

2 - B - BAKIR VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞINA GİRİŞ

GENEL MÜLAHAZALAR

Yukardaki tablodana görüldüğü gibi, elektrolitik rafine bakır (ETP) kaynak edildiğinde sırasıyla elle örtülü elektrod, MIG, TIG ve karbon-ark yöntemleriyle fenadan orta kaliteye doğru gelişen kaynak kalitesi elde edilir. Oksijenden arındırılmış bakırın kaynağında sadece yüksek redükleyici atmosfer hasıl eden karbon-ark yöntemi kullanılarak, elektrolitik bakır kaynağı kalitesine göre önemli iyileşme elde edilir.

Kurşunla ve sair imalât bakır alaşımları genellikle arkla kaynak edilmez.

Bakır ve bakır alaşımlarının birleştirilmesi için en yaygın yöntem TIG kaynağıdır. Yöntemden beklenen özellikler, özellikler daha yüksek ısı iletkeni olan bakır alaşımlarında, sınırlı alan üzerinde şiddetli ısı girdisi, iyi bir kontrol ve ilâve metalle veya bunsuz kullanılmaya elverişlilikten ibarettir. TIG başlıca 3,5 mm'ye kadar kalınlıklar için kullanılmakla birlikte 12 mm'ye kadar kalınlıklarda da iyi sonuçlar alınabilir.

12 mm'den kalın kesitlerde, yüksek metal terketme oranı ve yüksek ısı girdisi nedeniyle, uygulanabildiği takdirde, MIG kaynağı tercih edilir.

Düşük hacimde üretimde bakır ve bakır alaşımlarını birleştirmek için örtülü çubuk elektrodla ark kaynağı kullanılır: yöntem basit, ucuz, donanımı çeşitli işler görebilip kolay taşınır. Keza çapraşık şekilli parçalarla ulaşılması güç yerlerde kaynak için de kullanılır. Kaynakların intizam ve kalitesi genellikle MIG kaynağı ile elde edilenden aşağı olup bu husus özellikle daha iletken bakır alaşımları için doğrudur; bunların dışında işçilik ve malzeme masrafları daha yüksektir.

Mukavemet azalması, oksitlerin oluşması ve çoğu kez ark kaynağında görülen element uçması nedeniyle sertlehimleme genellikle bakır alaşımlarının birleştirilmesinde yeğlenir.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN KAYNAK ÜZERİNE ETKİLERİ

Birçok alaşım elementinin, bakır ve bakır alaşımlarının kaynak davranışı üzerinde derince etkisi vardır. En azından, bakır ve alaşımlarının içinde uçucu, zehirli alaşım elementleri küçük miktarlarda mevcut olup bu nedenle kaynakçıyı korumak üzere etkin bir havalandırma sistemi, toz ve dumanların toplanması, demirli metallerde olduğundan çok daha önemli olmaktadır.

İşlenebilirliği artırıcı ilâveler (Pb, Te, S): Kurşun, tellür ve kükürt gibi alçak ergime noktalı elementler bazen işlenebilirliği artırmak için bakır alaşımlarına eklenirse de bunlar alaşımları kaynakta sıcak çatlamaya eğilimli kılarlar. Kaynak kabiliyeti üzerindeki bu olumsuz etki, ilâve oranı % 0,05'i bulunca belirgin olmaya başlar ve daha fazla ilâvelerde daha ciddi boyutlara ulaşır. İmalât bakır alaşımları genellikle % 0,5 ilâ 4 Pb içerip kaynak edilmezler ve bu nedenle de yukardaki tabloda yer almamışlardır. Bunların dışında motor ve çeşitli makina yatakları ve

kimya endüstrisinde (SO₄H₂) kullanılan kurşunlu bakırlar vardır:

DIN 1716'ya göre:

G - PbBz25 : Cu = 69-77; Pb = 22-28; Sn < 3; Zn < 3; Ni < 2.5; Sb < 0,5

G - SnPbBz 20 : Cu=69-77; Pb = 18-23; Sn = 3,5-5,5; Zn < 3; Ni < 2,5; Sb < 0,5

Fransız AFNOR A 53-751'e göre

U - Pb 8 : Cu = gerisi; Pb = 6-10

U - Pb15 : Cu = gerisi; Pb = 12-18

U - Pb20 : Cu = gerisi; Pb = 18-24

U - Pb30 : Cu = gerisi; Pb = 25-35

Amerikan A.S.T.M.:

B-144-52-3E : Cu=68,5-73,5; Pb = 22-25; Sn=4,5-6; Zn.< 0,5; Ni< 0,75; Fe< 0,15

B-66-52 : Cu=gerisi; Pb=23-27; Sn=4-6; Zn < 1,25

Amerikan A.M.S. normu:

