

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBONLU ÇELİK MALZEMELERİN LEHİM**  
**PASTASI KULLANARAK FIRINDA SERT**  
**LEHİMLEMESİNE ETKİ EDEN**  
**PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK**  
**OPTİMİZASYONU**

**Aydın JADIDI**

**Nisan, 2013**  
**İZMİR**

**KARBONLU ÇELİK MALZEMELERİN LEHİM  
PASTASI KULLANARAK FIRINDA SERT  
LEHİMLEMESİNE ETKİ EDEN  
PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK  
OPTİMİZASYONU**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon-İmalat Öğretim Programı**

**Aydın JADIDI**

**Nisan, 2013**

**İzmir**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

AYDIN JADIDI, tarafından PROF. DR. SÜLEYMAN KARADENİZ yönetiminde hazırlanan “KARBONLU ÇELİK MALZEMELERİN LEHİM PASTASI KULLANARAK FIRINDA SERT LEHİMLEMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK OPTİMİZASYONU” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Süleyman KARADENİZ

Yönetici



Prof. Dr. Mine DEMİRSOY

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Mustafa TOPARLI

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŐEKKÖR

Türkiyede ikametim süresinde her türlü desteğini esirgemeyen sevgili annem ve babama, tez çalıőması sırasında bana yol gösterdiği için ve yardımlarından dolayı sayın Prof. Dr. Süleyman KARADENİZ'e, yapılan deneylerde gösterdiği yardımlarından dolayı Mak. Tek. Faik SOYSAL'a ve çalışma sırasında yardımlarını esirgemeyen Dr. Fatih KAHRAMAN'a ve Yük. Müh. Gökçe Mehmet GENCER'e teşekkür ederim.

Aydın JADIDI

# KARBON ÇELİK MALZEMELERİN FIRINDA SERT LEHİMLEMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK OPTİMİZASYONU

## ÖZ

Fırında sert lehimleme, benzer olmayan malzemelerin birleştirmesi, yüksek üretim hızı, farklı kalınlıktaki malzemelerin birleştirmesi ve çok sayıdaki diğer özelliklerinden dolayı, günümüzde çok sık kullanılan ve gittikçe yeni uygulama alanları bulan birleştirme metodlarından birisidir. Bu birleştirme yöntemini doğru uygulamak ve sağladığı avantajlardan tam olarak yararlanabilmek için, yöntem hakkında yeterli bilgi edinip ve elde edilen bilgileri pratikte uygulayabilmek gerekir.

Fırında sert lehimlemeyi etkileyen parametreleri belirlemek ve parametreler hakkında yeteri kadar bilgi edinmek işlemin ilk adımlarındandır. Bununla beraber, sert lehim birleşmesinden istenilen özellikleri göz önüne alarak, parametrelerin optimizasyonu, sert lehimleme kalitesinin artışında ve işlemin maliyetinin düşürülmesinde önemli rol taşımaktadır.

Fırında sert lehimleme, karbonlu çeliklerin birleştirilmesinde geniş uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada, karbonlu çelik malzemeler bakır pastası kullanarak, indirgeyici atmosferi olan fırında sert lehimlenmiştir. Farklı numuneler farklı lehim parametreleri ile birleştirildikten sonra, çekme deneyi ve sertlik deneyine tabi tutulmuştur ve parametrelerin lehim kalitesi üzerinde etkisi tartışılmıştır. Lehim parametreleri arasından, lehim kalitesi üzerinde yoğun etkisi tespit edilen lehim aralığı, lehim sıcaklığı ve fırında bekletilme süresi araştırılmış ve deneysel olarak optimize edilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Fırında sert lehimleme, fırın atmosferi, lehim aralığı, lehim sıcaklığı, fırında bekletilme süresi

# EXPERIMENTAL OPTIMIZATION OF PARAMETERS IN FURNACE BRAZING OF CARBON STEELS BY USING BRAZING PASTE

## ABSTRACT

Furnace brazing is one of the most common used methods in joining of parts and its application in industry is spreading rapidly because of its advantages like joining dissimilar parts, high production speed, etc. To apply this method correctly and use its advantages in joining of parts it is necessary to gather information about process and being able to use its characteristics in practice.

Defining parameters and gathering information about them are the first steps in joining of parts by furnace brazing. In addition, optimization is required to improve brazing quality and decrease process costs to achieve required properties.

Furnace brazing has a wide application area in joining of carbon steels. In this research, carbon steel parts are joined by using copper based brazing paste in a reducing atmosphere. Different parts are joined in different brazing parameters and after defining tensile strength and hardness of each joint, brazing parameters have been optimized experimentally. Among different parameters in furnace brazing, this research is focused on effects of brazing temperature, brazing time and brazing gap because of their strong effect on the quality of brazed parts.

**Keywords:** Furnace brazing, furnace atmosphere, brazing gap, brazing temperature, brazing time.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT .....	v
<b>BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Giriş .....	1
1.2 Literatür Araştırmaları .....	2
<b>BÖLÜM İKİ-SERT LEHİMLEME .....</b>	<b>4</b>
2.1 Sert Lehim .....	4
2.2 Lehimleme Kabiliyeti.....	6
2.3 Lehimlemede Karakteristik Zamanlar.....	7
2.4 Isınma ve Yayılma .....	8
2.5 Kaliteli Bir Sert Lehimin Tasarımı .....	11
2.6 Lehim Alaşımı .....	15
2.7 Temizlik.....	17
2.8 Lehimlemenin Termal Döngüsü .....	17
<b>BÖLÜM ÜÇ- FIRINDA SERT LEHİMLEME.....</b>	<b>19</b>
3.1 Avantajlar ve Dezavantajlar .....	19
3.2 Fırın Seçimi .....	20
3.3 Fırın Tipleri.....	20
3.3.1 Sürekli Fırın Atmosferinde Sert Lehimleme.....	21
3.3.2 Yıgın Fırın Atmosferinde Sert Lehimleme .....	23
3.3.3 Vakum Fırında Sert Lehimleme.....	24
3.4.4 İticili Fırınlar .....	30

3.4 Fırın Atmosferi Yapısı .....	31
3.4.1 Fonksiyon ve Bileşim .....	31
3.4.2 Fırın Atmosferi Kontrolü .....	34
3.4.2.1 Fırın Atmosferi Kısmi Oksijen Basıncı .....	35
3.4.2.2 Fırın Atmosferi Kısmi Karbon Basıncı .....	38
3.4.2.3 Fırın Atmosferi Kısmi Azot Basıncı .....	39
3.5.2.4 Fırın Atmosferinde Hidrojen Reaksiyonları .....	41
3.5.3 Fırın Atmosferi Kontrol Sistemleri .....	41
3.5.4 Fırın Atmosferi Olarak Vakum .....	45

## **BÖLÜM DÖRT- MALZEMELERİN FIRINDA SERT LEHİMLENMESİ .... 51**

4.1 Karbonlu Çeliklerin Fırında Sert Lehimlenmesi .....	51
4.2 Paslanmaz Çeliklerin Fırında Sert Lehimlenmesi .....	54
4.2.1 Fırın Atmosferinde Sert Lehimleme .....	55
4.2.2 Vakumda Sert Lehimleme .....	55
4.3 Alüminyum Esaslı Malzemelerin Fırında Sert Lehimlenmesi .....	56
4.3.1 Fırın Atmosferinde Sert Lehimleme .....	57
4.3.2 Vakumda Sert Lehimleme .....	61
4.4 Bakır Esaslı Malzemelerin ve Pirinçlerin Fırında Sert Lehimlenmesi .....	61
4.5 Reaktif Metallerin Fırında Sert Lehimlenmesi .....	63
4.6 Seramiklerin ve Camların Fırında Sert Lehimlenmesi .....	64
4.7 Sinterlenmiş Karbürlerin Fırında Sert Lehimlenmesi .....	65

## **BÖLÜM BEŞ- DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... 66**

5.1 Yapılan Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Ekipman .....	66
5.1.1 Birleştirilecek Olan Parçalar .....	66
5.1.2 Lehim Pastası .....	66
5.1.3 Fırın .....	68
5.2 Parçaların Temizliği ve Hazırlaması .....	69
5.3 Fırında Lehimlemenin Yapılışı .....	69
5.3.1 Çekme Deneyi .....	71



5.3.2 Sertlik Deneyi .....	72
5.3.3 Metalografik İnceleme .....	83
<b>BÖLÜM ALTI- SONUÇLAR .....</b>	<b>86</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>88</b>

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Giriş

Sert lehimleme, iki veya daha çok parça arasında, parçaları ergitmeden ve parça materyal yapısını ciddi bir şekilde değiştirmeden metalürjik bir bağ oluşturmak için ısıyı ve genellikle dolgu metali adı verilen bir lehim alaşımını ergiterek kullanan bir birleştirme işlemidir. Birleştirilecek olan parçalar, aralarında sadece küçük bir boşluk kalacak şekilde yerleştirilirler. Aradaki boşluğun yakınına bir lehim alaşımı yerleştirilir ve lehim alaşımı ergiyince kapiller etkiyle boşluğun içine çekilir. Bu, soğuma sonrasında katı bir birleşme oluşturur. Sert lehimleme olarak tanımlanabilmesi için, lehim alaşımı erime sıcaklığı, ana malzemenin ergime noktasından düşük ama 450°C'nin üzerinde olması gerekir (Robert ve Messler, 2004).

Sert lehimleme parçaların çok çeşitli konfigürasyonlarına ve diğer birleştirme yöntemlerinin ekonomik bir şekilde uygulanamadığı, benzer şekilde olmayan metallerin ve uniform olmayan kalınlıktaki ametallerin birleştirilebilmesine imkan verir. Sert lehimleme en yaygın şekilde dövme, döküm ve toz haline getirilmiş ürünlerde gerçekleştirilmektedir. Seramiklerin ve camlarında sert lehimleme ile birleştirilmesi mümkündür ve sert lehimleme, teknolojiye yaşanan gelişmelerle giderek artan bir kullanım alanı bulmaktadır (Robert ve Messler, 2004).

Fırında sert lehimleme, indüksiyon sert lehimlemesi ve direnç sert lehimlemesi gibi çeşitli sert lehimleme yöntemleri vardır.

Homojen ısıtma, minimum şekil bozukluğu, ana malzemenin ergimemesi ve hem yüksek hem de düşük miktarda üretim imkanının olması gibi özellikler, sert lehimlemenin bir birleştirme işlemi olarak yaygın bir şekilde uygulanmasına yol açmıştır (Andersson, Holm, Sören, ve Astrom, 2011).

## 1.2 Literatür Araştırmaları

Shabtay, Ainali ve Lea, “tavlamaya dayanıklı olan bakır ve pirinçlerin yeni sert lehimleme yöntemleri” adlı çalışmasında, bakır ve pirinç alaşımlarının yüksek mukavemetlerini değerlendirerek, bu alaşımların yüksek sıcaklıktaki sert lehimleme işlemlerinde önemli mukavemet kaybına maruz kalıp kalmadığını araştırmıştır. Bu çalışma yeni sert lehimleme işlemlerinin gelişmiş ısı değiştiricilerin üretiminde uygulandığına ve sert lehimleme fırınlarının, tüm üretim seviyeleri için geliştirilmiş olduğuna dikkat çekerek, fırın seçimi, dolgu malzemelerinin uygulanma alanları, parçaların birleştirilmesi ve sert lehimleme işlemlerinin kontrolü üzerinde durmuştur (Shabtay ve dg., 2003).

Steward, Grossbeck, Chin ve Aglanvegan, “304 paslanmaz çeliğin ve V-5Cr-5Ti alaşımının fırında sert lehimlenmesi” isimli çalışmalarında, vakum fırında saf bakırın 304 paslanmaz çeliğe ve V-5Cr-5Ti alaşımına birleştirilmesini incelemiştir. Steward ve dg., bu çalışmada sert lehim bölgesinde ve sert lehim bölgesi civarındaki içyapı değişikliklerini incelemiştir. Bu araştırmada, içyapı değişikliği bakırın ergime noktasından 20°C, 40°C ve 60°C daha yüksek bir sıcaklıkta bekletilmesinin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir. Son derece kırılgan olan reaksiyon tabakaları, bakır ve V-5Cr-5Ti arasında oluşmuştur. Dolgu metali ve alt tabaka arayüzlerinde oluşan intermetalik fazlar değerlendirilmiştir. Bakırın ergime noktasından 60°C daha yüksek sıcaklıkta, geniş çapta enine çatlaklar görülmüştür. Sertlik deneyleri, bakır ve V-5Cr-5Ti reaksiyon tabakasının son derece kırılgan olduğunu göstermiştir (Steward ve dg., 2000).

Molleda, Mora, Carrillo ve Mellor, “fırında sert lehimleme yöntemi ile pirinç kullanarak karbonlu çeliğin bakırla kaplanması” adlı araştırmalarında, çeliğin oksidasyonunu önlemek için bir argon koruyucu atmosfer kullanmıştır. Bu çalışmada kaplanmış malzeme üzerinde metalografik incelemeler yapılmıştır ve kaplamada bulunan fazları araştırmak için X-ray kullanılmıştır. Sonuç olarak kaplamanın ilerlemesinde, difizyonun önemli rolü olduğu ortaya çıkmıştır. Bakırın

yüksek ısı iletkenliği nedeniyle bu tür kaplamanın ısı değiştiricilerde yüksek kullanım alanı vardır (Molleda ve dg., 2007).

Ting Hong ve Hao Koo “C103 ve Ti-6Al-4V alaşımlarının Ti-15Cu-15Ni dolgu metali ile vakum fırında sert lehimlemesi” isimli araştırmalarında iç yapı ve bağlantının performansı arasındaki ilişkiyi incelemişdir. Bu çalışma C103/TiCuNi/Ti-6Al-4V bağlantısının, sert lehimlemeden sonraki ısı ışlemler ile veya bağlantı tasarımı ile, içyapının ve mekanik özelliklerin optimizasyonu üzerinde durmuştur. Bu araştırmada, lehimlemeden sonra 880°C’da 4 saatlik bir ısı ışlem ile 960°C’da lehimlenmesi 15 dakika sürmüş olan bağlantının kayma mukavemeti 16% artış göstermiştir (Ting Hong ve Hao Koo, 2005).

Köksal, Türkmen ve Arabacı, “sert lehimleme ile birleştirilmiş AA5754 ve AA3003 malzemelerdeki korozyonun incelenmesi” isimli çalışmalarında, koruyucu gaz atmosferli fırında 0,5 mm kalınlıkta AA3003 ve 1,5 mm kalınlıkta AA5754 numunelerini sert lehimlemişdir. Bu çalışmada 3xxx ve 5xxx serisi Mg ve Mn gibi alaşım elementleri içeren Al numunelere üç nokta eğme deneyi uygulanmıştır. Bu şekilde hasara uğratılan numunelere korozyon deneyi uygulanmıştır. Tasarımın kritik noktası olan birleşme bölgelerinde, deney sonrası mikroyapı görüntüleri alınmış ve lehim bölgesinde hasar oluşmadığı görölmüştür. Numunelerde çukurcuk tipi korozyon oluştuğu gözlemlenmiştir. Hasarlı numunelerin lehim bölgesinde herhangi bir çözüme, ayrılma olmamıştır. Korozyon deneyi sonuçlarındada benzer durum görölmüştür. Çalışmada levha ve lehim bölgesinde, korozyon tipi ve oluşumunda hasarın etkisi içyapı incelemeleri ile belirlenmiştir (Köksal ve dg., 2010).

## **BÖLÜM İKİ**

### **SERT LEHİMLEME**

Fırında sert lehimlemeye geçmeden önce, sert lehimlemenin temelleri üzerinde durmak gerekir. Zira fırında sert lehimleme gibi, sert lehimleme yöntemlerini anlamak ve araştırmak için, sert lehimlemenin temellerini ve karakteristiklerini ve kaynak işlemi ile farklarını anlamak zorunludur.

#### **2.1 Sert Lehim**

Sık olarak kullanılan birleştirme işlemleri, sert lehimleme, kaynak ve yumuşak lehimlemedir. Aşağıda bu işlemleri birbirinden ayırt eden, bazı tanımlayıcı karakteristikler açıklanmıştır.

Yumuşak lehimlemenin karakteristikleri:

- Yumuşak lehim alaşımının ergime sıcaklığı 450°C'den düşüktür.
- Ana malzeme katı halde kalır.
- Yüzey oksitlerini yüzeyden uzaklaştırmak için dekapan kullanılır.
- Hava veya azot atmosferinde gerçekleşir. (Andersson ve dg., 2011)

Sert lehimlemenin karakteristikleri:

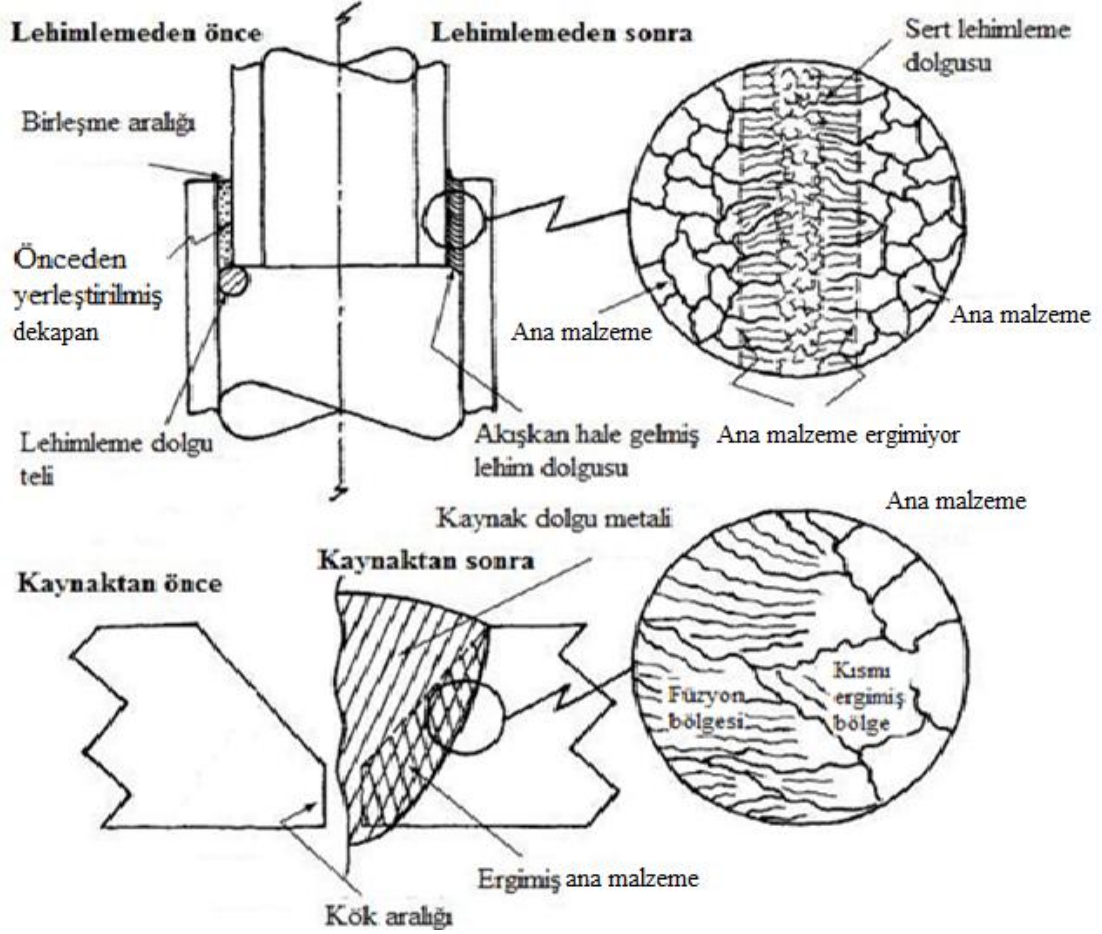
- Sert lehim alaşımının ergime sıcaklığı 450°C'den yüksektir.
- Ana malzeme katı halde kalır.
- İşlem sıcaklığı 540°C -1620°C arasındadır.
- Ana malzeme ile metalurjik bir bağlantı oluşturur
- Ana malzeme katı halde kalır.
- Hava, inertgaz, indirgeyici veya vakum atmosferinde gerçekleşir.
- Bazı durumlarda dekapan kullanılır. (Andersson ve dg., 2011)

Kaynağın karakteristikleri:

- Kaynak dolgu maddesinin ergime sıcaklığı 450°C'den yüksektir.
- Ana malzemenin bir kısmı, kaynak dolgu maddesi ile birleşmek için ergir.

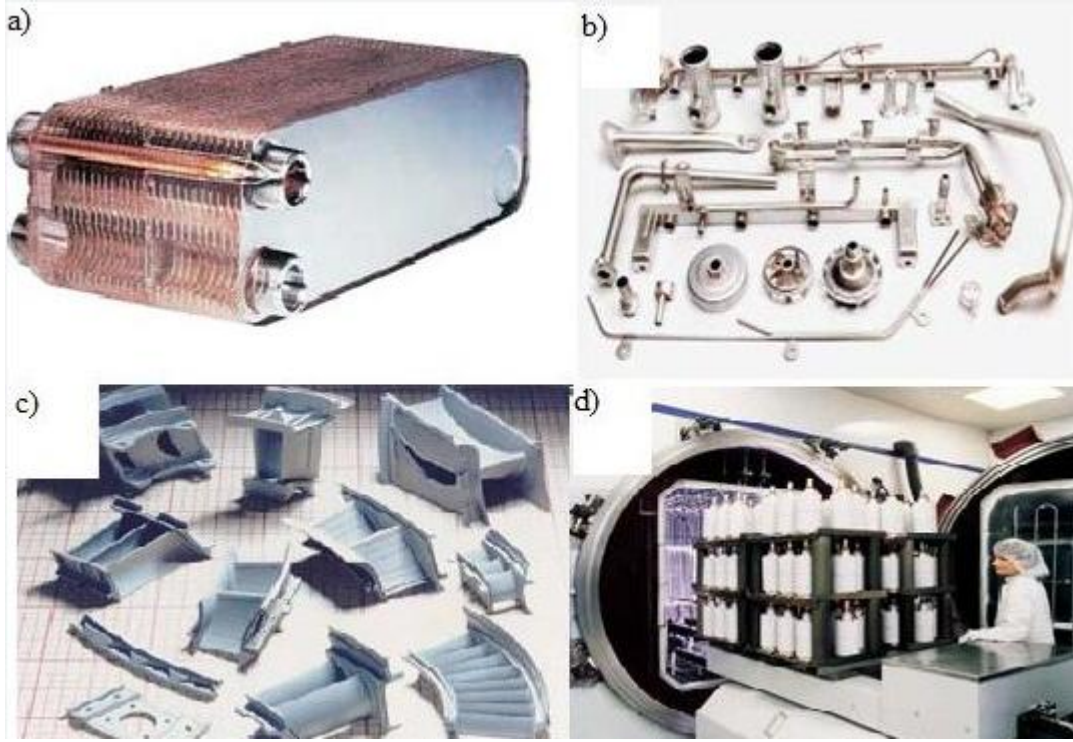
- Ana malzeme ile metalurjik bir birleşme oluşturur. (Andersson ve dg., 2011)

Şekil 2.1’de ergitme kaynağı ve sert lehimleme arasındaki temel farklar gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Bağlantı oluşmadan önce ve bağlantı oluşuktan sonra sert lehimleme (üstte) ve ergitme kaynağı (Alta) arasındaki temel farkların şematik olarak gösterilişi. (Robert ve Messler, 2004)

Sert lehimlemenin çok çeşitli uygulamalarının örnekleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

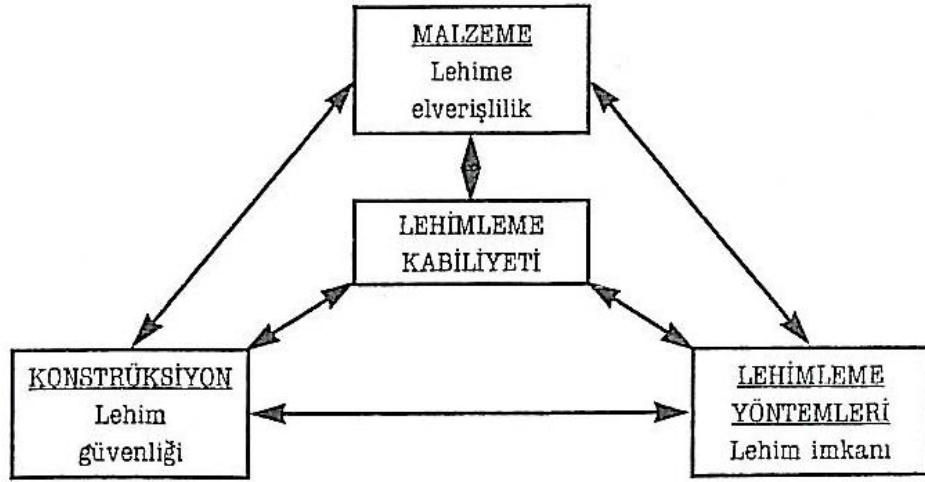


Şekil 2.2 Sert lehimlenmiş parçaların örnekleri. a)Isı değiştiricisi. b)Farklı otomobil parçaları. c)Türbin parçaları. d)Elektrik bağlantıları. (Andersson ve dg., 2011)

## 2.2 Lehimleme Kabiliyeti

DIN 8514'e göre lehimleme kabiliyetini etkileyen özellikler şema olarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir. DIN 8514'e göre bir yapının lehimleme kabiliyeti istenilen talepleri yerine getirebilecek tarzda lehimleme ile imal edilebilmesidir. Eğer aşağıdakiler varsa yapının lehimleme kabiliyeti vardır:

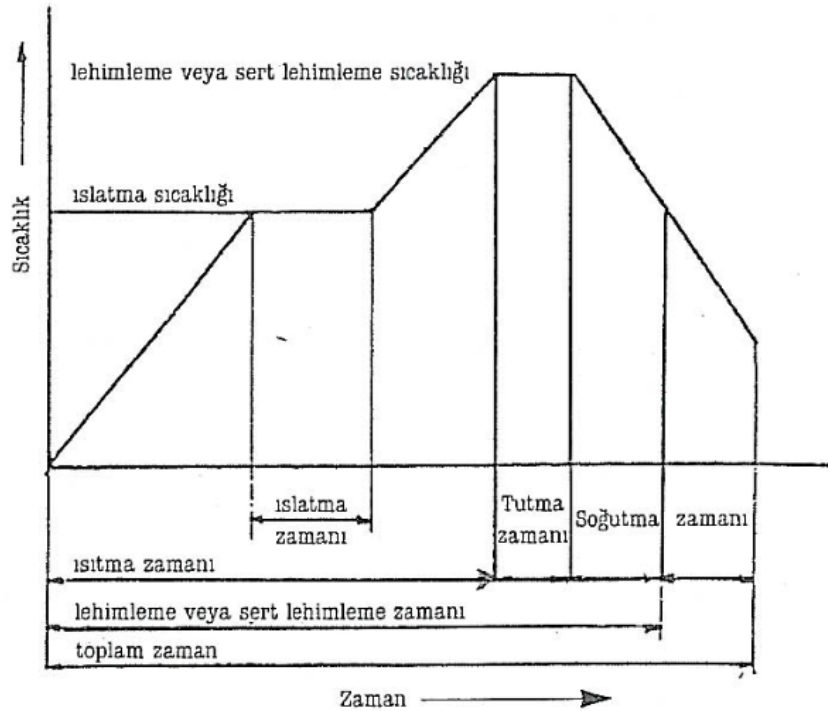
- Malzemenin lehime elverişliği
- İmalatta lehim imkanı, yani bir veya birden çok lehimleme yöntemin kullanılabilirliği
- Konstrüksiyonun lehim güvenliği, yani öngörülen işleme koşullarında yapının yeterli güvenliği varsa (Bodur, 1996).



Şekil 2.3 Lehimleme kabiliyeti (Bodur, 1996)

### 2.3 Lehimlemede Karakteristik Zamanlar

Lehimleme zamanı, ısıtma zamanı, ıslatma zamanı, tutma zamanı, soğuma zamanı, toplam zaman ve etkime zamanı olarak ayrılır (Bodur, 1996). Şekil 2.4'te lehimleme sıcaklık karakteristikleri gösterilmiştir.



