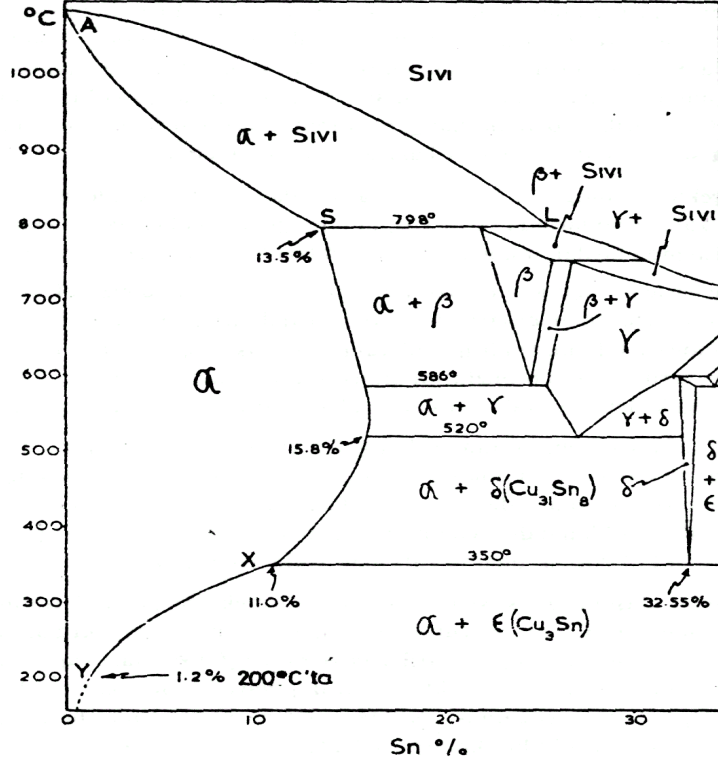


## BRONZLAR

İnsanoğlunun ilk döküdüğü alaşım (Bronz Çağı M.Ö. yaklaşık 2500) olan kalay bronzlarında denge diyagramı (Şekil 105) ile belli bir alaşımda meydana gelen



Şekil: 105 — Bakır-kalay denge diyagramı.

mikroyapı arasındaki ilişki, pirinçlerdekine göre, çok daha çapraşıktır. Bakırla kalayın birbirleri içinde yayılması (difüzyonu), bakır ve çinkoda olandan çok daha aşağıdır. Bu keyfiyet, solidus AS ile likidus AL arasında her sıcaklıkta geniş bileşim alanıyla belirir ve fiilî soğuma süreci sırasında bir yüksek çekirdeklenme derecesine götürür. Bunun dışında yaklaşık 400°C' in altında yapısal değişmeler, bakır-kalay alaşımlarında fevkalâde yavaş vaki olur. Bu her iki etken genellikle, normal sınaî koşullar altında oda sıcaklığında soğutulan bir dökme bronz için denge diyagramının gösterdiğinden başka bazı mikroyapıların saptanmasına götürür.

Kısaca, 789°C'ta ( $\alpha \rightarrow \beta$ ) peritektik reaksiyonu ve 586°C 'ta ( $\alpha \rightarrow \alpha + \gamma$ ) ile 520°C'ta ( $\gamma \rightarrow \alpha + \delta$ ) ötektoid dönüşümler, adi soğuma tempoları sırasında diyagramın gösterdiği gibi vaki olacakken 350°C 'ta ( $\delta \rightarrow \alpha + \epsilon$ ) ötektoid dönüşüm sadece, sanayide hiç karşılaşılmayan fevkalâde yavaş soğuma koşullarında meydana gelecektir. Bu itibarla  $\epsilon$  ( $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ) fazına, % 11 'den fazla kalay içeren bir dökme bronzun yapısında hiç rastlanmaz. Bunun dışında, 350°C'ın altında bakır ve kalay atomlarının yavaş difüzyon temposu dolayısıyla % 11'den az kalay içeren alaşımlarda XY faz sınırına uygun olarak  $\alpha$  dan  $\epsilon$  un çökmesi vaki

olmayacaktır. Pratik amaçla denge diyagramının 400°C 'in aşağısındaki bölümü unutulabilir ve 400°C 'ta varılmış olan herhangi bir yapının, normal sınaî soğuma tempolarında, oda sıcaklığında da aynen kalacağı kabul edilebilir.

Gerçekten homogen  $\alpha$  fazı sıfırla % 16 kalay sınırları içinde mevcuttur. Daha yüksek kalay oranlarında sert e  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  bileşiği yapıda belirip sünekliği azaltabilir.

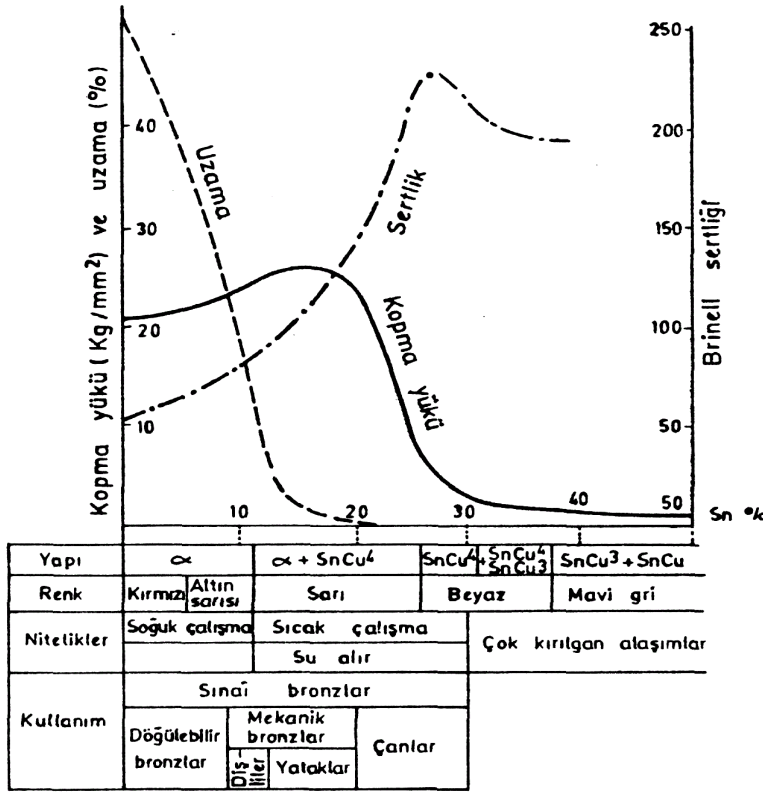
Bu sistemde faydalı mühendislik alaşımları % 20 den az kalay içerenlerdir.

Pirinçlerde olduğu gibi  $\alpha$  fazı, bir katı eriyik olarak, dayanıklı ve sünektir şöyle ki  $\alpha$  fazlı alaşımlar başarıyla soğuk çalışılabilirler. Bununla birlikte  $\delta$  fazı  $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  'e eşdeğer bileşimde bir metallararası birleşik olup sert, kırılğan, bir mavi madde olup varlığı  $\alpha + \delta$  bronzlarını oldukça gevrek hale getirir. Bu itibarla herhangi bir soğuk ilenmeye tabi tutulacak alaşımlarda  $\delta$  fazı bulunmayacaktır.

Yavaş difüzyon temposundan ileri gelen yüksek çekirdeklenme dolayısıyla % 6.0 kadar az kalay içeren dökme alaşımlar, çekirdeklenmiş  $\alpha$  kristallarının sınırlarında  $\delta$  zerrecikleri arzedeceklerdir.  $\alpha$  fazı kristallarının iskeletleri, bakırdan yana nominal % 96 dan daha zengin olacak, böylece de dış kenarlar buna karşılık, 5 fazı teşekkül edecek ölçüde kalaydan yana zengin olacaktır.

