



Demirdışı Metaller-BAKIR



Bakırın Tarihçesi

- Kıbrıs'ta kaynakları bolca rastlandığından tüm dillerdeki isimlerinin “Cyprium” kelimesinden türediği tahmin edilmektedir. Romalılar ilk önceleri cyprium olarak adlandırmış daha sonra cuprum demişlerdir. Bu adlandırma copper kökenini oluşturmaktadır.
- Mitolojiye göre Venüs'ün (Afrodit) Kıbrıs'ta doğduğuna inanılırdı. Buradan yola çıkarak Kimyacılar bakır metalini Venüs'ün aynası olarak adlandırılan simgeyle göstermişlerdir.
- Astronomide Venüs gezegenini simgelerken biyolojide kadını simgelemektedir.



Sun



Mercury



Venus



Earth



Moon



Mars



Jupiter



Saturn



Uranus



Neptune



Pluto

Bakırın Tarihçesi

- Neolitik insan tarafından bulunan ilk metaller Au ve Cu, daha sonra gümüş ve meteorik Fe.
- Bakırın ilk bulunuşu 9 bin yıl olarak ön görülüyor ve bulunuş yerinin Konya olduğu ifade ediliyor.
- İran'da 6 bin yaşında olan araç gereçlerin en eski olduğu düşünülüyordu.
- M.Ö 2800'lerde kompleks cevherlerden bronzlar (Cu-Sn alaşımı) elde edildi.
- İlk başta bakır cevherleri kalay ile birlikte eritildi daha sonra bronz metalik Cu ve Sn'den üretildi.
- Pirinç (Cu-Zn alaşımı) yaklaşık olarak M.Ö 1000 yıllarında bulundu ve Roma imparatorluğunda geniş bir kullanım alanı buldu.

7000 B.C.	Anatolia
4000 B.C.	Egypt, Mesopotamia, Palestine, Iran, and Turkestan
3000 B.C.	Aegean, India
2600 B.C.	Cyprus
2500 B.C.	Iberia, Transcaucasis, and China
2200 B.C.	Central Europe
2000 B.C.	British Isles
1500 B.C.	Scandinavia



Bakır Mineralleri ve Üretimi

Chuquicamata Bakır Madeni (Şili)
4x2 km, 900 m derinlik

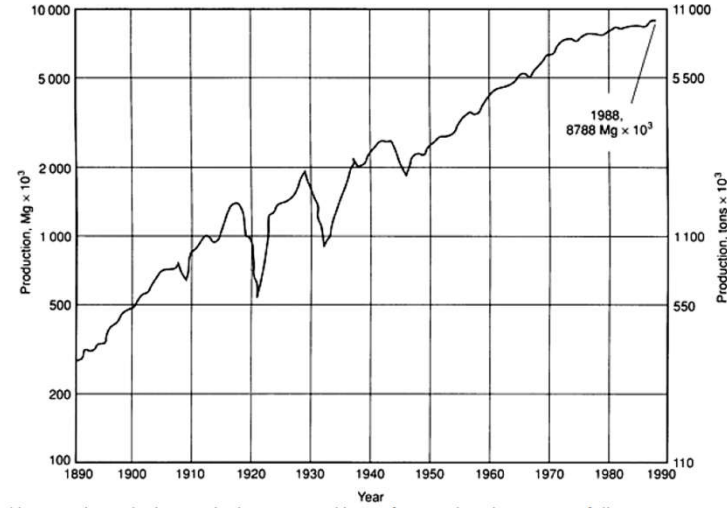
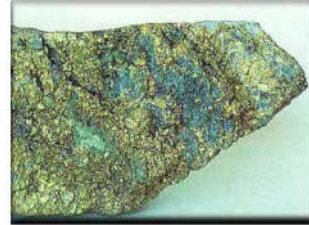


Fig. 6 World copper mine production. Despite the 10,000-year history of copper, about three-quarters of all copper ever consumed has been used in the period since World War II. 1989 production: 9178 Mg $\times 10^3$. Source: Metallgesellschaft and the World Bureau of Metal Statistics

Önemli Bakır Mineralleri

Copper pyrite or chalcopyrite (CuFeS_2)
Chalocite (Cu_2S)
Malachite green [$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$]
Azurite blue [$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$]
Bornite ($3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$)
Melaconite (CuO)



Kalkopirit $\rightarrow \text{CuFeS}_2$ (% 34.6 Cu)



Kovellin $\rightarrow \text{CuS}$ (% 66.4 Cu)



Kalkozin $\rightarrow \text{Cu}_2\text{S}$ (% 79.9 Cu)



Bornit $\rightarrow \text{Cu}_5\text{FeS}_4$ % 63.3 Cu

Bakırın Fiziksel Özellikleri

Ticari bakırın yoğunluğu onun kimyasal kompozisyonuna, özellikle oksijen içeriğine, ön işlem olarak yapılmış mekanik ve termal işleme ve sıcaklığına bağlı olarak değişir.

Cold-worked and annealed copper	8.89–8.93 g/cm ³
Cast tough-pitch electrolytic copper	8.30–8.70 g/cm ³
Cast oxygen-free electrolytic copper	8.85–8.93 g/cm ³

Bakırın yoğunluğu sıcaklığın fonksiyonu ile lineer değişmektedir ta ki ergime noktasına gelinceye kadar.

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{g/cm}^3$
solid copper: 20	8.93
600	8.68
900	8.47
1083	8.32
liquid copper: 1083	7.99
1200	7.81

Bakırın Mekanik Özellikleri

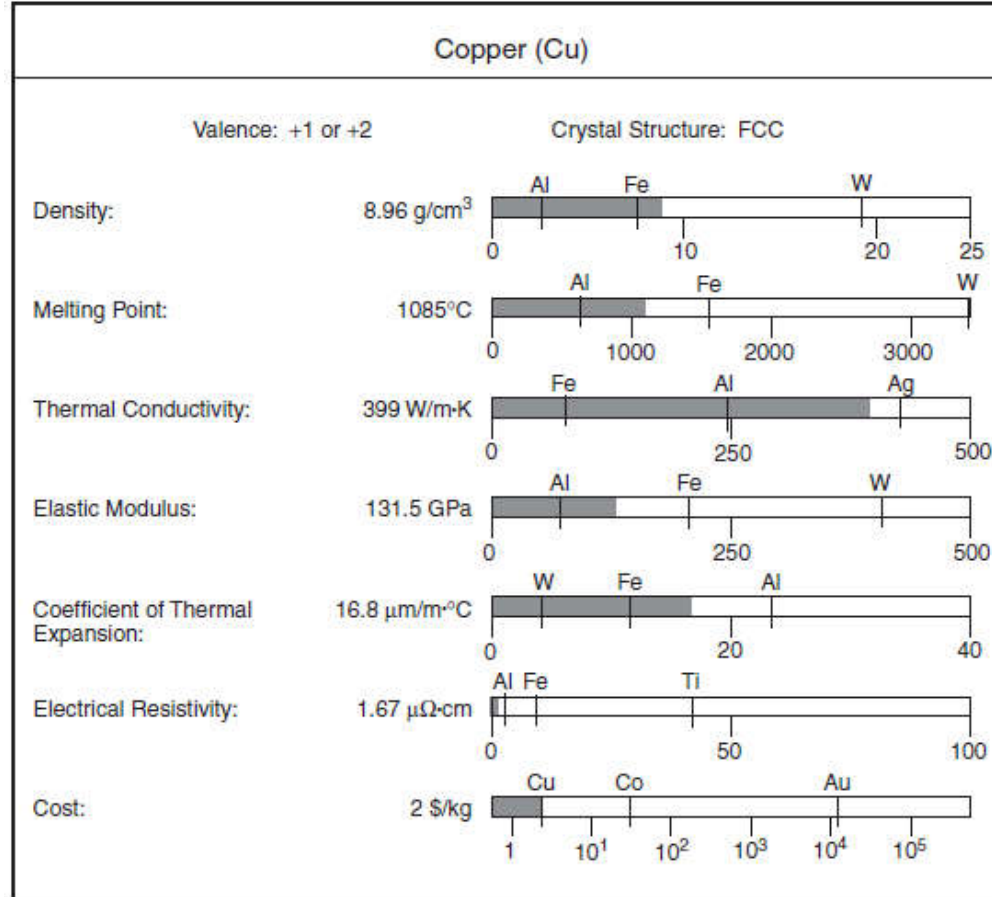
- ✓ Yüksek saflıktaki bakır çok yüksek sünekliğe sahiptir.
- ✓ Yapı içerisindeki katı ergiyik halinde bulunan yabancı atomların tipine göre sertlik ve mukavemetteki artışı değişir.
- ✓ Saf bakır sıcak kırılmalığa neden olmayacağından sıcak şekillendirilme yeteneği yüksektir.
- ✓ Bi, Se ve S gibi elementler ise; yüksek sıcaklıktaki mukavemetini düşürmektedir.
- ✓ Isıl işlem sırasında tane sınırlarına segregasyon olacak oksijen gibi elementler kırılmalığa yol açar. Bu tür etki takımlarla işleme yeteneği gerektiğinde istenebilir.
- ✓ Bakır, sıfır altı sıcaklıklarda yüksek mukavemetli bir malzemedir.
- ✓ Yeniden kristallenme gibi ısıl işlemler bu mekanik özellikleri değiştirebilir.

Table 8.2: Mechanical properties of copper at room temperature.

Property	Unit	Annealed (soft) copper	Cold-worked (hard) copper
Elastic modulus	GPa	100–120	120–130
Shearing modulus	GPa	40–45	45–50
Poisson's ratio		0.35	
Tensile strength	MPa	200–250	300–360
Yield strength	MPa	40–120	250–320
Elongation	%	30–40	3–5
Brinell hardness	(HB)	40–50	80–110
Vickers hardness	(HV)	45–55	90–120
Scratch hardness		≈ 3	

Bakırın Fiziksel Özellikleri

- Bronz çok uzun süre demirin yerine silah ve yapı malzemesi olarak kullanılmıştır.
- Bakır çok yüksek elektrik ve termal iletkenlik göstermektedir. Bu özelliğinin kolay şekillendirilebilirlik ve korozyona karşı direnciyle birleşmesi onu çok önemli bir endüstriyel malzeme yapmaktadır.
- 20°C'de gümüşten sonraki en yüksek elektrik iletkenliği gösteren malzemedir.
- Bakırın elektriksel olmayan uygulamaları korozyon direnci, kolay şekillendirilebilirlik ve eşsiz bir renge sahip olmasıyla ilgilidir.



Renk:

- Birçok metal görünür ışığı iyi bir şekilde yansıtır.
- Bakırda kırmızı ışık %98 verimle yansıtılır.
- Elektronu uyaran mavi ve yeşil fotonların eski haline gelmesi çoğunlukla iki adımda olmaktadır. Bu iki adımda bozunmanın her bir adımı infrared foton yaymaktadır, dolayısıyla göz birkaç yeşil ve mavi fotonu algılamaktadır.
- Mavi ve yeşil ışık dalgalarının çoğunu soğurur. Göze yansıtılan beyaz ışık mavi ve yeşil renklerden yoksundur. Bu yüzden bakır kırmızımsı bir renkte algılanır.

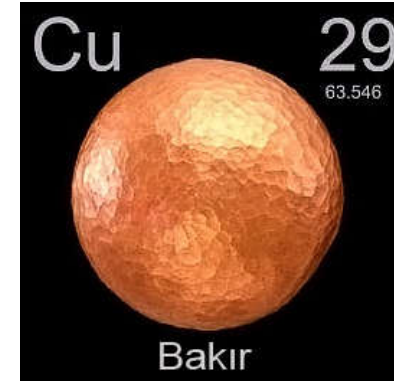
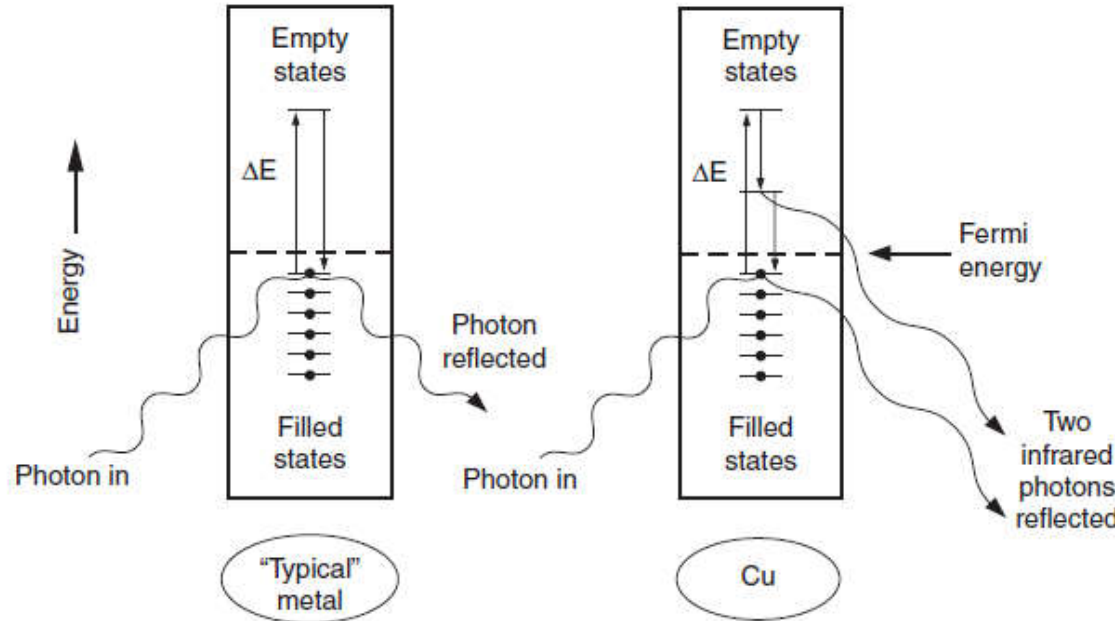


Fig. 18.2 When a photon of visible light strikes a typical metal, it excites one of the metal's electrons to a higher, unstable energy level. That electron's energy collapses back to its rest energy almost instantaneously, emitting one photon with energy equal to that of the incident photon. Red light is reflected by Cu in this manner. When a blue photon is absorbed in Cu, it also excites an electron to a higher, unstable energy level above the Fermi level. However, when this excited state collapses, the electron reverts to its former energy level either by emitting one photon of blue light or two photons of infrared light. Since infrared photons are unseen, much of the blue light is missing from the reflection, which gives Cu its reddish hue.

