



**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ELEKTRON IŞIN  
KAYNAK KABİLİYETLERİNİN İNCELENMESİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Caner AKTAŞOĞLU**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ELEKTRON IŞIN KAYNAK  
KABİLİYETLERİNİN İNCELENMESİ**

**Caner AKTAŞOĞLU**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**T.C.**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Mayıs 2023**

Caner AKTAŞOĞLU tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ELEKTRON IŞIN KAYNAK KABİLİYETLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI .....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Bu alıŐma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 04/05/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ) .....

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

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA (KBÜ) .....

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

Prof. Dr. Müslüm KUZU .....

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.”*

Caner AKTAŞOĞLU

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ELEKTRON IŞIN KAYNAK KABİLİYETLERİNİN İNCELENMESİ**

**Caner AKTAŞOĞLU**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**Mayıs 2023, 54 sayfa**

Bu çalışmada, ASTM 7075 ve ASTM 6061 (DIN AlZnMgCu1.5 ve DIN AlMg1SiCu) türü alüminyum alaşım levhalarının Elektron Işın Kaynak yöntemi ile farklı parametreler kullanılarak birleştirilmesi sağlanmıştır. Kaynak işlemleri yüksek (eksi) basınç altında, odak (Focus) değerleri değiştirilerek dört farklı kaynak akımında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca üç farklı mA (I/P) değeri ve iki farklı voltaj değerleri ile kaynak yapılmıştır. Kaynak işlemleri aynı kaynak parametrelerinde alın alına; aynı ve farklı malzeme standartlarının birleştirilmesi biçimde olmak üzere iki tür yapılmış ve tüm birleştirmelerde ilave tel kullanılmamıştır. Kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgelerinin dayanımlarını belirlemek için çekme testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynaklı numunelerin, kaynak bölgelerinde optik mikroskop, kırık yüzey incelemeleri ve SEM ve EDS analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çekme testleri sonucunda, en yüksek akma-çekme değerleri 480-500 odak değerleri ve 20mA-25mA'da elde edilmiştir. Mikro sertlik değerleri sırasıyla ana mazleme, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak metali olmak üzere üç farklı bölgeden ölçülürken en yüksek sertlik değerlerine füzyon (kaynak) bölgelerinde rastlanmıştır. Mikro sertlik değerleri 20mA yapılan kaynaklarda; ana malzemede yaklaşık 146 HV iken kaynak bölgesinde 159 HV değerlerine yükselmiştir. 25mA'da yapılan kaynaklarda ise sertlik değerleri 20mA'e kıyasla daha yüksek ölçülmüştür. Bunun nedeni ise 25mA'da daha fazla intermetalik yapı oluşmasıdır. İntermetalik yapıların ölçümü EDS analizleri ile yapılmıştır. Çekme testleri sonucunda en yüksek çekme dayanımı 20mA'da elde edilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre; kaynaklı numunelerde ölçülen akma-çekme değerlerinin esas metalden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kaynaklı birleştirmeler neticesinde göz ile yapılan muayenede kaynaklı numunelerin hiçbirinde çatlak vb. hata görülmemiştir. Son olarak, ASTM 7075 ve 6061 malzemelerin Elektron Işın Kaynak yöntemi ile sıcak çatlak oluşmadan kaynak yapılabileceği anlaşılmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Alüminyum alaşımları, elektron ışın kaynağı, ASTM 7075, mikroyapı ve mekanik özellikler.

**Bilim Kodu** : 91511

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EXAMINATION OF ELECTRON BEAM WELDING ABILITIES OF ALUMINUM ALLOYS**

**Caner AKTAŞOĞLU**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgy And Materials Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**May 2023, 54 pages**

In this study, ASTM 7075 and ASTM 6061 (DIN AlZnMgCu1.5 and DIN AlMg1SiCu) type aluminum alloy sheets were joined using Electron Beam Welding method using different parameters. Welding processes were carried out under high (minus) pressure, by changing the focus values, in four different welding currents. Also welded with three different mA (I/P) values and two different voltage values. Welding processes are butt to the same welding parameters; two types were made, combining the same and different material standards, and no additional wire was used in all joints. Tensile test were applied to determine the strength of the weld zones of the welded joints. In addition, optical microscopy, fracture surface examinations and SEM and EDS analyses of the welded samples were carried out in the welded areas. As a result of the tensile tests, the highest yield-tensile values were obtained at 480-500 focus values and 20mA-25mA. While the microhardness values were measured from three different areas, namely the base material, the heat affected zone and the

weld metal, the highest hardness values were found in the fusion (weld) areas. In the welds with microhardness values of 20mA; While it was about 146 HV in the base material, it increased to 159 HV in the weld area. In the welds made at 25mA, the hardness values were measured higher compared to 20mA. In the welds made at 25mA, the hardness values were measured higher compared to 20mA. The reason for this is that more intermetallic structures are formed at 25mA. Measurement of intermetallic structures was made by EDS analysis. As a result of tensile tests, the highest tensile strength was obtained at 20mA. According to the test results obtained; It has been determined that the yield-tensile values measured in the welded samples are lower than the base metal. No cracks etc. defects were observed in any of the welded samples in the visual inspection as a result of the welded joints. Finally, it has been understood that ASTM 7075 and 6061 materials can be welded by Electron Beam Welding method without the formation of hot cracks.

**Key Word** : Aluminum alloys, electron beam welding, ASTM 7075, microstructure and mechanical properties.

**Science Code** : 91511



## TEŞEKKÜR

Çalışması yapılan bu tezin yenilikçi bir bakıő açasıyla; araştırılması, sürekli geliőtirmeye açık olması, tezin yürütülmesi gibi her aşamada desteklerini esirgemeyen, tecrübe ve buna binaen edinilmiş bilgilerinden yararlandığım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya teőekkürü borç bilirim.

Kaynak işlemlerinin yapılmasında bilimsel araőtirmalarımızı destekleyen Hava Kuvvetleri Komutanlığı'na ve tüm çalışanlarına teőekkürlerimi sunarım.

Manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen değerli aileme ve sevgili eşime tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	4
2.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI .....	6
2.1.1. Alüminyum Alaşımlarında Elementlerin Etkisi .....	7
2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA ISIL İŞLEM.....	10
2.2.1. Çözeltiye Alma İşlemi .....	11
2.2.2. Su Verme İşlemi .....	11
2.2.3. Yaşlandırma İşlemi.....	11
BÖLÜM 3 .....	13
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ	13
3.1. TIG KAYNAĞI.....	13
3.1.1. Tig Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları .....	14
3.2. MIG/MAG KAYNAĞI .....	16
3.2.1. Mig Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları .....	17

BÖLÜM 4 .....	18
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞINDA KARŞILAŞILAN HATALAR VE ÇÖZÜMLERİ .....	18
4.1. KAYNAKTA POROZİTE HATASI .....	19
4.1.1. Porozite Hatasının Nedenleri .....	19
4.1.2. Porozite Hatasının Önlenmesi .....	19
4.2. KAYNAKTA YETERSİZ NÜFUZİYET VE ERGİME HATASI.....	20
4.2.1. Yetersiz Nüfuziyet ve Ergime Hatasının Nedenleri .....	20
4.2.2. Yetersiz Nüfuziyet ve Ergime Hatasının Önlenmesi.....	20
4.3. KAYNAKTA YANMA OLUĞU HATASI.....	21
4.3.1. Yanma Oluğu Hatasının Nedenleri.....	21
4.3.2. Yanma Oluğu Hatasının Önlenmesi .....	21
4.4. KAYNAKTA SICAK ÇATLAK HATASI .....	22
4.4.1. Sıcak Çatlak Hatasının Nedenleri .....	22
4.4.2. Sıcak Çatlak Hatasının Önlenmesi .....	23
BÖLÜM 5 .....	24
ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI .....	24
5.1. ELEKTRON IŞIN KAYNAK YÖNTEMİ .....	24
5.2. ELEKTRON IŞIN KAYNAĞININ YAPILIŞI.....	25
5.3. ELEKTRON IŞIN KAYNAĞININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI .	29
5.4. ELEKTRON IŞIN KAYNAĞINDA KALİTE-GÜVENCE .....	30
BÖLÜM 6 .....	32
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	32
6.1. ANA MALZEME.....	32
6.2. KAYNAKLAMA İŞLEMLERİ .....	33
6.3. NUMUNE HAZIRLAMA .....	34
6.4. ÇEKME TESTİ .....	34
BÖLÜM 7 .....	36
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	36
7.1. MİKROYAPI .....	36
7.2. MİKRO SERTLİK ANALİZİ .....	40

	<b><u>Sayfa</u></b>
7.3. ÇEKME TESTİ .....	40
7.4. KIRIK YÜZEY İNCELEMELERİ .....	41
SONUÇLAR .....	49
KAYNAKLAR .....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	54

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Yaşlandırma uygulanabilen bir alaşıma ait denge diyagramı ve yaşlandırma işleminin aşamaları.....	12
Şekil 3.1. TIG kaynak yöntemi.....	13
Şekil 3.2. MIG/MAG kaynak yöntemi .....	16
Şekil 4.1. Dikiş ortası çatlakları .....	22
Şekil 5.2. Kaynak nüfuziyetinin ortalama genişliğe oranları.....	27
Şekil 5.3. Elektron ışın kaynağı şematik gösterimi .....	29
Şekil 6.2. Sciaky Marka Elektron Işın Kaynak Makinası.....	33
Şekil 6.3. Alın kaynaklı numunelerin ölçü ve şekilleri.....	34
Şekil 6.4. Çekme Test Numuneleri .....	34
Şekil 6.5. Gruplandırılmış Çekme Test Numuneleri .....	35
Şekil 7.1. AA7075-T6 Optik Mikroskop Mikroyapı görüntüsü .....	36
Şekil 7.2. 20mA Kaynaklı AA7075-T6 SEM Görüntüleri; (a) HAZ, (b) Kısmi Ergimiş Bölge, (c) Kaynak Bölgesi .....	37
Şekil 7.3. 20mA Kaynaklı Parça HAZ Bölgesi EDS Analizi .....	37
Şekil 7.4. 25mA Kaynaklı AA7075-T6 SEM Görüntüleri; (a) HAZ, (b) Kısmi Ergimiş Bölge, (c) Kaynak Bölgesi .....	38
Şekil 7.5. 25mA Kaynaklı Parça HAZ Bölgesi EDS Analizi .....	39
Şekil 7.6. AA7075-T6 Mikro Sertlik Değerleri .....	40
Şekil 7.7. Kırık Numune Üst Görünüş ve Kesit Görüntüleri.....	41
Şekil 7.8. FZ Bölgesindeki EDS Analizi .....	42
Şekil 7.9. FZ’de Oluşan Çukurun EDS Analizi.....	43
Şekil 7.10. Kaynaklı Birleştirmenin Kırılma Yüzeyi Morfolojisi.....	44
Şekil 7.11. Kırılma Yüzey Oluşumlarının SEM ve EDS Analizleri .....	45
Şekil 7.12. 20mA’de Yapılan Kaynağa Ait EDS analizi .....	47
Şekil 7.13. 25mA’de Yapılan Kaynağa Ait EDS analiz .....	48

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Alüminyumun alternatif olduğu malzeme ve kullanım alanları . . . . .	5
Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımları ve alaşım elementleri . . . . .	6
Çizelge 2.3. Alaşım elementlerinin etkisi . . . . .	9
Çizelge 2.4. Temper kodları ve açıklamaları . . . . .	10
Çizelge 3.1. TIG Kaynağında kullanılan koruyucu gaz davranışları . . . . .	14
Çizelge 4.1. Kaynak yöntemine bağlı oluşan süreksizlikler . . . . .	18
Çizelge 6.1. AA6061-T6 Ana malzeme kimyasal bileşimi. . . . .	32
Çizelge 6.2 AA7075-T6 Ana malzeme kimyasal bileşimi. . . . .	33
Çizelge 6.3. Akma Değerleri. . . . .	35

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Ag	: gümüş
Al	: alüminyum
Ar	: argon
Au	: altın
C	: karbon
Cr	: krom7
Co	: kobalt
Cu	: bakır
Fe	: demir
H <sub>2</sub>	: hidrojen
He	: helyum
Hz	: herz
kV	: kilovolt
Li	: lityum
mA	: miliamper
Mg	: magnezyum
Mn	: mangan
Mo	: molibden
Ni	: nikel
Si	: silisyum
Ti	: titanyum
Zn	: çinko
W	: watt

## **KISALTMALAR**

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
- ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
- AWS : American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)
- DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
- EN : European Norm (Avrupa Normu)
- EBW : Elektron Beam Welding (Elektron Işın Kaynağı)
- FZ : Fusion Zone (Füzyon Bölgesi)
- HAZ : Heat Affected Zone (Sıcaktan Etkilenmiş Bölge)
- TS : Türk Standardı
- MIG : Metal İnerit Gaz
- MAG : Metal Aktif Gaz
- TIG : Tungsten İnerit Gaz
- SEM : Scanning Elektron Mikroskope
- EDS : Energy Dispersive Spectrometry (Enerji Dağılımlı Spektroskopi)



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Alüminyum yer yüzünde çok fazla bulunan elementlerdendir ve mühendislik malzemelerinde çeliklerden sonra hafifliği ve mukavemeti nedeni ile hayli fazla kullanılan bir metalidir. Yoğunluğu çelik malzemelere göre yaklaşık üç kat daha düşüktür. Yoğunluğunun düşük olması nedeni ile metalik malzemeler arasında en düşük ağırlığa sahip elementlerden bir tanesidir. Bazı alüminyum alaşımlarının akma değeri 500MPa değerini geçmektedir ve genel yapı çeliklerine göre daha yüksektir. Elektrik ve ısı iletkenliği oldukça iyidir. Alüminyum malzeme yüzeyleri oksit oluşturmaktadır. Oksit tabakası nedeni ile korozif ortamlarda sıkça tercih edilmektedir. Bu ve benzeri avantajları göz önünde bulundurulduğunda otomotiv ve havacılık sektörünün tercih edilen malzemelerinden biri haline gelmektedir.

Alüminyum alaşımları çeşitli sınıflandırmalara tabiidir. Bu sınıflandırmalara genel olarak döküm ve dövülebilir alaşımlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Plastik deformasyonu fazla olan dövme alaşımları kolaylıkla şekillendirilmektedir. Alüminyum alaşımlarının büyük bir çoğunluğuna ısıl işlem uygulaması yapılabilmektedir. Isıl işlem yapılabilen alüminyum alaşımları aynı zamanda kaynaklanabilir olarak düşünülmektedir. Ancak bazı alaşımları içerdiği yardımcı elementler ve katılma yapıları nedeni endüstride sık kullanıma sahip olan Metal İnert Gaz (MIG) ve Tungsten İnert Gaz (TIG) veya örtülü elektrot kaynak yöntemleri ile kaynak yapılamadığı bilinmektedir. Bu alaşımların daha özel yöntemler ile kaynak yapılması ihtiyaç haline gelmiştir.

Elektron ışın kaynağı (EBW); ileri teknoloji kaynak yöntemlerinden bir tanesi olup, 1950'lerin sonunda bütün dünyada kullanılmaya başlanmıştır. İlk kullanım amaçları nükleer enerji endüstrisi ile birlikte havacılık sektöründe olmuştur. Bu yöntemle

oluşturulan kaynaklı birleştirmeler yüksek kalite ve güvenilirlik sağlamıştır. Aynı zamanda kritik parçaların üretim maliyelerinide düşürmekte önemli bir rol oynamıştır.

Elektron ışın kaynağı (EBW); tungsten uçlardan elektron kopartılarak fırlatılması ile açığa çıkan enerji sayesinde metallerin kaynaklı olarak birleştirilmesinde kullanılan bir prosestir. Elektron kopartılması, hızlandırılarak ve akabinde bir noktada yoğunlaştırılarak fırlatılması elektron ışın tabancası sayesinde yapılmaktadır. Elektron ışın kaynak tezgahlarında fırlatılan elektronlar 150.000 Km/s'den daha yüksek hızlara ulaşmaktadırlar. Elektronların odaklanan bölgeden başka bir açıya sapmaması amacıyla yöntem yüksek vakum altında uygulanmaktadır. Yüksek hızdaki elektronlar; özel tasarlanmış elektrik ve manyetik alanlar sayesinde bir demet haline getirilmektedir. Bu ışın demeti kaynak edilecek bölgeye yönlendirilmektedir. Işın demetinin çarptığı bölgede ana malzeme tarafından engellenmesi nedeni ile kinetik enerjileri ısı enerjisine dönüşmektedir ve yüksek ısı enerjisi ile malzemeyi ergitmektedir. Ergimiş metallerin bir biri ile teması sayesinde katılaşma gerçekleşirken parçalarda kaynaklı olarak birleştirilmiş olur. Kaynak tek bir atışta belirli bir bölgede yapılacağı gibi daha uzun bir bölgede de yapılabilir. Birleştirmenin birden fazla atışta, daha uzun bir bölgede yapılabilmesi için iş parçasının ve/veya elektron ışın tabancasının hareket ettirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada amaçlanan düşünce, öncelikle savunma sanayi başta olmak üzere bir çok endüstride, yüksek mukavemet ve düşük ağırlıktaki ASTM 7075 ve 6061 Alüminyum alaşımlarının EBW ile kaynak kabiliyetlerinin incelenmesini içermektedir. Amper, voltaj ve odaklama gibi bir çok parametrenin değiştirildiği yöntemler ile kaynak prosesi gerçekleştirilecektir. Elde edilen kaynaklı parçalarda; kaynak kabiliyetlerinin ölçülmesi amacıyla mikroyapı ve mekanik özellikler incelenerek SEM-EDS analizleri gerçekleştirilecektir. Mukavemet değerlerinin ölçülebilmesi için çekme testleri yapılarak kıyaslanmasıdır.