Böyle bir alaşımı soğuk işlenebilir hale getirmek üzere  $\delta$  fazı, uzatılmış tavlamaıyla (meselâ 700°C'ta 6 sa) yutulabilir (massedebilir) şöyle ki bu, denge diyagramına uygun olarak dengeye varılacak ve bir uniform  $\alpha$  fazı yapısı hasıl olacak şekilde difüzyonu teşvik edecektir. Müteakip havada soğuma (veya hatta mutad sınaî tempoda ocak soğuması, XY faz sınırına varıldığında herhangi bir  $\alpha$  fazının çökmesine imkân bırakmayacak kadar çok hızlı olacaktır; ve böylece de uniform  $\alpha$  yapısı oda sıcaklığında muhafaza edilmiş olacaktır. Bir uniform  $\alpha$  yapısı hasıl etmek üzere böyle bir başlangıç ısı işleme başvuru olarak % 14'e kadar kalay içeren bronzları soğuk işlemek mümkün olabilmekle birlikte genel sınaî uygulamada sadece % 7'ye kadar kalay içeren alaşımlar işlenmiş (haddelenmiş, döğülmüş...) halde imal edilir.

Şekil 106'daki diyagram, bronzların en önemli mekanik niteliklerinin, bileşimlerine göre, değişmelerini gösterir.  $\text{SnCu}$ , birleşimi meydana çıkar çıkamaz kopma mukavemetinin hızlı düşüşü gözlenir; bu yüzden de sınaî bronzların kalay oranı % 25'i geçmez.



(Şekil: 106)-Tavllanmış bronzların nitelik ve kullanımları

Kalay bronzlar şöyle sınıflandırılabilir.

### **Doğruca kalay bronzları**

Bunlar da bakır ve kalay içeriklerine göre dört gruba ayrılırlar:

1. % 8'e kadar kalay içerenler; bunlar (hiçbir 6 fazı içermezler) saç, levha, tel ve madenî para (sikke) ve çekilmiş türbin kanatları için kullanılırlar ve kolaylıkla soğuk çalışılabilirler.
2. % 8 ile 12 arasında kalaylı bronzlar; bunlar başlıca dişli çarklar ve sair makina parçaları, ağır yük yatakları, deniz fittingleri (deniz suyuna dayanıklı) için kullanılırlar.
3. Büyük ölçüde yatak imalinde kullanılan % 12 ile 20 arasında kalaylı alaşımlar olup yapıları bu imalâtın gereklerini yerine getirir: Aşınmaya dayanıklı 5fazlı zerrecikleri, darbeye dayanıklı bir a 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.

### ***Fosfor bronzları***

Yukarda sözü edilen bronzların çoğu dökümden önce yürütülen oksitten arındırma işleminden kalmış az miktarlarda (% 0.05'e kadar) fosfor içerirler. Bunlara yanlış olarak fosfor bronzu adı verilir. Gerçek fosfor bronzları, genellikle % 0.1 ile 1.0 arasında oranlarda alaşım elementi olarak bilhassa ilâve edilmiş fosforu içerenlerdir.

Fosfor, sert ve  $\alpha$  ve  $\delta$  fazlarıyla bir terner (üçüncül) ötektoid oluşturan  $Cu_3P$  bileşimin oluşması dolayısıyla kalaydan daha kuvvetli bir sertleştiricidir

İşlenmiş (haddelenmiş, çekilmiş...) fosfor bronzları % 8'e kadar kalay ve % 0,3'e kadar fosfor içerirler ve doğruca kalay bronzları gibi, çubuk, tel ve türbin kanadı şeklinde teslim edilirler. Fosfor sadece çekme mukavemetini artırmakla kalmayıp, iddia edildiği gibi, korozyon mukavemetini de iyileştirir. Dökme fosfor bronzları % 13'e kadar kalay % 1,0'e kadar fosfor içerir ve başlıca yataklar ve yüksek mukavemet ve toklukta bir arada alçak sürtünme katsayısının arandığı sair parçaların imalinde kullanılır.

Fosfor bronzlarının çeşitli grade'leri yaylar, tel fırçalar, elektrik kontaktları ve sair yerlerde kullanım yeri bulur.

### ***Çinko içeren bronzlar***

Bunlar da yine hem işlenmiş hem de dökme alaşımlardır. İşlenmiş alaşımlar başlıca madeni para imalinde kullanılır ve % 3.0'e kadar kalay ve % 2.5'a kadar da çinko içerirler. Kalayın yerine ondan yaklaşık on kat ucuz olan çinkoyu ikame etmekle olayın maliyeti düşürülmektedir. Çinkonun bir başka işlevi de, fosfor gibi, oksitten temizleyici rol oynaması olup, döküm potasının üstünde yüzen  $ZnO$  çinko oksidi oluşturmasıdır. Çinko içeren bronzlar tamamen  $\alpha$  fazı alaşımlarıdır ve bunların yapıları benzer bileşimde doğruca kalay bronzlarındaki gibidir.

Dökme alaşımların en ünlüsü % 10 kalay ve % 2 çinko içeren "Amirallik top metali", ya da "88-10-2 top metali"dir; bahriye toplarında çoktan beri kullanılmamakla birlikte kuvvetli, korozyona dayanıklı bir dökümün arandığı her yerde hâlâ geniş ölçüde kullanılmaktadır.

Yapısı % 11 kalay içeren doğruca kalay bronzununki ile aynı olup önemli ölçüde çekirdeklenme dolayısıyla hayli  $\alpha + \delta$  ötektoidi mevcut olacaktır. Çinko, alaşımı ucuzlatması ve oksitten temizleyici gibi davranmasının yanısıra, dökümün akıcılığını artırmaktadır.

### ***Kurşunlu yatak bronzları***

% 2'ye kadar kurşun, pirinçlerde olduğu gibi, talaşlı işlenebilirliği iyileştirmek için bronzlara da bazen eklenir. Daha büyük miktarlar bazı özel yataklar için eklenir ve bu tür yataklar kurşun esaslı veya kalay esaslı beyaz metallardan % 20 kadar fazla yük taşırlar. Bu bronzların ısıl iletkenlikleri de daha yüksek olup ısı daha çabuk dağıldığından bunlar daha yüksek hızlarda kullanılabilirler. Aşınmaya da yüksek dayanımları dolayısıyla havacılık ve otomotiv endüstrisinde krank yataklarında geniş ölçüde kullanılır.

Birkaç örnek tip verelim:

D.T.D. 229 A: % 2.0 sn; % 24.0 Pb

"Kırmızı pirinç" (85-5-5-5): % 5 Sn; % 5 Zn; % 5 Pb. Arada bir yatak metali olarak ama çoğu kez basınç-sızdırmaz dökümlerde kullanılır. Buna "Ounce metal" da denir.

Yükek kurşun kalay bronz: % 81-85 Cu; % 6.25-7.5 Sn; % 6.0-8.0 Pb; % 2.0-4.0

Zn. Dökme, yatak bronz.

Yüksek kurşun kalay bronz: % 68.5-73.5 Cu; % 4.5-6.0 Sn; % 22.0-25.0 Pb; yarı plastik bronz.

Yukarda sözü edilen 88-10-2 top metali ayrıca % 0-2.0 arasında da kurşun içerir. Bu bileşimdeki dökümler, 25 mm kalınlık başına bir saat süreyle 760°C'ta tavlansın havada soğutulularak ısı işleme tabi tutulabilir.

