vol. fraction of E-glass fibers 0.6, longitudinal tension) ^b	2.1	(0.075)	150,000	2.0×10^6	—
Glass/epoxy (Vol. fraction of E-glass fibers 0.6, transverse tension)	2.1	(0.075)	7,000	9.3×10^4	—

^a Data for composites from Harper, C.A., Handbook of Materials Product Design, 3rd ed. 2001: McGraw-Hill. Commodity composites are relatively inexpensive; high-performance composites are expensive.

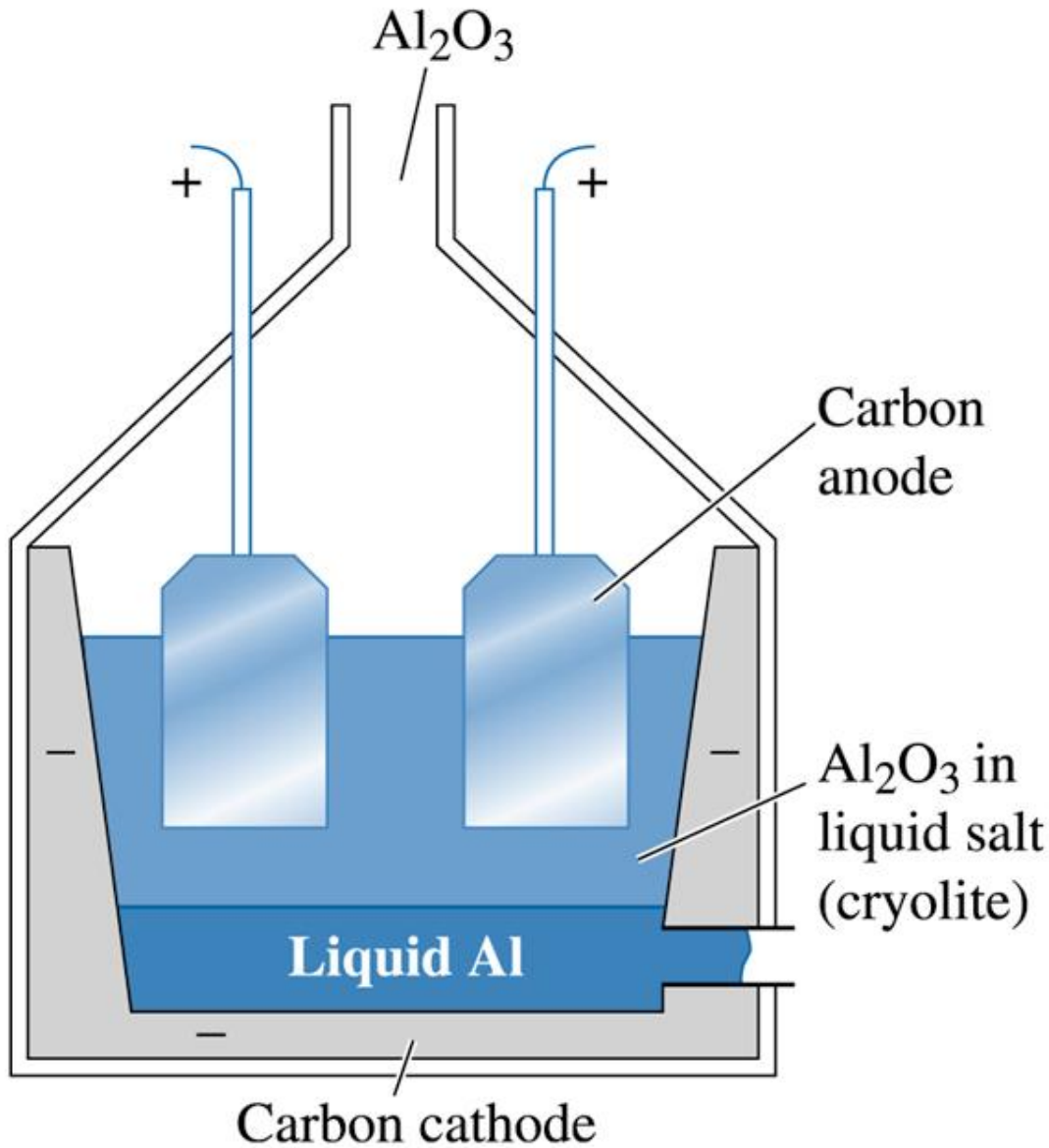
^b Properties of composites are highly anisotropic. This is taken care of during fabrication though.

^c Costs based on average prices for the years 1998 to 2002.



Bölüm 13.1. Alüminyum Alaşımları

- **Hall-Heroult prosesi** – Alüminyumun cevherden üretilmesi ile ilgili elektrolitik prosestir.
- **Temper kodlama**- Alaşımın prosesini tanımlayan sayı ve harflerden oluşan notasyon yöntemidir. H soğuk işlem görmüş alaşımları, T yaşlanma ısıl işlemini ifade eder.



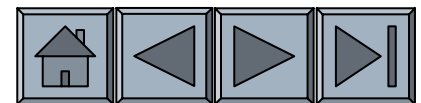
Elektrolitik hücrede alüminyum üretimi.



Alüminyum Alaşımları

- Alüminyum 2.70 gcm^{-3} yoğunlukta veya diğer bir deyişle, çeliğin üçte biri yoğunluğuna sahip hafif bir metaldir.
- Çelikle karşılaştırıldığında, Al düşük çekme dayanımına sahip olmakla beraber, dayanımlarının ağırlığa oranları mükemmeldir.

Dayanımın ağırlığa oranı = Çekme dayanımı / Yoğunluk





Alüminyum Alaşımları

Üretim Yöntemleri: Dövme ve Döküm

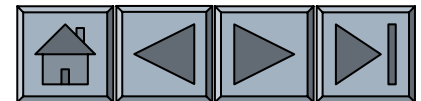
Isıl işlem yapılabilir ve ısıl işlem yapılamaz olarak ayrılırlar.

Yaşlandırma ile
mukavemetlenebilir

Katı eriyik
mukavemetlenmesi

Pekleşme

Dağılım
mukavemetlenmesi



Dövme Alaşım lar

1xxx Ticari saflıkta Al (>%99 Al)

Yaşlandırılmaz

2xxx Al-Cu

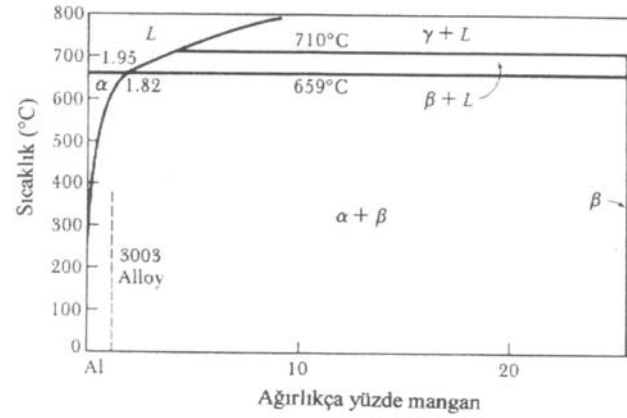
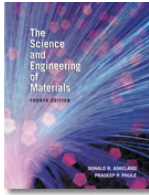
Yaşlandırılabilir

3xxx Al-Mn

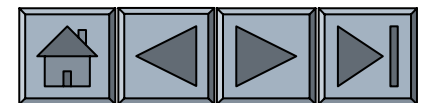
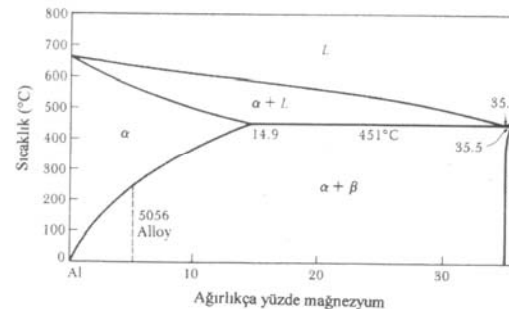
Bazıları
yaşlandırılabilir

- ❑ İlk numara ana alaşım elementini tanımlar.
- ❑ Isıl işlem görebilir ise T, pekleşebilir ise H ile gösterilir.
- ❑ T ve H'yi takip eden numaralar pekleşme miktarını, gerçek ısıl işlem tipini veya alaşımın diğer özel üretim işlem durumunu gösterir.

Aluminyum – Mangan Kısmi Faz Diyagramı

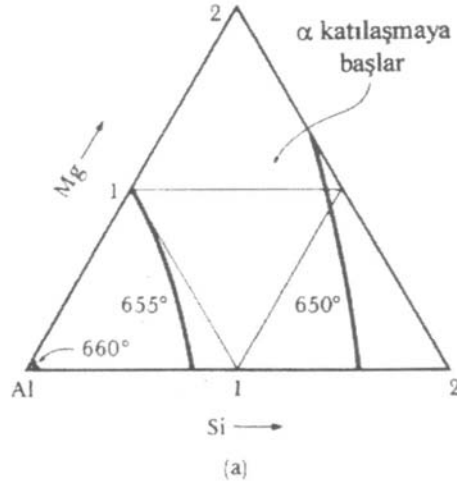


Aluminyum – Magnezyum Kısmi Faz Diyagramı

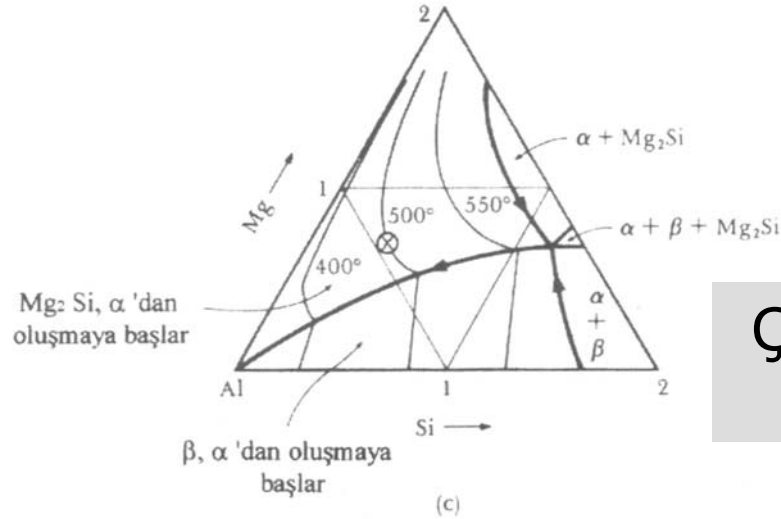
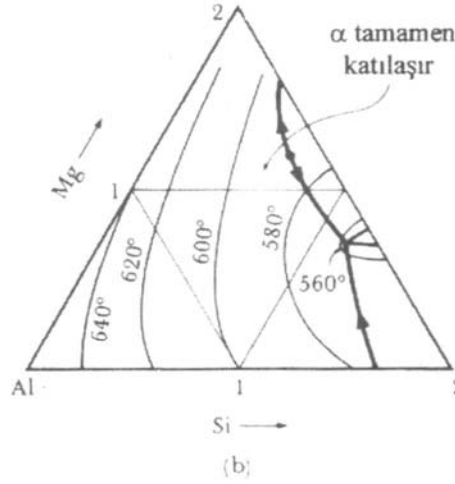


Dövme Alaşımlar

Sıvı çözünürlük (likidüs) eğrisi



Katı çözünürlük (solidüs) eğrisi



Çözünürlük (solvüs) eğrisi

Döküm Alaşımaları

- ❑ En fazla bilinen Al döküm alaşımlarınının pek çoğu ötektik, reaksiyona neden olan düşük ergime noktaları, iyi akıcılık ve dökülebilirlik sağlayan yeterince Si içerir.
- ❑ Akışkanlık, sıvı metalin bir kalıba doğru erken katılma olmadan akma yeteneğidir.
- ❑ Dökülebilirlik ise alaşımdan iyi bir dökümün yapılabilmesini sağlar.

TABLE 13-2 ■ *The effect of strengthening mechanisms in aluminum and aluminum alloys*

Material	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation	Ratio of Alloy-to-Metal Yield Strengths
Pure Al	6,500	2,500	60	1
Commercially pure Al (at least 99% pure)	13,000	5,000	45	2.0
Solid-solution-strengthened Al alloy	16,000	6,000	35	2.4
Cold-worked Al	24,000	22,000	15	8.8
Dispersion-strengthened Al alloy	42,000	22,000	35	8.8
Age-hardened Al alloy	83,000	73,000	11	29.2

TABLE 13-3 ■ Designation system for aluminum alloys

Wrought alloys:

1xxx ^a	Commercially pure Al (>99% Al)	Not age-hardenable
2xxx	Al-Cu and Al-Cu-Li	Age-hardenable
3xxx	Al-Mn	Not age-hardenable
4xxx	Al-Si and Al-Mg-Si	Age-hardenable if magnesium is present
5xxx	Al-Mg	Not age-hardenable
6xxx	Al-Mg-Si	Age-hardenable
7xxx	Al-Mg-Zn	Age-hardenable
8xxx	Al-Li, Sn, Zr, or B	Age-hardenable
9xxx	Not currently used	

Casting alloys:

1xx.x. ^b	Commercially pure Al	Not age-hardenable
2xx.x.	Al-Cu	Age-hardenable
3xx.x.	Al-Si-Cu or Al-Mg-Si	Some are age-hardenable
4xx.x.	Al-Si	Not age-hardenable
5xx.x.	Al-Mg	Not age-hardenable
7xx.x.	Al-Mg-Zn	Age-hardenable
8xx.x.	Al-Sn	Age-hardenable
9xx.x.	Not currently used	

^a The first digit shows the main alloying element, the second digit shows modification, and the last two digits shows the decimal % of the Al concentration (e.g., 1060: will be 99.6% Al alloy).

^b Last digit indicates product form, 1 or 2 is ingot (depends upon purity) and 0 is for casting.