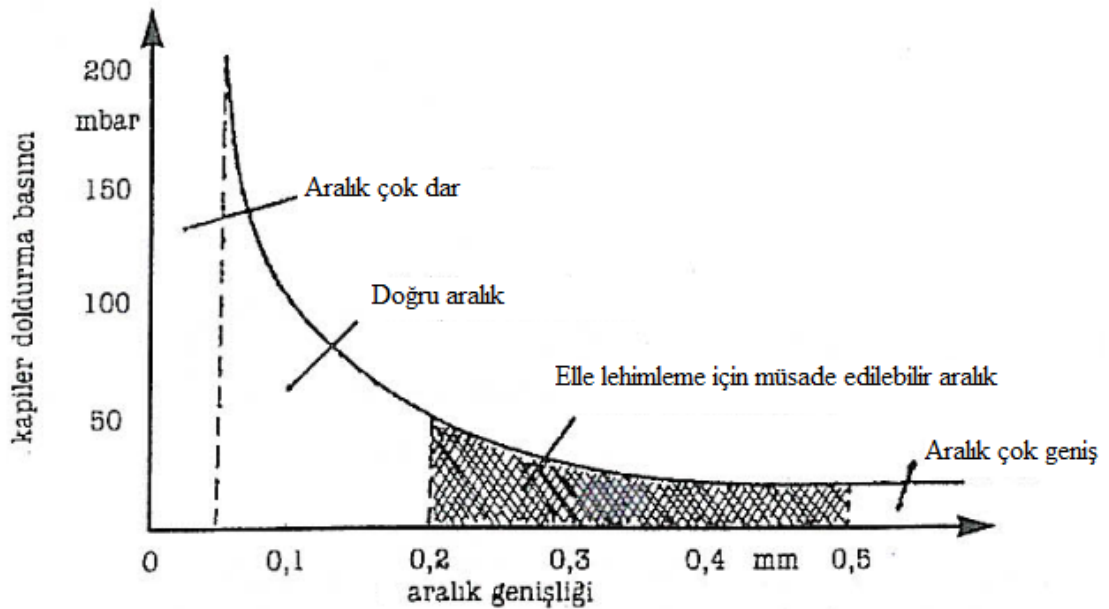
Şekil 2.4 Lehimleme sıcaklık karakteristikleri (Bodur, 1996)



## 2.4 Islanma ve Yayılma

Birbirine yakın ve paralel olan iki yüzey arasına lehimleme ile, sert lehim alaşımı (dolgu metali) doldurulduğunda bir sert lehim oluşur. Bu hareket (lehimleme aralığa dolması) kapiler etki ile gerçekleşir ve bunun üç aşaması vardır: sert lehim alaşımının yapışması, ıslatılması ve yayılması (Andersson ve dg., 2011).

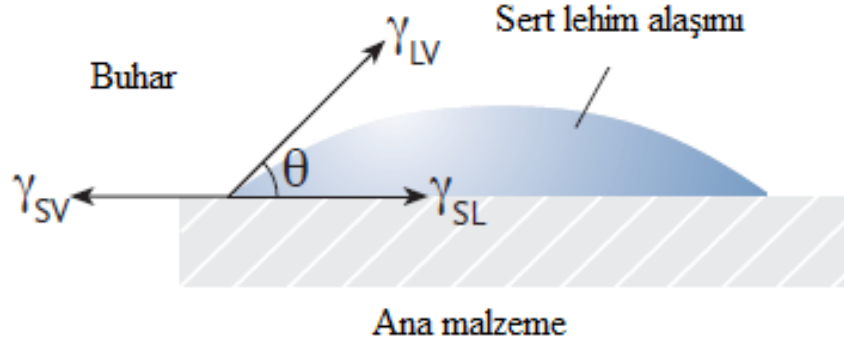
Islatan bir sıvının (lehimin) dar ve düşey bir aralıkta oluşturduğu hidrostatik basınca, kapiler basınç denilir. Sıvı lehim aynı anda iç parçasının iki yüzeyini ıslatırsa yapışma gerilmesi kapiler bir basınç oluşturur. Eğer yapışma gerilmesi biliniyorsa, birçok durumda kapiler basınç çeşitli lehim aralıkları için hesaplanabilir. Gümüş lehim alaşımı için, dolgu basıncının lehim ağzı genişliğine bağlılığı Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Şekile göre, artan lehim ağzı aralığı, kapiler basıncın azalmasına neden olmaktadır (Bodur, 1996).



Şekil 2.5 Aralık genişliğine bağlı olarak kapiler doldurma basıncı (Bodur, 1996)

Kapiler bağlantı aralığı, tasarım ve parça imalının en önemli unsurlarından biridir. Birçok lehim bağlantısı parçalar arasındaki aralığın çok geniş veya çok dar olması nedeniyle başarısızlığa uğrar.

Bir sert lehim alaşımı damlası üzerine etki eden yüzey kuvvetleri (gerilmeleri) Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Sert lehim alaşımı üzerinde etki eden yüzey gerilmeleri.

$\gamma_{SV}$ : katı/buhar arayüzeyinde yüzey gerilimi.

$\gamma_{LV}$ : sıvı/buhar arayüzeyinde yüzey gerilimi.

$\gamma_{SL}$ : katı/sıvı arayüzeyinde yüzey gerilimi. (Andersson ve dg., 2011)

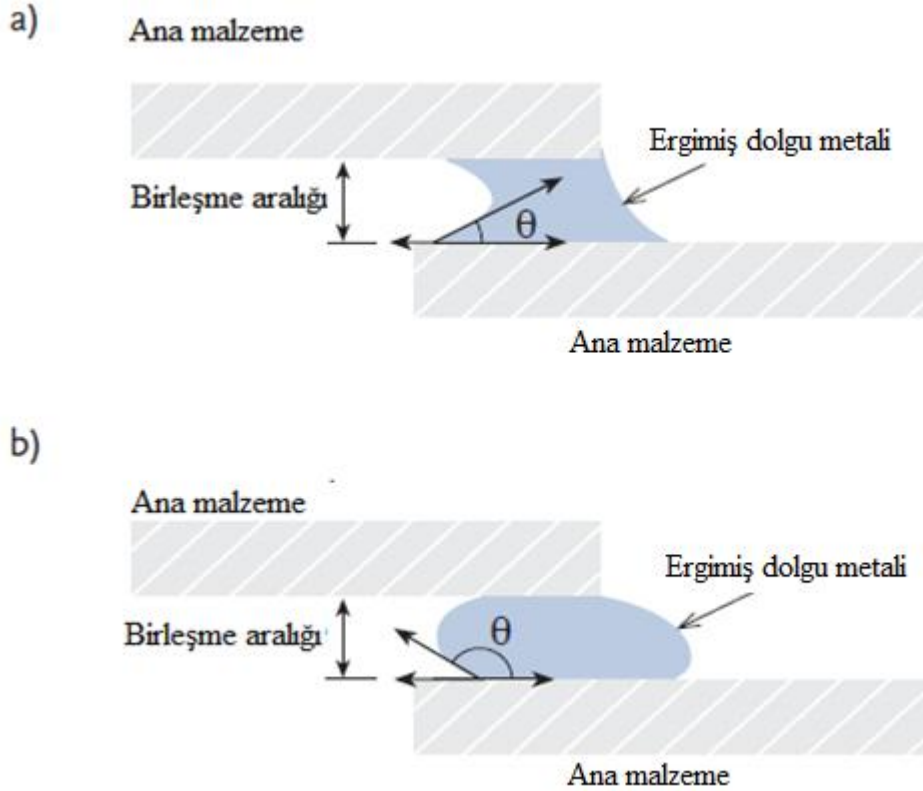
Islatma, Young denklemi olarak bilinen formülün kullanılmasıyla yüzey gerilmelerinin horizontal bileşenlerinin matematiksel olarak dengelenmesiyle analiz edilebilir.

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos\theta \quad (\text{Andersson ve dg., 2011}) \quad (1.1)$$

$\theta$  sabit açısı sıvılaşma kalitesinin ölçütünü verir. İyi bir ıslatma için ıslatma açısı olan  $\theta$ 'nın 90 dereceden oldukça küçük olması gerekir. İyi ıslatma ve düzgün bir birleşmenin oluşabilmesi için, pratik uygulamada  $\theta < 60^\circ$ 'dir. Denklem 1.1,  $\theta < 90^\circ$ 'nin ,  $\gamma_{SV} > \gamma_{SL}$  koşuluna uyduğunu göstermektedir.  $\theta$  açısının Daha iyi bir ıslatma ile sonuçlanan azalması şu şekilde sağlanabilir:

- $\gamma_{SV}$ 'nin arttırılmasıyla,
- $\gamma_{SL}$ 'nin azaltılmasıyla ve
- $\gamma_{LV}$ 'nin azaltılmasıyla.

Şekil 2.7, yukarıda anlatılanla sert lehimlemesinin uygulanmasını göstermektedir.  $\theta \leq 90^\circ$  olduğu zaman ıslatma vardır,  $\theta \geq 90^\circ$  olduğu zaman ıslatılma yoktur veya ıslatma azdır.



Şekil 2.7 Temas açısı ve yüzey gerilmesi arasındaki ilişki. a) iyi ıslatma. b) kötü ıslatma veya ıslatmanın olmaması (Ansersson ve dg., 2011)

Farklı metallerin ıslatma kabiliyeti aşağıda verilmiştir. (Schwartz, 2003)

▪ **Islatma kabiliyeti az olanlar:**

Titanyum, zirkonyum, seramikler, cam ve titanyum karbür

▪ **Islatma kabiliyeti uygun olanlar:**

Alüminyum, dökme demir, tungsten, tungsten karbür, molibden, tantal ve refrakter oksitler oluşturan metalleri %5'den fazla içeren alaşımlar.

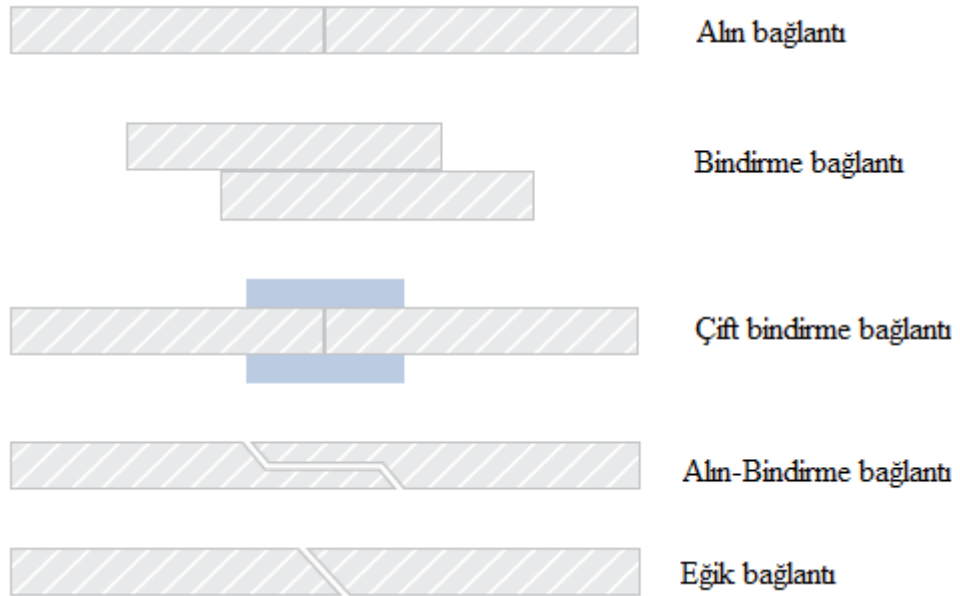
▪ **Islatma kabiliyeti iyi olanlar:**

Bakır, nikel, kobalt-alaşımları, çelikler ve değerli olan metaller.

## 2.5 Kaliteli Bir Sert Lehimin Tasarımı

Sert lehimleme bağlantısı, lehimlenecek parçaların tasarımında göz önüne alınmalıdır. Bağlantı konfigürasyonu, mekanik ve yorulma dirençlerinde, korozyon direncinde, termal ve elektriksel özelliklerde ve son montajın fiziksel görünümünde kritik bir rol oynar. Maliyeti verimli bir üretime kesinlikle önem verilmelidir.

Yaygın sert lehimleme bağlantılarının örnekleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir ve bağlantı türleri arasındaki bazı temel karşılaştırmalar Tablo 2.1’de görünmektedir.



Şekil 2.8 Sert lehimleme bağlantılarının örnekleri (Andersson ve dg., 2011)

Tablo 2.1 Farklı bağlantı şekillerinin özelliklerinin karşılaştırması (Andersson ve dg., 2011)

	<b>Alın bağlantı</b>	<b>Bindirme bağlantı</b>	<b>Alın-Bindirme Bağlantı</b>	<b>Eğik bağlantı</b>
<b>Bağlantı mukavemeti</b>	En düşük	İyi	Orta	Orta
<b>Monte etme kolaylığı</b>	Termik olarak uyumsuz malzemelerde zor olabilir.	Lehim alaşımının yerleştirilmesi kolaydır.	Bağlantının karmaşıklığına bağlı olarak fikstürleme gerekebilir.	Aralığı ve hızalamayı sabit tutmak için fikstürleme gereklidir.
<b>Avantajlar</b>	Düşük gerilim konsantrasyonu ve Malzemenin sabit kalınlığı	Yük, çekme gerilmesinden ziyade, kaymaya neden olur.	Sabit kalınlık. Lehim alaşımının yerleştirilmesi kontrol edilebilir. Gerilim konsantrasyonu olan noktalar kontrol edilebilir.	Sabit kalınlık. Yükleme kapasitesi alın ve bindirme bağlantılarının arasındadır.
<b>Dezavantajlar</b>	Yükleme, çekme gerilmesine neden olur.	Sabit olmayan kalınlık. Bindirmenin köşelerinde gerilim yoğunluğu vardır.	Talaşlı imalat ve daha fazla hazırlığa ihtiyaç vardır. Fikstürlemeye ihtiyaç olabilir.	Genelde fikstürlemeye ihtiyaç vardır.

**Alın bağlantı:** Mevcut bağlantı alanı ne kadar küçükse bağlantının gücü de o kadar düşük olur. Bir alın bağlantısında, mevcut bulunan bağlantı yüzeyleri sadece birleştirilen parçaların çapraz kesit alanıdır ve bu yüzden bağlantının gücü sınırlıdır.

Bu konfigürasyonun en önemli avantajı düz sınırlar ve temiz görünümüdür. Majör dezavantajı ise düşük mukavemetli olmasıdır. Bu da söz konusu konfigürasyonu oldukça az kullanılır hale getirmektedir.

**Bindirme bağlantı:** İsminden de anlaşılacağı gibi, parçalar büyük bir bağlantı alanı oluşturacak şekilde üst üste binerler ama montajın toplam kalınlığında bir değişiklik oluştururlar. Lehim alaşımının yerleştirilmesi bu konfigürasyonda kolaydır ve birleşmenin yönü lehimleme işlemi sırasında, parçaların birbirlerine göre hareket etmemesini sağlayacak şekilde daima kontrol edilebilir. Bindirme bağlantılar ya tek bindirme ya da çift bindirme şeklindedir.

**Alın/Bindirme bağlantı:** Alın/bindirme bağlantı, alın bağlantısı ve bindirme bağlantısının kombinasyonudur. Temas yüzeyi arttığı için, daha büyük bir mekanik güç (mukavemet) sağlanır. Profil, gerilim konsantrasyonunu minimize eder ve böylece çatlak başlangıcı riskini azaltır. Ancak ek hazırlık, temizleme ve ayar basamakları üretim maliyetini artırır.

**Eğik bağlantı:**Eğik bağlantılar, düz bağlantını düzgün yüzeyi ile bindirme bağlantısının artmış mukavemetini kombine eder. Eğik bir bağlantıda temas yüzeyleri, temas yüzey alanını arttıracak şekilde ayarlanır. Eğik bağlantılarda, bağlantının kesit alanı daha büyük olduğu için, yük taşıma kapasitesi daha yüksektir.

Bağlantı aralığı yüksek mukavemette bir bağlantının kurulması için büyük önem taşır. Bağlantı aralığının azalmasıyla bağlantı mukavemeti genellikle artar. Tablo 2.2, oda sıcaklığında çeşitli lehim alaşım sistemleri için bağlantı aralıkları ile ilgili yaklaşık önerileri sunmaktadır. Tablo 2.2'deki aralıklar, öneridir. Çünkü bağlantı aralıkları geometri, bağlantı uzunluğu, spesifik alaşım bileşimi gibi durumlara bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 2.2 Farklı lehim malzemeleri için tercih edilen aralıklar (ASM Handbook6, 1993)

<b>Lehimleme dolgu alaşımı</b>	<b>Bağlantı aralığı, mm</b>
Al-Si Alaşımları	0.15-0.61
Mg Alaşımları	0.10-0.25
Cu alaşımları	0.00-0.05
Cu-P	0.03-0.13
Cu-Zn	0.05-0.13
Ag Alaşımları	0.05-0.13
Au Alaşımları	0.03-0.13
Ni-P Alaşımları	0.00-0.03
Ni-Cr Alaşımları	0.03-0.61
Pd Alaşımları	0.03-0.10

Lehimin başarısını etkileyen çok sayıda başka faktör vardır. Örneğin: lehim alaşımının viskozitesi ve özgül ağırlığı, dolgu metalinin ana metallere alaşım yapma eğilimi, bağlantı uzunluğu, lehimleme sıcaklığı ve baz metal reaksiyonları (Shwartz, 2003 ve ASM Handbook6, 1993).

Çekme gerilmesine maruz kalan, profesyonel ve başarılı bir şekilde lehimlenen parçanın mukavemetine, bağlantı değil ana malzemenin mukavemeti karar verecektir. Çökme sertleştirme alaşımının çubuklarına yapılan çekme testleri bunu kanıtlamıştır. Testler lehimleme koşullarıyla aynı koşullarda ve ek yaşlandırmadan sonra yapılmıştır. Lehimlenen çubukların çekme gerilmesine karşı dayanımı, yaşlandırma sonrasında ciddi bir şekilde artmaktadır. Bu durum, bağlantının toplam mukavemet için kısıtlayıcı faktör olmadığını göstermektedir.

## 2.6 Lehim Alaşımı

Genellikle dolgu metali adı verilen lehim alaşımı, bağlanacak iki parça arasındaki boşluğu doldurmak için kullanılan malzemedir. Etkili bir bağlantının oluşturulması için lehim alaşımının ıslatması, yayılması ve yüzeyle metalürjik olarak sürekli bir şekilde bağlantının içine çekilmesi gerekmektedir. Bu alaşımın bir kısmı ana malzemede çözünürse veya reaksiyona girerse, bu durum alaşımlama olarak adlandırılır. Erimiş lehim alaşımı baz (ana) metali çözerek etkili bir bağ oluşturur. Yada lehim alaşımı ve ana metaller metalürjik bir şekilde etkileşime girerek intermetalikler veya çökeltiler oluştururlar. Bu etkilerden herhangi biri normalde güçlü bir bağlantı kurulmasına katkıda bulunur. Bazen lehim alaşımı, baz metal ve atmosfer arasındaki reaksiyonlara bağlı olarak, kırılğan intermetalikler oluşabilir. İstenmeyen çökeltilerin oluşma riski, lehimleme sıcaklığında geçen sürenin artmasıyla artar. (Shwartz, 2003)

Lehim alaşımı, toz, folyo, pasta ve katı metal formları gibi çeşitli şekillerde bulunabilir. Pasta, bir çözücü içindeki lehim alaşımı tozunun bağlayıcı süspansiyon karışımıdır ve kolay bulunma ve düşük maliyet gibi sebeplerden dolayı yaygın bir şekilde kullanılır. Lehim alaşımı formları, halka, levha, saç ve tel gibi katı formlardır. Pastalardan daha temiz bir uygulama sağlarlar ve daha az zahmetlidirler. Ancak lehim yerine yerleştirilmeleri zor olabilir. Lehim alaşımlarının çeşitleri ve özellikleri Tablo 2.3'te gösterilmiştir.



Tablo 2.3 Lehim alaşımlarının esitleri ve zellikleri (ASM Handbook6, 1993)

Lehim Alaşımı	AWS İsimi	Lehimleme Sıcaklığı (°C)	Birleştirdiği Ana Malzemeler
Al-Si, Ötektik	BAlSi	555 - 645	Alüminyum-Alüminyum; elik-Alüminyum; Alüminyum-Berilyum.
Cu-X, Katı özelti	BCu	1095 - 1150	Bakır-Bakır Alaşımları;
Cu-Zn, Peritektik	RBCuZn	910 - 980	Bakır-Düşük Karbonlu elik; Bakır-Paslanmaz elik,; esitli Demirli Metallerin Kombinasyonu.
Cu-P, Ötektik	BCuP	690 - 925	Bakır-Bakır; Bakır-Gümüş.
Cu-Ag, Ötektik	BAg	620 – 980	Demirli ve Demirdışı Metallerin oğunluğu (Alüminyum ve Magnezyum Hariç).
(Ni/Fe+Cr)-Si-B	BNi	930 - 1205	AISI 300 ve 400 Serisi elikler; Nikel ve Kobalt Temelli Üstün Alaşımlar; Karbonlu elikler; Düşük Alaşımlı elikler; Bakır
(Ni, Pd)-Si-B	Yok		AISI 300 Serisi Paslanmaz elikler; Üstün Alaşımlar; Kaynaşık Karbürler.
(Co-Cr)-Si-B	BCo	1175 – 1245	Kobalt Temelli, Isıya Dayanıklđ ve Korozyona Dayanıklđ Üstün Alaşımlar.
Au-Ni, Katı özelti	BAu	890 - 1230	Ni Temelli Isıl Dirençli Alaşımlar; elikler.
Cu-(Ti,Zr)-Ni	Yok		Ti/Zr Temelli Alaşımlar

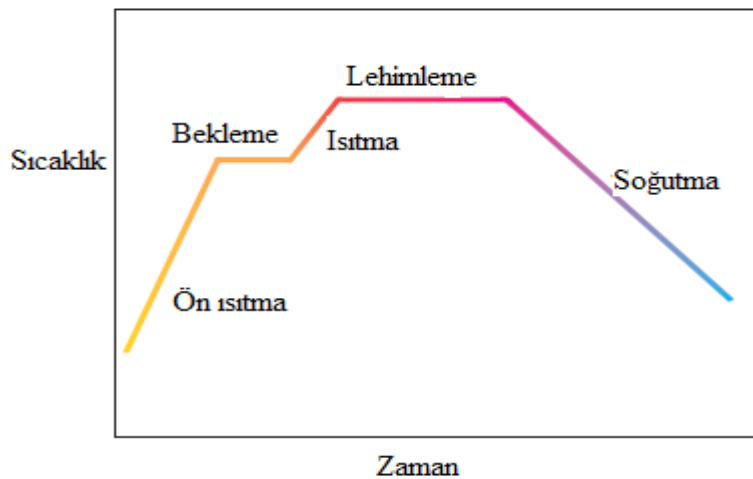
## 2.7 Temizlik

Islatma işlemi, yüzey oksitlerinin varlığından, kir ve yağ gibi safsızlıklardan olumsuz şekilde etkilenir. Kötü temizlik, ıslatmanın olmamasıyla, tam dolmayan bağlantılarla ve düşük bağlantı mukavemeti ile sonuçlanır. Fırın atmosferi, hidrojen gibi redüktan gazları yeterli miktarda integre ederek yüzey oksidasyonunu sınırlı miktarda azaltabilir. Ancak lehim fırınının, özellikle de vakumlu bir fırının temizleyici olarak kullanılması önerilmez. Bu durumda, buharlaşan kir fırının soğuk kısımları üzerinde kondanse olur ve fırında işlevsellik sorunları çıkartır.

Mekanik temizlik tel fırçayla fırçalayarak ya da püskürtmeyle yapılır. Taşlama veya talaşlı imalat için, taşlama sıvılarını uzaklaştıracak kimyasal temizlik uygulanması gerekir. Kimyasal temizlik yöntemleri, yüzeyde bulunması olası olan yüzey safsızlıklarının tipine göre belirlenir. Yağ çıkartıcılar, kesme yağlarından hidrokarbon birikintilerini uzaklaştırırken, sulu temizleyiciler su bazlı talaşlı imalat sıvılarını uzaklaştırırlar. (Shwartz, 2003)

## 2.8 Lehimlemenin Termal Döngüsü

Tipik bir lehimleme işlemi çevrimi Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, ön ısıtma, bekleme, lehim sıcaklığına çıkarma, lehimleme, soğutma ve çıkıştan oluşur.



Şekil 2.9 Lehimlemenin termal döngüsü (Andersson ve dg., 2011)

Ön ısıtma ve bekleme – Ön ısıtma, daha düşük değerlerde dolgu metalinin katıldığı bir sıcaklık değerine kadar yapılır. Parça kalınlığı ve fiyestür miktarı ön ısıtma ve bekleme süresini belirler.

Lehim sıcaklığına yükseltme – Parçalar hızlı ama uniform bir şekilde ısıtılmalıdır. Isıtma hızı, termal gerilme oluşumuna bağılı şekil bozukluğu yaratma riskiyle sınırlandırılır. Karmaşık geometrileri, büyük boyutları, boyutlarında büyük farklılıkları olan veya çatlağı hassas parçalarda birden fazla bekleme aşaması ve ilişkili kademeli sıcaklık yükseltmesi gerekebilir.

Lehimleme – Lehimleme süresi, lehim alaşımının bağlantı boyunca akmasına izin verecek minimum bir süre olmalıdır. Sağlam bir bağlantı oluşturmak için genelde 1 veya 2 dk yeterlidir. Teorik ön görümler ve ayrıca gerçek ölçümler, ergimiş lehim alaşımının bağlantıyı doldurmasının hemen hemen 0.1 saniye kadar kısa bir süre içinde gerçekleştiğini göstermektedir (Humpston ve Jacobson, 1993). Uzamış işlem (lehimleme) süreleri dolgu ve baz metalleri arasında aşırı etkileşimlere, tane büyümesine ve yeniden kristalleşmeye sebep olabilir. Ancak bazı durumlarda uzamış işlem süreleri yararlı da olabilmektedir.

Soğutma ve çıkış – Kontrollü bir soğutma bağlantının sıhhatli katılmasına imkan verir. Çelikler için koruyucu bir atmosferde yaklaşık 150 °C'ye kadar bir sıcaklığı soğutma, fırından çıkan parçaların renk değışikliğini önleyecektir.

## BÖLÜM ÜÇ

### FIRINDA SERT LEHİMLEME

#### 3.1 Fırında Lehimlemenin Avantajları ve Dezavantajları

Fırında sert lehimleme işleminin avantajları ve dezavantajları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Fırında sert lehimlemenin avantajları ve dezavantajları (Andersson ve dg., 2011)

Avantajlar	Dezavantajlar
<ul style="list-style-type: none"><li>• Karmaşık ve çok bağlantılı parçaların birleştirilmesi için ekonomiktir.</li><li>• İşlem hakkında yeterli bilgi olduğunda ve ticari ekipmanlar kullandığında, yüksek üretim hızı elde edilebilir.</li><li>• Benzer olmayan malzemeler birleştirilebilir.</li><li>• Değişen kalınlık ve kesiti olan malzemeler birleştirilebilir.</li><li>• Karmaşık geometrisi olan bağlantılar ve çok aşamalı birleştirme işlemleri tasarlanabilir.</li><li>• Yüksek kaliteli bağlantılar elde edilebilir.</li><li>• Sert lehimleme ile ısı işlemler aynı anda yapılabilir.</li><li>• El kitaplarından işlem hakkında yeterli bilgi edinmek mümkündür.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Isıl işlem veya soğuk işlemle setleştirilen ana malzeme, sert lehimleme esnasında özelliklerini kaybedebilir.</li><li>• Parçaların birleştirme aralığı, bağlantı sertliğini etkilemektedir. Bu yüzden aralığın kontrolü çok önemlidir.</li><li>• Parçaların yönü ve aralığı, ısınma, birleşme ve soğutma esnasında değişmemelidir.</li><li>• Düşük üretim miktarı ekonomik olmayabilir.</li><li>• Birleşmenin mekanik özelliklerinin hesaplanması zor olabilir.</li></ul>

### 3.2 Fırın Seçimi

Bir firma fırın satın alırken veya ticari bir lehimleme firması ararken ürünün, malzeme gereksinimlerinin, ürün hacimlerinin ve fırın programlanmasının tam olarak bilinmesi hayati önem taşır.

Ana malzemenin ve dolgu alaşımının sıcaklık ve atmosfer açısından işlem gereksinimleri fırın seçiminin en kritik yönüdür. Oksijen, azot ve hidrojen tolere edilemiyorsa, vakum ortamında işlem en yüksek kaliteyi sağlar. Örneğin seramikler ve reaktif metaller, titanyum, molibden, vanadyum ve berilyum oksijen içermeyen argon veya helyum asıl gazı atmosferinde veya vakumda işleme tabi tutulmalıdır.

