

## 2-C-1 - BAKIR VE ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMLERİ

### YAPISAL SERTLEŞME

#### Genel mülâhazalar

Yapısal sertleşme, prensipleri bundan önce anlatılmış bulunan eriyik hale getirme su vermesi ve sonra sertleştirici meneviş'in birbirini takibeden uygulamalarından sonuçlanır:

Yapısal sertleşmeye elverişli çok sayıda bakır alaşımı vardır; ancak sınaî olarak ilginç olanlar, bakırın özgül bazı nitelikleriyle birlikte, ısıtılardan sonra bu metalinkilerin üstünde mekanik karakteristikleri haiz olanlardır, ezcümle yüksek elektriksel (ve ısıtıl) iletkenlik, ama alçak elastikiyet modülü, magnetik olmama, kıvılcım çıkarmama, korozyona mukavemet vb.

Yapısal sertleşmeli ve maksimum mekanik mukavemeti elde etmek üzere işlem görmüş endüstriyel bakır alaşımlarının tümü ele alındığında, bu maksimum mekanik mukavemetin elektriksel iletkenlikle ters yönde değiştiği görülür. Böylece de bu alaşımlar üç büyük gruba ayrılabilir:

1-İlmlı elektriksel iletkenlik ve mekanik karakteristikli alaşımlar (örneğin;kromlu bakır, zirkoniumlu bakır);

2-Orta elektriksel iletkenlik ve yüksek mekanik karakteristikli alaşımlar (örneğin;kobalt-berilyumlu bakır,nikel-silisyumlu bakır);

3-Çok yüksek mekanik karakteristik ve nispeten zayıf elektriksel iletkenlikli alaşımlar (örneğin;berilyumlu bakır).

Birinci grubun alaşımları elektriksel ve/veya ısıtıl iletkenliğin esas olduğu yerlerde (rezistans kaynağı elektrodları) kullanılır; öbür iki grubun alaşımları daha çok, iletkenliğin ikinci derecede ya da ilgi alanının dışında olduğu ve ya zayıf elastikiyet modülü (yaylar, membran-zarlar), ya magnetik olmayışı (denizcilik aparatları), ya da darbe etkisiyle kıvılcım çıkarmama niteliği (maden, baruthane âletleri) ninden faydalanılmak istendiği hallerde kullanılır.

Yapısal sertleşmeli alaşımlar, su almış halde soğukta kolaylıkla şekillendirilebilme (çekme-basma, bükme, kemerleme vb.) temel avantajına sahip olup optimum karakteristiklerine varmak için sadece ılımlı sıcaklıkta bir menevişe gerek gösterirler. Isıtıl darbesiz uygulanan bu sonuncu işlem, çatlak hasıl etmez ve muhtemelen çok küçük şekil bozulmalara götürür ki "montaj sırasında" bir menevişle bundan kolayca kaçınılabilir.

Belli bir alaşıma yapısal sertleşmeyle sağlanan mekanik karakteristikler, basit yoğurulma ile elde edilenden üstün olmakla kalmayıp daha yüksek sıcaklıklarda kendilerini muhafaza ederler şöyle ki ileri meneviş sıcaklığı genellikle rekristalizasyonunkinden yüksektir.

Ve nihayet yoğurulmayla yapısal sertleşmenin etkilerini, ya su verme ile meneviş arasında, ya da tam ısıtıl işleminden sonra soğukta bir homogen şekil değiştirme (haddeleme, çekme vb.) yapılarak bir araya toplamak mümkün olmaktadır.

Birinci halde meneviş, yoğurulmanın etkisini biraz hafifletir; bununla birlikte "su verilmiş menevişlenmiş" hale göre "su verilmiş-yoğurulmuş-menevişlenmiş" halde kopma mukavemeti daha yüksek ve uzamalar daha zayıf olur.

Bunun dışında yoğurulmadan ileri gelen şebeke düzensizliği daha sonraki çökelmeyi teşvik eder; bunun sonucunda su verilmiş-menevişlenmiş alaşımların meneviş sıcaklıklarında tutma süreleri, sadece su verme üzerine menevişinkilerden daha az olmalıdır.

Su verme ve menevişten sonra yoğurulma kesinlikle en yüksek kopma mukavemetlerini verir de uzamalar genellikle çok zayıf kalır. Bu nedenle "su verilmiş-menevişlenmiş-yoğurulmuş" hal, öncesine göre daha az kullanılır.

Yukardaki tablo, yapısal sertleşme açısından etüd edilmiş başlıca bakır alaşımlarının bileşimlerini, ısıl işlem koşullarını ve işlem görmüş halde niteliklerini belirtir. (Tablo, S. 64'dedir).

### **Berilyumlu bakır**

#### *Fiziko-şimik karakteristikler*

Berilyumlu bakırın bileşimi genellikle aşağıdaki sınırlar arasında kalır (ağırlık olarak %):

Berilyum	% 1.80-2.05
Kobalt ve/veya nikel	% 0.2
Co + Ni + Fe	% 0,6
Bakır + berilyum + ilâve elementleri	% 99.5

Döküm için berilyum oranı % 1.8 ile 2.7 arasında değişir.

Kobalt ve nikel ilâvelerinin başlıca etkisi, basit Cu-Be alaşımlarında uzun süreli menevişleme sırasında meydana gelen yumuşamayı geciktirmektir (Şekil: 31)

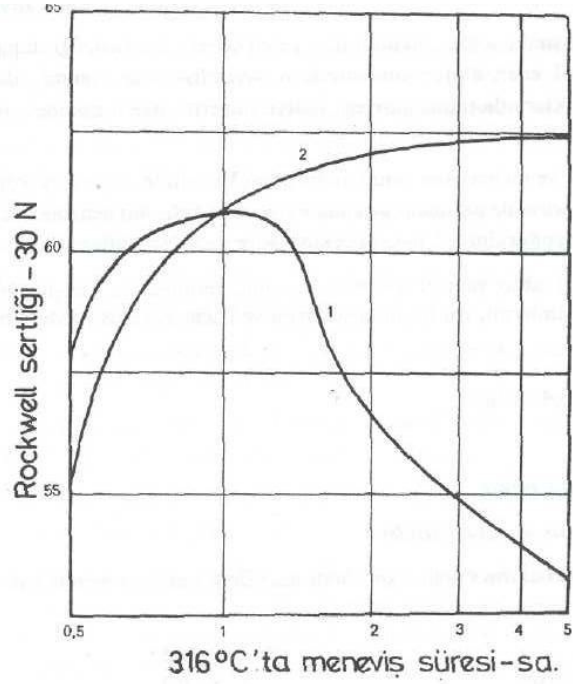
Bu ilâvelere rağmen bakır-berilyum denge diyagramı (Şekil: 32), ısıl işlemler sırasında meydana gelen reaksiyonları kısaca betimlemek için kullanılabilir.

Bu diyagramın Cu-Be 2 alaşımını içeren bölümü berilyumun bakır içinde bir katı eriyikinin ( $\alpha$  fazı) ve iki ara fazın,  $\beta$  ile  $\gamma$  nın varlığını gösterir. Bu son ikisi aynı sistem (merkezli kübik) içinde kristallaşırlar ama yaklaşık olarak eşit atomik CuBe bileşimini haiz olan  $\gamma$ , düzenlidir.