TABLE 13-4 ■ *Temper designations for aluminum alloys*

F	As-fabricated (hot-worked, forged, cast, etc.)
O	Annealed (in the softest possible condition)
H	Cold-worked
	H1x—cold-worked only. (x refers to the amount of cold work and strengthening.)
	H12—cold work that gives a tensile strength midway between the O and H14 tempers.
	H14—cold work that gives a tensile strength midway between the O and H18 tempers.
	H16—cold work that gives a tensile strength midway between the H14 and H18 tempers.
	H18—cold work that gives about 75% reduction.
	H19—cold work that gives a tensile strength greater than 2000 psi of that obtained by the H18 temper.
	H2x—cold-worked and partly annealed.
	H3x—cold-worked and stabilized at a low temperature to prevent age hardening of the structure.
W	Solution-treated
T	Age-hardened
	T1—cooled from the fabrication temperature and naturally aged.
	T2—cooled from the fabrication temperature, cold-worked, and naturally aged.
	T3—solution-treated, cold-worked, and naturally aged.
	T4—solution-treated and naturally aged.
	T5—cooled from the fabrication temperature and artificially aged.
	T6—solution-treated and artificially aged.
	T7—solution-treated and stabilized by overaging.
	T8—solution-treated, cold-worked, and artificially aged.
	T9—solution-treated, artificially aged, and cold-worked.
	T10—cooled from the fabrication temperature, cold-worked, and artificially aged.

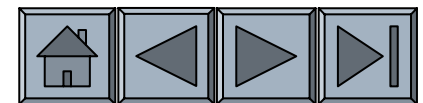
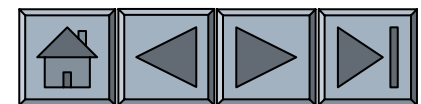
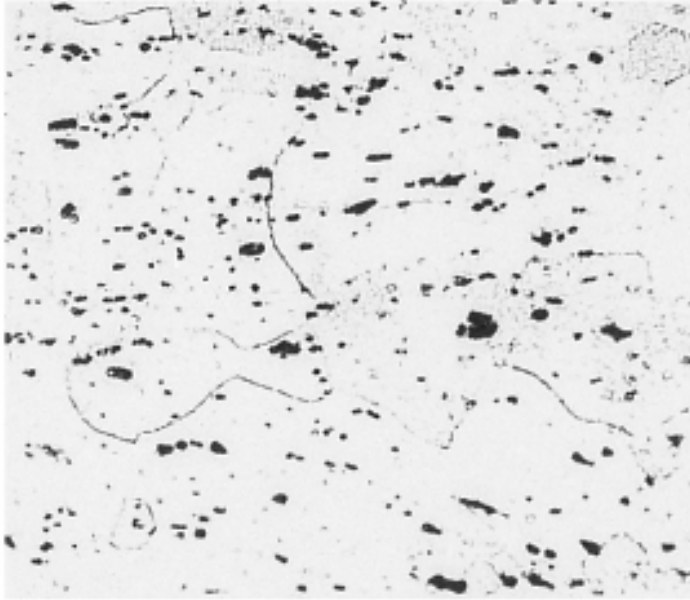




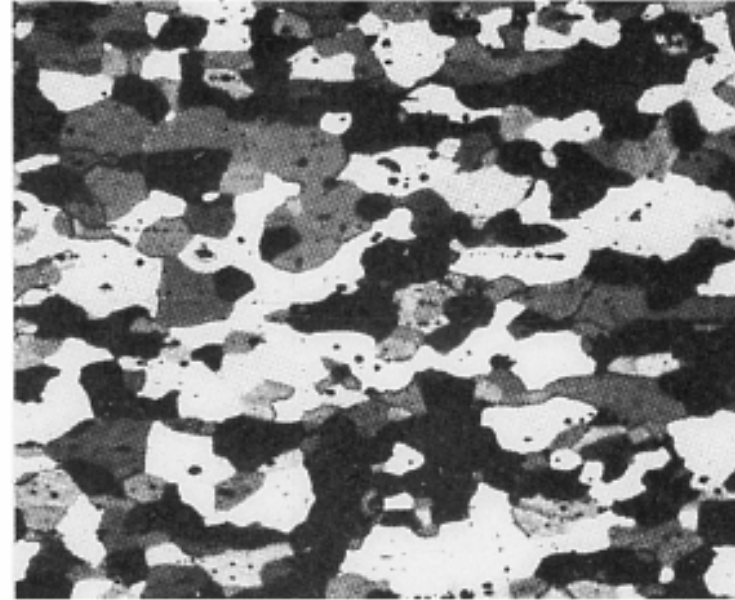
TABLE 13-5 ■ *Properties of typical aluminum alloys*

Alloy		Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation	Applications
Non heat-treatable wrought alloys:					
1100-O	>99% Al	13,000	5,000	40	Electrical components, foil, food processing, beverage can bodies, architectural uses, filler metal for welding, beverage can tops, and marine components
1100-H18		24,000	22,000	10	
3004-O	1.2% Mn-1.0% Mg	26,000	10,000	25	
3004-H18		41,000	36,000	9	
4043-O	5.2% Si	21,000	10,000	22	
4043-H18		41,000	39,000	1	
5182-O	4.5% Mg	42,000	19,000	25	
5182-H19		61,000	57,000	4	
Heat-treatable wrought alloys:					
2024-T4	4.4% Cu	68,000	47,000	20	Truck wheels, aircraft skins, pistons, canoes, railroad cars, and aircraft frames
2090-T6	2.4% Li-2.7% Cu	80,000	75,000	6	
4032-T6	12% Si-1% Mg	55,000	46,000	9	
6061-T6	1% Mg-0.6% Si	45,000	40,000	15	
7075-T6	5.6% Zn-2.5% Mg	83,000	73,000	11	
Casting alloys:					
201-T6	4.5% Cu	70,000	63,000	7	Transmission housings, general purpose castings, aircraft fittings, motor housings, automotive engines, food-handling equipment, and marine fittings
319-F	6% Si-3.5% Cu	27,000	18,000	2	
356-T6	7% Si-0.3% Mg	33,000	24,000	3	
380-F	8.5% Si-3.5% Cu	46,000	23,000	3	
390-F	17% Si-4.5% Cu	41,000	35,000	1	
443-F	5.2% Si (sand cast)	19,000	8,000	8	
	(permanent mold)	23,000	9,000	10	
	(die cast)	33,000	16,000	9	



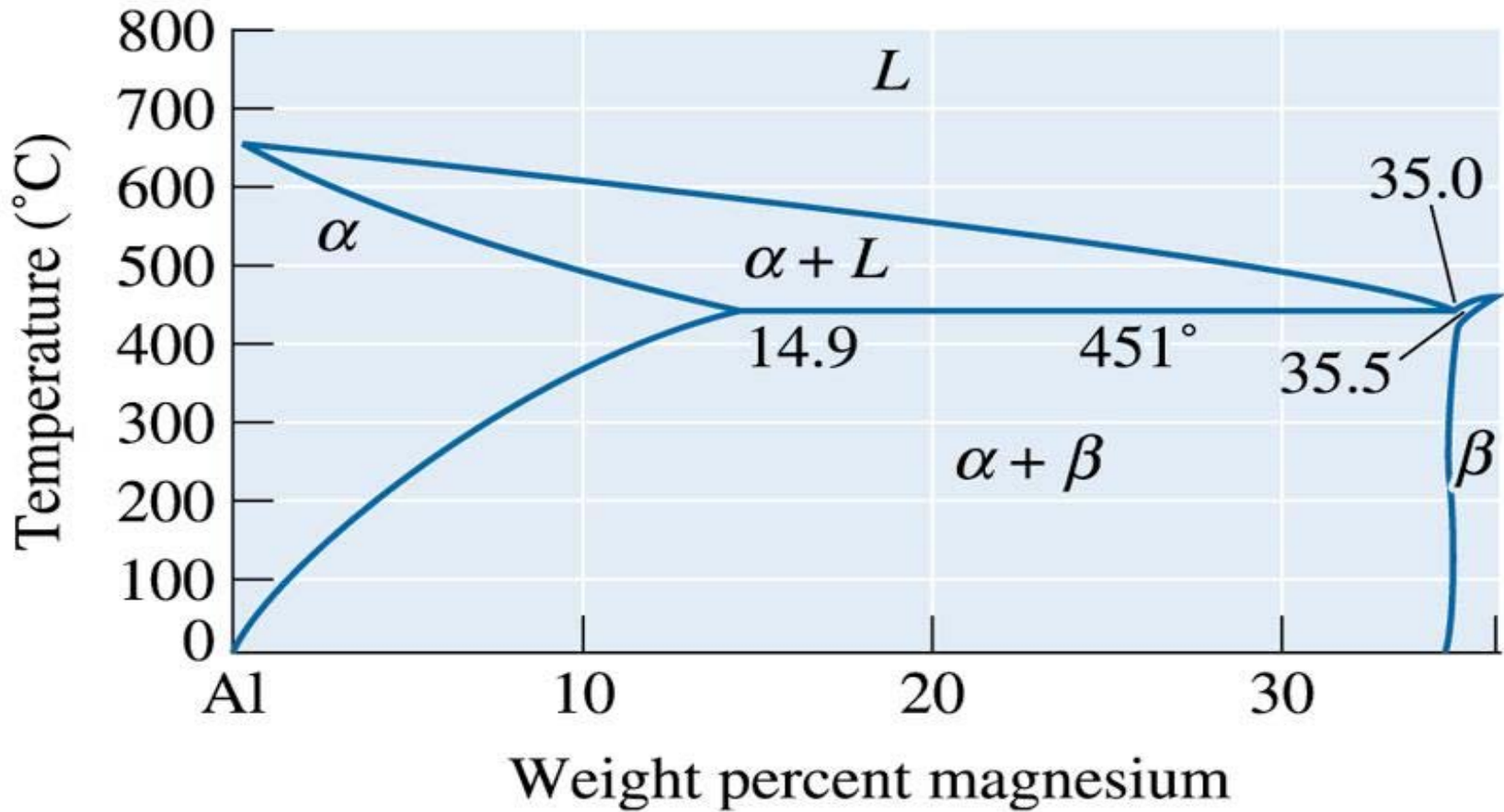


(a)



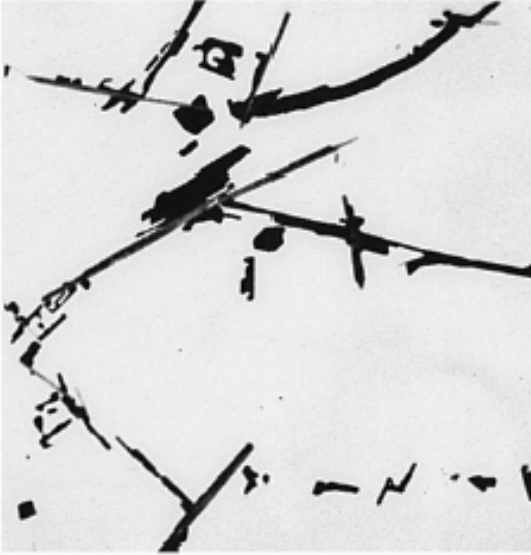
(b)

(a) Tavlanmış 1100 alaşımında $FeAl_3$ inklüzyonları ($\times 350$). (b) Tavlanmış 5457 alüminyum alaşımında Mg_2Si çökeltileri ($\times 75$). (From ASM Handbook, Vol. 7, (1972), ASM International, Materials Park, OH 44073.)

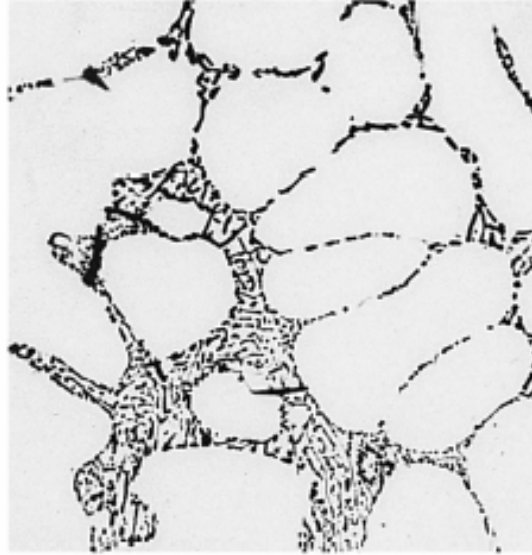


©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

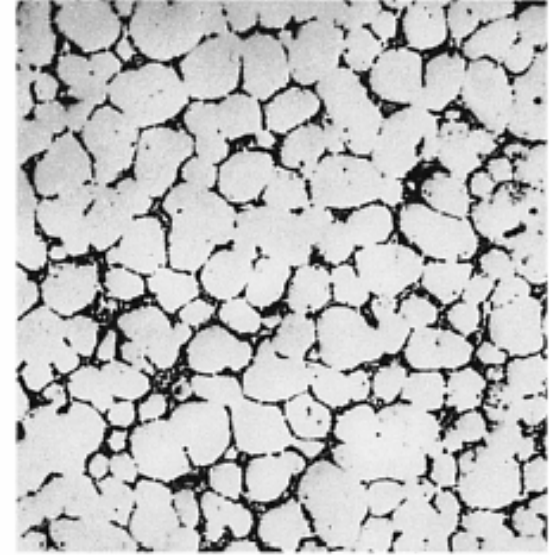
Al-Mg faz diyagramının bir kısmı.



(a)



(b)



(c)

Şekil. (a) Kaba silikon ve inklüzyonları içeren kuma döküm 443 alüminyum alaşımı. (b) Hızlı soğuma nedeniyle oluşan ince dentrit hücreleri ve küçük silisyum içeren metal kalıba döküm 443 alaşımı. (c) Basınçlı döküm 443 alaşımı ($\times 350$). (From ASM Handbook, Vol. 7, (1972), ASM International, Materials Park, OH 44073.)

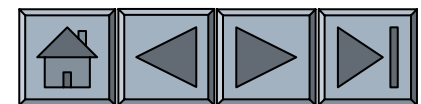
Örnek 13.1. Tasarımda Dayanımın Ağırlığa Oranı

0,5 in. çapa sahip çelik kablonun akma dayanımı 70000 psi'dir. Çeliğin yoğunluğu $7,87 \text{ g/cm}^3$. Tablo 13-5'de verilen özelliklere göre (a) çelik kablonun taşıyabileceği maksimum yükü (b) aynı yükü taşıması için soğuk işlenmiş 3004-H 18'in ihtiyaç duyacağı çapı ve (c) çelik kablonun bir aynı uzunlukta alüminyum kablonun ağırlıklarını karşılaştırınız?

