AZ31 MAGNEZYUM ALAŞIMININ TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Tarık Selçuk ŞEKER

Yüksek Lisans Tezi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri Programı Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR
TEMMUZ-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AZ31 MAGNEZYUM ALAŞIMININ TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tarık Selçuk ŞEKER

(141140101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12 Haziran 2017
Tezin Savunulduğu Tarih: 3 Temmuz 2017

Tez Danışmanı:	**Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR (F.Ü)**
Diğer Jüri Üyeleri:	**Doç. Dr. Ayhan ORHAN (F.Ü)**
	Yrd. Doç. Dr. Zülküf BALALAN (B.Ü)

HAZİRAN-2017

ÖNSÖZ

"AZ31 Magnezyum Alaşımının TIG Kaynağı İle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması" başlıklı bu çalışma Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri Programı Üretim Metalurjisi A.B.D. Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tez çalışması Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından FÜBAP TEKF.16.04. nolu proje ile desteklenmiştir. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü' ne ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi' ne (FÜBAP) teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimin her safhasında maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, desteğiyle her zaman yanımda olan öğrencisi olduğum için onur ve gurur duyduğum saygıdeğer hocam Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR' e sonsuz şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamın tüm uygulama aşamalarında yanımda olan ve büyük katkı sağlayan bölümümüz Arş. Gör. Oktay YİĞİT' e, Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği bölümü Arş. Gör. Turan GÜRGENÇ' e ve bölümümüz Arş. Gör. Dr. Cihat AYDIN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda bölüm imkânlarını sağlayan Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü öğretim üyeleri ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca yanımda olan desteklerini her zaman hissettiğim, çocukları olduğum için her zaman onur ve gurur duyacağım ilk öğretmenim babam Ahmet ŞEKER'e, annem Nezahat ŞEKER'e ve çok değerli ağabeyim Ömer Furkan ŞEKER'e sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. Tez çalışmam boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli nişanlım Kübra DURAK' a ve çok sevgili arkadaşlarım Sabri Tarık Heper'e ve Taha Yasin Susam'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tarık Selçuk ŞEKER
ELAZIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **II**
İÇİNDEKİLER ..... **III**
ÖZET ..... **V**
SUMMARY ..... **VI**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **X**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **VII**
SEMBOLLER LİSTESİ ..... **VII**
KISALTMALAR ..... **XII**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Literatür Özeti 2
2. MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI **12**
2.1. Giriş 12
2.2. Alaşım Elementlerinin Magnezyum Alaşımlarına Etkisi 15
2.2.1. Alüminyum 16
2.2.2. Çinko 17
2.2.3. Mangan 18
2.2.4. Kalsiyum 18
2.2.5. Kurşun 19
2.2.6. Titanyum 20
2.2.7. İtriyum 20
2.2.8. Gümüş 21
2.2.9. Stronsiyum 21
2.3. Magnezyum Alaşımı Çeşitleri 22
2.3.1. İkili Magnezyum Alaşımları 22
2.3.1.1. Magnezyum- Alüminyum Alaşımı 22
2.4. Magnezyum ve Alaşımlarının Temel Özellikleri 23
2.5. Magnezyum ve Alaşımları Standartları 23
2.6. Magnezyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları 24
2.6.1. Magnezyum Alaşımlarının Otomotiv Sanayisinde Kullanım Alanları 25
2.6.2. Magnezyum Alaşımlarının Savunma Sanayisinde Kullanım Alanları 26
2.6.3. Magnezyum Alaşımlarının Havacılık Endüstrisinde Kullanım Alanları 26
2.7. Magnezyum ve Alaşımlarının Kaynak Yöntemleri 27
2.7.1. Magnezyum Alaşımlarının TIG Kaynağı 27
2.7.2. Magnezyum Alaşımlarının MIG Kaynağı 28
2.7.3. Magnezyum Alaşımlarının Elektron Işın Kaynağı 28
3. KAYNAK VE KAYNAK YÖNTEMLERİ **29**
3.1. Giriş 29
3.1.1. Kaynak Bölgesi 30
3.1.1.1. Ergiyen Bölge 30
3.1.1.2. Isı Tesiri Altındaki Bölge 31
3.2. Kaynak Çeşitleri 31
3.2.1.1. Gaz Metal Ark Kaynağı 31
3.2.1.2. Toz Altı Ark Kaynağı 32

3.2.1.3. Elektro Curuf Kaynağı ... 34
3.2.1.4. Plazma Transfer Ark Kaynağı ... 34
3.2.1.5. Gaz Tungsten (TIG) Ark Kaynağı ... 36
3.2.1.5.1. TIG Kaynağından Kullanılan Ekipmanlar ... 38
3.2.1.5.2. TIG Torcu ... 38
3.2.1.5.3. Gaz Nozulu ... 39
3.2.1.5.4. Gaz Lensi ... 40
3.2.1.5.5. Kaynak Elektrotları ... 40
3.2.1.5.6. TIG Kaynağında Kullanılan Kaynak Makineleri ... 41
3.2.1.5.6.1. Jeneratör ve Alternatör Tipi Kaynak Makineleri ... 41
3.2.1.5.6.2. Transformatör-Redresör Tipi Kaynak Makineleri ... 41
3.2.1.5.6.3. Üç Fazlı Redresör Tipi Kaynak Makineleri ... 42
3.2.1.5.6.4. Transformatör Tipi Kaynak Makineleri ... 42
3.2.1.5.7. TIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar ... 42
3.2.1.5.7.1. Argon (Ar) Koruyucu Gazı ... 43
3.2.1.5.7.2. Helyum (He) Koruyucu Gazı ... 44
3.2.1.5.7.3. Argon (Ar) – Helyum (He) Koruyucu Gaz Karışımları ... 45
3.2.2. Katı Hal Kaynak Yöntemleri ... 46
3.2.2.1. Yüksek Sıcaklıkta Basınç Kaynağı ... 46
3.2.2.2. Soğuk Basınç Kaynağı ... 47
3.2.2.3. Difüzyon Kaynağı ... 48
3.2.2.4. Nokta Direnç Kaynağı ... 48
3.2.2.5. Patlatma Kaynağı ... 49
3.2.2.6. Ultrasonik Kaynak ... 50
3.2.2.7. Sürtünme Karıştırma Kaynağı ... 51
3.2.2.8. Sürtünme Kaynağı ... 52
4. MATERYAL VE METOT ... 53
4.1. Kaynak İşlemi Yapılacak Numunelerin Hazırlanması ... 53
4.2. Mikro Yapı Numunelerinin Hazırlanması ... 55
4.3. Sertlik Ölçümleri ... 56
4.4. Çekme Deneyi ... 57
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA ... 59
5.1. Mikro Yapı İnceleme Sonuçları ... 59
5.1.1. Argon Koruyucu Gaz Atmosferi Altında Gerçekleştirilen Kaynaklı Birleştirmelerin Mikro Yapısı ... 59
5.1.2. Helyum Koruyucu Gaz Atmosferi Altında Gerçekleştirilen Kaynaklı Birleştirmelerin Mikro Yapısı ... 64
5.1.3. Argon-Helyum Koruyucu Gaz Atmosferi Altında Gerçekleştirilen Kaynaklı Birleştirmelerin Mikro Yapısı ... 68
5.2. Kaynaklı Birleştirmelerin Mikro Sertlik Sonuçları ... 72
5.3. Çekme Deneyi Sonuçları ... 74
5.4. Kaynak Edilen Numunelerin Kırık Yüzeylerinin İncelenmesi ... 76
6. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER ... 81
7. KAYNAKLAR ... 84
ÖZGEÇMİŞ ... 89

ÖZET

Bu çalışmada, AZ31 magnezyum alaşımı çifti TIG kaynak yöntemi ile farklı koruyucu gaz atmosferi ve farklı akım değerlerinde birleştirildi. Koruyucu gaz olarak Argon, Helyum, Argon-Helyum gaz karışımı kullanıldı. Kaynaklı birleştirmeler bu koruyucu gaz atmosferleri altında 130 A, 140 A, 150 A, 160 A akım değerlerinde gerçekleştirildi. Kaynak edilen numunelerin kaynaklı birleştirme bölgelerinin mikro yapıları optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), ve enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) yöntemleriyle incelendi. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik dayanımları mikro sertlik ölçümleri ve çekme testi ile tespit edildi.

Yapılan incelemelerde, farklı koruyucu gaz ve ısı girdisi değişimine göre farklı mikroyapıların oluştuğu tespit edildi. Isı girdisi arttıkça kaynak bölgesi genişliğinin ve tane boyutunun arttığı görüldü. En yüksek mikro sertlik değeri argon koruyucu gaz atmosferi altında 130 A akım değerinde kaynak edilen numunede 60 HV olarak ölçüldü. En yüksek çekme dayanımı değeri 130.19 N/mm^2 olarak Helyum koruyucu gaz atmosferi altında 130 A akım değerinde kaynak edilen numunede ölçüldü. Düşük ısı girdileriyle kaynaklı birleştirmeleri yapılan numunelerin ortalama çekme dayanımı değerlerinin genelde yüksek olduğu tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum Alaşımları, AZ31, TIG Kaynağı, Koruyucu Gaz, Çekme Dayanımı, Mikrosertlik.

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF THE COMBINABILITY OF AZ31 MAGNESIUM ALLOY WITH GTAW

In this study, AZ31 magnesium alloy pair is combined with different protective gas atmosphere by GTAW welding method at different current values. Argon, Helium, Argon-Helium are used as protective gas. Welded points are carried out under these protective gas atmospheres at the current values of 130 A, 140 A, 150 A, 160 A microstructures of the welded joints of the welded specimens are investigated by optical microscopy (OM), scanning electron micsroscopy (SEM) and energy dispersive X-Ray (EDS) methods. The mechanical strengths of welded joints are determined by micro hardness measurements ands 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 micro hardness value is measured at 60 HV in the sample welded at a current value of 130 A under argon protective gas atmosphere. Also, the highest tensile strentgh value is measured at 130.19 N/mm^2 in the welded specimen at a current value of 130A under a helium protective gas atmosphere. It's found that the average tensile strength values of the specimens, welded with low heat inputs are generally high.

Keywords: Magnesium Alloy, AZ31, GTAW, Protective Gas, Tensile Strength, Microhardness

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Mg-Al denge diyagramı 17
Şekil 2.2. Mg-Zn denge diyagramı 17
Şekil 2.3. Mg- Mn denge diyagramı 18
Şekil 2.4. Mg- Ca denge diyagramı 19
Şekil 2.5. Mg-Pb denge diyagramı 19
Şekil 2.6. Mg-Ti denge diyagramı 20
Şekil 2.7. Mg- Y denge diyagramı 20
Şekil 2.8. Mg- Ag denge diyagramı 21
Şekil 2.9. Mg- Sr denge diyagramı 21
Şekil 2.10. Mg- Th denge diyagramı 22
Şekil 3.1. Kaynak bölgesi şematik gösterimi. 30
Şekil 3.2. MIG-MAG kaynağı ark bölgesi şematik gösterimi 32
Şekil 3.3. Toz altı ark kaynağı şematik gösterimi 33
Şekil 3.4. Elektro curuf kaynağı şematik gösterimi 34
Şekil 3.5. Plazma transfer ark kaynağı şematik gösterimi 35
Şekil 3.6. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi 37
Şekil 3.7. TIG kaynağından kullanılan ekipmanlar 38
Şekil 3.8. TIG kaynak torcu temel elemanları 39
Şekil 3.9. Normal gaz nozul ve gaz lensli gaz nozulu şematik gösterimi 40
Şekil 3.10. Koruma gazı akışı şematik gösterimi 40
Şekil 3.11. Küçük çaplı bir borunun oksi-asetilen basınç kaynağı 47
Şekil 3.12. Soğuk basınç kaynağı şematik gösterimi 48
Şekil 3.13. Nokta direnç kaynağı şematik gösterimi 49
Şekil 3.14. Patlatma kaynağı şematik gösterimi 50
Şekil 3.15. Ultrasonik kaynağın şematik gösterimi 51
Şekil 3.16. Sürtünme karıştırma kaynağı şematik gösterimi 52
Şekil 4.1. Alın alına getirilen plakaların şematik gösterimi 54
Şekil 4.2. Oerlıkon marka magmaweld ID 300 TW AC/DC TIG kaynak makinesi 54
Şekil 4.3. Nikon Eclipse NA200 Optik mikroskop 56
Şekil 4.4. ZEISS EVO-MA10 SEM cihazı 56
Şekil 4.5. EMCO TEST marka mikrosertlik cihazı 57
Şekil 4.6. Çekme deneyi numune ölçüleri 58
Şekil 4.7. Shımadzu AG-X marka çekme test cihazı 58
Şekil 5.1. Ar koruyucu gaz atmosferinde gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin makro fotoğrafları 60
Şekil 5.2. Ara kesit yüzeyinden alınan makro fotoğraflar 60
Şekil 5.3. N1 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 61
Şekil 5.4. N2 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 61
Şekil 5.5. N3 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 61

