

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULTRASONİK LEHİMLEME CİHAZI TASARIMI VE ULTRASONİK
YÖNTEMLE LEHİMLEME UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülcan YAVUZ

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı**

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULTRASONİK LEHİMLEME CİHAZI TASARIMI VE ULTRASONİK
YÖNTEMLE LEHİMLEME UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gülcan YAVUZ
(506121211)**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İ. Servet TİMUR

Mayıs 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121211 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Gülcan YAVUZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ULTRASONİK LEHİMLEME CİHAZI TASARIMI VE ULTRASONİK YÖNTEMLE LEHİMLEME UYGULAMALARI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İ. Servet TİMUR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**

Savunma Tarihi : **25 Mayıs 2015**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim sırasında bana birlikte çalışma fırsatı veren, disiplinler arası çalışmam konusunda bana destek olan, bilgi ve tecrübeleriyle çalışmama ışık tutan, insani ve etik değerleriyle örnek aldığım, her zaman sevgisini hissettiren, güler yüzünü esirgemeyen, kıymetli hocam, tez danışmanım Prof. Dr. İ. Servet TİMUR'a desteği, hoşgörüsü ve sabrından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Karakterizasyon çalışmalarım sırasında laboratuvar olanaklarını sınırsızca kullanmama olanak sağlayan Prof. Dr. Mustafa ÜRGEN'e,

Yüksek lisans eğitimime başladığım ilk günden itibaren, sevgilerini, samimiyetlerini hissettiren, bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, bana yol gösteren değerli büyüklerim Ar. Gör. Dr. Güldem KARTAL ŞİRELİ, Ar. Gör. Yük. Müh. Yasin KILIÇ, Ar. Gör. Yük. Müh. Levent KARTAL, Yük. Müh. Kübra YUMAKGİL, Yük. Müh. Ayşe AYPAR KILIÇ ve Yük. Müh. Cevahir DURMAZ'a,

Karakterizasyon ve analiz çalışmalarım sırasında, sonsuz sabır ve hoşgörü gösteren, bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan, laboratuvarın neşe ve enerji kaynağı Ar. Gör. Yük. Müh. Çağatay YELKARASI'na

Mekanik test çalışmalarımda yardımını esirgemeyen, bana zaman ayıran, güler yüzünü eksik etmeyen Ar. Gör. Yük. Müh. Faiz MUHAFAEL'e

Tez çalışmam sırasında elektrik-elektronik konusunda bana yardımcı olan, tasarımını yaptığımız cihazın imalatını gerçekleştiren Elek. Müh. Mohammed Qassab ve Eltron Makina Firması adına Yusuf TUT'a

Motivasyonlarını, sevgilerini ve yardımlarını eksik etmeyen sevgili grup arkadaşlarım Yük. Müh. Perim ÖZKALAFAT, Yük. Müh. Hasret AĞIRCAN, Yük. Müh. Candeniz UYSAL, Yük. Müh. Yasemin KILIÇ, Yük. Müh. Aysel ŞEN, Met. Müh. Aslı Su BORA ve diğer tüm çalışma arkadaşlarıma,

Tüm hayatım boyunca bana destek olan, eğitimim konusunda sınırsız olanak sağlayan, sevgisini, ilgisini eksik etmeyen, bana her zaman güvenen, biricik annem Zeynep YAVUZ ve babam Tayyar YAVUZ'a, zor zamanlarımda yanımda olan, hoş görüsünü, sabrını esirgemeyen, sürprizleriyle beni neşelendiren ablalarım ve aynı zamanda dostlarım Handan YAVUZ KEPENEK, Sevgi YAVUZ TAV ve Fazilet YAVUZ'a, yüksek lisans eğitimim sırasında moral ve motivasyonunu eksik etmeyen, iş ve eğitim tecrübelerini benimle paylaşan, bana yol gösteren Murat KARADAŞ'a ve bu süreçte yanımda olan, sevgisini, ilgisini hissettiren tüm aileme ve dostlarıma, tüm sevgimle teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Gülcan YAVUZ
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. LEHİMLEME UYGULAMALARI	3
2.1 Lehimleme İşlemi.....	3
2.1.1 Lehimlemede etkili olan faktörler	4
2.1.2 Lehim noktalarında görülen hatalar	5
2.1.3 Lehim noktalarına uygulanması gereken testler	10
2.1.3.1 Sıcaklık çevrim testleri.....	10
2.1.3.2 Korozyon testleri.....	11
2.1.3.3 Titreşim testleri	12
2.1.3.4 Kimyasal testleri.....	12
2.1.4 Lehim noktalarından beklenen özellikler.....	13
2.2 Lehimleme Yöntemleri ve Lehimleme Cihazları	14
2.2.1 Havaya ile lehimleme	16
2.2.2 İndüksüyonla lehimleme	18
2.2.3 Fırında lehimleme	21
2.2.4 Dalga lehimleme	22
2.2.5 Dirençle lehimleme	23
2.2.6 Lazerle lehimleme	25
2.2.7 Sıcak gazla lehimleme	26
2.2.8 Ultrasonik lehimleme	28
3. KONUYLA İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	33
4. ULTRASONİK LEHİMLEME CİHAZI TASARIMI	43
4.1 Ekipmanlar	45
4.1.1 Ultrasonik jeneratör.....	45
4.1.2 Dönüştürücü (Transduser).....	47
4.1.3 Yükseltici (Booster)	48
4.1.4 Horn	49
4.1.5 Altlık	51
4.1.6 Kontrol ünitesi.....	52
4.1.7 Basınç ünitesi	52
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	57

5.1 Deney Düzenegi	57
5.2 Deneylerin Yapılışı.....	58
5.3 Deneylerde Kullanılan Cihazlar	59
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER	61
6.1 Basınç ve Süre Deneyleri	62
6.2 Farklı Malzeme Deneyleri	75
7. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	87
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	99

KISALTMALAR ve TANIMLAMALAR

EDS	: Enerji Dağılım Spektrometresi
RoHS	: Belirli Zararlı Maddelerin Kullanımını Kısıtlama
SAC	: Kalay Gümüş Bakır Lehim Alaşımı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
WEEE	: Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atıkları Direktifi

SEMBOLLER

°C	: Derece Celcius
°F	: Derece Fahrenayt
Hz	: Hertz
kHz	: Kiloherzt
kPa	: Kilopascal
W	: Watt
μ	: Mikron

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Demir dışı metallerin çap-frekans ilişkisi [1].....	19
Çizelge 4.1: Genlik yükselticilerin sınıflandırılması [74].	49
Çizelge 5.1: Lehimleme parametreleri.	58
Çizelge 5.2: Kullanılan cihazların ve malzemelerin teknik özellikleri.....	59

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Lehimleme prosesinin adımları: (a) lehimin altlık malzeme üzerine ergitilmesi ve yayılması, (b) altlık malzemesinin ergimiş lehim içinde çözünmesi, (c) altlık malzemesi ve ergimiş lehimin reaksiyona girip intermetalik bileşik tabakası oluşturması [4].	4
Şekil 2.2: Yüzey ıslanabilirliği [4].	6
Şekil 2.3: Lehim boşalması [4].	6
Şekil 2.4: Lehim boşluğu [4].	7
Şekil 2.5: Üç aşamada emme oluşumu [4].	7
Şekil 2.6: Lehim noktaları arasında köprü oluşumunun aşamaları [4].	8
Şekil 2.7: Dentrit oluşumu [4].	9
Şekil 2.8: Havya ucu ve lehim noktasının termal profili [22].	17
Şekil 2.9: Seçilen malzemeler için güç girişleri ve ısıtma süreleri [1].	20
Şekil 2.10: İndüksiyonla lehimleme [24].	21
Şekil 2.11: Fırında lehimleme adımları [1].	22
Şekil 2.12: Dirençle lehimleme uygulamalarında kullanılan tipik elektrot konfigürasyonları [1].	24
Şekil 2.13: Sıcak gazla lehimleme işlemi [32].	27
Şekil 2.14: Ultrasonik lehimleme [40].	29
Şekil 2.15: Ultrasonik lehimlemenin şematik gösterimi [42].	30
Şekil 4.1: Ultrasonik jeneratör.	46
Şekil 4.2: Ultrasonik jeneratörün elektronik ekipmanları.	46
Şekil 4.3: Cihaz tasarımında kullanılan transduser modeli.	48
Şekil 4.4: Cihaz tasarımında kullanılan yükseltici modeli.	49
Şekil 4.5: Cihaz tasarımında kullanılan horn modeli.	50
Şekil 4.6: Transduser, yükseltici ve hornun montaj modeli.	51
Şekil 4.7: Cihaz tasarımında kullanılan altlık modeli.	51
Şekil 4.8: Ultrasonik lehimleme cihazı modeli.	54
Şekil 4.9: Ultrasonik lehimleme cihazı.	54
Şekil 4.10: Ekipman seçimi.	55
Şekil 5.1: Ultrasonik lehimleme cihazı.	57
Şekil 6.1: 1,5 Bar'da Al-Cu geçiş bölgesinin kalınlığının süreyle değişimi.	62
Şekil 6.2: 1,5 Bar'da bakırın alüminyum içerisine difüzyonu.	63
Şekil 6.3: 1,5 Bar'da bakırın alüminyum içerisine difüzyonu.	64
Şekil 6.4: 3 sn ultrasonik titreşim uygulandığında Al-Cu geçiş bölgesi.	65
Şekil 6.5: 4 sn ultrasonik titreşim uygulandığında Al-Cu geçiş bölgesi.	66
Şekil 6.6: 25 °C'de 30 gün boyunca yapılan izotermal yaşlandırmadan sonra Al-Cu geçiş bölgesinin kalınlıkların değişimi.	67

Şekil 6.7: 2 barda bakırın alüminyum içerisine difüzyonu.....	68
Şekil 6.8: 2 barda bakırın alüminyum içerisine difüzyonu.....	69
Şekil 6.9: 2 barda Al-Cu geçiş bölgesinin kalınlığının titreşim süresiyle değişimi... 70	
Şekil 6.10: 25 °C’de 30 gün boyunca yapılan izotermal yaşlandırmadan sonra Al-Cu geçiş bölgesinin kalınlıkların değişimi.....	71
Şekil 6.11: 1,5 barda lehimlenen Al-Cu lehim noktalarının çekme dayanımlarının titreşim süresi ile değişimi.....	72
Şekil 6.12: 2 barda lehimlenen Al-Cu lehim noktalarının çekme dayanımlarının titreşim süresi ile değişimi.....	74
Şekil 6.13: 1,5 barda Al-Ni geçiş bölgesinin kalınlığının titreşim süresinin artmasıyla değişimi.....	75
Şekil 6.14: 2 barda Al-Ni geçiş bölgesinin kalınlığının titreşim süresinin artmasıyla değişimi.....	76
Şekil 6.15: 25 °C’de 30 gün izotermal yaşlandırma yapıldıktan sonra Al-Ni geçiş bölgesinin kalınlıkların değişimi.....	77
Şekil 6.16: 25 °C’de 30 gün boyunca yapılan izotermal yaşlandırmadan sonra Al-Ni geçiş bölgesinin kalınlıkların değişimi.....	78
Şekil 6.17: 1,5 barda lehimlenen Al-Ni-Cu lehim noktalarının çekme dayanımlarının titreşim süresi ile değişimi.....	79
Şekil 6.18: 2 barda lehimlenen Al-Ni-Cu lehim noktalarının çekme dayanımlarının titreşim süresi ile değişimi.....	80
Şekil 6.19: 1,5 barda nikelin alüminyum ve bakıra difüzyonu.....	81
Şekil 6.20: 1,5 barda nikelin alüminyum ve bakıra difüzyonu.....	82
Şekil 6.21: 2 barda nikelin alüminyum ve bakıra difüzyonu.....	83
Şekil 6.22: 1,5 barda nikelin alüminyum ve bakıra difüzyonu.....	84
Şekil 6.23: Cam üzerine kalay kaplı bakırların lehimlemesi.....	85
Şekil 6.24: Cam üzerine kalay kaplı bakırların lehimlenmesi.....	86

ULTRASONİK LEHİMLEME CİHAZI TASARIMI VE ULTRASONİK YÖNTEMLE LEHİMLEME UYGULAMALARI

ÖZET

Lehimleme bir çok endüstride yaygın olarak kullanılan bir birleştirme yöntemidir. Geleneksel lehimleme yöntemleri, havayla lehimleme, indüksiyonla lehimleme, dirençle lehimleme, fırında lehimleme, dalga lehimleme, sıcak gazla lehimleme ve lazerle lehimlemedir. Kurşunlu lehim alaşımları geleneksel lehimleme yöntemleri ile kullanılabilir. RoHS direktiflerine göre kurşunsuz lehim alaşımlarına geçiş sürecinin başlamasıyla birlikte kurşunsuz lehim alaşımları geliştirilmeye başlanmıştır. Fakat geliştirilen kurşunsuz lehim alaşımları klasik lehimleme yöntemleri ve cihazlarıyla kullanıldığı zaman lehim noktalarında çeşitli problemler ortaya çıkmıştır. Karşılaşılan bu problemleri ortadan kaldırmak, flaks artıkları ve flaks artıklarını temizlemek için kullanılan kimyasalların lehim noktalarında korozyona sebep olmasından dolayı lehimleme işlemlerinde flaks kullanımını ortadan kaldırmak ve cam, seramik gibi metal olmayan yüzeylere lehimleme yapabilmek için yeni bir lehimleme yöntemi ve lehimleme cihazı geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak, bu tez çalışmasında kurşunsuz lehim alaşımları kullanarak hatasız lehimleme yapabilen, lehimlenmesi zor metallerin ve cam, seramik gibi metal olmayan yüzeylerin lehimlenmesine olanak sağlayan, flaks kullanımının, ön temizleme ve lehimleme işleminden sonra yapılması gereken temizleme işlemlerinin ortadan kaldırıldığı, çevre dostu ve ekonomik bir yöntem olan ultrasonik lehimleme cihazı tasarımı yapılmıştır.

Tasarımı yapılan cihaz 1400 Watt gücünde 20 kHz frekansında titreşim üreten ultrasonik jeneratör, elektriksel titreşimleri mekanik titreşimlere çeviren (dönüştürücü) transduser, titreşimin genliğini 50 mikrona ayarlayan yükseltici, lehimlenen parçalara titreşimi ileten horn, lehimlenen parçaları sabitlemek için bir altlık, lehim noktalarına basınç uygulamak üzere pnömatik basınç sistemi ve titreşim süresinin kontrol edildiği dijital ekrandan oluşmaktadır. Lehimleme işlemi, mekanik titreşimlerin lehimlenecek parçalara iletilmesiyle sürtünmeden dolayı açığa çıkan ısı ile yapılmaktadır.

Tasarımı yapılan cihazın performansını test etmek üzere alüminyum üzerine bakır klipsler, lehim alaşımı ve flaks kullanılmadan, ön ısıtma ve ön temizleme yapılmadan lehimlenerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda; titreşim süresinin ve basıncın lehimlemeye etkisini incelemek üzere 1,5 barda ve 2 barda 1 sn, 2 sn, 3 sn, 4 sn, 5 sn ve 6 sn titreşim uygulanarak bakır klipsler alüminyum yüzeye lehimlenmiştir. Deneylerin sonucunda 1,5 barda yapılan lehimlerde bakır ve alüminyumun birbirine geçiş bölgesinin en geniş olduğu titreşim süresinin 4 sn olduğu ve geçiş bölgesinin kalınlığının 8,92 mikron olduğu, 2 barda ise alüminyum ve bakırın birbirine geçiş bölgesinin en geniş olduğu titreşim süresinin 3 sn olduğu ve geçiş

bölgesinin kalınlığının 5,5 mikron olduğu tespit edilmiştir. Farklı malzemelerin lehim noktasının mukavemetine etkisini incelemek üzere bakır klipsler nikel kaplanarak 1,5 bar ve 2 bar basınçta 1 sn, 2 sn, 3 sn, 4 sn, 5 sn ve 6 sn titreşim uygulanarak lehimlenmiştir. Nikel kaplı bakır kullanılarak yapılan deneylerden alınan numuneler taramalı elektron mikroskopunda incelendiğinde alüminyum ve nikelin birbiri içerisine geçişinin 1,5 barda 5 sn'de 1,96 mikron olarak, 2 barda 4 sn'de 1,85 mikron olarak en kalın değerine ulaştığı tespit edilmiştir.

Böylece belli süreler kadar artan titreşim süresinin geçiş bölgesinin kalınlığını artırdığı belli süreden sonra azaldığı tespit edilmiştir. Basıncın artırılmasıyla lehimleme süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Farklı malzemelerin termal davranışı ve sürtünme katsayıları farklı olduğu için sabit basınç ve titreşim sürelerinde bir biri içerisine geçişlerinin aynı oranda olmadığı görülmüştür.

Oluşan lehim noktalarının mukavemetlerini incelemek üzere 5 mm/dak. hızla çekme testleri yapılmıştır. Yapılan testlerle çekme mukavemetinin artan basınç ve titreşim süresi ile değişimi incelenmiştir.

Alüminyum üzerine bakır klipsler lehimlenerek elde edilen lehim noktalarının çekme mukavemetleri incelendiğinde en yüksek çekme mukavemetinin 1,5 bar basınç altında 3 sn titreşim uygulandığında 548 N olduğu, 2 bar basınç altında 2 sn titreşim uygulandığında 564 N olduğu tespit edilmiştir. 1,5 bar ve 2 bar basınç altında oluşan lehim noktalarının çekme mukavemetlerinin artan titreşim süresi ile belli süreler kadar arttığı, belli sürelerden sonra azaldığı tespit edilmiştir. Artan basınçla çekme mukavemetinin arttığı, aynı zamanda en yüksek çekme mukavemetine sahip lehim noktalarının basıncın artmasıyla daha kısa süre titreşim uygulanarak elde edildiği tespit edilmiştir.

Alüminyum üzerine nikel kaplı bakır klipsler lehimlenerek elde edilen lehim noktalarının çekme mukavemetleri incelendiğinde en yüksek çekme mukavemetinin 1,5 bar basınç altında 3 sn titreşim uygulandığında 429 N olduğu, 2 bar basınç altında 3 sn titreşim uygulandığında 433 N olduğu tespit edilmiştir. 1,5 bar ve 2 bar basınç altında oluşan lehim noktalarının çekme mukavemetlerinin artan titreşim süresi ile belli süreler kadar arttığı, belli sürelerden sonra azaldığı tespit edilmiştir. Artan basınçla çekme mukavemetini çok büyük oranda artırmadığı ve en yüksek çekme mukavemetine sahip lehim noktalarının 1,5 bar ve 2 bar basınç uygulandığında aynı sürede oluştuğu görülmüştür.

Cam üzerine kalay kaplı bakırlar SAC 305 kurşunsuz lehim alaşımı kullanılarak 1,5 bar ve 2 bar basınç altında 1 sn, 2 sn ve 3 sn titreşim uygulanarak lehimlenmiştir. 1,5 bar basınç altında 1 sn titreşim uygulandığında SAC 305 lehim alaşımının ergidiği ancak homojen lehim noktalarının oluşmadığı, 2 bar basınç altında 1 sn titreşim uygulandığında SAC 305 lehim alaşımının tamamen ergidiği ve homojen lehim noktalarının oluştuğu görülmüştür. Fakat titreşim süresinin 1,5 bar ve 2 bar basınç altında 1 sn'nin üzerine çıkarıldığında cam yüzeyinde aşınmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Oluşan lehim noktalarının çekme mukavemetleri incelendiğinde ise en yüksek çekme mukavemetinin 2 bar basınç altında 1 sn titreşim uygulandığında 120 N olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda lehim noktalarının çekme mukavemetlerinin elektrik ve elektronik sektörü ile otomotiv sektörü için belirlenen standartların üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

DESIGN OF ULTRASONIC SOLDERING MACHINE AND SOLDERING APPLICATIONS WITH ULTRASONIC METHOD

SUMMARY

Soldering is a joining of two metal parts with a filler metal which has lower melting point than joining metals. Flux is necessary for solder spreading to all the surface and solder (filler metal) is necessary for joining and heat is necessary for melting the solder. Steps of soldering process are precleaning, fluxing, preheating, prewetting and soldering. Filler metal is used to wet the surfaces of a joint and form a metallurgical bonds between two metals parts. If the melting temperature of filler metal is lower than 450 °C joining process is soldering, If the melting temperature of filler metal is greater than 450 °C , joining process is brazing. Soldering is used in many industry for bonding metals. Traditional soldering methods are classified according to heat source. They are iron soldering, induction soldering, resistance soldering, furnace soldering, wave soldering, hot gas soldering and laser soldering which are used to bond with lead tin solder. According to RoHS directives, using lead is banned in electronic applications therefore, lead-tin solder is also banned. Because of this ban, lead free solder has been started to develop. However, lead free solder is not suitable for traditional soldering methods. When lead free solder is used with traditional soldering methods, there are some problems in joints. These problems are cold joints, nonwetting, dewetting, leaching, intermetallics, voids, skew, soak, bridge, splash, white residue, charred residue, poor probing contact, flux residue content, surface insulation resistance or electrochemical migration failure, delamination, voiding, non-curing of conformal coating and encapsulants. In soldering, flux is used to wet joint well and flux residual should be cleaned with chemical agent after soldering. However flux residual and chemical agent residual cause to corrosion in joints therefore using flux is not suggested in soldering operations. At the present time, glass and ceramic surfaces are used to solder on but traditional soldering methods are not suitable for soldering on them. To resolve these problems, a new soldering methods and soldering equipment are necessary. According to these necessities, ultrasonic soldering method is determined the best method for solving these problems.

In ultrasonic system, firstly generator converts electric energy with low frequency to electrical vibration with high frequency, secondly transducer converts electrical vibration to mechanical vibration. After that, the amplitude of mechanical vibration is adjusted to enough value for soldering. And then mechanical vibration is transferred to the joining parts by horn. Therefore ultrasonic soldering is occurred with heat supplied from friction which is provided between specimens by mechanical vibration.

Ultrasonic soldering machine which are environment friendly, economic, fast, suitable for lead free solder and resolve joint problems, used to solder on glass, ceramic, aluminium and stainless steel surfaces is designed in this study. Flux is not used with ultrasonic soldering machine to clean soldering surfaces and wet well, so there is not flux residuals and chemical residuals which is used for cleaning flux residual after

soldering. Because of this corrosion doesn't occur at the joints since corrosion occurs with flux residuals and chemical residuals.

Equipment of designed ultrasonic soldering machine are generator, transducer, booster, horn, substrate, pressure unit and control unit. Generator has 1400 W power and produce 20 kHz frequency electrical vibration. Piezoelectric transducer is used to convert electrical vibration to mechanical vibration. Booster is necessary for adjusting amplitude of vibration. Horn transfers mechanical vibration to the specimens. Horn design is depend on two parameters. First parameter is horn material because the dimension of horn should be half of wave length which is calculated from sound velocity in horn material which should be selected according to hardness, wear resistance and acoustical properties. Second parameter is geometry of joined materials because vibration should be sent to joined material otherwise vibration is sent to environment of solder joint. According to these parameters, horn is designed and produced with hardened steel. Substrate is designed according to specimen geometry, because it is used to fix specimen before soldering to prevent slip. Substrate material should be selected according to roughness, thermal conductivity and absorption coefficient. Because joining materials is fixed to substrate which should not be deformed by heating. According to these parameters, castermid is selected for substrate materials. Pressure unit provides motion of horn and compression force to solder joint for forming homogenous joint. In this study, pressure unit is pneumatic system because pneumatic system is cheaper and more simple than hydraulics system. Vibration time and waiting time after vibration can be adjusted with control units. Construction material is steel. Its material is selected according to mass, wear resistance, rigidity and view.

To test the performance of designed machine, some experimental studies are done. In these experimental studies, copper clips and nickel coated copper clips are soldered on aluminium surfaces without precleaning, using flux, preheating and solder. To determine the effect of vibration time and pressure to soldering, copper clips and nickel coated copper clips are soldered with 1.5 bar and 2 bar pressure in 1 s, 2 s, 3 s, 4 s, 5 s, 6 s.

And also tin coated copper clips is soldered on glass surface without precleaning, using flux and preheating. To determine the effect of vibration time and pressure to soldering, tin coated copper clips is soldered with 1.5 bar and 2 bar pressure in 1 s, 2 s, 3 s.

After soldering, aluminium and copper transition zone is investigated with scanning electron microscope. In SEM analysis, some result is determined the widest transition zone with 1.5 bar pressure in 4 s and with 2 bar pressure in 3 s. The widest transition zone is 8.92 μm when 1.5 bar pressure and 4 s vibration are applied. The widest transition zone is 5.5 μm when 2 bar pressure and 3 s vibration are applied. CuAl_2 intermetallic compound is identified in SEM analysis. It is occurred when applied pressure is 1.5 bar in 3s and 4 s. Increased vibration time increases transition zone till 4 s, but after 4 s increased vibration time reduces transition zone. Increased vibration time increases transition zone till 3 s, but after 3 s increased vibration time reduces transition zone. And also increased pressure reduces transition zone and soldering time when the widest transition zone occur.

To determine how soldering properties of different materials change, nickel coated copper clips are soldered on aluminium surfaces with 1.5 bar and 2 bar pressure in 1 s, 2 s, 3 s, 4 s, 5 s, 6 s.

After soldering coated copper clips, transition zone is investigated in SEM analysis. The widest transition zone is determined in 5 s with 1.5 bar pressure, and 4 s with 2 bar pressure. The widest transition zone is 1.96 μm when 1.5 bar pressure and 5 s vibration are applied. The widest transition zone is 1.85 μm when 2 bar pressure and 4 s vibration are applied. Any intermetallic compound is not determined in SEM analysis.

As a result, increased vibration time increases area of transition zone till oxidation starts and then increased vibration time reduces area of transition zone. Increased pressure reduces the area of transition zone and soldering time when the widest transition zone occur.

Every material has different thermal properties and friction coefficient therefore, transition zone area of every materials are different from each other.

To determine strength of soldering joint, tensile test is done with 5 mm/min. velocity at room temperature. With tensile test, the highest tensile strength for copper clips, nickel coated clips and tin coated clips is investigated. And also, the change of solder joint strength according to pressure, vibration time and materials is determined.

After tensile test of aluminum-copper solder joint, the highest strength is determined as 548 N when 1.5 bar pressure and 3 s vibration are applied. The highest strength is determined as 564 N when 2 bar pressure and 2 s vibration are applied. According to aluminum-copper tensile test, some result is determined increased vibration time increases strength of joint till a point end then increased vibration time reduces strength of joint. Increased pressure increases strength of joint but reduces soldering time when the highest strength of joint is occurred.

After tensile test of aluminum-nickel coated copper solder joint, the highest strength is determined as 429 N when 1.5 bar pressure and 3 s vibration are applied. The highest strength is determined as 433 N when 2 bar pressure and 3 s vibration are applied. According to aluminum-nickel coated copper tensile test, some result is determined increased vibration time increases strength of joint till a point end then increased vibration time reduces strength of joint. Increased pressure increases strength of joint but this amount of increases is not very much. Increased pressure does not change soldering time when the highest strength of joint is occurred.

After tensile test of glass-tin coated copper solder joint, the highest strength is determined as 120 N when 2 bar pressure and 1 s vibration are applied. 1 s and 1.5 bar pressure is enough to melt SAC 305 alloy. However 1.5 bar pressure is not enough for creating homogeneous soldering joint. Some deformation on glass is determined when the vibration time is higher than 1 s. Therefore the most suitable soldering time is determined as 1 s and soldering pressure is determined as 2 bar to form homogeneous solder joints.

According to these results, soldering properties of different material are determined as every materials has different thermal properties and friction coefficient therefore, transition zone area of every materials are different from each other.

Strength of solder joint is enough to provide the standards of electric and electronic sector and automotive sector.

Two metals is fastly soldered under low pressure without using flux and solder, preheating, precleaning by designed ultrasonic soldering machine. Tin coated copper clips is fastly soldered on glass under low pressure with Pb free solder and without using flux, preheating and precleaning. In this study, horn material is hardened steel but it is eroded in time thus horn material should be titanium for hardwearing.

1. GİRİŞ

Lehimleme; iki metalik parçanın kendilerinden daha düşük ergime sıcaklığına sahip başka bir alaşım yardımıyla birleştirilmesi işlemidir. Bu işlem sırasıyla ön temizleme, flaks uygulanması, ön ısıtma, ön ıslatma ve lehimleme olarak gerçekleştirilir. Geleneksel lehimleme yöntemleri havya ile lehimleme, indüksiyonla lehimleme, dirençle lehimleme, dalga lehimleme, fırında lehimleme, sıcak gazla lehimleme ve lazerle lehimlemedir. Bu yöntemler kullanılarak yapılan lehimleme işlemlerinde alaşım olarak kurşun esaslı alaşımlar kullanılmaktaydı fakat RoHS direktifleriyle kurşun yasaklandığı için kurşunsuz lehim alaşımları geliştirilmeye başlandı. Geleneksel lehimleme cihazları kurşun esaslı alaşımlara göre dizayn edildiği için, geliştirilen kurşunsuz lehim alaşımları kullanıldığı zaman lehim noktalarında bir takım problemler meydana gelmiştir. Bu problemleri ortadan kaldırmak, flaks kullanımını ortadan kaldırarak lehim noktalarında meydana gelen korozyonu önlemek, cam, seramik gibi metal olmayan yüzeylere lehimleme yapabilmek için yeni bir lehimleme yöntemi araştırılmıştır ve ultrasonik lehimleme yönteminin yukarıda belirtilen ihtiyaçları karşılayacağına karar verilmiştir. Bu çalışma da karar verilen ultrasonik lehimleme yöntemi için bir cihaz tasarımı yapılmıştır ve tasarlanan cihazın performansını görmek için bir takım lehimleme çalışmaları yapılmıştır.

Ultrasonik sistemler jeneratör, transduser, yükseltici ve horn'dan oluşmaktadır. Bu çalışmada tasarımı yapılan cihaz ise, elektriksel titreşimler üretmek için ultrasonik jeneratör, elektriksel titreşimleri mekanik titreşimlere çevirmek için transduser, titreşimin genliğini ayarlamak için yükseltici, titreşimi lehimlenecek parçalara iletmek üzere horn, lehimlenecek parçaların sabitlenmesi için bir altlık, basınç ünitesi ve titreşim süresinin ayarlandığı dijital ekrandan oluşmaktadır. Bu ekipmanlardan oluşan cihaz Solidworks üç boyutlu çizim programında tasarlanmış ve sanayide imalatı yaptırılmıştır. Jeneratör 1400 Watt gücünde olup 20 kHz'lik titreşimler üretmektedir. Transduser piezoelektrik etkisiyle çalışmakta, yükseltici ise titreşimin genliğini 50 mikrona ayarlamaktadır. Titreşimi lehimlenecek parçalara ileten horn lehimlenecek parçanın şekline göre tasarlanmış olup sertleştirilmiş çelikten imal edilmiştir.

Lehimlenecek parçaların yerleştirildiği altlık da lehimlenecek parçalara göre tasarlanmış olup ısıya dayanıklı kestamitten yapılmıştır. Basınç ünitesi ise pnömatik bir sistemden oluşmaktadır. Tasarımı yapıp imalatı yaptırılan cihazın performansını tespit etmek için cihazla metal ve cam yüzeyine bakır klipsler lehimlenmiştir. Farklı metallerin lehimlenmesi sırasında bakır klipslerin alüminyum yüzeyine lehim alaşımı kullanılmadan birleştirilebildiği tespit edilmiştir. Bunun üzerine gidilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bakır klipsler lehim alaşımı ve flaks kullanılmadan, ön temizleme ve ön ısıtma yapılmadan alüminyum plaka üzerine lehimlenmiştir. Lehimleme işlemlerine süre ve basıncın etkisi ile bakıra yapılan kaplamanın lehim noktasının mukavemetine olan etkisi incelenmiştir.

2. LEHİMLEME UYGULAMALARI

2.1 Lehimleme İşlemi

Lehimleme, iki metalik parçanın, kendilerinden daha düşük ergime sıcaklığına sahip bir malzeme yardımıyla birbirlerine bağlanması işlemidir. Bu bağlanma işleminin gerçekleştirilebilmesi için; lehimin yüzeyin tamamına yayılmasını (kaplamasını) sağlayacak flaks, birleşmeyi sağlamak için uygun lehim alaşımı, lehim alaşımını ergitip yüzeylerin birleşmesini sağlamak için de ısı gerekmektedir. Birleşme işlemi, lehimlenecek yüzeyler ve ergitilmiş lehim alaşımı arasındaki reaksiyona dayanır [1].

Lehimleme prosesi sırasıyla; ön temizleme ve flaks uygulanması, ön ısıtma, ön ıslatma ve lehimleme aşamalarından oluşur.

Ön temizleme işlemi yüzeydeki kir, leke ve oksit tabakasının kaldırılmasına yönelik olarak gerçekleştirilir. Lehimlenecek yüzey, zımparalama ve fırçalama işlemleri ile mekanik olarak temizlenir, flaks uygulanması ile de kimyasal olarak temizlenir.

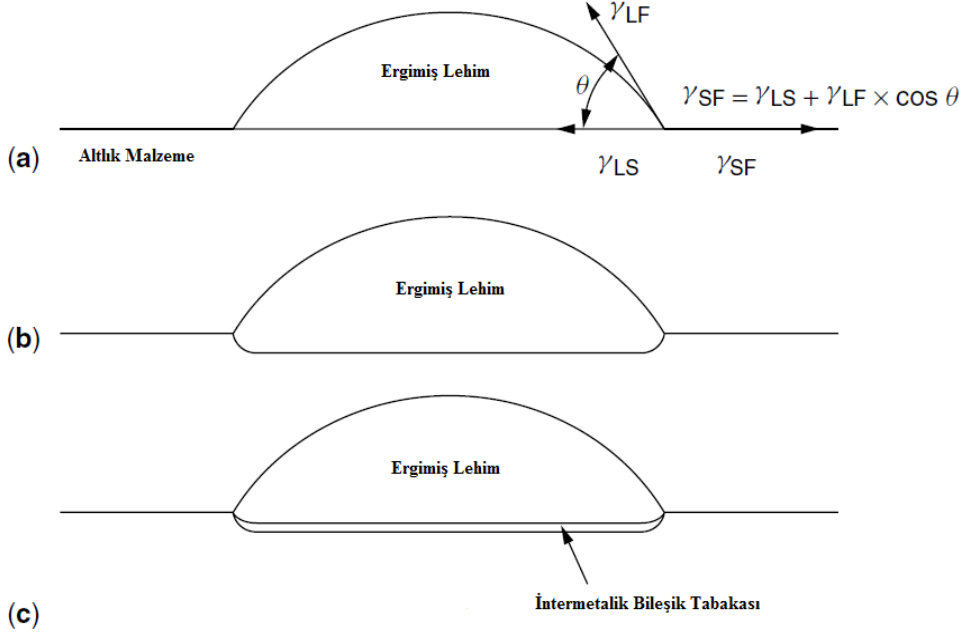
Flaksların aktive olup yüzeydeki oksit tabakasını uzaklaştırması ve lehim alaşımının erken soğumasını önlemek için lehim alaşımının ergime sıcaklığının 20 -30 °C altında ön ısıtma işlemi gerçekleştirilir [2].

Daha iyi ıslanabilirlik ve yüzey temizliği elde etmek için ön ıslatma işlemi gerçekleştirilir. Ön ıslatma genellikle oksitlenmesi daha güç metallerde kullanılır. Kalay ön ıslatma için yaygın olarak kullanılan bir metaldir .

Ön temizliği, ön ısıtması ve ön ıslatılması yapıp lehimleme işlemine hazırlanan yüzeylerin ergime sıcaklığının 20-30 °C üzerine ısıtılan lehim alaşımı tarafından ıslatılıp, parçalar arasındaki boşluğun doldurulup, birleştirilecek parçalar arasında bağların oluşmasıyla lehimleme işlemi gerçekleştirilir.

Lehimleme üç adımda gerçekleşir. İlk olarak lehim taban malzemesinin üzerine ergitilip, arayüzey gerilimini dengelemek için θ temas açısıyla yayılır. Ardından taban malzemesi ergimiş lehim içerisinde çözünür ve reaksiyona girerek ara yüzeyde yeni

bileşime sahip bir tabaka oluşturur. Şekil 2.1’ de lehimleme prosesi gösterilmiştir. Lehim alaşımının parçalar arasındaki boşluğu uygun şekilde doldurmasının ardından ısı aktarımı durdurulur ve komponentlerin hareket etmesi engellenerek soğumaya bırakılır. Soğuma işlemi, arzu edilen mikroyapı ve lehimlenecek komponentlerin termal dayanımları göz önünde bulundurularak kontrollü olarak gerçekleştirilir [3-4].



Şekil 2.1: Lehimleme prosenin adımları: (a) lehimin altık malzeme üzerine ertilmesi ve yayılması, (b) altık malzemesinin ertilmiş lehim içinde çözünmesi, (c) altık malzemesi ve ertilmiş lehimin reaksiyona girip intermetalik bileşik tabakası oluşturması [4].