Ürün hakkında önemli bilgiler, ağırlık ve ürün şeklini içerir. Diğer bilgiler parçaların sert lehimleme bölümüne seri halde gelip gelmediği, sürekli üretim hattının bir parçası olarak lehimlenip lehimlenmeyeceğidir. Sürekli ekipmanlar, atmosfer ve sıcaklıkta biraz esneklik sağlar. Seri ekipmanlar için, sadece birkaç parça yüklenmiş olsa bile bütün fırının işlem döngüsüne katılması gerekir. Standardize edilmiş yükler bekleniyorsa ve fırın tüm zamanların en az %50'sinde aktif olarak lehimleme yapmayacaksa seri üretim iyi bir seçim olabilir. Sürekli bir fırına parçaları sokup çıkarmak için sürekli olarak bir operatör bulunmalıdır. Alev alabilen gazlar kullanılıyorsa operatör daima bulunmalı ve başka işlerle ilgilenmemelidir.

Malzeme vakum kullanılmasını gerektirmiyorsa, o zaman seri ve sürekli atmosfer fırınları düşük maliyetli bir çözüm sunar. Her tesis, hangi fırının en iyi işletim maliyeti sunduğunu belirlemelidir. Kullanım maliyeti yüksek veya kısıtlıysa seri ekipman ciddi avantaj sunabilir. Vakum ekipmanının güvenilirliği son yıllarda artmıştır ve güncel ekipmanlar artık kurulumu, programlanması ve bakımı kolay ekipmanlardır ve bu da işletim maliyetini düşürmektedir. Vakum lehimleme ayrıca, elektrik ve gaz gibi kullanımlar için düşük çalışma maliyetleri sunar.

### 3.3 Fırın Tipleri

Sert lehimleme fırınları genelde sürekli, yığın ve vakum fırınları olarak sınıflandırılırlar.

### 3.3.1 Sürekli Fırın Atmosferinde Sert Lehimleme

Sürekli lehimleme, gelen parçaların düzenli bir akışıyla üretim için uygundur. Parçalar fırın içine hareket etmelidir. Genellikle örgülü tel, ray veya itici fırınlar kullanılır. Fırın, atmosfer kontrolünü sağlamak ve yalıtım içinde kalan kirlilik miktarını minimize etmek için tuğla veya metalik bir kaplama ile kaplanmıştır. Sürekli fırın, sabit parça kalitesi sağlar, malzeme akımını üretime kolaylıkla ekler ve otomasyon için kolaylıkla uyarlanabilir. Şekil 3.1, örgülü bir tel üzerinde sürekli bir atmosfere giren parçaları ve Şekil 3.2 tipik bir küçük örgülü tel fırını göstermektedir.



Şekil 3.1 örgülü bir tel üzerinde sürekli bir atmosfere giren parçalar  
(Andersson ve dg., 2011)

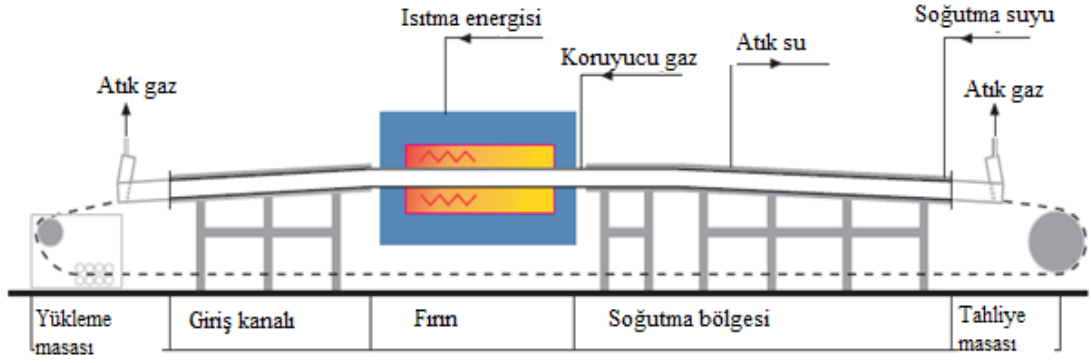


Şekil 3.2 tipik bir küçük örgülü tel fırını (Andersson ve dg., 2011)

Sürekli fırında lehimlenecek parçalar konveyör üzerinde taşınır. Sıcaklık profili bu mekanizmanın hızı ile belirlenir. Hızlı bir ısıtma için, fırının giriş kısmındaki ısı girişi yüksek olmalıdır. Gevrekleşmeye neden olan çökelti ve intermetalik oluşumunu engellemek için, lehimleme sıcaklığında kısa bir beklemeden sonra, yeterince hızlı katılma için soğutma yapılmalıdır. Fırının soğutma bölümü parçaların yeterince düşük sıcaklığa inmelerine yetecek kadar uzun olmalıdır. Bu sıcaklık çelikler için genellikle 150 °C civarındadır.

Termal profil fırın tasarlanırken belirlenir. Isınmaya kadar geçen süre ile lehimleme sıcaklığında geçen sürenin oranı sabittir.

Parçalar çok yüksek sıcaklık uygulamaları için genellikle metalden veya karbon kompozitinden yapılmış örgülü bir tel üzerinde taşınır. Kambur fırınlar (Şekil 3.3) bunun istisnasıdır. Kambur fırındaki ray bir eğime veya rampaya doğru çıkar, yüksek sıcaklık bölümünde düzleşir ve sonra soğutma bölümü boyunca aşağıya iner. Bu özgün profil, kambur fırına ismini vermektedir. Hidrojen gazının düşük yoğunluğu, bu fırının yükselen bölümünde hidrojenin birikmesine izin vererek hidrojen tüketimini azaltır. Hidrojen işleme bölümünde ürün giriş çıkışının sebep olduğu hava girişine bağlı bozuklukları engellemek için girişte ve çıkışta azot verilir.



Sekil 3.3 Bir sürekli kambur fırınının şematik görünümü (Andersson ve dg., 2011)

### 3.3.2 Yığın Fırın Atmosferinde Sert Lehimleme

İsminden de anlaşılacağı gibi, yerleştirilecek olan parçalar ayrı ayrı işlenir. Parçaların fırın içine ne şekilde yerleştirildiğine bağlı olarak kuyu fırın (üstten doldurulur), çan fırın (alttan doldurulur), kutu veya retort fırınlar (yandan doldurulur, şekil 3.4) olarak adlandırılırlar. Sürekli fırınlarda olduğu gibi, yığın fırındada atmosferi yalıtılmak ve potansiyel kirlilikten izole etmek için metalik bir kaplama kullanılır. Bu kaplama, iç kaplama olarak adlandırılır.



Şekil 3.4 Yandan yüklemeli bir yığın fırın (Andersson ve dg., 2011)

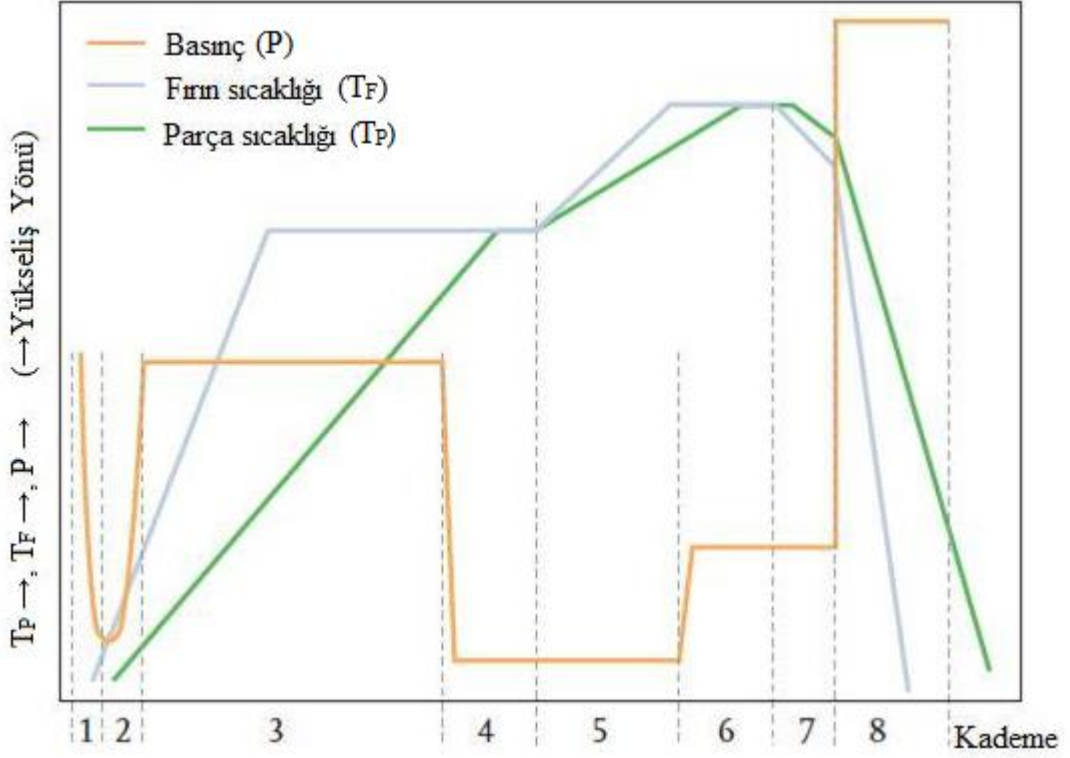


Yığın fırınlarda işlem, ön ısıtma, lehimle sıcaklığına yükseltme, lehimleme ve soğutma kademelerinden oluşmaktadır.

1. **Kademe:** Parçaların yerleştirilmesi
2. **Kademe:**Yüzey kirliliğın atılması ve fırına yerleştirilmiş olan parçaların homojen bir sıcaklığa ulaşması için, parçalar ortalama sıcaklık değeriinde ısıtılır.
3. **Kademe:** İnert atmosferde işlem yapılacaksa gazlar bu aşamada verilebilir. Tutuşabilen bir gaz kullanılacaksa, tutuşabilen gazdan önce, fırına inert bir gaz verilir.
4. **Kademe:** Fırın sıcaklığı lehimleme sıcaklığına kadar çıkmak için sıcaklık yükselecek, ayarlanmış lehimleme sıcaklığında duracak ve daha sonra parçayı soğutmak için sıcaklık düşecektir. Soğuma esnasında, tutuşabilen gazlar güvenlik için fırından tahliye edilmelidir.
5. **Kademe:** Parça, renk değışikliğıne sebep olacak sıcaklığın altına indiğı zaman fırından çıkarılır.

### ***3.3.3 Vakumlu Fırında Sert Lehimleme***

Vakumda lehimleme genellikle oksijen, azot ve diğeri gazlarla kolay reaksiyona giren metal ve alaşımların birleştirilmesi için ve dekapan veya diğeri safsızlıkları tolere edemeyen parçalar için uygulanır. Bu tür parçaların atmosfer ortamında lehimlenmeleri hemen hemen imkansızdır. Vakum lehimlemedeki adımlar Şekil 3.5'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Vakumda sert lehimlemede sıcaklık ve basınç döngüleri (Andersson ve dg., 2011)

**Birinci Kademe:** Parça fırına yerleştirilir. Vakum pompası, parça ile birlikte fırına giren havanın büyük kısmını tahliye eder. Başka bir pompa (örneğin difüzyon pompası) basıncı daha da düşürür.

**İkinci Kademe:** Fırına inert gaz verilir ve konvektif ısınmayı arttırmak için (fırının fanlı olduğunu varsayarak) 0.9 – 1.5 bar arasında bir basınca çıkartılır. Fırında fan yoksa basınç düşük bir değerde tutulur. Bu durumda ısınma, sadece radyasyon yoluyla olacaktır.

**Üçüncü Kademe:** Parçanın ısınması başlar. Isıtma hızı, şekil bozukluğunu önlemek için parçaların uniform (parçaların her tarafı, mümkünse tüm kesiti aynı anda aynı sıcaklıkta olacak) şekilde ısınmasına izin vermelidir. Parçalar bir süre dolgu alaşımının katılma sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta tutulur. Böylece parçanın 5.kademeğe geçmeden önce homojen bir şekilde ısınması sağlanır.

**Dördüncü Kademe:** Bekletme süresinin sonunda düşük bir basınç oluşturmak üzere vakum pompası çalıştırılır. Bu, atmosferdeki oksijen kısmi basıncını düşürmek ve buharlaşan lehimleme macunu ve parçalar üzerindeki kirden kaynaklanan bütün uçucu maddeleri fırın ortamından uzaklaştırmak içindir.

**Beşinci Kademe:** Fırın sıcaklığı lehimleme sıcaklığına yükseltilir. Lehim alaşımı erimeye başlar ve bağlantıya çekilir.

**Altıncı Kademe:** Ana metal, buharlaşma eğilimindeki elementleri alaşımlıyorsa basınç arttırılır. Lehimleme sıcaklığında ıslatma süresi, parçanın tamamındaki tüm lehim alaşımının ergimesini sağlamaya yetecek kadar uzun olmalıdır. Çok uzun bir bekletme süresi kırılabilirliğe yol açabilir. Alaşım bağlantısının özellikleri, son sıcaklıkta geçirilen süreden etkilenir. Tane büyümesi, alaşımın tane sınırları boyunca penetrasyonu, intermetalik bileşiklerin, karbürlerin çökmesi ve alaşımlama elementlerinin difüzyonu dikkate alınmalıdır. Amaç bağlantıyı daha sonraki bir işlemde yeniden lehimlemek ise, dolgu alaşımındaki düşük ergime sıcaklığına sahip elementlerin ana malzemeye difüze olmasına izin vermek için lehimleme sıcaklığında daha uzun bir süre geçirilmesi gerekir.

**Yedinci Kademe:** Bu kademedeki sıcaklık, bütün lehim alaşımı katılaşıncaya kadar düşürülür.

**Sekizinci Kademe:** Oda sıcaklığına kadar hızlı soğutma, normalde fırının içine belirlenmiş yüksek bir basınca kadar inert gaz verilerek yapılır. 1-6 bar basınçtaki azot yaygın olarak kullanılır. Yüksek soğutma kapasiteleri için 10 bar ve daha yüksek basınçlı fırınlar geliştirilmiştir.

Vakumda, temel olarak buharlaşmadan kaynaklanan bir “temizleme” etkisi vardır. Belli bir elementin belli sıcaklıktaki buhar basıncı veya kısmi basıncı vakum basıncından yüksekse bu durumda element buharlaşır. Bu, büyük ölçüde faydalı bir etkidir, çünkü bu sırada metal parçalarda kalan kir ve oksitler buharlaşacaktır. Dolayısıyla vakum lehimleme işleminden sonra fırından çıkan parçalar, girişte olduğundan daha temizdir. Buharlaşmanın ve gaz gidermenin önemli bir etkisi, lehim

bağlantılarının gözeneksiz olmasıdır. Bazı durumlarda, ana metal buharlaşırsa buharlaşma olumsuz olabilir. Artan basınçla çalışmak bu etkiye karşı koyabilir. Bu ayrıca, daha iyi bir temizleme etkisi de sağlar.

Vakum atmosferlerde en yaygın kirletici maddeler oksijen, su ve hidrokarbonlardır. Oksijen, havayla veya yüzey oksitlerin ayrışmasından gelebilir. Su genellikle, suyla soğutulan ısı değişim sisteminden (eşanjörden) istemeden girer. Su kirliliği, başlangıçta iğne deliği kadar olan ama sonra basınç etkisiyle büyüyen deliklerden gerçekleşir. Su, bazen, tam olarak kurutulmamış parçalardan da gelebilir. En yüksek kalitedeki vakum koşullarının sağlanabilmesi için kullanım esnasında vakum fırınlarında tüm kapıların kapalı olması ve nem ve hava sızdırmasını önlemek için vakum altında tutulması gerekir. Lehimlenen parçaların renk değişikliğinin sebebi, artık hidrokarbonlar veya düzgün şekilde temizlenmemiş parçalardan kaynaklanan hidrokarbonlar da olabilir.

Lehimlenen parçaların renk değişikliği sebebiyle gerektiği zaman ve düzenli bir kalite kontrol için sızıntı/kaçak testi yapılmalıdır. Bu test için helyum veya düşük maliyetli alternatif hidrojen/azot karışımları kullanılır. Uygulanan prensip, helyum veya azot/hidrojen gazının vakum fırınının dış tarafındaki kapaklar çevresine püskürtülmesi ve vakum pompasının çıkışına bir He veya H<sub>2</sub> sensörünün yerleştirilmesidir. Vakumda sert lehimleme fırınlarının bazı örnekleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.6 Sert lehimleme için solda yığın vakum fırını, sağda Argon mahzeni görünmektedir. (Andersson ve dg., 2011)



Şekil 3.7 Sert lehimleme için yığın vakum fırını. Ağır parçalar için fırının yukarısındaki raylar kullanılır. (Anderssonvedg., 2011)

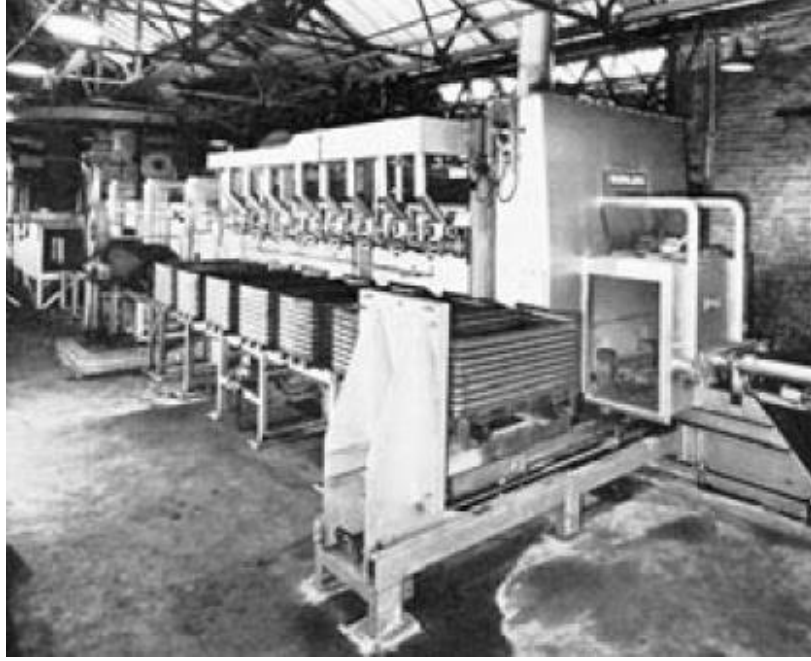
Tablo 3.2’de fırın çeşitlerinin birbiriyle karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 3.2 Korumalı atmosfer fırınları ve vakum fırınlarının karşılaştırılması (Andersson ve dg., 2011)

<b>Karakteristik</b>	<b>Sürekli fırın</b>	<b>Yığın fırın</b>	<b>Vakum fırın</b>
Operatör gerekliliği	Örgülü tel veya raylar üzerine parçaları yerleştirmek ve almak için gerekli	Parçaları fırına yerleştirip ve almak için gerekli. Hidrijen kullanılıyorsa fırın başında beklemelidir.	Parçaları fırına yerleştirip ve almak için gerekli. Hidrijen kullanılıyorsa fırın başında beklemelidir.
Maliyet	Orta – Yüksek	Orta	Yüksek
İndirgeyici atmosfer yaratma kabiliyeti	Evet	Evet	Çözünmeile
Oksitleyici atmosfer yaratma ihtimali	Evet	Evet	Hayır
Atmosfer sorunları	CO emisyonu ve sıcaklık fazlalığı	CO emisyonu ve sıcaklık fazlalığı	Vakum pompasının yağ buharlarının emisyonu
Büyük ve kompleks parçalar için kullanım kabiliyeti	Zor	Evet	Evet
Kapatılma ve boşta çalışma kabiliyeti	Fırın boş olduğunda boşta çalışabilir.	Evet ama genelde sabit sıcaklıkta.	Evet. Tamamen kapatılabilir.
Ürün temizliği	Temiz	Temiz	Çok temiz

### 3.3.4 İtici Fırınlar

İtici fırınlar (şekil 3.8) genellikle sürekli fırınlara benzerler. Sürekli fırınların açık ağızları ve parçaları üzerine yerleştirmek için bir hareketli bandı varken, itici fırın ise, fırın ısıtma odasına girişin hemen bitişiğinde bir temizleme odası ve çıkışta da ikinci bir temizleme odasına sahiptir.



Şekil 3.8 Tek yönlü "itici" fırın (Boughton ve Roberts, 1973)

Lehimlenecek parçalar ısıya dayanıklı metal tablolara yüklenir. Bu tablalar, fırın yolunun kenarında ve aynı seviyede olan bir platform üzerine yerleştirilir ve sonra fırın işlemi başlatılır. İşlemin başlangıcında, temizleme odasının dış kapısı açılır, yüklü tablaya uyumlu bir hidrolik kol, tablayı temizleme odasının içine iter, kapı kapanır ve temizleme icra edilir. Temizleme işlemi tamamlandığında, temizleme odası ile fırın arasındaki kapı açılır, ikinci bir hidrolik kol tablayı fırının girişine doğru iter ve kapı kapanır. Daha sonra fırın işlemi otomatik olarak, dolu tablaların temizleme odasına itilmesiyle ve temizlenmiş parçaların fırına kabulüyle devam eder. Fırın kapısı her açıldığında ve yeni bir tabla fırının ağızına doğru itildiğinde, fırının içinde bulunan tüm diğer tablalar, fırın yükünü oluşturan tek bir tablanın boyuna eşit bir mesafede ileri doğru itilirler.

Fırından çıkışta, süreç biraz farklıdır. Bu durumda, fırın odasının çıkışında genellikle bir kapı yoktur, sadece temizleme odasının yanında bir kapı vardır. Tablalar fırından, fırının öbür ucundaki yükleme kolunu çalıştıran aynı elektrik sinyali tarafından aktive edilen, bir hidrolik kol aracılığıyla çıkarılır. Bu şekilde, lehimlenmemiş parçayla dolu her bir tabla temizleme odasına yüklendiğinde, fırının çıkışında lehimlenmiş parçayla dolu bir tabla çıkartılır. (Boughton ve Roberts, 1973)

Fırının toplam uzunluğu doğal olarak, parçaları içerisine taşımak için kullanılan tablaların bir tanesinin boyunun sayısı ile çarpımına eşittir ve böylece parçaları fırından çıkaran hidrolik kol tablanın ortasıyla ilişkili olarak çalışmaktadır.

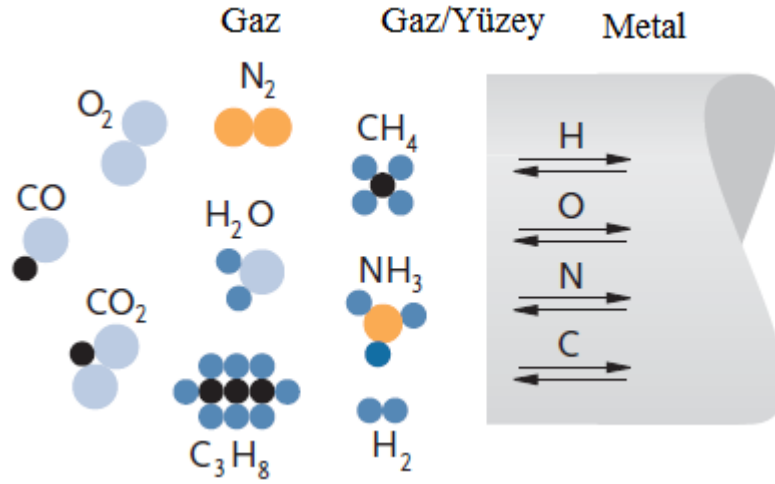
Bir fırınla lehimleme problemine bu yaklaşım biçimini kullanarak, genellikle açık uçlu sürekli fırınlarda elde edilen lehimli parça sayısı düşük de olsa, açık uçlu sürekli fırınlarda mümkün olandan çok daha iyi bir şekilde fırın atmosferinin kalitesi kontrol edilebilir.

### **3.4 Fırın Atmosferi Yapısı**

#### **3.4.1 Fonksiyon ve Bileşim**

Oksidasyonun, karbürleşmenin, dekarbürizasyonun ve nitrürleşmenin önlenmesi için atmosferin hem ana malzeme hem de lehim alaşımı açısından nötr olması gerekir. nötralite, metal/alaşım ile oksijen (O) ve karbon (C) elementleri arasında reaksiyonların olmaması anlamına gelir. Belirli durumlarda azot ve hidrojen elementleriyle olan reaksiyonlar dikkate alınmalıdır. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi, bu dört element fırın atmosferinde gaz molekülleri olan oksijen ( $O_2$ ), hidrojen ( $H_2$ ), ve azot ( $N_2$ ) şeklinde bulunabilirler ama karbon dioksit ( $CO_2$ ), karbon monoksit (CO) ve su buharı ( $H_2O$ ) gibi gaz moleküllerinin elementleri olarak bulunmaları tercih edilir. Endüstri pratiğinde doğrudan atmosferdeki  $O_2$  ve C konsantrasyonlarını analiz etmek yerine CO,  $CO_2$  ve  $H_2O$  gibi multimoleküler grupların konsantrasyonlarını analiz ve kontrol etmek daha kolay ve daha güvenilirdir.





Şekil 3.9 Atmosfer ve metal arasındaki etkileşim (Andersson ve dg., 2011)

Fırın atmosferi temel olarak iki majör bölüme, nötral bir gaza ve aktif bir gaza ayrılır. Nötral gaz genellikle azottur ve aktif gaz CO, H<sub>2</sub> ve hidrokarbon (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) gaz gruplarından bir veya birkaç tanesinden oluşur. Tablo 3.3'te görüldüğü gibi, hidrojenin redüktan yani indirgeyici etkisi su buharına bağlı oksitleyici etkiyle dengelenmektedir. CO'nun indirgeyici ve karbürleyici etkisi CO<sub>2</sub>'nin oksitleyici ve dekarbürize edici etkisiyle dengelenir. Oksitleyici ve indirgeyici veya karbürleyici ve dekarbürize edici gruplar arasında sabit bir dengenin sürdürülmesiyle atmosfer kontrolünün sağlanabilmesi mümkündür.

Tablo 3.3 Atmosfer bileşenlerinin etkileri (Andersson ve dg., 2011)

Aktif Gaz	Aktif Gaz	Aktif Gaz	Aktif Gaz	Nötral Veya İnert gaz
İndirgeyici	Oksitleyici	Karbürleyici	Dekarbürleyici	
H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>
CO	CO <sub>2</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	CO <sub>2</sub>	Ar
	O <sub>2</sub>		O <sub>2</sub>	He

Atmosferin inert veya nötral kısmı (azot veya argon):

(Azot inert gaz değildir. Ancak çelik ve bakır alaşımları gibi bazı malzemeler için inert gaz olarak alınabilir. Sayfa 32, 1. Paragraf)

- Oksijen veya diğer bozucu gazları dışarı atmalıdır.
- Fırının içinde aşırı bir basınç (pozitif basınç) oluşturarak fırına hava girişini elimine etmelidir.
- Aktif gazı taşınmalı ve metal yüzeylerle temasa geçirmelidir.
- Güvenliği sağlamak için tutuşabilir bileşenlerin atmosfer konsantrasyonunu hafifletmelidir.

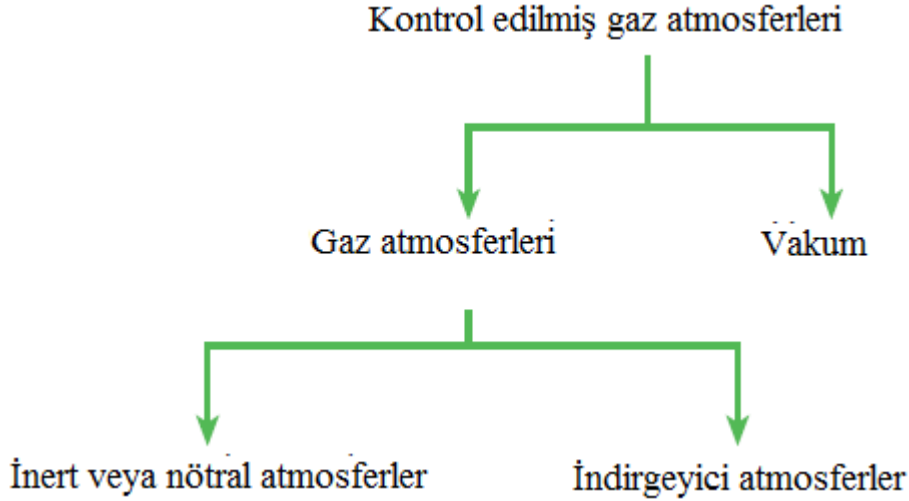
Aktif gaz ise:

- İyi ıslanma ve kaliteli lehimleme sağlamak için reaksiyona giren yüzeyleri etkilemelidir.
- Lehimleme esnasında oluşabilen metal oksitler açısından indirgeyici koşulları sürdürmelidir.
- Karbürizasyonu veya dekarbürizasyonu önlemek için nötral bir karbon aktivitesini sürdürmelidir.
- Dekapan buharlarıyla reaksiyona girmeli ve bunların lehimleme sonucu üzerindeki zarar verici etkisini ortadan kaldırmalıdır.

