

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAKIR BORULARIN SERT LEHİMLEME İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE İŞLEM
PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK MAMUL ÖZELLİKLERİNE OLAN
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

CEM ALAKUZU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ BİNNUR SAĞBAŞ**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAKIR BORULARIN SERT LEHİMLEME İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE İŞLEM
PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK MAMUL ÖZELLİKLERİNE OLAN
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Cem ALAKUZU tarafından hazırlanan tez çalışması 18.03.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Binnur SAĞBAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Binnur SAĞBAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Tolga MERT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA
Marmara Üniversitesi

ÖNSÖZ

İlk olarak tez konusu seçiminde tercihlerimi dikkate alarak bana yardımcı olan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Binnur SAĞBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Deneylerin yapılması sırasında her türlü imkânı sağlayan, İstanbul'da faaliyet gösteren Klites Mühendislik firma sahibi İbrahim KAPLAN ve çalışanlarına, bu zorlu tez sürecinde benden desteğini esirgemeyen yine Klites Mühendislik çalışanlarından kardeşim Cenk ALAKUZU'ya ve tüm bu zorlu eğitim sürecinde bana her konuda destek olup her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mart, 2019

Cem ALAKUZU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
TÜRKİYE'DE BAKIR BORULARIN KULLANIMI	6
2.1 İklimlendirme Tesisatlarında Bakır Boru Kullanımı.....	7
2.2 Temiz Su Tesisatlarında Bakır Boru Kullanımı	8
2.3 Medikal Gaz Tesisatların Bakır Boru Kullanımı.....	9
BÖLÜM 3	
SERT LEHİMLEME	11
3.1 Lehimlemenin Sınıflandırılması.....	12
3.1.1 Lehimleme Sıcaklığına Göre	12
3.1.2 Lehimleme Aralığına Göre	12
3.2 Lehimleme İşleminin Parametreleri.....	15
3.3 Sert Lehimleme Teknikleri	20
3.3.1 Üfleçle Lehimleme	20
3.3.2 Fırında Sert Lehimleme.....	22

3.3.3	Endüksiyon Sert Lehimlemesi.....	24
3.3.4	Direnç Sert Lehimlemesi.....	26
3.3.5	Daldırma Yöntemiyle Lehimleme	28
3.3.6	Elektron Demeti Lehimleme Tekniği	29
3.3.7	Lazer Lehimleme Tekniği	30
3.4	Sert Lehim Dekapanları.....	30
3.5	Sert Lehim Alaşımları	33
3.6	Sert Lehimlemede Yüzey İşlemleri Ve Tasarım.....	37
3.7	Sert Lehimleme İşleminde Alınacak Güvenlik Önlemleri.....	42

BÖLÜM 4

BAKIR BORU VE ALAŞIMLARININ SERT LEHİMLENMESİ.....	44
4.1 Bakır Ve Alaşımlarına Sert Lehimleme Uygulamaları	46
4.2 Lehimli Birleşmelerde Hatalar	47

BÖLÜM 5

SERT LEHİMLEMEDE KULLANILAN MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ	50
5.1 Tahribatsız Muayene Yöntemleri.....	50
5.1.1 Gözle Muayene.....	51
5.1.2 Penetran Sıvı İle Muayene.....	51
5.1.3 Ultrasonik Muayene	52
5.1.4 Radyografi Yöntemi İle Muayene	53
5.1.5 Manyetik Kontrol İle Muayene.....	55
5.2 Tahribatlı Muayene Yöntemleri	55
5.2.1 Çekme Deneyi.....	56
5.2.2 Eğme Deneyi.....	57
5.2.3 Burulma Deneyi	58
5.3 Yüzey Pürüzlülük Ölçümü	58
5.3.1 Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	59
5.3.2 Yüzey Pürüzlülük Ölçme Yöntemleri.....	60

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	61
6.1 Malzeme	61
6.2 Yöntem.....	62
6.2.1 Çekme Testi	64
6.2.2 SEM Görüntüleme	64
6.2.3 Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri.....	65

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE YORUMLAMALAR	67
7.1 Yüzey İncelemeleri.....	70

7.2	Çekme Testi	73
7.3	Yüzey Pürüzlülük İncelemeleri.....	75
BÖLÜM 8		
SONUÇ VE ÖNERİLER		78
KAYNAKLAR.....		79
ÖZGEÇMİŞ		83

KISALTMA LİSTESİ

ALBB	Azot Kullanılarak Lehimlenmiş Bakır Boru
ASTM	Amerikan Malzeme Test Derneği
AWS	Amerikan Kaynak Derneği
HVAC	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
KKD	Kişisel Koruyucu Donanım
LBB	Azot Kullanılmadan Lehimlenmiş Bakır Boru

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1	Kapiler etkinin şematik olarak gösterimi 2
Şekil 2. 1	Farklı formlardaki bakır boruların iklimlendirme sektöründe kullanılan örnekleri..... 7
Şekil 2. 2	Bakır boru ile ankastre temiz su tesisatı 8
Şekil 2. 3	Temiz su tesisatlarında bakır boru birleştirme yöntemleri..... 9
Şekil 2. 4	Medikal gaz tesisatı..... 10
Şekil 3. 1	Ergitme kaynağı, kapiler lehimleme ve lehim kaynağı birleştirme şekillerinin şematik gösterimi..... 12
Şekil 3. 2	Bakır, pirinç ve çeliklerin L Ag30Cd standart lehim alaşımı ile birleşmesinde kapiler yükselme miktarları..... 17
Şekil 3. 3	Lehim aralığı ile kapiler doldurma basıncı arasındaki ilişki 18
Şekil 3. 4	Eritme kaynağı, lehim kaynağı ve kapiler lehimleme için ağızların şekli ve sıcaklık dağılımları 18
Şekil 3. 5	Lehimleme aralığının boyutları 19
Şekil 3. 6	Sıvı damla, katı yüzeyi ıslattığı zaman meydana gelen yüzey gerilmeleri ve kontak açısı..... 19
Şekil 3. 7	Oksi-gaz kaynağında kullanılan alevler 21
Şekil 3. 8	Farklı tiplerdeki sert lehimleme üfleçleri 22
Şekil 3. 9	Koruyucu atmosferli sert lehimleme fırını 23
Şekil 3. 10	Vakum ortamında sert lehimleme için kullanılan fırınlar 24
Şekil 3. 11	Vakum ortamında sert lehimleme için kullanılan fırınlar 24
Şekil 3. 12	Endüksiyon sert lehimlemesinde kullanılan ısı kaynakları..... 25
Şekil 3. 13	Endüksiyon ile sert lehimleme 26
Şekil 3. 14	Direnç sert lehimlemesi için tertipler 27
Şekil 3. 15	Sert Lehimlemede ısılatma sonrası kapiler etki 39
Şekil 3. 16	Yatay bir katı yüzey üzerinde farklı ısılatma özelliklerine sahip üç farklı sıvı damlalarının yayılması, bu sıvıların dikey kılcal damarlarda gösterdikleri davranışlar..... 40
Şekil 3. 17	Geleneksel alın altına lehimleme ve uygulamaları..... 41
Şekil 3. 18	Geleneksel bindirme bağlantısı ve uygulamaları 41
Şekil 3. 19	Sert lehimlemede birleştirme tasarımları 42
Şekil 4. 1	Bakır borularda azot kullanılarak ve azot kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemleri..... 45

Şekil 4. 2	Lehimli birleştirmelerde çatlama ve çinkosuzluktan dolayı bakır su borusunda meydana gelen hata	49
Şekil 5. 1	Sıvı penetrant ile muayenenin temel aşamaları	52
Şekil 5. 2	Süreksizlik görüntüsünün oluşumu	54
Şekil 5. 3	Çekme deneyi makinesi	56
Şekil 5. 4	Yuvarlak kesitli malzeme normu	57
Şekil 5. 5	Eğme deneyi makinesi	58
Şekil 5. 6	Burulma deneyi makinesi	58
Şekil 5. 7	Ortalama Sistemine Göre Yüzey Pürüzlülük Profili	60
Şekil 6. 1	Bindirme yöntemiyle sert lehimlenmiş bakır boru numune boyutları	62
Şekil 6. 2	Alın altına yöntemiyle sert lehimlenmiş bakır boru numune boyutları	63
Şekil 6. 3	Sıcaklık ölçümleri yapılan lazer termometre	63
Şekil 6. 4	Deneyde kullanılan çekme makinesi	64
Şekil 6. 5	Yüzey incelemesinde kullanılan SEM görüntüleme cihazı	65
Şekil 6. 6	Yüzey pürüzlülük incelemesinde kullanılan optik profilometre cihazı	66
Şekil 7. 1	Bindirme yöntemi ile azot gazı kullanılmadan yapılan sert lehimleme işleminde bağlantı bölgesinde ısıtma sırasındaki sıcaklık değişimleri	68
Şekil 7. 2	Bindirme yöntemi ile azot gazı kullanılarak yapılan sert lehimleme işleminde bağlantı bölgesinde ısıtma sırasındaki sıcaklık değişimleri	68
Şekil 7. 3	Bindirme yöntemi ile azot gazı kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemi sonrasında oda sıcaklığında soğuma sırasında bağlantı bölgesinin sıcaklık değişimleri	69
Şekil 7. 4	Bindirme yöntemi ile azot gazı kullanılarak yapılan sert lehimleme işlemi sonrasında oda sıcaklığında soğuma sırasında bağlantı bölgesinin sıcaklık değişimleri	69
Şekil 7. 5	Bindirme birleştirme yöntemiyle azot gazı kullanılarak sert lehimlenmiş bakır borulara ait ısı tesiri altında kalan bölgenin yüzey görüntüleri	70
Şekil 7. 6	Bindirme birleştirme yöntemiyle azot gazı kullanılmadan sert lehimlenmiş bakır borulara ait ısı tesiri altında kalan bölgenin yüzey görüntüleri	72
Şekil 7. 7	Çekme testi sonrasında bindirme yöntemiyle birleştirilip sert lehimlenmiş bakır boruların kopma noktası	73
Şekil 7. 8	Çekme testi sonrasında 750 °C sıcaklıkta alın altına yöntemle birleştirilip sert lehimlenmiş bakır boruların kopma noktası	74
Şekil 7. 9	Saf bakır boruya ait yüzey görünümü	76
Şekil 7. 10	Azot gazı kullanılarak sert lehimlenmiş numuneye ait yüzey görünümü	76
Şekil 7. 11	Azot gazı kullanılmadan sert lehimlenmiş numuneye ait yüzey görünümü.	76

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Lehim Alaşımları Ve Uygulama Alanları 13
Çizelge 3.2	Bazı ana metaller için kullanılan ilave dolgu metalleri ve lehimleme sıcaklıkları..... 16
Çizelge 3.3	AWS B2.2 standardında belirtilen lehimleme sıcaklıklarında kullanılan bazı ilave dolgu metalleri için tavsiye edilen lehimleme aralıkları..... 16
Çizelge 3.4	Değişik metallerin direnç sert lehimlemesi için gerekli ilave metal tipleri..... 28
Çizelge 3.5	Dekapanların temel elemanları ve kullanım biçimleri 31
Çizelge 3.6	Bazı dekapanların standartlardaki gösteriliş şekilleri ve özellikleri..... 33
Çizelge 3.7	DIN 8513'e göre Bakır Lehim Alaşımları..... 34
Çizelge 3.8	DIN 8513'e göre %20'den az Gümüş içeren Gümüş Lehim Alaşımları.... 34
Çizelge 3.9	DIN 8513'e göre %20'den fazla Gümüş içeren Gümüş Lehim Alaşımları 35
Çizelge 3.10	Alaşım elementlerine göre lehim grupları 36
Çizelge 3.11	Alaşım elementlerine göre lehim grupları 37
Çizelge 3.12	Sert lehim yapımı sırasında ortaya çıkan gazlar ve insanlara olan etkileri..... 43
Çizelge 6. 1	Deneylerde kullanılan bakırın işlemsiz haldeki mekanik özellikleri 61
Çizelge 6. 2	Deneylerde kullanılan bakır boruların kimyasal bileşimi 61
Çizelge 6. 3	Deneylerde kullanılan sert lehim telinin özellikleri..... 62
Çizelge 6. 4	Deneyde kullanılan numuneler ve işlem parametreleri 62
Çizelge 7. 1	Azot gazı kullanılarak ve kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemi sırasında lehimleme sıcaklığına kadar belli zaman aralıklarında ölçülen sıcaklık değerleri..... 67
Çizelge 7. 2	Azot gazı kullanılarak ve kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemi sonrasında bağlantı bölgesinin oda sıcaklığında soğuması sırasında belli zaman aralıklarında ölçülen sıcaklık değerleri 68
Çizelge 7. 3	Çekme testi sonrası bindirme ve alın altına birleştirme yöntemiyle yapılan lehimli bağlantıların kopma kuvveti ve çekme dayanımı değerleri 75
Çizelge 7. 4	Yüzey pürüzlülük parametreleri 77

**BAKIR BORULARIN SERT LEHİMLEME İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE İŞLEM
PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK MAMUL ÖZELLİKLERİNE OLAN
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Cem ALAKUZU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Binnur SAĞBAŞ

Bakır kimyasal simgesi “Cu” olan, kırmızıya yakın renkte, ısı ve elektrik iletkenliği iyi olan, ince tel ve levha formuna getirilebilen ve uygulama alanı oldukça geniş olan bir metaldir. Metalik bakır, sülfütlü ve oksitli bakır cevherlerinden zenginleştirme ve izabe (metalleri eriterek sıvı duruma getirme) sonucunda elde edilmektedir. Paslanmaz yapısı nedeniyle, soğuk hava makineleri ve ekipmanları, nakliye araçları ve dış kaplamalar için genellikle tercih edilmiştir.

Bakır ve alaşımları genellikle lehimleme işlemi ile birleştirilir. Sert lehimleme, dolgu metalinin kılcal etki ile birleştirilecek olan metal yüzeyler arasındaki küçük boşluklara nüfuz etme kabiliyetine bağlıdır. Uygun koşullar altında lehimli malzeme dolgu alaşımının yüzey difüzyonuyla ıslanır ve sonuç olarak bu iki malzeme arasında güçlü bağlar oluşur.

Bu çalışmada, soğutma sistemlerinde kullanılan bakır borular, lehimleme tekniği ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemleri için 12.7 mm çapında 8 adet saf bakır (% 99.9) boru örneği kullanılmıştır. Bakır borulara L-CuP6 (DIN 8513) dolgu metalini ile 3 farklı sert lehim sıcaklığı uygulanmıştır. Ayrıca 3 numune azot gazı altında, diğer 3 numune ise azot gazı kullanılmadan lehimlenmiştir. Diğer 2 numune ise yaklaşık 750°C sıcaklıkta alın alına birleştirilerek azot gazı kullanılarak ve azot gazı kullanılmadan sert lehimlenmiştir. Sıcaklık değişikliklerinin, azot gazı kullanımının ve boruları birleştirme şeklinin lehimlenmiş bağlantıların mekanik özelliklerine ve yüzey kalitesine olan etkileri

araştırılmıştır. Ayrıca birleştirme alanında sıcaklık dağılımı llmştş. Sonulara göre, maksimum dayanım sağlayan en uygun sıcaklık değeri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakır alaşımı, bakır boru, sert lehimleme, sert lehimleme sıcaklığı, azot

ABSTRACT

INVESTIGATION THE EFFECT OF COPPER PIPE BRAZING PROCESS PARAMETERS ON GEOMETRICAL PRODUCT SPECIFICATION

Cem ALAKUZU

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Binnur SAĞBAŞ

Copper is a metal that's chemical symbol is 'Cu' and it has a reddish color, having high heat and electric conductivity and also that can be in form of thin wire and plate it has very wide usage area. Metallic copper is obtained by through enrichment and smelting of sulphited and oxidized copper ores. Because of its stainless structure, it has been generally preferred for cold air machinery and equipment, transport vehicles and exterior coatings.

Copper and its alloys are usually combined with brazing process. Brazing depends on the ability of the filler metal to penetrate through capillary voids between the metal surfaces to be joined, by capillary effect. Under favorable conditions, the brazed material is wetted with the surface diffusion of the filler alloy and as a result, strong bonds formed between these two materials.

In this study, copper pipes used in refrigeration systems were joined by brazing technique. Eight pieces pure copper (99.9%) pipe samples in 12.7 mm diameter were used for joining processes. Three different brazing temperatures were applied to the copper pipes with L-CuP6 (DIN 8513) filler metal. Also, 3 samples were brazed under nitrogen gas and other 3 samples were brazed without using nitrogen gas. Other 2

samples were brazed of butt method approximately 750°C under nitrogen gas and without using nitrogen gas. The effects of the temperature changes, the use of nitrogen gas and joining method of pipes on the mechanical properties and surface qualities of the brazed joints have been investigated. Moreover, the temperature distribution on the joining area were measured. According to results, the optimum temperature value providing the maximum tensile strength was evaluated.

Keywords: Copper alloy, copper pipe, brazing, brazing temperature, nitrogen

1.1 Literatür Özeti

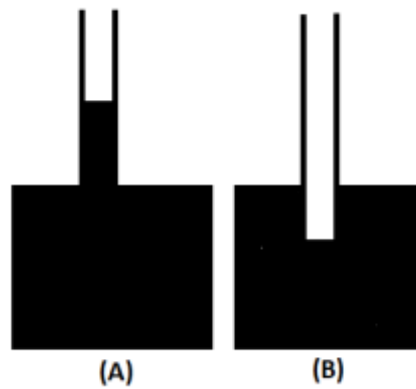
Bakır, tarih öncesi çağlardan beri insanlık için önemli bir malzeme olmuştur. Aslında, insanlık tarihinin en önemli "çağlarından" ya da evrelerinden birine bakır alaşımı, bronz adı verilir. Bakır ve birçok alaşımı eski Mısırlılar ve Romalılar dönemlerinden dünyadaki modern kültürlere kadar pek çok medeniyete önemli bir rol oynamıştır [1].

Bakır, ince tel ve levha olarak şekillendirilebilen, ısı ve elektrik iletkenlik özellikleri çok iyi olan ve çeşitli kullanım alanlarına sahip bir metaldir. Oksitli ve sülfütlü bakır cevherlerinden zenginleştirilerek ve metalleri eritme sonucunda sıvı hale getirerek (izabe) metalik bakır elde edilmektedir. Bakır malzemeler elektrik ve ısı iletkenlik özelliklerinin iyi olması sayesinde elektrik santralleri ve soğutma tesisatı sektörünün gözde malzemesi olmaktadır. Paslanmaz yapıda olmasından dolayı soğuk hava makine ve donanımında, dış kaplamalarda ve nakliye araçlarında bakırın geniş ölçüde kullanımı söz konusudur. Bakır malzemelerin ayrıca kaynak uygulamalarında, metalürjide ve bronz imalatında ciddi bir payı bulunmaktadır [2].

Bakır alaşımsız olarak veya diğer metallerle alaşımlandırılmış olarak kullanılabilir. Başlıca alaşımları Zn (pirinç), Al (Al-bronz), Ni (küpronikel), Sn (Kalay bronz) elementlerinden veya bu elementlerin farklı oranlardaki bileşimlerinden oluşur. Alaşımsız halde bakır malzemeler binaların çatı ve ön yüz kaplamalarında kullanılmaktadır [3].

Genellikle ürünler birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Bu malzemeleri mekanik uygulamalarla birleştirebilmenin

yanında kaynak, yumuşak lehim ve sert lehim gibi farklı yöntemlerle de birleştirilebilmek mümkündür. Sert lehimleme genel anlamda iki metalin ilave dolgu metali vasıtasıyla birleştirilmesi yöntemidir. Bu işlem birbirine sıkı geçmiş iki ana metal ile bağlantı bölgesine tutulan, ergime sıcaklığı ana metallerin ergime sıcaklığından daha düşük olan ilave dolgu metal malzemedен oluşur ve birleşme işlemi, dolgu metalinin ergime sıcaklığının üzerine çıkılmasıyla meydana gelir. Bu sayede ilave dolgu metali ergiyerek ana malzemelerin bağlantı bölgesindeki boşluklara oluşan kapiler etki ile nüfuz edecektir [4].



Şekil 1.1 Kapiler etkinin şematik olarak gösterimi [4]

İnsanların yıllar boyunca bildiği ve vazgeçemediği sert lehim yöntemi, aynı veya farklı özellikte olan, ince ve kalın kesitli gereçlerin ergitilmeden birleştirilmesinde kullanılan bir yöntem olarak dikkat çekmektedir. Metallerin kullanıldığı endüstri dallarında, imal edilen gereçleri farklı teknikler yardımıyla birleştirme gereği vardır. Bu ihtiyaç gereği yaygın bir şekilde mekanik ve kaynaklı birleştirmeler, yapıştırma ve lehimleme yöntemleri kullanılmaktadır. Özellikle farklı kesit ve özellikteki metalleri birbiriyle birleştirmede, malzemeler arasında metalürjik uygunsuzluk olması kaynaklı birleştirmeyi olanaksız kılmaktadır. Yüksek dayanımlı ve sızdırmaz özellikte bağlantının da istenmesi durumunda diğer birleştirme yöntemlerinin de kullanılması imkânsız olmaktadır. Lehimleme tekniği böyle durumlarda çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Lehimleme işleminde ilave dolgu metali eğer 450°C 'nin altında bir sıcaklıkta ergirse yöntem yumuşak lehimleme, 450°C 'nin üzerinde bir sıcaklıkta ergirse yöntem sert lehimleme adını alır [5,14].

Sert lehimleme işleminde, birleştirilmek istenen ana metaller ve ilave dolgu metali arasındaki metalürjik bağın meydana gelmesi, difüzyon olarak adlandırılan atomların taşınması ile elde edilir. Güçlü bir bağ oluşabilmesi için atomların taşınma işlemini kolaylaştıracak ve birleştirme alanındaki istenmeyen maddeleri temizleyecek koruyucu dekapanlar kullanılır. Bugüne kadar yapılmış olan arkeolojik araştırmalar sonucunda sert lehimleme uygulaması ile birleştirilmiş ilk gerecin, M.Ö. 3000 yıllarına ait bir Sümer mezarında bulunan altın vazo olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yapılan araştırmalar, göstermektedir ki Romalılar tarafından lehimleme tekniği yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Rönesans döneminde boraksın dekapan olarak kullanılmasıyla lehimleme tekniği daha da gelişmiştir [5].

Günümüz endüstrisinin birçok dalında yaygın halde sert lehimleme ile birleştirme tekniği kullanılmaktadır. Otomotiv ve uçak endüstrilerinde, uzay sanayisinde, nükleer sanayide, beyaz eşya imalatlarında, makine sektöründe, havalandırma, ısıtma ve soğutma sektörlerinde, kesici takım imalatlarında, armatür imalatında, gıda sektöründe, tıbbi cihazların ve müzik aletlerinin üretimi gibi geniş bir alanda sert lehimleme yöntemi uygulanmaktadır [5].

Endüstriyel uygulamalarda imal edilmek istenen malzemenin tasarımı yapılırken parçaların kolay ve ekonomik üretilmesi için kullanılacak tüm teknikler araştırılır. Sert lehimleme metodunun günümüz endüstrisinde çoğu alanda yaygın olarak kullanılmasının nedenleri, bu yöntemin önemini ve amacını ortaya koymaktadır. Parçaların birleştirilmesinde sert lehimleme yönteminin çoğunlukla tercih edilme nedenleri maddeler halinde [5] den şu şekilde sıralanabilir:

- > Bu yöntem ile birleştirilen malzemelerin bağlantı dayanımı yüksektir, hatta birleştirilen metallerden bile daha güçlü bağlantılar elde edilebilir.
- > Sert lehim yöntemiyle birleştirilmiş malzemelerde birleşim bölgesi darbe ve titreşimlere karşı dayanımlıdır.
- > Kolay ve hızlı uygulamak mümkündür, uygulamayı yapacak olan personelin eğitimi kolaydır. Otomasyona uygun olması sayesinde lehimleme işlemi otomatik hale getirilebilir.

> Farklı ergime dereceleri olan elik ve bakır malzemelerin birleştirilmesi kolay ve ekonomik şekilde yapılabilmektedir. Bunun yanında farklı kalınlık ve kesitte metallerin birleştirilmesi de mümkün olmaktadır.

> 450°C üzerinde olan sert lehimleme sıcaklığı birleştirilecek malzemelerin ergime sıcaklığının altında olduğu için, yüksek ısı nedeniyle birleştirilen metallerde deformasyonlar oluşmaz.

> Bu birleştirme yöntemi diğer yöntemlere göre daha ekonomik bağlantı sağlar. Birleştirme sonrasında başka bir işleme gerek olmaması sebebiyle hızlı ve maliyet düşüktür. Sızdırmazlık özelliği istenen birleştirmelerde rahatlıkla uygulanabilir.

> Bağlantı bölgesinde estetik bir görüntü sağlar. Tercih edilen ilave dolgu metalinin rengine göre ana metal rengine yakın birleşimler elde edilebilmektedir.