Lehimlemenin sıcaklığı, lehim malzemesinin ertime sıcaklığından yüksek, birleştireceği parçaların ertime sıcaklığından düşük olmalıdır. Lehim bağlantısının maruz kalacağı işletme sıcaklığı da lehimin ertime sıcaklığından düşük olmalıdır. Parçaların birleştirilmesini sağlayan lehim malzemesinin ertime sıcaklığı 450 °C'nin altında ise birleştirme işlemi **lehimleme**; lehim malzemesinin ertime sıcaklığı 450 °C'nin üzerinde ise birleştirme işlemi **sert lehimleme** olarak adlandırılır [5].

2.1.1 Lehimlemede etkili olan faktörler

Uygulanan lehimleme işleminin kalitesi dolgu malzemesiyle birleştirilecek malzemenin kombinasyonuna, birleştirilecek malzemelere uygulanan yüzey kaplamalarına ve proses koşullarına bağlıdır. Bu sebeple kaliteli bir lehimleme sürecinde meydana gelen metalurjik değişimlerin ve faz oluşumlarının anlaşılması

büyük öneme sahiptir. Katı yüzeylerin mekanik özellikleri (oksitlerin ya da diğer kaplamaların doğası, yüzey sertliği), lehimleme işlemi esnasında gerçekleşen sıcaklık gradyanı, dolgu malzemesi ile ana bileşen arasındaki reaksiyonlar, lehim alaşımının ve lehimlenecek yüzeylerin kullanılan flakslarla kimyasal reaksiyonları da göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörlerdendir. Lehimleme prosesinde etkin rol oynayan faktörler aşağıdaki gibi listelenmiştir:

- Yüzey enerjisi ve yüzey gerilmesi
- Ön ısıtma / kaplama gerekliliği
- Lehim alaşımının kimyasal kompozisyonu
- Altlık veya lehimlenen parçaların cinsi, lehim alaşımını içerisindeki çözünürlük davranışı
- Lehimleme sonrasındaki alaşım kompozisyonundaki değişim ve fazların davranışı
- Islatma ve temas açısı
- Sıvı hal akışkanlığı (yoğunluk – vizkozite)
- Bileşenlerin yüzey sertliği
- İntermetalik oluşumu ve mekanizması
- Bağlantı noktaları arasındaki olası boşluk oluşumu, tam ergimeme, ısıtmama
- Alaşımlamada veya altlık malzemelerinde yer alan metalik değerlerin kompozisyon içerisinde etkisi, lehimleme öncesi ve sonrası dağılımları [5].

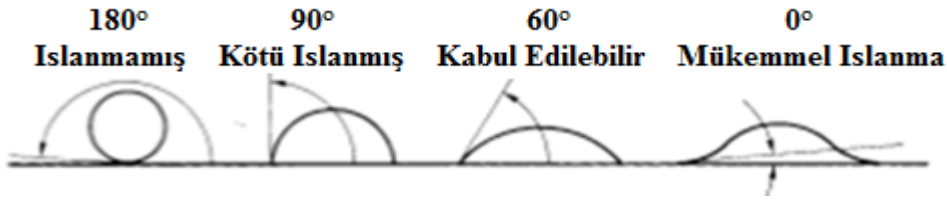
2.1.2 Lehim noktalarında görülen hatalar

Lehimleme işlemi boyunca görülen hatalar, metalurjik ve düzgün olmayan lehim noktaları olmak üzere iki gruba ayrılır. Metalurjik hatalar; soğuk lehim, ıslanmama, lehim boşalması, çözünme ve aşırı intermetalik oluşumdur. Düzgün olmayan lehim noktaları ise boşluk, çarpıklık, emme, köprü kurma, tam yapışmama-açılma, lehim topaklanması, sıçrama ve lehim kabarcıklarıdır. Lehimleme işleminden sonra görülen problemler ise; beyaz kalıntı, yanma kalıntısı, zayıf temas, yüzey izolasyon direnci, elektro-kimyasal yer değiştirme hataları ve boşluktur [4].

Lehimin yeterince ısınmaması sonucunda oluşan yetersiz lehimlenme durumu soğuk lehimlemedir. Soğuk lehimlemenin sebepleri; yetersiz ısıtma, soğuma esnasında müdahale, yüzeydeki kontaminasyonlar ve yetersiz flaks kullanımı olarak sıralanabilir. Yetersiz ısıtmanın sebebi; lehimleme için uygun sıcaklığa çıkılmaması

veya uygun sıcaklıkta yeterli süre kalınmamasıdır. Özellikle katılma sıcaklığının hemen altındaki sıcaklıklarda lehimde veya lehimlenen parçalarda meydana gelen mekanik müdahaleler soğuk lehime neden olmaktadır.

Ergimiş lehim alaşımının yüzeyle temas kurmaması veya yüzeyi kaplayan lehimin yüzeyle ince bir intermetalik tabaka oluşturmaması durumu ıslanmama olarak ifade edilir. ıslanmamanın sebepleri; yüzeyin ıslanabilme karakteri, uygun olmayan lehim alaşımı, flaksın verimli çalışmaması veya uygun olmayan ısıtma rejimi olabilir. Şekil 2.2’de yüzeyin ıslanabilirliği gösterilmiştir.



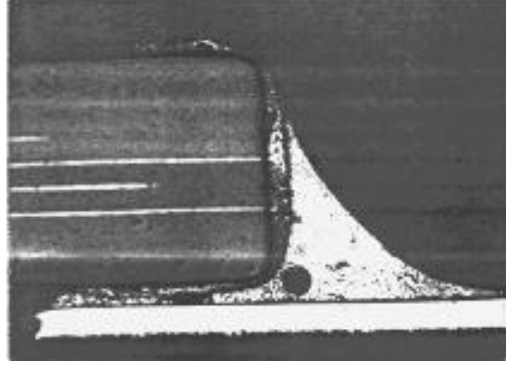
Şekil 2.2: Yüzey ıslanabilirliği [4].

Lehim boşalması; yüzeyi ıslatan lehimin proses tamamlanmadan yüzeyden kalkmasıdır. Bu hatanın sebebi; yüzeyin ıslanabilme karakteri, gaz çıkışı veya uygun olmayan ısıtma rejimidir. Şekil 2.3’te lehim boşalması gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Lehim boşalması [4].

Çözünme hatası birleştirilecek metallere birinin ergimiş lehim içerisinde çözünmesidir. Çözünmenin sebepleri; lehimlenecek metalin, lehim içerisinde çözünürlüğünün yüksek oluşu, aşırı flaks etkinliği, lehimlenecek malzemenin çok ince olması, lehimleme sıcaklığının yüksek olması veya lehimleme sıcaklığında uzun süre kalınması olabilir. Lehimleme sırasında lehim çekilmesi, verimsiz flaks etkinliği veya gaz çıkışından kaynaklanan boşluklar, lehimlenen noktanın mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Şekil 2.4’te lehimleme sırasında oluşan boşluk görülmektedir.

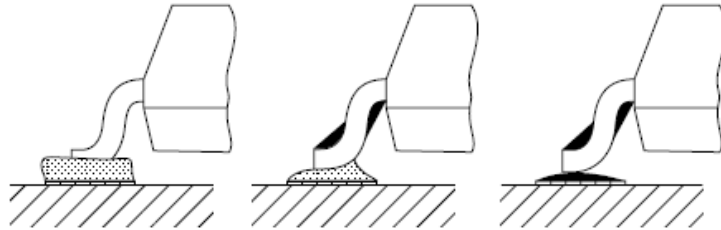


Şekil 2.4: Lehim boşluğu [4].

Birbiri içerisinde sınırlı çözünürlüğe sahip metallerin oluşturduğu alaşımda, katılaşma esnasında yeni fazlar oluşabilir. Kullanılan lehim alaşımının ergime noktasının ötesine geçilmesiyle ve ısıtma süresinin artmasıyla intermetalik oluşumu hızlanır. İntermetaliklerin oluşum miktarını etkileyen en önemli iki faktör; zaman ve sıcaklıktır. Bundan dolayı lehimleme süresi arttıkça intermetalik oluşumu hızı da artmaktadır. Ayrıca intermetalik oluşumunda, lehimlenecek parçaların kaplaması da önemli bir faktördür. Kaplamada bulunan Ni, Ag, Co, Fe ve Fe gibi metaller zaman ve sıcaklığın etkisiyle çökerek $FeSn_2$, $CoSn_2$ gibi intermetalik bileşikler oluştururlar.

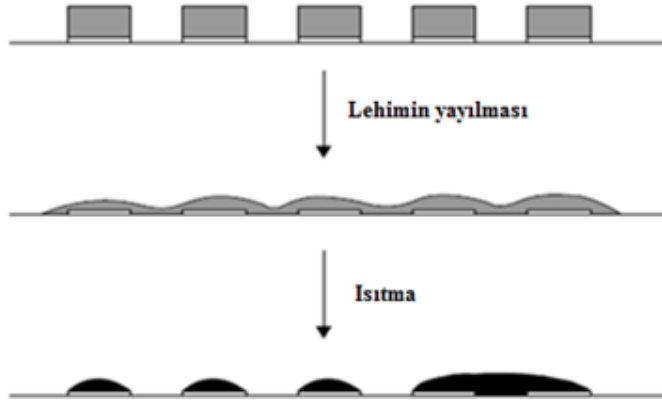
Isıtma esnasında lehim bileşenlerinin yüzmesi sonucu lehimlenecek parçaların kayması ve asimetrik lehimlenmesi sonucu çarpıklık meydana gelir. Bu olay, parçaların lehimleneceği yerlerdeki yüzey geriliminin dengesiz olması durumunda oluşur. Ayrıca lehimlenecek yüzeyin kaplamasının zayıf lehimlenebilirliğe sahip olmasından ve lehimlenecek uçlarının çok dar olmasından da kaynaklanır.

Emme hatası ergimiş lehimin, kurşun bileşeni ıslatması ve lehimlenecek noktadan kurşun bileşen üzerine birikerek lehim boşluğu oluşturmasıdır. Bu olay Şekil 2.5 'te ki gibi üç aşamada gerçekleşir. İlk olarak ergimiş lehim, kurşun bileşeni ıslatır. İkinci aşamada ergimiş lehim, kurşun bileşen üzerine birikir ve son olarak da lehim boşluğu oluşur.



Şekil 2.5: Üç aşamada emme oluşumu [4].

Lokal olarak aşırı lehim kullanılması sonucu lehim noktaları köprü oluştururlar. Fazla miktarda pasta kullanılması, pastanın akması ve yayılması ya da lehim noktalarına aşırı kuvvet uygulanması sonucu köprü oluşumu görülür. Köprü oluşumu Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Lehim noktaları arasında köprü oluşumunun aşamaları [4].

Tam yapışmama - açılma; soğuk lehim oluşumu, yetersiz ıslanma, hatalı flaks uygulaması, düşük lehimleme sıcaklığı veya oksitli/kirli yüzey gibi sebeplerden dolayı meydana gelir.

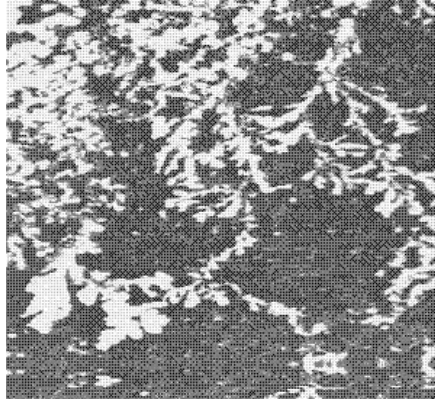
Lehimleme işlemi sırasında, bir miktar lehimin, ana lehim fazından ayrılarak katılaşması ve proses sonrasında katılaştıktan sonra tekrar birleşmemesi durumunda lehim topaklanması gerçekleşir. Gözle ayırt edilemeyen bu durum, lehim yapısının mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Lehim topaklanmasının muhtemel sebepleri ; ısıtma rejiminin uygun olmaması, yetersiz flaks etkinliği veya lehimin aşırı oksitlenmesi olabilir.

Flaks veya lehim, lehim noktasından birkaç mm uzağa sıçrayabilir ve sıçrama sonucu kürecikler oluşur. Bu kürecikler lehimlenen parçaların bozunmasına sebep olabilir. Aynı zamanda kürecikler bükülmez, elektrik iletkenliğini düşürür ve oksitlenmeye yatkındırlar.

Lehimleme işlemi tamamlandıktan sonra flaks kalıntılarını gidermek için yapılan temizlikten sonra halen yüzeyde beyaz kalıntılar olabilir. Bu kalıntıların sebebi kullanılan flaksın uygun olmamasıdır.

Elektrokimyasal yer değiştirme ise baskı devre kartları üzerinde doğru akım ön polarlama geriliminin etkisi altında iletken metal filamanlarının büyümesidir. Bu

büyüme dış yüzeyde, iç yüzeyde veya tüm gövde boyunca görülebilir. Elektrokimyasal yer değiştirme yüzey dentritlerinin ve iletken anodik filamanların oluşmasıdır. Kalay-kurşun lehimleri içerisinde zaman içerisinde nemli ortamda iğnesel kurşun dentritleri oluşur. Baskı devre üzerinde oluşan dentritler kısa devre olmasına ve bu etkiye sebep olur. Şekil 2.7’de dentrit oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.7: Dentrit oluşumu [4].

Birleştirme noktalarında aşırı ısıtmadan dolayı yanma kalıntıları da görülebilir. Lehimlenen noktalarda yanlış ve aşırı flaks kullanımından, yanlış lehim alaşımı kullanımından, yanlış lehimleme yöntemi tercih edilmesinden ve lehimlenecek parçaların yanlış dizaynından kaynaklanan bir çok problem meydana gelmektedir. Bu problemler, birleşme noktalarının mekanik özelliklerini ve görünümünü olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzlukların önüne geçebilmek için hataların kaynağı iyi analiz edilmelidir. Lehimlenen malzemelerin ve lehim alaşımının yapısına uygun flaks seçimi yapılmalı, doğru lehim alaşımı kullanılmalı, doğru lehimleme yöntemi tercih edilip, lehimleme işlemi doğru yapılmalı, birleştirme noktaları düzgün dizayn edilmelidir. Lehimleme yapılırken ısıtma, ıslatma ve soğutma oranları lehimin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bunun için genel olarak köprü oluşmasını, çarpıklığı, emmeyi, yapışmamayı, lehim topaklanmasını ve lehimlenen parçalarda meydana gelen çatlakları minimize etmek için ısı artışının yavaş olması gerekir. Islatma bölgesinin minimize edilmesi ıslanmama, boşluk oluşumu, yapışmama ve lehim topaklanması gibi hataların görülmesini azaltır. Lehimleme sıcaklığını azaltmak; yanma, katman oluşması, intermetalik oluşumu, çözünme, lehim boşalması ve boşluk gibi problemlerin oluşmasını önler. Ani soğutma ise intermetalik oluşumunu, yanmayı, çözünmeyi, lehim boşalmasını ve tane boyutunu azaltmaya yardımcı olur. Fakat yavaş soğutma lehimlemeyi olumsuz etkiler. Kaliteli lehimleme

işlemi gerçekleştirebilmek için yukarıda anlatılan lehimleme hataları, hataların sebepleri ve çözümleri iyi analiz edilmelidir [4].

2.1.3 Lehim noktalarına uygulanması gereken testler

Lehimleme işlemi farklı endüstrilerde, iki malzemenin birleştirilmesi için yaygın olarak tercih edilen birleştirme yöntemidir. Lehimlenen noktaların kullanıldığı endüstriye göre maruz kaldığı çevre koşulları, sıcaklık aralıkları, korozyon etkileri ve yükler birbirinden farklıdır. Servis koşulları, birleştirilen malzemeler, kullanılan lehim malzemesi ve birleştirme yöntemi lehimlenen noktalarda meydana gelecek deformasyonları, yorulmaları, intermetalik oluşumlarını doğrudan etkiler. Lehimlenen noktaların güvenilirliği kritik öneme sahiptir. Bu nedenle lehimlenen noktalar, servis ömürlerinin uzun olması için lehimleme işlemi tamamlandıktan sonra bir takım testlere tabi tutulur. İntermetalik bileşik oluşumunu görmek ve oluşan intermetalik bileşiklerin lehim noktalarının dayanımına etkisini anlamak için termal çevrim yaşlandırması ve izotermal yaşlandırma yapılır. Lehimlenen noktaların korozyon davranışlarını belirlemek için nem ve tuz testleri yapılır. Titreşime maruz kalındığı zaman lehimlenen noktaların mukavemetlerinde meydana gelen değişimi görmek için titreşim testleri yapılır. Lehimlenen noktaların kullanımı boyunca maruz kalacakları kimyasallar düşünülerek kimyasal testler yapılır. Test koşulları ve testlerden sonra lehimlenen noktaların göstermesi gereken performans kullanıldığı endüstriye göre değişiklik gösterebilir [6-8].

2.1.3.1 Sıcaklık çevrim testleri

Lehimleme işlemi kullanılarak birleştirme yapılmış ürünler farklı sıcaklık koşullarında çalışırlar. Bu çalışma koşullarında birleştirme noktalarının mikro yapısında bir takım değişiklikler meydana gelir ve metaller arasında intermetalik bileşikler oluşur. Sıcaklık ve zamanla mikroyapıda meydana gelen değişimler ve intermetalik bileşiklerin oluşumu, birleştirme noktalarının kayma ve yorulma mukavemetlerini doğrudan etkiler. Zaman içerisinde lehim noktalarında çalışma sıcaklıklarında meydana gelen bu değişimleri görmek için; farklı sıcaklıklarda ve sabit sıcaklıkta yaşlandırma testleri yapılır. Bu çevrimler için belirlenen minimum ve maksimum sıcaklıklar lehimlenen noktaların maruz kalacağı minimum ve maksimum sıcaklıklara göre belirlenir. Farklı sıcaklıklarda meydana gelen yaşlandırma testleri termal çevrim odalarında otomotiv sektörü için -40 °C ile 125 °C arasında, elektrik elektronik sektörü

için -55 °C ile 125 °C arasında 12,7 °C/dak. değişim hızıyla 1000 veya daha fazla çevrimde yapılır. Maksimum ve minimum sıcaklıklara gelindiğinde 15'er dakika beklenecek çevrim tamamlanır. Sabit sıcaklıkta meydana gelen yaşlandırma testleri ise lehimlenen malzemelerin 85 °C, 90 °C, 100 °C, 125 °C, 150 °C ve 175 °C gibi farklı sıcaklıklarda 168, 504, 500, 1008 saat gibi farklı zaman dilimlerinde bekletilmesiyle gerçekleştirilir.

Yaşlandırma testleri bittiğinde lehimlenen noktalarının mikroyapılarında meydana gelen değişimler ve oluşan intermetalik bileşikler optik mikroskopu veya elektron mikroskopu ile incelenir. Lehim noktalarının mekanik özelliklerindeki değişimler ise, lehimlenen parçaların şekline uygun olarak çekme veya kayma mukavemetleri ölçülerek tespit edilir [6-12].

2.1.3.2 Korozyon testleri

Lehimlenmiş malzemelerin kullanıldığı, nemli ortam koşulları, tuz, klorid, sülfat, sodyum, amonyum, potasyum, magnezyum, kalsiyum kalıntıları, lehimleme sırasında kalan flaks, temizlik ürünleri kaplama çözeltisi ve metal işleme sıvılarının artıkları belli sıcaklıklarda korozyona sebep olurlar. Lehim noktaları bu korozif şartlara maruz kaldığında, mikro yapılarında değişiklikler meydana gelir, yüzeyde çatlaklar oluşur, intermetalik bileşikler oluşur ve yorulma dayanımları düşer. Elektronik devrelerde akım taşıma eklem alanları azalır bu da elektrik akımına karşı yüksek direnç oluşturur. Bu nedenle lehimlenen noktalar, tuza ve neme maruz bırakılarak korozyon davranışları incelenir. Korozyon testleri; tuz testi ve nem testi olarak ikiye ayrılır [6,13].

Lehim noktaları; kullanım yerleri ve maruz kalacakları korozif etkenlere göre; farklı sıcaklıklarda, farklı oranlarda tuz çözeltisine maruz bırakılır. Örneğin lehimlenen noktalar 35 °C'de % 5 NaCl tuz çözeltisine 16, 24, 48, 96, 168, 336 ve 672 saat maruz bırakılarak tuz testi yapılabilir.

Aynı şekilde, lehim noktaları maruz kalacakları neme bağlı olarak farklı sıcaklıklarda, farklı bağlı neme maruz bırakılır. Örneğin, 40 °C'de 8 saat % 100 bağlı neme maruz bırakılıp, ardından oda sıcaklığında 16 saat % 100'den daha az bağlı neme maruz bırakılır. Bu işlem 1 saat 14 V elektrik yükü uygulanarak, 1 saat yük uygulanmadan gerçekleştirilir. Nem testi çevrim şeklinde yapılacağı gibi sabit nem oranında da yapılabilir. Örneğin; 50 °C'de 36 saat % 95 neme maruz bırakılarak yapılabilir [6].

Nem ve tuz testi tamamlanan lehim noktalarının mikro yapılarındaki değişimler optik ve elektron mikroskoplarında incelenir. Oluşan kırıklar SEM ve EDX'te incelenir.

Yorulma dayanımlarında meydana gelen değişimler ise; lehimlenen parçaların şekline göre çekme veya kayma mukavemetlerinin ölçülmesi ile belirlenir [6,13].

2.1.3.3 Titreşim testleri

Lehimleme işlemine tabi tutulmuş birçok ekipman, farklı formlarda mekanik şoklara ve titreşimlere maruz kalırlar. Bu nedenle lehimlenen noktaların titreşim güvenilirliği de test edilmelidir. Titreşim testlerinin koşulları da lehimlenen noktaların servis koşullarına göre değişir. Sabit frekanslı sinüs titreşimi, dar bantlı rastgele titreşim, dar bantlı taramalı sinüs titreşimi gibi titreşim testleri vardır. Titreşim analizi için titreşime maruz kalan parçanın titreşim modu ve doğal frekansı saptanmalıdır. Örneğin 8 saat boyunca oda sıcaklığında, 10'dan 1000 Hz'e kadar olan titreşimlere maruz bırakılarak titreşim testi yapılabilir.

Test sırasında elektriksel süreklilik kaydedilir ve kırılan, çatlayan lehim noktaları görülür ve bu noktaların metalurjik analizleri yapılır. Kırılma olan noktalar elektron mikroskopunda incelenir, mikro yapı ve çatlağın ilerlediği yol arasındaki ilişki tespit edilir. Servis koşullarında hataya sebep olan mikro yapı özellikleri belirlenir [6,14-16].

2.1.3.4 Kimyasal testleri

Lehim noktalarının servis koşullarında maruz kalacağı düşünülen kimyasallara karşı dayanımını test etmek üzere kimyasal testler yapılır. Bu testler lehim noktalarının; su banyosunda, cam temizleme sıvısında, koruma sıvılarına ve alkalilerde bekletilmesiyle yapılır.

Test edilecek numune 23 ± 5 °C'de 28 gün boyunca yağmur suyunda bekletilerek su banyosu testi yapılır.

Hacimce % 20 etanol, %10 propanol, ağırlıkça % 0.09 sodyum loril sülfat, %0,5 etilen glikol sıvılarında 23 ± 5 °C'de 24 saat tutulup, 23 °C'de 24 saat kurutulularak cam temizleme sıvısı testi yapılır.

Ağırlıkça % 15 parafin ve % 5 kalsiyum setearat içeren test sıvıları 30 dakika 50 °C'ye ısıtılır ve parafin çözülür ardından tekrar soğutulur. Karışım içerisinde test edilecek numune koyulmadan önce karıştırılır. Test edilecek numune karışıma daldırılır ve 10 dakika 23 ± 2 °C bekletilir. Ardından 23 ± 2 °C'de 15 dakika kurutulur. Kurutulduktan sonra 50 ± 5 °C'de 2 saat ısıtma kabininde bekletilir. 23 ± 2 °C'de 15 dakika iklimlendirilir. Daha sonra hacimce % 25 izooktan, % 10 dekalin, % 25 n-heptan, %10 1-3-5 trimetilbenzen, %20 siklo hegzan, % 10 xylene içeren sıvı içerisinde 23 ± 2 °C'de 30

dakika tutulur. Bu sıvıdan çıkarıldıktan sonra su jetleri ile 50 ± 5 °C’de durulanır ve 23 ± 2 °C’de 1 saat iklim uyumu yapılır. Böylece koruma sıvısı testi yapılır. Test edilecek numunelerin 0,1N Na-OH sıvısına 2 saat daldırılmasıyla da alkali testi yapılır. Kimyasal testler tamamlandıktan sonra lehimlenen noktaların çekme ya da kayma mukavemetleri incelenir [6] .

2.1.4 Lehim noktalarından beklenen özellikler

Lehimleme işlemi yapıldıktan sonra; lehim noktalarının sağlaması gereken bir takım özellikler vardır. Lehimleme işleminin en yaygın kullanıldığı iki sektör olan elektrik elektronik ve otomotiv sektöründe lehimlenen noktaların göstermesi gereken özellikler birbirinden farklıdır. Otomotiv sektöründe ve elektronik sektöründe lehimlenen parçaların maruz kaldığı çevre koşulları, sıcaklık aralıkları, korozif etkiler birbirinden farklıdır. 2006 yılına kadar lehimle işlemlerinde lehim alaşımı olarak kurşun esaslı alaşımlar kullanılıyordu. Fakat kurşunun toksik etkileri nedeniyle Avrupa Birliği RoHS direktiflerine göre; elektrik ve elektronik sektöründe kurşunlu lehimlerin kullanımı 2006 yılından itibaren yasaklanmıştır. Fakat otomotiv sektöründe kurşunlu lehim alaşımı kullanımı kısıtlamalarla birlikte devam etmiştir. Her bir araç için 60 g kurşunlu lehim alaşımı içerebilme limiti koyulmuştur. Bu yasak ve kısıtlamalardan sonra lehimlenen noktaların; daha önce kurşun esaslı alaşımlar kullanılarak yapılan lehimlerin karşıladığı özellikleri karşılaması beklenir. Fakat bu özellikler sektörlere göre bir takım farklılıklar göstermektedir [6].

Lehimleme işleminin en yaygın kullanıldığı iki sektörden elektrik elektronik sektöründe lehimlenen noktaların göstermesi gereken özellikler;

Lehimleme işleminin maksimum sıcaklığı lehimlenen parçaların termal özelliklerine göre belirlenir. Minimum sıcaklığı ise; kullanılan lehim alaşımının ergime davranışına ve düzgün lehim noktasının gerekliliklerine göre belirlenir. Buna bağlı olarak maksimum yeniden ergime sıcaklığı 260 °C olmalıdır. Elektrik elektronik sektöründeki lehim noktalarının maruz kalacağı sıcaklık aralığı -55 °C ile +125 °C arasındadır. Bundan dolayı lehim noktalarının bu sıcaklık aralığındaki çalışma koşullarına mukavemet göstermesi gerekmektedir [17].

1997 yılında National Center for Manufacturing Science’da kurşunsuz lehim için tamamlanan proje raporunda lehim noktalarının göstermesi gereken minimum çekme, kayma, sürünme ve yorulma dayanımları; kurşun esaslı lehim alaşımlarıyla

birleştirilen lehim noktalarının gösterdiği mukavemetler kadar olmalıdır diye belirtilmiştir.

National Institute of Standards and Technology ve Colorado School of Mines'da

T.Siewert, S. Liu, D. R. Smith ve J. C. Madeni tarafından hazırlanan kurşunsuz lehimlerin özellikleri raporunda ve H.Takao ve arkadaşları tarafından hazırlanan düşük ergime noktalı Sn-Bi-Cu kurşunsuz lehim alaşımlarının mekanik özellikleri ve lehim noktalarının emniyeti raporunda oda sıcaklığında Sn-37 Pb referans olarak alındığında çekme mukavemeti 28 MPa'dan daha yüksek, kayma mukavemeti 23 MPa'dan daha yüksek, sürünme mukavemeti 3,4 MPa'dan daha yüksek, yorulma dayanımı ise 16 MPa 'dan daha yüksek olması gerektiği belirtilmiştir [3,17-19].

Otomotiv sektöründeki lehim noktalarından beklenen özellikler ise; O. Deubzer ve S. Zangl tarafından hazırlanan 2000/53/EC direktiflerine bilimsel ve teknik ilerlemelerin uyum raporunda lehim noktalarının çekme mukavemetinin bulunduğu yere göre değişmekle birlikte yaklaşık olarak 90 MPa ile 150 MPa arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Aynı rapora göre otomotiv sektöründe lehimleme yapılan kısımlar atmosfere açık kısımlar olduğu için korozyona uğrama olasılıkları da çok fazladır. Lehim noktalarının korozyon davranışlarını incelemek üzere yapılan tuz ve nem testlerinden sonra lehim noktalarının çekme dayanımları 60 MPa ile 90 MPa arasında olmalıdır. Otomotiv sektöründe çalışma sıcaklığı -40 °C ve 120 °C arasındadır. Bu nedenle lehim noktalarının bu sıcaklıklarda mukavemet göstermesi gerekmektedir. Lehimlenen parçalar görünür yerde olduğu için estetik çok önemlidir. Bunun için oksidasyon direncinin yüksek olması ve uzun süre görüntüsünün bozulmaması gerekmektedir. Hem estetik açıdan hem de mekanik dayanımı açısından lehimleme esnasında boşluk oluşumu istenmez bu nedenle çok iyi ıslanabilirlik sağlanmalıdır. Boşluk probleminin ana nedeni lehimleme esnasında kullanılan flaksın ısıtma esnasında uçup hava kabarcığı bırakmasıdır. Boşluk probleminin ortadan kaldırılması, altlık malzemesinin zarar görmemesi ve estetik görüntü sağlanması için flaks kullanmadan ve direk ısıtmaya maruz bırakmayacak bir lehimleme yöntemi tercih edilmelidir [6].

2.2 Lehimleme Yöntemleri ve Lehimleme Cihazları

Geleneksel lehimleme işlemi değişik ısı kaynakları ile manuel olarak, otomatik olarak ya da yarı otomatik olarak yapılmaktadır. Lehimleme yöntemleri ısı kaynağının türüne

göre değişmektedir. Isı kaynağı; dolgu metalinin ve lehimlenecek yüzeylerin sıcaklığının dolgu metalinin ergime sıcaklığının üzerine çıkarılması için gereklidir. Lehimlenecek yüzeylerin de ısıtılması gerekmektedir çünkü yalnızca dolgu metalinin ısıtılması ısıtma için yeterli değildir [1,5,20-21].

Mel M. Schwartz ve S. Aircraft lehimleme yöntemlerini ısıtma kaynaklarına göre; havya ile lehimleme, şalome ile lehimleme, daldırma lehimleme, dalga lehimleme, indüksiyonla lehimleme, fırında lehimleme, dirençle lehimleme, infrared lehimleme, ultrasonik lehimleme, sıcak gazla lehimleme, püskürtme tabancası ile lehimleme ve buhar fazında lehimleme olarak sınıflandırmıştır [1].

G. Humpston ve D. M. Jacobson öncelikle ısıtma şeklini lokal ya da dağınık olarak ikiye ayırmıştır. Lokal ısıtma da lehimlenecek nokta ısıtılırken, dağınık ısıtma da ise sadece lehimlenecek nokta değil bütün parça ısıtılır. Yaygın lokal ısıtma kaynakları; havya, gaz meşaleleri, direnç, indüksiyon, lazer vs.dir. Dağınık ısıtma kaynakları ise; fırın, sıcak plakalar ve indüksiyon bobinleridir. Tüm parçanın ısıtılması için gereken enerji miktarı lokal ısıtma için gereken enerji miktarından daha fazladır ve dolayısıyla dağınık ısıtma için gereken işlem süresi de daha uzundur, termal bozunma riski daha azdır ve sıcaklık kontrolü daha kolaydır. Isı kaynağı lehimlenecek parçalardan uzak olduğu için çok fazla atmosfer sınırlamasına gerek yoktur. Dağınık ısıtma kaynakları karmaşık parçaların lehimlenmesi için kullanılır ve bu yöntemin kullanıldığı işlemlerde lehimlenecek parçaların tamamının lehimleme sıcaklığında bozulmaması gerekmektedir. Lokal ısıtma kullanılan işlemlerde; lehimlenecek noktalar dışında kalan alanları termal bozunmalara karşı korumak için soğutucular kullanılır. Dağınık ısıtma kaynakları elektrik elektronik sektöründeki lehimleme işlemlerinde kullanılır. Hazırlanan baskı devrelere macun halindeki lehim alaşımı ve flaks uygulanır. Isıtma çok hassas formüle edilmiş organik bir akışkanın doymuş buharının lehim alaşımının ergime noktasının üzerine ısıtılmasıyla sağlanır. Isıtıcılar akışkanı buharlaştırır ve lehimlenecek devreler bu buhar akışının içine yerleştirilir böylece lehimlenecek parçalar ısıtılmış olur. Akışkan doğru seçilirse; bu akışkan sayesinde flaks artıkları temizlenir ve lehimlenen parçalar lehimleme odasından kurutulup temizlenerek çıkar [5].

M. Judd ve K. Brindley ise lehimleme işlemlerini öncelikle elle ya da makinayla yapılan lehimleme işlemleri olarak iki kategoriye ayırmıştır. Makinayla yapılan lehimlemeler kitlesel lehimlemelerdir. Kitlesel lehimleme işlemleri de; lehimlenecek yüzeye öncelikle lehimin ertilmesi ardından lehimlenecek parçanın koyularak

lehimleme işleminin yapılması ve lehimlenecek parçanın önce koyulup daha sonra lehim alaşımının uygulanmasıyla lehimleme işleminin yapılması olarak ikiye ayrılmıştır. Önce lehimlenecek parçanın ardından, lehimin yerleştirilmesiyle yapılan lehimleme işlemlerini de kendi arasında daldırma lehimleme, sürüklenme lehimleme ve dalga lehimleme olarak üçe ayırmıştır. Önce lehimin yerleştirilip ardından lehimlenecek parçaların yerleştirilerek yapıldığı lehimleme yöntemlerini ısı kaynaklarına göre:

- İnfrared lehimleme,
- Sıcak buharla lehimleme,
- Lazerle lehimleme,
- Işınla lehimleme ve
- Sıcak hava ile lehimleme

olarak sınıflandırmıştır [20].

Isıtma kaynakları ve lehimleme yöntemlerinin lehimlenecek parçaya göre, parçanın kullanıldığı yere göre çeşitli avantajları ve dez avantajları mevcuttur. Bu nedenle lehim yapılırken hangi yönteme başvurulacağı:

- Yeniden akma (lehimleme esnasındaki tekrar ergime) için gereken süre
- Üretim kapasitesi, sistemin esneklik ve kontrol edilebilirlik gereksinimleri
- Lehimlenecek parça veya malzemelerin termal duyarlılığı
- Lehimlenecek parça veya malzemelerin iletkenlik özellikleri
- Parça geometrisine göre lehimlenecek alana erişim kısıtlamalarına

göre belirlenir [1,5,20-21].

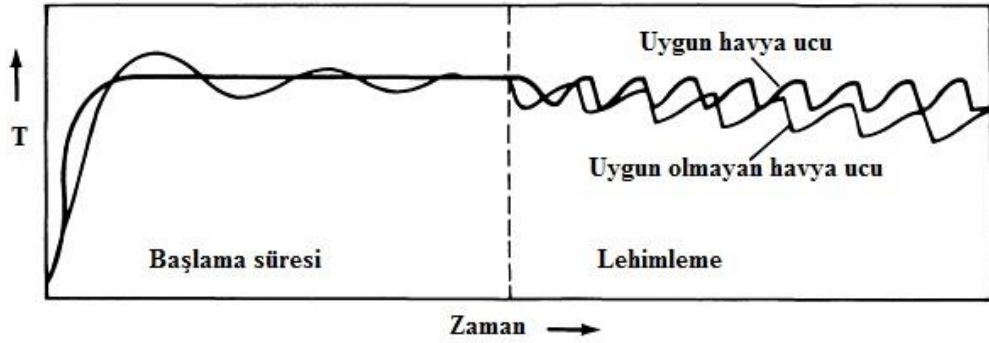
Yukarıda bahsedilen lehimleme yöntemleri ve cihazları aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2.2.1 Havya ile lehimleme

Havyayla lehimleme manuel olarak yapılan bir lehimleme yöntemidir. Havya ile lehimleme işleminde lehim yapılacak parçalar uygun açıda taşınabilir bir zemine tutturulur ardından havya 30 saniye kadar ısıtılır. Isıtılan havya ucu, üzerindeki reçinelerin temizlenip uygun ısı transferini sağlaması için nemlendirilmiş sünger üzerinde döndürülür. Temizlenen havya lehimlenecek yüzey üzerine getirilerek 3 saniye bekletilir. Havya ucu lehimlenecek yüzey üzerindeyken bir miktar lehim koyulur, lehim ergidikten sonra havya kaldırılır ardından lehim yüzeyine ve

lehimlenecek diğer parça üzerine flaks uygulanır. İki parçanın birleşmesi için yüzeye lehimlenecek diğer parça, daha önce ergitilip üzerine flaks sürülen lehim üzerine koyulur ve tekrar havya ucu lehim ergitilir. Lehimlenecek iki parça birleştikten sonra havya ucu kaldırılır ve lehim soğumaya bırakılır [21- 22].

