



**5083 H111 İLE 6082 ALAŞIMLARININ TIG  
KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK İKİ FARKLI  
TEL VE AKIM PARAMETRESİNDE  
KAYNATILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Şeyma Nur ÇAYIR**

**2024  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**5083 H111 İLE 6082 ALAŞIMLARININ TIG KAYNAK YÖNTEMİ  
KULLANILARAK İKİ FARKLI TEL VE AKIM PARAMETRESİNDE  
KAYNATILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Şeyma Nur ÇAYIR**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Temmuz 2024**

Şeyma Nur ÇAYIR tarafından hazırlanan “5083 H111 İLE 6082 ALAŞIMLARININ TIG KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK İKİ FARKLI TEL VE AKIM PARAMETRESİNDE KAYNATILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI .....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 12/07/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Yunus TÜREN (NEÜ) .....

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. İsmail Hakkı KARA (KBÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Şeyma Nur ÇAYIR

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

**5083 H111 İLE 6082 ALAŞIMLARININ TIG KAYNAK YÖNTEMİ  
KULLANILARAK İKİ FARKLI TEL VE AKIM PARAMETRESİNDE  
KAYNATILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Şeyma Nur ÇAYIR**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**Temmuz 2024, 47 sayfa**

Bu tez çalışmasında, 5083 H111 ile 6082 alüminyum alaşımlarının tungsten inert gaz yöntemiyle kaynak edilebilirliği iki farklı tel kullanılarak yapılmıştır. Kaynak işleminde kaynak parametreleri sabit kabul edilmiştir. Kaynak işlemi altı farklı numuneye yapılmıştır. Bu işlemler kaynak telleri ve seçilen alüminyum alaşımlarına göre seçilmiştir. Kaynak işlemleri alüminyum levhalar halinde temin edilen malzemelerin üç farklı kombinasyonu (5083\*5083, 6082\*6082, 5083\*6082) ve iki farklı tel kombinasyonu olarak yapılmıştır. Yapılan kaynak işlemleri sonrasında kaynaklı bölgelerin dayanımların tespit edilmesi için çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyleri için kaynaklı bağlantının üç farklı noktasından numuneler alınmıştır. Ayrıca kaynaklı bölgelerin mikroyapı analizi yapılmıştır. Çekme deneyi sonuçlarına göre en yüksek çekme dayanımı değeri  $286,9626 \text{ N/mm}^2$  ve en düşük

çekme dayanımı değeri ise 179,4389 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Mikroyapı analizi sonuçlarına göre kaynak işleminin genel olarak homojen dağılım sergilediği ve bazı parametrelerde dentritik yapıların oluştuğu gözlenmiştir. Bu tez çalışmasıyla TIG kaynak yönteminin seçilen malzemeler için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** 5083 H111, 6082, alüminyum alaşımları, TIG kaynağı, mikroyapı, mekanik özellikler

**Bilim Kodu :** 91511

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **WELDING OF 5083 H111 AND 6082 ALLOYS USING TIG WELDING METHOD WITH TWO DIFFERENT WIRES AND CURRENT PARAMETERS AND EXAMINING THEIR MECHANICAL PROPERTIES**

**Şeyma Nur ÇAYIR**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgical and Materials Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**July 2024, 47 pages**

In this thesis study, the weldability of 5083 H111 and 6082 aluminum alloys by the tungsten inert gas method was carried out using two different wires. In the welding process, welding parameters are assumed to be constant. Welding was done on six different samples. These processes were chosen according to the welding wires and the selected aluminum alloys. Welding processes were carried out in three different combinations of materials supplied in the form of aluminum sheets (5083\*5083, 6082\*6082, 5083\*6082) and two different wire combinations. After the welding processes, tensile tests were carried out to determine the strength of the welded areas. For tensile tests, samples were taken from three different points of the welded connection. Additionally, microstructure analysis of the welded areas was performed. According to the tensile test results, the highest tensile strength value was determined

as 286.9626 N/mm<sup>2</sup> and the lowest tensile strength value was 179.4389 N/mm<sup>2</sup>. According to the microstructure analysis results, it was observed that the welding process generally exhibited a homogeneous distribution and dendritic structures were formed in some parameters. With this thesis study, it has been concluded that the TIG welding method is suitable for the selected materials.

**Key Words** : 5083 H111, 6082, aluminum alloys, TIG welding, microstructure, mechanical properties

**Science Code** : 91511



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE TARİHSEL GELİŞİMİ.....	3
2.2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ ....	4
2.3. ALÜMİNYUMUN UYGULAMA ALANLARI .....	5
2.3.1. İnşaat Uygulamaları.....	5
2.3.2. Otomotiv Sektörü Uygulamaları .....	6
2.3.3. Ambalaj Sektörü Uygulamaları .....	6
2.3.4. Elektrik Uygulamaları .....	7
2.3.5. Havacılık Uygulamaları.....	7
2.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI .....	8
2.4.1. Döküm Alüminyum Alaşımları .....	8
2.4.2. Dövme Alüminyum Alaşımları .....	9
2.4.3. Isıl İşlem Uygulanabilen ve Uygulanamayan Alaşımlar .....	10
2.4.3.1. Isı İşlem Uygulanabilen Alaşımlar .....	10

2.4.3.2. Isıl İşlem Uygulanamayan Alaşımalar.....	11
2.5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ .....	13
2.6. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞI .....	15
BÖLÜM 3 .....	18
TIG KAYNAĞI .....	18
3.1. TIG KAYNAĞI YÖNTEMİ .....	18
3.2. TIG KAYNAĞI UYGULAMASI.....	19
3.3. TIG KAYNAĞI AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI .....	21
BÖLÜM 4 .....	24
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	24
4.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEMELER .....	24
4.2. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI .....	25
4.3. NUMUNELERİN ÇEKME DENEYİ.....	27
4.4. NUMUNELERİN MİKROYAPI İNCELEMESİ .....	28
4.5. PENETRASYON TESTİ .....	29
BÖLÜM 5 .....	31
5.1. ÇEKME DENEYİ .....	31
5.2. NUMUNELERİN MİKROYAPI GÖRÜNTÜ SONUÇLARI.....	34
5.3. PENETRASYON TESTİ SONUÇLARI .....	40
BÖLÜM 6 .....	42
SONUÇLAR .....	42
KAYNAKLAR .....	43
ÖZGEÇMİŞ .....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. TIG kaynağının uygulaması.....	18
Şekil 3.2. Alın alın birleştirme .....	20
Şekil 4.1. TIG kaynağı makinesi.....	24
Şekil 4.2. Numunelerin hazırlanması .....	25
Şekil 4.3. Struers secotom-50 cihazı ve kesme işlemi .....	26
Şekil 4.4. Çekme deneyi numuneleri .....	26
Şekil 4.5. Çekme deneyi düzeneği .....	27
Şekil 4.6. Optik mikroskop .....	28
Şekil 4.7. Kullanılan penetrant sıvıları.....	29
Şekil 5.1. Çekme deneyi grafikleri.....	31
Şekil 5.2. Çekme deneyi sonucu elde edilen numuneler .....	32
Şekil 5.3. 1 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar .....	34
Şekil 5.4. 2 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar .....	35
Şekil 5.5. 3 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar .....	36
Şekil 5.6. 4 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar .....	37
Şekil 5.7. 5 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar .....	38
Şekil 5.8. 6 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar .....	39
Şekil 5.9. Penetrasyon testi uygulaması a) Temizlenmiş numune b) Penetrasyon uygulanmış numune.....	40

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4.1. 5083 H111 malzemesinin % kimyasal bileşimi.....	25
Çizelge 4.2. 6082 T6 malzemesinin % kimyasal bileşimi .....	25
Çizelge 4.3. 5183 kaynak telinin % kimyasal bileşimi .....	25
Çizelge 4.4. 5356 kaynak telinin % kimyasal bileşimi.....	25
Çizelge 4.5. Kaynak parametreleri .....	26
Çizelge 4.6. Hazırlanan numunler.....	27
Çizelge 5.1. Çekme sonuçları .....	32

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

### **SİMGELER**

N : Newton

### **KISALTMALAR**

TIG : Tungsten İnerit Gaz

MIG : Metal İnerit Gaz

MAG : Metal Aktif Gaz

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları havacılık ve uzay, sağlık endüstrisi, otomotiv elektrik elektronik gibi pek çok alanda kullanım alanına sahip olan malzemelerdir. Alüminyumun korozyona direncinin yüksek oluşu, demirden yoğunluk anlamında yaklaşık olarak üç kat daha hafif olması ve kolay bir şekilde şekil verilebilir olması kullanım alanını da arttırmaktadır. Ayrıca alüminyum dünya genelinde yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra %8'lik oranı ile en çok bulunan üçüncü elementtir. 1800'lü yılların ilk yarısında bulunan alüminyum elementi günümüzde demir dışı metallerin toplamından daha da fazla üretilmektedir [1]. Yoğunluk olarak düşük sınıfında olması sebebiyle ağırlık anlamında metalik malzemelerin arasında en hafiflerin arasındadır. Elektrik iletkenliğinin ve ısı iletkenliğinin seviyesi oldukça iyidir. Korozyon dirençlerinin yüksek olması nedeniyle de oksitlenmenin oluşabileceği yerlerde de (örneğin gemicilik endüstrisi) yaygın kullanım alanı bulunmaktadır.

Alüminyumun kimyasal içeriği çeşitli yöntemler ile değiştirilerek ve uygun ısı işlemler yapılarak pek çok fiziksel ve mekaniksel özelliklere sahip alüminyum alaşımlarının elde edilmesi mümkündür. Dayanım özelliği çelik malzemelerden düşük olmasına karşın kesit alanlarının arttırılmasıyla çeliğe yakın dayanım elde edilebilmektedir [2].

Alüminyum ve alaşımları endüstride pek çok alanda kaynaklı bağlantı yapılarak kullanılmaktadır. Çelik malzemelere göre alüminyumların kaynağı farklılık göstermektedir. Bunun nedeni alüminyumun iletkenlik özelliği, katılma aralığının genişliği ve korozyon direncinin yüksek olması kaynak sırasında yüzeyde oksit tabakasının oluşmasına ve gözenek oluşumu meydana getirmesidir [3]. Bu nedenle alüminyumların kaynağı zor ve sorunludur.

Bu gibi durumların oluşumunu engellemek için malzemenin fiziksel ve metalurjik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gereklidir.

Alüminyum alaşımlarının kaynak işlemlerinde genellikle gaz altı ark kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında metal inert gaz (MIG), metal aktif gaz (MAG) ve tungsten inert gaz (TIG) kaynak yöntemleri bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında pek çok alanda kullanım alanına sahip 5083 H111 ve 6082 alaşımlarının TIG kaynak yöntemiyle kaynak edilmesi ve sonrasında oluşan mekanik ve metalurjik değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma doğrultusunda tercih edilen alüminyum alaşımları önce kendi aralarında daha sonra birbirileri ile kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynak işlemi iki farklı tel kullanılarak ve tek akım değeri kullanılarak yapılmıştır.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 2.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Alüminyum, dünya genelinde metallerin arasında yüzeyde kolay bir şekilde bulunan ikinci sıradaki elementtir. Ayrıca mühendislik uygulamalarında çeliklerden sonra en çok kullanım alanına sahip metallerin arasındadır [4, 5]. Dünya genelinde rezerv alanı ve kullanım alanının fazla olmasına rağmen alüminyum malzemeler endüstride 19. Yüzyıla kadar çok fazla kullanılmamıştır. Alüminyum ilk olarak 19. Yüzyıl başlarında Sir Humprey Davy ile tanınmıştır [1]. Fakat alüminyum cevher olarak Fransa da Les Bauz tarafından 1821 yılında keşfedilerek boksit adını almıştır. Ardından 1825 yılında Hans Cristian Oersted tarafından alüminyum üretimi için kullanılan alüminyum klorür bileşiği geliştirilmiştir. 1827 yılında ise Friedrich Wöhler, potasyum ile alüminyum klorürü tepkimeye sokarak alüminyum metalini üretmiştir [6]. Ancak üretim ve sürecinin pahalı olması nedeniyle endüstriyel kullanımı uzun sürmüştür. Öyle ki altından daha pahalı duruma gelmiştir. Charles Martin Hall ve Paul Heralt 1886 yılında ticari üretimini gerçekleştirmiş ve Charles Martin Hall'ın geliştirdiği elektroliz yolu ile alüminyum üretimiyle endüstriyel alanı artmıştır [7]. 1900'lü yılların başlarında çeliğe alternatif olması için alaşımlandırma işlemleri yapılmasına rağmen çelikten daha ağır olması nedeniyle kullanılması için tercih edilmemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda bakır ile alaşımlandırmanın alüminyumun dayanımında kayıp yaşanmadan hafifliğini koruduğu tespit edilmiştir. Kurşun ve çinkodan sonra kullanılmaya başlanan Alüminyum özelliklerinin yanı sıra teknolojik gelişmelerin etkisiyle demirden sonra en çok ihtiyaç duyulan metal malzeme haline gelmiştir [8]. Alüminyumve alaşımlarının gelişimi en fazla bir ve ikinci dünya savaşlarında olmuş olup özellikle savunm endüstrisinde uçak gövdelerinin ve savunma mekanizmalarında kullanılması öncülük etmiştir [9]. Daha

sonra korozyon dayanımının yüksek olması ve mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle alüminyum ve alaşımları neredeyse her alanda kullanılarak günümüzde çelikten sonra en önemli malzeme özelliğini sergilemektedir [6].