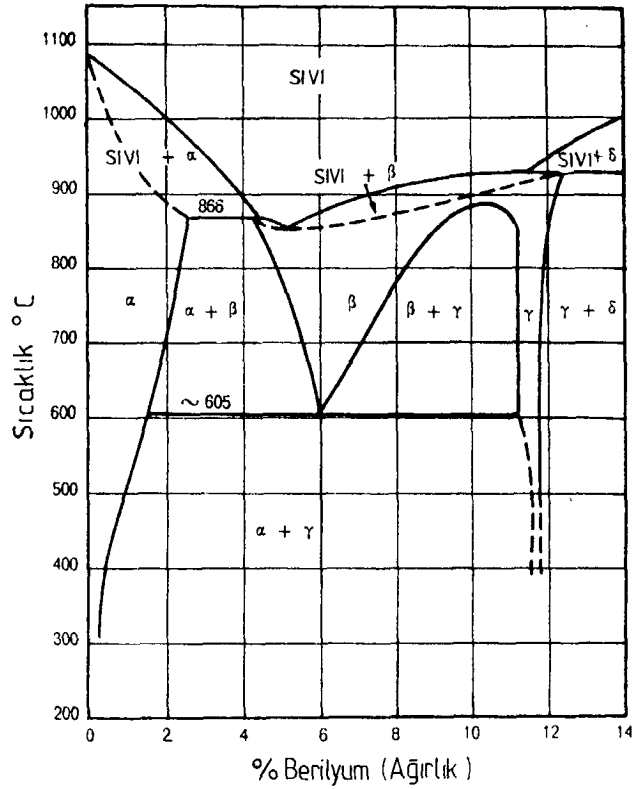
$\alpha$  ve  $\gamma$  fazları çevre sıcaklığında stabildirler;  $\beta$  fazı ise sadece 605°C'nin üstünde stabil olup bu sıcaklık onun ötektoid  $\beta \rightleftharpoons \alpha + \gamma$  reaksiyonu gereğince, soğumada ayrıştığı sıcaklıktır.

Mamafih bakır-berilyum sisteminin esas karakteristiği, yapısal sertleşme imkânları açısından, sıcaklıkla berilyumun bakır içinde erime kabiliyetinin hızlı ve önemli artışıdır: 300°C'ta % 0,2'den 866°C'ta % 2.7'ye varır.

Bu sonuncu sıcaklığın altında, erime kabiliyeti azalır; bunun sonucu olarak yaklaşık % 3'e kadar berilyum içeren bir sistemde alaşımlar, çökelme sertleşmesi karakteristiğini arzederler.



Şekil:31 - Berilyum bakırın ileri yaşlanması üzerine kobaltın etkisi.  
 Eğri 1: % 2 berilyumlu bakır  
 Eğri 2: %2Be + % 0,38 Co



Şekil:32\_bakır-berilyum denge diyagramı

Soğuk işleme (yoğurma) ve çökeltme sertleşmesinin uygun bir bileşimi, bu süreçlerin tek başlarına kullanılmalariyla elde edilemeyecek mukavemet ve sertlik sağlar. Cu-Be levhası için bu keyfiyet aşağıdaki tabloda görülür:

<i>Koşul</i>	<i>Çekme Muk.</i> <i>kg/mm<sup>2</sup></i>	<i>Uzama</i> <i>2 in'de</i> <i>%</i>	<i>HB</i> <i>3000 kg.</i>
Tavlanmış halde	49	45	110
Tavlanmış ve soğuk yoğurulmuş	84	4	220
Tavlanmış ve yaşlandırılmış	119	6	340
Tavlanmış, soğuk yoğurulmuş ve yaşlandırılmış	140	2	365

Ağır soğuk yoğurulma, üzerinde potansiyel çekirdeklenme ve bir ikinci fazın çökeltmesinin vaki olabileceği kayma düzlem sayısını artırır. Çökeltme fazı rekristalizasyon ve irileşmeyi önlemeye de yarayıp rekristalizasyon sıcaklığını artırma eğiliminde olur. Fazla yaşlanma vaki olduğunda, engelleyici faz etkinliğini yitirir ve rekristalizasyon mutad şekilde ama daha yüksek sıcaklıkta ilerler.

Berilyumlu bakırın bazı karakteristikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.(Metals Handbook'tan)

<b>Şekil</b>	<b>Koşul</b>	<b>Kesit (mm)</b>	<b>Kopma muka. (kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Akma sınırı % 0,01 (kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Uzama (%)</b>	<b>Sertlik</b>
Band	A	0,8	50	17,5	50	RB 50
Band	½H	0,8	66,5	43,5	12	RB 93
Band	H	0,8	150	49	6	RB 97,5
Band	AT	0,8	123	56	5	RC 41
Band	½ HT	0,8	132	73,5	4	RC 42
Band	HT	0,8	137	77	3	RC 42,5
Çubuk	AT	19,0	133	98	3,7	380 Brin.
Çubuk	HT	19,0	140	120	2,8	400 Brin.

A= Eriyik hale getirilmiş ve su verilmiş.

AT= Eriyik hale getirilmiş ve su verilmiş ve çökeltme sertleşmesine tabi tutulmuş.

½ H= Eriyik hale getirilmiş ve su verilmiş,soğuk haddelenmiş (band ise %20,7) veya soğuk çekilmiş(tel ise % 3701)

½ HT= ½ H ile aynı, ayrıca çökeltme sertleşmesine tabi tutulmuş.

H= Eriyik hale getirilmiş, su verilmiş,soğuk haddelenmiş (band ise % 3701) veya soğuk çekilmiş (tel ise % 60,5)

HT= H ile aynı,ayrıca çökeltme sertleşmesine tabi tutulmuş.

#### **Eriyik haline getirme su vermesi**

% 2 berilyumlu Cu-Be alaşımına su verme, alaşımı 775 ile 800° C arasında tutmadan sonra suya daldırarak yapılır.

Bu sıcaklıklarda, bütün berilyumun, teorik olarak, α katı eriyiki içinde olması gerekirdi. Oysa

ki işlemin mutad koşullarında, az çok daima  $\beta$  fazı küçük kristalleri kalır; bunlar daha çok, yer değişmelerini engelledikleri ve böylece de, suya daldırmadan önceki ısıtma sırasında  $\alpha$  fazı tanesinin irileşmesini sınırladıkları tane birleşme yerlerinde bulunurlar.

Bu itibarla su verme sıcaklığında tutma süresi birinci derecede önemli olmaktadır: bu süre çok kısa olacak olursa,  $\alpha$  fazı berilyumun sadece küçük bir bölümünü eritir ve meneviş de optimal nitelikleri vermez; süre çok uzun tutulursa, eriyik haline getirme tam olabilir ve tane tek faz halinde irileşme eğiliminde olur; bu da özellikle yukarıda belirtilen sıcaklık alanının en üst sınır sıcaklıklarında vaki olur.

Pratikte tutma süresi, işlem görecekt parçanın kalınlığına göre saptanır şöyle ki berilyumun eriyik haline getirilmesi bütün kitle içinde yeterli ve homogen olacaktır. Yarı mamul hale getirilmiş ürünlerde 25 mm kalınlık için yaklaşık 1 saat gerekir; çok ince parçalarda da bu süre asgari birkaç dakikadır.

Genellikle daha az homogen olan döğme ve dökme mamullerde 25 mm kalınlık başına 1 sa, ama daha ince parçalar için da asgari 1 sa kabul edilir. Öbür yandan büyük kitleli parçaların daldırılmaları, yüzeye çıkan iç çatlamalardan (büzülme çatlamaları) kaçınmak için 80° C sıcak suda ya da yağda yapılır.