Lehimlenecek parçaların şekline ve boyutuna göre havya uçlarının boyutları değişebilir. Havya ucunun kalınlığı oldukça kritiktir. Lehim noktasının boyutuna göre havya ucu seçilmelidir. İşlem sırasında havya ucunun sıcaklığı giderek artar ve artan sıcaklık lehimlenen parçalara zarar verecek noktaya gelebilir. Bunu önlemek için lehimlenen parçaların termal özelliklerine uygun sıcaklığa çıkabilen havyalar tercih edilip, havya ucunun parça üzerinde kaldığı süreye dikkat edilmelidir [20].



Şekil 2.8: Havya ucu ve lehim noktasının termal profili [22].

Havyalar ısıtma şekillerine ve sıcaklık kontrollerine göre sınıflandırılabilir. K. Edward ve L. Edward havyaları sıcaklık kontrol yöntemine göre; sabit voltajlı, değişken sıcaklıklı ve uç-sıcaklık kontrollü havya tipleri olmak üzere sınıflandırmıştır [1].

Sabit voltajlı havyalar sıcaklık sınırlı havyalardır. Bu havyaların sıcaklık sensörleri yoktur. Bu nedenle havya uçlarının sıcaklık kalibrasyonu mümkün değildir, çünkü sıcaklığı sınırlama yöntemi ısıtma elementinin artan direncine bağlıdır. Sabit voltajlı havyalar en ucuz lehimleme cihazlarıdır. Fakat yapılan lehimleme işleminin düzgün olması için çok iyi el becerisi gerektirmektedir.

Değişken sıcaklıklı havyaların bir sıcaklık kontrol aletleri vardır. Güç kaynağı üzerindeki bir kontrol düğmesi kullanıcının sıcaklığı ayarlayabilmesini sağlar. Uç, istenen sıcaklığa ulaştığında ısıtıcıya giden akım kesilir. Uç, ayarlanmış en düşük sıcaklığa kadar soğur ve tekrar akım gönderilir. Bu nedenle bu havyalarda sıcaklık kalibrasyonu yapılabilir böylece lehimleme işlemi için gereken ısıyı verecek şekilde ayarlanabilir.

Sıcaklık kontrollü havyalar, uç kısmında bir sıcaklık sensörü barındırırlar. Bu tip havyalar, üretici tarafından ayarlanmış sıcaklıkta çalışır ve uç sıcaklığı kalibrasyonu gerekmez. Bu havyalar şeklinden ve operasyon sıcaklığından dolayı tercih edilirler. Önceden tanımlanmış sıcaklıkta ya ısıtma elementinin direnci değişir ya da ısıtma elementine verilen akım kesilir. Bu tip havyalarda operatörün deneyimi çok az öneme sahiptir [1].

M. Judd ve K. Brindley ise havyaları tekli havya, lehimleme istasyonları, bataryalı havya ve gazlı havyalar olmak üzere sınıflandırmıştır. Lehimleme istasyonları sıcaklık kontrollü havyalardır. Üzerlerinde dijital sıcaklık göstergesi bulundurlar. Bataryalı havyalar ise; şarj edilebilir havyalardır. Gazlı havyalar ise; enerji kaynağının bulunmadığı yerlerde kullanılır. Gazın yakılması ile birlikte havya ucu ısıtılır. Çalışma sırasında ısı hem havya ucunu ısıtacak hemde lehimi iletcek şekilde olur [20].

K. Brindley ise havyaları ısıtma kaynaklarına göre; elektrikli havyalar, gazlı havyalar ve bataryalı havyalar olmak üzere sınıflandırmıştır. Elektrikli havyaların ısı kaynağı doğrudan şebeke elektriğidir. Gazlı havyaların ısıtma kaynağı ise bütan gazıdır. Havya ucu bütan gazının yakılması ile ısıtılır. Hızlı olmaları, taşınabilir olmaları, elektriğe ihtiyaç duymamaları ve içerisine koyulan gazın 20- 30 dakika boyunca ısıtma yapması gazlı havyalara avantaj sağlarken, sıcaklıklarının düzensiz olması ise dezavantajdır. Bataryalı havyalar ise; şarj edilebilir oldukları için elektriğe ihtiyaç duymazlar, taşınabilirler fakat erişebildikleri sıcaklık düzensizdir [23].

Havyaların güçleri 5 ile 300 W arasında, erişebildikleri sıcaklık 200 °C ile 500 °C arasında değişmektedir. Genel olarak bir havya ısıtma ekipmanları; rezistans, gaz, lehimlenecek noktaya temas edecek uç, temizleme süngeri ve elektrik bağlantılarından oluşur [1,21-23].

2.2.2 İndüksiyonla lehimleme

İndüksiyonla lehimleme için indüktans bobini yüksek frekanslı bir jeneratöre bağlanır. İndüktans bobini içerisinden geçen alternatif akım manyetik alan üretir. Oluşan manyetik alanın değişmesiyle de indüksiyon akımı oluşturulur. Bu indüksiyon akımına gösterilen elektrik direnciyle ısıtma sağlanır. Isı yüzeye gönderilmez, lehimlenecek parça yüzeyinde oluşturulur. İndüksiyon akımı, parçanın yüzeyinde oluşturulur ve iç kısımlara doğru azalma gösterir. İndüksiyon akımıyla ısıtmanın derinliği, parçanın

elektromanyetik özelliklerine, alternatif akımın frekansına ve manyetik alanın gücüne bağlıdır.

İndüksiyonla lehimleme işlemi yapılırken; lehimlenecek yüzeyde indüksiyon alanı oluşturulur ve lehimlenecek nokta indüksiyon alanı içerisine yerleştirilir ve indüktör çalıştırılır. Programlanan güç ile lehimlenecek noktalara ön ısıtma yapılır. Ön ısıtma yapıldıktan sonra lehim teli, lehimleme sıcaklığına kadar ısıtılır ve lehim beslenir. Ergiyen lehim yüzeyi ıslatır ve birleşme gerçekleşir. İndüksiyonla lehimlemede işlem parametreleri; ön ısıtma süresi, lehim besleme süresi, ısıtma süresi, güç ve lehim besleme hızıdır. Gereken ısıtmayı sağlayacak güç; hacim, özgül ısı, sıcaklık değişimi, yoğunluk ve zamanın bir fonksiyonudur.

$$P = (\rho c TV)/t \quad (2.1)$$

Isı kayıpları hesaba katılacağı için, indüksiyon akımıyla üretilecek güç hesaplanandan daha fazla olmalıdır. Güç frekansı ise; lehimlenecek malzemenin türüne ve boyutuna bağlıdır. Lehimlenecek malzeme manyetik özellikli ise 5 mm ile 40 mm arasında çapa sahip olan parçalar için frekans aralığı 3kHz ile 10 kHz arasında olmalı, 40 mm ile 150 mm arasında çapa sahip olan parçalar için ise frekans aralığı 1 kHz ile 3 kHz arasında olmalıdır.

Çizelge 2.1’de demir dışı metallerin çap-frekans ilişkisi gösterilmiştir [1,21,24].

L.Ma ve arkadaşları 3mm uzunluğundaki magnezyum alaşımlarını Zn-Al dolgu metali kullanarak yüksek frekanslı indüksiyonla lehimlemek için 25 kW ve 50 kHz frekansta çalışmıştır [25].

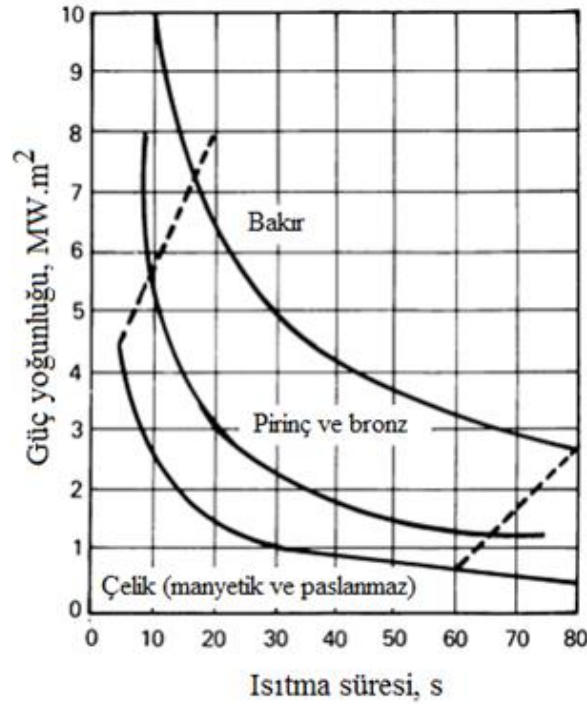
Çizelge 2.1: Demir dışı metallerin çap-frekans ilişkisi [1].

Çubuk Çapı		Frekans
(mm)	(in)	kHz
0-12	0-0,5	450
12-25	0,5-1	10-3
25-75	1-3	1
>75	>3	50

İndüksiyonla ısıtma lehimlenecek parçanın geometrisine bağlıdır. Çünkü indüksiyon bobinleri lehimlenecek parçanın geometrisine göre sarılır. Lehimlenecek parçalar kompleks olursa, indüksiyonla yapılan ısıtma sınırlı olur. Çünkü parça kompleks olursa indüksiyon sarmallarının lehim noktasının yakınına yerleştirilmesi çok zor olur.

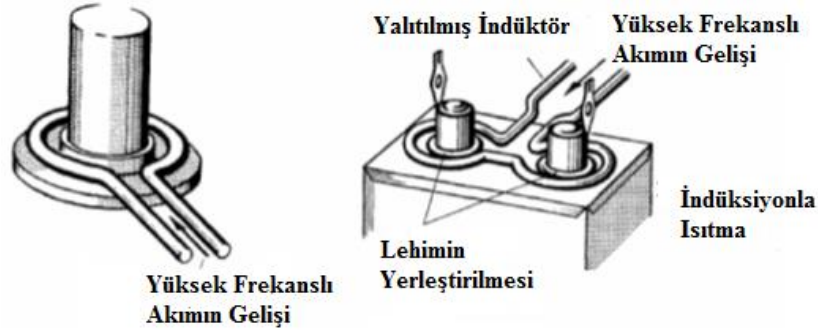
Manyetik alan içerisindeki köşeler ve çıkıntılar sıcak bölgeler oluşturur. Bu sıcak bölgeler de malzemeye zarar verirler. Fakat bu problem, sarmal sayısı azaltılarak ya da lehimlenecek noktadan daha uzağa yerleştirilerek çözülebilir. Bunun aksi olduğu durumlarda ise soğumayı önlemek için daha fazla güç girişi gerekebilir. Isıtmanın doğru yapılabilmesi için sarmallar, lehimlenecek noktanın karşısına yerleştirilmelidir. Kısa devre oluşmasını önlemek için sarmallar yalıtılmalıdır.

Manyetik alanı sınırlandıracak durumlardan kaçınılmalıdır. Enerji kullanımı ferromanyetik malzemelerde yani büyük manyetik geçirimli malzemelerde (demir, düşük karbonlu çelikler, nikel gibi), daha verimlidir. Aynı geçirgenliğe sahip, ancak elektrik direnci yüksek malzemeler, düşük dirençli malzemelerden daha verimli ısıtırlar. Şekil 2.9 çeşitli malzemeleri 188 °C'ye çıkarmak için gerekli enerji girişini göstermektedir.



Şekil 2.9: Seçilen malzemeler için güç girişleri ve ısıtma süreleri [1].

İndüksiyonla lehimleme yönteminde ısıtma homojen yapılıdır. Aynı zamanda ısıtma lokal yapıldığı için lehimlenen nokta dışında kalan alanlara ısı zarar vermez. Sıcaklık artışı diğer yöntemlere göre çok hızlı olduğu için; ısı kayıpları, oksitlenme, flakın termal bozunması önlenmiş olur. Tüm bunlar avantaj olurken, yöntemin pahalı olması ve çok deneyimli operatöre ihtiyaç duyulması ise dezavantajdır. Şekil 2.10'da indüksiyonla lehimleme örneği gösterilmiştir [1,21,24-25].



Şekil 2.10: İndüksiyonla lehimleme [24].

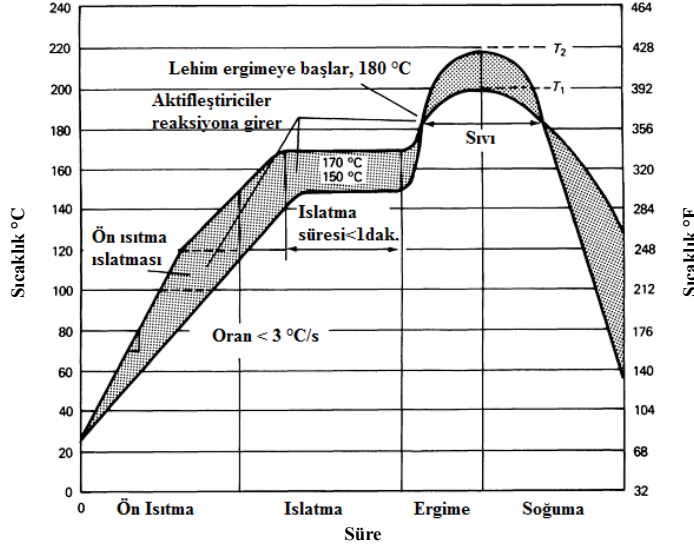
2.2.3 Fırında lehimleme

Lehimleme işleminin inert atmosferde, sıcaklık kontrollü bir fırında yapıldığı yöntemdir. Lehimlenecek parçalar ve lehim malzemesi fırına yerleştirilir. Ardından fırın lehimleme sıcaklığına gelene kadar ısıtılır ve lehimleme gerçekleştirilir. Sıcaklık kontrolü yapıldığı için parçaların aşırı ısınması engellenir ve düzenli ısıtma yapıldığı için lehim noktalarında oluşan gerilmeler ve bozunmalar önlenir. Fırın atmosferi kontrol edilebildiği için inert atmosferde çalışılır ve oksitlenmeler engellenir. Sıcaklık ve atmosfer kontrolü kolay yapıldığı için kitlesel üretime uygun bir yöntemdir. Bu özellikleriyle diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır.

Fırında lehimleme yapılırken fırın farklı yöntemlerle ısıtılabilir. K. Edward ve L. Edward fırınların buharla, kondüksiyonla, sıcak barla, konveksiyonla, kızılötesiyle ve lazerle ısıtılabilceğini belirtmişlerdir. Fırınların buharla ısıtılması bilinen ilk yöntemdir. Bir akışkan ergime noktasının üzerine kadar ısıtılıp buharlaştırılır. Oluşan buhar bir haznedan geçer, buhar geçerken haznedan fırın içerisine ısı transferi gerçekleştirilir ve fırın ısıtılır. Kondüksiyonla ısıtma ise; sıcak plakalarla yapılır. Bu yöntem konveksiyon veya kızıl ötesi yöntemlerle birlikte kullanılabilir. Kızıl ötesi yöntemde ise; ışın yayan paneller ve lambalar bir taşıyıcı fırına yerleştirilir ve ışımayla ısıtma yapılır.

Fırın içerisinde lehimleme işlemi dört adımda gerçekleşir. Bu adımlar, Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Lehimlenecek parçalar ısıtma tüneline girer ve ısı transferi başlar böylece ön ısıtma yapılır. Ardından flaks aktifleştiricileri reaksiyona girer ve lehimlenecek yüzeyler temizlenir. 180 °C’de lehim ergir ve lehimlenecek parçalar

birleşir. Ergime tamamlandıktan sonra lehimlenecek parça ısıtma tüneline çıkar ve soğumaya başlar. Soğutma fanlar, gaz perdeleri, hava üfleyiciler veya doğrudan havaya maruz bırakılarak yapılır. Termal şoku önlemek için; soğutma hızı $-4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 'i geçmemelidir. Bununla birlikte hızlı soğutma ile birleşme noktasında tane büyümesi daha düzgün olur ve noktanın mukavemeti daha yüksek olur [1].



Şekil 2.11: Fırında lehimleme adımları [1].

2.2.4 Dalga lehimleme

Dalga lehimleme yöntemi baskı devre kartlarının lehimlenmesinde uzun süredir bilinen ve kullanılan bir yöntemdir. Dalga lehimleme cihazı; geniş titanyum tank, buharlı ısıtma sarmalları ve konveyör zincirinden oluşur. Lehim dalgaları cihazın tabanına yerleştirilen pompa tarafından oluşturulur. Ergimiş lehimin akışını istenilen yöne yönlendirmek için uygun dalga kırınlar tankın içerisine yerleştirilir. Lehimleme tankın en alt kısmında gerçekleşir. Lehimlenecek baskı devre kartları konveyör bantına yerleştirilir. Kartlar flaksın üzerinden geçirilir ve kartlar flaksa daldırılır. Flaksın aktifleşmesi, uçucuların buharlaşması ve kartın ergimiş lehime maruz kaldığındaki termal şoku önlemek için ön ısıtma yapılır. Ön ısıtma yapıldıktan sonra kart lehim dalgaları üzerinden geçirilir. Kart ergimiş lehim üzerinden geçirilirken, lehimlenecek yüzeyler, bağlantı uçları, kart içerisindeki metal yüzeyler ısıtılır, kaplama yapılmış boşluklar lehimle doldurulur ve lehimleme gerçekleştirilir. Lehimlenmiş baskı devre kartları doğal ısı kayıpları veya basınçlı hava ile soğutulur ve konveyör banttan alınır. Bu yöntemle binlerce lehim noktası birkaç dakika içerisinde oluşturulur [1,3-4,17,20].

Dalga lehimleme yönteminin proses parametreleri; flaks operasyonu, lehim dalgasının özellikleri ve proses planıdır. Flaks, sıvı veya köpük olarak uygulanır fakat her iki yöntemde de aynı miktarda uygulanmalıdır. Katı flakslar temizlik gerektirmediği için reçine flakslara alternatiftir. Katı flaksları köpük yapmak zor olduğu için bunlar dalga veya sprej olarak uygulanır. Flaks kimyasının kontrolüyle lehimleme işleminin yapıldığı tankın sıcaklığı 10°C-15°C düşürülür. Lehimin bekleme süresi de 1 sn - 2sn düşürülür. İnert atmosfer kullanımı da lehim hatalarını önler. Cihazlara göre farklı dalga geometrileri vardır. Dalga geometrisi ıslatmanın iyi yapılabilmesi için yeterli türbülans oluşumunu ve lehim noktalarında meydana gelen hataların oluşumunu doğrudan etkiler. ıslatmanın yeterli yapılabilmesi ve hataların önlenmesi için doğru dalga geometrisi tercih edilmelidir. Proses planı; ön ısıtma ve ergimiş lehimin sıcaklığı, konveyörün eğim açısı ve hızına bağlıdır. Konveyörün hızı ön ısıtma bölgesinde ve ergimiş lehim üzerinde kalınan süreyi etkiler. Ön ısıtma sıcaklığı flaksı aktive etmek ve termal şoku önleyecek büyüklükte olmalıdır. Ergimiş lehim üzerinde kalınan süre 3sn ile 5sn arasında sınırlandırılmalıdır. İşlem bu parametrelere göre planlanmalıdır.

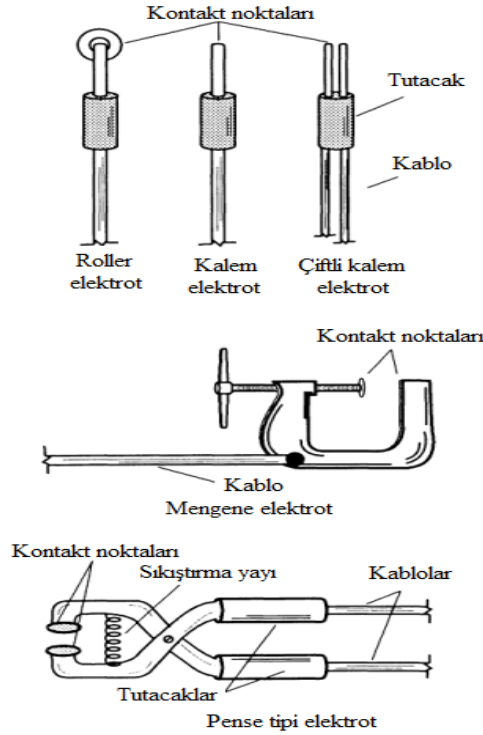
Dalga lehimleme yönteminin diğer yöntemlere göre avantajları; lehim atığı içermemesi, termal şokun azaltılması, lehimleme işleminden sonra temizliğinin kolay olması ve flaks verimliliğinin geliştirilmiş olmasıdır. Dez avantajı ise bu yöntem kurşunlu lehim alaşımları için tasarlanan bir yöntem olduğu için, kurşunsuz lehim alaşımlarının kullanımı için uygun değildir çünkü lehimleme sıcaklığı gibi işlem parametreleri kurşunlu lehimlere göre ayarlanmıştır [1,3-4,17,20].

2.2.5 Dirençle lehimleme

Dirençle lehimleme yöntemi; lehimlenebilen tüm metallerin birleştirilmesinde kullanılabilir. Çelikler, demir dışı metallerin alaşımları, dirençle lehimlenebilir. Bu yöntemin tek sınırlaması lehimlenecek malzemelerin kalınlığı ve birleştirme noktalarının şeklidir. Kalınlığı 3,2 mm'ye kadar olan parçalar dirençle lehimlenebilir.

Lehimlenecek parçalar üzerindeki kalıntı ve çapaklar akım hattını tıkamaları için temizlenir. Isıtmanın hızlı olması ve elektrik çarpması riskinden dolayı flaks ve lehim teli kullanımı önerilmez. Lehim daha önceden şekillendirilmiş veya pasta formunda olmalıdır. Temizlenen parçalar bir mengeneyle yerleştirilir ve devreyi tamamlamaları için taşınabilir elektrotlar lehimlenecek parçalar ile temas ettirilir. Temas sağlandıktan

sonra elektrik akımı gönderilir. Gönderilen elektrik akımına lehimlenecek malzemeler direnç gösterir. Malzemenin gösterdiği dirençle hızlı ve lokal bir ısıtma gerçekleşir ve lehim ergir. Ergiyen lehim yüzeyi ıslatır. Islanma gerçekleştikten sonra malzemenin gösterdiği direnç düşer, akım artar böylece ısı hızlıca yayılır, soğuma gerçekleşir ve lehim katlaşır, malzemeler birbirine yapışır ve lehimleme işlemi tamamlanır. Hareketli elektrotlar ile tek işlemde birden fazla lehimleme işlemi yapılabilir [1,26-27]. Dirençle lehimleme ekipmanları, özel parça konfigürasyonu ile kullanıma uygun olarak modifiye edilmiş iki elektrot içerir. Bu elektrotlar yüksek dirençli elektrik iletkenlerden (örneğin karbon, grafit ya da tungsten) yapılır. Elektrotun geometrisi ; kalem, çift kalem, roller, mengene, pense şeklinde olabileceği gibi bunların kombinasyonları da olabilir. Bahsedilen elektrotlar, Şekil 2.12’de temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.12: Dirençle lehimleme uygulamalarında kullanılan tipik elektrot konfigürasyonları [1].

Elektrotlar, akım taşıyan büyük iletkenlerle transformatöre bağlıdır. Sistemin merkezi, 2 ile 25 V ve 5 ile 500 A akım verecek şekilde tasarlanmış, ağır hizmet tipi, değiştirilebilir, gerilim düşürücü transformatördür. İstenen lehim sıcaklığına ulaşmak amacıyla bir ayak pedalı, bir zamanlayıcı ya da elektrotlar arası ayarlanabilir direnç

köprülleme cihazı kullanılabilir. Bu 4 ila 6 saniyelik döngüler içinde lehimin katılaşmasına ve parçaların ortam sıcaklığına dönmesine izin verir.

Dirençle lehimleme yönteminin diğer yöntemlere göre avantajları; açık alev kullanımının tehlikeli olduğu, lehimleme için gereken ısının uygulanacağı alanın sınırlandırıldığı, oksidasyonun minimum tutulması gerektiği ve havya kullanımının uygun olmadığı durumlarda kullanılmasıdır. Elektrik çarpması gibi riskler olduğu için lehimlemeyi yapacak operatörün çok deneyimli olması gerekmektedir. Operatöre bağlı risklerin olması ve lehimlenecek parçaların kalınlıklarının sınırlandırılması ise bu yöntemin dez avantajlarıdır [1,26-27].

2.2.6 Lazerle lehimleme

Lazerle lehimleme yöntemi; temassız, lokal ısıtma yapabilmesi, sıcaklık artışı ve azalışının ani olması ve otomasyona uygun olmasından dolayı mikro-elektronik endüstrisinde yaygın kullanım alanı olan bir yöntemdir. Lazerle lehimleme yapılırken CO₂, Nd-YAG (neodimiyum itriyum alüminyum garneti) ve diyot lazer olmak üzere üç farklı lazer çeşidi kullanılır [1,20-21,28-30].

CO₂ lazer en eski lazer çeşidi olup 1964 yılında geliştirilmiştir. En güçlü lazer çeşidi olan CO₂ lazer, 10,6 µm dalga boyuna sahiptir. Bu dalga boyunda % 20 verimle kızıl ötesi ışın üretir. Metal yüzeyinden yansıyan CO₂ lazer flaksla absorbe edilir.

Nd-YAG lazer, CO₂ lazer ile aynı yıllarda geliştirilmiş olup 1,06 µm dalga boyuna sahiptir ve metal yüzeylerinde absorbe edilir. 1,064 µm dalga boyundayken kızıl ötesi ışın üretir.

Diyot lazer, 1999 yılında tanınmaya başlanan lazer çeşidi olup Nd-YAG lazere benzer özellikler gösterir. GaAs yarı iletken çubuklardan üretilen 790 nm ile 980 nm arasında dalga boyuna sahip olan diyot lazerler her bir çubuktan 50 W güç üretirler. Diğer lazer çeşitlerine göre daha yoğun ve verimli olmalarına rağmen güçleri daha azdır. Fakat yoğun olmalarından dolayı lehimleme cihazlarına kolay entegre edilir [1,20-21].

Lazerle lehimleme işlemi yapılırken lehimlenecek parçalara gerekli temizlik yapıldıktan sonra temas yüzeyine lehim alaşımı katı halde yerleştirilir. Lazer ışın demeti temas bölgesinin üzerine 200 ms ile 500 ms arasında değişen sürelerde düşürülür. Lazer ışını lehimlenecek parçanın şekline göre yansıma olmayacak şekilde açılı veya dik gönderilir. Lazer ışını ile sağlanan ısı sayesinde lehim alaşımının ergimesi sağlanır ve lehimleme işlemi gerçekleştirilir. Lazer ışının şiddeti ve gönderilme süresi; lehimlenecek malzemeye, lehimlenecek parçanın şekline, altlığa ve

lehimine göre değişmektedir. Lehim noktasının şekli ise gönderilen lazerin çeşidine bağlıdır. Nd-YAG lazer metal tarafından absorbe edildiği için en iyi lehim noktası bu lazer çeşidiyle elde edilir. CO₂ lazer metal yüzeyinden yansır. Ancak flaks kullanılarak yansıma engellenir ve uygun lehim noktası elde edilir.

Lazerle lehimlemenin avantajları; temas gerektirmeyen ve hızlı bir işlem olmasıdır. Temassız olduğu için ısı girişini lokal tutup lehimlenecek alanın dışına çıkarmaz ve böylece termal gerilmeyi engeller. Hızlı katılma olduğu için intermetalik bileşik oluşumu azalır ve daha sünek özelliğe sahip lehim noktaları oluşur. Lehim noktalarının tane boyutları iyi olduğu için daha iyi yorulma özellikleri gösterirler. Dezavantajları ise yüksek güç gerektirmesi ve yüksek maliyettir [1,20- 21,28-30].

2.2.7 Sıcak gazla lehimleme

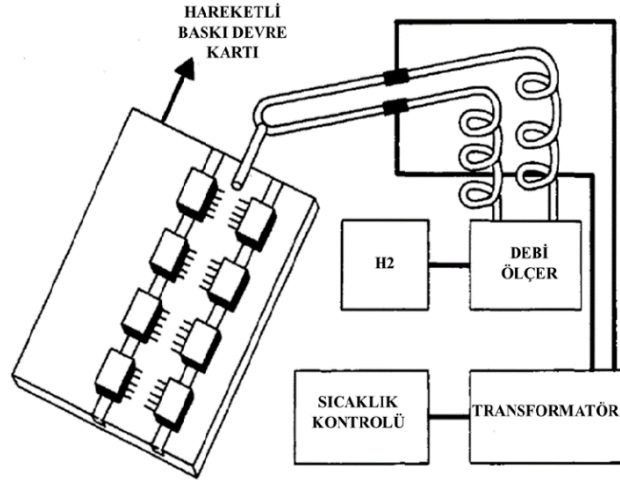
Sıcak gazla lehimleme yöntemi, lehimlenecek parçanın termal kütesinin ve kullanılan lehim alaşımının ergime noktasının çok düşük olduğu durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem elektrik elektronik endüstrisinde, elektronik devreler üzerindeki sınırlandırılmış alanların lehimlenmesi için kullanılır.

Lazerle lehimleme yöntemine benzer olarak, lehimlenecek parçalara gerekli temizlik yapıldıktan sonra, temas yüzeyine katı haldeki lehim alaşımı yerleştirilir. Dirençli tüpler içerisine yerleştirilen gaz, transformatörden gelen akımla ısıtılır. Isıtılan sıcak gaz nozül ile temas bölgesine üflenir. Üflenen gazın ısısı ile lehim alaşımı eritilir ve lehimleme işlemi gerçekleştirilir. Şekil 2.13'te sıcak gazla lehimleme şematik olarak gösterilmiştir [1,21,31-33].

Sıcak gazla lehimleme işleminin verimi; gaz akışının odağına, gaz akışı debisine (hız ve hacim), sıcaklık kontrolüne ve gazın bileşimine bağlıdır. Lehimlenen alan çok küçük olduğu için ısının sadece lehimlenecek noktaya gönderilmesi kritik önem taşır. Gaz akışının odaklanması için nozül dizaynı lehimlenecek alana göre yapılmalıdır veya engel plakaları kullanılmalıdır. Nozül ile sıcak gazın bir veya daha fazla lehim noktasına çarpması ayarlanabilir, fakat engel plakalarıyla gaz lehim noktalarının çevresine veya tüm parçaya çarpabilir.

Sıcak gazın akış debisi, ısı transferinin verimini belirler; yetersiz gaz akışı ısı transferini düşürürken, aşırı gaz akışı da lehim noktasının dışında kalan alanların ısınmasına sebep olur. Bu nedenle sıcak gazla lehimleme sistemlerinde gazın akış oranı (hacmi ve hızı) lehimleme işlemi için en uygun olan ısıtma profilini sağlayacak

şekilde ayarlanabilir olmalıdır. Optimum gaz oranı; lehimleme için gereken sıcaklığa, nozül dizaynına ve lehimlenecek parçaya bağlıdır.



Şekil 2.13: Sıcak gazla lehimleme işlemi [32].

Gazın sıcaklığı, ısı transferi verimini ve lehimleme süresine etkiler. Sıcaklık kontrolü nozulın çıkışındaki sıcaklığa göre yapılmalıdır çünkü sıcaklık, nozuldan çıkıp lehim noktasına gidene kadar hızlı bir şekilde düşer. Lehimlenecek parçalar lehim noktalarından daha hızlı ısınır bundan dolayı; nozul çıkışındaki gazın oranı yüksek olursa lehimlenen parçalar aşırı ısınır ve termal deformasyona uğrar.

Kullanılan gaz, hava, azot, hidrojen, azot hidrojen karışımı ($75N_2-25H_2$) olabilir. Hava düşük maliyetinden dolayı en yaygın kullanılan gazdır. Oksitlenmeyi önlemek, ıslanma performansını ve lehim noktalarının dayanımını artırmak için bazı durumlarda azot kullanılabilir. Dispersif etkinin azaltılması için lehim noktasına uygulanan gazın kuvvetinin azaltılması gerekir. Bu durumda havadan daha düşük yoğunlukta olan azot ve hidrojen karışımı kullanılır. Çünkü hafif gazların, lehim noktasına uygulanan kuvveti azaltılırken, ısı transferi verimi değişmez ve inert atmosferde çalışılır. İntert atmosferde çalışılırsa kullanılan flaks daha iyi performans gösterir ve lehimleme işlemi bittikten sonra yapılması gereken temizliğe ihtiyaç kalmaz.

Sıcak gazla lehimlemede ısıtma profilleri, gaz akış debilerine, gaz sıcaklıklarına ve zamana bağlıdır. Bazı sistemler düşük debi ve yüksek sıcaklık kullanırken, bazı sistemler de yüksek debi ve daha düşük sıcaklıklar kullanır. Akış debisi ve sıcaklık seçimi, lehimlenecek parçanın fiziksel ve boyutsal karakteristiklerine bağlıdır. Lehim noktalarının çevresi aşırı ısıtılırsa; kalıntı gerilmeleri meydana gelir. Kalıntı gerilmeleri lehim noktalarının yorulma dayanımını azaltır. Bundan dolayı, gazın akış

oranı ve odaklanması kritik öneme sahiptir. İletim (kondüksiyon) ve radyasyonla ısıtmaya göre sıcak gazla ısıtmanın verimi düşüktür. Bu nedenle ön ısıtma yapılması gerekir. Ön ısıtma, fırınla, sıcak gazla, ışınlama ve sıcak plaka kullanılarak iletimle yapılabilir. Ön ısıtma tekniğinin seçimi lehimlenecek parçaların ve lehimleme ekipmanının fiziksel özelliklerine bağlıdır.

Sıcak gazla lehimleme yönteminin diğer yöntemlere göre avantajları; hızlı olması, düşük maliyetli ekipmanlarla yapılmasıdır [1,20,32].

2.2.8 Ultrasonik lehimleme

Ultrasonik lehimleme yöntemi; elektrik elektronik endüstrisinde seramik, silikon gibi altlıkların kullanılmaya başlanması ile birlikte lehimlenmesi zor malzemelerin lehimlenebilmesi, flaks kullanımından kaynaklı hataların önlenmesi, lehimleme işleminden sonra kullanılan flaksların temizlenmesi sırasında kullanılan halojenli çözücüler ve klorofluorokarbon atıkların önlenmesi ve lehim noktalarının kalitesinin iyileştirilmesi için 1930 'larda geliştirilmeye başlanan bir lehimleme yöntemidir. Bununla birlikte geleneksel lehimleme yöntemlerinin ve lehimleme cihazlarının, kurşunlu lehim alaşımlarına getirilen sınırlama ve yasaklamalardan sonra geliştirilen ve geliştirilecek olan kurşunsuz lehim alaşımları için uygun olmadığı tespit edilmesi üzerine alternatif bir yöntem olarak tekrar gündeme gelmiştir [34-38].

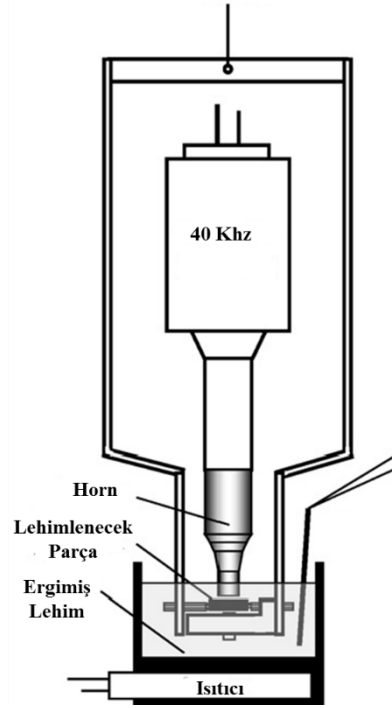
D. Odtschlagel ve arkadaşları 1977 yılında yaptıkları çalışmada ultrasonik lehimlemenin iki farklı şekilde yapılabileceğini belirtmişlerdir [39].

Bunlardan ilki aktivasyon banyoları, ikincisi ise ultrasonik titreşimin doğrudan lehim noktasının üzerine uygulanmasıyla kavitasyon yaratılmasıdır.

Her iki yöntemde de ultrasonik lehimleme; düşük frekanslı elektrik enerjisinin bir jeneratörde yüksek frekanslı elektrikselleştirilmesine çevrilmesi, elektrikselleştirilmiş titreşimlerin transduserlerde piezoelektrik ya da magnetoelektrik etkisiyle mekanik titreşimlere dönüştürülmesi ve bu mekanik titreşimlerin lehimleme yaparken horn aracılığıyla lehim noktasına ya da ergimiş lehim banyosuna uygulanmasıyla gerçekleştirilir [39].