## 2.2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Mekanik özellikleri iyi olan alüminyumun ısı ve elektrik iletkenliği de yüksektir. Ayrıca korozyon direncinin yüksek olması alüminyum yüzeyinde meydana gelen refrakter oksit filminden kaynaklıdır [1]. Alüminyumun mekanik özellikleri saflığına bağlı olup saf alüminyum, alaşımlandırılmış alüminyumlara nazaran daha yumuşak olmasının yanı sıra mukavemeti de düşüktür [10]. Alüminyum bakır ve çelik malzemenin yaklaşık üçte birine denk gelen  $2,7 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa sahip olup periyodik cetveldeki numarası 13'tür ve yüzey merkez kübik bir yapıya sahiptir [6]. Yaklaşık olarak  $660 \text{ }^\circ\text{C}$  erime sıcaklığına sahip alüminyumun saflık oranının artırılması erime derecesini de arttırmaktadır. Ancak artan saflık oranı şekillendirilebilirliğini iyileştirmesine karşın mekanik özelliklerinin zayıflamasına neden olmaktadır [11]. Alüminyumun bu özelliklerinin yanı sıra oda koşullarında çekme ve akma dayanımlarının artmasına rağmen yüzde uzamasında azalma meydana gelmektedir. Sertliği azalan alüminyumun korozyon dayanımında azalma eğilimi oluşmaktadır. Alüminyumun olumlu yanlarının artırılarak olumsuz yönlenlerinin azaltılması için çeşitli işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemler yaşlandırma, deformasyon ve alaşımlama gibi işlemlerdir. Alüminyum diğer metalik malzemeler ile kıyaslandığında pek çok avantaja sahip olması nedeniyle sanayide neredeyse bütün alanlarda kullanım alanına sahiptir. Alüminyumun tercih edilmesinin özellikleri özetlenecek olursa;

- Yoğunluğunun düşük olmasına rağmen mekanik özelliklerinin iyi olması,
- Çevre koşullarına dayanıklı olması,
- Kimyasal malzemelere direncinin yüksek olması,
- Isı ve elektrik iletkenliğinin yüksek olması,
- Soğuk şekillendirme özelliğinin iyi düzeyde olması,
- Kaynak edilebilir olması,
- Yüzey kalitesinin yüzey işlemleriyle daha iyi olması,
- Alev almayarak parlama yapmamasıdır [12-14].

## **2.3. ALÜMİNYUMUN UYGULAMA ALANLARI**

Alüminyum ve alaşımlarının avantajlı özellikleri nedeniyle günümüzde neredeyse hayatın her alanında kullanım alanına sahip olmasını sağlamaktadır. Hafifliklerinin yanı sıra mukavemetlerinin iyi düzeyde olması, korozyon dirençlerinin yüksek olması ve geri dönüşümlü olabilme özelliklerinin sebebiyle otomotiv endüstrisinden savunma ve havacılık endüstrisine, denizcilikten mutfak gereçlerine kadar pek çok alanda kullanım alanına sahiptir. [15]. Bunların yanı sıra mukavemet düzeylerinin iyi olması nedeniyle de inşaat endüstrisinde yapısal eleman olarak kullanılan malzemelerin üretimi için de kullanılmaktadır. Bunların haricinde oldukça iyi mukavemet ve korozyon direncine sahip olması nedeniyle mimari alanlarda ve yapısal elemanların imalatında da kullanım alanları bulunmaktadır [16]. Alt başlıklarda sektörel bazlı kullanım alanları verilmiştir.

### **2.3.1. İnşaat Uygulamaları**

Dünya genelinde alüminyum malzemelerinin yaklaşık olarak %20'si inşaat endüstrisinde kullanım alanına sahiptir. Yakın geçmişte ve günümüzde mimari olarak inşaat endüstrisinde yaşanan gelişmeler alüminyum ve alaşımlarının lehine olmuştur. Alüminyum ve alüminyum alaşım malzemelerin kullanım alanlarındaki fazlalığı maliyetinin düşük olması, görsel anlamda iyi görünmesi ve yapısal inşaatının kolay ve hızlı bir şekilde olması nedeniyle inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Alüminyum hava koşulları kötü olsa dahi kendi özelliğini koruyan ve korozyon direnci yüksek bir malzemedir. Çeliklere alternatif bir malzeme olan alüminyum ve alaşımları köprülerdeki bazı önemli yerlerin yapı elemanları olarak köprü kullanım kapasitesinde de artışı sağlamaktadır. Alüminyumlar köprülerin yük taşıma kapasitesinde artışı sağlarken, köprü ağırlığında da azalma sağlamaktadır [18].

### **2.3.2. Otomotiv Sektörü Uygulamaları**

Otomotiv sektöründe, ağırlıkların azaltılması enerji tüketimini azaltarak doğal kaynakların tasarrufu için tercih sebebidir. Yüksek korozyon direncinin yanı sıra, düşük yoğunluğu, özgül mukavemetinin yüksek oluşu ve düşük enerji ile şekillendirilebilirliği sebebiyle, alüminyum ve alüminyum alaşımları otomotiv endüstrisinde tercih sırasında ilk sıralarda olmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının kullanımı genel olarak araç gövdelerinin ağırlıklarını azaltmak içindir. Günümüzdeki gelişmeler doğrultusunda otomobil gövdesindeki çeliğin alüminyum ile değiştirilmesiyle iskelet yapısındaki ağırlığın %50 azaldığı belirlenmiştir. Böylece ağırlıktan tasarruf yapılabilir. Alüminyum, gövde yapılarında, şasi uygulamalarında, kapaklarda ve kirişlerde, kapılar ya da kaportalar gibi dış bağlantılarda kullanılmaktadır [19].

### **2.3.3. Ambalaj Sektörü Uygulamaları**

Alüminyum malzemelerin kullanım alanı olarak diğer kullanışlı sektörü ambalaj endüstrisidir. Alüminyum ve alaşımları, konteyner imalatında ve ilaç ambalaj endüstrisinde çok çeşitli ambalaj uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanım alanına sahiptir. Alüminyumların homojen yapıya sahip olması ve ince folyo biçiminde üretilebiliyor olması, hava geçirmezliğiyle kolay şekillendirilebilmesi bakımından ideal bir ambalaj malzemesi yapmaktadır. Alüminyum folyo, havayla ultraviyole ışınlarını geçirmemesi nedeniyle gıdaların doğal renklerini ve tatlarını koruma özelliği bulunmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının ambalaj endüstrisinde en yaygın kullanım alanı ise içeceklerin kutu üretimidir. Dünya genelinde kullanılan içecek kutularının yaklaşık olarak %80'i alüminyumdan üretilmektedir. Hafifliği, kolaylıkla açılması, darbe dayanımına dayanıklılığı, çabuk bir şekilde soğutma özelliğiyle tekrar kullanılabilirliği sayesinde kullanım alanı artmaktadır. Kullanılmış alüminyum içecek kutularının yüksek düzeydeki hurda değerleri, kutuların tüketicilerden satın alınmasıyla başlayan geri dönüşüm işlemiyle de yeni ürünlerin üretimi sağlanmaktadır. Günümüzde alüminyum folyoların imalatında ve tüketiminde artış görülmektedir. Folyoların üretiminin ilk yıllarında paketlemeyle

şeker sarma amaçları için kullanılmış daha sonra kullanım alanlarında genişleme olmuştur. İlaçların korunmasında da alüminyum folyolar kullanılmaktadır [17].

#### **2.3.4. Elektrik Uygulamaları**

Alüminyum ve alaşımlarının kontrollü bileşim etkileri titanyum, vanadyum ve zirkonyumu gidermek için bor ilave edilerek her birinin özgül dirençlerinin artması gibi sebepler ile rekabetçi malzemelerin yerine düşük maliyete sahip yüksek elektrik iletkenliğine sahip olan alüminyum iletken malzemesinin üretiminde ilk sırada yer almaktadır. Bu nedenle alüminyum kullanılması Avrupa'da %10, ABD %9 ve Japonya'da %7 olarak elektrik ve elektronik endüstrisinde kullanım alanına sahiptir. Bu endüstride alüminyum malzemeler en çok elektrik aktarım hatlarında kullanılmaktadır. Elektronik alanındaysa transistör soğutucularında, kayıt disklerinde ve elektronik cihaz kasalarının üretiminde kullanım alanına sahiptir [13]. Alüminyum iletken malzemeler çelik takviyesine sahip tek bir tel ya da örgü tel grubu olabilen yüksek mukavemete sahip, tel kesit ile belirlenebilen elektriksel direncine sahip iletken türlerinin imalatı alüminyum ve alüminyum alaşımlarından üretilmektedir [20].

#### **2.3.5. Havacılık Uygulamaları**

Havacılık endüstrisinde 1908 yılında uçak endüstrisinde alüminyum ve alaşımları yaşlandırma sertleşmesinin bulunması ile kullanım alanına sahip olmaya başlamıştır. Günümüzde ise uçakların gövde kısımları alüminyum ve alaşımları kullanılarak üretilmektedir. Uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum malzemelerinin mukavemetleri oldukça yüksektir. Uçaklarda yaygın bir şekilde 2024, 5052, 6061 ve 7075 gibi alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Uçakların yaklaşık olarak %70'e kadar olan ağırlığını alüminyum ve alüminyum alaşımı malzemeler oluşturmaktadır. Hafifliğinin yanı sıra sağlam olması nedeniyle alüminyum alaşımlarının havacılık endüstrisindeki gelişimi hızlanmıştır [17].

## 2.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Alüminyum ve alaşımlarını imalat yöntemleri temel alınarak döküm ve dövme olarak iki gruba ayırabiliriz. Bu gruba ayırma üretim yöntemlerinin farklı gereksinimlerinin olduğunu göstermektedir. Plastik deformasyon ile şekil verilen dövme alaşımları, döküm alaşımlarından çok farklı mikro yapıya ve kompozisyonlara sahiptir. Her temel grubun içerisindeki alaşımlar, ısıl işlem uygulanabilir ve uygulanamaz alaşımlar olarak da iki gruba ayrılabilir [21].

### 2.4.1. Döküm Alüminyum Alaşımları

Döküm yolu ile üretilen alüminyum alaşımları sınıflandırılma işlemi 4 rakam ile ifade edilmektedir. Ancak bu ifade biçiminde üç hane ve bir ondalık sayı olarak gösterilmektedir. İlk hane alaşım elementini, ikinci ve üçüncü hane ise alaşımların kendine özel olan ve keyfi bir şekilde verilen numaraları temsil eder. Ondalık kısmında bulunan haneyse dökümün formunu ifade etmektedir. Dört hanenin başına bir harf eklenirse alaşımın modifikasyonunu belirtir. Alaşımların temper durumlarıysa dört haneli seri numaraların sonuna harflerin ve sayıların eklenerek belirtilir.