Yapılan bu çalışma, deneysel çalışmalar ve literatür taraması olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Literatür taramaları ve yapılan deneysel çalışmalar yedi konu başlığı olarak hazırlanmıştır. Çalışmanın kısa özeti birinci verilmiştir. İkinci bölümde, Alüminyum alaşımları, sınıflandırılması, alüminyumlarda ısı işlemler literatür

taramasıyla anlatılmıştır. Bölüm üçte; alüminyum alaşımlarında kullanılan kaynak yöntemleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise kaynaklı birleştirmelerdeki hatalar ve genel çözümleri anlatılmıştır. Literatür taramalarının bulunduğu beşinci bölümde ise elektron ışın kaynak yöntemi detaylı bir biçimde tanıtılmıştır.

Hazırlanan bu tezin altıncı bölümünde, çalışmanın amacı belirlenmiş olup, deneysel çalışmalarda kullandığımız malzemeler, kaynak yapılan elektron ışın kaynak cihazı, kaynakta kullanılan parametreler, kaynaklı parçalardan standartlar dahilinde deney numunelerinin çıkartılması, kaynaklı birleştirmelere uygulanan testler ve test değerlerine yer verilmiştir.

Çalışmanın yedinci bölümünde, kaynaklı numunelere yapılan çeşitli testler ve bunlardan elde edilen verilerin kolaylıkla değerlendirilebilmesi için görsel grafikler kullanılmış, elde edilen grafikler detaylı değerlendirmelere tabi tutulmuştur. Bunların haricinde ise optik mikroskop çalışmaları sonucu elde edilen görüntüler bilimsel örnekler ve veriler baz alınarak yorumlanmıştır. Çekilen SEM görüntüleri ve EDS analizleri detaylı bir şekilde yorumlanmaktadır. Deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar, neden sonuç ilişkisi kurularak kıyaslanmıştır.

Yapılan bilimsel çalışmaların; genel sonuçlarının paylaşıldığı sekizinci ve son bölümde, elde edilen veriler, deneysel çalışmanın amacına hizmet edecek şekilde yorumlanarak sonuçlandırılmaktadır.

## BÖLÜM 2

### ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Çağımız endüstri sektörlerinin ve hayatımızın vazgeçilmez metalleri arasına giren alüminyum alaşımlarının en önemli özelliklerinden birisi hafif olmasıdır. Çelik malzemelere kıyasla yaklaşık üç kat daha hafif olması ve bir çok metal ile alaşımlandırılması önemli avantajlarından. Özgül ağırlığı yaklaşık 2,70 gr/cm<sup>3</sup> olan alüminyum kütleli olarak; demirin yaklaşık %35'i, bakırın ise %9'u kadardır. Düşük ağırlıkları nedeni ile başta havacılık ve otomotiv endüstrisi olmak üzere; silobus gibi tüm ağır vasıta ulaşım araçları ve otomobillerde önemli bir kullanım alanına sahiptir.

Alüminyum alaşımları çeşitli ısıl işlem ve dövme gibi işlemler sonucunda mukavemet, tokluk ve sertlik gibi mekanik özellikler açısından geliştirilebilmektedir. Özellikle Mn, Mg, Si, Cu ve Zn gibi element ilaveleriyle çekme mukavemetleri yüksek değerlere ulaşmaktadır.

Alüminyumun tercih nedenlerinden bir tanesi de korozyon direncinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle kimya ve gıda sanayi başta olmak üzere inşaat ve ev eşyaları alanında da kullanımı yaygınlaşmıştır. Alüminyum; atmosferik korozyona maruz kalarak yüzeyde oluşan alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) korozyon dayanımını artırır ve kullanılan yüzeyi korur. Alüminyum saflaştıkça iletkenliği artar ve korozyon direnci yükselir [1]. Alüminyumun öne çıkan bu özelliği yüksek korozyon direncinin temel sebebi olup bir çok asit türüne karşıda aynı direnci göstermektedir.

Kolay şekillendirilebilir ve işlenebilir durumdaki alüminyum alaşımları haddelenerek folyo haline getirilebilir veya çekilerek farklı şekiller verilebilir. Ergime derecesinin düşük olması nedeni ile rahatlıkla dökümü yapılabilir ve diğer metallerle göre bu dölüm esnasında daha az enerji tüketimi sağlanabilmektedir. Aynı zamanda gelişimi ve alaşımlandırılması ile birlikte diğer metallerin yerini almaya başlamıştır. Kullanım

alanları gün geçtikçe artmaktadır. Bütün bu özellikler düşünüldüğünde alüminyum alaşımlarının genel kullanım yerleri ve alternatif olduğu malzemeler aşağıdaki Çizelge 2.1’de gösterilmiştir [2].

Çizelge 2.1. Alüminyumun alternatif olduğu malzeme ve kullanım alanları [2].

Sektör	Kullanım Yerleri	Alternatif olduğu Malzeme
Otomotiv	Radyatörler Motor Parçaları Kaportolar	Pirinç/Bakır Dökme demir motor bloklar Galvanizli saclar
Havacılık ve Uzay	Yapı Elemanları Uçak ve Helikopter gövdeleri	Çelik/Magnezyum Kompozit malzemeler
Trenler Deniz araçları	Yolcu ve yük vagonları Tekne gövdeleri	Çelik Cam elyafı
İnşaat	Duvar kaplamaları Pencere sistemleri Çatı kaplamaları	Ağaç, Çelik, Plastik Ağaç, PVC Galvanizli Çelik, Pb Plaka
Ambalaj	Meşrubat kutuları Konserve kutuları Aerosol kutuları Folyo	Plastik, Cam, Kompozitler Cam Teneke Plastik, Kağıt
Elektrik	İletkenler Transformatör Jeneratörler	Bakır
Makine	Yataklar Isı eşanjörleri Hidrolik sistemler	Döküm malzemeler Bakır Paslanmaz çelik
Dayanıklı Tüketim Malları	Buzdolabı Klimalar	Özel çelikler Bakır Plastik
Diğer alanlar	Sulama boruları Ziraat aletleri Kimyasal tesisler	Dökme demir, çelik, plastik Çelik Paslanmaz çelik

Bir çok alanda kullanılan alüminyum alaşımlarının her birinde yardımcı element veya elementler bulunmaktadır. Saf alüminyum özellikle elektrik elektronik ve kimya endüstrisinde tercih nedenidir.

## 2.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Alüminyum alaşımlarında mukavemet; soğuk şekillendirme olabileceği gibi, çökelme sertleşmesi ve katı eriyik sertleşmesi ile sağlanabilir. Alüminyumun alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementi silisyum, bakır, magnezyum, çinko ve mangandır [3]. Amerikada yer alan alüminyum birliğine göre, alüminyum alaşımları dört rakam ile sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımları ve alaşım elementleri

Alaşım Serisi	Ana Alaşım Elementi
1XXX	Alüminyum (Al)
2XXX	Bakır (Cu)
3XXX	Mangan (Mn)
4XXX	Silisyum (Si)
5XXX	Magnezyum (Mg)
6XXX	Magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si)
7XXX	Çinko (Zn)
8XXX	Lityum (Li)

1XXX: Alüminyumun saf olduğu seridir. Elektrik endüstrisi ve kimya sanayiinde tercih edilmektedir.

2XXX: Al-Cu Alaşımlarıdır. Bakır ana alaşım elementidir. Bunun yanı sıra magnezyum gibi diğer alaşım elementleri de bulunabilir. Mukavemet değerlerinin yüksek istendiği havacılık sanayinde birçok kullanıma sahiptir.

3XXX: Al-Mn Alaşımlarıdır. Ana alaşım elementleri mangan elementidir. Boru imalatları, sıvı tanklar ve mimari imalatlarda tercih edilmektedir.

4XXX: Al-Si Alaşımlarıdır. Silisyum ana alaşım elementidir. Aşınma direnci ve korozyon dayanımları yüksektir, termal genleşme katsayıları düşüktür. Genelde kaynaklı yapılarda, levha üretimlerinde ve çeşitli otomobil parçaları üretimlerinde kullanılmaktadırlar.

5XXX: Al-Mg alaşımlarıdır. Ana alaşım elementi magnezyum olup, oran arttıķça mukavemet ve sertlik değerleri artmaktadır. Fakat buna karşın suneklik azalır. Korozyon direnci yuķsek olduğundan okyanus ve denizler gibi aēık korozyon ortamlarındaki yapıların imalatlarında kullanılmaktadırlar.

6XXX: Al-Mg-Si alaşımlarıdır. Ana alaşım elementleri silisyum ve magnezyumdur. Őekillendirilme kabiliyeti yuķsek olan bu seri ozellikle ekstruzyon yontemi ile uşretilen parēa imalatlarında sıklıkla kullanılmaktadırlar.

7XXX: Al-Zn alaşımlarıdır. Çinko Ana alaşım elementi olarak yer alır. Krom, zirkonyum ve magnezyum ilave alaşım elementleridir. Bu seri iēin; aluēinyum alaşımlarında en yuķsek mukavemet değerlerine sahip olanı denilebilir. Yuķsek mukavemet istenen parēalar ile birlikte havacılık ve uzay sanayiinde tercih edilmektedirler.

8XXX: Al-Li alaşımlarıdır. Lityum esas alaşım elementidir. Tercihe gure ilave olarak kalay eklentisinde yapılmaktadır. Yorulma direnci ve tokluk ozellikleri nedeni ile ozellikle havacılık ve uzay sanayiinde kullanılmaya başlansa da diğer aluēinyum alaşımları ile kıyaslandığıında uşretim maliyetleri ēok yuķsektir [4].

Bakır dayanım ve sertliği arttırırken, silisyum kaykısı ise sıvı aluēinyumun akışkanlığını ve korozyon direncini arttırır, aşınma dayanımı ve kaynak kabiliyetlerini de arttırmaktadır. Magnezyum ilavesi alaşımın Őekillendirilmesi ve işleme kabiliyetini arttırmaktadır. Bununla birlikte suneklik ve korozyon direnci sağlamaktadır. Çinko element ilavesi ise aluēinyum alaşımlarına yuķsek mukavemet değerleri kazandırmak iēin ihtiva eder ve uzay-havacılık alanlarında kullanılan 7XXX serisi aluēinyum alaşımlarının başını ēeker. Çinko her ne kadar sıcak ēatlak riskini arttırsa da bakır ihtivası bu etkiyi azaltmaktadır.

### **2.1.1. Aluēinyum Alaşımlarında Elementlerin Etkisi**

Bakır; mukavemet değerlerinde onemli artışlar sağlar ve ēokelme sertleşmesini kolaylaştırır. Aluēinyum alaşımlarına ilavesi sunekliği ve korozyon direncini

azaltabilir. Katılaşma esnasında çatlamasına neden olabilir. Bu nedenle bazı alaşımlarının kaynak kabiliyeti dūřüktür.

Mangan; Alüminyum alaşımlarına ilavesi mukavemet değerlerini bir miktar arttırmaktadır. Gerinim sertleşmesini iyileştirdiği gibi süneklik ve korozyon direncinide büyük ölçüde dūřürmedięi bilinmektedir. Alüminyum alaşımlarına mangan ilavesi, yüksek sıcaklıklarda mukavemet değerini korumasını sağlamaktadır.

Silisyum; Ergime derecesini dūřürür ve sıvı alaşımın akışkanlığını artırır. Silisyum tek başına ilave edilir ise ısıl işlem görmeyen bir alaşım ortaya çıkmaktadır. Magnezyum ile birlikte alaşımlandırılırsa çökelleme ile sertleşen ve ısıl işlem görebilen bir alaşım oluşmaktadır. Döküm proseslerinde sıkça kullanılmaktadır.

Magnezyum; Katı çözeltileri sayesinde mukavemet değerlerini artırır. Bu alaşımları en yüksek mukavemetli, ısıl işlem görmeyen alüminyum alaşımlarıdır. Alaşımlarının hızlı bir şekilde sertleşmesi nedeniyle levha olarak üretimi tercih edilir. Yaygın olarak yapısal uygulamalarda, zırhlı araçlarda, kamyon ve tren gövdelerinde ve gemi-tekne yapımlarında kullanılmaktadırlar.

Çinko; Diğer alaşım elementleriyle birlikte en yüksek mukavemete sahip, ısıl işlem görebilen alüminyum alaşımlarını üretir. Çinko mukavemet değerlerini önemli ölçüde arttırmaktadır ve çökelleme sertleşmesine izin vermektedir.

Demir; Alüminyum alaşımlarında bulunan en yaygın safsızlık elementidir. 1xxx serisi saf alaşımlarına, bazen mukavemette artış sağlamak için eklenebilmektedir.

Krom; Alüminyum alaşımlarında tane yapısını kontrol etmek ve tane büyümesini önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bazı alaşımlarında yeniden kristallenmeyi önlemek için eklenir. Alaşımın tokluğunu arttırdığı bilinmektedir.

Nikel; Al-Cu ve Al-Si alaşımlarında yüksek sıcaklıklarda sertlik ve mukavemet değerlerini arttırmak, genleşme katsayısını dūřürmek için eklenmektedir.



Titanyum; Alüminyum alaşımlarında tane inceltici olarak kullanılmaktadır. Bor ile birlikte ilave edilir ise tane inceltisi etkisi artmaktadır. Kaynaklanabilirliği iyileştirdiği ve kaynakta çatlamayı engellemektedir. Bu nedenle genelde kaynak dolgu tellerinde ortak bir katkı elementidir.

Zirkonyum; Alüminyum alaşımlarında yeniden kristalleşmeyi engelleyen bir intermetalik oluşturmaktadır.

Lityum; Önemli ölçüde mukavemet artırıcı elementtir. Çökeltme sertleşmesi sağlar ve alüminyum alaşımlarında yoğunluğu azaltmaktadır.

Kurşun ve Bizmut; İşlenebilirliği arttırmaktadır. Düşük ergime sıcaklığına yol açmaktadır, katılaşmaları esnasında düşük mekanik değerlere neden olmaktadır. Çatlak hassasiyeti yüksektir. Bu nedenle genelde kaynak kabiliyetleri çok düşüktür.

Çizelge 2.3. Alaşım elementlerinin etkisi [5].

NİTELİKLER	Cu	Si	Mg	Zn	Ni	Co	Ti	Mn	Fe	Cr
Çekme dayanımı	++	+	+	++	+	+	+			-
Elastik sınır	++	+	-	+	-					
Sertlik	++		-	-	+			+	+	
Isı dayanımı	++		++		+			+	+	
Kaynaklanabilirlik	++		++	-	-		+	+		+
İşlenebilirlik	++	-	+	+	+		++	+	++	+
Elastikiyet modülü	+	++	-	+	+	++		+	-	
Döküme elverişlilik	+	++	-	+			+	-	-	
Süneklik	-	--	+				+		--	
Korozyon dayanımı	-	+	++	+				-	--	++

++ : Önerilir  
 + : İyi  
 - : Ortanın altında  
 -- : Kaçınılmalı

## 2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA ISIL İŞLEM

Alüminyum ve alaşımlarında ısıl işlem yapılmasının amacı diğer metal türlerinde olduğu gibi kullanım amacı ve yerine göre malzeme özelliklerini iyileştirebilmektir. Isıl işlem, belirli bir sıcaklık ve zamanda bekletilmesinin ardından soğutma işlemi şeklinde gerçekleştirilir. Isıl işlem, ergime sıcaklığının altında bir değerde yapılmaktadır. Alüminyum alaşımlarında ısıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Uygulanamayan serilerinde ise soğuk deformasyon yöntemleri ile sertleştirme işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 2.4. Temper kodları ve açıklamaları [6].

KOD	AÇIKLAMA
F	Sıcaklık şartları kontrol edilmeden soğuk şekil verme, sıcak şekil verme veya döküm ile imal edilen malzemeleri gösterir.
H	Sadece işlenik ürünler için kullanılır. Soğuk işlem yapılmış, malzemenin mukavemeti ve sertliği arttırılmıştır.
O	Yumuşatma tavlama yapılmış demektir.
W	Çözme ısıl işlemi (çözeltiye alma) yapılmış.
T	O temperi dışında kararlı bir yapı elde etmek için uygulanan ısıl işlemi ifade eder. Asıl amaç ürüne yüksek mukavemet kazandırmaktır. Bazı durumlarda ısıl işleme ve tempere göre soğuk işlem de yapılır. Dengeli bir yapı elde edilir (kararlı yapı). T harfinden sonra en az bir rakam gelir. Bunlar aşağıda anlatılmaktadır
T1	Yüksek sıcaklıklarda yapılan şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve doğal yaşlanmaya bırakılmış
T2	Yüksek sıcaklıklarda yapılan şekillendirme işleminin ardından soğutulmuş, soğuk işlem yapılmış ve doğal yaşlanmaya bırakılmış.
T3	Çözeltiye alınmış, soğuk işlem yapılmış ve doğal yaşlanmaya bırakılmış.
T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmaya bırakılmış
T5	Yüksek sıcaklıklarda yapılan şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve ardından yapay yaşlandırılmış.
T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlandırılmış.
T7	Çözeltiye alınmış ve aşırı yaşlandırılmış.
T8	Çözeltiye alınmış, soğuk işlem yapılmış ve yapay yaşlandırılmış.
T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlem yapılmış.
T10	Yüksek sıcaklıklarda yapılan şekillendirme işleminin ardından soğuk işlem yapılmış ve yapay yaşlandırılmış.
T42 VE T62	Başlangıçta O veya F temperinde olup da test amacıyla yapılan ya da kullanıcı tarafından yapılan ısıl işlemi belirtmek için kullanılır. T42 doğal, T62 yapay yaşlanmış demektir.

### 2.2.1. Çözeltiye Alma İşlemi

Çözeltiye alma işleminde katı çözelti bir fazlı olarak elde edilir. İlk sıcaklık değerlerinde  $\alpha$  ve  $\beta$  fazı denge halinde bulunmamaktadır. Alaşım solvüs çizgisinin üstündeki sıcaklıklara çıkartılır ve bu sıcaklıklarda  $\beta$  fazı,  $\alpha$  fazı içerisinde tamamiyle çözününe kadar beklemelidir. Yapının tamamı  $\alpha$  fazına dönüştükten sonra ani bir şekilde soğur. Çözeltiye alma derecesi, oluşan alaşımın erimesine sebep olmayacak şekilde seçilmektedir. Alüminyum erime sıcaklığı 660 °C’larda olması sebebiyle işlem derecesi 525 – 545 °C arasında olmalıdır [7].