Bu işlem sünekliği arttırmada kullanılabilmesi gibi özellikle basınçlı uygulamalarda yapısal sağlamlık noksanı dolayısıyla vaki sızıntıları azaltmada faydalı olmaktadır. Keza 80-10-10, ya da yüksek kurşun kalay bronzu yaklaşık % 80 Cu, % 10 Sn ve % 10 Pb içerip çok büyük ölçüde yüksek hız, yüksek basınç yatak ve bushing'lerinde ıslah edilmiş sürtünme karakteristikleri dolayısıyla kullanılmaktadır.

### ***Alüminyum bronz***

Bundan daha öne, martensitik su verme vesilesiyle, uzunca söz etmiştik. Bu kez bunlara bazı ilâveler yapacağız.

Pirinçler gibi, alüminyum bronzları da iki ana gruba, sırasıyla sıcak çalışma ve soğuk çalışma alaşımlarına ayrılabilir. Denge diyagramı (Şekil 45), oda sıcaklığında % 9.4'e kadar alüminyum içeren bir katı eriyikin ( $\alpha$ ) oluştuğunu gösterir. Bakıra dayalı öbür  $\alpha$  katı eriyikleri gibi, bu da tamamen sünektir. % 9.4'ten fazla Al ile  $\gamma_2$  fazı ortaya çıkar. Bu,  $\text{Cu}_9\text{Al}_4$  formülünde bir metallararası birleşik olup bu tipteki birleşikler gibi, çok sert ve gevrek ve  $\gamma_2$  fazından içeren bütün alaşımların yüksek gevrekliğinden sorumludur.

Denge diyagramının daha ileri bir tetkiki bununla demir-karbon diyagramının benzerliğini ortaya çıkarır. Her iki  $\alpha$  fazı eşit; bakır-alüminyum diyagramının  $\beta$  fazı katı eriyiki demir-karbon diyagramının  $\gamma$  (austenit) fazına tekabül eder; ve  $\alpha + \gamma_2$  ötektoidi, çeliklerin ferrit + sementit (perlit) ötektoidiyle aynıdır.

Yapısal dönüşümlerdeki bu benzerliklerin sonucu olarak % 10 alüminyumlu bir bronz, çeliğinkine koşut şekilde ısı işleme tabi tutulabilir,

% 10 alüminyumlu bir bronzu ele alalım; bu, yavaş olarak oda sıcaklığına soğutulduğunda tamamen  $\alpha$  ve  $\gamma_2$  fazlarından ibaret olacaktır. Yeniden ısıtılacak olursa  $\alpha + \gamma_2$  ötektoidi, 565°C ötektoid sıcaklığına varıldığında,  $\beta$  katı eriyikine dönüşecektir; sıcaklık daha da arttığında  $\alpha$  fazı, 900°C civarında yapı tamamen  $\beta$  katı eriyikinden ibaret olana kadar yutulur. Bu sıcaklıktan itibaren suda su verme,  $\beta'$  fazından ibaret bir yapı hasıl eder. Çeliklerde martensitin olduğu gibi bu, bir denge fazı olmadığından denge diyagramında gözükmez.  $\beta$  fazı, martensit gibi sert ve

gevrek olup fiilen mikroyapı görünümü olarak ona çok benzer. 500°C 'ta bu  $\beta$ ' fazının menevişlenmesi bir ince  $\alpha$  ve  $\gamma_2$  fazlan kümesinin çökmesini sonuçlandırır ki bu da çeliklerdeki sorbite çok benzer.

Bu ısıl işlem olaylarına rağmen, alüminyum bronzlarının sınaî kullanımı, aşağıdakiler gibi başka özelliklere bağlıdır:

(a) Yüksek sıcaklıklarda, özellikle bazı başka elementlerin varlığında, mukavemeti muhafaza etmek;

(b) Yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeye yüksek mukavemet;

(c) Adi sıcaklıklarda iyi korozyon mukavemeti;

(d) İyi aşınma özellikleri;

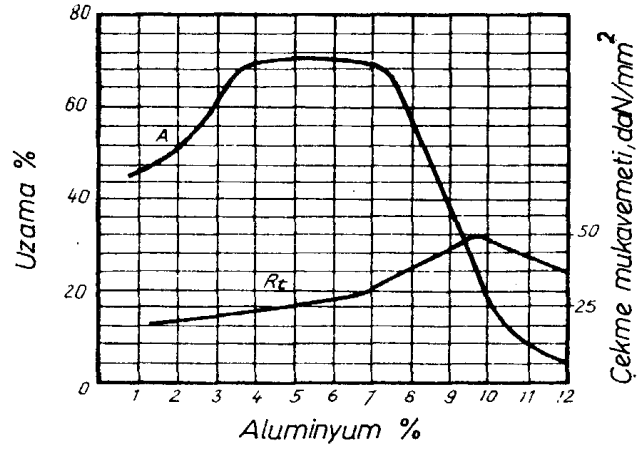
(e) Bu alaşımların bazılarını özellikle yapma mücevheratta altın yerini tutması gibi süsleme işlerinde kullanılmaya götüren beğenilir renk.

*$\alpha$  fazlı soğuk iş alaşımları* % 4.0 ile 7.0 arasında alüminyum ve bazen de % 4.0 e kadar nikel içerir; bu sonuncusu korozyon mukavemetini daha da ileri götürür. Bu sonuncu tip alaşım özellikle yüksek mukavemetle birlikte korozyon dayanımının arandığı kondansör boruları imalinde faydalıdır. Bu  $\alpha$  fazlı alaşımların bileşimi 18 karat altıninkine eş renk verecek şekilde ayarlanabildiğinden, altın taklidi sigara kutuları ve bu tipte sair süs eşyası imalinde kullanılan saçlar çekilir.

*$\alpha + \gamma_2$  sıcak iş döküm alaşımları*, % 7.0 ile 12.0 arasında alüminyumlu olup demir, nikel veya manganez gibi başka elementer de içerebilir. Sıcak iş alaşımlarında % 7.0 ile 10.0 arasında alüminyum bulunur ve bunlar daha sonraki uygulanmaya göre dögülerek veya sıcak haddelenerek şekillendirilirler. Bu alaşımlar ayrıca her birinden % 5.0 olmak üzere demir ve nikel içerebilirler ki burada demir, tane inceltici rolü oynar. Bu alaşımlar kimya sanayiinde (özellikle yüksek sıcaklıklara maruz komponentler için) kullanılırlar; keza korozyon dayanımlı dögme parçaların gerektiği değişik amaçlar için de kullanılma yeri bulunurlar.

Kum ve madeni kalıp (kokil) dökümü alaşımları % 9.5 ile 12.0 arasında alüminyum ve her biri % 5.0 e kadar değişik miktarlarda demir ve nikel ve % 1.5'a kadar manganez içerirler. Bu alaşımlar geniş ölçüde deniz mühendisliğinde, örneğin pompa rotaları, valf fittingsleri, pervaneler, pervane şaftları ve civatalarda kullanılır. Keza içten yanmalı motorlarda supap yatakları ve buji gövdeleri ve generatorlarda da fırça taşıyıcıları; ağır iş yatakları; dişli çarklar; salyangoz dişliler ve pinyonlar gibi uygulama alanları bulurlar. Berilyumlu bronzlardan daha yumuşak ve aşağı iseler de gaz endüstrisinde kıvılcım çıkarmayan takım imalinde de kullanılırlar.