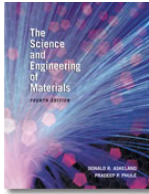


TABLE 13-5 ■ *Properties of typical aluminum alloys*

Alloy		Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation	Applications
Non heat-treatable wrought alloys:					
1100-O	>99% Al	13,000	5,000	40	Electrical components, foil, food processing, beverage can bodies, architectural uses, filler metal for welding, beverage can tops, and marine components
1100-H18		24,000	22,000	10	
3004-O	1.2% Mn-1.0% Mg	26,000	10,000	25	
3004-H18		41,000	36,000	9	
4043-O	5.2% Si	21,000	10,000	22	
4043-H18		41,000	39,000	1	
5182-O	4.5% Mg	42,000	19,000	25	
5182-H19		61,000	57,000	4	
Heat-treatable wrought alloys:					
2024-T4	4.4% Cu	68,000	47,000	20	Truck wheels, aircraft skins, pistons, canoes, railroad cars, and aircraft frames
2090-T6	2.4% Li-2.7% Cu	80,000	75,000	6	
4032-T6	12% Si-1% Mg	55,000	46,000	9	
6061-T6	1% Mg-0.6% Si	45,000	40,000	15	
7075-T6	5.6% Zn-2.5% Mg	83,000	73,000	11	
Casting alloys:					
201-T6	4.5% Cu	70,000	63,000	7	Transmission housings, general purpose castings, aircraft fittings, motor housings, automotive engines, food-handling equipment, and marine fittings
319-F	6% Si-3.5% Cu	27,000	18,000	2	
356-T6	7% Si-0.3% Mg	33,000	24,000	3	
380-F	8.5% Si-3.5% Cu	46,000	23,000	3	
390-F	17% Si-4.5% Cu	41,000	35,000	1	
443-F	5.2% Si (sand cast)	19,000	8,000	8	
	(permanent mold)	23,000	9,000	10	
	(die cast)	33,000	16,000	9	



ÇÖZÜM



a. $Yük = F = \sigma_y \times A = 70.000 (\pi/4) (0.5 \text{ in.})^2 = 13744 \text{ lb}$

b. Alüminyum alaşımının akma dayanımı 36000 psi:

$$A = (\pi/4)d^2 = F/\sigma_y = 13,744/36,000 = 0.38 \text{ in.}^2$$

$$d = 0.697 \text{ in.}$$

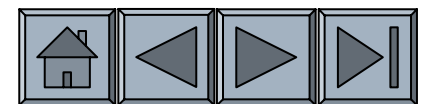
$$\text{Çelik yoğunluğu} = \rho = 7.87 \text{ g/cm}^3 = 0.284 \text{ lb/in.}^3$$

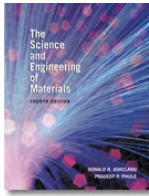
$$\text{Alüminyum yoğunluğu} = \rho = 2.70 \text{ g/cm}^3 = 0.097 \text{ lb/in}^3$$

a. Çeliğin ağırlığı = $Al_\rho = (\pi/4)(0.5\text{in})^2(12)(0.284) = 0.669 \text{ lb/ft}$

$$\text{Alüminyumun ağırlığı} = Al_\rho = (\pi/4)(0.697)^2 (2) (12) (0.097) = 0.444 \text{ lb/ft}$$

Alüminyumun akma dayanımı çelikten düşük olmasına rağmen ve gerekli kablo çapı büyükken alüminyum kablo ağırlığı çeliğin yarısı kadardır. Tasarımı yaparken güvenlik konusunda tüm faktörlerin irdelenmesi gerektiği unutulmamalıdır.





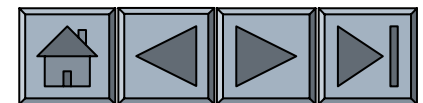
Örnek 13.2. Alüminyum Geri Dönüşüm Prosesinin Tasarımı

İçecek kutularında kullanılan alüminyum alaşımlarının geri dönüşüm metodunun tasarımı.

ÇÖZÜM

Kutulardaki iki alaşımı birbirinden ayırmak için kutular kırpıntı şekline getirilir. Kullanım sırasında kutuyu koruyan lak bu kırpıntılar ısıtılarak ayrılır. Malzemeyi daha sonra 5182 alaşımının ergime sıcaklığına kadar ısıtılır ve bu alaşım ayrılır.

Diğer bir yöntem ise kutuların tekrar ergitilip içerisine klor gazı enjekte edilmesidir. Böylece klor gazı Mg ile reaksiyona girer ve magnezyum klorit şeklinde ayrılır. Geriye kalan sıvı 3004 alaşımı olarak geri dönüştürülür.





Örnek 13.3. Krojenik Tanklar İçin Malzeme Seçimi ve Tasarımı

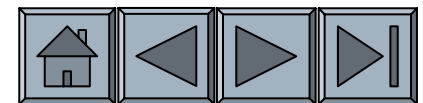
Uzay mekiklerinde sıvı hidrojenin depolanmasında kullanılan malzemenin tasarımı.

ÇÖZÜM

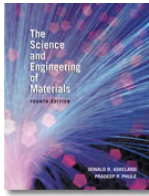
Sıvı hidrojen 253°C 'nin altında depolanır bu yüzden tanklar iyi krojenik özelliklere sahip olmalıdır.

Hafif alüminyum iyi bir çözüm olarak görünmektedir. Alüminyumun sünek-gevrek geçiş sıcaklığı yoktur. En yumuşak temperinde iyi süneklik özelliğinden dolayı iyi kırılma tokluğu özelliği göstermesi beklenir

En genel kullanılan krojenik alaşım 5083-O. Al-Li alaşımları da kullanılabilir.



Örnek 13.4. Otomobil Jantlarında Döküm Prosesi Tasarımı

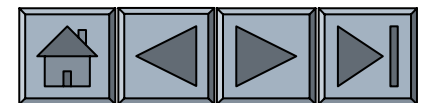


Düşük ağırlık, kararlı ve uniform özelliklere sahip otomobil jantı üretimi için prosesi tasarlayınız?

ÇÖZÜM

Tiksodöküm prosesi malzemenin katılaşma sırasında karıştırılarak yarı katı hale getirilip kısmen katı gibi kısmen de yük uygulanmamasına rağmen basınç altında sıvı gibi akabilen hale getirilmesidir.

Geniş katılaşma aralığına sahip alaşım seçilerek katılaşma prosesinin önemli bir bölümünün dentritlerin büyümesi ile oluşması sağlanır. Hipoötektik alüminyum alaşımları uygun olabilir. Tiksodökümde katılaşma esnasında karıştırma ile dentritler parçalanır. Biyet daha sonra alaşımın ötektik porsiyonunun ergimesi için tekrar ısıtılır ve likidüs sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta yarı katı durumunda kalıba gönderilir.



Bölüm 13.2. Magnezyum ve Berilyum Alaşımları

- **Magnezyum alaşımları** havacılık uygulamalarında, yüksek hızlı işlemlerde ve ulaşım ve malzeme taşıma ekipmanlarında kullanılır.
- Belli saflıktaki (Instrument grade) **berilyum** elastik deformasyonun minimum olduğu sistemlerde, yapısal saflıkta olanlar (structural grades) havacılık uygulamalarında kullanılır. Nükleer uygulamalar elektromanyetik radyasyona karşı transparan olma özelliğini kullanır. Berilyum pahalı, gevrek, reaktif ve toksiktir.

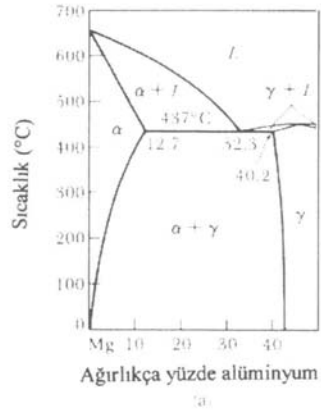
Magnezyum Alaşımları

- ❑ Magnezyum alaşımları Al alaşımları kadar sağlam değildir ancak dayanım-ağırlık oranları kıyaslanabilir düzeydedir.
- ❑ Mg alaşımları uzay uygulamalarında, yüksek hızlı makinelerde, taşımacılık ve el ile işleme ekipmanlarının malzemelerinde kullanılır.

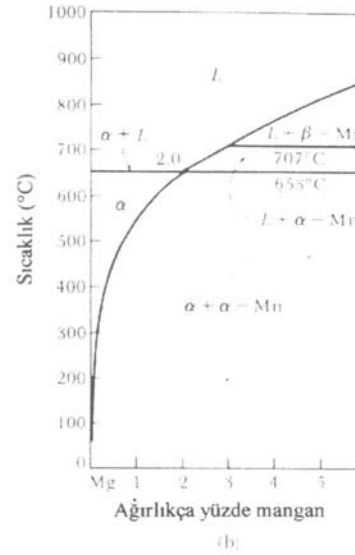
Yapı ve Özellikleri

- ❑ Mg, HSP yapıdadır.
- ❑ Al'den daha az sünektir. Buna karşın alaşımlama aktif kayma düzlem sayısını arttırdığı için magnezyum alaşımları bir miktar süneklığe sahiptir. Oda sıcaklığında biraz şekil değiştirme ve pekleşme sağlanabilir. Yüksek sıcaklıklarda ise kolaylıkla şekillendirilebilir.

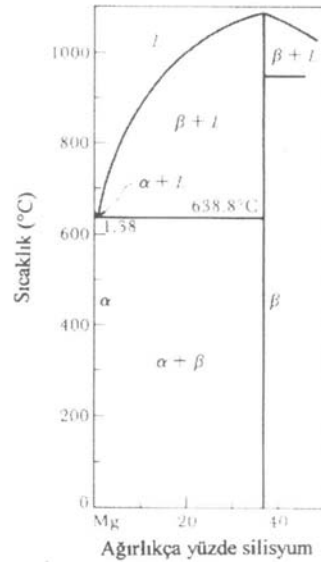
Mg-Al



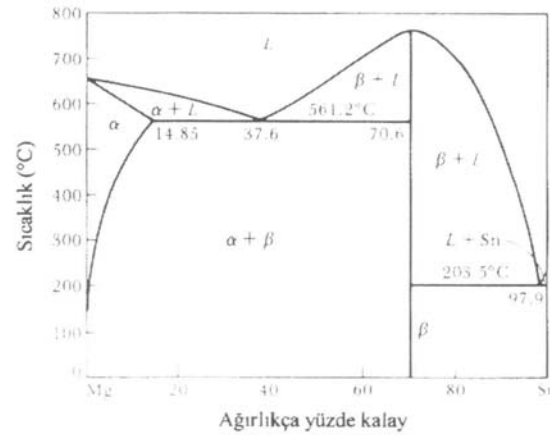
Mg-Mn

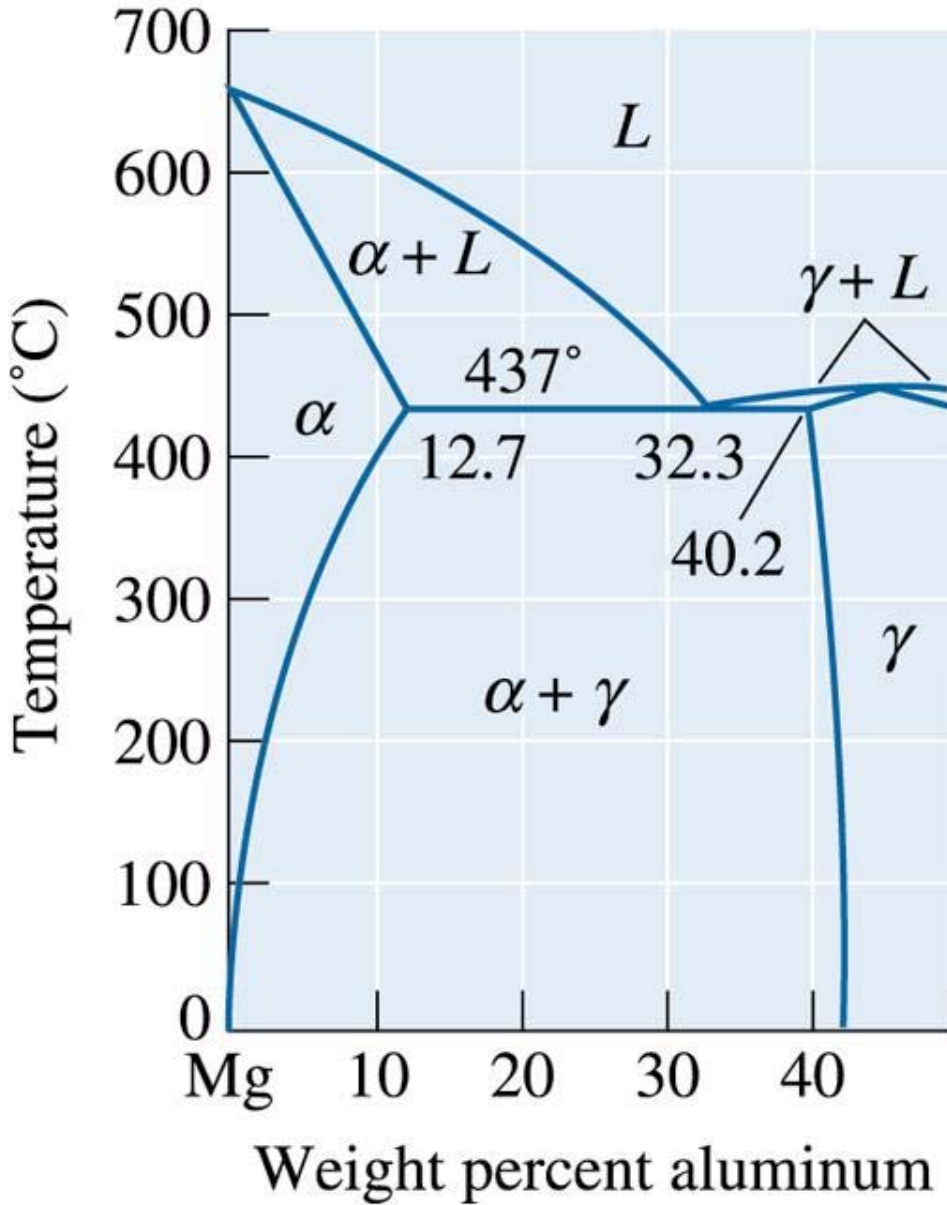


Mg-Si



Mg-Sn





Mg-Al faz diyagramı.