Şekil 5.6. N4 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 62
Şekil 5.7. N1-N4 numunelerine ait EDS görüntüsü 62
Şekil 5.8. N1 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 63
Şekil 5.9. N2 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 63
Şekil 5.10. N3 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 63
Şekil 5.11. N4 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x250 64
Şekil 5.12. He koruyucu gaz atmosferinde gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin makro fotoğrafları 65
Şekil 5.13. Ara kesit yüzeyinden alınan makro fotoğraflar 65
Şekil 5.14. N5 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 66
Şekil 5.15. N6 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 66
Şekil 5.16. N7 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 66
Şekil 5.17. N8 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 67
Şekil 5.18. N5 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 67
Şekil 5.19. N6 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 67
Şekil 5.20. N7 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 68
Şekil 5.21. N8 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 68
Şekil 5.22. He koruyucu gaz atmosferinde gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin makro fotoğrafları 69
Şekil 5.23. Ara kesit yüzeyinden alınan makro fotoğraflar 69
Şekil 5.24. N9 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 70
Şekil 5.25. N10 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 70
Şekil 5.26. N11 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 70
Şekil 5.27. N12 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100 71
Şekil 5.28. N9 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 71
Şekil 5.29. N10 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 71
Şekil 5.30. N11 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 72
Şekil 5.31. N12 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500 72

Şekil 5.32. Ar koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerin mikro sertlik dağılımı 73
Şekil 5.33. He koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerin mikro sertlik dağılımı 74
Şekil 5.34. Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerin mikro sertlik dağılımı 74
Şekil 5.35. Kaynak edilen numunelerin çekme deneyi sonrası resimleri 75
Şekil 5.36. N1 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 76
Şekil 5.37. N2 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 77
Şekil 5.38. N3 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 77
Şekil 5.39. N4 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 77
Şekil 5.40. N5 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 78
Şekil 5.41. N6 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 78
Şekil 5.42. N7 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 78
Şekil 5.43. N8 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 79
Şekil 5.44. N9 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 79
Şekil 5.45. N10 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 80
Şekil 5.46. N11 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 80
Şekil 5.47. N12 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500 80

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Saf magnezyumun mekanik ve fiziksel özellikleri 12
Tablo 2.2. Magnezyum alaşımlarının endüstride ki avantaj ve dezavantajları 14
Tablo 2.3. Magnezyum alaşımlarında oluşan intermetalik fazlar ve çözünebilirlikleri 16
Tablo 2.4. Alaşım elementleri ve kısaltmaları 23
Tablo 2.5. Magnezyum alaşımları standartları ve bileşimleri (ASTM B 93/B 93M ve ASTM B94) 24
Tablo 3.1. Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri ve renk kodlarının gösterimi..... 41
Tablo 3.2. TIG kaynağı için önerilen koruyucu gazlar ve elektrotların gösterimi 43
Tablo 3.3. Ar gazının fiziksel özellikleri 43
Tablo 3.4. He gazının fiziksel özellikleri 45
Tablo 4.1. AZ31’ in kimyasal kompozisyonu 53
Tablo 4.2. Kaynaklı birleştirmelerde kullanılan parametreler..... 55
Tablo 5.1. Kaynaklı bağlantılar üzerinden alınan kaynak dikiş genişliği ve nüfuziyet derinliği sonuçları..... 60
Tablo 5.2. Çekme deneyi sonuçları..... 76

SEMBOLLER LİSTESİ

A	**:** Akım
Ag	: Gümüş
Al	**:** Alüminyum
Ar	: Argon
Ca	: Kalsiyum
Ce	: Seryum
CO2	: Karbondioksit
He	: Helyum
HV	: Vickers Sertliği
Kw	: Kilowatt
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
NaCl	: Sodyum klorür
W	**:** Tungsten

KISALTMALAR

%ağ.	**:** Yüzde ağırlık
AA	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
EDS	**:** Enerji Dağılımlı X-ışınları
EIK	**:** Elektron Işın Kaynağı
GTA	**:** Gaz Tungsten Ark
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
MAG	: Metal Active Gaz
MIG	: Metal Inert Gaz
MR	: Mekanik Olarak Kaldırma
Nd: YAG	: Neodim Katkılı İtriyum Alüminyum Granat
OM	**:** Optik Mikroskop
PTA	**:** Plazma Transfer Ark
SEM	**:** Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	**:** X-Işını Kırınımı

1. GİRİŞ

Magnezyum %2.5 ile yeryüzünde en bol bulunan altıncı elementtir. Son derece hafif bir metal olan magnezyum alaşımları, mükemmel spesifik mukavemete çok iyi ses sönümleme yeteneğine, iyi dökülebilirlik, sıcak şekillendirebilirlik, mükemmel işlenebilirlik ve geri dönüştürebilirlik özelliklerine sahiptir [1]. Magnezyum alaşımları sıklıkla yapısal kütlenin azaltılması için kullanılmaktadır [2]. Hafif yapılar üretmek için oldukça avantajlı olduğundan magnezyum alaşımları ulaştırma, havacılık, taşıma ve otomotiv endüstrisinde enerji tasarrufu sağlaması ve emisyonları azaltması nedeniyle tercih edilmektedir [2, 3]. Magnezyum alaşımları dayanıklılık ağırlık oranı en iyi olan malzemelerdir. Ayrıca iyi darbe dayanımına sahip, ısı iletkenlikleri yüksektir. Magnezyuma enerji tasarrufuna katkısı ve geri dönüşüm kabiliyeti nedeniyle "yeşil mühendislik" malzemesi denilmektedir [4].

Magnezyum alaşımları lazer kaynağı, ark kaynağı, hibrit lazer-ark kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağı, nokta direnç kaynağı, elektro manyetik darbe kaynağı, MIG kaynağı ve TIG kaynağı gibi farklı kaynak yöntemleriyle kaynak edilmektedir [4-7]. TIG kaynağı magnezyum alaşımlarının endüstriyel kaynak işlerinde yüksek enerji sağlaması ve kullanımının kolay olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir [7]. TIG kaynağında koruyucu gaz önemli bir rol oynamaktadır. Ark kaynaklarında koruyucu gaz karışımının kompozisyonu çoğunlukla kaynak edilecek malzemenin türüne bağlıdır. Koruyucu gaz seçiminde gaz ve ergimiş kaynak havuzu arasındaki kimyasal ve metalurjik işlemler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu yüzden koruyucu gazın seçimi kaynağın kalitesi için oldukça önemlidir [8, 9].

Bu tez çalışması, toplam yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konuya giriş yapılmış ve bazı literatür çalışmaları kısaca özetlenmiştir. İkinci bölümde magnezyum ve alaşımlarından bahsedildikten sonra magnezyum alaşımlarına, alaşım elementlerinin etkisi anlatılmıştır. Yine bu bölümde magnezyum alaşımlarının kullanım alanlarından ve bu alaşımlara uygulanan kaynak yöntemlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde kaynak, kaynak yöntemleri ve kaynakta kullanılan koruyucu gazlar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde deneysel çalışmanın nasıl yapıldığından ve deneyde kullanılan malzeme ve ekipmanlarından detaylıca bahsedilmiştir. Beşinci bölümde

deneysel çalışmalardan elde edilen mikroyapı, mikro sertlik ve çekme testi sonuçları incelenmiştir. Altıncı bölümde çalışmadan elde edilen genel sonuçlar maddeler halinde özetlendikten sonra gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur. Yedinci ve son bölümde ise çalışma sırasında yararlanılan kaynaklar verilmiştir.

1.1. Literatür Özeti

Aşağıda AZ31 magnezyum alaşımlarıyla alakalı yapılan çalışmalar yer almaktadır. Literatürde AZ31 magnezyum alaşımlarının TIG kaynağıyla birleştirme yöntemleri çok sayıda kullanılmadığı için yapılan çalışma bu alana öncülük etme niteliğindedir. AZ31 magnezyum alaşımlarıyla alakalı yapılan bazı çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Sun vd. [6]; AZ31 Mg alaşımının kaynağı Ar koruyucu gazı ile tungsten inert gaz (TIG) kaynağı, He koruyucu gazla TIG kaynağı, CO_2 lazer kaynağı ve YAG lazer kaynağı olmak üzere çeşitli kaynak teknikleri kullanılarak gerçekleştirdiler. Sonuçları, kaynak havuz oluşumu ve mikroyapısal karakterizasyon açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirdiler. Ar ve He gaz korumalı TIG kaynağında büyük kusurlar olmaksızın iyi kaynaklı birleştirmeler yaptılar. Penetrasyon kapasitesi He gaz koruması kullanılarak geliştirilebildiği fikrini ortaya attılar. Yüksek enerji yoğunluğundan dolayı CO_2 ve YAG lazerlerinin, yüksek en-boy oranına sahip kaynak havuzu üretebildiklerini söylediler. Kullanılan dört kaynak tekniği arasından YAG lazer kaynağı en iyi kaynak mikroyapısını sağlarken, Ar gaz korumalı TIG en kaba mikroyapıyı oluşturduğunu söylediler. Kaynak işleminde koruyucu gazın kilit rol oynadığını ve kaynak yüzeyinde oksijen içeriğini düşürdüğünü belirttiler. Kaynak işlemi ile güçlendirme etkilerinin ortadan kaldırılması nedeniyle tüm yöntemler için kaynak metallerinde ve ısıdan etkilenen bölgelerde sertlik azalmasını gözlemlediler. Özetle, bu çalışmada, çeşitli kaynak tekniklerindeki avantaj ve kısıtlamaları ortaya koydular ve AZ31 Mg alaşımının kaynaklanabilirliğinin derinlemesine incelemesini sağladılar.

X. Cao vd [1]; lazer kaynak tekniğiyle magnezyum alaşımlarının kaynak edilebilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışmada, magnezyum alaşımlarındaki araştırmayı ve süreç değişikliğini farklı açılardan önemli bir şekilde gözlemlemişlerdir. Şimdiye kadar, iki tür sanayi lazeri, karbon dioksit ve neodim katkılanıp itriyum alüminyum granat, (Nd: YAG) magnezyum alaşımlarının kaynağını araştırmak için kullanılmıştır. Bazı önemli lazer parametreleri ve kaynağın kalitesindeki etkilerini araştırmışlardır. Mikroyapı ve

metalurjik hatalar magnezyum alaşımlarının lazer kaynağında meydana geldiğini belirtmişlerdir. Lazer kaynak yöntemi sonucunda dolgu telleri ilavesiyle mekanik özellikleri iyi olan bir malzeme geliştirdiler. Yaptıkları çalışmada AZ61 ve AZ31 magnezyum alaşımlarını kullanmışlardır. AZ61 magnezyum alaşımında dolgu malzemesi ile yapılan kaynakta, alüminyumun ısı tesiri altında kalan bölgede galvanik bir hasara neden olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Çalışmanın amacı, magnezyum alaşımlarının lazer kaynağındaki son süreci göstermek ve benzer araştırmalara temel oluşturmaktır.

H. Zhang vd [10]; sürtünme karıştırma kaynağı demir olmayan metallerin birleşimi için iyi bir metotlardan biri olarak düşünülmesine rağmen, bazı metaller için yanlış kaynak parametrelerini kullanarak hatalardan tamamen kaçınılmaz olduğunu belirtmişlerdir. Kaynak hızı çok hızlı ya da kaynak basıncı çok düşük olduğu zaman kaynağın üstünde yetersiz nüfuziyet ve gözenek oluşumunun kolay olduğunu belirtmişlerdir. Hatasız kaynağın olmasında en iyi koşulları sağlamak için farklı kaynak parametrelerinde AZ31 magnezyum alaşımı sürtünme karıştırma kaynağının olacağını belirtmişlerdir. Kaynakta sürtünme miktarı arttıkça gözenek oluşumun arttığını belirtmişlerdir. Nispeten düşük kaynak hızlarında gözeneklerin kaynak bölgesi yakınında olduklarını belirtmişlerdir. Daha hızlı kaynak hızlarında gözeneklerin gittikçe arttıklarını gözlemlemişlerdir. Kaynak hızı ve dönüş hızı sabit tutulduğunda, düşük kaynak basıncında gözenek oluştuğunu belirtmişlerdir. Kaynak parametrelerine bağlı olan kaynak oluşum modeli önemli hale geldiğini belirtmişlerdir ve hatalardan kaçınmak için doğru parametreleri seçmede mantıklı incelemelerde bulunmuşlardır [10].

Teresa Sibillano vd [11]; lazer kaynağındaki koruyucu gazın genellikle kaynak sürecini sabitlemek için, ek kaynak özelliklerini geliştirmek için ve kaynak tabakasını oksitlemeye karşı korumak için kullanıldığını belirtmişlerdir. Koruyucu gaz kullanım türünün yanı sıra, nozul parametrelerinin önemli bir yere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Aslında, koruyucu gaz ve torç geometrisinin kimyasal bileşimi, plazma kaynağı dumanını ve atmosfer tarafında kirlenmesini azaltan ana faktördür ve bu birleşim kaynak birleşimlerinin son kalitesini etkiler. Bu çalışmada farklı ölçüm durumları altında plazma kaynağı dumanının özelliklerinin spekstroskopik araştırmasını kullanarak koruyucu gaz, lazer ışını ve plazma kaynağı dumanı arasındaki etkileşim boyunca gerçekleşen karışık fiziksel olaylar üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarında, gaz iletim sisteminin geometrisinin, gaz akış oranının ve nozul mesafesinin plazma bulutunu önemli ölçüde etkilediğini bulmuşlardır. Kaynak tabakasının yüzeyinde oksit tabaka oluşumu ve

spektral özellikler arasında ilişki bulmuşlardır. Bu oksit tabaka oluşumuna kusurlu gaz koruyucu ve alaşım elementlerinin buharlaşması neden olduğunu fikrini ileri sürmüşlerdir. Deneysel sonuçlar alüminyum alaşımının lazer kaynağındaki uygulama için yeni nozul kaynağın gelişmesinde yararlı bulgular ortaya koyulmuştur.