Döküm yolu ile üretilen alüminyum alaşım malzemelerinin avantajları;

- Yüksek akışkanlığının ve düşük ergime sıcaklığının olması sayesinde kolaylıkla dökülebilir olmasıdır,
- Hidrojen dışındaki gazlara karşı çözücülüklerinin düşük düzeyde olması,
- Isıl işlem ile dayanım ve sertlik değerlerinin arttırılmasına uygundur,
- Yüzey kalitesinin iyi olması ve pek çok durumda talaşlı imalata gerek duyulmaması,

Döküm yolu ile üretilen alüminyum alaşımlarının dezavantajları,

- Hidrojen gazına karşı hassaslığı,
- Sıcak durumda çatlak riskinin olması,
- Sünekliliğinin düşük olması,
- Malzemenin büzülme ve çarpılma oranının fazla olması [10].

## 2.4.2. Dövmeye Alüminyum Alaşımaları

Alüminyum dövmeye alaşımaları döküm alaşımalarında olduğu gibi dört harf ile sınıflandırılmaktadır. Ülkemizdeki bazı alüminyum ve alaşımalarını üreten firmalar da bu şekilde kullanılmaktadır [22]. Sınıflandırılan alüminyum alaşımaları aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

1xxx: Alaşıma sahip olmayan alüminyum olarak ifade edilmektedir. Genelde elektrik ve kimya endüstrilerinde kullanılmaktadır [22]. İçeriğinde %99 ve üzeri alüminyum oranı bulunmaktadır. Alüminyum sınıfları ise 1050, 1060, 1145, 1230 gibidir. Bu alüminyum alaşımının iyi düzeyde korozyon dayanımıyla yüksek ısı iletkenlik ile elektrik iletkenliği sağlamaktadır [17].

2xxx: Bu alaşımın temel alaşım elementini bakır oluşturmaktadır. İçeriğinde yaklaşık olarak %6,3 kadar bakır ihtiva etmektedir. Diğer alaşım elementlerinin en başında da magnezyum gelmektedir. Alüminyum alaşımaları içerisinde korozyon direncinin en düşük olanı diyebiliriz. Kaynak yeteneği açısından alaşıma bağlı olarak kötü ve orta düzeylerindedir. 2xxx serisi, yaygın kullanımına alüminyum alaşımıdır ve uçak tasarımlarında aktif bir şekilde kullanım alanına sahiptir [17].

3xxx: Temel alaşım elementini mangan oluşturmaktadır. Şekil değiştirilebilirliği oldukça iyidir ve kaynak yeteneğinin yanı sıra da korozyon direnci oldukça yüksektir. Bu alüminyum alaşımaları yaygın olarak mimari uygulamalarda ve ambalaj endüstrisinde kullanım alanına sahiptir [23].

4xxx: Silisyum bu alaşımın temel elementini oluşturmaktadır. Genelde çubuk ve levha halindedir ve kaynaklı birleştirilmesi yapılmaktadır. Bu alaşım, önemli düzeyde kömür grisi renginde silikon ihtiva etmesi sebebiyle mimari uygulamalarında ve anot oksit kaplamalarında kullanım alanına sahiptir [22].

5xxx: Magnezyum bu alaşımın temel elementini oluşturmaktadır. Korozyon direncinin yüksek düzeyde olması nedeniyle genellikle deniz suyu ortamına maruz kalan kayıkların kapartoları ve iskelelerinde kullanılmaktadır. Ancak, yüksek

düzyeyde magnezyum elementi nedeniyle alüminyum malzemelerde gerilme ve korozyon çatlaklarına neden olabileceği sebebiyle soğuk işlem miktarıyla ve çalışma sıcaklığı hassasiyetinin önlenmesi amacıyla çalışma sıcaklığı 150 °F olarak kısıtlanmıştır [17].

6xxx: Temel alaşım elementini magnezyum ve silisyum oluşturmaktadır. Ekstrüzyon yoluyla üretilen mimari parçaların ve savunma sanayisinde mühimmat rafı olarak kullanım alanına sahiptir. 2xxx ve 7xxx alaşımları kadar dayanıklılıkları bulunmamaktadır. 6xxx alaşımları şekillendirilebilme, kaynak yeteneği, işlenebilirliğiyle birlikte korozyon dirençleri yüksektir [22].

7xxx: Ana alaşım elementini çinko oluşturmakta olup aynı zamanda bakır, krom, magnezyum ve zirkonyum diğer alaşım elementlerini meydana getirmektedir. En dayanıklı alüminyum alaşımlarını oluşturmaktadır. Dayanımları yaklaşık olarak 500 MPa düzeylerini geçmektedir. Gerilmeli korozyonla folyo işleminin sorun teşkil ettiği yerlerde kullanım alanları vardır. Bakır ihtiva eden alaşımlar çökeltme sertleşmesini sergiler. Uçakların gövdelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [22].

8xxx: İçerisinde lityum, kalay ve demir elementleri bu alaşımın temelini oluşturmaktadır. Elektriksel iletkenliğinde nikel ve demir elementleri önemli bir kayıba sebebiyet vermeden alaşımın dayanımında artış sağlamaktadır. Genellikle kullanım alanları havacılık endüstrisidir [17, 22].

### **2.4.3. Isıl İşlem Uygulanabilen ve Uygulanamayan Alaşımlar**

#### **2.4.3.1. Isı İşlem Uygulanabilen Alaşımlar**

Bu tür alüminyum alaşımları yüksek sıcaklık düzeylerinde çözülebilen elementlerin devamında su verme işlemiyle soğutulmaya tabii tutularak çökelti meydana getirmesi neticesinde mukavemetinde artış sağlanan gruptur. Bu alüminyum alaşımları esas olarak üç temel gruptan meydana gelmektedir [24].



1. 2xxx alaşımları: Bu alüminyum alaşımlarının ideal özelliklerini kazandırabilmek için ısıtılma tabii tutulması gereklidir. Bazı durumlarda ise yaşlandırma ile mekanik özellikleri artırılmaktadır.
2. 6xxx alaşımları: Bu alüminyum alaşımının ısıtılma işlemi magnezyum ve silisyum elementlerinin birleşerek meydana getirdiği Mg<sub>2</sub>Si çökeltisinin sıcaklıkla değişen çözünürlüğü sebebiyle oluşmaktadır. Bu alaşımlar çözelti içinde yapay olarak yaşlandırma işleminden geçirilerek alüminyum matrisinin içinde Mg<sub>2</sub>Si partikülleri çöker. Böylece orta düzeyde mukavemet elde edilmektedir. Sağlanan mukavemet 2xxx ve 7xxx serileri kadar olmasa da şekillendirilebilme yeteneği, talaşlı imalata ve kaynaklanabilme uygunluğu iyidir.
3. 7xxx alaşımları: Bu alaşımın daha yüksek mukavemet değerlerine ulaştırabilmek amacıyla alaşım içine az oranda bakır ve magnezyum elementleri eklenmektedir. İçerisinde çinko elementinin bulunması sıcak çatlamasına ve soğuma çekmesine neden olmaktadır. Bu alüminyum alaşımları genellikle T6 kondisyonuna çıkarılarak kullanılmak istanmaktadır. Çünkü daha düşük kondisyonlarda içerisindeki inklüzyonlar fazla olmaktadır [25].

#### **2.4.3.2. Isıl İşlem Uygulanamayan Alaşımlar**

1. 1xxx alaşımları: Bu alüminyum alaşımları yaşlandırma vasıtasıyla mekanik özellikleri iyileştirilememektedir. Bu alaşım serisinin mekanik özellikleri yalnızca deformasyon sertleşmesiyle iyileştirilmektedir.
2. 3xxx alaşımları: Bu alaşımın içerisindeki mangan elementi nedeniyle yüksek korozyon ve yüksek sünekliliğe sahiptir. Bu alüminyum alaşımları ısıtılma yoluyla mekanik özellikleri iyileştirilmemektedir, yalnızca mekanik özellikleri katı çözeltiyle iyileştirilmektedir.

3. 4xxx alaşımları: Bu grubun ana alaşım elementini silisyum oluşturmaktadır ve genellikle içerisinde %12 oranına kadar silisyum bulunmaktadır. Silisyum bu alaşımlara daha düşük sıcaklıklarda ergimesine neden olmaktadır. Daha düşük sıcaklıklarda ergimesi onu özellikle kaynak teli ve lehim alaşımı olarak kullanılmasında elverişli duruma getirir. Düşük sıcaklıklarda ergime döklebilme özelliklerini iyileştirmektedir. 4xxx alüminyum alaşımları ihtiva ettiği silisyumun katkısıyla düşük termal genleşme katsayısına, yüksek aşınma direncine ve korozyon direncine sahip olurlar. Isıl işleme mekanik özelliklerinde iyileştirilme sağlanamaz.
4. 5xxx alaşımları: Bu grubun esas alaşım elementini magnezyum elementi oluşturmaktadır ve alüminyum alaşımları için en çok kullanılan alaşım elementi olarak öne çıkmaktadır. Alüminyum içinde önemli bir öznrle sahip olan magnezyum elementi bu alaşımda meydana getirdiği katı çözeltiyle alaşımın deformasyon vasıtasıyla sertleşmesine katkı sağlamaktadır. Bu işlem ile beraber alaşımın mekanik özelliklerinde önemli bir artış oluşturur. Bu alüminyum alaşımları yüksek korozyon direncine, yüksek kaynak yeteneğine ve orta ile yüksek mukavemet özelliklerine sahiptir. Bu serideki alüminyum alaşımları ısıl işlem gormeyen alüminyum alaşımları içerisinde en yüksek mukavemet değerine sahip alaşımlar olarak karşımıza çıkar. Ierisinde bulunan magnezyum oranı arttıça şekillenebilir özelliği azalır, sertlik ve mukavemet bununla orantılı artış gösterir. Bu alaşım grubu göstermiş olduğu mekanik özelliklerinden dolayı gemilerin suyla temas eden yüzeylerinde ve otobüs, kamyon gibi taşıma araçlarının dış kısımlarında en çok tercih edilen malzemelerden biridir. Kullanım alanları bu sektörlerle sınırlı olmayıp sanayide birçok sektörde de tercih edilen bir malzeme grubu olarak karşımıza çıkar. En yaygın üretim ve temin edim şekli ise tabaka olarak tercih edilir.
5. 8xxx alaşımları: Lityum alüminyum içine %4 oranına kadar eklenir. Alüminyum alaşımlarına eklenen lityum malzemenin yoğunluğunun azalmasına sebebiyet verir ve yopunluktaki bu azalma içerisindeki lityum miktarıyla doğru orantılıdır. Bu alüminyum alaşımlarının ortaya çıkış sebebi

gelişen teknolojiyle beraber daha düşük yoğunluğa sahip olmanın yanı sıra daha mukavemetli malzemelere ihtiyaç duyulmasındandır [25].

## **2.5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ**

Alüminyum alaşımlarına pek çok alaşım elementi etki etmektedir. Bu etkiler alüminyum alaşımlarının özelliklerinin artırılması için yapılmaktadır. Alüminyum alaşımlarına ilave edilen ve etki durumları aşağıda verilmiştir.

Bakır, alüminyum alaşımlarının mukavemetinde önemli artış sağlamakla beraber çökeltme sertleşmesini de kolaylaştırmaktadır. Bakır eklenmesiyle alüminyum alaşımlarının sünekliliği ve korozyon direnci azalabilir. Katılma sırasında çatlak oluşumuna sebebiyet verebilir. Bu nedenle bakır ilave edilen bazı alüminyum alaşımlarının kaynağı zor olmaktadır.

Mangan, alüminyum alaşımlarına ilave edilerek mukavemet değerini bir miktar arttırmaya yaramaktadır. Gerinim sertleşmesinin iyileşmesini sağladığı gibi korozyon ve süneklilik direncinde önemli düzeyde düşürememektedir. Alüminyum alaşımlarına mangan ilave etmek, yüksek sıcaklık düzeylerinde mukavemet değerlerinin korunmasını sağlar.

Silisyum elementi alüminyum alaşımlarının erime derecesinin düşmesini sağlar ve sıvı alaşımının akışkanlığında artışı sağlamaktadır. Tek başına ilave edilmesi durumundaysa ısı işleme uğrayamayan bir alaşım meydana gelir. Magnezyum ile beraber alaşımlandırılan alüminyum çökeltmeyle sertleşen ve ısı işlem uygulanabilen alaşım haline gelmektedir. Döküm işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Magnezyum elementi katı çözeltilerinin sayesinde alüminyum alaşımlarının mukavemet değerlerinde artış sağlamaktadır. Bu element ile alaşımlar hızlı bir şekilde sertleşir, bu nedenle levha üretiminde tercih edilmektedir.