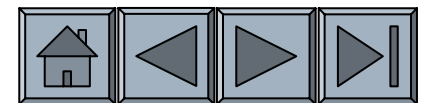


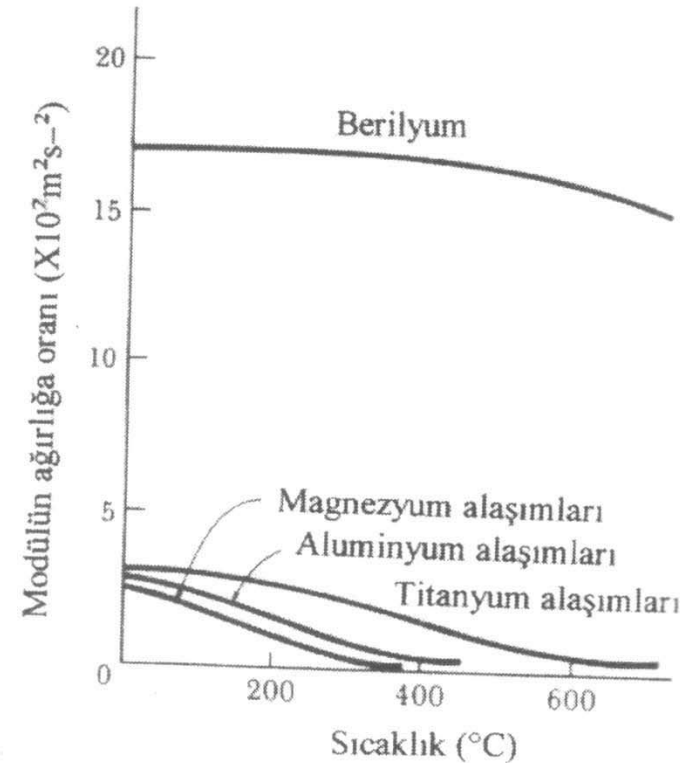
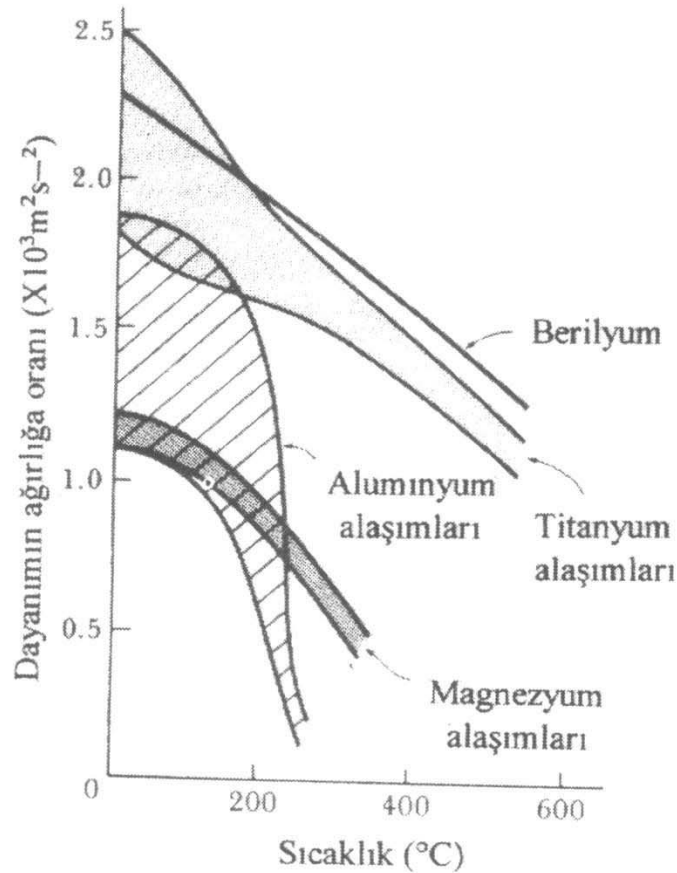
TABLE 13-6 ■ *Properties of typical magnesium alloys*

Alloy	Composition	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation
Pure Mg:				
	Annealed	23,000	13,000	3–15
	Cold-worked	26,000	17,000	2–10
Casting alloys:				
	AM 100-T6	40,000	22,000	1
	AZ81A-T4	40,000	12,000	15
	ZK61A-T6	45,000	28,000	10
Wrought alloys:				
	AZ80A-T5	55,000	40,000	7
	ZK40A-T5	40,000	37,000	4
	HK31A-H24	38,000	30,000	8

Berilyum

- ❑ Yüksek dayanım-ağırlık oranına sahiptir.
- ❑ Yüksek sıcaklıklarda özelliklerini korurlar.
- ❑ Berilyumun bir çok uzay ve nükleer uygulamaları, berilyumun mükemmel bir mühendislik malzemesi olduğunu gösterir.
- ❑ Berilyum, pahalı, gevrek, reaktif ve zehirlidir.

Berilyum ve demir dışı alaşımların dayanım-ağırlık oranı ve elastisite modülü-ağırlık oranı karşılaştırılması



Bölüm 13.3. Bakır Alaşımları

- **Blister bakır** - Bakır rafinasyon prosesinden elde edilen saf olmayan bakırdır.
- **Bakır alaşımları uygulamaları** elektrik bileşenleri (kablo) pompalar, valfler ve pumps, valves, and su boru parçaları.
- **Pirinç** – Temel alaşım elementi çinko olan bakır alaşımlarıdır.
- **Bronz** – Genel olarak kalay içeren bakır alaşımlarıdır ancak diğer alaşımları da içerebilir.

Bakır Alaşımları

- ❑ Demirden daha ağırdır.
- ❑ Bazı alaşımların akma dayanımları yüksek olmakla beraber, dayanım-ağırlık oranı tipik olarak Al veya Mg alaşımlarından daha azdır.
- ❑ Yorulma, sürünme ve aşınmaya karşı hafif ağırlıklı Al ve Mg alaşımlarından daha iyi dirence sahiptir.

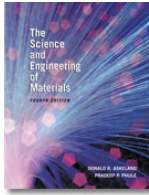
Ticari Saflıkta Bakır

- %1'den az impurite içeren bakırlar, elektrikle ilgili uygulamalar için kullanılır.
- Düşük miktarda Cd ve Ag ilavesi yüksek-sıcaklık sertliğini, telleryum veya kükürt ilavesi ise işlenebilirliği iyileştirir

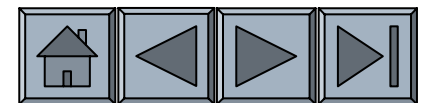
Pekleşme

- ❑ Tek fazlı bakır alaşımları soğuk şekillendirme ile oldukça iyi bir şekilde mukavemetlendirilebilir.
- ❑ YMK bakır mükemmel süneklik ve yüksek pekleşme katsayısına sahiptir.

Katı Eriyik Mukavemetlendirilmiş Alaşımlar



- ❑ Pek çok bakır esaslı alaşımlar, büyük miktarlarda alaşım elementleri içerirler, fakat yine de tek fazlı olarak kalırlar.
- ❑ %40'dan az Zn'li Cu-Zn veya piringç alaşımları, Cu içinde Zn'nin tek fazlı katı eriyiğini oluşturur. Mekanik özellikler, uzama, Zn içeriği yükseldikçe artar. Korozyon dirençli bu alaşımlar soğuk olarak şekillendirilebilir.

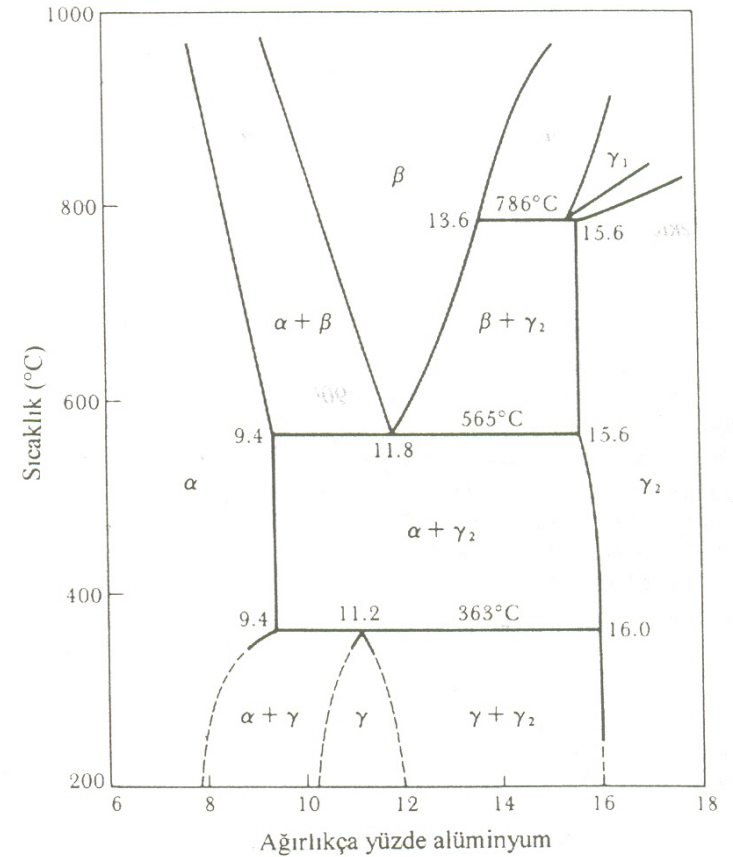


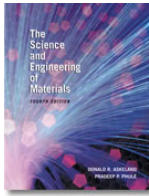
Yaşlandırılabilir Alaşımlar

- ❑ Zr-Cu, Cr-Cu, Be-Cu alaşımları yaşlandırılabilir alaşımlardır.
- ❑ Cu-Be alaşımları yüksek dayanım, yüksek bükülmezlikleri için tercih edilirler.

Faz Dönüşümleri

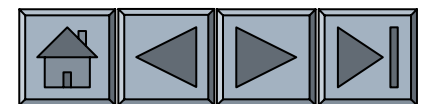
□ %9'un üzerinde Al içeren alüminyum bronzları ötektoid sıcaklık, 565°C'nin üzerine ısıtıldığında en azından β fazı oluşturur.



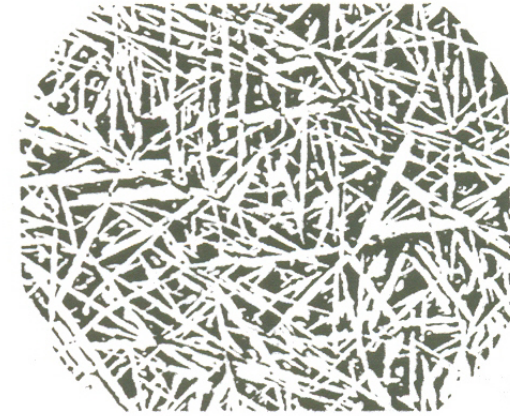


Faz Dönüşümleri

- ❑ Ötektoid reaksiyon kırılğan γ_2 bileşigi içeren lamelli yapı veya perliti oluşturur.
- ❑ Düşük sıcaklık peritektoid reaksiyon $\alpha + \gamma_2 \rightarrow \gamma$ normalde gerçekleşmez.
- ❑ Ötektoid ürün nispeten zayıf ve kırılıgandır.
- ❑ Alaşım yüksek dayanım ve düşük sünekliğe sahip martensit veya β' oluşturmak için 900°C 'nin üzerine ısıtıldıktan sonra hızla soğutulur.



□ β 400°C'den 600°C'ye temperlendiğinde β fazından çok ince levha şeklinde α çökelerek yüksek dayanım, iyi süneklik ve mükemmel tokluğun kombinasyonu sağlanır.





Kurşunlu Cu Alaşımları

- ❑ Cu'nun hemen hemen tüm dövme alaşımları %4,5 kadar Pb içerebilir.
- ❑ Pb, Cu ile monotektik reaksiyon oluşturur ve son katı sıvılaştırırken küçük Pb küreleri oluşur.
- ❑ Pb işlenebilirliği iyileştirir, yağlama sağlanmasına yardımcı olur.
- ❑ Aşınmayı azaltmaya yardımcı olurlar.
- ❑ Dövme alaşımlarına yüksek miktarlarda Pb katılamaz, sıcak şekillendirme esnasında Pb erir ve alaşımı kırılganlaştırır.

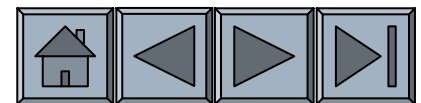
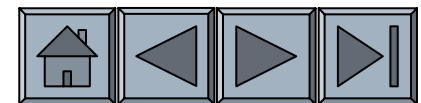
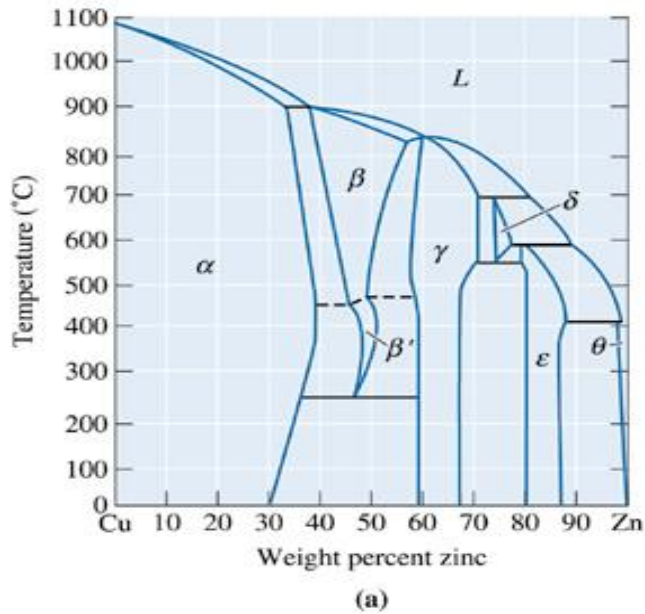
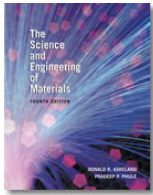


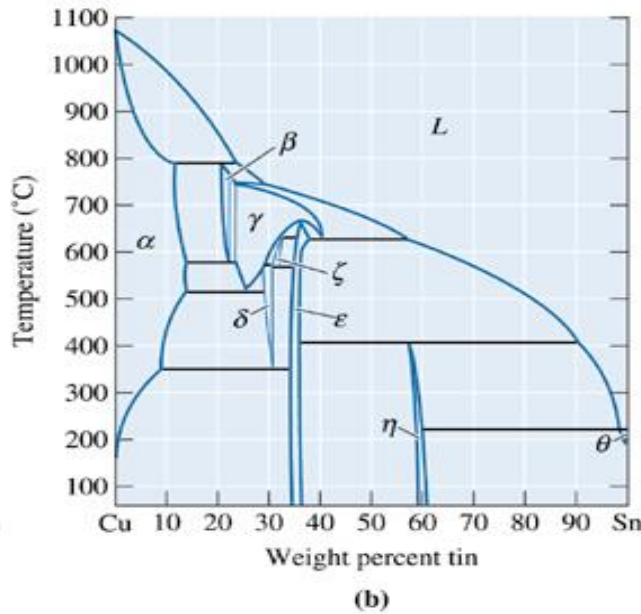
TABLE 13-7 ■ *Properties of typical copper alloys obtained by different strengthening mechanisms*