Gang Song vd [12]; Hibrid kaynağı sürecinde AZ31B magnezyum alaşımının kaplama kaynağı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hibrid bindirme kaynaklı birleşiminin özelliklerinin ve mikroyapının yanı sıra, kaynak hızı, ayarsızlık mesafesi ve magnezyum alaşım tabakalarının kaplama kaynağı üzerindeki lazer ark mesafesinin etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar çarpılma olmadan AZ31B magnezyum alaşım tabakalarının sert kaplama kaynağı birleşimlerinin elde edilebileceğini göstermişlerdir. Kaynak parametrelerinin yanı sıra ayarsızlık mesafesi ve lazer ark mesafesi giriş derinliği ve çıta yapısını etkileyen ana faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Lazer ark hibrid kaynağının karakteristik özelliğinden dolayı hibrid kaplama kaynak birleşimlerinin kesişim alanının yuvarlak bir yapıya dönüştüğünü belirtmişlerdir. Magnezyum alaşımlarının kaynağı için, kaynak parametreleri, kaynak merkezine mesafesi ve lazer arkın mesafesi enerji yoğunluğunun dağılımında önemli etkiye sahip olduklarını belirtmişlerdir. Lazer ve ark işbirliği ile tanelerin büyüklüğünün farklı olduğunu söylemişlerdir. AZ31B magnezyum alaşımının çekme mukavemetinin TIG yöntemiyle yapılan kaynaklara göre %80 oranında iyi olduğunu belirtmişlerdir. Hibrid kaplama kaynak birleşimleri iki bölüme ayrılır. Bir tanesi yalnız başına hareket eden lazer bölgesi diğeri ise lazer bölgesinin ve arkın birleşimidir. Bunun yanı sıra, ana metalle karşılaştırıldığında lazer ark hibrid kaynakla olan AZ31B kaplama kaynağının çekme mukavemetinin %80 olduğu ve kaynak çıtasının korozyon direncinin 5 mol NaCl çözeltide ki ana metale eşit olduğu ortaya çıkarmışlardır [12].

X. Cao vd [13]; AZ31B-H24 magnezyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağında 2 mm et kalınlığına özelliklerine sahip, 5 ile 30 mm/s aralığında ki kaynak hızının etkisinin hatalara, mikro yapılara, sertliğe ve çekme özelliklerine karar vermek için araştırmışlardır. Geniş aralıktaki yüksek kaynak hızı, magnezyum alaşımları için olan tekniğin muhtemel potansiyelini gösteren yüksek oran yenilik oranlarındaki materyali kaynatmak için kullanmışlardır. Karıştırmada ve termo-mekanik etkili bölgedeki eşeksenli tanecikleri gözlemlemişlerdir. Düşük ısı girişinden dolayı kaynak hızının yükselmesiyle karıştırma bölgesinde ki tanecik boyutunun düştüğünü belirtmişlerdir. Bazı magnezyum alaşımlarının işleme problemi gösterebileceklerini belirtmişlerdir. Bunlar, dengesiz kaynak

havuzu, sıçrama, açılma eğilimi, sarkma, gözeneklilik, sıvılaşma-katılaşma çatlaması, alaşım elementleri ve oksit inklüzyonları gibi problemler olabileceğini belirtmişlerdir. Daha yüksek kaynak hızının karıştırma bölgesinde daha yüksek sertlik ürettiğini belirtmişlerdir. Akma mukavemetinin kaynak hızının yükselmesiyle arttığını belirtmişlerdir. Kaynak hızının yükselmesiyle ilk önce çekme mukavemeti arttığını belirtmişlerdir. Fakat 15 ile 30 mm/s aralığında sabit kalır. Karıştırma bölgesindeki tanecik boyutunun karekökü ile akma mukavemeti arasında ki ilişki Hall-Petch düzlem ilişkisi bu parametreler arasında ki güçlü ilişkiyi gösterdiğini belirtmişlerdir.

P. B. Srınıvasan vd [14]; AZ31 magnezyum alaşımlı lazer kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri ve gerilmeli korozyon davranışına etkilerini araştırmışlardır. Mikro yapısal inceleme, dolgu maddeli ya da dolgu maddesiz elde edilen lazer ışını kaynak metalin yaklaşık 12 μm boyutunda taneciğe sahip olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Kaynağın çekme mukavemeti ve mikro sertliği temel alaşıma benzediğini bulmuşlardır. Fakat her iki kaynağın gerilim korozyon çatlağı hareketi, ASTM D1384 çözeltisindeki yavaş deformasyon hızı gerilimi testiyle değerlendirmişlerdir. Bu çözeltiyi temel alaşımdan aşağı olarak bulmuşlardır. Gerilim korozyon çatlaklarının kaynak metalde ortaya çıkardığı ve otojen kaynakta kaynak metal ısı etkisi altındaki bölgeye yayıldığını gözlemlemişlerdir. Diğer yandan AZ61 dolgu maddeli materyalle elde edilen kaynakta çatlak başlangıcı ve yayılması ısı etkisi altındaki bölgede olduğunu belirtmişlerdir. Yavaş deformasyon hızı gerilimi testinin gerilim korozyon çatlamasına neden olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Bu yüzden örneklerin yüzeyinde bölgesel magnezyum hidroksit/oksit zararı oluştuğunu belirtmişlerdir.

Zhi Zeng vd [15], Hibrid TIG lazer kaynağıyla birleştirilmiş magnezyum alaşımları ve çelik çiftinin artık gerilmelerinin numerik ve deneysel analizleri araştırılmıştır. Büyük artık gerilim ve deformasyon genellikle genleşme katsayısının farklı olduğu zamanda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, sonsuz element tekniklerini kullanarak termo-mekanik durumunu analiz etmek için ve lazer TIG hibrid kaynakta olan 304L uçların birleşim yerindeki ve AZ31B magnezyum alaşımındaki kaynak dağılımını değerlendirmek için termal elastik-plastik analizini belirtmişlerdir. Çift elips düzlem yayılımı çift elipsoid yapı yayılımı ve Rotany-Gaus yapı yayılım modelleri ile birleştirilen yeni bir çift ısı kaynak modelini geliştirmişlerdir. TIG işleminin daha düşük kaynak gerilimi oluşturduğunu ortaya çıkarmışlardır. Sonuçlardan, hibrid kaynak bölgesindeki derece yayılımının TIG'den daha hızlı ısıma ve soğumaya maruz kaldığını ortaya

koymuşlardır. Ayrıca, TIG kaynağındaki kaynak gerilim yayılımıyla karşılaştırıldığında hibrid kaynak birleşimlerindeki artık gerilimi yaklaşık % 20 daha yüksek bulmuşlardır. 304L çelik tabakada ki artık gerilimin AZ31B magnezyum tabakasındakinden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Zemin Wang vd [16]; Dövülmüş AZ31B magnezyum alaşımlı birleştirmelerin yüksek güçlü fiber lazerle kaynaklarının karekterizasyonunu araştırmışlardır. 6 kW fiber lazeri, işlenmiş AZ31B magnezyum alaşımını kaynaklı birleştirme yapmak için kullanmışlardır ve kaynak birleşimleri, mikroyapı ve mekanik özellikleri, çıta boyutunu gözlemlemişlerdir. Lazer gücü 2.5 ile 4 kW aralığında olduğu zaman büyük eksiklikler olmadan uygun birleşimler elde edildiğini ortaya çıkarmışlardır. Uygun altıgen dentritleri kaynak bölgesinde gözlemlemişlerdir. Lazer gücüyle kaynak penetrasyon derinliğini 2-3 mm arttırmışlardır. Kaynama bölgesinin yarı eksen ortalama uzunluğu, artan ısı girişiyle ya da azalan kaynak hızıyla artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Kaynak bileşenlerinin minimum çekme mukavemeti 227 MPa'ya, ana metalin % 94'üne ulaştığını gözlemlemişlerdir. Isı girişi 48 j/mm'ye ya da daha az mesafeye düştüğü zaman ana metaldeki bileşimlerin kırıldığını belirtmişlerdir. Dengesiz ısı girdisi olduğunda mikro gözeneklerin artacağını belirtmişlerdir. Magnezyum alaşımlarında fiber lazerin gözenekliliği azaltmak için etkili olduğunu belirtmişlerdir. Kaynak metalindeki kırık birleşimler için kırık yüzey, kırılmaların ve çukurların birleşmesiyle oluşan esnek, karışık şekilde tanımlamışlardır.

Jian Chen vd [17]; AZ31 magnezyum alaşımının kaynağında mikroyapı ve mekanik özelliklerin etkisini araştırmışlardır. Bu makalede, soğuk haddeleme ve kaynak tekniğinin AZ31 magnezyum birleşiminin alaşımına uygulamışlardır. Bu uygulamada kaynak birleşimlerinin mekanik özellikleri ve mikroyapı oluşumundaki sabit kristal yenilemenin ve soğuk haddelemenin etkisini araştırmışlardır. Soğuk haddeleme işleminden sonra yapılan kaynaklı birleştirmelerde ısı etkisi altındaki bölgede tane büyüklüğünün arttığını belirtmişlerdir. Ana metalde gerinim sertleşmesinin, yüksek mikro sertliğe yol açacağını belirtmişlerdir. Sonuçlar haddelenmiş kaynak örneğinin %7' si en yüksek çekme mukavemetini (252 MPa) ve çekme katsayısını (% 87.6) sağladığını belirtmişlerdir. Çekme geriliminin artışıyla ısı etkili bölgede ortalama tanecik boyutunun düştüğünü gözlemlemişlerdir. Bu düşüşün nedeni sabit kristal yenilemenin etkisi olduğundan bahsetmişlerdir. Kaynak boyunca ısı etkisi altındaki bölgede iyileşme, kristal yenilenme çekirdekleri termo-dinamik teoriler ve modeller aracılığıyla araştırmışlardır. Fakat çekme

testinden sonra haddelenmiş kaynak birleşimlerinin %10' ununda anormal boşluklar ve taneler arası kırılmalar bulunduğunu saptamışlardır.

N. Kishore Babua vd [18]; AZ31 magnezyum alaşımının direnç yeri kaynağındaki mikroyapı karakterizasyonu ve deformasyon davranışlarını araştırmışlardır. Direnç yeri kaynaklarını, AZ31 magnezyum alaşımı ve sürekli dökümün 3 mm kalınlığındaki tabakalarında hazırlamışlardır. Mikroyapı ve kaynak külçelerinin birleşim analizi, ısı etkisi altındaki bölge ve ana metal, optik ve tarayıcı elektron mikroskopu (HR-SEM ve EDS/X) kullanarak incelemişlerdir. Direnç yeri kaynak magnezyum alaşımlarının birleşimleri başlıca kaynak bölgesi ve ısı etkisi altındaki bölgeden oluştuklarından bahsetmişlerdir. Bölge iki farklı yapıdan oluşur. Bir tanesi bölgenin kenarındaki hücresel dentritik yapı, ikincisi ise bölgenin ortasındaki eş eksenli dentritik yapıdır. Kaynak birleşme bölgesinde α-Mg ve bazen β-$Mg_{17}Al_{12}$ olarak tanımlanan ikinci faz parçacıklarının bulunduğunu belirtmişlerdir. Isı tesiri altında kalan bölgenin özellikleri arasında tane sınırlarının erimesi ve tane kabalaşması olduğunu söylemişlerdir. Ana metalin sertliği, tanelerin ince boyutu ve soğuk üretilmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Yapı geçişini katılaşma durumu değişikliklerine bağlamışlardır. Isı etkisi altındaki bölgede tanecik sınırı erimesi oluşmuştur ve tanecik sınırlarının ham hale geldiğini belirtmişlerdir. Kaynak bölgesindeki ve ısı etkisi altındaki bölgede sertlik düşüşü, ana metalle karşılaştırıldığında dentritik mikroyapı ve tanecik gelişiminden dolayı daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçlar, kaynak yeri birleşimlerinin çekme yüklemesi durumlarında ve gerilim altındaki ara yüzey modunda bozulduğunu gözlemlemişlerdir. Dijital görüntü, çekme mukavemeti testi boyunca ara yüzey eksiklik modunda düşük yüzey gerilmelerin olduğunu göstermiştir. Temel olarak kaynak bölgesi alanında kırılma ve bozulma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Leonardo Contri Campanellia vd [19]**;** AZ31 magnezyum alaşımlarının sürtünme nokta kaynağında metalurjik ve mekanik performansını araştırmışlardır. Kaynak parametrelerinin farklı bileşimlerini kullanarak yapılan AZ31 magnezyum alaşımının kırılma kaynaştırma kaynak bölgesi birleşimlerinin çapraz bölümündeki mikroyapısal özelliklerini araştırmışlardır. Metalurjik bağ boyutunun büyüdüğünü belirtmişlerdir yüksek gerilime tabii tutulan bölgelerde plastik akış başladığını belirtmişlerdir. Sabit bindirme testini kaynak birleşimlerinin mekanik özelliklerini değerlendirmek için uygulamışlardır. Kırılma mekanizması ile çatlama yayılım yolunu tam olarak gözlemlemişlerdir. İyi hale

getirme işlemi, materyal karışımını yükselten parametrelerin birleşimiyle kaynak işlemi meydana geldiğinde oluştuğunu belirtmişlerdir.