Güvenlik ve ekonomik sebeplerden dolayı, reaktif gaz miktarı genellikle, temiz ve sağlam bir lehim bağlantısı sağlamak için gereken minimum miktar olmaktadır.

Atmosfer (fırın atmosferi), ısıtma esnasında ve özellikle de lehimleme sonrası soğutma esnasındaki ısı transferini etkiler. Atmosfer bileşimi, gaz tipi, basınç ve gazın akım hızı, ısı transfer hızını etkileyecektir.

Yüksek sıcaklıkta lehimleme için kullanılan kontrollü atmosferler üç geniş kategoriye ayrılır: vakum, redüktan (indirgeyici) ve nötral atmosferler (şekil 3.10).



Şekil 3.10 Bağlantı atmosferleri (Andersson ve dg., 2011)

Gerçekten nötral atmosferler, asal gaz olan argon ve helyum'dan oluşurlar. Çelik ve bakır arlaşımları gibi alaşımların büyük bir çoğunluğu için, azot asal gaz sayılır. Ama azot ile birleşme eğilimi yüksek olan metaller için, nitrülenme veya azot kapma oluştuğu için, asal gaz değildir. Bu metallerin en önemli örneği titanyumdur. Bu gibi durumlarda, argon veya helyum kullanılmalıdır. Ayrıca eğer CO/CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O oranlarının istenilen seviyelerde kalmaları için kontrol ediliyorsa, CO/H<sub>2</sub> içeren atmosferler, oksidasyon veya karbürizasyon göz önüne alınarak, nötral olabilirler.

İndirgeyici atmosferler, lehimleme sıcaklığında ana metalin üzerinde oluşan yüzey oksidasyonunu engelledikleri gibi, lehimlemeden önce hazır bulunan veya ısıtma işleminin düşük sıcaklıkta yapılan aşamalarında oluşan kalıntı yüzey oksitlerini, redükte veya tamamen yok ederler. En yüksek redükte edici gücüne sahip olan gaz, hidrojenidir. Ayrıca karbon monoksit (CO) güçlü redükte edicilerdendir.

### 3.4.2 Fırın Atmosferi Kontrolü

Tablo 3.3'te de gösterildiği gibi atmosfer bileşimini belirli oksijen, karbon, azot ve hidrojen aktivitelerini sağlayacak şekilde ayarlamak mümkündür. Oksijen kontrolü oksitleyici olmayan koşulların sağlanması açısından temel olduğu için, bu dört element içinde pratik nedenlerden dolayı en önemli olanı oksijendir.

Dekarbürizasyonun önlenmesi için karbon kontrolü çelik lehimleme açısından önemlidir. Azot kontrolü birkaç durumda gerekli olup bunların en önemlisi paslanmaz çelik ve titanyum lehimidir. Hidrojen normalde kontrol edilmemektedir ancak hidrojen kırılabilirliği problem olduğu zaman dikkate alınmalıdır.

Aşağıdaki paragraflarda yer alan atmosfer oksijen potansiyeli, sadece karbon ve azot aktiviteleri termodinamik denge durumunda geçerli olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ısı işlemler için, yeterince uzun bir süre boyunca, en az onlarca dakika süresince 800 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ve N<sub>2</sub>/CO/H<sub>2</sub> atmosferleri için bu varsayım yaklaşık olarak geçerlidir ve bu yüzden kontrol, kimyasal denge hali temelinde gerçekleştirilir. Gazın fırında kalma süresi denge kavramının geçerli olabileceği kadar uzun olmalıdır. (Holm,Wiberg, Mahlo, Andersson, 2004)

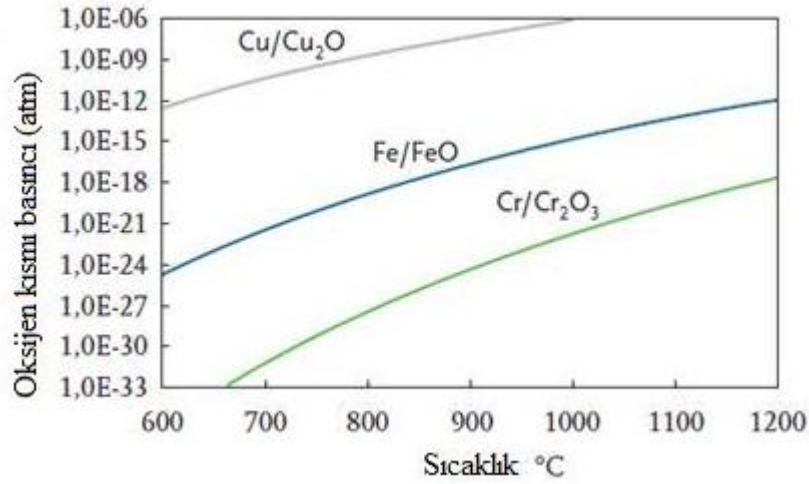
Daha düşük sıcaklıklar ve/veya daha kısa süreler veya N<sub>2</sub>/C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> atmosferleri için denge varsayımı artık geçerli olmamaktadır. Bu durumda atmosfer kontrolü ampirik sonuçlara ve kinetiklere dayanmalıdır.

#### 3.4.2.1 Fırın Atmosferi Kısmi Oksijen Basıncı

Metaller yüksek sıcaklıklardaki havada ısıtıldıkları zaman oksitlenirler. Bir metal belirli bir sıcaklıktaki belli bir atmosferde oksitlenirse metalin o sıcaklıkta oksitlenmesine sebep olan kısmi oksijen basıncı hesaplanabilir. Saf bir metalin oksidasyonu, aşağıdaki kimyasal reaksiyon ile ifade edilir (Holm ve dg., 2004):



Daha yüksek olması durumunda oksidasyonun gerçekleştiği ve altındaki değerlerde metalin oksitlenmeden kaldığı kısmi oksijen basıncı eşik değeri, P<sub>O<sub>2</sub></sub>, her metal için bilinmektedir. Yani her metaloksit için basınç, sıcaklığın bir fonksiyonudur ve bunun tam değeri kimya el kitaplarında, tablolarda veya veri tabanlarında bulunabilir. Bir örnek olarak Şekil 3.11'de bakır, demir ve krom metallerinin oksitleri için sıcaklığın fonksiyonu olarak denge halindeki oksijen parsiyel basınçlar görülmektedir.



Şekil 3.11 Metal/Metal oksit dengeleri için, oksijen kısmi basıncı ve sıcaklık arasındaki ilişki(Holm ve dg. , 2004)

Şekilde de görüldüğü gibi bu üç metal oksidasyona duyarlılık açısından birbirlerinden oldukça farklıdır. Uçlarda bakır ve krom yer almaktadır. Bakır kolay kolay oksitlenmez. Dolayısıyla oksitsiz lehim için atmosfer gereksinimi orta derecededir. Diğer taraftan krom, son derece düşük oksijen konsantrasyonlarında oksitlenir. Bu, yüksek derecede redüktan (indirgeyici) atmosfer gereksinimi anlamına gelmektedir. Krom örneğinde oksidasyonun önlenmesi için tipik olarak saf hidrojen kullanılmalıdır. Kromun saf metal şeklinde kullanımı oldukça nadirdir ama paslanmaz çelikte majör alaşım elementi olarak krom bulunur ki, bu da krom oksidasyonu açısından durumu önemli hale getirir.

Lehimleme sıcaklıklarında metalleri oksitlemek için ihtiyaç duyulan kısmi oksijen basınçları çok düşük olup yaklaşık  $10^{-6}$  atm (= 1 ppm) ile  $10^{-30}$  atm (=  $10^{-24}$  ppm) arasında değişmektedir.  $10^{-30}$  atm mertebesindeki kısmi basınçta ölçülecek serbest oksijen molekülleri bulunmamasına rağmen CO, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O moleküllerinde ölçülebilir miktarlarda oksijen mevcuttur. Böylece, CO<sub>2</sub>/CO veya H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub> atmosfer oranlarını ölçerek ve dengeleyerek atmosfer oksijen kontrolünü sürdürmek mümkün olmaktadır. (Holm ve dg., 2004)

Lehimleme atmosferine Hidrojen (H<sub>2</sub>) ve karbon monoksit (CO) eklendikçe bunlar oksijen ile reaksiyona girer ve aşağıdaki reaksiyonlara göre su buharı ve

karbon dioksit oluştururlar:

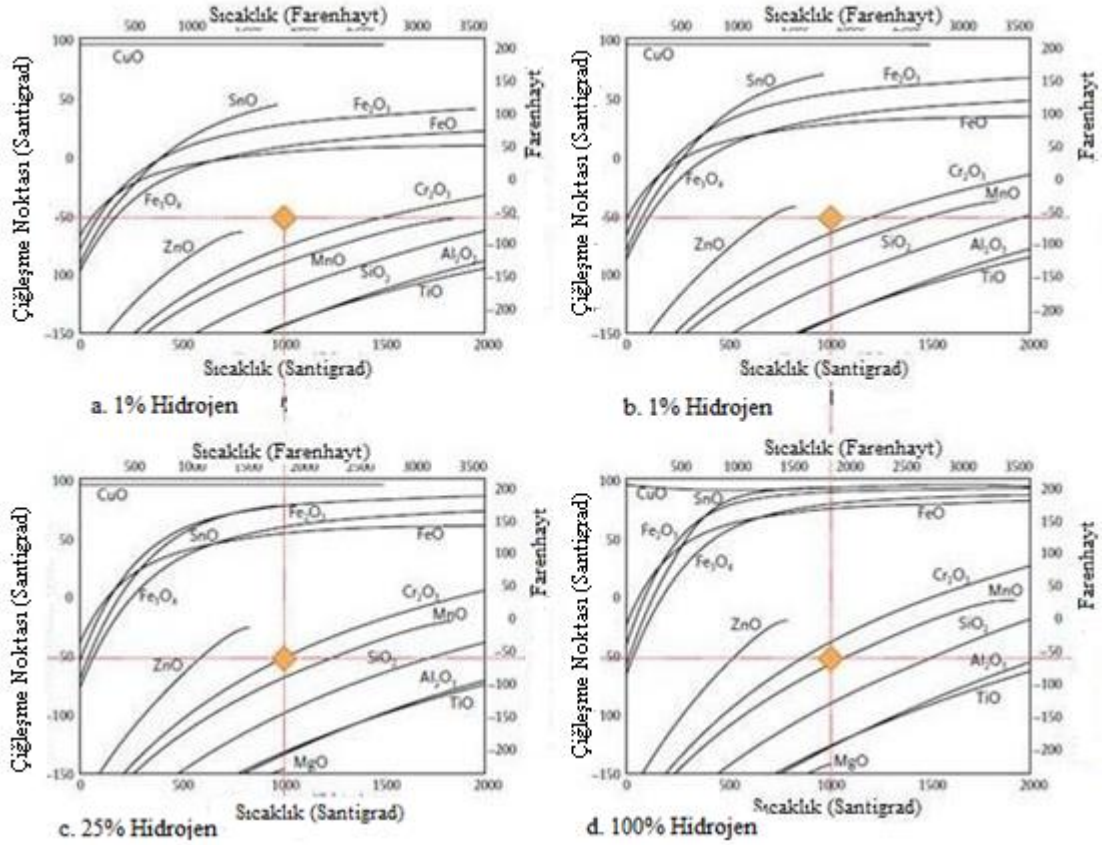


Bu reaksiyonlarda kimyasal denge, atmosfer kısmi oksijen basıncının,  $P_{O_2}$ 'nin, aşağıdaki şekilde ifade edilebilirliğı anlamına gelir:

$$P_{O_2} = Sabit \times (P_{H_2O}/P_{H_2})^2 \quad \text{veya}$$

$$P_{H_2} = Sabit \times (P_{CO_2}/P_{CO})^2$$

Lehimleme sıcaklıklarında su konsantrasyonunu (çiğleşme noktası olarak) ölçmek kısmi oksijen basıncını ölçmekten kolaydır. Böylece, parsiyel oksijen basıncı ile su buharı konsantrasyonu arasındaki ilişki kullanılarak şekil 3.11 tekrar çizilerek oksidasyon dengesi, Şekil 3.12'da gösterildiğı gibi  $H_2O/H_2$  konsantrasyon oranının bir fonksiyonu olarak gösterilebilir. Şekil 3.16'daki diyagramlar ancak spesifik bir hidrojen konsantrasyonu için verilebilir. Şekilde sırasıyla %1, %5, %25 ve %100 hidrojen konsantrasyonu için verilmiştir. Su konsantrasyonu çiğleşme noktası olarak ölçülmüştür. Diyagramlarda, çiğleşme noktası  $-50\text{ }^\circ\text{C}$  ve lehimleme sıcaklığı  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  için bir örnek çizilmiştir.  $-50\text{ }^\circ\text{C}$ 'lık çiğleşme noktasında teorik olarak sadece %100 hidrojen atmosferi  $Cr_2O_3$  için redüktandır. %5 ve %1 hidrojen atmosferleri oksitleyicidir.



Şekil 3.12 Lehimleme sıcaklığı ve atmosfer nem içeriği fonksiyonu olarak metal/metal oksit dengeleri. a) 1% hidrojen, b) 5% hidrojen, c) 25% hidrojen, d) 100% hidrojen. (Holm ve dg., 2004)

### 3.4.2.2 Fırın Atmosferi Kısmi Karbon Basıncı

Atmosfer karbon konsantrasyonu kontrolü karbonlaşmayı veya de-karburizasyonu önlemek açısından çelik lehimlemede önemlidir. Oksijen potansiyelinin hesaplanmasına benzer bir şekilde karbon potansiyeli, bir fırın atmosferi için  $CO + CO_2$ ,  $CO + H_2 + H_2O$  veya  $CO + O_2$  atmosfer konsantrasyonları bilgisine bağlı olarak hesaplanabilir. Bu gaz bileşenleri infrared (kızıl ötesi)  $CO_2$  analizi,  $H_2O$  için çığleşme noktası analizi veya  $O_2$  için oksijen prob/sonda analizi uygulanarak atmosfer analiziyle kontrol edilebilir. Kimyasal denge formüllerini kullanarak atmosfer karbon aktivitesi ( $a_c$ ) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$a_c = K_I \times (P^2_{CO}/P_{CO_2})$$

$$a_c = K_{II} \times (P_{CO} \times P_{H_2}/P_{H_2O})$$

$$a_c = K_{III} \times (P_{CO}/P_{CO_2}^{1/2})$$

Bir oksijen probuna ait CO<sub>2</sub>, çığleşme noktası veya milivolt değerinin bilinmesiyle herhangi bir CO/H<sub>2</sub> atmosferinden karbon potansiyelinin üretilmesi mümkündür. Ancak oksijen problemleri lehimleme sıcaklıklarında iyi işlemeyebilirler. Atmosfer karbon potansiyelinin çelikteki alaşım elementlerinden etkilendiği ve yüksek alaşımli çelik kimyaları için düzeltmelerin gerekli olacağı gözönünde tutulmalıdır. (Holm ve dg., 2004)

Karbon potansiyeli doğrudan oksijen potansiyeli ile ilgili olduğu için, uygun olmayan karbon potansiyel kontrolünün uygun olmayan oksijen potansiyeli kontrolüyle aynı sonuçları olabilir. Çok düşük bir karbon potansiyeli, normalde çeliğin sertliği ve mukavemeti açısından olumsuz olan dekarbürizasyon ile sonuçlanabilir. Çok yüksek bir karbon potansiyeli yüzey sertliğinin artmasına ve çok aşırı miktarlarda işlem lekelerinin oluşmasına yol açabilen karbonlaşmaya sebep olabilir.

#### 3.4.2.3 Fırın Atmosferi Kısmi Azot Basıncı

Azot toplanmasına hassas olan molibden, titanyum, berilyum, niobyum, tantal, vanadyum ve zirkonyum ya da paslanmaz çelik gibi metallere lehim yapılırken azot gazı nötr olmamakta ve zarar verici nitrürleşmeye sebep olabilmektedir:

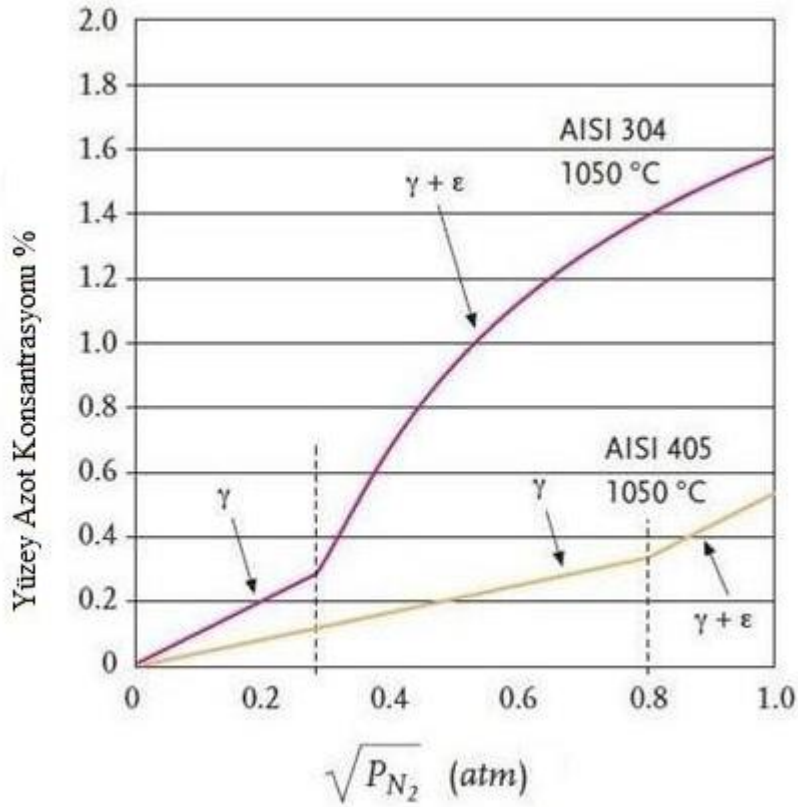
Nitrürleşme reaksiyonu:



Bu, bir azot molekülünün, yani N<sub>2</sub>'nin metalde çözünen 2 azot atomuna, 2N'e ayrıldığı anlamına gelir. Bu reaksiyon pek çok durumda ihmal edilebilir ama kromun azotu çektiği ve ciddi miktarda azotun Şekil 3.13'de gösterildiği gibi çelikte çözünebildiği paslanmaz çeliklerde ihmal edilemez. Teorik olarak, azot östenitte katı çözünebilirliğe girdiği sürece yüzey azot konsantrasyonu atmosferdeki azot konsantrasyonunun yaklaşık olarak kare kökü ile orantılıdır. Bu, diyagramların sol tarafında  $\gamma$  ile işaretlenen eğriye karşılık gelir. Belli bir azot aktivitesi için



diyagramlarda, yaklaşık olarak sırasıyla  $\sqrt{P_{N_2}} = 0.3$  ve  $\sqrt{P_{N_2}} = 0.8$  atm'e karşılık gelen bir azot aktiviteyi görülmektedir.  $\sqrt{P_{N_2}} = 0.3$  atmosferde yaklaşık %10 (hacim) azot konsantrasyonuna karşılık gelir. Bu azot aktivitesinin üzerinde teorik eğrinin eğiminde  $\epsilon$ -nitrit oluşumuna karşılık gelen bir değişiklik olmaktadır. Pratikte, elde edilen yüzey azot konsantrasyonları teorik olarak öngörülenden daha düşüktür. Bunun sebebi, fırın atmosferinde kalma süresinin denge durumuna ulaşamayacak kadar kısa olmasıdır. Her ne şekilde olursa olsun kolaylıkla nitrit oluşturan paslanmaz çelik, titanyum ve diğer metallerle lehim yaparken zarar verici nitritlenmenin etkisi dikkate alınmalıdır. (Holm ve dg., 2004)



Şekil 3.13 Teorik olarak hesaplanmış yüzey azot konsantrasyonu.

a) Ostinitik AISI 304      b) Ferritik AISI 405 (Holm ve dg., 2004)

Çok yüksek azot potansiyeli paslanmaz çelikler için kesinlikle düşen korozyon direncine ve sertlik artışına yol açacaktır. Titanyum ve zirkonyum azot içeren atmosferde lehimlenecek olursa daha kırılğan hale gelir.

#### *3.4.2.4 Fırın Atmosferinde Hidrojen Reaksiyonları*

Hidrojen kullanılması lehimlemede yaygındır ve genelde mükemmel lehimlerle sonuçlanır. Ancak hidrojen bazı durumlarda istenmeyen reaksiyonlara sebep olabilir.

Hidrojen gazında, oksijen taşıyan bakırın lehimlemesi, hidrojen ile oksijenin reaksiyona girmesine yol açarak su buharı oluşturabilir. Bakırın içinde oluşan ve hapsolan yüksek su buharı sebebiyle kabarcıklar ve kırılma gibi olumsuz etkiler oluşabilir.

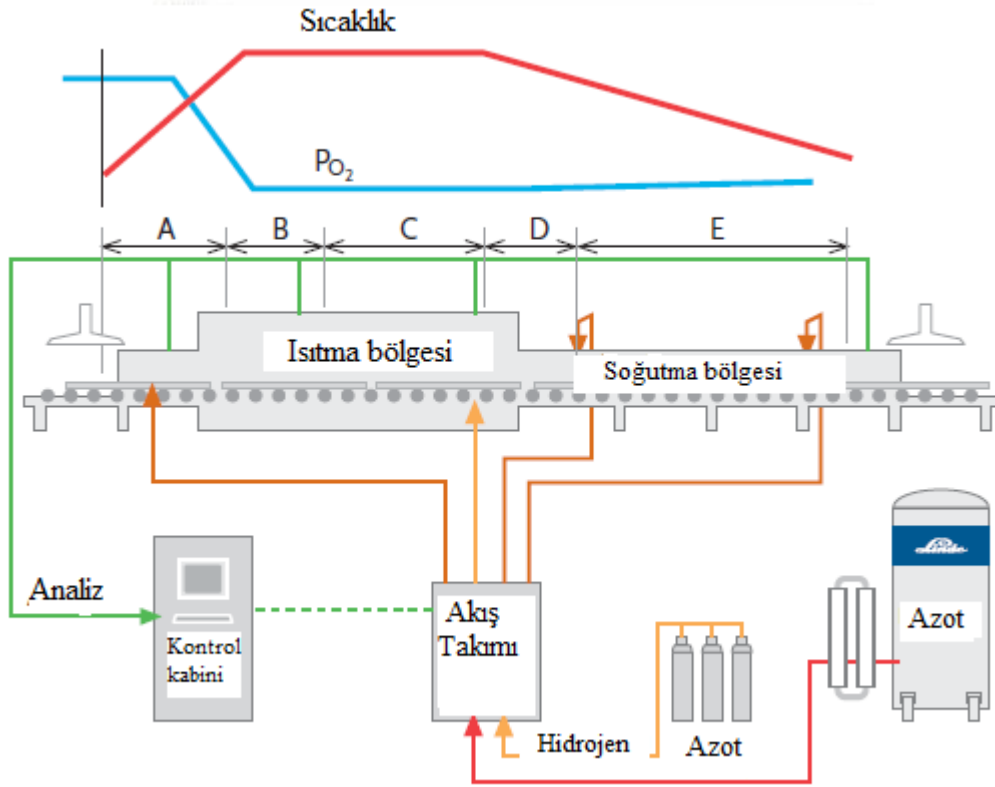
Çekme mukavemeti 1050 MPa'nın üzerinde olan yüksek mukavemetteki belirli çelikler genellikle hidrojen kırılma adı verilen duruma karşı hassas olabilirler (Sgoksmo ve Nordanger, 1997). Kırılma normal mekanik gerilim testleri esnasında ortaya çıkmaz ama statik mekanik yükleme veya düşük şekil değiştirme hızında yapılan gerilim testleri esnasında ortaya çıkar. Hidrojen içinde 2 – 2.5 ppm kadar düşük hidrojen konsantrasyonları çeliğin sünekliğini yüksek miktarda düşürür. Kırılmanın sebebi, yüksek düzeyde süpersatüre olmuş (süper doymuş) çözeltideki atomik hidrojendir. Boşluklarda ve inklüzyonlarda (cürüflarda) moleküler hidrojen oluşarak çatlak yayılmasını kolaylaştırabilir. Ancak kırılmanın sebebi moleküler hidrojen değildir (Sgoksmo ve Nordanger, 1997).

Titanyum, zirkonyum, tantal ve diğer bazı metaller hidrojene karşı o kadar yüksek bir affiniteye sahiptirler ki metal hidritleri oluştururlar. Bu genellikle kırılma yol açar.

#### *3.4.3 Fırın Atmosferi Kontrol Sistemleri*

Gazlar fırına girdikleri zaman çok değişik şekilde reaksiyon verirler: Birbirleriyle, lehim pastalarından çıkan buharlarla, parçalar üzerindeki yüzey safsızlıklarıyla, çatlaklardan fırının içine giren havayla, vb. Bu nedenle yüksek kalitede lehimlerin oluşmasını sağlamak için ortaya çıkan atmosfer bileşiminin kontrol edilmesi gerekir.

Daha önce açıklanan prensipler esas alındığında, bunu gerçekleştirecek bir atmosfer kontrol sistemi şunlara sahip olmalıdır: 1) Gaz analiz eden bir sistem, 2) Atmosfer bileşimini önceden belirlenen sınırlar içinde tutan bir gaz akımı ve gaz karışımı kontrol sistemi. Sürekli bir fırında bu atmosfer bileşimi ayar noktaları, Şekil 2.14'te gösterildiği gibi fırının farklı bölgelerinde olabilir. Sürekli bir fırında ise bu ayar noktaları işlem süresine denk gelecek şekilde değişiklik gösterebilir.



Şekil 3.14 Sürekli bir fırında atmosfer bileşimi ölçümü ve kontrol ayar noktaları (Andersson ve dg., 2011)

Yukarıda Şekil 3.14'ün üst kısmında yer alan A, B, C vb harf yazılımları referans alındığı zaman farklı bölgelerde şu atmosfer gereksinimleri olmaktadır:

- A. Atmosfer, safsızlık birikimlerinin oluşmasını engellemek için lehim pastasında veya yüzey safsızlıklarında hidrokarbon içeren bileşimlerin ortadan kaldırılmasını (eliminasyonunu) desteklemelidir. Bu, atmosferdeki hidrokarbonların hafifçe oksitlenip yakılmasıyla gerçekleşebilir. Bu prensip

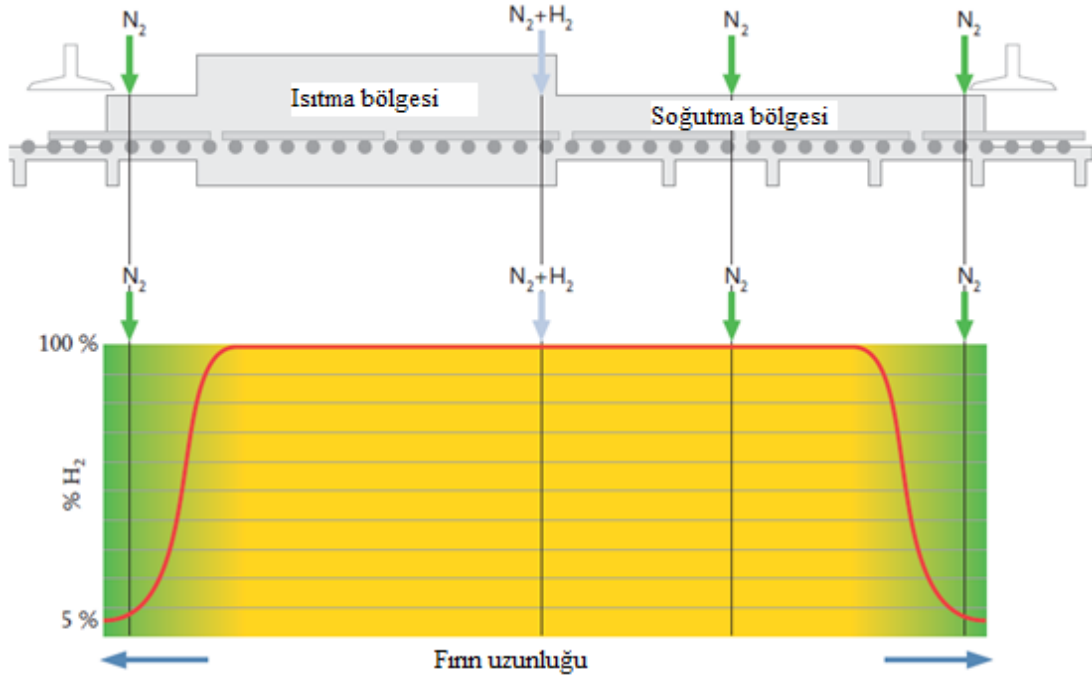
örneğin, atmosferin redüktan/indirgeyici gücü açısından gereksinimlerin çok yüksek olduğu paslanmaz çeliklerin lehimlenmesi için kullanılamaz. Bunun yerine, %100 çok kuru hidrojen kullanılması hidrokarbonların buharlaşmasını kolaylaştırır.

