

## V. SERTHEHİMDE ANA METALLERİN NİTELİKLERİ

### METALÜRJİK MÜLAHAZALAR

Metal ve alaşımların tümüne yakın çoğunluğu\* uygun yöntemlerin uygulanması koşuluyla sert lehimlenebilirler. Ancak bunlardan bazıları, sert lehimlenmiş birleşmelerin davranışını etkileyen ve bazı hallerde özel süreçler gerektiren metalürjik olgular arz ederler. Bu olgular ana metal etkileri (karbür çökmesi, oksit stabilitesi, hidrojen gevrekleşmesi, ısıdan etkilenmiş bölge -IEB, kükürt gevrekleşmesi, ilâve metal etkileri (buhar basıncı), veya ana metal-ilâve metal karşılıklı etkileşim etkileri (alaşımlama, fosfor gevrekleşmesi, gerilme çatlağı) şeklinde sınıflandırılırlar.

#### *Karbür çökmesi*

Bazı paslanmaz çeliklerle krom ve karbon içeren alaşımlar, 427 ile 816°C arasında sıcaklıklara ısıtıldıklarında karbür çökmesine uğrarlar: karbon tercihen kromla bileşip, genellikle tane sınırlarına krom karbürü şeklinde atılırlar. Karbür zerresine hemen komşu olan alaşım malzemesi, kromdan yana fakirleştiğinden eskisi kadar korozyon mukavemeti arz edemez. Bazı korozif çevrelerde mekanik nitelikler, görünürde yüzeysel atak olmadan da, zarar görebilir.

Paslanmaz çeliklerde çökelmiş karbürler 1010-1121°C'da ısıtılıp hızlı soğutmayla yeniden eritilebilirler. Çökelmemiş kromu doku-içyapı içinde uniform olarak dağıtan bir başka stabilize edici işlem de, iki saat süreyle 871°C'ta ısıtıp 538°C'a kadar ocakta, sonra da havada soğutmaktan ibarettir.

Sert lehimlemenin çok hızlı yapılabilmesi halinde, normal tipte paslanmaz çeliklerde önemli ölçüde karbür çökmesi görülmez. Bunun mümkün olmadığı hallerde, korozif hizmetlerde kullanılacak paslanmaz çelikleri sert lehimlemek için

---

\* AWS.- Brazing Manual, 1976'nın APPENDIX.- Properties of Brazeable Metals and Alloys'a bkz.

bunların stabilize tiplerinden biri, örneğin 347 veya 321, ya da 304L gibi çok düşük (extra low) karbon oranlı olanı kullanılmalıdır.

## ***Oksit stabilitesi***

Önceden temizleme işlemlerine rağmen metal ve alaşımlar üzerinde geriye kalmış oksitler bulunur. Bu bakiye oksitlerin çoğu uygun dekapan (fluks) ya da redükleyici atmosferle kolayca yok edilir. Krom, alüminyum, titanium, silisyum, magnezyum, manganez ve berilyum oksitlerinin temizlenmesi daha zor olup bu elementleri içeren alaşımlar genellikle özel işlemler gerektirirler.

Krom oksidi bazı flüorür içeren dekapanlarla yok edilebilir atmosfer çok kuru ( $-57^{\circ}\text{C}$  çığ noktası-dew point) ve sadece yüksek sıcaklıklarda ( $982$  ile  $1093^{\circ}\text{C}$  arasında) olmak kaydıyla hidrojen tarafından redüklenebilir.

Alüminyum ya da titanium içeren çökelme sertleşmeli alaşımların\* birçok yüksek sıcaklıkta sert lehim uygulamalarında oksitler son derece stabil olup redüklenmeleri zordur. Sert lehime hidrojen ( $-57^{\circ}\text{C}$  veya daha aşağı çığ noktası), argon veya vakum altında yürütülebilir. Tutarlı şekilde iyi kalitede birleşmeler gerçekleştirmek için parçalar, sert lehimlemeden önce, genellikle nikelle, elektronik olarak kaplanabilir.

## ***Hidrojen gevrekleşmesi***

Bu konuda daha önce bilgi verilmiştir\*\*. Hidrojen gevrekleşmesine özellikle bakır, çok hassas olup buna uğramış bakır, kurtarılamaz. Bu itibarla hidrojen altında sert lehimlenecek metaller iyi seçilmelidir. Titanium ve zirkonium gibi yeni metallerin bazıları, hidrojen altında, sürekli olarak gevrek hale gelir.