A.M.S. 4820 B : Cu =67-74; Pb=26-31; Sn <0,05; Zn < 0,10; Ni< 0,01; Fe < 0,25

Bkz. S.A.E. 480 ve 481

A.M.S. 4822 B : Cu=68-75; Pb=23-27; Sn=2-4; Zn < 0,10; Ni < 0,01; Fe < 0,35

Military-MLB16368 A : Cu=gerisi; Pb = 8-12; Sn < 1; Zn <1; Ni=0,75-1,5; Fe < 0,10; P = 3-4

Çinko: Bütün pirinçlerin ve nikel gümüşlerinin (Alman gümüşlerinin) kaynak kabiliyetini, yaklaşık olarak alaşımda mevcut miktar oranında azaltır.

Kaynak kabiliyetini azaltmasının yanısıra çinko zehirli buharlar çıkarır, şöyle ki etkili cebri havalandırma zorunlu olup dumanları yoğunlaştırmak için bir toplama sistemi kullanılacaktır(*)

Kalay: Fosfor bronzları ve kalay pirinçlerinde olduğu gibi, yaklaşık % 1 ilâ 10 miktarlarında ark kaynağını etkilemez. Çinko ile kıyaslandığında kalay daha az uçucu ve çok daha az zehirli olup genellikle daha düşük miktarlarda bulunur.

Berilyum, alüminyum ve nikel: Kaynaktan önce temizlenerek yok edilmesi gereken sıkıca yapışkan oksitler meydana getirirler. Isıtılmış bakır alaşımı üzerinde bu oksitlerin oluşması gaz koruması veya flux (dekapan)'larla önlenecektir; buna yardımcı olmak üzere de uygun akım tipi seçilecektir.

Nikel oksitleri, berilyum ya da alüminyumunkilere kıyasla ark kaynağını daha az etkilerler. Böylece de nikel gümüşleri ve bakirli nikeller akım tipine daha az duyarlıdırlar.

Oksijen: Gaz ya da bakır oksidi şeklinde yeterli miktarda fosfor veya sair desoksidan içermeyen alaşımlarda gözenek hasıl edip kaynakların mukavemetini azaltır. Kaynak edilen bakır alaşımlarının çoğu desoksidan element (genellikle fosfor, silisyum, alüminyum, demir veya manganez) içerip bunlar oksijenle bileşirler. Bu aynı desoksidanlar ilâve metallerde de bulunur.

Ticari bakırlar üzerinde yapılmış ark kaynaklarının sağlamlık ve mukavemeti bakır oksidi içeriğine bağlıdır. Oksit miktarı azaldıkça sağlamlık artar. En iyi sonuçlar desokside bakırlarla elde edilir; bunlar bakiye fosfor içerirler.

Silisyum'un Cu-Si alaşımlarının kaynak kabiliyeti üzerinde oksitten temizleyici ve dekapanlayıcı etkisi dolayısıyla, olumlu etki yapar. Bu etki, alçak ısıl iletkenlikle birlikte, silisyumlu bronzları bakır alaşımları arasında arkla en iyi kaynaklanabilir olanları haline getirir.

Demir ve manganez: Bazı özel pirinçler, alüminyum bronzları ve bakirli nikelerde mevcut bulunan demir (% 1,4 ilâ 3,5), bu alaşımların kaynak kabiliyetini önemli ölçüde etkilemez. Bu alaşımların bazılarında demire göre daha düşük oranlarda bulunan manganezin, kaynak üzerinde ölçülebilir herhangi bir etkisi yoktur.

KAYNAK KABİLİYETİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bir özgül alaşımın içerdiği elementlerin dışında, kaynak kabiliyetini etkileyen başlıca etmenler şunlardır: Kaynak edilen alaşımın ısıl iletkenliği, koruma gazı, akım tipi, birleştirme yerinin tasarımı, kaynak pozisyonu ve yüzey koşulu (temizlik derecesi). Akım tipinin etkisi bireysel yöntemler ve alaşımlarla birlikte irdelenecektir.

Isıl iletkenliğin etkisi: Bunun üzerinde yukarda yeterince durmuştuk. Yüksek ısıl iletkenliği haiz ticari bakırlarla hafifçe alaşımlı bakırların kaynağında akım tipiyle koruma gazı, maksimum ısı girişine göre seçilecektir. Daha az iletken bakır alaşımları bile ark kaynağı süreçlerinin yoğunlaşmış ısı girdisine rağmen (kalınlığa bağlı olarak) ön ısıtmayı gerektirir.