- B. Sıcaklık yaklaşık olarak 500 °C'yi geçtiği zaman oksidasyon çok belirgindir. Bu durumda atmosfer, oksidasyonun önlenmesi için redüktan olmalı ve tercihen, daha önceden oluşmuş olan yüzey oksitlerini de azaltmalıdır.
- C. Atmosfer indirgeyici koşulları sürdürmeli ve çelikler söz konusu olduğunda karbon nötralitesini de sürdürmelidir.
- D. Soğuma süresinde, oksidasyon riski artar çünkü oksitler üzerindeki oksijen denge basıncı, azalan sıcaklıkla birlikte azalır. Dolayısıyla atmosfer bu bölgede yüksek düzeyde indirgeyici olmalıdır.
- E. Sıcaklığın azalmasıyla birlikte oksijen denge basıncının azalmasına rağmen 150 °C'nin altındaki sıcaklıklarda oksidasyon hızı düşük olacaktır. Dolayısıyla bu bölümde nötral ve oksijensiz bir atmosfer olması yeterlidir.

Yukarıda bahsedilen gereksinimleri karşılayan atmosfer kontrol ve ayarının bir örneği şekil 3.14'te gösterilmiştir. Bu sistem için atmosfer analizi ve kontrolü, sıcak bölgedeki çığlaşma noktası analizine ve soğuma bölgesindeki oksijen kontrolüne dayanır. Analizin sonucu Kontrol Kabininde kaydedilir ve her bölgenin ayar noktası değeri ile karşılaştırılır. Gerçek değer ile ayar noktası arasındaki fark, akış takımındaki akım kontrolü için kontrol parametresidir. Şekil 3.14'te gösterilen kapalı döngü kontrol sistemiyle, farklı fırın bölgelerinin uygun atmosfer bileşim kontrolüyle lehimin kalitesi sağlanır. Bu iş lehimin sıcak bölgesinde, toplam azot + hidrojen akımının değiştirilmesiyle veya azot/hidrojen karışım oranının değiştirilmesiyle yapılabilir. Soğuma bölgesinde ise, azot akımının kontrol edilmesiyle oksijen konsantrasyon ayar sağlanır. İstenen herhangi bir anda akım hızı, atmosfer bileşiminin her an için ayar sınırlarında olması gerekliliğine göre minimize edilir.

Otomatik atmosfer bileşim ve akım kontrolünün yerine, manüel kontrol kullanılabilir. Manüel kontrol, otomatik sistemlerden daha az maliyetlidir ve lehimleme ve atmosfer koşullarının kararlı ve sabit olduğu zaman işe yarar. Daha sonra gaz akım hızı ve karışımı değiştirilir ve son olarak, atmosfer analizi ayar noktasını veren akımlara ayarlanır.

Sürekli bir fırın boyunca, gaz girişlerinin gaz tipine ve akıma göre düzgün bir konumda olmasıyla farklı atmosfer koşullarının sağlanabilmesi mümkündür. Sürekli bir lehim fırınında uygun miktarlardaki azot ve hidrojenin sırasıyla uygun konumlarda enjeksiyonu mümkün olan bir konsantrasyon profilinin örneği Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Gerekli zaman bütün hidrojenin fırının sıcak kısmına enjekte edilmesiyle fırının sıcak kısmında yüksek bir indirgeyici güç yaratılır. Fırının girişlerinde ve çıkışlarında azot ile seyreltme yapılarak tutuşmayan ve patlayıcı olmayan bir atmosfer elde edilir.



Şekil 3.15 Sürekli bir lehim fırınında azot ve hidrojenin sırasıyla uygun konumlarda enjeksiyonunun örneği. (Andersson ve dg., 2011)

### 3.4.4 Fırın Atmosferi Olarak Vakum

Atmosferin en önemli işlevi, lehimleme esnasında oksidasyonu minimize etmek olduğu zaman vakum lehimleme uygulanır. Bu, vakum fırınından atmosferin elimine edilmesiyle yapılır. Kısacası, lehimleme işleminde her türlü koruyucu atmosferin yerini vakum alır.

İlk vakum pompalanmasından sonra azot yaklaşık olarak atmosfer basıncına getirilebilir. İkinci bir vakum pompalaması safsızlığı azaltır, özellikle iç taraftaki oksijen konsantrasyonunu azaltır.

Lehimleme kolaylıkla buharlaşabilen metalleri içeren alaşımlardan oluştuğu zaman bazen işlemi, yüksek vakumda değil ama belli bir yükselmiş basınçta yapmak gerekir. Daha sonra, genellikle azot olan geri doldurma gazı eklenerek basınç istenen düzeyde tutulur.

Kapalı bir kap veya kanal içinde bir vakum oluşturmak için içeride kalan hava ve diğer gaz moleküllerini uzaklaştırmamız gerekir. Bu, pompalar ve fırınla beraber ilgili boru sistemlerini, vanaları, vakum ölçerleri/aletlerini ve vakum sisteminin diğer bileşenlerini içeren bir pompalama sistemi yoluyla yapılır. Bunu karşılayan vakum sistemleri tablo 3.4’de gösterildiği gibi, pompalama sistemlerinin sağladığı basınç değerlerine göre sınıflandırılır.

Tablo 3.4 Vakum sistemlerinin sınıflandırılması (Andersson ve dg., 2011)

Vakum kalitesi	Basınç	
	Pa	Torr
Kötü	$1,3 \times 10^2 - 1,3 \times 10^5$	$1 - 10^3$
İyi	$1,3 \times 10^{-1} - 1,3 \times 10^2$	$10^{-3} - 1$
Yüksek	$1,3 \times 10^{-5} - 1,3 \times 10^{-1}$	$10^{-7} - 10^{-3}$
Çok yüksek	$< 1,3 \times 10^{-5}$	$< 10^{-7}$

Çeşitli vakum düzeylerine ulaşabilmek için farklı vakum pompaları gerekir. Bu sistemler genellikle üç pompa ile yapılandırılırlar: pozitif deplasmanlı mekanik pompa (genelde kaba işleme pompası olarak adlandırılır), güçlendirici/itici bir pompa ve bir difüzyon pompası. Kaba işleme pompası, başlangıçta atmosferik basınçtan yaklaşık 3 Pa'a inmek için kullanılır. İtici pompa, kaba işleme pompasına seri olarak yerleştirilen ve "devreye girecek" (cut-in) şekilde tasarımılanan veya 9.5 kPa'da başlayan mekanik bir pompadır. 1.3 kPa ile 0.1 Pa arasında değişen basınç aralığında yüksek aşağı-pompalama (pump-down) hızları sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Orta derecedeki bu basınç aralığında kaba işleme pompası etkinliğini kaybederken difüzyon (buhar) pompası etkinliğini yeni kazanmaya başlamaktadır. Son olarak difüzyon pompası bir tür buhar pompasıdır ve daha da düşük sistem basınçlarını sağlamaya yardımcı olmak üzere kullanılır. Difüzyon pompası, 3 Pa'ı geçmeyen giriş basınçlarında ve 65 Pa'ı geçmeyen deşarj (veya ön cephe) basınçlarında tam verimde gaz pompalayabilme özelliğine sahiptir. Difüzyon pompası bağımsız bir şekilde çalışmaz. Çalışmaya başlamadan önce odacık basıncını difüzyon pompaları maksimum içe-alış basıncına veya altına düşürmek için ayrı bir pompa gerektirir. (Herring, 2004)

Bir vakum fırınından atmosferin tahliye edilmesinin etkileri genellikle aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Herring, 2004):

- A. Bir tankı 100 kPa'dan (atmosfer basıncı) 130 Pa'ya tahliye etmenin etkileri:
  1. Havanın uzaklaştırılması.
  2. Geri kalan gazın bileşiminde yavaş değişiklik.
    - a. Başlangıçta, gazın en önemli bileşeni havadır.
    - b. En sonunda, havanın hemen hemen tamamı dışarı pompalanır, yağ ve su buharlaşmaya devam eder ve kısmi basınçları, toplam basıncın çok daha büyük bir kısmını teşkil eder. Bu, gaz giderme olarak adlandırılır.
- B. Bir tankı 130 Pa'dan (1 Torr) 10 mPa'a ( $1 \times 10^{-4}$  Torr) tahliye etmenin etkileri:
  1. Tankta geri kalan gazlar düşük bir ısı iletme özelliğine sahiptir.

2. Bir elektriksel boşalma başlatmak için gereken gerilim düşer ve bu yüzden ark yapma olasılığı daha fazladır. Bu durum ancak, metal buharı fırının iç yüzeylerinde kondanse olmuşsa gerçekleşecektir.

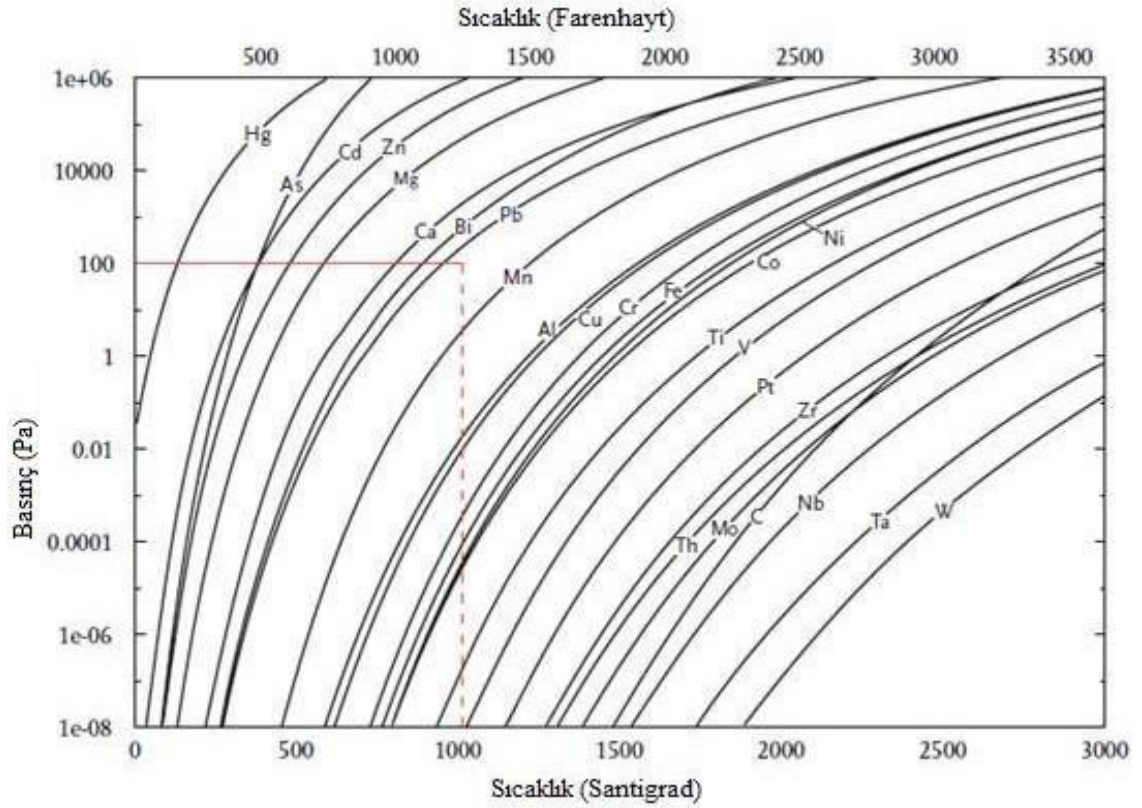
C. Bir tankı 10 mPa'dan ( $1 \times 10^{-4}$  Torr) 0.1 mPa'ya ( $1 \times 10^{-6}$  Torr) tahliye etmenin etkileri:

1. Azalan moleküler dansite

- a. Gaz moleküllerinin ortalama serbest hareket yolu büyür. Bu yüzden moleküller tankın yan taraflarıyla, birbirleriyle çarpıştıkları kadar sık bir şekilde çarpışırlar.
- b. Kayma sürtünmesi artar.

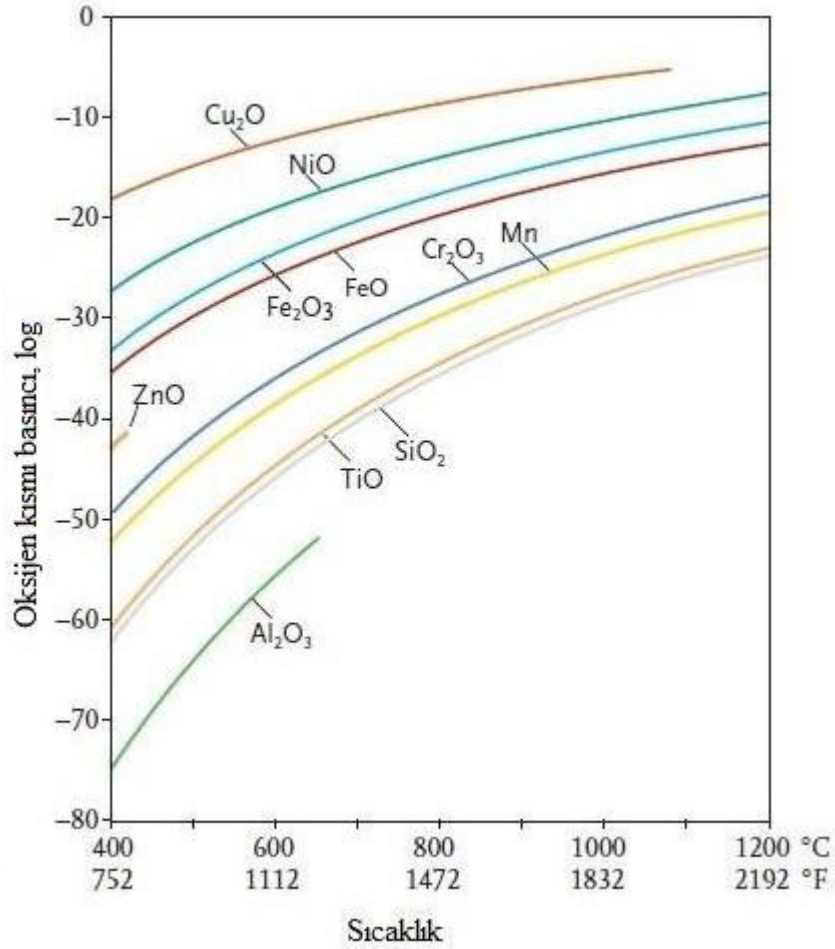
Vakum işlemlerinde dikkat edilmesi gereken şeylerden biri, işlenmekte olan materyalin buharlaşmasıdır. Buharlaşma riski, vakum lehimlemeye atmosfer lehimlemenin yaptığı kadar geniş bir lehim doldurma metali seçme imkanı tanımaz. Bir elementin buhar basıncı, katı ve buharın birbiriyle denge halinde olduğu ve buhar basıncının sıcaklığa göre değiştiği basınçtır. Şekil 3.16, çok sayıda metal için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak buhar basıncı varyasyonunu göstermektedir. Kadmiyum, çinko, magnezyum, bizmut, manganez ve ayrıca krom Şekil 3.16'dan da görüldüğü gibi yüksek buhar basınçları olan elementlerdir. Bu tür elementler vakum esnasında daha kolay bir şekilde buharlaşırlar. Buharlaşma hem işlenmekte olan alaşımdan materyal kaybına yol açar ve daha önemlisi, buharların fırının soğuk kısımları/parçaları üzerinde kondanse olması ve bunun işlevsellik ve bakım açısından sorunlara sebep olabilmesinden dolayı olumsuz etkilere yol açar. Majör lehim elementi olarak çinko içeren pirinç çinkonun buharlaşması sebebiyle vakum lehimlemeye uygun olmayan bir alaşım örneğidir. Buharlaşmayı önlemenin tek yolu, buharlaşma basıncının üzerinde bir basınç kullanmaktır ama bu, iyi bir lehimleme sonucu için en iyi vakumun sürdürülmesi açısından zıt etki yaratır. (Herring, 2004)





Şekil 3.16 Metaller için, sıcaklığın fonksiyonu olan buhar basıncı diyagramları. Eğer vakum fırınındaki basınç, buhar basıncı diyagramının altındaysa, o element buharlaşır. Örneğin 100 Pa/1000°C'da Mn, Al ve Cu stabildir ama Pb, Bi, Ca buharlaşacaktır. (Herring, 2004)

Vakumda metal oksitleri indirgeyen indirgeyici bir gaz yoktur. Oksitler bunun yerine disosiyasyon yoluyla uzaklaştırılır. Oksitler, oksit disosiyasyonu için gereken basıncın altındaki bir vakum düzeyiyle yeterince yüksek sıcaklıklara ısıtıldıkları zaman kendilerini oluşturan elementlere ayrışırlar. Disosiyasyona yol açan basınçlar, şekil 3.11'de gösterildiği gibi oksijen denge parsiyel basınçları ile aynıdır. Bu diyagram şekil 3.17'de, baz veya dolgu metallerinde yaygın olarak bulunan alaşım elementlerinin bazıları için disosiyasyonu gösterecek şekilde yeniden çizilmiştir. Metal oksitte oksijen ve metal ayrıştıkça oksijen tekrar gaz formuna rekombine olur ve vakum pompalama sisteminden tahliye edilir.



Şekil 3.17 Bazı metal oksitler için disiyasyon basınçları (Andersson ve dg., 2011)

Vakum relatif bir durumdur ve gaz moleküllerinin bulunmaması anlamına gelmez.  $10^{-5}$  Pa ( $10^{-7}$  Torr) mertebesindeki ultrayüksek bir vakumda hala, metreküpde  $10^{15}$  gaz molekülü vardır. Fırına gelince, başlangıçta havayla doludur.  $10^{-5}$  Pa'lık bir vakum değerine inecek şekilde pompalama yapıldıktan sonra, havada olduğu gibi bu moleküllerin %21'inin oksijen olduğu var sayılacak olursa parsiyel oksijen basıncı  $P_{O_2}$  yaklaşık olarak  $10^{-11}$  atm olacaktır. Teorik bir denge bakış açısından bu, şekil 3.17'e göre normal lehim sıcaklığında pek çok metal için oksitleyici bir atmosferdir. Vakum fırını pompalama öncesinde azot gazıyla yıkama olursa o zaman ortaya çıkan parsiyel oksijen basıncı yaklaşık  $10^{-16}$  atmosfere düşer. Bu değer yine de, krom gibi metaller için oksitleyicidir. Tekrarlanan azot ile yıkama ve vakum pompalama bu değeri daha da düşürür. Ancak bu pratik değildir, ama vakum lehimlemenin tamamen parlak parçalarla sonuçlandırıldığının sebebi, oksijen konsantrasyonlarının gerçekte

yukarıda bahsedilen basitleştirilmiş varsayımlarla ön görülenden daha düşük olmasıdır. Çünkü oksidasyon prosesinde oksijen birincil olarak grafitin oksidasyonu ile tüketilmektedir. Isıtma elemanları, yükleme kalıpları ve fırın bölmesi için kullanılan grafit CO oluşumu yoluyla oksijeni tüketecektir.

Hidrojen, oksitlere karşı indirgeyici güç ve soğutucu gaz olarak kullanıldığı zaman soğutma hızı üzerinde olumlu etkilere sahiptir. Olumsuz bir etki, hidrojenin ısıtma elementi olarak kullanıldığı zaman grafit ve fırının içindeki diğer kısımlarla/parçalarla reaksiyon oluşturmasıdır. Yıkama, geri doldurma ve soğutma için en ucuz olan ve en yaygın şekilde bulunan azot, baz alaşım veya doldurucu metalle zarar veren nitrürleyici reaksiyonlar riski olduğu zaman kullanılmamalıdır.

## **BÖLÜM DÖRT**

### **MALZEMELERİN FIRINDA SERT LEHİMLENMESİ**

#### **4.1 Karbonlu Çeliklerin Fırında Sert Lehimlenmesi**

Sert lehimleme, düşük karbonlu, düşük alaşımlı, yüksek karbonlu çelikler veya takım çeliklerinin birleştirilmesi için geniş ölçüde kabul görmüş ve standardize edilmiş bir işlemdir. Ayrıca dökme demirler de, birleştirilecek olan yüzeylerde grafitin uzaklaştırılması için uygun bir ön temizlik yapılırsa başarılı bir şekilde lehimlenebilir. Yaygın sert lehimlemeler otomobil, bisiklet ve diğer çeşitli araçlar gibi ürünleri, çerçeveleri, çelik panelleri, çerçeve eşyaları, kesme araçlarını, bıçakları, rezervuarları, elektronik şaselerini vs içerir.

Bakır, gümüş veya nikel ailelerine ait lehim alaşımları, çeliğin sert lehimlemesinde kullanılabilir. Genellikle, düşük maliyetleri ve oluşturdukları yüksek birleşme mukavemetlerinden dolayı Bakır-bazlı dolgu metalleri tercih edilir. Bakır bazlı dolgu metallerinin katılma sıcaklığı tipik olarak 1095 °C – 1100 °C arasında değiştiği için, bu sıcaklık aralığının üzerinde bir lehim sıcaklığı gereklidir. Bu, bir ısı işlemi örneğinin sertleştirmeyle lehimlemenin kombine edilmesi ile avantaja dönüştürülebilir. Yüksek sert lehimleme sıcaklığının potansiyel bir olumsuz etkisi, tane sınırlarının büyümesi ve dekarburizasyon riskidir. Bu yüzden lehimleme süresi, iyi bir birleştirme elde edilebilmesi için ergime ve ısılanma zamanları gereken minimum düzeyde olmalıdır. (Shwartz, 2003)

Gümüş bazlı alaşımlar bakır bazlı dolgu metallerine benzer katılma sıcaklığına sahiptir. Buna göre gümüş bazlı alaşımlar, ısı işlemi elde edilen çelik özelliklerinin bozulmaması amacıyla sert lehimleme sıcaklığının belli bir sıcaklık değerinin altında ayarlanması gerektiği zaman kullanılırlar.

Sert lehimlemenin ve ısı işleminin ne şekilde etkileşim göstereceğini dikkatli bir şekilde düşünmek, işlem adımlarının sayısını azaltabilir. Örneğin düşük alaşımlı, önceden ısı işlem görmüş metaller, ısı işleminden sonraki özelliklerini koruması için,

çelik dönüşüm sıcaklığının altındaki sıvılaşma sıcaklıklarına sahip olan gümüş bazlı dolgu metalleri kullanabilir. Alternatif olarak, çeliğin östenitleştirme sıcaklığının üzerindeki katılaşma sıcaklıklarına sahip olan bakır-çinko veya belirli gümüş bazlı dolgu alaşımları kullanılacak olursa, sert lehimleme ve ısıl işlem aynı anda uygulanabilir. Sertleşme özelliğine sahip olan yüksek karbonlu çeliklerin sert lehimlemesi, ya sertleştirmeden önce yapılır ya da sertleştirme sürecinde bir aşama olarak gerçekleştirilir. Temperleme sıcaklıkları 550 °C – 650 °C arasında olan sertleşebilir takım çelikleri için, yeterince düşük katılaşma sıcaklığı olan gümüş bazlı bir dolgu metali seçilerek sert lehimlemenin ve temperlemenin aynı anda gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. (Shwartz, 2003)

Kontrollü atmosferlerdeki sert lehimleme daha çok kullanıslıdır ve vakumda sert lehimleme sadece çok özel durumlarda kullanılır. Çeliklerin sert lehimlemesinde, atmosferin yüksek karbonlu çelikler için oksitleyici olmamasına dikkat etmek gerekir; Buna ek olarak, tercihen, dekarbürizasyonun önlenmesi için, fırın atmosferi karbon kontrolü özelliğine sahip olmalıdır. Karbon kontrolü sağlayabilen uygun atmosferler azot/metanol, azot/endotermik gaz veya zengin ekzotermik gazdır. Çeliklerin lehimlenmesinde, çoğunlukla azot ile %5-30 oranında hidrojeni içeren atmosferler kullanılır. Bunun nedeni, hidrojen içeren atmosferlerin mükemmel sert lehimler oluşturma kabiliyetidir ve azot/hidrojen sistemlerinin ayarlanması ve bakımı daha kolay olmaktadır.

Sert lehim fırını sızdırmazsa ve hava girişinden kaynaklanan bozukluklar minimize edilmişse azot/hidrojen sistemleri çok düşük çığleşme noktalarıyla çalıştırılabilir. Bu durumda, atmosfer metal oksitlere karşı indirgeyici hale gelir ama aynı zamanda düşük veya ihmal edilebilir bir dekarbürizasyon etkisine de sebep olabilir. Çığleşme noktasının düşmesiyle dekarbürizasyon oranı da azalır. Yüksek miktarda aktif CO,CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O bileşenleri bulunan endogaz ve ekzogaz gibi atmosferlerin dekarbürizasyon açısından kontrol edilmeleri daha zordur. Çünkü karbon kontrolü sırasıyla (%hacim CO)<sup>2</sup>/(%hacimCO<sub>2</sub>) veya (%hacimCO x %hacim H<sub>2</sub>) / (%hacim H<sub>2</sub>O) oranlarının dengelenmesine dayanmalıdır.