Korozyon:

- Bakır görece birçok ortama karşı dirençlidir ve korozyon direncini önemli olduğu birçok uygulamada kullanılır.
- Bakır kuru hava atmosferinde oda sıcaklığında yavaş oksitlenir.
- Hava ortamında 200 C'nin üstüne ısıtıldığında güçlü bir şekilde yapışan kırmızımsı bakır oksite (Cu_2O -tek değerlikli bakır) dönüşür ve ilerleyen oksidasyon için koruyucudur.
- Nadir olarak koruyucu olmayan siyahımsı bakır oksite (CuO -iki değerlikli bakır) dönüşür. Özellikle sülfür içeren ortamlarda siyah film tabakası şeklinde bakır sülfür oluşur.
- Uzun süre karbonat ve sülfatlara maruz kalmasıyla maviden kırmızıya, kahverengiden yeşile (patina) çalan renklere biçimlenir.



Plastiklik:

- Bütün yüzey merkezli kübik metaller gibi $\{111\}$ $\langle 110 \rangle$ kayma sistemi tarafından deforme edilir.
- Bakır çok yüksek süneklığe sahiptir ve oda sıcaklığında herhangi bir çatlak oluşmadan ağır deformasyonu tolare edebilir.
- Haddeleme, dövme, tel çekme, zımbalama gibi bütün plastik şekillendirme yöntemleriyle üretilir.
- Saf bakır tek bir hadde merdanesinden geçişle %90'a varan inceltme sağlanabilir.

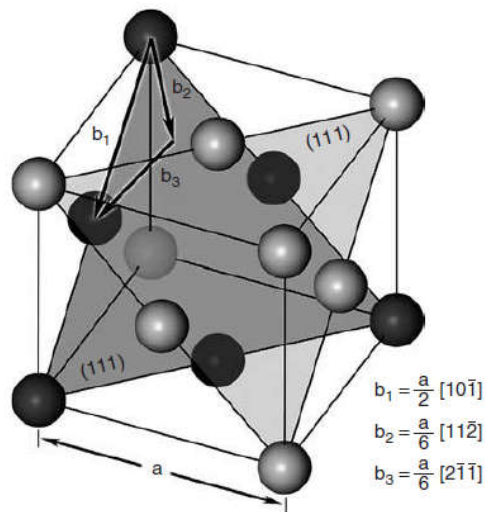


Fig. 4.9 Slip by partial dislocations b_2 and b_3 in an FCC crystal achieves the same deformation as that produced by perfect dislocation b_1 .

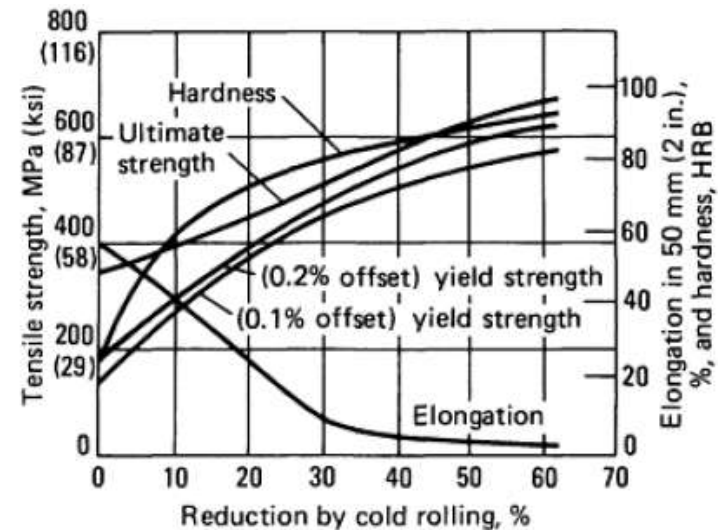


Fig. 3 The effect of cold rolling on the strength, hardness, and ductility of annealed Alloy C26000 (cartridge brass) when it is cold rolled in varying amounts up to 62% reduction in thickness

Plastiklik:

- Bakır oda sıcaklığında önemli miktarda soğuk sertleşebilir.
- Soğuk işlem; çekme mukavemetini iki katına çıkarabilir ve tavlanmış bakırın mukavemetini 5 katına çıkarabilir.
- 150 °C'nin üzerinde saflığa bağlı olarak dinamik toparlanma ve yeniden kristallenme ile sünekliliği muazzam oranda artar.
- Sıcak işlem tekstür oluşumunu minimize eder ve dökülmüş metalin tane boyutunu küçültür.
- Soğuk işlenmiş bakır, ısıtılmış bakıra göre daha kolay işlenir çünkü ısıtılmış bakır işleme esnasında kesme takımına yapışabilmektedir.

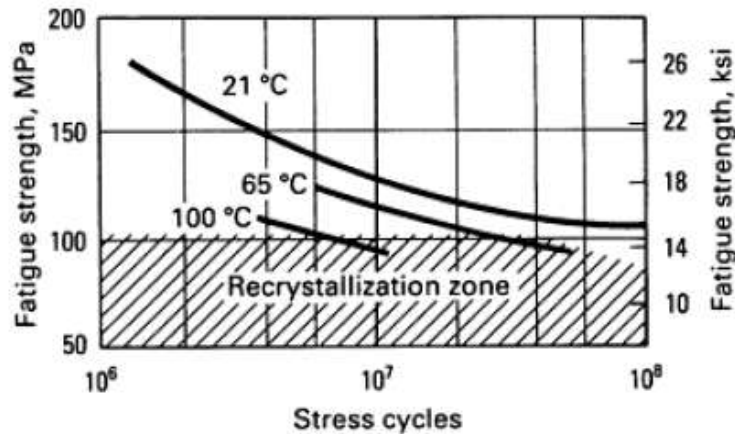


Fig. 10 Rotating-beam fatigue strength of C11000 wire, 2 mm (0.08 in.) in diameter,

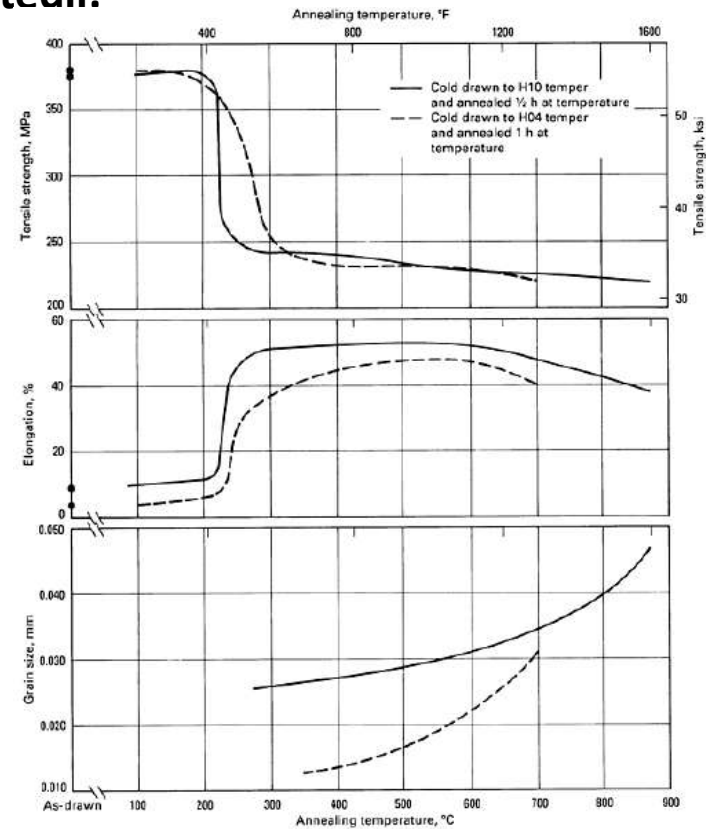


Fig. 4 Variation of tensile properties and grain size of electrolytic tough pitch copper (C11000) and similar coppers

İletkenlik:

- Elektriksel olarak kullanılan bakırın neredeyse hemen hemen çoğu alaşımlanmadan saf olarak kullanılıyor.
- Elektrik uygulamalarında kullanılacak bakırdan Fe, Si, As, O gibi elementlerin tamamen arındırılması gerekmektedir.
- Elektrolitik rafinasyonla %99.99 saflıkta bakır elde edilebilmektedir.
- Elektrik uygulamalarında bakırın kullanılması için elektrik iletkenliğini ve sünekliğini koruyabilecek elementlerle alaşımlanmaktadır.
- Bakıra çok az miktarda Ag ve Cd eklenmesi onun hem yüksek sıcaklıklarda yumuşamasını engelliyor hem de iletkenliğinde önemli bir düşüş oluşmamasını sağlıyor.

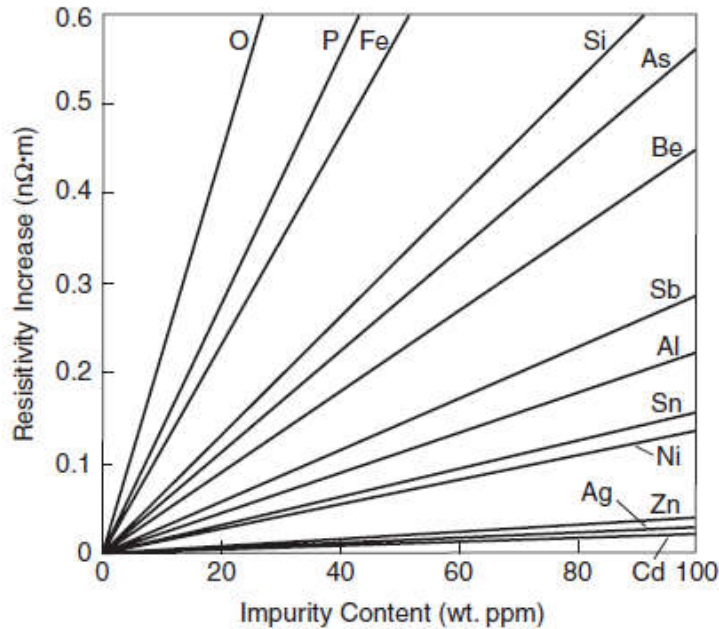


Fig. 18.3 Effects of various impurity elements on the electrical conductivity of Cu.

Table 7 Composition and typical properties of heat-treated copper casting alloys of high strength and conductivity

UNS number	Nominal composition	Tensile strength		Yield strength		Elongation, %	Hardness	Electrical conductivity, % IACS
		MPa	ksi	MPa	ksi			
C8140	99Cu-0.8Cr-0.06Be	365	53	250	36	11	69 HRB	70
C81500	99Cu-1Cr	350	51	275	40	17	105 HB	85
C81800	97Cu-1.5Co-1Ag-0.4Be	705	102	515	75	8	96 HRB	48
C82000	97Cu-2.5Co-0.5Be	660	96	515	75	6	96 HRB	48
C82200	98Cu-1.5Ni-0.5Be	655	95	515	75	7	96 HRB	48
C82500	97Cu-2Be-0.5Co-0.3Si	1105	160	1035	150	1	43 HRC	20
C82800	96.6Cu-2.6Be-0.5Co-0.3Si	1140	165	1070	155	1	46 HRC	18

Bakır Alaşımları :

- Belirli bir metalin bakıra ilavesi üstün sertliğe, mekanik ve diğer özelliklere sahip alaşımların meydana gelmesine imkan verir.
- Bakıra çinko ilevesiyle oluşturulan alaşımlar önemli bir alaşım grubunu oluştururlar. Bunlar demirdişı alaşımlar içerisinde en fazla kullanılanlardır.
- Çinkonun bakırdan ucuz olması sebebiyle bakırın yerine bakır çinko alaşımları kullanılır.
- Diğer önemli alaşımlar; bakır-kalay, bakır-alüminyum, bakır-nikel ve bakır-manganez alaşımlarıdır.



Pirinç:

- Çinko bakır içerisinde çok yüksek katı ergiyik çözünürlüğe sahiptir ve pirinç yapmak için %5-45 arasında bakıra ekleniyor.
- Endüstriyel pirinçlere belirli uygulamalarda özellikleri geliştirmek için az miktarda Al, Mn, Ni, Pb, Si ve Sn katılıyor.
- Tek fazlı katı ergiyik pirinç mükemmel soğuk şekillendirilebilirlik, yüksek mukavemet ve süneklik, bakıra göre daha düşük iletkenlik gösteriyor.
- Bakırın sarımtırak rengi Zn içeriğine bağlı olarak değişiyor.
- %35'e kadar Zn içeren pirinç alaşımları döküm ve ısıt işlem uygulamalarıyla tek fazlı katı ergiyik şeklinde üretiliyor.

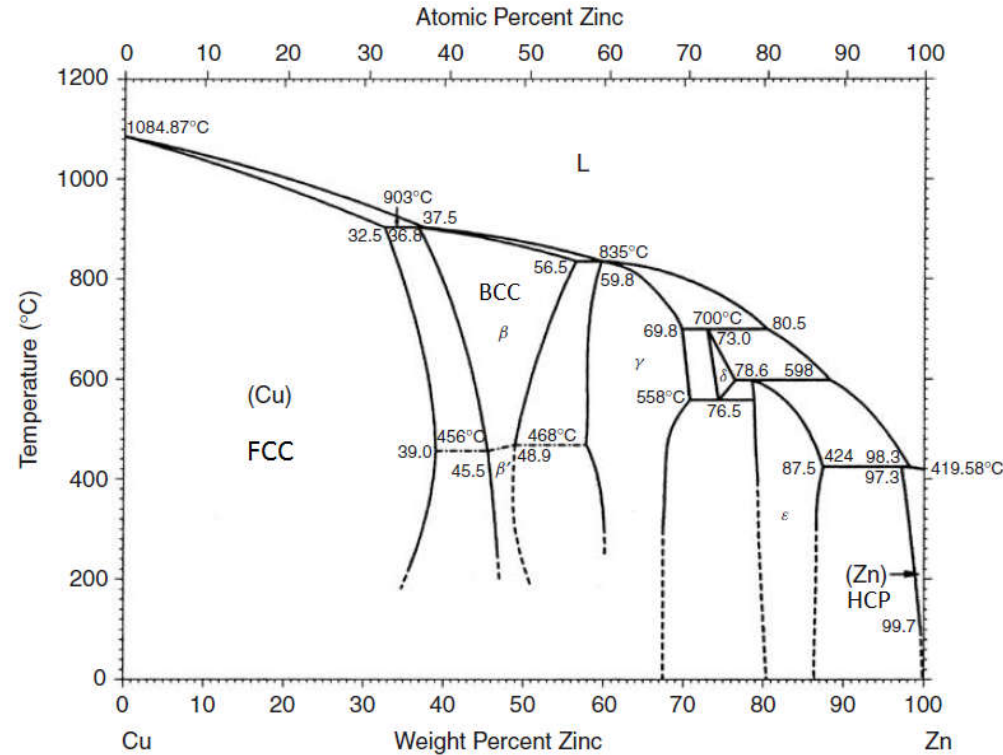


Fig. 18.5 Cu-Zn binary equilibrium phase diagram. Most commercial brasses have Zn contents between

Pirinç:

- Endüstriyel pirinçler başlıca 2 ana grupta toplanıyor: soğuk işleme tabi tutulacak pirinçler (alfa pirinçleri) ve sıcak işleme tabi tutulacak pirinçler (alfa+beta karışımı pirinçler).
- İlk grupta olan pirinçler %37'ye kadar Zn içerirler. Bu alaşımlarda Zn, bakır içerisinde katı ergiyik olarak bulunur ve mukavemet bakımından bakıra benzer olduklarından, saç halinde haddelenebilir, tel halinde çekilebilir, preslenebilir ve boru üretiminde kullanılabilirler.
- %37-46 arasında Zn içeren alfa+beta pirinçleri yüksek oranda soğuk şekillendirmeye tabi tutulduklarında kırılma ve hasar oluşur. Yüksek sıcaklıklarda alfa pirinçleri gibi şekillendirme proseslerine uygundurlar.
- %50'nin üzerinde Zn içeren bakır alaşımlarında gama fazı oluşmaya başlar. Çok kırılgan olan bu tür alaşımların endüstriyel kullanımı yoktur.