Material	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation	Strengthening Mechanism
Pure Cu, annealed	30,300	4,800	60	None
Commercially pure Cu, annealed to coarse grain size	32,000	10,000	55	Solid solution
Commercially pure Cu, annealed to fine grain size	34,000	11,000	55	Grain size
Commercially pure Cu, cold-worked 70%	57,000	53,000	4	Strain hardening
Annealed Cu-35% Zn	47,000	15,000	62	Solid solution
Annealed Cu-10% Sn	66,000	28,000	68	Solid solution
Cold-worked Cu-35% Zn	98,000	63,000	3	Solid solution + strain hardening
Age-hardened Cu-2% Be	190,000	175,000	4	Age hardening
Quenched and tempered Cu-Al	110,000	60,000	5	Martensitic reaction
Cast manganese bronze	71,000	28,000	30	Eutectoid reaction

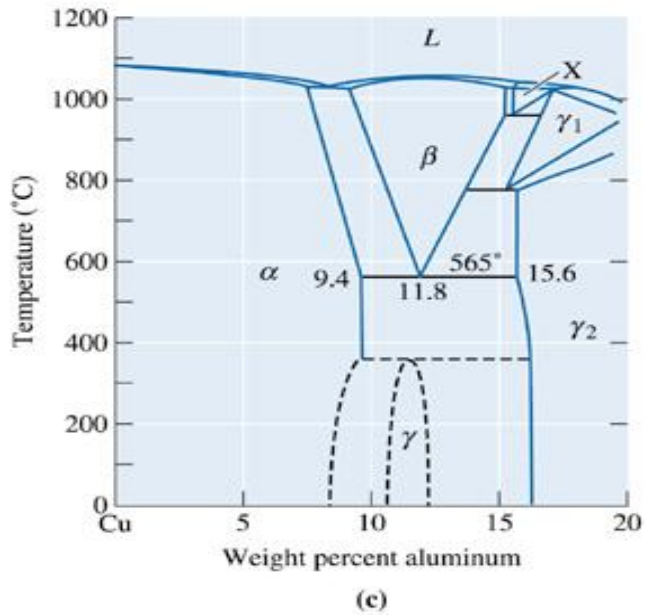




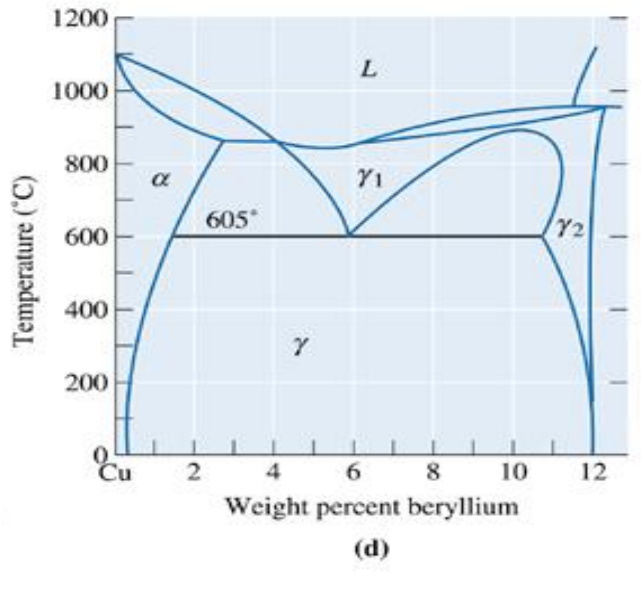
(a)



(b)

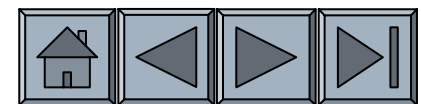


(c)



(d)

İkili denge diyagramları (a) Cu-Zn (b) Cu-Sn (c) Cu-Al, (d) Cu-Be





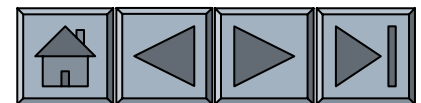
Örnek 13.5. Elektrik Açma Kapama Düğmesi İçin Malzeme Seçimi ve Tasarımı

Yüksek akım elektrik devresini açıp kapatan açma kapama düğmesinin kontaklarını tasarlayınız?

ÇÖZÜM

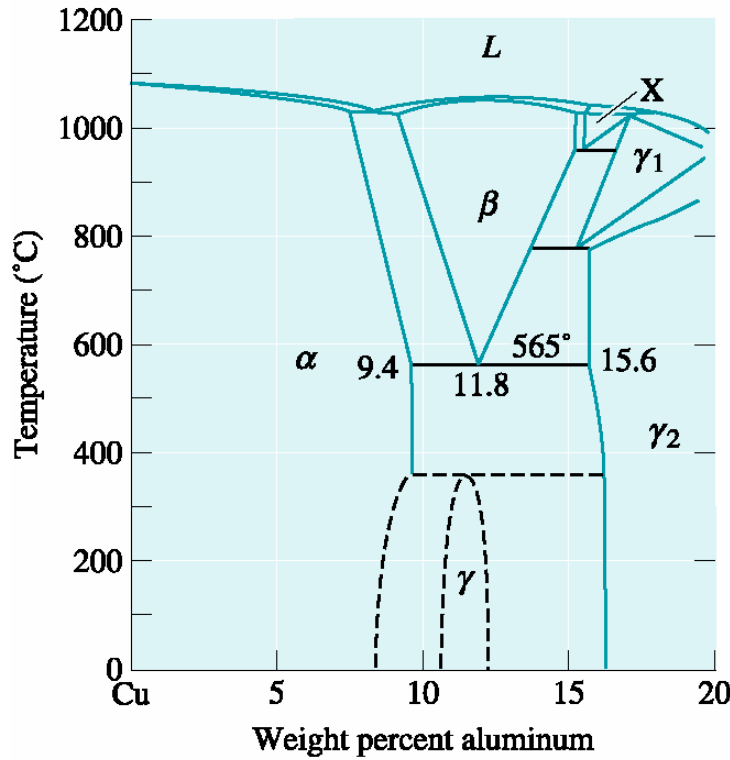
Açma kapama düğmesi açılıp kapatıldığında iletken yüzeyler arasındaki kontak aşınır ve zayıf temas sağlar veya ark yapmasına sebep olur.

Bu yüzden, tasarımıımız iyi elektrik iletimi ve iyi aşınma direnci sağlamalıdır. Dağılım sertleştirme tekniği ile sert bir faz ile mukavemet kazandırılmış saf bakır ideal olabilir. $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$ **alaşımı**, sert seramik oksit aşınma direncini sağlarken bakır matrisin elektrik iletkenliğini zayıflatmaz.



Örnek 13.6. Cu-Al alaşımlı dişlinin ısıl işlem prosesinin tasarımı

Yüksek mukavemetli alüminyum bronz dişlisinin (%10 Al içeren) üretimi için gerekli ısıl işlem prosesini tasarlayınız?



Cu-Al faz diyagramı.

(c)

ÇÖZÜM

1. Alaşımı 950°C ye kadar ısıt ve 100% β oluşturmak için bir süre tut.
2. Alaşımı oda sıcaklığına soğut, β 'nin martenzit β' dönüşümünü sağla. Bu faz yapıda aşırı doyuluş şeklinde dağılır.
3. 565°C altında tavla uygun sıcaklık 400°C olabilir. Temperleme sırasında martenzit α ve γ_2 ye dönüşür. γ_2 miktarı (400°C):

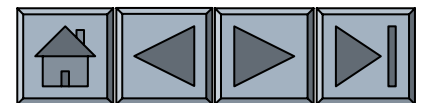
$$\% \gamma_2 = \frac{10 - 9.4}{15.6 - 9.4} \times 100 = 9.7\%$$

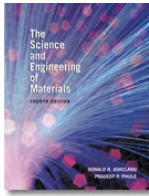
4. Çabucak oda sıcaklığına soğut böylece denge fazı olan γ oluşmasın.



Bölüm 13.4. Nikel ve Kobalt Alaşımları

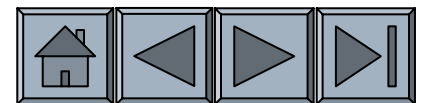
- **Nikel ve kobalt alaşımları** yüksek ergime noktaları ve yüksek mukavemetleri nedeniyle korozyondan koruma ve yüksek sıcaklık direnci gerektiren uygulamalarda kullanılırlar.
- **Süperalaşımlar** – Mükemmel ısı, sürünme ve korozyon direncine sahip nikel, demir-nikel ve kobalt alaşımlarıdır.





Nikel ve Kobalt

- ❑ Ergime noktaları ve dayanımları yüksektir.
- ❑ İyi korozyon dirençlerine ve yüksek sıcaklık kullanımlarına sahiptirler.
- ❑ Nikel YMK yapıdadır, şekillendirilebilirliği iyidir.
- ❑ Kobalt 417°C'nin üzerinde YMK yapılı, düşük sıcaklıklarda ise HSP yapılı allotropik bir metaldir.
- ❑ Özel kobalt alaşımları vücut sıvılarına karşı gösterdikleri yüksek aşınma dayanımlarından dolayı özellikle kalça protezlerinde kullanılırlar.



Nikel ve Monel

- ❑ Nikelin korozyon direnci ve şekillendirme özellikleri mükemmeldir.
- ❑ Cu-Ni alaşımında, %60 Ni ile maksimum dayanım elde edilmektedir → MONEL
- ❑ Monel → Tuzlu sudaki korozyon dirençleri ve yüksek sıcaklıktaki dayanımları çok iyidir.
- ❑ Bazı moneller az miktarda Al ve Ti içerir. Bu alaşımlar γ' 'nin çökmesi ile yaşlandırılabilir. Uyumlu Ni_3Al veya Ni_3Ti çökeltileri çekme dayanımlarını 2 kat arttırır.

Çeşitli nikel esaslı alaşımların çekme dayanımları üzerine sıcaklığın etkisi

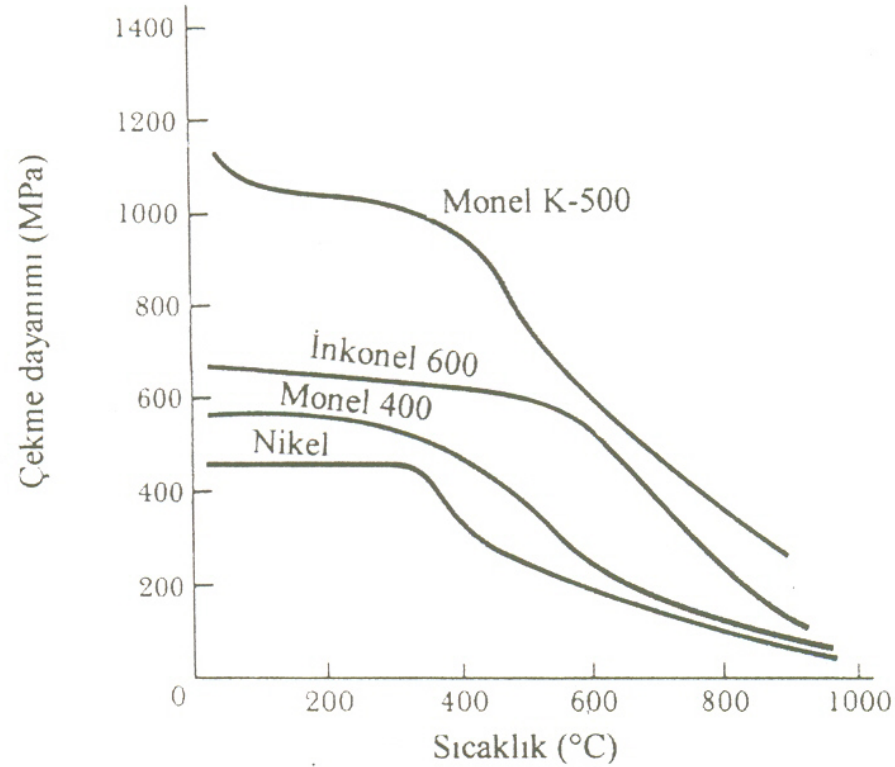
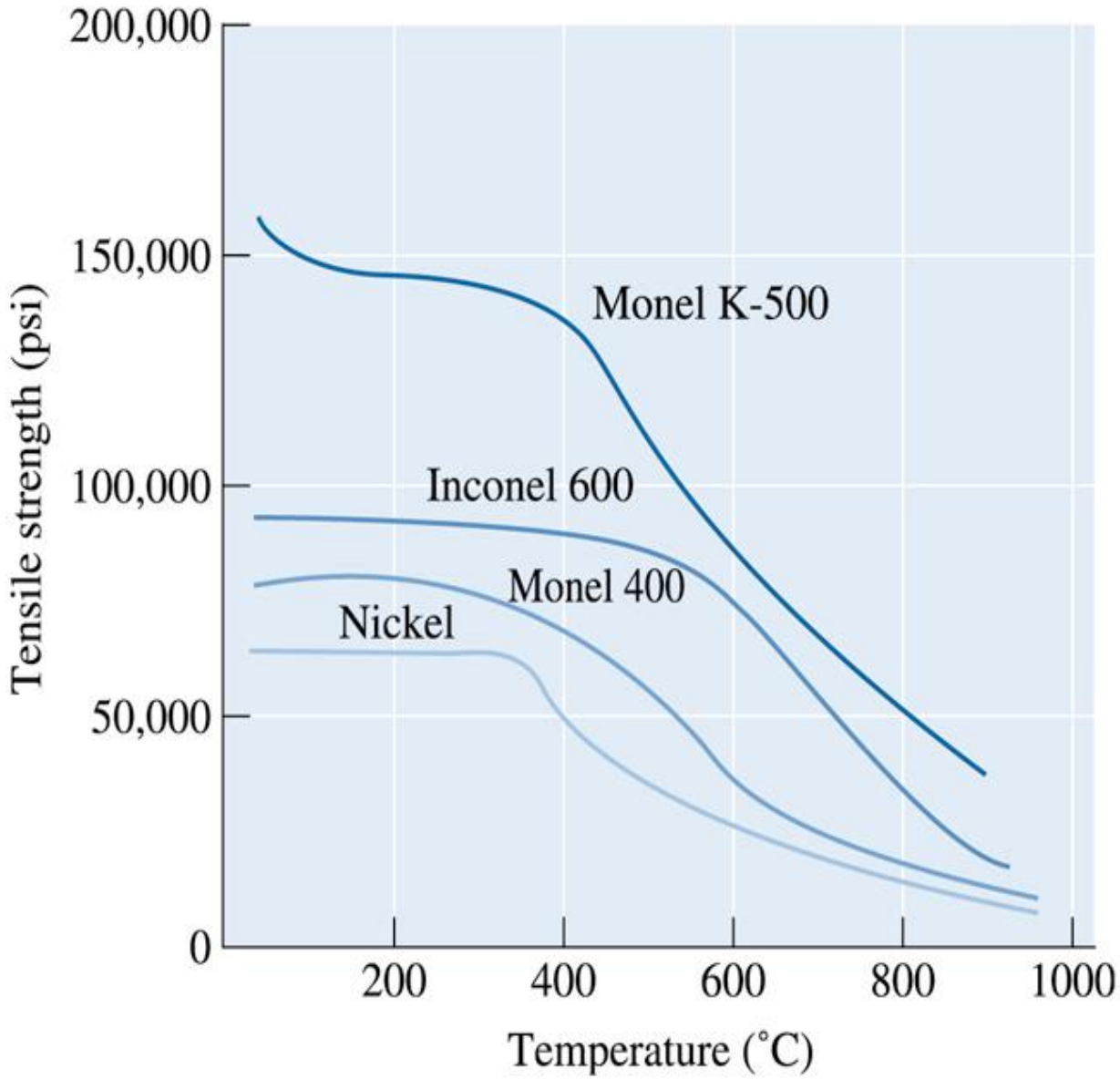
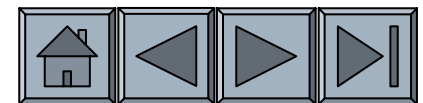