Caiwang Tan vd [20]; Farklı AZ31B magnezyum alaşımlarının Zn kaplanmış çeliğin üzerine lazer tungsten inert gaz kaynak edilmesini araştırmışlardır. Lazer volfram gazı (TIG) hibrid kaynak bindirme grubundaki Mg alaşımını Zn paslanmış çelikle birleştirilmesi için geliştirilmiştir. Kaynak kalitesinin yüksek lazer ya da ark kaynağıyla geliştirildiğini belirtmişlerdir. İki tepkime tabakası interfazda gözlemlenmiştir ve Mg-Zn ötektik yapı (α-Mg+MgZn) olarak ve TEM analiziyle birlikte Fe_3Al evresi olarak tanımlamışlardır. Çekme mukavemeti 68 Mpa'nın en yüksek değerine ulaşmıştır ve 68 MPa Mg ana metale ait yeterli bileşimin % 52.3'ünü temsil ettiğini ortaya çıkarmışlardır. AZ31B Mg alaşımlarından Al elementi katı sıvı inter faza nüfuz eder ve daha sonra Fe ve Mn gibi çelik elementlerle tepkimeye girmiştir. İnterfazda metalurjiksel bağlanmaya katkıda bulunmuştur. Yeni oluşan Fe-Al tabakası ve Mg-Zn tepkime tabakası arasındaki zayıf bağ interfazla ilgili başarısızlıkla sonuçlanmıştır.

Masoud Harooni vd [21]; Magnezyum alaşımının lazer kaynağının içindeki boşluk, yüksek kalitede birleşimleri gerçekleştirmek için ana etkenlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Oksit ya da kromat tabaka gibi magnezyum alaşımının yüzeyindeki daha önceden var olan kaplamaların varlığı çukur oluşumunun nedenlerinden biri olduğundan bahsetmişlerdir. Bu çalışmada, tek ışınlı ve ikili ışınlı lazer ısı kaynakları, lazer kaynak süreci boyunca AZ31B-H24 magnezyum alaşımının yüzeyindeki oksit tabakanın varlığından kaynaklanan çukurları azaltmak için araştırmışlardır. Magnezyum levhaların üzerinde bulunan nem, tek geçiş lazer kaynağı esnasında hidrojen gazının gözenek oluşturduğunu belirtmişlerdir. İki geçişli bir lazer kaynağı prosesinin ön ısıtma işlemi esnasında, magnezyum hidroksit, magnezyum oksit ve suya dönüştürüldüğünü söylemişlerdir. Bu sonuçla kaynakta gazın, gözenek oluşumunu önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. İki pasolu lazer kaynağı için hesaplanan elektron sıcaklığı, tek pasolu lazer kaynağı ile karşılaştırıldığında daha düşüktür ve iki pasolu işlemin daha kararlı olduğunu göstermişlerdir. Gerilme testi, iki pasolu lazer kaynaklı örneklerin tek pasolu kaynaklı numunelere göre daha fazla kayma gerilimi mukavemetine sahip olabileceğini ve kaynak içinde daha düşük yoğunluklu bir gazın kaynakta gözeneklilik oranına bağlandığını belirtmişlerdir. Farklı ışın enerji oranlarıyla ikili ışın lazer kaynaklarının kaynak çıtasının kalitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu makalenin amacı, kaynak çıtasındaki çukur oluşumunu en iyi azaltan ışın oranını ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Çekme ve mikro

sertlik testlerini lazer kaynaklı örneklerin mekanik özelliklerini ölçmek için kullanmışlardır. Sonuçlarda kaynak çıtasındaki çukur oluşumlarını, ikili lazer yapısının azalttığını göstermişlerdir.

Masoud Harooni vd [4]; Magnezyum, elektrik, uzay ve otomobil gibi farklı sanayilerde kullanılan en hafif metallerden birisi olduğundan bahsetmişlerdir. Fakat magnezyum alaşımlarının birleşiminde porozitenin istenilen özellikte kaynak yapılamamasınındaki ana nedenlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Magnezyum alaşımının yüzeyinde oluşan oksit tabakası kaynak dikişinde porozite oluşumunun nedenlerinden biri olduğundan bahsetmişlerdir. Ön ısıtma yapmanın oksit tabakası ve magnezyum hidroksit tabakasının kırılmasına neden olacağını bu uygulamanın da daha iyi bir kaynaklı birleştirmeye sebep olacağını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, iki numune örneği üzerinde çalışma yapmışlardır. Bir tanesi yüzeyinde oksit tabakası kalmış geçerli yüzey diğeri ise işlenmiş yüzeydir. İşlenmiş yüzeyin iki teknik içerdiğinden bahsetmişlerdir. Birisi mekanik olarak kaldırma (MR) ve diğeri ön ısıtma kaynağı olarak plazma arkın (PA) kullanımından bahsetmişlerdir. Ayrıca, PA işlenmiş sonuçlarla karşılaştırmada ocaktaki ön ısıtma numuneleri için birçok farklı deneyler yapmışlardır. Kaynakların kimyasal bileşimini ve metal saç yüzeylerini ortaya çıkarmak için enerji dağılımlı izge ölçümü (EDS) uygulamışlardır. AR ve PA işlenmiş numunelerdeki yüzey bileşimlerini nitelemek için X-ray foto elektron spektroskopisi elektron enerji spektroskopisi (XPS-REELS) yardımıyla kimyasal yüzey bileşimlerini test etmişlerdir. İki örtüşmeli sacın kontak yüzeyindeki oksit tabakanın varlığının tutarsız sürece neden olduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda ön ısıtma işlem sırasının iki örtüşmeli sacın ara yüzeyinde ki porozite oluşumunu etkili bir şekilde azalttığını ortaya çıkarmışlardır.

Inderjeet Singh vd [22]; Deneysel yaklaşım kaynak parametrelerinin etkisini araştırmak için AZ31B-O Mg alaşımının benzer sürtünme karıştırma kaynağıyla kaynaklanmasını araştırmışlardır. Bu araştırmada AZ31B-O Mg alaşım birleşiminin mekanik ve metalurjik özelliklerindeki sürtünme karıştırma kaynağı parametresinin etkisini araştırmışlardır. Seçilen materyal, pimin dönme hızı, kaynak hızı ve pim omuz çapı gibi farklı parametrelerin birleşimi kullanılarak kaynak yaptıklarından bahsedilmiştir. Kaynak bölgesinin, yani kaynak hızının pim dönme hızına etkisi AZ31B-O Mg alaşımın sürtünme karıştırma kaynağının mekanik ve mikroyapısal özellikleri üzerinde araştırma yapmışlardır. Mikroyapı analizlerinde dinamik olarak karıştırma bölgesinde eş eksenli tanelerden dolayı yeniden kristalleşmeyi gözlemlemişlerdir. Kaynak bölgesi ve çekme

mukavemeti arasında doğrusal ilişki gözlemlemişlerdir. 187.8 N/mm^2 çekme mukavemetinin maksimum değeri, 20 mm pim omuz çapı kullanılarak 0.05 mm/dev kaynak bölgesinden sonuçlarını elde etmişlerdir. Çekme test örneklerinin çoğu termo-mekanik bölgenin ve karıştırma bölgesinin arasında ki bölgede kırıldığını belirtmişlerdir. İyi ve eş eksenli parçalar dinamik yeniden kristalleşmeden dolayı kaynak bölgesinin yüksek değerinde gözlemlemişlerdir.

W.Y. Li vd [23]; Bobin pimi sürtünme karıştırma kaynağının AZ31 Mg alaşımının mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki kaynak ve dönme hızının etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar ısı etkisi altında kalan bölgenin alanın eş eksenli parçalardan oluştuğunu göstermiştir. Bu eş eksenli parçalar, sürtünme karıştırma kaynağı Al ve Mg alaşımlarında ısı etkisi altında kalan bölgenin bobin pimi sürtünme kaynağı karıştırma alaşımlarında bulunan, deforme olan taneciklerle uyuşmadığını ortaya çıkarmışlardır. Dönme hızının oranı, kaynak hızına oranı arttıkça ortalama tanecik boyutu arttığını belirtmişlerdir. Sertlikte azalma olmadan yapılan iyi kaynaklar düşük ısı kullanarak üretmişlerdir. Mekanik testlerde, tüm çekme mukavemetinin yükselen kaynak hızıyla zamanla artacağını göstermişlerdir. Bu artışı, dönme hızı sabit tutularak oluşturmuşlardır. Dönme ve kaynak hızlarının akma gerilmesi ve kırık sünme üzerinde çok az etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

Masoud Harooni vd [24]; AZ31B magnezyum alaşımının iki pasolu lazer kaynağı, çift pasolu lazer kaynağının sıfır aralığındaki AZ31B magnezyum tabakasına uygulanmasını çalışmışlardır. İlk paso magnezyum oksitteki ve moleküler sudaki magnezyum hidroksiti parçaladığını gözlemlemişlerdir. Magnezyum kaynağı için düzenlenen ikinci paso ise suyun buharlaşmasını sağlamışlardır ve böylece gözeneksiz kaynak yapmışlardır. Tek paso lazer kaynağını (OPLW) ve çift paso lazer kaynağını (TPCW) kapsayan iki grup numune üzerinde çalışmışlardır. Çift paso lazer kaynak işleminde, lazer kaynaktan önce kontak yüzeyi ısıtmak için iki kaplama tabakanın en üstündeki odaksız lazer ışınıyla ilk geçişi gerçekleştirmişlerdir. İkinci geçişi ise numuneleri kaynatmak ve ergitmek için kullanmışlardır. Çift geçişli lazer kaynağının tek geçişli lazer kaynağından daha pürüzsüz ve daha düzgün, daha az dalgalanma olduğunu belirtmişlerdir. Kaynak ve metal tabaka yüzeylerinin kimyasal bileşimlerini, enerji yayılım spektroskopu (EDS) kullanarak değerlendirmişlerdir. Çift kaplama katmanının kontak yüzeyindeki oksit tabakanın oluşumunun değişken sürece neden olduğunu belirtmişlerdir. Çekme değerlerini çift pasolu kaynaklı birleştirmelerde tek pasolu birleştirmeye göre daha yüksek

bulmuşlardır. Çekme ve mikro sertlik testlerini lazer kaynaklı numunelerin özelliklerini ölçmek için kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar çift lazer kaynağın çift kaplamalı tabakalarının kontak ara yüzeyindeki gözenek oluşumunu etkili bir şekilde azalttığını ortaya çıkarmışlardır.

Xiangyu Dai vd [3]; Mg/Al bağlantısının mikroyapı ve gaz tungsten ark ile ultrasonik hibrid dikiş kaynağının özelliklerini araştırmışlardır. Yeterli bileşim direncine sahip Al6061 alaşım tabakası ve AZ31B Mg hibrid ultrasonik kaynakla desteklenen yeni volfram gaz alaşımı (6TAW), 6TAW ön ısıtma ısısını kullanarak meydana getirmişlerdir. 6TAW tabaka sertliğini azalttığını fakat akustik yumuşatma etkisini ve materyal esnekliğini yükselttiğini belirlemişlerdir. Böylece, 1 mm kalınlığında ki AZ31B Mg ve Al6061 alaşım tabakalarının doğrudan birleşimi ultrasonik güç üretmeden elde ettikleri ortaya çıkmıştır. Mikroyapıdaki ve mekanik özelliklerde ki 6TAW akımının etkisini araştırmışlardır. Birleşimin çekme mukavemeti 6TAW akımını maksimum dirence yükseltmiştir ve daha sonra önemli ölçüde düşürdüğünden bahsetmişlerdir. Maksimum çekme kuvveti katı 30 A'ın bir 6TAW akımında 1 kN olduğunu belirtmişlerdir. Yaklaşık olarak AZ31B Mg, alaşımın %40'ı olduğundan bahsetmişlerdir. Ara yüz kırılma biçiminden dolayı meydana gelen başarısızlık ve kırılma örnekleri ayrılma özelliği ile birlikte kırılma biçimi gösterdiğini ortaya çıkarmışlardır.

M. Sun vd [25]; direnç kaynak bölgesinin yardımıyla AA5754 alüminyum ve AZ31 magnezyum alaşımlarının farklı birleşimlerini araştırmışlardır. Al-Mg ara metalik birleşimlerin oluşumunu engellemek için hacimsel saf nikel ara katmanını iki ana metal arasına sokmuşlardır. SEM/EDS ve XRD metotlarının yardımıyla yapılan mikroyapısal araştırmalar Mg/Ni ve Al/Ni ara yüzeylerini nitelemek için yapmışlardır. Al/Mg tepkimesinin başarılı bir şekilde önlendiği ve alt mikron ara metalik tabakaların (Al/Ni ve Mg//Ni tepkimeleri içindeki) ayrı ara yüzeylerde oluştuğunu ortaya koymuşlardır. Mekanik test sonuçları, ara tabakayı kullanmadan direk birleşimle karşılaştırıldığında birleşim gücündeki dayanıklı ilerlemenin olduğunu belirtmişlerdir. 42 kA aşırı yüksek atom kaynağının uygulandığı Mg/Mg ara yüzeysel bölgede ki mikro yapı bozulmalarına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Kırık yüzeyi araştırması, sonraki bölgelerdeki mikroyapı hatalarının yüksek akım kaynağındaki birleşim gücünü azalttığını ortaya çıkartmışlardır.

2. MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI

2.1. Giriş

Magnezyum, gümüş renkli, hafif ve parlak bir metaldir. Magnezyum, dünyada en çok bulunan altıncı metal ve sekizinci elementtir [26]. Magnezyum periyodik tablonun IIA grubunda yer alan toprak alkali bir elementtir [27]. Magnezyum, alüminyum ve demirden sonra en çok bulunan yapı metali özelliğine sahiptir [26]. Düşük yoğunluğundan kaynaklanan düşük eylemsizliği, hızlı hareket eden parçalar için bir avantajdır [28]. Magnezyumun atom çapı 0,32 nm olduğu için alaşım elementleriyle Al, Zn, Ag ve Th gibi elementlerle birlikte kullanılarak, magnezyuma çeşitli iyileştirmeler sağlanabilir. Magnezyum alaşımlarının mekanik özelliklerine bakıldığında, 160-300 N/mm^2 çekme dayanımına, 80-190 N/mm^2 , % 0,2 akma dayanımına, % 2-15 kopma uzamasına sahip alaşımlardır. Magnezyum alaşımları, ulaşım, elektrik-elektronik, teknolojik aletler ve spor gereçleri endüstrisinde kendine kullanım alanı bulmaktadır [29]. Magnezyumunun bazı mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 2.1.' de verilmiştir.

Tablo 2.1. Saf magnezyumun mekanik ve fiziksel özellikleri [29].

Özellik	**Değer**
Simgesi	Mg
Atom Numarası	12
İyon Değerliği	+2
Kaynama Noktası	1107 °C
Ergime Noktası	650 °C
Yoğunluğu	1,74 g/cm^3
Elektron Düzeni	$3s^2$
Kristal Yapısı	Hegzagonal sıkı paket
Çekme Dayanımı	80- 180 Mpa
Young Modülü	45 GPa
Çekme (katı–sıvı)	% 4,2
Atom Hacmi	14, 0 (atom ağırlığı/ yoğunluk)
Özgül Isısı	0,25 cal/g °C
Isı İletkenliği	156 W/m °K, s. cm. °C (oda sıcaklığında)
Elektrik İletkenliği	22,4 m/ Ω mm^2 (oda sıcaklığında)
Kaynama Isısı	32, 517 kcal / atomgram

Magnezyum, günümüzde uçak, otomotiv ve uzay endüstrisi başta olmak üzere konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan en hafif metalik malzemedir [30]. Magnezyum 1.74 gr/cm^3 yoğunluğu ile alüminyumdan %36, çelikten %78 daha hafif olan magnezyum alaşımları, yapı metalleri ve konstrüksiyon malzemeleri arasında en düşük özgül ağırlığa sahiptir [31]. Magnezyum, yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından plastiklere benzetilirken, aynı zamanda bir metalde bulunan mekanik özelliklere de sahiptir [32]. Magnezyum hegzagonal sıkı paket kristal yapıda olup, daha ziyade yumuşak ve 45 GPa seviyelerinde düşük elastiklik modülü değerine sahiptir. Magnezyum ve alaşımlarını oda sıcaklığında şekillendirme işlemi oldukça zordur ve ön işlem uygulanmadan (tavlama) şekillendirilmeleri zordur. Magnezyumda, alüminyum gibi 651°C değerinde düşük denilebilecek bir ergime sıcaklığına sahiptir. Diğer yandan magnezyum ve alaşımlarının normal atmosferik ortamda oksitlenmeye karşı direnci oldukça iyidir. Bu direncin iyi olmasının sebebi ise, magnezyumun kimyasal bileşiminde empürite seviyesinde yer alan elementlerin varlığıyla açıklanır [33]. Magnezyum ve magnezyum alaşımları, hafiflik ve yüksek özgül dayanım özelliklerinden (mukavemet/yoğunluk) dolayı savunma sanayisi ve ulaşım sektörü için özel bir önemi vardır. Magnezyum, alaşımlandırılmadan önce düşük mukavemet ve tokluk değerlerine sahip olduğu için alaşımlandırılarak kullanılmaları endüstri alanında daha doğru ve iyi özellikler gösteren bir uygulamadır. Magnezyum, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek boyutsal kararlılık, iyi elektromanyetik koruma, yüksek sönümleme, iyi işlenebilme ve kolay geri dönüşüm özelliklerine sahiptir. Düşük ağırlığı ve insan vücuduna olan yüksek uyumu sayesinde implant malzemesi olarak biyomalzeme sektöründe kullanılması mümkündür [29]. Magnezyuma 21. Yüzyılın en popüler metalik malzemesi gözüyle bakılmaktadır. Magnezyum alaşımları, konstrüksiyon metalleri içerisinde oldukça yüksek mukavemet oranına sahiptir. Magnezyum alaşımlarının, pek çok alanda son yıllarda gittikçe artan öneme sahip olmasının başlıca nedenleri ise, yüksek boyutsal kararlılığı, geri dönüşüme müsait olması ve daha düşük maliyetle üretilebilmeleri nedeniyle, pek çok mühendislik uygulamasında mühendislik plastiklerinin yerini aldıkları da görülmektedir [31]. Magnezyum, alüminyum gibi özel durumlar altında üretilir. Magnezyum ve magnezyum alaşımları ticari olarak genellikle soğuk şekillendirilmiş şartlarda yarı mamul olarak satılmakta ve kullanılmaktadır. Magnezyumun kendine has özellikleri nedeniyle kaynak işlemleri çeliklerden farklılık gösterir. Magnezyumun, alüminyum içinde geçerli olan birkaç özelliğe ise şu şekildedir;

- Yüzeyin magnezyum oksitle kaplanması.
- Yüksek ısıl iletkenlik.
- Nispeten yüksek ısıl genleşme katsayısı.
- Nispeten düşük ergime sıcaklığı.

Magnezyum aktif bir metal olduğu için, oksitlenme hızı sıcaklıkla birlikte doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Magnezyumun ile alüminyumun ergime noktaları birbirine yakındır, ancak magnezyum oksitin ergime noktası çok yüksektir. Yüzeyinde oksit tabakası oluşacağı için yüzeydeki oksit tabakası giderilmelidir [26]. Saf magnezyum, yüksek korozyon direncine sahiptir. İçeriğinde bulunabilecek bakır, nikel, demir, klorür, oksit, nitrür gibi emprütiler magnezyum ve alaşımlarının korozyon direncini düşürür. Bununla birlikte hiçbir metalin saf hali mühendislik uygulamalarında genellikle kullanılmazken, magnezyumun saf hali de çok nadir olarak kullanılır. Magnezyum, çoğunlukla alaşımında kullanılan alüminyum, çinko, mangan ve ender metallerle yüksek mukavemet-ağırlık oranına sahip alaşımlar halinde kullanılır. Bütün magnezyum alaşımı üretimlerinin % 75-90 kadarı Al-Mn-Zn ile üretilen döküm alaşımlarıdır. Tablo 2.2' de magnezyum alaşımlarının endüstrideki kullanımına ilişkin avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir [34].

Tablo 2.2. Magnezyum alaşımlarının endüstride ki avantaj ve dezavantajları [34].

Avantajları	Dezavantajları
Konstrüksiyon malzemeleri arasında en düşük yoğunluğu olan malzemedir	Alaşımların yetersiz olması
Yüksek özgül direnç	Normal oda sıcaklığından daha düşük sünekliğe ve tokluğa sahip olması
Döküm ve dökülebilirlik kabiliyet özelliği iyidir	Yüksek sıcaklık özelliklerinin (ısıl direnç ve sürünme direnci) sınırlı olması
Yüksek kesme hızında kolay işlenebilir	Kimyasal tepkimeye girme yatkınlığı oldukça yüksektir
Tabiatta büyük oranda bulunur	Yüksek çekme oranı
Asal gazlar altında kaynak edilebilirlik özelliği iyidir	Daha ileri geri dönüşüm özelliklerinin olmaması
Korozyona karşı olan direnci önemli derecede yüksektir	Korozyon özelliği hakkında yeterince bilgi olmaması
Plastiklere kıyasla; • Mekanik özelliklerini çok iyi olması • Yaşlanma direnci • Daha iyi elektriksel ve termal iletkenlik	Üretici sayısında ki sınırlılık ve fiyatlarda ki dalgalanmalar

2.2. Alaşım Elementlerinin Magnezyum Alaşımlarına Etkisi

Magnezyumun pek çok diğer metal gibi saf halde kullanılması nadir olarak görülür. Malzemenin dayanım özelliklerinde çeşitli iyileştirmeler yapmak için magnezyuma alaşım elementleri ilave edilerek döküm veya dövme mamuller elde edilmektedir. Magnezyum hegzagonal sıkı paket yapıya sahiptir ve sahip olduğu tane çapı da çok fazla sayıda elementle katı çözünebilirliğe olanak sağlar. Magnezyum üretim malzemesi olarak kullanıldığında Al, Be, Ca, Cu, Fe, Mn, Ni, Si, Ag, Sn, Zn ve Zr gibi elementler ile Na, K, Li, alkali ve Ce, Ln, Y, Nd gibi toprak elementleri ilavesi ile özelliklerinde iyileştirme yapılarak alaşımlandırılırlar. İlave edilen elementlerin bir tanesi ve birkaç tanesi ile alaşımlandırma işlemi gerçekleştirildiği zaman alaşımlar genellikle yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olur [27]. Magnezyum alaşımları için iki önemli sertleşme mekanizması vardır bunlardan birincisi, katı eriyik sertleşmesi diğeri ise çökelti sertleşmesidir. Hume-Ruthery kuralına göre; çözünen ve çözen atomların atomik çapları arasında ki fark %14-15' i geçerse, katı çözelti oluşmayabilir. Dahası, katı çözelti oluşturabilmek için iki elementinde aynı kristal kafes yapısına sahip olması gerekir. Tablo 2.3.' te ikili magnezyum alaşımlarında oluşan katı intermetalik fazlar ve çözünebilirlik verileri verilmiştir [27].

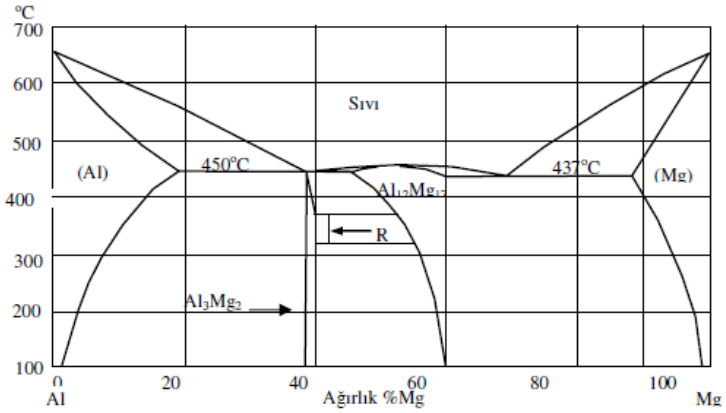
Tablo 2.3. Magnezyum alaşımlarında oluşan intermetalik fazlar ve çözünebilirlikleri [27].

Sistem	Max. Çöz.		Faz	Ergime noktası °C	Sistem	Max. Çöz.		Faz	Ergime noktası °C
	% ağ.	% at.				% ağ.	% at.		
Mg-Al	12.7	11.6	$Mg_{17}Al_2$	402	Mg-Sm	5.8	0.99	$Mg_{62}Sm$	-
Mg-Ca	0.95	0.58	Mg_2Ca	714	Mg-Nd	3.6	0.63	$Mg_{41}Nd_5$	560
Mg-Sc	25.9	15.9	MgSc	800	Mg-Th	5.0	0.49	$Mg_{23}Th_6$	772
Mg-Mn	2.2	1.0	Mg_2Mn	1245	Mg-Dy	25.8	4.83	$Mg_{24}Dy_5$	610
Mg-Zn	8.4	3.3	MgZn	347	Mg-Ho	28.0	5.44	$Mg_{24}Ho_5$	610
Mg-Y	12.0	3.6	$Mg_{24}Y_5$	620	Mg-Tm	31.8	6.26	$Mg_{24}Tm_5$	645
Mg-Zr	3.6	0.99	MgZr	1855	Mg-Yb	3.3	0.48	Mg_2Yb	718
Mg-Ag	15.5	4.0	Mg_3Ag	492	Mg-Lu	41.0	8.80	$Mg_{24}Lu_5$	-
Mg-Sn	14.85	3.45	Mg_2Sn	770	Mg-Tl	60.5	15.4	$Mg_5Tı_2$	413
Mg-Ce	0.74	0.13	$Mg_{12}Ce$	611	Mg-Pb	41.7	7.75	Mg_2Pb	538
Mg-Pr	1.7	0.31	$Mg_{12}Pr$	585	Mg-Bi	8.85	1.12	Mg_3Bi_2	821

Magnezyum alaşımlarına ilave edilen alaşım elementlerinin magnezyum alaşımlarına etkisi aşağıda kısaca özetlenmiştir.