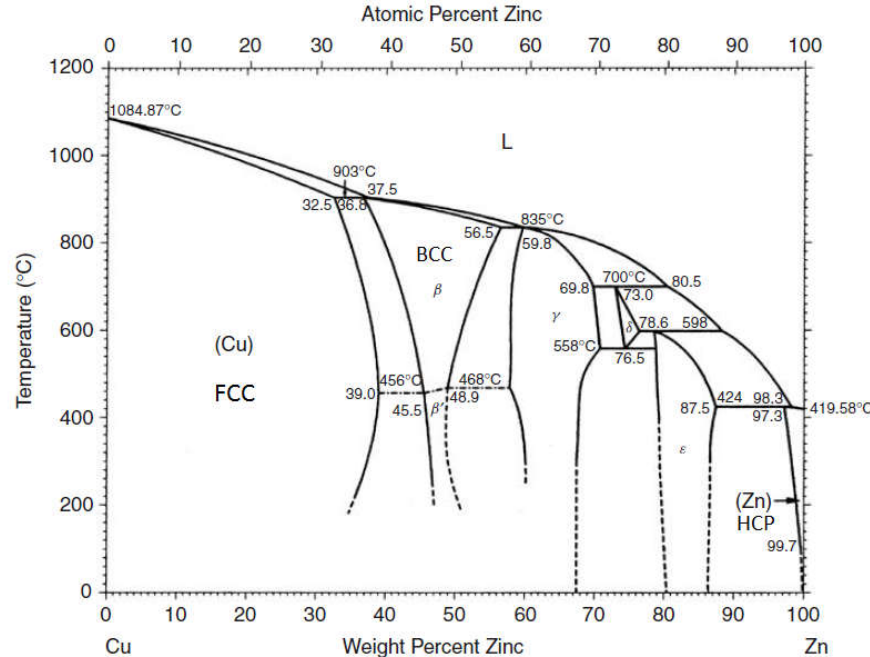


Fig. 18.5 Cu-Zn binary equilibrium phase diagram. Most commercial brasses have Zn contents between 5 and 40%. (From Massalski, 1986, p. 981; with permission.)

Alfa Pirinç:

➤%5-15 arasında çinko içerenler; bakırın kızılımsı renginden pirinç sarısına kadar bütün renk serilerine sahip olabilir. Bu pirinçler dekoratif amaçlı plaka, şerit ve tel halinde kullanılırlar.

➤%30 çinko içerenler; çekme mukavemetleri yüksek olup bunun yanında süneklikleri herhangi bir pirinçten çok daha fazladır. Bu özellikleri onu preslerle soğuk şekillendirilebilir malzeme haline getirir. Bu tür pirinçler mermi kovanları yapımında, elektrik ampüllerinin yatak başlığında ve kapı takımlarında kullanılırlar.

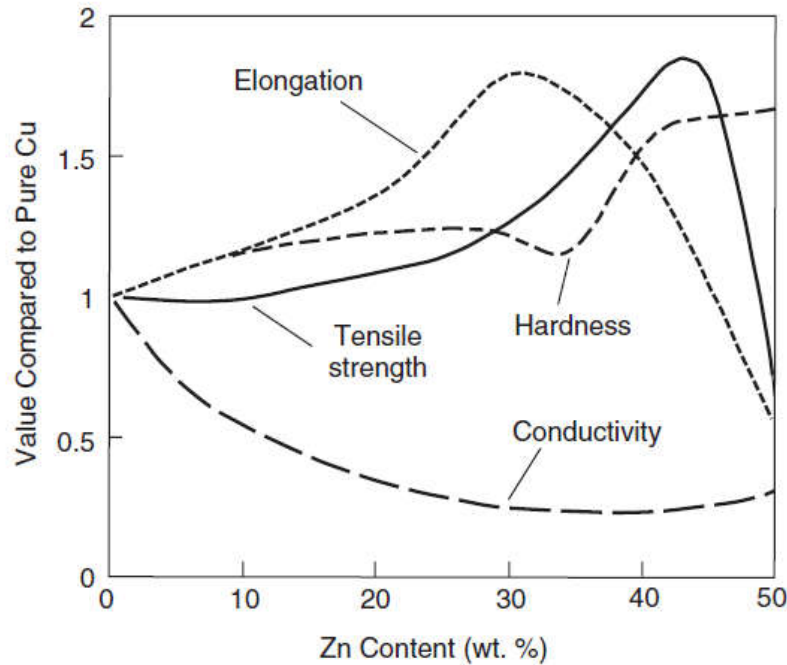


Fig. 18.6 Effect of varying Zn content on conductivity and mechanical properties in brass.



Alfa + beta Pirinç:

- Yapıdaki çinko oranının %40'a çıkmasıyla alfa+beta fazları oluşur. Bu alaşımlar küçük gemilerin kaplanmasında ve çeliklerde sert lehimleme kullanılır.
- %40 çinko içeren pirince yaklaşık %1 kurşunun ilavesi işlenebilme yeteneğini geliştirir. Valf parçaları, otomatik su ısıtıcıları gibi dövülerek üretilen parçaların üretiminde kullanılır.
- %40 çinko içeren pirince yaklaşık %1 kalay ilavesi deniz suyu korozyonuna karşı direnci artırır ve denizcilikte kullanılır.
- %40 çinko içeren pirince az miktarda Al, Fe, Ni ve Si ilavesi mukavemeti artırır ve bu pirinçlere "High-Tensile Brass" denir.

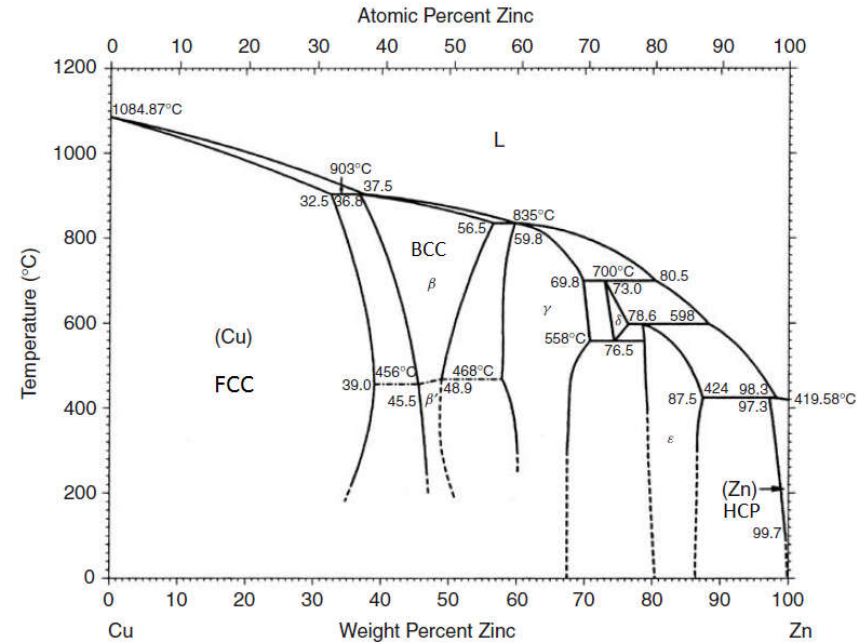
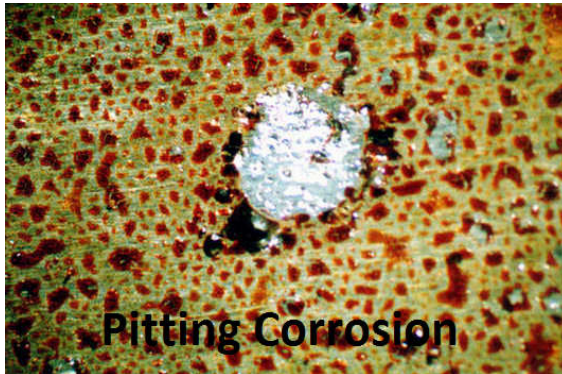


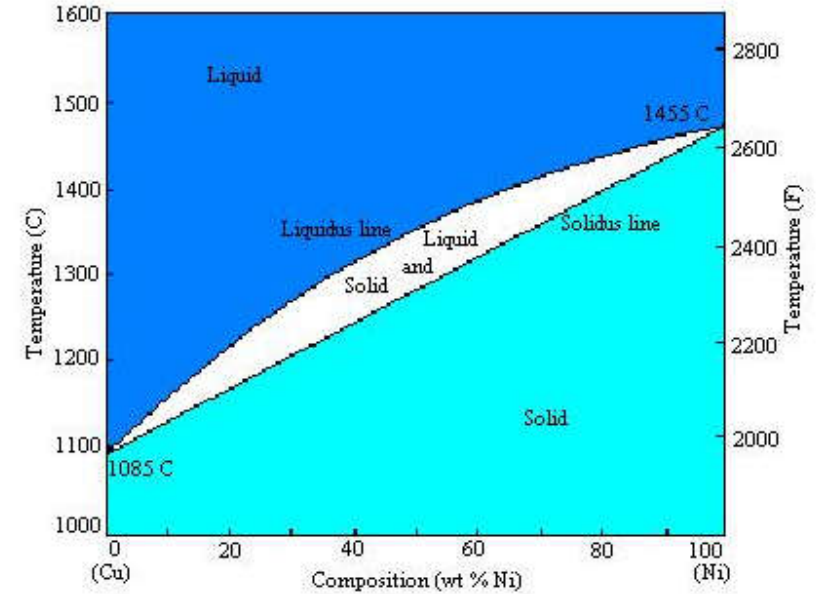
Fig. 18.5 Cu-Zn binary equilibrium phase diagram. Most commercial brasses have Zn contents between 5 and 40%. (From Massalski, 1986, p. 981; with permission.)

Bakır-Nikel Alaşımları(Marina alaşımları):

- Bakır-nikel bütün kompozisyonlarda tek fazlı katı ergiyik şeklinde oluşmaktadır.
- %10-30 arasında nikel ve yaklaşık %1 Fe ve Mn içeren bakır alaşımları yüksek hızlı deniz suyuna ve pitting korozyonuna karşı yüksek dirençlidir.
- Bu özelliklerinden dolayı deniz suyu arıtma tesislerinde, deniz suyu borusunda, tanker ve denizdeki petrol platformlarında kullanılırlar.



Pitting Corrosion



Bakır-Nikel Alaşımları(Marina alaşımları):

Su altı boru hatları ve yapılarında mikroorganizma kaynaklı hasar oluşumu yaygın bir problemdir. Midye, yosun gibi denizde yaşayan organizmalar yapıya yapışarak hasar oluşumuna neden olurlar. Çelik, Ti ve Al bu ortama dayanamazken Cu-Ni alaşımlarının direnci yüksektir. Marina ortamında Cu-Ni alaşımlarının kullanımı boyama ve yüzey temizleme masraflarından kurtulunmasını sağlıyor. Bu korumayı sağlayan yüzeyde oluşan Cu_2O tabakasıdır. Bu tabaka 3-5 yıl koruma sağlayabilmektedir.



Bakır-Nikel Alaşımları(Marina alaşımları):

- Bakıra nikel ekleme; akma, çekme ve yorulma dayanımını artırmaktadır. Ancak, elektrik iletkenliğinde önemli bir düşüş gözlenmektedir.
- Nikel bakırı, saf bakırdan daha az sünek ancak nikel içeren bütün alaşımlarda en yüksek süneklığe sahiptir.
- %55 nikel içeren alaşım geniş bir sıcaklık aralığında sabit elektrik direnci gösterdiğinden elektriksel uygulamalarda kullanılmaktadır.

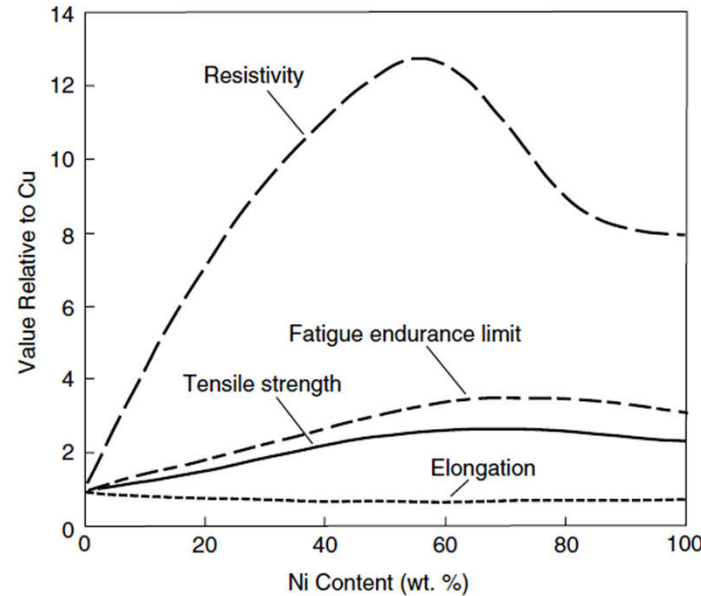


Fig. 18.7 Effect on conductivity and mechanical properties of varying Ni contents in cupronickel alloys. The fatigue endurance limit data were measured at 10^8 cycles.

Bronzlar:

➤ Gerçek bronzlar bakır ve kalayın birleşmesinden meydana gelen alaşımlar olmakla beraber bazı ilave elemanları da (Zn, P, Ni, Pb) ihtiva ederler.