Ocaktan çıkışla su verme kabına daldırma arasında geçen zaman mümkün olduğu kadar kısa (< 10 sn) olacaktır; kitik soğuma hızı, 60°C/sn mertebesindedir.

Su vermede başlıca kusurlar, bir ikinci işlemle düzeltilebilecek olan yetersiz eriyik haline getirilme dışında, fazla ısıtma ve yanmadır.

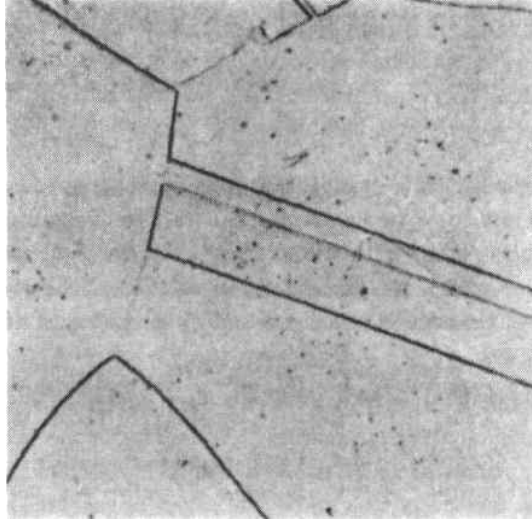
*Fazla ısıtma*, uzamış ısıtma ve/veya, 866°C'in altında kalmış olmakla birlikte yüksek su verme sıcaklığının sonucudur. Tanenin aşırı irileşmesiyle kendini belli eder; bu irileşme menevişten sonra belli bir kırılmalığa götürür ki bu, daha çok ince parçalarda kendini hissettirir.

Fazla ısıtılmış  $\alpha$  fazının daha yüksek berilyum oranı nedeniyle, kopma mukavemeti, elastik sınır ve sertlik gibi mekanik karakteristikler genellikle, menevişten sonra, normal koşullar altında elde edilenlerden üstündür. Buna karşılık, uzamalar ve rezilians (çentik darbe mukavemeti) çok zayıf olur.

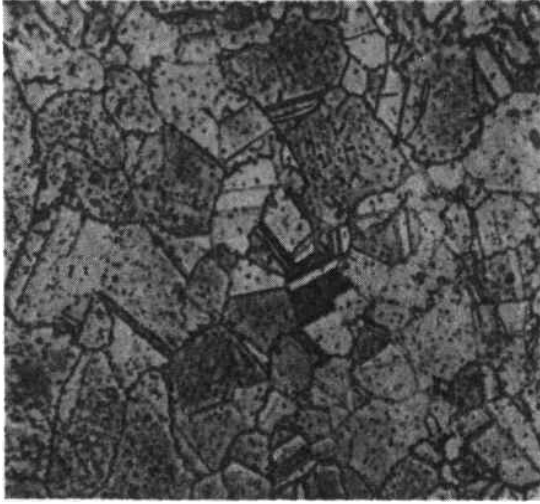
Fazla ısıtılmış yapı basit ısıtma işlemiyle rejenere edilmez (yeniden oluşturulamaz); mamafih en az % 20 oranında bir yoğurulmadan sonra 780-800° C'ta uygulanmış bir rekristalizasyon tavlamaıyla taneyi yeniden inceltmek mümkündür (Şekil 33 ve 34). Maalesef bu işlem bitmiş parçalara uygulanamaz.

*Yanma*, alaşım 866°C'in üstüne ısıtıldığında vaki olur (Şekil 32'deki denge diyagramına bkz.): bu takdirde, özellikle tane birleşmelerinde bir miktar berilyumdan yana çok zengin sıvı oluşur, bu arada da  $\alpha$  fazı hızla fakirleşir (Şekil 35).  $\alpha$  fazının dışına atılmış berilyum su verme sırasında yeniden eriyemeyeceğine göre, menevişten sonraki nitelikler gerçekten aşağı olur ve tanelerarası şebeke bir kırılmalılık kaynağı haline gelir.

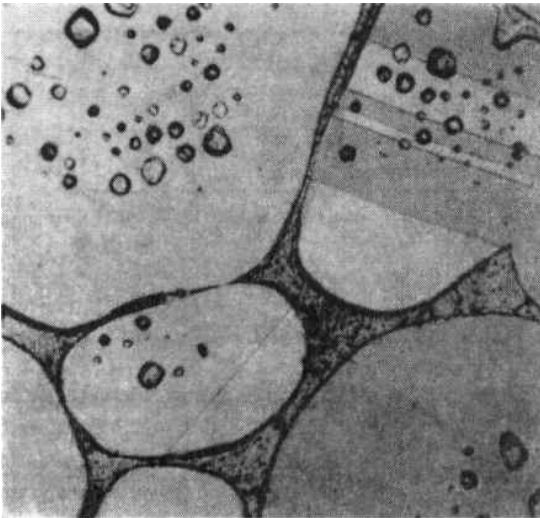
Fazla ısıtılmış alaşımın tersine, yanmış alaşım pratik olarak rejenere edilemez.



Şekil:33- 1 sa 850 C 'ta tutulduktan sonra suya daldırılmış fazla ısıtılmış Cu-Be2. X 600.  $\alpha$  katı eriyiki fazla doymuş. Tanelerin irileşmesi ve  $\beta$  fazı çökeltilerinin pratik olarak tam erime kaydedilir.



Şekil:34\_Fazla ısıtılmış ve rejenere edilmiş Cu-Be2. X 600 Şekil 33'teki aynı numune,320 C 'ta 3 sa. Meneviş, % 25 yoğurulmuş, 790 C'ta 1 sa. Tutma ile rekristallize edilmiş, sonra suya daldırılmış.



Şekil:35 - 1 sa.900 C'ta tutulmakla yanmış Cu-Be2. suda su verilmiş. X 400.

### **Sertleştirici meneviş**

Berilyumlu bakırın meneviş tip koşulları, mamullerin ilk durumlarına göre, aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

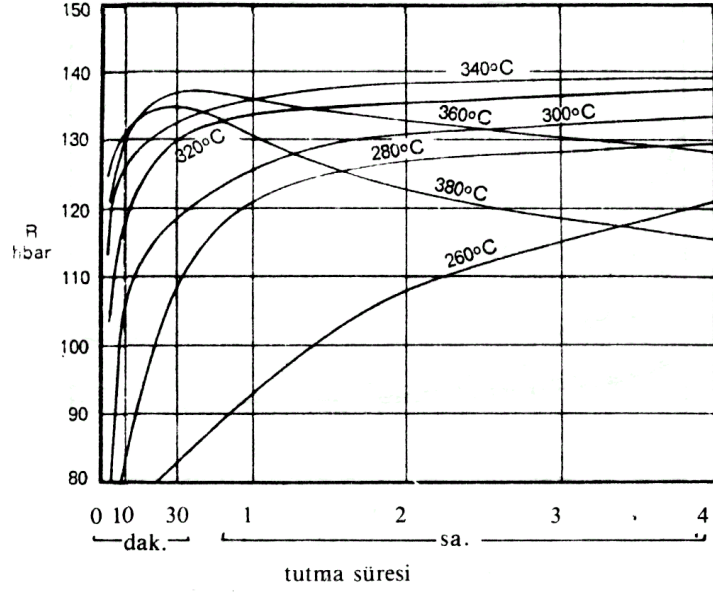
<b>Berilyumlu bakırın meneviş tip-koşulları</b>		
<b>Durum</b>	<b>Sıc. °C</b>	<b>Süre sa</b>
<b>Lamine mamuller</b>		
Yumuşak su ver. ve buzlu su ver.	320	3
Su ver.-Yoğurulmuş 1/4 sert	"	3
Su ver.-Yoğurulmuş 1/2 sert	"	2
Su ver.-Yoğurulmuş 3/4 sert	"	1,5
Su ver.-Yoğurulmuş 4/4 sert	"	1,5
<b>Çekme mamuller</b>		
Su verilmiş	320	3
Su ver.-Yoğurulmuş 1/4 sert çubuk ve borular	"	2
Su ver.-Yoğurulmuş 1/2 sert teller	"	1,5
<b>Döğme ve dökme mamuller</b>		
Su verilmiş	260-320	4