Çözeltiye alma süre ve sıcaklığı, fırının kapasitesine ve parçanın kalınlığına göre değişiklik gösterebilir. İnce parçalar için bu süre dakikalar ile ölçülürken büyük parçalar için saatler ile ölçülebilmektedir.

### 2.2.2. Su Verme İşlemi

Su vermedeki amaç, tek faz halinde alüminyuma ilave edilen alaşım elementleriyle oluşan aşırı doymuş çözelti sağlamak ve alaşımın çözeltiye alma sıcaklığından daha hızlı bir şekilde soğutulmasını sağlamaktır. Şayet alaşım kendi kendine yavaş bir şekilde soğuma gerçekleştirirse,  $\beta$  fazı çekirdek oluşturarak denge halinde bir  $\alpha+\beta$  fazı oluşturarak çökeler. Ani soğumada ise  $\alpha$  fazı aşırı doymuş şekilde elde edilmektedir.

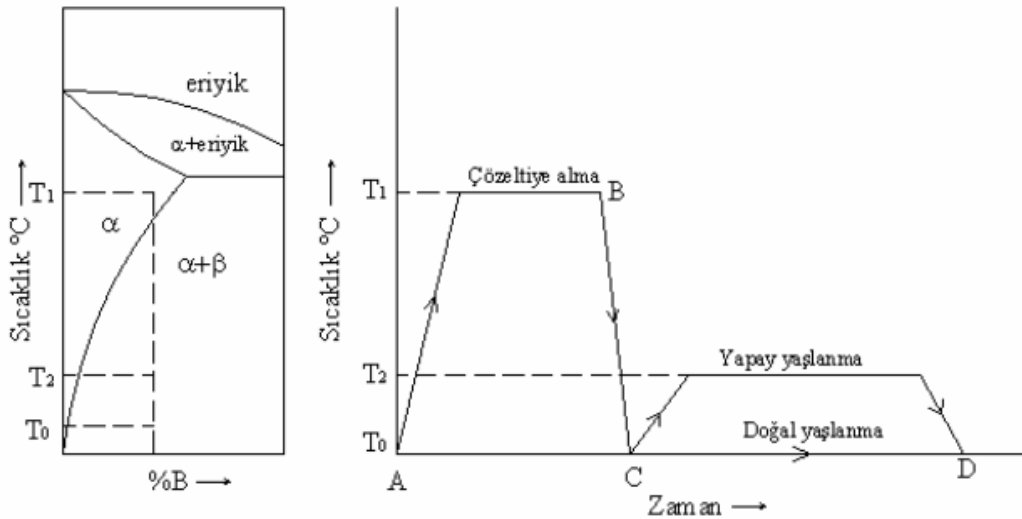
Su verme işlemlerinde genellikle su kullanılsa da polimerik yağlar, madeni yağlarda ilave edilebilir. Alüminyum alaşımlarında ısı iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle aynı parçada kalın ve ince kısımların soğuma karakteristikleri farklı olabilir ve deformasyonlara sebep açabilmektedir. Bu deformasyonların önlenmesi için suyun verildiği ortam dikkatle seçilmeli ve parça bu ortam içerisinde hareket ettirilerek soğutulmalıdır.

### 2.2.3. Yaşlandırma İşlemi

$\beta$  fazı çözünmüş olarak aşırı doymuş katı çözelti içinde bulunmaktadır. Zaman ve sıcaklık etkisiyle kararlı bir faz olarak çökelmektedir. Dönüşüm için, önce  $\beta$  fazının

çekirdek oluşturma ve akabinde difüzyon sayesinde gelişmesi gereklidir. Alaşım ani soğumadan sonra oda sıcaklığında bırakılırsa, difüzyon hızı çok yavaş gerçekleşir ve  $\beta$  fazı genelde oluşmaz veya çok daha uzun sürelerde oluşur. Çökelti oda sıcaklıklarında meydana geliyor ise doğal yaşlandırma, oda sıcaklıklarından daha yüksek bir sıcaklıkta gerçekleşiyorsa yapay yaşlandırma olarak adlandırılmaktadır.

Yaşlandırılabilir çoğu alaşımlarda oluşan çökelti; kırılman ve sert intermetalik bileşiklerden oluşmaktadır. Örneğin 7075 alaşımlarının yaşlandırılması neticesinde  $MgZn_2$  bileşiği oluşturmaktadır. Bileşikler küçük halde çökelse, dislokasyon hareketlerini engellediği için alaşımın mukavemet değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Yaşlandırma ile mukavemet değerleri iyileştirilen malzemelere su verildiğinde, parça merkezi yüzeyine kıyasla daha geç soğur. Hızlı soğumuş yüzey, halen sıcak olan merkeze basma gerilmesi uygular. Bunun sonucunda yüzeyde basma merkezde ise çekme yönlü kalıntı gerilmeler oluşmaktadır. Kalıntı gerilmeler çarpılmalara ve hatta parçada kırılmalara neden olabilmektedir. Bu nedenle yaşlandırma yapılan malzemeler gereğinden fazla soğutulmamalıdır.



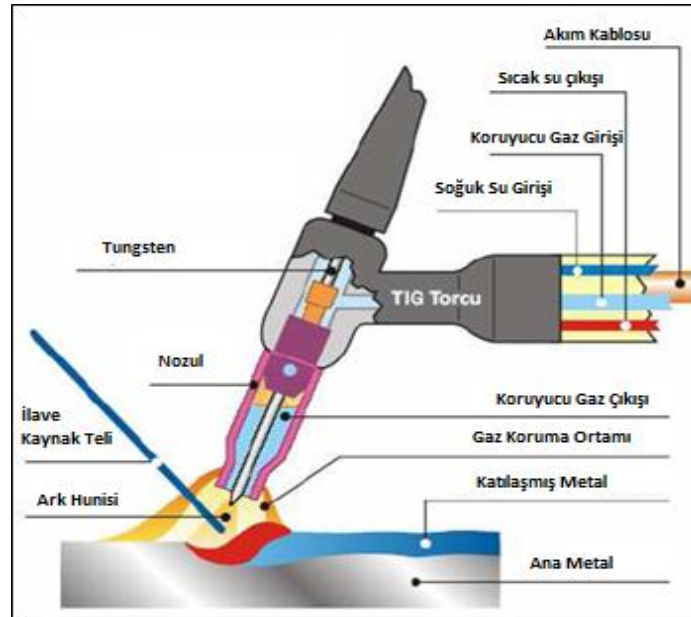
Şekil 2.1. Yaşlandırma uygulanabilen bir alaşıma ait denge diyagramı ve yaşlandırma işleminin aşamaları [8].

## BÖLÜM 3

### ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

#### 3.1. TIG KAYNAĞI

TIG (Tungsten İnerit Gaz) kaynağı; gerekli ısı enerjisini iş parçası ve tungsten bir elektrod arasında oluşan arkta alan ve kaynak bölgesinin de nozul sayesinde beslenen asal gaz sayesinde korumaya alınan kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar asal gazlardır. Her ne kadar malzemeye göre seçilse de genellikle argon gazı kullanılmaktadır. Yöntemde kullanılan kaynak torcu iki farklı yöntemle soğutulabilmektedir. Düşük amperler ile kaynak yapılan cihazlarda hava soğutmalı ekipmanlar yeterli olurken, yüksek amperlerin söz konusu olduğu kaynaklarda ise su soğutmalı cihaz ve torçlar tercih edilmektedir. Şekil 3.1’de su soğutmalı TIG kaynak yönteminin gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. TIG kaynak yöntemi.

TIG kaynak yönteminde kaynak arkını koruyan bir asal gaz atmosferi oluşmaktadır. Saf argon veya helyum gazlarının kullanıldığı kaynak yönteminde malzeme ve kaynak pozisyonlarına göre karışım (Ar+He) gazlarında seçilebilmektedir. Kaynak esnasında oluşturulan ergiyikler yeteri kadar korunmaz ise oksijen ve azot gibi havada bulunan gazlar kaynak metaline nüfuz ederek kaynak hatalarının oluşmasına sebebiyet verebilir. Koruyucu gaz seçimi Çizelge 3.1’de belirtilen özelliklere göre yapılabilir.

Çizelge 3.1. TIG Kaynağında kullanılan koruyucu gaz davranışları [9].

Koruyucu gaz türü	Özellikleri
Argon	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Düşük ark gerilimi sonucu ısı girdisinin azalması 1,5mm’den ince parçaların el ile kaynağında büyük bir üstünlük sağlar</li> <li>-Alüminyum ve alaşımları gibi yüzeyleri oksit kaplı malzemelerin kaynağında temizleme etkisi daha yüksektir</li> <li>-Arkın oluşturulması daha kolaydır</li> <li>-Ark daha sakin yanar</li> <li>-Havadan ağır olması nedeni ile daha az (tavan pozisyonu hariç) koruyucu gaz ile etkin bir koruma sağlar</li> <li>-Otomasyon ile yapılan kaynak işlerinde hızın yükselmesi, gözenek oluşumuna neden olur</li> <li>-Farklı metallerin kaynağında daha iyi sonuçlar alınır.</li> </ul>
Helyum	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Yüksek ark sıcaklığı sonucunda, ısı iletkenliği yüksek ve kalın parçaların kaynağında daha iyi sonuç verir</li> <li>-Yüksek ısı girdisi ve yüksek kaynak hızı daha dar bir ITAB oluşturur ve bununla birlikte mekanik özellikler daha yüksek kalır</li> <li>-Havadan hafif olması nedeni gaz sarfiyatı yüksektir</li> <li>-Otomasyon ile yapılan kaynaklarda daha yüksek kaynak hızlarına çıkılsa da gözenek ve yanma çentiklerinin oluşumu kontrol altına alınabilir</li> </ul>

Bunun yanı sıra iletkenliği sağlayarak ark oluşumunda etkili tungsten elektrotlar malzeme cinsine göre seçilmelidir.

### 3.1.1. Tig Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

TIG Kaynak yönteminin başlıca avantajları şu şekildedir:

1. Birçok metal ve bunlardan oluşan alaşım kaynatılabilir. Bazı dökme demir türleri, paslanmaz çelikler, ısıya dayanıklı çelikler ve döküm çelikler, bakır

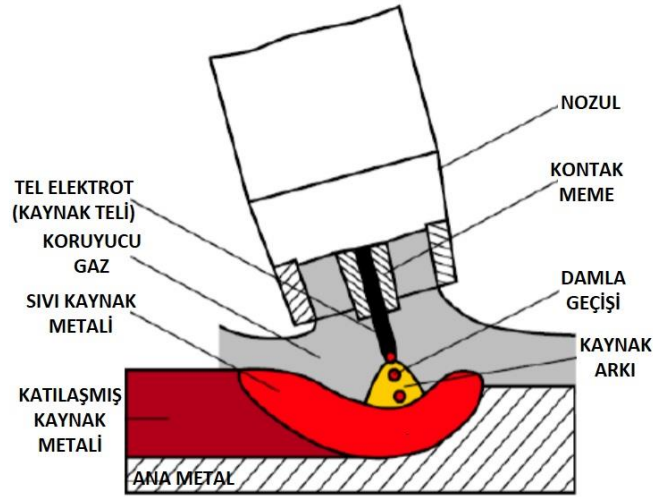
2. alaşımları, alüminyum, titanyum magnezyum, molibden, nikel, niobyumlu çelikler vb.Kullanılan yöntemle; kaynaklarda kalite ve mukavemet açısından mükemmel kaynak dikişleri elde edilebilir.
3. Dekapan kullanımı yoktur.
4. Kaynak dikişleri genellikle ekstra işlem gerektirmez, olduğu gibi kullanılmaktadır.
5. Sadece kaynak yapılan alanın ergitilmesi ve ergitilen bölgeden ısının transferi nedeniyle diğer türlere göre çarpılmalar daha azdır.
6. Tungsten elektrod nedeniyle kaynak dikişinde karbür ayrışması çok az şekilde meydana gelir.
7. Her çeşit birleştirme şekillerinde uygulanabilir.
8. Tavan, yatay, ve dik pozisyonlar dahil tüm kaynak pozisyonlarında kaynak yapılabilir.
9. Kaynak torcu diğer yöntemlere göre daha hafiftir ve kolay çalışma imkanı sağlar.
10. Bu tür sayesinde farklı çeşit metaller ve alaşımlarını birbirleriyle kaynatmak mümkündür.
11. TIG kaynak türünde koruyucu gaz olarak genellikle Argon kullanılır.
12. Kaynak dikişi üzerinde curuf oluşmaz.
13. Kaynak yapılacak parça kalınlığına göre ilave metal kullanılmayabilir.

TIG kaynak yöntemindeki başlıca dezavantajlar ise şu şekildedir:

1. Yığılan metal hızları; diğer ark kaynak türlerine göre düşüktür.
2. Kalın parçaların kaynağında yavaş bir kaynak türü olması nedeni ile ekonomik bir yöntem değildir.
3. Koruyucu gaz olması zorunludur.
4. Kaynak yapılan parçaların yüzey temizliği önemli olup, bu yüzden ön hazırlık yapılmasını gerektirir.
5. Açık havada gaz koruması olmadan kaynak yapılması zordur. Gerektiği taktirde kaynak yapılan bölgede koruma amaçlı kaynak çadırları kurulmasını gerektirir.

### 3.2. MIG/MAG KAYNAĞI

MIG/MAG (Metal İnerit Gaz/Metal Aktif Gaz) kaynağı; gerekli ısı enerjisini sürekli beslenen tel elektrod ve kaynak parçası arasında oluşan ark tarafından alan ve kaynak bölgesinin de nozul sayesinde gönderilen asal veya aktif gaz ile korunan bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar sadece asal veya aktif gaz olabileceği gibi bunların karışımından da faydalanabilir. Her ne kadar malzemeye göre seçilse de genellikle argon ve karbondioksit gaz karışımı kullanılmaktadır. Yöntemde kullanılan kaynak torcu iki farklı yöntemle soğutulabilmektedir. Düşük amperler ile kaynak yapılan cihazlarda hava soğutmalı ekipmanlar yeterli olurken, yüksek amperlerin söz konusu olduğu kaynaklarda ise su soğutmalı cihaz ve torçlar tercih edilmektedir. Şekil 3.2’de MIG kaynak yönteminin gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.2. MIG/MAG kaynak yöntemi

MIG kaynak yönteminde kaynak arkını koruyan bir gaz atmosferi oluşmaktadır. Genellikle argon veya karbondioksit gazlarının kullanıldığı kaynak yönteminde malzemeye göre gaz seçimi yapılabilmektedir. Yöntemde kullanılan bazı kaynak tellerinin cinsine göre gaz koruması kullanılmadan da kaynak yapılabilmektedir. Kaynak esnasında oluşturulan ergiyikler yeteri kadar korunmaz ise oksijen ve azot gibi havada bulunan gazlar kaynak metaline nüfuz ederek kaynak hatalarının oluşmasına sebebiyet verebilir.



### 3.2.1. Mig Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

MIG Kaynak yönteminin başlıca avantajları şu şekildedir:

1. Birçok metal ve metal çeşitleri kaynatılabilir. Bazı dökme demir türleri, paslanmaz çelikler, ısıya dayanıklı çelikler ve döküm çelikler, bakır alaşımları, alüminyum, titanyum, magnezyum, molibden ve nikel ihtiva eden çelikler vb.
2. Örtülü elektrot ve TIG kaynak yöntemlerine göre oldukça hızlı bir yöntemdir.
3. Kullanılan bu yöntemle; kaynaklarda kalite ve mukavemet bakımından güzel kaynak dikişleri elde edilebilir.
4. Kaynak dikişleri kullanılan tel elektrota göre genellikle olduğu gibi kullanılır ve ekstra işlem gerektirmez.
5. Örtülü elektrot yöntemine göre kaynak esnasında oluşan sıçrıntı çok azdır. Tekrar temizlik gerektirmez.
6. Kaynaklama hızına göre oluşan bölgesel kaynak ısısı düşüktür.
7. Tüm birleştirme yöntemlerinde uygulanabilir.
8. Dik ve tavan pozisyonları dahil tüm kaynak pozisyonlarında uygulanabilir.
9. Genellikle kaynak dikişi üzerinden cüruf yoktur.
10. Kaynak yapılacak parça kalınlığına göre ilave metal çapı seçilebilir.

MIG Kaynak yönteminin başlıca dezavantajları şu şekildedir.

1. Kullanılan kaynak torcu diğer yöntemlere göre ağırdır.
2. Hızlı bir yöntem olması nedeni ile kaynak banyosunun kontrolü zor olabilmektedir.
3. Genellikle koruyucu gaz gerektirir.
4. Açık havada ve şantiye ortamlarında gaz korumasını sağlamak zordur.
5. Kontak meme gibi sarf malzeme kullanımı fazladır.

## BÖLÜM 4

### ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞINDA KARŞILAŞILAN HATALAR VE ÇÖZÜMLERİ

Diğer tüm metallerde olduğu gibi alüminyum ve alaşımlarının kaynağında da bir takım sorunlar oluşabilmektedir. Bu sorunların oluşmasında bir çok etken yer alabilir. Kaynak yöntemine bağlı olarak hata türleri değişkenlik gösterebilir. Çizelge 4.1’de Kaynak yöntemine bağlı oluşan süreksizlikler verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kaynak yöntemine bağlı oluşan süreksizlikler [10].