Bunlar da bakır ve kalay içeriklerine göre dört gruba ayrılırlar:

1. % 8'e kadar kalay içerenler; bunlar (δ fazı içermezler) sac, levha, tel, madenî para yapımında
2. % 8 ile 12 arasında kalaylı bronzlar; bunlar başlıca dişli çarklar ve makina parçaları, ağır yük yatakları
3. Büyük ölçüde yatak imalinde kullanılan % 12 ile 20 arasında kalaylı alaşımlar olup yapıları bu imalatın gereklerini yerine getirir: Aşınmaya dayanıklı β fazı, darbeye dayanıklı bir α fazı matrisi içinde gömülü halde olur.
4. % 20 ile 25 arasında kalay içeren alaşımlar; bunlar esas itibariyle çan imalinde kullanılırlar. Bu grubun alaşımları çok sert ve nispeten gevrek olup genelde dökme olarak kullanılırlar.

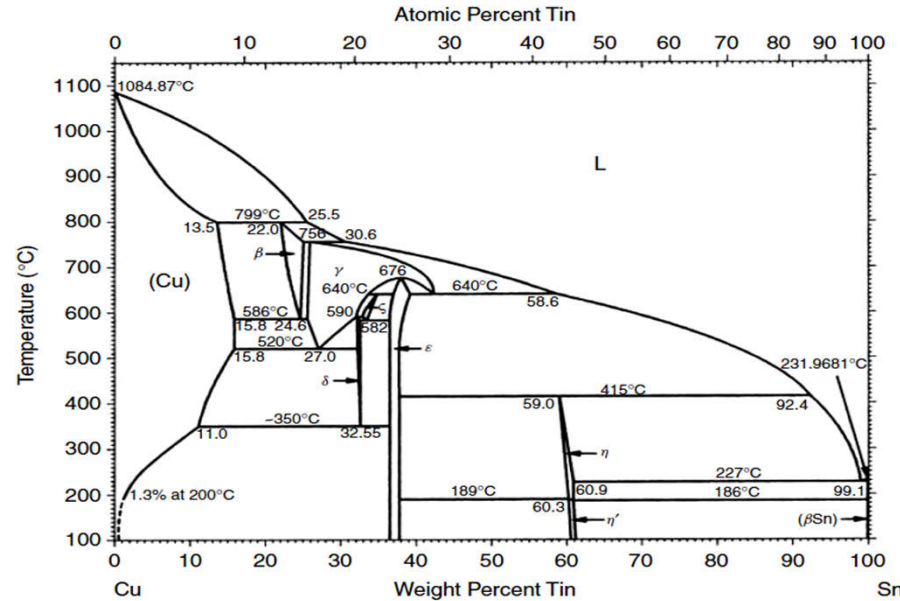
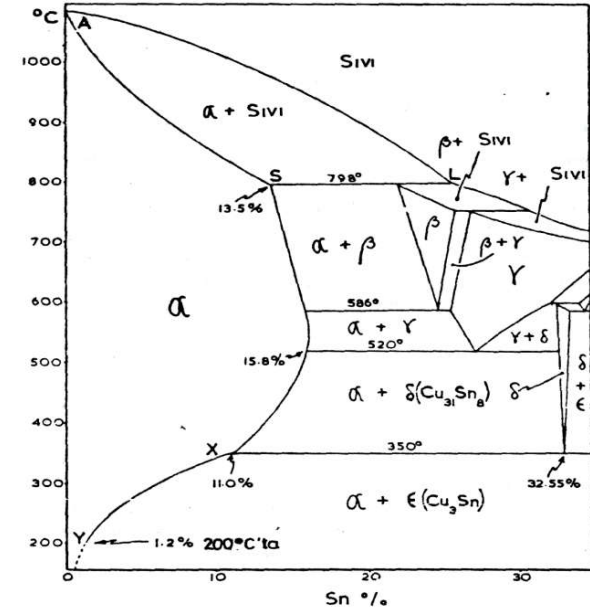


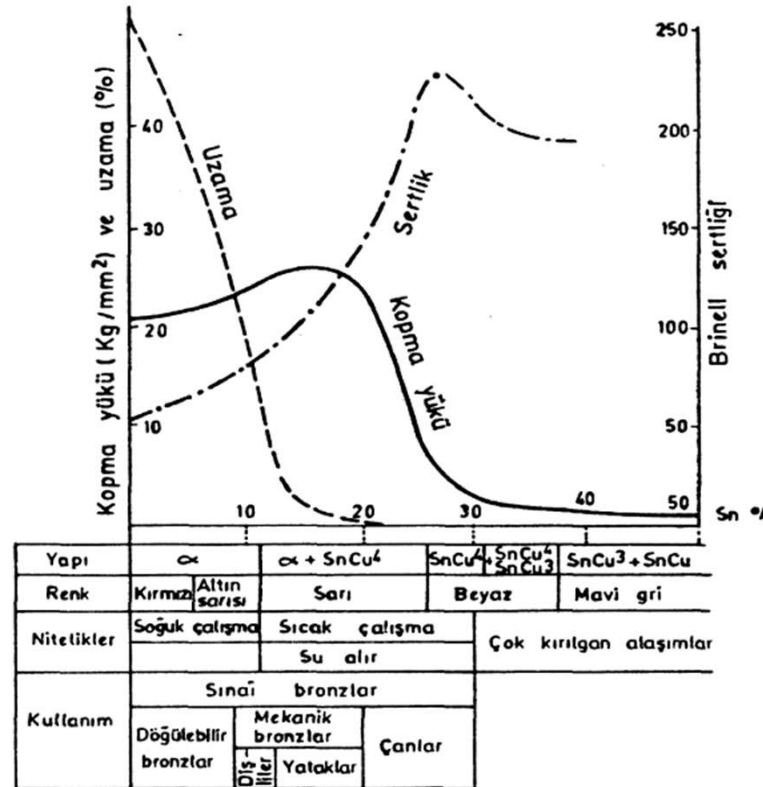
Fig. 18.8 Cu-Sn binary equilibrium phase diagram. Bronze compositions typically range from 1.25 to 15% Sn. (From Massalski, 1986, p. 965; with permission.)



Şekil: 105 — Bakır-kalay denge diyagramı.

Bronzlar:

- %10-20 arasında Sn içeren bronzlar da kullanılmaktadır. Bu alaşımlar intermetalik bileşikler şeklinde oluşmaktadır ve düşük süneklikleri dövülerek işleme yöntemlerini sınırlamaktadır.
- %20 den fazla kalay içeren bronzlar sert ve oldukça kırılgandırlar ve vurulduklarında yüksek ses çıkardıklarından çan üretiminde kullanılırlar.
- %30-40 oranında kalay içerenler parlak bir alaşım meydana getirdiklerinden reflektör yapımında kullanılırlar. Eskiden ayna yapımında kullanılmıştır.
- %10 Sn ve %0.05 P içeren alaşım sertliğinden dolayı yatak malzemesi olarak kullanılır.
- Bronz pirinçten sert ve daha pahalıdır. Çoğunlukla yay, piston, rulman ve dişli yapımında kullanılmaktadır.



Bronzlar:

Kurşun bronzları:

%10 Sn ve %25 Pb içeren alaşımlar kurşunun yağlayıcı etkisinden faydalanmak amacıyla yatakların üretiminde kullanılır.

Fosfor Bronzları:

- Çoğu endüstriyel dövülmüş bronz yaklaşık %10-12.5 kalay ve %0.1 P içerir. Bunlara fosfor bronzları denir.
- P artıkça Cu_3P oluşur ve bu metali mukavemetlendiren ikincil fazdır.
- Fosfor; sert, α ve δ fazlarıyla bir üçüncül ötektoid oluşturan Cu_3P bileşimin oluşması dolayısıyla kalaydan daha kuvvetli bir sertleştiricidir.

Silisyum bronzları:

Silisyumun bronzla ilavesi yalnızca mukavemeti yükseltmekle kalmaz aynı zamanda malzemenin korozyona karşı dayanıklılığını ve kaynağa elverişliliğini artırır. Silisyum kuvvetli bir deoksidanttır ve kaynak yapılacak ergimiş metalin bütün işlem boyunca oksidi giderilmiş durumda muhafaza etmeye yardımcı olur. En önemli kullanım alanı kimya mühendisliğinde depolama tankları ve boru donanım sistemlerinin yapımında kullanılırlar. Şac, band ve tel şeklinde üretilen ürünlerin Si oranı en yüksek %3 tür.



Aluminyum bronzları:

- %11'e kadar Al içeren aluminyum bronzları yüksek mukavemet, yüksek kırılma tokluğu ve yüksek korozyon direncinin kombinasyonu olarak kullanılmaktadırlar.
- Al ve Cu esaslı alaşım Fe, Ni ve Mn elementleri de içerir.
- Malzeme yüzeyinde oluşan aluminyum oksit yapısı bakır alaşımları içerisinde orta sıcaklıklarda en iyi korozyon davranışı sergiler.
- Soğuk işleme tabi tutulacaklar %8 Al ve sıcak işleme tabi tutulacaklar %10 Al içerirler.
- Soğuk işlenmiş alaşımlar altın rengine sahip olduklarından kuyumculuk ve sigara kutularının imalinde kullanılırlar.
- Yüksek mukavemet, tokluk ve korozyon direnci; pompa, valf bağlantıları ve küçük teknelerin pervanelerinde kullanılmasına olanak verir.



Aluminyum bronzları:

%11.8 Al içeren ötektoit kompozisyondaki alaşım ötektoit sıcaklığın üzerinde çözündürülür ve su verilerek metastabil martenzitik faz oluşturulur. Su verilmiş ötektoit malzeme sert ve kırılgandır. Tokluğunu artırmak için 400 °C ile 650 °C arasında temperlenir. Az miktarda Ni ve Fe eklenmesiyle yüksek çekme mukavemeti elde edilir. Bu tür alaşımlar kıvılcım çıktığında patlamaya neden olabilecek ortamlarda “kıvılcımsız takımların” üretilmesinde kullanılır. Yüksek termal iletkenliği ve oksit oluşumu için düşük serbest Gibbs enerjisi onun kıvılcım oluşturma olasılığı azaltmaktadır.

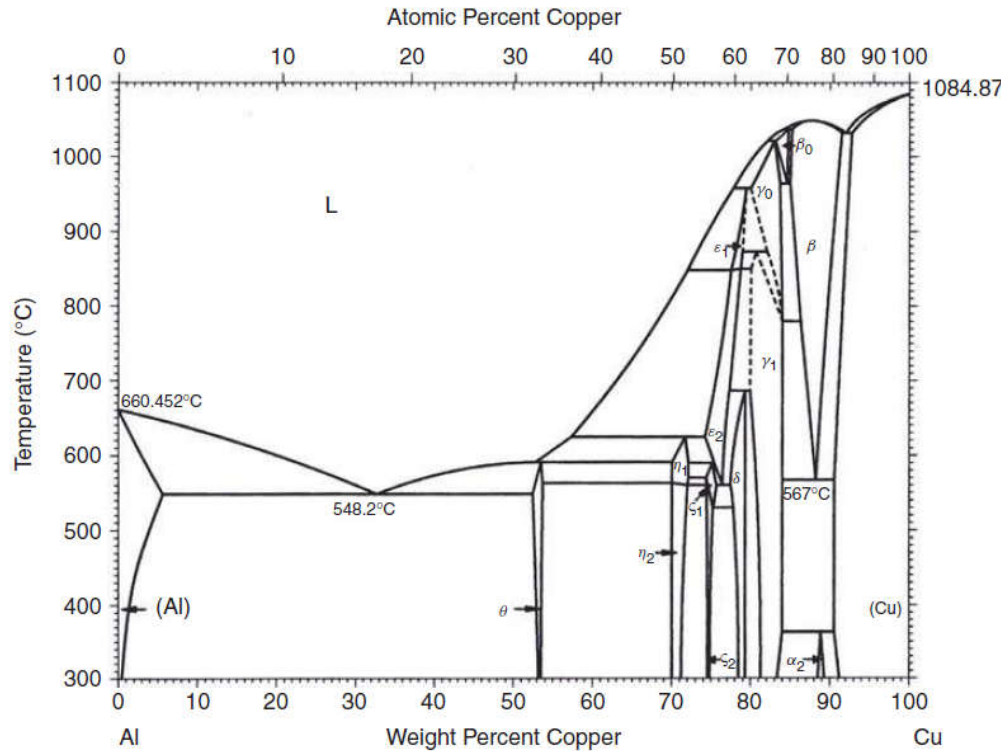


Fig. 18.10 Cu–Al binary equilibrium phase diagram. Aluminum bronze compositions typically range from 5 to 11% Al. (From Massalski, 1986, p. 106; with permission.)

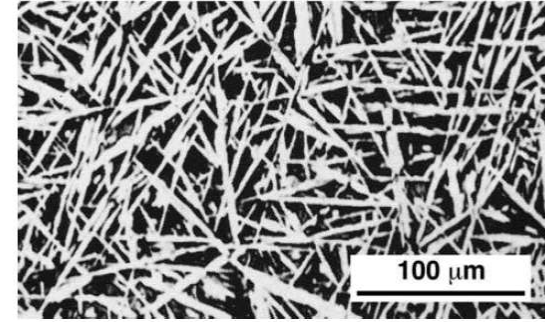
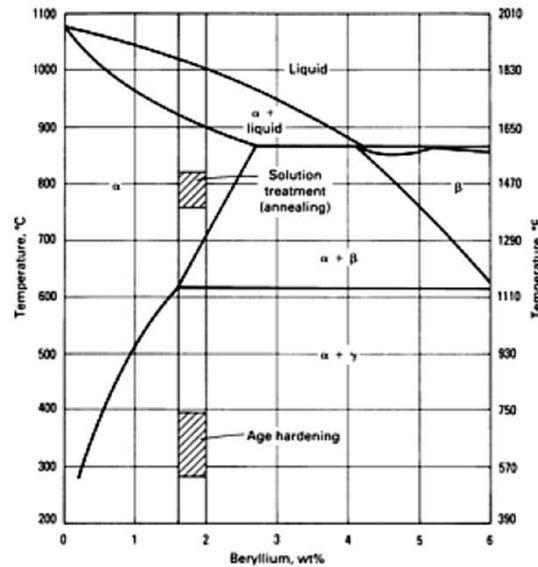
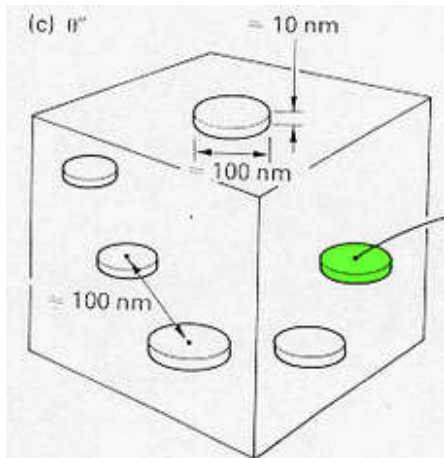


Fig. 18.11 Quenched Cu–11.8% Al. The acicular structures are metastable BCT β' phase formed martensitically by quenching. (From ASM, 1979; with permission.)