Alüminyum bronzlarının dökümü, katılaşıma sırasında fazlaca çektiğinde ve çekme boşlukları bırakma eğiliminden ötürü kolay olmayıp bunların tasarımları basit olacaktır. İyi kurutulmuş kum kalıpları ve dikkatli bir döküm tekniği uygulanacaktır. Aşağıda dökme bakır alaşımlarından, parçaların tasarımları hususunda kısa bilgiler verilecektir.



Şekil: 107-Dökme alüminyum bronzlarının mekanik karakteristiklerinin değişmesi.

TS 560, haddelenmiş veya doğulmuş alüminyum bronzlarıyla özel alüminyum bronzlarını iki çizelge halinde göstermiştir.

ÇİZELGE — 1

Gösteriliş	Al	Mn	Ni	As	Cu	Yabancı Elementler % max			(*) Ortalama yoğunluk kg/dm <sup>3</sup>
						Fe	Zn	Toplam	
Cu Al 5	4,0-7,0	0-0,5	0-0,5	0-0,4	kalan	0,5	0,5	0,6	8,2
Cu Al 8	7,0-9,0	0-0,5	0-0,5	—	kalan	0,5	0,5	0,6	7,8

(\*) Bilgi için verilmiştir.

ÇİZELGE — 2

Gösteriliş	Al	Fe	Ni	Mn	Cu	Yabancı Elementler % max		(*) Ortalama yoğunluk kg/dm <sup>3</sup>
						Zn	* Toplam	
Cu Al 8 Fe 3	6,5- 8,5	1,5-3,5	0-1,0	0-0,8	kalan	0,5	0,6	7,7
Cu Al 10 Fe 3	8,5-11,0	2,0-4,0	0-1,0	0-2,0		0,5	0,6	7,7
Cu Al 10 Fe 5 Ni 5	8,5-11,5	2,0-6,0	4,0-6,0	0-1,5		0,5	0,6	7,6

\* Bilgi için verilmiştir.

DIN 17665 ,alüminyum bronzlarıyla çok elementli alüminyum bronzlarını veriyor.

	GÖSTERİLİŞ <sup>1)</sup>	MALZEME NO <sup>2)</sup>	BİLEŞİM %									ÖZGÜL AĞIRLIK kg/dm <sup>3</sup> (γ)
			Cu	Al	Fe	Ni	Mn	As	Si	Zn	DİĞERLER	
ALÜMİNYUM BRONZU	AlBz 5 <sup>3)</sup> (CuAl5)	2.0916	92,5	4,0		0,8		0,4				8,2
			96,0	6,0	0,4	0,3	0,3	0,5				
ALÜMİNYUM BRONZU	AlBz 8 <sup>4)</sup> (CuAl8)	2.0920	89,0	7,0	0,5	0,8	0,8	—				7,7
			93,0	9,0				0,2	0,3	0,5		
ÇOK MALZEME ALÜMİNYUM BRONZU	AlBz 8 Fe (CuAl8Fe)	2.0932	86,5	6,5	1,5	0,8	0,8	—				7,7
			91,0	9,0	3,5			0,2	0,3	0,5		
ÇOK MALZEME ALÜMİNYUM BRONZU	AlBz 10 Fe (CuAl10Fe)	2.0936	80,0	9,0	1,5	1,0	1,5	—				7,4
			86,5	11,0	4,0			0,4	0,5	0,8		
ÇOK MALZEME ALÜMİNYUM BRONZU	AlBz 9 Mn (CuAl9Mn)	2.0960	86,5	7,7	1,0	0,8	1,5	—				7,5
			90,0	9,7			3,0	0,4	0,5	0,8		
ÇOK MALZEME ALÜMİNYUM BRONZU	AlBz 10 Ni (CuAl10Ni)	2.0966	79,5	8,5	2,5	3,0	1,5	—				7,4
			85,0	10,5	5,3	6,0		0,2	0,5	0,8		
ÇOK MALZEME ALÜMİNYUM BRONZU	AlBz 11 Ni (CuAl11Ni)	2.0978	74,0	10,5	4,8	5,0	1,5	—				7,4
			78,5	12,5	7,3	7,5		0,2	0,5	0,8		

### Manganez bronzları

Manganez bronzları, esas itibarıyla pirinç olmakla birlikte, bu adla anılıp genellikle Muntz metal bileşiminde olurlar: % 60 Cu; % 40 Zn ve % 0.5-1.5 Sn; % 0.8-2.0 Fe ve azami % 0.5 Mn.

Bir dökme yüksek mukavemet manganez bronzunun nominal bileşimi de şöyledir:

Cu = 60-68; Zn = gerisi; Sn=Ö.20 max.; Pb=0.20max; Mn = 2.5-5.0; Fe = 2.0-4.0; Al = 3.0-7.5

Pirinçlere manganez eklenmesiyle mekanik nitelikler ve korozyon dayanımında önemli iyileşmeler elde edilir. Manganezin bir temizleyici veya oksitten arındırıcı etki sağladığı birçok durumda, nihai analizde, eğer kalmışsa, çok az manganez bulunur.

Pres döküm için ASTM B 176-62 ZS 144A alaşımının bileşimi de şöyle: Cu = 80-83; Zn



= gerisi; Al = 0.15; Fe = 0.15; Mn = 0.15; Si = 3.75-4.25; Sn < 0.25; Pb < 0.15

Bunun çekme mukavemeti 63 kg/mm<sup>2</sup>; elastik sınırı 35 kg/m<sup>2</sup>; uzaması % 25'dir.

Bu pirinç-bronzlar soğuk çalışılmaya pek elverişli değildir.

### ***Alaşım seçimi***

Bakır alaşımlarının büyük çeşitliliği nedeniyle, belli bir uygulama için bileşimin seçimi, bazen nazik bir sorun olur. Gerçekten bir yerinde seçim sadece teknik değil, ekonomik açıdan da esastır. Nitekim bazı element (örneğin nikel, kalay) ilâvesi bazı nitelikler lehine maliyeti artırabilirken başka elementlerin varlığı (çinko, kurşun), aksine, karakteristiklerden büyük kayıp olmadan onu azaltmak olanağını sağlarlar.

Bu doğrultuda teknik önemi haiz bir örnek vereceğiz: radyatör kanadı ve sair uygulamalar için gümüşlü bakırla kadmiumlu bakırın yerini alacak üç adet kalay içeren bakırın tavlama dayanımı etüd edilmiş. Bu alaşımlar, kadmiumlu bakırla gümüş içeren bakırinkine eşit veya bundan üstün tavlama mukavemetiyle iletkenlik arz etmektedirler. Bunlar ikili Cu-Sn ve üçlü Cu-Sn ve 100 ppm Se ve/veya Te ilaveli alaşımlardır.

Bu alaşımları meydana getirmek için özel desoksidanlara gerek yoktur. Kalay, bir oksitten arındırıcı gibi hareket eder ve geriye kalan serbest kalay, bakırın tavlama dayanımını ıslah eder. Tellür eklendiğinde mekanik mukavemet bir ölçüde artar.

Bu çalışmanın amacı doğruca alaşım maliyetini düşürmek olmuş. Gerçekten gümüşlü bakır, başlıca iki önemli gereksinimi, ezcümle yüksek iletkenlik ve tavlana mukavemeti, karşılaması nedeniyle geniş ölçüde radyatör kanadı olarak kullanılmıştır. İyi bir iletkenlik, su borularından ısının atılmasını daha etkin kılar. Bu gereksinme, kanadın inceliği oranında, daha daşıdettlenir. Radyatör imalatçıların çoğu için tavlama dayanım da önemli bir sorun olmaktadır: Radyatör imalinde kanatlar pirinç borulara 345 ile 400°C arasında bir sıcaklıkta lehimlenmektedir. Ticari saf bakırdan yapılmış kanatlar ise lehimleme sırasında yumuşayıp taşınma sırasında zarar görecektir.