---

\* Bkz. Burhan Oğuz. – Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı, OERLİKON yay. 1987, s. 99

\*\* Bkz. aynı kitap, s. 56 ve dev.

### ***Isıdan etkilenmiş bölge (IEB)***

Sert lehimleme için kullanılan ısı, birleştirilecek ana metallerin nitelilerini etkiler. Mekanik nitelikleri soğuk çalışma-yoğrulma ile elde edilen ana metaller yumuşayabilir veya, sert lehimleme sıcaklığının bunların rekristalizasyon\* sıcaklıklarının üstünde olması halinde de, tane boyutu artabilir. Mekanik niteliklerin ısı işlemlerle elde edildiği hallerde, sert lehim bunlara olumsuz etki yapabilir. Tavlanmış haldeki malzemeler, sert lehimleme sırasında kayda değer bir değişmeye uğramazlar.

Bu değişimin vaki olduğu bölgenin genişliği, kullanılan yönteme farklı olur. Bazı yöntemlerde (üfleç ve endüksiyon) sadece yerel bir bölge ısıtılır, başkalarında ise bütün parça, sert lehimleme sıcaklığına varabilmek için, ısıtılır (ocak ve daldırma). Genel olarak sert lehimleme işleminde IEB, öbür kaynak yöntemleriyle hasıl olandan daha geniş ve daha az keskin olarak tanımlanmış haldedir.

### ***Kükürt gevrekleşmesi***

Nikel ya da bu metalden önemli miktarda içeren alaşımlar, kükürt ya da kükürt içeren bileşimlerle birlikte ısıtılacak olursa, gevrekleşebilirler. Alçak ergime noktalı bir nikel sülfürü tane sınırlarında tercihen teşekkül edip, gevrek ve zayıf olmakla, daha sonra zorlandığında, çatlayacaktır. Bu şekilde zarar görmüş malzeme kurtarılamaz ve hurdaya atılır.

Nikel ve nikel-bakır alaşımları bu tür atağa çok açık olup bunlardan krom içerenler buna daha az duyarlı olurlar. Bu itibarla, içinde nikelin başlıca element olduğu alaşımlar için, ısıtılmadan önce bunların temiz ve kükürt içeren malzemedan (yağ, gres, boya, kalem izi ve resim yağları gibi) tamamen arındırılmış bulunmaları önemlidir. Isıtma da nispeten kükürtsüz bir atmosferde olacaktır.

### ***Buhar basıncı***

Sert lehimle birleştirilmiş parçaların bir vakum altında çalışmalarını durumunda ilâve metallere seçimine Özel dikkat sarf edilecektir. Bu koşul birçok endüstride geçerli olup özellikle geniş boyutlu elektron tüpleri ve partikül akseleratörleri, vakum ocakları ve kaplama birimleri gibi sürekli pompalanan yapılar için çok önemli olmaktadır. Bütün bu donanımlarda, yüksek vakum ya gereklidir, ya da istenilen gaz atmosferinin ithalinden önce talep edilmiştir. Bu itibarla, örneğin vakum tüpleri uygulamalarında, çalışma sıcaklıklarında yüksek buhar basıncını haiz olan çinko ve kadmium gibi elementlerin ilâve metallere bileşimine

girmelerine müsaade edilmez. Böyle olunca da vakum tübü gradi ilâve metaller, özel olarak piyasaya sürülmüştür.

### *Alaşımrama*

Yukarda uzunca anlatılmış olanlar şöyle özetlenebilir: "alaşımrama" terimi, karşılıklı etkileşimin az çok bütün görünümünü kapsayan bir genel terimdir. Bununla birlikte, "alaşımrama" teriminin komponentleri hakkında daha özgün tanımlama yapmamız mümkündür.

Önce, ergimiş ilâve metal, ana metalleri eritebilir. Sonra, ilâve metali oluşturan elementler ana metal içinde ya taneler kümesi arasından, ya da tane sınırlarına yayılabilirler (difüze olabilirler) veya sıvı olarak tane sınırlarına girebilirler. Bu tür bir ana metal eritmesinin ya da ilâve metal difüzyonunun sonuçları ilâve metal tabakasının likidus veya solidus sıcaklıklarını bileşim ve ısı devreye göre yükseltmek veya alçaltmak olabilir.