Öbür yandan Şekil 36 serisi su verilmiş ve su verilmiş-yoğurulmuş berilyumlu bakırın meneviş sıcaklık ve süresine göre başlıca mekanik karakteristiklerini verir. Herne kadar bunlar soğukta lamine mamuller üzerinde yürütülmüş deneylere göre saptanmışsa da özel durumlara uygulanabilecek meneviş koşullarının tayininde rehber olabilirler.

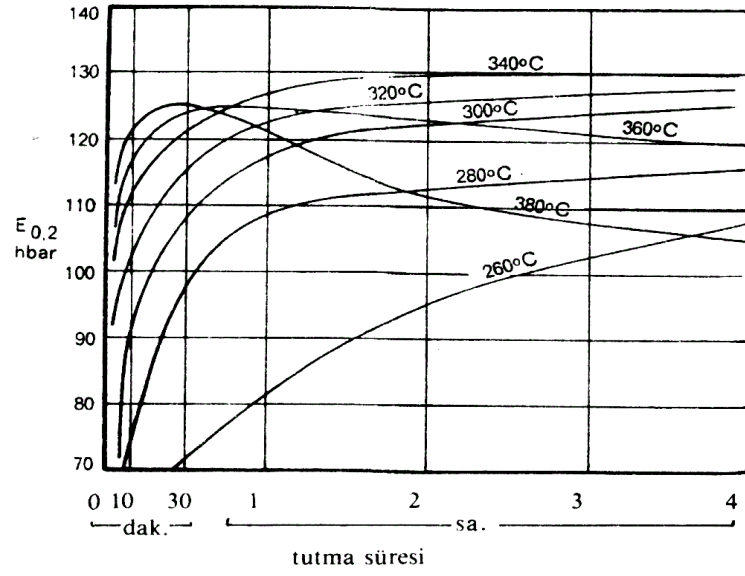
Şekil 36'nın eğrileri, yoğurulmanın etkisi altında meneviş sırasında alaşımın yapısal gelişmesinin ivmesini belirtmektedirler.

Berilyumlu bakır alaşımları, sertlik ve kıvılcım çıkarmama karakteristikleri gerektiren bazı âletler için tam başarıyla kullanılmıştır. Bunların korozyon ve yüksek yorulma mukavemetleri bunları yaylar, dişliler, diyafragmlar (zarlar), yataklar ve yüksek mukavemete ek olarak korozyon mukavemetinin arandığı amaçlar için çok faydalı kılmıştır. Bunlar ayrıca elektrik kontakları ve plastik şekillendirme kalıplarında kullanılmışlardır. Her ne kadar bu alaşımlar nispeten az miktarda berilyum içerirlerse de maliyetleri oldukça yüksektir; bu itibarla bunların kullanımı ancak öbür daha ucuz alaşımların özel uygulamanın gereklerini karşılayamamaları halinde rasyonel olur.