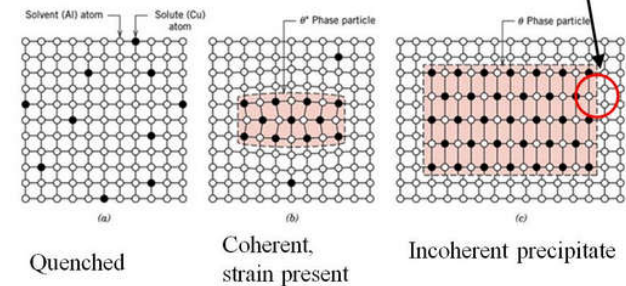
Berilyum-Bakır Alaşımları:

- Ağırlıkça %0,5-2,8 Be içeren bakır, geleneksel bakır alaşımlarının en sert ve en güçlüsünü yapacak olan çökelti sertleşmesiyle oluşur.
- Ticari Cu-Be alaşımları çoğunlukla %1-2 oranında Co ve Ni içerirler.(Isıl işlem sırasında tane büyümesini sınırlarlar.)
- Alaşım 800 °C'de alfa bakırın faz bölgesinde çözündürülüp 250 °C'ye su verildiğinde GP zonları (Guinier-Preston zone) çöker. GP zonları dislokasyonların hareketini engelleyen latis gerinmeleri yaratır. İlk çökelti birkaç atom kalınlığında koherent plakalar olarak çökerler. Yaşlandırma prosesiyle 1-7 nm çapında ve birkaç nm kalınlığında plakalar oluşur. Bunlar semi-koherent BCT yapısındaki gama üstü fazlardır. Aşırı yaşlanmayla BCC yapısındaki inkoherent delta fazının oluşumuyla alaşım yumuşar.
- Su verilmiş malzemeye yaşlandırmadan önce soğuk şekillendirme yapılırsa GP zonlarının oluşumu için ek dislokasyonlar oluşturulur. Bunun akma gerilmesi 1350 Mpa ve çekme gerilmesi 1460 Mpa gibi oldukça yüksek bir değere gelir. Süneklik %1-3 gibi düşük bir değerdir.



(a) Phase diagrams for beryllium-copper alloys.

Coherent Precipitates
Increase Hardness



Berilyum-Bakır Alaşımları:

- Sertlik ve sağlamlık alaşımların takım malzemesi olarak kullanılmasına olanak sağlar.
- Yorulma ve korozyona karşı gösterilen dayanım yay malzemesi, burçlarda ve yataklarda kullanılmasının nedenleridir.
- Be'un yüksek maliyeti kullanımlarını kısıtlayıcı etki yapar.

TABLE 11.1 Selected Room-Temperature Properties of Alkaline Metals with a Comparison to Cu

Property	Be	Mg	Ca	Sr	Ba	Ra	Cu
Valence	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+1, +2
Crystal structure at 20°C	HCP ^a	HCP	FCC ^b	FCC ^c	BCC	BCC	FCC
Density (g/cm ³)	1.85	1.74	1.55	2.63	3.51	5.00	8.92
Melting temperature (°C)	1287	650	842	777	727	700	1085
Thermal conductivity (W/m·K)	190	160	200	35	18	19	399
Elastic (Young's) modulus (GPa)	296	45	20.7	17.2	12.4	—	130
Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ m/m·°C)	11.3	25.4	22.8	22.5	20.6	—	16.5
Electrical resistivity (μΩ·cm)	3.7	4.5	3.4	13	35	100	1.7
Cost (\$/kg), large quantities	800	2.00	4.80	4.40	100 ^d	High ^e	2



Metabolizmada Bakır

- ❑ Bakır, hayvan ve bitkilerde temel besin maddesidir. Bakır metabolik proseslerin çoğunda gerekli ve bütün dokular Cu bileşikleri bulunmaktadır.
- ❑ Cu yoksunluğu; düşük büyüme hızına, saç dökülmelerine, deride pigmentasyon bozukluklarına, bağışıklık sisteminin zayıflamasına, kalp krizine neden olabilir.
- ❑ Çok hızlı bir büyüme ivmesine sahip olduğundan, Cu ihtiyacı hamile ve bebeklerde 2-3 kat daha fazladır.
- ❑ Cu katkıları hayvan yemlerine bebek mamalarına ekleniyor.
- ❑ Vücut bazı aşırı doz bakır alımlarını tolare edebiliyorken, yüksek doz bulantı-kusmaya hatta ölüme neden olabiliyor.
- ❑ Şiddetli Cu zehirlenmesi, korozyona uğramış su ısıtıcılarından ve Cu borulu içecek otomatlarından gelen Cu'nun vücuda alınmasıyla oluştuğu bildirilmektedir.
- ❑ 10-20 mg bakırsülfat insan için ölümcül olabilir.

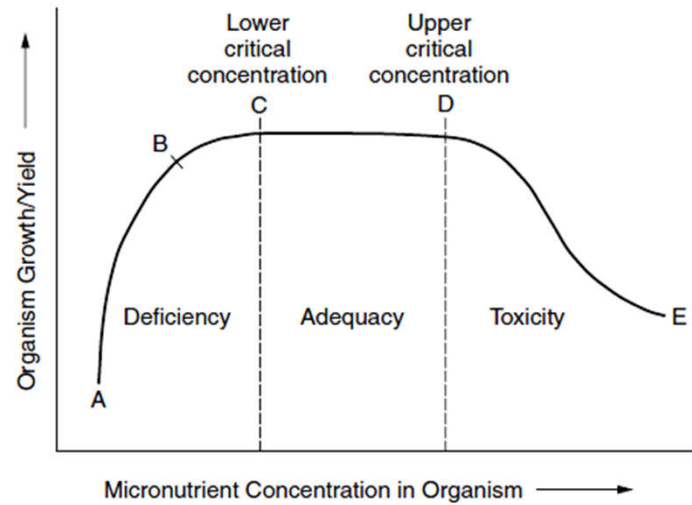
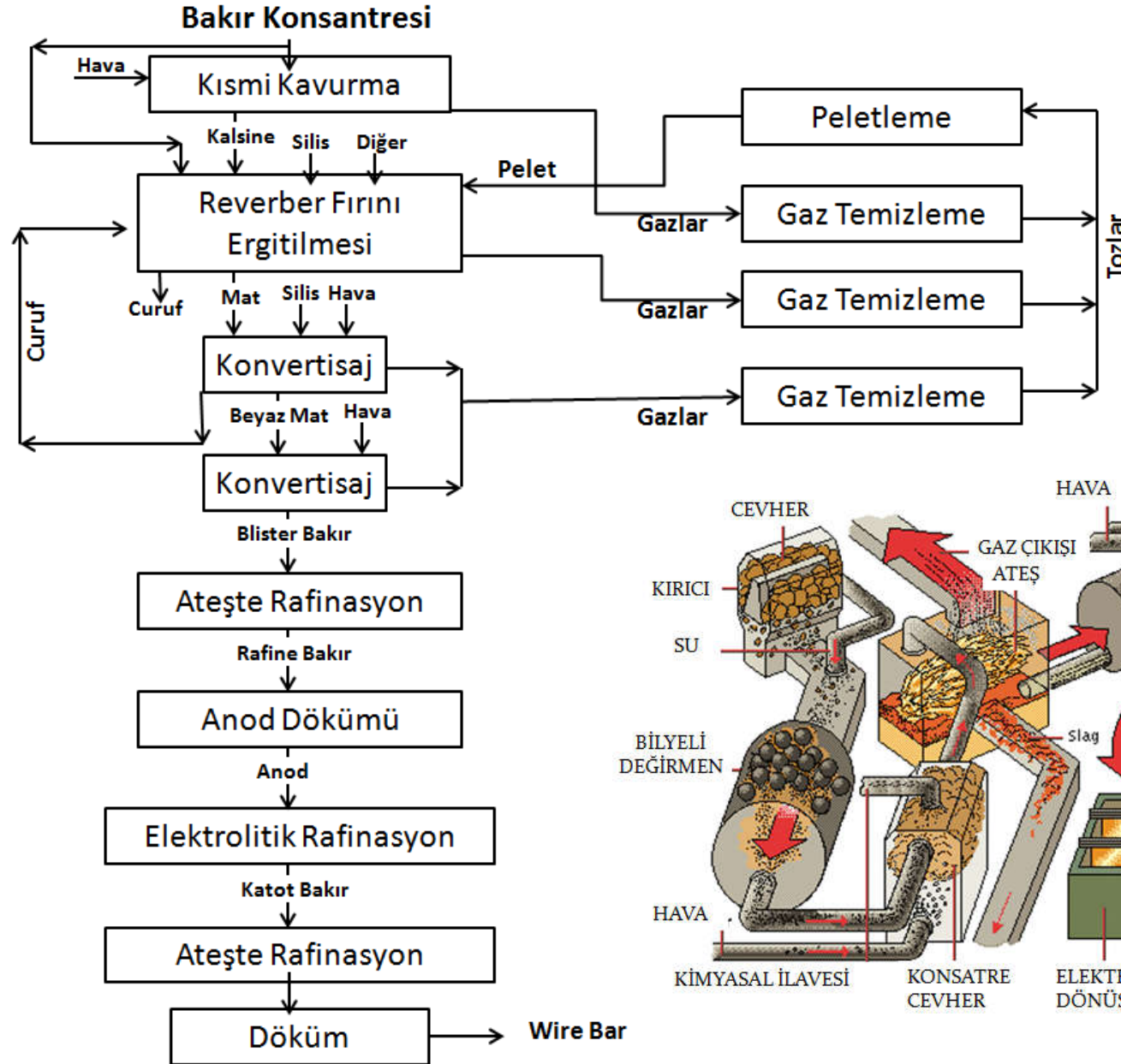


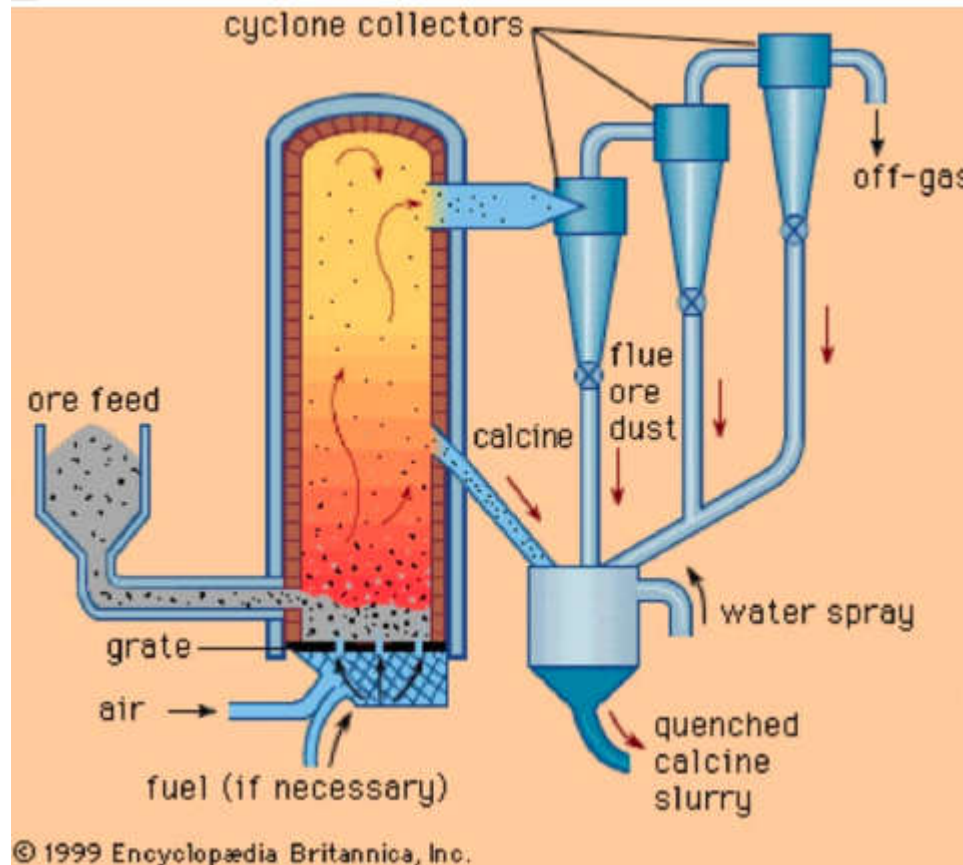
Fig. 18.15 Generic dose-response curve for micronutrients in plants and animals. Cu and many other metals display this behavior in the human body; deficiency or toxicity problems occur when the concentration falls outside the desired range (C to D). Severe deficiency results from concentrations between A and B; mild deficiency results from concentrations between B and C. Concentrations greater than D can be injurious or even lethal.

Metalik Bakır Üretim Şeması



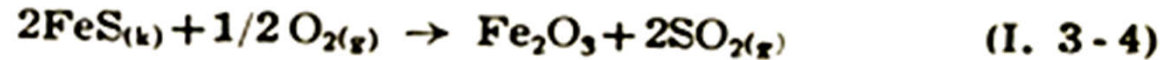
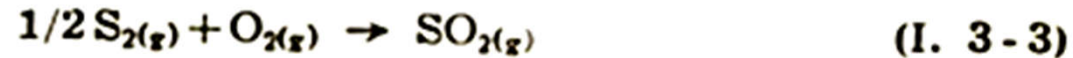
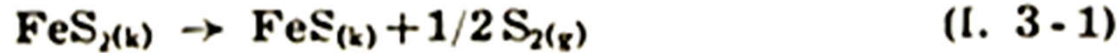
Kavurma:

- Kavurma, konsantrelerdeki kükürdün bir kısmını oksitlemek amacıyla yapılır.
- Kavurma fırınında cevher taban haznesine gelinceye kadar bir dizi ayrılma reaksiyonuna maruz kalır.
- Kavurma fırınının ısı kaynağı pülverize kömür ve azot karışımı gazlardır.
- Maksimum sıcaklık cevher parçacıklarını ergitmeyecek ve oksitlenme reaksiyonunu sağlayacak şekilde olan 500-800 °C sıcaklık aralığında olmalıdır. (Yüksek sıcaklıklarda manyetit fazı oluşuyor).