Lehimleme tekniğinde pek çok faktör birleşme özelliklerini etkilemektedir. Bu faktörlerin lehimlemedeki önemi ve hangi faktörlere bağlı olarak değiştiği bilinirse, lehimleme uygulaması o kadar bilinçli yapılır. Sert lehimde kaliteye etki eden etmenler [6] dan şunlardır:

1. Birleşme alanının boyutu,
2. Birleştirilen malzemelerin yüzey koşulları,
3. Dolgu metalinin yayılabilme yeteneği,
4. Birleşen elemanlar ile dolgu metali arasındaki alaşımlanma

Sert lehimleme ile alakalı olarak literatürde farklı kompozisyonlara sahip ilave teller ile yapılan bağlantıların mekanik ve mikro yapı özellikleri incelenmiş olup bunun sonucunda ideal olan lehim teli alaşımı ve birleştirme tipi seçilmiştir. Bir diğer çalışmada ise 900 C ergime sıcaklığında 8 mm çapında Cu-35Zn-3Pb alaşımının, Cu-9Sn-7Ni-6P ilave dolgu metaliyle fırında lehimlenmesi sonucunda oksidasyona karşı azot atmosferi kullanılarak başarılı bir şekilde lehimleme yapılabilceği belirtilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada soğutma tesisatlarında kullanılan bakır borular, oksigaz tekniği kullanılarak; farklı birleştirme tipi, lehimleme sıcaklığı, lehimleme sırasında azot gazı

kullanılıp kullanılmaması gibi parametreler değiştirilerek sert lehim teliyle birleştirilmiştir. Sert lehimlenmiş numunelerin yüzey görüntüleri, yüzey pürüzlülük değerleri ve çekme dayanım özelliklerinin parametrelerin değiştirilmesinden nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

Araştırma sonucunda bakır borulu tesisatlarda sıkça yapılan lehimleme sıcaklığının iyi ayarlanmaması, bağlantı şeklinin yanlış seçimi ve azot gazının kullanılmaması gibi hatalar sonucunda tesisatlarda meydana gelen korozyon, bağlantı dayanımının düşük olması, cüruf oluşumu gibi durumlara çözüm olacak ideal parametreler belirlenmiştir.

1.3 Hipotez

Bakır boru sert lehimleme işleminde azot gazı kullanımı bağlantının mekanik ve yüzey özelliklerini iyileştirir.

TÜRKİYE’DE BAKIR BORULARIN KULLANIMI

Tarihte insanların kullandığı bilinen en eski malzeme bakırdır. Bugüne kadar gelen süreçte değişik alanlarda uygulamalarının (ev yapı gereci, dekorasyon amaçlı uygulamalar) yanında eski Mısırlılar’dan Romalılar’a kadar çoğu uygarlıkta yaklaşık 7000 yıldır kullanılmıştır. MÖ 4500 yıllarında süsleme malzemesi olarak, MÖ 2750’lerde ise su olukları başta olmak üzere su boruları ve sarnıçlarında tesisat amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır. 20.yy’ın başlarında ise avantajı fazla bir malzeme olması nedeniyle genellikle su tesisatlarında kullanılmıştır. Yüksek korozyon direnci, servis olanaklarının fazlalığı ve kolaylıkla bakım yapılabilirliği gibi avantajlarına karşın, malzemenin pahalı olması halka açık binalardaki uygulamaların önünde engel oluşturmaktadır. İlerleyen teknoloji 1930’larda bina tesisat uygulamalarında özellikle de bakır tesisatlarındaki gelişmeleri meydana getirmiştir. Bakır boru et kalınlıklarının %50-75 oranlarında azaltılması ve tesisat tasarımlarındaki yenilikler bakır tesisatı maliyetlerinin de düşmesine neden olmuştur. Gelişmiş ülkelerde 1940’lardan sonra bakır önemli bir tesisat malzemesi haline gelmiştir. İç hava kalitesini artırmak amaçlı olarak günümüzde havalandırma, ısıtma ve soğutma gibi iklimlendirme sistemleri ile buhar taşıma sistemleri, hastane tesisatları, medikal gaz ve diğer gaz taşıma tesisatlarının tasarımlarında bakır boru uygulamaları yapılmaktadır. Bununla birlikte insan sağlığı ile yakından ilişkili olan içme suyu tesisatlarında, depolama alanlarında, havuz ve filtrasyon sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır [7].

2.1 İklimlendirme Tesisatlarında Bakır Boru Kullanımı

Çoğunlukla ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde bakır borular kullanılmaktadır. Bu borulardan istenen temel özellikler; korozyon dayanımının iyi olması, kolay şekil verilebilme ve birleştirilebilme, iyi bir yüzey kalitesi ve ısı iletkenliğinin yüksek olmasıdır. Bakır ve alaşımları, bu istenen özelliklerin neredeyse tamamını sağlayabilen tek malzemedir. Tüm bu sebepler bakırı ısıtma, soğutma ve iklimlendirme endüstrisinin temel malzemesi haline getirmiştir [8].

Tüm endüstriyel olmayan iklimlendirme ve soğutma sistemlerinin bakır boru tesisatlarında (amonyak ve kükürt dioksit'in soğutucu akışkan olarak kullanıldığı sistemler dışında), standartları sağlayacak şekilde özel üretim bakır borular kullanılmaktadır. Şekillendirilme aşamasında bakır borularda sertleşme eğilimi görülür. Bu eğilim borunun uç kısmında çatlak oluşumuna neden olabilir. Önlem amaçlı olarak bakır boru yumuşatılır. Yumuşatma işlemi bakır borunun yüzeyi mavi renge alana kadar ısıtılmasıyla elde edilir. Sonrasında ise soğumaya bırakılır. Fabrika ortamında uygulanan bu işlem "tavlama" olarak adlandırılır. Borunun kırılabilirliği bu işlemin uygulanmasıyla önemli ölçüde azaltılmaktadır. İklimlendirme ve soğutma sistemleri için imal edilen bakır boruları, hava, nem, yağ, kir ve lehimleme sırasında ortaya çıkan oksitlerin zararlı etkilerinden korumak amacıyla içleri azot gazı ile doldurulur. Piyasaya, sızdırmaz lastik tapalarla uçları kapatılarak sunulmaktadır [9].

Soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılan bakır boruların bileşiminde %99,90 Cu ve %0,015-0,040 P içeren Cu-DHP malzeme bulunmaktadır. Bu malzeme yumuşak ve sert çekilmiş şekillerde kullanılmaktadır [7].



Şekil 2.1 Farklı formlardaki bakır boruların iklimlendirme sektöründe kullanılan örnekleri [7]

2.2 Temiz Su Tesisatlarında Bakır Boru Kullanımı

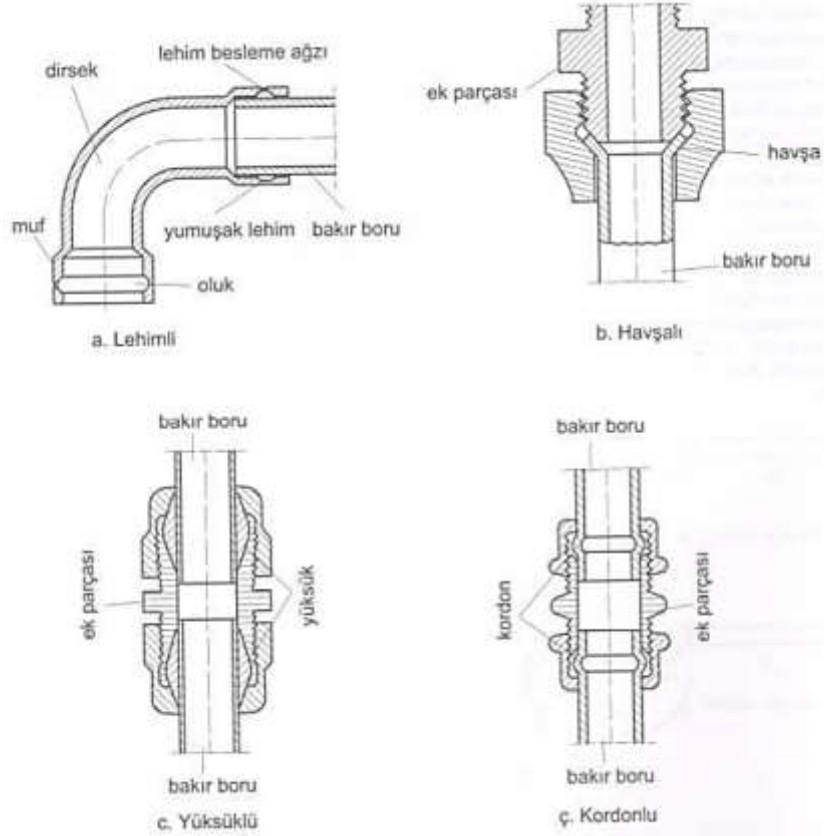
Temiz su tesisatlarında boru seçimlerinde ekonomik olmaları yanında sağlık şartlarına en uygun olan tesisatta kullanılmalıdır. Su tesisatlarında en ideal borular bakır borulardır. Demir boruların bağlantı yerlerinde kullanılan fittings malzemeleri genellikle galvanizli değildir ve ileride paslanıp korozyon dayanımının düşmesi sonucunda delinmesi pahalı tamiratlar gerektirir. Ayrıca paslanması da sağlık yönünden oldukça tehlikeli bir durumdur. Bu sebeplerden dolayı bakır borular temiz su tesisatlarında avantaj sağlar [10].



Şekil 2.2 Bakır boru ile ankastre temiz su tesisatı [10]

Bakır, içme suyunun taşınması için kullanılan malzemeler arasında benzersiz bir özelliğe sahiptir: sağlığa uygun özellikleri, legionella pneumophila gibi iç yüzeyiyle temas eden bakterilerin çoğalmasına karşı koyabilir ve bunları engelleyebilir. Bu, içme suyunun sağlıklı olmasına yardımcı olur. Buna ilave olarak, bakır boru, vücudumuzun metabolizması için gerekli olan sadece bakır iyonlarını suya salabilir [11].

Temiz su tesisatlarında bakır boruların birleştirilmesi 4 farklı yöntemle yapılmaktadır. Şekil 2.3'te bu yöntemler görülmektedir [12].



Şekil 2.3 Temiz Su Tesisatlarında Bakır Boru Birleştirme Yöntemleri [12]

2.3 Medikal Gaz Tesisatlarında Bakır Boru Kullanımı

Medikal gaz boru tesisatında kullanılan bakır borular, içinde arsenik bulundurmeyen, dikişsiz, yarı sert çekilmiş, içi karbon tetra klorür ile yıkanmış borulardır [13].

Bakır borular TS EN 13348 standardına uygun olmalıdır. Lehimleme esnasında borular içerisinden Azot gazı gibi herhangi bir asal gaz geçirilerek, boru içlerinin temiz kalması sağlanır. Merkezi medikal gaz sisteminde kullanılan bakır borular, ısıl işlem görmüş olup yağlardan temizlenmiştir. Bu tesisatlarda da bağlantı işlemleri sert lehim (gümüş kaynağı) ile yapılmaktadır [13].



Şekil 2.4 Medikal Gaz Tesisatı [13]

Oksijen ve diğer pozitif basınçlı tıbbi gazlar için güvenlik standartları, Tip K veya L bakır boru kullanılmasını gerektirir (ASTM B 819). Basınç altındaki oksijen, bazı organik yağların (üretim sırasında kullanılan yağın artık maddesi) kendiliğinden yanmasına ve tıbbi gaz alan hastaların hayati tehlikesine neden olabileceğinden, özel temizlik zorunlulukları bulunmaktadır [1].

BÖLÜM 3

SERT LEHİMLEME

Sert lehimleme işlemi, ergimiş sıvı haldeki ilave dolgu metalinin ana metali ıslatması, dolgu metalinin lehimleme aralığında yayılması ve metalürjik bağın ana metal ile dolgu metali arasında oluşması neticesinde oluşan birleştirmelerdir [14].

Sert lehimleme, dolgu metalinin, kılcal çekim yoluyla, birleştirilecek metal yüzeyler arasındaki küçük aralıklarla nüfuz etme kabiliyetine bağlıdır. Uygun koşullar altında sert lehim alaşımı, yüzey difüzyonu alaşımı ile ıslatır ve bağlar ve güçlü bir bağlantı oluşturur [15].

Etkili bir bağ elde etmek için en önemli üç koşul [15] den şunlardır:

- 1) Lehimleme sıcaklık aralığında ergiyen dekapan ile lehimlenerek, kimyasal olarak temiz bir metal yüzey sağlanması.
- 2) Özel lehim dolgu metali için doğru bağlantı aralığının sağlanması.
- 3) Dolgu metalinin bağlantının içine kadar akması için doğru ısıtma modelinin oluşturulması.

Sert lehimleme işleminin kaynak yönteminden en önemli farkı; sert lehimlemede birleştirilecek olan iki metalin ergiyerek birbirleri içinde karışmaması, bunun yerine alaşımlandırılmış bir ilave metalin birleştirilen metallerin ergime derecesi altında bir sıcaklıkta ergiyerek birleşmeyi sağlamasıdır. Birleşme işlemi ergiyen alaşımın her iki ana metale de nüfuz etmesiyle gerçekleşir. Çok miktarda farklı renklere sahip alaşımlandırılmış lehim teli sert lehimleme işleminde kullanılmaktadır [16].

Kaynağa kıyasla sert lehimlemenin üstünlükleri [17] den şöyle sıralanabilir:

>Farklı tipte metaller birleştirilebilir.

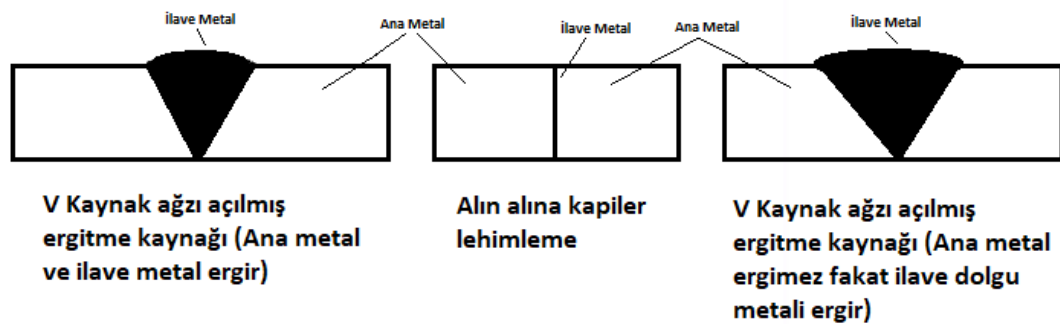
>Bağlantı dayanıklılığı iyi olan, yüksek imalat hızlarına ulaşılabilir.

>Sert lehimlemede çoklu bağlantılar eş zamanlı olarak yapılabilir.

>Genellikle ergitme kaynağına oranla daha az miktarda ısı ve güç ile işlem yapılabilir.

>Bağlantı bölgesine yakın esas metalde ITAB'daki görülen sorunlar daha azdır.

>Ergimiş metal kapiler etki ile bağlantının içine nüfuz ettiğinden, çoğu kaynak yöntemiyle birleştirilmesi zor olan bağlantı bölgeleri kolaylıkla sert lehimlenebilir.



Şekil 3.1 Ergitme Kaynağı, Kapiler Lehimleme ve Lehim Kaynağı birleştirme şekillerinin şematik gösterimi [14]

3.1 Lehimlemenin Sınıflandırılması

Lehimleme işlemi; lehimleme sıcaklığı ve lehimleme aralığına göre 2 şekilde sınıflandırılır.

3.1.1 Lehimleme sıcaklığına göre;

- a) Yumuşak lehimleme
- b) Sert lehimleme

3.1.2 Lehimleme aralığına göre;

- a) Kapiler lehimleme
- b) Lehim kaynağı

450°C'den daha düşük bir sıcaklıkta ergiyen lehim alaşımlarıyla yapılan birleştirme işlemi yumuşak lehimleme, 450°C'den daha yüksek bir sıcaklıkta ergiyen lehim alaşımlarıyla yapılan birleştirme işlemi de sert lehimleme olarak adlandırılır. Kapiler lehimleme, birleştirilecek parçalar arasında 0,1 mm civarında açıklık bırakılarak yapılan lehimleme işlemidir. Parçalara (V) veya (X) ağız açılarak uygulanan lehimleme işlemine de lehim kaynağı adı verilir [18].

Sızdırmazlık sağlaması aynı zamanda da kuvvet iletmesi istenen bağlantılarda sert lehimleme yöntemi kullanılır [19].

- Mil-göbek bağlantılarında,
- Boru-flanş bağlantılarında,
- Motosiklet ve bisikletlerin boru konstrüksiyonlarında,
- Yağ, yakıt ve hava taşıyan boru bağlantılarında,
- Taşıt radyatörlerinde,
- İklimlendirme soğutma tesisatlarında vb. yerlerde kolay ve ekonomik olarak uygulanabilmektedirler.

Sert lehimleme için bakır, pirinç ve gümüş alaşımları kullanılır [19].

Çizelge 3.1 Lehim Alaşımları Ve Uygulama Alanları [19]

Lehim Tipi İsim ve Sembol	Birleşim (%) (Alaşım Elementleri)	Ergime (Çalışma) Sıcaklığı (°C)	Lehimlenecek Malzemeler	Uygulama Alanları
Yumuşak Lehimler Kalay Lehim 8 L Sn 8 Kalay Lehim 25 L Sn 25	8 Sn, 0,6 Sb, gerisi Pb 25 Sn, 1,7 Sb, gerisi Pb	305 257	Çelikler, Bakır ve Çinko Alaşımları	Çeşitli lehim uygulamaları, ön kalaylama
Kalay Lehim 40 L Sn 40 Kalay Lehim 60 L Sn 60	40 Sn, 2,7 Sb, gerisi Pb 60 Sn, 3,2 Sb, gerisi Pb	223 185	Çelikler ve Bakır Alaşımları	İnce lehimler

Çizelge 3.1 Lehim Alaşımları Ve Uygulama Alanları (devamı)

Çinko Lehim L Zn 98 Kurşun Lehim L Pb 98	98 Zn, gerisi Cu En az 98,5 Pb	410 230	Çinko ve Bakır Alaşımları	Çinko plakalar alev ve dalma lehim
Sert Lehimler				
Pirinç Lehim 42 L Ms 42 Pirinç Lehim 63 L Ms 63 Pirinç Lehim 85 L Ms 85	42 Cu, gerisi Zn 63 Cu, gerisi Zn 85 Cu, gerisi Zn	845 910 1020	Yeni Gümüş Cu ve Ni Alaşımları Çelik, Cu Alaşımları ve Kır Dökme Demir	Kabza, Sap Alet yapımı, tesisat işleri, boru donanımı
Bakır Lehim L Cu	Saf Bakır (Elektrolitik Bakır)	1100	Alaşımsız Çelikler	Alet yapımı (Yüksek mukavemet)
Gümüş Lehim 8 L Ag 8 Gümüş Lehim 25 L Ag 25	8 Ag, 55'e kadar Cu, gerisi Zn 25 Ag, 43'e kadar Cu, gerisi Zn	860 830	Çelik-Bakır ve Bakır Alaşımları	Korozyona dayanıklılık isteyen bağlantılar (optik, ince mek.)
Gümüş Lehim 45 L Ag 45	45 Ag, 20 Cd	620	Çelik, Bronz, Soy Metaller	Gerilime hassas madenler
Hafif metal lehim Alüminyum - Çinko lehim	19 Cu, gerisi Zn 56 Zn, 4 Al, gerisi Cd	320	Alüminyum Dökümleri	Döküm parçaları

Sert lehimleme ile yumuşak lehimleme uygulamada birbirine çok benzer yöntemlerdir. Aralarındaki en önemli fark ise AWS'nin tanımında sözü edilen 800 °F (427 °C) sıcaklık değeridir. İlave dolgu metalinin ergime sıcaklığı 800 °F (427 °C)'ın altında bir değer ise işlem yumuşak lehimleme, üstünde ise sert lehimleme olarak adlandırılmaktadır [16].

Yumuşak lehimleme tekniği ile birleştirilen malzemeler arasındaki bağlantı dayanımı makine imalatında gerekli değerleri genellikle karşılayamadığından bu yöntem elektrik-elektronik gibi dayanımın daha az oranda istendiği alanlarda kullanılır [16].

Lehim kaynağı ise uygulama olarak sert lehimlemeden çok daha farklıdır. Sert lehimlemede ilave dolgu metal, birleştirilecek ana metaller arasındaki boşlukta kapiler etkisi ile yayılım gösterir. Lehim kaynağında ise birleştirilecek malzemelere V ya da X

şeklinde bir birleştirme ağızı açılır ve bu ağızlar ergimiş lehim ile doldurulur. Lehim kaynağının uygulama basitliği olmasına rağmen bazı dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin kullanılan ilave dolgu metale bağlı olarak ancak belli bir sıcaklığa kadar uygulanabilmektedir. Bunun nedeni ilave dolgu metalinin belli bir sıcaklık değerinden sonra mukavemetinin azalmasıdır. Bir diğer önemli dezavantaj ise bazı kimyasal ortamların ilave dolgu metali üzerindeki yıpratıcı etkisidir. Ayrıca lehim kaynağında olası iç boşlukların tespiti güç olması, renk uyumsuzlukları ve ilave dolgu metali maliyeti gibi dezavantajlar da vardır. Kaynak tekniğinde ise birleştirilecek bölgeler eritilir ve birleşme bu bölgelerin katılaşmasıyla oluşur. Kaynak işlemi bir açıdan bölgesel döküm uygulamasıdır. Fakat sert lehimleme işleminde ana metaller ergimez. Birleşme işlemi birleştirilecek parçaların yüzeyleri ile ilave metal arasında oluşan metalürjik bağ ile olmaktadır [16].

3.2 Lehimleme İşleminin Parametreleri

Lehimleme uygulamalarında bağlantı özelliklerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Lehimleme uygulamasının bilinçli yapılması için bu işlemlerin lehimlemedeki önemi ve hangi faktörlere bağlı olarak değiştikleri bilinmelidir. Lehimleme parametreleri şunlardır:

Lehimleme Sıcaklığı: Önemli bir parametre olan lehimleme sıcaklığı, ilave dolgu metalinin ergime sıcaklığına ve ana metalin solüdü sıcaklık değerine bağlı olarak belirlenmektedir. Lehimleme sıcaklığı, mutlaka dolgu metalinin ergime sıcaklığından (likidüs) 10-100 °C daha yüksek ve ana metalin solüdü sıcaklığından daha düşük olacak şekilde seçilmelidir. Çizelge 3.2’de bazı ana metallerin lehimlenmesinde kullanılan dolgu metallerinin likidüs ve solüdü sıcaklıkları ile birlikte, tavsiye edilen lehimleme sıcaklıkları verilmiştir [14].

Çizelge 3.2 Bazı ana metaller için kullanılan ilave dolgu metalleri ve lehimleme sıcaklıkları [14]

Lehimlenecek Ana Metal	AWS'ye Göre İlave Metal Dolgu Çeşidi	İlave Dolgu Metalinin		Lehimleme Sıcaklık Aralığı ° C
		Solüdis Sıcaklığı ° C	Likidüs Sıcaklığı ° C	
Düşük Alaşımlı Çelik	B-Ag-1	607	618	618-760
	B-Ag-1a	629	635	635-760
	B-Ag-3	632	688	688-817
Paslanmaz Çelik	B-Ni-1	977	1038	1066-1204
	B-Ni-2	971	999	1010-1177
Bakır Alaşımları	BCuP-2	710	793	793-843
	BCuP-3	643	813	813-816

Lehimleme sıcaklığından farklı olarak ilave dolgu metallerinin çalışma ve ısıtma sıcaklıkları da pratikte kullanılan sıcaklık parametreleridir. Ana metalin yüzey pürüzleri arasında ergimiş haldeki ilave dolgu metalinin girebilmesi için gereken minimum yüzey sıcaklığı çalışma sıcaklığıdır [14].

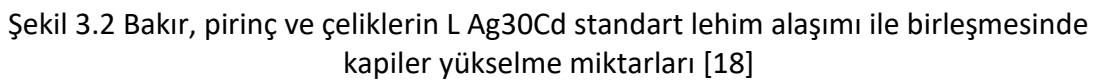
Islatma (sulama) sıcaklığı ise ergimiş haldeki lehim alaşımının, ana malzeme üzerinde tutunabileceği bir sıcaklıktır. Bu sayede ergimiş lehim alaşımı, birleşme yüzeyleri arasına yayılarak bağlantı meydana getirir. Bu sıcaklık değeri, birleşme sıcaklığı olarak da adlandırılır [18].

Lehimleme Aralığı: Birleştirme mukavemetini etkileyen en önemli faktör Lehimleme aralığıdır. Çizelge 3.3'te farklı dolgu metali grupları için tavsiye edilen lehimleme aralıkları gösterilmektedir. Makaslama mukavemeti küçük lehimleme aralıklarında azalmaktadır [14].