2.2.1. Alüminyum

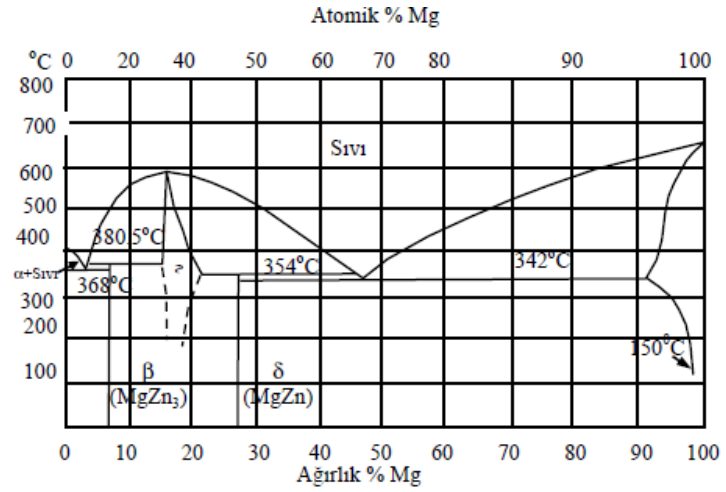
Alüminyum, magnezyum alaşımlarına ilave edilen alaşım elementlerinin ilk sırasında gelmektedir. Alüminyum ilavesi ile alaşımın çekme dayanımı, sertliği ve katılaşma zamanı artarken, yine bu element ilavesi ile alaşımın sünekliği, darbeye karşı direnci azalmaktadır. Katı ergiyiğin dökülebilirliğini iyileştirmesinin yanı sıra magnezyum alaşımlarının katı çökelti dayanımını ve magnezyum döküm alaşımlarının ise mikro gözeneklerini azaltıcı bir etki yapar. Alaşıma ilave edilen alüminyum miktarı % 6' yı geçtiği zaman, alaşımın ısıl işlem kabiliyetini arttırıcı bir etki yapar. Katı eriyik sertleşmesi ve çökelti sertleşmesi ile ortaya çıkan $Mg_{17}Al_{12}$ intermetaliği, düşük sıcaklıklarda (≤120 °C) meydana gelerek alaşımın dayanımını arttırıcı bir şekilde önemli rol oynar. Şekil 2.1.' de Mg-Al denge diyagramı görülmektedir [35].



Şekil 2.1. Mg-Al denge diyagramı [35].

2.2.2. Çinko

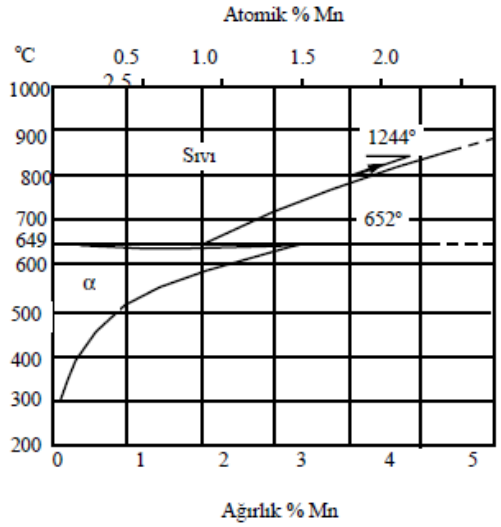
Magnezyum alaşımlarına çinko ilavesi, tane sınırlarındaki ötektik miktarını arttırıcı etki yapar ve bu ilavenin alaşımın katılaşma sıcaklığını düşürücü etkisi vardır. Çinko ilavesi ile korozyon özelliklerinde bakırın kötü etkisini ortadan kaldırmak amaçlanır. Çinko, çökelme sertleşmesinden dolayı sertliği, dayanımı ve aynı zamanda ergiyiğin akıcılığını arttırma etkisi yapar, çinko tane sınırlarına çökeldiği için sıcak yırtılma etkisi oluşturduğu için maksimum % 2 ile sınırlandırılmalıdır. Ayrıca çinkonun, ilave edildiği alaşımın çekme dayanım özelliğini arttırıcı etkisi vardır. Şekil 2.2' de Mg-Zn denge diyagramı verilmiştir [36].



Şekil 2.2. Mg-Zn denge diyagramı [36].

2.2.3. Mangan

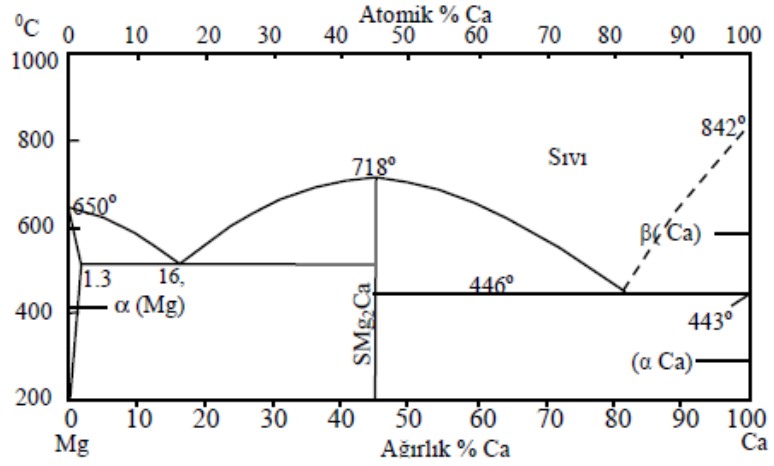
Mangan genellikle tek başına değil de daha çok diğer alaşım elementleriyle beraber kullanılmaktadır. Magnezyum alaşımlarının içerebileceği maksimum mangan miktarı % 1.5-2' dir [29]**.** Mangan, magnezyum alaşımlarının korozyon direncini iyileştirici özelliğe sahiptir. Korozyon direncinin iyi olmasının nedeni ise alaşım üzerinde Fe' in etkisini azaltmasından gelmektedir. Ancak manganın, magnezyum alaşımları üzerine dayanım etkisi azdır. Şekilde 2.3.'de Mg-Mn denge diyagramına göre, magnezyum içerisinde mangan %3,4' e kadar sıcaklığa bağlı olarak katı eriyik oluşturabilir [35].



Şekil 2.3. Mg- Mn denge diyagramı [35].

2.2.4. Kalsiyum

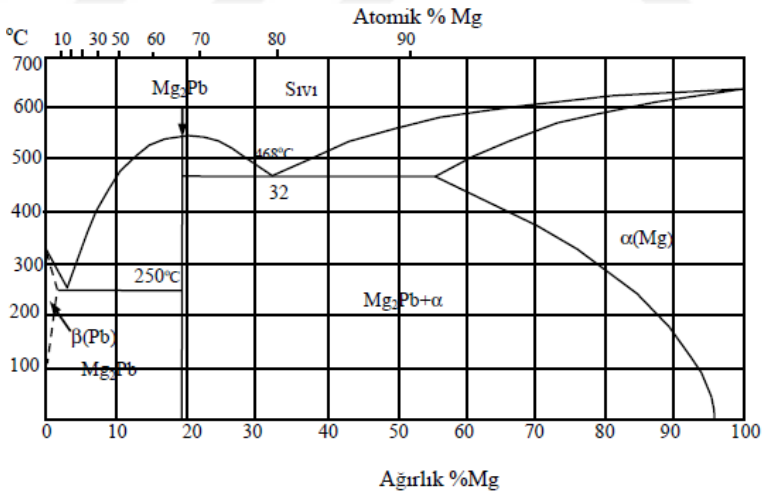
Magnezyum içerisinde kalsiyumun ulaşabileceği maksimum çözünebilirlik 565°C' de % 1,34'tür, 200°C' çözünebilirlik ise yaklaşık % 0' dır. Kalsiyumun, magnezyum içerisnde sınırlı çözünebilirlik durumu olduğu için katı eriyik sertleşmesine etkisi çok düşüktür. Alaşıma ilave edilen kalsiyum, alaşımın sürünme direncini geliştirici özelliği vardır, bunun yanı sıra alaşımın sıcak yırtılmalara karşı olan eğilimini arttırıcı etkisi vardır [35]. Kalsiyum başlangıçta magnezyum içerisinde çözünür ve magnezyumun aktivitesini düşürme etkisi vardır, ancak kalsiyum, magnezyum alaşımının korozyon özelliklerini iyileştirir. Şekil 2.4'te Mg-Ca denge diyagramı verilmiştir [29].



Şekil 2.4. Mg- Ca denge diyagramı [35].

2.2.5. Kurşun

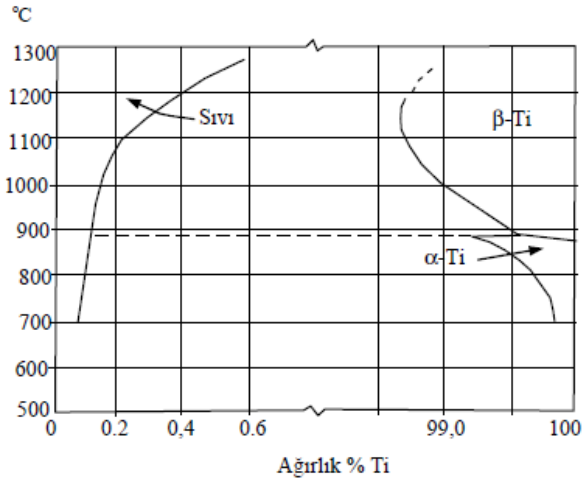
Magnezyum alaşımına ilave edilen kurşunun iyi bir çözünürlüğü vardır, yaklaşık 460 °C gibi yüksek sıcaklıklarda % 45' e kadar kurşun çözünebilir ve $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazını inceltme özelliğine sahiptir [35]. Şekil 2.5.'de verilen Mg-Pb denge diyagramı incelendiğinde alaşımın sıcaklığı düştükçe α+Mg_2Pb fazının oluştuğu gözlenmektedir [35].



Şekil 2.5. Mg-Pb denge diyagramı [35].

2.2.6. Titanyum

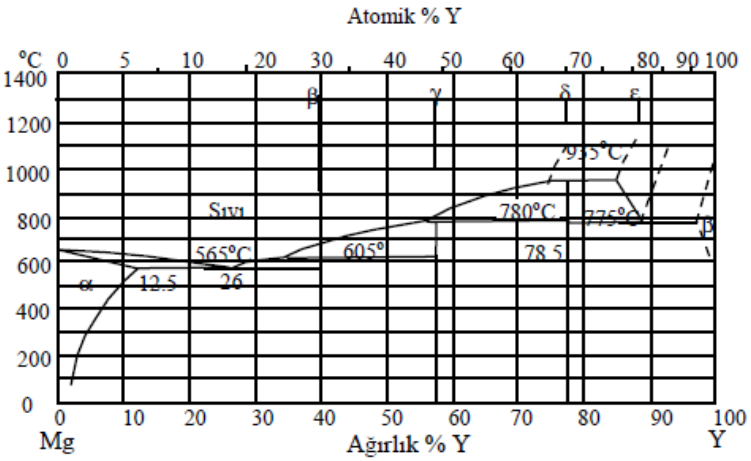
Magnezyum alaşımlarını ilave edilen titanyum, alaşım içinde çok az çözünürlüğe sahiptir ve tane inceltici etkisi vardır. Titanyumun çözünürlük miktarı, hızlı katılaşma ile magnezyum alaşımı üretilirse artabilir. Şekil 2.6.' da Mg-Ti denge diyagramı verilmiştir [35].



Şekil 2.6. Mg-Ti denge diyagramı [35].

2.2.7. İtriyum

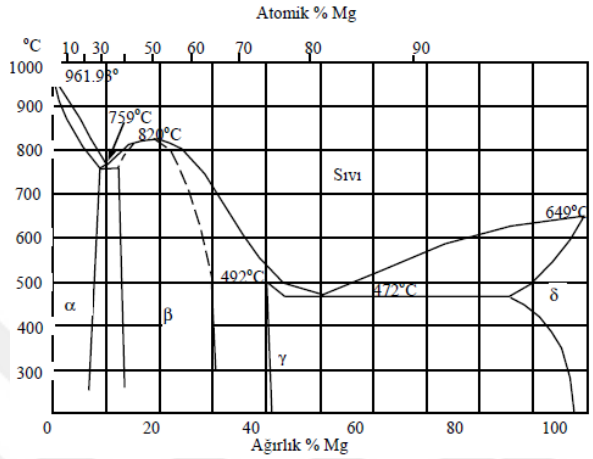
Magnezyum alaşımlarında nadir toprak elementleriyle birlikte kullanılarak, yüksek sıcaklık mukavemeti etkisi ve sürünme dayanımı etkisini 300 °C sıcaklığa kadar arttırma özelliği vardır [29]. İtriyum, magnezyum alaşımında % 12.5 gibi yüksek bir çözünürlük oranına sahiptir, azalan sıcaklıkla çözünürlük azalmakta ve çökelti sertleşmesi oluşumuna neden olur. Şekil 2.7.' de Mg-Y denge diyagramı verilmiştir [35].



Şekil 2.7. Mg- Y denge diyagramı [35].