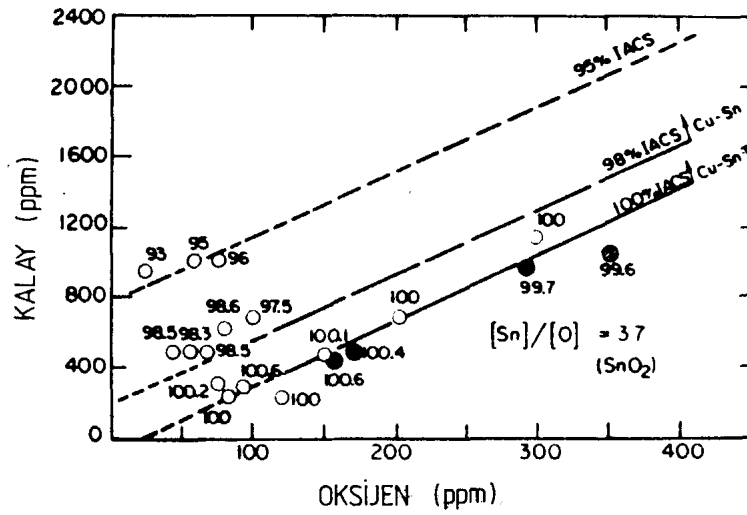
Bakıra kadmiyum ilavesi onun tavlama mukavemetini pekiştiriyor, ama buna karşılık iletkenliğini olumsuz yönde etkiliyor; ayrıca kadmiyum oksidin oluşmasını önlemek üzere normal olarak ilâve edilen desoksidanlar bu iletkenliği daha da düşünmektedir. Kaldı ki kadmiumlu bakırın ergitilip dökülmesi, sağlık açısından bazı çevresel sakıncalar yaratmaktadır.

Kalay, selenyum ve tellür başlangıçta alaşım elementi olarak seçilmişlerdir şöyleki bunlar bakırın tavlama mukavemetini önemli ölçüde artırıcı olarak bilinirler. Alaşımda bir miktar serbest kalayın kalması koşuluyla bu elementin herhangi bir desoksidan kullanmaya gerek kalmadan tavlama yüksek mukavemetli bakır meydana getirme niteliği saptanmıştır. Uzun araştırmalar, % 98 IACS kadar yüksek bir elektriksel iletkenliği haiz kadmiumlu bakıra eşdeğer bir tavlama dayanım hasıl etmek için gerekli çeşitli oksijen ve kalay birleşimlerini saptamak amacıyla yürütülmüştür

Selenium ve tellür ilâveleri üzerine yürütülmüş ilk deneylerin sonuçları, bununla birlikte, bu ilâvelerin, sadece oksijen içeriğinin fevkalâde düşük (50 ppm den az) olması halinde bakırın tavlama mukavemetini etkilediğini göstermiştir. Fosfor gibi adi bir desoksidanın kullanılması, geri kalan fosforun önemli ölçüde iletkenliği düşürmesi nedeniyle, arzu edilmez.

Selenium ve/veya tellürün ikili bakır-kalay alaşımına ilâvesinin onun iletkenliği üzerinde herhangi bir olumsuz etki yapmadan tavlana mukavemetini artırdığı saptanmıştır.

Tellür ilaveli veya ilâvesiz çeşitli kalay içeren bakırların iletkenlik ve nispi tavlana mukavemeti, Şekil 108'de gösterilmiştir. Bütün üçlü alaşımlarda tellür oranı yaklaşık 100 ppm'dir. Bu alan içine düşmüş ve okla gösteriliş kalay ve oksijen konsantrasyonlu alaşımlar, kadmiumlu bakırinkine eşit ya da daha üstün bir tavlana mukavemeti haizdirler. Üçlü alaşımlar, daha az kalaya gereksinme duyduklarından, daha iyi bir iletkenliği haizdirler.



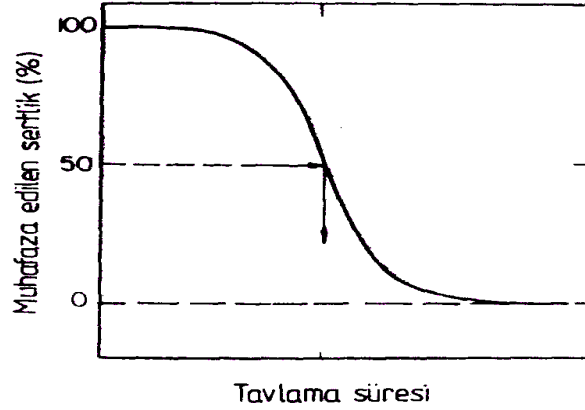
Şekil: 108 — Çeşitli ikili Cu-Su ve üçlü Cu-Sn-Te alaşımlarının kalay ve oksijen içeriğine göre tavlana mukavemet ve iletkenlikleri. Siyah daireler, kadmiumlu bakırinkinden aşağı tavlana mukavemetini haiz alaşımlardır. Her veriyi izleyen sayı, alaşımın iletkenlik değerini ifade eder.

Aşağıdaki bileşimleri verilmiş beş alaşım slabı 2 sa süreyle 850°C'a ön ısıtılmış, sıcak çekme ile 7 mm, sonra da soğuk çekme ile 1.65 mm'ye indirilmiş. Daha sonra da tavlana kalınlığa (geyc) soğuk çekilmiş.

Alaşım	Alaşım bileşimi (%)	UNS No
Cu-Ag	Cu-0.02 Ag-0.025 O	C 11400
Cu-Cd	Cu-0.13 Cd-0.07P	C 14300
Cu-Sn	Cu-0.09 Sn-0.012 O	—
Cu-Sn-Se	Cu-0.08 Sn-0.016 O-0.01 Se	—
Cu-Sn-Te	Cu-0.07 Sn-0.015 O-0.01 Te	—

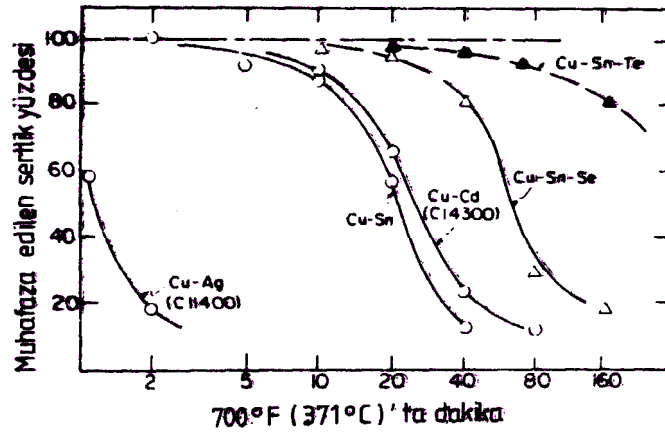
İsothermal ısıtma ve sürekli ısıtma sırasında yumuşamaya mukavemet saptanmıştır. İsothermal ısıtmada numuneler 343°C, 371°C, 399°C ve 427°C'a değişik süreler boyunca ısıtılmış

ve sertlik ölçülmüş. Soğuk çekme numunede, tam tavllanmış hale göre sertliğin yarıya inmesi için geçen süre olarak tanımlanan yarım-yumuşama süresi saptanmıştır (Şekil: 109). Sürekli ısıtmada diferansiyel iskandil (scanning) kalorimetresi (DSC) aracılığıyla rekristalizasyon sıcaklığı saptanmıştır.