Pasolararası sıcaklık da ön ısıtmanıniki kadar olacaktır. Bakır alaşımları, alaşımlı çeliklerde sık uygulanan kaynak sonrası ısıl işleme tabî tutulmazlarsa da bakiye gerilme ve sıcak çatlamayı asgaride tutmak üzere kontrollü soğuma gerekebilir.

Koruma gazı: Genellikle argon (ya da, özellikle A.B.D.'de % 25 ilâ 75 helium ile argon) dur. Argon veya argon-helium karışımı bakır alaşımlarında heliuma göre daha uniform kaynaklar, daha stabil bir ark verip daha az kaynak püskürmesi hasıl eder.

Yüksek ısı girdisinin gerektiği hallerde (yüksek iletkenliği haiz bakırlar veya bakır alaşımları) helium tek başına veya argonla karışık olarak tercih edilir. Şöyle ki helium, aynı akım şiddetinde argondan üçte bir kadar daha çok ısı girdisi sağlar (bu arada heliumun argondan iki ilâ on kat daha pahalı olduğu göz önünde tutulacaktır.)

Kaynak yerinin tasarımı: Bakır ve alaşımlarının ark kaynağı için birleştirme yerinin tasarımı, çelikte uygulanandan fazlaca farketmez. 3,5 mm kalınlığa kadar kesitler, kök açıklığı olmadan küt alın kaynağı ile birleştirilebilirler. Daha kalın kesitler genellikle tek veya çift-V ağız ve kök aralığı 3,5 mm'yi aşmayacak şekilde bir hazırlıkla kaynak edilirler.

Birleştirme yerinin tasarımı ile tespit tertibatı zorlanma ve büzülme gerilmelerini asgariye indirecek şekilde olup bakır ve alaşımlarının yüksek genişleme katsayısına olanak sağlayacaktır; ancak böylece, solidusa yakın ve bunun üstünde sıcaklıklarda ana metalin çatlaması önlenemez.

Altta destek band ya da halkaları çeliğe göre çok daha yaygın olarak kullanılarak, özellikle yüksek derecede sıvı bakırlarla yüksek bakır alaşımlarında ergimiş metal kaybı önlenir. Destek band ve halkaları mutlak olarak ya kaynak edilen alaşımdan, ya da bakır, karbon veya grafitten yapılır.

Kaynak pozisyonu: Bakır ve çoğu bakır alaşımının yüksek akıcılığı dolayısıyla her mümkün olan yerde yatay pozisyon kullanılır. Dikey düzlemde yatay (borda) pozisyonu bazı köşe ve T birleştirmelerinde kullanılır.

Dik ve tavan pozisyonlarıyla küt alın kaynağında borda pozisyonu nadiren kullanılır. Bunlar sadece alüminyum bronzları, silisyum bronzları ve bakır-nikel alaşımlarına uygulanır. Zor pozisyon kaynaklarında ince elektrod ve kaynak teli ile alçak akım şiddetleri kullanılır.

MIG kaynağı zor pozisyonlarda sadece alüminyum bronzlarıyla bakır-nikel alaşımlarına, bazen de fosfor ve silisyum bronzlarına uygulanır.

Yüzey koşulu: Çalışma yüzeylerinden yağ ve oksitler kaynaktan önce temizlenecektir. Tel fırça veya dekapaj^(*) kullanılır.

Alüminyum ve silisyum bronzlarının yüzeylerindeki hadde tufalı, kaynak yerinin iki tarafından, en az 12 mm mesafe içinde mekanik olarak temizlenecektir.

Yağ, gres, boya, kalem izleri, atelye kiri ve benzeri bulaşmalar, nikelli bakırlarda gevrekleşmeye götürebildiğinden kaynaktan önce temizleneceklerdir. Nikelli bakırlar üzerinde hadde tufalı taşlama ya da dekapajla kaldırılacaktır; bu yolda tel fırça etkin olmamaktadır.

BAKIR ALAŞIMLARININ METALÜRJİSİ

İletkenlik, metalik halin en açık özel niteliğidir. Keza metallerin geleneksel niteliklerinden biri de plastiktir. Metaller şekil değiştirebilirler. Plastiklik, metalik bağlantının bir sonucu olup her atomun çok sayıda "komşu"ya sahip olmasıyla karakterize olur. Metaller yüksek bir düzenlenme kabiliyetini haizdirler denir.