Karbon nötralitesine denk gelen oran, sıcaklıkla değişir. Sürekli bir fırında spesifik bir noktadaki oran, karbon nötralitesini sağlıyorsa, bu durum atmosferin daha yüksek sıcaklıktaki pozisyonlar için dekarbürize edici olacağı ve düşük sıcaklıktaki pozisyonlar için karbürize edici olduğu anlamına gelir. Eğer bu oran, dekarbürize edici bir değer alıyorsa, o zaman dekarbürizasyon oranı, düşük çığlaşma noktası olan azot/hidrojen atmosferinden daha büyüktür; Bunun nedeni CO<sub>2</sub> ve özellikle H<sub>2</sub>O'nun dekarbürize edici bileşenlerinin yüksek konsantrasyonda olmasıdır. Bu durum, Tablo 4.1'e baş vurularak bir örnekle belirlenebilir. Atmosferin 1050 °C sıcaklıkta %0.4C'luk bir karbon potansiyeli bulunacak şekilde kontrol edilmesi durumunda endogazın (metandan elde edilen) su buharı konsantrasyonu %0.41 hacimdir. Tipik bir azot/hidrojen atmosferi kesin bir karbon potansiyeline sahip değildir ama %0.01 hacimlik su buharı konsantrasyonuna ve dolayısıyla 1/40 endogaz su içeriğine sahiptir. Dekarbürizasyon oranının su içeriği ile orantılı olduğu varsayılabilir. Bu, %0.6C çeliğinin sert lehimlenmesi için Tablo 4.1'de gösterilen endogaz bileşimi kullanılacak olursa, -40 °C'lık bir çığlaşma noktasına sahip azot/hidrojen atmosferi için olandan 40 kat daha hızlı bir dekarbürizasyon hızına yol açacağı anlamına gelir. P<sub>O<sub>2</sub></sub>

Tablo 4.1 Endogaz ve azot/hidrojen kompozosyonu atmosferlerin su içeriğini dikkate alarak kıyaslaması. (Andersson ve dg., 2011)

Endogaz (%0.4 C'luk karbon potansiyeli)

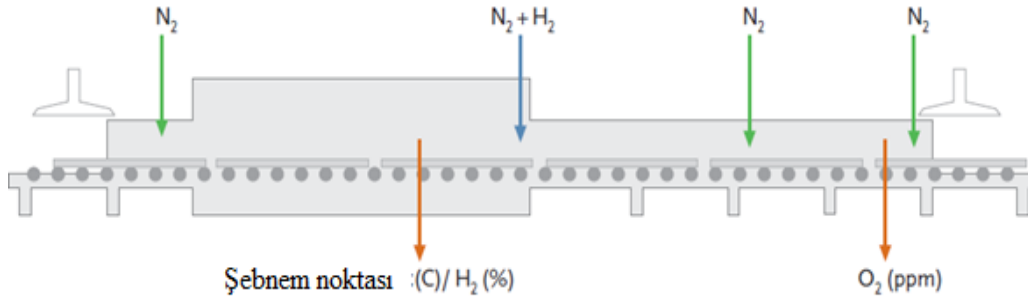
Sıcaklık °C	%CO	%H <sub>2</sub>	C-pot., %C	%H <sub>2</sub> O	%CO <sub>2</sub>	P <sub>O<sub>2</sub></sub> , atm
1050	20	40	0.4	0.41	0.1	1.5x10 <sup>-18</sup>

-40 °C'lık çığlaşma noktasına sahip azot/hidrojen atmosferi

Sıcaklık °C	%CO	%H <sub>2</sub>	C-pot., %C	%H <sub>2</sub> O	%CO <sub>2</sub>	P <sub>O<sub>2</sub></sub> , atm
1050	0	5	0	0.01	0	1.3x10 <sup>-19</sup>

Fırının içine ciddi miktarda hava girişi varsa, -40 °C gibi düşük çığlaşma noktasını sürdürmek mümkün değildir. Tanımlanan bu kısıtlılığa rağmen böyle durumlarda azot/metanol veya endogaz kullanmak avantajlı olacaktır. Çünkü bu tür atmosferler, tipik olarak %5-10 hidrojene sahip azot/hidrojen sistemleriyle karşılaştırıldığı zaman, yüksek CO ve H<sub>2</sub> konsantrasyonlarından dolayı daha yüksek bir tamponlama (havanın fırın içine girmesini önleme) kapasitesine sahiptir.

Azot/Hidrojen atmosfer kontrol sistemiyle, sabit bir atmosfer bileşimini sürdürmek ve böylece sert lehimlenen parçaların stabil bir kalitede olmasını sağlamak mümkündür. Atmosfer kontrol sistemi maliyet ve işlevsellikle ilgili farklı gereksinimleri karşılayacak şekilde yapılabilir. Bütün durumlarda atmosfer bileşimi, içeri doğru olan azot ve hidrojen akımlarının gereken çığlaşma noktasını ve oksijen konsantrasyonlarını sağlayacak şekilde ayarlanmasıyla düzenlenir. Şekil 4.1, analiz noktalarının konumlarını ve gaz girişlerini göstermektedir. Oksijen potansiyelinin göstergesi olan  $H_2O/H_2$  oranı sıcak bölge için kontrol parametresidir ve serbest oksijen soğutma bölgesinde analiz edilir. Kapalı işlem atmosfer kontrolü hem azot/hidrojen karışımının hemde total gaz akımının sıcak bölgedeki oksijen potansiyeline göre değişmesine imkan verir. Soğutma bölgesinde serbest oksijen, azot akımıyla birlikte kapalı işlem kontrolündedir (Andersson ve dg., 2011).



Şekil 4.1 Atmosfer kontrol sisteminin gaz giriş bölgeleri ve analiz noktaları. (Andersson ve dg., 2011)

#### 4.2 Paslanmaz Çeliklerin Fırında Sert Lehimlenmesi

Sert lehimleme, paslanmaz çelik parçalarının birleştirmesi için en kolay yollardan biridir. Ancak paslanmaz çeliklerdeki krom içeriği karbonlu çeliklere göre çok daha zor bir şekilde ısınmalarına sebep olmaktadır. En sık olarak kullanılan dolgu metalleri bakır, nikel ve gümüş bazlı lehim alaşımlarıdır. Yüksek sıcaklıklar için nikel bazlı dolgu metalleri uygundur, ama gümüş bazlı dolgu metalleri uygun değildir. Lehim alaşımı seçilirken dikkat etmek gerekir çünkü belirli elementlerin difüzyonu korozyon ve mekanik özellikler üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Nikel bazlı dolgu metalleri baz metalle intermetalik kırılabilir bileşikler oluşturabilir.

Dolgu metal bileşeni borun (B) azot ile birleşerek bor nitritler (BN) oluşturması ve silisyum (Si) bileşeninin metallerle reaksiyona girerek silikatları oluşturması bunun başlıca sebebidir. Birleşmenin merkez hattında kırılğan bileşikler oluşur ve bunlar bazen merkez hattı çökeltileri olarak adlandırılır.

#### **4.2.1 Fırın Atmosferinde Sert Lehimleme**

Atmosfer, krom oksit için indirgeyici olmalıdır. %100 hidrojen içeren atmosferler veya %25'e kadar azot ile (veya parçalanmış amonyakla) karıştırılmış atmosferler paslanmaz çeliklerin sert lehimlenmesi için uygundur. Eğer azot toplanmasından kaçınmak gerekiyorsa o zaman %100 hidrojen ya da bir argon/hidrojen karışımı seçilmelidir. Paslanmaz çeliklerdeki düşük karbon içeriği nedeni ile karbon kontrolü genellikle sorun olmamaktadır.

Hidrojen ile sert lehimlemenin veya başka bir deyişle %100 kuru hidrojenle sert lehimlemenin çok sayıda avantajı vardır:

- Bütün atmosferlerden daha fazla indirgeyici etkisine sahiptir ve buda parlak ve oksitsiz yüksek kaliteli sert lehimler ortaya çıkarır.
- Hidrojen oranının artmasıyla atmosfer tamponlama (atmosfere hava girişini önleme) kapasitesi ( $H_2/H_2O$  oranı) artar. Artan tamponlama kapasitesi atmosferi hava girişinden daha az etkilenir hale getirir ve atmosfer kalitesinin sürdürülmesi için daha az gazın gerekli olmasına yol açar.
- Amonyakla uğraşma gereğinin ortadan kalkması.
- Azot toplanması tamamen ortadan kalkmaktadır. (Andersson ve dg., 2011)

#### **4.2.2 Vakumda Sert Lehimle**

Paslanmaz çelikler için vakumda sert lehimleme, ısı dönüştürücüler gibi karmaşık montajlar için giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Fırının tekrar doldurulmasında ve soğutma aşamasında gaz olarak azot veya argon kullanılır. Vakum, yüksek lehimleme sıcaklıklarında krom oksitin oluşmasının engellenmesinde etkilidir. Ancak çok iyi bir vakumla bile, kimyasal denge durumu açısından gerekli



düşük oksijen parsiyel basınçlarına ulaşmak mümkün olmayabilir. Krom oksit üzerindeki oksijen denge basıncı normal lehimleme sıcaklıklarında  $10^{-25}$  ile  $10^{-30}$  atm mertebesindedir. Çift vakum pompalamadan sonra bile böyle düşük basınçlara ulaşamaz. Örnek olarak, oksijen parsiyel basıncı eğer  $10^{-24}$  atm mertebesindeyse, metreküpte sadece beş tane serbest oksijen molekülünün bulunduğu anlamına gelir. Böylece, mevcut bulunan oksijen moleküller hızla tüketilir ve sonuçta oksidasyon prosesleri durur. Paslanmaz çelik üzerindeki pasif krom oksit tabakasının redüksiyonuna yol açtığı öne sürülen bir diğer mekanizma, paslanmaz çelikte çözünen karbonun aşağıdaki reaksiyona göre oksidi indirgemesidir:



Burada Me metali ve C de çelikte çözünen karbonu ifade etmektedir. Vakum lehimleme ne şekilde olursa olsun, baz alaşımın dolgu metali tarafından çok iyi bir şekilde ıslatılması ile sonuçlanmaktadır.

Daha yüksek manganez içeriğine sahip paslanmaz çelikler (200 serisi) daha yoğun bir temizlik ve hazırlık gerektirirler. Çünkü manganez, redükte edilmesi zor olan bir oksit oluşturur. Bazı paslanmaz çelikler, özellikle stabilize olmayan östentik paslanmazlık kalitesinde olanlar  $425 \text{ }^\circ\text{C} - 815 \text{ }^\circ\text{C}$  arasında işlem yapıldığı zaman taneler arası korozyona duyarlı hale gelebilirler. Dolayısıyla bu sıcaklık aralığında uzamış sürelerden kaçınılmalıdır. Martenzitik paslanmaz çelikte lehim yapılırken, lehimleme ve ısıl işlemlerin döngülerinin birbirine uyup uymadığı, ayrı ayrı veya aynı anda yapılması gerektiğine dikkat edilmelidir.

### 4.3 Alüminyumların Fırında Sert Lehimlemesi

Otomobil radyatörlerinin üretiminde, buzdolaplarının ısı dönüştürücülerinin üretiminde, endüstriyel uygulamalarda ve ev eşyalarının üretilmesinde alüminyum sert lehimleme artık olgunlaşmış bir teknolojidir. 1970'li yıllarda alüminyum için sert lehimleme teknolojisinin gelişmesi, otomobil üretiminde alüminyum radyatörlerin kullanımını geliştirmiştir. Burada alüminyum radyatörler, araca daha düşük bir ağırlık getirerek, yakıt tüketimini azaltmakta ve çevre üzerindeki etkiyi oldukça

azaltmaktadır.

Fırında sert lehimleme, fırın atmosferinde veya vakum lehimleme şeklinde gerçekleştirilebilir. Kontrollü atmosferde sert lehimleme (CAB) esas olarak yüksek hacimde seri üretime uyum sağlayabilmesi sebebiyle vakum sert lehimlemeden daha fazla yayılmıştır. Vakumda sert lehimleme, lehim aralığı açısından çok zahmetli bir işlemdir. İyi lehimler elde etmek için, lehim aralığı çok az veya aralıksız olmalıdır. Vakum lehimleme, tehlikeli ve zehirli dekapların olmaması ve lehimlenmiş parçaların temizliği nedeniyle, çevre temizliği açısından avantajlıdır.

Alüminyum sert lehimleme 555°C ile 645°C arasındaki sıcaklıklarda yapılır. Gerek ısı işlem, gerekse soğuk işlemle olan mukavemet artışı bu sıcaklıklarda kaybolacaktır. Alüminyum oksit yapışkan (stabil) olması ve oda sıcaklıklarında bile kolaylıkla alüminyum oksit oluştuğu için, alüminyumun sert lehim konusunda belirli zorluklar bulunmaktadır.

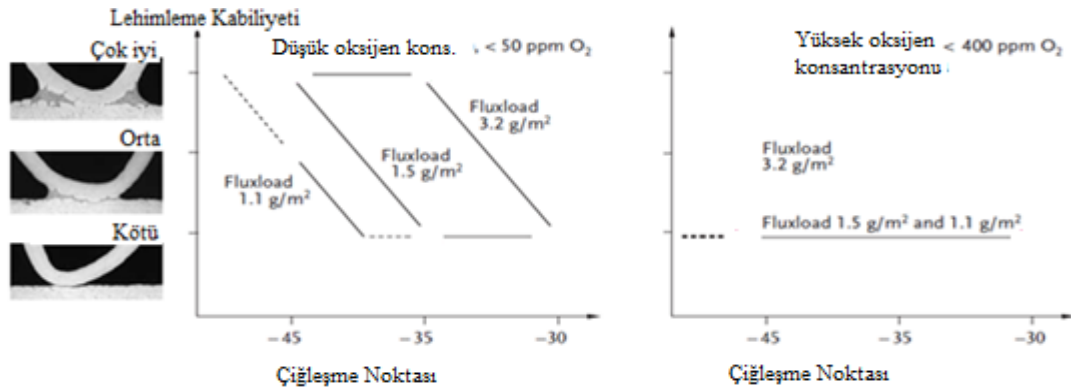
#### ***4.3.1 Fırın Atmosferinde Sert lehimleme***

Isı dönüştürücülerin yapımında kullanılan Alüminyum şerit, çekirdek olarak baz alaşım ve dolgu metali olarak işlev gören düşük ergime sıcaklığına sahip bir alaşımdan oluşan ince bir kaplamanın parçasıdır. Kontrollü azot atmosferi (CAB) altında, sert lehimleme kaliteli bir bağlantı oluşturur ve gerekli olan dekap miktarını azaltır. Dekapan, lehimlemeden önce parçaların üzerine sıvı bir çözücü şeklinde uygulanır. Parçaların sert lehim fırını konveyörüne yüklenmesinden önce, bir kurutma aşaması yapılmalıdır (şekil 4.2).



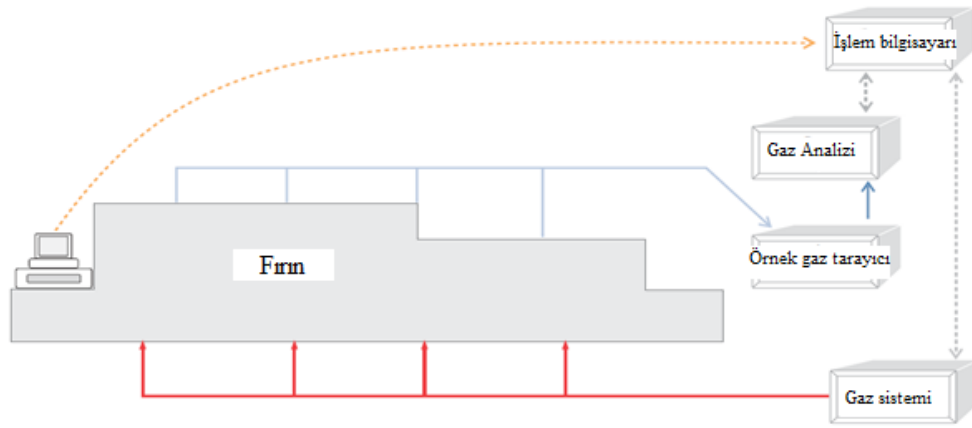
Şekil 4.2 Alüminyum ısı dönüştürücülerin kontrollü azot atmosferine girişi. (Andersson ve dg., 2011)

Başarılı bir sert lehimleme, atmosferdeki oksijen konsantrasyonunun ve çığleşme noktasının doğru bir şekilde kontrolüne dayanır. Oksijen konsantrasyonu, çığleşme noktası ve dekapan yükü arasındaki ilişki şekil 4.3'te gösterilmiştir. 400 ppm (%0.040 hacim) altındaki bir oksijen konsantrasyonu etkili lehimlemeyi engellemiştir. 50 ppm (%0.005 hacim) altındaki bir oksijen konsantrasyonunda düşük bir çığleşme noktası veya artmış bir dekapan yükü, sert lehim bağlantısının kalitesini arttırmıştır. Bu çalışmadan çıkan sonuçların birine göre, çığleşme noktasının düşürülmesi ve dekapan yükünün azaltması ile yüksek kalitede lehim elde etmek mümkündür .



Şekil 4.3 Alüminyumun sert lehimlenme kabiliyeti ve oksijenin atmosferde konsantrasyonu ve çığleşme noktası arasındaki ilişki. (Holm ve dg., 2004)

Bir örnekte alüminyum sert lehimlemesi için atmosfer kontrol sistemini tasarlarlarken, kontrolü azot atmosfer (CAB) fırını üretim halindeyken farklı pozisyonlarda oksijen analizi yapılmıştır. Fırın girişinin yakınında ve fırının çıkışına yakın noktalarda yüksek oksijen konsantrasyonları ölçülmüştür. Lehimleme bölgesinde ise oksijen seviyesi çok daha düşüktür. Dolayısıyla fırına açıklıklardan oksijenin girmesi kesindir ve atmosfer kontrol sistemi bu bozuklukların etkisini ortadan kaldırmalı ya da azaltmalıdır. Oksijen konsantrasyonunu önceden ayarlanan seviyede tutabilen kapalı döngülü bir atmosfer kontrol sistemi geliştirilmiştir. Şekil 4.4'te sistemin blok bir diyagramı görülmektedir (Andersson ve dg.,2011).



Şekil 4.4 Bir atmosfer kontrol sisteminin blok diyagramı. (Andersson ve dg., 2011)

Atmosfer kontrol sistemi, sert lehim fırınında oksijen konsantrasyonu için belli bir ayar noktasının gerekliliğine dayanan aktif bir akım hızı kontrol sistemidir. Azot akım oranı, oksijen konsantrasyonu ayar noktasını korumak için her zaman minimize olmaktadır. Gerçek  $O_2$  konsantrasyonu ayar noktasındakinden yüksekse o zaman azot akım hızı artırılır. Gerçek  $O_2$  konsantrasyonu ayar noktasındakinden düşükse o zaman azot akım hızı azaltılır. Akım hızı ayarlamaları, sürekli ve kitle akım kontrollerinin kullanılmasıyla aralıksız bir şekilde yapılır. Boşta çalışma ve üretim için ayrı ayrı  $O_2$  konsantrasyonu ayar noktaları kullanılır. Boşta çalışma süresinde, biraz daha yüksek bir ayar noktası kullanmakla, azot tüketimi azaltılabilir. Boşta çalışma esnasında, üretime tekrar başlarken yeniden koşullandırma süresini azaltmak için, iyi ve yeterli atmosfer koşullarının sürdürülmesi şarttır. Tüm sistem tek bir kabinde yer alır ve 3 esas parça içerir:

- Azot için gaz akımı kontrol sistemi
- O<sub>2</sub> analiz etme sistemi
- Kontrol paneli. (Andersson ve dg., 2011)

Şekil 4.4'teki sistem, azot akım hızının ayarlanmasıyla gerçek durumda 200 ppm olan O<sub>2</sub> atmosfer konsantrasyonuna ait ayar noktasını korumaktadır. Oksijen konsantrasyonunun ayar noktası değerine mümkün olduğunca hızlı bir şekilde indirilmesi için (tipik olarak 200 ppm), başlangıçta azot akım oranı yükseltilir. Bir süre sonra, oksijen seviyesi ayar noktasının altına düştüğünde, akım minimum bir değere (önceden ayarlanmış değere) iner (Andersson ve dg., 2011).

Kapalı işlem atmosfer kontrolü kullanıldığı zaman lehimleme sonuçları, sabit azot akımında normal üretim ile aynıdır. Sızdırma yapan radyatörler üretilmemiştir ve toplam hata oranı %0 dır. Bu spesifik tel örgülü (mesh belt) fırın orijinal olarak, lehimlenen radyatörün çeşidinden bağımsız olarak 40 m<sup>3</sup>/saatlik sabit bir azot akımıyla çalışmaktadır. Akım dağılımı ve aynı zamanda atmosfer kontrol sisteminin kurulmasından sonraki akım dağılımı tablo 4.2'de gösterilmiştir. Üretim esnasında harekete geçen kontrol sistemiyle ortalama azot akımı 26 m<sup>3</sup>/saat seviyesine inmiştir, bu %35'lik bir azalmaya karşılık gelmektedir. Lehimleme bölgesinde tüm işlem boyunca yaklaşık 100 ppm'in altında sabit bir oksijen konsantrasyonu sürdürülmüştür (Andersson ve dg., 2011).

Tablo 4.2 Atmosfer kontrol sisteminin kurulumundan önce ve kurulumundan sonra akım dağılımları. (Andersson ve dg., 2011)

	Bölge 1	Bölge 2	Bölge 3	Bölge 4	ToplamAkım
Önce	8 m <sup>3</sup> /h	14 m <sup>3</sup> /h	14 m <sup>3</sup> /h	4 m <sup>3</sup> /h	13.8 m <sup>3</sup> /h
Sonra	6 m <sup>3</sup> /h	0 m <sup>3</sup> /h	18 m <sup>3</sup> /h	2 m <sup>3</sup> /h	9.0 m <sup>3</sup> /h

### 4.3.2 Vakumda Sert Lehimleme

Vakumda sert lehimleme dekapan olmadan yapılır. Dolayısıyla son temizleme gerekmez. Dekapan artıklarının olmamasının bir başka avantajı, hapsedilen dekapanla ilişkili korozyonun olmamasıdır. Lehimlenecek olan alüminyum parçalar, lehim yerinde dolgu metali şeklinde etki eden yüksek Mg konsantrasyonlu lehim alaşımı ile kaplanır. Kaplama alaşımındaki Mg bir oksijen alıcısı olarak etki eder ve böylece ıslanmayı iyileştirir. Vakum lehimleme parçalarının bir örneği şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Parçaların vakum sert lehimi için fikstüre yüklenmesi.  
(Andersson ve dg., 2011)

### 4.4 Bakır Esaslı Malzemelerin ve Pirinçlerin Fırında Sert Lehimlemesi

Bakır ve pirinçler çok sayıda kimyasal bileşimi kapsarlar ve çoğu kolaylıkla lehimlenir. Bakırlar genellikle soğuk işlemlerle sertleştirildiği için, sert lehimleme sıcaklıkları genelde baz metalin mukavemetini azaltır. Gümüş ve bakır gibi lehim alaşımları yaygın bir şekilde kullanılır ve dekapanlı olabilirler. Atmosfer genellikle azot bazlı olup çoğunlukla %15’e kadar hidrojen içerir.

Özel bir durum, oksijen içeren iç gerilimsiz tok bakırların (tough pitch coppers), oksijen ve hidrojen arasında gerçekleşen ve kabarcık veya kırılganlığa sebep olan reaksiyon sebebiyle hidrojen içeren atmosferlerde işlenememesidir.

Bakır, ısı dönüştürücülerinde alüminyumun alternatifidir. Yüksek ısıl iletkenlik ve mukavemet bakırın avantajlarıdır. Geçmişte kullanılan bakır alaşımları 450 °C'nin altında bir sıcaklıkta bağlantı kurdukları için yumuşak lehimlemeye adapte edilmişlerdir ve yüksek sıcaklıklarda kullanılacak olurlarsa bu alaşımlar yumuşamaktadır. 450 °C'nin üzerinde birleşebilen ve yine de mukavemetlerini koruyabilen alaşımların geliştirilmesi yeni bir sert lehimleme işlemi ile sonuçlanmıştır. Bu işlemde daha mukavemetli bağlantılar kurulur ve baz alaşımı yüksek sıcaklıkta daha iyi performans gösterir (Şekil 4.6).

Radyatörlerin lehimlenmesinde düşük sıcaklıkta ergiyen, zehirli olmayan ve azot bazlı kontrollü atmosfer fırınlarında uygulama kabiliyeti iyi olan CuSnNiP (%5 Ni, %15 Sn, %5 P) lehim alaşımı kullanılır. Sert lehim alaşımı 600°C'da ergir ve 10 derecelik bir ergime aralığına sahiptir. Ana malzeme yüksek sıcaklığa dayanacak şekilde özel olarak tasarlanmıştır. (Hermanek, bt).



Şekil 4.6 Otomotivteki uygulamalar için sert lehimlenmiş bakır radyatörler. (Hermanek, bt)

Minimum %70 metal içeriğine sahip olan lehim pastalar, sert lehimleme öncesinde spreyleme veya fırçalama yoluyla tüplere, ısıtıcılara ve paletlere uygulanır. Parçalar daha sonra atmosferik bir sürekli örgülü tel fırınında ve azot koruması altında vakumlu bir fırında lehimlenir. Normal lehimleme sıcaklığı 620°C - 650°C'dir. Atmosfer koşulları, -40°C'nin altında bir çığlaşma noktası ve 20 ppm'in altında bir oksijen konsantrasyonu seviyesi şeklinde olmalıdır (Hermanek, bt).

Sert lehimlemeden sonra bakır-pirinç bağlantısı yumuşak lehim metalinden daha mukavemetli olur.

Bu işlemin yararı, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık altında çalışan şarjlı hava soğutucuları gibi yüksek performans ürünlerinin üretilebilmesine imkan vermesidir. Çevre emisyonları ile ilgili yeni düzenlemeler daha yüksek performanslı ısı dönüştürücülerinin kullanımını arttırmaktadır. Yüksek ısıl iletkenliğe sahip olan bakırların üretim kapasitesi üzerinde olumlu bir etkisi vardır. Çünkü ısı dönüştürücüleri sert lehimleme sıcaklığına çok daha hızlı bir şekilde ulaşmaktadır.

#### **4.5 Reaktif Metallerin Fırında Sert Lehimlenmesi**

Oksijen, hidrojen veya azot ile kolaylıkla reaksiyona giren titanyum ve zirkonyum gibi metaller tercihen kuru ve temiz argon veya helyum atmosferinde veya bir vakum içinde lehimlenir. 900°C – 950°C arasındaki bir sıcaklıkta vakumla lehimleme, en iyi lehimleme sonucunu veren yöntem olarak giderek artan bir şekilde tercih edilmektedir. Ortam havasında yüzey oksitlerinin oluşma ihtimalini engellemek için sert lehimlemeden önce temizlik yapılması şarttır. Aksi taktirde ıslanma düşük olacaktır. Bu metaller ayrıca, gümüş bazlı dolgu metalleri gibi yaygın bir şekilde kullanılan dolgu metalleri intermetalik kırılğan bileşikler oluşturma eğilimindedir. Ne şekilde olursa olsun, gümüş bazlı dolgu metalleri bu metallerin sert lehimlenmesi için hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Ti, Zr, Ni, Cu ve Be elementlerinden oluşan alaşımlar alternatif dolgu metalleri olarak kullanılmakta ve halen geliştirilmektedir.

Çelikler için olduğu gibi, sert lehimleme sıcaklığını ve işlemini seçmek, iyi baz metal özellikleri elde etmek için önemlidir. Bazı titanyum alaşımları, çözelti tavlama



ve yaşlandırma gibi ısıll işlemlere tabi tutulurlar. Bazı durumlarda sert lehimleme ile ısıll işlemini kombine etmek mümkündür.

#### 4.6 Seramiklerin ve Camların Fırında Sert Lehimlemesi

Seramikler ve kompozitler, şekillendirmesi ve karmaşık şekillere sokulması zor olan materyallerdir ve bu yüzden birleştirme, mühendisin karmaşık bileşenleri tasarlayabilme yeteneğine bağlıdır. Sert lehimleme seramiklerin, camların ve metallerin birleştirilmesi için en önemli yöntemdir. Özellikle elektronik ürünlerde çeşitli materyallerin birleştirilmesi için sert lehimleme uygulamalarının çok sayıda örneği vardır. İstenen uygulama seramiğin seramiğe, seramiğin metale bağlantı yapması, seramikler veya metaller üzerinde cam bir kapak elde etmek, veya bu bağlantıların bir konstrüksiyon üzerinde kombinasyonunu oluşturmak olduğu zaman sert lehimleme teknolojisindeki sürekli gelişmeler bunu mümkün kılmıştır. Silisyum karbürler ve silisyum nitritler benzer veya farklı bileşimlerdeki diğer bileşenlere bağlanabilirler. Örneğin bazı kaya matkaplarında elmas bile baz metallerin üzerine lehimlenebilmektedir.

En büyük engeller seramik alt malzemenin ıslatılması için metal dolgusunun alınması ile ilgilidir. Islanabilirliğin artırılması iki şekilde sağlanabilir:

- 1) Genellikle metal kaplama gibi yüzey modifikasyon teknikleriyle seramik yüzeyinin ıslanma eğiliminin artırılması.
- 2) Sert lehim Alaşımının kimyasını yüzeyi ıslatacak şekilde değiştirmek. Bunu başarmanın en yaygın yöntemi, “Aktif Metal Sert Lehimleme” olarak adlandırılır. Seramiklerle camlar birleştirilirken kullanılan sert lehim alaşımları hala metaliktir. Aktif metal sert lehimlemede, seramik alt malzemeye reaksiyonu ve ıslanmayı hızlandırmak için bir metal (genellikle titanyum) eklenir. Aktif metal eklenmesi reaktivite ve ıslanma davranışında ciddi miktarda iyileşme ile sonuçlanır. Seramik, daha sonra lehim alaşımıyla bir bağlantı oluşturabilen intermetalik arayüzey reaksiyon ürününün oluşmasıyla ıslanır. Aktif metal sert lehimleme normalde inert veya vakumlu bir atmosferde gerçekleştirilir. Sert lehimleme sıcaklığı tipik olarak, sert

lehim alaşımı sıvılaşma sıcaklığından 50°C – 100°C daha yüksektir.