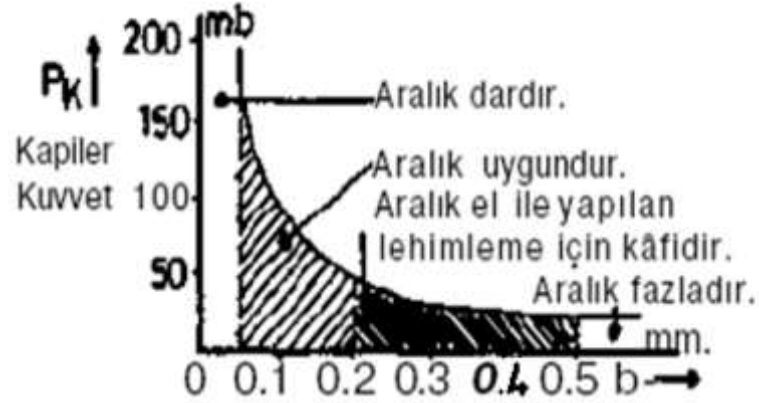
Çizelge 3.3 AWS B2.2 standardında belirtilen lehimleme sıcaklıklarında kullanılan bazı ilave dolgu metalleri için tavsiye edilen lehimleme aralıkları [14]

AWS'ye Göre İlave Metal Dolgu Çeşidi	Lehimleme Durumu	Lehimleme Aralığı (mm)
BAg, BVAg	Dekapan Kullanarak	0.05-0.12
	Lehimleme Atmosferinde	0.00-0.05
BAu, BVAu	Dekapan Kullanarak	0.05-0.12
	Lehimleme Atmosferinde	0.00-0.05
BAISi	Dekapan Kullanarak	0.05-0.21
	Lehimleme Atmosferinde	0.21-0.25
BCuP	Dekapanlı veya Dekapansız	0.025-0.12
BCu, BVCu	Lehimleme Atmosferinde	0.00-0.05
BCuZn, RBCuZn	Dekapan Kullanarak	0.05-0.12
BNi1, BNi2, BNi3, BNi4, BNi5, BNi8, BCo1	Dekapan Kullanarak veya Lehimleme Atmosferinde	0.05-0.12
BNi6, BNi7	Lehimleme Atmosferinde	0.00-0.05
BMg	Dekapan Kullanarak	0.10-0.25

Kapiler lehimleme işleminde sıvı fazdaki lehim alaşımı, birleştirilecek olan aralıkta kapiler etki (kapiler doldurma basıncı) vasıtasıyla ilerler. Parçaların aralık miktarı 0,1 ile 0,5 mm arasında değiştiği takdirde ergimiş lehim alaşımının dikey yükselme seviyeleri, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi değişmektedir. Yaklaşık olarak 0,3 mm’den itibaren dikkate değer bir değişim görülmez [18].

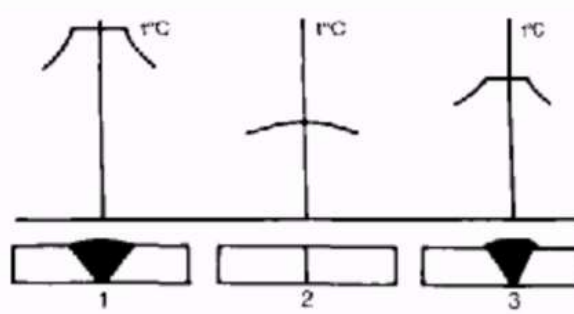


Parçalar arasındaki aralık ile kapiler doldurma basıncı arasındaki değişime, Şekil 3.3'te verilmiştir. Aralık değerinin 0,5 mm'den fazla olması halinde, kapiler lehimleme işleminden bahsedilemez. İyi bir kapiler doldurma basıncına ulaşılabilmesi için aralığın seçimine dikkat edilmelidir. Birleştirilecek olan parçalar eğer birbirine geçecek şekilde ayarlanmışsa aralık sabit kalır dolayısıyla kapiler lehimleme yapılabilir [18].



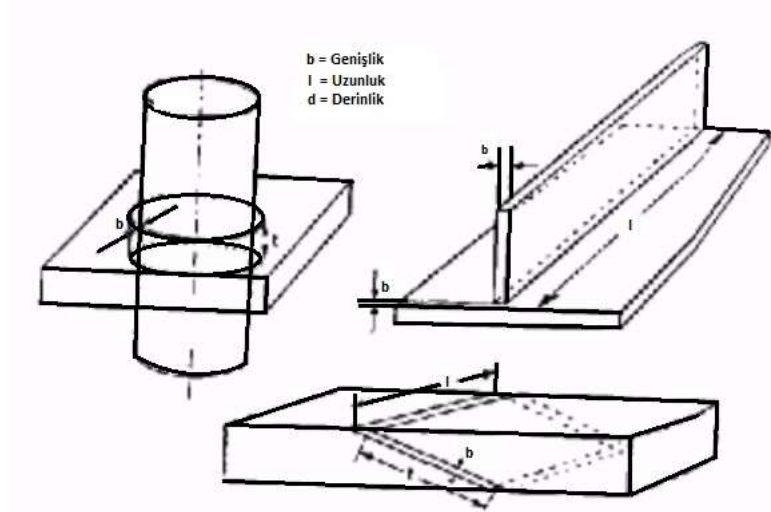
Şekil 3.3 Lehim aralığı ile kapiler doldurma basıncı arasındaki ilişki P_k : Kapiler doldurma basıncı (mb), b : Lehimleme aralığı [18]

Parçaların birbirine geçecek şekilde ayarlanmaması durumunda, ağızların doldurulması yardımıyla lehimleme yapılır (lehim kaynağı). Her iki durumunda birleştirme tipleri ve sıcaklık dağılımları, eritme kaynağı ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3.4'te verilmiştir [20].



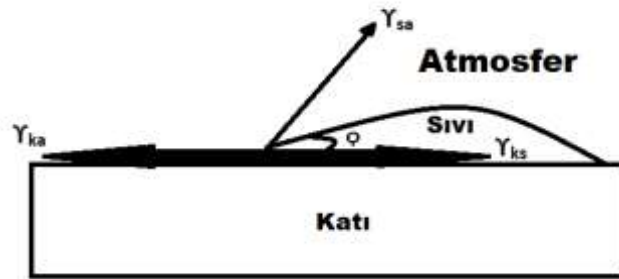
Şekil 3.4 Eritme kaynağı, lehim kaynağı ve kapiler lehimleme için ağızların şekli ve sıcaklık dağılımları 1) Eritme kaynağı 2) Kapiler lehimleme 3) Lehim kaynağı [20]

Lehimleme işleminde malzemeler arasında bırakılan boşlukla birlikte, lehimle birleştirilecek bölgenin genişlik ve boyu da önem teşkil etmektedir. Şekil 3.5'te lehimleme aralığının, farklı birleştirme durumlarında bahsedilen boyutları gösterilmektedir. Malzemeler arasında bırakılacak boşluktan sonra diğer bir önemli boyut, lehimleme uzunluğudur. İşlem sırasında, sıcaklık etkisi altında lehimleme aralığı (b) bir miktar değişir. Aralığın seçiminde, bu durumun dikkate alınması gerekmektedir [20].



Şekil 3.5 Lehimleme aralığının boyutları [20]

Malzemelerin Islatma Kabiliyeti: Lehimleme işleminde, ilave dolgu metali ergir fakat ana metal ergimez dolayısıyla sıvı ilave dolgu metalinin, katı ana metali ıslatma kabiliyeti, birleşmenin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini gösteren en önemli parametredir. Islatma işlemi sıvı damlanın katı yüzey üzerinde olduğu düşünülerek açıklanır. Üç yüzey gerilimi etkisiyle sıvı damla katı yüzeyde yayılma gösterir [14].



Şekil 3.6 Sıvı damla, katı yüzeyi ıslattığı zaman meydana gelen yüzey gerilmeleri ve kontak açısı [14]

Lehimleme Zamanı: Lehimleme işleminde difüzyon birleştirmesi söz konusu olduğu için, ilave dolgu metalleri ile ana metallerin birbiri içinde çözünme miktarları lehimleme zamanına bağlı olarak değişir. Aynı zamanda alaşım elementlerinin difüzyon oranları da lehimleme zamanına bağlı olarak değişir [14].

Lehimleme zamanına bağlı olarak, sıvı dolgu metalinin ana metal yüzeyi ile temasında oluşan erozyon derinliği de değişir. Lehimleme zamanı arttıkça yüzeydeki erozyon derinliği de artmaktadır [14].

Yüzey Pürüzlülüğü: Yüzey pürüzlülüğü ısıtma ve yayılma özelliklerini oldukça etkileyen bir faktördür. Maksimum yayılmanın gerçekleşmesi için yüzey pürüzlülüğünün belirli bir seviyede olması gerekir [14].

3.3 Sert Lehimleme Teknikleri

Sert lehimlemede malzemelerin lehimleme sıcaklıklarına ısıtılmasında izlenen yollara göre lehimleme yöntemleri [18] den aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır:

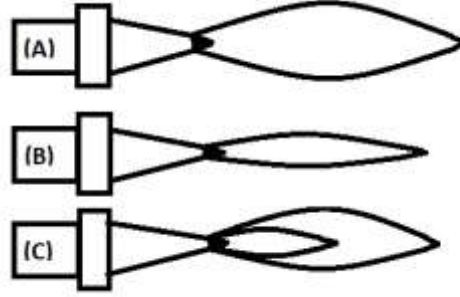
- a) Üfleçle lehimleme,
- b) Fırında lehimleme,
- c) Endüksiyonla lehimleme,
- d) Elektrik direnci ile lehimleme
- e) Daldırma yöntemi ile lehimleme

3.3.1 Üfleçle Lehimleme

Sert lehimleme işlemlerinin büyük çoğunluğunda ısıtma işlemi üfleçle yapılmaktadır [12]. Bu yöntemde basınçlı oksijen ile yanıcı bir gazın (Asetilen veya Propan) yakılması sonucu oluşan alev sayesinde, lehimleme işlemi için gereken ısı elde edilir [14].

Elle üfleç sert lehimlemesi işleminde üfleç tek veya çok alevli bekle donatılabilir. Özellikle, eşit olmayan kitlede kısımlara sahip parçaların birleştirilmesinde elle üfleç sert lehimlemesi daha uygundur [16].

Üretim miktarının imkân tanınması durumunda işlem mekanize bir şekilde uygulanabilir. Elle üfleç sert lehimlemesinde temel yakıcı gaz olarak saf oksijen kullanılabilir. Düşük dereceli ucuz oksijen kaynağı olarak basınçlı hava da kullanılabilir; fakat bunun için daha düşük alev sıcaklığı ve ısıtma derecesinin yeterli olması şarttır. Üfleç alevinin uygun şekilde ayarlanması durumunda iyi sonuç alınabilmektedir. Çoğunlukla redükleyici alev istenirse de diğer alev türleri (nötr, oksitleyici, karbürleyici), duruma göre kullanılır. Şekil 3.7’de alev tipleri gösterilmektedir [16].



Şekil 3.7 Oksi-gaz kaynağında kullanılan alevler a) normal, b) oksitleyici ve c) karbürleyici alev [16]

Normal alev; oksijen ve yanıcı gaz oranlarının eşit olduğu alev türüdür. Meydana gelen alev konisinin ön kısmında çekirdek olarak adlandırılan bölgedeki sıcaklık 3500°C 'dir. Alev konisinin uç noktalarına gidildikçe sıcaklık 1200°C düşer ve bu bölgeye alev yelpazesi denir [5].

Karbürleyici alev; yanıcı gaz oranı oksijene göre fazla olan alev türüdür. Alev konisi normal aleve göre daha uzundur ve sakin bir yanma gösterir [5].

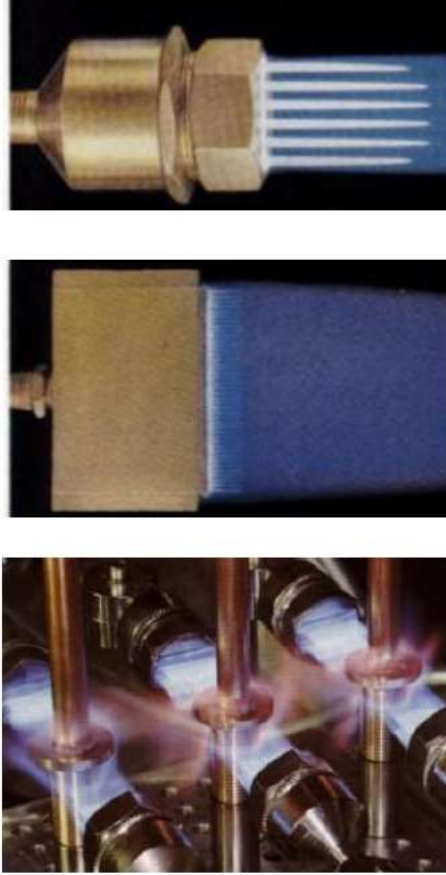
Oksitleyici alev; oksijen oranı yanıcı gaza göre fazla olan alev türüdür. Sert ve sesli yanma özelliği gösterir ve en yüksek sıcaklık değeri bu alev tipiyle elde edilir [5].

Alev türü seçimi sert lehimlenecek olan metallerin özellikleri dikkate alınarak yapılır. Birleştirme işleminin kaliteli olması için doğru alev tipinin seçilmesi gereklidir. Örneğin normal alev türü çelik, bakır gibi metaller sert lehimlenirken kullanılmakta, oksitleyici alev pirinçlerin sert lehimlenmesinde ve karbürleyici alev ise alüminyumun sert lehimlenmesinde kullanılmaktadır. Sert lehim ile birleştirilecek metallerin büyüklüğüne ve kalınlığına göre üfleç seçimi yapılmaktadır [5].

Lehimlenecek olan kısım lehimleme sıcaklığına ulaşana kadar ısıtılır, dekapanın ergimesiyle birleşme için uygun sıcaklığa gelindiği anlaşılır. Bu sıcaklıktan sonra ısıtma işlemi daha dikkatli yapılmalıdır ve metallerin fazla ısınmasını engellemek için alevin yelpaze bölümünden faydalanılmalıdır. İlave dolgu metalinin lehimleme alanına yayılması sağlanarak birleşme tamamlanır. Alev doğrudan ilave dolgu metali üzerine tutulmamalıdır buna dikkat edilmezse ilave dolgu metali yanabilir. İlave metalin

yayılması, lehim alevinin ana metallere yelpaze hareketi yapması ile sağlanır. Böylece lehimleme süreci tamamlanmış olacaktır [5].

Şekil 3.8’de farklı tiplerdeki sert lehimleme üfleçleri gösterilmektedir.



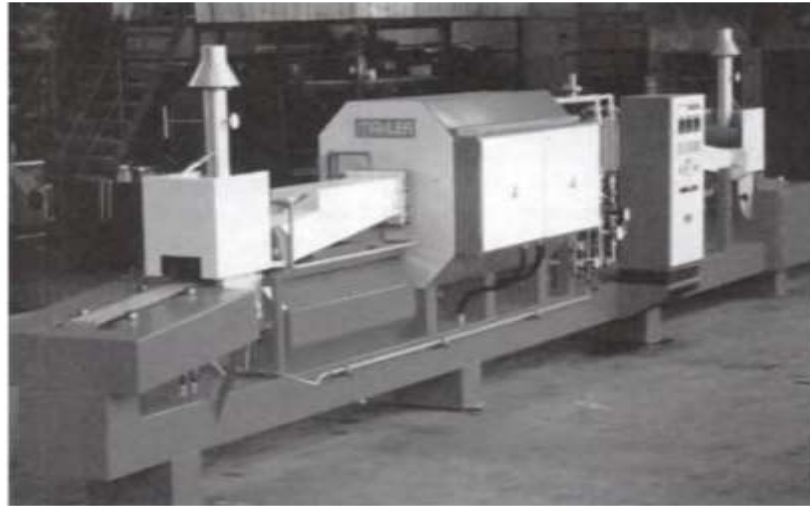
Şekil 3.8 Farklı tiplerdeki sert lehimleme üfleçleri [16]

3.3.2 Fırında Sert Lehimleme

Halka, toz (pasta) ya da tel şeklindeki lehim metalleri kullanılarak yapılan, parçaların elektrik ile ısıtılan lehim fırınında birleştirilmesi sağlanan yöntemdir. Hem yumuşak hem de sert lehimlemede kullanılmaktadır [19].

Fırında lehimleme işlemi temel ısı kaynağı fırın olan, küçük boyutlarda parçaların ferritik olmayan metallerle metalürjik olarak bağlantısını sağlayan bir imalat yöntemidir. Fırında lehimleme teknolojisi ilk olarak 1920’li yıllarda bulunmuş ve tahminen 1930’lu yıllarda ticari olarak uygulanmaya başlanmıştır. Günümüzde de bu teknoloji çoğu endüstriyel dalda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Lehimleme işleminin otomatik ve seri oluşu, kalifiye teknik personele gerek duyulmaması yöneme

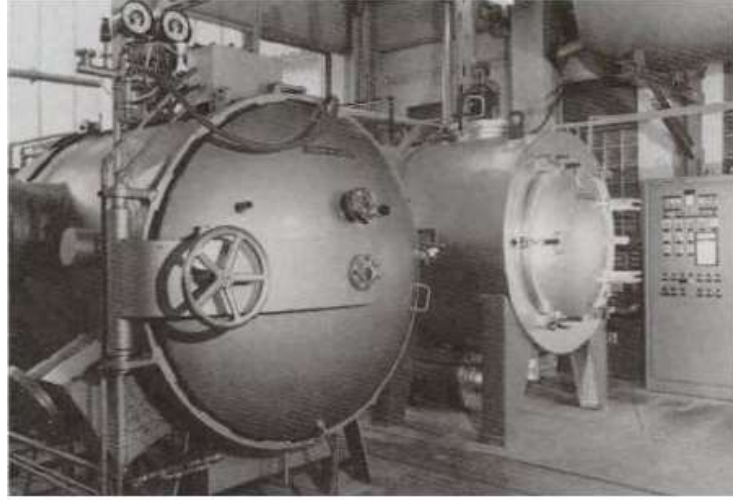
yaygınlık kazandırmaktadır. Fırında lehimleme yönteminde, fırına yerleştirilen temizlenmiş ve ilave dolgu metalleri ile birleştirilmiş malzemeler lehimleme sıcaklığına kadar ısıtılır. Lehimlemeden önce dolgu metalinin bağlantı bölgesine uygulanması ve işlem süresince pozisyonunun sabit kalması lehimlemeyi daha kolay hale getirir. Isıtma ve soğutma oranları, lehimleme sıcaklığı, lehimleme zamanı kontrol edilebilmektedir. Ayrıca redükleyici ya da vakum gibi kontrol edilebilen bir ortamda lehimleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.9’da koruyucu atmosferli sert lehimleme fırını görülmektedir [16].



Şekil 3.9 Koruyucu atmosferli sert lehimleme fırını [16]

Fırın sert lehimlemesinin büyük bir kısmı vakumda yapılmaktadır. Vakum oksitlenmeye engel olur ve genellikle dekapan ihtiyacını ortadan kaldırır. Vakum sert lehimlemesi reaktif metallerin birleştirildiği ve arada kalan dekapanın istenmediği uzay teknolojisi ve nükleer alanlarda geniş uygulama imkânına sahiptir. Şekil 3.10 ve şekil 3.11’de vakum ortamlı sert lehimleme fırını görülmektedir. Çoğu ana ve ilave metal vakumda sert lehimleme işleminden zarar görebilir. Bunların düşük kaynama noktasına sahip ya da yüksek buhar basınçlı bileşenleri metalin bir kısmının kaybolmasını zorunlu kılar. Genellikle kullanılan fırınlar tablalı veya sürekli tipte olup çoğunlukla elektrik rezistans elemanları, gaz veya yakıtla ısıtılırlar ve otomatik süre ve sıcaklık kontrol düzeneğine sahiptir. Hassas biçimde kontrollü sert lehimleme atmosferi sağlamanın nispeten ekonomik bir yöntemi olan vakum, dekapan kullanılmadan iyi bir ısıtma ve ilave dolgu metal akışı sağlamak için ihtiyaç duyulan yüzey temizliğini sağlar. Krom ve silisyum

içeren ana metaller vakumda rahatlıkla sert lehimlenebilirler; aksi durumda bunlara çok saf, alçak çiğ noktalı atmosfer gerekecektir [16].



Şekil 3.10 Vakum ortamında sert lehimleme için kullanılan fırınlar [16]



Şekil 3.11 Vakum ortamında sert lehimleme için kullanılan fırınlar [45]

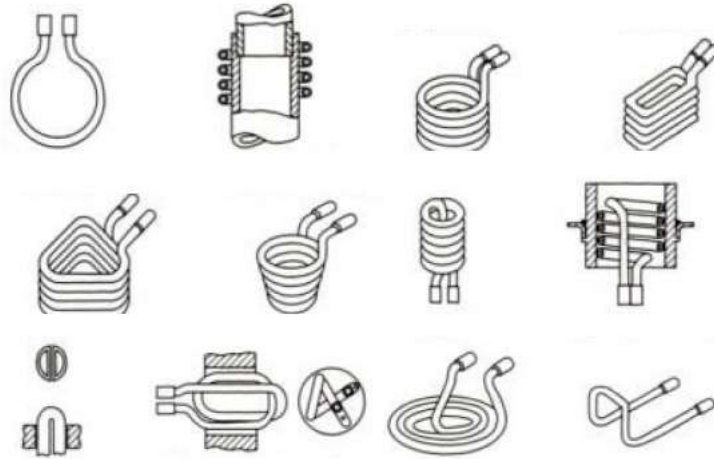
3.3.3 Endüksiyon sert lehimlemesi

Endüksiyon lehimlemesinde lehimlenecek parçaların tavllanması endüksiyon bobinleri vasıtasıyla sağlanır. Endüksiyon bobinleri genellikle bakır borudan imal edilirler [14].

Endüksiyon sert lehimlemesinin tercihi, malzemenin yalnızca birleşme bölgesinin hemen yanında olan lokal bölgenin ısıtılmasının neden olacağı belirli faydalar varsayımına dayanır. Bu varsayım, her biri endüksiyon ısıtılmasını önemli yapan [16] dan şu düşüncelere dayanır:

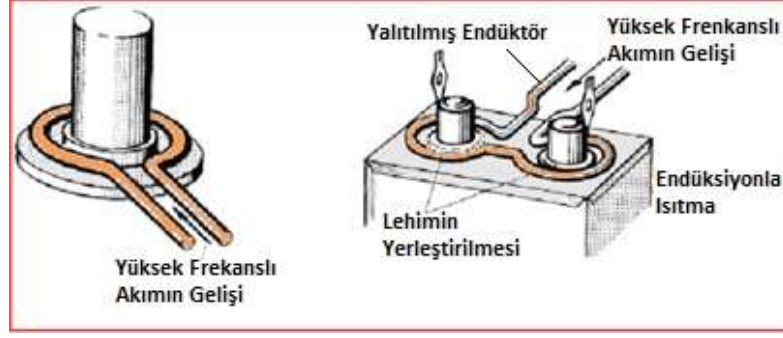
- Birleşecek parçaların bazı farklı kısımlarının da ısıtılması tercih edilmeyebilir (ilave ısıtma, su verilen bir bölgede yumuşamaya sebep olabilir).
- Parçaların tamamını ısıtmak maliyetli olabilir.
- Şekil bozulması olmaması için yalnızca birleşme bölgesinin ısıtılması yararlı olabilir.
- Isıtmanın çok hızlı olması sonucunda, iş parçasının yüzeyi, havada alevle ya da hava ile çalışan elektrik ocaklarında sert lehimlemeye göre düşük oranda oksitlenir. Hızlı ısıtma esas metalin hızlı tane irileşmesi ile yeniden kristalleşmeyi önlemektedir.

Endüksiyonla ısıtmada gerekli ısı enerjisi, bir metal parçasının alternatif akımlı devrenin magnetik alanına yerleştirilmesi ve metal parçada oluşan Foucault akımlarından sağlanır. Şekil 3.12’de endüksiyon sert lehimlemesinde kullanılan bobin tipleri verilmiştir [16].



Şekil 3.12 Endüksiyon sert lehimlemesinde kullanılan bobin tipleri [16]

Endüksiyon ısıtma makinesindeki temel parça endüktör bobinidir ve bunları kullanıcılar kolayca üretebilir. Bobinler çoğunlukla boru halindeki bakırdan, kimi zaman da içinde soğutucu su kanalı açılmış olan bakır bloğundan imal edilir. Bobinin işlem esnasında soğutulması gereklidir [16].



Şekil 3.13 Endüksiyon ile sert lehimleme [21]

3.3.4 Direnç Sert Lehimlemesi

Bu yöntemde uygun lehim metali, birleştirilecek malzemelerin arasına yerleştirilir. Parçalara elektrik direnci ve basınç uygulanarak birleştirme sağlanır. Şekil 3.14'te elektrik direnci ile lehimleme gösterilmektedir [21].

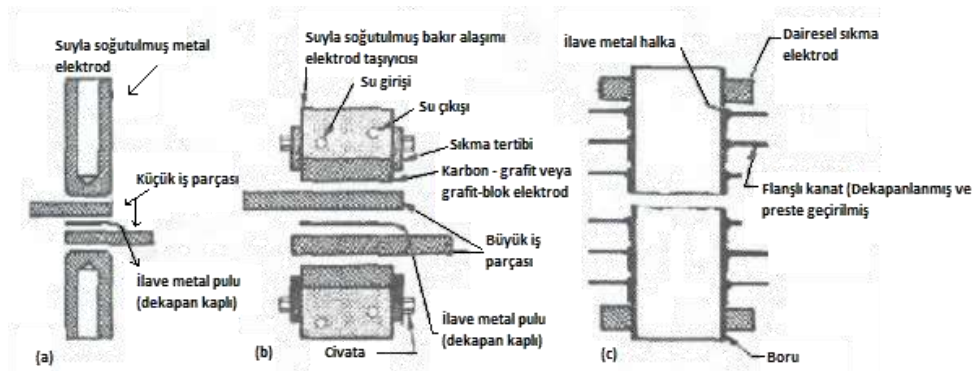
Direnç sert lehimleme yöntemi genellikle basit görünümlü bağlantılara uygulanır. Sert lehimlenecek bölgenin geniş, kesikli ya da bir boyutta uzunluğunun fazla olması durumunda homojen akım dağılımı ve homojen ısıtma yapmak zordur. Direnç sert lehimleme yönteminin kullanılacağı malzemeler, sert lehimleme sıcaklığında şekil deformasyonu olmadan basınca dayanabilecek biçimde düzenleneceklerdir. Dirençle sert lehimlenebilecek iş parçalarının tipi 0,03 ilâ 0,12 mm telden yaklaşık 65 ilâ 100 cm bağlantı bölgesi olan parçalara kadar çeşitlendirilebilir. Tüm bunların yanında yüksek imalat direnç sert lehimlemesinde bağlantı bölgesi çoğunlukla 0,6 ilâ 4,0 cm'yi geçmez [22].