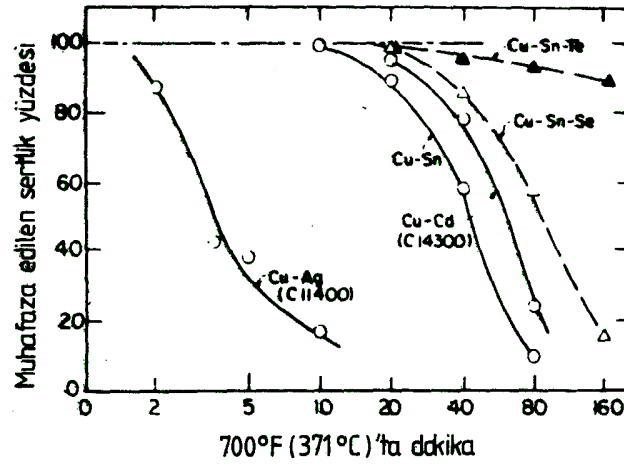
Şekil: 109 — Yarım-yumuşama süresinin tanımlanması.

Şekil 110, çeşitli alaşımlarda tipik izotermal tavlama eğrilerini verir: Tavlama sıcaklığı 371°C. Bu numuneler, sondan önce 375°C'a tavllanmışlardır. Az miktarda selenyum ya da tellür ilâvesinin, kalay içeren bakırın tavlanamaya mukavemetini anlamlı şekilde artırdığı görülür. Keza üçlü bakır-kalay-tellür alaşımının kadmiumlu bakıra göre önemli ölçüde üstün tavlama mukavemetini haiz olduğu da ortaya çıkıyor.



Şekil: 110 — 371°C'ta çeşitli bakır alaşımlarının tipik tavlama eğrileri. Numuneler 375°C'ta sondan önce tavlama sonra % 60 soğuk çekilmiş.

Şekil 111, 725°C'lık sondan önceki tavlama ile çeşitli alaşımların hasıl ettikleri tavlama eğrilerini verir. Sondan önceki tavlama sıcaklığının daha yüksek olması halinde, tavlanamaya daha iyi dayanıklı bir bakırın elde edildiği görülür.



Şekil: 111 — 371°C'ta çeşitli bakır alaşımlarının tipik tavlama eğrileri. Numuneler 725 °C'ta sondan önce tavlamadan sonra % 60 soğuk çekilmiş.

Aşağıdaki tablo, dört ayrı sıcaklıkta tavllanmış değişik alaşımların yarım-yumuşama süresini gösterir.

Çeşitli alaşımların yarım-yumuşama süresi (dakika).  
Dört değişik sıcaklıkta denenmiş

Tavl. Sic.	343°C	371°C	399°C	427°C
C 11400	22	3.3	0.65	0.20
C 14300	540	120	33	10
Cu-Sn	240	64	17	4.8
Cu-Sn-Se	370	92	18	4.1
Cu-Sn-Te	> 5000	600	50	10

Numuneler 550°C sondan önceki tavlama tabi tutulmuş ve % 40 menevişlenmiş.

Üçlü Cu-Zn-Te alaşımı, 800°C'a tavlendiğinde kadmiumlu bakırınkiyle aynı yarım-yumuşama süresini haizdir; bununla birlikte 343°C'ta denendiğinde çok daha yüksek bir tavlama mukavemet arzemiştir. Sözü edilen üçlü alaşımın, 550°C sondan önceki tavlama mukavemeti (daha uzun yarım-yumuşama süresi) ni 725 veya 375°C ile göstermesi ilginçtir.

Yine Cu-Ag ve Cu-Sn-Te alaşımlarında daha yüksek sondan önceki tavlama sıcaklığı daha yüksek bir rekristalizasyon sıcaklığına götürmüştür

### İletken ve mekanik nitelikleri

Alaşım	İletk-(IACS)	R	E	A
	<%	Kg/mm'	kg/mm <sup>2</sup>	%
C 11400	100	35	31.5	6
C 14300	95	36.4	32.9	6
Cu-Sn	96	35	34.3	4
Cu-Sn-Se	99	35.7	35	4
Cu-Sn-Te	99	38.5	37.8	4

İletkenlik tam tavllanmış halde ölçülmüş çekme mukavemeti değerleri de 550°C sondan önceki tavlama ve % 40 soğuk çekmeye tabi tutulmuş numuneler üzerinde saptanmıştır.

Bu kalay içeren bakırların yeniliği, bunları meydana getirmede desoksidan kullanılmamasındadır. Alaşımdaki kalay özellikle desoksidan rolü oynayıp geri kalan fazlası, alaşımın yumuşamaya mukavemetini artırmaktadır. Tellür ya da selenyumlu üçlü ilâveler, bakırın tavlanamaya mukavemetini daha da artırır ve ilâveler iletkenlik üzerinde olumsuz etki yapmaz.

Bakırda oksijen düzeyinin alçak olması halinde (örneğin 50 ppm'den az), ne kalaya ne de başka disoksidana gerek vardır ve tek başına eser miktarda tellür ilâvesi, radyatör kanadı uygulamasına yeterli ölçüde yüksek bir tavlanamaya dayanıklı ürün sağlar. Yüksek oksijen içeren bakırın tavlanamaya mukavemeti üzerinde tellür-selenyum ilâvesinin hiçbir olumlu etkisi yoktur. Bu iki elementin sadece bakır oksitsiz bakırda etkili olmuş olmaları mümkündür; oksijenin bakır içinde katı eriyebilme kabiliyeti 850°C'ta yaklaşık 30 ppm olup bu sıcaklık, sıcak çekme için ön ısıtma sıcaklığıdır. Oksijen içeren bakırda oksijenin, Şekil 108'de görüldüğü gibi, SnO<sub>2</sub> kalay dioksidi meydana getirdiği anlaşılıyor. Yine Şekil 108'den görüldüğü gibi, alaşımda müsaade edilen kalay oranını, istenilen minimum iletkenlik tayin etmekte ve bu oran, oksijen içeriğiyle orantılıdır. Bir % 95 IACS iletkenliği için belli bir oksijen konsantrasyonunda müsaade edilen kalay miktarı sapmaları, yaklaşık ± 400 ppm'dir. Üründe aranılan nitelikleri hasıl edebilmek için dökümden önce hassas oksijen ölçümleri gerekli olmaktadır ki modern oksijen analizörleriyle böyle bir ölçüm ergime sırasında yapılabilir.

Gümüş, kadmium ve kalayın katı eriyiki tarafından bakırın tavlanamaya mukavemetinin artırılması, bakırın kendi difüzyonunda bir gecikmenin sonucu olduğu sanılır. Bütün bu elementlerin atomik boyutları bakırmkinden daha büyüktür. Bunlar boşlukları yakalayıp difüzyonu geciktirebilirler.

427°C'ta denendiğinde Cu-Cd ve Cu-Sn-Te alaşımlarının tavlanamaya mukavemetleri az çok aynıdır; bununla birlikte, 343°C gibi daha düşük bir sıcaklıkta Cu-Sn-Te alaşımı çok daha üstün bir tavlanamaya mukavemet sergiler. Bu keyfiyet DSC deney sonuçlarına uymaktadır; Cu-Cd ve Cu-Sn-Te alaşımları, DSC ile denediklerinde az çok aynı sıcaklıkta rekristallize olurlar. Bir radyatör imalinde kullanılan lehim süreci 343 ile 371°C arasında olduğundan, bu sıcaklık aralığında Cu-Sn-Te alaşımının üstün tavlanamaya mukavemeti bu alaşımı bahis konusu uygulama için daha çekici kılmaktadır.