Bir diğer engel, benzer olmayan materyaller arasındaki termal genişleme farkıdır. Dktil ara tabakalar, parçaların yüzeyleri üzerinde biriken bir dizi tabakanın kullanılması, bileşenler arasındaki termal genişleme farklılıklarına uyum sağlamak ve eşitsizliği minimize etmek içindir.

#### **4.7 Sinterlenmiş Karbürlerin Fırında Sert Lehimlemesi**

Kesici aletler, matkap uçları, kaya matkap parçaları, kalıplar, vb çok sayıda sert lehimlenmiş sinterlenmiş karbür rneği vardır. Bunlarda, ıslanma, metallerde olduğundan çok daha zor ama seramiklerde olduğundan daha iyidir. Bu yüzden, hidrojen atmosferinde veya vakumla sert lehimleme tercih edilir. Daha iyi ıslanabilirlik için nikel içeren gümüş bazlı dolgu metalleri tercih edilmektedir, ama aynı zamanda, bakır bazlı dolgu metalleri de kullanılır. Lehimleme, 980 °C'lik bir sıcaklıkta gerçekleştirilir. Sinterlenmiş karbür, sert lehim alaşımı ve sinterlenmiş karbrle bağlantı yapacak alaşım arasındaki farklı termal genişleme, zarar verici olabilen termal streslere sebep olur. Merkezde bakır ve çevresinde sert lehim alaşımı içeren üç tabakalı bir folyonun kullanılmasıyla bu termal streslerin minimize edilmesi mümkündür. Yumuşak bakır bu stresleri azaltacak şekilde etki gösterir.

## BÖLÜM BEŞ

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 5.1 Yapılan Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Ekipman

##### 5.1.1 Birleştirilecek Olan Parçalar

Bu çalışmada birleştirilecek olan parçaların cinsi AISI 1035'tir. AISI 1035'te bulunan elementlerin adı ve oranları Tablo 5.1'de ve AISI 1035'in mekanik özellikleri Tablo 5.2'de görünmektedir.

Tablo 5.1 AISI 1035'de bulunan elementlerin adı ve oranları (Ağırlık %)

C	Mn	P	S
0.32-0.38	0.60-0.90	0.04 (max)	0.05 (max)

Tablo 5.2 AISI 1035'in mekanik özellikleri (T 35°C). (Efundu)

Yoğunluk (x 1000 kg/m <sup>3</sup> )	7.7-8.03
Poisson Oranı	0.27-0.30
Elastisite Modülü (GPa)	190-210
Çekme Mukavemeti (MPa)	485
Akma Mukavemeti (MPa)	415
Büzülme % (Kesit Daralma)	30

##### 5.1.2 Lehim Pastası

Lehim pastası olarak kullanılan malzeme, Forte Braze yapımı olan ve 99.95% bakır içeren AWS-A5.8 standardına göre B-Cu1, EN-1044 standardına göre CU102 ve DIN-8513 standardına göre L-Cu'dur. Saf bakır gümüşe göre daha ucuzdur ve maliyet olarak avantaj sağlamaktadır, ama bakırın yüksek ergime derecesi işlemin zorluklarından. Ayrıca bakırın oksitlenmesini engellemek için atmosferin kontrolü

dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Tablo 5.3'te Forte Braze yapımı bakır esaslı sert lehim pastalarının özellikleri ve standartları, farklı pastaların kullanım alanlarını gözden geçirmek için verilmiştir.

Tablo 5.3 ForteBraze yapımı bakır esaslı sert lehim pastalarının özellikleri ve standartları (Sentese-bir)

Ürün Kodu	EN 1044	AWS A5.8	DIN 8513	%				Ergime Aralığı (C)
				Cu	Sn	Ni	Diğer	
11000	CU102	B-Cu1	L-Cu	99,95	-	-	-	1085
11000 GF								
11000 SF	CU103	B-Cu1a	-	99,9	-	-	-	1085
11000 MF								
11000 MF4	CU104	BCu-1f	LSF-Cu	99,9	-	-	< 0,03 P	1085
11200	CU105	-	-	97	-	2,5	0,03 B	1085-1100
11310	-	-	-	87		3	10 Mn	980-1030
12004	-	-	-	96	4	-	-	1060-1100
12006	CU201	-	L-CuSn6	94	6	-	< 0,03 P	910-1040
12008	-	-	-	92	8	-	-	880-1030
12012	CU202	-	L-CuSn12	88	12	-	< 0,03 P	825-990

Tablo 5.3'teki ürün kodlarının kullanım alanları ve özellikleri şöyledir:

- **11000:** Karbonlu çelikler, hafif ve yüksek alaşımlı çelikler ve paslanmaz çeliklerin bant fırında veya vakumda sert lehimlemesi için.
- **11200:** Sert metallerin inert atmosfer kullanarak fırında veya indüksiyon ile sert lehimlemesi için.
- **11310:** İyi aralık doldurma özelliklerine sahiptir.
- **12000:** Çeşitli miktarlarda kalay içerikli bronz alaşımları için kullanılır. İyi aralık doldurma özelliklerine sahiptir ver ergime dercesi daha düşüktür.

### 5.1.3 Fırın

Kullanılan fırın, ısıl döngülerinin programlama özelliğine sahip, yandan doldurulmalı (yüklemeli), elektrik direnç ısıtmalı fırındır. Bu fırında lehimlenecek olan parçalar operatör tarafından fırının içine yerleştirilir

Bu çalışmada atmosfer olarak azot gazı ve 10% hacim hidrojen kullanılmıştır. Hidrojen kullanılması lehimlemede yaygındır ve genelde mükemmel lehimlerle sonuçlanır. Ancak hidrojen bazı durumlarda istenmeyen reaksiyonlara sebep olabilir. Hidrojen gazında, oksijen taşıyan bakırın lehimlenmesi, hidrojen ile oksijenin reaksiyona girmesine yol açarak su buharı oluşturabilir. Bakırın içinde oluşan ve hapsolan yüksek su buharı sebebiyle kabarcıklar ve kırılma gibi olumsuz etkiler oluşabilir (Sgoksmo ve Nordanger, 1997). Karbonlu çeliklerin sert lehimlemede atmosferin oksitleyici olmamasına dikkat etmek gerekir. Azot/Hidrojen atmosferinin kullanılma nedeni, hidrojen içeren atmosferlerin mükemmel sert lehimler oluşturma kabiliyetidir ve azot/hidrojen sistemlerinin ayarlanması ve bakımının daha kolay olmasıdır.

Sert lehim fırını sızdırmazsa ve hava girişinden kaynaklanan hatalar minimize edilmişse azot/hidrojen sistemleri, metal oksitlere karşı indirgeyici hale getirir ama aynı zamanda düşük veya ihmal edilebilir bir dekarburizasyon etkisine de sebep olabilir (Shwartz, 2003).

Kullanılan pasta saf metal (saf bakır) olduğundan dolayı ve katılma aralığına sahip olmayıp belirli bir sıcaklıkta eridiği için, ayrıca lehimleme işlemi ile beraber ısıl işlem yapmayı hedeflemediğimiz için kullanılan termal döngü, birleşimin kalitesini etkilememektedir, ama kapiler etki yaratacak ve difüzyonu sağlayacak sıcaklıkta çalışmaya dikkat etmek gerekir (Foraghdani ve Pronin, 2008).

Kullandığımız fırın soğutma bölgesine sahip olmadığı için, soğutma aşaması fırının içine azot gazı verilerek yapılmıştır.

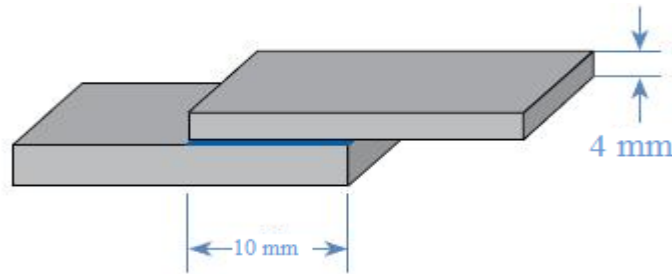
## 5.2 Parçaların Temizliği ve Hazırlaması

Eşdeğer kapiller etkisi sadece yağ, kir, safsızlıklar ve oksitlerin hem ana metalden hemde lehim alaşımından arındıkları zaman gerçekleşir (Gale ve Totemeier, 2004). Yetersiz temizliğin sonuçlarından, kötü ıslanma, tam dolmayan bağlantılar ve düşük bağlantı gücüdür (Andersson ve dg., 2011). Bu yüzden deneysel çalışmalarda parçaların, lehim alaşımının ve fırının temizliği dikkat edilmesi gereken konulardandır.

Bu çalışmada, birleştirilecek olan parçalar, planlanan deneylerin farklı gereksimlerine göre kesildikten sonra, mekanik temizlik ve kimyasal temizliğe tabi tutulmuşlar. Mekanik temizliğin esnasında, parçaların yüzeyleri fırçalandıktan sonra zımparalanmıştır. Mekanik temizliği işleminin başarılı olduğundan emin olmak için parçalar taşlanmıştır. Bir sonraki aşamada yüzeyleri yağdan arındırmak için etil alkol ile temizlemek uygulaması, parçaları saf etil alkolde daldırarak yapılmıştır.

## 5.3 Fırında Lehimlemenin Yapılışı

Boyutları ve lehim karakteristikleri Tablo 5.4'te verilen nünuneler üzerinde sert lehim işlemi yapılmıştır. Bağlantı tasarımı bindirme olarak seçilmiştir (Şekil 5.1). Bindirme uzunluğu 10mm dir. Optimum aralığı elede etmek için, fırına yerleştirilen nünuneler arasında farklı aralıklar uygulanmıştır.



Şekil 5.1 Nünunelerin bağlantı tasarımı

Tablo 5.4 Nümunelerin boyutları ve lehim karakteristikleri

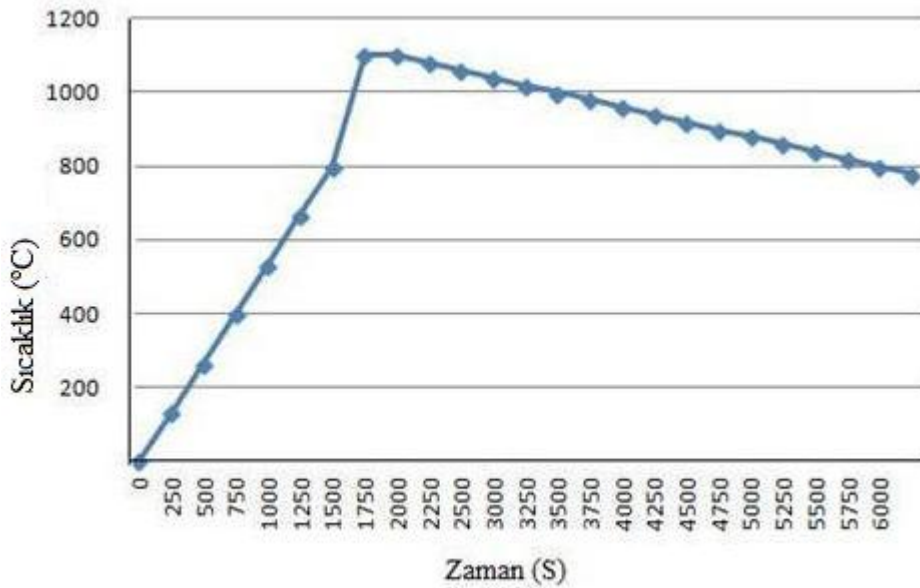
Nümunenin Numarası	Nümunenin Boyutları (mm)	Aralık (mm)	Fırına Giriş Sıcaklığı	Isıtma Hızı *	Lehim Sıcaklığı	Bekletme Süresi
1	30x120x40	0	800°C	2°C/S	1100°C	5 dk
2	30x120x40	0.05	800°C	2°C/S	1100°C	5 dk
3	30x120x40	0.1	800°C	2°C/S	1100°C	5 dk
4	30x120x40	0.15	800°C	2°C/S	1100°C	5 dk
5	30x120x40	0.2	800°C	2°C/S	1100°C	5 dk
6	30x120x40	0.25	800°C	2°C/S	1100°C	5 dk
7	30x120x40	0.3	800°C	2°C/S	1100°C	5 dk
8	30x120x40	0.35	800°C	2°C/S	1100°C	5 dk
9	30x120x40	0.4	800°C	2°C/S	1100°C	5 dk

\* 800°C'tan lehim sıcaklığına (1100°C) kadar

\*\* Lehimleme atmosferi  $N_2+H_2$  (% 10 Hacim) indirgeyici atmosferdir.

\*\*\* Parçalar, lehimleme sıcaklığına 5 dk bekletildikten sonra, fırın kapatılıp ve parçalar fırınla beraber soğutulmuştur

Fırının termal döngüsü Şekil 5.2'de görünmektedir.



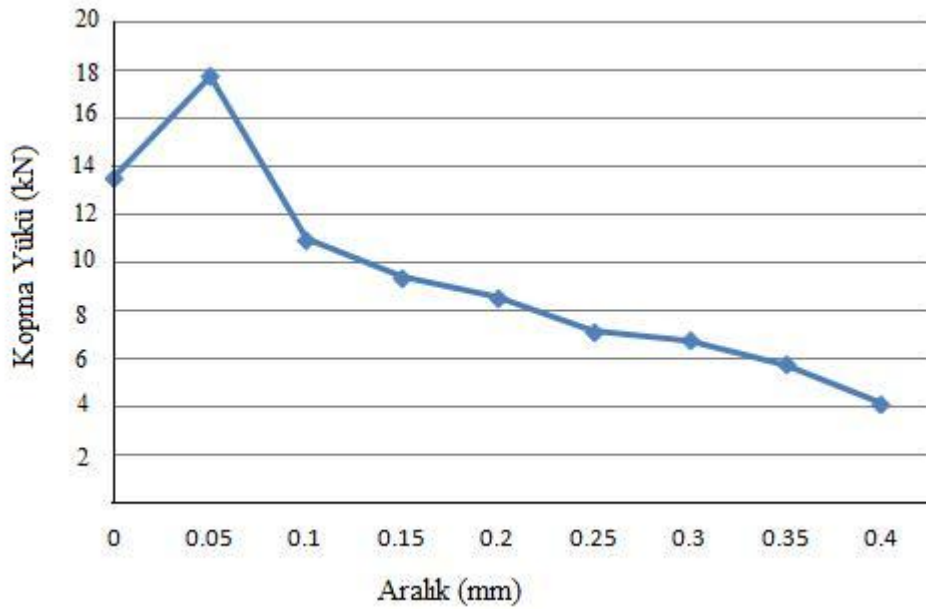
Şekil 5.2 Sert Lehimleme için zamana göre fırın sıcaklığı

### 5.3.1 Çekme Deneyi

Lehimleme işleminden sonra hazırlanan numuneler çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bu deneyden elde edilen sonuçlara göre en dayanıklı birleşimin 0.05 mm aralığında elde edildiği tespit edilmiştir. Deneyin sonuçları Tablo 5.5’de ve kopma yükünün lehim aralığına göre değişimi Şekil 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.5 Farklı aralıklara göre elde edilen kırılma gücü

Parçaların Aralığı (mm)	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
Kırılma yükü (kN)	13.6	17.8	11	9.4	8.6	7.2	6.8	5.8	4.2



Şekil 5.3 Lehimlenen parçaların lehim aralığına göre (mm) kopma yükü (kN) diyagramı

Lehimlenmiş nünunelerin hepsinde kırılma bağlantı bölgesinden meydana gelmiştir. Bakırın çekme mukavemeti çeliğe göre düşüktür. Bağlantının birleşme bölgesinden kırılması, bağlantı bölgesinin özelliklerinin bakıra yakın olduğunun göstergesidir.



Bağlantı bölgesi hakkında daha fazla bilgi toplamak için başka nünuneler hazırlanıp ve farklı sıcaklıklarda ve farklı bekletme süreleri ile sert lehim işleminden sonra sertlik deneylerine tabi tutulmuşlar.

### 5.3.2 Sertik Deneyi

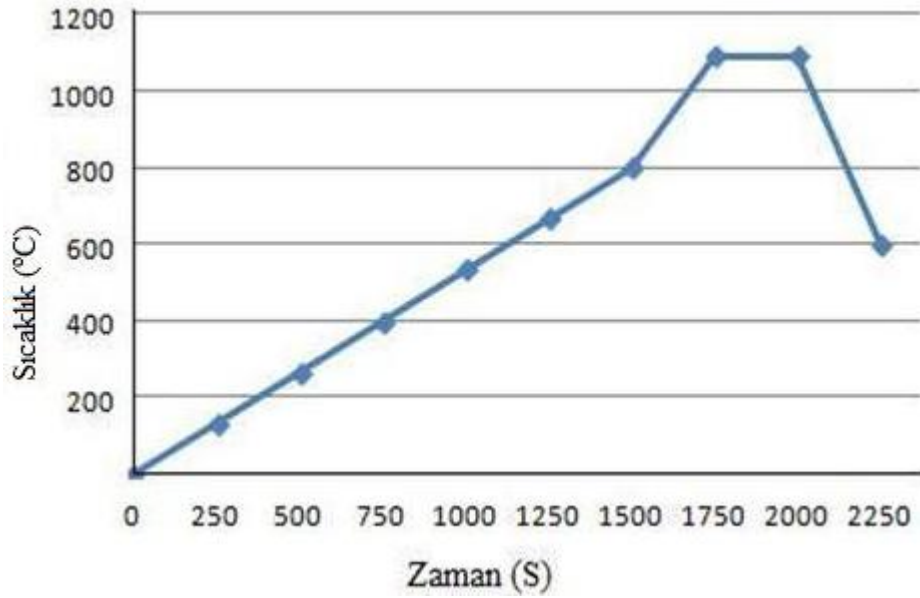
Bağlantı özelliklerinin araştırmasının devamında farklı sıcaklıklar ve farklı bekletme sürelerinde birleştirilmiş parçalar sertik deneyine tabi tutulmuştur. Bu aşamada sıcaklığın ve fırında bekletilme süresinin etkisi değişkenler olarak alınmıştır. Kullanılan pastanın ergime dercesinin 1085°C olduğunu göz önüne alarak, 1090°C, 1095°C ve 1100°C’da deneyler yapılmıştır. Ayrıca her sıcaklıkta farklı fırında bekletilme süresi uygulayarak, değişkenlerin etkisi tartışılmıştır. Birleştirilecek olan parçaların boyutları 30x55x40 (mm) ve birleşme tasarımı bindirme şeklindedir. Bindirme uzunluğu, çekme deneyinde olduğu gibi 10mm dir. Fırın atmosferi azot/hidrojen olup hidrojen yüzdesi 10% (hacim) dur. Deneylerde lehim aralığı 0.05 mm olarak uygulanmıştır. Nünuneler için lehim karakteristikleri Tablo 5.6’da görünmektedir.

Tablo 5.6 Sertlik deneyine tabi tutulacak nünuneler için lehim karakteristikleri

Nünune Numarası	Fırına Giriş Sıcaklığı	Isıtma Hızı	Lehim Sıcaklığı	Bekletme Süresi	Soğutma Hızı	Parçaların Aralığı
1	800°C	2°C/S	1090°C	3 dk	2°C/S	0.05 mm
2	800°C	2°C/S	1090°C	6 dk	2°C/S	0.05 mm
3	800°C	2°C/S	1095°C	3 dk	2°C/S	0.05 mm
4	800°C	2°C/S	1095°C	6 dk	2°C/S	0.05 mm
5	800°C	2°C/S	1100°C	3 dk	2°C/S	0.05 mm
6	800°C	2°C/S	1100°C	6 dk	2°C/S	0.05 mm

## Birinci Nümune

Parçalar 800°C sıcaklığında olan fırına yerleştirildikten sonra, sıcaklıkları 2°C/S hızıyla 1090°C'a çıkartılmıştır. Bu sıcaklıkta 3 dakika bekletildikten sonra, fırının içine azot gazı açılarak kontrollü şekilde 2°C/S hızıyla 600°C'a kadar soğutulmuşlar. Bu sıcaklıkta parçalar fırından çıkartılıp su ile oda sıcaklığına getirilmiştir. Fırının termal döngüsü Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

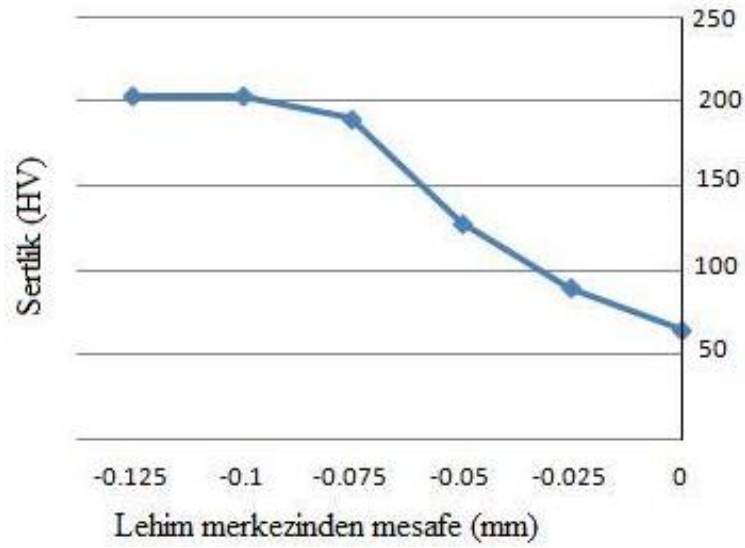


Şekil 5.4 Fırının termal döngüsü. Yatay eksen zaman (s) ve dikey eksen sıcaklık (°C)

Sert lehimlemeden sonra, nümunelere bağlantı merkezinden 0.025 mm aralıklarla sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik deneyinin sonuçları Tablo 5.7'de ve lehim bölgesine göre sertlik diyagramı Şekil 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.7 Birinci nümune için sertlik deneyinin sonuçları

Lehim merkezinden mesafe (mm)	-0.125	-0.1	-0.075	-0.05	-0.025	0
Sertlik (HV)	203	203	190	128	90	63



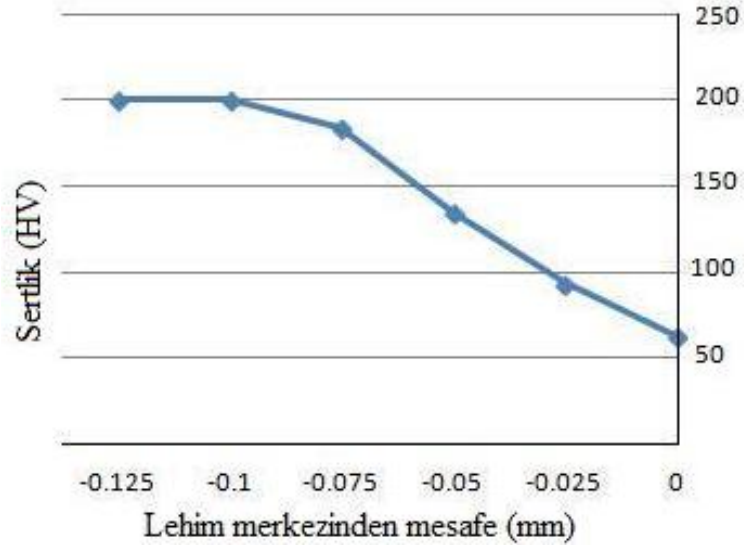
Şekil 5.5 Birinci nümune için lehim bölgesine göre sertlik diyagramı

### İkinci Nümune

Bu nümune için farklı fırında bekletilme süresi uygulanmıştır. Bu deneyde işlem gören parçaların fırında bekletilme süresi 6 dk'ya çıkartılmıştır. Burada elde edilen nünunelerle sertlik deneyi uygulandıktan sonra elde edilen değerler Tablo 5.8'de ve lehim bölgesine göre sertlik diyagramı Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.8 İkinci nümune için sertlik deneyinin sonuçları

Lehim merkezinden mesafe (mm)	-0.125	-0.1	-0.075	-0.05	-0.025	0
Sertlik (HV)	200	200	184	135	94	63



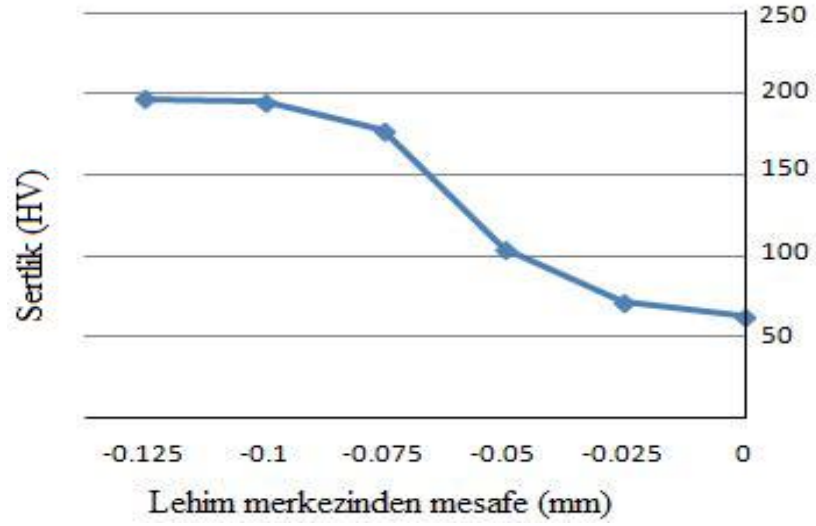
Şekil 5.6 İkinci nümune için lehim bölgesine göre sertlik diyagramı

### Üçüncü Nümune

Lehimleme işlemi 1095°'da 3 dk bekletilme süresi ile uygulanmıştır. Sertlik değerleri Tablo 5.9'da ve lehim bölgesine göre sertlik diyagramı Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

Tablo 5.9 Üçüncü nümune için sertlik deneyinin sonuçları

Lehim merkezinden mesafe (mm)	-0.125	-0.1	-0.075	-0.05	-0.025	0
Sertlik (HV)	197	195	178	105	72	63



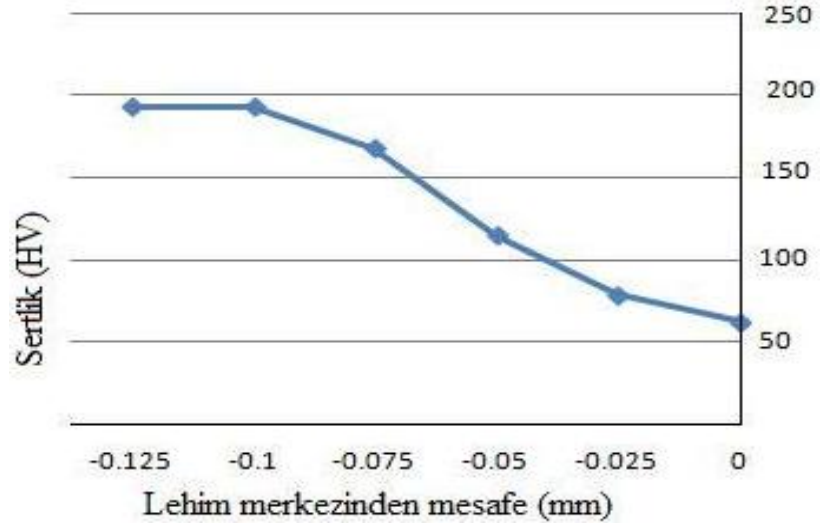
Şekil 5.7 Üçüncü nümune için lehim bölgesine göre sertlik sertlik diyagramı

#### Dördüncü Nümune

Bu nümune için lehim sıcaklığı 1095°C ve bekletilme süresi 6 dakikadır. Ölçülen sertlik değerleri Tablo 5.10'da ve lehim bölgesine göre sertlik diyagramı Şekil 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.10 Dördüncü nümune için sertlik deneyinin sonuçları

Lehim merkezinden mesafe (mm)	-0.125	-0.1	-0.075	-0.05	-0.025	0
Sertlik (HV)	193	193	168	115	79	63



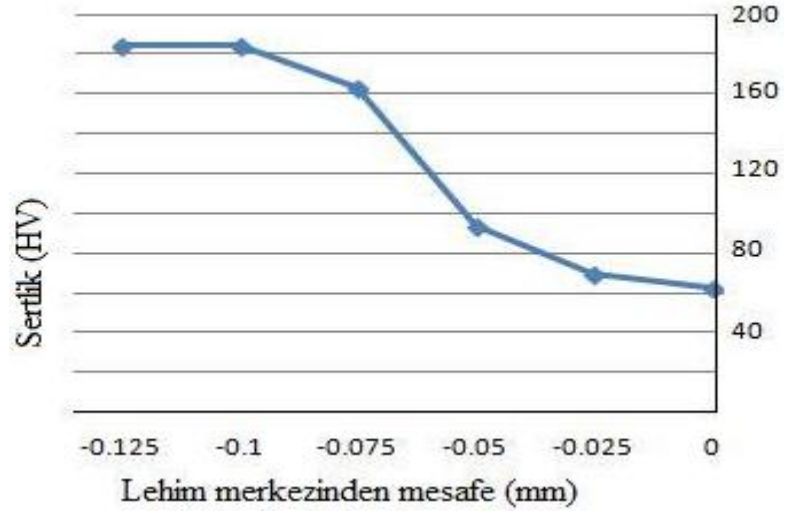
Şekil 5.8 Dördüncü nümune için lehim bölgesine göre sertlik diyagramı

### Beşinci Nümune

Sert lehileme işlemi 1100°C ve 3 dk bekletilme süresi ile yapılmıştır. Sertlik sonuçları Tablo 5.11’de ve lehim bölgesine göre sertlik diyagramı Şekil 5.9’da görülmektedir.