Aktivasyon banyoları tüm kütlenin lehimlenebilmesi için kullanılan yöntemdir. Çünkü aktivasyon banyoları ile daha geniş yüzey aktive edilebilir. Aktivasyon banyolarında bir ısıtıcı ile ısıtılan lehim horn ile titreşim uygulanır. Titreşim uygulanan lehim

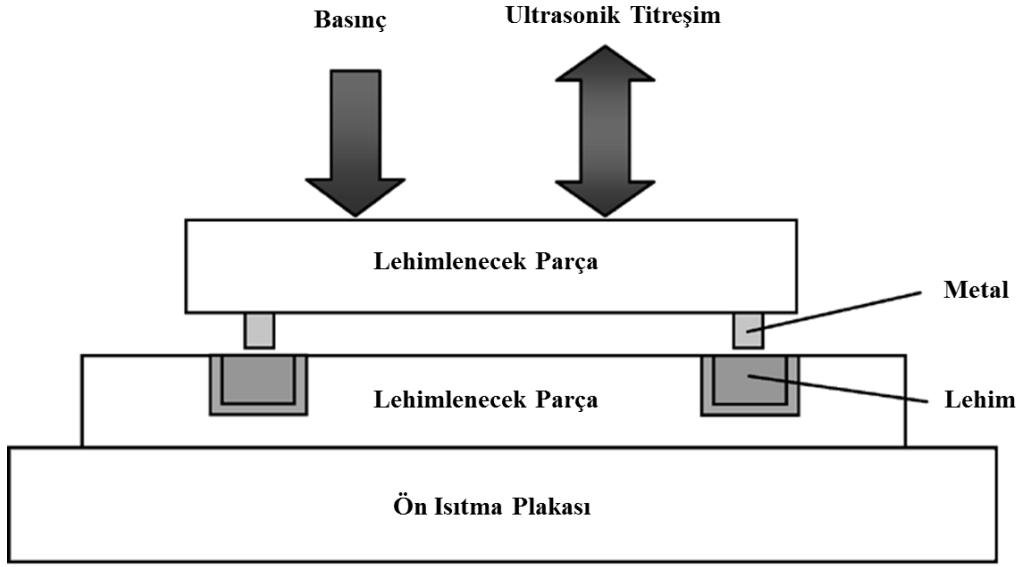
içerisine lehimlenecek yüzeyler daldırılır ve yüzey ıslatılıp metalurjik bağlar oluşturularak lehimleme gerçekleştirilir. Ergimiş lehime uygulanan titreşimle oluşan oksitler parçalanır ve flaks kullanımına gerek kalmaz. Şekil 2.14'te aktivasyon banyolarıyla ultrasonik lehimleme şematik olarak gösterilmiştir [34-40].



Şekil 2.14: Ultrasonik lehimleme [40].

Diğer bir yöntemin ise titreşimin doğrudan lehimlenecek noktaya uygulanması olduğu yukarıda belirtilmişti. Lehimlenecek parçalar sabit duracakları şekilde tutuculara yerleştirilir. Lehim alaşımı lehimlenecek parçalar arasına yerleştirilir ve lehimlenecek parçalara bir ısıtıcı ile lehimleme sıcaklığına kadar ön ısıtma yapılır. Ön ısıtma yapılan parçalara sabit basınç altında titreşim uygulanır ve lehimleme gerçekleştirilir. Lehimleme işlemi yapıldıktan sonra parçalar hava ile soğutulur. Şekil 2.15'te bu yöntem şematik olarak gösterilmiştir [39,41-42].

Ultrasonik lehimleme yönteminde prosesin verimi; lehimleme süresine, lehimleme sıcaklığına, kullanılan lehim alaşımına, kavitasyon erozyonuna, dalga yayılımına, lehimlenecek parçaların kalınlığına, geometrisine, mekanik özelliklerine, hornun şekline, lehimleme cihazının frekansına, gücüne ve uygulanan basınca bağlıdır.



Şekil 2.15: Ultrasonik lehimlemenin şematik gösterimi [42].

Lehimleme süresi arttıkça lehim noktasının dayanımı da artar fakat süre çok fazla artırırsa lehimlenecek parçalar deformasyona uğrar, kırılır veya lehimlenecek noktanın dışında özellikle boşluk ve köşelerde ergime meydana gelebilir. Lehimleme sıcaklığının artırılması lehim noktalarının dayanımını artırır. Lehimlenecek parça yüzeyinde veya ergimiş lehim üzerinde oluşan oksitler kavitasyonla parçalanacağı için kavitasyon erozyonu son derece önemlidir. Lehimlenecek parçanın kalınlığı, geometrisi ve mekanik özellikleri enerji transferini etkilediği için önemli parametrelerdir. Yalnızca lehimlenecek noktaya titreşim gönderilmesi ve lehim noktası dışında kalan alanların deformasyona uğramaması için hornun şekli son derece önemlidir. Lehimlenecek malzemelerin geometrisine göre ve titreşimi en ideal şekilde iletecek şekilde dizayn edilmelidir. Güç ve frekans birbirine bağlıdır güç artarsa frekans azalır, güç azalırsa frekans artar. Lehimleme cihazının gücünün artırılması, lehim noktasının kalınlığını azaltır ve boşluk oluşumunu artırır. Uygulanan basınç artarsa; lehim noktasının kalınlığı azalır fakat boşluk oluşumu da azalır. Lehim noktasının kalınlığının çok ince olması lehim noktasının dayanımını düşürür.

Ultrasonik lehimleme yöntemi ve geleneksel lehimleme yöntemleri arasındaki temel fark temizleme işleminin flaks yerine kavitasyon hareketiyle yapılmasıdır. Isı seviyesi ve lehim noktasının aldığı şekil aynıdır. Ultrasonik lehimleme yönteminin avantajları:

- Lehimlenmesi zor metallerin lehimlenebilmesi
- Flaks kullanılmaması

- Lehimleme işleminden önce ve sonra yapılan temizleme işleminin yapılmaması
- Flaks sıkışması oluşmadığı için lehim birleşme yerlerinin yüksek korozyon direncine sahip olması
- Keskin köşeleri ve çatlakların ıslatılmasının geliştirilmesi
- Lehim seçiminin ıslatabilme kabiliyetinden çok nihai kullanıma göre yapılmasıdır.

Yukarıda belirtilen avantajlarından dolayı flaks kullanımının ortadan kaldırıldığı, farklı ultrasonik lehimleme sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemler konu hakkında yapılan çalışmalar bölümünde detaylı olarak ele alınmıştır [34-45].

3. KONUYLA İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Ultrasonik lehimleme yöntemi; flaksa, ön temizlemeye ve lehimleme sonrasında temizleme işlemine gerek duyulmayan, korozif etkilerin ortadan kaldırıldığı, lehimlenmesi zor malzemelerin lehimlememesine olanak sağlayan kurşunsuz lehim alaşımlarının kullanımına uygun ve maliyeti düşük olan hızlı bir lehimleme yöntemidir. Ultrasonik lehimleme yöntemiyle ilgili çalışmalar 1930'larda başlamış, 1970'lerde ivme kazanmış fakat yaygın olarak kullanılmamıştır. Kurşunlu lehim alaşımlarına getirilen kısıtlamalar ve metal olmayan malzemelerin lehimlenmesi ihtiyacının ortaya çıkmasıyla ultrasonik lehimleme yöntemi tekrar kullanılmaya başlanmıştır.

Bu konuda yapılan çalışmalar, kütüphane ve digital yasal kaynaklar kullanılarak ulaşılabilir kitaplardan, makalelerden, patentlerden, farklı markaların geliştirdiği cihazlardan derlenip aşağıda ele alınmıştır.

1947 yılında L. J. Sivian ve arkadaşları, terminalleri piezoelektrik kristallerine lehimlemek için ultrasonik titreşimleri kullanmışlardır. Çalışmalarında flaks kullanmadan, lehimlenmesi zor olan alüminyum telleri, alüminyum yüzeye, bakır telleri alüminyum ve platin yüzeylere lehimlemişlerdir. Lehimlenecek telleri ve yüzeyleri ergimiş lehime temas ettirdikleri sırada ultrasonik titreşime maruz bırakmışlardır. Ultrasonik titreşimle flaks kullanmadan, daha az ısı uygulanarak lehimledikleri parçalar arasında daha kuvvetli bağların oluştuğunu görmüşlerdir [46].

Sonobond firması 1954 yılında, flaks artıklarından dolayı lehim noktalarında oluşan hataların önüne geçmek için flaks kullanmadan lehimleme yapan yüksek güçlü ultrasonik lehimleme cihazlarını geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri cihazla flaks kullanmadan alüminyum, bakır, magnezyum ve gümüşü kalay kaplamışlar ve hatasız lehimleme yapmışlardır [47].

1957 yılında J. B. Jones ve arkadaşları, ultrasonik titreşim kullanarak lehimleme yapabilmek için uzun çalışma ömrü olan, transduserin aşırı ısınmasının engellendiği

ultrasonik havayı geliştirmişlerdir. Geliştirilen havyada güç kaynağı olarak bir jeneratör, frekans oluşturmak için osilatör, oluşturulan frekansı güç seviyesi için gerekli olan değere yükseltmek için amplifikatör (yükseltici), nikel içeren manyetostriktif transduseri polarize etmek için doğru akım polarizasyon kaynağı kullanmışlardır. Oluşturulan frekanstaki titreşimi havya ucu ile lehimlenecek yüzeylere veya ergimiş lehime uygulayarak lehimleme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Fakat geliştirdikleri ultrasonik havyanın gücü ve frekansı konusunda herhangi bir bilgi bulunamamaktadır [48].

1957 yılında M. E. Weiss ve arkadaşları, ergimiş lehim metal yüzeyine uygularken, titreşim de uygulayarak metal yüzeyindeki oksitleri parçalamak, metal yüzeyini temizlemek ve lehimleme işlemini kolaylaştırmak için ultrasonik havya geliştirmişlerdir. Daha önce geliştirilen havyalarda transduserin lehimleme ısısından zarar görmesini önlemek için, lehimleme sıcaklığı düşürülmüş bu durum transduserin zarar görmesini engellemiş fakat lehimleme verimini de düşürmüştür. M. E Weiss ve arkadaşları sıcaklığı düşürmeden transduserin zarar görmesini engellemeyi amaçlamışlardır. Lehimleme işleminde lehim eritmek için uygulanan ısının transduserine zarar vermesini engellemek için elektromekanik, baryumtitanattan oluşturulmuş transduser kullanmışlardır. Böylece lehimleme için gereken sıcaklık düşürülmeden, transduserine verilen zarar önlenmiştir. M. E. Weiss ve arkadaşları iyi bir lehimleme için gereken frekans aralığının 18 kHz ile 30 kHz olduğunu belirlemişlerdir [49].

L. A. Petermann ve arkadaşları 1960 yılında, lehimleme ısısının transduserine verdiği zararını önlemek için; ultrasonik lehimleme potalarını geliştirmişlerdir. Ultrasonik lehimleme potalarında, ultrasonik dalgaları transduserine mekanik olarak bağlanmış izolasyon silindirleri ile ergimiş lehime aktararak daldırma lehimleme yapmışlardır. Daha önce yapılan çalışmalarda ergimiş lehime aktarılan enerjinin iyi bir lehimleme işleminde için çok küçük kaldığını tespit etmişler ve ergimiş lehime aktarılan titreşim enerjisini artırmışlardır. L. A. Petermann ve arkadaşlarının geliştirdiği ultrasonik lehimleme potaları, ısıya dayanıklı lehim konteynırı, yüksek frekans jeneratörü, titanat ve piezoelektrik etkisiyle çalışan transduserden oluşmaktadır. Geliştirdikleri ultrasonik lehimleme potalarıyla, transduserin lehimleme ısısından zarar görmesini engellemişler ve ergimiş lehime aktarılan titreşimi artırmışlardır [50].

1963 yılında F. Johns ve çalışma grubu, ön temizleme işlemi yapmadan, flaks kullanmadan, otomasyona dayalı sabit hızlı konveyör, ön ısıtma lambaları, ultrasonik titreşim üreten jeneratör ve transduserden oluşan ultrasonik lehimleme sistemini geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri lehimleme sisteminde elektronik şaseleri konveyör sisteme yerleştirmişler, konveyörü sabit hızda ön ısıtma lambalarının üzerinden geçirerek lehimlenecek noktalara ön ısıtma yapmışlar, ardından lehimlenecek noktaları ultrasonik titreşime maruz bırakıp, kavitasyonla lehimlenecek noktaları temizlemişler, yeterli miktarda lehim alaşımı uygulandıktan sonra lehimlenen noktaları soğutup konveyörden almışlar ve böylece lehimleme işlemini tamamlamışlardır. Bu işlemler sırasında konveyör sürekli hareket halindedir ve lehimleme işlemi kesintisiz ve hızlı bir şekilde 20 kHz ile 80 kHz frekans aralığında gerçekleşmektedir [51].

Aynı yıllarda W. F. Walker, alüminyum lehimlemek için ultrasonik lehimleme yöntemini tercih etmiştir. Çalışmasında alüminyum üzerindeki oksitleri ultrasonik titreşimlerle parçalayarak lehimleme önündeki engeli kaldırarak, flaks kullanmadan alüminyum üzerine lehimleme yapmıştır [52].

Bilim insanlarının ultrasonik lehimleme üzerine yaptıkları çalışmalar devam etmiş ve 1966 yılında L. E. St. Jean ve arkadaşları, baskı devre kartlarını lehimlemek için çoklu ultrasonik lehim makinasını geliştirmişlerdir. Makina bir pota, pota içerisinde lehimi ergetmek için elektrikli ısıtıcı, ultrasonik titreşim üreten jeneratör ve transduserden oluşmaktadır. Pota içerisinde lehim ergitilir, potanın altına yerleştirilen geçirimli malzemeler ile ergimiş lehim üzerine titreşim uygulanır ve baskı devre kartları pota içerisine daldırılarak lehimlenir [53].

Devam eden yıllarda soğutma ve havalandırma sistemlerinde kullanılan alüminyum boruları flakssız lehimlemek için 1972 yılında J. R. Terrill ve arkadaşları, ultrasonik lehimleme yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında birbirine lehimleyecekleri alüminyum tüplerin birleşme noktalarına Pb-Sn-Zn, Sn-Zn, Zn-Al lehim alaşımını katı halde yerleştiriyorlar fakat ön ısıtma yapmıyorlar. Lehimi katı halde birleşme noktalarına yerleştirdikten sonra sadece lehimi ergitecek kadar ısıtma yapıyorlar aynı anda birleşme noktalarına yatay olarak 20 derecelik açıyla aksel olarak bir ileri bir geri ultrasonik titreşim uyguluyorlar. Uygulanan ultrasonik titreşimle ergimiş lehim kavitasyonla yüzeydeki oksitleri parçalayıp tam ıslanma gerçekleşiyor ve tüpler birbirine lehimleniyor. Farklı uzunluktaki ve kalınlıktaki alüminyum tüpleri, Pb-Sn-

Zn, Sn-Zn, Zn-Al gibi farklı lehim alaşımları ile 1000 Hz ile 100 000 Hz aralığında titreşimler uygulayarak ön ısıtmasız ve flaks kullanmadan başarılı bir şeklide lehimlemişlerdir [54].

Benzer tüpleri lehimlemek için 1976 yılında C. L. Osterkorn ve arkadaşları da, ultrasonik lehimleme yöntemini tercih etmişlerdir. Bu çalışma grubu hem aynı malzemeden yapılmış, hem farklı malzemelerden yapılmış tüpleri lehimlemişlerdir. Lehimleyecekleri tüplere malzemeye göre 700 °F- 900 °F' e kadar sıcak gazla veya alevle ön ısıtma yapmışlardır. Tercihen sıcak gaz yöntemini kullanmışlardır. Ön ısıtma yaptıkları tüpleri, ultrasonik lehim banyosunda ergittikleri Zn-Al lehim alaşımı içerisine daldırmışlar, flaks kullanmadan kavitasyonla tüp yüzeylerindeki oksitleri parçalayıp, ergimiş lehimle birleşme noktalarını ıslatıp lehimleme işlemini gerçekleştirmişlerdir [55].

Ultrasonik lehimleme yöntemi kullanılarak yapılan birleştirme işlemlerinde, güç, basınç ve zaman parametrelerinin birleştirme noktalarına olan etkisini incelemek üzere 1978 yılında V. H. Winchell ve H. M. Berg, bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında güç, basınç ve zaman parametresini incelemek üzere silisyum, alüminyum, cam ve berilyum yüzeyine alüminyum telleri lehimlemişlerdir. Silisyum yüzeyine yaptıkları lehimlemenin alüminyum telin içeriğine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Saf alüminyum ve magnezyum içeren alüminyum alaşımları silisyum yüzeyine lehimlenirken, silisyum içeren alüminyum alaşımlarının silisyum yüzeyine lehimlenemediklerini görmüşlerdir. Jeneratör gücünü ve lehimleme süresini sabit tutup farklı basınç altında yaptıkları lehimleme işlemlerinde, artan basıncın, birleşme bölgesinin alanını artırdığını tespit etmişlerdir. Güç ve basınç parametrelerini sabit tutup, farklı lehimleme sürelerinde yaptıkları çalışmalarda da birleşme bölgesinin alanının arttığını tespit etmişlerdir [56].

1978 yılında da ultrasonik lehimleme konusunda W. E. Wright ve arkadaşları, çalışma yapmışlardır. Isı değişim devreleri üzerine alüminyum eşanjörleri lehimlemek için ultrasonik daldırma lehimleme sistemini geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistem; ultrasonik titreşim uygulanan bir tank ve tank içerisinde lehimi ergitmek için gereken ısıtıcılardan oluşmaktadır. Ultrasonik titreşim uygulanan tank içerisinde Zn esaslı lehimi ergitmişlerdir. Sadece birleşme noktaları açıkta kalacak şekilde eşanjörleri ve devreleri ergittikleri lehime daldırıp, tank içerisine uygulanan ultrasonik titreşimle

birleşme noktalarındaki oksitleri temizlemişler ve ergimiş lehim birleşme noktalarına doldurarak lehimleme işlemini gerçekleştirmişlerdir [57].

1996 yılında P. T. Vianco ve arkadaşları, yapısal ve elektronik uygulamalarda ultrasonik lehimleme yöntemini incelemişlerdir. Çalışmalarını 5,08x5,08 cm² ve 0,051, 0,059, 0,318 cm kalınlıklarında bakır plakalar ve % 100 Sn ve 60 Sn-40 Pb lehim alaşımlarını kullanarak yapmışlardır. Piezoelektrik etkisiyle çalışan bir transduser kullanıp, 20 kHz frekans ve 20 W ile 70 W arasında değişen güçlerde çalışmışlardır. Lehimlenecek plakaları ergimiş lehim potasına daldırıp, plakaların yüzeyine ultrasonik titreşim uygulayarak kavitasyonla lehimlenecek noktalardaki oksitleri temizlemişler ve birleşme noktalarındaki boşluğu dışarıdan uyguladıkları basınçla ergimiş lehimle doldurmuşlar ve birleştirme işlemini başarılı bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. P. T. Vianco ve arkadaşları bu çalışmada üç farklı kalınlıktaki plakaların lehimlenme davranışlarını incelemişlerdir. Farklı kalınlıkta lehimlenen plakaların birleşme noktalarını hasarsız muayene yöntemleriyle incelediklerinde kalınlık arttıkça ıslanma performansının arttığını tespit etmişlerdir [36].

H. R. Faridi, 2000 yılında alüminyum ve paslanmaz çeliklerin flakssız ultrasonik lehimlenmesi konulu doktora çalışmasını yapmıştır. H. R. Faridi çalışmasında 50,8x25,4 mm 2024-T3 alüminyum alaşımlarını ve 25,4x25,4 mm 304 paslanmaz çelik plakaları farklı sıcaklık, süre ve yüzey şartlarında ultrasonik yöntemle lehimleyip lehim noktalarının dayanımını ve ıslanma karakteristiğini incelemiştir. 70Sn-30Pb lehim alaşımlarını plakalar arasına katı halde yerleştirip 200-300 °C kadar ön ısıtma yapmış ve 3,5 bar basınç altında, hava ve argon atmosferinde 3sn 1500 W gücünde 20 kHz lik ultrasonik titreşim uygulayıp lehimleme yapmıştır. H. R. Faridi tez çalışmasının sonunda lehim noktalarının 2024-T3 alüminyum alaşımlarının yüzeyi kimyasal olarak temizlendiğinde ve 70 Sn-30 Pb lehim alaşımı kullanıldığı zaman en yüksek mukavemeti gösterdiğini, lehimleme sıcaklığının ve lehimleme süresinin artırıldığı zaman dayanımın ve ıslanma performansının arttığını, lehimleme sıcaklığının artırıldığı zaman birleşme noktasının kalınlığının azaldığını, paslanmaz çeliklerin yüzeyinde oluşan oksitleri parçalamak için ultrasonik titreşimlerin yeterli olmadığını tespit etmiştir [37,39].

V. Lanin, 2001 yılında, elektronik endüstrisinde kurşunsuz lehim alaşımı kullanılarak, flaks kullanmadan ultrasonik lehimleme yöntemiyle yapılan lehimleme işlemlerinde birleşme noktalarının kalitesini inceleyen bir çalışma yapmıştır. V. Lanin ultrasonik

lehimleme yapabilmek için ultrasonik lehim banyolarını kullanmıştır. Banyo içerisinde kurşunsuz lehim dirençli ısıtıcılarla ergitip, 50 V voltaja sahip jeneratörle 42,1 kHz frekanslık titreşim uygulamıştır. Bu çalışma koşullarında alüminyum alaşımlarının yüzeyine kurşunsuz lehime daldırılıp 15-20sn arasında titreşim uygulandığı zaman birleşme noktasının dayanımının en yüksek değerine ulaştığını görmüştür. En yüksek mukavemet değerinin 15 sn'de 24 MPa olduğu tespit etmiştir. Titreşim uygulanan süre 15-20 sn'nin altına düşürüldüğü zaman oksitler parçalanmadığı için ıslanmanın gerçekleşmediğini tespit etmiştir. Süre 15-20 sn'nin üzerine çıkarıldığı zaman ise malzemeler aşınıp oksitlenmeye başladığı için birleşme noktalarının mukavemetinin düştüğünü ortaya koymuştur [34].

Ultrasonik lehimleme yöntemi kullanılarak ergitilen kurşunsuz lehim alaşımlarının mikroyapısını incelemek üzere 2004 yılında K. Kago, ve arkadaşları bir çalışma yapmıştır. Çalışmalarında bakır plaka üzerine Sn-Bi kurşunsuz lehim alaşımlarını ultrasonik titreşimle ergitmişler ve daha sonra elektron mikroskopuyla bakır ve Sn-Bi lehim arasında oluşan birleşme bölgesinin mikro yapısını incelemiştirler. Sn-Bi lehim alaşımlarını bakır plaka üzerine paslanmaz çelik hornla 150 W gücünde 28 kHz titreşimle ergitmişler, alüminyum hornla ise 50 W gücünde 58 kHz titreşimle ergitmişlerdir. 150 W'lık jeneratör kullanıldığında lehimin sıcaklığı termal kamerayla 150 °C olarak ölçülmüştür. Sn-Bi kurşunsuz lehim alaşımının ergime noktası 138 °C olduğu için lehim alaşımının herhangi bir ısıtıcı kullanmadan ultrasonik titreşimle ergitilebileceğini ortaya koymuşlardır. Fakat erişilen sıcaklıktaki sapmalar büyük olduğundan, endüstri uygulamaları için kabul edilemeyeceğinden dolayı sapmaları azaltmak üzere daha yüksek frekansta titreşim uygulanmıştır. 50 W 58 kHz frekansta titreşim uygulandığında sıcaklığın daha yüksek değerlere çıktığı ve sapmaların azaldığı görülmüştür. Mikroyapı incelemelerinde ultrasonik titreşim uygulanan numunelerde atomların ara yüzeyde daha düzgün yerleştiği görülmüştür. Atomlar homojen dağıldığı için birleşme noktalarının dayanımlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ultrasonik titreşim uygulanmayan numunelerde bir homojenlik olmadığı, intermetalik bileşiklerin oluştuğu ve mukavemetinin daha düşük olduğu görülmüştür [58].

2005 yılında J. H. Kim ve arkadaşları, ultrasonik lehimleme yöntemlerinde frekans, genlik ve kullanılan lehim alaşımlarının lehim noktalarının dayanımına olan etkisini incelemiştirler. 63%Sn-37%Pb alaşımını Au üzerine ön ısıtma yaparak ultrasonik

titreşim uygulayarak ergitmilerdir. 28 kHz titreşimi, 382 kPa basınç altında 4 sn uygulamışlar, 40 kHz titreşimi 255, 451 ve 647 kPa basınç altında 0,5 sn, 1 sn ve 2 sn uygulamışlardır. Çalışmalarının sonunda düşük ön ısıtma sıcaklığında ve düşük lehimleme sürelerinde ara yüzeyde intermetalik bileşiklerin oluşmadığı görülmüştür. Süre artırıldığında intermetalik bileşiklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Au üzerine 63%Sn-37%Pb uygulandığında en yüksek mukavemet 451 kPa basınçta ve 1 sn titreşim uygulandığında görülmüştür ve elektron mikroskopuyla yaptıkları incelemede 3,5 mikron kalınlığında intermetalik bileşiklerin oluştuğunu tespit etmişlerdir [42].

Z. Xu ve çalışma grubu, 2005 ve 2012 yılları arasında ultrasonik lehimleme ile $Al_2O_3p/6061Al$ ile Zn-Al lehim alaşımı arasında oluşan ara yüzeyin mikro yapısını incelemek, $Al_2O_3p/6061Al$ üzerine yapılan lehimlerin mikro yapısı ve mukavemetini incelemek, $Al_2O_3p/6061Al$ ile Zn-Al lehim alaşımları arasında oluşan ara yüzeydeki oksit filminin davranışını incelemek, 2024 Al alaşımları üzerine yapılan lehimlerin oksitlenme ve ıslanma davranışlarını incelemek üzere farklı çalışmalar yapmıştır [59-63].

Z. Xu ve arkadaşlarının yaptığı diğer bir çalışmada ise 40x10x3 mm boyutlarındaki 6061 Al alaşımları arasına Zn-Al lehim alaşımı koyularak ultrasonik lehimleme yöntemiyle birleştirilmiştir. Lehimleme yapmadan önce 40x10 x3 mm boyutlarındaki numuneler mekanik olarak 600 numaralı zımparayla zımparalanmış ve asetona daldırılarak temizlenmiştir. Temizlenen numuneler arasına Zn-Al alaşımı yerleştirilip 420 °C'ye kadar ısıtılıp 10 sn bu sıcaklıkta kalınmış ve 5 sn 5 ve 15 mikron genlikli 20 kHz lik titreşim uygulanmıştır. Lehimlenen parçaların birleşme noktalarının kayma testi yapılmış ve birleşme noktalarından kesitler alınıp elektron mikroskopunda analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda titreşimin 5 mikron genlikte uygulandığı numunelerin ara yüzeylerinde oksit tabakaları olduğu ve arayüzeyin Zn-Al'den oluştuğu görülmüştür. Genlik arttığı zaman 15 mikrona yükseldiğinde oksit tabakalarının tamamen yok olduğu ve ara yüzeyde 6061 Al ve Zn-Al alaşımı arasında kütle transferinin gerçekleştiği görülmüştür. Yapılan kayma testlerinde de genliğin artmasıyla birleşme noktalarının kayma mukavemetinin arttığı görülmüştür [59].

Zn- Al lehim alaşımı, 30 mm x 30 mm x 2 mm $Al_2O_3p/6061Al$ kompoziti üzerine açık havada 20 kHz frekanslık titreşim uygulayarak ergitilmiştir. Titreşim 3sn, 5sn ve 8sn uygulanmıştır. 5sn 420 °C'de ön ısıtma yapılmıştır. Zn-Al ve 30 mm x 30 mm x 2 mm $Al_2O_3p/6061Al$ kompoziti arasında oluşan ara yüzeyin SEM ve TEM analizleri

yapılmıştır. Titreşim uygulanan numunelerde ara yüzeylerde oksit tabakası oluşmadığı, düzlemsel olmayan bir arayüzey oluştuğu, kütle transferinin gerçekleştiği ve metalik bağların oluştuğu anlaşılmıştır. Titreşim uygulanmadan ergitilen numunelerde oksit tabakasının oluştuğu ve ıslanmanın tam olarak gerçekleşmediği anlaşılmıştır [60].

Z. Xu ve arkadaşları bir diğer çalışmalarında Zn- Al lehim alaşımı, 30 mm x 30 mm x 2 mm Al₂O₃p/6061Al kompoziti üzerine 420 °C'ye kadar ısıtıp, 5 sn bu sıcaklıkta tuttuktan sonra 200 W gücünde 20 kHz ve 5, 10, 15 mikron genliklerinde çalışan ultrasonik bir sistemle 0,5 MPa basınç altında lehimlemişlerdir. Numuneler 5sn titreşime maruz bırakıldıktan sonra açık havada soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numunelerin birleşme noktalarından kesitler alınıp SEM analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda, 10 mikron genliğe kadar Zn-Al lehim alaşımlarının Al₂O₃p/6061Al kompozitin üzerinde yayılmadıkları, 10 mikronun üzerindeki genliklerde çalışıldığında oksitlerin tamamen yok olmasına rağmen Zn-Al lehim alaşımının yayıldığı görülmüştür [61].

Z. Xu ve arkadaşları bir başka çalışmalarında, Al-Cu alaşımlarının lehimlenmesine ultrasonik titreşimin etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonunda Al-Cu kompozitleri üzerindeki oksit tabakaları yok edildiği için lehimin ultrasonik titreşimin etkisiyle mükemmel yayıldığını tam ıslanmanın gerçekleştiğini görmüşlerdir. Lehimleme süresinin artmasıyla birleşme noktalarının mukavemetinin arttığını tespit etmişler. Ultrasonik titreşim kullanarak alüminyum alaşımlarının seramik parçacıklarıyla oluşturulan kompozitlerinin lehimlenebileceğini ortaya koymuşlardır [63].

2011 yılında LI Yuan-xing ve arkadaşları, Zn-5Al lehim alaşımı kullanarak 2024 alüminyum alaşımlarını ultrasonik olarak lehimlemişlerdir ve lehim noktalarının mikro yapısını ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. 200 W gücünde, 15 mikron genliğinde 21 kHz frekansta titreşimi numunelerin üzerine uygulamışlardır. Ultrasonik titreşim lehim alaşımı içerisindeki alüminyumun 2024 Al alaşımı içinde çözünmesini sağlamıştır. Birleşme noktalarında titreşim süresinin artırılmasıyla ötektik fazların azalması görülmüştür. Ultrasonik titreşim süresinin 3 sn'den 30 sn'ye çıkarıldığında ötektik fazların %12, 9'dan % 0,9 a kadar düştüğü, kayma mukavemetinin de 149 MPa'dan 153 MPa'a yükseldiği görülmüştür [64].

2012 yılında M. Heimann ve arkadaşları, alüminyum şeritlerin oda sıcaklığında ultrasonik yöntemle silisyumlu güneş pillerine lehimlenmesini incelemişler ve başarılı olduğunu görmüşlerdir. Böylece bakır yerine alüminyum kullanılabileceğini, gümüş dolguya da gerek kalmadığını tespit etmişler ve bu durumun maliyeti düşüreceğini ortaya koymuşlardır [65].

2015 yılında D. Yonekura ve arkadaşları, cam yüzeyine Sn-Zn-Sb lehim alaşımının ultrasonik yöntemle lehimlenebilmesini incelemişlerdir. Bu çalışmada Sn-Zn-Sb lehim alaşımı cam yüzeyine 5 W gücünde 60 kHz frekanslı ultrasonik havya ile lehimlenmiştir. 2 sn titreşim uygulandıktan sonra sıcaklığın yaklaşık 623 °K olduğu görülmüştür. Sn-Zn-Sb lehim alaşımının cam yüzeyini ultrasonik yöntemle diğer yöntemlere oranla çok daha iyi ıslattığı tespit edilmiştir. Sn-Zn-Sb ve camın birleştiği ara yüzeyde intermetalik bileşiklerin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Cam ve lehim alaşımı arasında kimyasal bağlar oluşmuştur. Birleşme noktalarının 1,03–5,93 MPa aralığında mukavemet gösterdiği tespit edilmiştir [66].

Bilim insanlarının yaptığı bu çalışmaların yanında endüstride de ultrasonik lehimleme sistemleri geliştirilmiştir. Endüstride S-Bond Technologies, Solbraze, Japan Unix ve MBR Electronics gibi firmalar ultrasonik havyalar, potalar ve otomasyona dayalı sistemler geliştirmişlerdir. Fakat bu sistemlerle lehimleme yapılırken lehimi ertirmek ve ön ısıtma yapmak için ısıtıcılar kullanılmış, ultrasonik titreşimler genellikle lehimlenecek yüzeydeki oksitleri kaldırmak amaçlı kullanılmıştır.

4. ULTRASONİK LEHİMLEME CİHAZI TASARIMI

Avrupa Birliği'nde 13/02/2003 tarihinde yürürlüğe giren 2002/96/EC sayılı WEEE direktifi, elektrik ve elektronik ekipman atıklarının ayrı toplanmasını ve geri kazanımını zorunlu kılmaktadır fakat elektrikli cihazların geri dönüşümü yapılırken lehim bileşiminde bulunan kurşun, geri dönüşümün tehlikesiz atık sınıfında yapılmasını engeller ve geri dönüşüm maliyetini artırır [67]. Bu nedenle 27/01/2003 tarihinde Avrupa Konseyi tarafından kabul edilen 2002/95/EC numaralı önerge ile zararlı maddelerin elektronik ürünlerde kullanımı kısıtlanmıştır. Bu durum elektrik elektronik sektöründe yaygın olarak kullanılan lehim ve lehimleme işlemlerini de etkilemiştir. Çünkü yaygın kullanılan lehim alaşımları kurşun esaslı PbSn alaşımlarıdır. RoHS direktifine göre kurşun ve bileşikleri homojen bir malzeme içerisinde maksimum % 0,1 oranında bulunabilir [68].

RoHS direktiflerine uyum kapsamında elektronik endüstrisi için kurşunsuz lehimleme sürecine geçiş, 2000'li yılların başından itibaren başlamış ve 2006 yılının ortası itibariyle Avrupa Toplulukları Mevzuatı uyarınca tüm elektronik ürünler için geçiş süreci tamamlanmıştır. Ancak, taşıtların diğer ürünlere kıyasla çok daha fazla elektronik bileşen içermesi, bu bileşenlerin fren ve hava yastığı gibi hayati öneme sahip güvenlik donanımları içinde kullanılıyor olması ve taşıtların diğer elektronik bileşen içeren ürünlere kıyasla -40°C sıcaklıktan $+85^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa kadar çok geniş bir operasyon sıcaklığı aralığında kullanılıyor olması otomotiv sektörü için kurşunsuz lehime geçiş sürecinin sonuç lehimleme kalitesinin standartlar dahilinde olduğu garanti edilene kadar kısıtlamalarla devam etmesine sebebiyet vermiştir. Bu noktada Avrupa Toplulukları Mevzuatı uyarınca her taşıt için 60 g'lık maksimum kurşun içerebilme limiti getirilmiştir. Belirtilen bu sebeplerden dolayı kullanılacak tüm lehim alaşımlarının da geçiş süreci içerisinde kurşunsuz olarak geliştirilmesi ve kullanılması gerekmektedir [69-70]. Fakat geliştirilen kurşunsuz lehim alaşımlarının klasik yöntem ile lehimleme yöntemlerinde karşılaşılan sorunlar göz önüne alındığında bu

problemleri ortadan kaldıracak yeni bir lehimleme yöntemi geliştirilmesi ve bu yönteme uygun cihaz tasarımının yapılması ihtiyacı doğmuştur.

Bununla birlikte lehimleme işlemlerinde lehimlenecek yüzeylerin daha iyi ıslanması ve tam yapışmanın gerçekleşmesi için lehimlenecek yüzeylerin temizlenmesi gerekmektedir. Yüzeylerin temizlenmesi için kullanılan flaks artıkları ve flaks artıklarını temizlemek için kullanılan kimyasallar lehimlenen noktaların zaman içerisinde korozyona uğramasına sebep olmaktadır. Bu nedenle lehimleme işlemlerinde flaks kullanımının ortadan kaldırılacağı bir cihaz tasarımı yapılması da gerekmektedir.

Önceki yıllarda yalnızca metalik yüzeylerin birleştirilmesi için kullanılan lehimleme, artık metal olmayan yüzeylerin birleştirilmesi içinde kullanılmaya başlandı fakat mevcut geliştirilen lehimleme cihazları ile metal olmayan yüzeylerin birleştirilmesi zor olmaktadır. Cam, seramik gibi metal olmayan yüzeylere lehimleme yapabilmek için klasik lehimleme cihazlarının dezavantajlarını ortadan kaldıracak yeni bir lehimleme cihazı geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Bu ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak, bu tez çalışmasında kurşunsuz lehim alaşımları kullanılarak hatasız lehimleme yapabilen, lehimlenmesi zor metallerin ve cam seramik gibi metal olmayan yüzeylerin lehimlenmesine olanak sağlayan, flaks kullanımının, ön temizleme ve lehimleme işleminden sonra yapılması gereken temizleme işlemlerinin ortadan kaldırıldığı, çevre dostu ve ekonomik bir yöntem olan ultrasonik lehimleme cihazı tasarımı yapılmıştır.

Literatürde, daha önce geliştirilen ultrasonik lehimleme sistemleri incelendiğinde, yapılan çalışmaların sadece flaks kullanımını ortadan kaldırmaya yönelik sistemler olduğunu görülmüştür. Fakat günümüzdeki lehimleme cihazı ihtiyacı sadece flaks kullanımının ortadan kaldırılmasına yetmemektedir. Flaks kullanımının ortadan kaldırılmasıyla birlikte yukarıda belirtilen ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada ihtiyaçların hepsini birden karşılayacak bir cihazı tasarımı yapılmıştır.