2.2.8. Gümüş

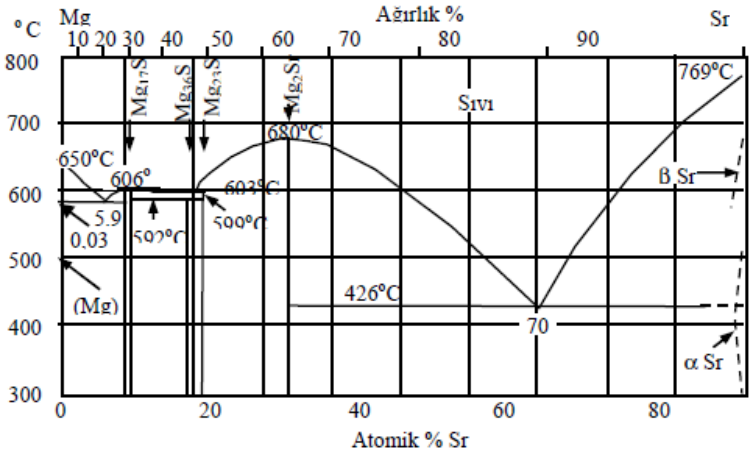
Magnezyum alaşımlarına gümüş ilavesi ile alaşımın sertliğinde önemli iyileşmeler olabilir, fakat gümüş elementinin ticari piyasasındaki pahalılık nedeniyle kullanımı oldukça kısıtlıdır. Şekil 2.8.' de Mg-Ag denge diyagramı verilmiştir [35].



Şekil 2.8. Mg- Ag denge diyagramı [35].

2.2.9. Stronsiyum

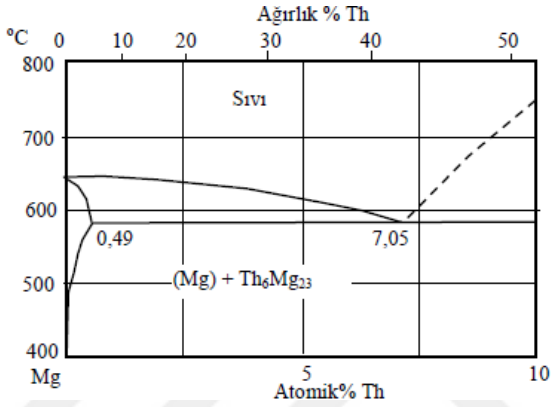
Magnezyum alaşımların stronsiyum ilavesi mikro gözeneklerin dağılmasında önemi yüksektir ve stronsiyum alaşımlarda poroziteye olan yönelimi azaltma özelliği vardır. Alaşıma % 2 stronsiyum ilavesi, alaşımın mekanik özelliklerini ve korozyon direncini arttırabilir. Şekil 2.9.' da Mg-Sr denge diyagramı verilmiştir [35].



Şekil 2.9. Mg- Sr denge diyagramı [35].

2.2.10. Toryum

İtriyumda olduğu gibi toryumda, alaşımın 300 °C' ye kadar sürünme ve gerilme özelliklerini iyileştirir. Magnezyumun alaşımlarının dökülebilirliğinde rol oynar ve iyileştirir [29]. Çinko ile kullanıldığı zaman kaynak edilebilme kabiliyetini geliştirici etki yapar, toryumun mikro porozite azaltıcı etkisi de vardır. Şekil 2.10.' da Mg- Th denge diyagramında Th yaklaşık % 0.49 oranında katı eriyik yaparken, % 7.05 değerinde ötektik oluşturduğu görülmektedir [35].



Şekil 2.10. Mg- Th denge diyagramı [35].

2.3. Magnezyum Alaşımı Çeşitleri

2.3.1. İkili Magnezyum Alaşımları

2.3.1.1. Magnezyum- Alüminyum Alaşımı

Alüminyum, magnezyumla dayanımı, dökülebilirliği ve korozyon direncini iyileştirmek için alaşımlandırılır. Alüminyum 437 °C' de % 12.7 magnezyumda maksimum katı eriyebilirliğe sahiptir ve eriyebilirlik oda sıcaklığında yaklaşık % 2' ye düşer. Uygun bir çözündürme, su verme ve yaşlandırma işlemiyle, sağlam ve sünek alaşım sağlayan ince bölünmüş çökeltinin üretilmesi beklenir. Fakat uygulamada durum böyle değildir, çökelti sertleştirme işlemi uygulandıktan sonra uyumsuz, kaba $Mg_{17}Al_{12}$ dengeli faz çökeltileri veya orta kararsız bir çökelti üretilir. Sadece birkaç, Mg-Al ikili alaşımları mühendislik önemine sahiptir. Çünkü çinko ilaveleri, yaşlandırma sertleştirilmiş çökeltiyi inceltmekte Mg-Al alaşımlarının dayanımını oldukça iyileştirebilir [37].

2.4. Magnezyum ve Alaşımlarının Temel Özellikleri

Magnezyum ve alaşımları yüksek oranda şekillendirme kabiliyeti ve darbe dayanımına sahiptir. Çok yüksek saflıktaki alaşımlarda çok iyi korozyon dayanımı gösterir. Magnezyum alaşımları döküm uygulamalarında yüksek döküm hızına, talaşlı imalatta uzun takım ömrüne ve çok iyi mekanik işlenebilirlik özellikleri gösterirler [26].

Magnezyum termoplastik özellikteki plastik malzemelere bir alternatif oluşturur. Magnezyumun yüksek derecelerdeki esnekliği, çalışma koşullarındaki yüksek verimi, yapısal konstrüksiyonlarda gerekli olan dayanımı sebebi ile plastiklere göre çok daha yüksek bir avantaja sahiptir. Plastikler güneş ışığına direkt maruz kaldığı zaman mekanik özelliklerinde düşme, yaşlanma veya renk değişimi oluşurken, magnezyum alaşımlarının bu konudaki avantajları göz ardı edilemeyecek kadar iyidir. Bunun yanında magnezyum alaşımlarının ticari yollarla maliyetindeki uygunluğunu da göz önünde bulundurmak gerekir [26].

2.5. Magnezyum ve Alaşımları Standartları

Magnezyum alaşımları ASTM (A275) standart sistemi tarafından belirlenmiştir. Yöntem iki harfle iki rakamı kapsamaktadır. İki harf, iki en büyük elemanına verilmiş olan harf kısaltması ve rakamlar ise bu alaşımların en yakın tam sayıya yuvarlanmış yüzdelik dilimleridir. Tablo 2.4.' de evrensel olarak yaygın bir şekilde kullanılan alaşım elementleri tek harfle listelenmiş şekilde verilmiştir [32]. Tablo 2.5.' de magnezyum alaşımları standartları ve bileşimleri (ASTM B 93/B 93M ve ASTM B94) verilmiştir [32].

Tablo 2.4. Alaşım elementleri ve kısaltmaları [32].

Harf	A	C	E	H	J	K	L	M	Q	S	W	X	Z
Element	Al	Cu	RE	Tr	Sr	Zr	Li	Mn	Ag	Si	Yi	Ca	Zn

AZ31 alaşımının nasıl okunacağı kısaca anlatılmıştır.

A→ Mg' den sonra alaşımda bulunan en fazla element olan Al' yi gösterir.

Z→ Mg' den sonra alaşımda bulunan en fazla 2. element olan Zn' yu gösterir.

3→ Alaşım içinde ihtiva olan Al oranının yaklaşık 2.5- 3.5 arasında olacağını gösterir.

1→ Alaşım içinde ihtiva olan Zn oranının yaklaşık 2.5- 3.5 arasında olacağını gösterir.

Tablo 2.5. Magnezyum alaşımları standartları ve bileşimleri (ASTM B 93/B 93M ve ASTM B94) [32].

Alaşım Elementi	**Mg Alaşımları**								
	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	1.0-1.5	4.8-6.2
Mn	0.28	0.26	0.20	0.35	0.20	0.15	0.17	0.1	0.1
Si (max.)	0.05	0.05	0.70	0.60	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05
Fe (max.)	0.004	0.004	0.004	0.0035	0.005	0.05	0.004	0.03	0.03
Cu	0.008	0.008	0.008	0.0015	0.05	0.05	0.025	0.025	0.05
Ni (max.)	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

2.6. Magnezyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları

Magnezyum metalinin saf halde kullanılması pek çok metalde olduğu gibi dayanımının düşük olmasından dolayı çok mümkün olmamaktadır. Böylesi bir durum, çeşitli elementlerle alaşımlandırılarak özelliklerinde iyileştirme yapılması gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Magnezyum ve alaşımlarının en iyi ve en önemli özelliğinin başında hafiflik gelmektedir. Bu özelliğinden dolayı pek çok magnezyum alaşımının özgül çekme dayanımı, alüminyum ve çeliğin özgül çekme dayanımından daha yüksektir. Magnezyum ve alaşımlarının böylesi özelliklerinden dolayı bugün elektrik-elektronik, savunma, havacılık ve uzay endüstrisinin pek çok alanında yaygın olarak magnezyum alaşımları kullanılmaktadır [32].

Magnezyum ve alaşımlarının uygulama alanları listesinin bir numarasında ise % 40 pay ile alüminyumla alaşımlandırma gelmektedir. Magnezyuma ilave edilen düşük miktarlardaki alüminyum, alaşımın mukavemet değerini ve korozyon direncini arttırmaktadır [29].

2.6.1. Magnezyum Alaşımlarının Otomotiv Sanayisinde Kullanım Alanları

Magnezyum alaşımlarının yüksek özgül dayanımı sebebiyle yoğun olarak kullanıldığı uygulama alanlarının başında otomotiv sanayi sektörü gelir. Otomotiv alanında yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında, araçlardan üst düzey yakıt verimliliğin elde edilmesi, harcanan enerjinin azaltılması ve karbon salınımının engellenmesi konularındaki çalışmalar giderek önem kazanmaktadır [29].

Ticari anlamda ki magnezyum fiyatı kendine eş sayılabilecek malzemelerden %35 daha fazladır. 2005' te fiyatlar Çin ve Avrupa pazarında 1600-1900 $/ton seviyelerinde idi. Ancak yüksek hızlarda ve bütününde üretim kolaylığı sağladığından dolayı hacimsel bazda düşünüldüğünde uygun denilebilecek fiyatlara sahiptir [29].

Magnezyum alaşımları mükemmel sönümle kapasitesiyle pek çok uygulama için titreşim ve gürültü seviyelerini absorbe edebilme özelliklerine sahiptir. Bu uygulamalardan biri de titreşime duyarlı elektronik ekipmanların bağlandığı montaj bloklarında yapılan titreşim testleridir [29].

Günümüzde magnezyum alaşımlarının otomotiv sektöründe hayata geçtiği veya potansiyel kullanım alanı olarak düşünebilinecek iki temel grup vardır. Birinci grup, magnezyum alaşımlarıyla üretimi halen kabul gören şasi elemanları, iç kısım parçaları ve kaporta elemanları gibi yapısal elemanlar, bu uygulamalarda magnezyum alaşımları dayanım, süneklik, yorulma ve darbe dirençlerinin yeterli olmaları nedeniyle üretimleri yapılarak otomotiv sanayisi içine girmiştir. Magnezyum alaşımları ile üretilen donanım aksamlarına örnek olarak; koltuk iskeleti, direksiyon ve direksiyon kolonu bileşenleri, ayna yuvaları, jantlar, süspansiyon kolları, iç konsol, bagaj kapağı, gösterge paneli, fren ve debriyaj pedalları verilebilir. İkinci bir grup uygulama ise, motor grubu ve transmisyon komponentlerinden oluşur. Birinci grubun özelliklerinin yanında, yüksek sıcaklıklar için sürünme ve korozyon dayanımı da gerektiren bu parçaların mevcut uygulamaları olmasına rağmen, alaşımları da gelişme sürecine devam etmektedir [29].

2.6.2. Magnezyum Alaşımlarının Savunma Sanayisinde Kullanım Alanları

Magnezyum alaşımları savunma sanayisinde oldukça yaygın ve öneme sahip olan bir malzemedir. Talaşlı imalatta sadece düşük süneklikli magnezyum talaşlı işlenmeye uygun olması bir avantaj sağlarken kolay tutuşabilirliği nedeni ile de dezavantaj sağlar ve tehlikeli bir durum oluşturmaktadır. Böyle özelliklerinden dolayı savunma sanayi sektöründe magnezyum önemli ve kritik kullanım alanları vardır. Büyük tahrip gücüne sahip mühimmatlarda, radar donanımlarında, portatif yer donanımlarında ve stingray torpidolarında alevlendirme amaçlı kullanılmaktadır. Çubuk şeklinde ekstrüze edilmiş magnezyum ise, anti tank mühimmatı olarak kullanılmaktadır. Standart 120 mm veya 100 mm' lik mermileri ateşlemede mühimmata destekleyici olarak magnezyum katılmaktadır. Ayrıca magnezyum yandığında beyaz ışık ve yoğun ısı ortaya çıkarır. İnce ve atomize tozlar alevlendirici ve ordu donatım malzemesi olarak özellikle tehlike işareti ve aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır. Askeri helikopterler ve uçakların korunmasında hedef yanıltma amaçlı olarak magnezyum esaslı aygıtlar kullanılmaktadır. Ayrıca paraşütle atlayışlarda yerin görselleştirilmesinde bu aydınlatmalardan faydalanılmaktadır [29].