TABLE 13-8 ■ *Compositions, properties, and applications for selected nickel and cobalt alloys*

Material	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation	Strengthening Mechanism	Applications
Pure Ni (99.9% Ni)	50,000	16,000	45	Annealed	Corrosion resistance
	95,000	90,000	4	Cold-worked	Corrosion resistance
Ni-Cu alloys:					
Monel 400 (Ni-31.5% Cu)	78,000	39,000	37	Annealed	Valves, pumps, heat exchangers
Monel K-500 (Ni-29.5% Cu-2.7% Al-0.6% Ti)	150,000	110,000	30	Aged	Shafts, springs, impellers
Ni superalloys:					
Inconel 600 (Ni-15.5% Cr-8% Fe)	90,000	29,000	49	Carbides	Heat-treatment equipment
Hastelloy B-2 (Ni-28% Mo)	130,000	60,000	61	Carbides	Corrosion resistance
DS-Ni (Ni-2% ThO ₂)	71,000	48,000	14	Dispersion	Gas turbines
Fe-Ni superalloys:					
Incoloy 800 (Ni-46% Fe-21% Cr)	89,000	41,000	37	Carbides	Heat exchangers
Co superalloys:					
Stellite 6B (60% Co-30% Cr-4.5% W)	177,000	103,000	4	Carbides	Abrasive wear resistance



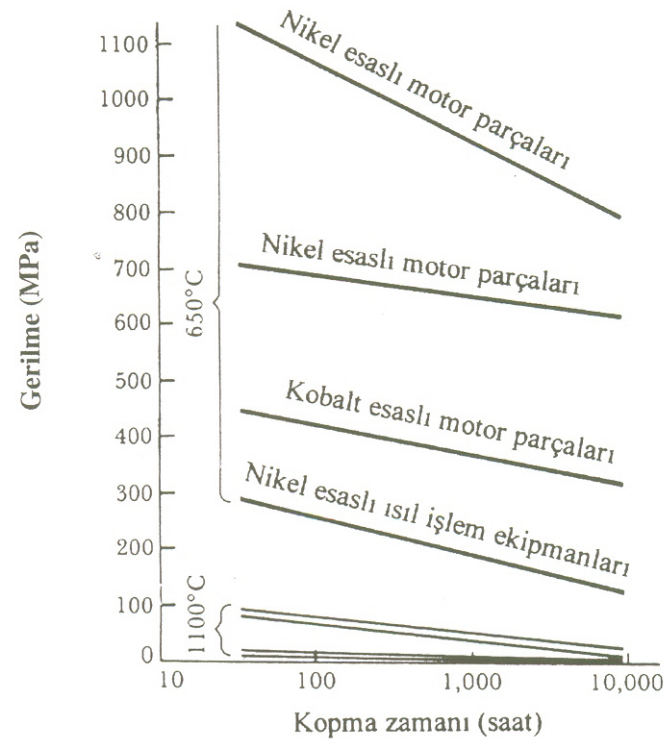
Şekil. Ni alaşımlarının çekme mukavemetlerine sıcaklığın etkisi.



Süper Alaşımlar

- ❑ Büyük miktarda alaşım elementi içeren süper alaşımlar yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım ve 1100°C'ye kadar sürünme ve korozyon direncinin kombinasyonunu sağlamak için tasarlanırlar.
- ❑ Alaşımın ergime sıcaklıkları çelikler için ergime sıcaklığı ile yaklaşık aynıdır.

Bazı süperalaşımların 850 ve 1150°C'de gerilme – kopma davranışları



Katı Eriyik Mukavemetlenmesi

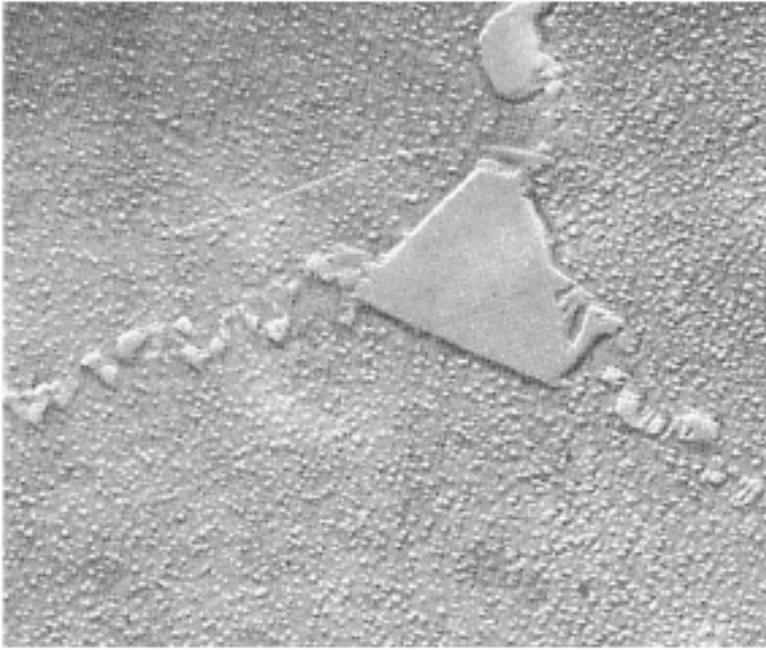
- ❑ Az miktarda Cr, Mo, W, B, Nb ilavesi katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar.
- ❑ Alaşım sürünmeye karşı direnç kazanır.

Karbür Dağılımı

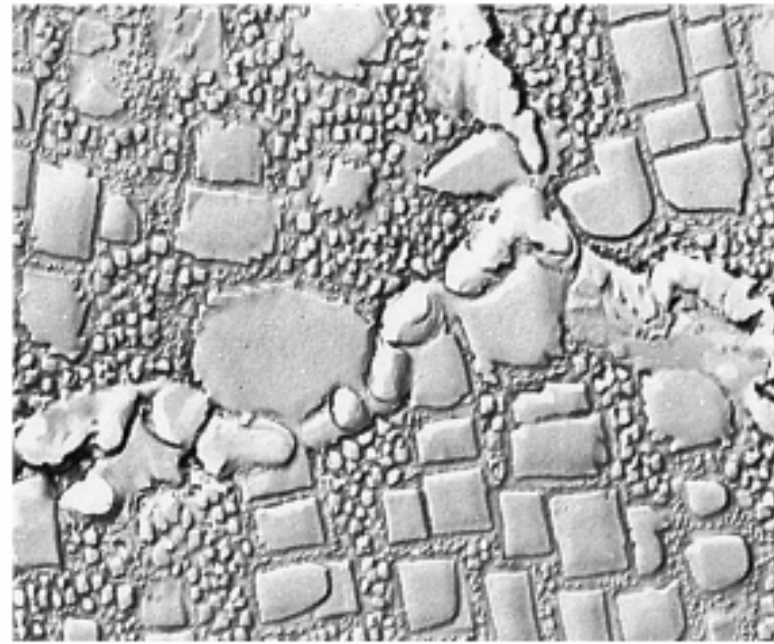
- ❑ Karbür diğer alaşım elementleri ile birleşerek çok ince, kararlı bir karbür parçacıkları şebekesi oluşturur.
- ❑ Karbür şebekesi dislokasyonların hareketini ve tane sınırlarının kaymasını engeller.

Çökelti Mukavemetlenmesi

- Al ve Ni içeren bazı nikel ve nikel-demir süperalaşımaları, yaşlandırma esnasında uyumlu γ' çökeltisi oluştururlar.
- γ' parçacıkları sürünmeye karşı direnç ve dayanımı artırır.



(a)



(b)

(a) Süper alaşımların mikroyapısı (tane sınırlarındaki karbürler ve matristeki γ' çökeltileri ($\times 15,000$)). (b) İki sıcaklıkta yaşlandırılmış büyük ve küçük kübik γ' çökeltiler ($\times 10,000$). (ASM Handbook, Vol. 9, Metallography and Microstructure (1985), ASM International, Materials Park, OH 44073.)

Bölüm 13.5. Titanyum Alaşımları

- Titanyum mükemmel korozyon direnci nedeniyle kimyasal proses cihazlarında, deniz uygulamalarında ve biyomedikal implantlarda kullanılmaktadır.
- Havacılık uygulamalarında gövde ve jet motor bileşenlerinde kullanılır.
- **Titanyum** alaşımları **biyolojik uyumlu** olarak bilinirler. Kemik benzeri poröz kaplamalar (hidroksiapatit) geliştirerek titanyum implatlar **bioaktif** hale getirilebilir yani bu kaplama üstünde doğal kemik büyüyebilir.

Titanyum Alaşımları

- ❑ Mükemmel korozyon direnci, yüksek dayanım-ağırlık oranı ve iyi yüksek sıcaklık özellikleri sağlayan hafif bir metaldir.
- ❑ 1380 MPa'la kadar olan dayanım 4.505 Mgm^{-3} yoğunlukla kombine olarak mükemmel mekanik özellikler sağlarken 5350°C 'nin altında yapışkan, koruyucu TiO_2 filmi, korozyona karşı mükemmel direnç sağlar.

Titanyum Alaşımları

- ❑ Düşük sıcaklıklarda HSP (α), 823°C'nin üzerinde HMK (β) yapıdadır.
- ❑ Alaşım elementleri katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar ve allotropik dönüşüm sıcaklığını değiştirir.
- ❑ Sn katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar, dönüşüm sıcaklığını değiştirmez.
- ❑ Al, O, H gibi elementler dönüşüm sıcaklığını yükseltir (α dengeleyici elementler).
- ❑ V, Ta, Mo, Nb dönüşüm sıcaklığını düşürürler (β dengeleyici elementler).

Ticari Saflıkta Titanyum

- ❑ İyi korozyon direnci
- ❑ Yüksek sıcaklıklarda dayanımını kaybeder
- ❑ Boru donanımları, reaktörler, pompalar, valfler

α – Titanyum Alaşımları

- ❑ α alaşımlarının hepsi %5 Al ve %2.5 Sn içerir. Bunların her ikisi de alfaya katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar.
- ❑ Bu alaşımlar HSP yapılarına rağmen yüksek sıcaklıklarda dayanımlarını iyi korurken korozyon ve oksidasyon dirençleri ve kaynaklanabilirlikleri iyidir.

β – Titanyum Alaşımları

V ve Mo'nun büyük miktarda ilavesi oda sıcaklığında tamamen bir beta yapısı üretmekle beraber beta olarak adlandırılan alaşımların hiçbirisi gerçekten bu miktarlarda alaşımlanmazlar. Bunun yerine bu alaşımlar beta dengeleyicilerle zengindirler.

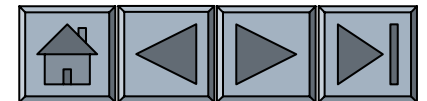
$\alpha - \beta$ Titanyum Alaşımları

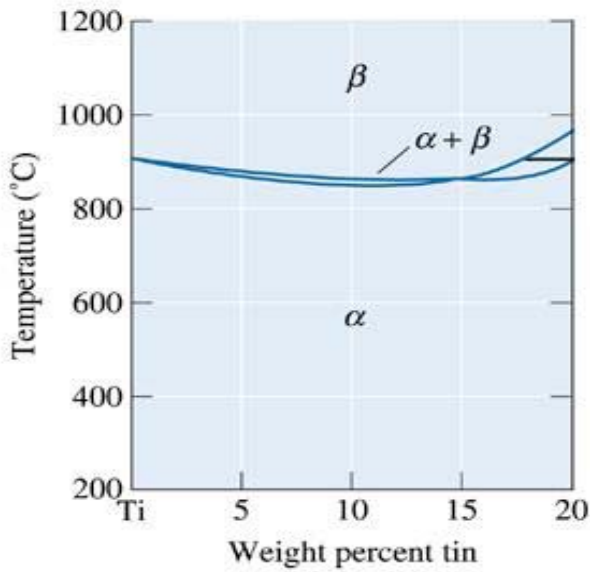
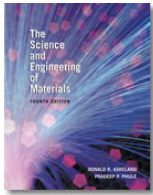
- ❑ Alfa-beta dengeleyicilerin uygun dengesi ile oda sıcaklığında alfa ve betanın bir karışımı üretilir.
- ❑ Tavlama, yüksek süneklik, üniform özellikler ve iyi dayanım kombinasyonunu oluşturur.