Bu yöntemde iş parçaları lokal olarak ısınır ve bunların arasına önceden yerleştirilmiş ilâve dolgu metali, elektrik akımının geçmesi sırasında elektrotlarla parça arasında oluşan dirençten ortaya çıkan ısı enerjisiyle ergir. Yaygın uygulamada, ısıtma için geçirilen akım bağlantının üzerinden geçmektedir. Direnç kaynağı gereçleri kullanılır ve bağlantı bölgesinde elektrik temasını oluşturacak gerekli basınç, elektrotlar tarafından sağlanır. Kapiler davranış için gereken sıkı alıştırmaya da bu elektrot basıncı ile sağlanır. Elektrik rezistivite ve boyutlarına bağlı olarak; direnç sert lehimlemesi için ısı, iş parçalarının kendilerinde, elektrotlarda ya da bunların tamamında oluşturulabilir. Mobil kaynak kısılacı, büyük malzemelerin veya standart direnç kaynağı cihazlarının ulaşamadığı konstrüksiyonların sert lehimlenmesine imkân tanır [22].

Yöntem, en yüksek lokal sıcaklığın iş parçalarının ergime derecesinden düşük olmasının zorunlu olduğu durumda uygulanır. Sıradan birçok metalin direnç sert lehimlenmesinde 600 °C ilâ 820 °C arasında akıcı olan ilâve dolgu metalleri kullanılır. Direnç sert lehimleme yöntemiyle birleştirilen metal genellikle bakırdır. Yüksek rezistiviteli elektrotlarla çalışma, ana metal ergitilmeden bağlantı bölgesinde ısı yoğunluğu oluşturulmasının en etkili yöntemidir [22].

Bu yöntemde çeşitli ilave dolgu metalleri kullanılabilir. BCuP tipi metaller kendi kendini dekapanlayan tek adi metallerdir. Bu metallerin kullanılması durumunda dekapan gerektirilmeyebilir. BAg tipi ilâve dolgu metalleri de kullanılabilir ama bu durumda bir dekapan veya koruyucu atmosfer gereklidir. Malzemeler sert lehimleme durumuna getirilmeden hemen önce ıslak bir dekapan, oldukça ince bir karışım şeklinde uygulanır. Yalıtkan olan kuru dekapan uygun miktarda akım transferine olanak tanımaz [22].

Direnç sert lehimlemesinin sıklıkla kullanıldığı metallerden bir diğeri de bakır alaşımlarıdır. Şalterler, elektrik devre kesicileri ve güç dağıtım teçhizatında varolan çoğu malzemenin imal edilmesinde bakır ve alaşımlarının sert lehimleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte gümüş, gümüş-grafit ve gümüş-molibden'den üretilmiş elektrik kontaktları bakıra yine bu yöntemle birleştirilmektedir. Bakır ve bakır alaşımlarının dirençle sert lehimlendiği tesislerde bu metod bazen çelik ve diğer metallerden imal edilmiş bağlantılara da uygulanır [22].



Şekil 3.14 Direnç sert lehimlemesi için tertipler: (a) Karşılıklı suyla soğutulmuş metal elektrotlar (normal direnç kaynağı tipi) kullanan küçük yassı parçalar; (b) suyla soğutulmuş bakır alaşımından taşıyıcılara bağlanmış karşılıklı karbon blok elektrotları kullanan büyük yassı parçalar, (c) dairesel olarak kavrayan elektrotların kullanıldığı boruya kanat sert lehimlenmesi [22]

Çizelge 3.4 Değişik metallerin direnç sert lehimlenmesi için gerekli ilave metal tipleri [22]

İş parçası metal	İlave metal
Çelik Paslanmaz çelik Isıya dayanıklı alaşımlar Bakır Bakır alaşımları Nikel alaşımları	Gümüş alaşımları (BAg tipi)
Alüminyum alaşımları Bakır ve bakır alaşımları	Al-Si alaşımları Cu-P alaşımları

3.3.5 Daldırma Yöntemiyle Lehimleme

Tuz banyosu sert lehimlemesi ve ergimiş kimyasal madde banyosu daldırma sert lehimlemesi olarak da bilinen bu yöntem, birleşecek malzemelerin ısıyı ve kimi zaman da dekapanlama etkisini oluşturan bir ergimiş tuz banyosuna daldırıldığı uygulamalardır. Banyodaki sıcaklık ilâve dolgu metalinin likidus sıcaklığının üstünde ancak ana metalin ergime aralığının altında tutulur [22].

Bakır ve pirinç sert lehimleme işlemlerinde yaygın olarak %80 ilâ %70 BaCl₂ ve %20 ilâ %30 NaCl tuz karışımı kullanılır. Çelik parçalar %25 ilâ %50 sodyum siyanür bulunan bir banyoda sert lehimlendiklerinde, semantasyon ve nitrürlemeyle oldukça güç işlenebilen ince ve sert bir yüzey meydana gelir [22].

Tuz banyosu sert lehimleme işleminin avantajları [22] den şu şekildedir:

- 1.Kontrollü atmosferli ocaktaki sürenin yaklaşık olarak dörtte biri kadar ısıtma süresi vardır.
- 2.Çıkıntılı bir birleştirme, yalnızca o nokta daldırılarak sert lehimlenebilir.
- 3.Soğuk parçalar ergimiş tuza daldırılınca bu parçaların çevresinde bir anda donmuş tuz kozası oluşur ve bu koza geçici bir yalıtkanlık oluşturarak genellikle ilâve dolgu metalinin erken ergimesini engeller.

4.Uygun bir tuz bileşimi ile çoğunlukla iş parçasının ısıtılma ve dekaplanması birlikte uygulanabilir. Bununla beraber dekaplan, bağlantı bölgesine daha önce sürülüp kurutulabilir.

5.Sert lehimleme işlemi, ilave bir yeniden ısıtmaya ihtiyaç duyulmadan, genellikle semantasyon veya sertleştirme ile yapılabilir.

6.Birden çok birleştirme aynı zamanda yapılabilir; buradaki tek engel ocağın boyut ve ısıtma kapasitesinden doğar.

7.İnce bir tuz filmi, iş parçası tuz banyosundan çıkarıldığında üzerine yapışarak parçayı tufal dökme veya dekarbürasyondan korur.

8.Suya daldırarak ya da yıkayarak tuz filmi temizlenebilir. Dekaplanın ya sert lehimleme işlemi sırasında yok olması ya da yıkamada tuz filmiyle beraber ergimesinden dolayı dekaplan kullanılan işlemlerde temizleme ihtiyacı kalmaz.

Kısıtlamalar ise [22] den şunlardır:

1. Bu yöntem seri üretim için idealdir.

2.Çıkıntı olmayan kısımlar kısmî daldırma yöntemi ile sert lehimlenemez; parçaların tamamının daldırılması ve ısıtılması zorunludur.

3.Nemden arındırılmış, kuru iş parçaları olmalıdır; ergimiş tuz nemle şiddetli bir reaksiyon gösterir, etrafa sıçrar ve hatta patlayabilir. Bundan dolayı rutubet şüphesi olan yerlerde bütün iş parçaları önceden ısıtılmalıdır.

4.Şamandıra-flotör gibi parçalar basitçe daldırılmadıklarından bu parçaların tuz banyosu ile sert lehimlenmeleri güç olmaktadır.

5.Parçaların şekli, araya hava ya da tuz sıkıştırmayacak ve banyo sonrasında tümüyle süzülebilecek şekilde olmalıdır.

3.3.6 Elektron Demeti Lehimleme Tekniği

Bu teknikte, lehimlenecek parçalar elektron demeti sayesinde ısıtılırlar. Sıcak katottan iş parçasına (anot) doğru, yüksek hızla elektronlar akar. Bu elektronlar iş parçasına

çarpınca, bünyelerindeki kinetik enerji ısı enerjisine dönüşür ve lehimlenecek parça lehimleme sıcaklığına kadar ısıtılır. Pahalı bir yöntemdir [14].

3.3.7 Lazer Lehimleme Tekniği

Lazer ışık demetinin bir noktaya odaklandırılması ile elde edilen ısı sayesinde, lehimleme işlemi yapılır. Oldukça dar bir lazer ışık demeti sayesinde küçük alanda büyük güç odaklaştırması yapılabilir. Çok hassas parçaların çok küçük bir kısmını bu teknik ile lehimlemek mümkündür. Genellikle mikro elektronik parçaların lehimlenmesinde kullanılır [14].

3.4 Sert Lehim Dekapanları

Genellikle atmosfer ortamında metalik yüzeylerde bir oksit katman oluşur. Lehimleme sırasında sıvı fazdaki lehim alaşımının bağlantı meydana getirebilmesi için, yüzeyler temiz ve oksitten arındırılmış olmalıdır. Tüm bu sebeplerden dolayı lehimleme işleminde ilaveten, dekanan olarak adlandırılan yüzey temizleyicileri kullanılmaktadır [20].

Sert lehim alaşımının ergime sıcaklığının 50-100°C altında likit faza geçen dekananlar, [16] dan şu görevleri yerine getirirler:

- a) Yüzeydeki oksit tabakaları kimyasal olarak çözmek,
- b) Ön tavlama sırasında meydana gelebilecek oksidasyonu engellemek,
- c) İş parçası üzerinde kolay yayılmayı ve ıslatmayı sağlamak amacıyla sert lehim alaşımının sıvı haldeki yüzey gerilimini düşürmek,
- d) Bazen bağlantı bölgesinin hızlı soğumasını engellemek,
- e) Yaklaşık sert lehim sürecinin başladığını, sert lehim alaşımından önce ergiyerek gösterirler. Bu durum tav rengi göstermeyen alüminyum ve alaşımlarında dikkate değer bir unsur olmaktadır.

Dekapanlar genellikle boraksla asit borik karışımlarıdır. Kimyasal bileşim uygulama alanı, kullanma amacı farklılıkları sebebiyle çok çeşitlilik gösterirler. Bakır borular için sembolü F-SH1-a (DIN 8511) olan dekananlar kullanılır. Bu dekananların özelliği ise, bor

bileşikleri ile karmaşık florür ve klorürlerden meydana gelmesidir. Etkime sıcaklığı 550 °C den başlar ve 800 °C' ye kadar ulaşabilir. Genellikle işlem sıcaklığı 600 °C'den fazla olan lehim alaşımlarında kullanılmaktadır. Korozyif yapıda olduklarından işlem sonrasında lehim bölgesi yıkanıp temizlenmeli ve özel kimyasal maddelerle dağlanmalıdır [23].

Oksit tabakasının kalınlığı çelik bir malzemenin yüzeyinde 35 mikron olduğunda, bu tabakayı çözebilmek için yüzeye uygulanan dekapan kalınlığı yaklaşık 0.01 mm olmaktadır. Lehimleme aralığının her iki tarafında da bulunan oksit katmanının tümüyle çözülebilmesi için, aralık en az 0,02 mm olmalıdır. Daha dar lehimleme aralıklarında, oksit tabakası çözülememektedir. Bu aralık sert lehimleme işleminde en az 0,5 mm olmalıdır. Çizelge 3.5'te, dekapanların temel elemanları ve kullanım biçimleri gösterilmektedir [20].

Gaz dekapan, günümüzde geliştirilen ve yaygın kullanım sahasına sahip olan fırında ve koruyucu gazla yapılan lehimlemelerde kullanılmaktadır. Çözölmüş haldeki amonyak gazı, gaz dekapan olarak kullanılmaktadır. Ayrıca amonyak fırına gönderildiğinde, hidrojen ve azota ayrışarak dekapan işlevi görür [20].

Çizelge 3.5 Dekapanların temel elemanları ve kullanım biçimleri [20]

Lehim grubu	İhtiva ettiği başlıca elemanlar	Dekapanın en fazla bulunduğu form
Cu Cu – Zn Cu – Zn – Ni	Boraks Asitborik Bazı organik maddeler	Macun ve toz
Ag Cu – P	Asitborik Boratlar Flüorürler	Macun ve toz
Al Mg	Flüorürler Klorürler	Toz

Metalik parçaların lehimlenmesinde kullanılan dekapanlar, DIN 8511'de etki sıcaklıkları temel alınarak [20] den dört grup halinde sınıflandırılmıştır:

a-) F-SH 1 Grubu: Bor bileşikleri ve florürlerden oluşan bu grubun etki sıcaklıkları 600 ilâ 800 °C arasındadır. Çalışma sıcaklığı, 600°C'den fazla olan lehim alaşımlarına uygulanırlar.

b-) F-SH 2 Grubu: Bor bileşiklerinden oluşan bu grubun etki sıcaklığı 750 ilâ 1100 °C arasındadır. Ve ergime sıcaklığı 800 °C'nin üzerinde olan lehimler için kullanılır.

c-) F-SH 3 Grubu: Fosfatlar ve silikatlardan oluşan bu grubun etki sıcaklıkları 1000 °C'nin üzerindedir.

d-) F-SH 4 Grubu: Bu gruptaki alaşımların etki sıcaklıkları 600 ila 1000 °C arasında olup ergime sıcaklıkları 600 °C'nin üzerinde olan lehim alaşımları için kullanılırlar.

Dekapanların etki süreleri, en az 10 saniye olarak alınır. Parçanın tavlanamaya başlamasıyla aktif duruma geçen dekapan, etki sıcaklığında yüzeyde oluşan oksit tabakasını çözer. Gereğinden fazla sürdürülen tavlama işlemi, dekapanın etkisiz duruma gelmesine neden olur. Tavlamanın 5 dakikadan uzun sürelerde yapılması halinde, dekapanın oksit çözme özelliği yok olur ve bağlantı yapılacak yüzeylerde yeni oksit tabakaların oluşmasını engelleyemez [20].

Genellikle lehimleme işleminin en çok 2 dakikalık bir sürede yapılmasıyla, dekapanın oksit çözme özelliğinden tümüyle yararlanılmış olur. Dekapan kullanımında, [20] den aşağıdaki maddelere önem verilmesi gerekmektedir:

a-) Pasta halindeki dekapanların kullanımdan önce özenle karıştırılması gerekir.

b-) Dekapan uygulanacak yüzeyler üzerindeki pisliklerden tamamen arındırılmalıdır,

c-) Bir kıl fırça yardımıyla temizlenen yüzeyler üzerine dekapan uygulanmalıdır.

d-) Dekapanın, ciltle teması önlenmelidir.

e-) Lehimlemenin yapıldığı mekân yeteri kadar havalandırmalı aynı zamanda lehimleme işleminden sonra dekapan artıkları, mekanik ya da kimyasal olarak temizlenmelidir.

Çizelge 3.6'da bazı dekapanların standartlardaki gösteriliş şekilleri ve özellikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.6 Bazı dekapanların standartlardaki gösteriliş şekilleri ve özellikleri [16]

Standartlar	Özellikler
F 11 DIN 8511 F - SH 2	Çeliklerin ve dökme demirlerin sert lehiminde, bakır-çinko ve bakır-çinko-nikel alaşımı sert lehim telleri ile birlikte kullanılan dekaptır. Sert lehim öncesi yüzeyi temizler ve sert lehim esnasında ilave telin malzemeyi sarmasını sağlar. Sert lehim sonrasında yüzeyde dekapan artığı oluşturur. Dekapan artıkları mekanik olarak, sıcak suda fırçalayarak, parçalar sıcak iken suya daldırarak veya özel temizleme solüsyonları kullanılarak temizlenebilir.
F 12 DIN 8511 F - SH 2	Bakır-çinko ve bakır-çinko-kalay alaşımı sert lehim telleri ile çeliklerin, galvanizli çeliklerin, pirinç ve bakır alaşımlarının sert lehim uygulamalarında ve lehim kaynaklarında kullanılan dekaptır. Sert lehim öncesi yüzeyi temizler ve sert lehim esnasında ilave telin malzemeyi sarmasını sağlar. Sert lehim sonrasında oluşan dekapan artığı mekanik olarak, sıcak suda fırçalayarak, parçalar sıcak iken suya daldırarak veya özel temizleme solüsyonları kullanılarak temizlenebilir.
F 13 DIN 8511 F-SH I	Gümüş içeren sert lehim alaşımları ile kullanılan dekaptır. Çeliklerin, paslanmaz çeliklerin, dökme demirlerin, nikel ve nikel alaşımlarının, bakır ve bakır alaşımlarının gümüş içerikli alaşımlarıyla sert lehiminde kullanılır. Sert lehim öncesi yüzeyi temizler ve sert lehim esnasında ilave telin malzemeyi sarmasını sağlar. Sert lehim sonrasında oluşan dekapan artığı mekanik olarak, sıcak suda fırçalayarak, parçalar sıcak iken suya daldırarak veya özel solüsyonlar kullanılarak temizlenebilir.

3.5 Sert Lehim Alaşımları

Bakır alaşımlarının sert lehimlenmesinde kullanılan lehim alaşımları DIN 8513 normunda bir araya getirilmiştir. Bu norm, ağır metallerin sert lehimlenmesi (demir esaslı, bakır esaslı, nikel esaslı gibi) için gereken standart lehim alaşımlarını içermektedir. Vakumda yapılan lehimlemelerde kullanılan özel lehimler ve yüksek sıcaklık lehim alaşımları standartlaştırılmamıştır. Ergime derecesi sabit veya katılaşma aralığı dar olan lehimler daha ziyade kapiler lehimlemede ve ergime aralığı geniş olan alaşımlar da lehim kaynağı için uygundur. Ergime sıcaklığı 100 °C'nin üzerinde bulunan ve düşük sıcaklıklarda lehimin özel formda aralıklara konulduğu sert lehim alaşımları, el ile yapılan lehimlemelerde ve özellikle karışık parçaların lehimlenmesinde kullanılır.

Lehimleme işleminde lehimleme süresinin uzun tutulması halinde lehimleme segregasyonu tehlikesi meydana gelir. Lehim alaşımlarının özel formlarda lehimlenecek aralıklara konulduğu ve lehimlemenin elle yapıldığı durumlarda, lehimin ergime sıcaklığı 40 °C' ın üzerine çıkmamalıdır [24].

Çizelge 3.7 DIN 8513'e göre Bakır Lehim Alaşımları [24]

Gösterilişi	Bileşimi (% Ağırlık)		Erime aralığı (°C)		Çalışma Sıcaklığı (°C)	Yoğunluğu (kg/dm ³)	Döküm durumunda mukavemeti (kp/mm ²)
	Alaşım elemanları (%)	Müsaade edilen gayri safiyet elem.	Solidus (°C)	Likidus (°C)			
L-CuZn 40 (L-Ms 60)	Cu = 59-62 Si = 0,1-0,3 Sn = 0-0,5 Mn = 0-0,3 Fe = 0-0,2 Zn = kalanı	Pb = 0,03 Al = 0,01 Diğerlerinin toplamı 0,1	890	900	900	8,4	30-40
L-CuZn 39 Sn (L-SoMs)	Cu = 56-62 Si = 0,05-0,2 Sn = 0,5-1,5 Mn = 0,2-1,0 Fe = 0-0,5 Ni = 0-1,5 Ag = 0-0,1 Zn = kalanı	Pb = 0,1 Al = 0,01 Diğerleri Σ 0,1	870	890	900	8,4	
L-CuZn 46 (L-Ms 54)	Cu = 53-55 Zn = kalanı	Pb = 0,1 Al = 0,01 Diğerleri Σ 0,1	880	890	890	8,3	34
L-CuZn 42 (L-Ms 42)	Cu = 41-43 Zn = kalanı	Pb = 0,1 Diğerleri Σ 0,1	835	845	845	8,1	14
L-CuNi10Zn 42 (L-Ns)	Cu = 46-50 Ni = 8-11 Si = 0,1-0,3 Zn = kalanı	Pb = 0,03 Al = 0,01 S = 0,001 Diğerleri Σ 0,5	890	820	910	8,7	40
L-CuP 8	P = 7,7-8,5 Cu = kalanı	Al = 1z Pb = 1z Fe = 0,2 Sn = 0,2 Zn = 0,05	710	710 ile 770	710	8,0	33

Çizelge 3.8 DIN 8513'e göre %20'den az Gümüş içeren Gümüş Lehim Alaşımları [24]

Gösterilişi	Bileşimi (% Ağırlık)		Erime aralığı (°C)		Çalışma Sıcaklığı (°C)	Yoğunluğu (kg/dm ³)
	Alaşım elemanları (%)	Müsaade edilen gayri safiyet elem.	Solidus (°C)	Likidus (°C)		
L-Ag 2 P	Ag = 1,5-2,5 P = 5,9-6,5 Cu = kalanı	Al = 0,01 Pb = 0,02 Diğerleri Toplamı 0,1	650	810	710	8,1
L-Ag 5 P	Ag = 4,0-6,0 P = 5,7-6,3 Cu = kalanı		650	810	710	8,1
L-Ag 15 P	Ag = 14-16 P = 4,7-5,3 Cu = kalanı		650	800	710	8,4
L-Ag 5	Ag = 4-6 Cu = 54-56 Si = 0-0,2 Zn = kalanı	Al = 0,01 Pb = 0,02 Diğerleri Toplamı 0,1	820	870	860	8,4
L-Ag 12	Ag = 11-13 Cu = 47-49 Zn = kalanı		800	830	830	8,5
L-Ag 12 Cd	Ag = 11-13 Cd = 5-9 Cu = 49-51 Zn = kalanı		620	825	800	8,5

Çizelge 3.9 DIN 8513'e göre %20'den fazla Gümüş içeren Gümüş Lehim Alaşımları [24]

Gösterilişi	Bileşimi (% Ağırlık)		Erime aralığı (°C)		Çalışma Sıcaklığı (°C)	Yoğunluğu (kg/dm ³)
	Alaşım elementleri (%)	Müsaade edilen gayri safiyet elem.	Solidus (°C)	Likidus (°C)		
L-Ag 20	Ag = 19-21 Cu = 43-46 Si = 0-0,2 Zn = kalanı	Al = 0,01 Pb = 0,02 Diğerleri Toplamı 0,1	690	810	810	8,7
L-Ag 25	Ag = 24-26 Cu = 40-42 Zn = kalanı		700	800	780	8,8
L-Ag 44	Ag = 43-45 Cu = 40-42 Zn = kalanı		675	735	730	9,1
L-Ag 20 Cd	Ag = 19-21 Cd = 13-17 Cu = 39-41 Zn = kalanı		605	765	730	8,8
L-Ag 30 Cd	Ag = 29-31 Cd = 19-23 Cu = 27-29 Zn = kalanı		600	690	680	9,2
L-Ag 40 Cd	Ag = 39-41 Cd = 18-22 Cu = 18-20 Zn = kalanı		595	630	620	9,3

Alaşım elemanı miktarları çeşitli standartlarda ve kataloglarda kural olarak nominal değerleri ile, bileşimlerindeki metaller ise genellikle ağırlık yüzdeleri ile verilmektedir. Uygulamada bütün alaşım malzemeleri için geniş bir tolerans alanına izin verilmektedir. Bundan dolayı da özelliklerde bir miktar sapmalar görülebilmektedir. Farklı bir sıcaklık verilmemişse mekanik-fiziksel özellikler için belirtilen değerler oda sıcaklığı (yaklaşık 20-25°C) içindir [25].

Lehimler çeşitli özelliklerine göre sınıflara ayrılır. Kabaca uluslararası sınıflandırma yumuşak ve sert lehimler şeklinde yapılmaktadır. Buradaki ölçüt, sertlik olmayıp, işlem sıcaklığıdır. İşlem (çalışma) sıcaklığı denildiğinde ana malzeme ile lehim arasındaki temas noktasında olan en düşük sıcaklık anlaşılır. Böylece lehim yayılarak ana malzemeye birleşmesi sağlanır.[25] Lehimleme sıcaklığı, bağlantının gerçekleştiği sıcaklıktır. Bu sıcaklık çoğunlukla işlem sıcaklığından yüksektir. İşlem sıcaklığı ve lehim sıcaklığı lehim malzemesi sabitleri değildir. Çevre koşulları (esas malzeme, dekapan, koruyucu gaz vb.) bu sıcaklık değerlerini etkiler [25].

Metalsel ana elementlere göre ve özellikleri önemli oranda belirleyici olan alaşım elementlerine göre yapılan lehim sınıflandırmaları Çizelge 3.10'da verilmektedir. Burada metasal olmayan lehim malzemeleri ele alınmıştır [25].