Çinko, diğer alaşım elementleri ile beraber en yüksek mukavemete sahip, ısı işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarında kullanılmaktadır. Çinko mukavemet

değerini önemli düzeyde arttırarak çökelme sertleşmesi oluşumuna imkân vermektedir.

Demir, alüminyum alaşımlarında yer alan en yaygın safsız değerine sahip elementdir. 1xxx serisi saf alaşımlarında, bazen mukavemet artış sağlayabilmek maksadıyla eklenmektedir.

Krom elementi alüminyum alaşımlarının içerisinde kullanıldığında tane yapısını kontrol edererek tanelerin büyümesini engellemektedir. Bazı alaşım çeşitlerinde yeniden kristalleşmeyi önlemek için de kullanılmaktadır. Ayrıca krom elementi alüminyum alaşımlarının yük etkisi altında enerji absırbe etme özelliğini de arttırmaktadır.

Nikel elementi alüminyum bakır ve alüminyum silisyum alaşımlarında yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve sertlik özelliğini arttırabilmek ve genleşme katsayılarını düşürebilmek maksadıyla eklenmektedir.

Titanyum elementi alüminyum alaşımlarında tane inceltme özelliği nedeniyle bulunmaktadır. Bor ile beraber ilave edilirse tane inceltme özelliğinde artış görülmektedir. Kaynak edilebilirliğini iyileştirdiği ve kaynak işleminde çatlama oluşumunu engellemektedir. Bu nedenle genellikle kaynak için gerekli dolgu tellerinin ortak katkı elementidir.

Zirkonyum elementi, yeniden kristalleşme oluşumunu engelleyerek intermetalik oluşumunu sağlamaktadır.

Lityum elementi önemli düzeyde alüminyum alaşımlarının mukavemetini arttırmaktadır. Çökelme sertleşmesini sağlayarak alüminyum alaşımlarının yoğunluğunu azaltma etkisi bulunmaktadır.

Kurşun ve Bizmut elementleri alüminyum alaşımlarının işlenebilirlik özelliklerini arttırmaktadır. Düşük erime sıcaklığı oluşumuna neden olmaktadır ve katılaşmaları sırasında düşük mekanik değerlerin oluşumuna sebebiyet

vermektedirler. Çatlak hassasiyetleri oldukça yüksek olması nedeniyle bu elementler alüminyum alaşımlarının kaynak yeteneklerinin düşmesine neden olmaktadır [26].

## **2.6. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞI**

Alüminyum alaşımları sahip oldukları yüksek iletkenliklerinin ve katılma aralıklarının geniş olması gibi özellikleri nedeniyle kaynak ile birleştirilme işlemlerinde çeşitli problemlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Genellikle alüminyum alaşımlarının kaynak işlemlerinde oluşan problemler aşağıda verilmiştir.

- Gaz boşluğu,
- Oksit kalıntısı,
- Sıcak çatlak oluşumu,
- Kaynak malzemesinde ve ısı tesiri altındaki bölgenin dayanımının azalması,
- Ergimenin eksik oluşu,
- Korozyon direncinin azalması,
- Elektrik direncinin azalmasıdır [27].

Çelikler ile karşılaştırma yapıldığında daha yüksek iletkenlik özelliğine sahipliği alüminyum alaşımlarının kaynak işleminde düşük kaynak nüfuziyeti ve kaynak içinde gaz kalıntılarının meydana gelmesine sebebiyet vermektedir. Bu olumsuzluklarsa yetersiz ergimeye ve gözenek oluşumlarına neden olmaktadır. Bu problemler sadece ancak kaynak öncesi yapılan ön tav işlemiyle ve hatta malzeme kalınsa kaynak esnasında da gerçekleştirilen tavlama işlemiyle giderilebilmektedir [12, 28].

Kaynak kalitesinin düşmesine ve çalışma koşulları altında oluşan yük durumları esnasında çentik etkisi oluşturarak kırılmalara sebebiyet veren gözenekler, kaynak işlemi yağılması sırasında kaynak metali içinde çözünen ve akabinde katılma sırasında kaynak metali içerisinde kalan gazların sebebiyet verdiği bir sorundur. Alüminyum kaynağında gözeneklerin meydana gelmesine sebebiyet veren hidrojen gibi gazlar kaynak metali içinde mikro gözenekleri meydana getirebileceği gibi

birkaç mm çapında balık gözü olarak ifade edilen çatlakları da oluşturabilmektedir. Kaynak sırasında oluşan yüksek sıcaklık nedeni ile kaynak metali içerisinde çözünen hidrojen gazı hızlı katılaşma sebebiyle dışarı çıkamaz ve hapsolarak kaynak metali içerisinde gözenekler oluşturmaktadır. Kaynak metali içerisinde oluşan bu gözenekler kaynak arkının artırılması, ilerleme hızının düşürülmesi veya ark geriliminin artırılması ile bertaraf edilebilmektedir [12, 27].

Alüminyum kaynağında gözenek oluşmasına sebep olan bir diğer etkense alüminyumun yüzeyinde yer alan alüminyum oksit katmanıdır. Alüminyumun oksijene karşı afinitesi olması nedeniyle çevresindeki atmosfer ile temas etmesi durumunda hemen oksitlenme oluşmaktadır. Bunun yanı sıra alüminyuma uygulanan ısıl işlemler ve çalışma koşulları da bulunduğu nemli ortamlar nedeniyle oksit katmanının kalınlığında artışa sebebiyet vermektedir. Kaynak metalinde gözeneklere ve yetersiz ergimeye sebebiyet veren alüminyum oksit katmanı, asal gaz kaynak arkı ve kaynak tozuyla giderilebilmektedir. Fakat çok kalın oksit katmanları mekanik yollar ile veya uygun farklı yöntemlerin kullanılmasıyla temizlenmelidir [27]. Alüminyum alaşımlarının kaynaklarında oluşan gözenekleri engelleme yöntemlerinden birisi de alaşım elementi eklemektir. Örneğin magnezyum elementi bu durum için oldukça iyi bir elementtir [12].

Alüminyum alaşımlarının kaynağında karşılaşılan bir diğer sorunsu kaynak esnasında malzemede oluşan çarpılmalardır. Alüminyum alaşımları yüksek ısıl iletkenliğe sahip olduğundan kaynak sırasında daha yüksek ısı girdisine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu fazla ısı girdisinin de katılaşma esnasında büzülmelerin daha fazla yaşanmasına neden olmasından dolayı alüminyum kaynaklarında çarpılmalar daha fazla görülmektedir. Bunu önlemek için ise kaynak tasarımı safhasında kaynak ağızlarının sabitlenmesi gerekmektedir [12].

Alüminyum alaşımlarının kaynağında meydana gelen önemli problemlerden birisi de sıcak çatlak oluşumudur. Alüminyumun yüksek genleşme ve geniş katılaşma aralığı gibi özelliklere sahip olması ergitmeli kaynaklarda sıcak çatlakların meydana gelmesine sebebiyet vermektedir [3].

Daha önceden ifade edilen nedenlerden dolayı alüminyum alaşımlarının kaynağı sırasında oluşan problemler, yeterli düzeylerde fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamasına karşın alüminyum ve alaşımlarının endüstride kullanımını geciktirmiştir.

## BÖLÜM 3

### TIG KAYNAĞI

#### 3.1. TIG KAYNAĞI YÖNTEMİ

Gaz tungsten ark kaynak yöntemi (GTAW) olarak da ifade edilen tungsten inert gaz (TIG) kaynağı, kaynak işlemi için ergimeyen tungsten elektrot kullanılan ark kaynak işlemidir. Kaynak bölgesi ve elektrod, inert bir koruyucu gaz (argon veya helyum) ile oksidasyon veya diğer atmosferik kirlenmeden korunmaktadır. TIG kaynağı daha çok paslanmaz çelik ve alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları gibi ince kesite sahip demir dışı metallerin birleştirmesi için kullanılmaktadır. TIG yöntemi ile genelde diğer kaynak yöntemleri ile yapılan kaynaklı birleştirmelere göre daha üstün özellikte bağlantıların elde edilebilmektedir.

TIG kaynağında ark, tungsten elektrodla malzeme arasında oluşmaktadır. Kaynak akım üreticinin bir kutbu tungsten elektroda diğeri ise malzemeye bağlanarak elektrik devresi oluşturulur. Kaynak işlemi sırasında tungsten elektrodun yüksek sıcaklıklara çıkmasıyla arkın devam edebilmesi için gerekli olan elektron emisyonu sağlanmaktadır. Koruyucu gaz olarak argon, helyum ya da bunların karışımı kullanılmaktadır. TIG kaynağında en yaygın olarak kullanılan koruyucu gaz ise argondur. Bu nedenle endüstride argon kaynağı olarak da geçmektedir. TIG kaynağında elektrodun sağlıklı bir biçimde korunabilmesi için koruyucu gazın saflık derecesi önem arz etmekte olup en az %99,95 düzeyinde olması gereklidir [29].

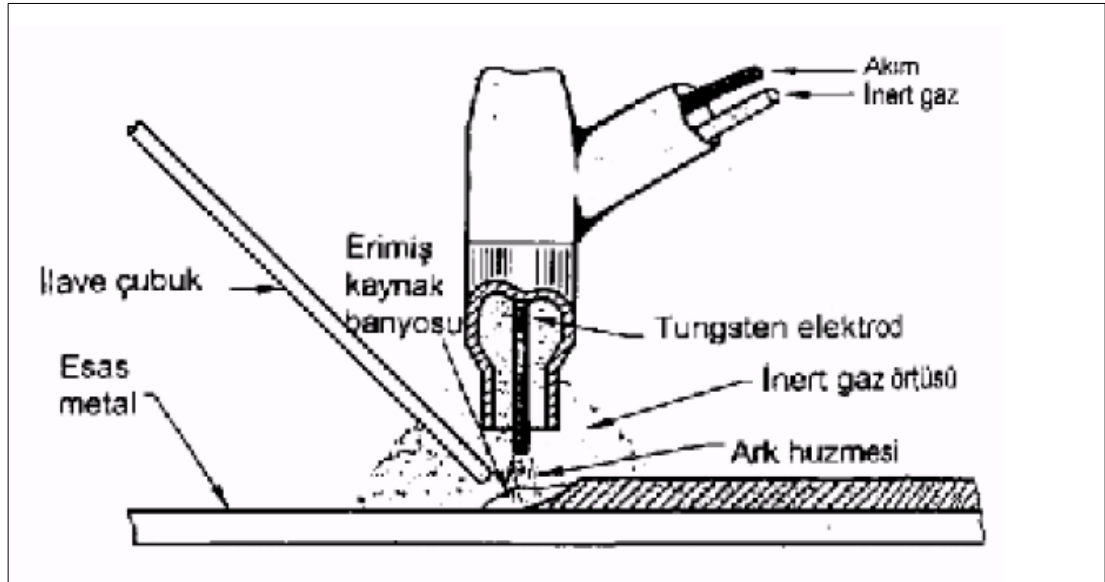
TIG kaynağı aynı zamanda karmaşık şekilli parçaların üretiminde de sıklıkla kullanılmaktadır. Havacılık uygulamalarında özellikle nikel ve kobalt esaslı süper alaşımların birleştirilmesinde tercih edilen yöntemlerden birisidir. TIG kaynak yöntemi kanatlar, kontrol kolları, türbin kanatçıkları, gaz türbin motorlarının egzoz



parçaları ve hava aktarma kanalları gibi çeşitli otomobil ve havacılık bileşenlerini birleştirmek için yaygın olarak kullanılır [30]. Özellikle farklı cins malzemelerin birleştirilmesinde sıklıkla TIG kaynak yöntemi tercih edilmektedir. Diğer kaynak yöntemlerine göre havacılık bileşenlerinin tamir kaynağında tercih edilen yöntemlerden birisidir. Kaynak parametreleri, kaynağın kalitesini, verimliliğini ve maliyetini etkileyen en önemli faktörlerdir. Süper alaşımların TIG kaynağı ile birleştirilebilirliği üzerinde kaynak parametreleri, kaynak öncesi ve sonrasındaki ısı işlemler, kaynak ilave metalleri ve mikroyapı değişimleri konularında yoğun olarak çalışmalar yürütülmektedir [31].