Nikel, Monel ya da kupro-nikellerin bakırla sert lehimlenmesinde yeterince erime ve difüzyon vaki olabilir şöyle ki bakır ilâve metalin solidusu yükselmiş ve akış bitmiş olur. Bunun bir başka anlamı da sert lehim ilâve metal tabakasını sökme yani onu yeniden ergitme sıcaklığının onun ilk solidus sıcaklığından daha yüksek olduğudur.

Kesitte ana metal parçalarının nispeten ince olmaları halinde, ana metalin erimesi ve bunun içine difüzyon özellikle zarar vericidir. Delikler meydana gelebilir ve yanma çentikleri gibi geometrik kusurlar hasıl olabilir. Bu etkiye, yukarda gördüğümüz gibi, erozyon adı verilir. Bu erozyon alüminyum ve magnezyum levhalarının sert lehiminde olduğu gibi yüksek sıcaklık alaşımlarının içinde de vaki olabilir.

Demir esaslı yüksek sıcaklık alaşımlarının bor içeren ilâve metalle sert lehimlenmesinde ana metalin tane sınırlarına alçak ergime noktalı bir metal kompleksinin girmesi birleşme kalitesine zarar verir. Bu etki özellikle, sert lehimlenmiş sandviç panolarda olduğu gibi, ana metalin ince olması halinde zararlı olur. Bu gibi hallerde konunun uzmanlarına başvurulmalıdır.

Altınla bezenmiş süs eşyalarının imalinde altının ana metale sert lehimlenme işlemi, ilâve metalin altın içine difüze olmasına vakit bırakmayacak kadar çabuk uygulanmalıdır. Aksi halde soylu metalin rengi atar ve üzerinde lekeler hasıl olur.

Aşın ana metal erimesi ve difüzyonun vaki olmasının mümkün olduğu hallerde sert lehimleme mümkün olduğu kadar kısa sürede ve alçak sıcaklıkta icra edilecektir. Birleşmeyi doldurmaya yetecek kadar ilâve metal hazır bulundurulacak, ancak bunun aşırı miktarı hem arzu edilmez hem de ekonomik olmaz.

Genel "alaşımlama" terimine dahil olan bir başka faktör de, yukarda gördüğümüz metaller arası birleşim olup bu, ana ve ilâve metallerin bileşenleri arasındaki etkileşimin sonucudur. Bu birleşimler genellikle gevrek olur. Bununla birlikte bu sonuncu olgu, birleştirmenin mutlaka her türlü teknik faydadan yoksun olacak kadar gevrek olacağı anlamına gelmez. Bu, Özgül birleşimin cinsine, niteliğine ve dağılış şekline bağlı olur.

### ***Fosfor gevrekleşmesi***

Sağlıksız birleşim oluşmasına bir örnek, fosfor gevrekleşmesidir. Gerçekten fosfor, fosfürler olarak bilinen gevrek birleşimler oluşturmak üzere birçok metalle bileşir. Bu nedenle bakır-fosfor (BCuP) ilâve metalleri genellikle herhangi bir demir veya nikel esaslı alaşımla kullanılmaz; bununla birlikte BNi-6 ve BNİ-7 nikel ilâve metalleri bazı durumlarda ısıya dayanıklı alaşımları sert lehimlemede kullanılırlar.

### ***Gerilme çatlama***

Paslanmaz çelikler, nikel alaşımları ve bakır-nikel alaşımları gibi birçok yüksek mukavemetli malzeme, yüksek gerilme koşulu altında ve ergimiş sert lehim ilâve metaliyle temasta çatlama eğilimi arz eder. Yüksek tavlama sıcaklıklı ve özellikle sertleştirilebilen malzemeler bu gerilme çatlama olgusuna tabidirler. Çatlama az çok her zaman sert lehimleme işlemi sırasında aniden vaki olur ve ergimiş sert lehim ilave metali çatlağı takip edip onu tamamen doldurduğundan derhal gözle görülür.