Çizelge 3.10 Alaşım elementlerine göre lehim grupları [25]

1. Galyum veya cıva içeren lehimler	11. Magnezyum esaslı lehimler
2. Bizmut içeren lehimler	12. Gümüş lehimleri
3. İndiyum içeren lehimler	13. Özel gümüş lehimleri
4. Kurşun-kalay lehimleri (kalay lehimleri)	14. Palladyum lehimleri
5. Kurşun ve/veya kalay esaslı gümüş ve antimuan içeren özel yumuşak lehimler	15. Altın ve platin lehimleri
6. Kurşun ve/veya kalay esaslı gümüş ve antimuan içermeyen özel yumuşak lehimler	16. Bakır esaslı lehimler
7. Kadmiyum esaslı lehimler	17. Nikel lehimleri
8. Çinko esaslı lehimler	18. Titanyum ve zirkonyum esaslı lehimler
9. Mikro elektronik için altın içeren lehimler	19. Demir esaslı lehimler
10. Alüminyum esaslı lehimler	20. Hafniyum, niobyum ve tantal lehimleri

Sınıflandırma kullanım amacına göre aşağıdaki gibidir;

- > Ağır ve hafif metal lehimleri
- > Vakum lehimleri
- > Koruyucu gaz lehimleri
- > Yüksek sıcaklık lehimleri
- > Kuyumculukta kullanılan lehimler
- > Dental (dişçilik) için olan lehimler

Ağır metal lehimler özellikle korozyon bakımından ağır metalleri birleştirme amaçlı, buna karşılık hafif metal lehimler de hafif metalleri birleştirme amaçlı düşünülür [25].

Çizelge 3.11’de bazı lehim alaşımlarının standartlardaki gösterimleri ve özellikleri görülmektedir [16].

Çizelge 3.11 Alaşım elementlerine göre lehim grupları [16]

Bakır - Fosfor Bazlı Teller	
Ürün Standartları	
DIN 8513	L - Cu P 7
AWS/ASME SFA 5.8	B Cu P - 2
TS 6934 EN ISO 3677	B Cu 93 P 710-805
Uygulama Alanları ve Özellikleri	
Kapiler akma özelliği iyi olan bakır-fosfor alaşımı sert lehim telidir. Bakırla bakırın birleştirilmesinde en ideal sert lehim telidir ve dekapan gerekmez. Prinç ve bronz malzemelerin kapiler sert lehimine uygundur. Sert lehim bağlantısının çalışma sıcaklığı 200°C'dir. Eşanjör, radyatör, termosifon, klima, buzdolabı, derin dondurucu ve diğer beyaz eşya imalatında boru bağlantılarında kullanılır.	
Ürün Standartları	
DIN 8513	L - Ag 5 P
AWS/ASME SFA 5.8	B Cu P - 3
ISO 3677	B Cu 88 P Ag 650-770
Uygulama Alanları ve Özellikleri	
Çok iyi akıcılığa ve sünekliğe sahip gümüş içeren bakır-fosfor alaşımı sert lehim telidir. Bakır, bakır-çinko ve bakır-kalay alaşımlarının kapiler sert lehiminde ve lehim kaynağında kullanılır. Bakırla bakırın birleştirilmesinde dekapan gerekmez. Bakır alaşımlarının birleştirilmesinde uygun dekapan kullanılmalıdır. Sert lehim bağlantısının maksimum çalışma sıcaklığı 150°C'dir. Kükürtlü ortamlarda, çeliklerde ve nikel alaşımlarında kullanıma uygun değildir. Eşanjör, radyatör, termosifon, ısıtma sistemleri, klima, buzdolabı ve diğer beyaz eşya boru bağlantılarında, avize ve dekoratif eşya imalatında, elektrik motorlarında, su (sıcak/soğuk) ve bira borularının birleştirilmesinde kullanılır.	

3.6 Sert Lehimlemede Yüzey İşlemleri Ve Tasarım

Birleştirilecek olan yüzeylerin ön hazırlığı sert lehim kalitesi açısından oldukça önemlidir. Düzgün bir yüzey olmalı ve oksit, çapak, yağ, gres, boya vb. maddelerden tümüyle temizlenmiş olmalıdır. Bu unsurlar, ana metal ile ilave metalin birleşimine engel teşkil ederler. Yüzeyde yağ ve gres gibi kalıntılar varken lehimleme işlemine başlanırsa, ısınan bu artıklar karbonlaşarak metal yüzeyinde bir film katmanı meydana getirir ve ilave metalin tutunmasını ve akmasını önler. Dekapan, yağlı yüzeyler üzerinde

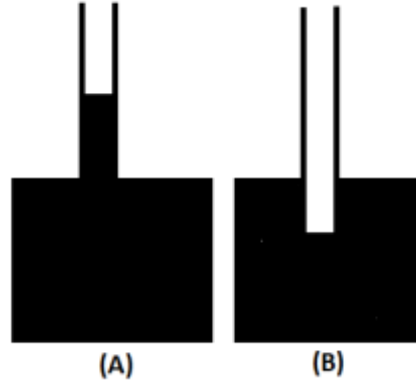
tutunamaz ve işlevsiz kaldığından yüzeylerde oksitlenme olur, bu durum lehimlemeyi olumsuz yönde etkiler [5].

Lehimleme öncesinde yüzeyin tamamen temiz olması gerekir, çünkü ancak metallerin yüzeyleri temiz olduğunda homojen bir kapiler etki elde edilebilir. Yüzey hazırlığı ve temizlik işlemleri mekanik ya da kimyasal yollarla yapılmaktadır. Temizlenmiş yüzeyler çok bekletilmeden sert lehimleme işlemi yapılmalıdır. Çünkü bekleme sırasında havanın etkisi ile oluşan oksitler ve elde taşıma sonucu oluşan kirlenmeler, temizlenmiş yüzeylerin bozulmasına sebep olur. Bunun sonucunda yeniden temizleme ihtiyacı doğar [5].

Sert lehimle birleştirilecek ana malzemelerin lehimleme aralığı 0,05–0,5 mm arasında olduğunda kapiler etki altında kalacak olan ve sıvı duruma gelen ilave metal, lehimleme aralığına kendiliğinden akacaktır. Lehimleme aralığı artarsa kapiler basınç aynı oranda azalacaktır. Bu sebeple de kapiler lehimleme 0,5 mm'den büyük aralıklarda yapılamamaktadır. Üfleçle yapılan lehimleme uygulamalarında bu aralığın maksimum 0,3 mm dolaylarında tutulması kaliteli bir bağlantı meydana getirecektir [5].

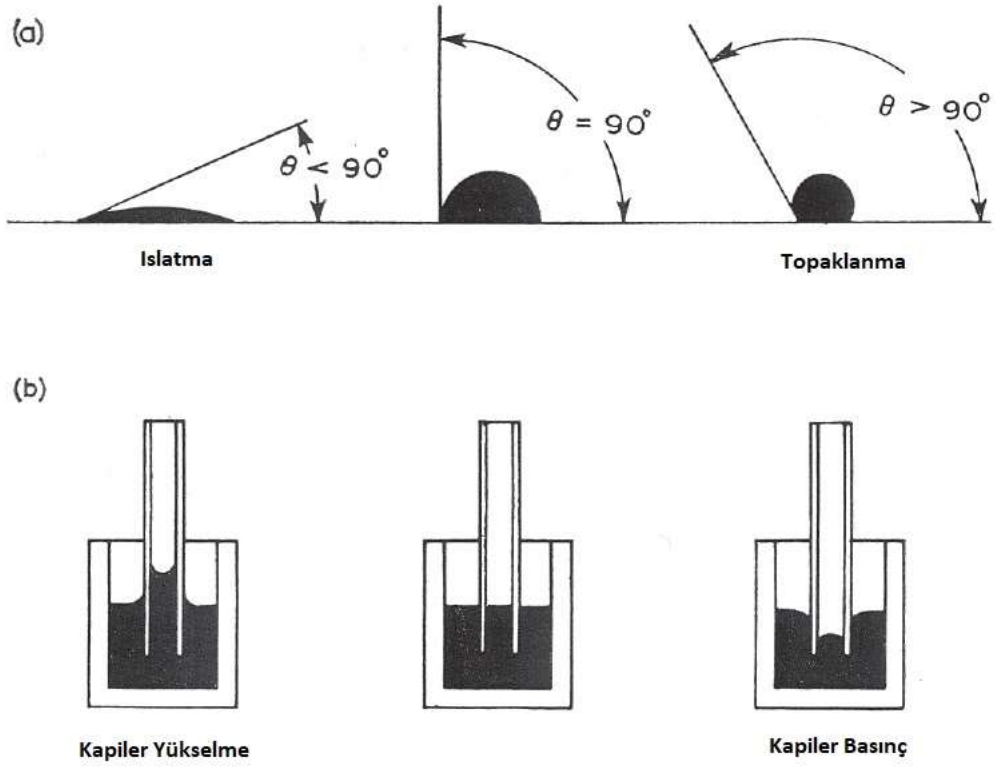
Islatma ve yayılma olayı lehimlenmiş aralıkların oluşumu için çok önemlidir. Ayrıca dikkate alınması gereken diğer önemli faktörler, katı yüzey oksit filmlerinin mevcudiyeti ve bunların ıslatma ve yayılma üzerindeki etkileri, yüzey pürüzlülüğü, lehim dolgu metali ve ana metal arasında alaşım oluşturma derecesi ve alaşımlama lehim atmosferinin termodinamik özellikleridir. Yüzey aktivasyonu, temas açısı, denge ve yüzey enerjileri üzerine bir dizi çalışma yapılmıştır [26].

Islanma, belki de en iyi şu örnekle açıklanmaktadır: Bir katı bir sıvı banyoda daldırılır ve ıslatma meydana gelirse sıvıdan ince bir sürekli tabaka katıya yapışır (Şekil 3.15). Teknik olarak katı ve sıvı arasındaki yapışma kuvveti (ıslatma işlemi sırasında) sıvının kohezif kuvvetinden daha büyüktür. Uygulamada, lehimleme ile ilgili olarak, ıslatma, sıvı lehim dolgu metalinin, yüzeyinde bükülmek yerine katı metal üzerine yayılması anlamına gelir. Islatma işleminin esas olarak, sert lehim metaliyle hafif bir yüzey alaşımına bağlı olduğu gösterilmiştir. Örneğin, kurşun demirle alaşım oluşturmaz ve ıslatmaz. Kalay, diğer taraftan, demir ile bir alaşım oluşturur ve bu nedenle kalaylı bir lehim, çeliği ıslatır [26].



Şekil 3.15 Sert Lehimlemede ıslatma sonrası kapiler etki a) İyi ıslatılmış b) ıslatılmamış [4]

Kılcal akış, sert lehim alaşımının ana metalleri ıslatma kabiliyetine bağlıdır. Bu özellik katı ve sıvı fazların nispi karakteristikleri ile ölçülür, ölçüsü, Şekil 3.16'da gösterilen temas açısının büyüklüğüdür. Temas açısı ne kadar düşük olursa ıslatma ve yayma özellikleri artar. Temas açısı 90° 'dan az olmadıkça kılcal akış gerçekleştirilemez. Bununla birlikte, kılcal akış için uygun koşullar sağlanmış olsa bile, bağlantının sağlamlığı, bağlantı aralığının geometrisine bağlı olacaktır. Buna ek olarak, % 100 sızdırmazlığa sahip lehimli bir tertibatın yük taşıma kapasitesi, kısmen, bağlantı aralığının boyutlarına ve kısmen bütün tertibatın tasarımına bağlı olarak etkilenebilir [27].



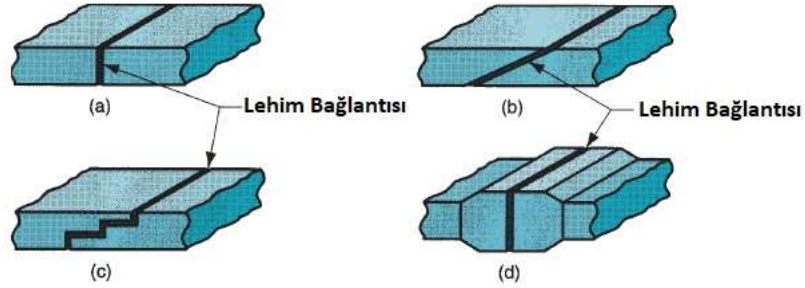
Şekil 3.16 (a) Yatay bir katı yüzey üzerinde farklı ıslatma özelliklerine (farklı temas açılarından) sahip üç farklı sıvı damlalarının yayılması ve (b) bu sıvıların dikey kılcal damarlarda gösterdikleri davranışlar [27]

Değişken parçalara, montaj geometrilerine ve işlevlerine uyacak çok çeşitli sert lehim bağlantıları olmasına rağmen, çoğu lehim bağlantıları iki temel tipten oluşmaktadır. Bunlar alın alına ve bindirme yöntemleridir [28].

İki tip lehimleme prosesi için de çeşitli şekiller uyarlanmıştır. Geleneksel alın alına bağlantı, lehimleme için sınırlı bir alan sağlar, böylece bağlantının mukavemetini düşürür. Sert lehimleme işlemlerinde bağlantı alanlarını arttırmak için, birleştirilecek parçalar çoğunlukla üst üste konulur veya basamaklanır ya da aksi takdirde Şekil 3.17'de gösterildiği gibi değiştirilir. Elbette, bu özel bağlantılı parçaların yapımında ek işlemler uygulamak gerekir. Alın alına bağlantılar ile ilgili karşılaşılan zorluklardan biri, lehim öncesi ve sırasında lehimlerin tutulması problemi [29].

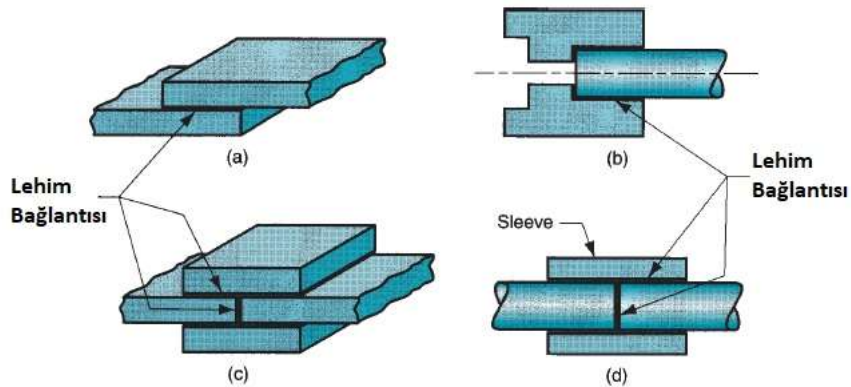
Alın alına bağlantı oluşturmak için, iki metal parçası, uçtan uca olacak şekilde, alın alına yerleştirilir. Bağın gücü, büyük ölçüde bağlama yüzeyi miktarına bağlıdır. Ancak düzgün

biçimlendirilmiş bir alın alına bağlantı birçok uygulama ihtiyacını karşılayacak kadar güçlü olacaktır. Kurulum nispeten basittir ve bazı uygulamalar için bağlantıda tutarlı bir parça kalınlığına sahip olmak avantajlı olabilir [28].



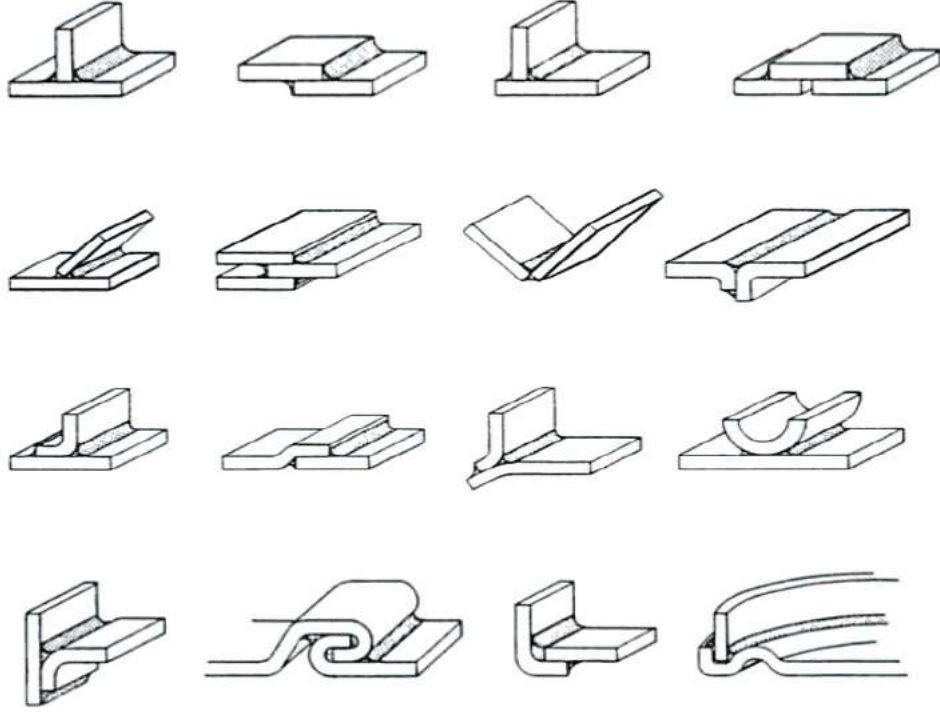
Şekil 3.17 (a) Geleneksel alın alına lehimleme ve uygulamaları: (b) Eğik alın alına bağlantı, (c) kademeli alın alına bağlantı, (d) bağlantı noktasındaki parçanın kesitinin artması [29]

Parçalar arasında nispeten geniş bir ara yüzey alanı sağlayabileceğinden, bindirme yöntemi lehimlemede daha yaygın olarak kullanılmaktadır. İnce parçanın kalınlığının en az üç katı bir örtüşme genellikle iyi bir tasarım uygulaması olarak kabul edilir. Sert metal lehimleme için bazı uyarlamalar Şekil 3.18'de gösterilmektedir [29].



Şekil 3.18 (a) Geleneksel bindirme bağlantısı ve uygulamaları: (b) silindirik parçalar, (c) sandviç parçalar ve (d) Alın alına bağlantının bindirme bağlantıya dönüştürülmesi için ek parça kullanılması [29]

Bindirme yöntemiyle lehimlemenin bir avantajı dolgu metalinin sadece kenarlardan (ark kaynağından yapılan bağlantılarda olduğu gibi) değil, ayrı noktalar halinde olmak üzere parçalar arasındaki tüm ara yüzey alanı boyunca taban parçalarına bağlanmasıdır (direnç nokta kaynağı uygulaması gibi) [29].



Şekil 3.19 Sert lehimlemede birleştirme tasarımları [26]

3.7 Sert Lehimleme İşleminde Alınacak Güvenlik Önlemleri

Kaynak, kesme veya lehim işlemleri ile oluşan tehlikelere maruz kalan çalışanlar kişisel koruyucu donanım (KKD) tarafından korunmalıdır. Herhangi bir kaynak işlemi için gerekli olan uygun koruyucu giysiler yapılacak işin büyüklüğü, niteliği ve yerine göre değişir. KKD, yanıklar, kıvılcımlar, sıçrama, elektrik çarpması ve optik radyasyon gibi tehlikelere karşı korumalıdır [30].

Kaynak, kesme veya lehimlemeden kaynaklanan ısı, dumanlar ve gazlar (duman kütlesi) oluşturur. Kaynak dumanı ve gazlarına aşırı maruz kalınması baş dönmesi, hastalık ve hatta bilinç kaybı ve ölüme neden olabilir. Çalışan sağlığını korumak için aşağıdaki önlemler ve tedbirler alınmalıdır [30].

1. Uygun dış giyim, tercihen yünlü giyilmeli ve göz koruması takılmalıdır.
2. Sert lehimleme için kullanılan kimyasallarla çalışırken koruyucu eldiven giyilmelidir. Asitler ve alkalınlar gibi kimyasallar bazen lehimlemeden önce parçaları temizlemek için kullanılır ve deriyle temasa izin verilirse kimyasal yanıklar oluşabilir [31].
3. Isı direkt lehim dolgu metaline değil, taban metaline uygulanmalıdır [31].

4. Ana metal veya lehim dolgu metalinin aşırı ısınmamasına özen gösterilmelidir [31].

5. Atölyenin havalandırma sisteminin olması gerekir. Çünkü bazı ilave dolgu metallerinde bulunan Kadmiyum ve Çinko elementleri, ana metallerde bulunan Berilyum ve Kurşun elementleri ve dekapanlarda kullanılan florürler zehirli duman ve buhar oluşturdukları için sağlığa zararlıdır.[14] Çizelge 3.12’de sert lehim işlemi sırasında açığa çıkan gazlar ve insanlara olan etkileri verilmiştir [16].

Çizelge 3.12 Sert lehim yapımı sırasında ortaya çıkan gazlar ve insanlara olan etkileri [16]

Oluşan gazın adı	Oluşumu	Tehlikesi
Karbon dioksit (CO_2)	Alevdeki yanma Ürünü	Zehirsizdir. Ancak havadan ağırdır. Baş ağrısı ve bayımlara neden olabilir.
Karbon monoksit	Yetersiz oksijenle	Çok zehirli ve öldürücüdür.
Azot oksit (NO ve NO_2)	Havada, 1000°C ve üzerindeki sıcaklıklarda oluşur.	Özellikle büyük tüflele gaz kaynağı yaparken çıkar. Çok zehirli ve öldürücüdür.
Çinko buharı	Çinkonun yapmış olduğu alaşımların birleştirilmesinde oluşur.	Çinko, yüksek derecede ateşlenmeye neden olur.
Çözücü-kimyasal madde buharı	Boya, yağ gibi maddelerin temizlenmesi için kullanılan çözücülerden meydana gelir.	Bayımlara, böbrek ve karaciğerin hastalanmasına neden olur.

BAKIR BORU VE ALAŞIMLARININ SERT LEHİMLENMESİ

Sert lehim, özellikle iyi lehimleme özelliklerine sahip diğer metallerle karşılaştırıldığında bakır ve bakır alaşımlarına yaygın olarak uygulanmaktadır. Yaklaşık % 3'ten fazla kurşun veya % 10 alüminyum içeren alaşımlar haricinde, tüm bakır esaslı malzemeler, bir lehimleme teli ile veya başka bir biçimde lehimlenebilir. Bu nedenle, yüksek verimli, ekonomik montaj operasyonlarına erişilebilen bir seri üretim aracı olarak düşünülmesi gereken bir süreçtir [15].

Bakır ve alaşımları, yüksek mukavemet ve süneklik ile iyi seviyede ısı ve elektriksel iletkenlik özelliklerine sahip metaller olup, içlerinden birçoğu ayrıca değişik çevresel şartlarda korozyona karşı da dayanım gösterir [22].

Oksitlerin kimyasal stabilitesi; alaşımların çoğunluğunda çinko, kadmiyum, mangan gibi uçucu elementlerin oluşu; oksijen içeren bakır ve bunun bazı alaşımlarının hidrojen gevrekleşmesine yatkınlığı; bakırın, ilâve metallerin özgül bileşenleriyle intermetalik birleşmeler oluşturma yeteneği; ergimiş ilâve dolgu metalleriyle temasta bakır ve alaşımlarının gevrek kırılmaya artan eğilimi, bakır ve alaşımlarına özgü karakteristiklerdir. Ayrıca bunlar bakır ve alaşımlarının sert lehimleme yöntemine uygunluğu açısından da önemlidir [22].

Bakır, lehim sıcaklıklarında oda havasına maruz bırakıldığında oksit tabakası oluşur. Havada lehimlenmiş bir bağlantının dış kısmında görülen aynı siyah-gri metalik pullar borunun iç kısmında da bulunacaktır [32]. Lehimleme esnasında bağlantının azotla

temizlenmesi oksitlenmeyi önler. Şekil 4.1’de azot tasfiye edilmeden lehimlenmiş (sağda) ve azotlu (solda) bir boru arasındaki fark açıkça görülmektedir.



Şekil 4.1 Bakır borularda azot kullanılarak ve azot kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemleri

Bakır boruları birleştirmek için kullanılan iki yaygın lehim dolgu metali türü vardır. Bunlar: BCuP (Brazing - Bakır - Fosfor) ve BAg (Brazing - Gümüş) [33].

Bu lehim dolgu metalleri bileşenlerine göre sınıflandırılmıştır. Bakır boru ve bağlantı elemanlarının birleştirilmesi için BCuP dolgu metalleri tercih edilir. İçinde fosfor bulunan bu dolgu metalleri akıcı bir madde olarak işlev görür ve daha düşük gümüş yüzdesi onları nispeten düşük maliyetli dolgu metalleri haline getirir [33].

Sihhi tesisat, HVAC soğutma ve yangın sprinkler sistemlerinde en sık kullanılanlar BCuP-2 (daha yakın toleranslar için), BCuP-3, 4 veya 5 olmaktadır. BAg-1, BAg-5 ve BAg-7. BCuP serisi dolgu metalleri, BAg serisine göre daha ekonomiktir ve genel borulama uygulamaları için daha uygundur. Farklı metalleri birleştirirken BAg serisi dolgu metalleri kullanılmalıdır [33].

Amerikan Kaynak Cemiyetine (AWS) göre, lehimlenmiş bağlantının mukavemeti, bindirme yöntemiyle lehimleme yapılması, dolgu metalinin nüfuzunun derinliği, tabaka kalınlığının artması gibi faktörler ile artacaktır. Lehimli bir bakır boru bağlantısının mukavemeti, farklı ilave metalleri ile çok fazla değişmez, ancak bu esasen borunun dış kısmı ile bağlantı parçası arasındaki uygun boşluğun muhafaza edilmesine bağlıdır.