Bu denli az miktarda tellürün bakırın tavlanamaya mukavemeti üzerinde bu kadar derin

etkisi bulunduğu kayda değer. Bunun en muhtemel izahı, tellürün dis-lokasyonlar ve tane sınırlarına doğru yayıldığı (difüze olduğu) olup bunun da bir sürükleyici etkisi olduğudur. Bu da isothermal tavlama başlangıç yumuşama temposunun, öbür alaşımlara göre Cu-Sn-Te alaşımında, Şekil 110 ve 111 'de görüldüğü gibi, çok daha ağır olduğunu izah eder. Tane büyümesi tetkiki de yine Cu-Sn-Te'nin çok ağır (yavaş) bir tane büyümesi kinetiğine sahip olduğunu gösterir.

Herne kadar mekanik mukavemet işbu özgül uygulamada çok önemli değilse de Cu-Sn-Te alaşımlarında görülen mekanik mukavemet artışı ince geyc kanatlı radyatör üretiminde bu alaşımı çekici kılmaktadır. Gerçekten bu tür radyatörler otomotiv endüstrisinde bir kesin eğilim halindedir. Buna ek olarak, alaşımın yumuşamaya mukavemetinin artması, yeni malzemenin daha sert bir menevişe, yani daha yüksek mukavemete, lehim sırasında yumuşama olmadan, çekilebileceği anlamındadır.

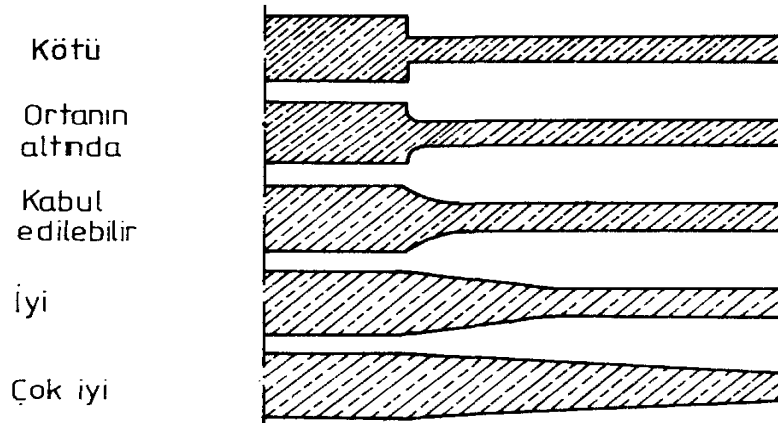
### ***Bakır alaşımlarında parça tasarımı***

Kaynaklı ya da döküm parçalan, bu iki imal sürecinin aynı metalürjik karakteri haiz olup hata ve kusurlar açısından az çok aynı sonuçlara götürmesi itibariyle, bazı temel prensiplere göre tasarlanmış olacaktırlar. Bu prensipler aşağıda özetlenmiştir.

### ***Kalınlıklar***

Parçaların kalınlıkları mümkün olduğu kadar düzenli olacaktır. Parçanın mukavemeti, bazı kesitlerin yerel takviyesinden çok kalınlıkların tekdüzeliğine (üniformluğuna) bağlıdır. Şekil: 112, hiçbir zaman salık verilmeyecek ani kesit değişmesinden, her zaman gerçekleştirilmesi mümkün olmayan düzenli artan kesite kadar, çeşitli bağlantı şekillerini verir.

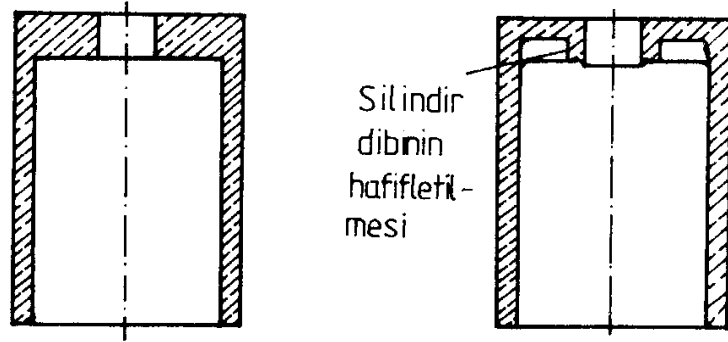
Teorik olarak temel kaide, bir tekdüze içyapı elde etmek için düzenli kalınlıkla parçalar çizmenin gerektiğidir!



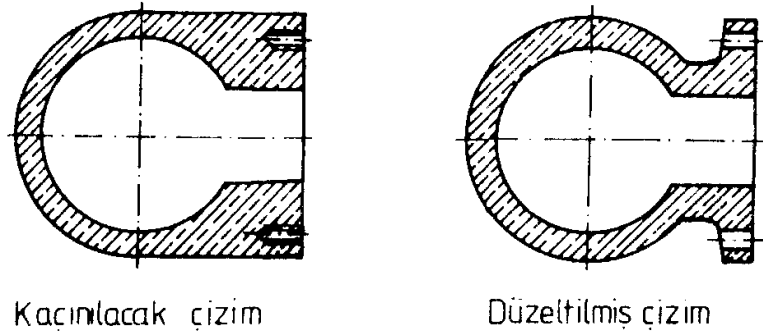
Şekil: 112 — Bağlantı örnekleri.

Aşağıdaki kaideler ideal çizime yaklaşma olanağını verirler:

a) *Farklı kalınlıklar sayısını asgariye indirmek* ( Şekil: 113 ve 114).



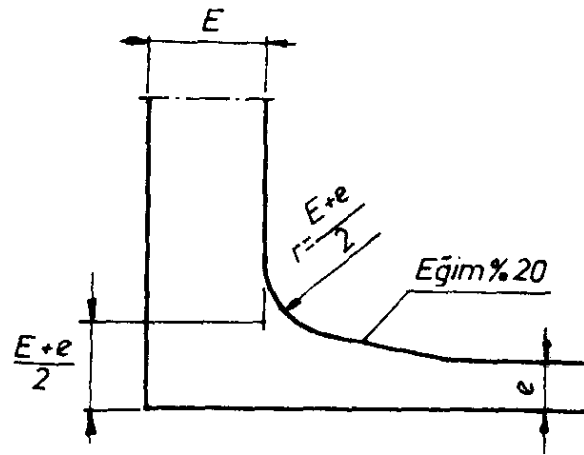
Şekil: 113- Bir kalın bölüm yerine damar ikamesi



Şekil: 114- Kalınlıklar sayısının azaltılması

(b) *Tedricen artan ve düzenli kalınlık değişmelerini öngörmek*

Farklı kalınlık sayısı asgariye indirildikten sonra, bir kalınlıktan öbürüne geçiş tedrici olup her türlü süreksizlikten kesinlikle kaçınılacaktır( Şekil:115).



Şekil:115- Tip bağlantı

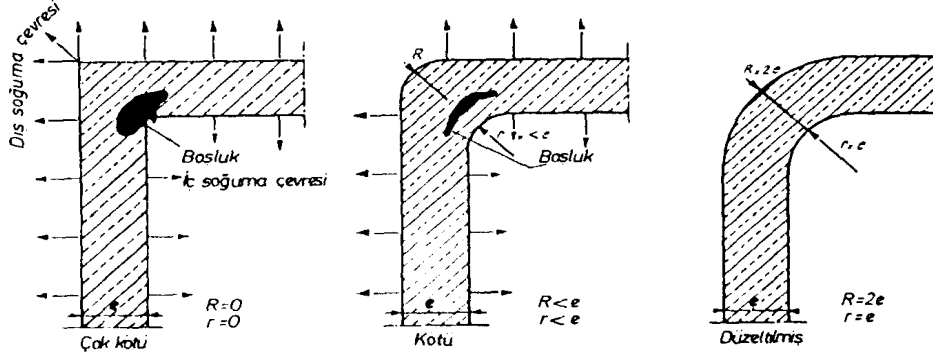
Cidarların bağlantıları, asgariye indirilmesi gereken bir kitle artışına götürürler.

a) L şeklinde bağlantılar

Eğrilik yarıçapı azaldığında dış çevre, iç çevreye göre artar, dolayısıyla dış çevre daha çabuk soğur (Şekil 116).