Süreç, ergimiş ilave metalin korozif ortam olarak kabul edildiği bir gerilme korozyonu çatlağı olarak betimlenebilir. Bir kostik eriyik içinde gerilmiş çelik ya da amonyak eriyiki içinde gerilmiş pirinç, gerilme korozyonu çatlağının yaygın olarak bilinen örnekleridir. Gerilme çatlama hasıl etmek için yeterli gerilme, sert lehimlemeden önce soğuk çalışmayla meydana getirilebilir ya da sert lehimleme sırasında dıştan bir mekanik ya da ısıl menbadan sağlanabilir.

Bazı özel alaşımlardan yapılmış parçaların hacminde, bunların soğumada faz değişiminden geçerken vaki değişimlerden meydana çıkan gerilmeler de çatlama götürebilir. Bu çatlaklar çoğu kez parçanın atılmasını mucip olmaz, sadece sert lehimlenmiş birleşmeyi zayıflatır.

Gerilmeyle karşılaşıldığında bunun nedenleri genellikle sert lehimleme sürecinin bir kritik analizinden saptanabilir. Mutat çare, gerilme menbainı yok etmektir. Gerilme çatlama şu yollarla önlenir:

1. Sert menevişli yerine tavlı menevişli malzeme kullanmak
2. Soğuk çalışılmış parçaları sert lehimlemeden önce tavlama

3. İyi alıştırılmamış parçalar, parçalar üzerinde gerilmeye yaratan işkenceler vb., desteklenmemiş ağırlıkların üstten asılması... gibi dıştan uygulanmış gerilme menbanını kaldırmak
4. Parçaların yeniden tasarımı (dizayn)
5. Yazaş tempoda ısıtma; kalın parçalar, dik ısıl gradienden hasıl olacak kadar hızlı ısıtılmış olabilir.
6. Üfleçle sert lehim uygulamasında, dekapan sürülüp toplanmış parçaları önce gerilimin gider,ilmesine yetecek sıcaklığa ısıtmak, bunları sert lehimleme sıcaklığına soğutmak ve sonra ilave metali ergitip tatbik etmek
7. Aşağıda görüleceği gibi bu tür zararı yaratmayacak bir sert lehim ilave metali seçmek.

Yaşlanma sertleşmesine\* uğrayabilen yüksek nikelli alaşımlar gerilme korozyon çatlamasına çok yatkındırlar. Bunların tavlanmış halde ve nispeten yüksek ergime noktalı (tercihen 750°C'in üstünde) sert lehim ilave malzemesiyle birleştirilmelidir. Bu tür malzeme, yaşlanma sertleşmesi sırasında taşınmalara dayanacak yeterli mukavemeti haiz olurlar.

## **SERT LEHİMLEDEN SONRA ISIL İŞLEM**

Çoğu kez sert lehimlenmiş birleşmeler, mekanik niteliklerin ıslahı amacıyla, sonradan bir ısıl işleme tâbi tutulur. Demirli alaşımlarda bu işlem yüksek sıcaklıkta bir su verme ve daha sonra bir daha aşağı sıcaklıkta menevişleşmeden ibaret olur. Berilyum-bakır alaşımı, Duranickel, "K" Monel, Inconel "X" ve 17-7PH paslanmaz çelik gibi sair alaşımlarda işlem, bir ara sıcaklığa belli bir süre ısıtıp sonra bir kontrollü tempo ile soğutmadan ibaret olur.

Yukarda söylendiği gibi, bu gibi durumlarda ilâve metalin, elle işlemlerine (taşınmalara) dayanacak mukavemeti haiz olması gerekir. Sert lehimleme sonrası ısıl işlem, birleşmelerde bir bakiye gerilme yaratabilir; mikro çatlak hasıl olabilir ve böylece de birleşme mukavemeti zarar görür.

## **FARKLI METALLERİN BİRLEŞTİRİLMESİ**

Birçok farklı metal birbiriyle sert lehimlenebilir. Gerçekten, metalürjik uygunsuzluğun öbür kaynak yöntemlerinin kullanılmasına olanak bırakmadığı hallerde sert lehim çoğu kez kullanılabilir.