YOĞURULMUŞ  
YARI SERT

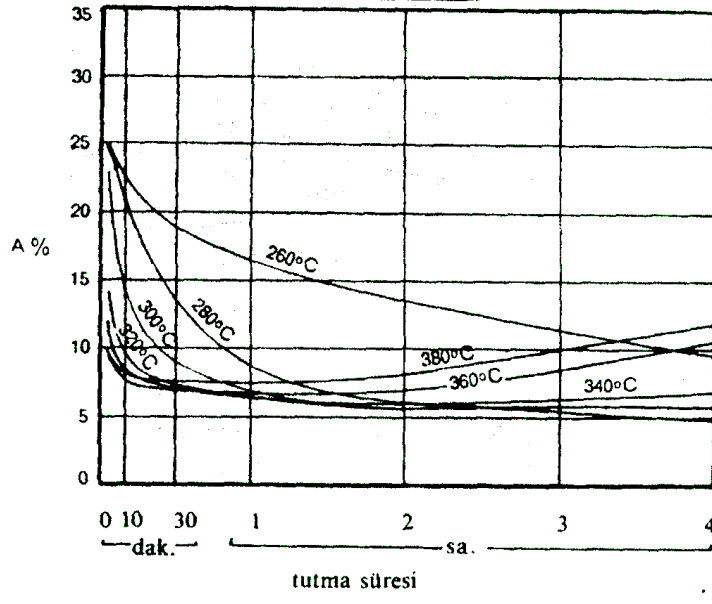


a

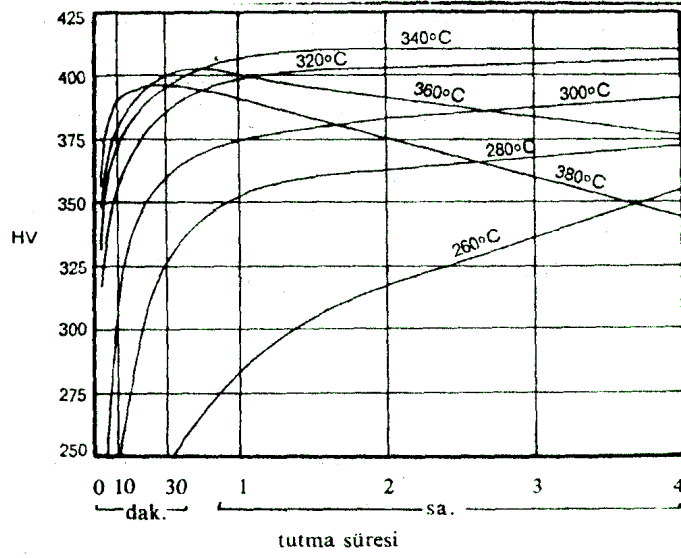


b

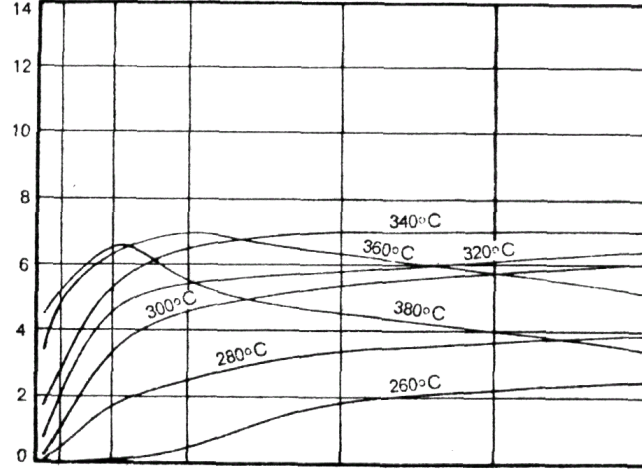




c



d



Şekil: 36

### ***Kobalt-berilyumlu bakır (Cu-Co2Be)***

#### ***Fiziko-şimik karakteristikler***

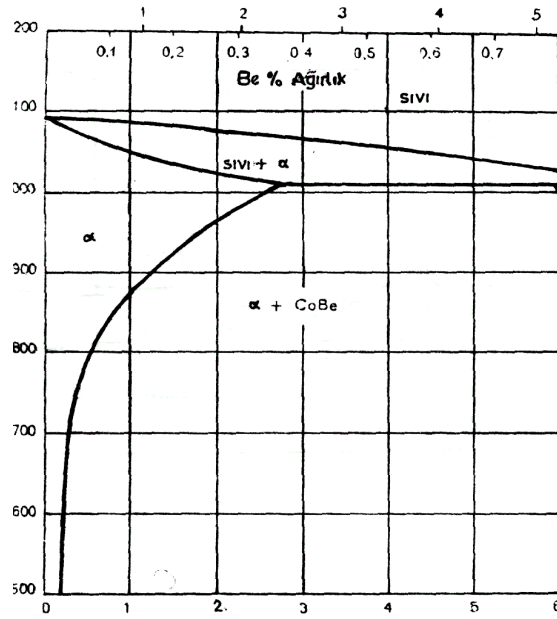
Kobalt-berilyumlu bakırda, denge çökeltisi eş atomlu CoBe fazı olup bu faz merkezli kübik sistemde kristallaşır ve çevre sıcaklığından ergimenin başlangıcına kadar stabildir.

Co-Be sisteminde bu faz çok dar bir bileşim alanına sahip olduğundan Cu-Co-Be diyagramının sözde ikili kesiti kobalt ve berilyumdan yana optimal oranları ve de su verme sıcaklığını saptamada kullanılabilir. (Bir Amerikan ticari alaşımının bileşimi şöyledir: Cu = 97; Co = 2,60; Be = 0,40. Bunların mekanik karakteristikleri de şöyledir: R = 63 kg/mm<sup>2</sup>; E = 31,5 kg/mm<sup>2</sup>; A = % 10; H = 220 Brinell. Elektriksel iletkenlik de % 45 IACS).

Bu kesit (Şekil: 37), yapısal sertleşmeye eğilimli alaşımların karakteristiğidir: CoBe fazının bakır içinde eriyebilme kabiliyeti 20°C'ta pratik olarak sıfır olup 1010°C'ta yaklaşık % 2,7 ye varmak için sıcaklıkla tedricen artmaktadır.

Menevişin sertleştirici etkisi genellikle, su verme tarafından fazla doymuş eriyik halinde tutulan ilâve element miktarı ne kadar büyük olursa o denli önemli olduğundan, CoBe oranının en az % 2,5 olması gerekir.

Bununla birlikte, eriyik haline sokmanın yüksek sıcaklıklarında tane tek faz halinde hızla irileşir; bu nedenle, tane birleşmelerinin yer değiştirmesini engelleyen erimemiş yeter miktarda tanecik bulunması için CoBe oranının teorik sınır değerinin üstünde olması gerekir. Böylece de en yaygın endüstriyel bileşim CoBe 'nin ağırlık olarak % 3'u üzerinde toplanmıştır ki yukarıda verdiğimiz Amerikan alaşımında olduğu gibi % 2,6 Co ve % 0,4 Be'a tekabül eder



Şekil:37\_ Cu-Ca-Be denge diyagramının sözde ikili Cu-CaBe kesiti.

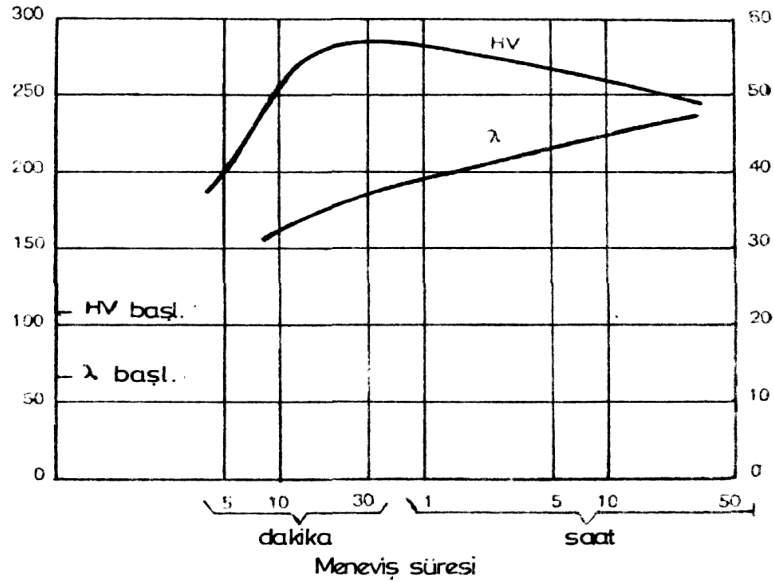
### ***Eriyik haline getirme su vermesi***

CoBe dan azami miktar eritmekle birlikte yanma tehlikelerinden kaçınmak için, eriyik haline getirme 900 ile 950°C arasında gerçekleştirilir.

Ilıtma süreleri berilyumlu bakır için gösterilenlerle aynı, yani orta boyutlarda (birkaç cm<sup>3</sup>) parçalar ile 30 dakika ilâ 1 saattir.

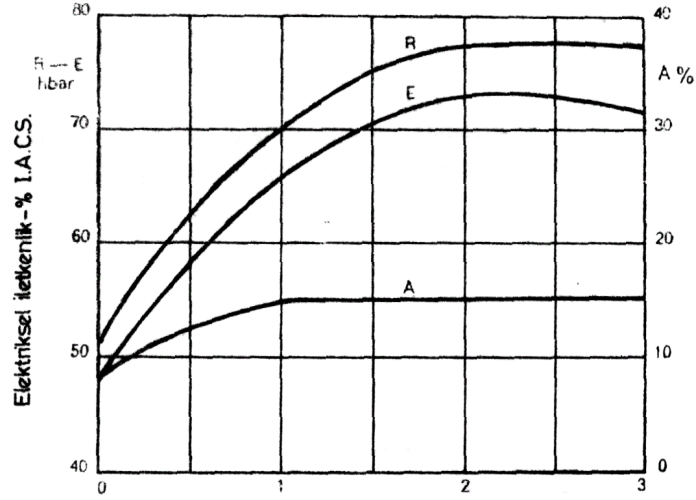
### ***Sertleştirici meneviş***

Meneviş, 450 ile 500°C arasında, en yaygın olarak 480°C'ta uygulanır. Bu sıcaklıkta tutma süresi su verilmiş ürünlerde üç saat ve su verilmiş-yoğurulmuşlarda iki saattir.



Şekil: 38 — CuCo<sub>2</sub>Be. Sertliğin (HV) ve elektriksel iletkenliğin (λ) su vermeden sonra 480°C'ta meneviş süresinin fonksiyonu olarak gelişmesi (Co = 2,88; Be = 0,49; Si = 0,12; Ni = 0,06; Fe = 0,09)

Şekil 38 ve 39, çeşitli niteliklerin meneviş süresinin fonksiyonu olarak gelişmesini gösterir. Sertlik, 30 dakika tutmada bir azamiden geçerken iletkenlik artmaya devam eder. öbür yandan su verilmiş-yoğurulmuş alaşımda kopma uzaması değerleri birinci saatte hissedilir derecede artmaktadırlar.