Bakır boru ve bağlantı parçaları birbirlerine uyacak şekilde yapılmıştır ve her biri için izin verilen toleranslar, kapiler boşluğun istenilen mukavemet aralığında olmasını sağlar [33].

4.1 Bakır Ve Alaşımlarına Sert Lehim Uygulamaları

ASTM sınıf 2 titanyum ve bakır malzemelerin gümüş bağlayıcı kullanılarak sert lehimlenmesinde lehimleme işlemi 700 °C’de değişik sürelerde ve sabit yük altında, argon gazı korumasında fırın ortamında yapılmıştır. Sert lehimleme ile birleştirilmiş bölgenin dayanımını ölçmek amacıyla yapılan makaslama testinde; lehimleme süresinin artmasıyla makaslama mukavemetinin arttığı, ancak bu artışın 60 dakika sonrasında makaslama mukavemetindeki artışın düştüğü ve birbirine yakın değerler elde edildiği görülmüştür. Bu çalışmadan, lehimleme süresinin gereğinden fazla uzun tutulması mekanik özellikleri aynı oranda iyileştirmemektedir sonucu ortaya çıkmıştır [34].

Ayrıca titanyum ve bakır malzemelerin gümüş bağlayıcı kullanılarak sert lehimlenmesi işleminde lehimleme bölgesi ve ısı tesiri altındaki bölgeden yapılan optik mikroskop çekimlerinde hem bakır hem de titanyum malzemenin tane büyüklükleri aynı boyutta görülmüştür. Bununla birlikte herhangi bir kalıntı ve boşluk lehimleme bölgesi boyunca görülmemiştir [34].

Bir başka çalışmada ise %99.5 saflıktaki levha formda bakır malzemeler oksijen-gaz aleviyle alın altına ve bindirme pozisyonlarında L-CuZn39Sn, L-CuNi10Zn42, L-Ag40Cd ve L-CuZn40 olmak üzere dört farklı sert lehim teli ile lehimlenmiştir. Birleştirilen numuneler tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleriyle incelenerek sert lehim ilave tellerinin ve birleştirme şekillerinin yapılan birleştirmelere etkisi görülmüştür [16].

Yapılan lehimleme işlemleri sonrasında mikroyapı görüntüleri genel olarak incelendiğinde alın altına birleştirme yönteminde ısının etkisi ile ana malzeme tanelerinde toparlanma ve tane irileşmesinin olduğu görülmüştür. Bindirme şeklindeki birleştirmelerde ise tane irileşmesinin daha fazla, lehim telinden oluşan ara bölgede ise dendrit tanelerin daha iri ve daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu duruma bindirme birleştirmelerde üstteki malzemenin, alın altına birleştirilen malzemelere göre daha uzun süreli ısıya maruz kalmasının neden olduğu düşünülmüştür [16].

Dört farklı sert lehim teli ile alın alına ve bindirme yöntemleriyle birleştirilmiş numuneler çekme testine tabi tutulmuş buna göre L-CuZn39Sn sert lehim teliyle alın alına yapılan sert lehimleme işlemlerinde kopmanın sert lehim bölgesinden olduğu görülmüştür. Diğer tüm lehim telleri ile yapılan bağlantılarda ise kopma malzeme yüzeyinden olmuştur. L-CuZn39Sn lehim teli ile yapılan birleştirmede kopmaların birleştirme bölgesinden olmasının nedeni olarak birleştirme bölgesinde görülen gözeneklilik olduğu düşünülmüştür [16].

Sert lehim süresinin ve işlem sıcaklığının bağlantının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini görmek için yapılan farklı bir çalışmada ise saf bakır ($\geq 99.9\%$) malzeme kullanılmıştır. Ana malzemeler, sırasıyla 25 mm x 25 mm x 2 mm boyutlarında ve mikroyapı analizi ve çekme testi için $\Phi 16$ mm x 40 mm boyutlarında iş parçaları haline getirilmiştir. İlave dolgu metali olarak da kimyasal bileşimi % 15.7 Ni, % 9.3 Sn, % 6.5 P ve % 68.5 Cu olan Cu-Ni-Sn-P dolgu metali kullanılmıştır. Sert lehimleme işlemi vakum fırınında gerçekleştirilmiştir. Sert lehimleme sıcaklıkları 660 °C ile 720 °C aralığında değiştirilmiştir. Lehimleme süresi ise 5 dk ile 30 dk arasında tutulmuştur. Çekme testinde işlem hızı 1 mm/dk olarak seçilmiştir [35].

Yapılan deneyler neticesinde sonuçlar incelendiğinde, aynı lehimleme süresi içinde farklı sert lehim sıcaklıklarında lehimlenmiş bağlantıların gerilme mukavemetinin, lehimleme süresinin değiştirilmesiyle elde edilen sonuca benzer olduğu açıkça görülmüştür. Artan lehimleme sıcaklığı veya bekleme süresinin uzaması, dolgu metalleri ve ana metaller arasındaki çözünmeyi ve yayılımı iyileştirip, metalürjik reaksiyonu hızlandırmıştır. Ancak lehimleme sıcaklığı çok yüksek olduğunda veya lehimleme süresi çok uzun tutulduğunda, bağlantı mukavemeti keskin bir şekilde azalmıştır. En yüksek gerilme mukavemeti değeri 680 °C sıcaklıkta 20 dakika lehimleme süresinde elde edilmiştir [35].

4.2 Lehimli Birleşmelerde Hatalar

Sert lehimleme işleminde ortaya çıkan hata nedenleri, birleştirme yöntemine bağlı olmamakla beraber, metal ve metal alaşımlarına göre benzerlikler gösterir. Ancak metallerin cinsine göre görülen hataların dereceleri değişmektedir. Bu değişimin nedeni, metallerin sert lehimleme özellikleri arasındaki farklılıklardır. Örnek verilecek

olursa düşük karbonlu çelik ile bakır ve bakır alaşımları (yüksek kurşunlu pirinçler dışında) kolay biçimde sert lehimlenebilen metaller grubunda yer alırken, paslanmaz çelik ve ısıya dayanıklı alaşımlar genellikle sert lehimlenmektedirler [36].

Sert lehimleme hataları yalnızca metallerin yapısından değil; metal yüzeylerin kuralına uygun şekilde temizlenmemesi, ilave dolgu metali yapısında farklı ergime sıcaklığına sahip bileşenlerin olması, ani soğutmalar, ana malzeme ve ilave dolgu metali arasında aşırı alaşımlama, uygunsuz tasarım ve toleranslardan da meydana gelmektedir. Hataların oluşma riski, metalin sert lehimlenebilme özelliği düştükçe (azaldıkça) artmaktadır [36].

Lehimleme esnasında ortaya çıkan hatalar lehimleme yönteminden bağımsız olarak farklı metal ve bileşiklerde benzerlikler gösterir. Lehimleme kabiliyetinin metaller arasında farklılık göstermesi sonucunda lehimleme işleminde hata çok veya az olmaktadır [37].

Düşük karbonlu çelikler ile bakır ve bakır alaşımları (Bu alaşımların yüksek oranda kurşun içerenleri dışında) genel olarak basitçe lehimlenme özelliğindedirler. Paslanmaz çelikler ve ısıya dayanıklı çelikler lehimlenmesi güç metallerin başında gelmektedir. Lehimleme kabiliyetinin azlığı dayanıklı bir birleşme olmasına engel olur. Lehimli bağlantıların zayıf olmasındaki faktörler [37] den aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

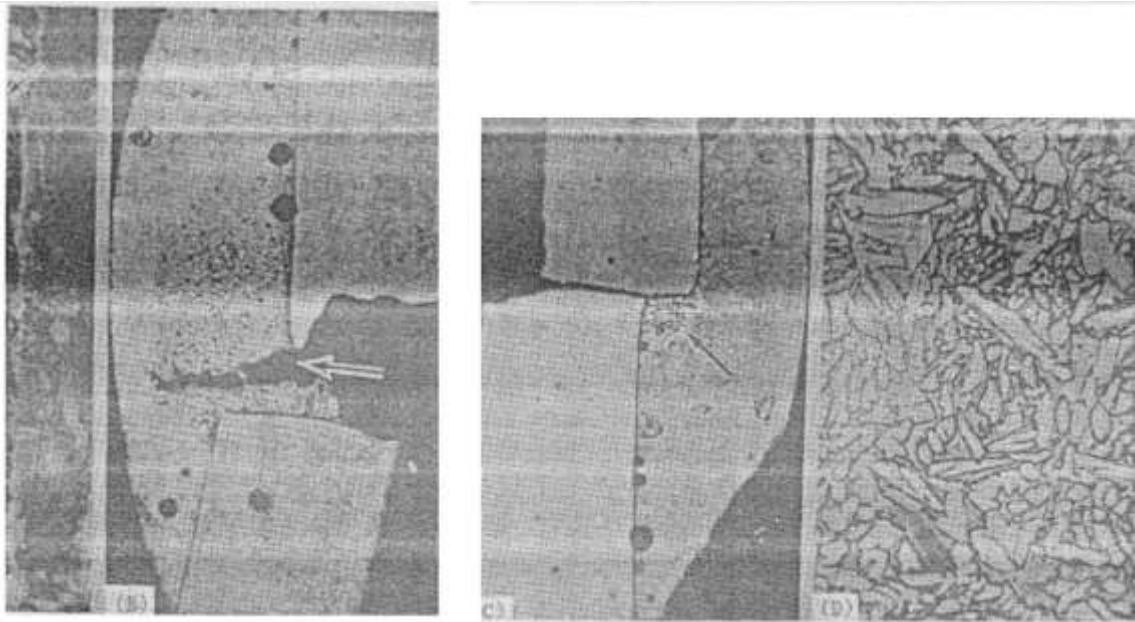
-Inclusionlar: Ana metal yüzeyindeki oksit, sülfid, nitrit gibi inclusionlar ilave dolgu metalinin ergimiş haline karışarak güçlü bir bağ oluşumuna engel olup dayanımın düşmesine neden olurlar.

-Porozite: Ana metal yüzeyinin lehimleme işleminden önce temizlenmemesi sonucunda meydana gelir. Ayrıca dolgu metalinin buharlaşma derecesinin düşük olmasından da ortaya çıkabilmektedir. Poroziteye hızlı soğuma da genel olarak etken olmaktadır.

-Eksik Lehimleme: Bu şekilde yapılan lehimlemelerde birleşme yüzeyleri dolgu metali ile tamamen kaplanmaz ve aralarında güçlü bir bağ meydana gelmez. Yüzeyin iyi temizlenmemesi, ısı girdisinin yetersiz olması, koruyucu gazın oksitlenme nedeniyle yok olması, lehim aralığının fazla bırakılması gibi etmenler kılcal akışı zayıflatacağı için eksik lehimlemeyi oluşturur.

-Aşırı Alaşımlama: Ana metalin ilave dolgu metali ile aşırı alaşımlanması, ilave dolgu metali ya da ana metalde farklı görevler için alaşım maddelerinin aşırı miktarda bulunması ile tanımlanır. Bakır alaşımlarında makinada işlemeyi basitleştirmek için kurşun, tellerium ve sülfür gibi ergime derecesi düşük elementler eklenmiş ise lehimleme işleminde sıcak çatlama ihtimali artar.

-Arayüzey Korozyonu: Nikel içermeyen veya çok az içeren Ferritik ve martenzitik paslanmaz çelikler, yüzeylerinde sıvı dekapan kullanılarak nikel ve serbest gümüş içeren ilave dolgu metali ile lehimlenirse nemli ortamda ara yüzey korozyonu ihtimali artar. Bu sebeple lehimleme işlemi nikel ve kalay içeren dolgu metali kullanılarak koruyucu ortamda yapılmalıdır.



Şekil 4.2 Lehimli birleştirmelerde çatlama ve çinkosuzluktan dolayı bakır su borusunda meydana gelen hata [37]

SERT LEHİMLEMEDE KULLANILAN MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ

Malzemelerin herhangi bir amaçla seçimi ve seçilen malzemenin istenilen faaliyeti gerçekleştirip gerçekleştiremeyeceğini anlamak veya malzemenin özelliklerini saptamak için uygulanan çeşitli deneylere malzeme muayenesi denir [38].

Genel olarak muayene yöntemleri tahribatlı ve tahribatsız muayene olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [38].

5.1 Tahribatsız Muayene Yöntemleri

Tahribatsız muayene yöntemiyle yarı mamul ve mamul iş parçalarının gözle görülmeyen hataları incelenebilmektedir. Bu muayene yöntemlerinde herhangi bir deney parçasına ihtiyaç duyulmaz. Muayene doğrudan iş parçası üzerinde yapılabilir. Bu yöntemler, malzemelerin sıcak işlenmesinden sonra katılaşması esnasında meydana gelen sıcak yırtılmayı ve iç çekmeyi, iç ve dış kılcal çatlakları, soğuk birleşme yerlerini, malzeme içerisinde oluşan boşlukları ve havayı, malzeme içerisinde kalan cüruf, kum gibi kalıntıları, gaz gözenekleri gibi hataları saptamak amacıyla kullanılır. Tahribatsız yapılan deneylerin en fazla kullanılanları [38] den şunlardır:

- a) Gözle Muayene
- b) Penetran Sıvı İle Muayene
- c) Ultrasonik Muayene
- d) Radyografi Yöntemi İle Muayene

e) Manyetik Kontrol İle Muayene

5.1.1 Gözle Muayene

Gözle muayene, maliyeti en az olan muayene yöntemidir. Muayeneyi yapan kişinin deneyimli ve bu konuda eğitilmiş olması gerekmektedir [39].

Malzeme dış yüzeyindeki hatalar gözle muayene yapılması sonucu ortaya çıkar. Bu sayede malzemenin dış yüzeyinde meydana gelebilecek oksit katmanları, çatlak, kırık ve ölçü sapmaları belirlenebilir [39].

Küçük iş parçalarına gözle muayene sırasında atelyelerde bulunan hafif bir çekiç darbesiyle cınlama deneyi yapılabilir. Serbestçe asılı haldeki iş parçasına çekiçle yavaşça vurulur. İş parçasından çıkan sese göre, parçanın sert veya yumuşak oluşu ile çatlak olup olmadığı saptanır [39].

5.1.2 Penetran Sıvı İle Muayene

Bu muayene yöntemi sıvıların kılcallık özelliğine dayanır. İş parçasının yüzeyine uygulanan penetran sıvının yüzeydeki süreksizliğin içine girebilmesi için biraz beklenir. Eğer süreksizlik küçük ve dar ise sıvı süreksizliğin içerisine kılcallık etkisiyle sızar. Penetrasyon zamanından sonra test parçasının yüzeyi temizlenir. Daha sonra geliştirici maddenin uygulanması sonucunda sıvı ters kılcallık olayı ile dışarı çıkarak penetrantın yüzeyde belirmesine neden olur. Bu sayede yüzeydeki gözle görülemeyen hatalar görülebilir duruma getirilmiş olur [40].



Şekil 5.1 Sıvı penetran ile muayenenin temel aşamaları [40]

Test bölgesinin ve test parçasının iyi ışıklandırılması, testte iyi bir hassasiyete ulaşmanın en önemli etkenlerinden birisidir. Gün ışığında görülebilen penetrant muayenede test parçasının yüzeyindeki ışık şiddeti en az 500 lux, floresan penetran muayenede ise ortam karanlık olmalıdır [40].

Penetrant ve geliştirici malzemenin uygunluğu bu yöntemde diğer bir hassasiyet unsuru olmaktadır. Bunun için yapay çatlaklar oluşturulmuş Alüminyum bloklar kullanılmaktadır. Penetrant malzeme viskozitesi de belirli bir seviyede olmalıdır. Bunun nedeni, düşük viskoziteli penetrantların süreksizliklerin içine yeterince giremeden parça yüzeyinden çabucak süzülebilmesidir. Penetrant malzemelerin yüksek viskoziteli olması ise testin süresini uzatmaktadır [40].

5.1.3 Ultrasonik Muayene

Malzemelerin muayenesinin yüksek frekanslı ses dalgalarıyla yapıldığı yöntemdir. Yüksek frekanslı ses dalgaları malzeme içerisine gönderildiğinde ses yolu üzerinde bir

engele çarparsa yansır. Yansıyan sinyal, çarpma açısına bağlı olarak alıcı başlığa (prop) gelebilir ya da gelmeyebilir. Ultrasonik muayene cihazının ekranındaki dalga çizgileri (eko) alıcı başlığa (prop) yansıyan sinyal tarafından oluşur. Yansıtıcının muayene parçası içindeki koordinatları, yankının konumuna göre hesaplanabilir. Ayrıca yankının yüksekliği de yansıtıcının büyüklüğü hakkında ipucu verir. Yankı sinyalinin şekline bakılarak da yansıtıcının türü belirlenebilir [39].

Ultrasonik Muayene tekniklerinin avantajları [39] dan şöyle sıralanabilir:

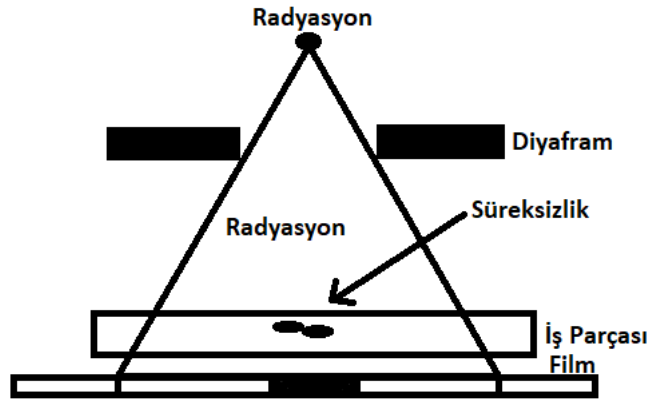
- Malzemedeki kusurları üç boyutlu bir şekilde gözlemleme imkânı sunar.
- Uygulamada kolaylık sağlar.
- Malzeme içerisindeki hatalar hassas bir şekilde tespit edilebilir.
- Daha az malzeme kullanılır.
- Düzlemsel hataların, özellikle kalın parçalarda daha hassas biçimde tespitine olanak sağlar.

5.1.4 Radyografi Yöntemi İle Muayene

Radyografi, boru hatları test kayıtlarının kalıcı ve yöntemin önemli ölçüde hassas olması nedeniyle kaynak dikişlerinin muayenesinde çoğunlukla kullanılan tahribatsız muayene yöntemidir [41].

Bir kaynaktan çıkan radyasyon demeti (X veya gama ışınları) kullanılarak muayene edilecek olan bölge ışınlanır. Malzeme içerisine geçen radyasyon daha sonra parçanın arka yüzeyine yerleştirilmiş olan filme ulaşır. Malzemede bulunan süreksizliklerin radyasyonu farklı soğurmasından dolayı, bu kısımlardan geçen radyasyonun şiddeti ve film üzerinde oluşturacağı kararma da farklı olacaktır. Film üzerindeki kararmalar ışınlanan filmin banyosundan sonra, hatanın işareti olarak belirgin duruma gelir. Bu yöntem ile düzlemsel kusurlar, radyasyon demetine paralel doğrultuda bulundukları sürece gözlemlenebilirler. Endüstriyel radyografide genellikle ya X-ışını tüpü ya da Co-60 veya Ir-192 gibi radyoizotop kaynaklar kullanılmaktadır. Radyografi, ana parça ile yoğunluk farkı oluşturan hacimsel iç kusurların da belirlenmesinde en ideal yöntemdir. Radyografinin avantaj ve dezavantajları [41] den şu şekilde sıralanmaktadır:

- Kalıcı kayıt tutulur ve zaman zaman karşılaştırma yapmaya imkân tanır.
- İş ortamında ölçümleme gerektirmez.
- İç süreksizliklerin belirlenmesinde en iyi yöntemdir.
- Geometri, demet yönünü etkilemez.
- Radyasyon tehlikesi bulunmaktadır.
- Hatanın derinliği gösterilmemektedir.
- Çizgisel süreksizliklerin doğrultusu önemlidir.
- Diğer yöntemlere göre pahalıdır.
- Nüfuziyet derinliği sınırlıdır.
- Parçanın iki tarafından da ulaşılabilirlik sağlar.



Şekil 5.2 Süreksizlik Görüntüsünün Oluşumu [41]

Radyografik muayene işlemi öncesinde bir yol haritası hazırlanmalı ve işlemler bu yol haritasının gösterdiği biçimde uygulanmalıdır. Hazırlanmış olan radyografi yol haritası minimum [41] den aşağıda yazılı olan teknik değişkenleri içermelidir.

- Malzeme ya da kaynak yüzeyi durumu
- Radyografi çekilecek malzemenin cinsi
- Malzemenin kalınlığı
- Radyasyon kaynağının türü, odak büyüklüğü, X-ışını cihaz voltajı
- Filmin ticari markası, çeşidi, kasetteki film sayısı

- En düşük radyasyon kaynağı - film mesafesi
- Kullanılması halinde maskeleme tekniği
- Filtrenin ve ekranların kalınlığı
- Banyo işlemleri
- Film yoğunluğu
- İşaretleme harflerinin kullanımı
- Geometrik yarı gölge
- Penetrametre seçimi

5.1.5 Manyetik Kontrol İle Muayene

Basit, hızlı ve düşük maliyetle uygulanabilirliğinden dolayı manyetik parçacık muayenesi özellikle çelik yapılarda yaygın bir kullanıma sahiptir [41].

Yüzey ve yüzeye çok yakın yüzey altı kusurlarının belirlenmesinde bu yöntem kullanılmaktadır. Yüzey altı hatalarının algılanması, hatanın konumuna ve yüzeye yakınlığına bağlıdır. Bu yöntem yalnızca ferromanyetik yani mıknatıslanabilme özelliğinde olan malzemeler için uygundur. Yöntem temelde iş parçasının manyetize edilmesi işlemine dayanır. Numune parçadan elektrik akımı veya doğrudan manyetik akı geçirilerek manyetize etme işlemi yapılmaktadır. Ferromanyetik malzemeler diğer malzemelerin tersine bu manyetik akıma hiç direnç göstermezler hatta manyetik akımın geçmesine destek olurlar. Çünkü manyetik iletkenlikleri havanın veya alüminyumun iletkenliğinden 100 kat daha fazladır. Eğer ferromanyetik kesit içerisinde manyetik alan çizgilerine dik düzlemsel kusurlar bulunuyorsa, bu bölgelerde alan çizgileri engellenecek ve farklı yöne sapacaklardır. Bu durum hata üzerinde yoğun bir kaçak alan oluşturur ve hata ne kadar büyük ise akı çizgilerindeki süreksizliklerden dolayı oluşan sapma da o ölçüde büyük olacaktır [41].

5.2 Tahribatlı Muayene Yöntemleri

Malzemenin kullanım süresince karşılaşacakları yüklere nasıl tepki göstereceğini önceden belirlemek amacıyla yapılan muayene yöntemleri tahribatlı muayene

yöntemleridir. Çoğunlukla kullanım sırasında ortaya çıkan yüklerin benzerleri muayene makinelerinde oluşturularak malzemelere uygulanır [39].

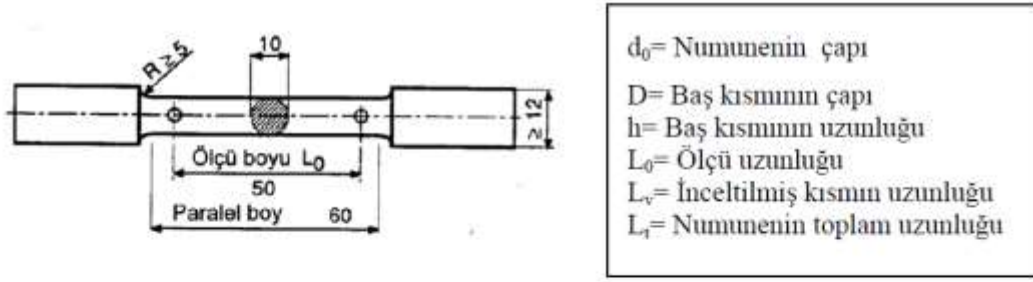
Bu muayene yöntemleri malzemenin kullanımı sırasında hangi kuvvetler altında kaldıklarında kopacakları, bükülecekleri veya kesileceklerinin tespit edilmesi amacıyla yapılan kontroller olduğundan, malzemenin aynı koşullarda denenmesi gereklidir. Dolayısıyla deney numunelerinin bu koşullara vereceği tepkiler, bu numunelerin tahrip edilmesine sebep olur [39].

5.2.1 Çekme Deneyi

Malzemeler kullanılmaları sırasında iç ve dış etkiler altında kalır. İç etkiler, parçanın kullanım koşullarından (boru ve profiller vb.) veya parçanın kendi yapısından kaynaklanarak, malzemeyi şekil değiştirmeye zorlar. Dış etkiler ise tamamen malzemenin etrafındaki kuvvetlerin malzemeye uyguladıkları dış kuvvetlerdir. Bu kuvvetler kimi zaman basılmaya, kimi zaman da kesilmeye karşı parçayı zorlar. Malzemelerin dış etkilere karşı dayanımını belirleyen bir ölçü de çekmeye (uzamaya) karşı gösterdiği dirençtir. Malzemenin çekmeye karşı gösterdiği direnci ölçme amaçlı yapılan muayeneye “çekme deneyi” ya da “çekme muayenesi” adı verilir [39].