Atomik ölçekte, plastik şekil değiştirme, komşu atomlar arasında bir bağlantının, kırılma olmadan, uzaması veya kısılmasıdır. Buna karşılık, bağlantı kopmuş haldeyken bir atom komşu değiştirince, bir plastik şekil değiştirme ile karşılaşılır. Bu itibarla plastiklik bir katının, sınır durumunda, bir atom tabakasının bir diğeri üzerinde kayması gibi, çapraşık atomik yeniden düzenlemeleri gerçekleştirebilme niteliği olabilmektedir. Çok sayıda komşuya sahip olma

keyfiyetinin yeniden düzenleme olanaklarını artırdığı açık olup bunda atomların çaplarının herhangi bir sakınca doğurmaması gerekir: bunlar birbirleri için fazla büyük olmayacaklardır; aksi halde kayma halinde olduğu farzedilen sıralar kaçırılmaz şekilde sıkışacaklardır.

Bu kısa kuramsal izahatın ışığında üç katı yapı hali irdelenir:

Önce saf metaller. Bütün atomlar birbirlerinin eşidir; şekil değiştirme olasılıkları her yönde çok sayıda mevcuttur: plastiklik çok fazladır.

Alaşımlar arasında "yerine geçme" katı eriyikleri, saf metallerle en yakından kıyaslanabilecek olanlardır. Bu itibarla en plastik olanlarıdır; ancak ilâve elementten yana zenginleştikçe plastiklik azalır. Bakır metalürjistleri bu niteliği geniş ölçüde kullanılır.

"Araya sıkışma" katı eriyikleri ister istemez daha az esnekler şöyle ki karbon ya da azot atomları atomik düzlemleri birbirlerine kenetlerler (veya daha iyisi, semante ederler)*)

"Yerine geçme" eriyiklerinin de, öbürü gibi, bağlı bulunduğu bazı kaideleri var. Bunlardan ilki atomların boyutlarıyla ilgili olup fazla farklı çapta bilyaları münasip şekilde istif etmek mümkün olmaz. Atomlar için çap farkının % 14'ü geçmemesinin gerektiği kabul edilmiş olup bu sınıra ne kadar yaklaşırsa karşılıklı eriyebilme kabiliyeti o kadar azalır.

İkinci kaide iki metalin elektroşimik kaynaşma kabiliyetiyle ilgilidir: bu kabiliyet az çok aynı olacaktır. Aksi halde, elektriksel olarak nötr iyonik bileşikler oluşur; bunların metalik niteliği düşük olup bu bir kesin kusur olmaktadır. Peryodik tabloda intikal elementlerinin merkezî durumu böylece bir kez daha üzerine ilgileri çekiyor: son tahlilde metaller, valansları ne kadar yakın, hatta eş ise, o denli iyi bileşmektedirler. B'nin A içinde erime kabiliyeti, B'nin valansının A'ninkinden yüksek olması halinde, ortanın altında kalır.

Başlıca mülâhazalar bunlarla bitmiyor.

Alaşımı oluşturan metallere herbiri bir veya birkaç valans elektronu getiriyor. Valans, tamamlanmış son tabakaya göre fazla kalmış elektron sayısı ile hesaplanmaktadır. Geçiş (intikal) elementlerini bir yana bırakarak aşağıdaki hususlar ifade edilir:

Valans	Elementler	Grup
1	Cu, Ag, Au	I
2	Be, Mg, Zn, Cd	II
3	Ga, Al, In	III
4	Si, Ge, Sn, Pb	IV
5	P, As, Sb, Bi	V

Şimdi % 88 bakırlı bir Cu-Al alaşımı durumunda serbest elektronların hesabını yapalım. Bu yüzdelik bileşim Cu₃Al formülüne tekabül eder. Bu alaşımda bakır atom başına 1, alüminyum da 3 elektron getirir. Toplam valans elektronu sayısının atom sayısına e/n oranını hesabedelim;

$$\frac{e}{n} = \frac{3 + 3}{3 + 1} = \frac{3}{2}$$

e/n 'ın belli özel değerleri için alaşımlar çoğu kez kristallografik özgünlükler arzederler:

zayıf metalik karakterli "elektronik" bileşikler, çok iri ağlar ya da altıköşeli ağlar.

Bütünüyle, kaide şöyle olmaktadır:

e/n	Kristal Yapı	Metallografik adlandırma
3/2	Merkezli kübik	α fazı
21/13	Kübik çok iri ağ	β fazı
7/4	Altıköşeli	ϵ fazı

Bunun yaklaşık bir kaide olduğu açıktır: ancak, olduğu haliyle, çok sayıda alaşım diyagramı arasında mevcut olan şaşırtıcı benzerlikleri izah etmektedir.

Bittabi sadece atom yüzdesine göre tertiplenmiş diyagramlar kıyaslanabilir. Bakır alaşımları, bu metale ilâve edilen element hangisi olursa olsun, kaideye iyi bir kanıt oluşturmaktadır: en değişik alaşım elementleri için kristal yapılan ve metallografik görünümünün aynı, art arda gelişir.