Tasarımı yapılan cihaz ile ön ısıtma ve ön temizleme yapmadan, lehim alaşımı ve flaks kullanmadan, farklı yüzeyler hızlı bir şekilde birleştirebilmektedir.

Aşağıdaki bölümde tasarımı yapılan cihaz ve cihazın ekipmanları hakkında daha detaylı bilgiler verilmiştir.

4.1 Ekipmanlar

Mevcut ihtiyaçların karşılanması için yapılan literatür araştırmaları ve bilimsel veriler ışığında en uygun yöntemin ultrasonik lehimleme yöntemi olduğuna karar verilmiştir. Bu doğrultuda ultrasonik titreşimleri kullanarak, düşük ergime sıcaklığına sahip lehim alaşımlarının ergimesini sağlayacak, titreşimler ile lehimlenecek yüzeylerdeki oksitleri parçalayacak bir sistem tasarlanmaya çalışılmıştır. Şebeke hattından gelen elektriği, yüksek frekanslı elektriksel titreşimlere çevirip, bu titreşimlerde mekanik titreşimlere çevirerek lehimlenecek yüzeyler arasında sürtünme sağlayıp sürtünmeden dolayı açığa çıkacak ısıyla lehim alaşımının ergitilmesi planlanmıştır.

Düşük frekanslı elektrik enerjisini, elektriksel titreşimlere çevirmek için ultrasonik jeneratör, elektriksel titreşimleri mekanik titreşimlere çevirmek için transduser ve mekanik titreşimin genliğini sabitlemek için yükseltici, titreşimleri lehimlenecek yüzeye aktarmak için bir horn ve hornun lehimlenecek yüzeylere basınç uygulaması için bir basınç ünitesi, lehimlenecek parçaların yerleştrildiği ve kaymamaları için sabitlendiği bir altlık ve titreşim uygulanan sürenin kontrol edildiği kontrol ünitesinden oluşan bir cihaz tasarımı öngörülmüştür. Aşağıdaki bölümlerde cihazın ana ekipmanları hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

4.1.1 Ultrasonik jeneratör

Ultrasonik sistemler insan kulağının duyamayacağı 20 kHz ile 100 kHz frekans aralığında değişen yüksek frekans jeneratörü gerektirirler. Ultrasonik jeneratörler şebeke hattından gelen düşük frekanslı elektrik enerjisini yüksek frekanslı elektriksel titreşimlere çevirirler. Jeneratörler monofaze 220 V ile çalışır ve jeneratörün gücü ise yapılan işe bağlıdır. Jeneratör, transduser (dönüştürücü) eş eksenli bir kablo ile birleştirilmelidir [71-74].

Bu çalışmada insan kulağının duyamayacağı 20 kHz frekanstaki titreşimin gerekli sürtünmeyi sağladığı ve sürtünme sonucu lehim alaşımını ergitecek ısının açığa çıktığı hesaplanarak 20 kHz'lik frekans ve 1400 W gücünde bir ultrasonik jeneratör tercih edilmiştir. Aşağıda Şekil 4.1'de cihazın tasarımında kullanılan ultrasonik jeneratör görölmektedir. Şekil 4.2'de cihazın imalatında kullanılan jeneratörün elektronik ekipmanları görönmektedir.



Şekil 4.1: Ultrasonik jeneratör.



Şekil 4.2: Ultrasonik jeneratörün elektronik ekipmanları.

Ultrasonik jeneratörün gücü lehimleme sırasında uygulanan basınç ve titreşim genliğinin bir fonksiyonudur [74].

$$E = F \times A \quad (4.1)$$

$E = (J)$ Joule, $F = (N)$ Newton, $A = (m)$ metre

$$G = E / t \quad (4.1)$$

$G = (W)$ Watt, $E = (J)$ Joule, $t = sn$ (saniye)

E; lehimleme sırasında açığa çıkan enerji, F; lehimleme sırasında uygulanan basınç kuvveti ve A; titreşim genliği, G; güç, t; lehimleme süresidir.

Tasarımı yapılan cihazda genlik sabit olduğu için güç, lehimleme için uygulanan basınca bağlı olarak değişmektedir. Cihazın maksimum çıkış gücü 1400 W olduğu için bu güç değerine ulaşına kadar uygulanan basınç değerini artırabilecek bir donanım kullanılmıştır.

Tercih edilen genlik değeri 50 mikrondur. 50 μ genlikle 1400 W güce erişene kadar uygulanan basınç değeri değiştirilebilmektedir.

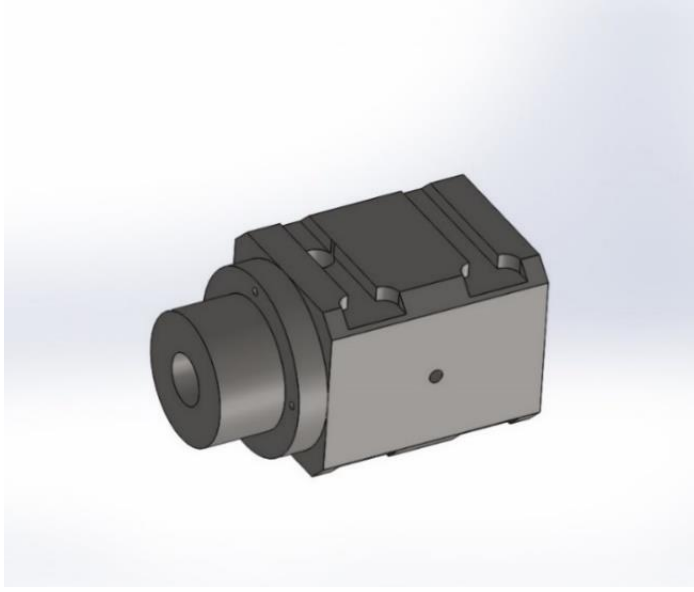
4.1.2 Dönüştürücü (Transduser)

Transdüserler, jeneratörden gelen yüksek frekanslı elektriksel titreşimleri magnetoelektrik etkisiyle ya da piezoelektrik etkisiyle mekanik titreşimlere dönüştüren devrelerdir. Magnetoelektrik etkisiyle çalışan transduserler, manyetik malzemelerin manyetik alan etkisiyle uzayıp ksalmasıyla çalışırlar ve rezonans frekansında çalıştırıldıklarında manyetik malzemeler 1/1000 oranında periyodik bir titreşim gösterirler. Magnetoelektrik etkisiyle çalışan transduserlerde manyetik özelliğe sahip bir çekirdek bulunur. Bu çekirdekler histerisiz kayıplarını düşürmek için ince tabakalardan oluşan bir nikel çubuktan yapılırlar ve tel bobin çekirdeğin etrafına sarılırlar. Çekirdek manyetik alanın etkisiyle, manyetik alanın yönünden bağımsız olarak genişler ve büzülür. Bu genişleşip büzüşmeyle elektriksel titreşimler mekanik titreşimlere çevrilir [71-74].

Piezoelektrik etkisiyle çalışan transduserler iki metal blok arasına sıkıştırılmış iki seramik parça ve bu parçaları ayıran bakır plakadan oluşur. İki bakır blok arasına yerleştirilen seramikler baryum titanat, kurşun zirkonat ve kuartz gibi sürekli kutuplaşmaya sahip asimetric iyonsal kristallerdir. Bu kristallerin iki ucuna gerilim uygulandığında eksi yükler artı elektroda, artı yükler eksi elektroda çekilir böylece eksi ve artı yük merkezleri arasındaki uzaklık artar ve kristalin boyu uzar. Elektrik alanının yönü değiştirildiğinde aynı yükler birbirini iter ve kristalin boyu kısalır. Böylece elektriksel etki mekanik büyüklüğe dönüşür [71-74].

Bu tez çalışmasında cihaz tasarımı yapılırken piezoelektrik etkisiyle çalışan baryum titanattan transduserler tercih edilmiştir. Bu tercihin temel nedeni magnetoelektrik etkisiyle çalışan transduserlerin enerji çevrim verimlerinin düşük olmasıdır. Sıvılı

soğutma gerektirdikleri için de üretim maliyetleri yüksektir. Şekil 4.3'te solidworks programında çizilmiş transduser modeli verilmiştir.



Şekil 4.3: Cihaz tasarımında kullanılan transduser modeli.

4.1.3 Yükseltici (Booster)

Yükselticilerin iki temel görevi vardır. Birincisi transduserden gelen mekanik titreşimlerin genliğini lehimleme işlemi için gereken değere yükseltmek, ikincisi ise transduseri horna bağlamaktır. Yükselticiler ergitilecek malzemenin ergime sıcaklığına göre seçilir. Düşük ergime sıcaklığına sahip malzemeler için düşük genlikli titreşim, yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemeler için yüksek genlikli titreşim gerekmektedir. Genlik tercihi; ergitilecek malzemeye, sinyal giriş ve çıkış yüzeylerinin yarı çaplarının oranına bağlıdır. Genlik yükseltme oranı sinyal giriş ve çıkış yüzeylerinin yarıçapları oranının karesine eşittir [71-74].

$$R = \left[\frac{S_1}{S_2} \right]^2 \quad (4.3)$$

R = Genlik yükseltme oranı S_1 = Sinyal giriş yüzeyinin yarı çapı

S_2 = Sinyal çıkış yüzeyinin yarı çapı

Yükseltici ve dönüştürücü aynı frekansta çalışırlar Çizelge 4.1 de genlik yükselticilerin renklerine göre, genlik oranları ve ayarlayacakları genlik değerleri tablo halinde verilmiştir.

Genlik büyüklüğü, lehimlenecek malzemenin ergimesi için yeterli büyüklükte değilse genlik değeri ergime için gerekli ısının açığa çıkacağı değere yükseltilir.

Çizelge 4.1: Genlik yükselticilerin sınıflandırılması [74].

Kod Rengi	Dış Görünümü	Genlik Oranı	Genlik
Mavi	Mavi Renkte	1/0,5	10 Mikron
Mor	Mor Renkte	1/0,6	12 Mikron
Yeşil	Yeşil Renkte	1/1	20 Mikron
Altın	Sarı Renkte	1/1,5	30 Mikron
Gümüş	Metal Renkte	1/2	40 Mikron
Siyah	Siyah Renkte	1/2,5	50 Mikron

Bu çalışmada lehim alaşımını ergitecek büyüklüğe sahip olan yükselticinin ayarlandığı genlik 50 mikrondur ve sabittir. Şekil 4. 4'te kullanılan siyah renkteki yükselticinin solidworks çizimi görülmektedir.



Şekil 4.4: Cihaz tasarımında kullanılan yükseltici modeli.

4.1.4 Horn

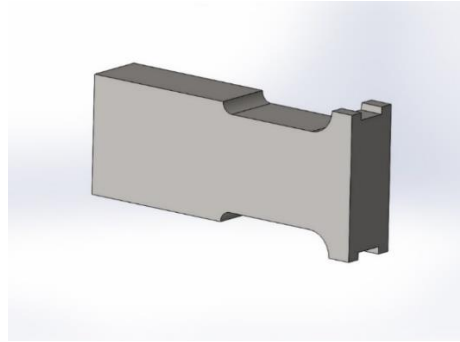
Hornlar, yükseltici (booster) ile transdusere bağlanır. Hornların temel görevi; ultrasonik titreşimleri lehimlenecek parça yüzeyine iletmektir. Bunun yanında birleşmenin gerçekleşmesi için gerekli basıncı lehimlenecek parça yüzeyine uygulamaktır. Ayrıca gerektiği durumlarda titreşimin genliğini yükseltebilir, düşürebilir ya da sabit tutabilir. Hornlar genellikle paslanmaz çelik, alüminyum veya titanyum alaşımları gibi akustik özelliklere sahip malzemelerden yapılırlar. Bu malzemeler ultrasonik titreşimleri lehimlenecek parça yüzeyine neredeyse sıfıra yakın kayıpla iletirler. Horn yapımı için kullanılan malzeme seçimi birkaç faktöre bağlıdır.

Hornun dizaynı, lehimlenecek malzemelerin çeşidi ve lehimlenecek parça miktarı gibi faktörlere bağlıdır. Genellikle düşük genlikte ve kısa süreli üretimlerde büyük horn yapımında alüminyum alaşımları tercih edilirken, yüksek genlikte uzun süreli üretimlerde titanyum alaşımları tercih edilir. Fakat alüminyum ve titanyum iyi akustik özelliklere sahip olmalarına rağmen alüminyumun aşınma direnci zayıftır. Hornların sürtünmeye dayanıklı olması gerektiği durumlarda ısıtılmış çelik tercih edilebilir. Ultrasonik uygulamalarında titreşimler dikey uygulanır. Hornlar basamaklı konik, üstel, eğrisel ve fourier tiplerinde dizayn edilir. Horn uçları lehimlenecek noktanın şekline göre dizayn edilir. Hornun boyutu dalga boyunun yarısı kadar olmalıdır. Dalga boyu ise sesin horn malzemesi içindeki hızına göre aşağıdaki 4.4 numaralı formülden hesaplanır [71-74].

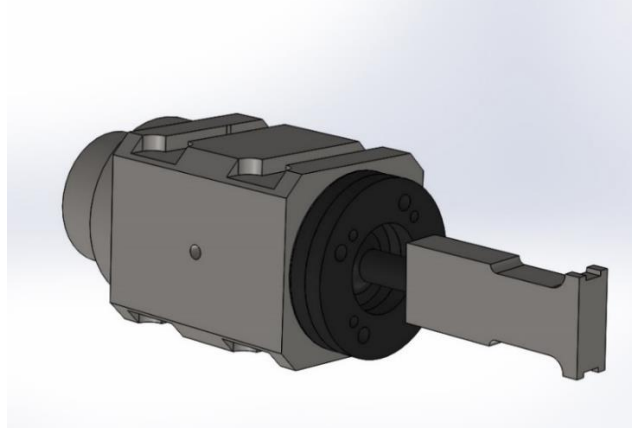
$$V = f\lambda \quad (4.4)$$

V =Ses hızı (m/sn), f = Frekans (Hz), λ =Dalga Boyu (m)

Bu tez çalışmasında tasarımı yapılan horn için sürtünmeye dayanıklı olması ve daha ekonomik olması açısından sertleştirilmiş çelik tercih edilmiştir. Ayrıca lehimlenecek malzemeler farklı ve/veya aynı tür malzeme olabileceği dikkata alınarak geri saçılım nedeni ile yük oluşumunu engellemeye yönelik olarak titreşimleri lehimlenecek yüzeylere yatay iletecek bir tasarım yapılmıştır. Çünkü metal-metal birleşme yüzeyine metal hornla titreşim temas ettiğinde eğer titreşim dikey gönderilirse aşırı yüklenme olma riski vardır. Tasarımı yapılan horn Şekil 4.5'te görülmektedir. Lehimlenecek parçaların şekli değiştiğinde bu horn cihazdan çıkarılıp uygun olan horn yerleştirilebilir. Transduser, yükseltici ve hornun birleştirilmiş tasarımı Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.5: Cihaz tasarımında kullanılan horn modeli.

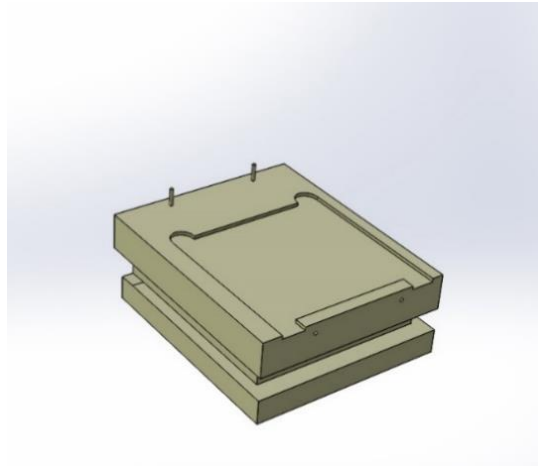


Şekil 4.6: Transduser, yükseltici ve hornun montaj modeli.

4.1.5 Altlık

Lehimleme yapılırken titreşim uygulandığında parçalarının kaymaması için, lehimlenecek parçaları sabitlemek üzere altlık kullanılır. Lehimlenecek parçalar altlık yardımıyla birbiri üzerine getirilir, merkezlenir ve lehimleme işlemi bitene kadar altlık yardımıyla hareketsiz bırakılır. Lehimleme işleminde çarpıklık gibi hataların olmaması için lehimlenecek parçaların sabitlenmesi zorunludur. Fakat sabitleme yapılırken, sabitleme ne çok sıkı ne de çok gevşek olmalıdır. Çünkü çok sıkı sabitlenirse uygulanan titreşim altlığa geçer ve lehimleme verimi düşer ve ayrıca altlık aşınır. Lehimleme işlemi sırasında açığa çıkan ısıdan altlığın zarar görmemesi için de altlık ısıya dayanıklı olmalıdır. Altlık dizaynı ise lehimlenecek parçalardan altta kalan parçaya göre dizayn edilmelidir [71-74].

Tasarımda kestamit altlık tercih edilmiştir ve Şekil 4.7’de solidworks programında çizilen modeli görülmektedir.



Şekil 4.7: Cihaz tasarımında kullanılan altlık modeli.

4.1.6 Kontrol ünitesi

Lehim noktalarının kalitesi bir çok faktöre bağlıdır. Lehim noktasının kalitesinin artırılabilmesi için, lehimleme süresi, soğuma süresi, lehimleme basıncı, lehim alaşımı miktarı gibi parametrelerin lehimleme işleminden önce ve lehimleme işlemi sırasında kontrol edilebilir olması gerekmektedir. Ultrasonik lehimleme yöntemlerinde lehim alaşımı ve uygulanan basıncın yanında titreşim uygulanan süre, soğuma süresi, cihazın gücü, frekansı ve genliği de lehimleme parametreleri arasına girmektedir. Tasarımı yapılan cihazda frekans ve genlik sabit olduğu için kontrol edilmesi gereken parametreler titreşim uygulanan süre ve hornun titreşim uygulandıktan sonra lehimlenen parçalar soğuyana kadar parçaların üzerinde beklediği süredir. Hornun hareketi için verilen komuttan sonra, hornun lehimlenecek parçanın üzerine gelip bekleme süresi, titreşim uygulayacağı süre ve titreşim uygulandıktan sonra lehimlenecek parçalar üzerinde bekleyeceği sürenin ayarlanıp, kontrol edilebilecek bir kontrol ünitesi tasarlanmıştır. Bu ünite aracılığıyla lehimleme işlemi için gereken süreler istenilen şekilde ayarlanabilmektedir.

4.1.7 Basınç ünitesi

Lehimleme işlemi sırasında lehimlenecek parçaların hareket etmesi çarpıklık, boşluk, tam yapışmama gibi bir çok probleme yol açmaktadır. Bu problemleri önlemek için lehimlenecek parçalara mekanik basınç uygulanmalıdır. Lehimlenecek parçaların yüzeyine lehim alaşımının homojen dağılması, lehimlenecek parçaların birbirine tam yapışması ve lehim noktalarının kopma mukavemetini artırmak için mekanik basınç uygulanmalıdır. Basınç lehimlenecek parça yüzeyine horn aracılığıyla uygulanır. Hornun lehimleme sırasında parça yüzeyine basınç uygulaması, lehimleme işleminden sonra parça yüzeyinden kalkıp askıda kalmasını sağlamak için bir basınç sistemine gerek duyulmaktadır. Basınç hidrolik ya da pnömatik sistemlerle uygulanabilir.

Bu tez çalışmasında tasarımı yapılan cihazda lehimlenecek yüzeye uygulanan basınç pnömatik sistemden oluşmaktadır. Çünkü pnömatik sistemler daha kolay sistemler olup daha ekonomiktirler.

Pnömatik sistemler akışkan olarak kullanılan havanın sıkıştırılması, taşınması ve kontrolü ile kuvvet oluşturulması prensibine göre çalışmaktadır [75].

Pnömatik sistemlerin büyük çoğunluğunda sıkıştırılmış atmosfer havası kullanılır. Gazlarda, basınç artışı yavaş olduğundan sıkıştırılmış havanın, bir tank içerisinde saklanması gerekmektedir [76].

Hacim, basınç ve sıcaklık değişimine uğrayan gaz, genel gaz denkleminde belirtildiği gibi davranış gösterir.

$$P \times V = n \times R \times T \quad (4.5)$$

$$P = \text{Basınç (Paskal)} \quad V = \text{Hacim (m}^3\text{)} \quad n = \text{mol sayısı}$$

$$R = \text{İdeal gaz sabiti (8.3145 J/(Mol Kelvin)} \quad T = \text{Sıcaklık (Kelvin)}$$

Kompresör, hacmi düşürerek hava basıncını artırır. 4.5 numaralı denklemden de görüldüğü gibi sıcaklık artışına sebep olur. Bu sebeple pnömatik sistemlerde fazla ısıyı tahliye etmek gerekmektedir [76].

Pnömatik sistemlerde hava kompresörden alınıp valfler aracılığıyla basınç uygulayacak cihaza iletilir. Kompresördeki havanın istenen özelliklere getirilmesi için hava şartlandırıcılar kullanılır. Bu hava şartlandırıcıları filtre, basınç regülatörü ve yağlayıcı olmak üzere üç parçadan oluşur. Lehimlenecek yüzeye uygulanacak basınç regülatörle ayarlanır.

Basıncılı hava silindirler ile doğrusal itme ve çekme hareketi yapar. Silindirler tek etkili silindir ve çift etkili silindir olmak üzere ikiye ayrılır. Tek etkili silindirlerde hava pistonu ittirir, hareket bitiminde piston, yerçekimi ya da yay etkisiyle geri döner. Çift etkili silindirlerde ise çift taraftan hava girişi vardır ve pistonun her iki hareketi de hava etkisiyle olur [75].

Silindir seçimi; silindirin kullanılacağı işe, piston çapına, silindirin modeline, bağlantı tipine ve çarpmaya göre yapılır [75].

Denklem 4.6 ve 4.7'ye göre silindir çapına ve basınca bağlı olarak çarpma kuvvetinin büyüklüğü hesaplanabilir.

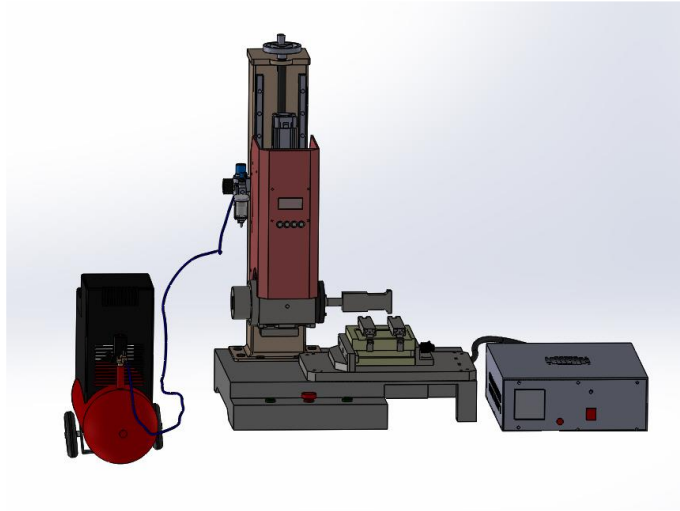
$$F = P \times A \quad (4.6)$$

$$F = \frac{P \times \pi \times D^2}{4} \quad (4.7)$$

$$F = \text{Kuvvet (N)} \quad D = \text{Silindirin iç çapı (mm)} \quad P = \text{Hava basıncı (Bar)}$$

$$n = \text{Yük (kg)}$$

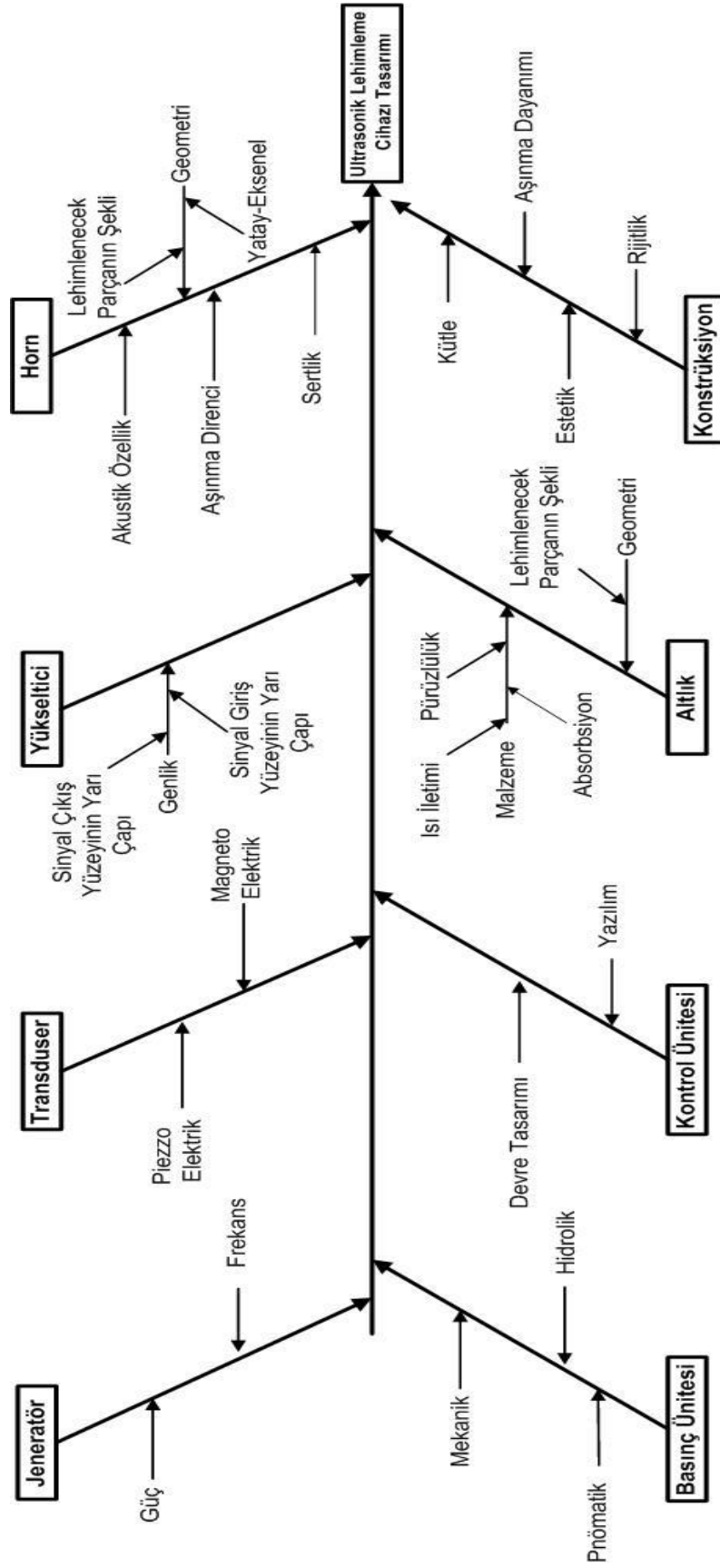
20 kHz frekansta titreşim üreten 1400 Watt çıkış gücüne sahip bir jeneratör, piezoelektrik özelliğiyle çalışan transduser, titreşimin genliğini 50 mikrona ayarlayan yükseltici, sertleştirilmiş çelikten yapılmış horn ve kestamitten yapılmış altlıktan oluşan cihaz, çelik konstrüksiyon üzerine oturtulmuştur. Cihazın tasarımı solidworks üç boyutlu çizim programında Şekil 4.8’de görüldüğü gibi yapılmıştır. Cihaz, Eltron Makina isimli firmada imal ettirilerek okul laboratuvarlarında test edilerek deneysel çalışmalarda kullanılarak bölüm 5 ve 6’da anlatıldığı şekilde eksiklikleri giderilerek tamamlanmıştır. Ultrasonik lehimleme cihazının imalattan sonraki görüntüsü Şekil 4.9’da gösterildiği gibidir. Cihaz ekipmanlarının seçimi özet olarak Şekil 4.10’daki model üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Ultrasonik lehimleme cihazı modeli.



Şekil 4.9: Ultrasonik lehimleme cihazı.



Şekil 4.10: Ekipman seçimi.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ultrasonik lehim cihazının imalatı tamamlandıktan sonra cihazın performansını test etmek amacıyla, farklı metallerin ultrasonik yöntemle birbirine lehimlenmesi için gereken koşullar belirlenmiş ve farklı metal yüzeyler birbirine lehimlenmiştir. Deneysel çalışmalarda lehimleme süresi dikkate alınarak alüminyum yüzeyine bakır klipsler ve nikel kaplı bakır klipsler ile cam yüzeyine kalay kaplı bakır klipsler lehimlenmiştir. Lehimleme işleminden sonra lehim noktalarının mukavemetine titreşim uygulanan süre ve basıncın etkisi incelenmiştir.

5.1 Deney Düzenegi

Ultrasonik lehimleme işlemi gerçekleştirmek üzere tasarlanan cihazla deneysel çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 5.1: Ultrasonik lehimleme cihazı.

5.2 Deneylerin Yapılışı

Ultrasonik lehimleme yöntemi ile lehimleme parametrelerini belirlemek üzere alüminyum üzerine bakır klipsler ve nikel kaplı bakır klipsler ile cam yüzeyine kalay kaplı bakır klipsler lehimlenmiştir.

Alüminyum plakalar yüzeyindeki pürüzlülüğü artırmak için SiC 120 numaralı zımpara ile 45°'lik açılarla zımparalanmıştır. Daha sonra alüminyum plakalar ile bakır ve nikel kaplı bakır klipsler cihazın altlık bölümüne yerleştirilmiştir. Numuneler altlığa sabitlendikten sonra, hornun lehimlenecek parça yüzeyine temas ettikten ne kadar süre sonra titreşim uygulanacağı, titreşim uygulanacak süre ve titreşim kesildikten sonra hornun lehimlenen yüzeyde bekleyeceği süre ile basıncı ayarlanıp, ön temizleme yapmadan, flaks uygulamadan ve ön ısıtma yapmadan horn bakır yüzeyine temas ettirilip azot üflenerek titreşim uygulanmıştır. Titreşim uygulanan bakır ve alüminyum arasında oluşan sürtünmeden dolayı açığa çıkan ısı ile lehimleme işlemi gerçekleştirilerek ayarlanan sürede titreşim uygulandıktan sonra lehimlenen parçalar soğuyana kadar homojen birleşme yüzeyi elde etmek için horn yüzeyde tutulmuştur. Lehimleme süresini mümkün olduğunca kısa tutmak amacıyla titreşim uygulanan süre kısa tutulmuştur. Lehimlenen numuneler kesme diski yardımıyla kesilerek, metalografi işlemi için bakalite alınıp taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile alüminyum ve bakırın birleşme bölgesinin mikro yapı incelemesi yapılmıştır. Alüminyum ve bakır numunelerde yüzeyler kolay ayırt edilebildiği için bu numunelere dağlama işlemi uygulanmamıştır. Fakat Ni kaplı Cu klipsler Al yüzeyine lehimlendiği zaman Ni ve Cu SEM görüntülerinde kolay ayırt edilemediği için bu numunelere dağlama uygulanmıştır. SEM'de Al-Cu birleşme bölgesinde difüzyon bölgesi ve oluşan intermetalikler tespit edilmiştir. Lehim noktalarının mukavemetini ölçmek için 5 mm/ dak. hızıyla çekme testleri yapıp mukavemetleri belirlenmiştir. Deneyler sırasında incelenen parametreler Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1: Lehimleme parametreleri.

Parametreler	
Süre (sn)	1-2-3-4-5-6
Basınç (Bar)	1.5-2
Klips Malzemesi	Bakır-Nikel Kaplı Bakır

5.3 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Lehimleme işleminde ve lehimleme sonrasında mukavemetin belirlenmesi, karakterizasyon yapılması için kullanılan malzeme ve cihazların listesi Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Kullanılan cihazların ve malzemelerin teknik özellikleri.

Cihaz	Marka/Model
Ultrasonik Lehimleme Cihazı	Tasarım-İmalat
Parlatma Cihazı	Presi Mecopol P230
Kesme Diski	Metacut-1E
Bakalite Alma Cihazı	Metamount-2
Taramalı Elektron Mikroskobu	JEOL JSM-7000 F
Etüv	Test
Çekme Testi Cihazı	AGS-J SHIMADZU

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER

Ultrasonik lehimleme cihazı tasarımı konusunda daha önce yapılan çalışmalar, korozif etkilerinden dolayı flaks kullanımını ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalardır. Bu tez çalışmasında ise daha önceki bölümlerde anlatılan lehimleme cihazlarına alternatif bir cihaz geliştirmek, flaks kullanımını ortadan kaldırmak, düşük ergime sıcaklığına sahip kurşunsuz lehim alaşımlarını ısıtma kaynağı olmaksızın ultrasonik titreşimler ile ergitmek, lehimleme işlemlerindeki ön ısıtma ve ön temizleme işlemlerini ortadan kaldırmak amaçlanmış ve bu amaca uygun cihaz tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan cihazla kısa lehimleme sürelerinde yüksek mukavemetli lehim noktaları elde edilmeye çalışılmıştır.

Daha önce ultrasonik lehimleme yöntemi kullanılarak yapılan lehimleme işlemleri incelendiğinde, uygulanan titreşim süresinin lehimleme açısından en önemli parametre olduğu belirlenmiştir.

Deneysel lehimlenmesi zor olan ve endüstride yaygın kullanım alanına sahip olan alüminyum ve bakır birbirine lehimlenmiştir.

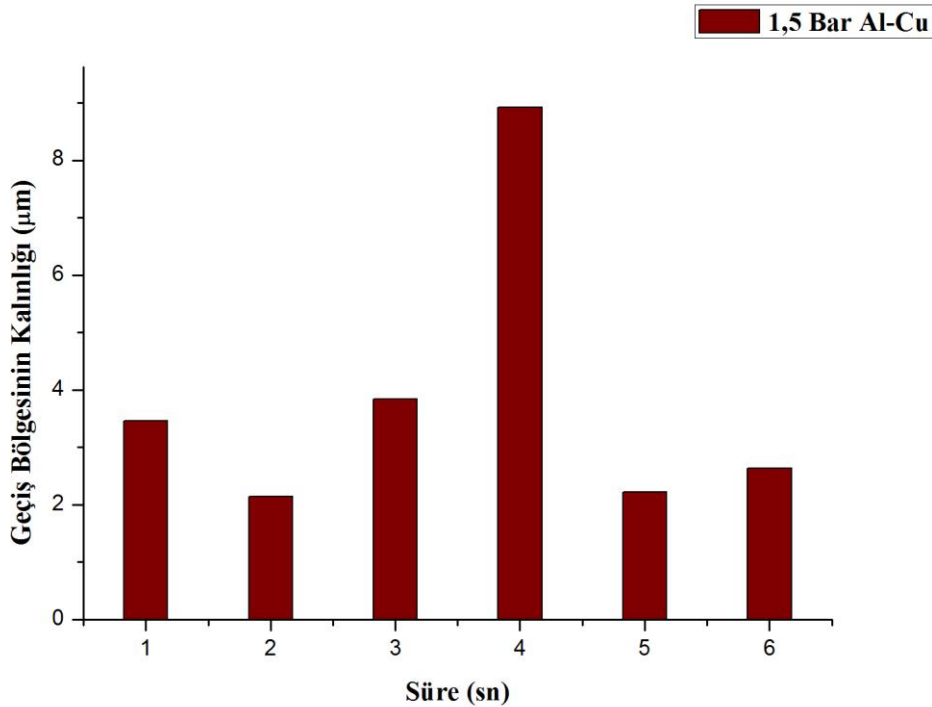
Yapılan ön deneylerde alüminyum üzerine bakır klipslerin lehim alaşımı kullanılmadan, ön ısıtma ve ön temizleme yapılmadan, flaks kullanılmadan lehimlenebildiği tespit edilmiştir. Böylece ön deneyler sırasında tasarımı yapılan cihazla farklı metal yüzeylerin kurşunsuz lehim alaşımı kullanılarak lehimlenebildiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda cam üzerine kurşunsuz lehim alaşımı kullanılarak kalay kaplı bakır klipslerin de lehimlenebildiği görülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda bakır klipslerin alüminyum yüzeyine lehim alaşımı kullanılmadan lehimlenmesine karar verildikten sonra yüksek mukavemetli lehim noktalarını elde etmek için süre, basınç ve nikel kaplı bakır klips deneyleri yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yüksek mukavemetli lehim noktası oluşturabilmek için uygulanması gereken optimum titreşim süresi ve basınç miktarı belirlenmiştir.