Kaynak Yöntemi	Porozite	Curüf İnküzyonu	Yetersiz Ergime	Yetersiz Nüfuziyet	Yanma Oluğu	Çatlak
Plazma Ark	X		X	X		X
Örtülü Elektrod	X	X	X	X	X	X
TIG	X		X	X	X	X
MIG/MAG	X	X	X	X	X	X
Tozaltı	X	X	X	X	X	X
Lazer	X		X			X
Elektron Işın	X		X	X		X
Oksi-Gaz	X		X	X		X
Sürtünme			X			
Direnç			X			X

Kaynak yapılacak alaşım türüne, parça kalınlığı ve pozisyona bağlı olarak başlıca aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

1. Kaynak Makinasının seçimi
2. Akım türünün seçimi
3. Koruyucu gaz seçimi
4. Koruyucu gaz debi ayarı
5. Kutuplama türünün seçimi

6. Uygun (torç vb.) ekipman seçimi
7. İlave metal seçimi
8. Parça hazırlığı (Kaynak ağzı, temizlik vb.)
9. Manyetik alan oluşumu

#### **4.1. KAYNAKTA POROZİTE HATASI**

##### **4.1.1. Porozite Hatasının Nedenleri**

Kaynaklı yapıların mukavemet değerlerini doğrudan etkileyen oluşumlardan birtanesidir. Kaynakçının yetkinliğine bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği aşağıda belirtilen hususlar genel gözenek hatalarını oluşturmaktadır.

1. Çalışma ortamının nemli olması
2. Ana malzemede ön hazırlık yapılmaması; yağlı, kirli kalması
3. Koruyucu gaz akışının yetersiz olması veya doğru gaz seçiminin yapılmaması
4. Kaynak banyosunun hızlı katılaşması
5. Koruyucu gaz akışının gereğinden fazla olması
6. Açık havada (yeterli koruma sağlanmayan ortamda) kaynak yapılması
7. Yeterli miktarda ilave metal ile dolgu yapılmaması

##### **4.1.2. Porozite Hatasının Önlenmesi**

Porozite hatasının önlenmesi temel sebeplere bağlı olarak değişmektedir. Kaynaklı yapılarda ciddi sorunlara yol açabilecek bu hatanın önlenmesi için aşağıdaki tedbirler alınabilir.

1. MIG/MAG kaynağında daha uzun nozul kullanılabilir.
2. TIG kaynağında daha gaz koruması için büyük çapta nozul kullanılabilir.
3. Kullanılan ilave metal nem almamalıdır.
4. Kaynak öncesi ana metal için yüzey temizliği yapılmalıdır.
5. Koruyucu gaz (kaynak yapılan şartlara göre) miktarı azaltılabilir veya artırılabilir.

6. Dikey kaynak pozisyonu uygulanıyorsa ilerleme yönü yanlış olabilir. Aşağıdan yukarıya doğru kaynak işlemi yapılmalıdır.

## **4.2. KAYNAKTA YETERSİZ NÜFUZİYET VE ERGİME HATASI**

### **4.2.1. Yetersiz Nüfuziyet ve Ergime Hatasının Nedenleri**

Kaynak yöntemine göre hata nedenleri değişkenlik gösterebilir. Genel olarak aşağıdaki gibidir.

1. Uygun olmayan kaynak geometrisi
2. Kararsız ark oluşumu
3. Yüksek kaynak hızı
4. Düşük kaynak enerjisi
5. Kök açıklığının fazla olması
6. Elektrotun büyük olması
7. Elektrot veya torç açısının hatalı olması
8. Dikişi seçiminin doğru olmaması
9. Ana metalde ön temizlik yapılmaması
10. Kaynak ağzı hazırlığının yanlış veya eksik olması

### **4.2.2. Yetersiz Nüfuziyet ve Ergime Hatasının Önlenmesi**

Oluşan hata türüne göre düzeltilmesi hususlar aşağıdaki gibidir.

1. Kaynak geometrisinin uygun hale getirilmesi
2. Kararlı ark oluşumunun sağlanması
3. Kaynak hızının düşürülmesi
4. Kaynak enerjisinin yükseltilmesi
5. Kök açıklığının kaynak yöntemine ve elektrotta göre ayarlanması
6. Daha küçük çapta elektrot seçimi
7. Kaynak açısının uygun olması
8. Yönteme ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak dikiş seçiminin yapılması

9. Ana malzemede kaynak önce temizlik yapılması
10. Kaynak ağızı (gerekiyorsa) hazırlığının uygun açı ve şekilde olması [11].

### **4.3. KAYNAKTA YANMA OLUŞU HATASI**

#### **4.3.1. Yanma Oluşu Hatasının Nedenleri**

Kaynak yapıldıktan sonra en dış noktasının tam doldurulamaması nedeniyle oluşan hata tipidir. Yüzeyde çentik oluşarak gerilme yoğunluğunu bu bölgede arttırmaktadır.

1. Kaynak akım yoğunluğunun yüksek olması
2. Elektrot çapının büyük olması
3. Yüksek kaynak hızlarında birleştirme yapılması
4. Parçaya veya kaynak ağızına göre uygun açıda kaynak yapılmaması
5. Kaynak esnasında salınım hareketlerinin çok yapılması

#### **4.3.2. Yanma Oluşu Hatasının Önlenmesi**

Yanma oluşu oluşan kaynaklı parçada dinamik zorlanmalar olacaksa veya düşük sıcaklıklar altında hizmet görececek bir parçaysa mutlaka tamiratının yapılarak giderilmesi gerekmektedir. Yanma oluşu ile ilgili boyut ve şartlar uluslararası kaynak standartlarında belirtilmiştir. Bu hatanın önlenmesi amacıyla aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir.

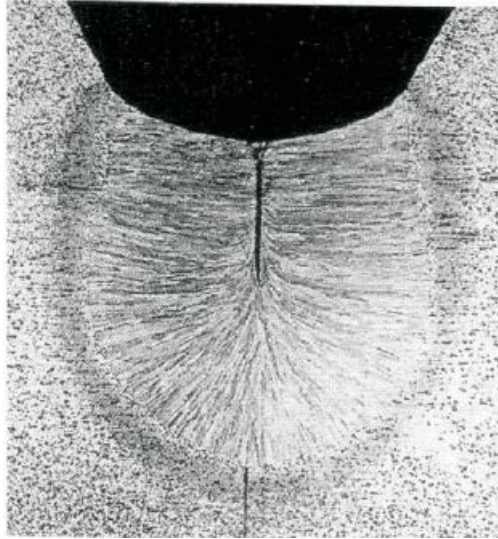
1. Kaynak parametrelerinin uygun seçimi
2. Daha düşük çaptaki elektrotların kullanılması
3. Düşük hızlarda kaynak yapılması
4. Uygun açılarda kaynak yapılması
5. Salınım hareketinin parçaya ve pozisyona göre seçilmesi

#### 4.4. KAYNAKTA SICAK ÇATLAK HATASI

Çatlaklar genelde iki boyutlu oluşmaktadır. Makro ve mikro çatlaklar olarak iki ayrılmakla beraber konumlarına göre ve oluşum şekillerine göre sınıflandırılmaktadırlar.

Sıcak çatlaklar; taneler arasında düşük sıcaklıklarda ergiyen maddelerin toplanması ve bunların çekme gerilmelerine dayanamayıp ayrılmasıyla oluşmaktadır. Sıcak çatlaklar daha çok tane sınırları boyunca uzanır [12].

Sıcak çatlak türleri kaynak metalinin ve ana metalin hassasiyetine göre değişebilmektedir. Boylamasına yada enlemesine oluşabilmektedirler.



Şekil 4.1. Dikiş ortası çatlağı [12].

##### 4.4.1. Sıcak Çatlak Hatasının Nedenleri

1. Kaynak yapılacak ana malzeme alaşım türünün sıcak çatlağa elverişli olması
2. Uygun ilave malzeme kullanılmaması
3. Kaynak paso sıralamalarının uygun olmaması
4. Segregasyon oluşturacak element ve bileşik içermesi

#### 4.4.2. Sıcak Çatlak Hatasının Önlenmesi

1. Ana malzeme seçimin doğru yapılması
2. Uygun ilave malzeme seçimi yapılması (Sıcak çatlak oluşturan elementlerin bağlanması amacıyla)
3. Paso sıralama seçimlerinin uygun dizaynı
4. Küçük pasolar halinde kaynak yapılması
5. Isı girdisinin azaltılması
6. Esas veya ilave metalin saflık derecesinin doğru seçilmesi
7. Kaynak yönteminin ana malzemeye uygun seçimi

## BÖLÜM 5

### ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI

#### 5.1. ELEKTRON IŞIN KAYNAK YÖNTEMİ

Bir yapısal parçanın birleştirilmesinde kullanılacak yöntem aşağıdaki hususlar ile belirlenmektedir.

1. Kalite özellikleri (mukavemet özellikleri)
2. Şekil ve boyut şartları (ulaşılabilirlik)
3. Uygulamanın ekonomikliğı (yatırım maliyeti, işletme maliyeti, enerji-bakım maliyetleri) [13].

Elektron ışın kaynağı; sık kullanılan kaynak yöntemleri ile elde edilemeyen ve üstün mekanik değerlere sahip mikroyapıların elde edilmesi için kullanılan yüksek teknolojik kaynak yöntemlerinden birisidir [14].

Elektron ışın kaynak yöntemi, tungstenlerden koparılan elektronların genellikle yüksek vakum değerlerinde hızlandırılmaları neticesinde kazanmış oldukları kinetik enerjiyi kullanarak gerçekleştirilen bir yöntemdir. Elektron ışın kaynağı yoğunlaştırmalar sonrasında yönlendirilmiş bir elektron demetinin yüklendiğı enerjiyi; metallerin ergitilmesinde kullanarak kaynak yapılmasını sağlayan bir işlemdir. Bahse konu yöntemde kaynak üç farklı ortamda yapılmaktadır. Bunlar; yüksek vakum, düşük vakum ve tamamen vakumsuz ortamdır. Vakumsuz olarak kaynak yapılacaksa parça ile tabanca arasındaki boşluk yok denecek kadar az tutulmalıdır. Kaynak bölgesinin etkilenmesinin önüne geçmek için de koruyucu gaz ortamı sağlanarak ilerletme hızı oldukça yüksek olmalıdır [14].

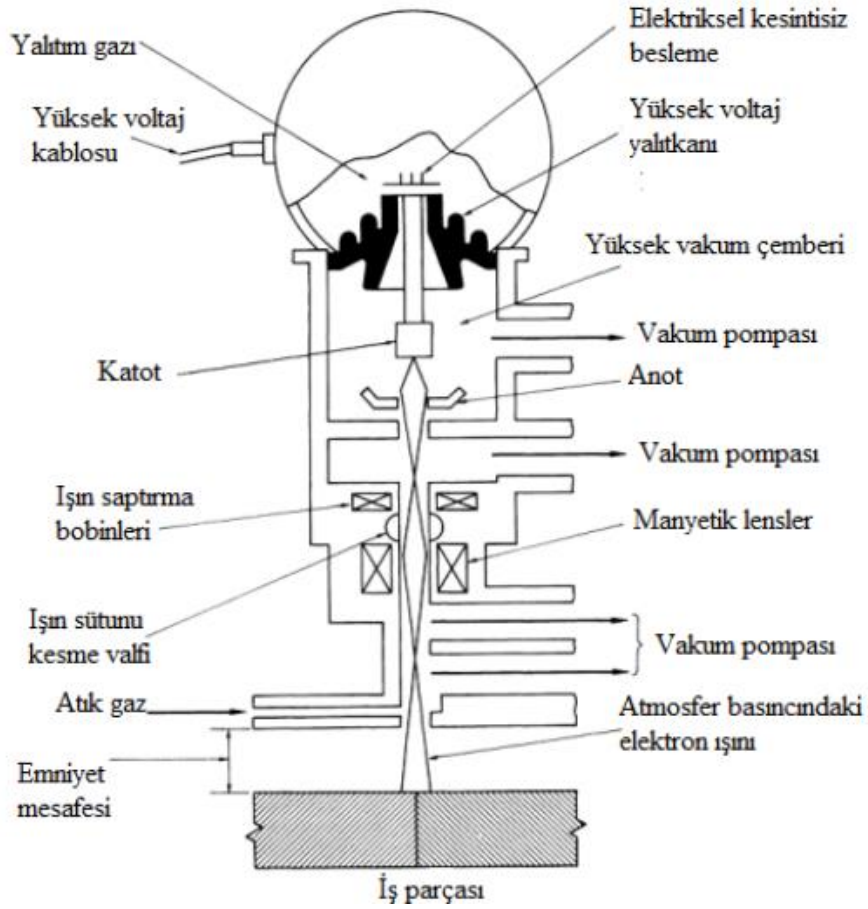


Elektron ışınlarının metalleri ergitebildiğini tespit eden ilk kişi Crookes'dır. 1879 yılında bir katot ışın tüpünde platinyum eritmiştir. Thompson 1897 yılında katot ışınlarının elektron dalgası olduğunu ispatlamıştır. 1907 yılında elektron ışın yöntemini eritme aracı olarak ilk kullanan Pirani olmuştur. Kaynak yapmak için 1949 yılında kullanan ise Steigerwald olmuştur. 1950'li yıllarda Fransa ve Almanya'da ilk defa kaynak yapmakta kullanılmıştır. J.A.Stohr 1954'te elektron ışın kaynağı ile ilgili çalışmalara başlamış ve 1957 yılında Paris'te yapılan "Fuel Elements Conference" ta zirkonyumun elektron ışın kaynağının uygulama sonuçlarını sunmuştur. Heraeus ise 1956 yılında elektron ışın tabancasını vakumsuz olarak üretmiştir. [15].

Elektron ışın kaynağı, sadece kaynaklı birleştirmelerde değil; kaynaklı kaplama, yüzey modifikasyonları, parça ve yüzey sertleştirme, alaşımlandırma, hızlı prototip oluşturma ve birleştirmesi zor parçalarında tamirleri içinde kullanılmaktadır[15].

## **5.2. ELEKTRON IŞIN KAYNAĞININ YAPILIŞI**

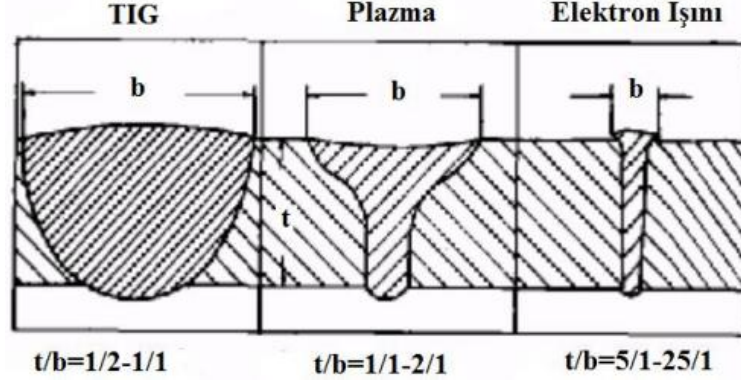
Elektron ışın kaynağı, yüksek vakum altında çalışabilecek şekilde tasarlanmış büyük boyutlardaki kaynak makinesinde yer alan elektron ışın tabancasında üretilir. Vakum miktarı tasarlanan cihaza göre değişmekle birlikte  $10^{-4}$  torr civarlarındadır [13]. Elektron ışın kaynak makinelerinde koparılan elektronlar 150.000 km/saniyeden daha yüksek hızlarda fırlatılabilmektedir. Elektron ışınları; elektro manyetik alanlar sayesinde istenilen yere yönlendirilebilir ve bu sayede dar bir elektron ışın demet elde edilir. Elde edilen bu ışın kaynaklanacak parçaya hızlandırılarak yönlendirilir. Bu işlem gerçekleştirilirken yüksek sıcaklıklara çıkılmaktadır. Oluşan yüksek sıcaklık nedeni ile alaşım elementlerinin buharlaşmasına sebep olabilmektedir. Bu buharlaşma kaynaklı parçada kimyasal kompozisyonu değiştirebilir [14]. Şekil 5.1'de Elektron ışın kaynağının şematik görünümü verilmiştir [16].



Şekil 5.1. Elektron Işın Kaynağının Tabanca Kısmı Şematik Görünümü [16].