### 3.2. TIG KAYNAĞI UYGULAMASI

Erimeyen elektrot ile malzemenin arasında meydana gelen ark ile gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir. Dolgulu olarak veya dolgu olmaksızın yapılabilir. Bu yöntemde elektrot ve kaynak banyosu atmosfer etkilerinden korunmalıdır ve korumanın sağlanabilmesi amacıyla asal gazlar kullanılmaktadır [10]. Şekil 3.1’de TIG kaynağının uygulaması şematik olarak verilmektedir.



Şekil 3.1. TIG kaynağının uygulaması.

Bu yöntemde genellikle elektrot doğru akım ve negatif kutuplanmaktadır. Bu negatif kutuplama genellikle saf tungsten ya da tungsten alaşımından üretilen elektrodun

kaynak ömrünün arttırılmasını sağlamaktadır. Alüminyum gibi yüzeyleri sıkı oksit katmanıyla kaplı malzemelerin kaynak işlemlerinde sıkça kullanılan kaynak yöntemidir. Fakat doğru akım kutuplama alüminyum gibi malzemelerin kaynağının yapılabilmesi için bazen yeterli değildir. Alüminyum oksit, saf alüminyuma göre çok yüksek sıcaklıklarda erimeye başlaması nedeniyle kaynak banyosunun içerisinde oksit parçaları kalarak birleşime engel olacaktır [32].

Elektrod doğru akım pozitif yüklendiğinde tungsten elektrod fazla ısınarak erimeye başlar, bu nedenden dolayı alüminyum gibi malzemeler kaynatırken alternatif akım tercih edilmektedir. Yüksek hız ile negatif yüke sahip malzemeye doğru hareket eden iyonlar oksit katmanına çarparak çok ince olan doğal oksit katmanını kırabilmektedir [33].

Tungsten elektrotlar alaşım çeşitlerine ve uç şekillerine göre sınıflandırılırlar. Tungsten elektrotlar saf tungsten elektrotlar ve oksit katkılı tungsten elektrotlar olarak ikiye ayrılır. Oksit ilaveli elektrotlar saf tungsten elektrotlara göre daha fazla katı halde kalabilmekte ve daha uzun ömürlü olmaktadır. Bunun haricinde elektrot uçları sivri veya küt olarak tercih edilebilir. Sivri uçlu elektrotlarda akım daha iyi yoğunlaştırabilmesi nedeniyle nüfuziyet daha fazla, küt elektrotlarda ise bu durum tam tersi olarak daha azdır. Ancak alternatif akım kullanılan uygulamalarında genellikle elektrodun fazla ısınması ve eriyip malzemeye karışması durumunun oluşması nedeniyle küt uç tercih edilmektedir.

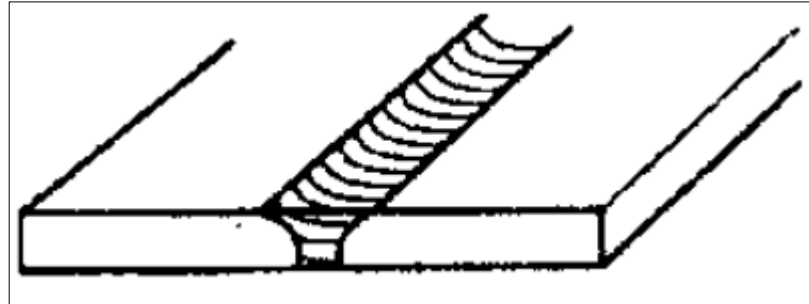
Koruyucu gaz olarak genellikle saf argon gazı kullanılır, fakat özel uygulamalarda argon ve helyum ya da saf helyum gazı da kullanılmaktadır. Helyum gazının ısı transfer katsayısı argon gazına göre daha yüksek olması nedeniyle daha derin bir nüfuziyet sağlamaktadır.

TIG kaynağında kullanılan güç kaynakları düşey karakteristiğe sahiptir. Akım şiddeti sabit fakat gerilim değeri torcun malzemeye arasındaki mesafeye göre değişkenlik göstermektedir. Bu tür makinelerde dış ayar mekanizması bulunmaktadır. Parametre ayarı sürekli olarak kaynakçının tetik ile ya da pedal ile akım şiddetini ayarlamasını

gerektirir. Bu yöntem MIG/MAG yöntemine göre daha fazla el göz koordinasyonunu gerektiren zor bir yöntemdir [34].

TIG kaynak yönteminde de torç MIG/MAG'da olduğu gibi 250 A üzerinde akım şiddetleri uygulanan makinelerde su soğutmalı sistem tercih edilmektedir. Torç kullanım türüne bağlı olarak farklı tetik mekanizmalarına sahip olabilir [35].

Kaynak işlemleri yapılırken birçok kaynak pozisyonu bulunmaktadır. Bunlar; alın altına, paralel, t kaynağı, köşe kaynak ve bindirme kaynak vb. dir. Bu çalışmada alın kaynağı yöntemi uygulanmıştır. Alın kaynağı işlemi iki farklı plakanın aynı düzlem üzerinde birbirlerine birleştirme işlemi olarak ifade edilebilir. Basit anlamda alın kaynağı iki malzemenin yan yana yerleştirilerek kaynak dikişi boyunca kaynak yapma işlemidir. Malzemelerin birleştirilecek yüzeyleri birbirlerine aynı yüzeyde olup üst üste binme söz konusu değildir. Bu yöntem ile farklı kalınlıklara sahip malzemelerin birleştirilmesi yapılabilir. Alın kaynağı işlemi endüstride kaynaklı birleştirme özellikle alüminyum ve alaşımları gibi malzemelerin birleştirilmesinde yaygın bir şekilde kullanılan kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi ile uzun mesafe kaynak işlemleriyle montaj gerektiren durumlarda kullanılmaktadır. Alın kaynağının şematik olarak gösterimi Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Alın alın birleştirme.

### 3.3. TIG KAYNAĞI AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

TIG kaynağının avantajları;

- Genellikle hatasız ve kaliteli kaynak dikişleri ile kaynak işlemi yapılabilir,
- Çapak oluşumları diğer kaynak yöntemleri gibi görülmez,

- Kaynak penetrasyonları kontrol edilebilir,
- Kullanılan güç ünitelerinin maliyeti düşüktür,
- Kaynak değişkenlerinin kontrol edilmesi kolaydır,
- Farklı metaller bu yöntem ile birleştirilebilir,
- Isı girdisiyle kullanılan ek metalin miktarı bağımsız bir şekilde ayarlanabilmektedir,
- Birçok metalin ve alaşımları bu kaynak yöntemi ile birbirlerine birleştirilebilir,
- Dekapan kullanımına gerek yoktur.
- Kaynak dikişlerinde genelde ikincil işlemler uygulanmaz,
- Kaynak işlemi sırasında oluşan çarpımlar oluşmaz,
- Kaynak bölgesinde kullanılan elektrod nedeniyle karbür ayrışması çok az oluşur,
- Tavan, dik ve yatay pozisyonlar dahil olmak üzere tüm kaynak pozisyonlarında kaynak işlemine uygundur,
- Kaynak torcunun hafif olması çalışma imkanını diğer kaynak yöntemlerine göre daha kolay kılmaktadır,
- Kaynak dikişinin üzerinde curuf oluşumu gözlenmez,
- Kaynak yapılacak parçaların kalınlıklarına göre ilave metalin kullanımına gerek kalmayabilir [1, 36].

#### TIG kaynağının dezavantajları;

- Tükenebilen elektrotlar ile gerçekleştirilen ark kaynağı yöntemlerine göre ilave metalin kaynak banyosu üzerine ergiyerek eklenmesi oldukça yavaş olmaktadır,
- Otomasyon olmaksızın elle yapılan uygulamaları diğer kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında oldukça zordur,
- 10 mm'den fazla olan kalınlıklar yapılan kaynak işlemi diğer ark kaynağı yöntemlerine göre daha pahalıdır,
- İş parçası malzemesine diğer kaynak işlemlerine göre daha az miktarda ısı girmektedir,
- Diğer ark kaynağı yöntemlerine göre metal yığıma hızı daha yavaştır,

- Kalın parçaların kaynağı yavaştır,
- Koruyucu gaz kullanımını zorunlu olan bir kaynak yöntemidir,
- Birleştirilecek iş paçası malzemelerinin yüzeyleri temiz olmasıdır, bu nedenle ön hazırlık gerektiren bir kaynak yöntemidir [1, 36].

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEMELER

Bu çalışmada iki farklı malzeme (5083 H111 ve 6082 T6), iki farklı tel (5183 ve 5356) ve sabit akım değeri ile TIG kaynağı uygulaması yapılmıştır. Kullanılan 5083 H111 ve 6082 T6 malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de, kaynak tellerinin özellikleri ise Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.1. 5083 H111 malzemesinin % kimyasal bileşimi.

Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cu (%)	Ti (%)	Cr (%)	Zn (%)
0,089	0,222	0,504	4,681	0,058	0,013	0,058	0,0115

Çizelge 4.2. 6082 T6 malzemesinin % kimyasal bileşimi.

Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cu (%)	Ti (%)	Cr (%)	Zn (%)
0,9128	0,2955	0,5180	0,0342	0,0688	0,0277	0,0208	0,0507

Çizelge 4.3. 5183 kaynak telinin % kimyasal bileşimi.

Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Cu (%)	Ti (%)	Al (%)	Be (%)	Fe (%)	Mg (%)	Zn (%)
0,05	0,54	0,06	< 0,01	0,02	94	< 0,0001	0,10	4,6	< 0,01

Çizelge 4.4. 5356 kaynak telinin % kimyasal bileşimi.

Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Cu (%)	Ti (%)	Al (%)	Fe (%)	Mg (%)	Zn (%)
0,05	0,11	0,11	< 0,01	0,07	> 85	0,10	4,7	< 0,01

Kaynak işlemleri sırasında kaynak parametreleri malzemelerin ve kaynak tellerinin temin edildiği firmalar tarafından önerilen bilgiler doğrultusunda belirlenmiştir. Kaynak parametreleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kaynak parametreleri.

Akım (A)	Voltaj (V)	Akım Tipi Polarite	Hız (mm/dak)	Isı Girdisi (kJ/mm)
110	16	AC	255	0,22

Deneysel çalışmalarda kullanılan TIG kaynağı TI 4300i AC/DC makinesidir. TIG kaynağı makinesi Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. TIG kaynağı makinesi.

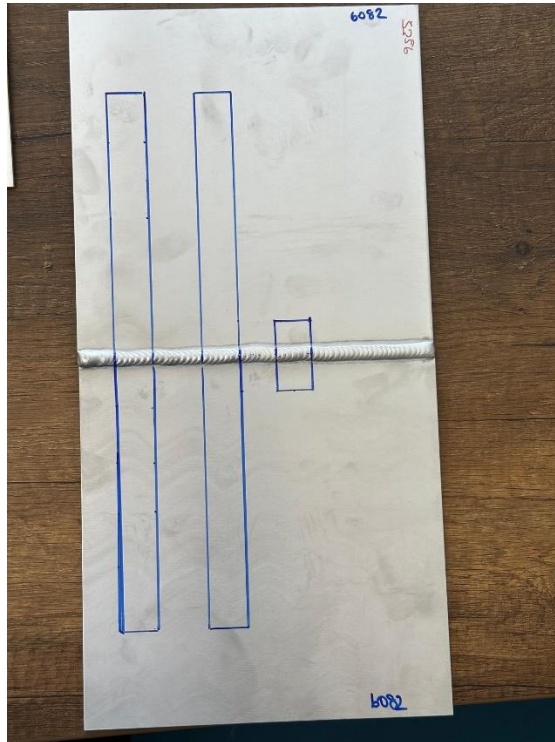
## 4.2. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere altı adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Hazırlanan numunler.

Numune Numarası	Malzeme 1	Malzeme 2	Kullanılan Kaynak Teli
1	6082	6082	5183
2	6082	6082	5356
3	5083	5083	5183
4	5083	5083	5356
5	5083	6082	5356
6	5083	6082	5183

Çizelge 4.6'daki kaynak yapılan malzemelerin incelemesinin yapılması için kaynak bölgesinin belirli bölgelerinden numuneler kesilmiştir. Çekme deneyi için numuneler kıl testere kullanılarak plakalardan çıkarılmıştır. Mikraoyapı incelemeleri için numune kesme işlemi Struers secotom-50 marka kesme makinesinde yapılmış olup kesilen bölgeler Şekil 4.2'de kesme işlemi yapılan makine ve örnek kesme işlemi ise Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.2. Numunelerin hazırlanması.