Şekil:39 - Cu-Co2Be. Kopma mukavemeti ( R ), elastik sınır (E) ve kopma uzaması (A) nın su verme %50 yoğurulmadan sonra 450 C'ta menevişin süresinin fonksiyonu olarak gelişmesi. (Co = 2,61;Be = 0,44; Si = 0,32; Fe = 0,15; Ni = 0,13)

Aşağıdaki tablo kobalt-berilyumlu bakırın (Cu-Co2 Be) mekanik ve elektriksel karakteristiklerini, ısıl ve mekanik işlemlerle elde edilmiş değişik durumlarda, verir.

Değişik durumlarda kobalt-berilyumlu bakırın nitelikleri

DURUM	R hbar	E <sub>0,2</sub> hbar	100 mm üzerinden uzama A %	Sertlik	Elektriksel İletkenlik % I.A.C.S.*
Haddelenmiş ürünler					
- Daldırılmış	≤ 38		≥ 20	≤ 45 R <sub>B</sub>	≥ 20
- Daldırılmış, Yoğurulmuş, Yarı sert	42-52		≥ 5	65-75 -	≥ 25
- Daldırılmış, Yoğurulmuş, sert	48-60		≥ 2	78-88 -	≥ 25
- Daldırılmış, Meneviş	70-90	55-75	≥ 8	≥ 92 -	≥ 45
- Daldırılmış, Yoğurulmuş Meneviş	75-100	65-90	≥ 5	≥ 95 -	≥ 48
- Daldırılmış, Yoğurulmuş, sert, Meneviş	≥ 76		≥ 5	≥ 95 -	≥ 48
Soğuk çekme ürünler					
- Daldırılmış	≤ 38		≥ 20	≤ 45 R <sub>B</sub>	≥ 20
- Daldırılmış, Yoğurulmuş, Yarı sert	45-55		≥ 10	65-75 -	≥ 25
- Daldırılmış, Meneviş	≥ 70		≥ 10	≥ 92 -	≥ 45
- Daldırılmış, Yoğurulmuş, Yarı sert, Meneviş	≥ 76		≥ 8	≥ 95 -	≥ 48
Çekme -Döğme ürünler					
- Daldırılmış, Meneviş	≥ 64	≥ 54	≥ 10	190-240 HB	≥ 40
Dökme ürünler					
- Daldırılmış, Meneviş	≥ 49	≥ 39	≥ 8	170-220 HB	≥ 40

\* International Annealed Copper Standard

### ***Kromlu bakır (Cu-Cr)-Krom-Zirkonyumlu bakır (Cu-CrZr)***

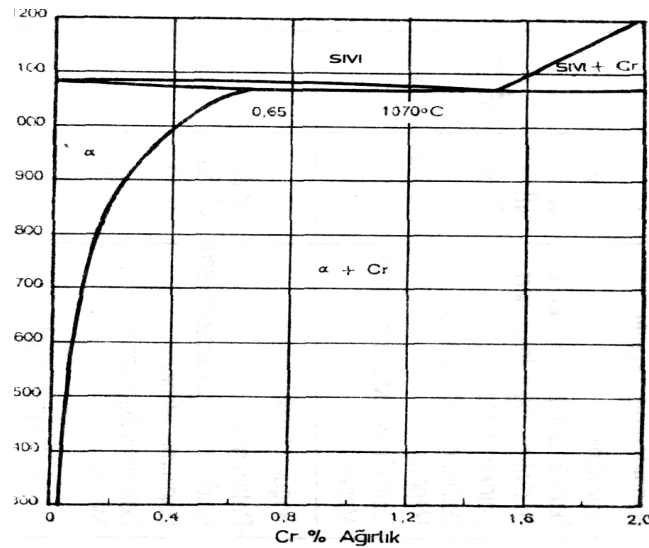
Bu iki alaşım, genel karakteristikleri az farklı olduğundan, aynı bahis içinde irdelenmiştir; özellikle bunların ısıl işlemi aynı koşullar altında gerçekleştirilir ve çevre sıcaklığında mekanik nitelikleri, aynı durumlar için, birbirlerine yakındır.

Kromlu bakıra az miktarda zirkonium ilâvesinin anlamı, başlıca bu alaşımının sıcakta mekanik mukavemetinin iyileşmesinde yatar.

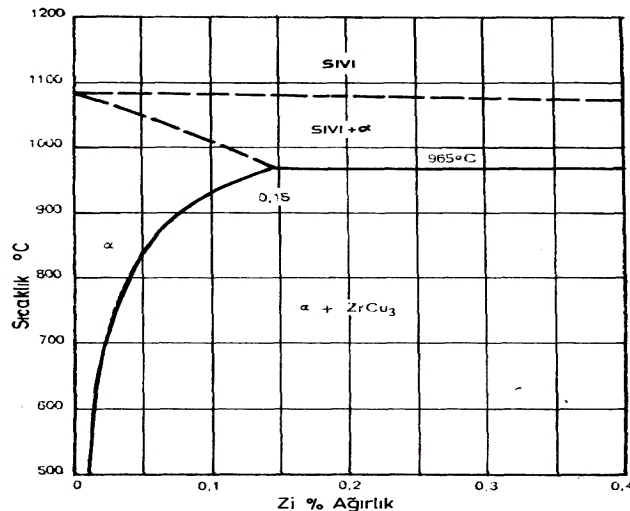
### ***Fiziko-şimik karakteristikler***

Krom oranı her iki alaşım için ağırlık olarak genellikle % 0,6 ile 1 arasında olur. Üçlü alaşımın zirkonium oranı ağırlık olarak % 0,08 mertebesinde dir.

Krom ve zirkonium çevre sıcaklığında bakır içinde çok az erir ancak erime kabiliyetleri sıcaklıkla ciddi şekilde artar: sırasıyla kromunki 1070°C'ta % 0,7'ye, zirkoniumunki de 980°C'ta % 0,15'e varır (Şekil: 40 ve 41).



Şekil:40- Bakır-krom denge diyagramı.



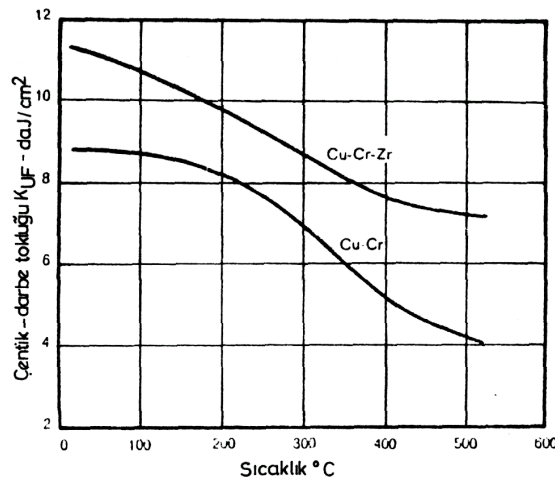
Şekil: 41 — Bakır-zirkonium denge diyagramı.