Hume-Rothery kuralları: Bir valanslı bakırın, iki valanslı çinko, üç valanslı alüminyum ve dört valanslı kalayla hasil ettiği alaşımların denge diyagramlarını (yüzde ağırlık) kıyaslayalım. Her üç sistem, α , $\alpha + \beta$, β , $\beta + \gamma$, γ vb. benzer faz alanlarıyla karakterize olur. α katı eriyik alanları, eriyen metalin valansının artmasıyla sınırlanır ve her durumda 1.4 elektronik yoğunluk için katı eriyebilirliğin maksimumunu hasil olur.

Atomik yüzdelere göre denge diyagramları, her üçü de anormal valanslı metallere bileşiklere komşu karşılıklı β fazlarının yaklaşık olarak % 50 çinko atomu, % 25 alüminyum atomu ve % 16.7 kalay atomu içerdiklerini gösterir (Şekil: 10). Bu itibarla bunlar, *görünürde tutarsız* CuZn, Cu_3Al ve Cu_7Sn metallere bileşiklere tekabül ederler.

Bunun gibi gözlemler Hume-Rothery'nin 1926'da ifade ettiği metallere bileşikler kuramlarının kökeninde yatar. Bunlara göre anormal β faz valanslı metallere bileşikler, iki atom için Uç elektronu haiz olma müşterek niteliğini arzederler. Bakır atomunun bir ve çinko atomunun iki elektron sağladığı CuZn bileşiği, 3/2 elektron/atom oranına tekabül eder. Cu_3Al bileşiğinde her üç bakır atomu bir, alüminyum atomu da üç elektron sağlar ki burada da elektron/atom oranı $6/4 = 3/2$ olur. Cu_5Sn bileşiğinde her bir bakır atomu bir ve kalay atomu da dört elektron sağlar ki yine elektron/atom oranı $9/6 = 3/2$ olur.

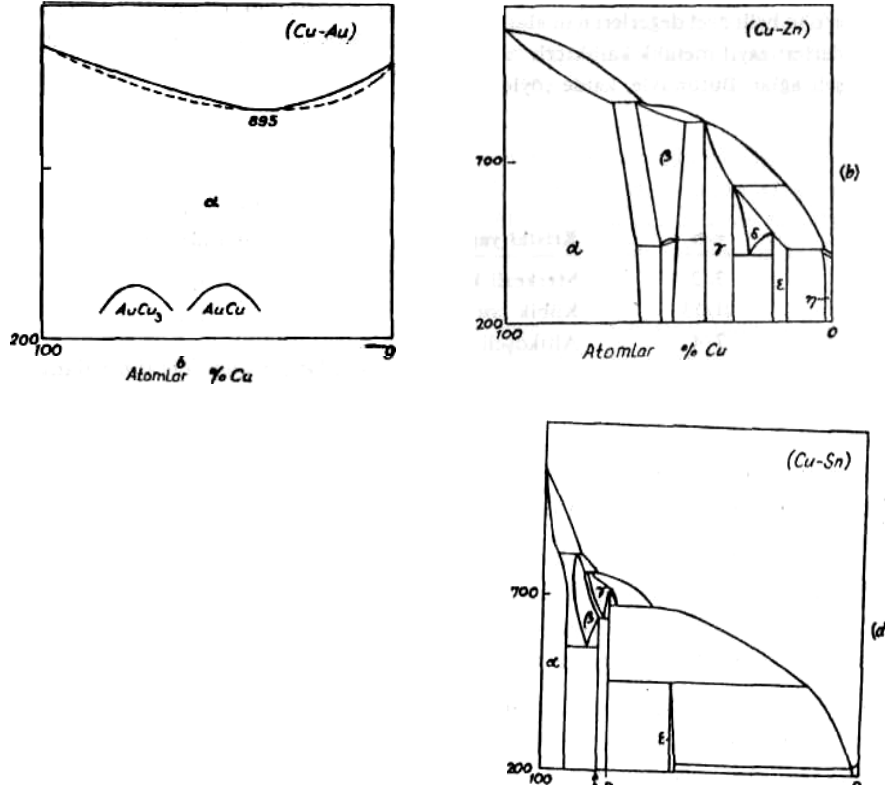
β fazı için elektron/atom oranının sabit olması öbür fazlar için de benzer gerekliklerden şüphe ettirir. Deney ise tahminleri doğrulamaktadır ve keyfiyet, bakır-çinko, bakır-alüminyum ve bakır-kalay sistemlerinde tahkik edilir. Sırasıyla % 61,6 çinko atomu, % 30,8 alüminyum atomu ve % 20,5 kalay atomu içerip Cu_5Zn_8 , Cu_9Al_4 ve $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ (Şekil: 10) bileşiklerine tekabül eden 7 fazlarıyla 21/13 elektron/atom oranı elde edilir.