Şekil 4.5. Çekme deneyi düzeneği.

#### 4.4. NUMUNELERİN MİKROYAPI İNCELEMESİ

Çekme deneyi sonrası numunelerin mikroyapı incelemeleri için Nikon ECLIPSE MA200 marka optik mikroskop cihazı kullanılarak alınmıştır. Numunelerin mikroyapı incelemeleri için deney numunelerine sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapılmıştır. Numunelerin yüzeyleri 200-1200 mesh arası birbirini takip eden zımpara kağıtları ile zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparalama sonrasında numunenin yüzeyleri 3 ve 1  $\mu$  elmas süspansiyonların yardımıyla parlatılmıştır. Parlatma sonrasında dağlama işlemi ise reaktif malzemeye 10 saniye süreyle daldırılarak gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri Karabük Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında yapılmış olup optik mikroskop Şekil 4.6 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Optik mikroskop.

#### 4.5. PENETRASYON TESTİ

Kaynak uygulamaları sonrasında kaynaklı bağlantının kalitesini ve güvenilirliğini değerlendirmek için penetrant testi yapılmıştır. Bunun amacı kaynaklı bağlantının yüzey altındaki ve yüzeydeki kusurlarını tespit etmektir. Penetrasyon testleri yapılmadan önce test edilecek yüzeyde muhtemel olabilecek yağ, kir ve yabancı maddelerden arındırılması için temizleme işlemleri yapılmıştır. Ardından penetrant uygulaması için yüzeye sıvı penetrant uygulanmıştır. Penetrantın yüzeye tam nüfuz etmesi için beklendikten sonra fazla penetrantlar temizlenmiştir. Son olarak geliştirici yüzey uygulaması yapılmıştır. Penetrant uygulaması için kullanılan sıvılar Şekil 4.7’de verilmiştir. Bt 69 sıvısı yüzeyin temizlenmesi, Bt68 sıvısı pnetran sıvısı olarak ve Bt70 de geliştiri son yüzey kusurlarının tespiti için kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Kullanılan penetrant sıvıları.

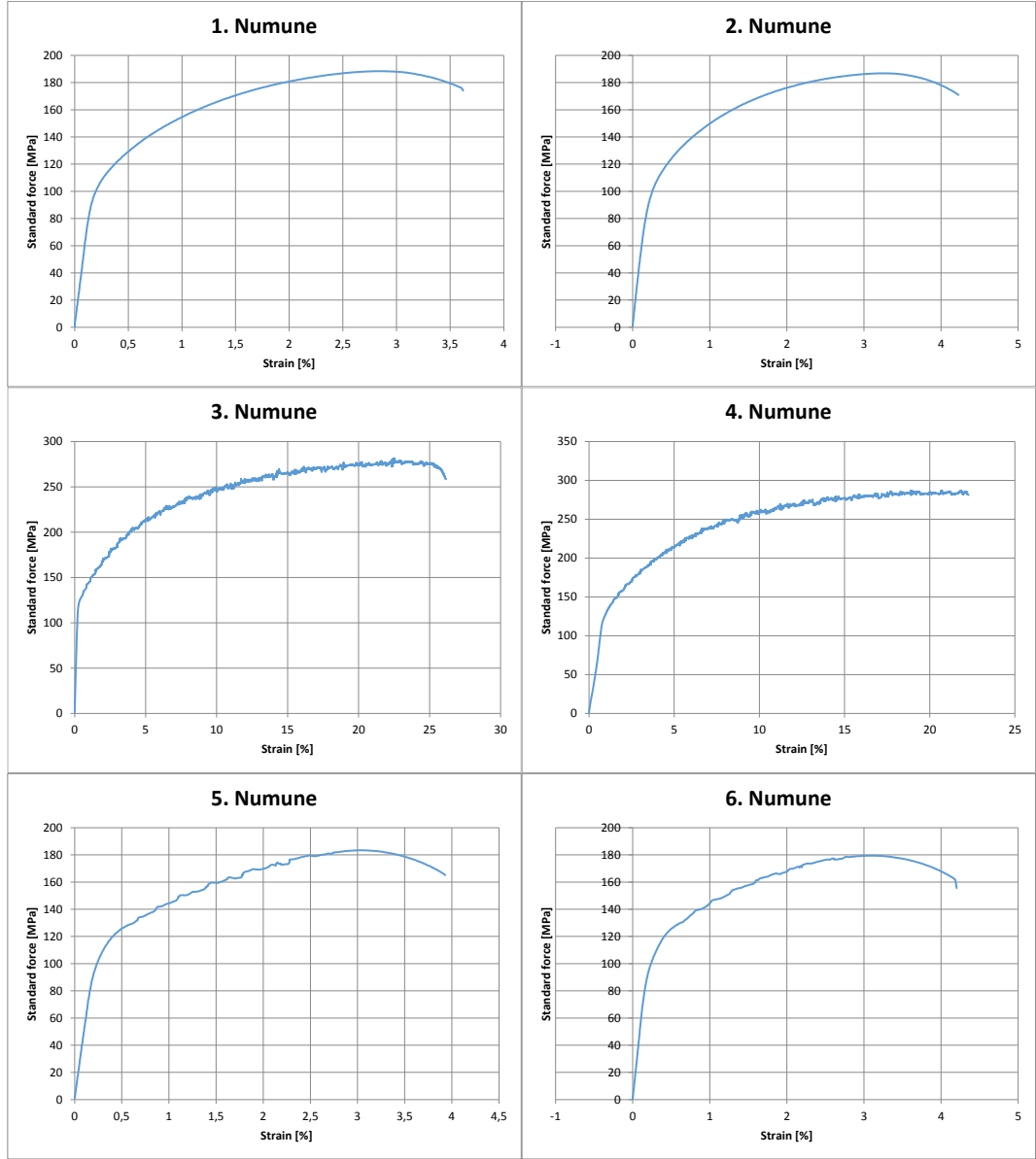
## **BÖLÜM 5**

### **BULGULAR VE TARTIŞMA**

Yapılan tez çalışmasında 5083 H111 ve 6082 alüminyum alaşımlarının TIG kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirme işlemleri yapılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerde kaynak parametrelerinin iki farklı tel kullanılarak malzemeler üzerindeki mekanik ve mikroyapı özellikleri araştırılmıştır. 5083 H111 ve 6082 alüminyum alaşımları farklı teller kullanılarak hem kendi aralarında hemde aynı malzemenin iki plakasının birleştirilmesi ile yapılmıştır.

#### **5.1. ÇEKME DENEYİ**

DIN EN ISO 6892-1'e göre hazırlanarak çekme testine tabi tutulan kaynak numunelerinin çekme grafikleri Şekil 5.1'de, çekme sonuçları elde edilen çekme dayanımı ve yüzde uzama sonuçları ise Çizelge 5.2'de verilmiştir. Çekme deneyi sonucunda kopan malzemelerin görüntüleri Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Çekme deneyi grafikleri.

Çizelge 5.1. Çekme sonuçları.

Numune Numarası	Çekme Daynımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
1	188,3972	3,3460
2	186,8192	3,8886
3	281,6044	25,7222
4	286,9626	20,1171
5	183,3511	3,6032
6	179,4389	3,9184

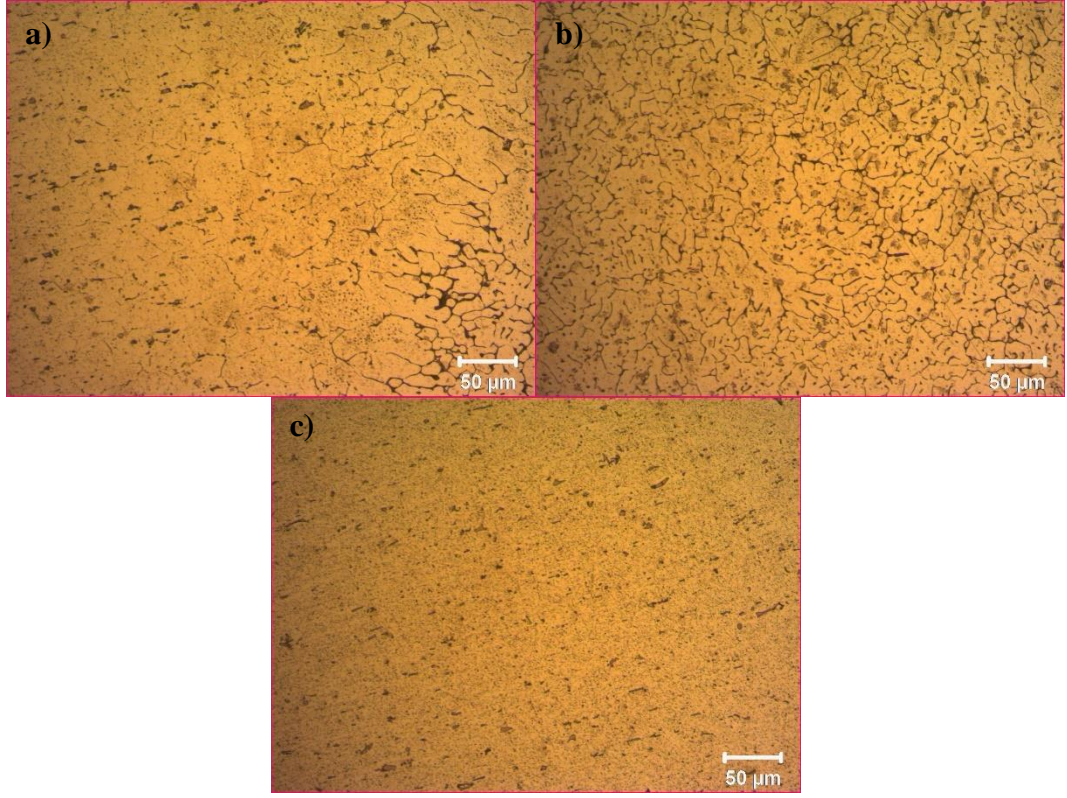


alüminyum plakalar ve 5356 kaynak teli uygulaması) oluşmuştur. En düşük çekme dayanımı değeri ise 179,4389 N/mm<sup>2</sup> olarak 6 nolu numunde (5083\*6082 alüminyum plakalar ve 5183 kaynak teli uygulaması) meydana gelmiştir. Uzama değerleri ise en yüksek 3 nolu numunede (5083\*5083 kaynak plakaları ve 5183 kaynak teli uygulaması) oluşurken en düşük değer 1 nolu numunede (6082\*6082 alüminyum plakalar ve 5183 kaynak teli uygulaması) meydana gelmiştir. En yüksek çekme dayanımından en düşük çekme dayanımına %37,46'lık bir azalış olduğu görülmektedir. Uzama değerlerinde ise en yüksek değerden en düşük değere %86,99 azalış meydana gelmiştir.