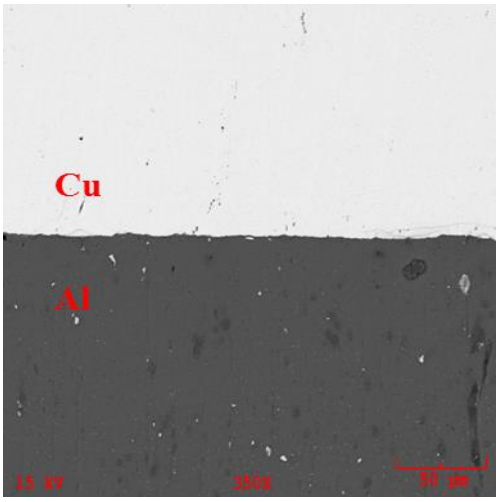
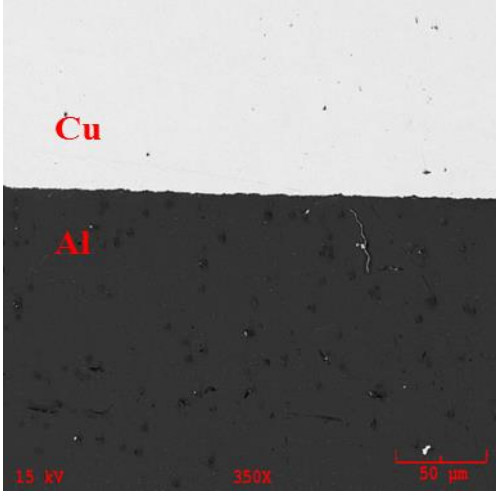
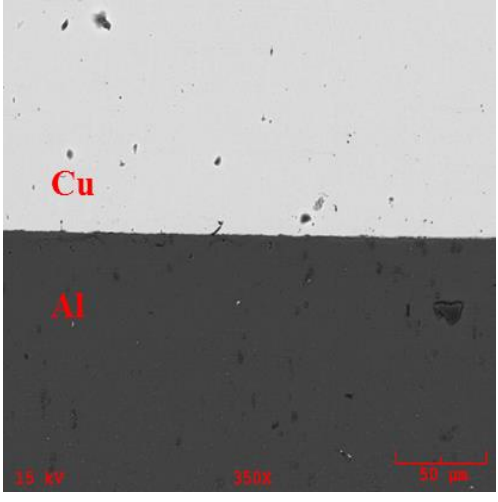
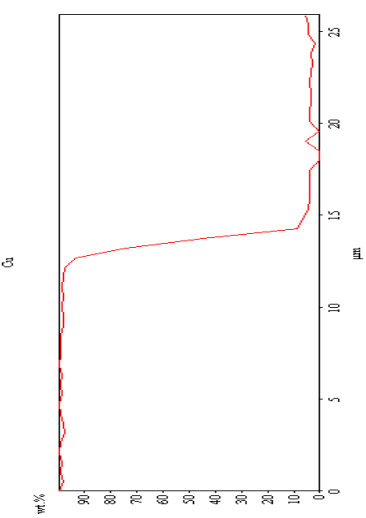
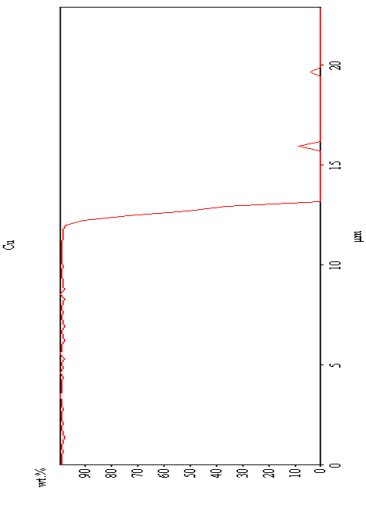
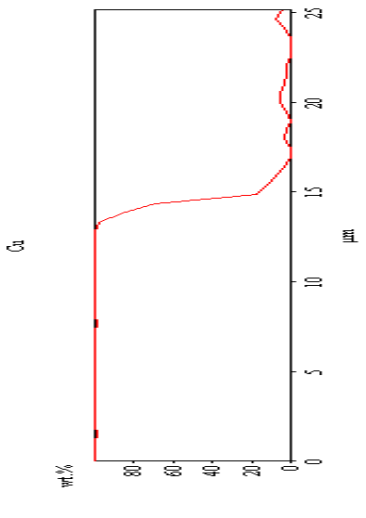
6.1 Basınç ve Süre Deneyleri

2 mm kalınlığındaki Al1100 üzerine 0,5 mm kalınlığındaki bakır klipsler lehim alaşımı ve flaks kullanılmadan, ön ısıtma yapmadan 1-2-3-4-5-6 sn titreşim uygulanarak 1,5 Bar ve 2 Bar basınç altında lehimlenmiştir.

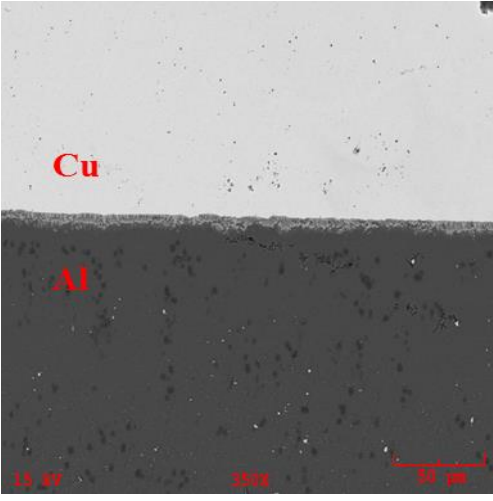
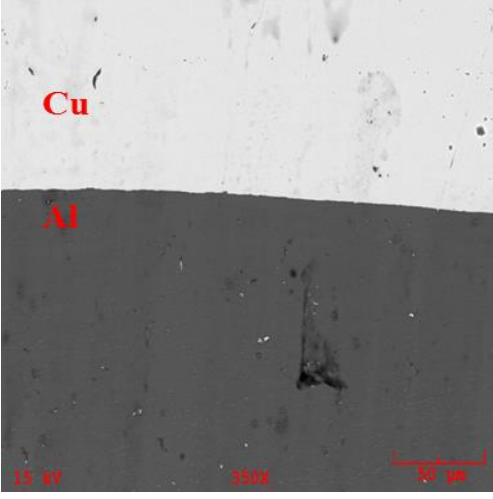
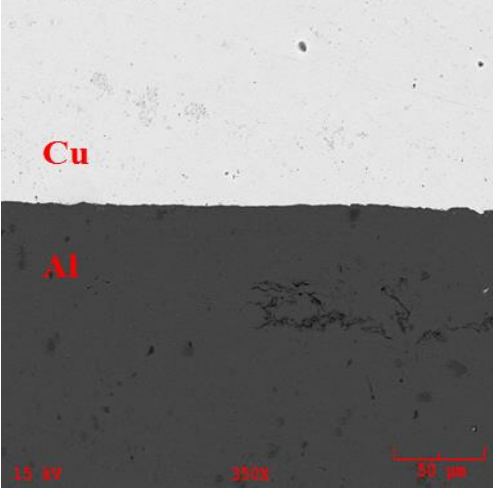
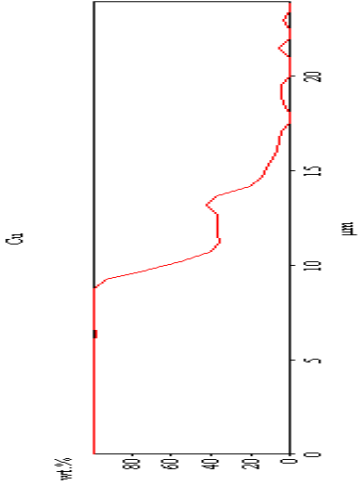
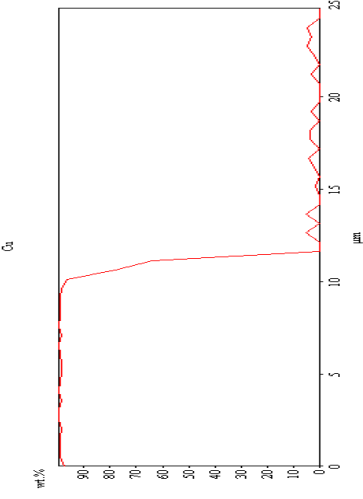
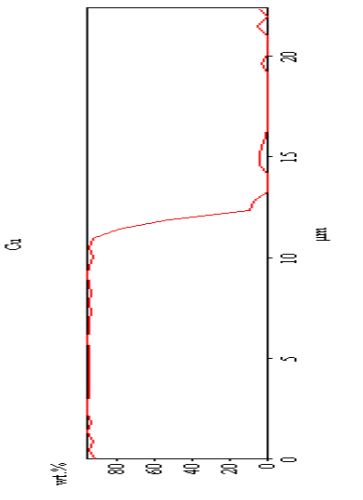
Titreşim uygulanan sürenin, birleşme bölgesinin genişliğine olan etkisini incelemek üzere yapılan deneylerde belli bir süreye kadar titreşim uygulanan süre arttıkça birleşme bölgesinin kalınlığı artmaktadır. Fakat belli bir süreden sonra titreşim uygulanan süre arttıkça birleşme bölgesinin kalınlığı azalmaktadır. Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 incelendiğinde 4 sn'ye kadar bakır ve alüminyumun birbiri içerisine geçiş bölgesinin kalınlığının arttığı görülmektedir. Artan lehimleme süresinde özellikle 2 sn'de geçiş bölgesinin 1 sn'den daha geniş 3 sn'den daha dar olması beklenirken 1 sn'den daha dar olduğu görülmektedir. Bu durumun tekrarlanan deneylerde de aynı şekilde olduğu görülmüştür ve sebebinin 2 sn'de oksitlenmenin olduğu fakat uygulanan ultrasonik titreşimin oluşan oksitleri parçalamaya yetmediği düşünülmektedir. 4 sn titreşim uygulandığında alüminyum ve bakırın geçiş bölgesinin kalınlığının 8,92 mikron olduğu görülmüştür.



Şekil 6.1: 1,5 Bar'da Al-Cu geçiş bölgesinin kalınlığının süreyle değişimi.

1.5 Bar Basınç		Süre	
		1 sn	2 sn
SEM Görüntüleri			
			
	Cu Geçiş		

Şekil 6.2: 1,5 Bar da bakırın alüminyum içerisine difüzyonu.

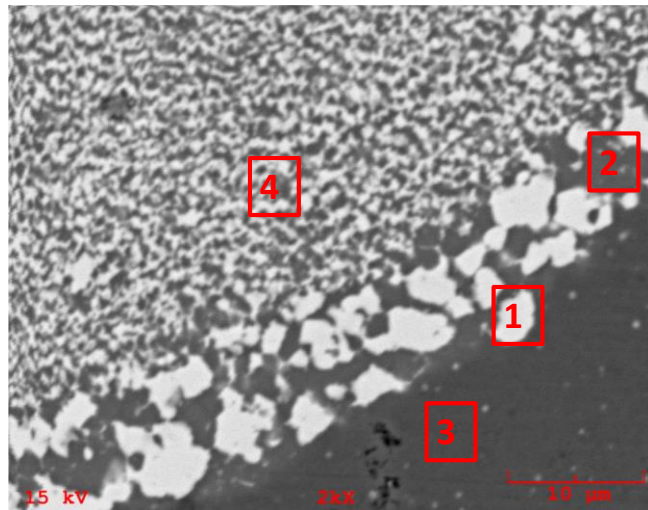
1,5 Bar Basınç	
Süre	SEM Görüntüleri
4 sn	
5 sn	
6 sn	
Cu Geçişi	
Cu Geçişi	
Cu Geçişi	

Şekil 6.3: 1,5 Barda bakırın alüminyum içerisine difüzyonu.

Ultrasonik lehimleme yöntemini kullanarak lehimleme yapan arařtırmacılarđan 1978 yılında V. H. Winchell ve H. M. Berg yaptıkları benzer bir çalışmada basınç ve gücü sabit tutup titreşim süresini arttırdıklarında birleşme bölgesinin alanının arttığını tespit etmişlerdir [56]. Benzer şekilde J.H. Kim ve arkadaşları, 2005 yılında yaptıkları çalışmada altın ve bakır zerine Sn-Pb kurşunlu lehim alaşımını 0,5 sn, 1 sn ve 2 sn ultrasonik titreşim uygulayarak ergitmişlerdir. alışmalarında artan titreşim süresiyle lehim ve taban malzemesi arasında daha kalın geçiş bölgeleri elde etmişlerdir [42].

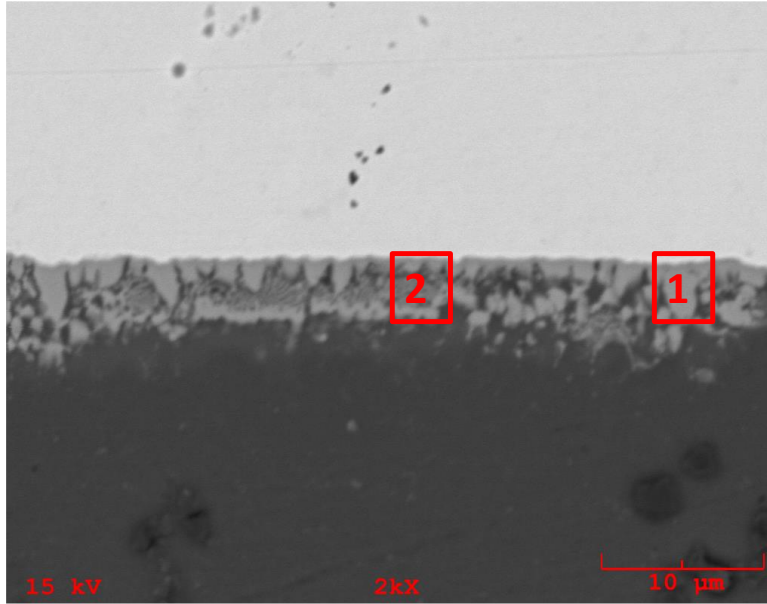
2011 yılında Y. X. Li ve arkadaşları 50x10x3 mm boyutlarındaki 2024 Al alaşımlarını 3 sn, 10 sn ve 30 sn titreşim uygulayarak Zn-5Al lehimi kullanarak lehimlemişlerdir. 3 sn titreşim uyguladıklarında 2024 Al ve Zn-Al lehimi arasında oluşan geçiş bölgesinin kalınlığının 3 sn’de 10 μ , 10 sn’de 30 μ , 30 sn’de 60 μ olduğunu tespit etmişlerdir. Böylece artan titreşim süresiyle daha kalın geçiş bölgesi oluşturmuşlardır [64]. Z. Xu ve arkadaşları, 2012 yılında yaptıkları çalışmada 2 sn titreşim uyguladıklarında yüzeydeki oksitlerin ultrasonik titreşim tarafından tam olarak parçalanamadığı için lehimin oksit yüzeyine ergidiğini fakat alüminyumla lehimin birleşme bölgesinin daha dar olduğu, 5 sn titreşim uyguladıklarında oksitlerin tamamen parçalandığı için alüminyum ve lehimin birleşme bölgesinin kalınlığının arttığını tespit etmişlerdir. Z. Xu ve arkadaşları artan titreşim süresiyle lehim ve alüminyumun birleşme bölgesinin kalınlığının arttığını tespit etmişlerdir [63].

3 sn’de ve 4 sn’de oluşan geçiş bölgesi taramalı elektron mikroskopunda incelendiğinde bu bölgelerde intermetalik bileşiklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. şekil 6.4’te 3 sn’de, şekil 6.5’te 4 sn’de oluşan geçiş bölgesi görülmektedir.



şekil 6.4: 3 sn ultrasonik titreşim uygulandığında Al-Cu geçiş bölgesi.

Taramalı elektron mikroskopunda, Şekil 6.4'te görülen 1, 2, 3 ve 4 ile gösterilen noktalara EDS analizi yapıldığında 1 ile gösterilen noktada atomik olarak % 0,755 oksijen, % 63,860 alüminyum, % 35,386 bakır olduğu görülmüştür. % 0,755 oksijenin kısmi, oksidasyondan kaynaklandığı dikkate alınarak ihmal edildiğinde Al-Cu faz diyagramları incelenip, atomik yüzde hesaplandığında görülen fazın CuAl_2 intermetalik bileşiği olduğu anlaşılmıştır. 2 ve 3 ile işaretlenen noktanın % 100 alüminyum, 4 ile işaretlenen noktada da % 81,043 Al, % 18,957 Cu olduğu görülmüştür. Şekil 5'te 1 ve 2 ile gösterilen noktalara EDS analizi yapıldığında; 1 ile gösterilen noktada atomik olarak % 0,214 oksijen, % 68,196 alüminyum, %31, 590 bakır olduğu görülmüştür. Şekil 6.5'te gösterilen 2 noktasında olduğu gibi % 0,214 oksijenin kısmi oksidasyondan kaynaklandığı dikkate alınarak ihmal edildiğinde Al-Cu faz diyagramlarına göre görülen fazın CuAl_2 intermetalik bileşiği olduğu anlaşılmıştır. 2 ile gösterilen noktada ise % 81,803 alüminyum, % 18,197 bakır olduğu görülmüştür. Buradan da anlaşılacağı üzere alüminyum ve bakır arasında bakırdan alüminyuma doğru difüzyonun gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 6.5: 4 sn ultrasonik titreşim uygulandığında Al-Cu geçiş bölgesi.

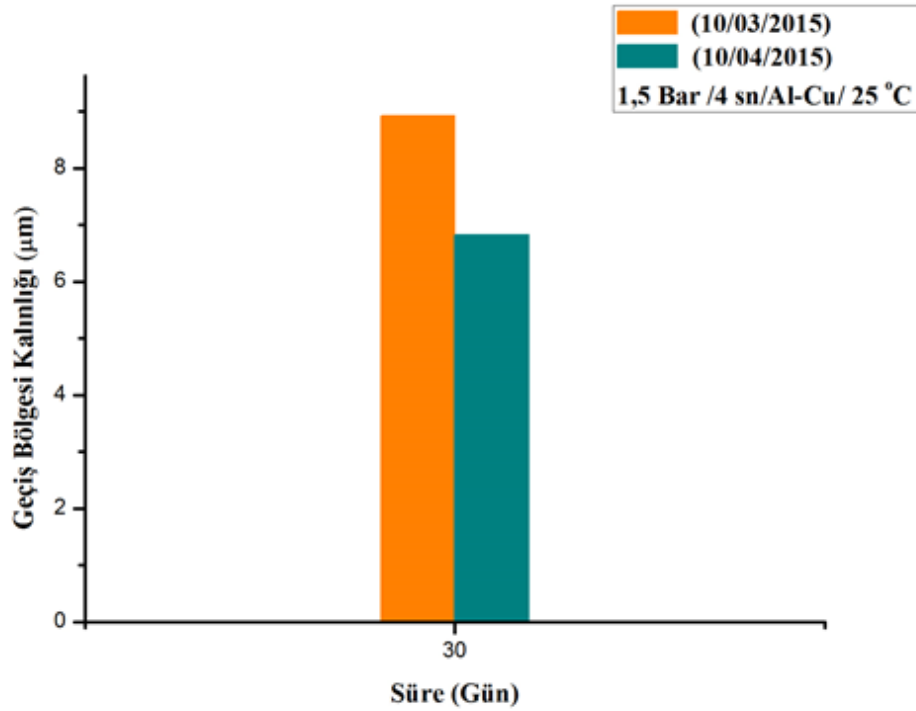
Ultrasonik lehimlemede 4 sn'den sonra 5 sn ve 6 sn'de geçiş bölgesinin kalınlığının 4 sn'ye göre daha dar olduğu görülmektedir. Bu durumun oksitlenme miktarının artmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Çünkü titreşim uygulanan süre arttıkça açığa çıkan ısı ve dolayısı ile bazik bir metal olan alüminyumun oksidasyonunun artması beklentiler ile doğru orantılıdır.

Bu konuda çalışma yapan V. Lanin 2001 yılında yaptığı çalışmada titreşimin belli süreden sonra oksitlenmeyi ve aşınmayı artırdığını ortaya koymuştur [34].

En kalın geçiş bölgesinin olduğu 4 sn titreşim uygulanan numune 30 gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra tekrar taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir. Şekil 6.6'da görüldüğü gibi Al-Cu geçiş bölgesinin kalınlığı 8,92 mikrondan 6,82 mikrona düşmüştür.

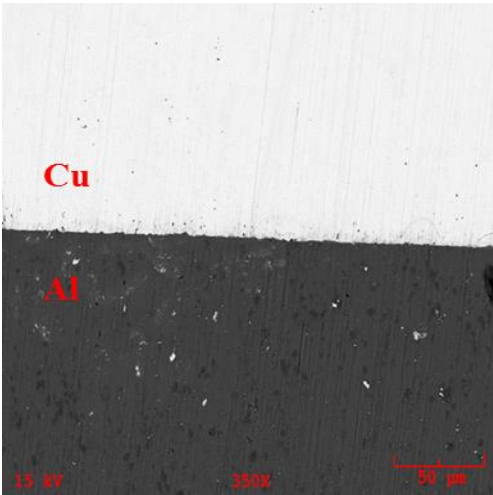
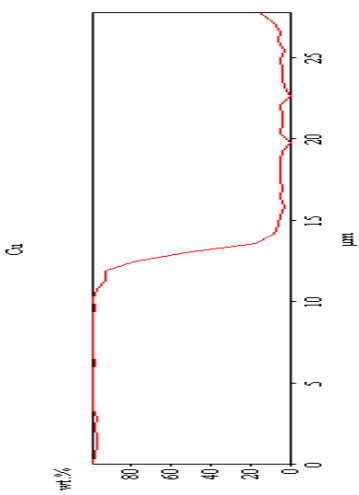
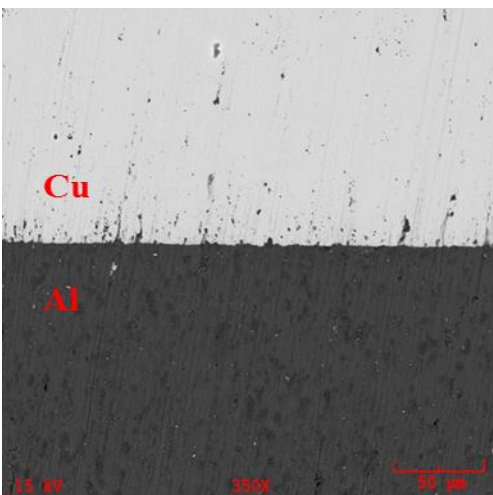
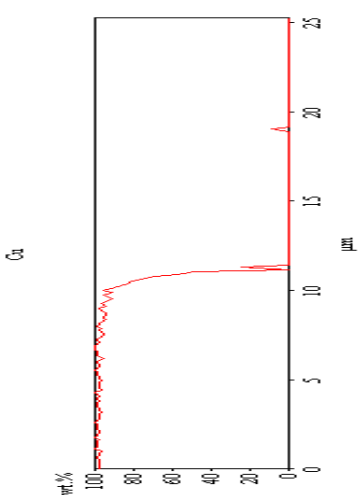
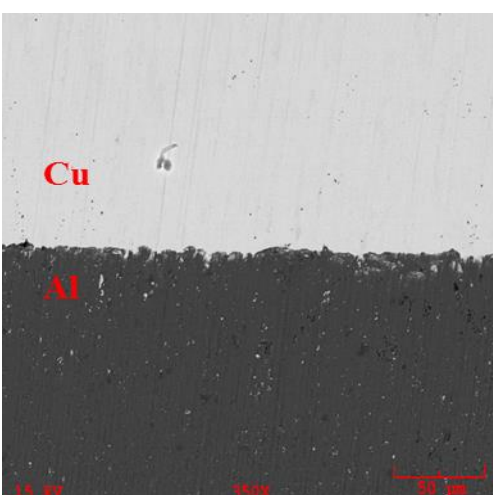
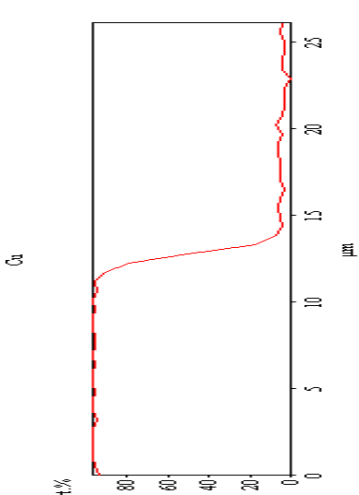
J. W. Yoon ve arkadaşları 2006 yılında yaptıkları çalışmada, lehimleme sırasında oluşan intermetalik bileşiklerin izotermal yaşlandırma sırasında parçalandığını ve intermetalik tabakasının azaldığını tespit etmişlerdir [77]. Bu tez çalışmasında da alüminyum ve bakır birleşme bölgesinin kalınlığının azaldığı tespit edilmiştir.

C.J. Hang ve çalışma arkadaşları ise izotermal yaşlandırma yapılırken geçen süreyle bakır ve alüminyum arasında oluşan intermetalik bileşiklerin büyüme oranının azaldığını bir süre sonra da çatlak oluşumuyla birlikte intermetalik bileşik oluşumunun durduğunu tespit etmişlerdir [78].

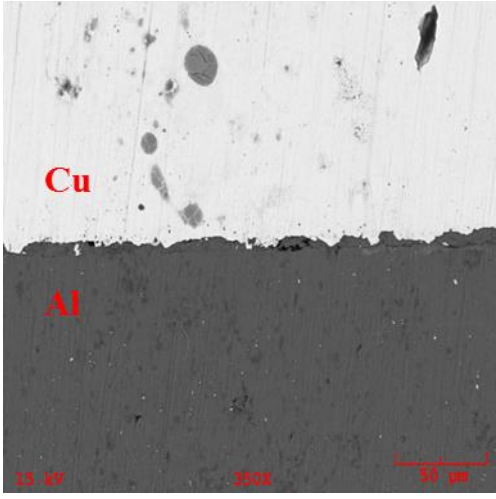
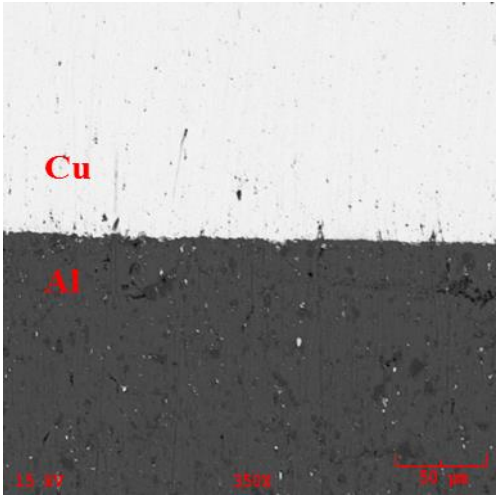
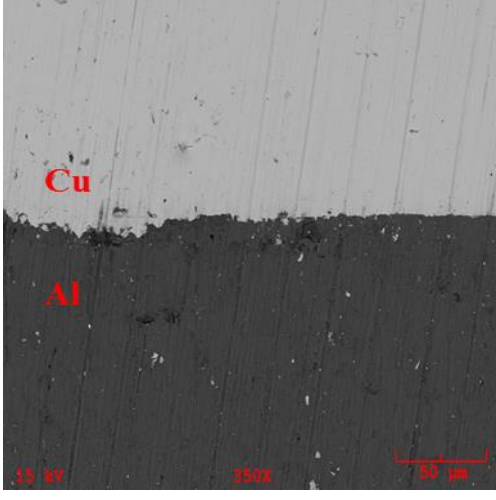
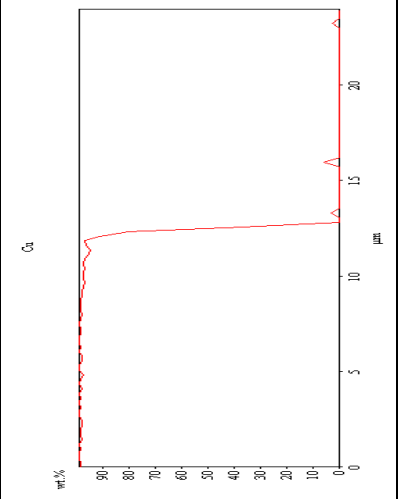
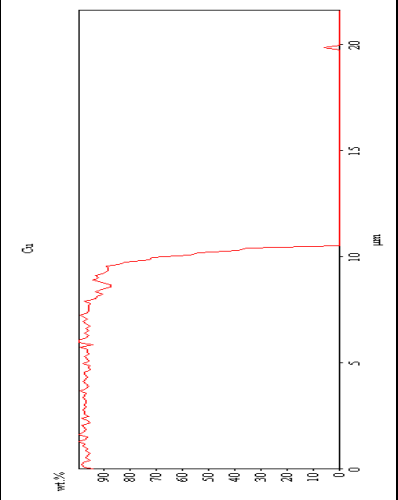
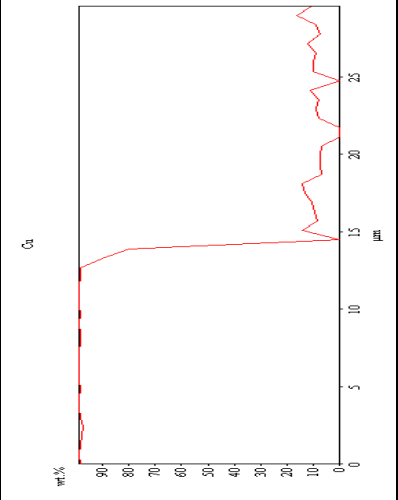


Şekil 6.6: 25 °C'de 30 gün boyunca yapılan izotermal yaşlandırmadan sonra Al-Cu geçiş bölgesinin kalınlıkların değişimi.

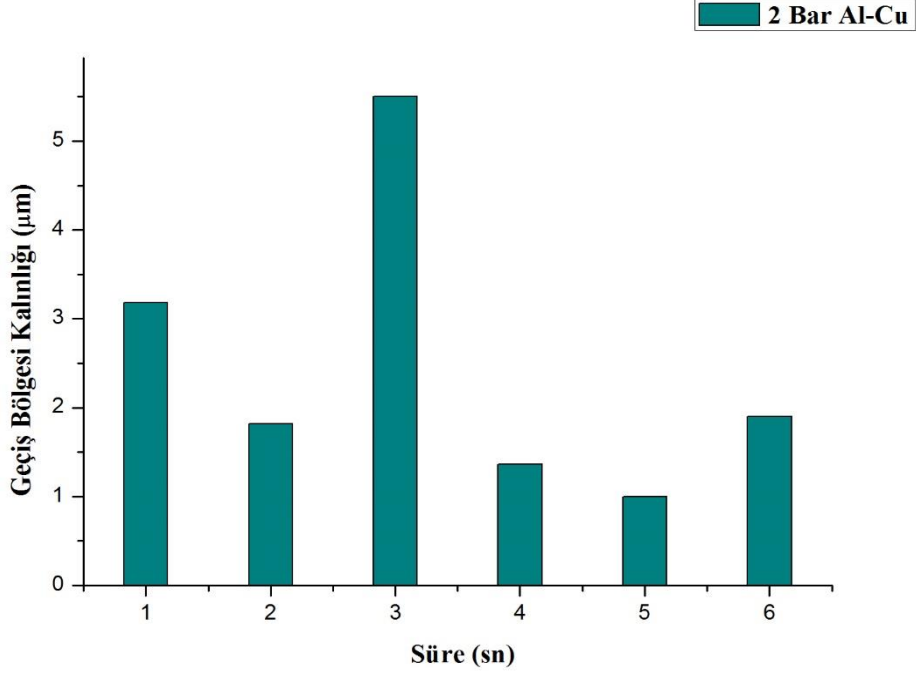
Basınç 2 bar'a yükseltilip bu değerde sabit tutularak, ultrasonik titreşim uygulanan süre artırıldığında alüminyum bakır geçiş bölgesinin mikro yapısı Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de görüldüğü gibi taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir.

2 Bar Basınç		Süre	
		1 sn	2 sn
SEM Görüntüleri	3 sn		
	2 sn		
	1 sn		

Şekil 6.7: 2 barda bakırın alüminyum içerisine difüzyonu.

2 Bar Basınç		6 sn	
		Süre	SEM Görüntüleri
Süre	SEM Görüntüleri	5 sn	
		4 sn	
		6 sn	
Cu Geçiş		5 sn	
Cu Geçiş		4 sn	
Cu Geçiş		6 sn	

Şekil 6.8: 2 barda bakırın alüminyum içerisine difüzyonu.



Şekil 6.9: 2 barda Al-Cu geçiş bölgesinin kalınlığının titreşim süresiyle değişimi.

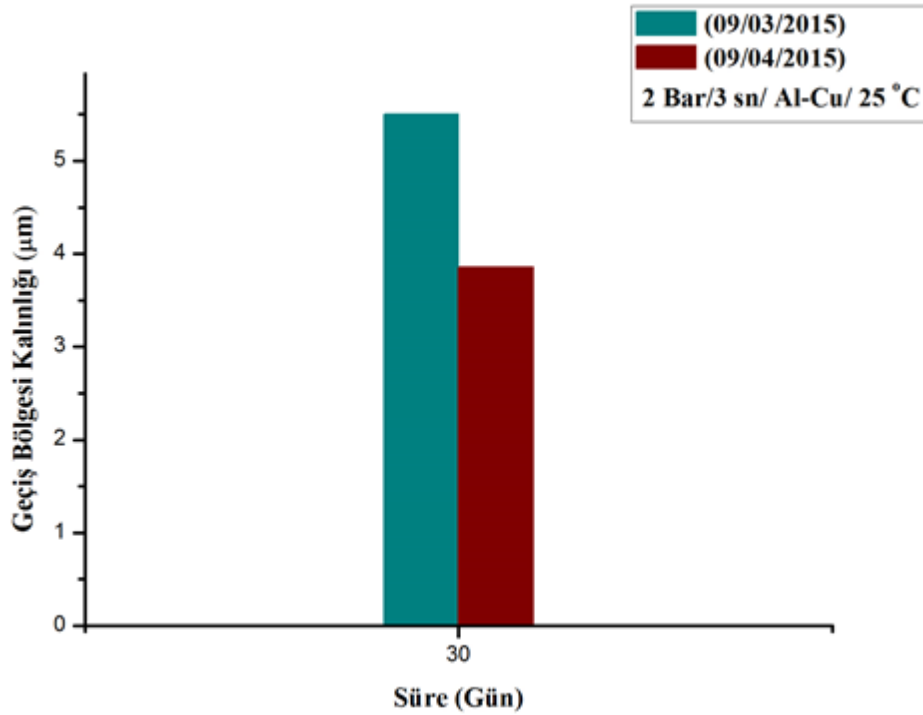
Şekil 6.9’da görüldüğü gibi sürenin artmasıyla alüminyum bakır geçiş bölgesinin 3 sn’ye kadar arttığı, 3 sn’den sonra azaldığı görülmüştür. Fakat 1,5 bar basınç uygulanıp değişen titreşim sürelerinin incelendiği deneylerdekine benzer şekilde 2 sn’deki geçiş bölgesinin 1 sn’den daha geniş olması beklenirken daha dar olduğu görülmüştür. Tekrarlanan deneylerde aynı durumla karşılaşılmıştır. Bu durumun oksitlenmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2 sn’lik titreşim sonucunda açığa çıkan ısı oksit oluşumu için yeterli olurken 2 sn’lik titreşimin yarattığı kavitasyon oksitleri parçalamak için yeterli olmamıştır. Ve oluşan oksitler Al-Cu bağlarının oluşmasına engel olmuştur. Bu konuda çalışma yapan Z. Xu ve arkadaşları 2 sn’de oluşan titreşimin oksitleri tamamen parçalayacak kavitasyonu oluşturmadıklarını belirtmiştir [63]. Geçiş bölgesinin kalınlığının en geniş olduğu 3 sn ‘de, birleşme bölgesi incelendiğinde homojen bir şekilde intermetalik bileşik oluşumu görülmemiştir.

1,5 bar ve 2 bar basınç altında aynı sürelerde titreşim uygulandığında geçiş bölgelerinin farklı kalınlıkta olduğu görülmüştür. Geçiş bölgesinin kalınlığı 1,5 bar basınçta 4 sn’de en yüksek değerine ulaşırken 2 bar basınçta 3 sn’de en yüksek değerine ulaşmıştır. Basınç arttıkça en geniş geçiş bölgesinin daha kısa sürede oluştuğu

görülmüştür böylece basıncın artmasıyla lehimleme sürelerinin kısılacığı anlaşılmıştır.

J. H. Kim ve arkadaşları basınç ve titreşim sürenin değişimiyle birleşme bölgesinin mikroyapısının değişimini incelemek üzere yaptıkları çalışmada benzer etkiyi görmüşlerdir. 0,5 sn, 1 sn ve 2 sn titreşim uygulayarak 451 kPa, 647 kPa ve 255 kPa basınç altında yaptıkları lehimleme işleminde geçiş bölgesinin 451 kPa basınç altında 1 sn titreşim uygulanmasıyla optimum değerine ulaştığını tespit etmişlerdir. Yüksek basınç, yüksek titreşim ve düşük basınç, düşük titreşim uygulandığında birleşme noktalarının hatalı olacağını, düzenli metalik bağların oluşamayacağını belirtmişlerdir [42].