Farklı metallerin sert lehimlenmesinde en önemli kriterlerden biri, bunların arasındaki ısı genleşme farkıdır. Yüksek ısı genleşmeye sahip bir metalin alçak ısı genleşmeye sahip bir metali çevrelemesi halinde, kapiler akımı teşvik edecek (oda sıcaklığında uygun olan) ara boşluğu, sert lehimleme sıcaklığında çok fazla olacaktır. Tersine, alçak genleşmeli metalin yüksek genleşmelisini çevrelemesi durumunda, sert lehimleme sıcaklığında hiçbir boşluk kalmayabilir. Örneğin bir molibden muylunun bir bakır bloka sert lehimlenmesinde parçalar, oda sıcaklığında preste geçirme alıştırmalı olmalıdırlar. Ama bir bakır muylunun bir molibden bloka sert lehimlenmesinde, oda sıcaklığında münasip bir merkezlenmiş gevşek alıştırma gerekli olur.

---

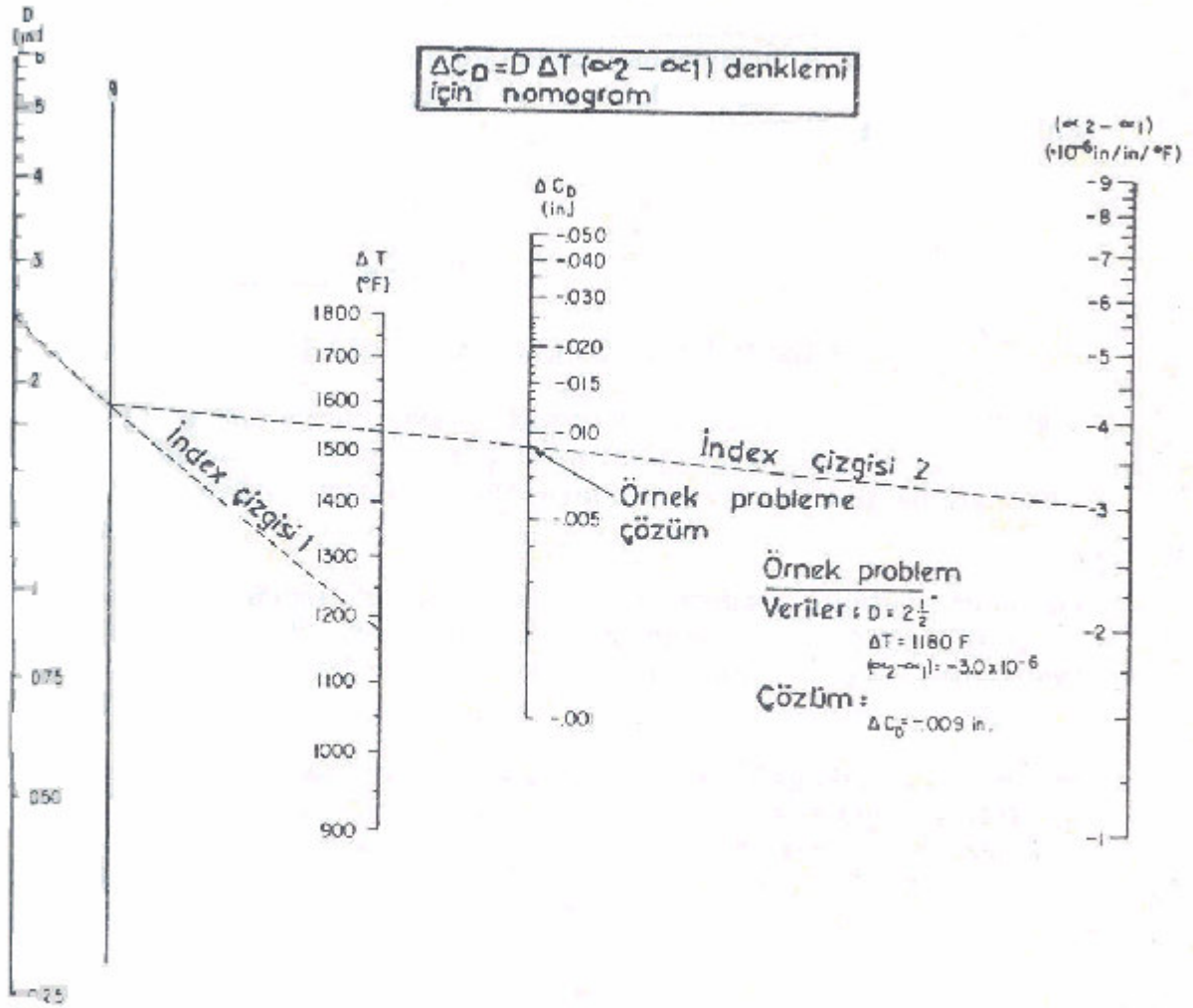
Bkz. aynı kitap: s.92 ve dev.