## **5.2. NUMUNELERİN MİKROYAPI GÖRÜNTÜ SONUÇLARI**

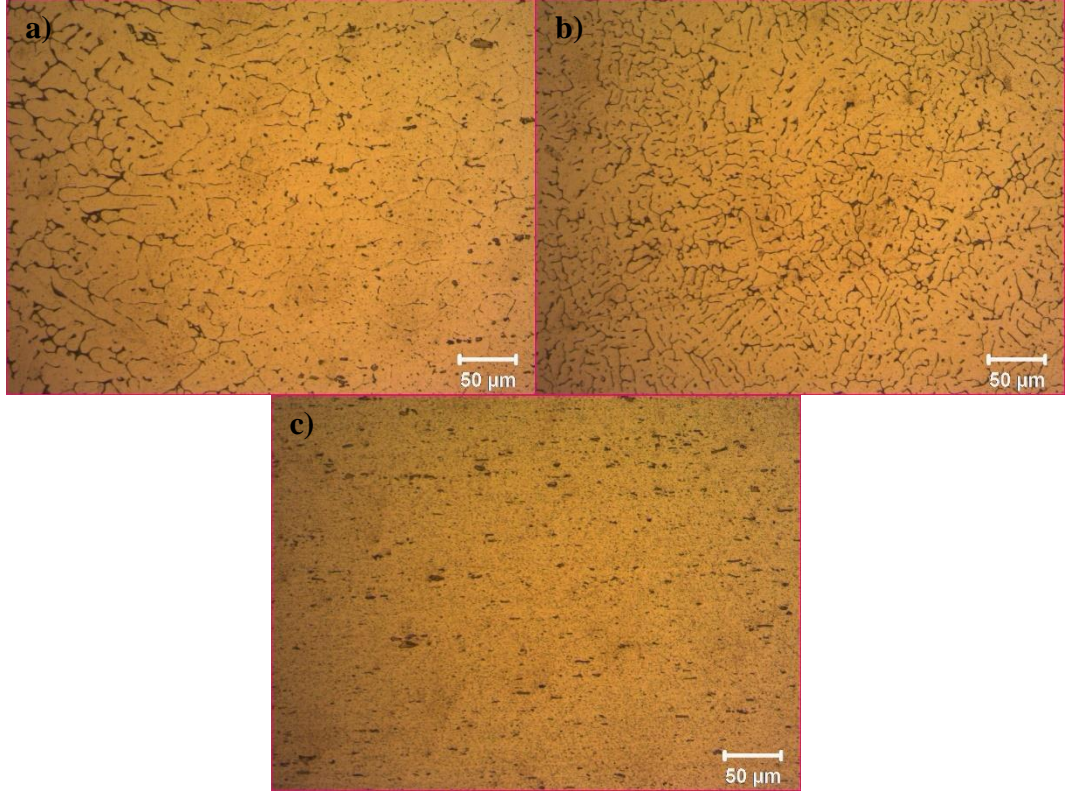
TIG kaynağı ve iki farklı kaynak teli ile birleştirilen alüminyum plakaların mikroyapı incelemeleri Nikon ECLIPSE MA200 marka optik mikroskop vasıtasıyla yapılmıştır. Elde edilen mikroyapı görüntüleri kaynak yapılan bölgenin ortasından kenarından ve kaynak noktasından olmak üzere her plakanın üç farklı noktasından alınarak elde edilmiştir. Hazırlanan numuneler 4. Bölümde Şekil 4.2'de olduğu gibidir. Deney numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8' verilmiştir. Görüntüler 200x büyütme uygulanarak alınmıştır. Mikroyapı görüntüleri genel olarak incelendiğinde kaynak bölgesinde ana malzeme haricinde farklı metalik malzemelerde olduğu görülmektedir. Bu durumunun kullanılan kaynak telinden olduğu düşünülmektedir.





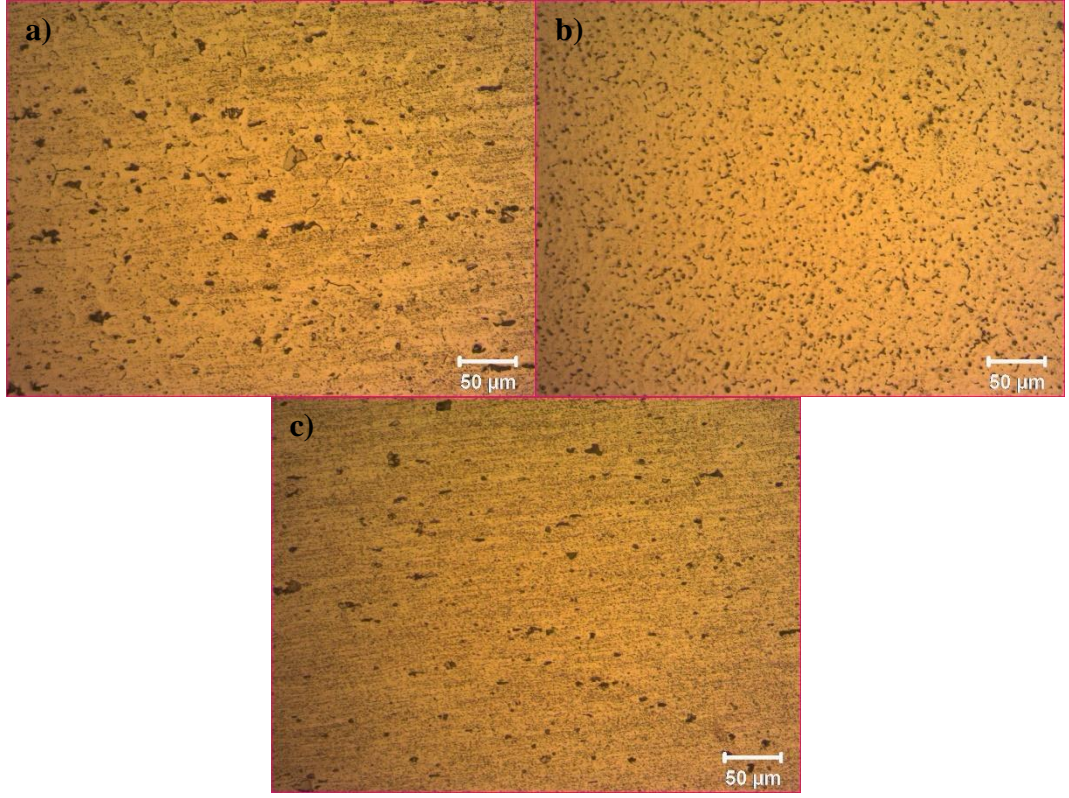
Şekil 5.3. 1 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar.

Şekil 5.3'ün incelenmesi sonucunda kaynak bölgesinin hem kenar hemde orta kısmında iç bölgenin homojen dağılım sergilediği görülmektedir. Kaynak bölgesinde ise dağılımın ise bir kısmın homojen bir kısmının ise homojen olmadığı görülmektedir. Bu durum kaynak işlemi sırasında homojen olmayan bölgede kaynak ısısının arttığı ve ısı tesiri altındaki alanın artması neden olmuş olabilir.



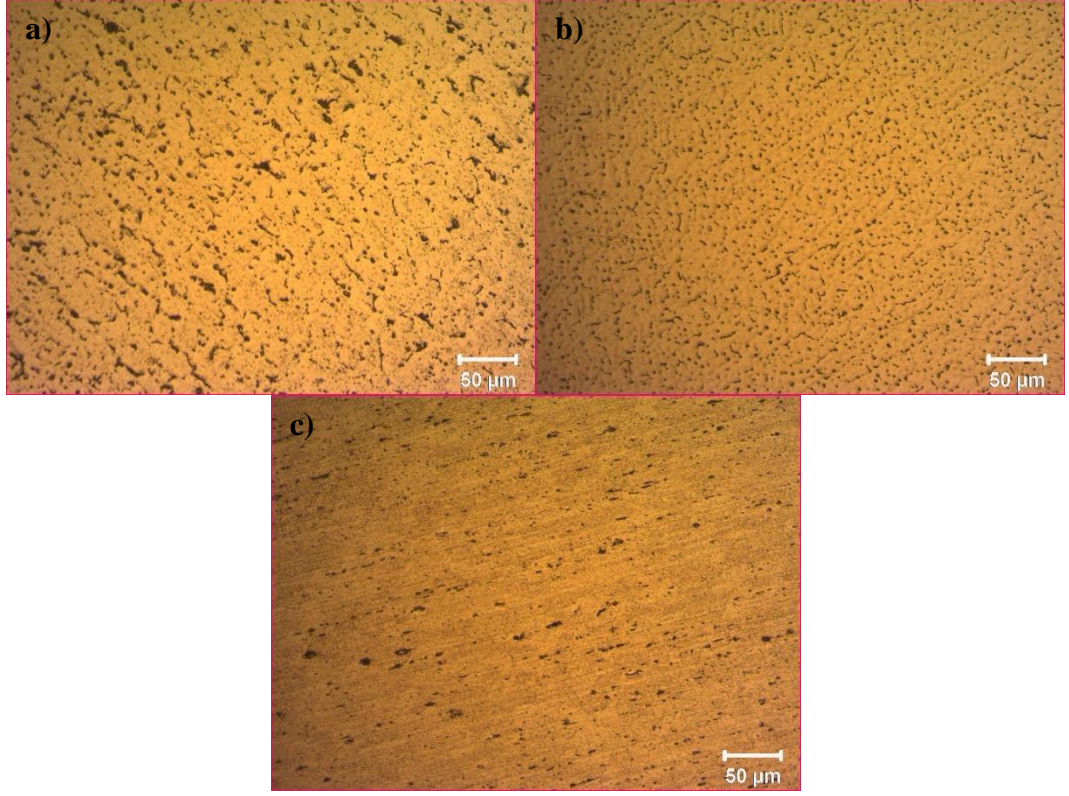
Şekil 5.4. 2 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar.

Şekil 5.4'te ısı tesiri altındaki bölgelerin görüntüleri bulunmaktadır. 1 nolu numune olduğu gibi 2 nolu numunede de dağılım orta ve kenar kısmında homojen iken kaynak olarak ifade edilen kısımda yarı homojendir. Tane boyutlarını kıyasladığımızda ise birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Kaynak bölgesinin kenar kısmında tane boyutunun daha küçük diğerlerinde ise daha büyük olduğu gözlenmiştir.



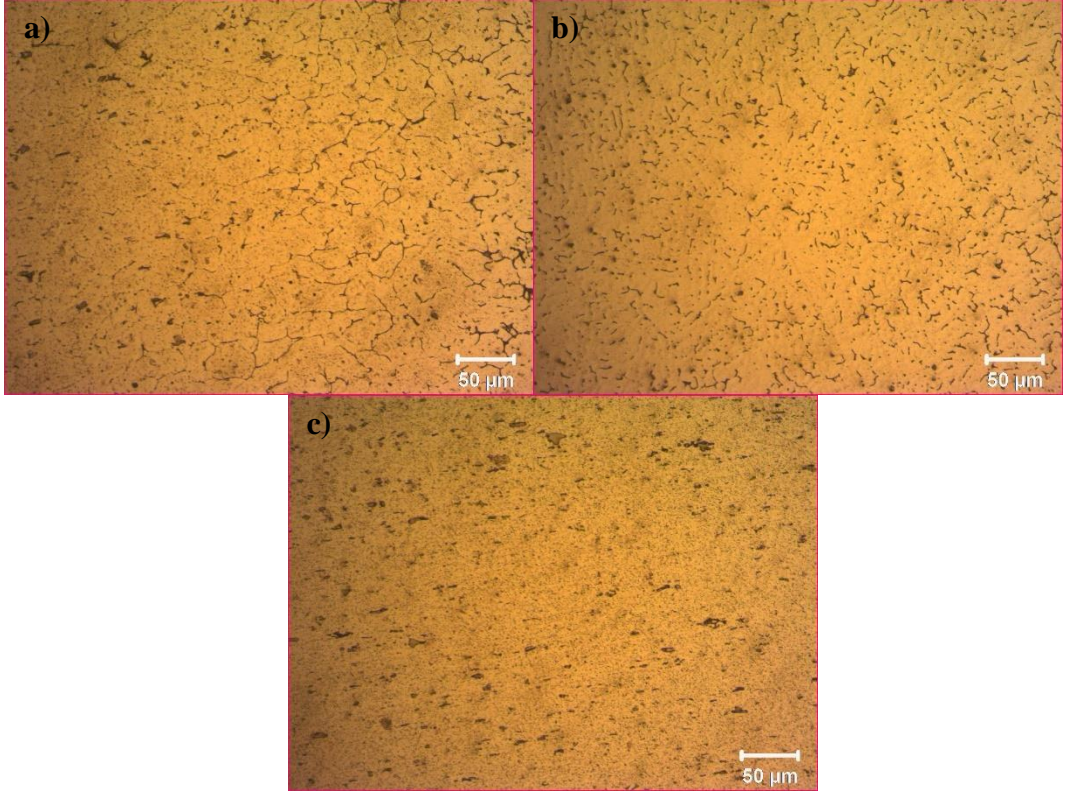
Şekil 5.5. 3 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar.

Şekil 5.5'in incelenmesi sonucunda tane boyutunun kaynak olarak ifade edilen kısımda büyük olduğu diğer kısımlarda ise daha küçük olduğu görülmektedir. 1 ve 2 nolu numuneye göre ise her kısımda homojen bir dağılım olduğu gözlenmiştir.