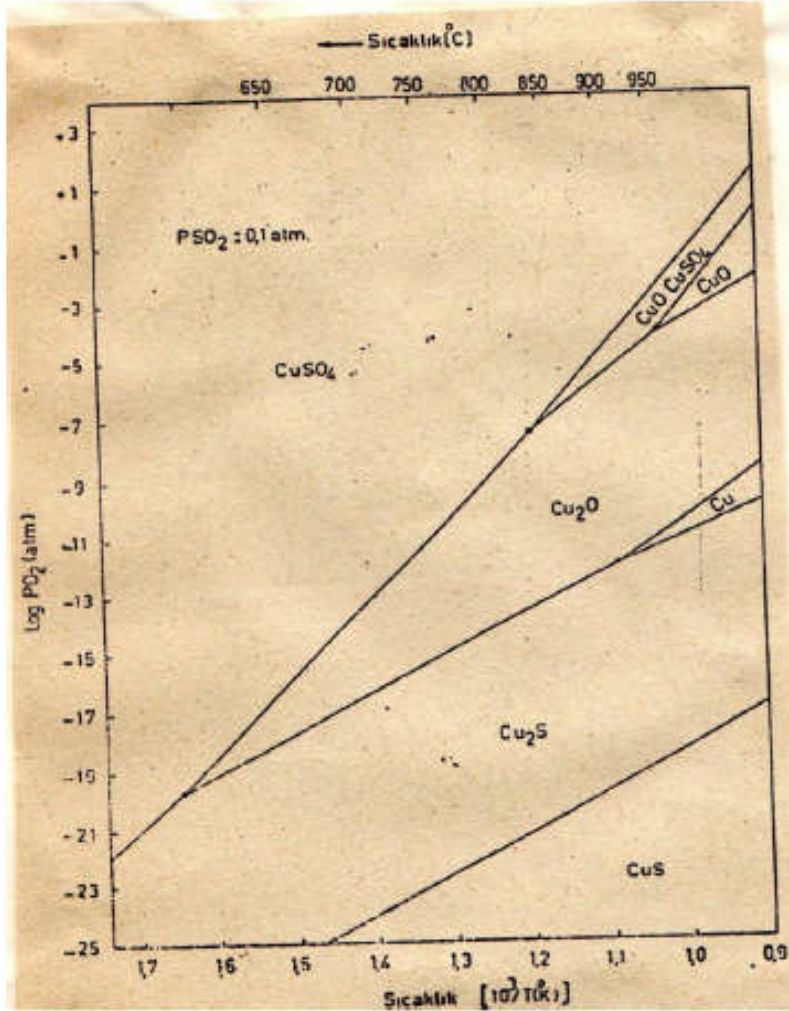
Kavurma:

Kavurmada konsantredeki kükürdün bir kısmını oksitlemek için yapılır ve bu arada Pirit (FeS_2) ve kalkopirit (CuFeS_2) parçalanır.



Reaksiyonları oluşur. Bu reaksiyonların ilk ikisi “termik ayrışma”, 3. reaksiyon kükürt dioksit oluşumunu gösteren reaksiyon, demir sülfürün oksidasyon reaksiyonu ise “katı halde oksidasyon” tipindedir. Kavurma fırınından alınan kalsine reverber fırınına boşaltılır.

Kavurma:



Termodinamik olarak kavurma işlemi sırasında dahi metalik bakır elde etmek mümkün olsa da ekonomik değildir.

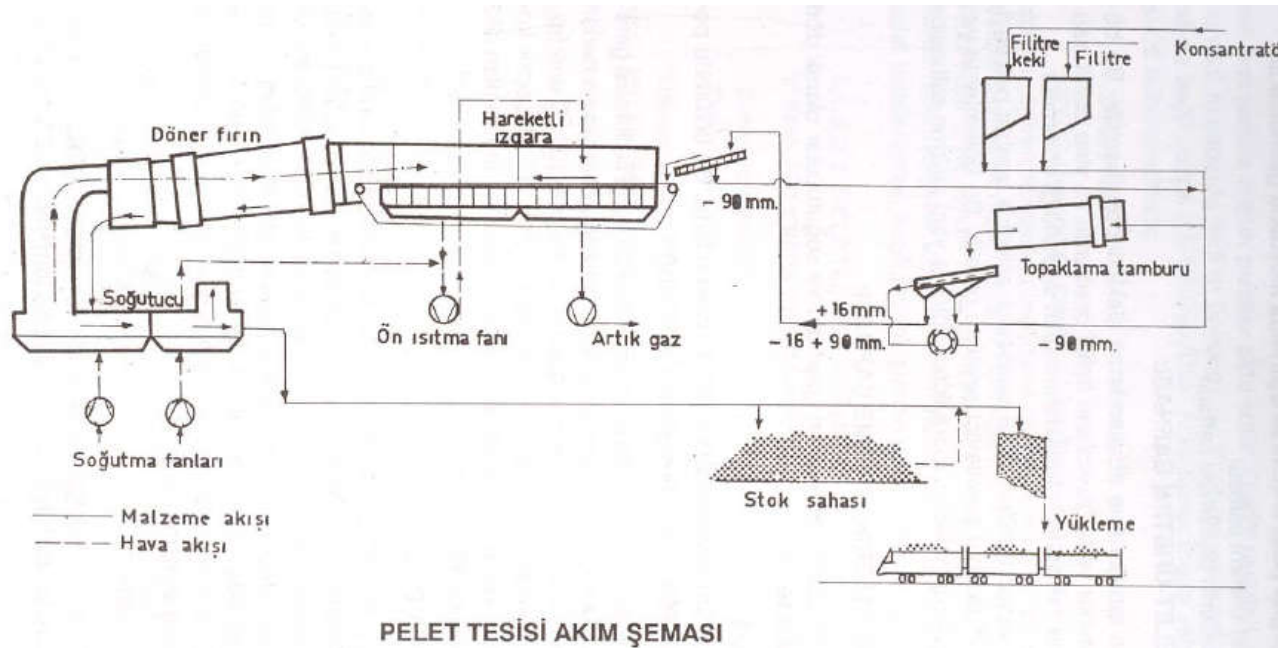
Kavurma işlemi sırasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri kalkopirit oksitlenirken yapı içerisindeki demirin Fe_3O_4 (manyetit) fazına dönüşmesini engellemektir. Yüksek ergime sıcaklığına (1594 °C) sahip manyetit fırın tabanına çöker ve fırının yapısına zarar verir.

Bu nedenle kavurma işlemi görece düşük olan 500 – 550 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilir.

Oluşan manyetitleri çözmek için: (i) Pirit ilave edilebilir, (ii) Ferrosilis ilave edilebilir.

Gaz Temizleme ve Peletleme:

- Fırında meydana gelen gazlar ana bacadan %95 oranında bakır tozlarının elde edildiği toz çökteticilere sevk edilir.
- Çökteticiler ile elde edilen bakır tozları reverber fırınına sevk edilir.
- Gaz temizleme ile hem gazlar temizlenir hem de bakır kaybı önlenir.
- Malzeme ayrımını belirleyen bu iş, önce malzemenin özgül ağırlığına göre ayrımının yapıldığı toz odalarında ve siklon denilen cihazlarda sonra da elektriksel özelliklere göre ayrımın yapıldığı elektrofiltrelerde gerçekleşir.
- Bu tozların topaklanarak küçük küresel parçalar haline getirilmesi demek olan peletleme ise bir yüzey küçültme işlemidir.

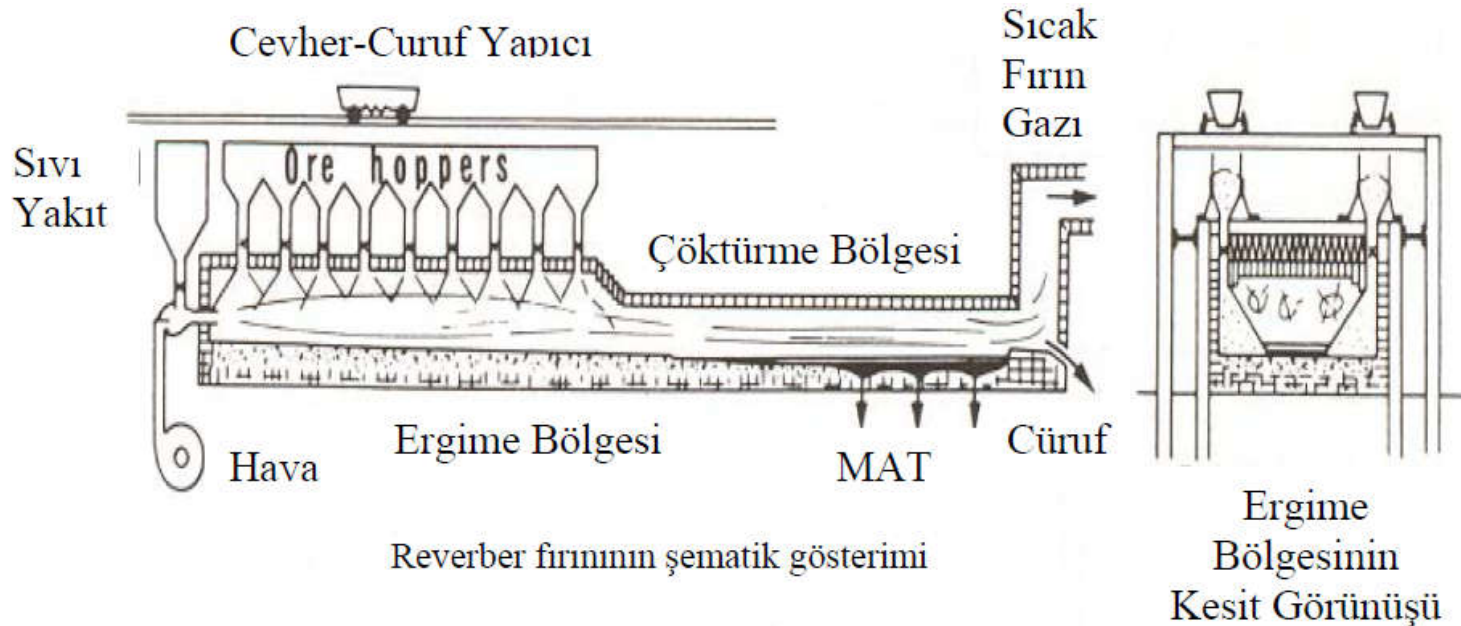


Reverber Fırını:

Reverber fırınına gelen malzeme, kuvars ve bir miktar kireç taşı ilavesiyle nötr ve hafif oksitleyici bir ortamda, demir sülfürün tazyikli hava içindeki oksijen tarafından oksitlenmesiyle ($2\text{FeS}_2 + 5\text{O}_2 = \text{FeO} + \text{SO}_2 + 340\text{kcal}$) açığa çıkan ısı ile ısınır. Şarja ilave edilen kireç taşı “termik ayrışmaya” uğrayarak parçalanır.

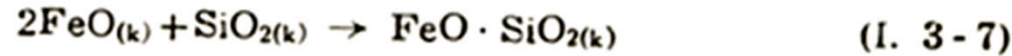


Demir sülfürün bir kısmı fırın atmosferinde “katı halde oksidasyon” reaksiyonu ile demiroksite dönüşür.

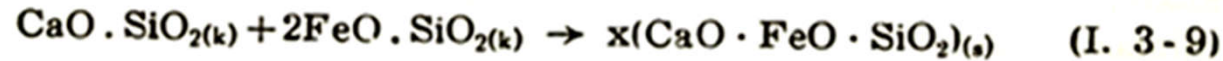


Reverber Fırını:

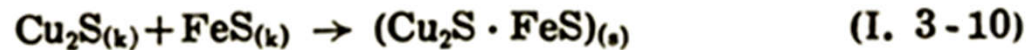
Demir oksit, silisyum dioksit ve kalsiyum oksit reaksiyonları ile “curuf”u oluşturur.



Curuf ısıнын etkisiyle ergiyerek sıvılaşır.



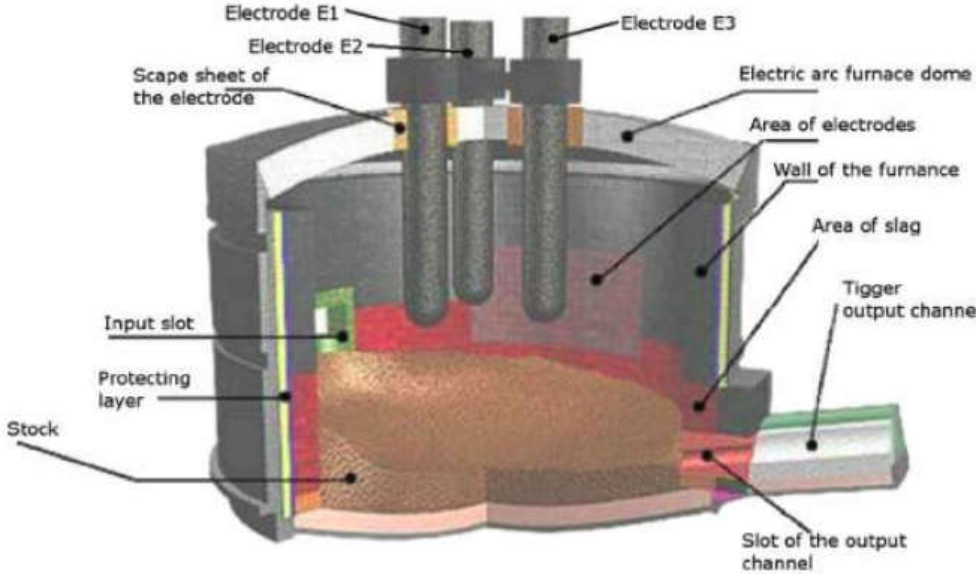
Şarjdaki sülfürler “mat” fazını oluşturur ve mat ergiyerek sıvılaşır.



3-9 ve 3-10 reaksiyonları birer katı-sıvı dönüşümünü gösteren fiziksel olaylardır. Curuf ve mat şeklinde oluşan 2 sıvı faz özkütleleri arasındaki farktan dolayı iki tabaka halinde ayrışırlar. Fırının alt tarafında ya da ön tarafında biriken mat konventör tesisine taşınır.

Elektrik Ark Fırını:

Elektrik enerjisinin ucuz olduğu ülkelerde tercih edilir. Genellikle hidroelektrik santrallerin yanında kurulurlar. Prensip olarak Reverber Fırını ile benzer çalışırlar.



- 1- Yüksek ergitme hızı
- 2- Baca gazı miktarının çok düşük oluşu ve SO_2 konsantrasyonunun H_2SO_4 üretimine elverişli olması (>%10)
- 3- Tam otomatik çalıştırılabilmesi
- 4- İşletme ve onarım masraflarının düşük olması

gibi avantajlara sahiptir.

Curüflardaki Cu kaçağı biraz fazladır çünkü elektromanyetik akımlar banyoda türbülans oluşturarak mat ve curufun karışmasında yol açar.