Aşağıdaki nomogram, farklı metaller arasında "halka ve muylu" tipi birleşmelerde aralık (boşluk) değişmesinin saptanmasında yararlıdır. Daha büyük bir kesinliğin önemli olduğu ya da değişkenlerden birinin nomogramın ölçeğinin dışına çıktığı durumlarda, denklem kullanılabilir.

Farklı ısı genleşme katsayılı malzemelerin sert lehimlenmelerinde çoğu kez kullanılan bir teknik de "sandviç sert lehimleme"dir. Bu tekniğin bir genel kullanımı, karbür uçlu metal kesme kalemleri imalidir. Nispeten sünek bir metal her tarafından sert lehim ilâve metaliyle kaplanır ve sandviç malzemesi, birleşme yerine oturtulur. Böylece birleşme yerinde bir üçüncü metal vardır ve bu metal soğuma sırasında sürünerek (creep) farklı çekmelerden (büzülme) hasıl olan gerilmeleri azaltır. Bu tekniğin bazı varyantlarında folyo yerine ince tel ızgara kullanılır.

Yine farklı metallerin başarılı sert lehimlenmesi için başka kriterlerin de dikkate alınmaları gerekir. İlâve metal her iki ana metala uygun olmalıdır ve bunun seçiminde ana metal ergime noktaları arasındaki büyük farklar göz önünde tutulacaktır. Korozyon ya da oksidasyona mukavemetin bahis konusu olduğu durumlarda ilâve metal en az, sert lehimlenen metallerin bu konuda en zayıfına eşit nitelikte olmalıdır. Ayrıca, uygulama koşulları altında, çukur korozyonunu teşvik edecek olan galvanik çiftlerden kaçınılacaktır.

Sert lehimleme ya da daha sonraki ısı işlemleri sırasında ilâve metalle ana metal arasında vaki olan metalürjik reaksiyonlar önemlidirler. Buna bir örnek alüminyumun bakıra sert lehimlenmesidir. Bakır alüminyumla reaksiyona girip alçak ergime noktalı bir gevrek birleşik meydana getirir.



Şek. 73.- Bier çok sert lehim durumu için farklı metallerin birleştirilmesinde çapta boşlukların değişmesini bulmak için monogram.

1. Bu monogram ısıdan hasil olan çap değişmesini verir. Sert lehim ilave metalin kapiler akışını sağlayacak boşluk, sert lehimleme sıcaklığında sağlanmış olacaktır.
2.  $D$ = birleşmede nominal (adlandırma) çap, in.  
 $\Delta C_D$ = boşluk ddeğişmesi, in  
 $\Delta T$ = sert lehimleme sıcaklığı eksi oda sıcaklığı, °F  
 $\alpha_1$ = erkek parçanın ortalama ısı genleşme katsayısı, in. /in. /°F  
 $\alpha_2$ = dişi parçanın ortalama ısı genleşme katsayısı, in. /in. /°F
3. bu monogram  $\alpha_1 < \alpha_2$  olması durumunu farz eder; böylece  $(\alpha_2 - \alpha_1)$ ' in ölçek değeri negatif olmaktadır.  $\Delta C_D$  için hasil olan değerler de, dolayısıyla, negatiftirler, bunu anlamı, birleşme boşluğunun, ısıtma ile azaldığıdır.  $(\alpha_2 - \alpha_1)$ ' in pozitif olduğu durumlarda,  $\Delta C_D$  'nin değerleri de pozitif olarak okunur ki bu, ısıtmada boşluğun arttığı anlamına gelir.

Bu tür sorunların üstesinden, ana metallere birini bir uygun metalle kaplayarak gelinir. Alüminyumun bakırla birleştirilmesinde bakır gümüş ya da yüksek gümüşlü bir alaşımla kaplanır ve bir standart alüminyum sert lehim ilave metaliyle gerçekleşir.