Gerçekten:

$$\text{Cu}_5\text{Zn}_8, (5 \times 1) + (8 \times 2) = 21 \text{ elektron (13 atom için) içerir}$$

$$\text{Cu}_9\text{Al}_4 (9 \times 1) + (4 \times 3) = 21 \text{ elektron (13 atom için) içerir}$$

$Cu_{31},Sn_8, (31 \times 1) + (8 \times 4) = 63$ elektron (39 atom için)
 $= 21$ elektron (13 atom için) içerir.



Şekil: 10 — (a) Cu-Au; (b) Cu-Zn; (c) Cu-Al; (d) Cu-Sn alaşımlarının denge diyagramları (% atom)

Müteakip 7/4 elektron/atom oranı, $CuZn_3$ ve Cu_3Sn bileşikleri bölgesinde, ϵ fazları içinde bulunan ve "elektronik bileşik" diye adlandırılan anormal valanslı metallerearası bileşikler belirler. Her durumda 7/4 elektron/atom oram şöyle elde edilir:

$$CuZn_3, (1 \times 1) + (3 \times 2) = 7 \text{ elektron (4 atom için) içerir}$$

$$Cu_3Sn, (3 \times 1) + (1 \times 4) = 7 \text{ elektron (4 atom için) içerir}$$

$$Cu_5Al_3, (5 \times 1) + (3 \times 3) = 14 \text{ elektron (8 atom için)}$$

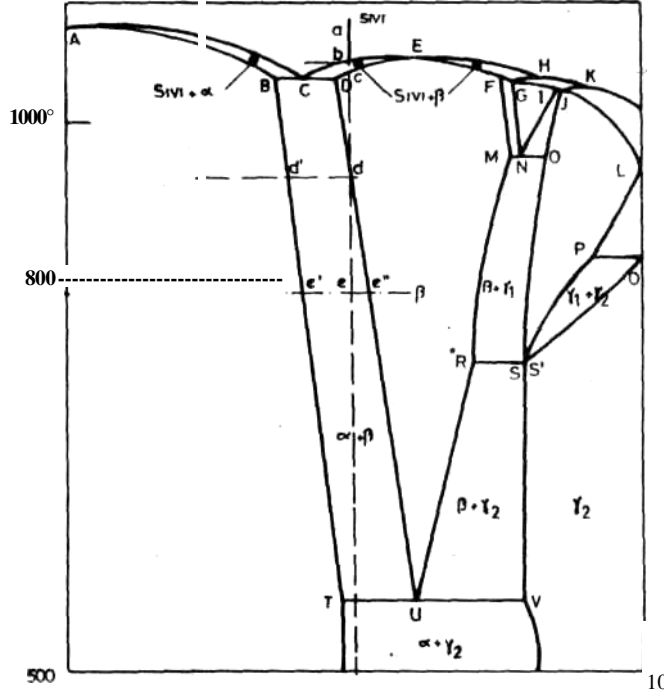
$$= 7 \text{ elektron (4 atom için) içerir.}$$

Denge diyagramları

Teorik mülâhazalar bizi adım adım bunların pratikte kullanılma eşiğine götürüyor. Son aşama, denge diyagramları oluyorum. Bunlar üzerinde ne kadar durulsa azdır.

Absise bir alaşımın iki bileşenini, meselâ bakırla alüminyum koyalım (Şekil: 11). Bu eksen üzerinde katı eriyiklerin sınırlarını ve α , β ve ϵ fazlarının konumunu saptayalım. Ordonat

da sıcaklıkları temsil etsin. Diyagramı, yukarı kısımda, yüzde bileşimin fonksiyonu olarak, katılmanın başlangıç ve sonu sıcaklıklarını temsil eden iki çizgiyle sınırlayalım. Böylece tanımlanmış çevrenin içinde kalan bütün alan, her bileşik ve her sıcaklık için "alaşımın durumunu", yani kristal ve metallografik dokuyu temsil etmeye yarar. Bu durum, bildiğimiz gibi, durumlara göre, bir veya iki fazı haiz olabilir.



Şekil: 11 — "Bakırdan yana zengin" (% 20 Al'a kadar) bölge için bakır-alüminyum diyagramı

Denge diyagramlarının tam etüdü termodinamiğin köşe taşı "fazlar kanununa" dayanır. Bu eğik çizgiyi her kat edişte fazların sayısı bir birim kadar azalır ya da artar: keyfiyet Cu-Al diyagramının DU çizgisi için böyledir: /3 fazının soğuması, giderek bollaşan α fazını doğurur (prensipte itibariyle α sembolü nihai katı eriyiklere-burada bakır içinde alüminyum katı eriyiği-mahsustur).