Elektron ışın kaynağında genel olarak ilave tel kullanılmamaktadır. Kalın parçalar dahi tek seferde haz bölgesi olmaksızın kaynaklanabilir. Bazı özel durumlarda birleştirilecek parçaların arasına ilave tel yerleştirmek suretiyle kaynak yapılabilir. Yerleştirilen bu ilâve metal elektron ışın demetinin etkisi ile esas metal ile aynı süreçte erir ve boşluğun tamamıyla kaynaklanmasını sağlar. Elektron ışınlarının ısı dağılımı, oksijen gaz yöntemi ve elektrik ark kaynaklarına göre on bin kat daha yüksek olabilir [14]. Kaynak yapılan parçalarda dar bir kaynak bölgesi oluşur. Kaynak bölgesinin çok dar olması da çarpılmanın önlenmesini veya çok daha az olmasını sağlar. Kaynak yapılan bölge çok temizdir. Farklı iki veya daha çok metallerin kaynaklanmasına imkan sağlayan yöntemdir [14,17]. Bakır, paslanmaz çelik ve alüminyum üst üste koyularak bu yöntem ile kaynaklanabilir. Ayrıca ergitme kaynakları ile zor kaynak yapılan berilyum, zirkonyum gibi metaller bu yöntemle kaynak yapılabilir. Kaynak çekmesi; kaynak edilen malzemelerde neredeyse hiç oluşmaz. Bu sayede kaynak bölgesindeki mekanik özellikler neredeyse hiç değişmez

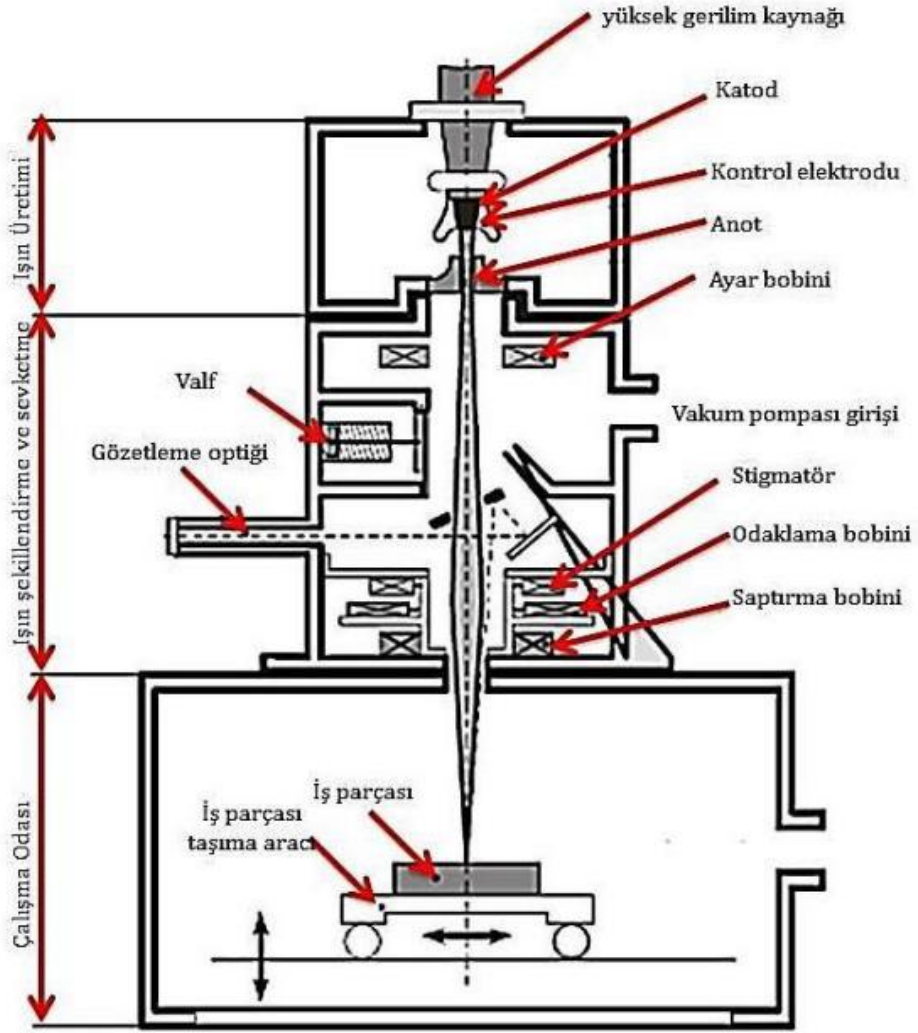
[15]. Şekil 5.'de elektron ışın kaynağını plazma ve TIG kaynak derinliklerine göre ortalama genişliğe oranı verilmiştir [14]. 25/1 olarak verilen oran bazı literatürlerde 20/1 olarak da belirtilmektedir. [17].



Şekil 5.2. Kaynak nüfuziyetinin ortalama genişliğe oranları[14].

Üç çeşit elektron ışın kaynak makinesi mevcuttur. Vakumsuz, orta vakumlu ve yüksek vakumlu kaynak makinalarıdır. [14]. Yüksek vakumlu sınıfta yer alan elektron ışın kaynak makinesi,  $10^{-6}$ - $10^{-3}$  torr basınca kadar vakum sağlamaktadır [14,16]. Vakumsuz makinalarda tabancadan fırlatılan elektronlar istenilen doğrultuda hareket edemeyip yönlerinden kolaylıkla sapabilmektedir. Bu yüzden genellikle vakumlu ortam yaratılarak elektronların yönlendirilen hedeften sapması engellenir. Kaynak parçasından 66,2 cm mesafelere kadar ışınları toplayabilmektedirler. Genellikle jet motorlarının parçaları, uçak ve uzay sanayisine ilave nükleer sanayi parçalarının kaynağında kullanılır. Zirkonyum magnezyum ve titanyum gibi hidrojen ve oksijene ilgisi fazla olan metallerin kaynağında tercih edilmektedir [14]. Orta vakum sınıfındaki kaynak makinalarının vakum gücü  $10^{-3}$ -25 torr arasında yer almaktadır [14,16]. Vakum gücünün düşük olması nedeni ile yüksek sınıftakilere göre vakumlama süresi daha kısadır. Böylece çok adetli yapılacak kaynaklı imalat için uygun bir cihazdır [14]. Herhangi bir koruması olmayan vakumsuz cihazlarda sadece elektron ışın tabancası vakumlu ortamda çalışmaktadır. Kaynak yapılacak parçaya atmosfer basıncında ışın ışın yönlendirilir. Belirtilen diğer metodlara göre en fazla parça kaynatılan yöntem budur. Bu yöntemde genellikle parça kalınlığı 50 mm ile sınırlıdır. Elektron ışını %90 verimle kullanılabilir. Parçalara vakumsuz ortamda kaynak yapıldığında çalışma uzaklığı 0,9-2,2 cm dir. Koruyucu gaz olarak helyum kullanılması durumunda bu mesafe 2,5-5,0 cm ye kadar çıkartılabilmektedir. Ticari amaçlı uygulamalarda

çoğunlukla helyum ile korunan makinalar kullanılır. Vakum ortamı olmadığı için herhangi bir parça boyutu sınırı yoktur [14]. Elektron ışını kaynak makinasında 3 temel eleman vardır bunlar; hareket eden tabla, ışın üreten tabanca, vakumlama için kullanılan ünite. Elektron tabancası, elektron kopartılarak ışınının üretildiği sistemdir. Odaklama bobini katot ve anottan oluşmaktadır. Katot, tungsten gibi erime derecesi yüksek malzemelerden seçilmektedir. Çünkü katottan elektron yayılması için sıcaklığın 2500 °C ye kadar çıkması gerekir. Katottan çıkan elektronlar anot ile katot arasındaki voltaj farkı sayesinde yüksek hızlara erişir. Hızlanan elektronlar anotun içinden geçerek odaklanma bobinine gelir ve buradaki manyetik mercekler sayesinde ışın çapı düşürülür. Anottan çıkan elektron ışınları  $\Lambda$  şeklinde bu merceklere gelir. Mercekler, bu ışınları V şekline getirerek kaynak yapılacak parçaların üzerine küçük çaplı ve çok ince bir ışın haline getirir. Daralan ışın çapı, enerji yoğunluğunu da artırır [14]. Işının bir mesafe kat etmesi için 0,013 ila 1,3 MPa arasındaki bir basınçta ve vakum içinde çalışması gerekir. Vakum pompaları sayesinde bir vakum odası, vakum oluşturulur. Elektron ışınları yönlendirildiği iş parçasına çarpınca bir kısmı X ışınına dönüşür. Bu yüzden vakum odasının etrafı kurşun ile kaplanması gerekir ki kullanıcı ve çevredeki diğer çalışanlar bu yayılan X ışınlarından zarar görmesin. Vakum odası, parça sınırları nedeni ile dezavantaj yarattığı gibi büyük avantajlarda oluşturmaktadır. Vakum odası sayesinde kaynak işleminde hidrojen ve oksijen gibi gazların çok az olması nedeniyle çok temiz ve sağlam bir kaynak yapılır. Aynı zamanda ortamdaki havanın yok denecek kadar az olması sebebiyle elektron ışını, herhangi bir yere çarpmaz. Bu sayede yoğun enerjisi sayesinde kaynağı zor malzemelerin kaynaklanması hem de çok kalın parça bile olsa herhangi bir ilave tel olmaksızın kaynaklanabilir [14,17]. Hareket ünitesi sayesinde kaynak yapılacak parça doğrusal bir şekilde hareket eder böylece parça boyunca kaynak yapılmış olur. Elektron ışını malzemeye çarpınca geri dönen elektronlar, ikincil elektronlar, Auger elektronları, X ışınları, floresans ışınları ve termal radyasyon ışınlar ortaya çıkar [15].



Şekil 5.3. Elektron ışın kaynağı şematik gösterimi [18].

### 5.3. ELEKTRON IŞIN KAYNAĞININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Diğer kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında ; electron ışın kaynak yönteminin karakteristik özellikleri mevcuttur.

1. Işınlara odağı yerde yaklaşık  $107 \text{ W/cm}^2$  gibi çok yüksek güç mevcuttur.
2. Enerji transferi malzeme yüzeyinden ısının kondüksiyon iletimi sayesinde olmaz, daha verimli ve etkili bir şekilde malzemenin tamamında olur.
3. Köşe hazırlığına gerek kalmaz, parçaların kalınlığından bağımsız ilave tel gerektirmez.

4. Kaynak hızlarının yüksek olması, malzemede dar kaynak bölgesi ve daha dar HAZ bölgesi ile birlikte çarpılmanında önüne geçmektedir.
5. Çok farklı çalışma mesafeleri nedeniyle farklı şekillerdeki malzemelerin kaynaklanabilmesine olanak verir.
6. Kaynak genelde vakum ortamında yapıldığından, kaynak banyosunu oksitlenmekten korumak için herhangi bir ekstra koruma yöntemine gerek kalmaz.
7. Kaynak odasını kaynaklacak parçalara göre dizayn ederek kısa sürede çıkartılabilir.
8. Mekanik ve elektriksel kaynak parametreleri bir bilgisayar ile izlenebilir ve kontrol edilebilir.
9. Kaynak parametrelerine bağlı olarak kaynak kalitesi yüksek sayılarda tekrarlanabilir ve sabit tutulabilir.
10. Voltajın 60 kV üzeri olduğu durumlar için zırh olarak kurşun kullanılırsa X-Ray ışınlarının dışarı çıkması engellenebilir.
11. Makinalar spesifik bir parça için kullanılabileceği gibi, otomotiv sektörü gibi seri üretim yapılan parçalarda da kullanılabilir.
12. Tek ve uzun kaynak bölgesi elde edilebileceği gibi, üç boyutlu karmaşık kaynaklar da farklı programlamalar sayesinde elde edilebilmektedir.
13. Karbon çelikleri, demir esaslı olmayan malzemeler, alaşımlı çelikler ve gaz afinitesi olan özel metaller başarıyla kaynaklanabilir [18].
14. İlk yatırım maliyeti oldukça yüksektir.
15. Vakum odası nedeni ile kaynak yapılacak parça boyutları sınırlıdır.
16. Vakum altına alınması için süre kaybı fazladır[19].

#### **5.4. ELEKTRON IŞIN KAYNAĞINDA KALİTE-GÜVENCE**

Diğer tüm imalat çeşitleri gibi elektron ışın kaynağı da bazı değişkenlerden oluşmaktadır. Bunlar; girdiler, çıktılar ve kontrol elemanları olarak değerlendirilmektedir. Elektron ışın kaynağındaki sonuç değişkenleri kaynak nüfuziyeti ve kaynak hatalarının hangi boyutta olduğudur. Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, çeşitli kaynak hataları elektron ışın kaynağında gözlemlenebilir, örnek olarak çatlaklar, gözenekler, yanma olukları verilebilir. Kalite

testinden geçirilecek kaynaklar, standartlarda belirlenen sınırlar içerisinde olmalıdır. Kaynağın bu standartlara uygun olması için girdi parametrelerinin sıkı takibi gerekir. Akım ve voltaj değerleri oluşan ışının güç yoğunluğunu belirler. Birçok elektron ışın kaynak makinasında voltaj sabit tutulur ve gerekli güç yoğunluğu akım değiştirilerek elde edilmektedir. Kaynak hızı, kaynak yapılacak parçanın ışına göre kaynak yönündeki hızıdır. Hız, ısınma ve beraberinde soğuma hızı ile nüfuziyeti etkiler. Vakum seviyesi ise  $10^{-3}$  bar veya daha iyi bir seviyede sabit tutulmaktadır. Odaklanmış akım, odak mesafesini belirleyen manyetik lensin girdi değişkenidir. Bu mesafe keskin odak, aşırı odak yani kaynak parçasının yüzeyinin altında olabilir ya da düşük odak yani kaynak parçasının yüzeyinden daha yukarıda olabilir.

Özel uygulama isteyen kaynaklar için, ışın değerleri işlem esnasında bilgisayar üzerinden kontrol edilebilir. Ancak parazit elemanları ya da diğer değişkenler nedeniyle, nüfuziyet boylarında ve farklı hata tiplerinde değişimlere neden olan çeşitli özelliklerde elektron ışınları elde edilebilir. Bir başka değişken ise odak ayarlarına karar veren operatör etkisidir. Işın rahatça görünebilir olduğundan dolayı, keskin odak genellikle operatör tarafından ışının parlaklığının çalışma parçası üzerinde gözlemlenmesi ile ayarlanmaktadır. Düşük akımlardaki ışın iş parçası üzerinde yönlendirildiğinde, keskin odakların ayarlanmasındaki tutarlılık büyük bir soru işaretidir çünkü farklı operatörler optic üzerinde yer alan metal tozlarından dolayı farklı parlaklıklar gözlemleyebilir. Sonuç olarak, kaynak değişkenleri tutarlı bir şekilde ayarlansa bile, makine kurulumu ve kaynak performansında farklı sonuçlarla karşılaşılabilir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için, numune inceleme sistemi kullanılmaktadır. Numune inceleme sisteminin amacı kaynak öncesinde elektron ışın kalitesinin doğruluğundan emin olabilmektir. Parça yüksek değerlere sahip olduğu zaman, tekrar işletmek veya parçayı hurdaya ayırmak ekonomik olmayan sonuçlara yol açar. Bu sebeple numune inceleme yöntemi önemli bir konudur[20].

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, yüksek mukavemetli AA7075-T6 ve AA6061-T6 serileri kullanılmıştır. Malzemelerin kimyasal birleşimleri Thermo Scientific Ice 3400 AA Spektrometrede belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar için plakalar; 2x200x200mm lazer kesim tezgahında kesilerek hazırlanmıştır. Parçaların kaynaklanması amacıyla Sciaky marka Elektron Işın Kaynak Makinası kullanılmıştır. Plakaların alın kaynakları 70 Bar vakum altında yapılarak tamamlanmıştır. Çekme test numuneleri standartlara uygun olarak su jeti tezgahlarında hazırlanmıştır. Kaynaklı çalışma ve incelemelerin tamamı TS EN ISO 3834-2/3/4 ve 5'e göre yapılmıştır. EN ISO 17636-1 ve ISO 15614-1 Standartlarına göre çekme numuneleri hazırlanmış olup Zwick marka çekme test makinasında yapılarak metalografik incelemelerde bulunulmuştur. Kırılma yüzeyleri Zeiss HD 100 optik metal mikroskopunda incelenmiş ve sertlik ölçümleri Shimadzu Vickers kullanılarak yapılmıştır. Carl Zeiss Ultra Plus cihazı sayesinde kaynaklı bölgelerin SEM-EDS analizleri yapılmıştır.

#### 6.1. ANA MALZEME

Bu çalışmada kullanılan AA6061-T6 ve AA7075-T6 kimyasal kompozisyonları sırasıyla Çizelge 6.1. ve Çizelge 6.2.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. AA6061-T6 Ana malzeme kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim									
Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Ağırlıkça (%)	0,66	0,47	0,23	0,13	0,89	0,17	0,07	0,04	Kalan



Çizelge 6.2 AA7075-T6 Ana malzeme kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim									
Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Ağırlıkça (%)	0,07	0,11	1,50	0,05	2,50	0,19	5,70	0,03	Kalan

## 6.2. KAYNAKLAMA İŞLEMLERİ

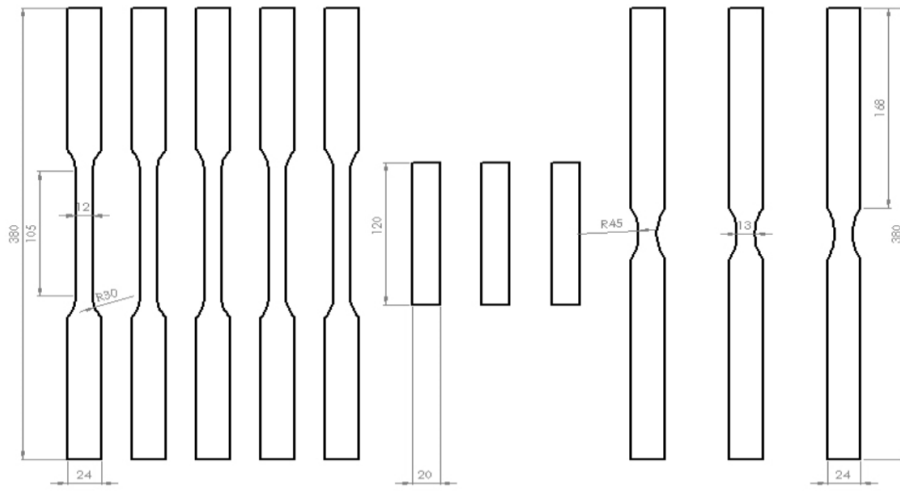
2x200x200mm olarak hazırlanan Alüminyum plakalar öncelikle parametre ayarları için kaynaklanmıştır. Focus: 475-515, Hv: 400-500, I/P: 20-25 İlerleme hızı: 150mm ve yükseklik 152,40mm olarak belirlenmiştir. Bu değerler haricinde ise istenilen bölgede kaynak yapılamamıştır. Kaynaklama işlemleri esnasında gözetleme pencerelerinden proses takip edilmiştir. Sistemin yüksek vakum altında çalışması neticesinde ön hazırlıklar ortalama 75-90 dakika sürmektedir. Kaynak yapılan Sciaky marka makina Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Sciaky Marka Elektron Işın Kaynak Makinası

### 6.3. NUMUNE HAZIRLAMA

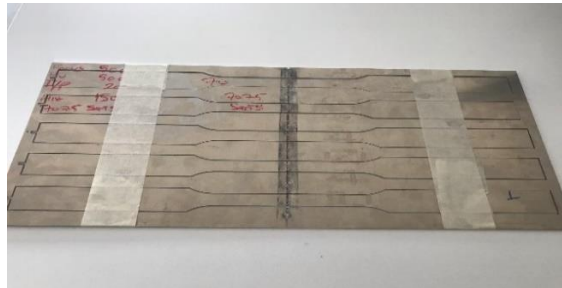
Elektron ışın kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin ısı girdisi olmaksızın hazırlanması için kesme işlemleri su jeti ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı parçaların başlangıç ve bitiş kısmından 25 mm kesilerek ayrılmıştır. Kalan kısımdan 5'er adet çekme ve 3 adet mikroyapı ve sertlik için numune kesilmiştir. Şekil 6.3'de, alın kaynaklı parçalardan çıkarılmış karakterizasyon numuneleri ve şekilleri verilmiştir.