Tablo 5.11 Beşinci nümune için sertlik deneyinin sonuçları

Lehim merkezinden mesafe (mm)	-0.125	-0.1	-0.075	-0.05	-0.025	0
Sertlik (HV)	184	184	163	94	70	63



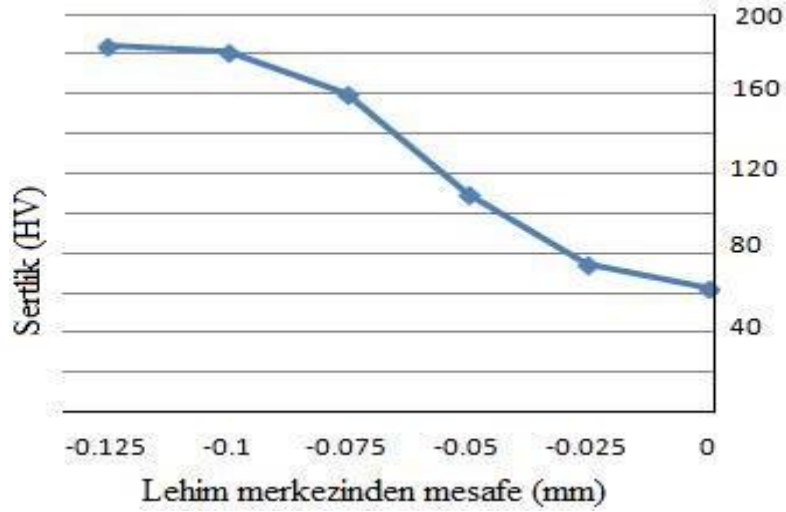
Şekil 5.9 Beşinci nümune için lehim bölgesine göre sertlik diyagramı

### Altıncı Nümune

Beşinci nümune için sert lehimleme koşulları 6 dk bekletilme süresi ile tekrarlanmıştır. Sertlik sonuçları Tablo 5.12’de ve lehim bölgesine göre sertlik diyagramı Şekil 5.10’da verilmiştir.

Tablo 5.12 Altıncı nümune için sertlik deneyinin sonuçları

Lehim merkezinden mesafe (mm)	-0.125	-0.1	-0.075	-0.05	-0.025	0
Sertlik (HV)	184	181	160	110	75	63



Şekil 5.10 Altıncı nümune için lehim bölgesine göre sertlik diyagramı

Fırında sert lehimlemede amaçlanan hedefe göre sıcaklığı, bekletme süresini, fırın atmosferini ve fırın basıncını ayarlamak gerekir. Hedeflenen özellik, sertlik veya difzyon miktarı veya her ikisi olabilir. Bu araştırmada, sert lehim işleminden sonra nünunelerin farklı bölgelerinin özellikleri ve diğer bölgelerle farkları araştırılmıştır.

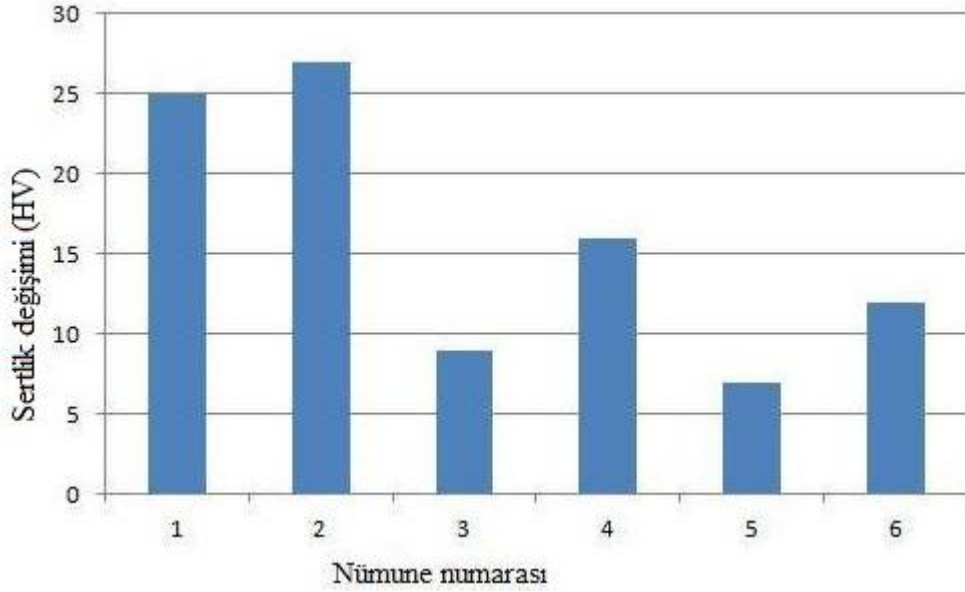
Elde edilen değerleri kullanarak difzyon bölgesi ve sertlikleri ölçülen bölgeler hakkında bazı sonuçlara varmak mümkündür. Bunun için bölgelerden geçiş yaparken, sertlik değerinin değişimi göz önüne alınmıştır. Sertliği ölçülmüş olan her nokta Tablo 5.13'te gösterildiği gibi adlandırılmıştır.

Tablo 5.13 Sertliği ölçülmüş olan noktalar

Sertliği ölçülen noktanın adı	f	e	d	c	b	a
Lehim merkezinden mesafe (mm)	-0.125	-0.1	-0.075	-0.05	-0.025	0

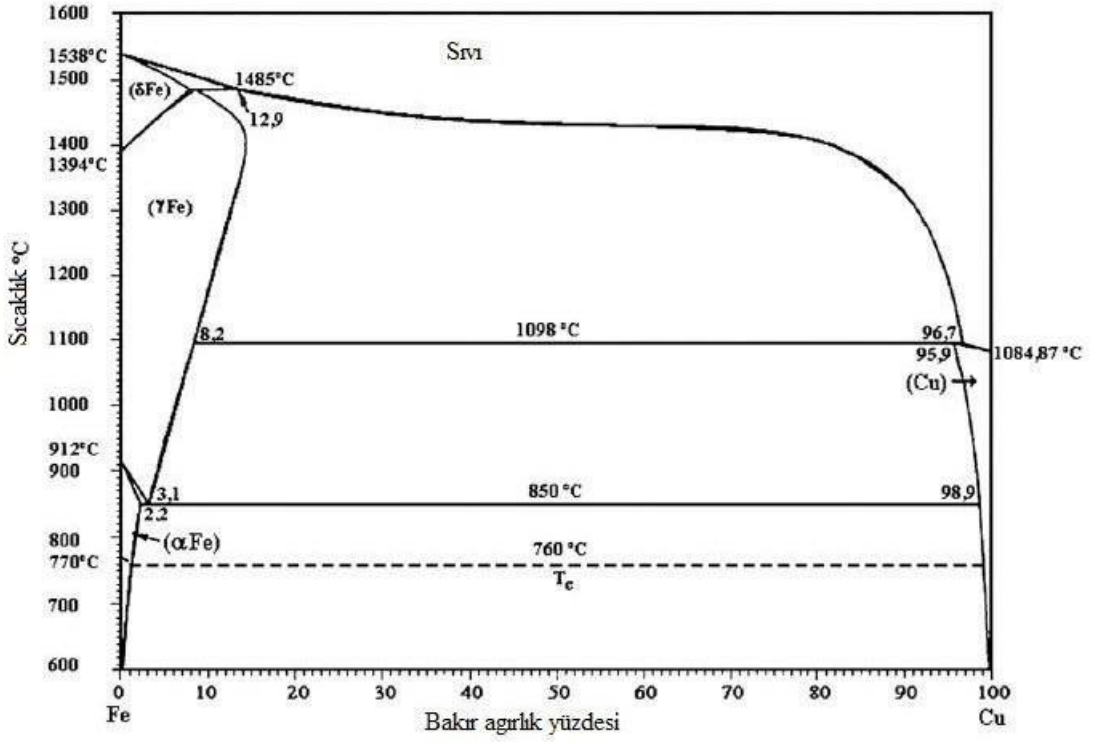
Her nümune için, “a” bölgesinden “b” bölgesine geçişte, sertlik değerinin değişim diyagramı Şekil 5.11’de gösterilmiştir.





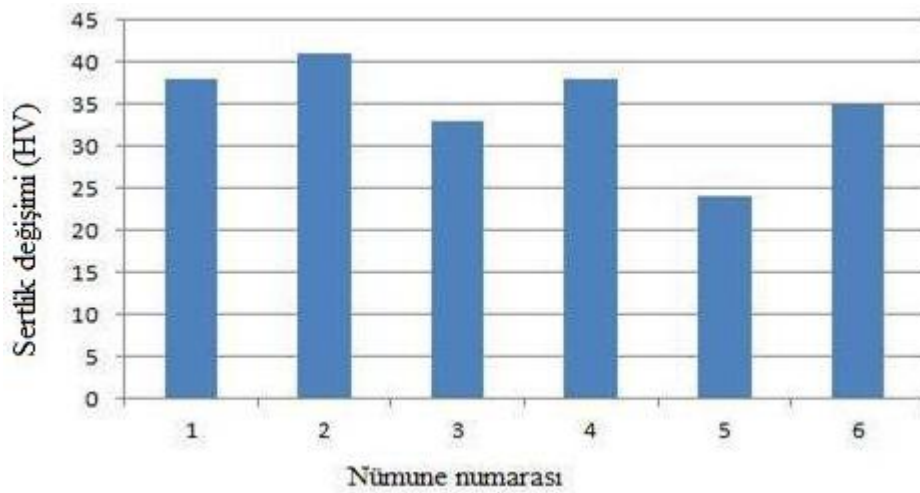
Şekil 5.11 1'den 6'ncı nümuneye kadar, a bölgesinden b bölgesine geçişte ortaya çıkan sertlik değişimi (HV)

Şekil 5.11 dikkate alınarak, en düşük sertlik değişiminin 5'inci nümunedey ortaya çıktığı görünmektedir. Bunun anlamı, 5'inci nümunedey "a" ve "b" bölgelerinin sertlik değerlerinin farkı diğer deneylere göre az olmasıdır. Başka bir deyişte bu deneyde bakır difzyonu en yüksek miktardadır. Bekletilme süresinin artması ile difzyonda önemli bir artış gözlenmemektedir. Aksine geçiş bölgesinin sertliği, dolgu metalden uzaklaşmaktadır. Üçüncü ve beşinci nümunelerin sertlik sonuçlarına göre, lehim sıcaklığının artışı difzyonun artışıyla sonuçlanmıştır. Demir-Bakır denge diyagramı bu sonucu desteklemektedir. Bu diyagrama göre sıcaklığın artışıyla bakır oranı yükselmektedir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Demir-Bakır denge diyagramı (Molleda ve dg., 2008)

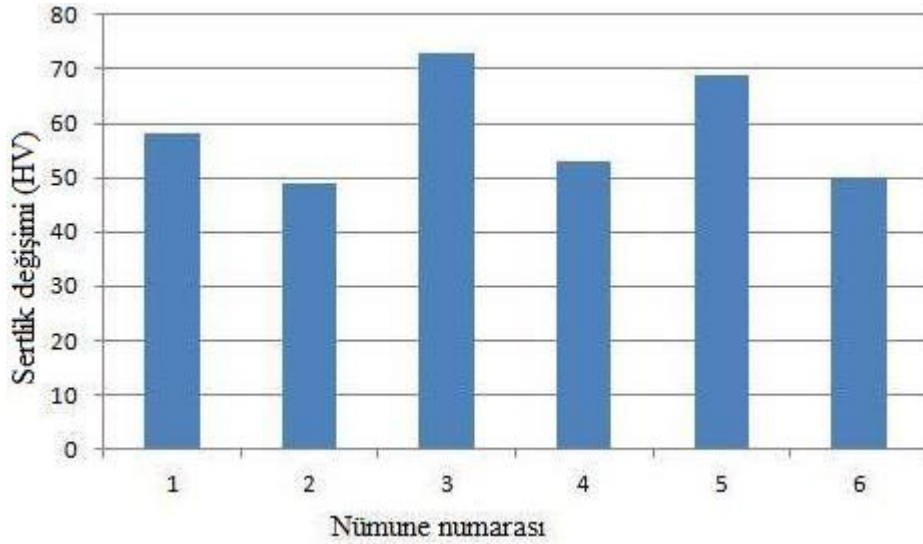
Difzyon bölgesinde ana metale yaklaştıkça ortaya çıkan değişiklikleri tartışmak için, numuneler için yapılan sertlik ölçümleri ile, “b” bölgesinden “c” bölgesine geçişte ortaya çıkan sertlik değerlerinin değişim diyagramı Şekil 5.13’te gösterildiği gibi çizilmiştir.



Şekil 5.13 Yapılan her deney için “b” bölgesinden “c” bölgesine geçişte ortaya çıkan sertlik değerlerinin değişimi (HV)

Diyagrama bakıldığında beşinci nümunedeki sertlik değerinin değişimi diğer deneylere göre daha azdır. Başka bir deyişle, beşinci nümunedeki sertliği ölçülen bu noktaların özellikleri bakıra daha yakındır ve diğer nümunelere göre bakırın difizyonu daha yüksektir. Birinci ve ikinci nümunelerde yani lehimleme sıcaklığı en düşük olanlarda, sertlik miktarı büyük değişim göstermektedir ve bağlantının sertliği daha hızlı bir şekilde ana metale yaklaşmaktadır. Bekletme süresi daha uzun olduğu nümunelerde ise bakırın difizyonu önemli miktarda artmamaktadır ve sertlik değerlerinin artışı daha yüksektir. Bunun nedeni bekletme süresinin artışıyla difizyon bölgesinde demirin korozyona maruz kalması olabilmektedir. Beşinci nümuneye bakılarak, lehimleme sıcaklığının optimum değere sahip olduğu ve sıcaklığın artışı difizyonun artmasında etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Nümuneler için, ana metalden difizyon bölgesine doğru, sertlik değerlerinin değişim diyagramları Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Deneylerin herbiri için ana metalden difizyon bölgesine geçişte ortaya çıkan sertlik değerinin değişimi (HV)

Şekil 5.14'te görüldüğü gibi üçüncü ve beşinci nümunelerde, diğer nümunelerle kıyaslandığında, difizyon bölgesinin sertliği, ana malzemenin sertliğine göre daha yüksek miktarda değişmektedir. Bu sonuca göre, üçüncü ve beşinci nümunelerde difizyon bölgesinin özellikleri bakıra daha yakındır ve difizyonun daha etkili ve daha

geniş bir alanda olmasının göstergesidir ve Şekil 5.11 ve 5.12'den elde edilen sonuçları desteklemektedir. Elde edilen sertlik değerleri toplu şekilde Tablo 5.14'de verilmiştir.

Tablo 5.14 Sertlik deneyinden elde edilen değerler (Vickers)

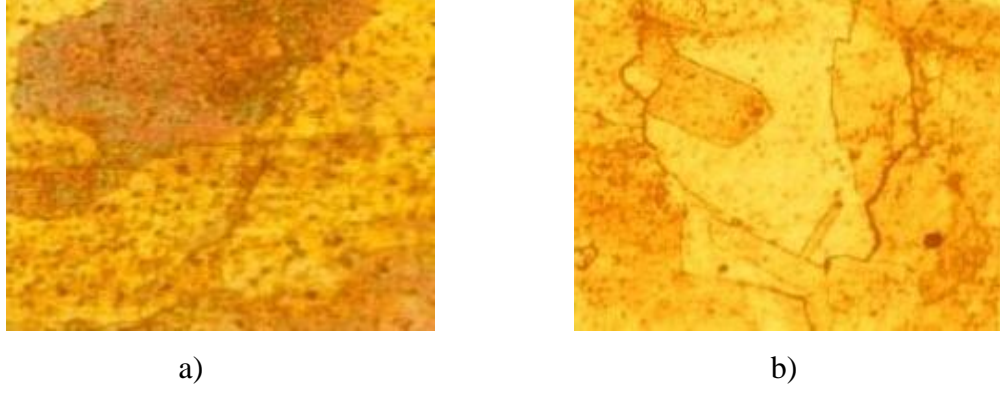
Nümune 1	Nümune 2	Nümune 3	Nümune 4	Nümune 5	Nümune 6
203	200	197	193	184	184
203	200	195	193	184	181
190	184	178	168	163	160
128	135	105	115	94	110
90	94	72	79	70	75
63	63	63	63	63	63

Değerlere genel olarak bakıldığında, sıcaklığın artışı difzyonun artmasına neden olduğuna rağmen, sertliği düşürmektedir. Bunun nedeni sıcaklığın artışıyla birleştirilecek olan parçalarda ve dolgu metalinde ortaya çıkan tane irileşmesi olabildiğinden, numuneler metalografik incelemeye tabi tutulmuştur.

### 5.3.3 Metalografik İnceleme

Metalografik incelemesi için hazırlanan numuneler zımparalandıktan sonra, alümina solüsyonlu parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Bakırın dağlanması için 5gr FeCl<sub>3</sub> ve 10 ml saf su karışımı kullanılmıştır. Çelik kısmı ise %3 NH<sub>3</sub> ve %97 etil alkol karışımından oluşan solüsyonla dağlanmıştır ve optik mikroskop kullanarak dağlanan numunelerin fotoğrafları çekilmiştir.

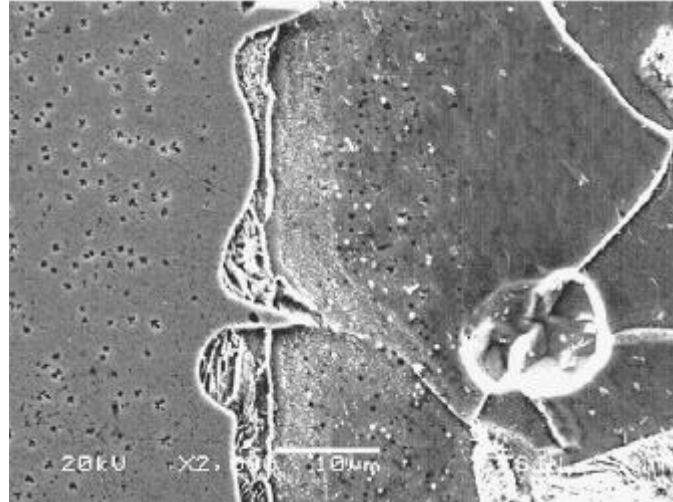
Mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında, sıcaklığın artmasıyla bakırda tane büyümesi belirgindir (Şekil 5.14). Aynı şekilde sıcaklığın artışı çelikte tane büyümesine yol açmıştır. Sıcaklığın artması tane büyümesi ile sonuçlandığı için, bu artış sertlik değerlerinde genel olarak düşüşe neden olmuştur (5.3.2).



Şekil 5.14 Optik mikroskop kullanarak bakır bölgesinden çekilen forotaflar. (300 X)

a) Lehimleme sıcaklığı 1090°C      b) Lehimleme sıcaklığı 1100°C

Yapılan çalışmalar sonucunda mikroyapı incelemesinde bakır ve çelik dağılayıcılarının birbirine karışması ve özellikle bakır dağılayıcısının difzyon bölgesine kötü etkisiyle kararmasına neden olmuştur. Bu bölgenin mikroyapısını görmek elektron mikroskopo ile mümkün olacaktır. Molleda ve dg., “fırında sert lehimleme yöntemi ile pirinç kullanarak karbon çeligin bakırla kaplanması” adlı araştırmalarında, elektron mikroskopi ile bakır-çelik çifti için elde ettikleri mikroyapı görüntüleri bunun örneğidir (Şekil 5.15).



Şekil 5.14 Fırında sert lehimleme işlemi sonucu çeliğin tane sınırında bakır difzyonunun elektron mikroskop ile çekilen fotorafları (Molleda ve dg., 2008)

Bu görüntülere göre, bakır ve çeliğin geçiş bölgesi bağlantı boyunca homojen olup çeliğe doğru yönelmiştir. Bu sonuç sertlik deneylerinde elde ettiğimiz değerleri destekliyordur. Ölçtüğümüz sertlik değerlerine göre geçiş bölgesinde sertliğin düşük olmasının nedeni difizyonun ana malzemeye doğru olmasıdır. Sertlik deneyinde bağlantı boyunca sertlik değerleri ölçülmüştür ve hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir ve bu geçiş bölgesinin homojen olduğu anlamındadır.

## BÖLÜM ALTI

### SONUÇLAR

Bakır akışkan bir malzemedir ve çeliğin yüzeyini istenilen şekilde ıslatma kabiliyetine sahiptir. Ayrıca bakırın, çelikte çözülme oranı ve çelikle sürtünme oranı çok düşüktür (Massalski, 1986). Bu yüzden bakır, çeliğin bağlantı noktalarında akıp ve istenilen yerleri doldurur ve bu metalurjik açıdan idealdir ama bakırın çelikle düşük alaşımlanma kabiliyeti, bir dezavantajdır çünkü bağlantının mekanik özellikleri bakıra çok yakındır ve buda sertlik gibi mekanik özelliklerin düşük olduğu anlamındadır.

Aralık optimum değerden daha aşağıya düşürüldüğünde ilave metalin kendi kendine yeteri kadar yayılmadığı tespit edilmiştir. Tersine, aralık gerekenden daha fazla olduğu zamanda birleşmenin mukavemeti düşmektedir. Bu yüzden lehimin tasarımında optimum aralığa dikkat etmek gerekir.

Bu araştırmada aralık uygulanmadığında bile, parçaların yüzey pürüzlerinden ötürü meydana gelen iniş ve çıkışlar kapiler etki için yeterlidir. Buna dayanarak, iyi parlatılmış yüzeyler ilave metalin yayılmasına olumsuz etki edebilir. Metalin genleşme katsayısı dikkat edilmesi gereken diğer konudur. Aralığı hesaplamak oda sıcaklığı ve sert lehim sıcaklığı arasındaki fark ve metalin genleşme katsayısı göz önüne alınmalıdır. Bu sorunu gidermek için oda sıcaklığında aralığı istenilen değerden daha fazla uygulamak yardımcı olabilir.

Çekme deneyi sonucunda, kırılmanın bağlantı noktasında ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bakırın çeliğe göre daha düşük kırılma mukavemetine sahip olduğundan dolayı, kırılma bakıra daha yakın özelliklere sahip olan birleşme bölgesinden ortaya çıkmıştır.

Sertlik analizleri sonucu bakır bölgesi yüzey merkezli kübik kafesli doğası gereği en yumuşak bölge olarak tespit edilmiştir. Kaynak birleşme bölgesinin sertlik değerleri açısından en düşük sertliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan deneylere göre, sıcaklığın artması, bakırın çelik tane sınırlarına difizyonun artmasına neden olduğu gözlenmiştir. Sıcaklığın artışı genel bir şekilde sertliği düşürmüştür. Bu yüzden lehim parametrelerin ayarında, amaçlanan özelliklere göre bunların arasında bir denge sağlamak önemlidir.

Fırında bekletme süresinin artışı, lehimin özellikleri üzerinde pozitif bir etki bırakmamıştır. Yapılan çalışmada yüksek sıcaklık ve ıslanma ile yayılmaya kötü etki bırakacak şekilde, fırında düşük bekletilme süresi, daha kaliteli lehimler elde etmek için etkili olmuştur.

Bağlantı boyunca yapılan sertlik ölçümlerinde, lehimin merkez hattından uzaklıkları aynı olan noktalarda hemen hemen aynı değerler elde edilmiştir. Bu ölçümlere göre, bakırın çelik tane sınırlarına difizyonu bağlantı boyunca aynıdır. Başka bir deyişle, difizyon bağlantı boyunca homojendir.

Sıcaklığın artmasıyla hem bakırın hemde çeliğin taneleri büyümektedir. Bu sonuç, sertlik deneyinden elde edilen değerlerin açıklamasıdır. Sıcaklığın artışı tane büyümesine ve sonuçta sertliğin düşüşüne neden olmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda mikroyapı incelemesinde bakır ve çelik dağlayıcılarının birbirine karışması ve özellikle bakır dağlayıcısının çelik bölgesine kötü etkisiyle çelik tarafının kararmasına neden olmuştur. Bu durum içyapının net bir şekilde görülmesine engel olmuştur. İçyapının tam olarak görülebilmesi için mikroyapı analizinin elektron mikroskobunda yapılması daha uygun olacaktır.



**KAYNAKLAR**

- AISI 1035*, (b.t). 1 Kasım 2012, [http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon\\_steels/](http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/).
- Andersson, R., ve Holm, T., ve Wiberg, S., ve Astrom, A. (2011). *Furnace Atmospheres No. 4: Brazing of Metals*. Linde Gas.
- ASM International. (1993). *ASM Handbook6: Welding Brazing and Soldering*. Materials Park.
- Bodur, O. (1996). *Sert Lehimleme*. Aksakaynak Kaynak Elektrodları ve Telleri.
- Boughton, J.D., ve Roberts, P.M. (1973). *Furnace Brazing*. Johnson Matthey Metals.
- Copper Brazing Alloys*, (b.t). 1 Kasım 2012, [http://www.sentebir.com/fortebraze/copper\\_bearing\\_brazing\\_alloys.html/](http://www.sentebir.com/fortebraze/copper_bearing_brazing_alloys.html/).
- Foraghdani, H. ve Pronin, N.S. (2008). Yüksek basınçlı boruların kaynaklanması ve sert lehimlenmesi. *Olum ve Fonun Havayi*, 1 (10), 19-28.
- Gale, W.F. ve Totemeier, T. C. (Ed.). 2004. *Smithells Metals Reference Book* (8). Elsevier.
- Hermanek, F.J. (b.t). *An Introduction to Brazing Brochure*. Allot Metals Inc.
- Herring, D.H. (2004). *What is vacuum*. Alfa Laval Press.
- Holm, T., ve Wiberg, s., ve Mahlo, T., ve Andersson R. (2004). *Furnace Atmospheres for Tube Annealing*. Linde Gas.

Humpstone G., ve Jacobson, D. (1993). *Principles of Soldering and Brazing*. ASM International. Materials Park.

Hong I.T., Koo C. H., (2005). Vacuum-furnace brazing of C103 and Ti-6Al-4V with Ti-15Cu-15Ni filler-metal. *Materials Science and Engineering, 1* (398), 113-127.

*Introduction to Brazing*, (2009). 1 Kasım 2012, <http://www.suzlermetco.com/>.

Köksal, N., Türkmen, İ., ve Arabacı, M., (2010). Sert lehimle ile birleştirilmiş AA5754 ve A3003 malzemelerdeki korozyon incelenmesi. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 1* (2), 575-585.

Massalski, T.B. (1986). *Binary Alloy Phase Diagrams*. ASM International. Materials Park. OH.

Molleda, F., Mora, J., Molleda J.R, Carrillo, E., Mora, E., ve Mellor, B.G., (2008). Copper coating of carbon steel by a furnace brazing process using brass as the braze. *Materials Characterization, 59* (5), 613-617.

Robert, W., ve Messler Jr. (2004). Brazing: A Subclassification of Welding. *Joining of Materials and Structures* (349-387).

Shabtay, Y., Ainali, M., ve Lea, A., (2004). New brazing processes using anneal-resistant copper and brass alloys. *Materials and Design, 1* (25), 83-39.

Shwartz M. (2003). *Brazing* (2<sup>nd</sup> Ed.). ASM International. Materials Park.

Skogsmo, JU., ve Nordanger, S. (1997). *Hydrogen embrittlement*. IVF.

Steward, R., Grossbeck, M., Chin, B., Aglan, H., ve Gan, Y., (2000). Furnace brazing type 304 stainless steel to vanadium alloy (V-5Cr-5Ti). *Jurnal of Nuclear Materials, 283* (2), 1224-1228.