Manyetit oluşumu söz konusu değildir çünkü kullanılan C elektrotlar aynı zamanda redükleyici görevi görürler.

Flash İzabe Yöntemleri:

Aynı anda kavurma ve ergitme işlemlerinin yapıldığı işlemlerdir. Kavurma sırasında açığa çıkan enerji ergitme için kullanılarak çok az yakıt kullanılarak (ya da hiç yakıt kullanılmadan) mat oluşumu tamamlanır. Reverber fırınına kıyasla 60 Milyon kWh enerji tasarrufu sağlanabilir.

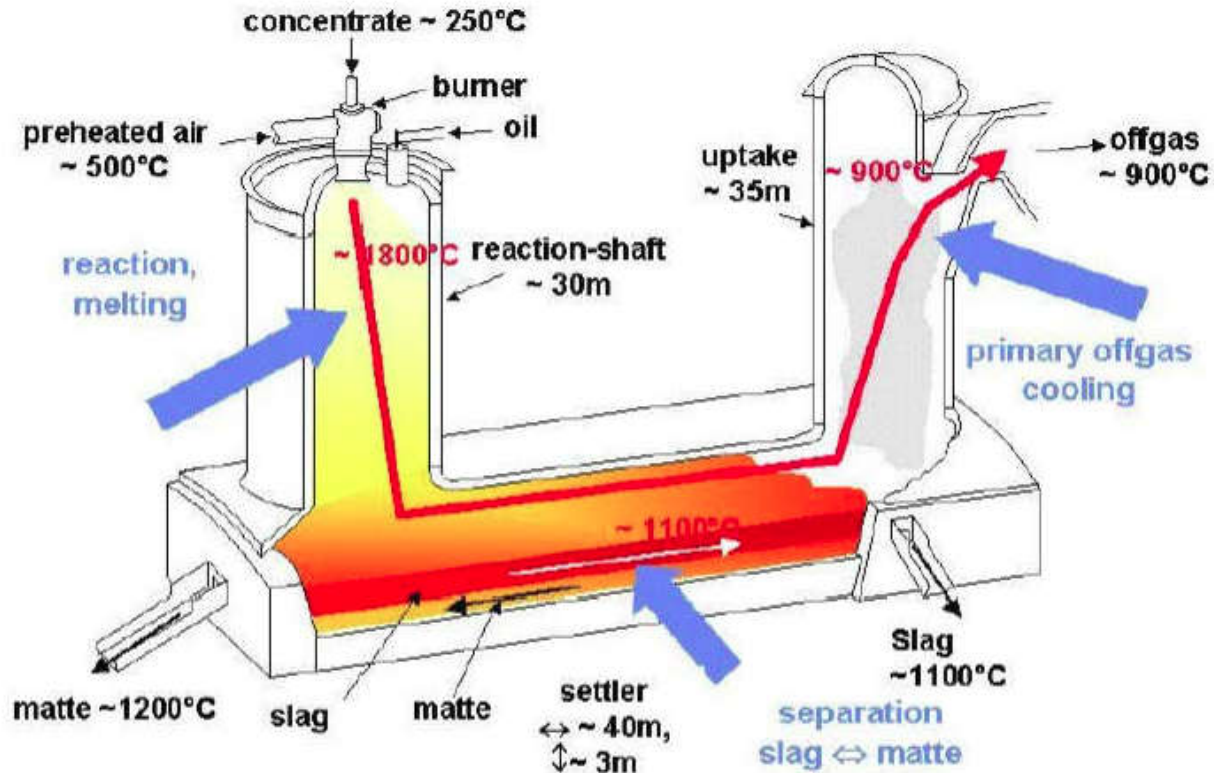
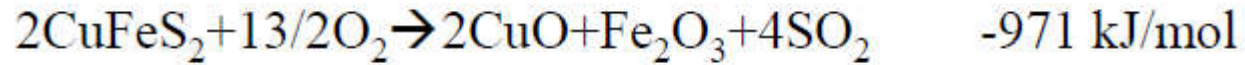
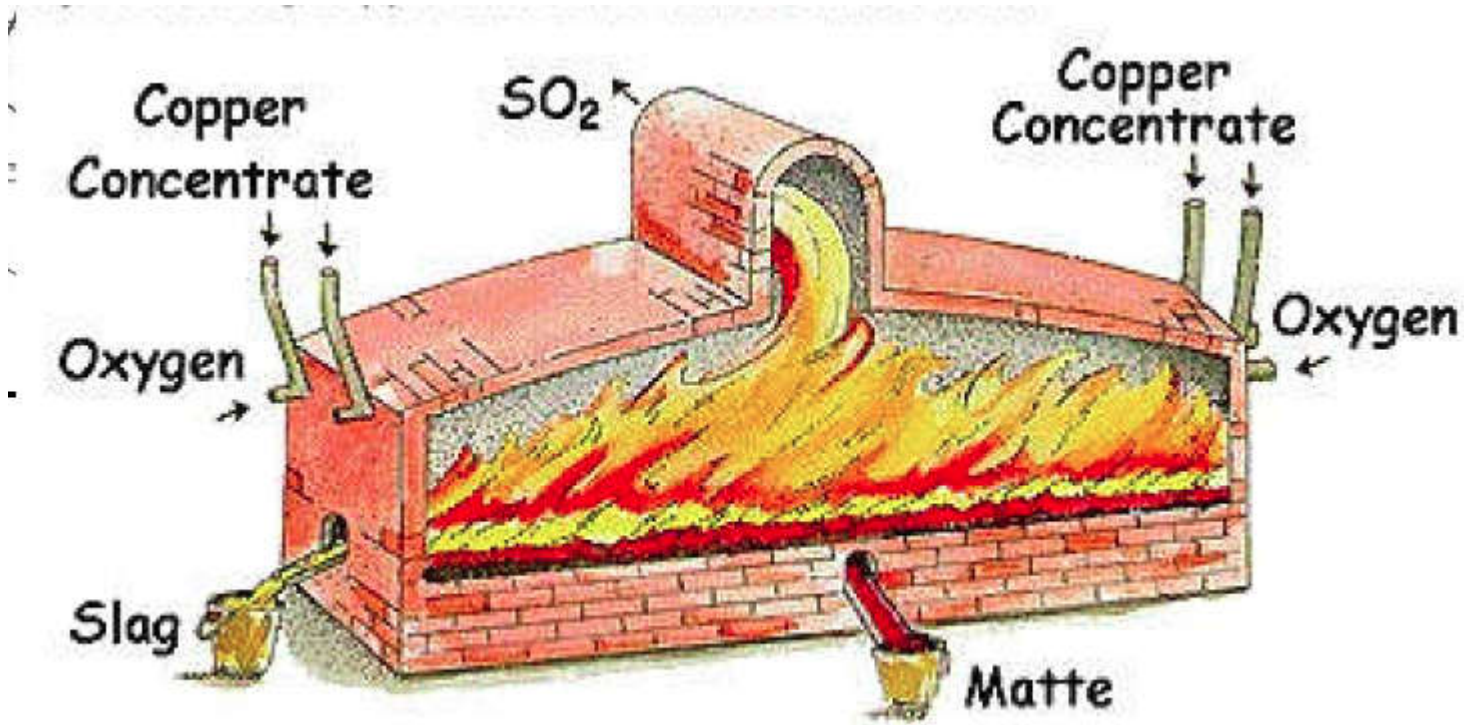
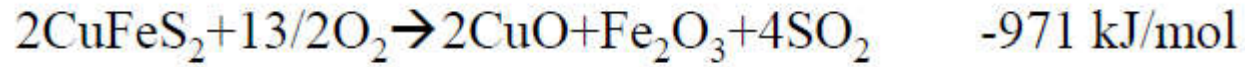


Figure 2-15: Schematic Representation of the Outokumpu Furnace

Flash İzabe Yöntemleri:

Aynı anda kavurma ve ergitme işlemlerinin yapıldığı işlemlerdir. Kavurma sırasında açığa çıkan enerji ergitme için kullanılarak çok az yakıt kullanılarak (ya da hiç yakıt kullanılmadan) mat oluşumu tamamlanır. Reverber fırınına kıyasla 60 Milyon kWh enerji tasarrufu sağlanabilir.



Inco Fırını

Curuf Temizleme:

Mat ergitme sırasında curufa yaklaşık %5 oranında Cu kaçıışı olur. Bu bakırı geri kazanmak için FeS, C ve/veya Cu_2S eklemek gibi curuf temizleme işlemleri yapılır.

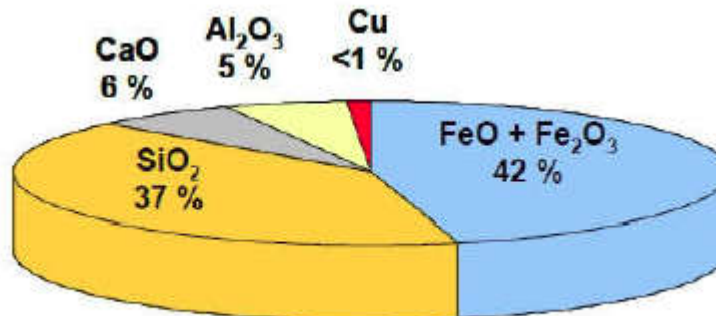
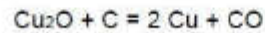
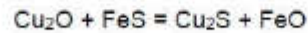
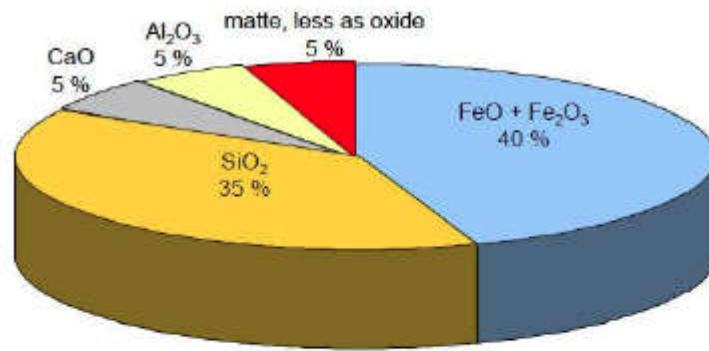


Figure 2-8: Composition of the settled slag of the copper production

- Electrodes -Ø: 0.8 – 1m,
- Power: 2 – 11 MW,
- Retention time: 0.5 – 5 h,
- Energy: 50 – 120 kWh/t slag
- Temperature: app. 1200°C
- Bath height: 0.2 – 0.5 m Matte: 0.8 – 1.8 m Slag

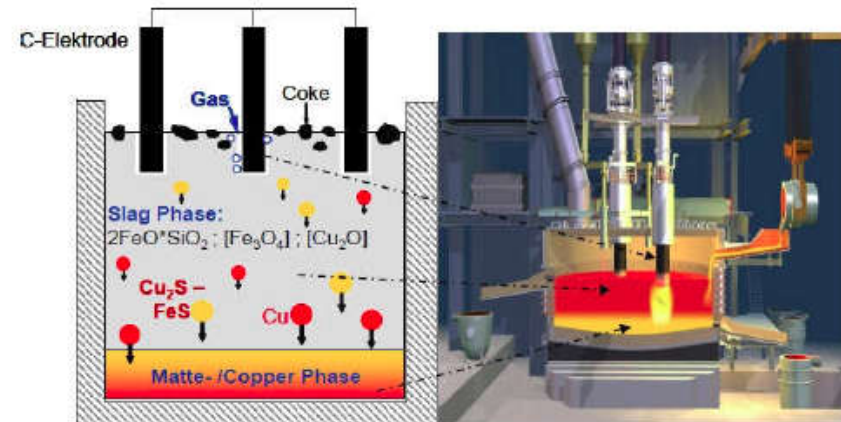


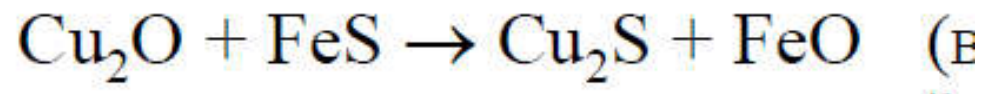
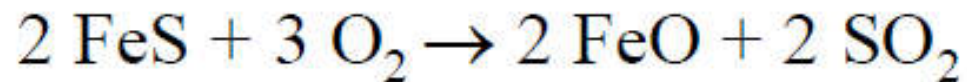
Figure 2-5: Schematic of slag cleaning in rotary current electric arc furnace (left) and 3D image (SMS Siemag)

Konvertisaj- Dönüştürme:

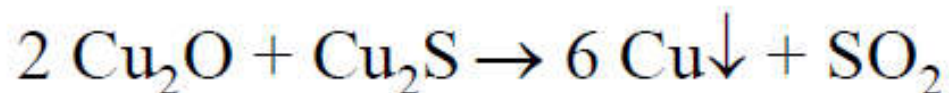
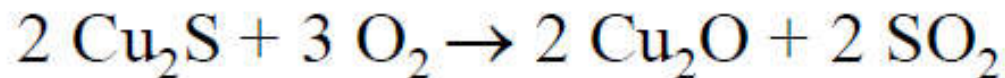
Bakır matlarından blister bakır üretme işlemidir. Bu işlem sırasında başlıca 3 reaksiyon gerçekleşir:

- 1- Demir sülfürlerin yanması
- 2- Curuf oluşumu
- 3- Bakır oluşumu

Curufa çalışma (I. Kademe):



Bakıra çalışma (II. Kademe):



Konvertisaj- Dönüştürme:

Konventöre üflenlen basınçlı hava sıvı-katı-gaz halindeki maddelerin karışımını sağlayan bir karıştırma işlemidir. Konventörede oluşan curuf ve saf Cu_2S bileşimindeki “Beyaz Mat”ın ayrılması havanın kesilip özkütle farkına göre sıvı fazların ayrışmasını belirleyen fiziksel bir olaydır.

Beyaz mat tekrar bir konventöre yüklenir ve hava üflenir. Beyaz mat bir dizi oksidasyon reaksiyonu ile blister bakıra (%97-98 saflıktadır. Fe, S, Au, Ag, Se, Te ve Ni içerir.) dönüştürülür. Reaksiyonun seyri numune alarak kontrol edilir. Reaksiyon tamamlanınca blister bakır, ergimiş halde anod fırınına sevk edilir veya kalıplara dökülerek nakil edilir.



Sıvı bakır içerisinde 1200°C 'de ortalama % 0.02 S ile %0.5 O_2 denge halindedir.

Pirometalurjik Cu Rafinasyonu:

Ateşte rafinasyon seçici bir oksidasyon işlemidir. Bu işlem ile blister bakırda bulunan %0.02 S oranı, %0.003'ün altına düşürülmelidir.