Şekil 5.3 Çekme Deneyi Makinesi [39]

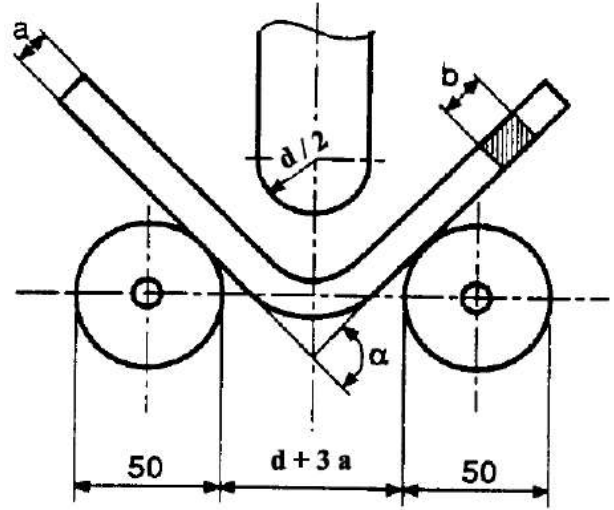


DO (MM)	D (MM)	H (MM)	LO (MM)	LV (MM)	LT (MM)
6	8	25	30	36	95
8	10	30	40	48	115
10	12	35	40	60	140
12	15	40	50	72	160
14	17	45	70	84	180
16	20	50	80	96	205
18	22	55	90	108	230
20	24	60	100	120	250
25	30	70	125	150	300

Şekil 5.4 Yuvarlak Kesitli Malzeme Normu [39]

5.2.2 Eğme Deneyi

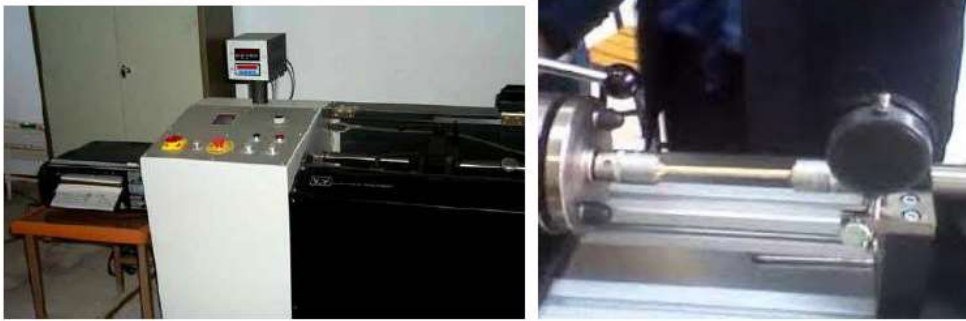
Eğme deneyinin amacı malzemenin soğuk duruma çatlamadan dayanabildiğini ya da dayanamadığını belirlemektir. Deney yapılacak numune parçası, belirli çaptaki eğme parçası sayesinde iki yuvarlatılmış dayanak arasından basılarak katlanır. Test parçasının alt kenarlarında çekme gerilmeleri meydana gelir. Bu kenarlar üzerinde belirli bir eğme açısından sonra çatlaklar oluşur. Eğme parçası çapı ile malzemenin zorlanma miktarı ayarlanabilir. Eğme parçasının çapının küçük olması kolay çekme çatlakları meydana gelmesini sağlar [39].



Şekil 5.5 Eğme Deneyi Makinesi [39]

5.2.3 Burulma Deneyi

Burulma deneyinde, deney malzemesi silindirik bir parçadır. Deney malzemesinin bir ucu sabit bir çeneye tutturulur. Diğer ucu ise ekseninde döndürülür. Dolayısıyla malzemenin molekülleri birbiri yüzeyinde kayarak harekete zorlanır. Çekme deneyinde olduğu gibi belli bir seviyeye kadar deney parçası elastiklik gösterir. Parçaya uygulanan kuvvetin artırılmasıyla aşılacak elastiklik sınırı, burulmada şekil değişimi meydana getirir [39].



Şekil 5.6 Burulma Deneyi Makinesi [39]

5.3 Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Genellikle talaş kaldırma ile şekillendirme esnasında; seçilmiş olan yöntem, kesici parçanın cinsine ve işleme şartlarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerin ve işlem sırasındaki kesici-iş parçası arasında olan mekanik hareketler sebebiyle işlenen

yüzeylerde izler meydana gelmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar oluşturan bu duruma denilmektedir [43].

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden unsurlar [43] den şunlardır:

- İşlenen malzemede bağlamanın etkisi ile meydana gelen deformasyon,
- İlerleme mekanizmasından oluşan düzensizlikler,
- İşlenen malzemedeki yapısal bozukluklar,
- Gevrek malzemeler işlenirken ortaya çıkan düzensiz talaş akışı,
- Basit şekillendirilebilir malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenmesi sebebiyle, malzeme yüzeyinde oluşan yırtılmalar,
- Kesme ve ilerleme hızındaki düzensizlikler,
- Kesme sırasındaki talaş derinliği,
- Kesici takımın soğutulma ve yağlanma şartları,
- İşlenen parçanın kimyasal bileşimi ve metalurjik (atomik) yapısı,
- Kesicinin tasarımı ve geometrisi
- Takım tezgâhının tipi, rijitliği ve çalışma koşulları,
- Kalıp ve bağlama aparatları,
- İşlenen malzemedен talaş kaldırma şekli,
- Yatak ve takımlarda oluşacak geometrik bozukluklar, vb.

5.3.1 Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

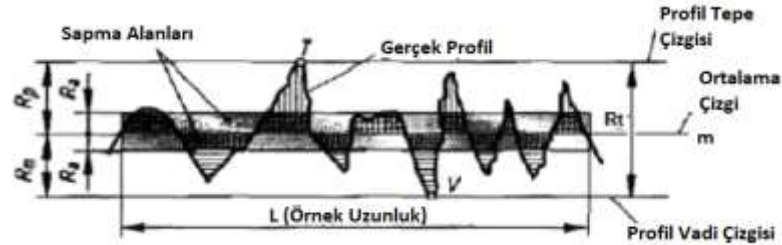
Ra: Yüzeyde oluşan girinti ve çıkıntıların alan olarak eşitlendiği orta eksenin üstünde ve altında kalan alanların aritmetik ortalamasını veren çizgiler arası mesafedir [43].

Rq (RMS): Orta eksenin altında ve üstünde oluşan sapmaların geometrik ortalama değeridir [43].

Rz: Değerlendirme aralığındaki en yüksek beş çıkıntı ile en derin beş girintinin mutlak değerlerinin ortalamasıdır [43].

R_{max} (R_y): Değerlendirme aralığındaki filtre edilmemiş pürüzlülüğün en yüksek çıkıntısı ile en derin girintisi arasındaki mesafedir [43].

R_t : Filtre edilmiş pürüzlülüğün en yüksek tepesi ile en derin girintisi arasındaki mesafedir [43].



Şekil 5.7 Ortalama Sistemine Göre Yüzey Pürüzlülük Profili [44]

5.3.2 Yüzey Pürüzlülük Ölçme Yöntemleri

Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek amacıyla günümüze kadar oldukça farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en eski ve günümüzde kullanılmakta olan dokunma yönteminde tırnak ucunun yüzey üzerine işleme yönüne dik olarak sürtünmesi ile pürüzlülük ölçümü yapılmaktadır. Bunun yanı sıra mekanik, hidrolik, pnömatik, X ışını, optik mikroskop, kapasitans, yüzey dinamometresi, kesit alma, optik yansıtma, replika (mask), elektro fiber, ışık bantlı, interferans mikroskop, ksilev, levin, hava mastarı, yaylı tip profilometre, gibi yöntemler de yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde kullanılmaktadır [44].

Yüzey pürüzlülüğü bakır boruların iç çaplarında değişimlere sebep olması ve içerisinden geçen akışkana direnç oluşturmaları nedeniyle özellikle tesisatlarda istenmeyen bir durumdur. Bu çalışmada optik profilometre ile yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Optik profilometre ile ölçmede herhangi bir parçanın yüzeyi bir büyüteç veya mikroskopla gözlenebilmektedir. İncelenecek parçanın yüzeyine yoğunlaştırılmış ışın gönderilerek aydınlatılmakta ve ışınların etkisi ile (mercek vasıtasıyla) meydana gelen şeklin görüntüsüne bakılarak, yüzeydeki boşluklar ve onların oluşturduğu en büyük açı ve yüzey yapısı hakkında yorumlar yapılmaktadır [44].

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada soğutma sistemleri tesisatında kullanılan bakır borular oksî-gaz aleviyle %93.8 Cu %6.2 P bileşimli L-CuP6 (DIN 8513) sert lehim teli ile lehimlenmiştir. Birleştirilen numuneler tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleriyle incelenerek sert lehimin alın alına veya bindirme yöntemiyle yapılmasının, azot gazının kullanılıp kullanılmamasının, lehimleme sıcaklığının değiştirilmesinin yapılan birleştirmelere etkisi araştırılmıştır.

6.1 Malzeme

Deneylerde çizelge 6.1’de çekme dayanımı ve sertliği, çizelge 6.2’de kimyasal kompozisyonu verilen % 99,9 saflıkta bakır borular kullanılmıştır. Bakır borulardan birleştirme için $\phi 12.7$ mm dış çaplı 6 adet numune hazırlanmıştır. Birleştirmelerde sert lehim teli olarak çizelge 6.3’te kimyasal kompozisyonları, ergime sıcaklığı ve sertliği verilen L-CuP6 sert lehim teli kullanılmıştır.

Çizelge 6.1 Deneylerde kullanılan bakırın işlemsiz haldeki mekanik özellikleri

Numune	Çekme Dayanımı (MPa)	Toplam Uzama (%)	Sertlik Aralığı (Hv 5)
Bakır malzeme (% 99.9 saflıkta)	220	0,40	40 - 65

Çizelge 6.2 Deneylerde kullanılan bakır boruların kimyasal bileşimi

Cu (%)	P (%)	Diğer (%)
99.9	0.015-0.040	< 0.03

Çizelge 6.3 Deneylerde kullanılan sert lehim telinin özellikleri

Sert Lehim Teli (DIN 8513)	Kimyasal Bileşimi		Fiziksel Özellikleri			
	Cu (%)	P (%)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)
L-CuP6	93,8	6,2	710 - 890	250	760	8,1

6.2 Yöntem

Bu çalışmada, üfleçle lehimleme yöntemi kullanılarak bakır boru lehimlemesi yapılmış ve ana metaller, 6 adet bindirme, 2 adet alın alına metodu olmak üzere 8 farklı numune olacak şekilde birleştirilmiştir.

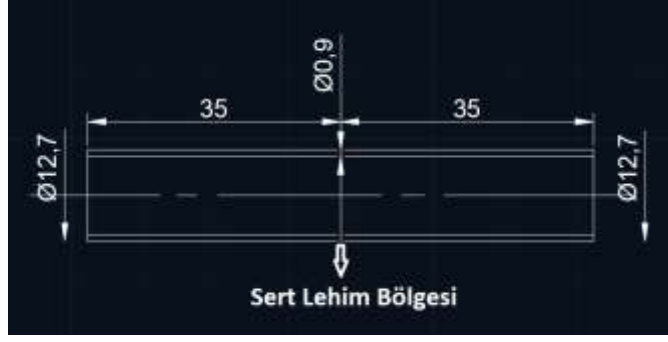
Çizelge 6.4 Deneyde kullanılan numuneler ve işlem parametreleri

Numuneler	Sıcaklık (°C)	Azot Gazı Kullanımı	Sert Lehim Metodu
01-ALBB-650	650	Var	Bindirme
02-ALBB-750	750	Var	Bindirme
03-ALBB-800	800	Var	Bindirme
01-LBB-650	650	Yok	Bindirme
02-LBB-750	750	Yok	Bindirme
03-LBB-800	800	Yok	Bindirme
01-ALBB-A750	750	Var	Alın Alına
02-LBB-A750	750	Yok	Alın Alına

Tüm numuneler aynı çapta bakır boru ve aynı dolgu metal tipiyle hazırlanmıştır. Test sırasında üç parametre değiştirilmiştir. Bunlar çalışma sıcaklıkları, azot kullanımı ve birleştirme tipinin değiştirilmesidir. Şekil 6.1 ve 6.2’de birleştirme tipine göre hazırlanan numunelerin boyutları verilmiştir.



Şekil 6.1 Bindirme yöntemiyle sert lehimlenmiş bakır boru numune boyutları



Şekil 6.2 Alın altına yöntemiyle sert lehimlenmiş bakır boru numune boyutları

Bindirme yöntemiyle hazırlanan 6 numuneden 3 numune azot gazı kullanılarak ve diğer 3 numune ise azot gazı kullanılmadan hazırlanmıştır. Her biri 3 farklı sıcaklık derecesinde lehimlenmiştir. Bu sıcaklıklar 650 °C, 750 °C ve 800 °C'dir. Her farklı lehimleme işlemi sırasında, oksijen gazı miktarı artırılarak her bir numunenin aynı zaman aralığında farklı yüksek sıcaklıklara sahip olması sağlanmıştır.

Şekil 6.3'te gösterilen lazer termometre ile lehimleme bölgesinin ısıtılma başlangıcından işlem sıcaklığına kadar olan her 10 saniyede bir numunelerin bu bölgedeki sıcaklıkları ölçülerek çizelge 7.1'de yazılmıştır. Lehimleme işleminden sonra ise oda sıcaklığında soğumaya bırakılan numunelerin bu süreçteki sıcaklık değişimleri de her 10 saniyede bir kaydedilerek çizelge 7.2'de yazılmıştır. Diğer 2 numune ise alın altına birleştirme methoduyla azot gazı kullanılarak ve azot gazı kullanılmadan sert lehimlenmiştir.



Şekil 6.3 Sıcaklık ölçümleri yapılan lazer termometre

Çizelge 7.1 ve 7.2’de ısınma ve soğuma esnasında ölçülen sıcaklık değerleri ile sırasıyla azot gazı kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemleri için şekil 7.1 ve şekil 7.3’teki grafikler, azot gazı kullanılarak yapılan sert lehimleme işlemleri için de şekil 7.2 ve şekil 7.4’deki grafikler çizilmiştir.

6.2.1 Çekme Testi

Azot gazı kullanılarak ve kullanılmadan, 3 farklı sıcaklık noktasında yapılan sert lehimleme işlemleri ile oluşturulan 8 adet numune Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi laboratuvarında şekil 6.4’te gösterilen Mohr & Federhaff AG markalı çekme makinesi ile test edilmiştir. Çekme testi TSE EN 6892 standardına uygun olarak yapılmıştır.

Deneylerde numunelerin kopma kuvveti ve kopma noktası belirlenmiştir. Literatür çalışmaları da referans alınarak çekme test hızı 3 mm/dk olarak alınmıştır [35, 42].



Şekil 6.4 Deneyde kullanılan çekme makinesi

6.2.2 SEM Görüntüleme

Yüzey incelemeleri Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarında şekil 6.5’te verilen Zeiss marka EVO® LS 10 model SEM cihazı ile yapılmıştır. Bindirme yöntemiyle yapılan 6 Adet sert lehimli bakır boru numune için 500X ve 1000X büyütme oranları seçilerek yüzey görüntülemesi yapılmıştır.



Şekil 6.5 Yüzey incelemesinde kullanılan SEM görüntüleme cihazı

6.2.3 Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Yüzey pürüzlülük ölçümleri Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarında şekil 6.6'da gösterilen AEP marka Nanomap 1000WLI model optik profilometre cihazı ile yapılmıştır. Ölçümlerde en iyi mekanik özelliklerin elde edildiği optimum sıcaklık değeri olan 750 °C sıcaklıkta azot gazı kullanılarak ve kullanılmadan sert lehimleme yapılan 2 adet numuneden faydalanılmıştır.



Şekil 6.6 Yüzey pürüzlülük incelemesinde kullanılan optik profilometre cihazı

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE YORUMLAMALAR

Deneysel çalışmalar sonucunda belirlenen parametreler çerçevesinde sert lehimlenmiş numunelere ait yüzey görüntüleme, yüzey pürüzlülüğü ve çekme testi incelemeleri yapılmış, elde edilen bulgulara göre sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca tüm sert lehimleme işlemleri esnasında ölçülen ısınma ve soğuma sıcaklıkları çizelge 7.1 ve 7.2’de yazılmış, bu sıcaklıklardan yararlanarak çizilen şekil 7.1, şekil 7.2, şekil 7.3 ve şekil 7.4’teki grafikler yorumlanmıştır.

Çizelge 7.1 Azot gazı kullanılarak ve kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemi sırasında lehimleme sıcaklığına kadar belli zaman aralıklarında ölçülen sıcaklık değerleri

Süre (s)	01- ALBB- 650	02- ALBB- 750	03- ALBB- 800	01-LBB- 650	02-LBB- 750	03-LBB- 800
	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)
10	230	290	300	245	298	342
20	390	439	464	396	462	558
30	500	590	658	526	641	725
40	653	747	805	648	753	792

Çizelge 7.2 Azot gazı kullanılarak ve kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemi sonrasında bağlantı bölgesinin oda sıcaklığında soğuması sırasında belli zaman aralıklarında ölçülen sıcaklık değerleri

Süre (s)	01-ALBB-650	02-ALBB-750	03-ALBB-800	01-LBB-650	02-LBB-750	03-LBB-800
	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)
10	263	361	432	264	387	457
20	198	302	390	210	336	400
30	160	256	356	170	264	376
40	143	207	272	162	227	300
50	118	195	210	130	205	290
60	107	171	188	124	190	222
70	92	148	173	110	160	195
80	76	109	134	97	130	156



Şekil 7.1 Bindirme yöntemi ile azot gazı kullanılmadan yapılan sert lehimleme işleminde bağlantı bölgesinde ısıtma sırasındaki sıcaklık değişimleri



Şekil 7.2 Bindirme yöntemi ile azot gazı kullanılarak yapılan sert lehimleme işleminde bağlantı bölgesinde ısıtma sırasındaki sıcaklık değişimleri



Şekil 7.3 Bindirme yöntemi ile azot gazı kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemi sonrasında oda sıcaklığında soğuma sırasında bağlantı bölgesinin sıcaklık değişimleri



Şekil 7.4 Bindirme yöntemi ile azot gazı kullanılarak yapılan sert lehimleme işlemi sonrasında oda sıcaklığında soğuma sırasında bağlantı bölgesinin sıcaklık değişimleri

Sert lehimleme işleminde bakır boru işlem kolaylığı sebebiyle küçük çaplı, dolayısıyla düşük et kalınlıklı seçilmiştir. Bunun sonucunda lehimleme bölgesinde çok yüksek sıcaklık derecelerine çıkılıp lehimleme süresi uzun tutulduğunda bakır borular kısa sürede hasar görmektedir. Bunun nedeni ısı tesiri altındaki bölgeye uzun süreli olarak uygulanan yüksek ısı girdisidir.

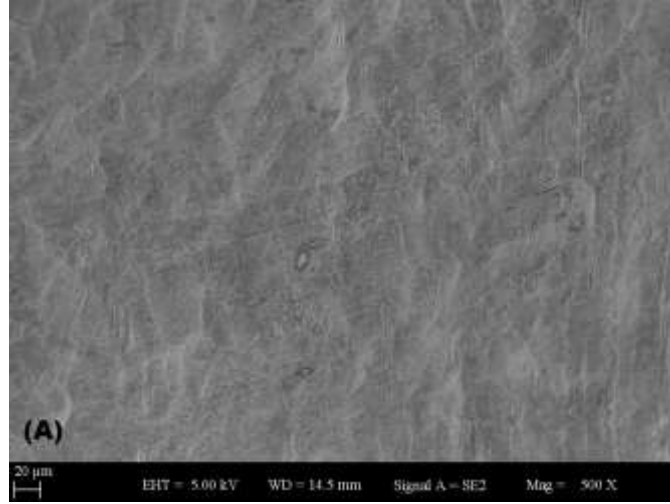
Azot gazı kullanılmadan yapılan lehimleme işlemi sırasında, sıcaklık artışı hızlı olmuştur, çünkü birleştirme alanı azot gazının soğutma etkisinde kalmamıştır. Bununla birlikte lehimleme işlemi torç ile gerçekleştirilmiştir, dolayısıyla sıcaklık dağılımı ortam sıcaklığından etkilenmektedir.

Azot gazı kullanılmadan yapılan sert lehimleme işleminde soğuma, azot gazı kullanılarak yapılan sert lehimleme işlemine göre daha yavaş olmuştur. Bu da azot gazının soğutucu etkisi altında soğumanın daha hızlı meydana geleceği sonucunu açığa çıkarmıştır.

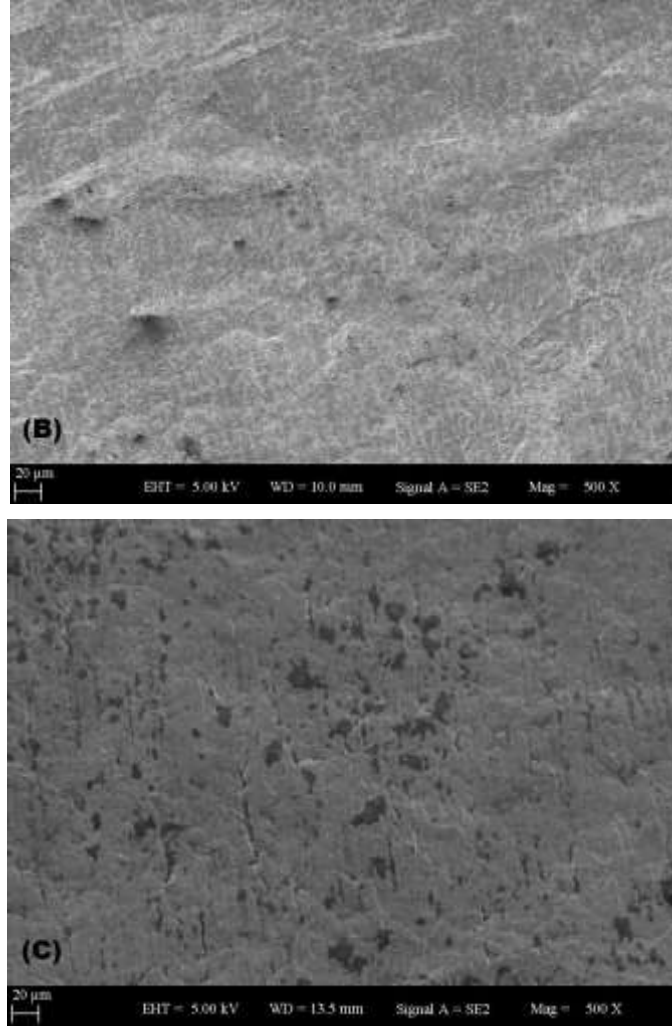
Grafikler incelendiğinde her iki grafikte de 800 °C sıcaklıkta lehimlenen numunelerde daha hızlı sıcaklık değişimi görülmüştür. Bu hızlı sıcaklık değişimi yüzey incelemeleri sırasında mikro yüzeylerde görülen çatlakların nedeni olarak düşünülmektedir [46].

7.1 Yüzey İncelemeleri

Bindirme birleştirme yöntemiyle sert lehimlenmiş 6 adet numuneye ait yüzey görüntüleri aşağıda verilmiştir. Bunlara göre yüzeyde hadde yönünde uzamış ince uzun tanelerin varlığı tüm numunelerde görülmektedir.



Şekil 7.5 Bindirme birleştirme yöntemiyle azot gazı kullanılarak sert lehimlenmiş bakır borulara ait ısı tesiri altında kalan bölgenin yüzey görüntüleri A-650°C, B-750°C, C-800°C

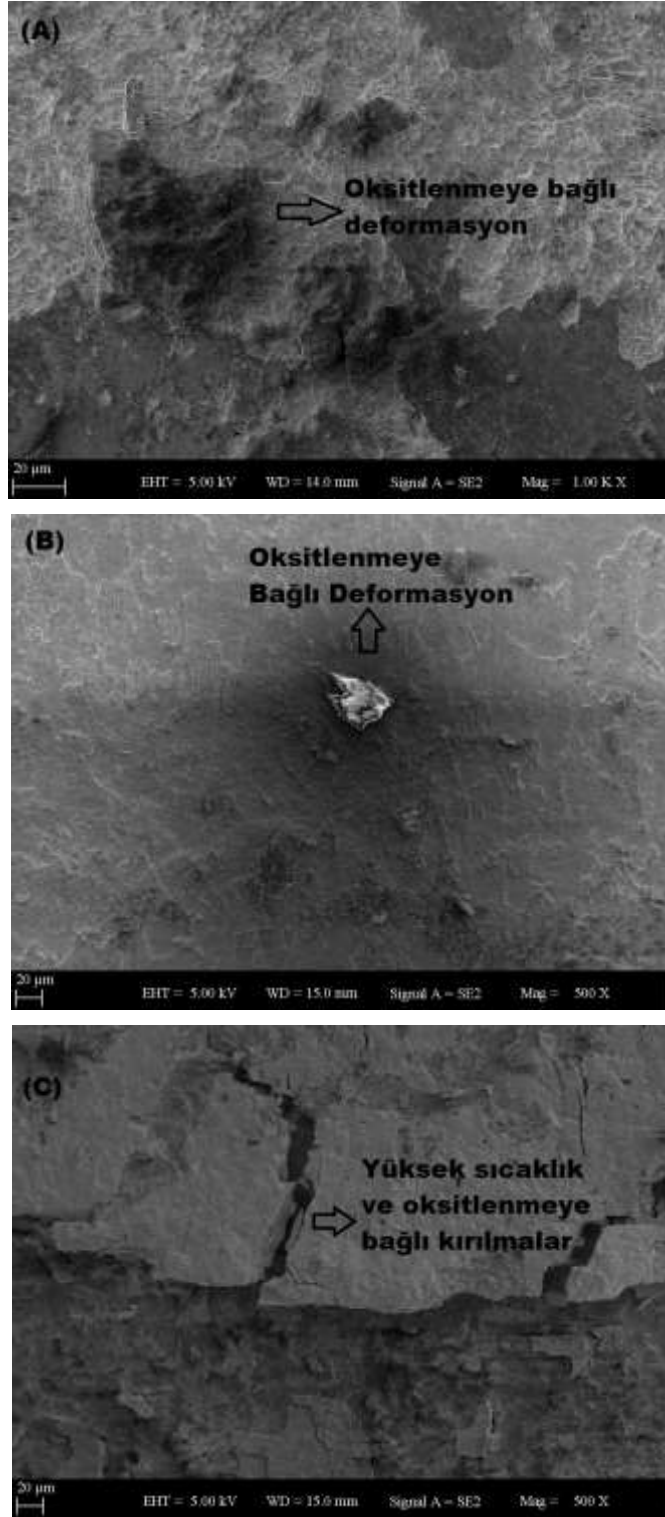


Şekil 7.5 Bindirme birleştirme yöntemiyle azot gazı kullanılarak sert lehimlenmiş bakır borulara ait ısı tesiri altında kalan bölgenin yüzey görüntüleri A-650°C, B-750°C, C-800°C (devamı)

Bindirme birleştirme metoduyla azot gazı kullanılarak yapılan sert lehimleme işlemine ait yüzey görüntüleri incelendiğinde 650 °C sıcaklıkta yapılan birleştirme işleminde ısı tesiri altında kalan bölgede bakır borunun daha az deforme olduğu ve ince dendritik tanelerden oluştuğu, 750 °C ve 800 °C sıcaklıklarda ise yüksek sıcaklığa bağlı olarak yapılarda tane irileşmesinin ortaya çıktığı görülmektedir.