Şekil 6.3. Alın kaynaklı numunelerin ölçü ve şekilleri.

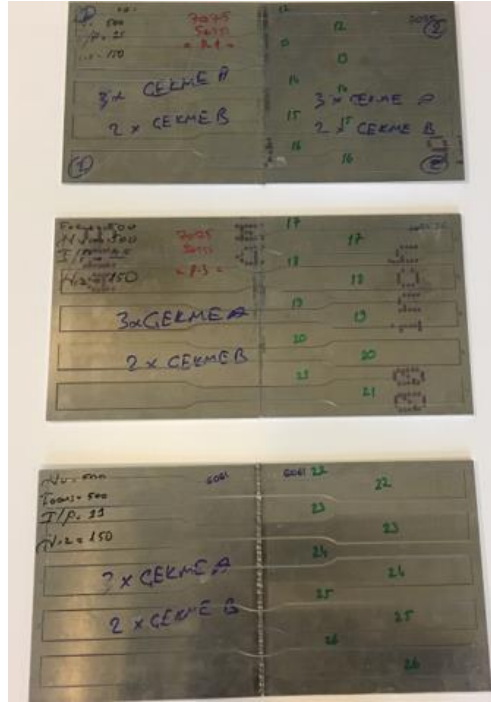
### 6.4. ÇEKME TESTİ

ISO 15614-1 standartına göre hazırlanan çekme numuneleri TS EN ISO 6892 Metalik malzemeler çekme test standardına göre; 20Mpa/Saniye hızında yapılmıştır. Hazırlanan çekme test numuneleri Şekil 6.4.'de gösterilmiştir.



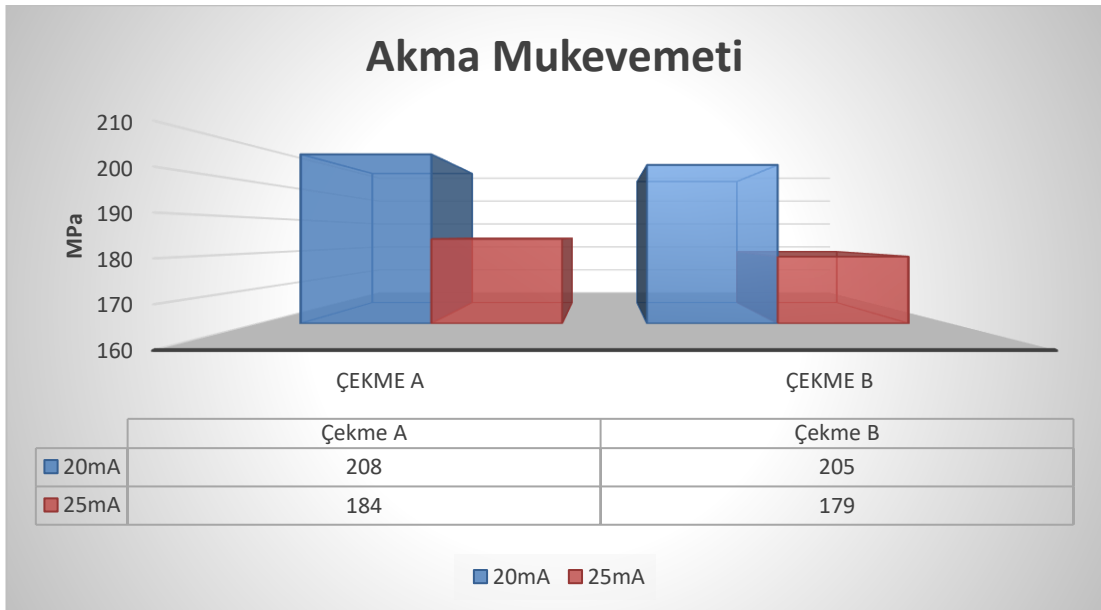
Şekil 6.4. Çekme Test Numuneleri

Çekme test numuneleri Şekil 6.5.'deki gibi gruplandırılarak teste tabi tutulmuştur. A tipi çekme numuneleri parçanın tamamını ele alırken B tipi çekme numuneleri kaynak bölgesinin değerlerini ölçmek amacıyla yapılmıştır.



Şekil 6.5. Gruplandırılmış Çekme Test Numuneleri

Çizelge 6.3. Akma Değerleri

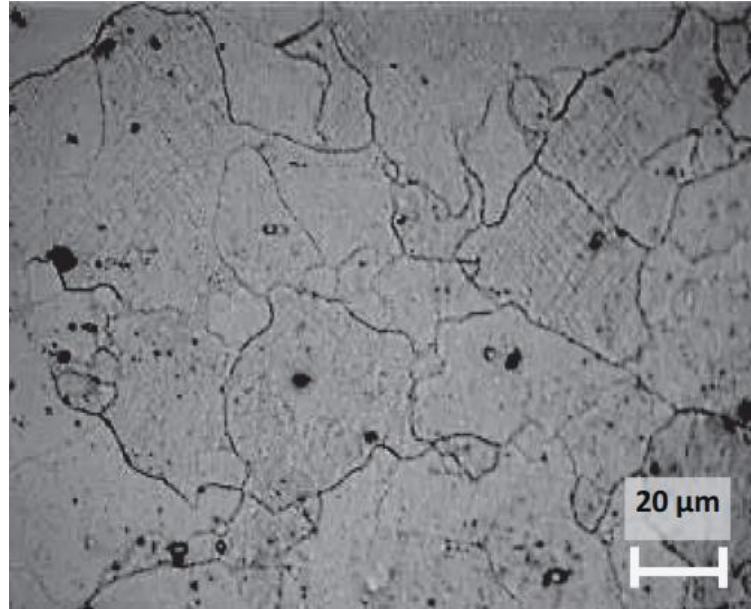


## BÖLÜM 7

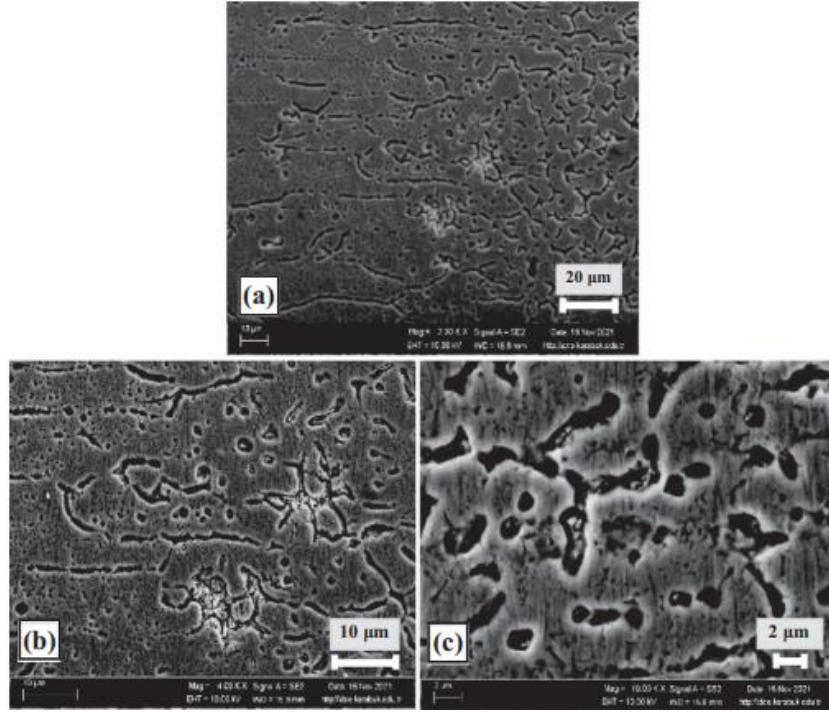
### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 7.1. MİKROYAPI

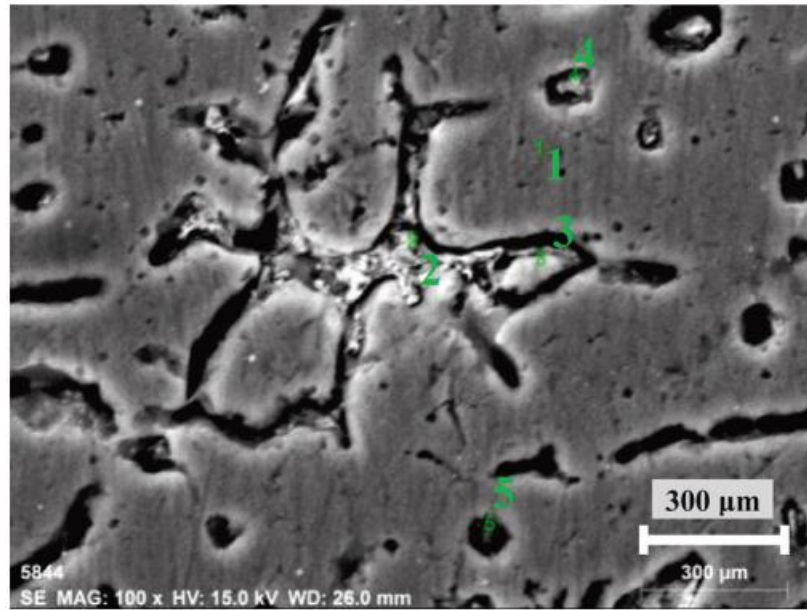
AA7075-T6 Ana malzemeye ait mikroyapı görüntüsü Şekil 7.1.'de verilmiştir. Bu mikroyapıda görüleceği üzere koaksiyel taneler mevcuttur. Tanelerin boyutları  $48 \pm 5\mu\text{m}$  civarındadır. 20 mA akımında yapılan kaynaklı numunelerin ısıdan etkilenmiş bölgelerindeki SEM ve EDS analizleri Şekil 7.2. ve 7.3.'de verilmiştir. Şekil 7.1.2.'da görüleceği üzere kaynaktan sonra ana metal dışında başka metallerde oluşmuştur. HAZ bölgesinde kısmen ergimiş yapılar bulunmaktadır. Bu bölge kısmen ergimiş bölge olarak adlandırılmaktadır, çökelti ana matristen daha düşük bir ergime noktasına sahip olarak oluşmaktadır.



Şekil 7.1. AA7075-T6 Optik Mikroskop Mikroyapı görüntüsü



Şekil 7.2. 20mA Kaynaklı AA7075-T6 SEM Görüntüleri; (a) HAZ, (b) Kısmi Ergimiş Bölge, (c) Kaynak Bölgesi

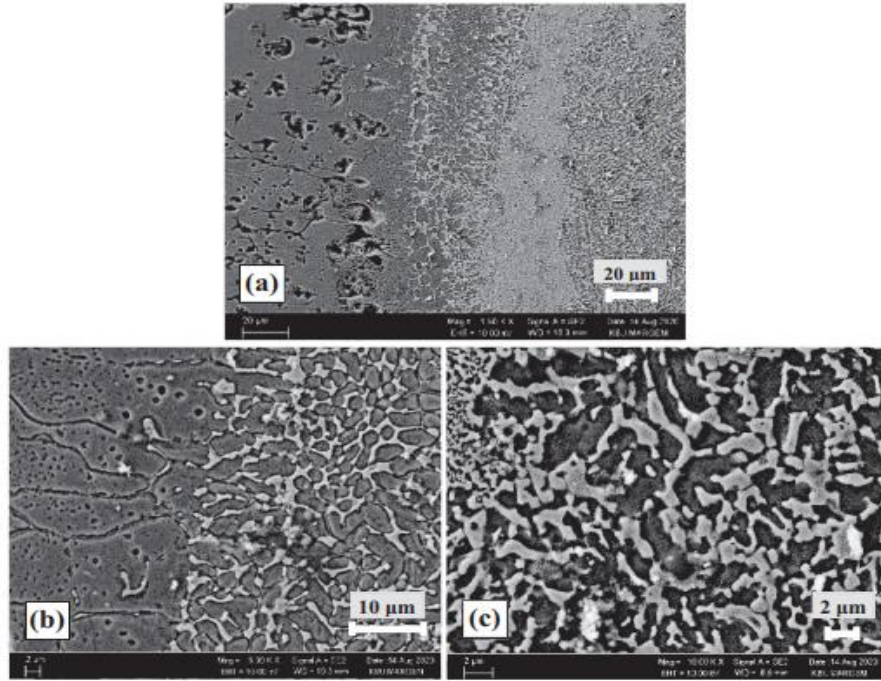


Şekil 7.3. 20mA Kaynaklı Parça HAZ Bölgesi EDS Analizi

Beş Farklı noktada yapılan EDS analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. 1. Nuktada ana matris ve Al miktarı yüksek olarak ölçülmüştür. 2. Nuktada ise %36 C ve %57 Al ölçülmüştür. Bu değerler yapılan analizler arasında en düşük olarak ölçülmüştür.

3. Noktanın analizi ise 1. Analize benzemektedir. 4. Noktada C miktarı %15 olarak ölçüldü ve Al miktarı %81 olarak belirlenmiştir. Son ölçüm olarak bakılan 5. Noktada ise 3. Noktadakine benzemektedir. 2. Nokta %36 C oranı ile diğer ölçümlerden ayrılmaktadır.

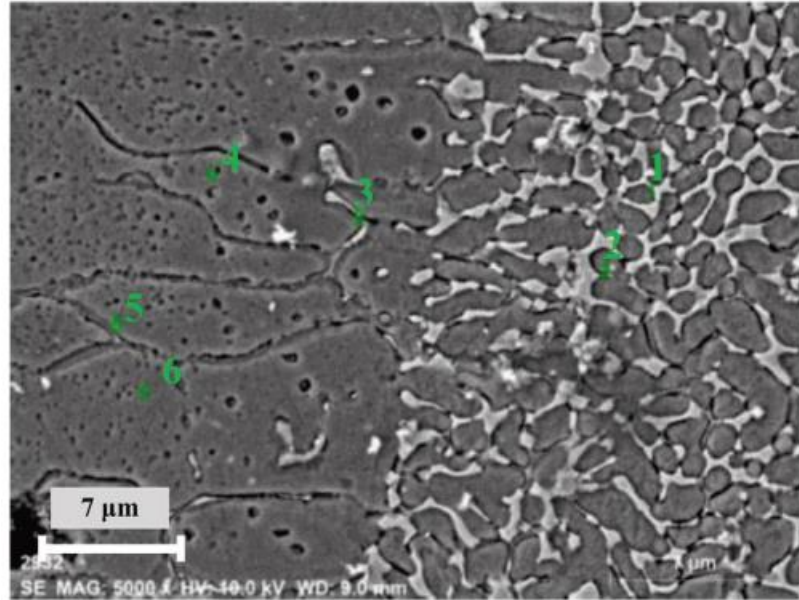
25mA'da kaynak yapılan AA7075-T6 malzemeye ait SEM ve EDS analizleri Şekil 7.4. ve Şekil 7.5. 'da verilmiştir.



Şekil 7.4. 25mA Kaynaklı AA7075-T6 SEM Görüntüleri; (a) HAZ, (b) Kısmi Ergimiş Bölge, (c) Kaynak Bölgesi

Ana malzeme tarafında ergimeyen ve en yüksek ısı tesirine (HAZ) maruz kalan bölge Şekil 7.4. a ve b bölgelerinde gösterilmektedir. C bölgesinde ise çökeltiler görülmüştür. Ayrıca tane boyutları arasında ki farkta Şekil 7.4.'te açıkça gözükmemektedir. Ana malzeme ve HAZ bölgesi kıyaslandığında tane boyutları benzerdir. Kaynaklı bölge ise ince taneli bir yapıdan oluşmaktadır. Ana malzeme tane boyutları  $48 \pm 5\mu\text{m}$  iken 20mA ve 25mA deki tane boyutları sırasıyla 8µm ve 5µm'dir. mA değeri yükseldikçe tane boyutları önemli ölçüde düşmektedir. Düşük ergime sıcaklığına sahip segregasyonlar ince taneli yapılarda tane sınırında gözlenmektedir. Bu alan genişlikte iki veya üç taneye kadar olabilmektedir.

Kısmen ergimiş bölgeler kaynaklı bölgeyi çevreleyen bölgelerdir ve kaynaklı bölge ana malzemeden ayrılmaktadır. Ötektik sıcaklık ile alaşım sıvısı arasındaki sıcaklıklara ısıtmanın sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık aralığının genişlediği de bilinmektedir. Alüminyum alaşımlarının kaynağında, düşük ergime noktasına sahip bölgelerin erimesi sonucu sıcak çatlak (sıvılaşma çatlak) ile ilgili hassasiyet olduğu düşünülmektedir. Elektron ışın kaynağında bu bölgenin çok dar olması nedeni ile alüminyum alaşımlarının kaynağında sıcak çatlak (sıvılaşma çatlak) nadiren görülebilir. Çalışmalarımızda görsel muayeneler ile birlikte metalografik incelemelerde de sıcak çatlakla rastlanmamıştır.