İlk aşamada, sıvı bakır içerisine hava üflenerek oksijen konsantrasyonu %0.5'ten %1'e yükseltilir.

Kavaklama denen ikinci aşamada ise 1 ton Cu başına 35 kg yaş kavak ağacı kullanılarak redüksiyon işlemi gerçekleştirilir ve oksijen miktarı %0.02 değerlerine kadar düşürülür.

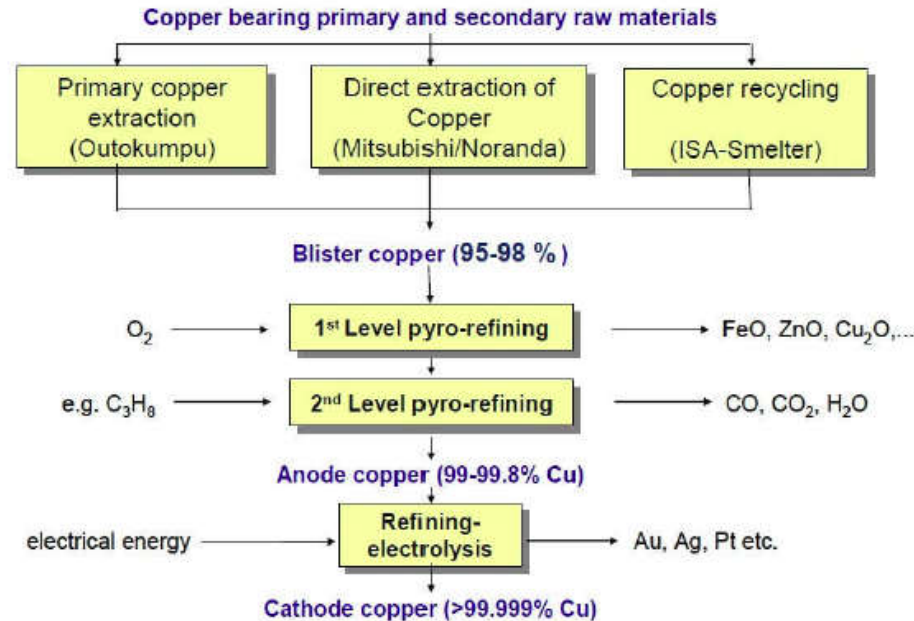


Figure 2-53: Process Routes for the Blister Copper Extraction and the Following Refining

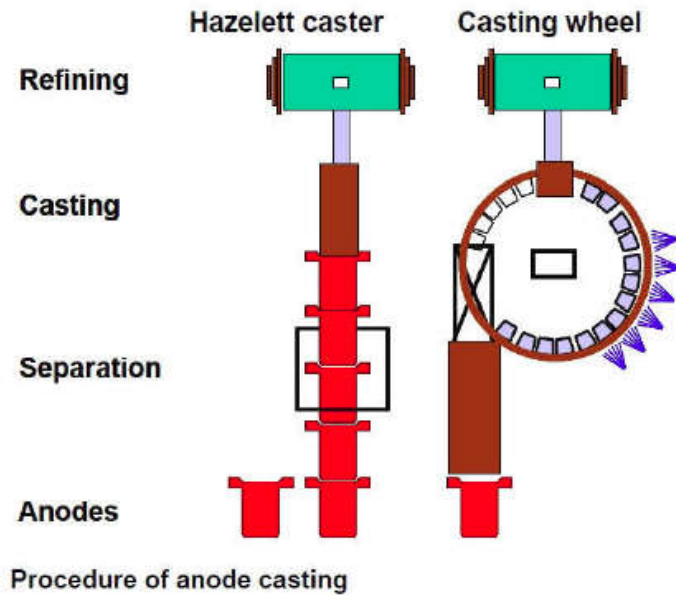
Pirometalurjik Cu Rafinasyonu:

Blister bakırda Fe, S, O, Bi ve As gibi istenmeyen elementler bulunduğu için direk olarak kullanılmaya elverişli değildir. Bu işlemde istenmeyen elementlerin oksitlenmesi ve curufların sıyırma yoluyla kütleden ayrılması söz konusudur. Bakırın bir kısmının da oksitlenmesi meydana gelebilir ve redüklenme işlemiyle saflaştırılabilir. Burada bakırın saflaştırılması, metalik oksitlerin oluşum ısıları ve aynı zamanda oksitlerin ergimiş bakır içindeki çözünürlükleri farkından yararlanılarak sağlanır. Bakır içindeki S, Fe ve Zn kolaylıkla uzaklaştırılırken Ni, Se, Te ve Bi çok zor curuf oluşturduğundan elektroliz metodunun uygulanması gerekir. Burada elde edilen bakır bir sonraki adım için anot olacak şekilde dökülür.



Anot Dökümü:

Bakır içindeki S, Fe ve Zn kolaylıkla uzaklaştırılırken Ni, Se, Te ve Bi çok zor curuf olduğundan elektroliz metodunun uygulanması gerekir. Burada elde edilen bakır bir sonraki adım için anot olacak şekilde dökülür.



Hazelett Anode Casting



Caste Anodes

Anot Dökümü:



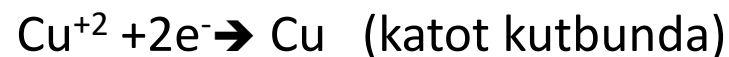
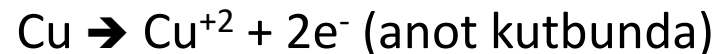
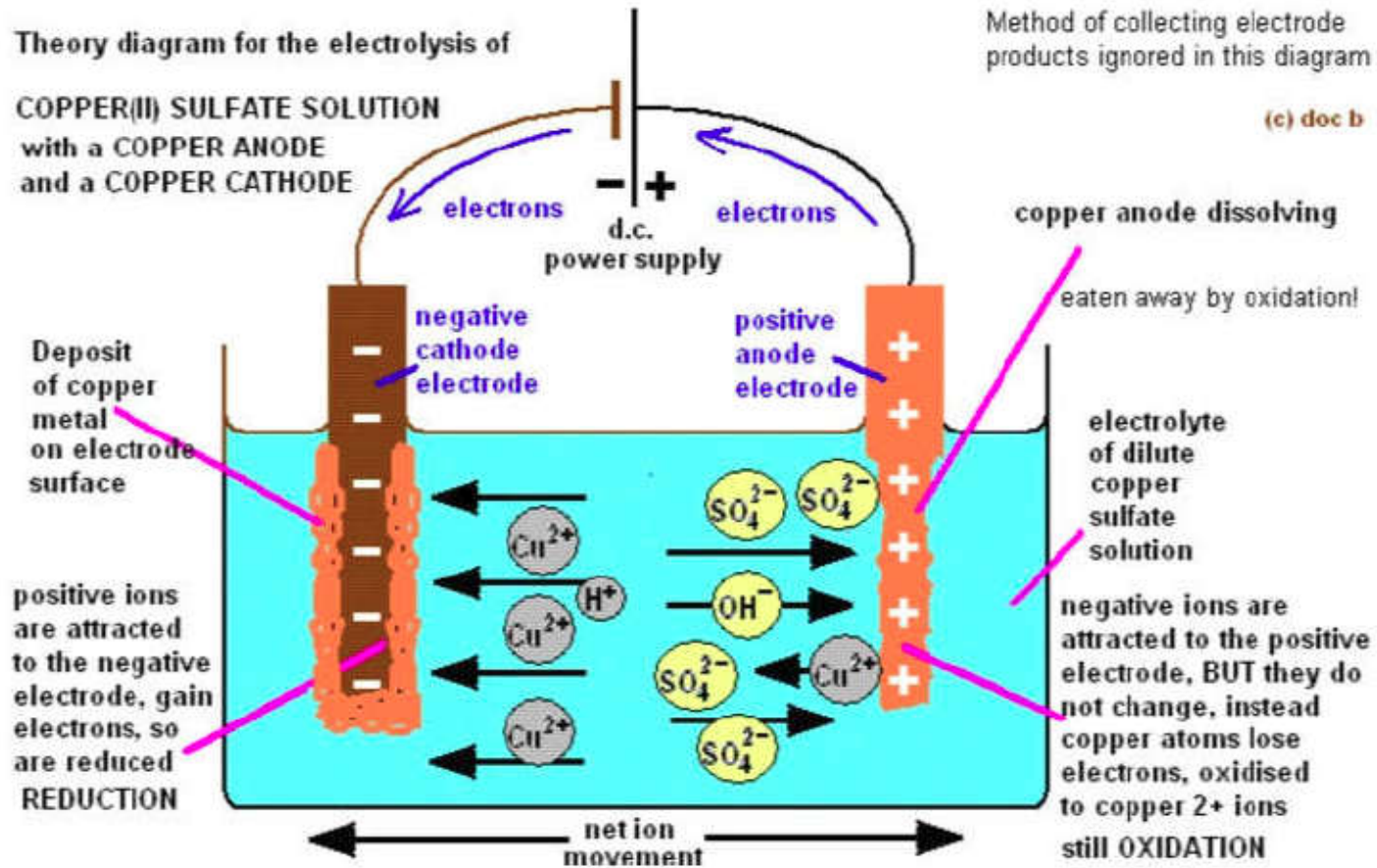
Casting Wheel

Bakır üretiminde empüritelerin davranışı:

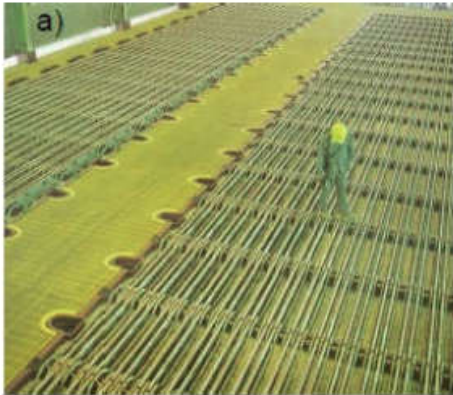
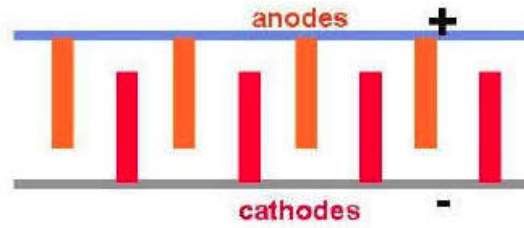
- Konsantrede mevcut **soy metallerin** %99'u blister bakıra geçer.
- **As, Sb, Bi:** (%5-20 blister bakıra, % 65-90 arası baca tozlarına, %10 curufa)
- **Se, Te** (%60 blister bakıra, %30 curufa)
- **Ni** (% 75 blister bakıra, % 25 curufa)
- **Pb** (%5 blister bakıra, %85 baca tozlarına, %10 curufa)
- **Zn** (% 30 baca tozlarına, %70 curufa)
- **Sn** (%10 blister bakıra, %65 baca tozlarına, %25 curufa)

Elektrolitik Rafinasyon:

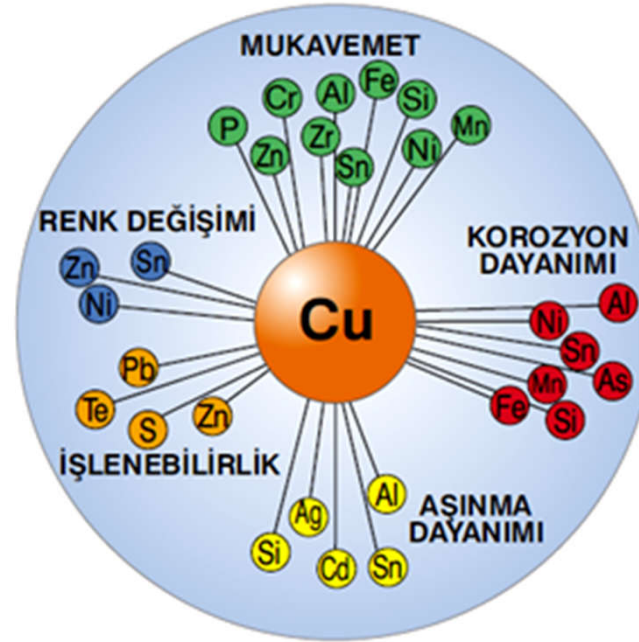
Elektroliz işleminde bilister bakır bloklar halinde anot kutbunu, ince saf bakır plakalar ise katot kutbunu oluşturur. Uygun bir biçimde dökülmüş blister bakırı, sülfürik asit (H_2SO_4) ve bakır sülfattan oluşan çözelti içine konur.



Elektrolitik Rafinasyon:



Alaşım Elementlerinin Etkisi



Şekil-5: Alaşım Elementlerinin Etkileri

Saf bakıra ilave edilen alaşım elementlerinin sağlayacağı avantajlara göre aşağıdaki gruplara ayrılabilir.

Mukavemet Artırıcı Alaşım Elementleri

- Krom (Cr)
- Alüminyum (Al)
- Fosfor (P)
- Demir (Fe)
- Silisyum (Si)
- Manganez (Mn)
- Çinko (Zn)
- Zirkonyum (Zr)
- Kalay (Sn)
- Nikel (Ni)
- Berilyum (Be)
- Kobalt (Co)

Korozyon Dayanımını Artırıcı Alaşım Elementleri

Bakır asil metaldir, ama altın veya diğer değerli metallerin tersine bazı ortamlarda korozyona dayanmayabilir. Bazı bakır alaşımlarının hidrojen gevrekliği veya gerilme korozyonuna dayanımı zayıftır.

- Nikel (Ni)
- Alüminyum (Al)
- Kalay (Sn)
- Manganez (Mn)
- Arsenik (As)
- Demir (Fe)
- Silisyum (Si)

Aşınma Dayanımını Artırıcı Alaşım Elementleri

- Alüminyum (Al)
- Gümüş (Ag)
- Silisyum (Si)
- Kadmiyum (Cd)
- Kalay (Sn)
- Berilyum (Be)
- Kobalt (Co)

İşlenebilirliği Artırıcı Alaşım Elementleri

- Tellür (Te)
- Kurşun (Pb)
- Kükürt (S)
- Çinko (Zn)

Renk Değiştirici Alaşım Elementleri

Bazı bakır alaşımları dekoratif amaçlı da kullanılabilir. Özel bir renk ve yüzey alaşımları dırma yapılarak, mekanik özelliklerle birlikte uyumlu olarak ortaya çıkartılabilir.

- Çinko (Zn)
- Kalay (Sn)
- Nikel (Ni)

Kaynaklar

1- Fathi Habashi – Handbook of Extractive Metallurgy

2- Prof. Dr. Gökhan Orhan – İstanbul Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Üretim Metalurjisi Ders Notları