800°C sıcaklıkta yapıda yüzeysel çatlakların ve kısmi deformasyonların oluşmaya başladığı bunun da mekanik özellikleri olumsuz etkilediği düşünülmektedir [46].

Şekil 7.6’da Bindirme birleştirme yöntemiyle ve azot gazı kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemine ait yüzey görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.6 Bindirme birleştirme yöntemiyle azot gazı kullanılmadan sert lehimlenmiş bakır borulara ait ısı tesiri altında kalan bölgenin yüzey görüntüleri A-650°C, B-750°C, C-800°C

Buna göre bindirme birleştirme yöntemiyle azot gazı kullanılmadan yapılan tüm lehimleme işlemlerinde yapılarda koyu renkli oksit tabakalarının varlığı görülmüştür. Ayrıca sıcaklık arttıkça tane irileşmesinin ve oksitlenme sebebiyle oluşan deformasyona bağlı olarak yapıda çatlak ve kırılmaların arttığı belirgin bir şekilde görülmektedir. Nitekim çatlakların yüksek sıcaklıklarda artması çekme deneyi neticesinde yüksek sıcaklıktaki sert lehimli bakır boruların kopma noktasının, ısı tesiri altındaki bu bölgeler olmasını desteklemektedir. Tüm bunlar mekanik özelliklerin azot gazı kullanılarak yapılan sert lehimleme işlemindeki mekanik özelliklere göre daha zayıf olmasının sebebi olarak yorumlanmıştır [46, 47].

7.2 Çekme Testi

Yapılan çekme deneyleri neticesinde bindirme birleştirme yöntemiyle yapılan 750 °C ve 800 °C sıcaklıkta ve alın altına birleştirme yapılan 750 °C sıcaklıkta sert lehimlenmiş numunelerde kopma ana malzeme üzerinde ısı tesiri altında kalan bölgede meydana gelmiştir. Bu da ilave dolgu metalinin bağlantı bölgesinde maksimum dayanımı sağladığını göstermiştir. 650 °C sıcaklıkta sert lehimleme yapılan numunelerde ise kopma lehim bölgesinde meydana gelmiştir.(Şekil 7.7 ve 7.8) Elde edilen dayanım değerleri çizelge 7.3'te verilmiştir.



Şekil 7.7 Çekme testi sonrasında bindirme yöntemiyle birleştirilip sert lehimlenmiş bakır boruların kopma noktası (A) 750 °C ve 800 °C, (B) 650 °C



Şekil 7.8 Çekme testi sonrasında 750 °C sıcaklıkta alın alına yöntemle birleştirilip sert lehimlenmiş bakır boruların kopma noktası

Bakır boru içerisinde azot gazı geçirilerek bindirme yöntemiyle birleştirilip yapılan sert lehimleme işlemlerinde çekme dayanımının açık bir şekilde daha iyi olduğu görülmüştür. Bunun nedeni azot gazının birleşme bölgesindeki oksitlenmeyi önleyerek kimyasal yapının korunmasını sağlaması olarak yorumlanmıştır. Atmosfer ortamında lehimlenmiş bir bağlantının dış kısmında görülen siyah-gri metalik pullar, sert lehimleme işlemine tabi tutulan bakır borunun iç kısmında da görülmüştür. Lehimleme esnasında bağlantının azot gazıyla temizlenmesi oksitlenme dolayısıyla meydana gelen bu pulların oluşumunu önlemiştir.

Bindirme yöntemiyle birleştirilerek hazırlanan numunelerde sıcaklık açısından bakıldığında birbirine yakın sıcaklık değerleri olduğu için dayanım değerleri de büyük farklar göstermemiştir. Ancak ilave dolgu metalinin ergime sıcaklığı olan 710 °C'a yakın olan 750 °C sıcaklık değerlerinde çekme dayanımının daha iyi olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin ilave dolgu metalinin akıcılığı tam anlamıyla sağlaması ve birleştirilecek aralığı yeterli miktarda doldurması olduğu düşünülmüştür. Kaynak olarak faydalanan 35 numaralı çalışmada da sıcaklık açısından numuneler incelendiğinde ilave dolgu metalinin maksimum akıcılığı yakaladığı sıcaklıkta çekme dayanımı en yüksek değeri almış, sıcaklık daha fazla artırıldığında ise dayanım düşmüştür.

Alın alına birleştirilerek sert lehimlenmiş numunelerde ise yine azot gazı kullanılması daha iyi bir dayanım elde etmemizi sağlamıştır. Ancak bindirme birleştirme yöntemiyle kıyaslandığında hem azot gazı kullanılarak hem de kullanılmadan yapılan sert lehimleme işlemlerinde çekme dayanımları arasında büyük farklar ortaya çıkmıştır. Çizelge 7.3 incelendiğinde bindirme birleştirme yöntemiyle azot gazı kullanılarak ve 750 °C sıcaklıkta sert lehimlenmiş numunede yaklaşık 65 MPa çekme dayanımı görülürken,

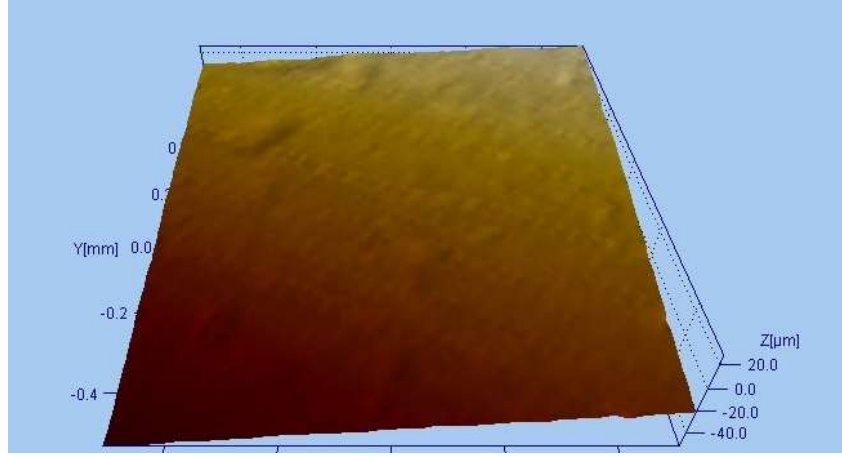
alın alına birleştirme yöntemiyle azot gazı kullanılarak aynı sıcaklıkta sert lehimlenmiş numunede 51 MPa çekme dayanımı elde edilmiştir. Bu fark, bindirme birleştirme yönteminde malzemelerin birbiri üzerine bindirilmesi ile ısı tesiri altında kalan bölgede daha kalın bir yapı elde edilmesi ve dolayısıyla ısı etkisinin ana malzemede alın alına birleştirme yöntemine göre daha az olmasının bir sonucu olarak yorumlanmıştır [47].

Çizelge 7.3 Çekme testi sonrası bindirme ve alın alına birleştirme yöntemiyle yapılan lehimli bağlantıların kopma kuvveti ve çekme dayanımı değerleri (ALBB-Azot kullanılarak yapılan lehimleme, LBB-Azot kullanılmadan yapılan lehimleme)

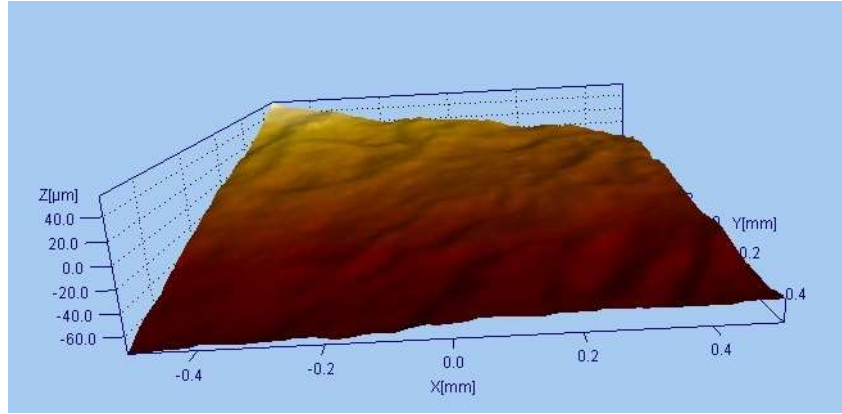
Numune Kodu	F (N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Bölgesi
01-ALBB-650	7070	64,649	Sert Lehim Bölgesi
02-ALBB-750	7120	65,107	Isı Tesiri Altındaki Bölge
03-ALBB-800	7010	64,101	Isı Tesiri Altındaki Bölge
01-LBB-650	5720	52,305	Sert Lehim Bölgesi
02-LBB-750	5790	52,945	Isı Tesiri Altındaki Bölge
03-LBB-800	5655	51,710	Isı Tesiri Altındaki Bölge
01-ALBB-A750	5580	51,025	Isı Tesiri Altındaki Bölge
02-LBB-A750	5040	46,087	Isı Tesiri Altındaki Bölge

7.3 Yüzey Pürüzlülük İncelemeleri

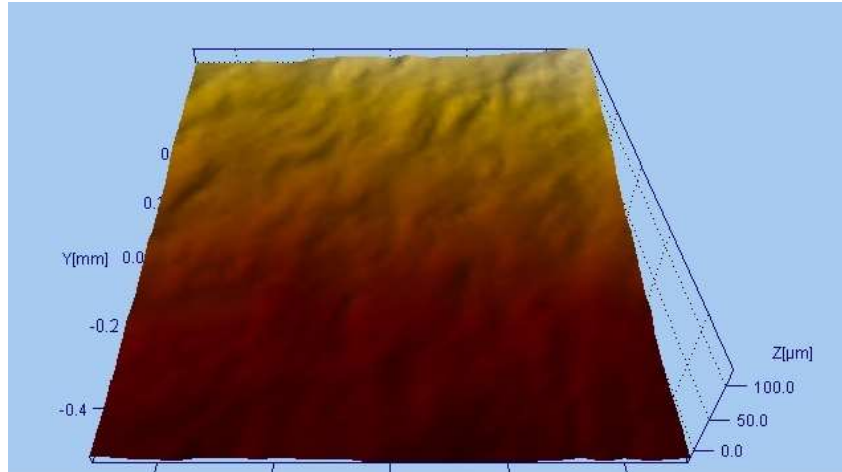
Yüzey pürüzlülüğü, 750 °C sıcaklıkta azot gazı kullanılarak ve yine aynı sıcaklıkta azot gazı kullanılmadan lehimleme yapılan iki farklı numunenin iç yüzeyi üzerinde, 3 boyutlu olarak incelenmiştir. Şekil 7.9’da lehimsiz halde saf bakır boruya ait yüzey görünümü yer almaktadır. Saf bakır boruda pürüzlülüğün oldukça düşük olduğu görülmektedir. Şekil 7.10 ve şekil 7.11’de ise sırasıyla azot gazı kullanılarak ve azot gazı kullanılmadan yapılan sert lehimlemelere ait yüzey görselleri bulunmaktadır. Çizelge 7.4’te yüzey pürüzlülük ölçümlerine ait bazı parametreler verilmiştir.



Şekil 7.9 Saf bakır boruya ait yüzey görünümü



Şekil 7.10 Azot gazı kullanılarak sert lehimlenmiş numuneye ait yüzey görünümü



Şekil 7.11 Azot gazı kullanılmadan sert lehimlenmiş numuneye ait yüzey görünümü

Çizelge 7.4 Yüzey pürüzlülük parametreleri

Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	Saf Bakır Boru (μm)	ALBB-750 (μm)	LBB-750 (μm)
S_a	16,012	27,453	44,604
S_q	19,677	33,429	55,991
S_v	53,479	75,155	21,965
S_p	26,817	56,576	122,090
S_z	80,296	131,730	144,050

Pürüzlülük parametreleri incelendiğinde azot gazı kullanılarak yapılan sert lehimleme işlemlerinde yüzeyin ortalama pürüzlülük değeri olan S_a , lehimsiz haldeki saf bakır boruya ait S_a değerine daha yakın olmaktadır. Bu da azot gazı kullanılmadan yapılan sert lehimli numuneye ait SEM görüntülerinde belirgin halde görülen oksit tabakasının yüzey pürüzlülüğünü artırmış olmasını desteklemektedir [47].

Diğer bir fark ise S_p yani en yüksek pik değerinin olduğu parametrede ortaya çıkmıştır. Azot gazı kullanılmayan numunede yükseltinin pik değeri, azot gazı kullanılan numunenin pik değerinin 2 katından fazla olarak ölçülmüştür. Bu sonuç azot gazı kullanılmayan sert lehimlemelerde iç yüzeyin akışa bir miktar direnç oluşturup basınç kaybı meydana getirmesine dolayısıyla istenen basıncı sağlamak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmasına neden olacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda aşağıdaki çıkarımlarda bulunmak mümkündür.

-Azot gazı kullanımı bakır borularda oksitlenmeyi önleyerek sert lehimli bağlantının mekanik ve yüzey özelliklerini iyileştirmektedir [46, 47].

-Azot gazı kullanımı yüzey pürüzlülüğünü minimize ederek, özellikle tesisat uzunluğu fazla olan imalatlarda akışkanda oluşacak basınç kayıplarını azaltacaktır [47].

-Bağlantı tipinin bindirme yöntemi olarak seçilmesi çekme dayanımı açısından daha dayanıklı sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır [47].

-Sert lehimleme yapılan sıcaklık derecesi ilave metalin ergime noktasına yaklaştıkça bağlantının mekanik özellikleri daha iyi sonuçlar vermiştir [46].

-Sert lehimleme sıcaklığının ilave metalin ergime sıcaklığından düşük seçilmesi, birleşme noktasına nüfuziyetin yeterli olmaması sebebiyle kopmanın bağlantı bölgesinden olmasına neden olmuştur [46].

-Sert lehimlemede alevdeki yüksek oksijen oranı (oksitleyici alev) hızlı sıcaklık değişimlerine sebep olduğu için yapıda kırılganlığı artırarak mekanik özellikleri zayıflatmaktadır [46].

KAYNAKLAR

- [1] Copper Development Association Inc., <https://www.copper.org/education/history/>, 2013.
- [2] Arslan, O., (2006). “Bakır Sektör Profili”, İstanbul Ticaret Odası, Kobi ar-ge şubesi, S: 1-2, İstanbul.
- [3] Cerit, A. M., (1994). “Makine Mühendisliği El Kitabı”, Cilt 1, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, S: 9-10, Ankara.
- [4] Balaban, C. , (2010). “Brazing (Sert Lehim) Prosesi Ve Bant Konveyörlü Atmosfer Kontrollü Brazing Fırınları”, TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası 158: S: 20– 25.
- [5] Milli Eğitim Bakanlığı, Sert Lehimleme, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/521MMI203.pdf, 2006.
- [6] Jacobson, D. M., (2005). “Principles of Brazing”, ASM international, 15, USA.
- [7] Onuk, A.G., (2013). “Hava, Su Ve Gaz Dağıtım Sistemlerinde Bakır Boru Kullanımı Ve Yaşam Kalitesi Üzerine Etkisi”, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, S: 469-479, İzmir.
- [8] Sakarya Üniversitesi, Boru Kesme, http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/49847/27041/boru_kesme_1.docx.
- [9] Milli Eğitim Bakanlığı, Bakır Ve Alüminyum Boruları Montaja Hazırlama, http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/tesisat/moduller/bakir_ve_aluminyum_borulari_montaja_hazirlama.pdf, 2007.
- [10] Milli Eğitim Bakanlığı, Temiz Su Tesisatı, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Temiz%20Su%20Tesisat%C4%B1.pdf, 2011.
- [11] European Copper Institue, <http://copperalliance.eu/applications/pipe-systems>, 2018.

- [12] Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Sıhhi Tesisat Teknikerliği Ders Notu, <http://www.dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=1&dosyaID=562>, 2015.
- [13] Ün, Ö., Zorba, F., TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Merkezi Medikal Gaz Sistemleri, http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/ab1c65c47bee901_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=2, 2016.
- [14] Uzun, H., (2002). "Sert Lehimleme Prensipleri", Değişim Yayınları, S: 5-6:18-27:46-47: 236- 237, İstanbul.
- [15] Brown, L., (1994). "Cost-Effective Manufacturing: Joining of Copper and Copper Alloys", CDA Publication, United Kingdom.
- [16] Çınar, S., (2010). "Bakır Ve Alaşımlarının Sert Lehiminde Farklı Kimyasal Kompozisyonlara Sahip İlave Tellerin Bağlantının Mekanik Ve Mikro yapı Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [17] Vural, M., (2010). "Üretim Yöntemleri", İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul.
- [18] Cerit, A. M., (1994). "Makine Mühendisliği El Kitabı", TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Cilt 2, S: 2:205-208, İstanbul.
- [19] Dokuz Eylül Üniversitesi, Lehim Ve Yapıştırma, <http://kisi.deu.edu.tr/userweb/melih.belevi/Lehim%20ve%20Yapistirma%202013.pdf>, 2013.
- [20] Anık, S., (1991). "Kaynak Tekniği El Kitabı", GEDİK Holding Yayınları, S: 150-160, İstanbul.
- [21] Milli Eğitim Bakanlığı, Direnç Kaynağı Ve Lehimleme, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Diren%C3%A7%20Kayna%C4%9F%C4%B1%20Ve%20Lehimleme.pdf, 2013.
- [22] Oğuz, B., (1988). "Sert Lehimleme", Oerlikon Yayınları, İstanbul.
- [23] Milli Eğitim Bakanlığı, Bakır Ve Alüminyum Boru Montajı, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Bak%C4%B1r%20Ve%20Al%C3%BCminyum%20Boru%20Montaj%C4%B1.pdf, 2013.
- [24] Anık, S., (1996). "Bakır ve Alaşımlarının Sert Lehimlenmesinde Kullanılan Lehim Alaşımları ve Dekapanlar", Kaynak Dünyası, S: 3-8, İstanbul.
- [25] Bodur, O., (1994). "Lehim Alaşımlarının Sınıflandırılması, Kısa Gösterilişleri ve Türkiye'deki Durum", Mühendis Ve Makine Kaynak Özel Sayısı, S: 26-30, Ankara.
- [26] Olson, D.L., Siewert, T.A., Liu S., Edwards, G.R., (1993). "Welding, Brazing And Soldering", ASM International, 281-286, USA.
- [27] Sloboda, M.H., (1961). "Design and Strength of Brazed Joints", Johnson Matthey Metals Limited, 3-4, London.

- [28] GH Induction Atmospheres, The Brazing Guide, <http://www.ghinduction.com/wp-content/uploads/2011/09/GH-Brazing-Guide1.pdf>, 2010.
- [29] Groover, P.M., (2010). "Fundamentals of Modern Manufacturing", John Wiley & Sons, Inc., 4th Edition, 748-750, USA.
- [30] University of Northern Colorado, Welding, Cutting and Brazing Safety Guidelines, <http://www.unco.edu/facilities/pdf/ehs/Welding-Cutting-and-Brazing-Safety-Guidelines.pdf>, 2016.
- [31] The University of Texas, Welding, Cutting, Heating, and Brazing Safety Manual, http://www.utdallas.edu/ehs/download/Welding_Safety.pdf, 2006.
- [32] Cordia, C., Mitchell, G., (2014). "Brazing Best Practices: 12 Tips for HVAC Technicians", Welding Journal, 62-64, USA.
- [33] Copper Development Association, The Copper Tube Handbook, http://www.healthyheating.com/CIPH-Moncton/CIPH-Moncton2011/Handbooks/copper_tube_handbook.pdf, 2006.
- [34] Kahraman, N., (2002). "Titanyum Bakır Çiftinin Ara Bağlayıcı Difüzyon Sert Lehimlemesi ile Fırında Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, S: 611-617, Ankara.
- [35] Zhang J., Yu W., Lu W., (2016). "Mechanical Properties and Microstructure of Pure Copper Joints Brazed with Amorphous Cu68.5Ni15.7Sn9.3P6.5 Filler Metal", Hexi University, 19.1-19.5, China.
- [36] Karamış, M.B., Taşdemirci, A., Nair, F., (2003). "Bakır Boruların Sert Lehimlenmesinde Hatalar", Kaynak Teknolojisi 2. Ulusal Kongresi, S: 187-198, Kayseri.
- [37] Ay, İ., Ateş, E., (1990). "Lehimli Birleşmelerde Hatalar", Mühendis ve Makine, Cilt:31, Sayı:360, S: 35-37, Ankara.
- [38] Karagöz, S., (2008). "Malzeme Bilgisi", Adnan Menderes Üniversitesi Aydın MYO., S: 79-86, Aydın.
- [39] Milli Eğitim Bakanlığı, Malzeme Muayenesi, https://hbogm.meb.gov.tr/mem/alanlar/metal/dbf/malzeme_muayene.pdf?, 2012.
- [40] Tepe, E., (2009). "Yüzey Tahribatsız Muayene Metotları", Mühendis Ve Makine, Cilt:50, Sayı:597, Ankara.
- [41] Oflaz, İ., Karadeniz, E., (2001). "Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile Çelik Boru Kaynak Hatalarının İncelenmesi", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt:5, Sayı:2, S: 82-86, Sakarya.
- [42] Zhou X., Zhang G., Shi Y., Zhu M., Yang F., (2017). "Microstructures and mechanical behavior of aluminum-copper lap joints", Materials Science & Engineering A, 105–113, USA.

- [43] Güllü A., Özdemir A., Demir H., (2003). “ Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri ve Mukayesesi”, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi, Sayı: 1-2, 79-92, Ankara.
- [44] Horozoğlu E., (2013). “Görüntü İşleme ile Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü ve Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [45] Accurate Brazing Corporation, <https://www.accuratebrazing.com/service-equipment>, 2019.
- [46] Alakuzu C., Sağbaş B., (2018). “Metrological Evaluation Of The Effect Of Process Parameters On Mechanical Specification At Brazing Of Copper Pipe”, Fourth International Conference On Advances In Mechanical Engineering: Icame 2018, 1067-1078, İstanbul.
- [47] Alakuzu C., Sağbaş B., (2018). “Bakır Boruların Sert Lehimlenmesinde Birleştirme Şeklinin ve Azot Gazı Kullanımının Geometrik ve Mekanik Malzeme Özelliklerine Olan Etkisinin Metrolojik Değerlendirmesi”, Metal Makine, Sayı:232, 102-108, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Cem ALAKUZU
Doğum Tarihi ve Yeri : 11.05.1990 / Şişli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : alakuzucem@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İşletme	İstanbul Üniversitesi	2018
Lisans	Makine Mühendisliği	İstanbul Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Üsküdar Şeyh Şamil Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016 - ...	TLC Klima AŞ.	VRF & Proje Satış Mühendisi
2013 - 2016	Asal İklimlendirme Teknolojileri AŞ.	Satış Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Alakuzu C., Sağbaş B.,(2018). “Bakır Boruların Sert Lehimlenmesinde Birleştirme Şeklinin ve Azot Gazı Kullanımının Geometrik ve Mekanik Malzeme Özelliklerine Olan Etkisinin Metrolojik Değerlendirmesi”, Metal Makine, Sayı:232, 102-108, İstanbul.

Bildiri

1. Alakuzu C., Sağbaş B., (2018). “Metrological Evaluation Of The Effect Of Process Parameters On Mechanical Specification At Brazing Of Copper Pipe”, Fourth International Conference On Advances In Mechanical Engineering: Icame 2018, 1067-1078, İstanbul.