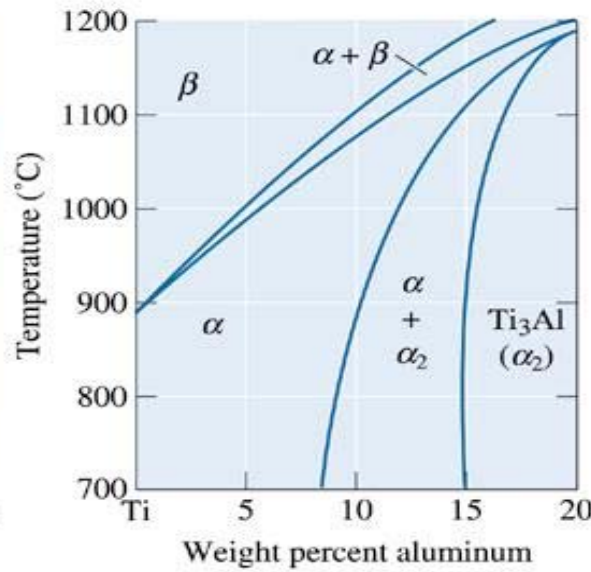
Titanyum Alaşımlarının İşlemleri

- Titanyum alaşımları döküm, şekillendirme ve birleştirme teknikleriyle kullanışlı şekillere işlenirler.
- Buna karşın alaşımın sıcaklığı 535°C 'yi geçtiğinde kirlenmeyi önlemek için dikkatli olunması gerekir.

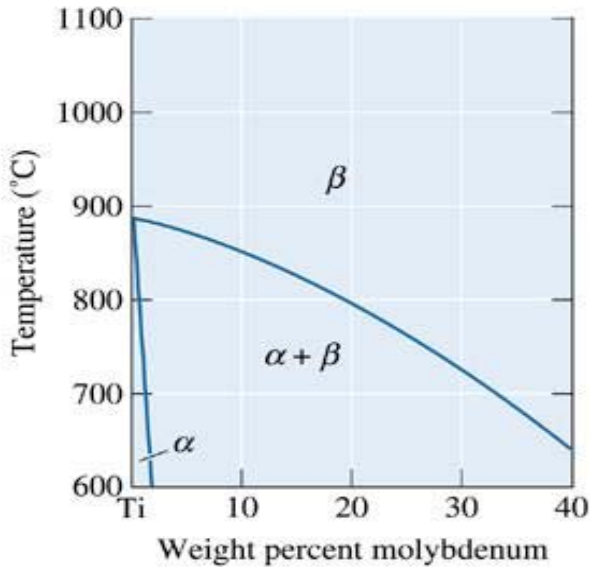




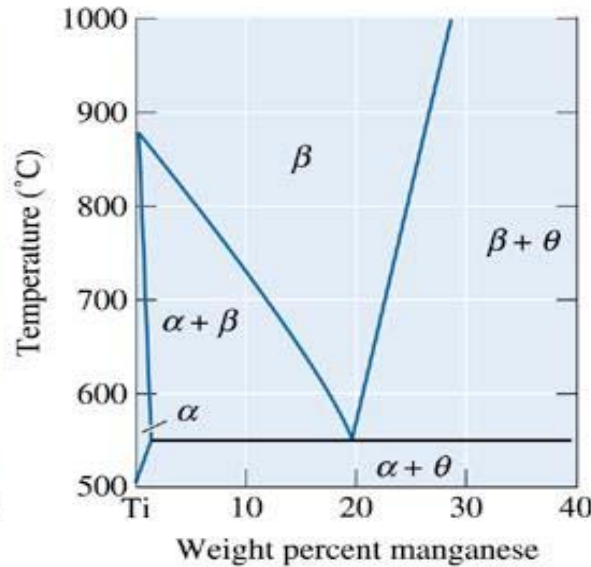
(a)



(b)



(c)



(d)

Faz diyagramları (a) Ti-Sn, (b) Ti-Al (c) Ti-Mo (d) Ti-Mn

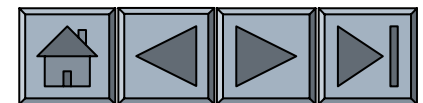
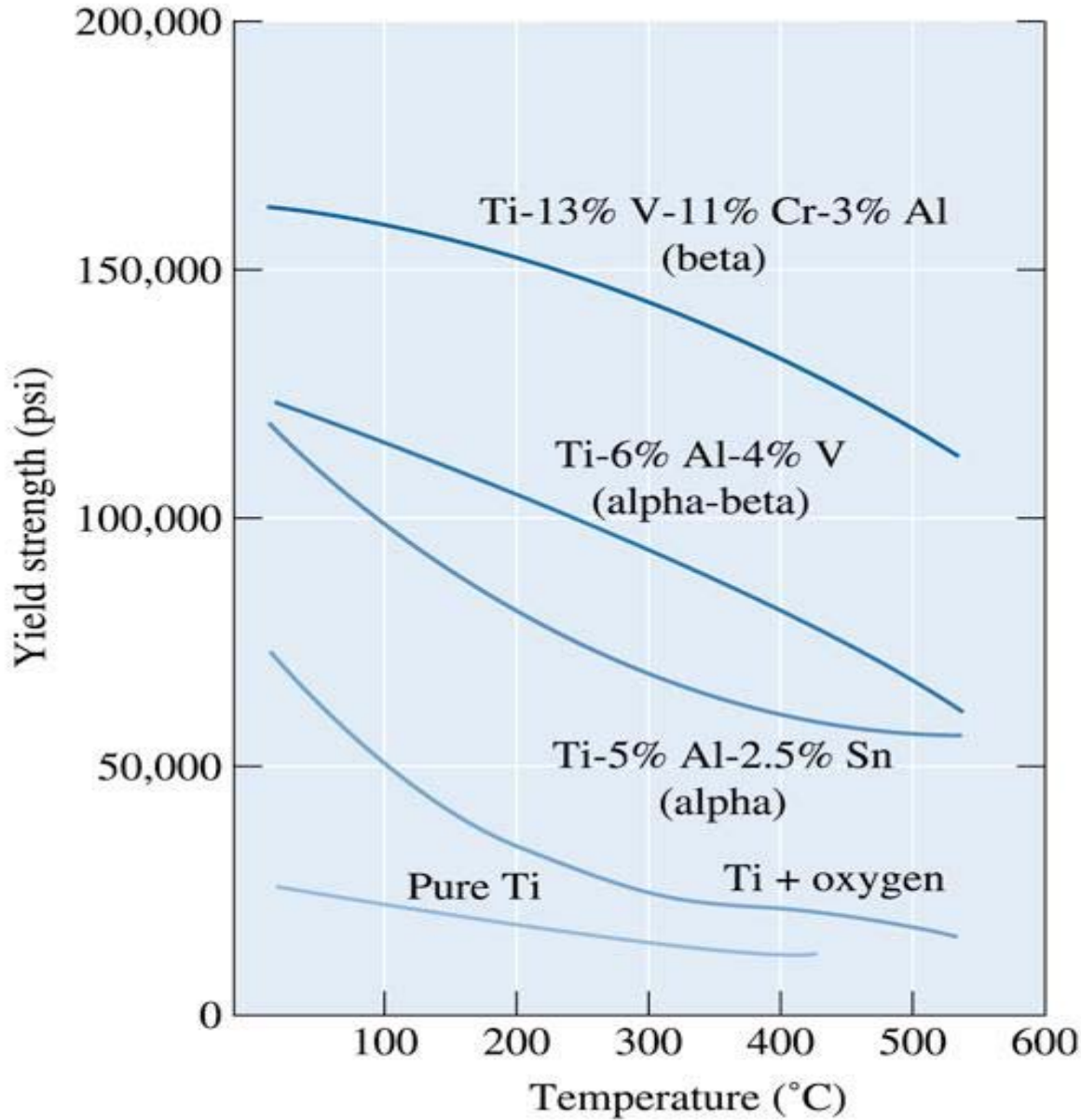
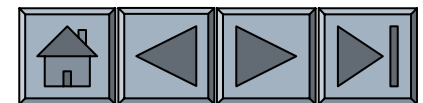


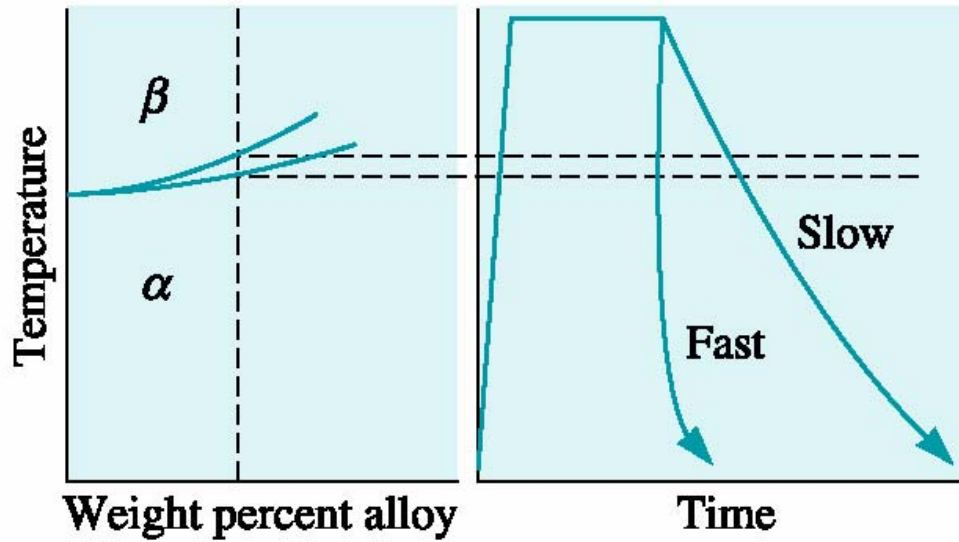
TABLE 13-9 ■ *Properties of selected titanium alloys*

Material	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation
Commercially pure Ti:			
99.5% Ti	35,000	25,000	24
99.0% Ti	80,000	70,000	15
Alpha Ti alloys:			
5% Al-2.5% Sn	125,000	113,000	15
Beta Ti alloys:			
13% V-11% Cr-3% Al	187,000	176,000	5
Alpha-beta Ti alloys:			
6% Al-4% V	150,000	140,000	8

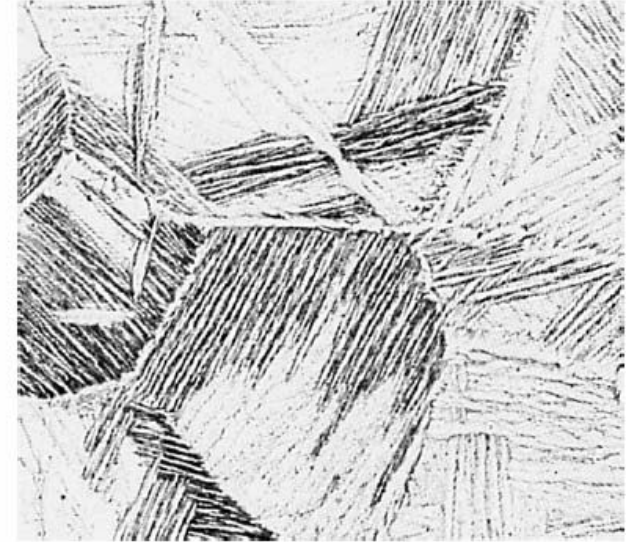


**Ti alaşımlarının
akma
dayanımına
sıcaklığın etkisi.**



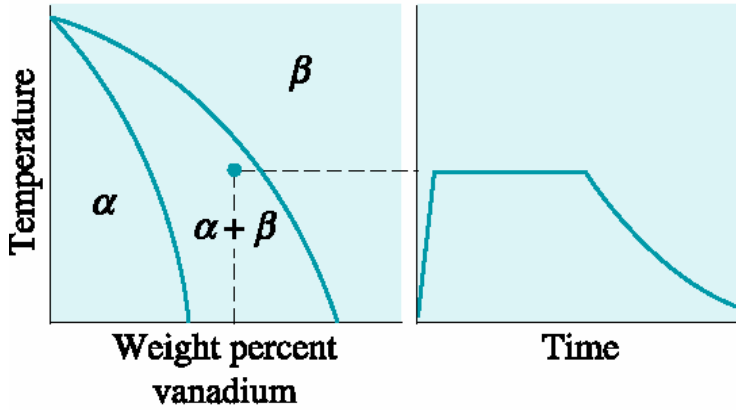


(a)

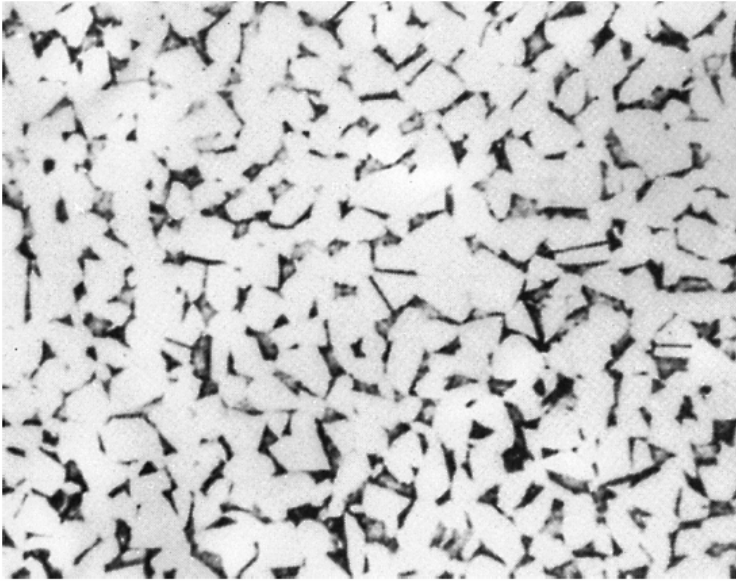


(b)

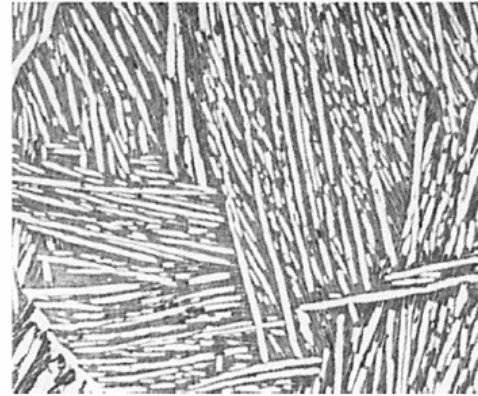
(a) Tavlama ve (b) aniden soğutulmuş alfa titanyum ($\times 100$). Hem tane sınırları çökeltileri hem de Widmanstätten levhaları alfadır. (From ASM Handbook, Vol. 7, (1972), ASM International, Materials Park, OH 44073.)