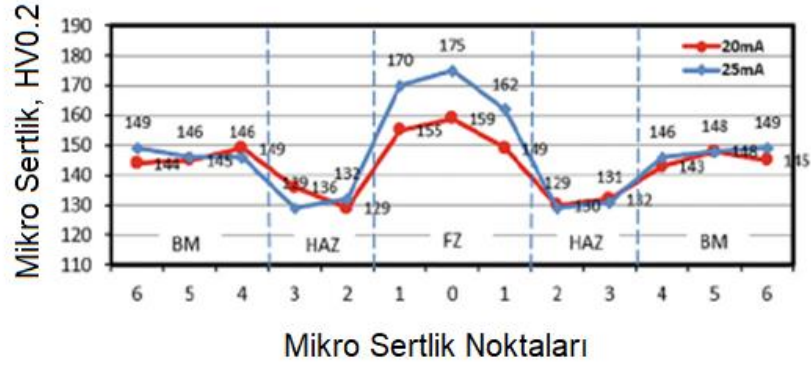


Şekil 7.5. 25mA Kaynaklı Parça HAZ Bölgesi EDS Analizi

25mA ile yapılan kaynak EDS analizinde 6 bölgeye bakılmıştır. Sonuçları kıyaslandığında 20mA'de yapılan kaynağa göre farklılık göstermektedir ve Cu miktarının arttığı gözlemlenmiştir. 1. Noktadaki Cu miktarı %54 ve Al Miktarı %34'dür. Bu değerlere göre Cu miktarı ana matris elementi Al miktarını aşmıştır. Al miktarı 3. Bölgede %50'ye düşmüştür.

## 7.2. MİKRO SERTLİK ANALİZİ

Kaynaklı numunelerin sertlik ölçümleri için Shimadzu marka vickers mikrosertlik cihazı kullanılmıştır ve 200g yük altında gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.6.'de AA7075-T6 için tüm bölgelerin sertlik değerleri verilmiştir. Kaynaklı birleştirmedeki en yüksek sertlik değeri FZ bölgesinde görülmektedir.



Şekil 7.6. AA7075-T6 Mikro Sertlik Değerleri

İki farklı kaynak parametresinde de en yüksek sertlik FZ bölgesindedir. Buna karşın en düşük sertlik değerleri ise HAZ bölgesindedir. Mikro sertlik değeri ana malzemede yaklaşık 146 HV iken 20mA kaynak parametresinde FZ'de yaklaşık 159 HV değerine yükselmiştir. 25mA kaynak parametresinde ise aynı bölgede değer 175 HV'e çıkmıştır. 25mA'de yapıda daha fazla intermetalik oluşmaktadır. Bilindiği üzere intermetalikler daha sert yapılara sahiptir. En yumuşak bölge ise 129 HV ile HAZ bölgesi olmuştur. TIG Kaynak yöntemi ile yapılan kaynaklarda ise ana malzemede 136 HV iken FZ bölgesinde bu değer 70-80 HV değerlerine düşmüştür[21].

## 7.3. ÇEKME TESTİ

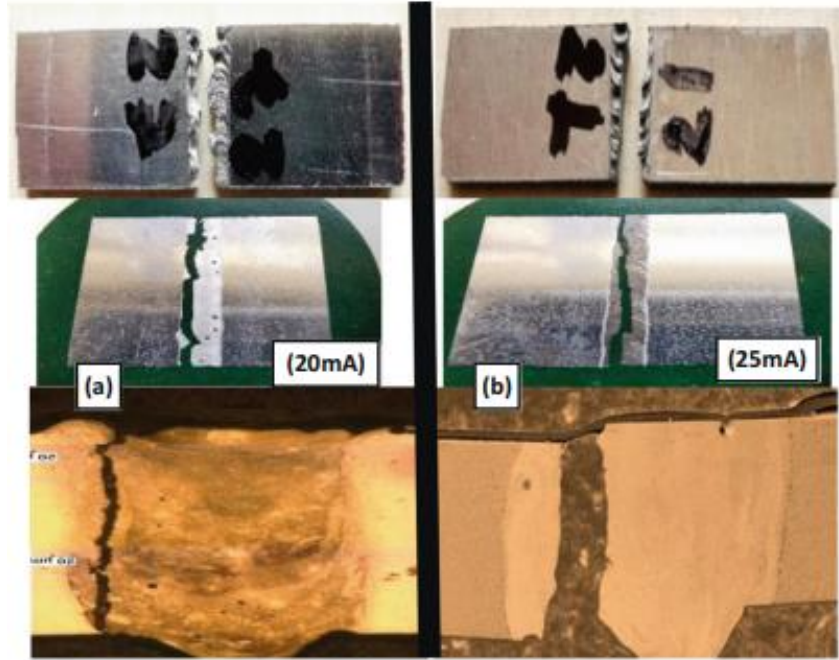
EN ISO 17636-1 ve ISO 15614-1'e göre hazırlanan çekme test numuneleri Zwick marka çekme test cihazında çekme testine tabi tutulmuştur. Kaynaklı birleştirmelere ait kopma yüzeyleri; standard metalografik işlemlerin ardından Keller dağlayıcı (%2,5 HNO<sub>3</sub>, %1,5 HCl, %1 HF ve %95 H<sub>2</sub>O) ile dağlanarak Zeiss HD 100 Optik Metal Mikroskopunda incelenmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre 20mA'de yapılan kaynakta akma dayanımı 208 MPa ve çekme dayanımı 297 MPa'dır. 25mA'de yapılan



kaynakta ise akma dayanımı 205 MPa, çekme dayanımı 256 MPa'dır. Uzama değerleri ise 20mA'de %11,25 iken 25mA'de %6,7'dir.

#### 7.4. KIRIK YÜZEY İNCELEMELERİ

Çekme testinden sonra yapılan kırık yüzey incelemeleri Şekil 7.7.'de verilmiştir. 20mA'da yapılan kaynakta gözenek oluşumu tespit edilmiştir. Bunun nedeni düşük amper değerlerinde daha az erime ve hızlı katılaşma neticesinde; buharlaşan gazların kaynaklı bölgeden çıkışı için yeterli süre bulunmamaktadır. Kaynak işlemlerinde ısı girdisi düşük olan kaynak metali daha çabuk soğumaktadır. 20mA'de kaynak yapılan numunede kopma bölgesi FZ iken, 25mA'de yapılan kaynakta; kaynak metalinden koparak merkeze doğru hareket etmiştir.

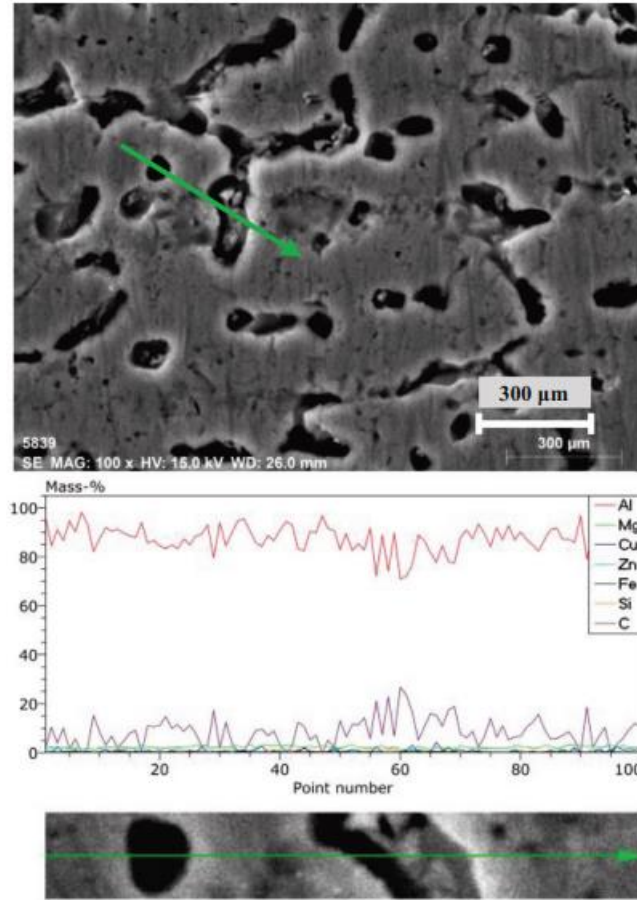


Şekil 7.7. Kırık Numune Üst Görünüş ve Kesit Görüntüleri

Şekil 7.7'de de görüleceği gibi 20mA'de ortaya çıkan gözenekler kırılmaya neden olmamıştır. Kırılma yüzeyleri neredeyse düz bir şekilde olup sünek bir eğilim göstermemiştir. Tane irileşmesi en fazla ısıya maruz kalan bölgede gerçekleşmektedir. Kırılma yüzeyleri mikro sertlik verileri ile birlikte incelendiğinde; köşeli intermetalik yapıların neden olduğu belirlenmektedir. İntermetalik bileşikler genellikle oda

sıcaklığında kırılımandır ve yüksek erime sıcaklıklarına sahiptirler [22]. Bilindiği gibi intermetalik yapılar deformasyonu engelleyerek düşük yüklerde bile çatlak başlangıcı oluşturabilirler.

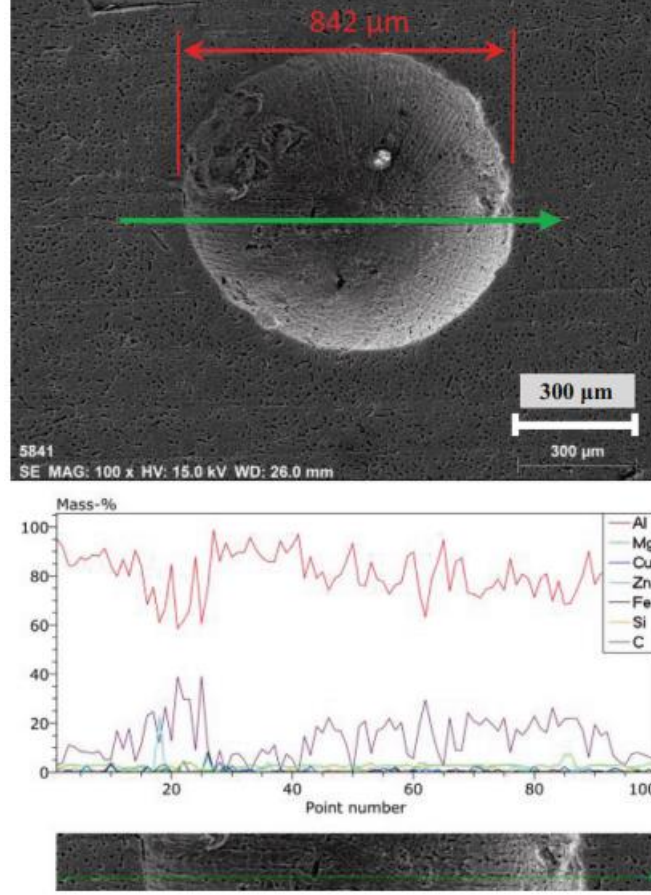
Kaynak metalinde iki farklı EDS hat analizi yapılmıştır. İlk analiz kaynak metalinden yapılmıştır. İkinci de ise oluşan bir çukur analiz edilmiştir. Şekil 7.8.'de FZ bölgesindeki EDS analizi verilmiştir.



Şekil 7.8. FZ Bölgesindeki EDS Analizi

EDS Çizgisel analizine göre; ana matristeki Al Miktarı en yüksek seviyededir. Ancak küçük boyutlu ve parlak olan ikinci fazda alüminyum miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Özellikle karbon elementinin önemli ölçüde arttığı da belirlenmiştir. Bunun yanı sıra diğer elementlerde önemli bir ölçüde artış gerçekleşmemiştir. Kaynak bölgesindeki çukurun EDS analizinde ise alüminyum miktarının önemli ölçüde

azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 7.9'de FZ'de oluşan çukurun EDS çizgi analizi verilmiştir.

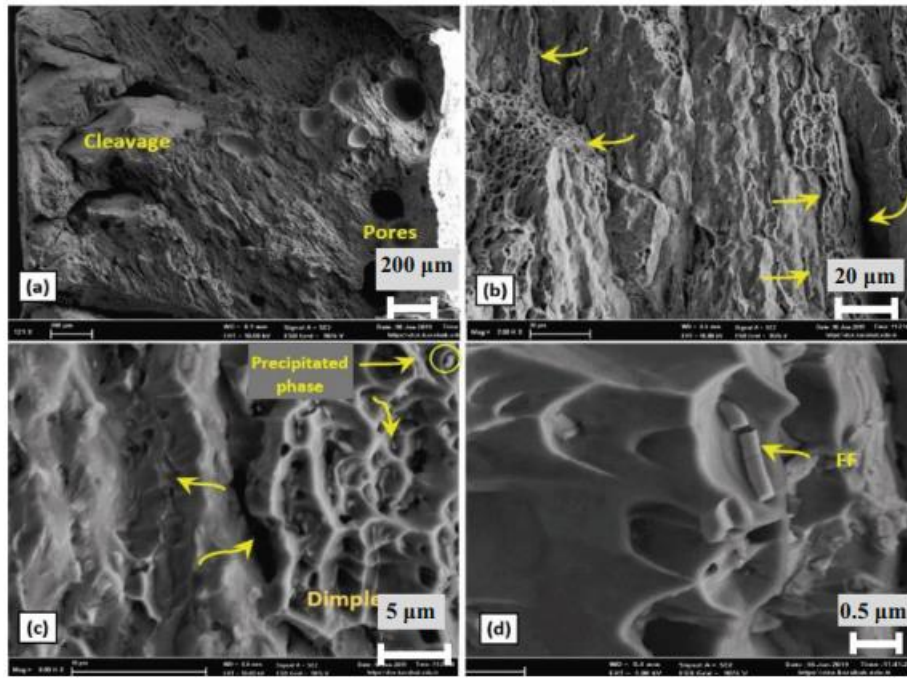


Şekil 7.9. FZ'de Oluşan Çukurun EDS Analizi

Bu bölgede iki farklı element miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu elementlerden birisi karbon olup yüksek oranda artmıştır. Diğer element ise çinkodur. Çinko miktarının küçük bir alanda arttığı ve daha sonra azaldığı belirlenmiştir. Çukurdaki alüminyum miktarında büyük farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Ölçülen çukurun çapı ise Şekil 7.9.'da görüleceği gibi 842 mikrondur.

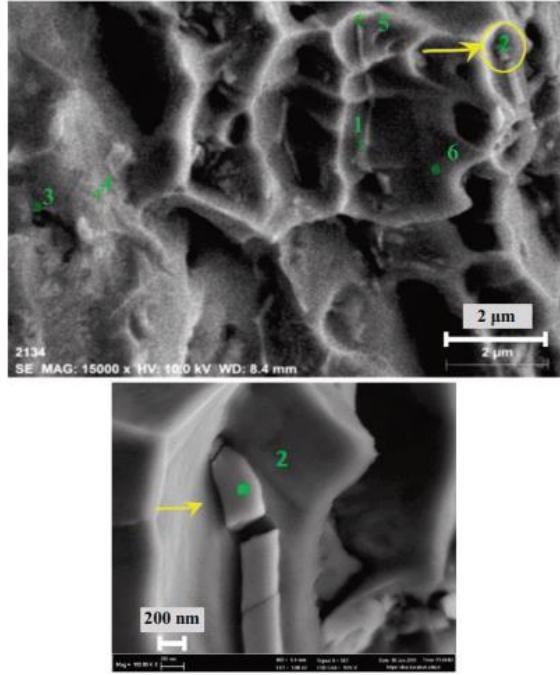
Kaynaklı bölgenin kırılma yüzey morfolojisi ise Şekil 7.10'da verilmiştir. Verilen şekilde farklı derinlik ve çaplarda gözeneklere rastlanmıştır. Bazı bölgelerde gözenek ve klivaj yapılar gözlenmiş ve işaretlenmiştir. B bölgesinde iki farklı kırılma yüzeri belirlenmiş ve işaretlenmiştir. Aynı şeklin c bölgesinde parlak renkli ve kırılğan yüzeyler gösterilmektedir. Çizginin sağında sünek kırılma yer almakta ve uzunlamasına yapılar oluşmuştur. Bu farklı ve uyumsuz bölgelerin çekme testi

esnasında yükün artmasıyla birlikte birbirinden ayrıldığı belirlenmiştir. SEM görüntülerinde ise farklı boyutlarda çözünen fazların tespiti yapılmıştır. İntermetalik oluşumunu destekleyen yüksek oranda alaşım elementlerine sahiptir. Alaşım yapısı itibariyle intermetalik oluşumunu destekleyen yüksek oranda alaşım elementleri içerdiği bilinmektedir. Şekil 7.10.'un d bölgesinde “FF” olarak işaretlenen farklı bir yapıya rastlanmıştır. Buna benzer bir yapıya farklı bir çalışma literatüründe rastlanmamıştır. Vakum destekli ekstrüzyonun etkisi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7.10. Kaynaklı Birleştirimenin Kırılma Yüzeyi Morfolojisi

Kırılma yüzeylerinin EDS analizlerine bakıldığında; 20mA’de yapılan kaynaklı yapının kırılma yüzeyi EDS analizi şekil 7.11’de verilmiştir. Kaynaklı bölgedeki kimyasal bileşimleri belirlemek için yarı nicelikli EDS analizi yapılmıştır.



Şekil 7.11. Kırılma Yüzey Oluşumlarının SEM ve EDS Analizleri

Şekil 7.11’de görüleceği gibi çekme testi sonrasında sünek bir yapıya sahip davranışla uzayarak kopan yapılar bulunmaktadır. Kırık yüzeylerde farklı yapıların oluşmasının nedeni çukurlar bazı bölgelerde lokal olarak dağılmasıdır. Bu yapıların tamamında sünek kırılma meydana gelmeyebilir. Ayrıca farklı ikinci fazların oluştuğu da gözlemlenmiştir. Bu bölgelerin elemental analizleri için altı farklı noktadan EDS analizi yapılmıştır.

Çizelge 6.2’de verilen Kimyasal bileşime göre; FZ’de oluşan yapılarda alüminyum dışındaki hemen hemen bütün elementlerin oranları yüksek çıkmıştır. Altıncı nokta haricinde diğer tüm bölgelerde element değişimleri çok belirginleşmiştir. Altıncı bölge ise ana matris olarak kabul edilebilir. Ana matris kabul edilmesinin esas nedeni ise AA7075-T6 kimyasal analizine çok yakın değerlere sahip olmasıdır.

1 Numaralı bölgede %4,62 Mg, %4,97 Cu ve %7,21 Zn bulunmuştur. Bakır oranı ise ana metale göre 3,3 kat daha fazladır. Ayrıca Krom elementinde yaklaşık 3 katına çıktığı tespit edilmiştir. Demir elementine rastlanmadığı gibi ana alaşım elementi olan alüminyum ise %80,49 olarak ihtiva etmektedir. Al-Mg-Cu-Zn elementlerinin yer aldığı  $Mg(Zn,Al)_2$  ve  $Mg(Zn,Al,Cu)_2$  çökelmiş faz yapılarının oluştuğu

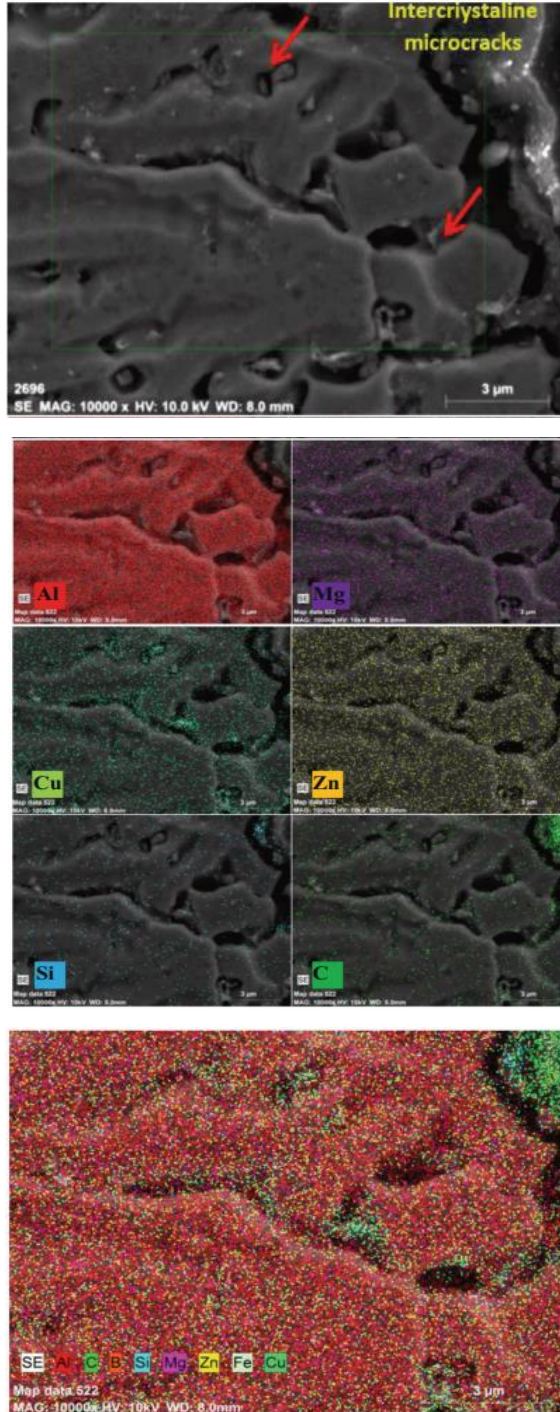
düşünülmektedir. Bunlara ek olarak ise EDS sonuçları çözünmemiş Cu (AlCuMg) fazlarının varlığını göstermektedir. Ana matriste çözünen bazı atomlar eriyerek farklı bölgelere ayrılabilir. Bu bölgelerin alüminyum içeriğinde düşüş olurken bakır oranında artış gözlenmektedir.

2 Numaralı bölgede ise bariz bir şekilde diğerlerine göre farklı bir yapı oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu yapının kaynak işlemi esnasında daha düşük erime derecesine sahip ve en geç katılan yeni bir bileşen olduğu düşünülmektedir. Bu bölgenin EDS sonuçlarına bakıldığında ise C, Fe, Cu, Si, Zn ve Mg elementlerinin arttığı görülmektedir. Sırasıyla %1,55 C, %3,13 C, %6,99 Cu ve %8,10 Zn ölçülmüştür. Demir element oranının ana malzemeye göre 10 kattan fazla arttığı gözlemlenmiştir. FZ'deki EDS analizine göre, Fe'nin ayrıldığını gösterir. Kaynaklanmış bölgede Cu, Mg ve Fe bulunması  $Al_{15}Fe_3Si$  gibi intermetalik bileşiklerin oluşmasına sebebiyet verebilir. Ancak yapılan analizlerde Si oranının düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle bahse konu intermetalik yapı oluşmamıştır. Ayrıca titanyum ve krom elementlerine de rastlanmamıştır. Artış oranı dikkat çeken diğer bir elementte bakırdır, yaklaşık 4 kat artış olmuştur. Alüminyum oranı %74,57 olarak ölçülmüş olup ana matrise göre düşüktür. Bu nedenle Şekil 7.4.5'de gösterilen 2 numaralı yapının çok elemanlı bir intermetalik oluşturduğunu kanıtlamaktadır.

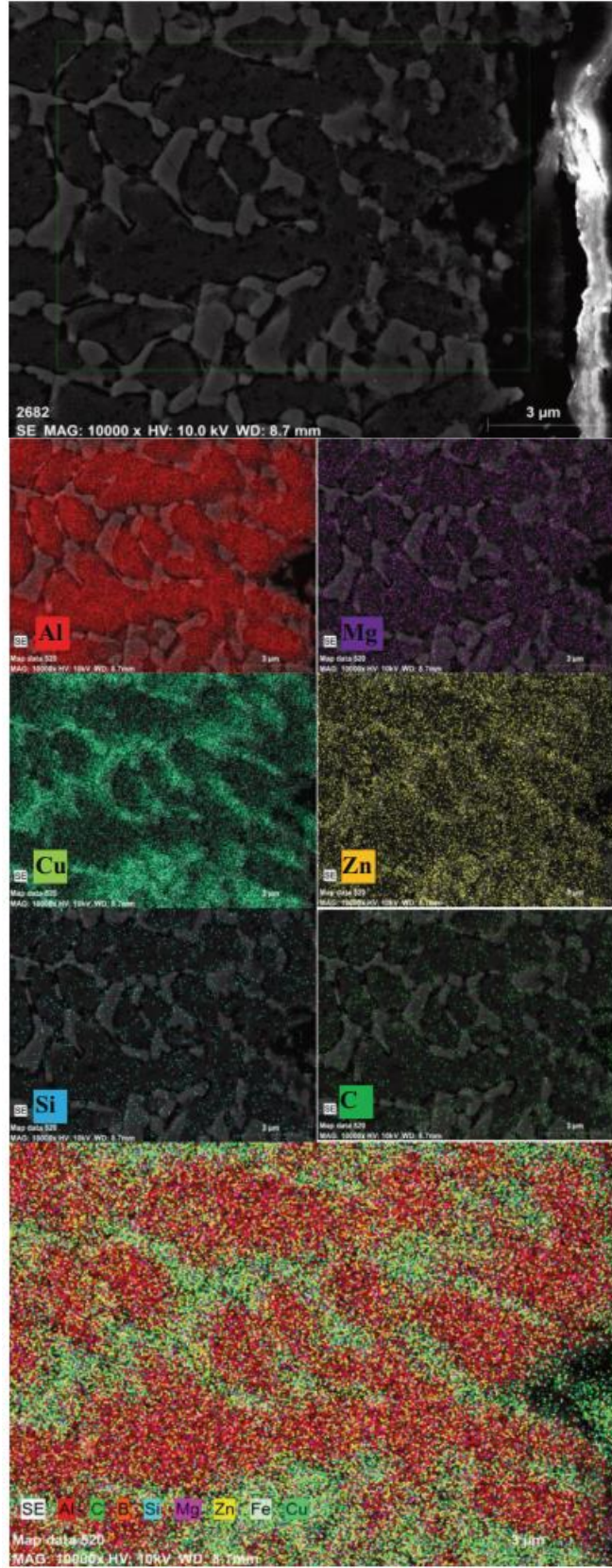
Literatürdeki mevcut veriler dikkate alındığında  $Fe_4Al_{13}$  bileşiği düşük oluşum sıcaklığına sahip bir intermetaliktir. Oluşum sıcaklığı  $652-654^{\circ}C$ 'dir[23-24]. Bunların tamamı düşünüldüğünde 2 numaralı yapının  $Fe_4Al_{13}$  intermetalığı olduğu düşünülebilir. Ancak bu düşük bir olasılıktır.

Yapıda yüksek ölçülen Fe, Cu, Mg ve Zn oranları başka bir intermetalik oluşma olasılığını gösterebilir. Oluşum  $Al_7Cu_2Fe$  intermetalığı olabilir. Yapıda yer alan Fe, Cu, Mg ve Zn oranları başka bir intermetalik oluşmuş olabileceğini gösterebilir. Ayrıca bu yapının  $Al_7Cu_2Fe$  intermetalik çökeltileri olması da mümkündür. Bu yapının küçük boyutlarda da oluşabileceği bilinmektedir.  $Al_7Cu_2Fe$  genellikle katılma sırasında boşluklara bitişik olarak oluşan uzunlamasına bir morfolojiye sahip olduğu tespit edilmiştir. [25]. Alüminyum alaşımlarının fraktografik bir analizi gerçekleştirilmiş ve bu çökeltilerin çevresinde boşluk oluşumu gözlemlenmiştir. [26-

27]. Bu açıklamalar 2. Noktanın  $Al_7Cu_2Fe$  intermetalik olduğu düşüncesini güçlendirmektedir. Şekil 7.12’de 20mA’a ait EDS Analizleri verilmiştir. Şekil 7.13.’de 25mA’a ait EDS Analizleri verilmiştir.



Şekil 7.12. 20mA’de Yapılan Kaynağa Ait EDS analizi



Şekil 7.13. 25mA’de Yapılan Kaynağa Ait EDS analiz



## SONUÇLAR

Bu çalışmada, Alüminyum malzemelerin Elektron Işın kaynaklı birleştirmelerdeki dayanımlarını belirlemek için çekme testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynaklı numunelerin, kaynak bölgelerinde sertlik ve optik mikroskop çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak havacılık ve uzay sanayi ile birlikte savunma sanayinde kullanılan AA7075-T6 Alüminyum alaşımının EBW kaynak yöntemi ile birleştirildiği ve farklı parametrelerdeki mekanik özelliklerin araştırıldığı bu çalışma sonucunda;

1. Kaynak bölgesinde çökelmiş faz oluşumları gözlenmiştir. 7075 Alaşımlarının kaynağında kırılmanın genelde HAZ'dan başlayarak FZ'ye ilerlediği gözlemlenmiştir.
2. Kaynaklı 7075 alaşımlarında en sert bölge FZ olup, en yumuşak bölge ise HAZ'dır. Çalışması yapılan iki farklı parametre içinde sertlik değerleri farklılık göstermiştir. 20mA'de sertlik 159 HV iken 25mA'de sertlik 175 HV'dir.
3. Her iki parametre içinde kırılma bölgelerinin EDS harita analizlerinde, Si ve Mg element oranlarının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun neticesinde Si ve Mg elementlerinin kırılmaya etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca çökelmiş fazlar içerisinde Si olmadığı kanaatine varılmıştır.
4. Kırılma yüzeylerinin EDS analizlerinde 20mA'de Cu etkili olmazken, 25mA'de en etkili element Cu olmuştur. 7075 alaşımlarının kırılma bölgelerinde yapılan analizler neticesinde Cu elementinin etkili olarak ikinci faz oluşumunda aktif rol aldığını göstermiştir. Ayrıca ikinci faz yapılarında C ve Zn elementleride mevcuttur.

5. Elektron Işın Kaynağı ile birleştirilen 7075 Alaşımının kırılma bölgesinde farklı bir oluşum gözlenmiştir. İkinci fazın ekstrüzyon şeklinde olduğu ve ana matriste basınca maruz kalarak şekillendiği belirlenmiştir. Oluşum; akış destekli termal kaynaklı hidroform oluşumu olarak açıklanmış ve oluşum mekanizması boyutlarıyla birlikte incelenmiştir. Bu oluşumun vakum destekli bir ekstrüzyon yapısı olduğu ileri sürülmüştür. Dar bir bölgeden basınca birlikte çıktığı ve genişleyerek silindir şeklini aldığı düşünülmüştür.
6. 20mA'deki kaynak parametresinde farklı oluşumlar meydana gelirken 25mA'de gözlemlenmemiştir.

## KAYNAKLAR

1. Doğan, M., “Alüminyumların ısıı işleme”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İSTANBUL, 5 (1989).
2. TALSAD Yayınları, 1995, Türkiye’de ve Dünya’da Alüminyum
3. Güner, A., “Yarı-katı halde şekil verilmiş alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerine su verme sıcaklığının etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamuk Kale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, DENİZLİ, 5-6 (2013).
4. Akdoğan Eker A., “ Al ve Alaşımları”, **Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü**, İSTANBUL (2008).
5. Bebekoğlu S., “Havacılık sanayinde kullanılan, 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarının, tıg kaynak yöntemi ile birleştirilmesi, makro ve mikro yapı ile mukavemet özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İSTANBUL, 17-37 (2019).
6. MIL-HDBK-5-H, “Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures”, **Department of Defence**, Military Handbook, U.S.A., 3.21–3.196 (1998)
7. Demir, E., “Alüminyum alaşımlarda ısıı işlem etkilerinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İZMİR, 27-28 (2008)
8. Kaya, I., “Al 7075 Alaşımlarının şekillenme ve ısıı işlemle özelliklerinin iyileştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İSTANBUL, 15 (2005)
9. Armao, F., “The practical reference guide to welding aluminum in commercial applications” American Welding Society, FLORIDA, 25 (2002)
10. Türker, A., “Kaynak hataları”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İSTANBUL, 33 (2005)
11. Çatalgöz., “Kaynak Hataları ve Kaynak Kalitesi”, **Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, İSTANBUL (1996).
12. Anık, S., Vural, M., “Kaynak dikişlerindeki sıcak çatlakların nedenleri ve önlenmesi”, **Mühendis ve Makina**, 48 (573): 52-53 (2007).

13. Kuziak,R., Kawalla, R., Waengler, S., “Advanced high strength steels for automotive industry”, Archives Of Civil And Mechanical Engineering, 8, 103-117 (2008).
14. Anık, S., “Elektron ışını ile kaynak”, Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul, 155-162 (1991).
15. Kahraman, N., “Elektron ışın kaynağı”, Modern Kaynak Teknolojisi, Epa-Mat Basım, Ankara, 186-193 (2013).
16. Weglowski, M. St., Blacha, S., “Electron beam welding – techniques and trends – review”, Vacuum, 130, 72-92 (2016).
17. Carry, H.B., “Electron Beam Welding”, ASM Metal Handbook Welding, Brazing, Soldering Volume 6, The Materials Information Company, A.B.D., 740-754 (1993).
18. Büyüker, B.,”Elektron ışın kaynağı yöntemi ile kaynatılan inconel 718 malzemesi üzerinde seçili değişkenlerin etkisinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İSTANBUL, 10-14 (2020)
19. Sezgin, C.T., “Yüksek mukavemetli çeliklerin elektron ışın kaynağının araştırılması” **Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü**, KARABÜK, 29 (2016)
20. Kaur, A., “Electron beam diagnosis for weld quality assurance” **Ph.D. Thesis Design and Physical Sciences**, LONDON, 20 (2016)
21. V. Balasubramanian, V. Ravisankar, G.M. Reddy, Reddy Effect of pulsed current and post weld aging treatment on tensile properties of argon arc welded high strength aluminium alloy, Mater. Sci. Eng. A 459 459 (1-2) (2007)
22. W.O. Soboyejo, “Fracture of Intermetallics”. Mechanical properties of engineered materials, Marcel Dekker., ISBN 0-8247-8900-8, (2003)
23. X. Zhan, J. Chen, J. Liu, Y. Wei, J. Zhou, Y. Meng, Microstructure, and magnesium burning loss behavior of AA6061 electron beam welding joints, Mater. Des. 449-458 (2016)
24. F.A. Mc Clintock and A.S. Argon, Mechanical Behavior of Materials, AddisonWesley, 522, (1966)
25. A. Chemin, D. Marques, L. Bisanha, A.D.J. Motheo, W.W. Bose Filho, C.O.F. Ruchert, Influence of Al7Cu2Fe intermetallic particles on the localized corrosion of high strength aluminum alloys, Mater. Des. 118-123 (2014)
26. Z. Cvijovic', M. Vratnica, I. Cvijovic' -Alagic', The influences of multiscale-sized second-phase particles on fracture behaviour of overaged 7000 alloys, Procedia. Eng. 35-38 (2009)

27. Z. Cvijovic', M. Rakin, M. Vratnica, I. Cvijovic', Microstructural dependence of fracture toughness in high-strength 7000 forging alloys, Eng. Fract. Mech. 75 (2008)

## ÖZGEÇMİŞ

Caner AKTAŞOĞLU ilk ve orta öğretimini Ankara'da tamamladı. 2010 yılında Anıttepe Anadolu Lisesi Fen Bilimleri bölümünden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2016 yılında iyi bir derece elde ederek Onur Öğrencisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Merkezinde; Uluslararası Kaynak Mühendisliği eğitimine başlayarak kaynak üzerine uzmanlaşmaya başladı. Kaynak Mühendisi ünvanıyla birlikte 2018 yılında sektörün lider firmalarından Lincoln Electric Türkiye (Askaynak) firmasında satış temsilcisi olarak çalışmaya başladı. Kaynaklı imalat ve Tamir-Bakım kaynakları konusunda bir çok sektöre hizmet vererek uzmanlaşmıştır. 2022 yılı 3. Çeyreği itibariyle yine kaynak sektöründe firma kurarak kurumsal nitelikteki bir çok firmaya hizmet vermeye devam etmektedir.