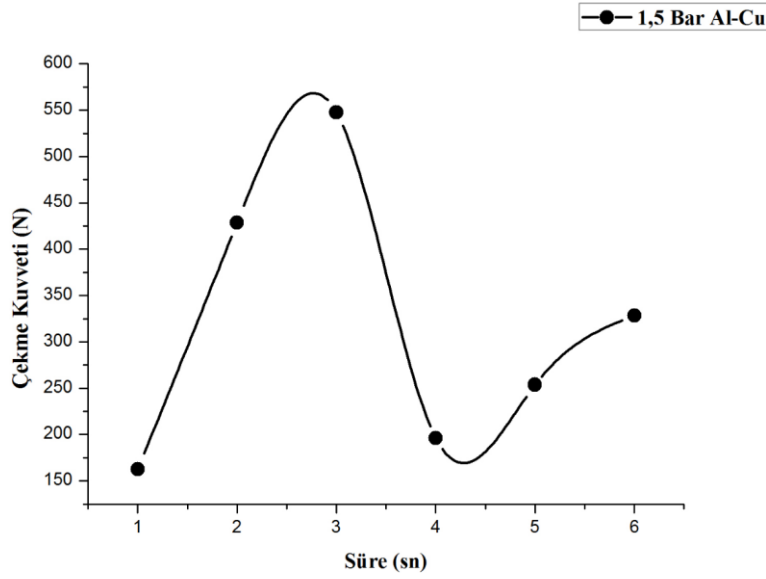
2 bar basınç uygulandığında geçiş bölgesinin en kalın değerine ulaştığı numune oda sıcaklığında 30 gün boyunca isothermal yaşlandırma yapıldığında geçiş bölgesinin kalınlığının Şekil 6.10'da görüldüğü gibi 5,5 mikrondan 3,86 mikrona azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.10: 25 °C'de 30 gün boyunca yapılan isothermal yaşlandırmadan sonra Al-Cu geçiş bölgesinin kalınlıkların değişimi.

Gerek 2 bar gerek 1,5 bar da lehimlenen numunelerin geçiş bölgelerinde 30 gün sonra yeni bir intermetalik bileşik oluşumu görülmemiştir. Lehim noktalarının

mukavemetlerini tespit etmek ve standartlara uygunluğunu kontrol etmek amacıyla oda sıcaklığında 5 mm/dak. hız ile çekme testleri yapılmıştır.



Şekil 6.11: 1,5 barda lehimlenen Al-Cu lehim noktalarının çekme dayanımlarının titreşim süresi ile değişimi.

Yapılan çekme testlerinde lehim noktalarının çekme mukavemetlerinin Şekil 6.11’de görüldüğü gibi artan süre ile belli bir süreye kadar arttığı, daha sonra azaldığı ve tekrar artış gösterdiği tespit edilmiştir. 1,5 bar basınç uygulanarak lehimlenen numunelerin çekme dayanımlarının 3 sn’ye kadar artan süre ile arttığı ve yaklaşık 548 N olarak en yüksek çekme dayanımına ulaştığı görülmektedir. 4 sn’de ise çekme dayanımının minimum değerine ulaştığı görülmektedir. Bu durumun 4 sn’de oluşan intermetalik bileşiklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. İntermetalik bileşikler kırılgan oldukları için lehim noktalarının da kırılgan olmasına neden olduğu düşünülmektedir. H. R. Faridi 2000 yılında yaptığı doktora çalışmasında 2024 alüminyum alaşımlarını lehim alaşımı kullanmadan ultrasonik yöntemle lehimlemiştir. Çalışmasında artan titreşim süresi ile lehim noktalarının mukavemetinin değişimini tespit etmek üzere sabit basınç altında 2 sn ile 12 sn arasında değişen sürelerle titreşim uygulamıştır. Artan titreşim süresi ile lehim noktalarının mukavemetlerinin arttığını en yüksek değere ise 12,62 MPa olarak 12 sn titreşim uygulandığında erişildiğini görmüştür [39]. V. Lanin 2001 yılında, elektronik endüstrisinde kurşunsuz lehim alaşımı kullanılarak, flaks kullanmadan ultrasonik lehimleme yöntemiyle yapılan lehimleme işlemlerinde birleşme noktalarının kalitesini incelemek üzere bir çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışmada alüminyum alaşımlarının yüzeyine kurşunsuz lehime daldırılıp 15-20 sn

arasında titreşim uygulandığı zaman birleşme noktasının dayanımının en yüksek değerine ulaştığını görmüştür. En yüksek mukavemet değerinin 15 sn titreşim uygulandığında 24 MPa olduğu tespit etmiştir. Titreşim uygulanan süre 15-20 sn'nin altına düşürüldüğü zaman oksitler parçalanamadığı için ıslanmanın gerçekleşmediğini ve lehim noktalarının mukavemetinin düşük olduğunu tespit etmiştir. Titreşim uygulanan süreyi 15-20 sn'nin üzerine çıkarıldığı zaman ise malzemeler aşınıp oksitlenmeye başladığı için birleşme noktalarının mukavemetinin düştüğünü ortaya koymuştur [34].

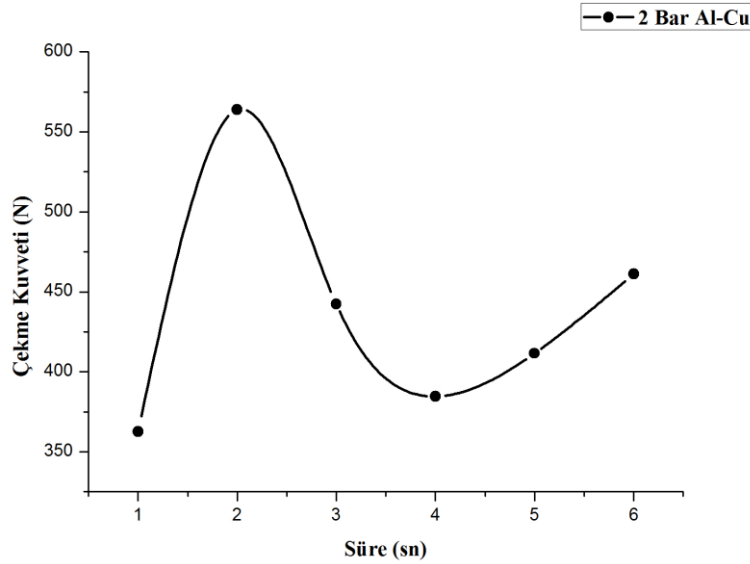
J. H. Kim ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışmada altın üzerine Pb-Sn lehim alaşımını ergitip oluşan lehim noktasının çekme mukavemetinin süre ve basınçla değişimini incelemişlerdir. 255 kPa basınç altında 0,5 sn, 1 sn ve 2 sn titreşim uygulayarak elde ettikleri lehim noktalarının çekme mukavemetlerinin uygulanan titreşim süresinin artması ile arttığını, en yüksek değerine ise 2 sn'de ulaştığını tespit etmişlerdir [42].

2009 yılında T. Nagaoka ve arkadaşları, ultrasonik yöntemle lehimlenen alüminyumların lehim noktalarının çekme dayanımlarının artan süre ile değişimini tespit etmek üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarını sabit basınç altında 0-1-2-4-6-8 sn titreşim uygulayarak gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada artan titreşim süresi ile çekme dayanımının arttığını ve en yüksek çekme dayanımının ise 130 MPa olarak 4 sn titreşim uygulandığında oluştuğunu tespit etmişlerdir. 4 sn'den sonra artan titreşim süresinin ise çekme dayanımını değiştirmedeğini görmüşlerdir [41].

Yuan xing LI ve çalışma grubu 2011 yılında 2024 Al alaşımlarını Zn-5Al lehim alaşımı kullanarak sabit basınç altında titreşim süresini 3 sn'den 30 sn'ye kadar artırarak lehimlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada lehim noktalarının mukavemetlerinin artan titreşim süresiyle değişimini incelemişlerdir. 3 sn titreşim uyguladıklarında lehim noktasının mukavemetinin 126-128 MPa olduğunu, 30 sn titreşim uyguladıklarında ise 149-153 MPa olduğunu görmüşlerdir ve artan titreşim süresi ile lehim noktalarının mukavemetinin arttığını tespit etmişlerdir [64].

Basınç 2 bara yükseltip bu değerinde sabit tutularak 1 ile 6 sn arasında değişen sürelerle titreşim uygulanarak artan basınçla lehim noktalarının mukavemetlerinin değişimi incelenmiştir. 2 bar basınçta da 1,5 bar basınçta olduğu gibi belli bir süreye kadar artan titreşim süresiyle lehim noktalarının mukavemetleri artmıştır. En yüksek değerine ulaştıktan sonra mukavemet değeri artan titreşim süresiyle azalmıştır fakat bir süre

sonra tekrar artan titreşim süresiyle artmaya başlamıştır. Şekil 6.12 'de görüldüğü gibi 2 sn'ye kadar artan titreşim süresiyle lehim noktasının çekme mukavemeti artmıştır 2 sn'den sonra 4 sn'ye kadar azalmış 4 sn'den sonra ise tekrar artmaya başlamıştır. Ancak 5 ve 6 sn'lerde lehimlenen malzemeler artan titreşim ile aşındığı için 4 ve 5 sn'lerde çalışılması önerilmez. Uygulanan basınç 2 bara yükseltildiğinde çekme dayanımınının 1,5 bar basınç uygulandığında elde edilen çekme dayanımına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Kısaca basıncın artmasıyla lehim noktalarının çekme dayanımları da artmıştır. 2 bar basınç uygulandığında en yüksek çekme mukavemeti 564 N olarak 2 sn'de lehimlenen numunelerde görülmüştür. Aynı zamanda artan basınçla en yüksek çekme mukavemetine sahip lehim noktaları daha kısa süre titreşim uygulanarak elde edilmiştir.



Şekil 6.12: 2 barda lehimlenen Al-Cu lehim noktalarının çekme dayanımlarının titreşim süresi ile değişimi.

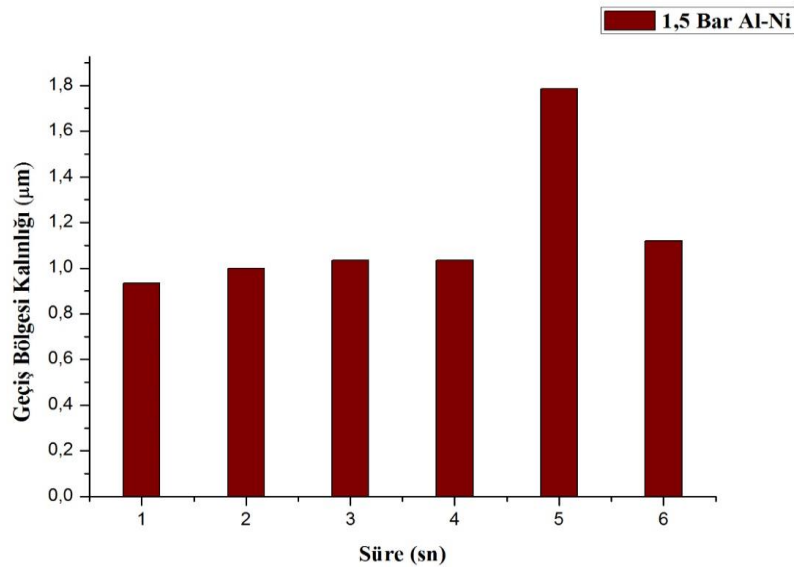
J. H. Kim ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışmada artan basınçla lehim noktalarının mukavemetlerinin değişimini incelemek üzere altın üzerine Pb-Sn lehim alaşımını ultrasonik yöntemle 255 kPa, 451 kPa ve 647 kPa basınç altında 0,5 sn, 1 sn ve 2 sn titreşim uygulayarak ergitmişlerdir. Yaptıkları çalışmada uygulanan titreşimi 0,5 sn'de sabit tutup 255 kPa, 451 kPa ve 647 kPa basınç uygulayarak lehimleme yaptıklarında artan basınçla lehim noktasının mukavemetinin arttığı tespit etmişlerdir. Titreşim süresine 1 sn'de sabit tutup 255 kPa, 451 kPa ve 647 kPa basınç uygulayarak lehimleme yaptıklarında 451 kPa'a kadar artan basınçla çekme kuvvetinin arttığı fakat 451 kPa'dan sonra artan basınçla çekme kuvvetinin azaldığını görmüşlerdir. Titreşim uygulanan süreyi 2 sn'de sabit tutup basıncı artırdıklarında artan basınçla çekme

mukavemetinin azaldığını görmüşlerdir. En yüksek çekme kuvvetini ise 451 kPa basınç altında 1 sn titreşim uygulanarak lehimlenen numunelerde 53,7 MPa olarak elde etmişlerdir. Böylece en yüksek çekme kuvvetinin düşük basınç, yüksek titreşim süresinde veya yüksek basınç düşük titreşim süresinde elde edildiğini tespit etmişlerdir [42].

T. Nagaoka ve arkadaşları da 2009 yılında lehim noktalarının mukavemetlerini incelemek üzere yaptıkları çalışmada artan basınçla lehim noktasının mukavemetinin değişiminin incelemiştir. Uyguladıkları basıncı 0-2MPa arasında artırarak 4 sn titreşim uygulayarak 1070 Al çubukları Sn-Zn lehim alaşımları ile lehimlemiştir. Yaptıkları çalışmada basıncın artmasıyla lehim noktalarının mukavemetlerinin arttığını ve en yüksek çekme mukavemetinin 2 MPa basınç uygulandığında elde edildiğini tespit etmişlerdir [41].

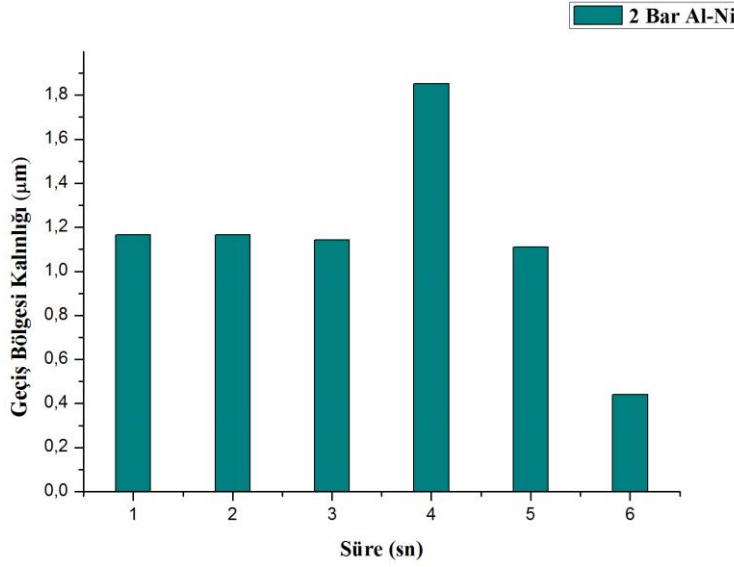
6.2 Farklı Malzeme Deneyleri

Farklı malzemelerin ultrasonik lehimleme yöntemi ile lehimlenebileceğini göstermek amacıyla farklı malzemeler kullanılarak lehimleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Nikel kaplı bakırların alüminyum yüzeyine 1,5 bar ve 2 bar basınç altında farklı sürelerde lehimlenmiştir. Nikel kaplamanın lehim noktalarının mukavemetine etkisini görmek üzere yapılan deneylerden alınan numuneler Şekil 6.19-6.22’de görüldüğü gibi taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir.



Şekil 6.13: 1,5 barda Al-Ni geçiş bölgesinin kalınlığının titreşim süresinin artmasıyla değişimi.

Şekil 6.13'te görüldüğü gibi 1,5 bar basınç uygulandığında Al-Ni geçiş bölgesinin kalınlığı 5 sn'ye kadar birbirinden çok farklı değilken 5 sn'de 1,964 mikron değerinde en kalın değerine ulaşmıştır. 6 sn'de ise geçiş bölgesinin kalınlığı tekrar 1 sn, 2 sn, 3 sn ve 4 sn'dekilere benzer şekilde incelmıştır. 5 sn'de yapılan deneyler tekrar edildiğinde yine aynı şekilde 1 sn, 2 sn, 3sn ve 4 sn'den daha kalın geçiş bölgesi elde edilmiştir.



Şekil 6.14: 2 barda Al-Ni geçiş bölgesinin kalınlığının titreşim süresinin artmasıyla değişimi.

2 bar basınç uygulandığında ise Şekil 6.14'te görüldüğü gibi geçiş bölgesinin kalınlığı 1-4 sn arasında birbirinden çok farklı değilken 4 sn'de 1,851 mikron büyüklüğünde en kalın değerine ulaşmıştır. Nikel kaplı numuların her parametrede geçiş bölgelerinin alanlarının büyüklüğünün birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. 1,5 barda ve 2 barda yapılan deneylerde geçiş bölgelerinde her hangi bir intermetalik bileşik oluştuğu görülmemiştir.

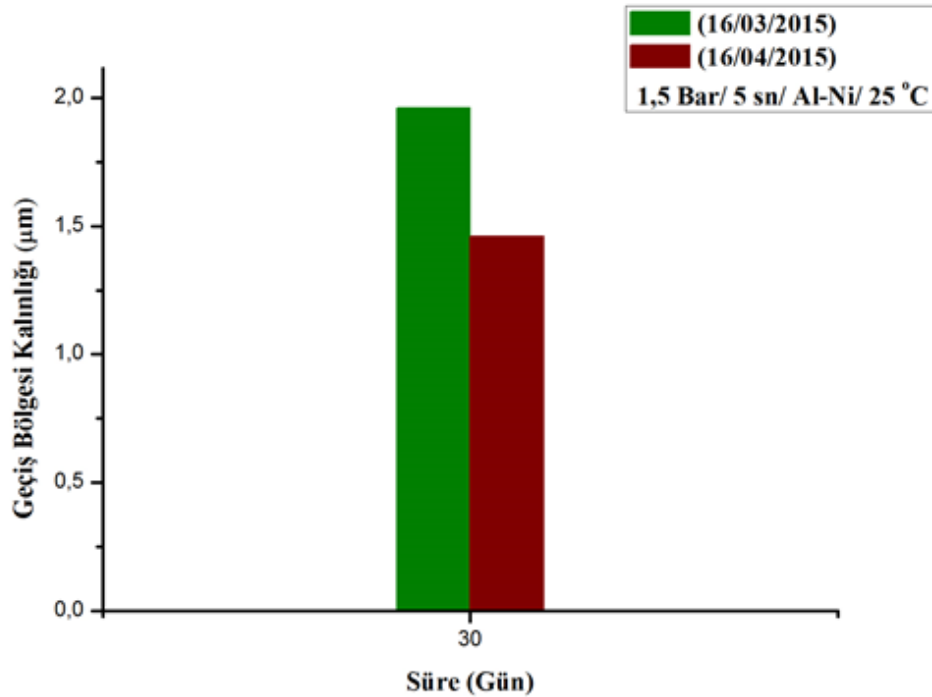
Süre ve basınç deneylerinde olduğu gibi basıncın artmasıyla lehimleme süresinin azalacağı tespit edilmiştir. Çünkü basınç arttığında en geniş geçiş bölgesinin oluştuğu süre azalmıştır. J. H. Kim ve arkadaşları da basıncın artmasıyla titreşim uygulanan süreyi azaltarak geçiş bölgesinin en optimum kalınlıkta olduğunu bulmuşlardır [42].

Nikel kaplı numunelerin geçiş bölgelerinin kalınlıklarının nikel kaplamasız numunelerin geçiş bölgesi kadar geniş olmadığı görülmüştür. Sadece bakırın alüminyum üzerine lehimlendiği numunelerde en geniş geçiş bölgesi 1,5 barda 4sn, 2

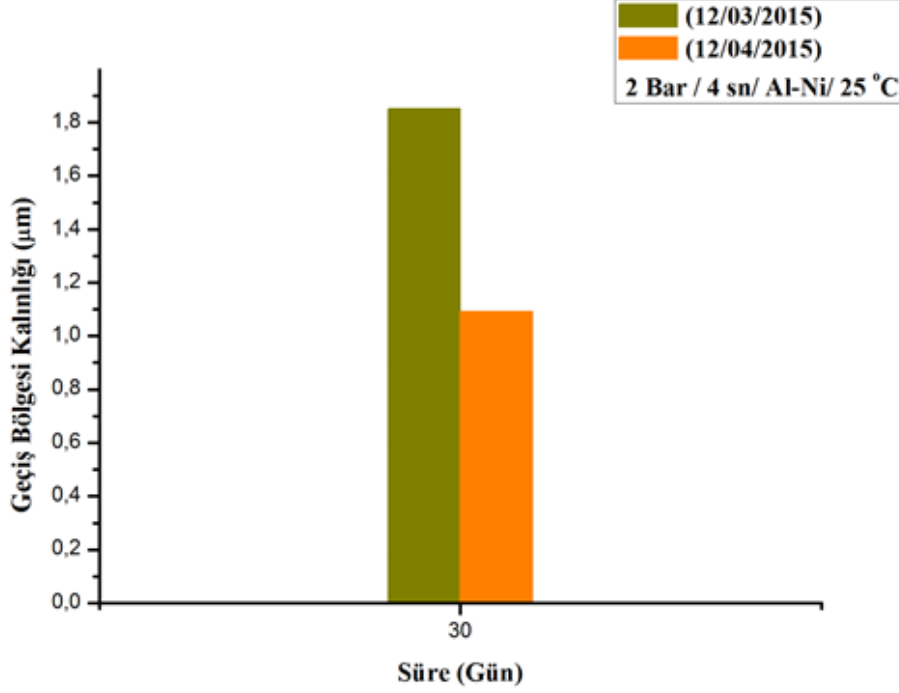
barda 3 sn olurken nikel kaplı bakırlarda 1,5 barda 5 sn olurken, 2 barda 4 sn olmuştur. Bu durumun farklı malzemelerin farklı sürtünme katsayılarına, farklı termal özelliklere, farklı lehimlenme kabiliyetlerine sahip olduklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde her malzemenin lehimlendiği, geçiş bölgesinin en kalın olduğu titreşim süresi ve basınç miktarının farklı olduğu görülmektedir.

1,5 Bar basınç uygulandığında Al-Ni geçiş bölgesinin kalınlığı en geniş olan numune oda sıcaklığında 30 gün bekletildikten sonra mikroyapısı tarmalı elektron mikroskopunda tekrar incelendiğinde Şekil 6.15'te görüldüğü gibi geçiş bölgesinin kalınlığı 1,96 mikrondan 1,46 mikrona düşmüştür.

2 bar basınç uygulandığında Al-Ni geçiş bölgesinin en kalın olduğu numune 30 gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra geçiş bölgesi tekrar taramalı elektron mikroskopunda incelendiğinde Şekil 6.16'da görüldüğü gibi geçiş bölgesinin kalınlığının 1,85 mikrondan 1,09 mikrona azaldığı görülmektedir. Al-Cu deneylerinde 1,5 bar ve 2 bar basınçta geçiş bölgelerinin 30 gün sonra incelediği gibi Al-Ni geçiş bölgelerinin kalınlığının da 30 gün sonra incelendiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.15: 25 °C'de 30 gün isotermlerle yaşlandırma yapıldıktan sonra Al-Ni geçiş bölgesinin kalınlıklarının değişimi.



Şekil 6.16: 25 °C’de 30 gün boyunca yapılan izotermal yaşlandırmadan sonra Al-Ni geçiş bölgesinin kalınlıkların değişimi.

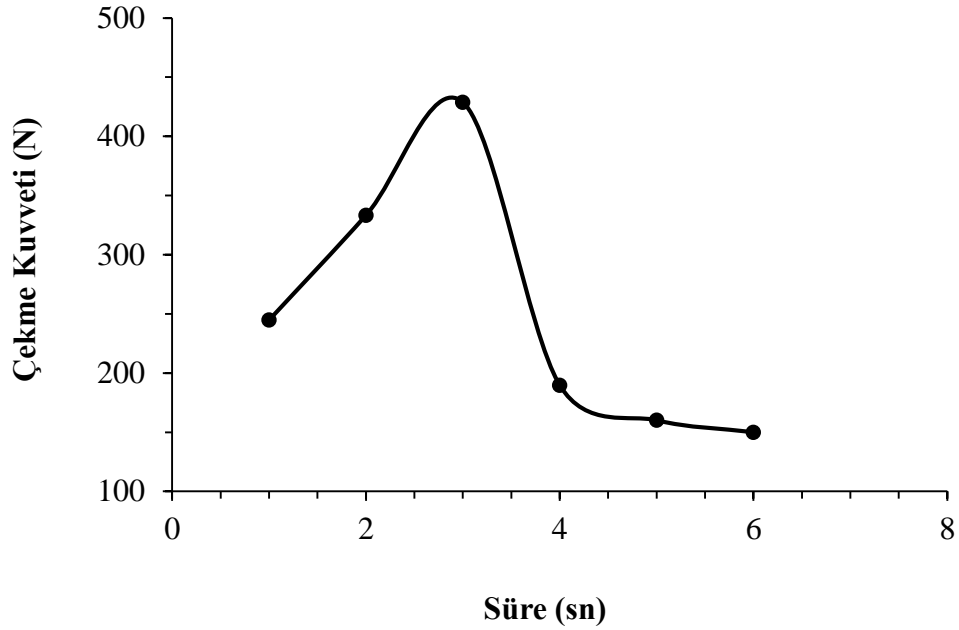
30 gün sonra hem 1,5 bar hem 2 bar basınç uygulanarak lehimlenen numunelerin geçiş bölgelerinde herhangi bir intermetalik büyüme görülmemiştir.

Farklı malzemeler ile yapılan lehimleme işlemlerinde lehim noktalarının mukavemetinin basınç ve süre ile değişimini incelemek üzere alüminyum üzerine lehimlenen nikel kaplı bakırların lehim noktalarının mukavemetleri ölçülmüştür. Lehim noktalarının mukavemetleri oda sıcaklığında 5 mm/ dak.çekme hızıyla yapılan çekme testleri ile ölçülmüştür.

1,5 bar basınç altında 1-6 sn arasında 1’er sn artan sürelerde titreşim uygulanarak elde edilen lehim noktalarının mukavemetlerinin artan titreşim süresiyle değişimi incelenmiştir. Şekil 6.17’de görüldüğü gibi 3 sn’ye kadar artan titreşim süresiyle lehim noktalarının mukavemetleri artmıştır. Ancak 3 sn’den sonra titreşim uygulanan sürenin artmasıyla lehim noktalarının mukavemetinin azaldığı görülmektedir. En yüksek mukavemet değeri ise 3 sn titreşim uygulandığında 429 N olarak elde edilmiştir.

T. Nagaoka ve arkadaşlarının 2009 yılında yaptığı çalışmada belli bir süreye kadar uygulanan titreşim süresinin artmasıyla birlikte lehim noktasının mukavemetinin arttığı ancak belli bir süreden sonra ise değişmediği görülmüştür [41].

1,5 Bar Al-Ni-Cu



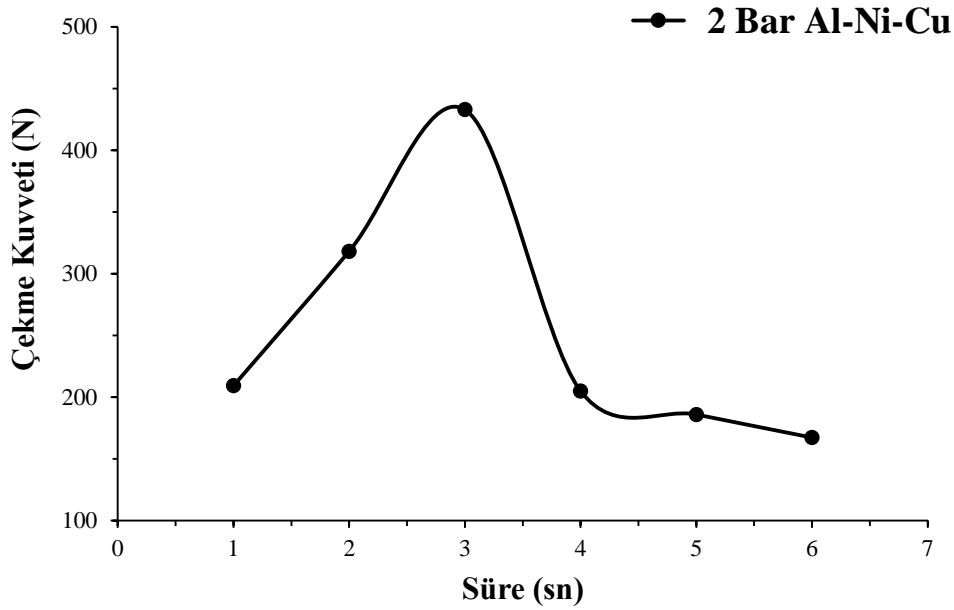
Şekil 6.17: 1,5 barda lehimlenen Al-Ni-Cu lehim noktalarının çekme dayanımlarının titreşim süresi ile değişimi.

Uygulanan basınç 2 bara yükseltilip titreşim uygulanan süre 1-6 sn arasında artırılarak elde edilen lehim noktalarının mukavemetlerinin artan basınç ile değişimi incelenmiştir.

Şekil 6.18’de görüldüğü gibi 2 bar basınç uygulanarak elde edilen lehim noktalarının mukavemetlerinin de 1,5 bar basınçtaki gibi 3 sn’ye kadar artan titreşim süresiyle arttığı, 3 sn’den sonra ise azaldığı görülmüştür. En yüksek mukavemet ise 433 N olarak 3 sn titreşim uygulandığında elde edilmiştir. 1,5 bar basınç ve 2 bar basınçta elde edilen mukavemetler karşılaştırıldığında artan süreyle değişimlerinin aynı olduğu görülmektedir. Basınç artışının büyük değişikliklere sebep olmadığı anlaşılmıştır. Alüminyum üzerine bakır klipsler lehimlendiğinde basıncın artmasıyla lehim noktalarının mukavemetlerinin arttığı, fakat nikel kaplı bakırlar lehimlendiğinde büyük değişikliğin olmadığı görülmektedir. Bu durumun farklı malzemelerin termal ve sürtünme özelliklerinin farklı olmasından dolayı lehimlenme karakterlerinde farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

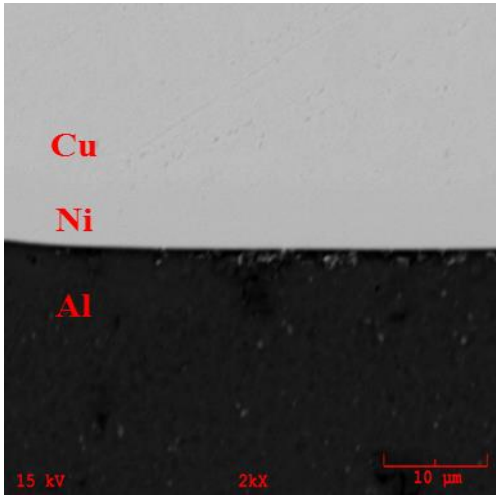
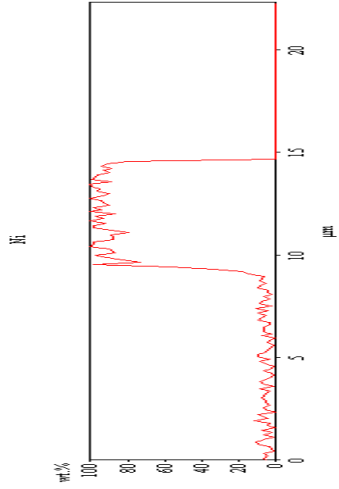
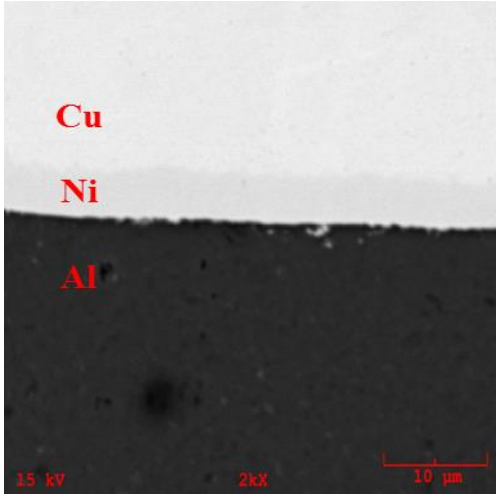
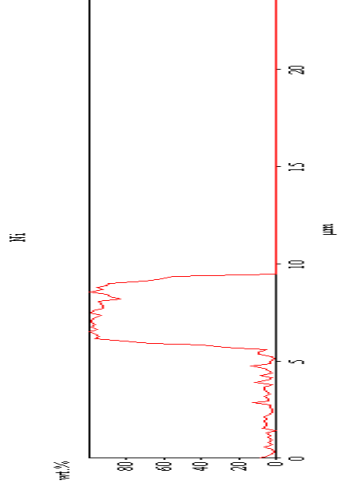
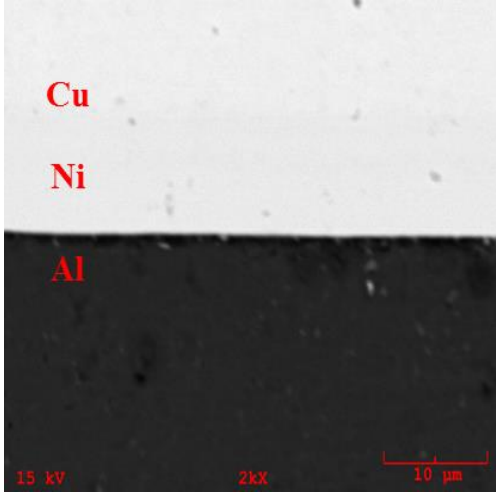
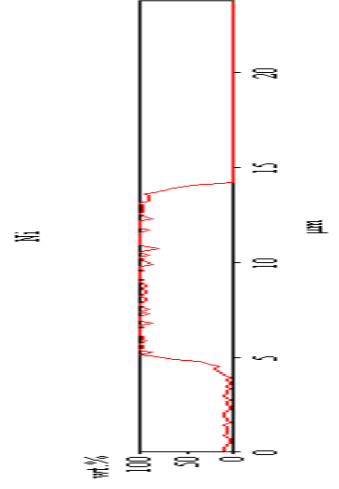
H.R. Faridi 2000 yılında yaptığı doktora çalışmasında aynı koşullarda lehim alaşımı kullanmadan 2024 alüminyum ve paslanmaz çelikleri 2-12 sn arasında artan titreşim sürelerinde lehimleyip artan süre ile lehim noktalarının mukavemetlerinin değişimini

incelemiştir. 2024 alüminyum alaşımlarının lehim noktalarının çekme mukavemeti en yüksek 12 sn titreşim uygulandığında 12,62 MPa olurken paslanmaz çeliklerin lehim noktalarının en yüksek mukavemetinin 12 sn titreşim uygulandığında 9,10 MPa olduğu görülmüştür. H. R. Faridi'nin çalışmasında da lehimlenen malzemelerin değişmesiyle, lehim noktalarının mukavemetlerinin de değiştiği tespit edilmiştir [39]. R. Kolenak ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışma ile farklı malzemeler kullanılarak yapılan lehim noktalarının mukavemetlerinin değişimini incelemiştir. Bakır üzerine 5 sn'de Au-20Sn lehimini ultrasonik yöntemle ergiterek elde ettikleri lehim noktalarının mukavemetinin 195 MPa, bakır üzerine 5 sn'de Pb-5Sn ve Pb-10Sn alaşımlarını ergittiklerinde elde ettikleri lehim noktalarının mukavemetinin ise 24 MPa ile 27 MPa olduğunu görmüşlerdir böylece lehim noktalarının özelliklerinin lehimlenen malzemenin değişmesiyle değişebildiği gözlemlenmiştir [79].