Çevresi bir yatay parça arzeden her alan iki fazlıdır: BDTU alanı, α ile β fazlarının "karışımı" olmaktadır. Aynı şekilde CDE alanının durumu da böyledir, ancak burada fazlardan biri sıvı alaşım, öbürü de β dir.

Aynı bir yatay çizgiyle sınırlanmış çeşitli iki fazlı alanlar toplam olarak sadece, ikişer ikişer birleşmiş üç fazlı haiz olurlar: örneğin TU çizgisinin iki tarafında α , β , γ_2 yani üstte α ile β , altta da α ile γ_2 bulunur.

Diyagramlar neye yararlar?

Açıklamayı Cu-Al alaşımları yardımıyla sürdürelim. Sınai bakır-alüminyum alaşımları (alüminyum bronzları) % 13'e kadar alüminyum içerir. Dökme parçalarda bu oran genellikle

% 9-10'dır. Şimdi sıvı halden, örneğin 1200°C'tan itibaren bir % 10'luk alaşımın soğumasını takip edelim.

Bileşim ve sıcaklık saptandıktan sonra, başlangıç temsilî nokta adadır. "Yol" un ilk bölümü sıvı halde bir soğumadır (ab güzergâhı boyunca), b de, katılaşmanın başlangıcını gösteren "likidus" çizgisine rastlıyoruz, c de katılaşma bitmiş, sıcaklık 1040°C'tır.

Bu arada katılaşma aralığının, birçok başka alaşıma göre çok sınırlı olduğunu kaydedelim. 200°C'lık aralıkların nadir olmamasına karşılık burada ancak 10°C. Katılaşma aralığının sıkışması, homogenliğin teminatı olmaktadır. Sıvı banyodan itibaren teşekkül eden kristaller β fazına aittir zira alüminyum oranı D ninkini aşmaktadır. β ile $\alpha + \beta$ alanlarını ayıran DU çizgisinin kesildiği d ye kadar görünürde bir doku (yapı) değişikliği yoktur. Bu andan itibaren yeni bir doku, 900°C'ta % 92 bakır içeren β fazı meydana çıkar. Neler olmuştur ?

Sıcaklık azaldıkça alüminyumun bakır içinde erime kabiliyeti artar (BT çizgisi). Veya, aynı şey demek olan, bakırın β fazı içindeki erime kabiliyeti azalır. Şu halde α fazının çökmesi vaki olmuştur. Pratik olarak, β kristalleri arasında, kimyasal bileşimi d' noktasıyla saptanan a girdileri ortaya çıkar.

Soğuma devam ettiğinde α girdileri (i fazının aleyhine olarak irileşmektedirler. Herhangi bir sıcaklıkta, örneğin 800°C'ta α ve B fazlarının oranı ee' ve ee'' çizgilerinin uzunluklarıyla belirlemektedir. Girdilerin sınırlarında alüminyum ve bakır değişimi vaki olmaktadır, α fazı alüminyumdan, (β fazı da bakırdan yana zenginleşmektedir.

U noktasında, 565°C'ta şunlar görülür:

— α fazının bileşimi :

— α fazının oranı :

— β fazının bileşimi :

— β fazının oranı : :Cu % 90,6 ; Al % 9,4 ;

yaklaşık % 75;

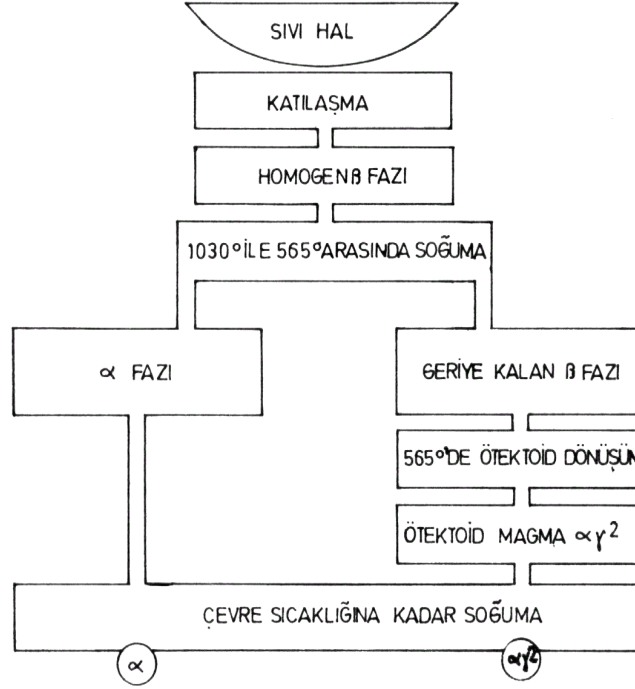
Cu <% 88,2 ; Al % 11,8 ;