Eşit kalınlıklarda:  $R = 2e$ ;  $r = e$

Eşit olmayan kalınlıklarda:  $R = E + e$ ;  $r = \frac{E + e}{2}$



Şekil: 116- Keskin açılarda etkisi

b) V şeklinde bağlantılar

90°'den küçük açılı bir bağlantıda

— Eşit kalınlıklar için (Şekil: 117) (A açısının < 60° ve  $r > 10$  olması hali)

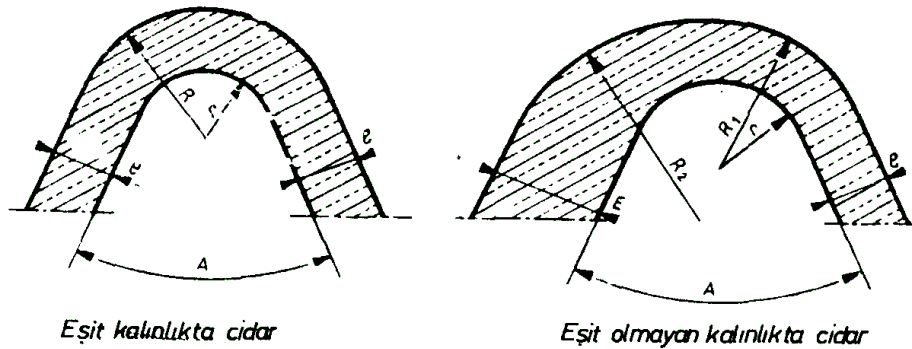
$$r \geq e; \quad R = r + e$$

kalınlıkların > 40 mm olması halinde

$$r = 1,5e; \quad R = r + E$$

— Eşit olmayan kalınlıklarda (Şekil: 117) (A açısının < 60° ve  $r > 10$  olması hali)

$$r \geq \frac{e + E}{2} \quad R_1 = r + e; \quad R_2 = r + E \quad \text{olacaktır}$$

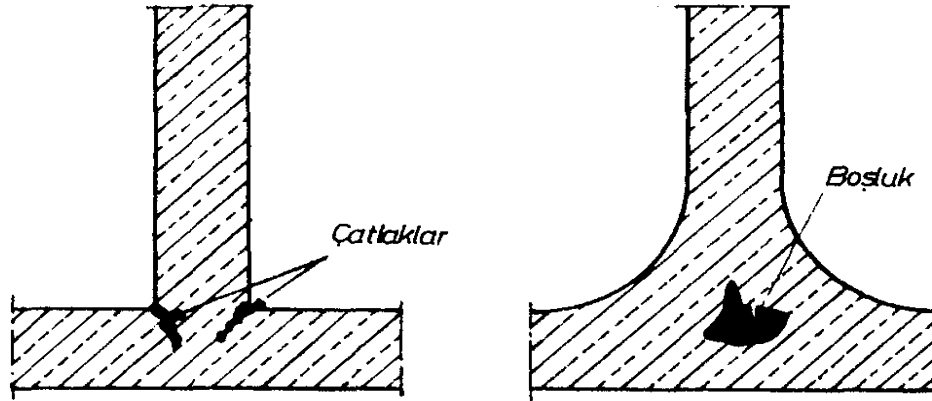


Şekil: 117 — V şeklinde bağlantılar.

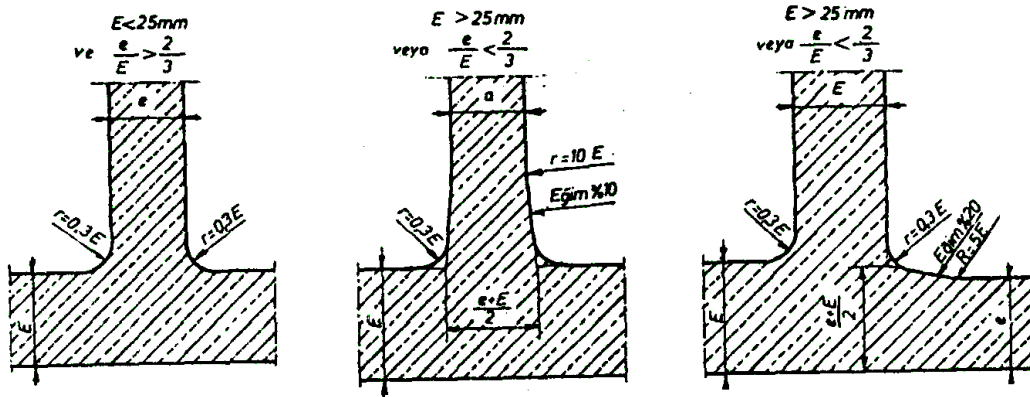
c) T şeklinde bağlantılar



Bir yandan, çatlaklar doğuran keskin köşeli çizimler, öbür yandan da kitleyi artıran fazla büyük bağlantı yayından kaçınılacaktır (Şekil 118).



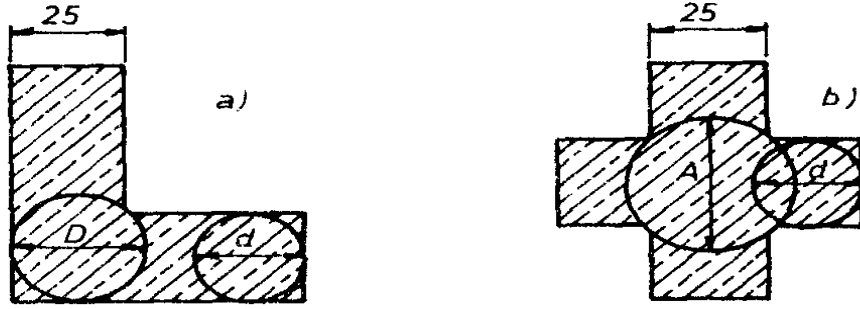
Şekil: 118 — Hata T bağlantıları.



Şekil:119\_ Uygun T bağlantıları

Şekil 119'da, önerilen bağlantı şekilleri görülür.

Heuvers kaidesi, kalınlıkların düzenliliğini denetlemek ve metal yığılmalarını yerleştirmek olanağını sağlar: Parça kesitinin içine bir daire çizilir (Şekil 120). İki farklı yerde metal kitleleri oranının, içine çizilmiş dairelerin yüzeyleri oranına (yani yarıçaplarının karelerinin oranına) eşit olduğu kabul edilir



$$a) \text{ Kitle artışı } \%50 \left( \frac{D}{d} \right)^2 = \left( \frac{31}{25} \right)^2 = 1,5$$

$$b) \text{ Kitle artışı } \%190 \left( \frac{D}{d} \right)^2 = \left( \frac{42,5}{25} \right)^2 = 2,9$$

Şekil: 120 — İki cidarın karşılaşmasından hasil olmuş tek kitle.

Kalınlıkların muntazam olmaları halinde Heuvers daireleri, yarıçapı keskin veya önemli değişimlere tabi olmadan yer değiştirebilmektedir. 5 mm'de bir % 30 kitle artışı fazla rahatsızlık vermez. Ama % 70'in ötesinde kitle artışında, özel önlemler elzem olur