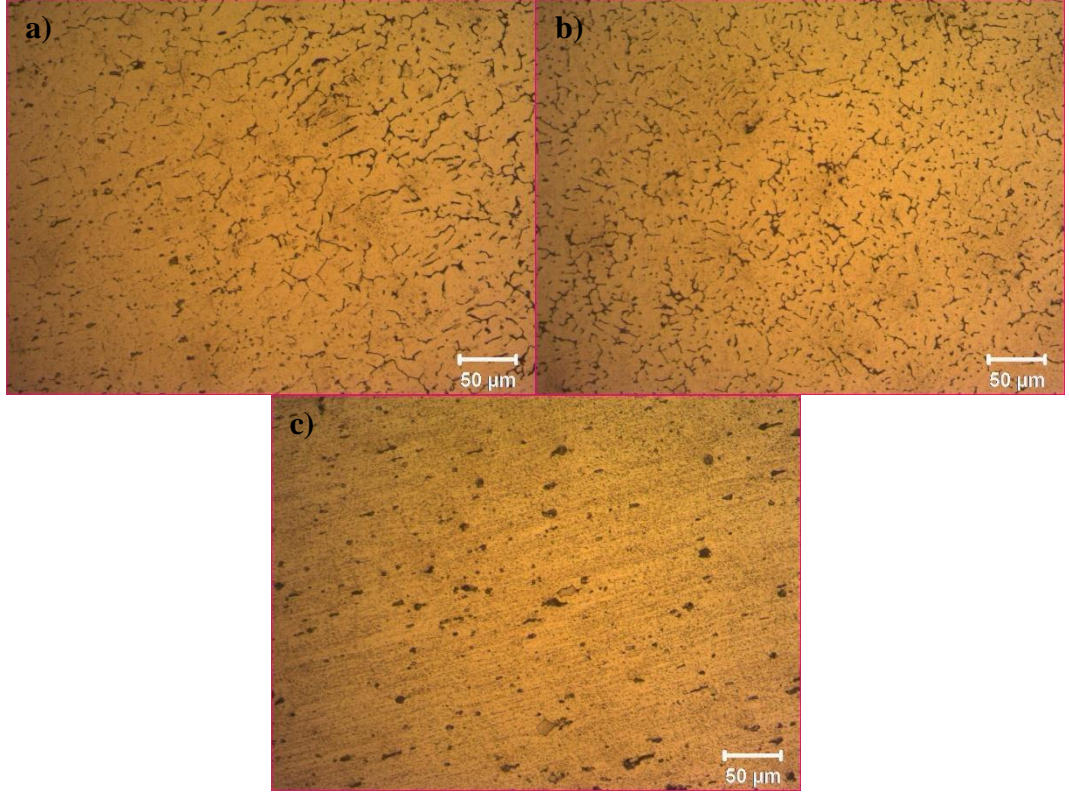
Şekil 5.6. 4 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar.

4 nolu numunenin mikroyapı görüntüsüne göre kaynak dağılımının homojen olduğu tane boyutunun ise kaynak bölgesinde daha çok olduğu tespit edilmiştir. Gözeneklere baktığımızda kenar bölgesinde diğer bölgelere göre daha az olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.7. 5 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar.

5 nolu numunenin mikroyapısının incelenmesi sonucuna dağılımın kaynak bölgesi hariç homojen dağılım sergilediği görülmektedir. Kaynak kısmında homojen dağılım sergilenmeyen bölümde malzemelerin temas noktalarında çok az miktarda porozite olduğu ve oksit kalıntılarının olabileceği, fakat çatlak ve malzemeye zarar oluşturabilecek herhangi bir kaynak hatasının olmadığı gözlenmektedir.



Şekil 5.8. 6 Nolu numunenin mikroyapı görüntüleri a) kaynak b) orta c) kenar.

Şekil 5.8'deki 6 nolu numunenin incelenmesi sonucunda dalımın genel olarak homojen dağıldığını ve soğumadan kaynaklı kaynak ve orta kısımlar dentritik bir yapının oluştuğu görülmektedir.

### 5.3. PENETRASYON TESTİ SONUÇLARI

Penetrant testinin yapılış aşamaları Şekil 5.9'da verilmiştir. Şekil 5.9a kaynaklı malzemenin temizlenmiş halini Şekil 5.9b ise penetrant sıvısının uygulamasını göstermektedir. Yapılan testler sonucunda malzeme yüzeyinde çatlakların, gözeneklerin ve sızıntı gibi diğer küçük kusurların oluşmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda kaynak işleminin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.9. Penetrasyon testi uygulaması a) Temizlenmiş numune b) Penetrasyon uygulanmış numune.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, 5083 H111 ve 6082 alüminyum alaşımlarının TIG kaynağı ile birleştirilmesinde kaynaklı bölgenin dayanımının belirlenmesi için çekme deneyleri yapılmıştır. Bunun yanı sıra kaynağı yapılan alaşımların kaynak bölgesindeki mikroyapı değişimleri mikroyapı analizi kullanılarak yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen deneysel bulgular aşağıda sıralanmıştır.

1. Çekme dayanımı en yüksek olan değer  $286,9626 \text{ N/mm}^2$  olarak 4. Numunede yani 5083 H111 alüminyum plakalarının 5356 kaynak teli ile yapılan kaynak uygulamasında oluşmuştur.
2. Çekme dayanımı en düşük olan değer  $179,4389 \text{ N/mm}^2$  olarak 5083 H111\*6082 alüminyum plakalarının kaynağında 5183 kaynak teli uygulamasında meydana gelmiştir.
3. Çekme deneyinde oluşan uzama değerlerinin en yüksek değeri 25,7222, en düşük değeri ise 3,3460 olarak elde edilmiştir.
4. Mikroyapı görüntülerine göre genel olarak kaynak işlemi sonrasında oluşan gözenekler homojen dağılım sergilemiştir.
5. Kaynak bölgesi olarak ifade edilen bölgede genellikle dentritik yapıların oluştuğu sonucuna varılmıştır.
6. Sonraki çalışmalarda daha fazla kaynak parametresiyle daha fazla kaynak telinin kullanımıyla ideal koşullara ulaşılabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Akıncı, S., "5754 alüminyum alaşımının kaynak davranışının incelenmesi," *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2008).
- [2] Vatansever, F., Ertürk, A. T. ve Karabay, S., "Alüminyum-Silisyum alaşımlarının mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin t6 ısıl işlemi ile iyileştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(60): 797-803 (2018).
- [3] Çevik, B., Özçatalbaş, Y. ve Uygur, İ., "7075 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi," *International Conference on Welding Technologies*, 369-376 (2012).
- [4] MacKenzie, D. S. and Totten, G. E., "Handbook of aluminum", *Dekker* (2003).
- [5] Kaufman, J. G., "Introduction to aluminum alloys and tempers", *ASM international* (2000).
- [6] Sarsılmaz, F., "Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AA7075/AA6061 kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması," Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2008).
- [7] Gürler, M., "Alüminyum alaşımlarının sürtünme kaynak özellikleri", Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2000).
- [8] Çetinkaya, C., Tekeli, S. and Kurtuluş, O., "Alüminyum alaşımlarının kaynaklanabilirliği ve kaynak parametrelerin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi", *Politeknik Dergisi*, 5(4): 321-335 (2002).
- [9] Güngör, B., "AW 5083-H111 ve AW 6082-T651 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma (FSW) ve robotik CMT-MIG kaynak yöntemleri ile kaynağında mekanik ve metalürjik özelliklerin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2013).
- [10] Güven, B., "Kaynak ağzı açısı ve geometrisinin zırh uygulamalarında kullanılan AW 5083 ve AW 6061 alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri üzerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Ankara (2022).

- [11] Wang, B., Lei, B.-b., Zhu, J.-x., Feng, Q., Wang, L. and Wu, D., "EBSD study on microstructure and texture of friction stir welded AA5052-O and AA6061-T6 dissimilar joint", *Materials & Design*, 87: 593-599 (2015).
- [12] Doğan, S., "AA 5754-H22, alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağında işlem parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2006).
- [13] Darıdereli, Y., "Alüminyum alaşımlarının mikroyapı, mekanik özellikler ve aşınma direncine yaşlanmanın etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).
- [14] Demirpolat, H., Akdı, S. and Alkan, B., "Effect of homogenization heat treatment on the mechanical properties of AlMgSi alloys with different Cr content", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 37(2): 6503-6512 (2023).
- [15] Ding, J.-k., Wang, D.-p., Ying, W. and Hui, D., "Effect of post weld heat treatment on properties of variable polarity TIG welded AA2219 aluminium alloy joints", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24(5): 1307-1316 (2014).
- [16] Rao, M. S., Kumar, B. R. and Hussain, M. M., "Experimental study on the effect of welding parameters and tool pin profiles on the IS: 65032 aluminum alloy FSW joints", *Materials Today: Proceedings*, 4(2): 1394-1404 (2017).
- [17] Mercan, E., "5XXX-6XXX alüminyum alaşımlarının otomatik MIG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2018).
- [18] Zeren, M., "Demir dışı düşük sıcaklık metal ve alaşımları", *Kocaeli Üniversitesi* (2010).
- [19] Musfirah, A. and Jaharah, A., "Magnesium and aluminum alloys in automotive industry", *Journal of Applied Sciences Research*, 8(9): 4865-4875 (2012).
- [20] Demir, B., "AA 5083-H111 alüminyum alaşımının mıg kaynağında farklı akım türlerinin mekanik ve mikroyapıya etkisi," Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce (2019).
- [21] Askeland, D. R., Phulé, P. P., Wright, W. J. and Bhattacharya, D., "The science and engineering of materials", *The Science and Engineering of Materials* (2003).
- [22] Can, A. Ç., "Tasarımcı mühendisler için malzeme bilgisi", *Birsen Yayınevi* (2010).

- [23] Dağdelen, E. and Ulus, A., "Aluminum Sheet production: heat treatment of aluminium and temper designations of aluminium alloys," *18th International Metallurgy & Materials Congress (IMMC 2016)* (2016).
- [24] Kaya, İ., "Farklı alüminyum alaşımlarının orta frekans kaynak makineleri ile direnç nokta kaynak kabiliyetinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü* (2022).
- [25] Bebekoğlu, S., "Havacılık sanayinde kullanılan, 2024 ve 7075 Alüminyum alaşımlarının, TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi, makro ve mikro yapı ile mukavemet özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul AREL Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2019).
- [26] Taban, E., "5xxx serisi alüminyum alaşımlarının TIG, MIG ve sürtünen eleman ile birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2004).
- [27] Yürük, A., Kaya, Y. ve Kahraman, N., "Alüminyum alaşımlarının MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi", *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1): 42-52 (2021).
- [28] Anık, S. ve Vural, M., "Gazaltı ark kaynağı:(TIG-MIG-MAG)", *GEV* (1996).
- [29] Chen, J., "An experimental and numerical analysis of residual stresses in a TIG weldment of a single crystal nickel-base superalloy", *Journal of Manufacturing Processes*, 53: 190-200 (2020).
- [30] Wang, Q., Sun, D., Na, Y., Zhou, Y., Han, X. and Wang, J., "Effects of TIG welding parameters on morphology and mechanical properties of welded joint of Ni-base superalloy", *Procedia Engineering*, 10: 37-41 (2011).
- [31] Basnayaka, M. M., "New semi automatic GTAW method developed on the basis of experiments on the geometric reconstruction of deteriorating high pressure compressor blades", MS thesis, *Industrial and Manufacturing Engineering*, Thailand (2017).
- [32] Sarrafi, R. and Kovacevic, R., "Cathodic cleaning of oxides from aluminum surface by variable-polarity arc", *Welding journal*, 89(1): 1-10 (2010).
- [33] Aksoy, H. N., "Alışılmış ve inverter tipi mıg/mag kaynak makineleri ile yapılan kaynak dikişlerinin çeşitli yönleri ile karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2010).
- [34] Kumar, R., Mevada, N. R., Rathore, S., Agarwal, N., Rajput, V. and Barad, A. S., "Experimental investigation and optimization of TIG welding

parameters on aluminum 6061 alloy using firefly algorithm" *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 225(1): 012153 (2017).

- [35] Aktaşoğlu, C., "Alüminyum alaşımlarının elektron ışın kabiliyetlerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2023).

## ÖZGEÇMİŞ

Şeyma Nur ÇAYIR ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2017 yılında Karabük Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde öğrenime başlayıp 2021 yılında mezun oldu. 2021 yılında başladığı, yüksek lisans eğitimine Karabük Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği anabilim dalında devam etmektedir. 2022 yılından itibaren özel sektörde çalışmalarına devam etmektedir.