Bu iki denge diyagramından tespit edilmiş yapısal sertleştirme olanakları iki tane ikili alaşımın ortaya konmasına yardımcı olmuştur: bunlardan biri % 0,6-1 kromlu, öbürü % 0,10-0,15 zirkonyumlu. Bununla birlikte bu sonuncu elementin sertleştirici etkisi kromunkinden daha az önemli olup bu iki alaşımda çevre sıcaklığında kıyaslanabilir mekanik karakteristikler elde etmek için zirkonyumlu bakırda kromlu bakırdakine göre, su verme ile meneviş arasında çok daha yüksek bir yoğunlaşma gerçekleştirilmelidir (aşağıdaki tabloya bkz.)

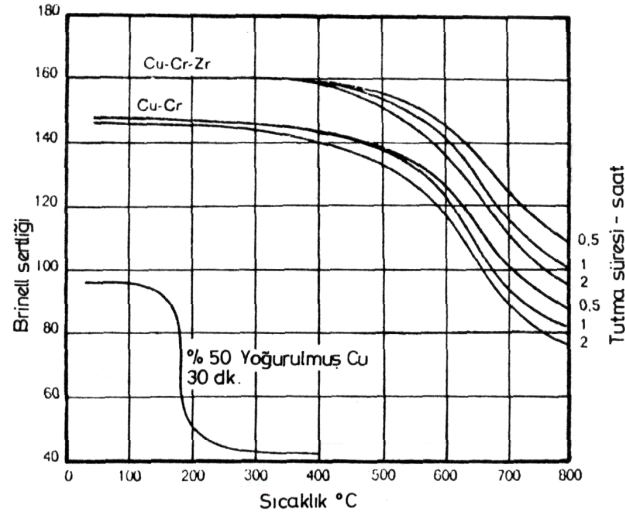
Sadece zirkonyumlu bakır ancak 250 ilâ 450°C mertebesinde sıcaklıklarda kromlu bakıra kıyasla elle tutulur avantaj arzeder. Şöyle ki, bu sıcaklıklarda, daha yüksek mekanik karakteristikleri (kopma mukavemeti, süneklik) muhafaza eder. Bununla birlikte hazırlanması, zirkonyumun kuvvetli reaktivitesi (oksitlenme, nit-rürlenme vb.) nedeniyle naziktir.

**Kromlu bakırla zirkonyumlu bakırın adi sıcaklıkta kıyaslanan nitelikleri**

ALAIŞIM	REFERANS DURUMU	ORTALAMA MEKANİK KARAKTERİSTİKLER				
		R hbar	E hbar	A % (8,16 $\sqrt{S}$ )	HB (P/D <sup>2</sup> = 5)	İLETKENLİK (% I.A.C.S.)
%7 KROMLU BAKIR	1010°C'ta daldırma	24	9	25	65	50
	1010°C'ta daldırma Meneviş 4 sa.-475°C	45	32	10	100	82
	1010°C'ta daldırma Yoğurulma $\frac{\Delta S}{S} = 50\%$ Meneviş 4 sa.-475°C	50	44	10	140	80
	1010°C'ta daldırma Meneviş 4 sa.-475°C Yoğurulma $\frac{\Delta S}{S} = 50\%$	55	52	1-2	150	80
% 0,12 ZIRKONYUMLU BAKIR	925°C'ta daldırma	24	6	25	55	60
	925°C'ta daldırma Meneviş 2 sa.-500°C	28	12	30	75	92
	925°C'ta daldırma Yoğurulma $\frac{\Delta S}{S} = 90\%$ Meneviş 1 sa.-400°C	50	43	5	130	90



Şekil:42\_ su verilmiş-yoğurulmuş-menevişlenmiş-halde kromlu bakırın sıcakta çentik darbe mukavemeti üzerine bir % 0,04 zirkonyum ilavesinin etkisi.



Şekil: 43\_ İşlem görmüş kromlu bakırla kromzirkoniumlu bakır ve yoğurulmuş bakırın yumuşatılma sıcaklıkları.

Bu güçlüklerin arkası, çok özel üretim yollarına başvurmadan kısmen alınmıştır. Şöyle ki, zirkonium, kromlu bakıra ilâve edilmektedir (mamafih Zr içeren alaşımların hazırlanması için vakum altında ergime ve döküm tavsiye edilir). Böylece zirkoniumun oranını yarı yarıya azaltmak olanağı elde edilirken yüksek sıcaklıkta dayanım üzerine bu elementin faydalı etkisi de muhafaza edilmiş olmaktadır.

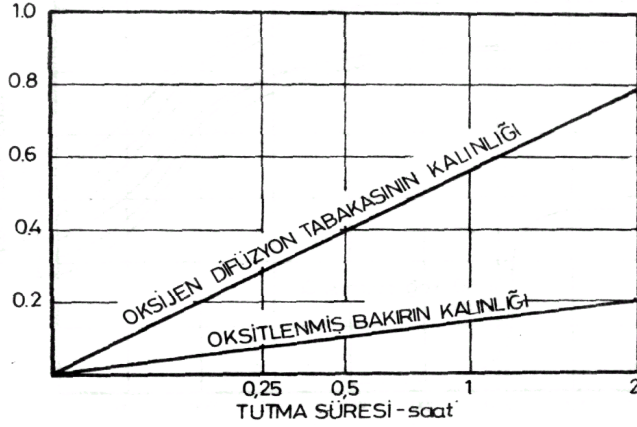
İşlem görmüş halde üçlü Cu-Cr-Zr alaşımı böylece soğukta, kromlu bakırın karakteristiklerinden üstün, hiç değilse bunlara eşit mekanik karakteristikleri haiz olup bunlar, zirkoniumlu bakırinkiler gibi, pratik olarak sıcakta kendilerini korumaktadırlar (Şekil: 42 ve 43).

### *Eriyik hale getirme su vermesi*

Kromlu ve krom-zirkoniumlu bakıra 1000°C civarında ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ) su verilir; kritik soğuma hızı  $17^\circ\text{C}/\text{sn}$ 'dir. İşlem görece parçaların boyutlarına göre tutma süresi, 15 ilâ 60 dak.dır; ısıtmanın oksitleyici atmosferde (meselâ havada, bir elektrik ocağında yapılması halinde bu süre mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. Gerçekten bu koşullar altında, oksijen alaşım içinde yayılır ve tercihan kromla zirkoniumu oksitler, şöyle ki bu elementlerin menevişte sertleştirme etkisi oksijenin nüfuziyetiyle ilgili bütün tabaka içinde azalır veya yok olur. Örneğin 1 sa 1000°C'ta havada oksitlenmiş bir kromlu bakırda, oksijenin yayıldığı yüzeye yakın tabakalarda (0-0,35 mm derinlik) mikrosertlik 118 Vickers/100 gr'dan 72 Vickers'e düşmüştür.

İç oksitlenme tabakasıyla yüzeysel bakır oksidi tabakasının kalınlığı tutma süresinin kare köküyle orantılıdır (Şekil: 44)





Şekil: 44 — Havada 1000°C'ta tutma süresine göre iç oksitlenme tabakası ile yüzeysel bakır oksidi tabakası kalınlığının değişmesi.

### Sertleştirici meneviş

Kromlu ve krom-zirkoniumlu bakırın menevişi 450 ile 500°C arasında, 4 ilâ 2 saat arasında değişen tutma süreleriyle gerçekleştirilir. Şekil 17 ve 18, kromlu bakırın çeşitli sıcaklıklarda tutma süresine göre sertlik ve elektriksel iletkenliğinin gelişmesini gösterirler.