(a)



(b)

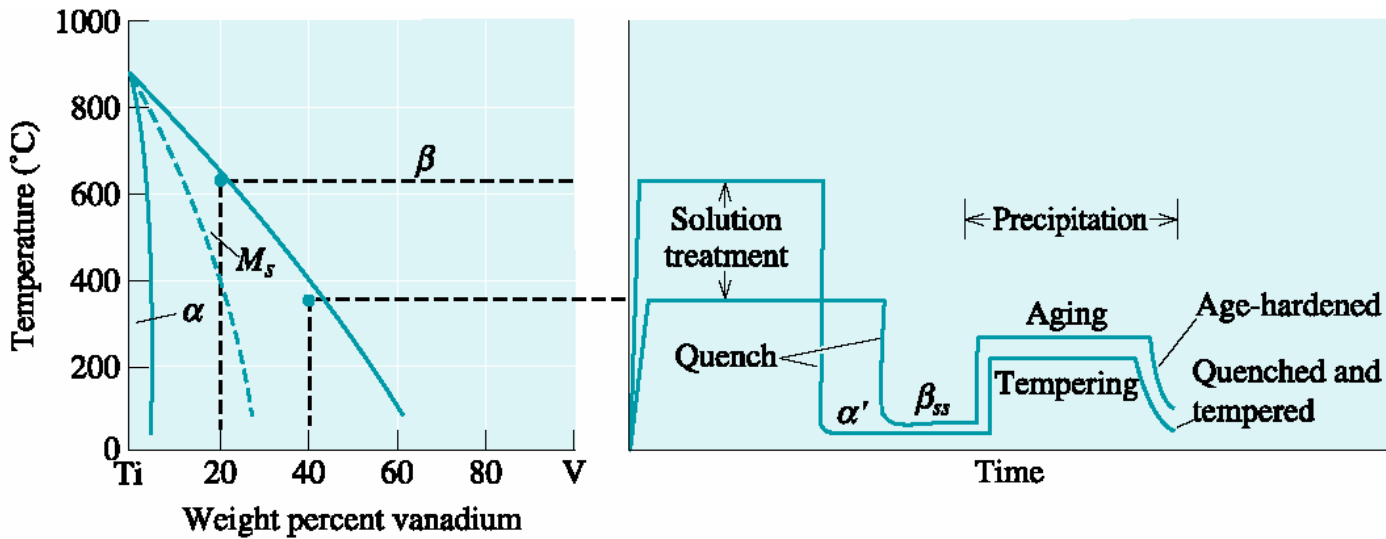


(c)

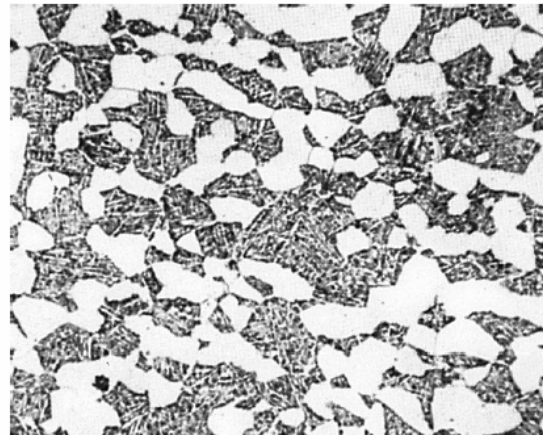
Alfa-beta titanyumun tavlama sıcaklığının hemen altında yapılmıştır

(a) Tavlama $\alpha-\beta$ dönüşüm sıcaklığının hemen altında yapılmıştır (b) yavaş soğuma ile eş eksenli α taneleri oluşur ($\times 250$), (c) hızlı soğuma çubuk şekilli α taneleri oluşturur. ($\times 2500$).

(From Metals Handbook, Vol. 7, (1972), ASM International, Materials Park, OH 44073.)



(a)



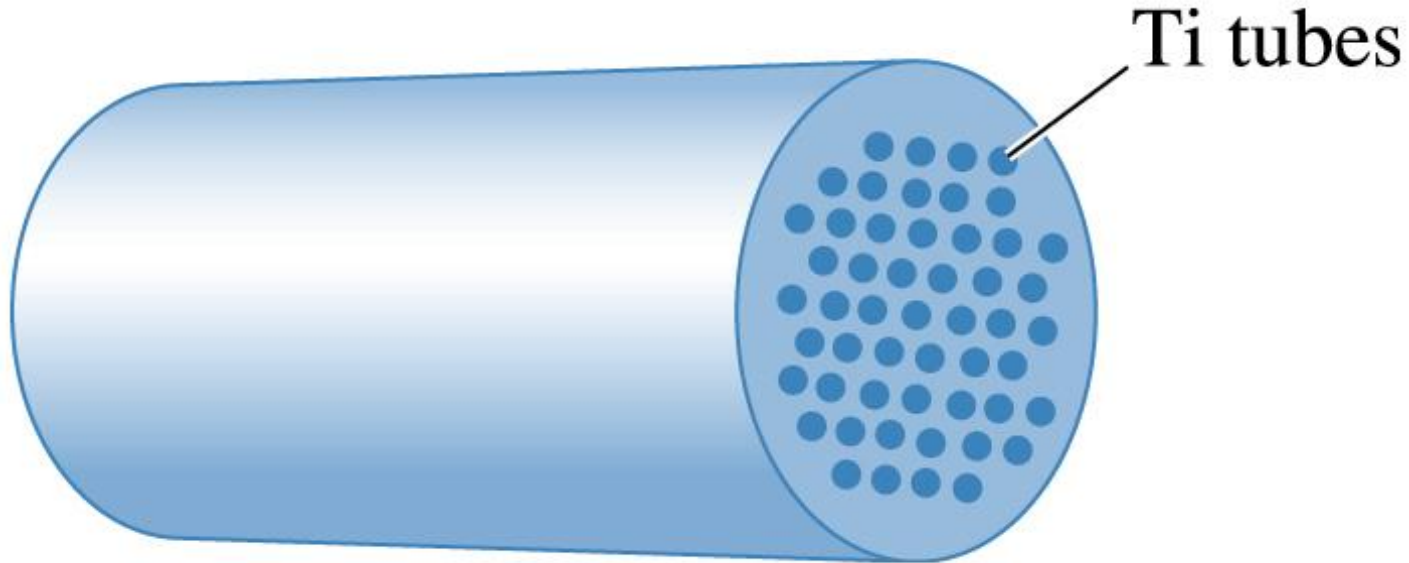
(b)

(a) Isıl işlem (b) alfa-beta titanyum alaşımlarının mikroyapısı. Yapı primer α (büyük beyaz taneler) ve yaşlanma ile α iğnelerinin olduğu koyu β matrisi (250). (From ASM Handbook, Vol. 7, (1972), ASM International, Materials Park, OH 44073.)

Örnek 13.8. Isı Değiştiricin Tasarımı

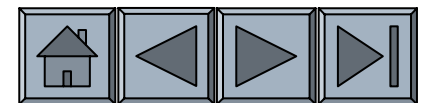


5-ft-çapı ve 30-ft-uzunluğunda petrokimya endüstrisi için ısı değiştirici tasarlayınız?



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

Titanyum boruların kullanıldığı ısı değiştiricinin gösterimi.

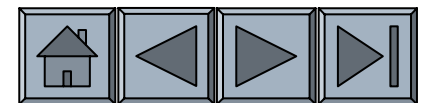




ÇÖZÜM

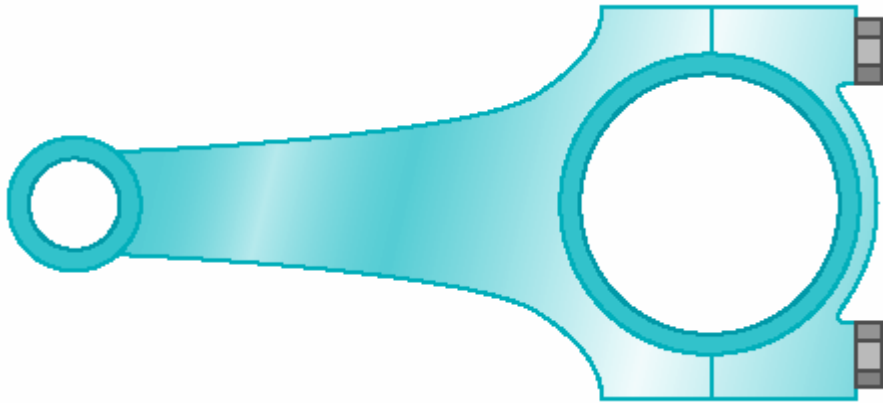
Maksimum çalışma sıcaklığı 535°C olduğu için oksit filmi kararlıdır. Bu yüzden, **titanyum** iyi bir seçimdir. Yüksek sıcaklıklarda iyi korozyon deneyimi sağlar. Ticari titanyum kullanılabilir.

Saf titanyum iyi şekil alma ve kaynaklanma özelliğine sahiptir. Saf titanyum mantıklı seçim olur. Eğer saf titanyum gerekli mukavemeti sağlayamazsa, **alternatif olarak alfa titanyum alaşımı** iyi korozyon direnci, şekil alma, gelişmiş mukavemet ve kaynaklanabilirlik özelliklerine sahiptir.



Örnek13.9. Bağlantı Elemanı Tasarımı

Yarış arabaları için yüksek performanslı bağlantı elemanı tasarlayınız?



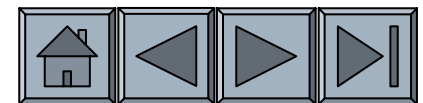
Bağlantı elemanının şekli.



ÇÖZÜM

Yüksek mukavemet elde etmek için, alfa ve beta titanyum alaşımları düşünülebilir. Bulunabilirliğinden dolayı **Ti-6% Al-4% V alaşımı iyi bir seçimdir.** Alaşım 1065°C ye ısıtılır faz diyagramlarının β kısmındadır.

Isıl işlem β bölgesinde yapıldığında, temperlenmiş martenzit çubuksu yapıdadır bunlar yorulma çatlaklarının ilerleme hızını azaltır.





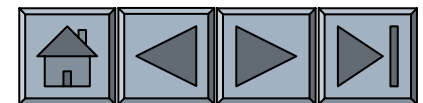
Örnek 13.10. Kalça Protezi için Malzeme Seçimi

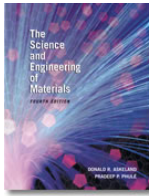
Kalça protezi için hangi malzemeyi uygun görürsünüz neden?

ÇÖZÜM

Etkili faktörler: Biyouyumluluk, korozyon direnci, yüksek kırılma tokluğu, mükemmel yorulma ömrü, ve aşınma direnci.

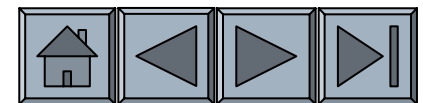
Bu gereksinimler 316 paslanmaz çelik veya Ti-6% Al-4% V. da mevcuttur. Titanyum biyouyumlu olduğundan en iyi seçenek olacaktır. Ancak, aynı zamanda kompozit bir tasarımda işe yaracaktır. Kalçanın kafa kısımları aşınmaya dayanıklı korozyon dirençli ve kırılma tokluğu yüksek seramik malzemeden mesela alüminadan kalan gövde kısmı titanyumdan üretilebilir. Diğer bir seçenekte implant malzemeyi poroz hidroksiapatit ile kaplamak olabilir.





Bölüm 13.6. Refrakter ve Değerli Metaller

- **Refrakter metaller** – Yüksek erime sıcaklığına (1925°C üstünde) ve yüksek sıcaklık direncine sahip tungsten, molibden, tantalum, ve niyobyum gibi elementlerden oluşur.
- **Refrakter metallerin uygulama alanları** aydınlatma lambalarının flamanları, roket başlıkları, nükleer güç jeneratörleri, tantalum ve niobyum alaşımları elektronik kapasitörler ve kimyasal proses cihazlarında kullanılmaktadır.
- **Değerli metaller** – Bunlar altın, gümüş, paladyum, platin ve rodyumdur. Bunlar korozyona dirençli ve iyi elektrik ileten metallerdir.



Oksidasyon

- ❑ Refrakter metaller 250 ve 425°C arasında oksitlenmeye başlar ve çok hızlı kirlenir veya kırılabilir.
- ❑ Bunun sonucu olarak da döküm, sıcak şekillendirme, kaynak veya toz metalürjisi ile üretim esnasında özel önlemlerin alınması gerekir

Şekillendirme Özellikleri

- ❑ HMK kristal yapılı refrakter metaller süneklikten gevrekliğe geçiş sıcaklığı gösterirler.
- ❑ Niobyum ve tantal için geçiş sıcaklıkları oda sıcaklığının altında olduğundan bu iki metal kolaylıkla şekillendirilebilirler.
- ❑ Tavlanmış molibden ve tungstenin sıcak olarak şekillendirilirse geçiş sıcaklığı azalır ve şekillendirme özellikleri önemli ölçüde iyileşir.

TABLE 13-10 ■ *Properties of some refractory metals*

Metal	Melting Temperature (°C)	Density (g/cm ³)	T = 1000°C		Transition Temperature (°C)
			Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	
Nb	2468	8.57	17,000	8,000	-140
Mo	2610	10.22	50,000	30,000	30
Ta	2996	16.6	27,000	24,000	-270
W	3410	19.25	66,000	15,000	300

Bölüm 13.7. Zirkonyum Alaşımları

- ❑ Zirkonyum ve alaşımları ergime sıcaklıkları, allotropik davranışları ve korozyon dirençleri ile titanyuma benzer.
- ❑ Zirkonyumun başlıca uygulamaları, düşük nötron absorpsiyon kesit alanından dolayı, nükleer reaktör çekirdekleri ve korozyon direnci gerektiren yerlerdir.
- ❑ %4,5 Hf içeren Zr alaşımları ticari saflıkta Zr olarak kabul edilirler.

Bölüm 13.8. Çinko Alaşımları

- ❑ Saf çinko çelik kadar ağırdır ve 4200°C'de ergimektedir.
- ❑ HSP kristal yapıya sahiptir ve dayanımı birçok Al alaşımından daha azdır.
- ❑ Dövme ve döküm çinkonun pek çok uygulaması bulunmaktadır → piller, fotoğraf negatif levhaları, dam olukları, çatı parçaları.
- ❑ Yeniden kristalleştiği ve oda sıcaklığında sürüdüğü için sünekliği mükemmeldir.
- ❑ Zn-%22 Al içeren alaşım süperplastik davranış gösterir.