Yaklaşık %25

Ötektoid nokta diye adlandırılan U , β fazının birdenbire yitip gitmesini gösterir; bu faz olduğu yerde bir agregata ayrışır; bu agregat "ötektoid bileşken" olup bunun kimyasal toplam bileşimi açık olarak β fazıninkiyle aynıdır ama bileşkenleri sırasıyla % 9.4 ve 15.6 alüminyum içeren T ve V noktaları olmaktadır. T, en uç doymuşluk noktasında α fazıdır; V, çok iri gözlü, sert ve kırılğan γ_2 bileşkenidir. Sırasıyla α ve ötektoid fazının oranları, UT ve UV çizgilerinin uzunluklarıyla nihaî olarak saptanmaktadır.

Soğuma bittiğinde, dokunun " α - ötektoid", veya " $\alpha - \alpha\gamma_2$ " olduğu görülür; yandaki şema bu noktaya hangi birbirini takibeden dönüşümlerle geldiğini gösterir.

Denge diyagramları bize alaşımların mekanik özelliklerini tahmin etmek, ya da hiç değilse bunların gelişmesini önceden kestirmek olanağını verir.



Şekil .12_ Bir alüminyum bronzunun soğumada dönüşümleri. Elde edilen nihai yapıya α - $\alpha\gamma_2$ adı verilmektedir.

Alüminyum bronzlarının α fazı, alüminyumun bakır içinde "yerine geçme" tipinde bir katı eriyiktir. Her ne kadar alüminyumdan yana zenginleşme onu tedricen sertleştirmeye götürürse de (bakır şebekesi, alüminyum atomları tarafından gitgide bozulur) bu faz, dolayısıyla, plastiktir.

"Çok iri gözlü" kübik γ_2 fazı, bakır ve alüminyum atomlarının çapraşık bir tertibi olmaktadır. Şöyle ki en ufak bir düzensizlik kopma ile eşanlı olur. Bu nedenle de bu faz kırılgandır. α ve γ_2 nin az çok lameller bir birbirine girift olmuş hali olan $\alpha\gamma_2$ bileşeninin kendisi de kırılgan olup sınıai alaşımın ne kadar fazla bu ötektoidden içerirse o kadar kırılgan olacağı önceden tahmin edilebilir.

Ötektoid oranını artırmanın iki yolu vardır: ilki alüminyum oranını artırmaktır; diyagramın U noktasında (Şekil: 11-% 11,8 Al) ötektoid oranı alaşım içinde % 100, T noktasında (% 9,4 Al) sıfırdır. İkinci yol, teorik yapının öngördüğünden daha fazla β fazı muhafaza etmek üzere alaşıma yüksek sıcaklıkta su vermektir. Bir meneviş, yani ötektoid sıcaklığının altında bir sıcaklığa ısıtmakla, yeniden $\alpha\gamma_2$ bileşkeni yaratılmış olur. Bundan, başlangıç yapıda bulunandan daha fazla mevcut ise de daha ince olarak dağılmıştır: böylece alaşımın sertlik ve mukavemeti artmış olmaktadır. Cu-Al bronzlarında çekme mukavemeti % 8 ile 10,5 Al arasında katlanırken uzama % 70'den % 5'e düşer.

Böylece alaşımların özelliklerini değiştirmenin iki aracı olmuş oluyor: kimyasal bileşim ve ısıl işlem; bu arada, istendiği gibi hızlandırılıp yavaşlatılabilir katılaşıma ve soğumanın malzemenin ısıl öyküsüne dahil olup karakteristikler üzerinde etkin oldukları unutulmayacaktır.

Ancak, mekanik karakteristiklerin gelişmesini idare eden kanun çok diktir şöyle ki alüminyum üzerinde bir \pm % 1 değişimde, özellikler yaklaşık olarak bakırınkinden çeliğinkine geçer. Metalürjinin pratik güçlüklerinden biri bunda yatmaktadır: % 1 fazla veya az, endüstri alanında, çok bir şey değildir. Mamullerin yeknesaklığı (tekdüzeliği) imalâtın bütün aşamalarında uyanık bir organizasyon ve kontrolü ve metalürjistin imalâtın kaçınılmaz küçük teğişmelerini düzeltme yeteneğini gerektirir. Örneğin, binlerce ton duralümin-yumun ısı işleminin sadece 5°C'lık bir aralık içinde yapıldığını düşünelim...