Menevişlemenin kesin koşulları, işlem görecekt mamullerin boyutlarına uygun olacaktır:

—Az miktarlarda işlem gören ve sıcaklığın çelikle homogenleştiği meneviş 500°C'ta, bir ya da iki saatte yapılabilir.

—Büyük kitlede veya önemli kalınlık farkları arzeden parçalarda daha aşağı sıcaklıklarda çalışılması gerekir (örneğin 450° C); bu sıcaklıklarda sertleşme, sıcaklığa getirme yerel farklarının önemli karakteristik farkını beraberinde sürüklemeyeceği kadar yavaş olur. Bu takdirde tutma süresi artırılabacaktır (4 saat veya daha fazla), ancak bu sıcaklıklarda yüzeysel oksitlenme ihmal edilebilir

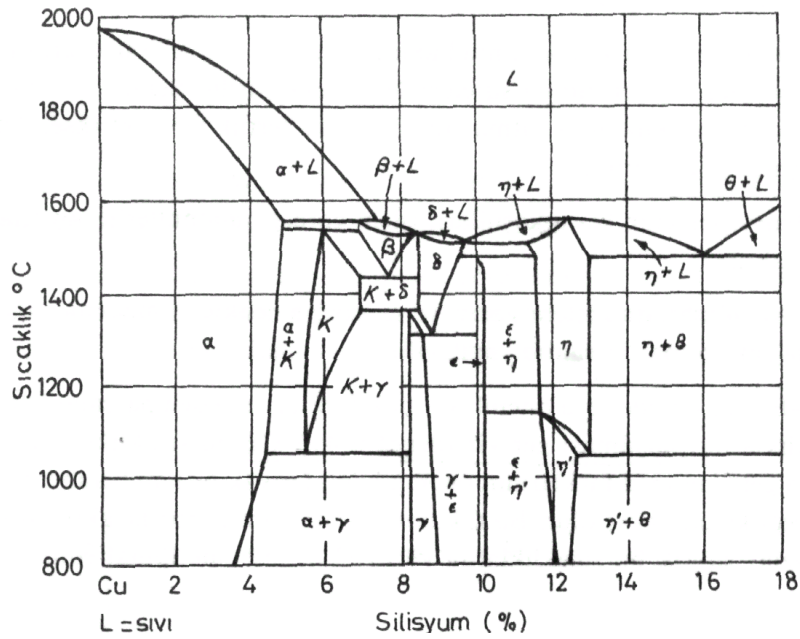
### İşlem görmüş kromlu ve krom-zirkoiumlu bakırın karakteristikleri

Durum	R hbar	Eo, <sub>2</sub> hbar	A %	HB 10/1 000	İLETKENLİK % IACS
<b>Levhalar Yuvarlaklar</b>					
Su verilmiş - Menevişlenmiş	≥ 37	≥ 25	≥ 15	≥ 107	≥ 75
Su verilmiş - Yoğurultmuş - Menevişl.	≥ 40	≥ 35	≥ 10	≥ 125	≥ 77
Su verilmiş - Menevişl.-Yoğurultmuş	≥ 41	≥ 38	≥ 6	≥ 125	
<b>Döğme, Çekme Mamuller</b>					
Döğme - Su verilmiş - Menevişlen.	≥ 34	≥ 24	≥ 20	95-120	≥ 75
Su verilmiş - Çekilmiş - Menevişlen.	≥ 44	≥ 39	≥ 8	120-150	≥ 80
<b>Dökme Mamuller</b>					
Su verilmiş - Menevişlenmiş	≥ 29	≥ 22	≥ 15	≥ 85	≥ 75



## Bakır-silisyum alaşımları

Esas sarı pirinçlere önemlice miktarda silisyum ilâvesi mukavemet, sertlik, talaşlı işlenebilirlik ve tuzlu su korozyon mukavemetini iyileştirir. Bu alaşımlar püskürtme (pres) döküm endüstrisinde kullanım yeri bulurlar şöyle ki bunların artmış akışkanlığı ince detayların çıkarılmasına olanak sağlar ve daha düşük döküm sıcaklıkları pres döküm kalıbının ömrünü uzatır. Bunlar kuma da dökülür, döğülür, haddelenir veya çekilirler ve bileşimleri % 70 ilâ 80 Cu; % 15 ilâ 30 Zn; % 1 ilâ 4 Si ve başka arızî elementler arasında değişir. Bunların çekme mukavemetleri 42 ilâ 63 kg/mm<sup>2</sup>, akma sınırı 18 ilâ 28 Kg/mm<sup>2</sup> ve 2 in. de uzamaları da % 5 ilâ 20 olur.



Şekil: 44 a — Bakır-silisyum denge diyagramının bakırdan yana zengin bölümü.

Bakır-silisyum denge diyagramının bir bölümü Şekil 44 a'da görülür. Silisyum bakır içinde, yaklaşık 845°C ta % 5.3'e kadar erir. Bu erime kabiliyeti, sıcaklık azaldıkça, zayıflar şöyle ki oda sıcaklığında, % 4'e iner. Küçük oranlarda sair elementler içeren çok çeşit bakır-silisyum alaşımı mevcuttur. Örneğin ASTM B. 198'e göre B 198-58-12 A'nın bileşimi şöyledir: Si = 1-5; Fe ≤ 2,5; Zn ≤ 5; Mn ≤ 1,5; Al ≤ 1,5; Sn ≤ 1; Pb ≤ 0,5; Cu = gerisi.

Bu alaşımların çoğu marka adlarıyla bilinir.

Cu-Si alaşımlarının değeri başlıca korozyona dayanımlarında yatar; ayrıca alçak karbonlu çeliklerinkilerle kıyaslanabilir yüksek mukavemet ve dayanıklılık buna eklenir. Tuzlu su korozyonuna iyi mukavemetleri dolayısıyla birçok uygulamada kalay bronzlarının ucuz yolla yerini tutarlar. Keza kalay darlığı dönemlerinde stratejik önem taşırlar.

Birkaç tipik analiz aşağıda verilmiştir (Metals and Alloys Data Book'tan):

<u>Ticari ad</u>	<u>Cu</u>	<u>Si</u>	<u>Sn</u>	<u>Sair</u>
Cusiloy	95	3	1	Fe = 1
Duronze I	97	1	2	—
Duronze III	91	2	—	Al = 7
Everdur 1000	95	4	—	Mn = 1
Everdur 1015	98.25	1,5	—	Mn = 0,25
Herculoy 418	96,25	3,25	0,5	—
Olympic Br.A	96	3	—	Zn = 1
PMG 94	93	2,5	—	Zn = 4; Fe = 0,5

Bunlar band, levha, tel, çubuk, ince ve kalın boru, dökme ingot vs. hallerde bulunur. Tavlanmış halde bu alaşımların çekme mukavemeti  $35-49 \text{ kg/mm}^3$ ; sert koşulda da 49 ile  $77 \text{ kg/mm}^2$  arasında bulunur; akma sınırı da, sırasıyla, 14 ile  $70 \text{ kg/mm}^2$  arasında olur. Yine sırasıyla uzama, 2 in de % 50 ile 5 arasında değişir. Daha ağır soğuk yoğurulmada (yay menevişlemesi), çekme mukavemeti  $102 \text{ kg/mm}^2$  mertebesine varabilir.