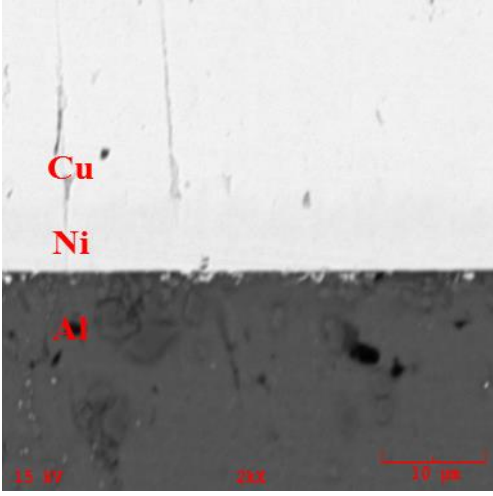
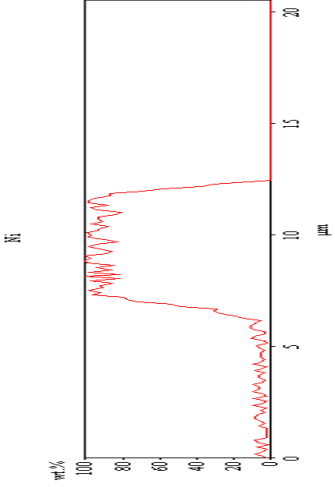
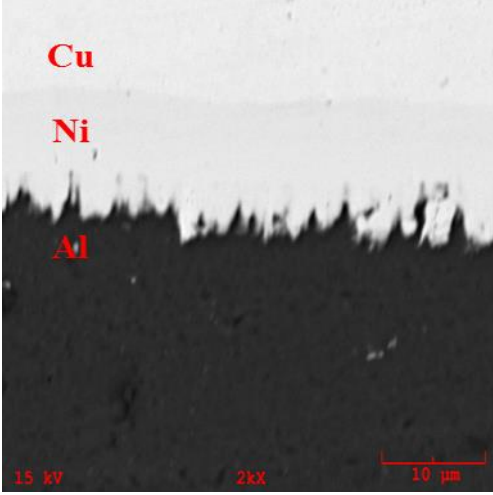
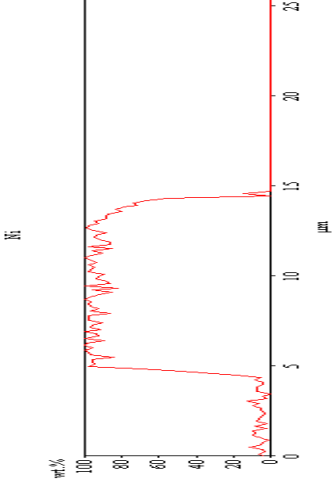
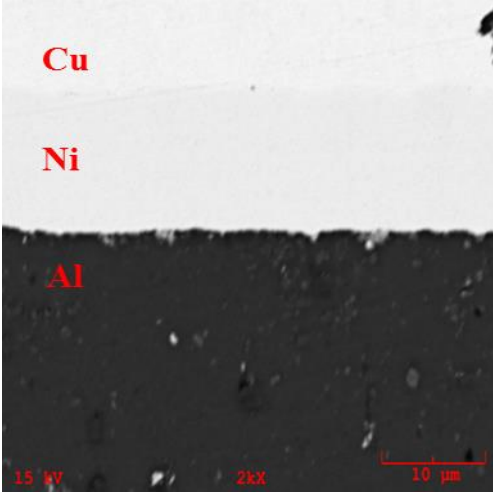
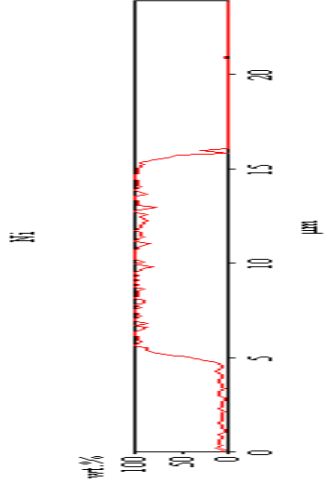


Şekil 6.18: 2 barda lehimlenen Al-Ni-Cu lehim noktalarının çekme dayanımlarının titreşim süresi ile değişimi.

Sabit süre ve basınç altında farklı malzemeler ultrasonik lehimleme yöntemi ile lehimlendiklerinde her birinin lehim noktasının mukavemetlerinin birbirinden farklı olduğu tespit edilmiş olup, farklı malzemeler ile elde edilen lehim noktalarının en yüksek mukavemetlerinin farklı basınç altında ve farklı sürelerde titreşim uygulanarak elde edildiği, malzemeye göre değişiklik gösterdiği görülmüştür.

1.5 Bar Basınç		
Süre	SEM Görüntüleri	Ni Geçişi
1 sn		
2 sn		
3 sn		

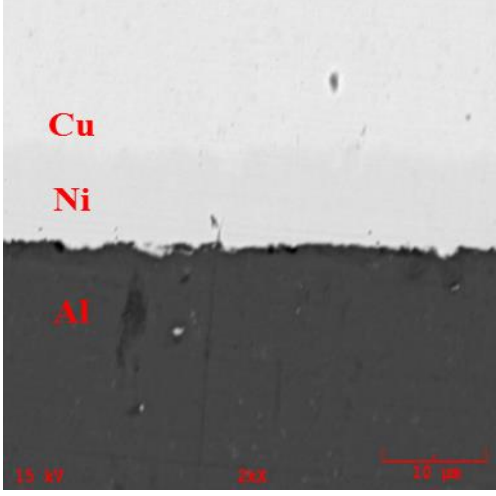
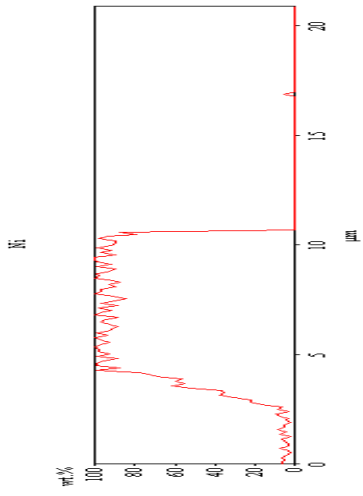
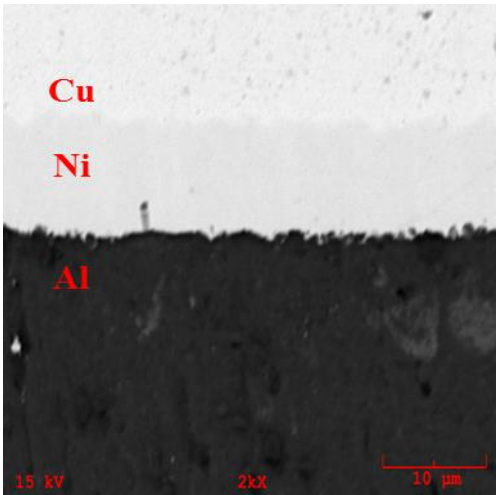
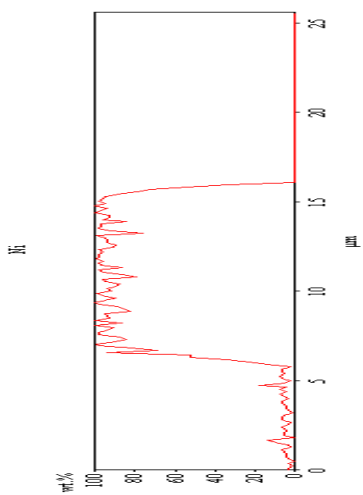
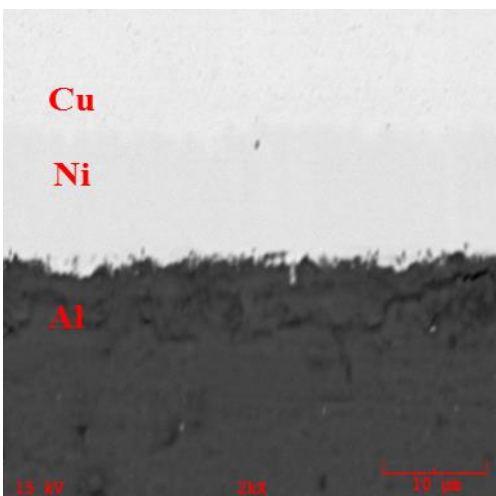
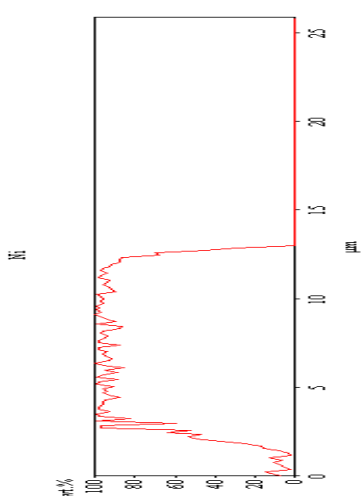
Şekil 6.19: 1,5 barda nikelin alüminyum ve bakıra difüzyonu.

1.5 Bar Basınç		
Süre	SEM Görüntüleri	Ni Geçişi
4 sn		
5 sn		
6 sn		

Şekil 6.20: 1,5 barda nikelin alüminyum ve bakıra difüzyonu.

2 Bar Basınç		Süre	
		1 sn	2 sn
SEM Görüntüleri	3 sn		
	2 sn		
	1 sn		

Şekil 6.21: 2 barda nikelin alüminyum ve bakıra difüzyonu.

2 Bar Basınç		SEM Görüntüleri	
		Süre	Ni Geçişi
6 sn			
			
			

Şekil 6.22: 1,5 barda nikelin alüminyum ve bakıra difüzyonu.

Cam üzerine kalay kaplı bakırların lehimlenmesi

Ultrasonik lehimleme cihazı imalatı yapıldıktan sonra cihazın performansını test etmek üzere cam üzerine kalay kaplı bakırlar % 96,5 kalay, % 3 gümüş ve % 0,5 bakırdan oluşan lehim alaşımı ile ön temizleme yapmadan, ön ısıtma yapmadan ve flaks kullanmadan lehimlenmiştir. Şekil 6.23 ve 6.24'de cam üzerine lehimlenmiş kalay kaplı bakırlar görülmektedir.



Şekil 6.23: Cam üzerine kalay kaplı bakırların lehimlenmesi.

Ultrasonik lehimleme yöntemi ile cam üzerine lehimleme yapılırken titreşim uygulanan süre oldukça kritiktir, titreşim uygulanan süre artarsa camda çatlak oluşabilir. Titreşim, kullanılan lehim alaşımının ergiyip homojen birleşme yüzeyi oluşturana kadar uygulanmalıdır. Bu tez çalışmasında kullanılan SAC 305 lehim alaşımı 1 sn titreşim uygulandığında ergimiş ve lehimlenecek tüm yüzeyi ıslatmıştır ve cam yüzeyinde herhangi bir çatlak meydana gelmemiştir. 2 bar basınç altında 1 sn titreşim uygulandığında ise homojen birleşme yüzeyi sağlanmıştır. Lehim noktalarının dayanabildiği yükün 8 kg ile 12 kg arasında olduğu belirlenmiştir.

Titreşim uygulanan süre 2 sn'nin üzerine çıkarıldığında ise cam yüzeyinde bulunan gümüş kaplamanın aşındığı görülmüştür. Şekil 6.24'de kırmızı şekil içerisine alınan bölgede titreşim süresi 2 sn'nin üzerine çıkarıldığında meydana gelen aşınma görülmektedir. Titreşim süresinin artmasıyla cam yüzeyindeki kaplamanın dağılıp, camın da mikro çatlaklarla kırıldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle cam yüzeyine

lehimleme yapılırken 20 kHz frekansta titreşim uygulandığında 2 sn'nin altında çalışmalıdır.



Şekil 6.24: Cam üzerine kalay kaplı bakırların lehimlenmesi.

7. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında ultrasonik lehimleme cihazı tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan cihazın performansını belirlemek üzere alüminyum üzerine bakır klipsler lehimlenmiştir. Lehimleme işlemlerine, titreşim uygulanan sürenin ve basıncın etkisi ve bakır klips üzerine yapılan kaplamanın lehim noktasının mukavemetine olan etkisi incelenmiştir. Cihazın tasarımı ve deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda anlatılmıştır.

1. Ön ısıtma ve ön temizleme işlemleri yapılmadan, flaks kullanılmadan, kurşunsuz lehim alaşımlarının kullanımına uygun cam ve metal yüzeyine lehimleme yapabilen ultrasonik lehimleme cihazı tasarımı yapılmıştır.
2. 1400 Watt gücünde ultrasonik jeneratör, piezoelektrik etkisiyle dönüşüm yapan transduser, titreşim genliğini 50 μ 'a sabitleyen yükseltici ve titreşimleri lehimlenecek malzeme yüzeyine iletmek için sertleştirilmiş çelikten imal edilen horn, homojen ve yüksek mukavemetli lehim noktaları elde etmek için gereken basıncı sağlamak üzere pnömomatik basınç düzeneği ve titreşim süresinin ayarlandığı kontrol ünitesinden oluşan ultrasonik lehimleme cihazının tasarımı solidworks programında yapılmıştır.
3. Ekipmanları belirlenip, tasarımı yapılan cihaz Eltron Makina isimli firmada imal ettirilmiştir. Tasarımı yapılan cihazın performansını test etmek ve cihaz üzerinde iyileştirme çalışmaları yapmak için cam ve alüminyum yüzeyine bakır klipsler lehimlenmiştir.
4. İmal ettirilen ultrasonik lehimleme cihazı kullanılarak alüminyum yüzeyine bakır klipsler ön ısıtma ve ön temizleme yapmadan, flaks ve lehim alaşımı kullanmadan titreşimlerin etkisiyle alüminyum ve bakırın sürtünmesinden açığa çıkan ısı ile lehimlenmiştir.
5. Yüksek mukavemetli lehim noktaları elde etmek için gereken titreşim süresi ve basınç miktarını belirlemek üzere, farklı basınç değerlerinde 1-6 sn arasında titreşim uygulanarak lehimleme işlemleri yapılmıştır.

6. Cihazın gücü; basınç ve genliğin fonksiyonu olduğu için 50 mikron genliğindeki titreşimler ile maksimum 2 bar basınçta çalışılması gerektiği hesaplanarak 2 bar ve altındaki basınç değerlerinde çalışılarak optimum basınç değeri belirlenmiştir. Her malzemenin termal özellikleri ve sürtünme katsayısı farklı olduğu için optimum basınç değeri lehimlenen malzemeye göre değişmektedir. Alüminyum yüzeyine bakır klipsler lehimlendiğinde en kalın geçiş bölgesi 8,919 mikron olarak 1,5 bar basınç uygulandığında elde edilmiştir. Nikel kaplı bakır klipsler alüminyum yüzeyine lehimlendiğinde de en kalın geçiş bölgesi 1,964 mikron olarak 1,5 bar basınç uygulandığında elde edilmiştir. Cam yüzeyine kalay kaplı bakırlar lehimlendiğinde ise homojen lehim noktaları 2 bar basınçta elde edilmiştir. 2 barın altında uygulanan basınç değerlerinde homojen olmayan boşluklu lehim noktaları elde edilmiştir.
7. Uygulanan titreşim süresi açığa çıkan ısı enerjisini belirlediği için, lehimlenen malzemeye göre uygulanması gereken titreşim süresi değişmektedir. Çünkü her malzemenin lehimlenmesi gereken ısı miktarı farklıdır. Yapılan deneylerde belli süreler kadar artan titreşim süresiyle birleşme bölgelerinin kalınlıklarının arttığı fakat belli sürelerden sonra artan titreşim süresiyle birleşme bölgelerinin kalınlıklarının azaldığı görülmüştür. Artan titreşim süresi açığa çıkan ısı enerjisini artırdığı için, lehimlenen malzeme yüzeyinde aşınmaya sebep olmuştur. Aynı zamanda artan ısı miktarıyla oksitlenme arttığı için bakırın alüminyum içerisine geçtiği bölgelerinin kalınlıkları azalmıştır.
8. Bakır klipsler alüminyum yüzeyine lehimlendiğinde, en kalın geçiş bölgesi 8,919 mikron olarak 4 sn'de elde edilmiştir. Nikel kaplı bakırlar alüminyum yüzeyine lehimlendiğinde ise en kalın geçiş bölgesi 1,964 mikron olarak 5 sn'de elde edilmiştir. Cam yüzeyine kalay kaplı bakır klipsleri lehimlemek için % 96,5 kalay, % 3 gümüş ve % 0,5 bakır içeren kurşunsuz lehim alaşımı kullanılmıştır. Bu lehim alaşımının ergimesi için gereken titreşim süresi ise 1 sn olarak belirlenmiştir. 1 sn'den daha düşük sürelerde uygulanan titreşimler ise SAC 305 lehim alaşımını tam olarak ergitemediği için tam yapışma sağlanamamaktadır. 2 sn'nin üzerinde titreşim uygulandığında titreşimin cam yüzeyinde çatlak oluşumuna sebep olduğu görülmüştür.
9. Basınç deneyleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde, basınç arttıkça en kalın birleşme bölgeleri daha kısa sürede elde edilmiştir. Bakır klipsler alüminyum yüzeyine lehimlenirken 1,5 bar basınç uygulandığında en kalın geçiş bölgesi 4

sn'de elde edilirken, 2 bar basınç uygulandığında en kalın geçiş bölgesi 3 sn'de elde edilmiştir. Nikel kaplı bakırlar alüminyum yüzeyine lehimlenirken 1,5 bar basınç uygulandığında en kalın geçiş bölgesi 5 sn'de elde edilirken, 2 bar basınç uygulandığında en kalın geçiş bölgesi 4 sn'de elde edilmiştir. Fakat süre ve basınç deneyleri birlikte değerlendirilip elde edilen kalınlıklar karşılaştırıldığında en kalın geçiş bölgesi hem bakır klipsler için, hem nikel kaplı bakır klipsler için 1,5 bar basınç uygulanarak elde edilmiştir. Yani basıncın artmasıyla geçiş bölgelerinin kalınlıkları azalmıştır.

10. 1,5 bar'da 3 sn ve 4 sn titreşim uygulayarak yapılan deneylerde geçiş bölgelerinde $CuAl_2$ intermetalik bileşiğinin oluştuğu ve bakırın alüminyum içerisine difüze olduğu anlaşılmıştır.
11. Alüminyum yüzeyine bakır klipsler lehimlendiğinde elde edilen lehim noktalarının mukavemetlerini tespit etmek üzere lehim noktaları 5mm/dak. hız ile çekme testine tabi tutulmuştur. Yapılan çekme testlerinde alüminyum yüzeyine bakır klipsler 1,5 bar basınç altında lehimlendiklerinde en yüksek çekme mukavemeti 548 N olarak 3 sn titreşim uygulandığında elde edilmiştir. 2 bar basınç altında lehimlendiklerinde ise en yüksek çekme mukavemeti 564 N olarak 2 sn titreşim uygulandığında elde edilmiştir. 1,5 bar ve 2 bar basınç altında elde edilen lehim noktalarının çekme kuvvetlerinin artan titreşim süresi ile değişimleri incelendiğinde, belli süreler kadar artan titreşim süresiyle çekme mukavemetinin arttığı, belli süreden sonra azaldığı görülmektedir. Çekme kuvvetlerinin artan basınç ile değişimleri incelendiğinde ise basıncın artmasıyla birlikte çekme kuvvetlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda artan basınç ile daha yüksek çekme kuvvetleri daha kısa sürelerde elde edildiği görülmüştür.
12. Farklı malzemeler lehimlenerek elde edilen lehim noktalarının çekme mukavemetlerini incelemek üzere alüminyum-nikel lehim noktaları 5 mm/dak. hızla çekme testine tabi tutulmuştur. Yapılan çekme testlerinde alüminyum yüzeyine nikel kaplı bakır klipsler 1,5 bar basınç altında lehimlendiklerinde en yüksek çekme mukavemeti 429 N olarak 3 sn titreşim uygulandığında elde edilmiştir. 2 bar basınç altında lehimlendiklerinde ise en yüksek çekme mukavemeti 433 N olarak 3 sn titreşim uygulandığında elde edilmiştir. 1,5 bar ve 2 bar basınç altında elde edilen lehim noktalarının çekme kuvvetlerinin artan titreşim süresi ile değişimleri incelendiğinde, belli süreler kadar artan titreşim

süresiyle çekme mukavemetinin arttığı, belli süreden sonra azaldığı görülmektedir. Çekme kuvvetlerinin artan basınç ile değişimleri incelendiğinde ise basıncın artmasıyla birlikte çekme kuvvetlerinin artışının çok yüksek olmadığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda artan basınç ile en yüksek çekme mukavemetine sahip lehim noktalarının elde edildiği titreşim sürelerinin de değişmediği görülmüştür.

13. Cam üzerine kalay kaplı bakırlar SAC 305 lehim alaşımı ile lehimlendiklerinde elde edilen lehim noktalarının çekme mukavemeti ise 120 N olarak 2 bar basınç altında 1 sn titreşim uygulandığında elde edilmiştir. Bu incelemelerden anlaşılacağı gibi her malzemenin termal ve sürtünme özellikleri birbirinden farklı olduğu için lehimlenme karakterleri de birbirinden farklıdır. Elde edilen çekme kuvvetleri ve çekme kuvvetlerinin titreşim uygulanan süre ve basınç ile değişimi her malzeme için farklı olduğu tespit edilmiştir.
14. Alüminyum üzerine lehimlenen bakır ve nikel kaplı bakır klipsler tasarımı yapılan cihazla lehimlendiklerinde elde edilen lehim noktalarının çekme kuvvetleri, elektrik ve elektronik sektörü ile otomotiv sektörü için belirlenen standartlarla karşılaştırıldıklarında standartların çok üzerinde çekme mukavemeti gösterdikleri görülmüştür.
15. Tasarımı yapılan cihaz ile iki metal kısa sürede ve düşük basınç uygulayarak, ön ısıtma ve ön temizleme yapmadan, flaks ve lehim alaşımı kullanmadan lehimlenebilmektedir. Cam yüzeyine kısa sürede ve düşük basınç uygulayarak ön ısıtma ve ön temizleme yapmadan, flaks kullanmadan kurşunsuz lehim alaşımı kullanılarak lehimleme başarılı bir şekilde yapılabilmektedir. Fakat yapılan deneyler sırasında tasarımı yapılan cihazda bir takım geliştirme çalışmaları yapılması gerektiği belirlenmiştir.
 - Bu tez çalışmasında hornun lehimlenecek malzemelere temas ettiği kısım lehimlenecek malzemenin şekline ve bire bir boyutuna göre tasarlanmıştır. Fakat hornun temas bölgesinin, lehimlenecek malzemenin boyutunun 1,5 katı kadar olmasının titreşim kayıplarını önleyeceği için lehimleme verimini artıracak düşünülmemektedir.
 - Horn, titreşimi lehimlenecek malzemeye yüksek verimde iletebilmesi için akustik özelliği sertleştirilmiş çelikten daha iyi olan titanyumdan imal edilmelidir.

- Bu tez çalışmasında tasarımı yapılan cihazla lehimleme yapılırken, lehim noktasının sıcaklığı ölçülememektedir ancak lehim noktasının etrafının sıcaklığı ölçülebilmektedir. Bu nedenle lehimleme sırasında erişilen sıcaklığı ölçebilmek için altık tasarımı; lehim noktasının sıcaklığını ölçmek üzere termokupl yerleştirilecek şekilde yapılmalıdır.
- Lehim yapılan atmosferin kontrol edilebilmesi için, lehimleme işlemi kapalı sistemde yapılacak şekilde tasarım yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Edward, K. ve Edward, L.** (1993). *ASM Handbook; Welding, Brazing and Soldering*. 2357-2449, 952-991, ASM Handbook International, USA, **6**, ISBN 0-87170-377-7.
- [2] Milli Eğitim Bakanlığı Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, (2011). Elektrik Elektronik Teknolojisi Lehimleme ve Baskı Devre Raporu, Ankara, Türkiye.
- [3] **Bath, J.** (2007). *Lead-Free Soldering*, Springer, USA, ISBN-978-0-387-68422-2.
- [4] **Lee, N. C.** (2001). *Reflow Soldering Processes and Troubleshooting*, Newnes, Boston, ISBN-13: 9780750672184.
- [5] **Humpston, G. ve Jacobson, D. M.** (2004). *Principles of Soldering*. Materials Park, ASM International, OH, USA, ISBN 0-87170-792-6.
- [6] **Deubzer, O. ve Zangl, S.** (2012). *Adaptation to Scientific and Technical (ELV Directive)*, Germany.
- [7] **Pang, J. H. L., Low, T. H., Xiong, B. S., Luhua, X., and Neo, C. C.** (2004). Thermal cycling aging effects on Sn-Ag-Cu solder joint microstructure, IMC and strength, *Thin Solid Films*, **462–463**, no. SPEC. ISS., 370–375.
- [8] **Basaran, C. ve Chandaroy, R.** (2000). Using finite element analysis for simulation of reliability tests on solder joints in microelectronic packaging, *Comput. Struct.*, **74**, no. 2, 215–231.
- [9] **Pang, H. L. J., Tan, K. H. X., Shi, Q., Wang, Z. P.** (2001). Microstructure and intermetallic growth effects on shear and fatigue strength of solder joints subjected to thermal cycling aging, *Mater. Sci. Eng. A*, **307**, no. 1–2, 42–50.
- [10] **Tsao, L. C.** (2011). Suppressing effect of 0.5wt.% nano-TiO₂ addition into Sn–3.5Ag–0.5Cu solder alloy on the intermetallic growth with Cu substrate during isothermal aging, *J. Alloys Compd.*, **509**, no. 33, 8441–8448.
- [11] **Wang, J. ve Nishikawa, H.** (2014). Impact strength of Sn-3.0Ag-0.5Cu solder bumps during isothermal aging, *Microelectron. Reliab.*, **54**, no. 8, 1583–1591.

- [12] **Yoon, J. W., Ko, M. K., Noh, B. I., Jung, S. B.** (2013). Joint reliability evaluation of thermo-compression bonded FPCB/RPCB joints under high temperature storage test, *Microelectron. Reliab.*, **53**, no. 12, 2036–2042.
- [13] **Andersson, C. ve Liu, J.** (2008). Effect of corrosion on the low cycle fatigue behavior of Sn-4.0Ag-0.5Cu lead-free solder joints, *Int. J. Fatigue*, **30**, no. 5, 917–930.
- [14] **Liu, F. ve Meng, G.** (2014). Random vibration reliability of BGA lead-free solder joint, *Microelectron. Reliab.*, **54**, no. 1, 226–232.
- [15] **Liu, Y., Sun, F. L., Zhang, H. W., Wang, J., Zhou, Z.** (2014). Evaluating board level solder interconnects reliability using vibration test methods, *Microelectron. Reliab.*, **54**, no. 9–10, 2053–2057.
- [16] **Che, F. X. ve Pang, J. H. L.** (2009). Vibration reliability test and finite element analysis for flip chip solder joints, *Microelectron. Reliab.*, **49**, no. 7, 754–760.
- [17] **Suganuma, K.** (2004). Lead-Free Soldering In Electronics, *Marcel Dekker*, USA, ISBN 0-8247-4102-1.
- [18] **Takao, H., Yamada, A., Hasegawa, H.** (2004). Mechanical Properties and Solder Joint Reliability of Low-Melting Sn-Bi-Cu Lead Free Solder Alloy, **39**, no. 2, pp. 49–56.
- [19] **Smith D. R. ve Madeni, J. C.** (2002). Properties of Lead-Free Solders Properties of Lead-Free Solders, *Electronics*.
- [20] **Judd, M. ve Brindley, K.** (1999). Soldering in Electronics Assembly, *Newnes*, Boston, ISBN 0 706-35452.
- [21] **Vivari, J. ve Kasman, A.** (2007). S. M. Review, Laser Solder Reflow : A Process Solution Part I, 1–8.
- [22] Surface Mount Soldering, 1–3.
- [23] **Brindley, K.** (2011). Starting Electronics, *Start. Electron.*, 57–73.
- [24] Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, (2005). Metal teknolojisi yumuşak lehimleme, Ankara, Türkiye.
- [25] **Ma, L., He, D. Y., Li, X. Y., Jiang, J. M.** (2010). High-frequency induction soldering of magnesium alloy AZ31B using a Zn-Al filler metal, *Mater. Lett.*, **64**, no. 5, 596–598.
- [26] **Gatej, A., Pyschny, N., Loosen, P., Brecher, C.** (2012). Robot-based resistance soldering of optical components, *Solder. Surf. Mt. Technol.*, **24**, no. 2, pp. 112–119.

- [27] **Koleňák, R., Provazník, M., Koleňáková, M.** (1982). A comprehensive investigation of copper tube joints made by resistance soldering, **3651**.
- [28] **Kordás, K., Pap, a., E., Tóth, G., Pudas, M., Jääskeläinen, J., Uusimäki, a., J., Vähäkangas** (2006). Laser soldering of flip-chips, *Opt. Lasers Eng.*, **44**, no. 2, 112–121.
- [29] **Zhang, X. P., Yu, C. B., Zhang, Y. P., Shresta, S., Dorn, L.** (2007). Processing treatment of a lead-free Sn-Ag-Cu-Bi solder by rapid laser-beam reflowing and the creep property of its soldered connection, *J. Mater. Process. Technol.*, **192–193**, 539–542.
- [30] **Chaminade, C., Fogarassy, E., Boisselier, D.** (2006). Diode laser soldering using a lead-free filler material for electronic packaging structures, *Appl. Surf. Sci.*, **252**, no. 13 SPEC. ISS., 4406–4410.
- [31] **William, S.** (1993). Electrically heated hot gas soldering instrument, *United States Patent*, No: 5483040 tarih: 09.01.1996.
- [32] **Archey, B. W.** (1964). Hot gas soldering for interconnection of integrated electronic packages, *Proceedings Of The IEEE*, 1667-1660.
- [33] **Lambert, L.**, Key Tips & Techniques for Manually Reflowing of Solder Paste, no. 605.
- [34] **Lanin, V. L.** (2001). Ultrasonic soldering in electronics, *Ultrason. Sonochem.*, **8**, no. 4, 379–385.
- [35] **Campe, H., v., Huber, S., Meyer, S., Reiff, S., Vietor, J.** (2012). Direct tin coating of the aluminum rear contact by ultrasonic soldering, 27th. European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Mainz, 1150–1153.
- [36] **Vianco, P. T., Hosking, F. M., Rejent, J. A.** (1996). Ultrasonic soldering for structural and electronic applications, *Welding Research*, 343-355.
- [37] **Faridi, H. R., Devletian, J. H., Le, H. P.** (2000). A new look at flux-free ultrasonic soldering, **10**, no. 3.
- [38] **Antonevich, J. N.** (1976). Fundamentals of ultrasonic soldering, *Weld. Journal.*, **55**, no. 7.
- [39] **Faridi, H. R.** (2000). Flux-free ultrasonic soldering of aluminum and stainless steel, *Ph. D Thesis*, Oregon graduate of Institute of Science and Technology.
- [40] **Tamura, S., Tsunekawa, Y., Okumiya, M., Hatakeyama, M.** (2008). Ultrasonic cavitation treatment for soldering on Zr-based bulk metallic glass, *J. Mater. Process. Technol.*, **206**, no. 1–3, 322–327.

- [41] **Nagaoka, T., Morisada, Y., Fukusumi, M., Takemoto, T.** (2009). Joint strength of aluminum ultrasonic soldered under liquidus temperature of Sn-Zn hypereutectic solder,” *J. Mater. Process. Technol.*, **209**, no. 11, 5054–5059.
- [42] **Kim, J. H., Lee, J., Yoo, C. D.** (2005). Soldering method using longitudinal ultrasonic, *IEEE Trans. Components Packag. Technol.*, **28**, no. 3, pp. 493–498.
- [43] **Ding, M., Zhang, P. L., Zhang, Z. Y., Yao, S.** (2010). Direct-soldering 6061 aluminum alloys with ultrasonic coating, *Ultrason. Sonochem.*, **17**, no. 2, 292–297.
- [44] **Graff, K.** (1977). Macrosonics in industry: ultrasonic soldering, 75–81.
- [45] **Wei, J., Deng, B., Gao, X., Yan, J., Chen, X.** (2013). Interface structure characterization of Fe36Ni alloy with ultrasonic soldering,” *J. Alloys Compd.*, **576**, 386–392.
- [46] **Sivian, L. J.** (1947). Method of soldering a terminal to a piezoelectric crystal, *United States Patent*, No: 2426650 tarih: 02.09.1947.
- [47] **Sonobond**, (1954). Ultrasonic fluxless soldering, 537.
- [48] **Jones, J. B., Pa, W. C.** (1957). Ultrasonic soldering iron, *United States Patent*, No: 2803735 tarih: 20.08.1957.
- [49] **Weiss, M. E.** (1955). Ultrasonic soldering iron, *United States Patent*, No: 2815430 tarih: 03.12.1957.
- [50] **Petermann, L. A.** (1955). Ultrasonic soldering pot, *United States Patent*, No: 2926622 tarih: 01.03.1960.
- [51] **Johns, J. F.** (1960). Ultrasonic soldering system, *United States Patent*, No: 3084650 tarih: 09.04.1963.
- [52] **Walker, W. F.** (1963). Ultrasonics in production processes, *Ultrasonics*, **1**, 123–129.
- [53] **Jean, L. E. ST.** (1964). Multiple ultrasonic solder fountain machine, *United States Patent*, No: 3249281 tarih: 03.05.1966.
- [54] **Terril, J. R. ve Dizierski, S. F.** (1970). Fluxless ultrasonic soldering of aluminum tubes, *United States Patent*, No: 3680200 tarih: 01.08.1972.
- [55] **Osterkorn, C. L. ve Marino, S. M.** (1975). Ultrasonic soldering process, *United States Patent*, No: 3945554 tarih: 23.03.1976.
- [56] **Winchell, V. H. ve Berg, H. M.** (1978). Enhancing ultrasonic bond development, *IEEE Trans Comp.* 192.

- [57] **Wright, W. E.** (1976). Ultrasonic dip soldering process, *United States Patent*, No: 4076167 tarih: 28.02.1978.
- [58] **Kago, K., Suetsugu, K., Hibino, S., Ikari, T., Furusawa, A., Takano, H., Horiuchi, T., Ishida, K., Sakaguchi, T., Kikuchi, S., Matsushige, K.** (2004). “Novel Ultrasonic Soldering Technique for Lead-Free Solders,” *Mater. Trans.*, **45**, no. 3, 703–709.
- [59] **Xu, Z., Yan, J., Wu G., Kong, X., Yang, S.** (2005). Interface structure and strength of ultrasonic vibration liquid phase bonded joints of Al₂O₃p/6061Al composites, *Scr. Mater.*, **53**, no. 7, 835–839.
- [60] **Xu, Z., Yan, J., Wu G., Kong, X., Yang, S.** (2005). Interface structure of ultrasonic vibration aided interaction between Zn-Al alloy and Al₂O₃p/6061Al composite, *Compos. Sci. Technol.*, **65**, no. 13, 1959–1963.
- [61] **Xu, Z., Yan, J., Zhang, B., Kong, X., Yang, S.** (2006). Behaviors of oxide film at the ultrasonic aided interaction interface of Zn-Al alloy and Al₂O₃p/6061Al composites in air, *Mater. Sci. Eng. A*, **415**, no. 1–2, 80–86.
- [62] **Yan, J., Xu, Z., Shi, L., Ma, X., Yang, S.** (2011). Ultrasonic assisted fabrication of particle reinforced bonds joining aluminum metal matrix composites, *Mater. Des.*, vol. 32, no. 1, 343–347.
- [63] **Xu, Z., Ma, L., Yan, J., Yang, S., Du, S.** (2012). Wetting and oxidation during ultrasonic soldering of an alumina reinforced aluminum-copper-magnesium (2024 Al) matrix composite, *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, **43**, no. 3, 407–414.
- [64] **Li, Y. X., Zhao, W. W., Leng, X. S., Fu, Q. J., Wang, L., Yan, J. C.** (2011). Microstructure evolution and mechanical properties of ultrasonic-assisted soldering joints of 2024 aluminum alloys, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, **21**, no. 9, pp. 1937–1943.
- [65] **Heimann, M., Klaerner, P., Luechinger, C., Mette, a., Mueller, J. W., Traeger, M., Barthel, T., Valentin, O., Wawer, P.** (2012). Ultrasonic bonding of aluminum ribbons to interconnect high-efficiency crystalline-silicon solar cells, *Energy Procedia*, **27**, no. April, 670–675.
- [66] **Yonekura, D., Ueki, T., Tokiyasu, K., Kira, S., Wakabayashi, T.** (2015). Bonding mechanism of lead-free solder and glass plate by ultrasonic assisted soldering method, *Mater. Des.*, **65**, 907–913.
- [67] **European Parliament**, (2011). Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (recast), 1–39.

- [68] **European Parliament**, (2012). Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE), *Off. J. Eur. Union*, 38–71.
- [69] **Tiederle, V. ve Mahrle, J.** (2004). Lead-Free Soldering In Automotive Applications, *OnBoard Technology*, 52-54.
- [70] **Kroupa, A., Andersson, D., Hoo, N., Pearce, J., Watson, A., Dinsdale, A., Mucklejohn, S.** (2012). Current problems and possible solutions in high-temperature lead-free soldering, *J. Mater. Eng. Perform.*, **21**, no. 5, 629–637.
- [71] **Güney, M.** (2002). Dynamic modelling and performance analysis, of ultrasonic welding machine, *Master Thesis*, Boğaziçi University, İstanbul.
- [72] **Ünal, L.** (1996). Termoplastiklerin ultrasonik kaynağı, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [73] **Peker, G.** (1999). Termo Plastik Malzemelerin Kaynağı ve AYPE'nin Sıcak Gaz Kaynağında Kaynak Parametrelerin Kaynak Hatalarına Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [74] **Taş, Y.** (2008). Termoplastiklerin birleştirilmesinde kullanılan ultrasonik kaynak yönteminde kaynak kalitesini etkileyen parametrelerin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [75] **Aykaç, E. S.** (2011). Pnömatik – Hidrolik Kataloğu, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası*.
- [76] **Parr, A. A.** (1999). Hydraulics and Pneumatics. Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 9780080966748.
- [77] **Yoon, J. W. ve Jung, S. B.** (2007). Solder joint reliability evaluation of Sn-Zn/Au/Ni/Cu ball-grid-array package during aging, *Mater. Sci. Eng. A*, **452–453**, 46–54.
- [78] **Hang, C. J., Wang, C. Q., Mayer, M., Tian, Y. H., Zhou, Y., Wang, H. H.** (2008). Growth behavior of Cu/Al intermetallic compounds and cracks in copper ball bonds during isothermal aging, *Microelectron. Reliab.*, **48**, no. 3, 416–424.
- [79] **Kolenak, R., Martinkovic, M., Kolenakova, M.** (2013). Shear strength and DSC analysis of high temperature solders, *Archives of Metallurgy and Materials*, **58**.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gülcan YAVUZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Aksaray, Türkiye 21.04.1989

E-Posta: gulcanyavuz07@gmail.com

Lisans: Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü