

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**AZ31B-H24 MAGNEZYUM ALAŞIMININ TIG KAYNAK
YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEKİR SARITEPECİ

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**AZ31B-H24 MAGNEZYUM ALAŞIMININ TIG KAYNAK
YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEKİR SARİTEPECİ

Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Sare ÇELİK (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. İrfan AY

Doç. Dr. Mehmet AYDIN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Bekir SARITEPECİ tarafından hazırlanan “**AZ31B-H24 MAGNEZYUM ALAŞIMININ TIG KAYNAK YÖNTEMİ KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 10.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy-
çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

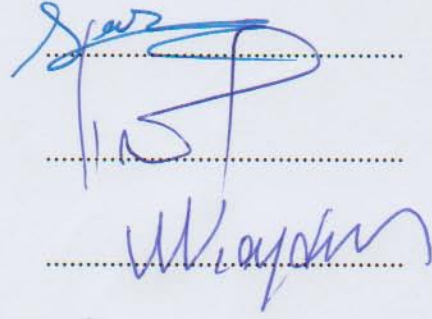
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Sare ÇELİK

Üye
Prof. Dr. İrfan AY

Üye
Doç. Dr. Mehmet AYDIN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof.Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğüne bağlı Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2016-129 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**AZ31B-H24 MAGNEZYUM ALAŞIMININ TIG KAYNAK YÖNTEMİ
İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BEKİR SARITEPECİ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR. SARE ÇELİK)
BALIKESİR, HAZİRAN – 2019**

Bu çalışmada AZ31B-H24 magnezyum alaşım levhalarının TIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği incelenmiştir. Kaynaklı birleştirmeler 100 A, 110 A, 120 A, 130 A, 140 A, 150 A ve 160 A akım değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak edilen numunelerin kaynaklı birleştirme bölgelerinin mikro yapıları optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) ve X-ışınları kristalografisi (XRD) yöntemleriyle incelenmiştir. Kaynak akım değerlerine göre ilerleme hızının değişimi ve kaynak ağzının kaynağa etkisi incelenmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik dayanımları mikro sertlik ölçümleri ve çekme testi ile tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerde, ısı girdisi değişimine göre farklı mikro yapıların oluştuğu tespit edilmiştir. Isı girdisi arttıkça kaynak bölgesi genişliğinin ve tane boyutunun arttığı görülmüştür. En yüksek çekme dayanımı değeri 130 A akım değerinde, kaynak ağzı açılarak kaynak edilen numunede ölçülmüştür.

ANAHTAR KELİMELEER: Magnezyum alaşımı, AZ31B-H24, TIG kaynağı, mekanik özellikler

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE WELDABILITY OF AZ31B-H24 MAGNESIUM ALLOY BY TIG WELDING METHOD

MSC THESIS

BEKİR SARITEPECİ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR SARE ÇELİK)

BALIKESİR, JUNE 2019

The weldability of AZ31B-H24 magnesium alloy sheets rolled in this study was investigated by TIG welding method. Welded joints are carried out at 100 A, 110 A, 120 A, 130 A, 140 A, 150 A and 160 A current. The welded joints of the welded specimens are investigated by optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-Ray (EDS) and X-ray crystallography (XRD) methods. The change in the feed rate according to the welding current values and the effect of the welding bend on the welding are examined. The mechanical strengths of welded joints are determined by micro hardness measurements and tensile tests. It's found that different microstructures are formed according to different protective gas and heat input changes. It's observed that the width of the weld zone and grain size increase, as the heat input increases. The highest tensile strength value is measured at 130 A current the welding bend is opened and measured in the sample.

KEYWORDS: Magnesium alloy, AZ31B-H24, TIG alloy, mechanical properties

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür İncelemesi.....	2
2. MAGNEZYUM	5
2.1 Tarihçe.....	5
2.2 Magnezyum Elementi.....	6
2.3 Magnezyumun Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	7
2.4 Magnezyumun Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	10
2.5 Magnezyum Alaşımına Alaşım Elementlerinin Etkisi.....	13
2.5.1 Alüminyum (Al) Magnezyum Alaşımı.....	14
2.5.2 Çinko (Zn) Magnezyum Alaşımı.....	16
2.5.3 Diğer Elementler Magnezyum Alaşımı.....	17
3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KAYNAK YÖNTEMLERİ	19
3.1 Magnezyum Alaşımlarının MIG Kaynağı.....	19
3.2 Magnezyum Alaşımlarının Elektron Işın Kaynağı.....	20
3.3 Magnezyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı.....	21
4. TIG KAYNAĞI	22
4.1 TIG Kaynağının Avantajları ve Dezavantajları.....	23
4.2 TIG Kaynağında Kullanılan Ekipmanlar.....	24
4.2.1 Güç Kaynağı.....	24
4.2.2 TIG Kaynak Torcu.....	25
4.2.3 TIG Kaynak Elektrotu.....	27
4.2.4 Dolgu Teli.....	29
4.3 TIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gaz Sistemi.....	29
4.3.1 Kaynak Kökü Koruma Gaz Sistemi.....	30
4.4 Akım Türü Ve Kutuplama Şekli.....	31
5. DENEYSEL METOD VE YÖNTEM	33
5.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	33
5.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	35
5.3 Deneyde Kullanılan Kaynak Makinesi.....	35
5.4 Deneyde Kullanılan Koruyucu Gaz Özellikleri.....	36
5.5 Deney Parçalarının Birleştirilmesi.....	37
5.6 Kaynak Edilen Parçaların Mekanik ve Metalografik Testleri.....	39

5.6.1 Çekme Deneyi	39
5.6.2 Mikrosertlik Ölçümleri	40
5.6.3 Mikroyapı İncelemeleri	41
6. BULGULAR.....	42
6.1 Çekme Deney Sonuçları	45
6.2 Mikrosertlik Sonuçları.....	51
6.3 Mikroyapı Sonuçları.....	58
6.4 SEM-EDS ve XRD Analiz Sonuçları.....	64
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
8. KAYNAKLAR	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Yapısal uygulamalarda kullanılan metallerin yoğunlukların karşılaştırılması (Polmear, 2006).	7
Şekil 2.2: Magnezyum alaşımlarının yapısal uygulamalarda kullanımı (Bulut, 2009).	11
Şekil 2.3: BMW R6 motoru.	12
Şekil 2.4: Üretilmiş Mg alaşımlı otomotiv parçaları.	12
Şekil 2.5: Magnezyumdan imal edilmiş dişli kutusu kapağı.	13
Şekil 2.6: Mg-Al denge diyagramı (Brandes, 1998).	15
Şekil 2.7: AZ31B alaşımının sıcaklığa göre Al oranı denge diyagramı (Lochte, 2005).	16
Şekil 2.8: Magnezyum-Çinko denge diyagramı (Polmear, 2006).	17
Şekil 3.1: MIG kaynak işleminin şeması.	19
Şekil 3.2: Elektron ışın kaynak şeması: a) proses, b) anahtar deliği (Buldum, 2012).	20
Şekil 3.3: SKK yönteminin şematik çizimi (Bilgin, 2017).	21
Şekil 4.1: Kaynak yönteminin şematik gösterimi.	23
Şekil 4.2: Su soğutmalı bir TIG kaynak ekipmanının temel elemanları.	25
Şekil 4.3: TIG kaynak torcu ve elemanları.	26
Şekil 4.4: Çeşitli koruyucu gazların kaynağa etkisi.	30
Şekil 4.5: Kök koruması için koruyucu gaz şeması (Demirtaş, 2013).	31
Şekil 4.6: Akım türü, kutup türü ve elektrot formuna bağlı olarak nüfuziyet formları (Anık, 1997).	32
Şekil 5.1: AZ31B-H24 ana metal mikroyapı görünümü.	34
Şekil 5.2: Kaynak ağız ölçüleri.	35
Şekil 5.3: Deneyde kullanılan kök koruyucu altlık.	36
Şekil 5.4: TS EN ISO 6892-1 standartına göre hazırlanmış test numunesi.	39
Şekil 5.5: Kaynaklı plakalardan deney parçalarının çıkarılma planı.	40
Şekil 6.1: A1, A4, A6, A10, A12 ve B10 numunelerinin kaynak yüzey görünümü.	43
Şekil 6.2: Kaynaklı numunenin makro görüntüsü.	43
Şekil 6.3: Hatalı kaynaklar a. Akım değeri düşük b. Çift yönlü koruyucu gaz kullanılmadığında c. Koruyucu gaz debisi düşük d. Akım değeri yüksek.	44
Şekil 6.4: Kaynaklı numunenin RT görüntüsü.	44
Şekil 6.5: AZ31B Mg alaşımına ait çekme gerilme grafiği.	45
Şekil 6.6: A1 numunesinin çekme dayanım grafiği.	47
Şekil 6.7: A4 ve B7 numuneleri çekme dayanım grafiği.	48
Şekil 6.8: A6 ve B10 numuneleri çekme dayanım grafiği.	49
Şekil 6.9: Numunelerin çekme dayanımı grafiği.	50
Şekil 6.10: A1 numunesinin mikrosertlik değerleri.	52
Şekil 6.11: A4 numunesinin mikrosertlik değerleri.	53
Şekil 6.12: A6 numunesinin mikrosertlik değerleri.	54
Şekil 6.13: B10 numunesinin mikrosertlik değerleri.	55
Şekil 6.14: A10 numunesinin mikrosertlik değerleri.	56

Şekil 6.15: A12 numunesinin mikrosertlik değerleri.....	57
Şekil 6.16: A1, A4, A6, A10, A12 ve B10 numunelerin mikrosertlik dağılımı.....	58
Şekil 6.17: Kaynak numunesinin 400µm’de mikroyapı görünümü.....	59
Şekil 6.18: Mikroyapı içinde görülen faz ve bileşikler.....	59
Şekil 6.19: A1 numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	60
Şekil 6.20: A4 numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	60
Şekil 6.21: A6 numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	61
Şekil 6.22: A10 numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	61
Şekil 6.23: A12 numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	61
Şekil 6.24: B7 numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	62
Şekil 6.25: B9 numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	62
Şekil 6.26: B10 numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	62
Şekil 6.27: A1, A4, A6, A10, A12 ve B10 numunelerin kaynak içi mikroyapı görüntüleri.....	64
Şekil 6.28: A1 numunesinin SEM görüntüsü.....	65
Şekil 6.29: A6 numunesinin SEM görüntüsü.....	65
Şekil 6.30: A12 numunesinin SEM görüntüsü.....	65
Şekil 6.31: B10 numunesinin SEM görüntüsü.....	66
Şekil 6.32: A1 numunesinin EDS analiz noktaları.....	66
Şekil 6.33: A1 numunesinin 1 noktasına ait noktasal analizi.....	67
Şekil 6.34: A1 Numunesinin 2 noktasına ait noktasal analizi.....	67
Şekil 6.35: A6 numunesinin EDS analiz noktaları.....	68
Şekil 6.36: A6 numunesinin 1 noktasına ait noktasal analizi.....	68
Şekil 6.37: A6 numunesinin 2 noktasına ait noktasal analizi.....	69
Şekil 6.38: A6 numunesinin 3 noktasına ait noktasal analizi.....	69
Şekil 6.39: A12 numunesinin EDS analiz noktaları.....	70
Şekil 6.40: A12 numunesinin 1 noktasına ait noktasal analizi.....	70
Şekil 6.41: A12 numunesinin 2 noktasına ait noktasal analizi.....	71
Şekil 6.42: B10 numunesinin EDS analiz noktaları.....	71
Şekil 6.43: B10 numunesinin 1 noktasına ait noktasal analizi.....	72
Şekil 6.44: B10 numunesinin 2 noktasına ait noktasal analizi.....	72
Şekil 6.45: B10 numunesinin 3 noktasına ait noktasal analizi.....	73
Şekil 6.46: Ana metale ait XRD faz analizi.....	74
Şekil 6.47: Kaynak Bölgesine ait XRD faz analizi.....	74

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Magnezyumun fiziksel özellikleri (Zeytin, 1999).	6
Tablo 2.2: Alaşım elementleri ve kısaltmaları (Barber, 2004).	8
Tablo 2.3: Mg alaşımları standartları ve bileşimleri (ASTM B 93/B 93M ve ASTM B94).	9
Tablo 2.4 Magnezyum alaşımlarında kullanılan temper işaretleri ve anlamları (Barber, 2004).	10
Tablo 2.5: Mg alaşımlarına elementlerinin genel etkileri (Polmear, 2006).	14
Tablo 4.1: Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri ve renk kodları (DIN 32528).	27
Tablo 4.2: Tungsten elektrotların çaplarına ve tiplerine göre yüklenebildiği akım oranları.	28
Tablo 5.1: AMS 4377 ve AMS 4395 kodlu alaşımların kimyasal bileşimi (% Ağırlık).	34
Tablo 5.2: AZ31B alaşımının mekanik özellikleri.	34
Tablo 5.3: Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri.	38

SEMBOL LİSTESİ

Be	: Berilyum
Ca	: Kalsiyum
Sr	: Stronsiyum
Ba	: Baryum
Mg	: Magnezyum
Cu	: Bakır
Al	: Alüminyum
Mn	: Mangan
Zn	: Çinko
ASTM	: American Society for Testing and Materials
Fe	: Demir
Ni	: Nikel
Si	: Silisyum
Ag	: Gümüş
Sn	: Kalay
Zr	: Zirkonyum
Li	: Lityum
K	: Potasyum
Ce	: Seryum
Lr	: Lavrensiyum
Y	: İtriyum
Th	: Toryum
Co	: Kobalt
Nd	: Neodyum
Na	: Sodyum
Mo	: Molibden
W	: Tungsten
Al₈Mn₅	: Katı Çözelti
Al₃Mg₂	: Katı Çözelti
Al₁₁Mg₁₄	: Katı Çözelti
Al₁₂Mg₁₇	: Katı Çözelti
γ	: Östenit
α	: Ferrit
kg	: Kilogram
lt	: Litre
mm	: Milimetre
SKK	: Sürtünme Karıştırma Kaynağı
AISI	: American Iron And Steel Institute
HRC	: Hardness Rockwell
MPa	: Mega paskal
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında yardım, öneri ve desteklerini esirgemeyen ve beni her konuda yönlendiren, çözüm üreten danışman hocam Sayın Doç.Dr. Sare ÇELİK'e

Eğitim hayatımın tümünde örnek teşkil eden ve her an desteğini bulduğum ağabeyim Sayın Dr.Öğr.Üyesi Mustafa SARITEPECİ'ye

Ayrıca beni yetiştirip bu günlere gelmemde büyük emeği olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme, eşim Sıla ve oğlum Reha'ya sevgi ve saygılarımı sunar,

sonsuz teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Magnezyum, endüstriyel üretimde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan malzemeler arasında en hafif metaldir. $1,74 \text{ gr/cm}^3$ özkütleyle sahip olan magnezyum, alüminyumdan %36, çelikten %78 daha hafiftir. Magnezyum alaşımları, döküm kolaylığı ve şekillendirilme avantajı sağlar. Düşük ağırlığının yanı sıra geri dönüşümü mümkün olması, yerküre hammadde ve enerji kaynaklarının korunması açısından malzeme seçiminde öne çıkmaktadır. Magnezyum, Al ve Zn başta olmak üzere, toprak alkali metallere ve Si, Y, Ca, Sr, Ba, Sb, Sn, Pb ve Bi gibi elementlerle kolaylıkla alaşım oluşturarak, mekanik özelliklerini iyileştirmekte ve kullanım alanını yaygınlaştırmaktadır (Duygulu, 2006).

Otomotiv sanayisinde yakıt verimliliğini artırmak, aynı zamanda dayanım ve rijitlik bakımından güvenilir malzeme kullanımına ihtiyaç duyulmuştur. Magnezyum alaşımları dökülebilirliği çok iyi olması ve ayrıca haddeleme, ekstrüzyon gibi çeşitli yöntemlerle üretimi hızla yaygınlaşmıştır. Son yıllarda yeni şekillendirme yöntemlerinin geliştirilmesiyle, şekillendirme kabiliyetinde iyileşmeler görülmüş ve çok düşük parça kalınlığında levhaların kullanım alanları hızla artmıştır. Üretim yöntemlerinin çeşitliliği ile kullanım alanlarının yaygınlaşmasıyla seri ve ekonomik birleştirme yöntemlerine gereksinim duyulmaktadır. TIG, lazer ve sürtünme karıştırma kaynakları en yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemleridir.

Bu çalışmada, AZ31B-H24 magnezyum alaşımlarının, seri üretim ve ucuzluk bakımından en uygun ve en çok tercih edilen yöntem olan TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve kaynak parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Magnezyum alaşımlarının TIG kaynağı ile birleştirmelerinde gözenek ve çatlak oluşumu en sık görülen kaynak hatalarıdır. Ayrıca magnezyum alaşımlarının TIG kaynağı sırasında kaynak parametrelerinin kaynak hata oluşumu üzerindeki etkileri incelenmiştir.

1.1 Literatür İncelemesi

Magnezyum ve kaynaklanması ile ilgili olarak yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Zeytin, Magnezyum, hafifliği ve mukavemeti nedeni ile endüstride kullanımı oldukça yaygın olan bir metal olup otomotiv ve uzay-uçak sanayilerindeki ağırlık tasarrufuna yönelik arayışlarda magnezyum metali 1.74 g/cm^3 olan düşük yoğunluğu ile mühendislik uygulamaları açısından en hafif yapısal metal olarak ön plana çıktığı gözlenmiştir. Alüminyumdan %36, çelikten ise %78 oranında daha hafif olması, geçen on yıl boyunca magnezyum alaşımlarının kullanımını her yıl yaklaşık %15 artış gösterdiği ve otomobil endüstrisinde magnezyum uygulamaları 30.000 ton/yıl değerinden 130.000 ton/yıl değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu artış, ağırlık tasarrufunun çok daha önemli olduğu uzay/uçak uygulamalarındaki potansiyeli de işaret ettiği anlaşılmıştır. Çünkü aynı miktardaki ağırlık tasarrufunun otomobilde sağladığı parasal tasarrufun değeri 1 ise ticari bir uçakta 100, savaş uçağında 1000, uzay uygulamasında ise 10.000'dir (Zeytin, 1999).

Hawke ve arkadaşları, günümüzde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler içinde magnezyum en hafif olduğunu tespit etmişlerdir. Yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından plastiklere benzetirlerken, bu malzeme bir metalin mekanik özelliklerine sahip olduğu anlaşılmış, ayrıca magnezyum mühendislik plastiklerine göre çok daha katı ve çok daha fazla geri dönüşümü mümkün bir malzeme olduğu bulunmuştur (Hawke, 1993).

Öztürk, havacılık sanayinde kullanılan metallerde istenilen en temel özellikleri; hafiflik, dayanıklılık, şok-titreşim ve korozyona karşı direnç olduğu ve hafifliğin, yoğunluğunun azaltılması ile sağlanabilecek olduğunu bildirmişlerdir. Üretimde çoğunlukla alüminyum, çelik, titanyum, magnezyum ve bakır gibi metalik malzemeler kullanılmakta olduğu, metallerin saf hallerinin düşük mukavemet özellikleri nedeni ile havacılığın özel ihtiyaçlarını karşılanması neredeyse olanaksızlaştığı görüşündedirler. Günümüz araştırma ve geliştirme çalışmalarının esası; daha kullanışlı malzemeler elde edebilmek için yeni ve daha önce denenmemiş

alaşımların geliştirilmesi çalışmalar olduğu, sektörün yoğun olarak üzerinde iyileştirme yaptığı özelliklerin;

- Yanıcı olmaları,
- Yüzeyine herhangi bir koruyucu kaplama uygulanmadığında, korozif bir ortamda beyaz renkte kümecikler veya noktalar şeklinde korozyona uğramaları,
- Alaşımlarının yüzeylerinde oluşan oksit-karbonat filminin, korozif olmayan ortamlarda dahi yeteri derecede korozyondan korunma sağlayamamakta, uygun koruyucu kaplama uygulandığında korozyon önemli ölçüde azaltılabilmekte olduğu görüşündedirler (Öztürk, 2012).

Aghion ve arkadaşları, hız ve güç gereksiniminin artması sebebiyle de hafiflik yanında daha dayanıklı malzeme kullanımı gerekliliğinden dolayı, hava araçlarında Mg alaşımları, üzerine yük binmeyen parçalarda aktif olarak kullanılmakta olduğu görülmüştür (hidrolik depolar, yakıt depoları, vs.). MD500, Eurocopter EC120, NH90 ve Sikorsky S92 gibi birçok helikopterin dişli kutularında ZE41 alaşımı, uydu parçaları için de AZ31, AZM ve AZ61 dövme alaşımları yaygın olarak kullanıldığı anlaşılmıştır (Aghion, 2009).

Kulekci, otomotiv sektöründe Mg alaşımlarının kullanımına özellikle vurgu yapıp, bunun en önemli etkilerinin araç yakıt tüketimlerinin azaltılmasını vurgulamıştır. Günümüzde Mg alaşımlarının bir otomobilde hemen hemen her kısmında kullanıldığını belirtmiştir. Özellikle ağırlığın söz konusu olan yerlerde önemli bir alternatif malzeme gurubu olduğunu bildirmiştir (Kulekci, 2008).

Ertürk, magnezyum alaşımlarının kaynaklarının özellikle II. Dünya savaşında ihtiyaç olarak belirlediğini ve bu alanda yapılan çalışmaları değerlendirip ek olarak oksitlenmeyi vurgulamıştır. Alüminyum, magnezyum ve alaşımları gibi kolaylıkla oksitlenen malzemelerin kaynağında CO₂, gibi aktif bir gazın kullanılmamasına rağmen, bu gaz çeliklerin kaynağında yeni imkânların ortaya çıkmasına sebep olduğunu vurgulamıştır (Ertürk, 2010).

Şık, AZ31 magnezyum alaşımlarının TIG ve SKK kaynakları arasındaki kaynaklanabilirliğini, kaynak performanslarını ve mikroyapılarını incelemiştir. Mekanik özelliklerini belirlemek için testler yapmış ve bu testlerin sonuçlarını değerlendirmiştir. Şık'ı AZ31'in sac metal olarak özellikle otomotiv sektöründe kullanılıyor olması bu çalışmaya yönlendirmiştir (Şık, 2013).

Oğuz, 0,8 mm'den az kalınlıkları TIG ile kaynak etmek kolay olmadığı; buna karşılık, üst sınır yok gibi olduğu anlaşılmış. Bununla birlikte, 10 mm'den itibaren MIG süreci, daha ekonomik olduğu mülahazasıyla, tercih edilir bulmuştur. Magnezyum dökme alaşımların kaynaklanması genellikle tamir maksadıyla uygulandığını göstermişlerdir (Oğuz, 1990).

Lee ve arkadaşları, AZ31 ve AZ61'den imal edilmiş olan plaka halindeki magnezyum alaşımlarını oluşturulmuş izotermal ortamda şekillendirilebilme yeteneklerini değişken sıcaklık şartlarında araştırarak, 0,5, 1,3, 1,7 ve 2 mm kalınlıklarında şekillendirilebilmenin mümkün olduğunu göstermişlerdir (Lee, 2002).

Lu ve arkadaşları, AZ91 magnezyum alaşımının çatlak oluşum davranışını incelemiştir. Optik mikroskop ve SEM kullanılarak çekme darbe testleri sonunda koparılmış AZ91 alaşımının çatlak oluşumu kontrol edilmiştir. Yapılan deneylerde çekme testi darbe testinden farklı yük formlarından dolayı farklılık göstermiştir. Darbe testinde çatlak morfolojisi farklı bölgelerde farklı yapılarda görülmüştür. İncelemeler sonucunda AZ91 malzemesinin gevrek çatlaklıklar ve yarılmaları olduğu tespit edilmiştir. Mg/Mg₁₇Al₁₂ arayüzü sıklıkla çatlak oluşumunun başlangıç kaynağı olmuştur (Lu, 2000).

2. MAGNEZYUM

2.1 Tarihçe

Magnezyum elementi 1755 yılında İskoç kimyager Joseph Black tarafından MgO içinde, yeni bir element olan magnezyumun içerdiğini keşfetmiş, fakat magnezyumu MgO içerisinde ayırtıramamıştır. MgO daha önceden bulunmuş ve beyaz kaya (white stone) veya beyaz toprak (white earth) olarak adlandırılmıştır. MgO adı, ilk bulunduğu kuzey Yunanistan'daki Thesally bölgesinde Eski Romalılar tarafından verilmiştir. MgO bu bölgeden çıkarılarak Akdeniz ülkelerine dağıtılmıştır. 1808 yılında İngiliz kimyager Sir Humphry Davy tarafından nemli MgO ve HgO pastasından düşük saflıkta az miktar magnezyum üretmeyi başarmıştır (Xunhong, 2006).

1828 yılında Antoine Bussy magnezyum klorürü potasyum buharı ile reaksiyona sokarak ergitmiş ve daha saf ve daha fazla miktarda magnezyum üretebilmiştir. 1833 yılında Michael Faraday magnezyum klorürden, elektroliz yöntemiyle sıvı Mg ve Cl gazı elde etmiştir. 1852 yılında Robert Bunsen'in günümüz elektrolitik magnezyum üretiminin başlamasına ön ayak olan laboratuvar tipi elektroliz hücresi geliştirmiş ve 1886 yılında Almanya'da Griesheim Elektron tarafından ilk ticari magnezyum fabrikası kurulmuştur. I. G. Farbenindustrie tarafından susuz magnezyum üretim prosesi bu sisteme eklenmiş ve üretime devam edilmiştir (Friedrich, 2006).

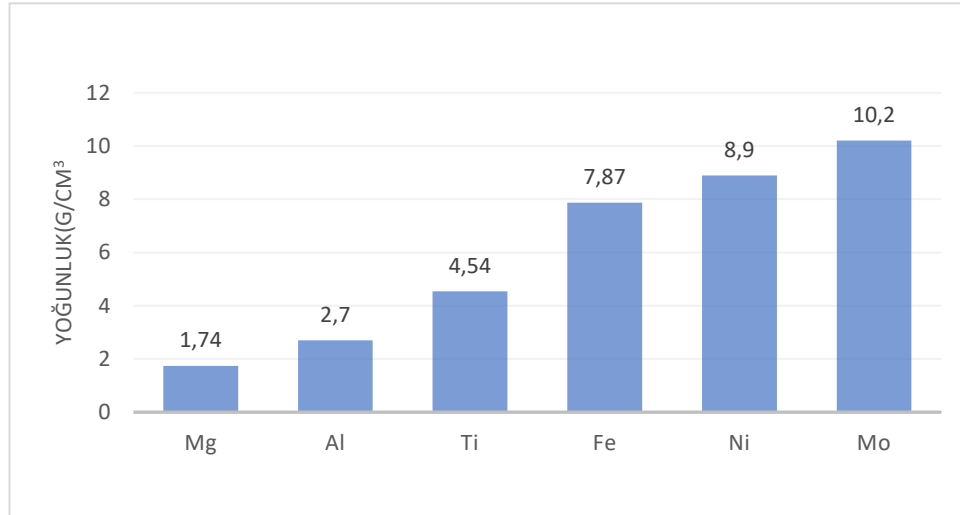
2.2 Magnezyum Elementi

Magnezyum elementi rezervleri yer kabuğunun %2,7'sinde ve Okyanusların %0,13'ünde bulunmasından dolayı oldukça zengindir. Periyodik Tablo da IIA grubunda yer alan toprak alkali bir elementtir. Mg elementinin fiziksel özellikleri Tablo 2.1'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1: Magnezyumun fiziksel özellikleri (Zeytin, 1999).

Fiziksel Özellikler	Magnezyum
Atom numarası	12
Atom kütlesi	24,312 g/mol
Ergime noktası	650 °C
Kaynama noktası	1107 °C
Yoğunluğu	1,74 g/cm ³
Kristal yapısı	Hekzagonal SD
Young Modülü	45 GPa
Özgül ısısı	0,25 cal/g °C
Isı iletkenliği	156 W/m ² K, s.cm.°C (oda)
Elektrik iletkenliği	22,4 m/(Ω mm ²) (oda sıcaklığında)
Kaynama ısısı	32,517 kcal/atomgram

Magnezyum elementinin yoğunluğu (1,74 g/cm³), çelikten %78, alüminyumdan ise %38 daha hafif olmasından dolayı, yapısal uygulamalarda kullanılabilecek en hafif metaldir. Şekil 2.1'de yapısal uygulamalarda kullanılan metallerin yoğunluklarının karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Yapısal uygulamalarda kullanılan metallerin yoğunluklarının karşılaştırılması (Polmear, 2006).

Ağırlık tasarrufunun son derece öneme sahip olduğu mühendislik uygulamalarında hafif malzeme kullanımının artması ile birlikte otomotiv, hava taşıtları, spor araçları ve elektronik cihazlar gibi üretim sektörlerinin magnezyum ve alaşımlarına yönelimi artmıştır. Oda sıcaklığında yüksek dayanım-yoğunluk ve yüksek elastik modülü-yoğunluk oranı ile magnezyum, alüminyum ve titanyum gibi hafif malzemelere nazaran daha avantajlıdır. Mükemmel dökülebilirlik, kaynaklanabilirlik ve yüksek ısı iletkenlik ise diğer avantajlarıdır. Fakat sıkı paket hegzagonal (sph) kafes yapıya sahip olmasından dolayı sınırlı süneklığe ve tokluğa yol açmaktadır. Magnezyumda soğuk şekillendirmenin yapılması zordur, zayıf korozyon direncine sahiptir ve en önemlisi üretim maliyeti yüksektir.

2.3 Magnezyumun Alaşımlarının Sınıflandırılması

Magnezyum alaşımları en yüksek oranda bulunan iki elementin ilk harflerini ve bu iki elementin sahip olduğu yüzdelik oranlarının en yakın tam sayıya yuvarlanmış değerlerine göre adlandırılırlar. Tablo 2.2’de yaygın kullanılan alaşım elementlerinin tek harfle listesi bulunmaktadır.

Tablo 2.2: Alaşım elementleri ve kısaltmaları (Barber, 2004).

Harf	Alaşım Elementi	Harf	Alaşım Elementi
A	Alüminyum	M	Mangan
B	Bizmut	N	Nikel
C	Bakır	P	Kurşun
D	Kadmiyum	Q	Gümüş
E	Nadir Toprak Elementleri	R	Krom
F	Demir	D	Silisyum
H	Toryum	T	Kalay
J	Stronsiyum	W	İtriyum
K	Zirkonyum	X	Kalsiyum
L	Lityum	Z	Çinko

AZ31 alaşımının açıklayacak olursak; A Magnezyumdan sonra alaşım içindeki en yüksek orana sahip elementi ifade eden Alüminyumu, Z ise, alaşım içindeki ikinci element olan Çinkoyu ifade eder. 3 ve 1 ise alaşımdaki Al ve Zn oranının yaklaşık % miktarını ifade eder.

Magnezyum alaşımlarında, alaşım elementlerinin oranı Tablo 2.3'de gösterilmektedir.

Tablo 2.3: Mg alaşımları standartları ve bileşimleri (ASTM B 93/B 93M ve ASTM B94).

Alaşım Elementi	Mg Alaşımları ve Oranı %								
	AM50	AM60	AS21	AS41	AZ31	AZ80	AZ91	ZE10	ZK60
Al	4.5-5.3	5.6-6.4	1.9-2.5	3.7-4.8	2.5-3.5	7.8-9.2	8.5-9.5	0.05	0.05
Zn	0.20	0.20	0.15	0.10	0.7-1.3	0.2-0.8	0.45	1-1.5	4.8-6.2
Mn	0.28	0.26	0.20	0.35	0.20	0.15	0.17	0.10	0.10
Si	0.05	0.05	0.70	0.60	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05
Fe	0.004	0.004	0.004	0.0035	0.004	0.05	0.004	0.03	0.003
Cu	0.008	0.008	0.008	0.015	0.05	0.05	0.025	0.025	0.05
Ni	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.005	0.001	0.005	0.005
Be	-	-	-	-	-	0.002	-	0.002	0.002
Ce	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3-0.9
Diğer	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	0.01	-	-
Mg	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

Magnezyum alaşımları üretim tekniği ve sonrasında uygulanan ısıl işlemleri gösteren terimler kullanılır. Alüminyum alaşımlarında da aynı terimler kullanılır. Örneğin AZ31-H24 alaşımında H24 terimi, malzemenin soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ve kısmen tavllanmış olduğunu gösterir. Kullanılan temper işaretleri ve anlamları Tablo 2.4'te gösterilmektedir (Barber, 2004).

Tablo 2.4 Magnezyum alaşımlarında kullanılan temper işaretleri ve anlamları
(Barber, 2004).

Temper İşareti	İşaretlerin Anlamları
F	Üretildiği halde
O	Tavlanmış
H10, H11	Düşük oranda deformasyon sertleşmesi yapılmış
H23, H24, H26	Pekleşme yapılmış ve kısmen tavlanmış
T4	Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış
T5	Suni olarak yaşlandırılmış
T6	Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış ve suni olarak yaşlandırılmış
T8	Çözeltiye alma ısıl işlemi yapılmış ve soğuk şekillendirme

2.4 Magnezyumun Alaşımlarının Kullanım Alanları

Magnezyum alaşımları, düşük yoğunluğu nedeniyle kullanımına artan bir ilgi var. Magnezyum, en hafif yapısal metaldir. Özellikle yeryüzü enerji kaynaklarının önemi artmış durumda olduğundan endüstriyel çalışmalarda hafiflik ön plana çıkmıştır. Magnezyum alaşımları geçmişten beri savunma sanayisinde, otomotiv ve ulaşım endüstrisinde kullanılmaktadır. Son dönemde endüstriyel pazar ağı hızla genişlemektedir. Dizüstü bilgisayarlar, cep telefonları, el aletleri gibi taşınabilir elektronik cihazlar, tenis raketleri, bisiklet çerçeveleri, okçuluk kulp kolları gibi spor ekipmanları ve dikiş makineleri, testere ve gözlük gibi ev araç ve gereçlerinde kullanılması yaygınlaşmıştır (Buldu, 2012). Şekil 2.2’de magnezyum alaşımlarının yapısal uygulamalarda kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Magnezyum alaşımlarının yapısal uygulamalarda kullanımı (Bulut, 2009).

Otomotiv endüstrisinde magnezyum alaşımlarının kullanımı, optimum yakıt değerleri arayışına dayanmaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar araç ağırlıklarının azaltılması ile giderileceği hedeflenmiştir. Bunu sağlamanın yolu, hafif malzemelerin geliştirilerek kullanımını sağlamak ve kullanım alanlarını arttırmaktır. Alüminyum, Magnezyum ve benzeri hafif alaşımlı metalleri kullanmaktır. Otomotiv endüstrisinde magnezyum alaşımlarının kullanımı daha çok thixo döküm yöntemi kullanarak ve sıcak metal işleme yöntemlerinin kullanılmasıyla yapılmaktadır.

Otomobil üreticilerinden BMW, magnezyum alaşımlarından AZ91 alaşımı kullanarak motor bloğu üretmiştir. Şekil 2.3'te gösterilen ve R6 olarak adlandırılan bu motor bloğu emsallerine göre 10 kg kadar hafiflik sağlamıştır (Kaese, 2003).



Şekil 2.3: BMW R6 motoru.

Magnezyum alaşımlarının diğer çeşitlerinden olan AM60B ve AM50A ise koltuk parçalarında, fren ve debriyaj pedallarının dirseklerinde, hava yastıklarının tutucularında, direksiyon gibi yerlerde kullanılmaktadır. Ayrıca magnezyum alaşımlarından çeşitli döküm yöntemleriyle imal edilen otomobil jantı, kapısı ve aktarma organları üretilmiştir. Bu parçalarda kullanımı çeliğe göre %75, alüminyuma göre %30 gibi değerlerde hafiflik sağlamaktadır. Bu parçalardan bazıları Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Üretilmiş Mg alaşımlı otomotiv parçaları.

Magnezyum alaşımları hava aralarınday isey üzerine aşıry yk binmeyen parçalarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu taşıtların depolarında daha çok tercih edilmekle beraber oturma yerlerinde de kullanılmaktadır. Bazı helikopterlerin hidrolik depolarında ve quadrant kısımlarında AZ91 alaşımı tercih edilmektedir. MD500, NH90 ve Sikorsky S92 gibi helikopterler isey ZE41 mekanik kısımlarında tercih etmektedir. Şekil 2.5’de havacılıktay kullanılan araçların dişli kutularında kullanılan parçalardan dişli kutusu kapağı gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Magnezyumdan imal edilmiş dişli kutusu kapağı.

2.5 Magnezyum Alaşımına Alaşım Elementlerinin Etkisi

Diğer metallerde olduğu gibi magnezyum nadir olarak saf halde kullanılmaktadır. Döküm veya dövme ürünlere mukavemet kazandırmak amacıyla magnezyuma alaşım elementleri katılmaktadır. Magnezyum, hekzagonal kristal kafes yapısına sahiptir ve sahip olduğu tane çapı çok fazla sayıda element ile katı çözünebilirliğe izin verir (Woo, 2006). Magnezyum alaşımlarında en yaygın kullanılan alaşım elementleri alan Al, Mn ve Zn’nun Mg ile yaptığı alaşımlarda fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi Tablo 2.5’de görülmektedir.

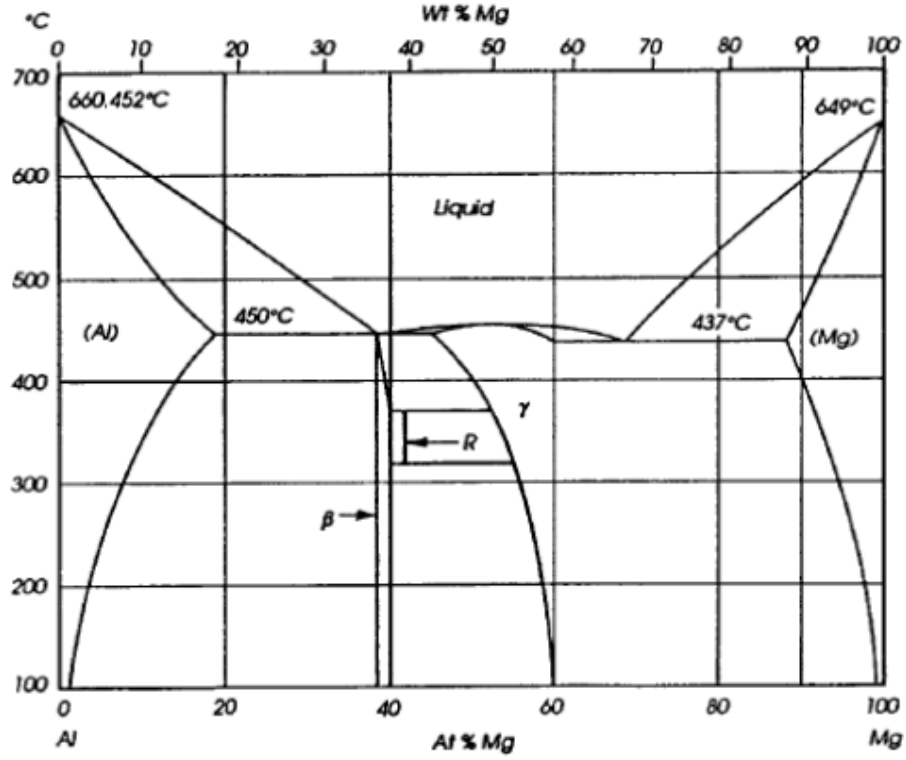
Tablo 2.5: Mg alaşımlarına elementlerinin genel etkileri (Polmear, 2006).

Alaşım Elementi	Eriyik ve Döküm Davranışları	Mekanik ve Teknolojik özellikleri	Korozyon Davranışı
Al	Dökülebilirliği ve mikro-gözeneklilik eğilimi artar	Katı çözeltili sertleştirir, düşük sıcaklıkta çökeltme sertleşmesi oluşur (<120 °C)	Etkisi düşüktür
Mn	Fe-Mn bileşiği oluşturarak Fe içeriğini kontrol altına alır	Sürünme direncin artırır	Fe kontrolü sağlamasından dolayı korozyon davranışlarını geliştirir
Zn	Eriyiğin akışkanlığını artırır, zayıf tane yapısını güçlendirir, mikro-gözeneklilik oluşur	Çökeltme sertliği oluşur, sıcak ortamda gücü artırır Zn miktarı düşük olursa gevreklik eğilimi ve ısıl gerilme çatlama oluşur	Etkisi düşüktür, Yeterli miktar Zn, Cu'nun zararlı etkisini giderir

2.5.1 Alüminyum (Al) Magnezyum Alaşımı

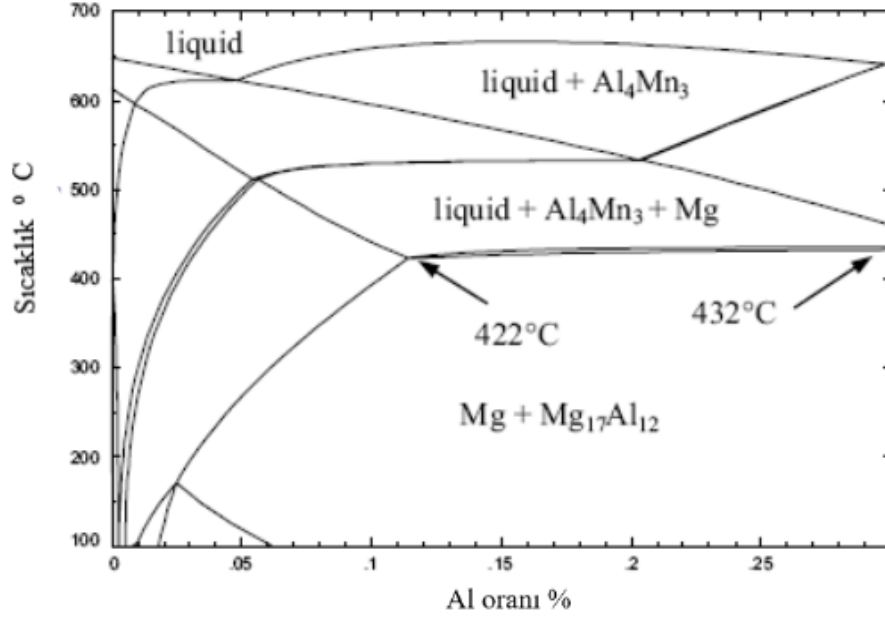
Alüminyum, magnezyum ile en çok kullanılan alaşım elementidir. Mukavemeti, sertliği artırır ve donma aralığını geliştirir. Bu da alaşımın dökülebilirliğini kolaylaştırır ve döküm alaşımlarının mikro gözeneklerini azaltır. Alaşıma ilave edilen Al %6'nın üzerinde olduğunda alaşım ısıl işlenebilir ancak nadiren ağırlıkça %10 Al sınırını aşar. %6 optimum mukavemet ve süneklik sınırındadır. Alüminyum magnezyumda erir ve magnezyum kristallerinin incelmeye katkı sağlar. Katı eriyik sertleşmesi ve çökelti sertleşmesi ile meydana gelen $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik

dayanımı artırır. $Mg_{17}Al_{12}$ bileşiği çok düşük sıcaklıklarda ($-120\text{ }^{\circ}C$) oluşmaktadır. Alüminyum ile magnezyum alaşımları, döküm ve sıcak dövülmeye elverişlidir. Şekil 2.6'da Mg-Al denge diyagramı görülmektedir (Brandes, 1998).



Şekil 2.6: Mg-Al denge diyagramı (Brandes, 1998).

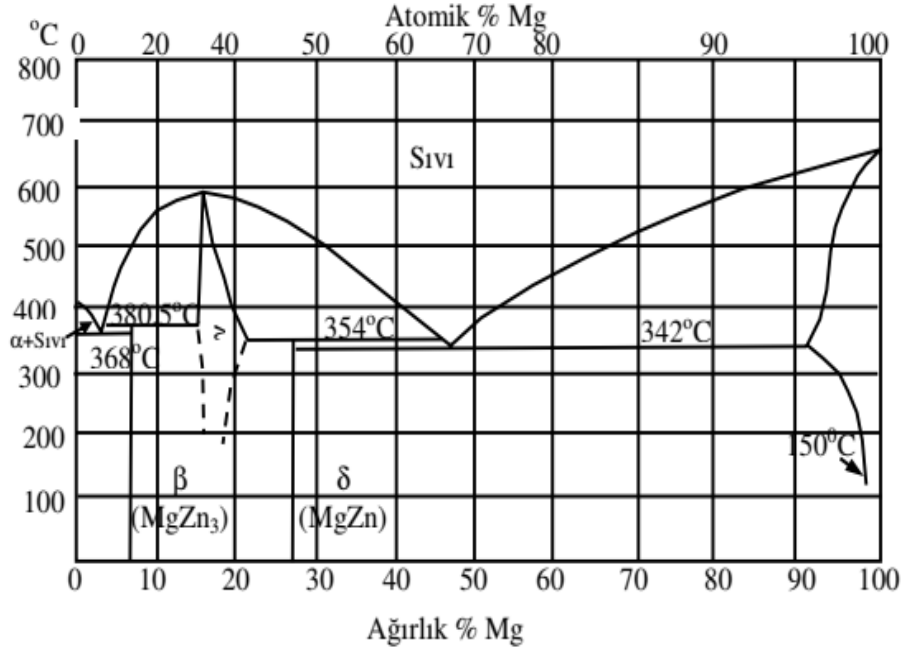
AZ31B alaşımının sıcaklığa bağlı Al oranı ve oluşan bileşiklerin denge diyagramı Şekil 2.7'de gösterilmiştir (Lochte, 2005).



Şekil 2.7: AZ31B alaşımının sıcaklığa göre Al oranı denge diyagramı (Lochte, 2005).

2.5.2 Çinko (Zn) Magnezyum Alaşımı

Zn, Mg içerisinde Al dan sonra en etkili alaşım elementidir. Zn, genellikle oda sıcaklığında mukavemetini arttırmak için Al ile birlikte kullanılır. Bununla birlikte ağırlıkça %7-10 Al içeren Mg alaşımlarına %1'den fazla Zn ilave edilirse sıcak gevrekliği arttırır. Zn aynı zamanda çökeltme sertleşmesi ile mukavemetini arttıran Mg alaşımları üretmek için Zr, nadir metaller veya toryum ile birlikte kullanılır. Cu'nun korozyon oluşumuna yatkın olması nedeni ile Zn eklenir. Mg alaşımları içerisinde bulunması muhtemel demir ve nikel empüritelerinin zararlı korozyon etkilerini gidermeye yardımcı olur (Barber, 2004). Şekil 2.8'de Mg Zn denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.8: Magnezyum-Çinko denge diyagramı (Polmear, 2006).

2.5.3 Diğer Elementler Magnezyum Alaşımı

Mn'in, Mg'a etkisi iyi bilinmemektedir. Mn oda sıcaklığında az miktarda Mg' de erir. Daha düşük sıcaklıklarda erimeği kabul edilir. Mg'da % 0,3 - 0,4 oranında Mn korozyon dayanımını artırır. Mn'lı Mg alaşımları elektron alaşımları sınıfına girer (Aizawa, 2006).

Pb, çözünürlük kabiliyeti iyi olduğundan, yüksek sıcaklıklarda çözünebilmekte ve ayrı faz olarak ortaya çıkmamaktadır. Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazını inceltmektedir (Balasubramani, 2007).

Ca, Döküm alaşımlarına döküm öncesi hemen eklendiğinde ergimiş şartlardaki hem de döküm işlemi sonrasındaki ısıl işlemde oksidasyonu azaltır. Mg levhaların haddelenebilirliğini geliştirir. Ca ilavesi yaklaşık ağırlıkça %0,3'ün altında olması gerekir, aksi halde levha kaynak esnasında çatlamaya müsait hale gelir (Zhang, 2001).

Fe, Mg alaşımlarındaki empüritelere zararlı olanlarından biridir. Çok düşük miktarlarda bulursa dahi korozyon direncini çok hızlı bir şekilde düşürür (Polmear, 2006).

Si, Mg alaşımlarına Si ilavesi ergimiş haldeki metalin akıcılığını artırır. Alaşımda demir de bulunuyorsa Mg alaşımlarının korozyon direncini azaltır (Aizawa, 2006).

Cu, dökülebilirliği iyileştirir ve yüksek sıcaklıklara dayanımını artırır. Cu miktarı %0.05'i aşması durumunda korozyon özelliklerinde kötüleşir (Aizawa, 2006).

Nadir kıymetli metaller, yüksek sıcaklıklarda Mg alaşımlarının mukavemetini arttırlar. Aynı zamanda alaşımların donma noktasının daraltarak kaynak çatlamasını ve dökümdeki gözenekliliği azaltırlar (Zhang, 2001).

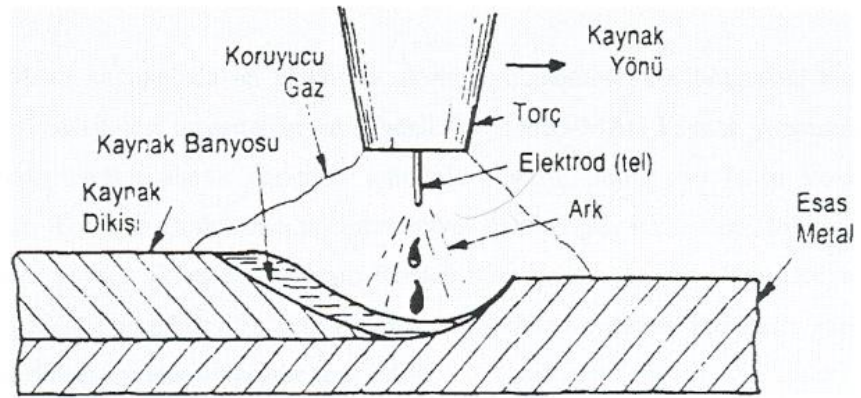
3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KAYNAK YÖNTEMLERİ

Magnezyum alaşımları kaynağı alüminyum alaşımları kaynağı ile büyük benzerlik gösterir. TIG, MIG, lazer, elektrik direnç ve sürtünme karıştırma kaynak yöntemleri magnezyum alaşımlarına uygulanan en yaygın kaynak yöntemleridir.

3.1 Magnezyum Alaşımlarının MIG Kaynağı

Magnezyum alaşımlarında MIG kaynağı 10 mm'den kalın alaşımlar için en uygun kaynak yöntemlerinin başında gelmektedir. Magnezyum alaşımlarında bulunan alaşım elementlerinin oranı kaynak kabiliyetini etkiler. Al oranı %10'un üzerinde, tane yapısı incelendiğinden dolayı kaynaklana birliğe katkı sağlar, Zn oranı %1'in üzerine çıktığında sıcak çatlama hassasiyetini artırır (Tülbentçi, 1990).

Koruyucu olarak argon gazı kullanılır, nüfuziyetin derin olması istenen durumlarda argon helyum karışımı kullanılır. MIG kaynağı magnezyum alaşımlarında, darbeli akım (pulsed arc), spreyci ark ve kısa ark yöntemleri kullanılarak uygulanır. Şekil 3.1'de MIG kaynağının işlem şeması gösterilmiştir (Tülbentçi, 1990).

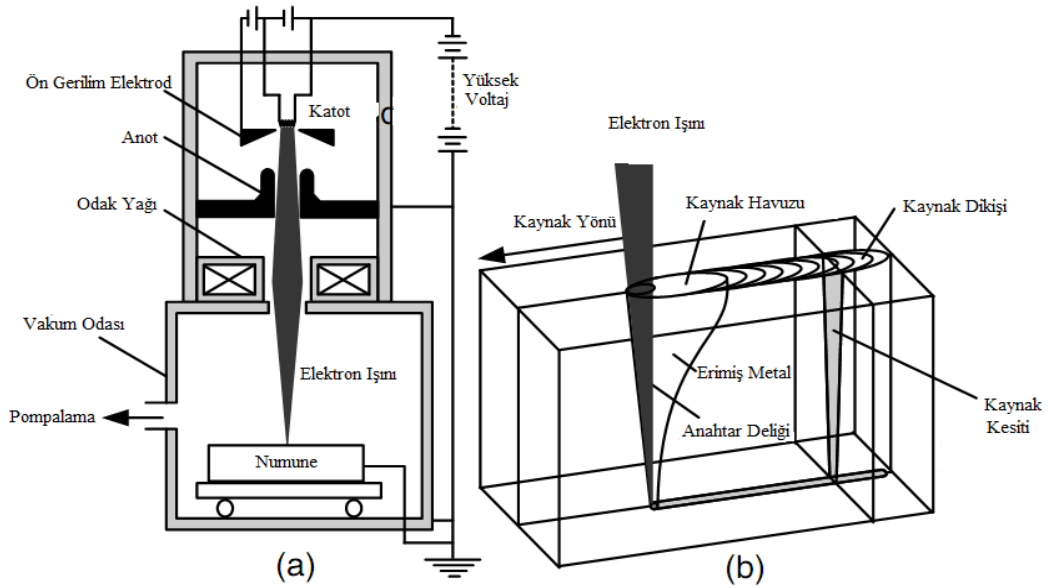


Şekil 3.1: MIG kaynak işleminin şeması.

3.2 Magnezyum Alaşımlarının Elektron Işın Kaynağı

Elektron ışın kaynağı; metallerin birleştirilmesi için yoğunlaştırılmış elektron ışını kullanılan kaynak yöntemidir. Elektron ışını, yüksek vakumda yerleştirilmiş bir tungsten katot ve bir anottan oluşan elektron ışın tabancasıyla yapılır. Elektron ışın kaynağı için genellikle kullanılan ışın akımları ve artan gerilimler sırasıyla 50-1000 mA ve 30-175 kV aralığındadır.

Elektron ışın kaynak prosesi, yüksek tekrarlanabilirliğe ihtiyaç duyulan zor kaynak için uygundur. Elektron ışın prosesini kontrol eden beş faktör vardır. Bunlar; hızlandırıcı voltaj (V, kV), ışın akımı (I, mA), kaynak hızı (v , mm / s), vakum seviyesi (10 üzeri -3 Torr'un altında) ve iş parçasının yüzeyi üzerindeki elektron demetinin nokta boyutu (ϕ , mm) dur. Şekil 3.2'de elektron ışın kaynağının şemasını gösterilmiştir.

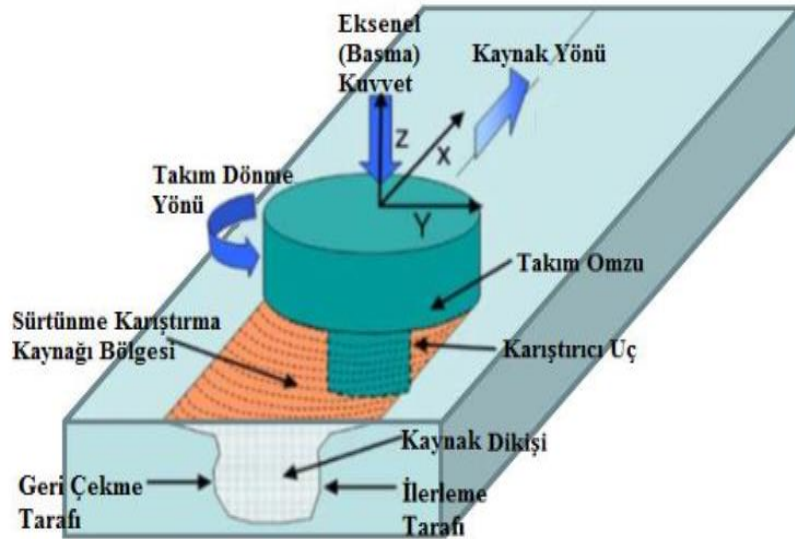


Şekil 3.2: Elektron ışın kaynak şeması: a) proses, b) anahtar deliği (Buldu, 2012).

3.3 Magnezyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) bir katı hal kaynak yöntemidir. SKK yöntemi, pim ve omuz ile özel olarak tasarlanmış dönen bir takım birbiri ile örtüştürülmüş plakaların içine daldırılıp kaynak hattı boyunca ilerletilmesidir. İş parçası ile karıştırıcı uç arasında oluşan sürtünmeden dolayı kaynaklanan malzemenin sıcaklığı artar. Sıcaklık sayesinde malzeme yumuşar, plastik olarak şekil değiştirir ve takımın basma kuvvetinden dolayı, yüksek nitelikli katı hal durumunda çarpılma olmaksızın birleştirme işlemi gerçekleşir.

SKK yöntemi diğer kaynak yöntemlerine göre düşük enerji tüketimi, gaz salınımının olmaması, ışın oluşmaması, elektrot, dolgu maddesi, toz ve korucu gaz gibi maddelere ihtiyaç duyulmaması nedeniyle çevreci bir kaynak teknolojisidir. Kaynak parametrelerinin kontrol edilebilirliği ve otomasyona yatkınlığından dolayı geleneksel yöntemlerle kıyaslandığı zaman maliyet çok düşük kalmaktadır. Şekil 3.3'de SKK yönteminin şematik gösterimi verilmiştir (Bilgin, 2017).



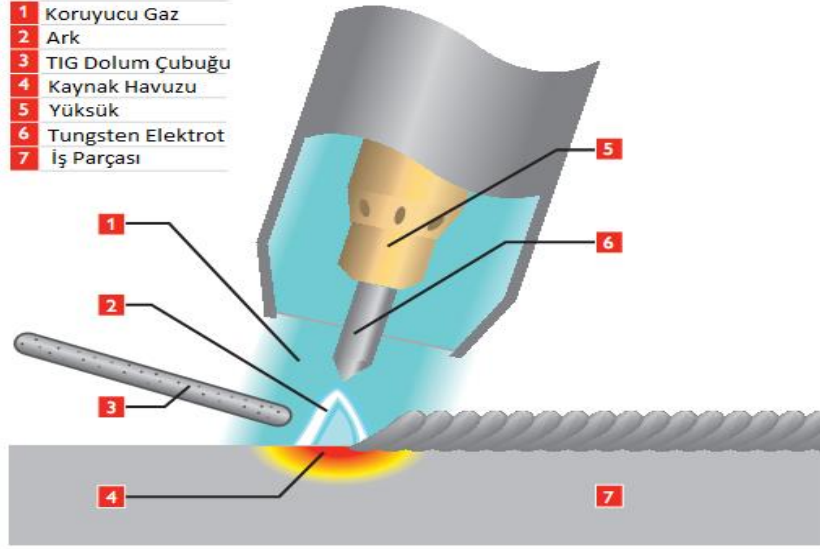
Şekil 3.3: SKK yönteminin şematik çizimi (Bilgin, 2017).

4. TIG KAYNAĞI

TIG kaynağı, esas olarak bir ark kaynağı şeklindedir. Özellikle alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif metallerin kaynağı için oldukça uygundur. Yöntemin İngilizce “Tungsten Inert Gas” kelimelerinin baş harfleri alınarak TIG kaynağı olarak adlandırılmıştır (Anık, 1997).

TIG kaynağı, İkinci Dünya Savaşı sırasında Amerikan Havacılık Endüstrisinin magnezyum ve alüminyum parçaların birleştirme yöntemleri araştırması sonucunda keşfedildi. Russell Meredith, 1930'lu yılların sonlarında bir tungsten elektrot ve helyum gazı kullanarak magnezyum kaynağı için ilk TIG işlemini gerçekleştirdi. TIG kaynağı, günümüze ulaşana kadar detaylandırılmıştır (Anık, 1997).

TIG kaynağında, kaynak durumuna göre ilave metal verilmeden yapılabildiği gibi, erimeyen tungsten elektrot ile oluşturulan ark bölgesine ayrıca ilave metal tel beslenerek kaynak yapılabilir. Elektrot, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen gaz tarafından korunur. Koruyucu gaz olarak argon ve helyum inert gazları kullanılır. Ayrıca bu koruyucu gazlar karışım halinde de kullanılmaktadır. Koruyucu gaz, kaynak bölgesinde tam bir koruma sağlamalıdır, aksi hâlde kaynak metalinde hataya yol açar. Ark, tungsten elektrot ile iş parça arasında serbestçe yanar. Bu kaynak yöntemi, genellikle diğer kaynak yöntemlerine nazaran daha iyi kalitede kaynak dikişleri elde edilir. Şekil 4.1’de TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi verilmiştir. Enerji üreticinin bir kutbu iş parçasına bir kutbu da tungsten elektroda bağlıdır. Ark, tungsten elektrot ile iş parçası arasında yanmaktadır. Bu esnada, gaz memesinden elektrotla eş eksenli olarak püskürtülen koruyucu gaz sayesinde ark banyosu, korunmuş olur.



Şekil 4.1: Kaynak yönteminin şematik gösterimi.

4.1 TIG Kaynağının Avantajları ve Dezavantajları

TIG kaynak yönteminin başlıca avantajları şunlardır;

- TIG kaynağı, sürekli bir kaynak dikişi yapmak, aralıklarla kaynak yapmak ve punto kaynağı yapmak için hem elle hem de otomatik kaynak sistemleri ile uygulanabilir.
- Kaynak torcu hafiftir ve dolayısıyla rahat bir çalışma olanağı sağlar.
- Endüstriyel üretimde kullanılmakta olan hemen hemen bütün metaller kaynaklanabilmektedir.
- Dolgu telli ya da telsiz çalışabilmektedir.
- Her pozisyonda kaynak yapılabilir ve özellikle ince malzemelerin kaynağına çok uygundur.
- Yüksek kalitede düşük distorsiyonlu kaynak kabiliyetine sahiptir.
- Farklı malzemelerin birbirleriyle kaynaklanmasına imkân sağlar.
- Tungsten elektrot ile dikişte çok az bir karbür ayrışması meydana gelir.

- Cüruf ya da çapak oluşumu olmadığı için kaynak sonunda temizleme ihtiyacı yoktur.

TIG kaynak yönteminin dezavantajları ise;

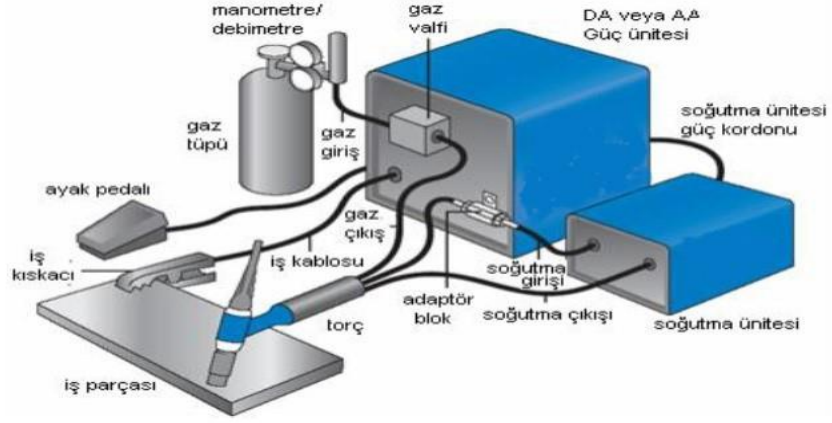
- TIG kaynağında metal yığılma hızı diğer ark kaynak yöntemlerine nazaran daha düşüktür.
- Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik bir yöntem değildir.
- Koruyucu gaz ihtiyacı vardır.
- Kirliliğe hassasiyeti yüksektir, bu nedenle yüzey temizliğine ihtiyaç vardır.

4.2 TIG Kaynağında Kullanılan Ekipmanlar

4.2.1 Güç Kaynağı

TIG kaynağına ait güç kaynakları genellikle sabit akımlı ve düşük voltajlı olurlar. TIG kaynağında, birleştirilen malzemenin türüne göre hem alternatif akım hem de doğru akım kullanılır. Bu nedenle akım üreteçleri her iki tür akımı da gerektiğinde sağlayabilecek şekilde dizayn edilir. Akım üreteçleri, kaynak akımını sabit tutabilmek ve alternatif akım arkının sürekliliğini sağlamak için yüksek frekans jeneratörüne sahip olmalıdır.

Günümüzde inverter üniteler TIG kaynak yönteminde yaygın bir uygulama alanı bulmaktadır. Bu akım üreteçleri daha hafif olup, stabil bir ark oluşturmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Şekil 4.2’de su soğutmalı bit TIG kaynak ekipmanının temel elamanları gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Su soğutmalı bir TIG kaynak ekipmanının temel elemanları.

4.2.2 TIG Kaynak Torcu

TIG kaynağında kullanılan torç, arkı oluşturmak için gerekli olan akımı ve kaynak alanına koruyucu gazı iletmek üzere kullanılır. Torç bağlantı elemanları ile güç kaynağı, gaz tüpü ve soğutma sistemine bağlıdır. Bu kaynak yönteminde kullanılmakta olan torçlar, uygulama koşullarına göre farklı cins ve ebatlarda üretilmektedirler.

TIG kaynağını el ile kullanılan torç çeşitleri hafif, küçük ve elektrik akımı kaçaklarına karşı yalıtımlı olur ve kaynakçının tutabileceği bir kabza kısmı da mevcuttur. Torcun akım üretici, gaz tüpü ve soğutma suyu bağlantıları, kablolar ve hortumlar ile sağlanır ve bağlantı elemanların tamamı torç bağlantı paketi adı verilen çelik spiral takviyeli bir kalın hortum içine yerleştirilmektedir. Şekil 4.3’de TIG kaynak torcu ve elemanları verilmiştir.



Şekil 4.3: TIG kaynak torcu ve elemanları.

Torçlar hava soğutmalı ve su soğutmalı olarak iki ana gruba ayrılırlar. Hava soğutmalı torçlar, su soğutmalı tiplere göre daha hafif, küçük ve daha ucuzdur. Ancak hava soğutmalı torçlar yüksek amperlerde kullanılmamaktadır. Genellikle ince metallerin kaynağında kullanılır. Su soğutmalı üfleçler ise daha ağır ve pahalıdır.

TIG kaynak torçlarında kullanılan gaz memeleri, torcun türüne, biçimine, kullanılan gaz debisine ve kaynak bölgesine göre değişik çap ve tipte üretilmektedirler.

TIG kaynağında kullanılan gaz nozulları, malzemeleri açısından başlıca dört gruba ayırabiliriz:

- Seramik gaz nozulları,
- Metal gaz nozulları,
- Saydam gaz nozulları,
- Çift korumalı gaz nozulları.

4.2.3 TIG Kaynak Elektrotu

TIG kaynak yönteminde diğer elektrik ark kaynağı yöntemlerine nazaran, ilave kaynak metalinin elektrot tarafından sağlanmamaktadır. Erimeyen tip elektrot olarak adlandırılan bu elektrotlar sadece ark oluşturma görevini üstlenirler. Genelde ticari saflıkta kullanılan tungsten (%99,5 W) alaşımlandırılarak kullanılmaktadır. TIG kaynak elektrotları, saf tungsten elektrotlar, alaşımlı elektrotlar ve çizgili elektrotlar olmak üzere üç gruba ayrılır. TIG kaynak elektrotları, AWS A5.12 ile DIN 32528 standartlarında bileşimlerine göre sınıflandırılmış ve bunları birbirlerinden kolaylıkla ayırt edebilmek için Tablo 4.1’de renk kodları kullanılmıştır.

Tablo 4.1: Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri ve renk kodları (DIN 32528).

Standart Gösterim		Kimyasal Bileşim		Uç Renkleri
ISO	AWS	Oksit İlavesi	Tungsten	
WT20	EWTh-2	ThO ₂ : % 1,70-2,20	%2 Thoriated	Kırmızı
WP	EWP	-----	Saf	Yeşil
WL15	EWLa-	LaO ₂ : % 1,30-1,70	% 1,5 Lanthanated	Altın
WC20	EWCe-2	CeO ₂ : % 1,80-2,20	%2 Ceriated	Gri
WL20	EWLa-2	La ₂ O ₃ : % 1,80-2,20	% 2 Lanthanated	Mavi
WZ8	EWZr-8	ZrO ₂ : % 0,70-0,90	%0,8 Zirconiased	Beyaz
LaYZr TM	EWG	La ₂ O ₃ : % 1,3-1,7; Y ₂ O ₃ :0,06-	% 1,5 Lanthanated %0,8	Açık

TIG kaynak elektrotları, AWS A5.12 ile DIN 32528 standartlarına göre ölçülendirilmiştir. AWS A5.12’ye göre üretilen elektrotların çapları 0.01-1/4 inç aralığında ve boyları ise 3-24 inç aralığındadır. DIN 32528’e göre üretilen elektrotlarda ise çapları 0,5-8,0 mm aralığında ve boyları ise 50-175 mm aralığında

seri üretim yapılmaktadır. DIN 32528'e göre tungsten elektrotların kodları aşağıdaki biçimde gösterilmektedir:

Elektrot; DIN 32528 1.6 - 75 - W T10

Burada 1.6 rakamı elektrotun mm olarak çapını, 75 rakamı boyunu ve W T10 ise bileşiminde %0,9-1,2 toryum-oksit bulunduğunu belirtmektedir. TIG kaynağında kullanılan elektrotların seçiminde çok sayıda önemli faktörler vardır. Bu faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Kaynatılacak malzemenin cinsi ve kalınlığı,
- Elektrotun bileşimi,
- Kullanılan akım tipi,
- Kullanılan koruyucu gaz,
- Elektrotun, elektrot tutucusunun dış kısmında kalan boyu,
- Akım türü ve kutuplama,
- Kaynak pozisyonu.

Tablo 4.2: Tungsten elektrotların çaplarına ve tiplerine göre yüklenebildiği akım oranları.

Elektrot (mm)	Çapı	Alternatif Akım (A)		Doğru Akım (A)	
		W	WT	W ve WT	W ve WT
0.5		5-15	5-20	5-20	-
1.0		10-60	15-80	15-80	-
1.6		50-100	70-150	70-150	10-20
2.4		100-160	140-235	150-250	15-30
3.2		150-210	220-325	250-400	25-40
4.0		200-275	300-425	400-500	40-55
4.8		250-350	400-525	500-650	55-80
6.4		325-425	500-700	650-800	80-125

TIG kaynakta iyi sonuç alınması için elektrotların uç kısımları arkın düzgün olarak oluşması için önemlidir. Elektrotların uç şekilleri imal edildiği tungstenin cinsine göre; konik şekilde, yarı küresel biçimde ve tam küresel biçimde hazırlanır.

DC ve negatif polariteyle kaynak yaparken elektrot noktası daha dar ve daha derin nüfuziyet profili sağlanması için daha konsantre bir arka sahip olunabilmesi açısından konik olmalıdır. Konik uç, genelde toryum alaşımlı tungsten elektrotların imalatında kullanılır. Yarı ve tam küresel uçlar genellikle saf veya zirkonyum alaşımlı tungsten elektrotların imalatında kullanılır. Bu elektrotlar da genellikle AC akımlarda kullanılır.

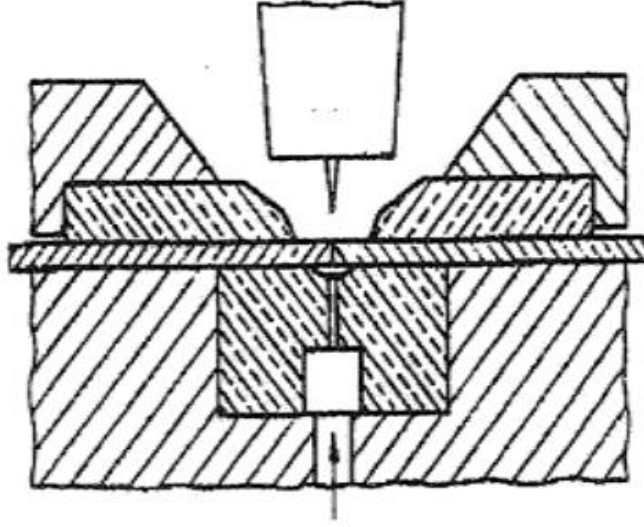
4.2.4 Dolgu Teli

TIG kaynağında dolgu metali seçimi, öncelikle kaynak yapılan metalin cinsine göre belirlenir. Dolgu metali kaynak edilecek parçanın kaynak ağzını besler ve çok daha verimli alaşım transferi oluşturur. Böylelikle kaynak, metalinin kompozisyonu üzerinde kontrol sağlar (Modenesi, 2000).

4.3 TIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gaz Sistemi

TIG kaynağında koruyucu gaz, kaynak banyosunu ve tungsten elektrotun hava ile temasını keserek havanın olumsuz etkilerinden korumaktır. TIG kaynağında genellikle argon ve helyum gazları ya da bu iki gazın karışımı kullanılır. Her ikisi de asal gaz olup kaynak bölgesinde herhangi bir kimyasal ve hava ile bileşik oluşturmazlar. Ayrıca argon-hidrojen ve argon-azot karışımı koruyucu gaz olarak kullanılabilir. Kullanılan koruyucu gazın saflığı da kaynak kalitesini etkilemektedir. Hafif metal ve alaşımlarının kaynağında argonun saflık oranı %99,99 olması istenir. Argon gazının saflık oranı artması, kaynak dikiş yüzeyinin temiz ve parlak görünüm olmasını sağlar (Anık, 1997).

Helyum gazı, kalın parçaların ve yüksek hızda yapılan kaynaklarda tercih edilir. Ancak helyum gazı havadan hafif olması, koruma kabiliyetini olumsuz etkiler. Argon gazında ısıyı kontrol altında tutmak kolaydır. Elle yapılan TIG kaynaklarında argon gazı tercih edilmelidir. Östenitik paslanmaz çelik, krom-nikel, titanyum ve



Şekil 4.5: Kök koruması için koruyucu gaz şeması (Demirtaş, 2013).

4.4 Akım Türü Ve Kutuplama Şekli

Akım türü ve kutuplama, nüfuziyet formuna doğrudan etki eder. Şekil 4.6’da akım türü, kutup türü ve elektrot formuna bağlı olarak nüfuziyet formları gösterilmiştir.

- a) Doğru akım (negatif kutup)
- b) Doğru akım (pozitif kutup)
- c) Alternatif akım
- d) Sivri uçlu elektrot
- e) Küt uçlu elektrot



Şekil 4.6: Akım türü, kutup türü ve elektrot formuna bağlı olarak nüfuziyet formları (Anık, 1997).

TIG kaynağı kural olarak doğru akımla kaynaklanır. Ancak alüminyum, magnezyum ve bunların alaşımları gibi hafif metaller alternatif akımla kaynaklanır. Negatif kutup, diğer bir söyleyişle soğuk kutuptur; bu nedenle kaynak sırasında tungsten elektrotun akım yüklenebilirliği ve dayanıklılığı pozitif kutulanmasına göre negatif kutulanması durumunda çok daha yüksektir. Alternatif akım kullanım halinde tungsten elektrotun akım yüklenebilirliği, doğru akımda negatif kutuplanmadaki değerine erişemez fakat pozitif kutuplanmaya göre birkaç kat daha yüksektir (Ertürk, 2010).

5. DENEYSEL METOD VE YÖNTEM

Bu çalışmada AZ31B-H24 magnezyum alaşımının TIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Kaynak yöntem parametrelerinin ve malzemenin mekanik ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir.

Kaynaklı birleştirmelerin mekanik dayanımları mikro sertlik ölçümleri ve çekme testi ile kaynaklı birleştirme bölgelerinin mikro yapıları optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) ve X-ışınları kristalografisi (XRD) yöntemlerinin nasıl yapıldığı hakkında detaylı bilgi verilecektir.

5.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri

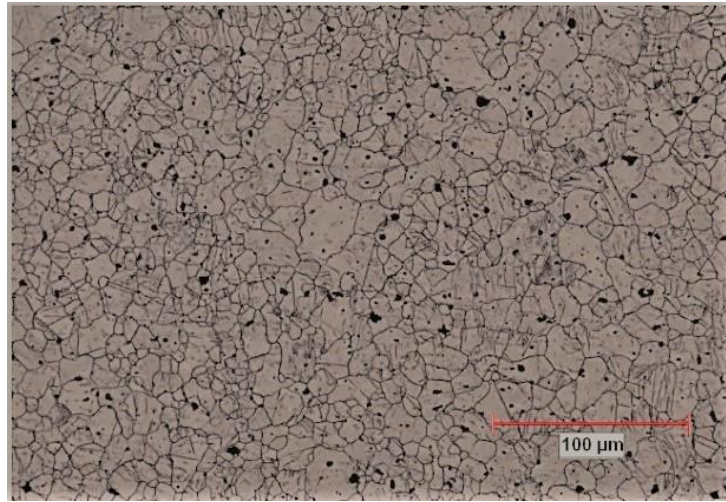
Soğuk haddeleme yöntemi ile 3.20 mm kalınlığında üretilmiş olan ve AMS 4377 kodlu havacılık sanayisinde yaygın olarak kullanılan AZ31B-H24 magnezyum levhaları kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kaynak ilave teli, 2.43 mm kalınlığında AMS 4395 kodlu AZ92A magnezyum alaşımı ilave metal kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin mekanik özelliği ve mikroyapısı deneylerle tespit edilmiştir. Malzemenin literatürden alınan kimyasal bileşimi Tablo 5.1’de, testler sonucu elde edilen mekanik özellikleri Tablo 5.2’de ve mikroyapısı Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: AMS 4377 ve AMS 4395 kodlu alaşımların kimyasal bileşimi (% Ağırlık).

Malzeme	Al	Mn	Zn	Si	Cu	Ni	Fe	Mg
AMS 4377	3,2	0,42	1,03	0,0190	0,0008	0,0006	0,0020	Kalan
AMS 4395	9,0	0,15	2,0	0,050	0,050	0,0050	0,0050	Kalan

Tablo 5.2: AZ31B alaşımının mekanik özellikleri.

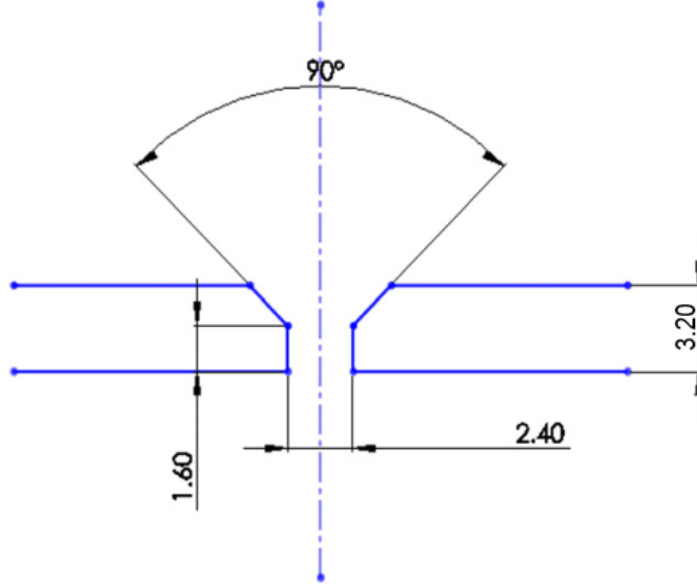
Özellikler	AZ31B-H24
Çekme Mukavemeti (MPa)	268
Akma Dayanımı (MPa)	200
Kopma Uzaması (%)	15
Sertlik (HV)	57



Şekil 5.1: AZ31B-H24 ana metal mikroyapı görünümü.

5.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Kaynak işlemi için, 400x600x3.20 mm boyutlarında bulunan levhaları 100x120x3.20 mm boyutlarında Su Jeti Kesim yöntemi ile kesilmiştir. Plaka yüzeyi krom kaplama olmasından dolayı kaynak öncesi, kaynak edilecek alın yüzeylerini frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Deney numuneleri, A ve B olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. A grup numunelerine TS EN ISO 9692-2 standardına uygun olarak kaynak ağzı açılmıştır. Kaynak ağzı ölçüleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir. B grubundaki numunelerin ise kaynak ağzı açılmadan kaynak işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.2: Kaynak ağzı ölçüleri.

5.3 Deneyde Kullanılan Kaynak Makinesi

Deney numunelerin kaynağı, 1’inci Hava İkmal Bakım Fabrika Müdürlüğünde bulunan kaynak tesislerinde TS EN ISO 9606-2 yeterliliğine sahip uzman kaynak personeli tarafından, Tablo 5.3’de özellikleri görülmekte olan Lincoln Elektrik Precision TIG 375 makinasında yapılmıştır.

Tablo 5.3: TIG kaynak makinesinin teknik özellikleri.

Marka	Model	Beslenme Gerilimi	Şebekeden Çekilen	Kaynak Akımı	Akım Aralığı
Lincoln Elektrik	Precision TIG® 375	220/415V-1Faz-50/60	119/69/63 A	375 A/35 V	2-420 A (OCV maks 80 V)

5.4 Deneyde Kullanılan Koruyucu Gaz Özellikleri

Yapılan literatür çalışmaları incelemesi sonucu, deney numunelerinin kaynağında koruyucu gaz olarak, %99,999 saflık oranına sahip Argon gazı kullanılmıştır. Kaynak kökünün hava ile temasını kesmek için kök altlığı kullanılarak bir banyo emniyeti oluşturulmuştur. Şekil 5.3’de kök koruyucu altlık gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Deneyde kullanılan kök koruyucu altlık.

5.5 Deney Parçalarının Birleştirilmesi

Kaynak ağız açılmasının kaynağa etkisini görebilmek için, iki gruba ayrılmış olan parçalara aynı kaynak parametreleri ile birleştirme yapılmıştır. Kaynak öncesi 200°C ön ısıtma işlemi yapılmıştır.

Kaynak işlem parametrelerini optimizasyonu elde edebilmek için, değişkenler arasındaki ilişkileri gözlemlenmiştir. Koruyucu gaz debisinin kaynak ilerleme hızına olan etkisi ve kaynak akım değişiminin kaynak ilerleme hızı ile gaz debisine olan etkisi incelenmiştir.

Literatür incelemelerinden edinilen bilgiler göz önüne alınarak kaynak parametreleri belirlenmiştir (Czerwinski, 2011). Ön çalışmalar sonucunda kaynak akım değeri, 100A akımdan daha düşük ve 160A akımdan daha yüksek akımlarda doğrulama testleri yapılmamıştır. 100A akım altından kaynak havuzunda oluşan ısı yetersizliğinden dolayı başarılı olmamıştır. 160A akım üzerinde ise kaynak ısı girdisinin artışı ile kaynaklanamamıştır. Kaynak işlemlerinde koruyucu gaz çeşidi, akım tipi ve ilave metal sabit tutulmuştur. Birleştirilen tüm parçaların kaynak parametreleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3: Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri.

Numune	Akım	Kaynak Hızı,	Gaz Debisi, lt/dak
A1	110	50	15
A2	110	60	
A3	120	50	
A4	120	60	
A5	130	80	
A6	130	80	20
A7	130	90	
A8	130	100	
A9	140	80	
A10	140	90	
A11	150	90	
A12	160	100	
B2	100	40	10
B3	110	50	15
B4	110	50	
B5	110	60	
B6	120	50	10
B7	120	50	15
B8	120	60	
B9	130	70	
B10	130	70	20
B11	130	80	

5.6 Kaynak Edilen Parçaların Mekanik ve Metalografik Testleri

Kaynak işlemi sonrası göz ile yapılan muayenede çatlak, görülebilir gözenekler, birleştirme hataları, yetersiz kaynak nüfuziyet yönünden kontrol edilmiştir. Göz muayenesi sonrası tahribatsız muayeneye yöntemlerinden olan Radyografik Muayene (RT) işlemine tabii tutulmuştur.

Tahribatsız muayene kontrolleri sonucu başarılı olan numuneler, TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak Su Jeti Kesim yöntemiyle çekme testi ve mikroyapı incelemeleri için kesilmiştir.

Kaynak yapılan numunelerin kaynak başlangıcı ve bitiminden itibaren 25 mm'lik kısımları kesme işlemine dahil edilmemiştir. Bunun nedeni, kaynak başlangıcı ve bitiminde kaynak esnasında oluşabilecek kusurlu bölgelerin oluşması ihtimali sebebiyle bu bölgeler kullanılmamıştır.

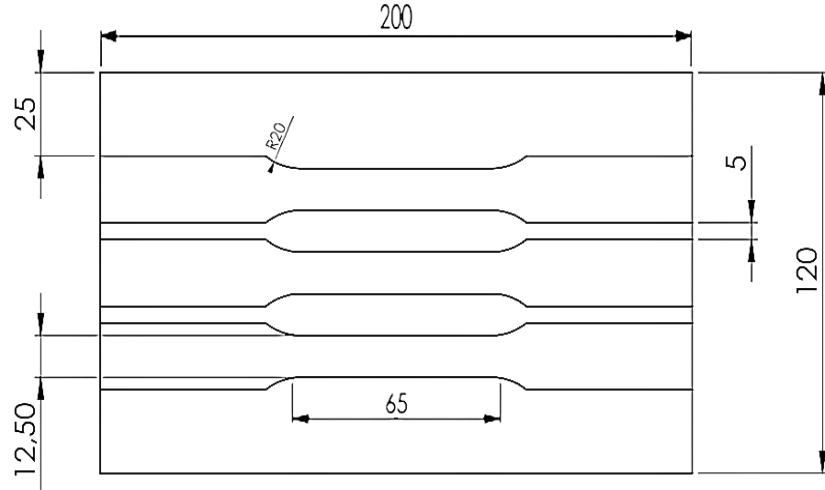
5.6.1 Çekme Deneyi

AZ31B-H24 magnezyum levhaların çekme testleri, Balıkesir Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde “Zwick / Roell Z250” test cihazı kullanılmıştır. Çekme testleri, çekme kapasitesi 10 kN ve çene hızı 2 mm/dak uygulanarak yapılmıştır.

Çekme testi uygulanacak numuneler TS EN ISO 6892-1 standartına göre çekme işlemine tabii tutulmuştur. Şekil 5.4'de standartta uygun hazırlanmış olan çekme numunesi gösterilmiştir. Şekil 5.5'de ise kaynak edilen parçalardan test için alınan numunelerin çıkarılma yerleri gösterilmiştir.



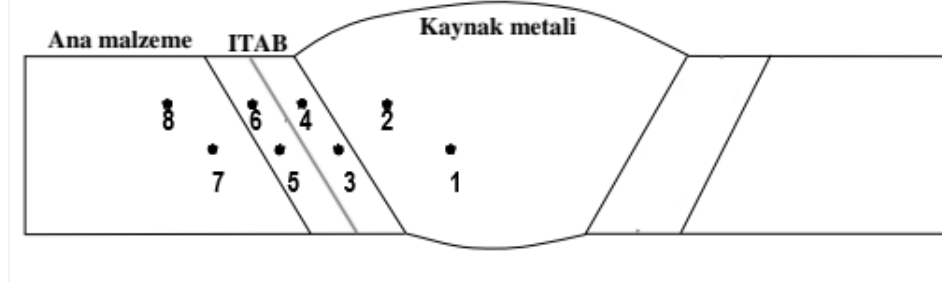
Şekil 5.4: TS EN ISO 6892-1 standartına göre hazırlanmış test numunesi.



Şekil 5.5: Kaynaklı plakalardan deney parçalarının çıkarılma planı.

5.6.2 Mikrosertlik Ölçümleri

Kaynak yapılan levhaların sertlik ölçümleri için Metkon MH-6 mikrosertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri için kaynak kesitinden 3.2x20 mm ölçülerinde alınan numunelerin orta ekseninde mikrosertlik ölçümleri yapılarak, bölgeler arasındaki değişimi incelenmiştir. Kaynak ortasından itibaren tek taraftan, ince ve kaba taneli ITAB bölgelerinde ve içyapı değişikliğine uğramamış ana malzemedan ikişer adet olmak üzere toplam 8 noktadan mikrosertlik ölçümü yapılmıştır. Alınan numunelerin 3.2 mm kalınlığındaki yüzeylerine mikroyapı incelemelerinde belirtilen zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır. Vickers sertlik ölçümü metodu kullanılmış ve ölçüm esnasında 2 kg'lık yükleme ve 10 s süre kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Şekil 5.6'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.6: Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı noktaların şematik gösterimi.

5.6.3 Mikroyapı İncelemeleri

Kaynaklanan deney numunelerinde, kaynak ve ITAB bölgesinde oluşan mikroyapı değişimlerini incelemek amacıyla mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Metalografik inceleme için kesilen parçalar 25x10 mm boyutlarında bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler sırasıyla 240, 480, 600, 800, 1200 ve 2000 gritlik zımparalarla zımparalama işlemi yapılmıştır. Sonrasında sırasıyla 3 µm ve 1 µm alimüna pasta ile keçede parlatılarak dağlanmaya hazır hale getirilmiştir. Parlatılan numuneler, %4,2'lik Asetic-picral (10 ml asetik asit, 4,2 g pikrik asit, 10 ml saf su ve 70 ml etanol) dağlayıcısı ile dağlanarak metalografik incelemeye hazır hale getirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri Leica DM2700 M optik mikroskobunda yapılmıştır.

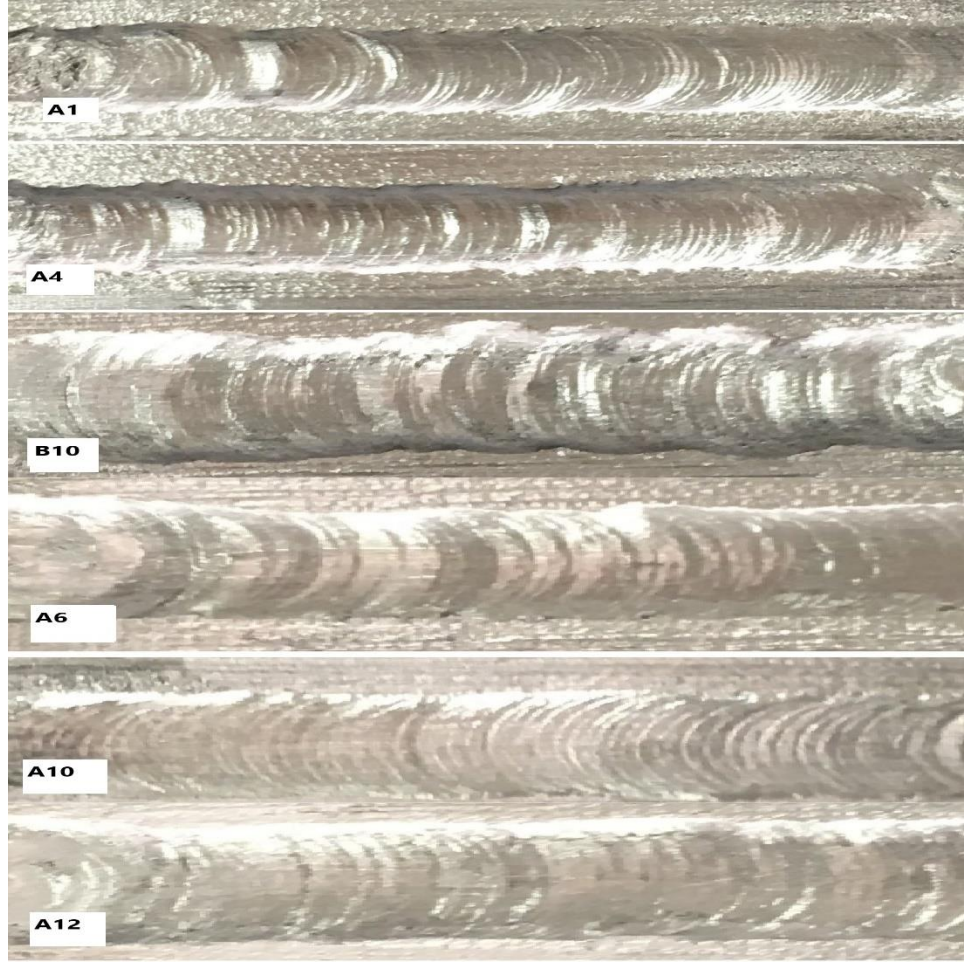
Taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) ve X-ışınları kristalografisi (XRD) analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölüm laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

6. BULGULAR

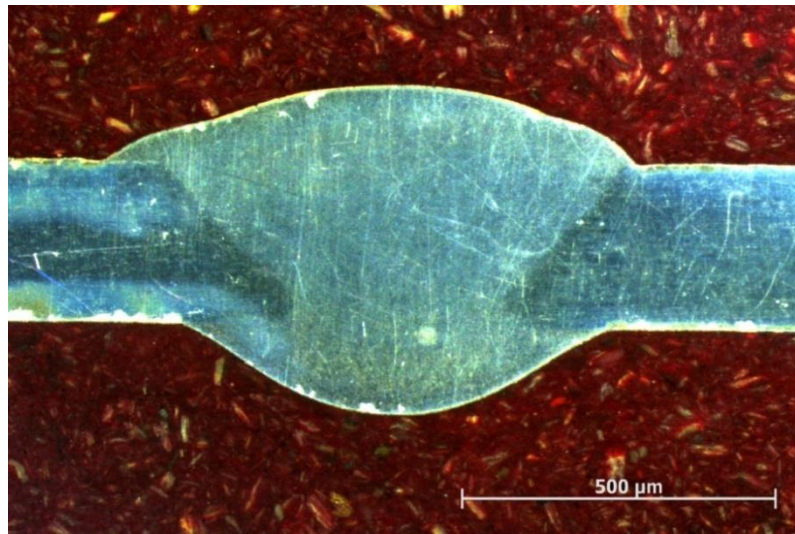
TIG kaynağı ile yapılan kaynak numuneleri çıplak gözle bakıldığında herhangi bir çarpılmaya rastlanmamıştır. Kaynak yüzeyi gaz debisinin düşük olması durumunda oksit kalıntıları olduğu görülmüştür. Kaynak esnasında sadece üstten koruyucu gaz verildiğinde, numunenin alt yüzeyinde çarpılmalar ve yanmalar olduğu gözlenmiştir. Kaynak dikiş genişliği, kaynak hızı ile ters orantılı, akım ile doğru orantılı olduğu söylenebilir.

Kaynak akım değeri 100 A den daha düşük akım ile kaynaklama denemesinde, yeterli sıcaklığa ulaşılmadığından ergime olmadığı ve kaynak hızını çok düşürdüğü gözlemlenmiştir. Kaynak dikişinde ilave metalin katı halde kalıntıları tespit edildi. Akım değerinin 160 A üzerine çıktığında ise kaynak havuzunda oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle kaynaklama yapılamamıştır. Bu nedenle 100 A'in altında ve 160 A'in üzerindeki akım ile yapılan çalışmalar incelemeye tabi tutulmamıştır.

Kaynaklama işlemi başarılı olan numunelerin parametrelere göre değişen dikiş yüzeyleri Şekil 6.1'de ve numunenin makro kesit görünümü Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

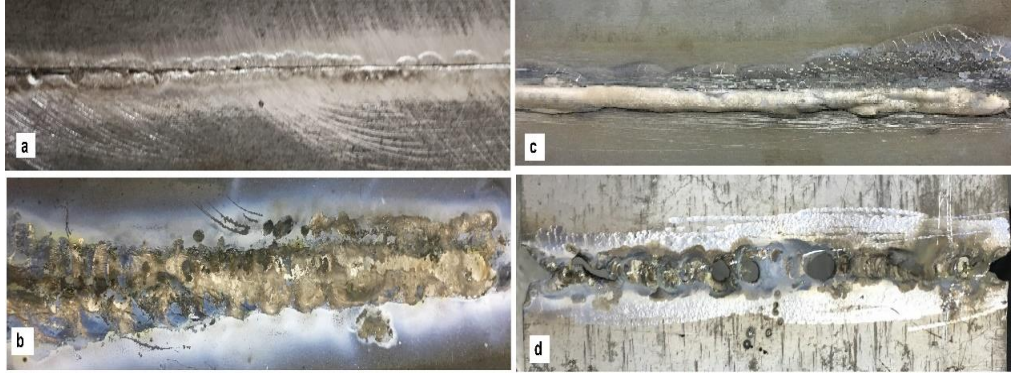


Şekil 6.1: A1, A4, A6, A10, A12 ve B10 numunelerinin kaynak yüzey görünümü.



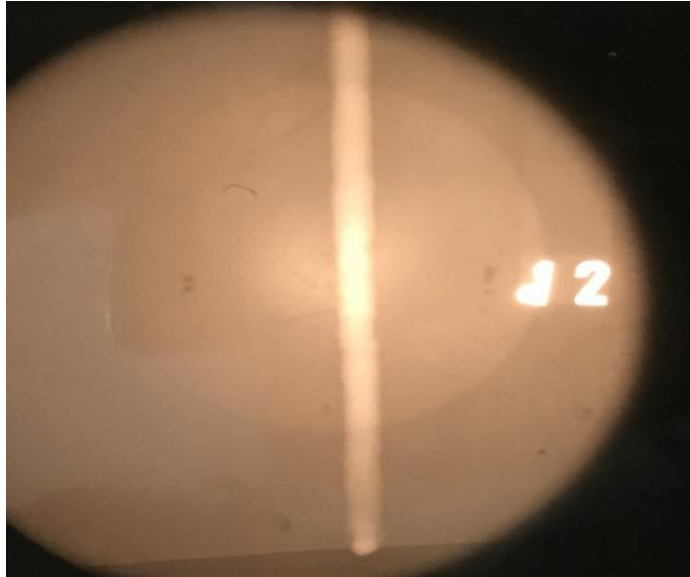
Şekil 6.2: Kaynaklı numunenin makro görüntüsü.

Kaynak alışmaları esnasında karşılaşılan hatalı kaynak işlemleri Şekil 6.3'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3: Hatalı kaynaklar a. Akım değeri düşük b. Çift yönlü koruyucu gaz kullanılmadığında c. Koruyucu gaz debisi düşük d. Akım değeri yüksek.

Göz ile muayene sonrası, herhangi bir kusur gözlemlenmemiş numunelerden bazıları tahribatsız muayeneye yöntemlerinden Radyografik Muayene (RT) işlemine tabii tutulmuş ve Şekil 6.4'de gösterilmiştir. RT işlemi yapılan kaynak numunelerinde, hatalı kaynakla karşılaşılmamıştır.

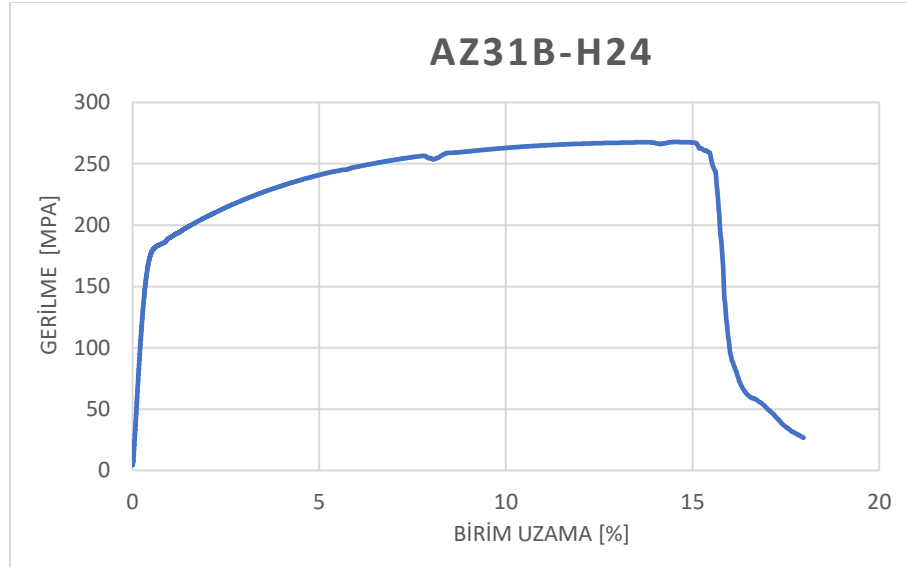


Şekil 6.4: Kaynaklı numunenin RT görüntüsü.

6.1 Çekme Deney Sonuçları

TIG kaynağı ile birleştirilen numunelerin, dayanım değerlerini belirleyebilmek için çekme mukavemetleri ölçülmüştür.

Kaynaklı numunelerin çekme testleri öncesi, ana malzeme TS EN ISO 6892-1 standartına uygun olarak hazırlanıp çekme testine tabii tutulmuştur. Kaynaksız numunenin çekme mukavemeti 268 MPa olarak ölçülmüştür. Şekil 6.5’de çekme deneyinde elde edilen gerilme şekil değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 6.5: AZ31B Mg alaşımına ait çekme gerilme grafiği.

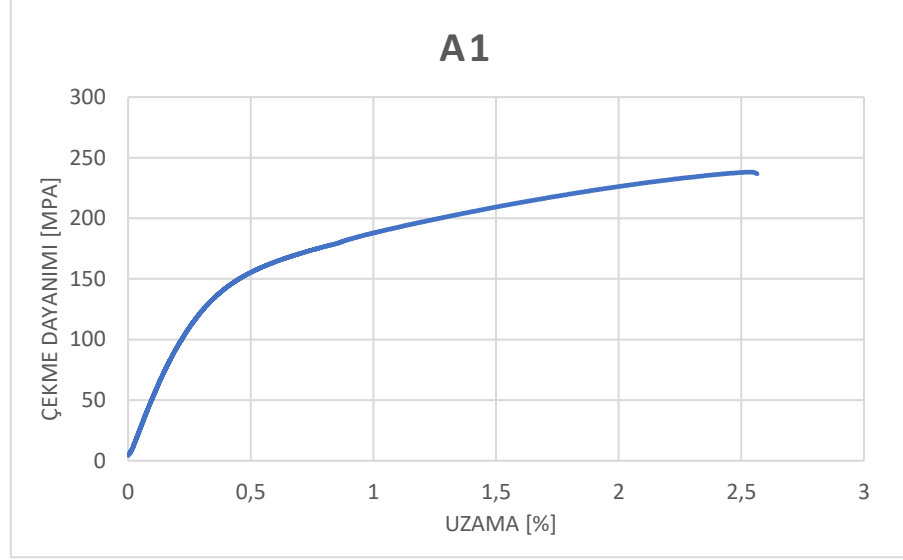
TIG kaynağı yöntemi ile birleştirilen numuneler, kaynak yönüne dik olarak TS EN ISO 6892-1 standartına göre hazırlanıp çekme deneyleri uygulanmıştır. Her numuneden üç kez tekrarlanan çekme deneylerinin ortalaması alınmış ve çekme mukavemet sonucu olarak kabul edilmiştir. Tüm numunelere ait çekme grafikleri ve tüm kaynak parametreleri ile yapılan çekme testleri sonucu elde edilen dayanım değerleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: Kaynak parametreleri ve çekme mukavemeti değerlendirmesi.

Numune	Akım	Kaynak	Gaz	Çekme	Kopma	Mukavemet
A1	110	50	15	238,128	2,083	88,8537
A2	110	60	15	228,630	1,343	85,3097
A3	120	50	15	244,766	4,181	91,3306
A4	120	60	15	248,003	2,074	92,5384
A5	130	80	15	246,046	4,573	92,4396
A6	130	80	20	256,512	5,848	95,7134
A7	130	90	20	248,667	2,253	92,7862
A8	130	100	20	230,666	1,633	86,1429
A9	140	80	20	230,666	1,623	86,0694
A10	140	90	20	235,586	1,963	87,9052
A11	150	90	20	225,784	1,954	84,2478
A12	160	100	20	217,735	3,593	81,2444
B2	100	40	10	108,329	0,197	40,4213
B3	110	50	10	162,684	1,108	60,7030
B4	110	50	15	215,709	3,271	80,4884
B5	110	60	15	173,443	1,182	64,7175
B6	120	50	10	221,095	3,631	82,4981
B7	120	50	15	240,979	1,798	89,9175
B8	120	60	15	235,586	1,963	87,9052
B9	130	70	15	241,568	1,957	90,1373
B10	130	70	20	247,738	4,647	92,4396
B11	130	80	20	233,794	1,653	87,2366

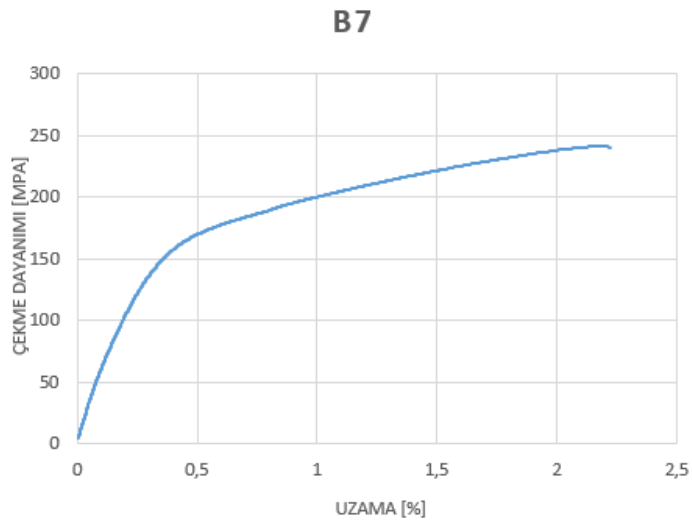
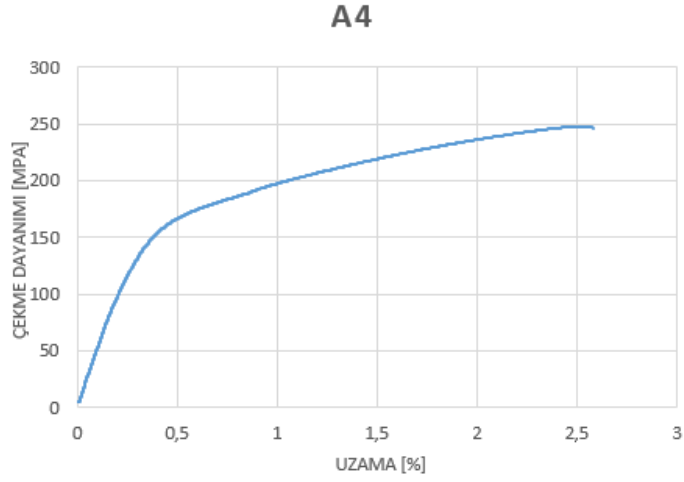
Çekme testi sonuçları incelendiğinde 110 A akım değerinde kaynak ağı açılan A1 ve A2 numaralı, B3, B4 ve B5 numunelere uygulanmıştır. Gaz debisi 15 lt/dak 'da ve 50 mm/dak 'da en uygun parametre olduğu görülmüştür. B3 numunesinde uygulanan 10lt/dak gaz debisi, 15 lt/dak olan B4 numunesine göre çekme dayanımı düşürdüğü görülmüştür. 110 A'de en yüksek çekme dayanımı

kaynak ağzı açılmış A1 (50 mm/dak,15 lt/dak) numunesinde 238,128 MPa olduğu görülmüştür. Şekil 6.6'da A1 numunenin çekme dayanım grafiği verilmiştir.



Şekil 6.6: A1 numunesinin çekme dayanım grafiği.

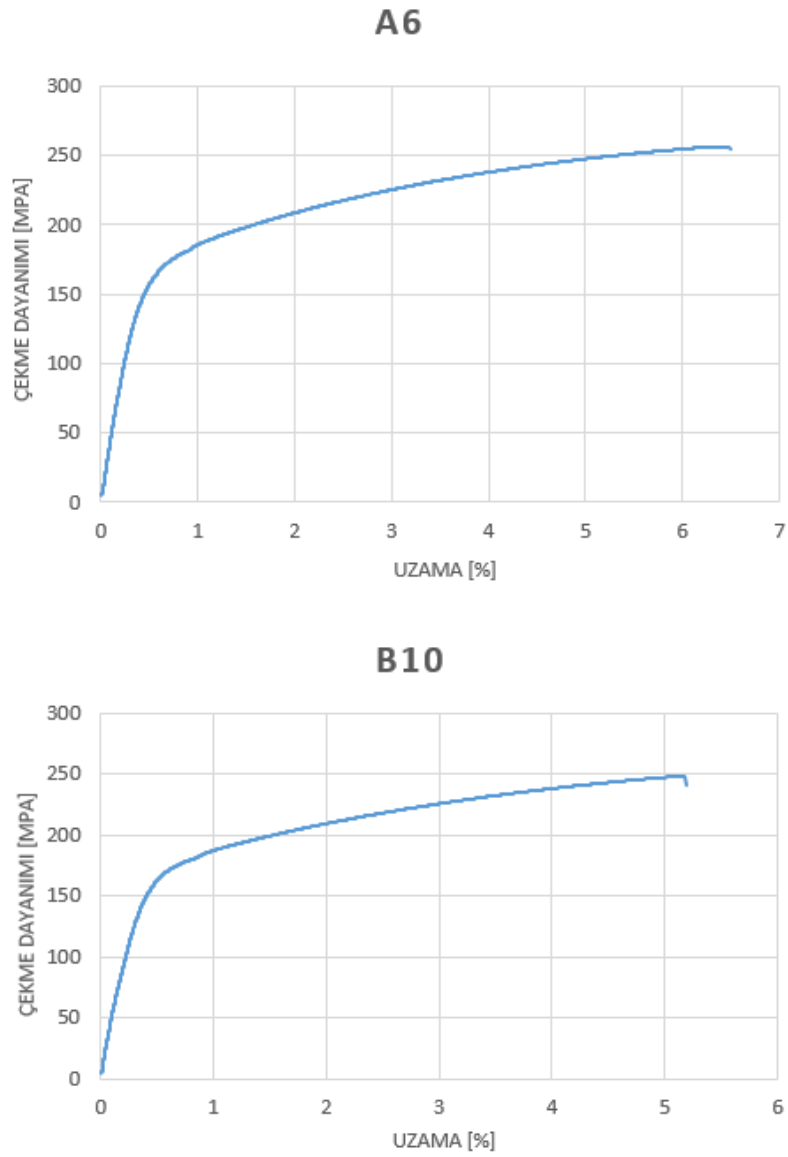
120 A akımda kaynak ağzı açılan A3 ve A4 numuneleri ve B6, B7 ve B8 numunelerine uygulanmıştır. B6 numuneye uygulanan 10 lt/dak olarak uygulanan koruyucu gaz debisi yetersiz koruma sağlamıştır. 15 lt/dak koruyucu gaz debisinde kaynak ağzı açılan A4 numunesi 60 mm/dak ilerleme hızında 248,003 MPa olduğu, B7 numunesi 50mm/dak ilerleme hızında 240,979 MPa çekme dayanımı oluşmuştur. Kaynak ağzının kaynak hızını arttırdığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.7'de A4 ve B7 numunelerinin çekme dayanımı grafiği verilmiştir.



Şekil 6.7: A4 ve B7 numuneleri çekme dayanım grafiği.

130 A akımda kaynak ağzı açılan A5, A6, A7 ve A8 numuneleri ve B9, B10 ve B11 numunelerine uygulanmıştır. Çekme dayanımları en iyi 130 A akım değerinde olduğu gözlemlenmiştir. A6 numunesi 20 lt/dak koruyucu gaz debisi ve 80 mm/dak kaynak hızında 256,512 MPa dayanım ile %95,7134 kaynak performansına ulaşılmıştır. A6 numunesine mukayesen, A7 ve A8 numunesinde, kaynak hızı artışıyla (A7 90 mm/dak, A8 100 mm/dak) çekme dayanımının düştüğü görülmüştür. Koruyucu gaz debisini 15 mm/dak olarak uygulanan A5 numunesinde ise, A6'ya göre çekme dayanım düştüğü görülmüştür.

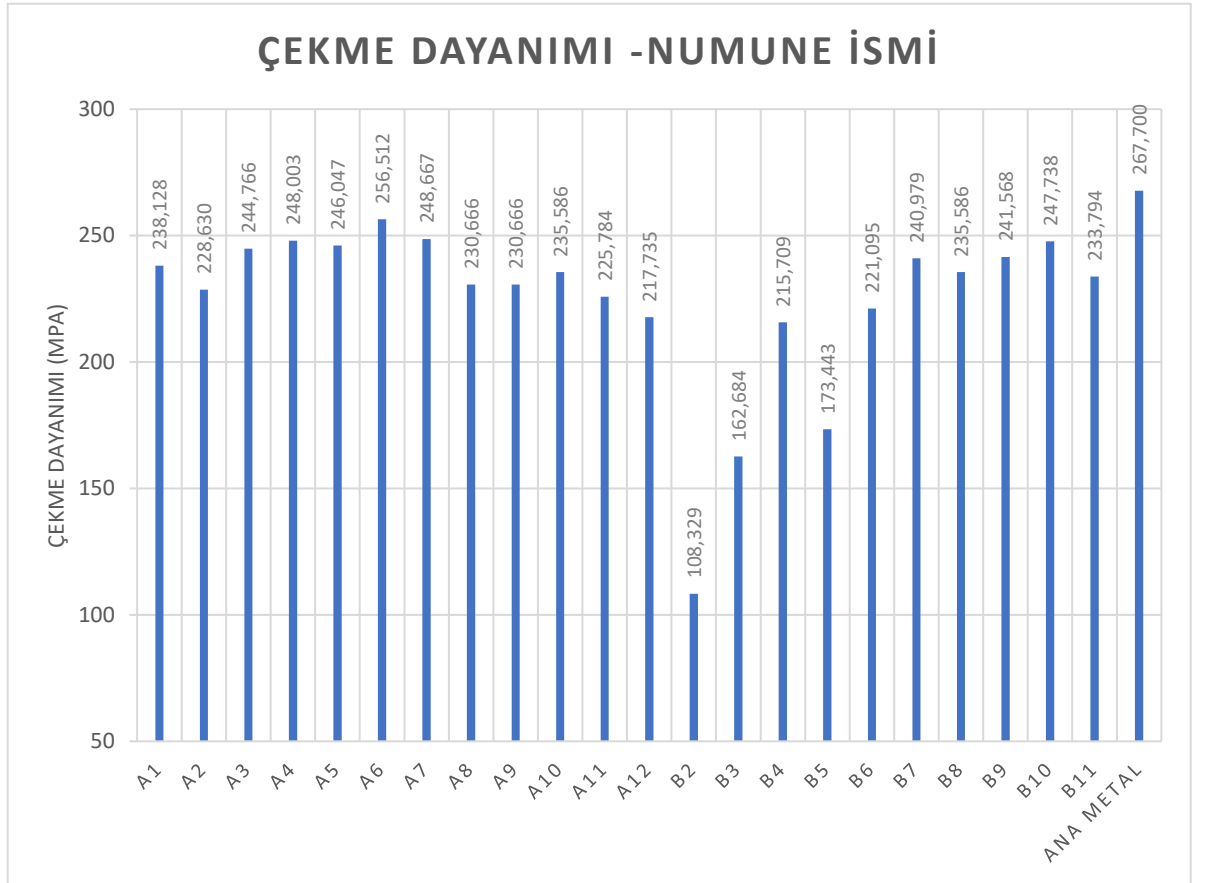
Kaynak ağızı açılmamış B10 numunesinde, 20 lt/dak koruyucu gaz debisi ve 70 mm/dak kaynak hızında 247,738 MPa dayanım değeri ile %92,4396 mukavemet performansına ulaşılmıştır. B10 numunesine mukayese edebilmek maksadıyla gaz debisini 15 lt/dak 'da uygulanan B9 ve kaynak hızını 80 mm/dak 'da uygulanan B11 numunelerinde çekme dayanımının düştüğü görülmüştür. Şekil 6.8'de A6 ve B10 numuneleri çekme dayanım grafiği verilmiştir. Çekme dayanım - birim uzama (σ/ϵ) grafikleri incelendiğinde kaynak ağızı açılmış A6 ve kaynak ağızı açılmamış B10 numunelerinde dayanım değerlerinin yüksek olması yanında % uzama değerlerinin diğer kaynaklı parçalara göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.8: A6 ve B10 numuneleri çekme dayanım grafiği.

140 A akım değeri ile uygulanan A9 ve A10 numunelerinde, 130 A akım değerine göre çekme dayanımı düştüğü ve kaynak dikişinin genişlediği Şekil 6.1’de görülmektedir. 150 A ve 160 A akım değerinde kaynaklama denemeleri yapılmıştır. Kaynak havuzunda sıcaklığın çok yükselmesi kaynak uygulamalarını zorlaştırmıştır ve dayanım değerlerini düşürmüştür.

Tüm numunelerin çekme testlerinin dayanım değerleri Şekil 6.10’da grafik olarak verilmiştir.



Şekil 6.9: Numunelerin çekme dayanımı grafiği.

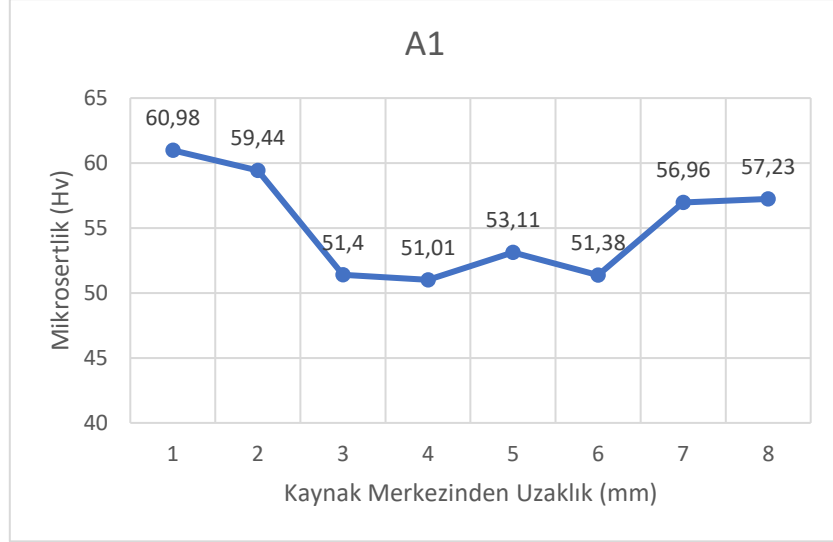
Genel olarak çekme test sonuçları incelendiğinde en düşük dayanım değerlerinin kaynak ağzı açılmamış numunelerde, kaynak akımı düşük olacak şekilde kaynaklanmış parçalarda gözlemlenmiştir. Bu kaynaklı parçalarda aynı zamanda % uzama değerleri de düşüktür. Akım değerlerinin 130 A 'i geçtiği durumlarda ise ısı girdisinin yüksek olması nedeni ile kaynak havuz genişliğinin kontrolü sağlanamamış ve dayanım değerleri düşmüştür. Kaynak ağzı açılması ile de hem kaynak hızı artmış hem de daha yüksek dayanım değerlerine ulaşılmıştır. Gaz debisinin düşük olması durumunda koruma tam sağlanamadığı için dayanım değerlerinde düşüşler gözlemlenmiştir.

6.2 Mikrosertlik Sonuçları

Vickers mikrosertlik test cihazı kullanılarak kaynak bölgesindeki kaynak boyunca sertlik ölçümleri yapılmıştır. Vickers mikrosertliği kaynağın enine kesitinin kaynak merkezinden ana malzemeye doğru ölçülür. Bu çalışmada ana metalin ortalama mikro sertliği 57HV0,2/10 (57HardnessVickers, 0,2 kg yük altında, 10 saniye bekleme süresi) olarak ölçülmüştür.

Çekme deney sonuçları göz önünde bulundurularak A1, A4, A6, A10, A12 ve B10 numunelerine mikrosertlik uygulaması yapılmıştır. B grup numunelerinden B10 numunesini almamızın nedeni, en iyi çekme dayanımına ulaştığımız 130 A akım değerinde kaynaklanan A6 ile mukayese edebilmek içindir.

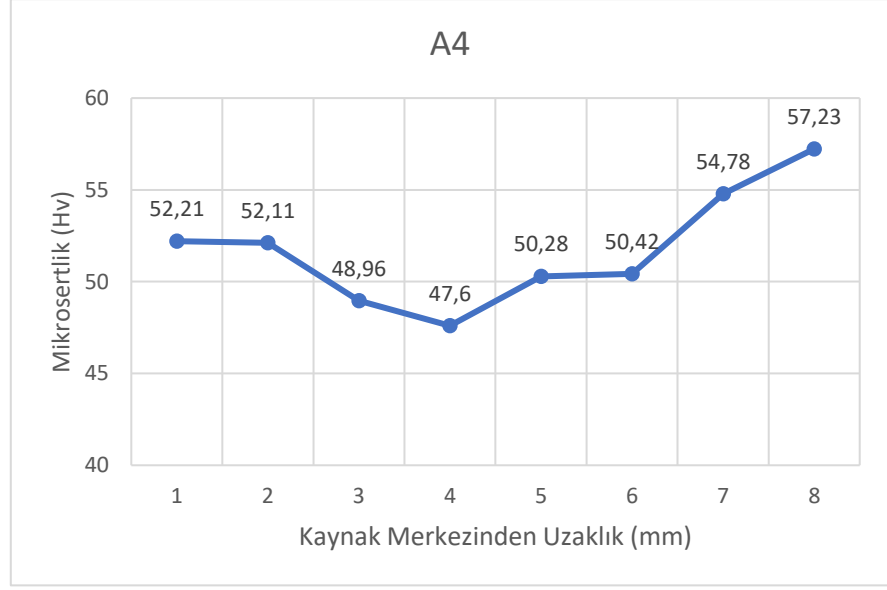
110 A akım, 15 lt/dak koruyucu gaz debisi ve 50 mm/dak kaynak hızında birleştirilen A1 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10: A1 numunesinin mikrosertlik değerleri.

A1 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde en yüksek mikrosertlik değerinin 60,98 Hv olarak kaynak bölgesinde, en düşük mikrosertlik değerinin ise 51,01 Hv olarak kaba taneli ITAB bölgede olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesi sertlik değeri, ana malzememizin sertlik değerinden daha yüksektir. Kaynak bölgesinde sertlik artışı fazla olmuştur.

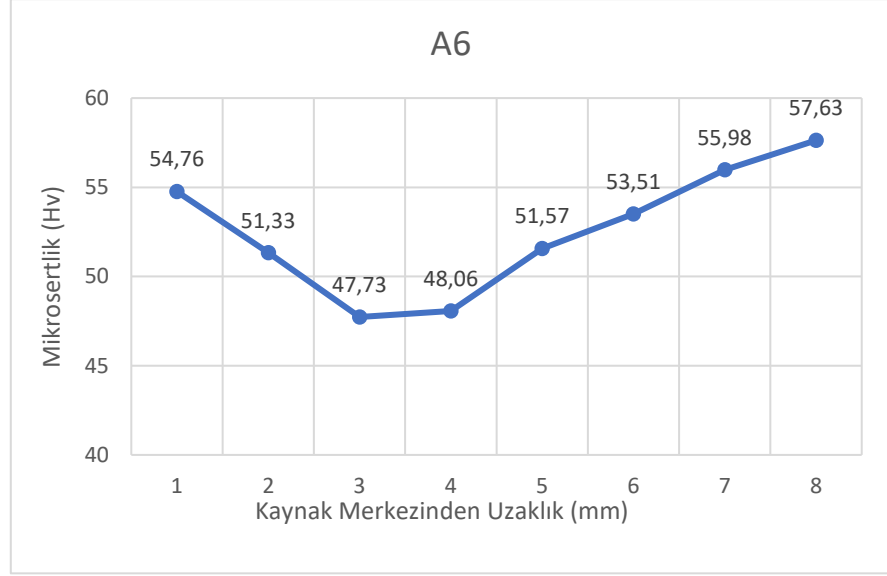
120 A akım, 15 lt/dak koruyucu gaz debisi ve 60 mm/dak kaynak hızında birleştirilen A4 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 6.11’de verilmiştir.



Şekil 6.11: A4 numunesinin mikrosertlik değerleri.

A4 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde kaynak merkezinde en yüksek mikrosertlik değerinin 52,21 Hv olarak, en düşük mikrosertlik değerinin ise 47,06 Hv olarak kaba taneli ITAB bölgede olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesinde sertliğin düştüğü gözlenmiştir. A1 numunesine göre sertlik değişim değerleri birbirine daha yakın olduğu ve sertlik değerlerindeki değişimin az olduğu görülmüştür.

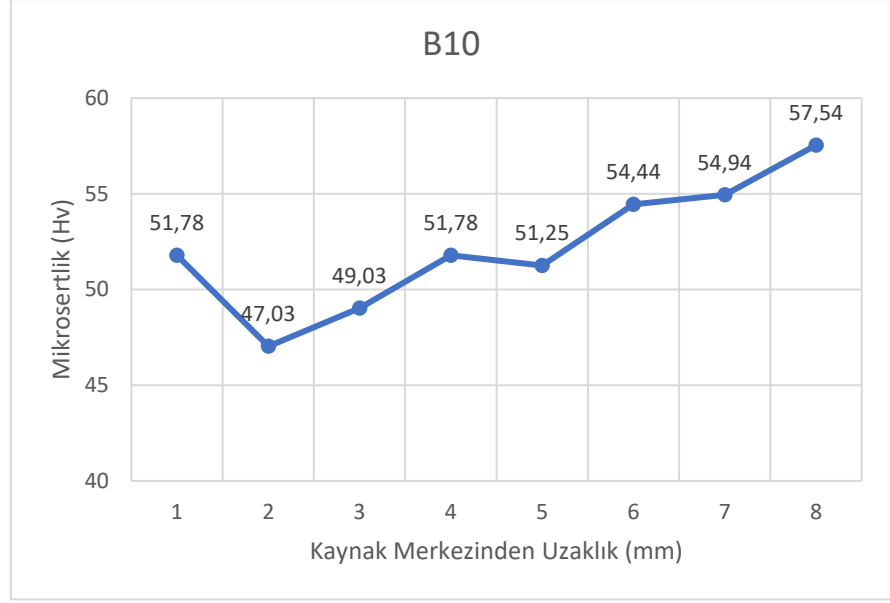
130 A akım, 20 lt/dak koruyucu gaz debisi ve 80 mm/dak kaynak hızında birleştirilen A6 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 6.12’de verilmiştir.



Şekil 6.12: A6 numunesinin mikrosertlik değerleri.

A6 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde kaynak merkezinde en yüksek mikrosertlik değerinin 54,76 Hv olarak, en düşük mikrosertlik değerinin ise 47,73 Hv olarak kaba taneli ITAB bölgede olduğu gözlemlenmiştir.

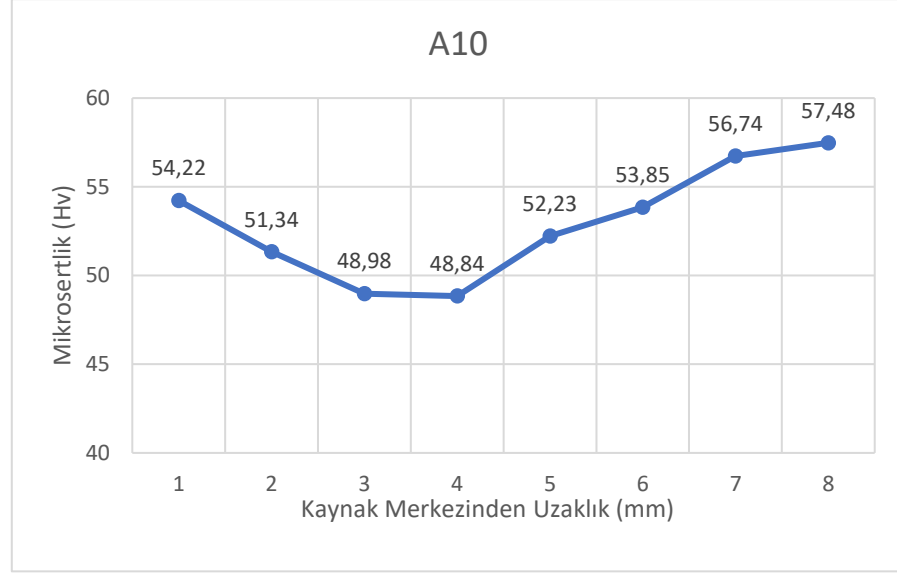
130 A akım, 20 lt/dak koruyucu gaz debisi ve 70 mm/dak kaynak hızında birleştirilen B10 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 6.13’de verilmiştir.



Şekil 6.13: B10 numunesinin mikrosertlik değerleri.

B10 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde kaynak merkezinde en yüksek mikrosertlik değerinin 51,78 Hv olarak, en düşük mikrosertlik değerinin ise 47,03 Hv olarak yine kaynak bölgesinde olduğu gözlemlenmiştir. Aynı akım değeri ile kaynaklanan A6 numunesine göre ITAB bölgesi sertlik değeri daha yüksek, kaynak bölgesinde ise sertlik değeri daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

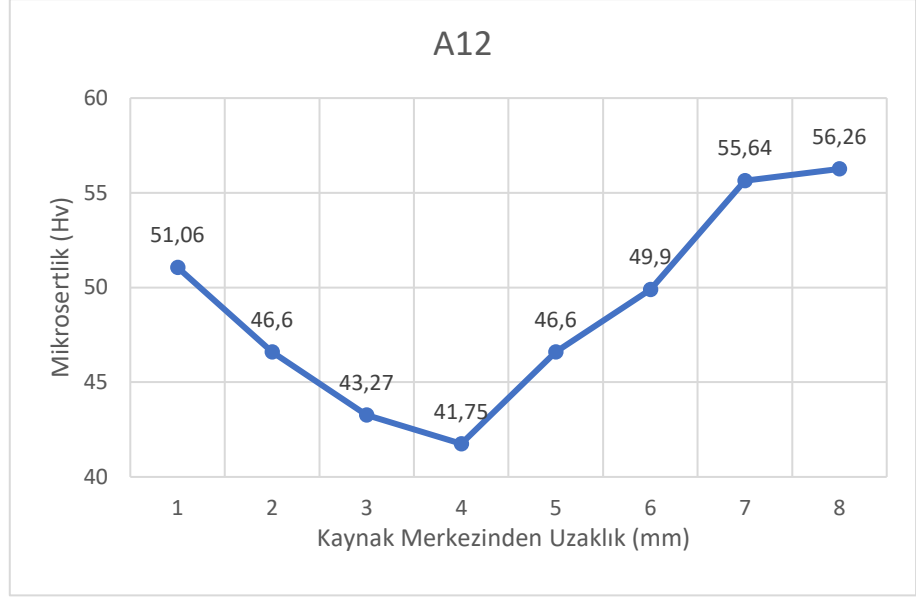
140 A akım, 20 lt/dak koruyucu gaz debisi ve 90 mm/dak kaynak hızında birleştirilen A10 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 6.14’de verilmiştir.



Şekil 6.14: A10 numunesinin mikrosertlik değerleri.

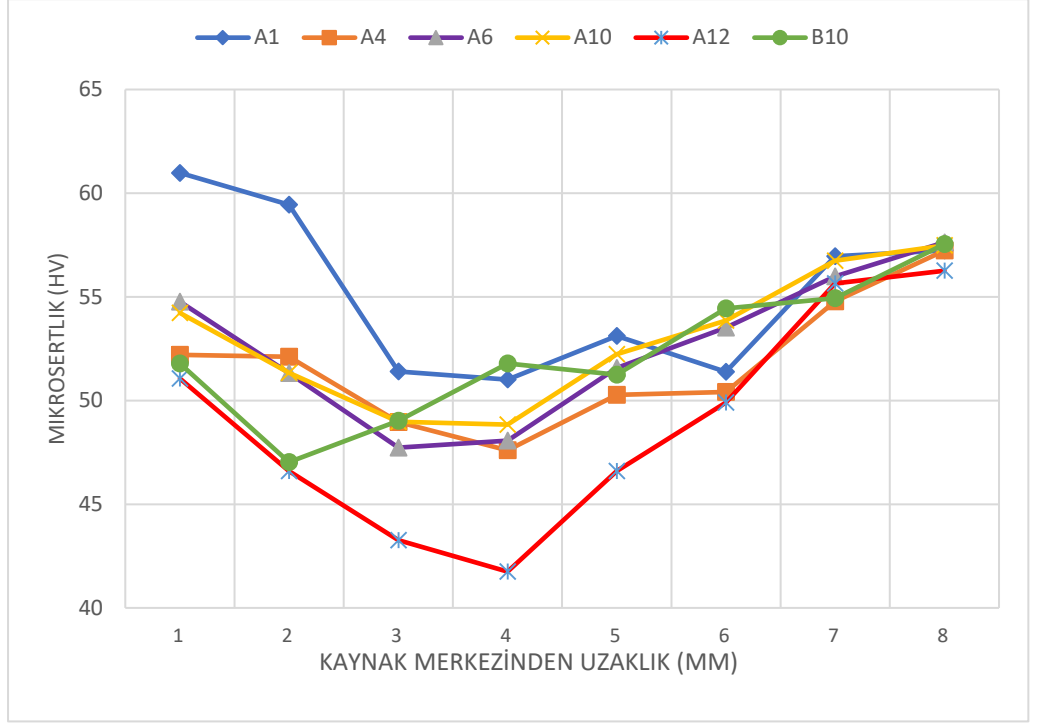
A10 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde kaynak merkezinde en yüksek mikrosertlik değerinin 54,22 Hv olarak, en düşük mikrosertlik değerinin ise 48,84 Hv olarak kaba taneli ITAB bölgede olduğu gözlemlenmiştir. A6 ve B10 numunelerine göre, akım değerinin artışı kaynak bölgesinde sertliği arttırmıştır.

160 A akım, 20 lt/dak koruyucu gaz debisi ve 100 mm/dak kaynak hızında birleştirilen A12 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 6.15’de verilmiştir.



Şekil 6.15: A12 numunesinin mikrosertlik değerleri.

A12 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde kaynak merkezinde en yüksek mikrosertlik değerinin 51,06 Hv olarak, en düşük mikrosertlik değerinin ise 41,75 Hv olarak kaba taneli ITAB bölgede olduğu gözlemlenmiştir. En düşük sertlik değeri ve sertlik değişimlerinin en fazla bu numunede olduğu görülmüştür. Tüm mikrosertlik değişimleri Şekil 6.16'da verilmiştir.



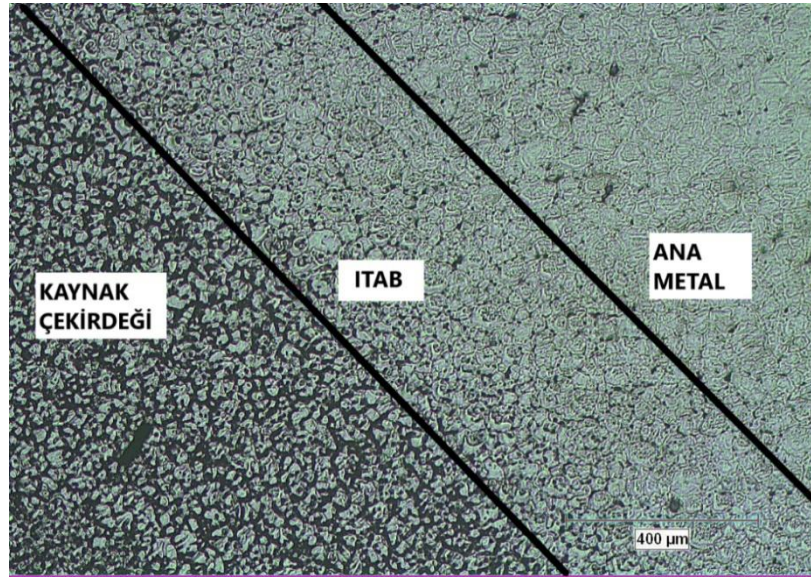
Şekil 6.16: A1, A4, A6, A10, A12 ve B10 numunelerin mikrosertlik dağılımı.

Sertlik ölçüm sonuçları genel olarak incelendiğinde kaynak bölgesine yakın kaba taneli ITAB bölgesinde belirgin sertlik düşüşlerinin olduğu, kaynak bölgesindeki sertlik değerlerinin (A1 hariç) ana malzemenin sertlik değerlerinden daha düşük değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. ITAB bölgesinde ısı tesirinden dolayı iri taneler ve yumuşama olmaktadır. Kaynak içinde oluşan $Al_{12}Mg_{17}$ intermetalik bileşiklerin oluşumu düzensiz sertlik dağılımını oluşturduğu düşünülmüştür. Dayanım değerleri daha düşük olan A1 ve A12 numunelerinde kaynak bölgesi ve çevresindeki sertlik değişimlerinin en fazla olduğu söylenebilir.

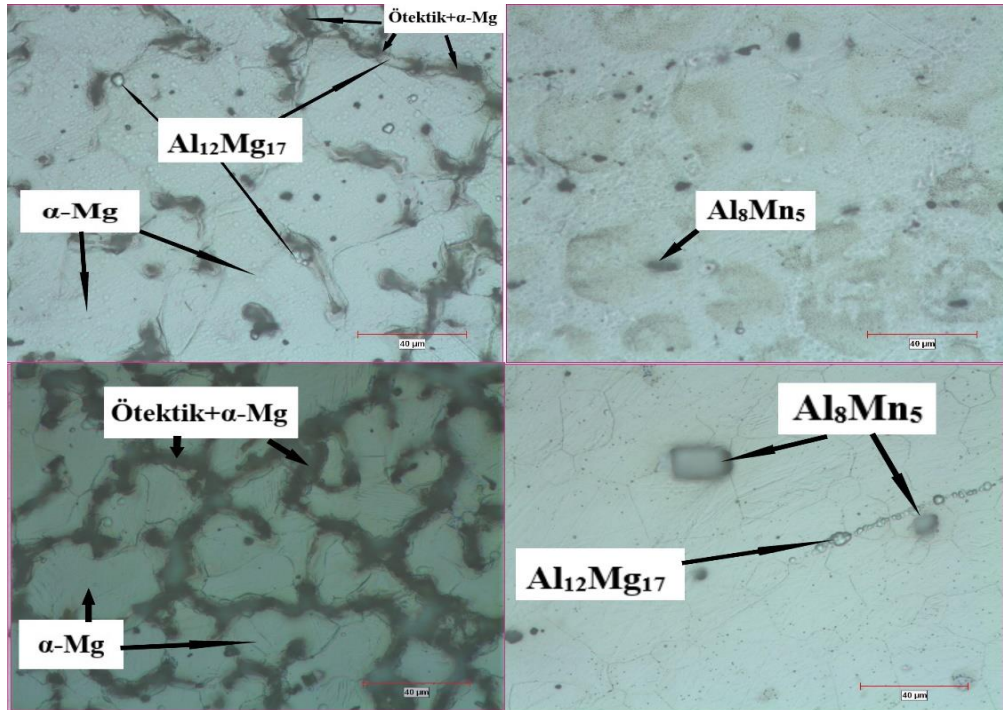
6.3 Mikroyapı Sonuçları

TIG kaynağı yapılan numunelerin ana malzemenin içyapı görüntüsü, ince ve kaba taneli ITAB bölgeleri ve kaynak bölgesi mikroyapıları incelenmiştir. Kaynak bölgeleri arasında mikroyapı değişimleri Şekil 6.17’de gösterilmiştir. Kaynak

bölgeleri arasında mikroyapı farklılıkları belirgin olduğu söylenebilir. Literatür incelemesiyle eşleştirilmiş olan, mikroyapıda görülen fazlar Şekil 6.18’de verilmiştir

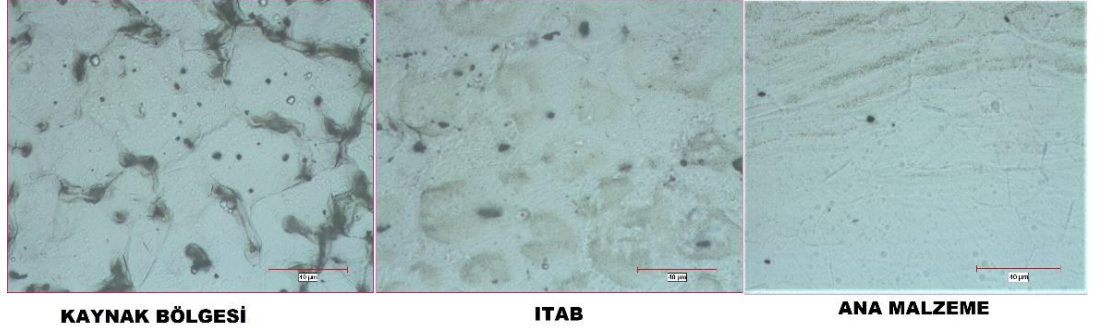


Şekil 6.17: Kaynak numunesinin 400µm’de mikroyapı görünümü.

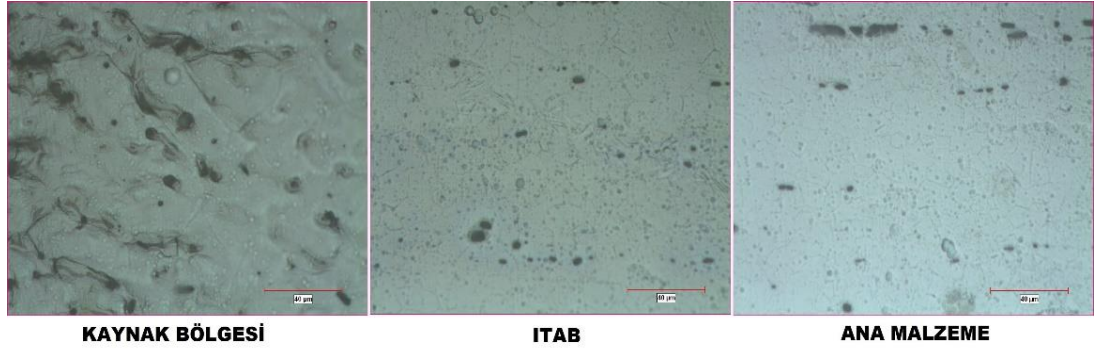


Şekil 6.18: Mikroyapı içinde görülen faz ve bileşikler.

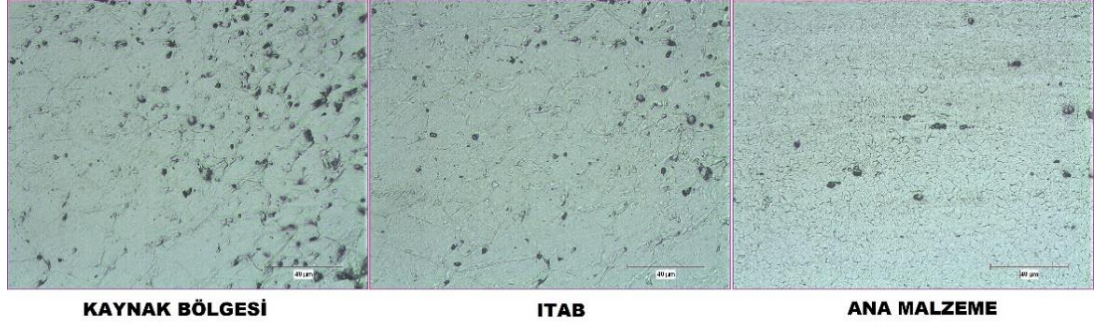
Kaynak ağızı açılmış numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.19-23'de gösterilmiştir. Kaynak ağızı açılmamış numunelerin mikroyapı görüntüleri ise Şekil 6.24-26'da gösterilmiştir.



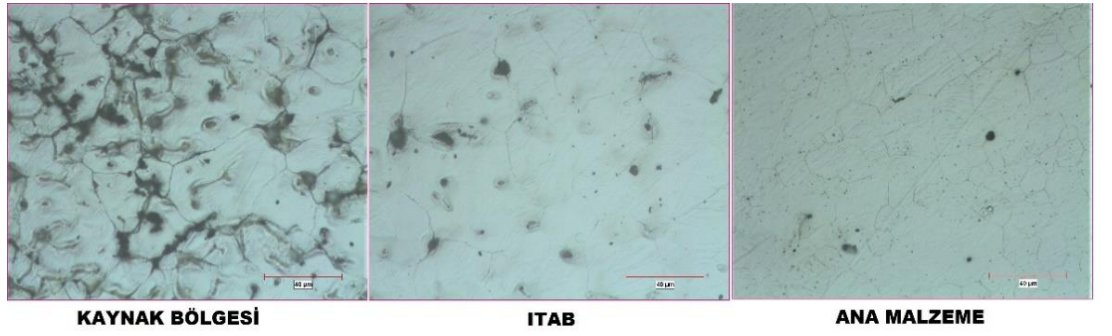
Şekil 6.19: A1 numunesinin mikroyapı görüntüsü.



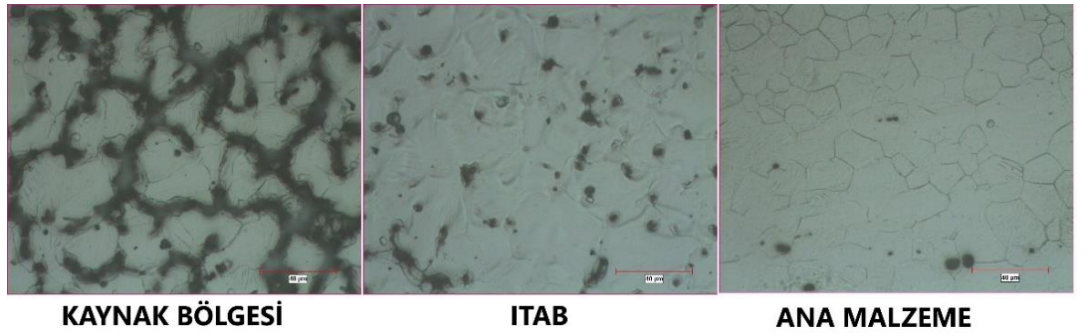
Şekil 6.20: A4 numunesinin mikroyapı görüntüsü.



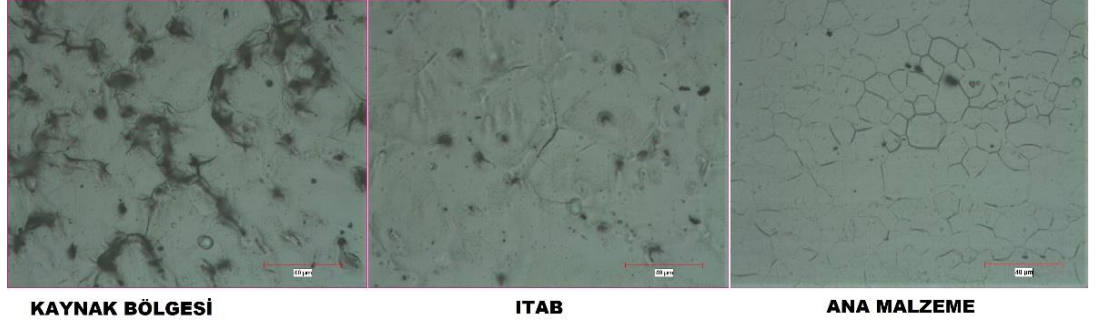
Şekil 6.21: A6 numunesinin mikroyapı görüntüsü.



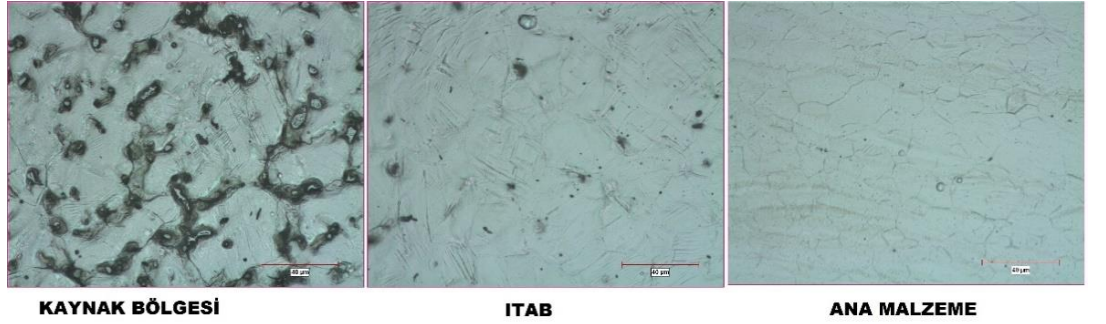
Şekil 6.22: A10 numunesinin mikroyapı görüntüsü.



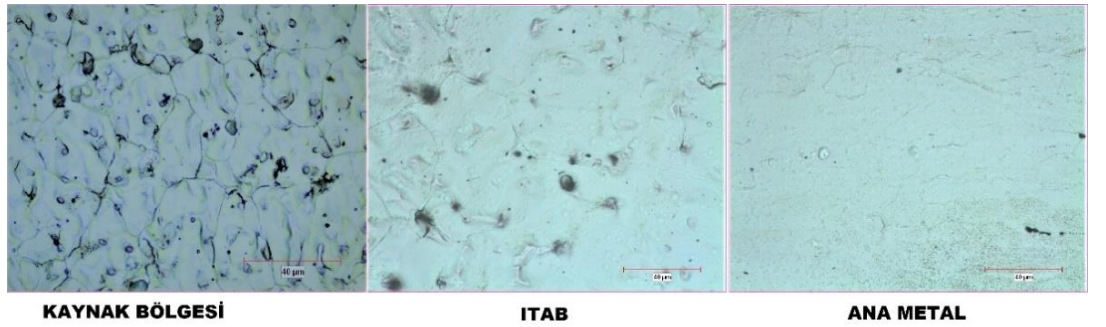
Şekil 6.23: A12 numunesinin mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.24: B7 numunesinin mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.25: B9 numunesinin mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.26: B10 numunesinin mikroyapı görüntüsü.

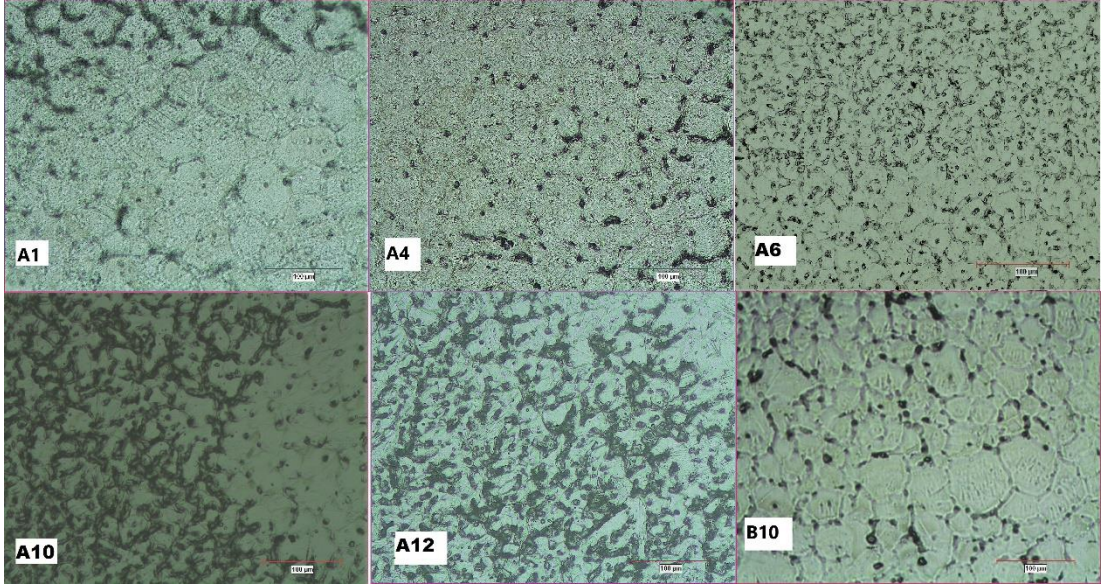
Ana metalin mikroyapısında α -Mg yer yer Al_8Mn_5 bileşiği bulunmaktadır. Kaynak bölgesinde ısı girdisinin artışıyla tane sınırlarında $Al_{12}Mg_{17}$ intermetalik bileşik oluşumunda artış gözlenmiştir. Ayrıca kaba ITAB bölgesinde yer yer intermetalik bileşik oluştuğu gözlenmiştir.

Kaynak parametrelerinin mikroyapı değişimine doğrudan etkilediği görölmüştür. Şekil 6.22-23'de göröldüğü üzere, 140 A akım ve daha yüksek birleştirmelerde, ısı girdisi artışı nedeniyle kaynak içinde bileşik oranın arttığı ve bileşiklerin düzensiz olarak Ötektik+ α -Mg ve $Al_{12}Mg_{17}$ oluştuğu söylenebilir. Şekil 6.19'da A1 numunesine ait mikroyapıda göröldüğü üzere, 110 A akım ve daha düşük birleştirmelerde, yetersiz ısı girdisi meydana geldiği ve düzensiz yer yer bileşiklerin oluştuğu gözlenmiştir. Bu durumun ani sertlik değişimlerine sebep olduğu söylenebilir.

En iyi çekme mukavemeti 130A akım değerinde kaynak ağzı açılan A6 numunesinde sağlanmışır. Şekil 6.21'de A6 numunesinin mikroyapısı ile aynı akım değerinde kaynak ağzı açılmayan Şekil 6.26'da B10 numunesinin mikroyapılarını mukayese ettiğimizde, B10 numunesinin ITAB bölgesinde daha iri taneli yapı oluştuğu gözlenmiştir. Benzer durum Şekil 6.20'de A4 ile Şekil 6.24'de B7 numunelerin mikroyapıları için de geçerlidir. Kaynak ağzı açılmayan numunelerin kaba taneli ITAB bölgesinde tane yapısı, kaynak ağzı açılan numunelere göre daha büyük taneli olduğu gözlemlendi. Daha önce de belirtildiği gibi kaynak ağzı açılmamış parçalarında kaynak hızı daha düşüktür. Bu da daha fazla ısı girdisi ve tane irileşmesine sebep olmuştur. Bu durumdan dolayı da, kaynak ağzı açılmamış numunelerin daha düşük çekme dayanımına sahip olduğu söylenebilir.

130A akımda ve 70mm/dak ilerleme hızında, gaz debisi 15lt/dak B9 numunesinin Şekil 6.25'de ve gaz debisi 20lt/dak B10 numunesinin Şekil 6.26'da mikroyapısı ile mukayese ettiğimizde, B9 numunesinde intermetalik fazların düzensiz olarak arttığı gözlemlenmiştir. B10 numunesine göre B9 numunesi çekme dayanımı (241,568 MPa) düşüktür.

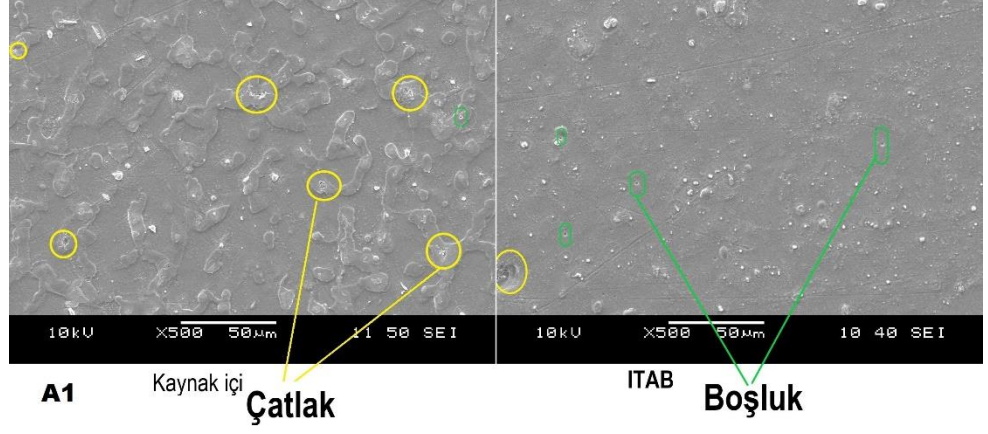
A1, A4, A6, A10, A12 ve B10 numunelerin kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri arasındaki fark Şekil 6.27'de gösterilmeye çalışılmışır.



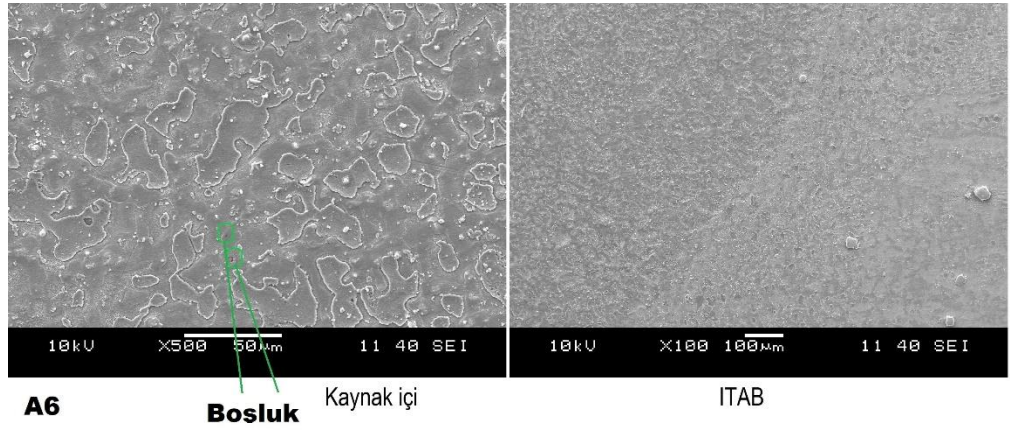
Şekil 6.27: A1, A4, A6, A10, A12 ve B10 numunelerin kaynak içi mikroyapı görüntüleri.

6.4 SEM-EDS ve XRD Analiz Sonuçları

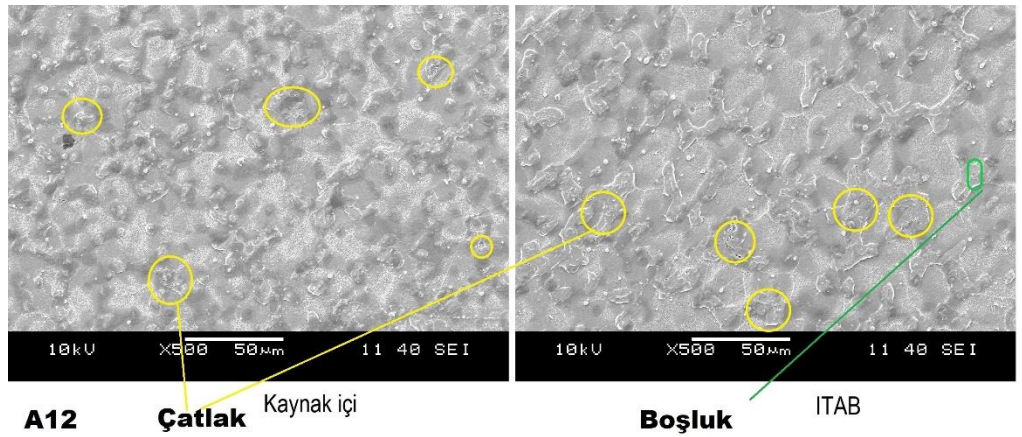
A1, A6, A12 ve B10 numunelerinin SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Şekil 6.28-31'de numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde en yüksek akım değerine sahip A12 numunesinde kaynak içi ve ITAB bölgesinde çatlak oluştuğu görülmektedir. A1 numunesinde kaynak içinde çatlaklar ve ITAB bölgesinde mikro boşluklar mevcuttur. En iyi dayanım değerine sahip A6 numunesinde kaynak içinde çatlak oluşmadığı, ancak mikro boşluk ile karşılaşmıştır.



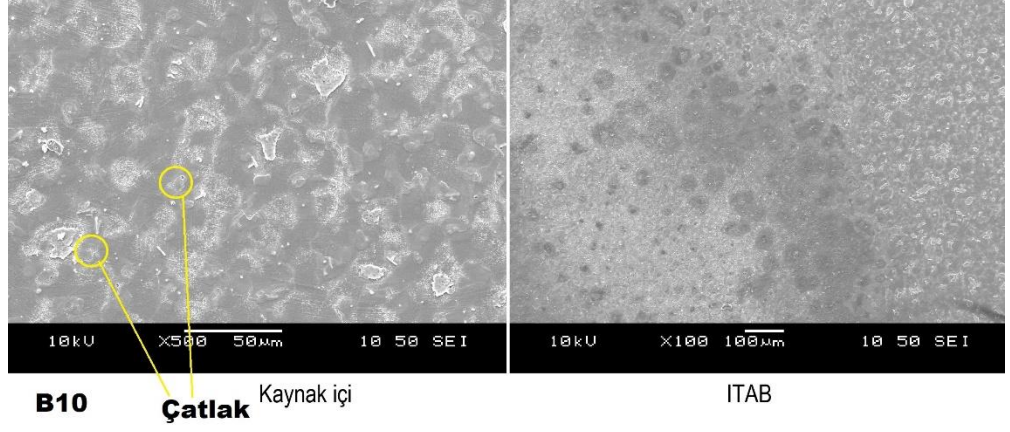
Şekil 6.28: A1 numunesinin SEM görüntüsü.



Şekil 6.29: A6 numunesinin SEM görüntüsü.

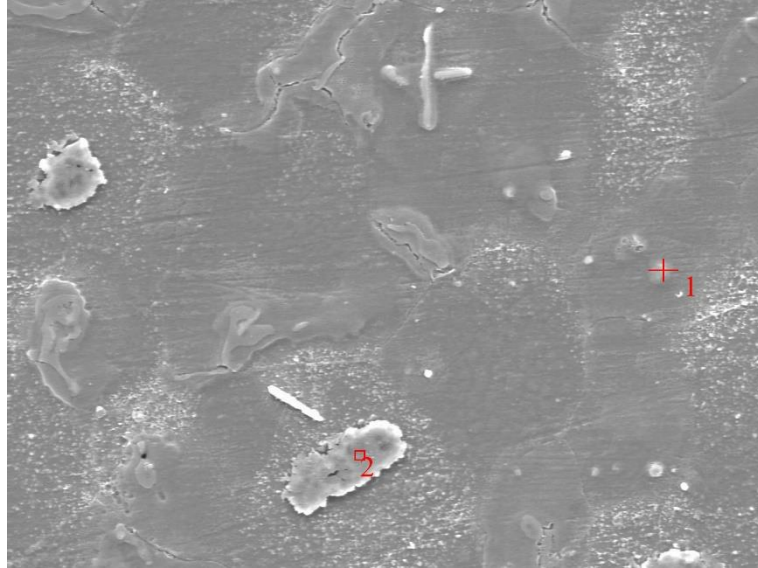


Şekil 6.30: A12 numunesinin SEM görüntüsü.

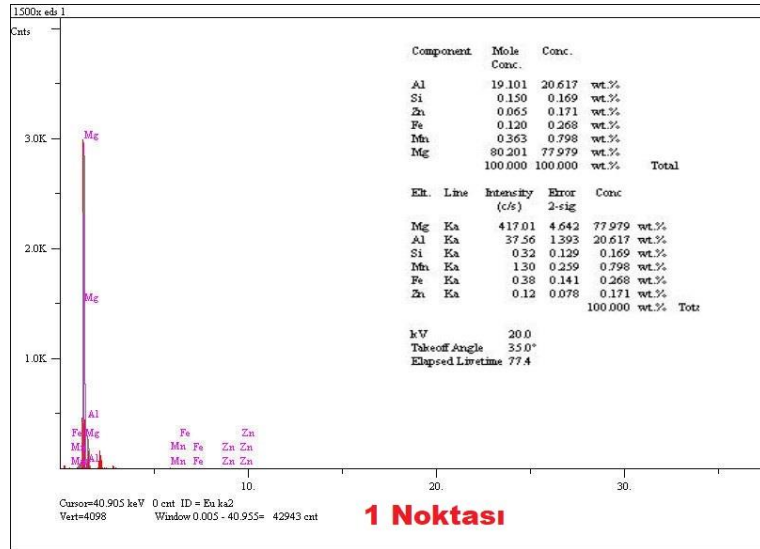


Şekil 6.31: B10 numunesinin SEM görüntüsü.

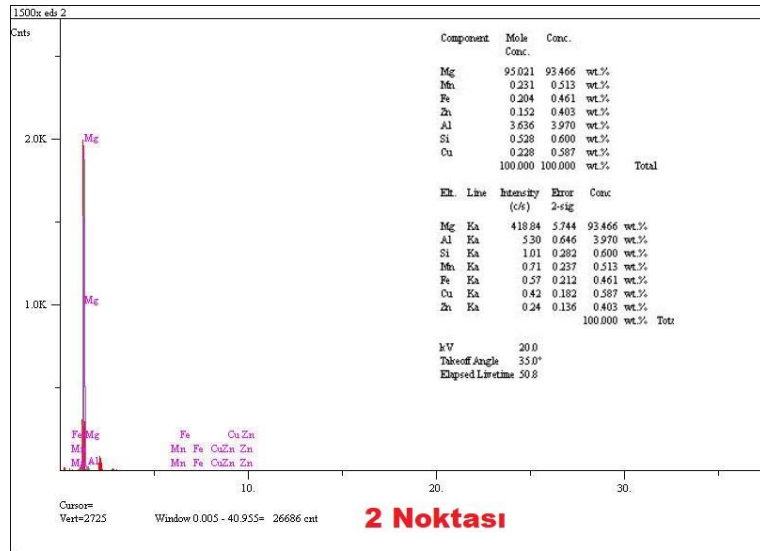
A1, A6, A12 ve B10 numunelerinin kaynak bölgelerinden noktasal EDS analizleri Şekil 6.32-45’de verilmiştir.



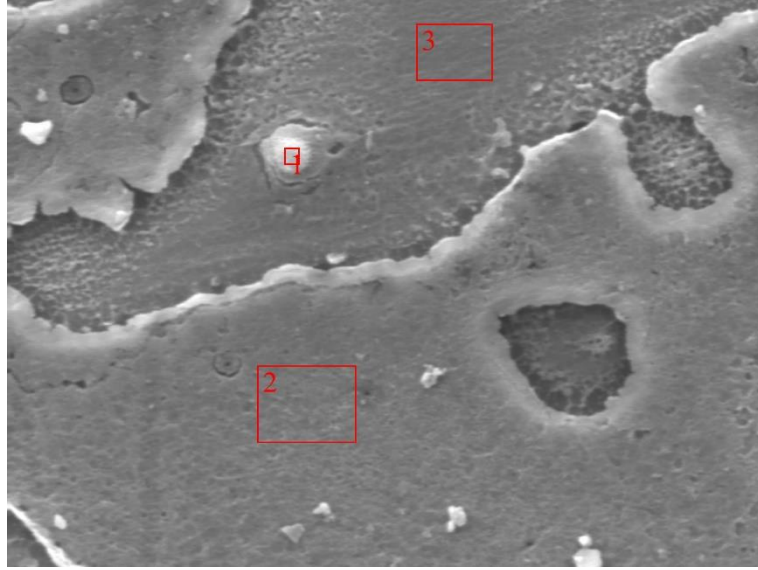
Şekil 6.32: A1 numunesinin EDS analiz noktaları.



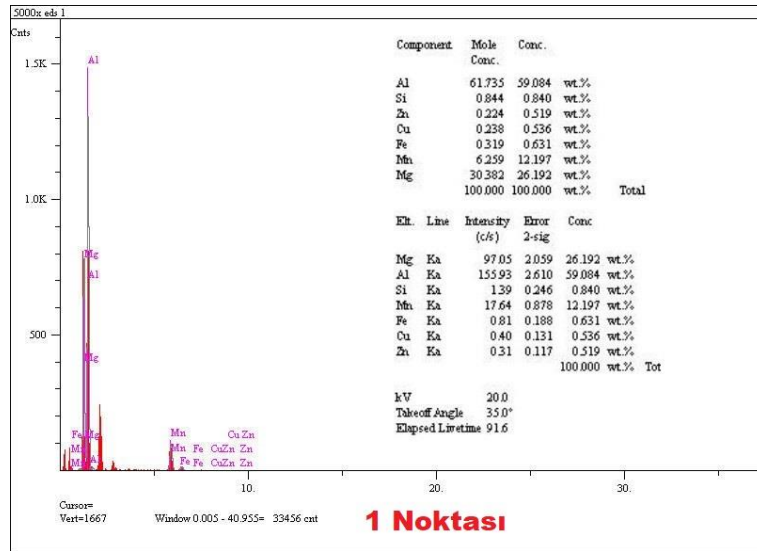
Şekil 6.33: A1 numunesinin 1 noktasına ait noktasal analizi.



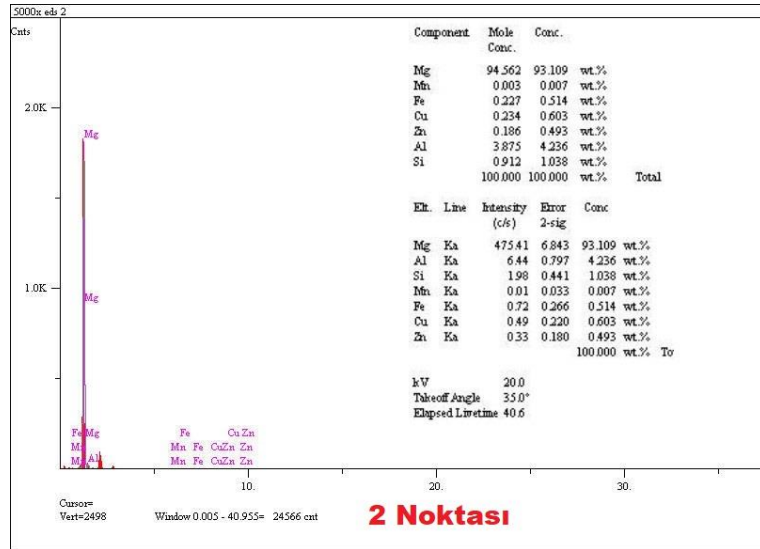
Şekil 6.34: A1 Numunesinin 2 noktasına ait noktasal analizi.



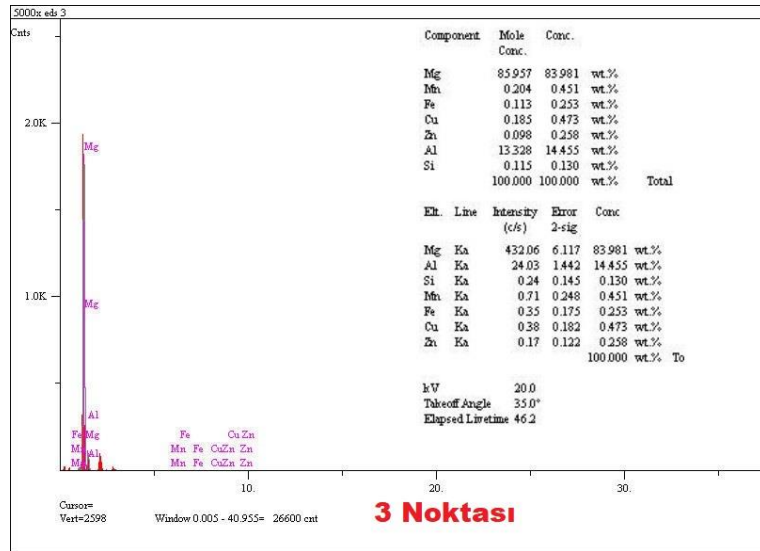
Şekil 6.35: A6 numunesinin EDS analiz noktaları.



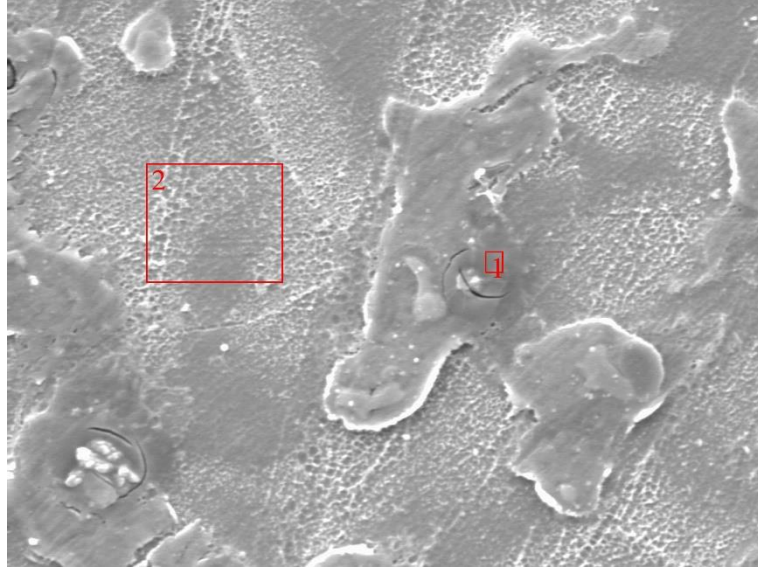
Şekil 6.36: A6 numunesinin 1 noktasına ait noktasal analizi.



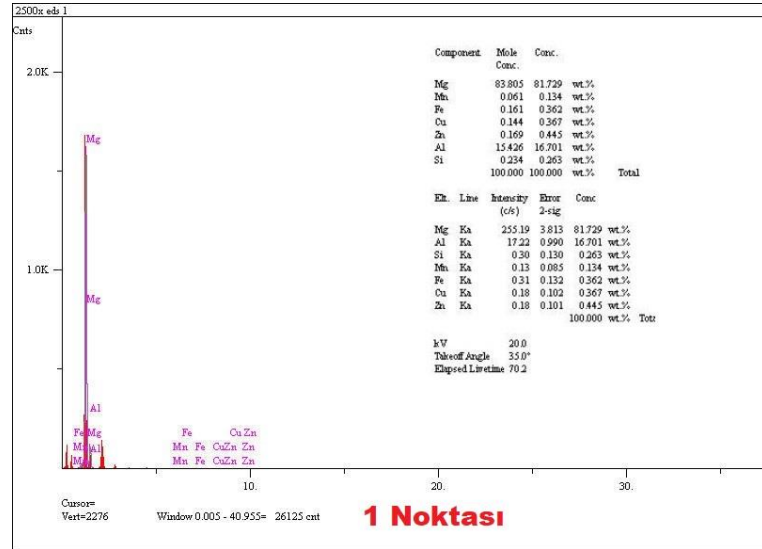
Şekil 6.37: A6 numunesinin 2 noktasına ait noktasal analizi.



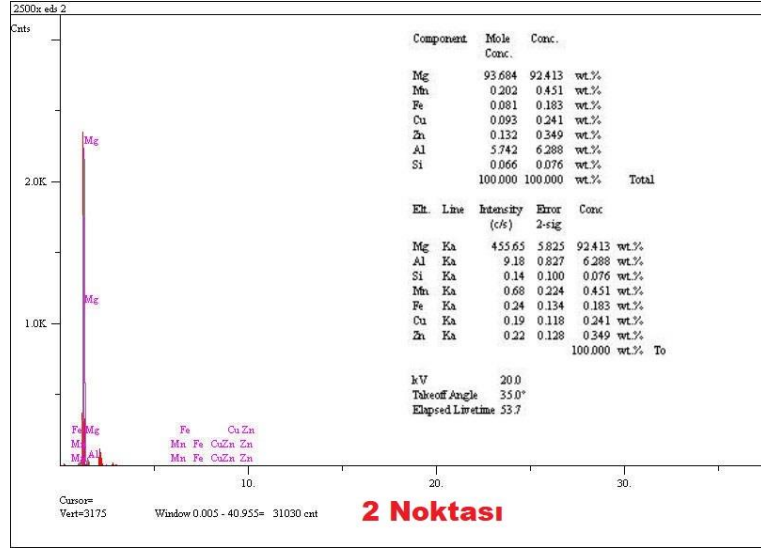
Şekil 6.38: A6 numunesinin 3 noktasına ait noktasal analizi.



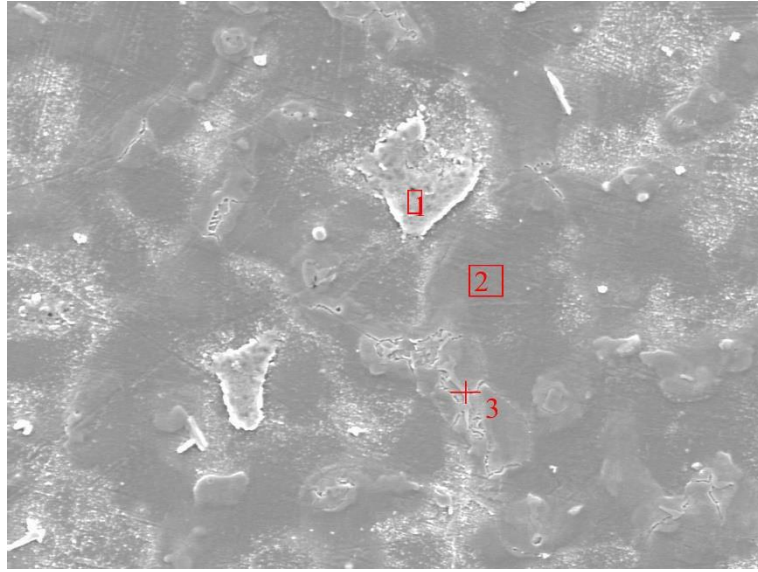
Şekil 6.39: A12 numunesinin EDS analiz noktaları.



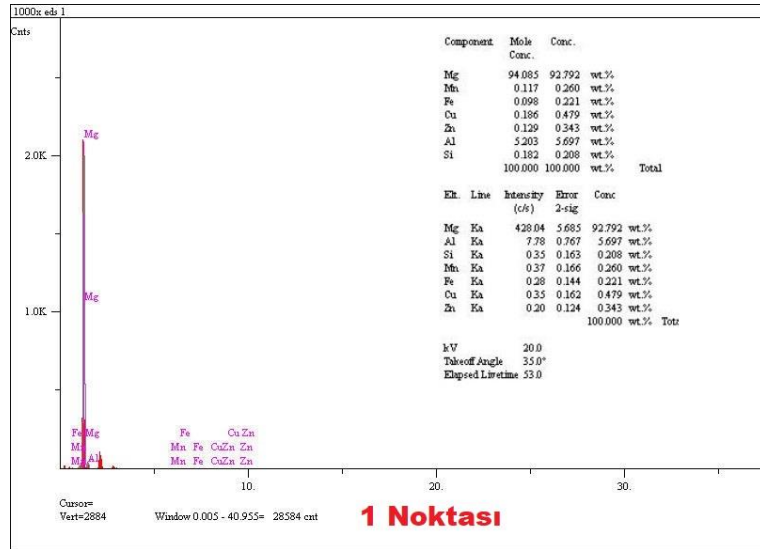
Şekil 6.40: A12 numunesinin 1 noktasına ait noktasal analizi.



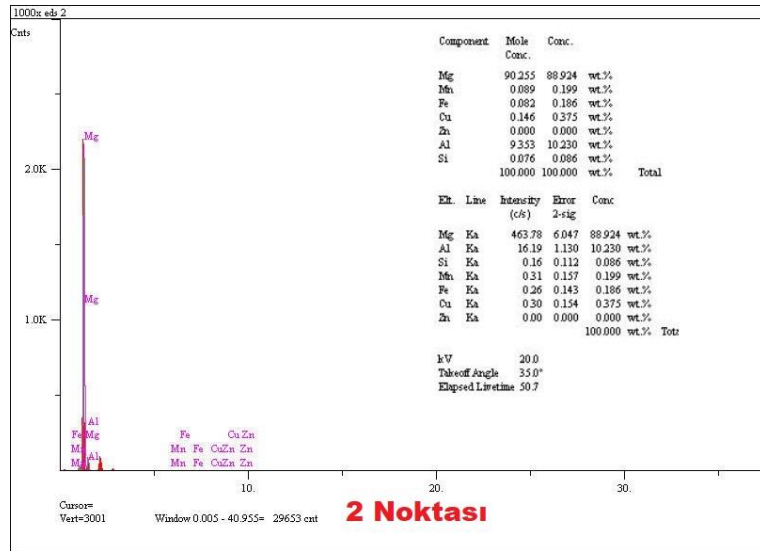
Şekil 6.41: A12 numunesinin 2 noktasına ait noktasal analizi.



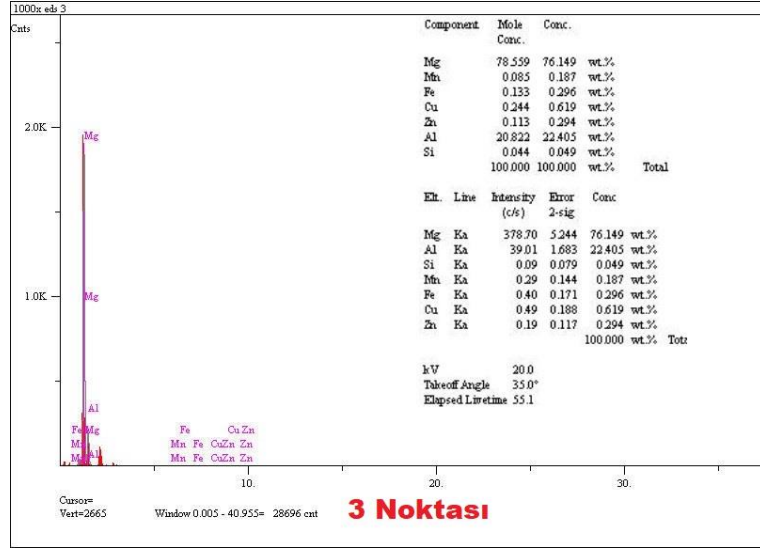
Şekil 6.42: B10 numunesinin EDS analiz noktaları.



Şekil 6.43: B10 numunesinin 1 noktasına ait noktasal analizi.

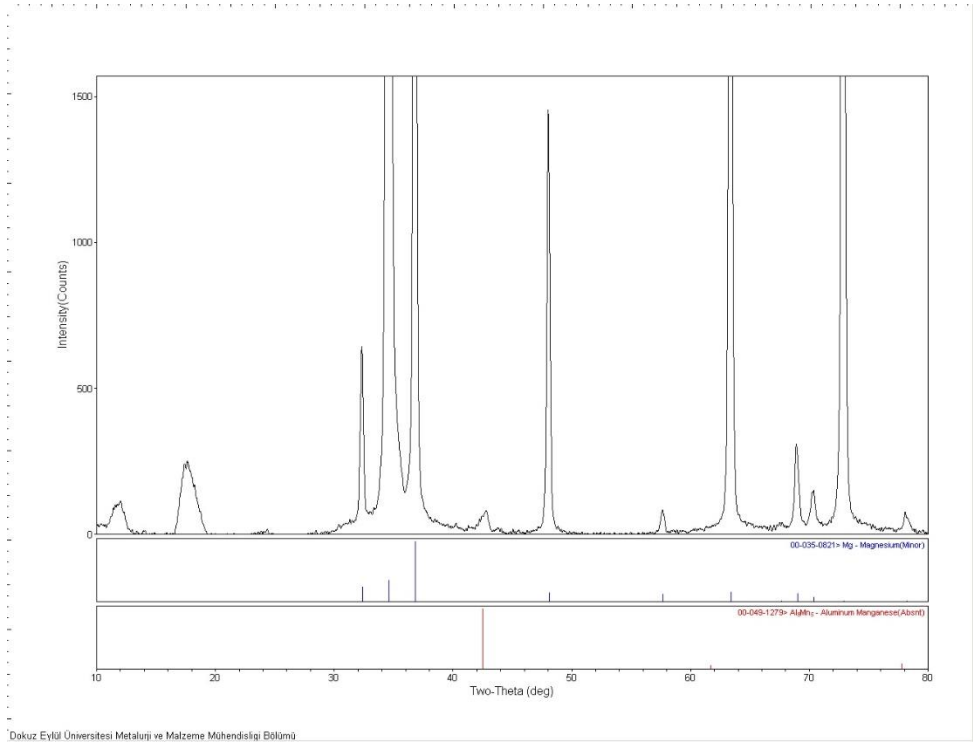


Şekil 6.44: B10 numunesinin 2 noktasına ait noktasal analizi.

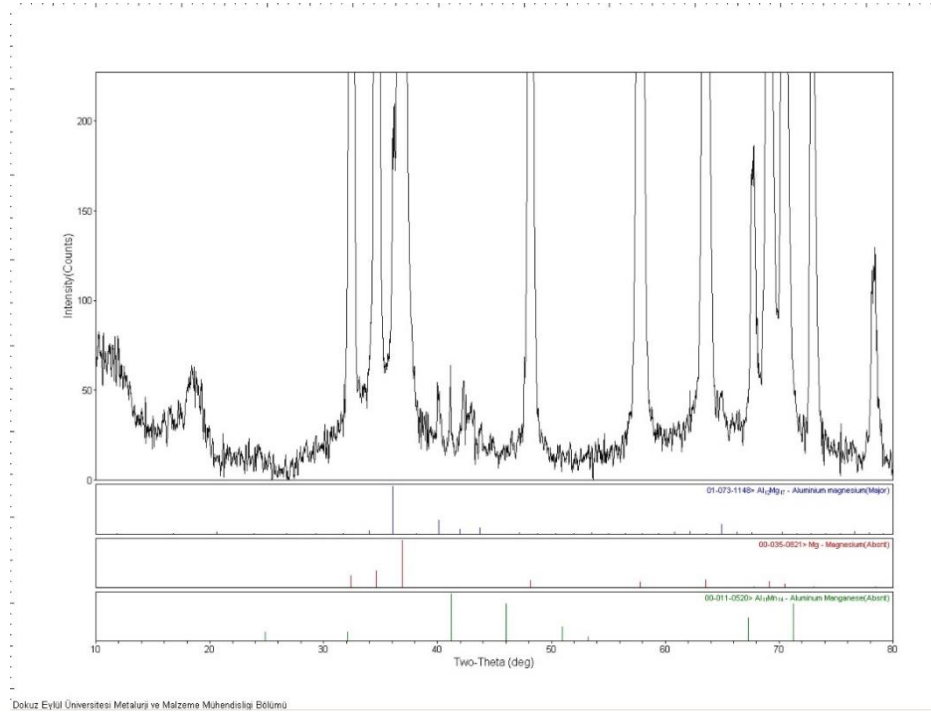


Şekil 6.45: B10 numunesinin 3 noktasına ait noktasal analizi.

Ana metal ile kaynak bölgesine yapılan XRD faz analizleri Şekil 6.46-47’de gösterilmiştir. Ana metalde yer yer Al_3Mn_5 görülmekte iken, kaynaklı bölgede $Al_{12}Mg_{17}$ ve $Al_{11}Mn_{14}$ intermetalik fazlarının oluştuğu görülmektedir. Difüzyon yoluyla Al ve Mg atomlarının aralarında sıcaklık etkisiyle bu intermetalik fazlar oluşmaktadır. Mikroyapı incelemeleri ve literatür ile uyumludur.



Şekil 6.46: Ana metale ait XRD faz analizi.



Şekil 6.47: Kaynak Bölgesine ait XRD faz analizi.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- AZ31-B H24 Mg alaşımının başarılı bir şekilde TIG kaynak yöntemi ile kaynaklandığı görülmüştür.
- Kaynak ağzı açılmasının ve akımın dayanım değerlerini doğrudan etkilediği görülmüştür.
- Koruyucu gaz debisi ve ilerleme hızına bağlı kaynak yüzey kalitesinin değiştiği görülmüştür.
- Kaynak akımı düşük olacak şekilde kaynaklanmış ve kaynak ağzı açılmamış numunelerde dayanım değerleri ile % uzama değerleri düşüş göstermiştir.
- İntermetalik fazların oluşumu ısı girdisi ile doğru orantılıdır. Isı girdisi gereğinden fazla olduğunda intermetalik fazların oluşumu söz konusu olmaktadır.
- Kaynak bölgesinde sıcaklık etkisi ile oluşan $Al_{12}Mg_{17}$ ve $Al_{11}Mn_{14}$ intermetalik fazların kırılma yapısı sebebiyle çekme dayanımını düşürmüş, sertliği ise arttırmıştır.
- Isı girdisinin azalması yetersiz ergime ve kaynak bölgesinde boşluklara neden olmakta bu da mekanik özellikleri düşürmektedir. Isı girdisinin çok yüksek olması ise kaynak dikiş kontrolünü zorlaştırmış ve intermetalik fazların oluşumunu arttırmıştır.
- Yapılan kaynaklarda en yüksek çekme mukavemet değeri kaynak ağzı açılmış parçalarda 130 A akım, 20 lt/dak koruyucu gaz debisi ve 80 mm/dak ilerleme hızında A6 numunesinde %95,7134 mukavemet performansı ile elde edilmiştir.

Magnezyum alaşımlarının TIG kaynak birleştirmelerinin geliştirilebilmesi için sonraki çalışmalarda aşağıdaki önerilerin uygulanması tavsiye edilebilir:

- Magnezyumun farklı malzeme kalınlıkları için TIG kaynağı yapılabilir.
- Farklı magnezyum alaşımlarının TIG kaynağı yöntemi ile birleştirmeleri yapılabilir.

8. KAYNAKLAR

Aghion, E. M. (2009). Mechanical properties of die-cast magnesium alloy MRI 230D. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 18(7), 912.

Aizawa, T. (2006). Mechanically induced reaction for solid-state synthesis of Mg₂Si and Mg₂Sn. *Intermetallics*, 14(4), 382-391.

Anık, S. (1997). Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG). *Gedik Eğitim Vakfı Yayını*.

Balasubramani, N. S. (2007). Effect of Pb and Sb additions on the precipitation kinetics of AZ91 magnesium alloy. *Materials Science and Engineering*, A, 457 (1-2), 275-281.

Barber, L. P. (2004). Characterization of the solidification behavior and resultant microstructures of magnesium-aluminum alloys, MSc Thesis, *Worcester Polytechnic Institute*, Worcester, 2004.

Bilgin, M. K. (2017). Alüminyum Magnezyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Kaynak Edilebilirliğinin Değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2), 191-209.

Brandes, E. A. (1998). *Smithells Light Metals Handbook*. Butterworth: Heinemann Reed Educational and Professional.

Buldum, B. B. (2012). Investigation of magnesium alloys machinability. *International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering (IJEMME)*, 2(3), 261-268.

Bulut, R. (2009). Magnezyum AZ31 Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kütahya.

Czerwinski, F. (2011). Welding and joining of magnesium alloys. *In Magnesium Alloys-Design, Processing and Properties.*

Demirtaş, M. T. (2013). Hafif Metallerde A-TIG Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.*

Duygulu, Ö. O. (2006). Magnezyum alaşımlarının otomotiv sanayisinde kullanımı. *OTEKON2006*, s. 24-28.

Ertürk, İ. (2010). Gazaltı kaynak yöntemleri. *Gazi Üniversitesi ESEF, Ankara.*

Friedrich, H. E. (2006). Technology of Magnesium and Magnesium Alloys. *Springer Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.*

Ganaha, T. P. (1980). Grain structures in aluminum alloy GTA welds. *Metallurgical Transactions A*, 11(8), 247-265.

Hawke, D. (1993). Corrosion properties of new magnesium alloys (No. 930751). *SAE Technical Paper.*

Kaese, V. G. (2003). Approaches to use magnesium as structural material in car body. *Magnesium, Proceedings of the 6th International Conference Magnesium Alloys and Their Applications*, 949-954.

Kulekci, M. K. (2008). Magnesium and its alloys applications in automotive industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(9-10), 851-865.

Lee, S. C. (2002). Isothermal sheet formability of magnesium alloy AZ31 and AZ61. *Journal of Materials Processing Technology*, 124(1-2), 19-24.

Lochte, L. W. (2005). An efficient route to Magnesium alloy sheet: Twin Roll Casting and hot rolling. *Magnesium Technology*, 247.

Lu, Y. Z. (2000). Fracture behavior of AZ91 magnesium alloy. *Materials Letters*, 44(5), 265-268.

Modenesi, P. J. (2000). TIG welding with single-component fluxes. *Journal of materials processing technology*, 99(1-3), 260-265.

Oğuz, B. (1990). Demir dışı metallerin kaynağı. *Oerlikon Yayını*.

Öztürk, F. (2012). Magnezyum Alaşımları Ve Kullanım Alanlarının İncelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 12-20.

Polmear, I. J. (2006). Light Alloys: Metallurgy of the Light Metals. *Butterworth-Heinemann*.

Şık, A. (2013). Comparison between microstructure characteristics and joint performance of AZ31 magnesium alloy welded by TIG and friction stir welding (FSW) processes. *Kovove Mater*, 51, 197-203.

Tülbentçi, K. (1990). MIG-MAG eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı. *Gedik Eğitim Vakfı Yayını*.

Woo, W. C. (2006). Texture variation and its influence on the tensile behavior of a friction-stir processed magnesium alloy. *Scripta materialia*, 54(11), 1859-1864.

Xunhong, W. A. (2006). Microstructure and properties of friction stir butt-welded AZ31 magnesium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 431(1-2), 114-117.

Zeytin, H. K. (1999). Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği. *Gebze Kocaeli: Marmara Araştırma Merkezi*.

Zhang, Z. (2001). Development of Magnesium-Based Alloys for Elevated Temperature Applications. Doktora Tezi, *Faculte Des Sciences Et De Genie Universite, Quebec*.