2.6.3. Magnezyum Alaşımlarının Havacılık Endüstrisinde Kullanım Alanları

Havacılık sanayinde kullanılan metallerde istenilen en temel özellikler; hafiflik, dayanıklılık, şok-titreşim ve korozyona karsı dirençtir. Hafiflik, yoğunluğunun azaltılması ile sağlanır. Üretimde genellikle alüminyum, çelik, titanyum, magnezyum ve bakır gibi metalik malzemeler kullanılmaktadır, metal malzemelerin saf hallerinin düşük mukavemet özelliklerine sahip olması nedeniyle havacılık sektörünün ihtiyaçlarını karşılaması imkânsız bir durumdur. Günümüzde araştırma ve geliştirme çalışmalarının temeli; daha kullanışlı malzemeler üretebilmek için yeni ve önceden denenmemiş alaşımların geliştirilmesi yapılması çalışmalarıdır. Havacılık sanayi sektörünün yoğun olarak üzerinde iyileştirme yaptığı çalışmalar şunlardır;

- Yanıcı olmaları,
- Yüzeyine herhangi bir koruyucu kaplama tabakası uygulanmadığında, korozif bir ortamda beyaz renkte yuvarlaklar veya noktalar şeklinde korozyona uğramaları,

- Alaşımlarının yüzeylerinde oluşan oksit-karbonat filminin, korozif olmayan ortamlarda bile yeteri seviyede korozyondan korunma sağlamamaktadır. Uygun koruyucu kaplamalarla korozyon direnci önemli ölçüde azaltılabilir.

Hafif parça kullanımı, yakıt tüketimini en aza indirmek için mantıklı bir gerekçedir. Hız ve güç ihtiyacının artması nedeniyle de hafifliğin yanında daha dayanıklı malzeme kullanımı gerekmektedir. Magnezyum alaşımları, üzerine yük binmeyen parçalarda aktif olarak kullanılmaktadır (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 kullanılmaktadır. B-36 bombardıman uçağı toplam 8.6 ton ağırlığında olup yaklaşık 3.4 ton magnezyum alaşımlarından oluşmaktadır. Magnezyum yerine alüminyum kullanılmış olsaydı 4.5 tonluk bir ağırlık ortaya çıkmış olurdu. Tamamen deneysel düşünce ile üretimi gerçekleştirilen F80C tamamen magnezyumla imal edilmiştir. Ağırlığın düşürülmesi temel bir konu olsa da, magnezyum alaşımları korozyon direncinden dolayı geniş bir kullanım alanında kendilerine yer bulamamaktadırlar. Uzay endüstrisinde kullanılacak alaşımların hem mekanik özellikleri hem de korozyon direnci özellikleri maksimum performansta olmalıdır. Günümüzde 20 adet standart magnezyum döküm alaşımı mevcut olmasına rağmen, bu alaşımlardan modern havacılık endüstrisinin gereksinimlerini karşılayacak olanların sayısının az olması büyük bir engel teşkil etmektedir [29].

2.7. Magnezyum ve Alaşımlarının Kaynak Yöntemleri

2.7.1. Magnezyum Alaşımlarının TIG Kaynağı

1 mm' den daha düşük kalınlığa sahip olan parçaları kaynak etmek oldukça zordur; fakat üst sınırı da yoktur. Arkın sabitleştirilmesi için normal kaynak akımına bindirilmiş yüksek frekans akımlı alternatif akım (AA) makineleri ile sürekli amperaj kontrollü doğru akım (DA) makineleri bu iş için kullanılır. İnce saclarda hem AA, hem de doğru akım ters kutup akımı kullanılır. 5 mm' den daha büyük kalınlıkta malzemede daha derin nüfuziyeti sağladığından AA tercih edilir. Doğru akım doğru kutup, magnezyum alaşımlarında, arkın katodik temizleme etkisinden yoksun olması dolayısıyla nadiren kullanılır. Magnezyum alaşımlarının TIG kaynağı için saf tungsten, zirkonyumlu ve toryumlu elektrotlar kullanılır.

Bunların çapı 0.25 ile 6.5 mm arasında değişir. Kaynak düz çizgi halinde üniform hızda yapılır. Salıntı veya dairesel hareket sadece köşe kaynaklarında kullanılır. Durma gerektiğinde, kaynağa kaynak metali üzerinde, önceki kaynağın sonundan yaklaşık 12 mm mesafeden yeniden başlanır. Otomatik kaynak; magnezyum alaşımlarının otomatik TIG kaynağı, elle kaynaktaki gibi olup bunda sadece daha yüksek akım şiddetleriyle kaynak hızları kullanılır. AA en iyisidir; fakat doğru akım ters kutup yönteminde kullanılabilir. Bir dengeli dalgalı AA makinesi ya da dalga dengelenmesi için akü bataryasıyla donatılmış bir klasik AA makinesi kullanılacaktır. Elektrot ve ilave metalin sürekli hizada tutulmalı otomatik kaynakta önemlidir. İlave metal arkın içine, iş parçası üzerine yatık olarak sürülür, şöyle ki ilave metal çubuğu elektrodun hemen önündeki kaynak yüzeyine temas eder. İnce saçlarda dakikada 2.5 mm'ye kadar ilerleme hızları kullanılabilirse de 0.60 ila 0.90 m/dak hızlar mutattır [30].

2.7.2. Magnezyum Alaşımlarının MIG Kaynağı

Magnezyum alaşımlarının MIG kaynağında doğrudan ark transferi kullanılır. Kısa devre kaynağında sabit voltaj makinesi olup bu makine genellikle püskürtme ark kaynağında tercih edilir. Sabit akım şiddetli (düşen volt-amper çıkışı) makineleri püskürtme metal geçişi için asgari akım şiddeti düzeyine yakın şiddetle kaynakta avantajlı olurlar. Akım çıkışını darbelemek için özel sabit voltajlı makineler, darbeli ark kaynağında kullanılır [30].

2.7.3. Magnezyum Alaşımlarının Elektron Işın Kaynağı

Elektron ışın (EIK) kaynağı, %1'den az çinko içeren ticari şekillendirilmiş ve dökme magnezyum alaşımlarında sınırlı ölçüde ve başlıca tamir için kullanılan kaynak yöntemidir. Alaşımların EIK kaynağına uygunlukları genellikle ark kaynağı için olan gibidir. Alışılmış olarak kaynak edilen metallerin en düşük kaynama noktasını (1107 °C) magnezyumun yüksek buhar basıncı dolayısıyla kaynağın kökünde oluşan boşluklar ve gözenekleri önlemek üzere özel teknikler ve kaynak parametrelerinin yakın kontrolü gereklidir. Bu güçlük ayrıca, daha da düşük kaynama noktasını (906 °C) çinkonun varlığıyla artmaktadır. Pratikte % 1'den fazla çinko içeren magnezyum alaşımlarının EIK kaynağı pek mümkün olmamaktadır [30].

3. KAYNAK VE KAYNAK YÖNTEMLERİ

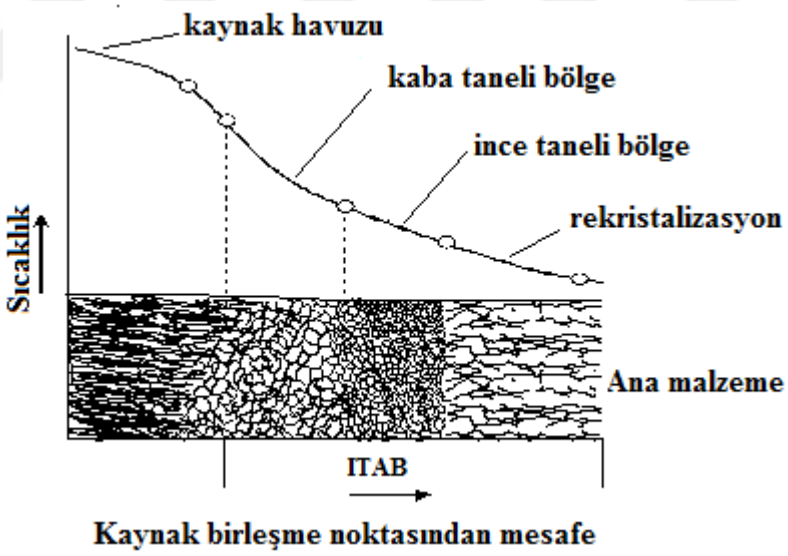
3.1. Giriş

Kaynak, metal veya metal olmayan (plastik, termo-plastik) malzemelerin ısı, basınç veya her ikisinin birlikte etkisi altında bir malzeme ilavesi ile veya ilave malzeme kullanmadan gerçekleştirilen bir birleştirme işlemidir. İlave malzeme olarak, birleştirilen parçalarla aynı cinsten malzeme veya benzer ergime sıcaklığına sahip malzemeler kullanılır. Kaynak ve lehimleme ana birleştirme uygulamalarıdır. Bu uygulamaların sanayi kullanımları basit bir ambalaj kutusunun lehimlenmesinden, büyük bir yük gemisinin kaynak vasıtasıyla kütlesel olarak bir bütün haline getirilmesini kapsayan geniş bir uygulama alanına sahiptir. Kaynak ve lehim ile birleştirilen en az iki veya daha fazla sayıda ki parça arasında kısmi veya tam ergime ile bir birleşme hattı boyunca düzenli veya yarı düzenli bir kristal yapısı oluşturulur. İki metal arasında kristal yapıyı (bağlantı bölgesinde atomların belirli bir kristal sisteminde dizilmeleri) meydana getirerek birleşmenin sağlanabilmesi için parçaların atomları arasında uyumluluk ve atomların birbirlerine karşı ilgilerinin olması gerekir [38]. İdeal metalurjik bağın oluşabilmesi için; absorbe edilmiş gaz, yağ ve oksitlerden arındırılmış düz ve uyumlu yüzeyler, safsızlık içermeyen metal tek kristalli veya benzer kristalografik yapı ve yönlenmeye sahip iki metal gerekmektedir. Bahsedilen şartların laboratuvar ortamlarında bile sağlanması oldukça güç olup, pratik uygulamada bütünüyle gerçekleştirilmesi neredeyse imkânsızdır. Bahsedilen bu güçlükleri aşabilmek için çeşitli kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. Yüzey sertliği kuvvet etkisiyle plastik deformasyon oluşturulması veya ergitme ile tek parça üretimi yoluyla aşılmıştır. Katı hal kaynağında, yüzeydeki kirlenmiş tabaka kaynak öncesi mekanik veya kimyasal yöntemlerle temizlenir veya metalin yeterli derecede plastik akışı ile kaynak bölgesinin dışına çıkarılması sağlanır. Sıvı metal havuzcuğunun oluştuğu ergitme kaynağında, empüriteler fluks maddeleri kullanımıyla ortamdan uzaklaştırılırlar. Yüksek sıcaklıklardaki işlem, metallerin pek çoğunun çevreden olumsuz şekilde etkilenmesine sebep olur. Kaynak sırasındaki ısıtma ve soğutma periyotları metalurjik yapıyı ve dolayısıyla metal bağlantı kalitesini etkileyebilir. Özetle kaliteli bir kaynak;

- Yeterli bir ısı ve basınç kaynağı
- Metali temizleme ve oksidasyondan koruma
- Tehlikeli metalurjik etkilerden (kalıntı gerilmelerden ve korozyon) kaçınma veya telafi etme tedbirlerini gerektirir [38].

3.1.1. Kaynak Bölgesi

Kaynak bölgesi oldukça heterojen bir yapıya sahiptir. Heterojenlik ve karmaşıklık saf metallerde en az seviyede iken iki fazlı ve çok fazlı malzemelere gidildikçe maksimum düzeye ulaşır. Heterojenliğin derecesi aynı zamanda birim uzunluk için uygulanan ısı miktarına da bağlıdır. Yüksek ısı girdisi nüfuziyet derinliğini ve kaynak bölgesinin genişliğini arttırır. Kaynak genel olarak ergiyen bölge ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak iki ayrı bölgeden oluşur [38]. Şekil 3.1' de kaynak bölgesi şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Kaynak bölgesi şematik gösterimi [39].

3.1.1.1. Ergiyen Bölge

Kaynak bölgesindeki türbülanstan dolayı, ana malzemenin de bir miktar ergiyerek ilave malzeme ile karışması sonucu ortaya çıkan katı-sıvı tersinir dönüşümüne maruz kalmış bölgedir. Ergiyen bölgenin katılaşması esnasında, bu bölgenin temas halinde bulunduğu metale ısı iletimi ile gerçekleşir. Bu bölge bir ekseni uzun (kolonsal) ve iri

tanelerden meydana gelmektedir. Ergiyen bölgenin merkezi kısmında alaşım elementlerince zenginleşme ve büzülme neticesinde porozite meydana gelir [38].

3.1.1.2. Isı Tesiri Altındaki Bölge

Ergiyen bölgenin hemen bitiminden başlayarak ana malzemeye doğru uzanan ve ısının etkisiyle mikro ve makro yapısında önemli oranda değişiklikler meydana gelen bölgeye ısı tesiri altında kalan bölge denilmektedir. Kaynak metalinin ana yapısı yaşlandırılmış ve homojen bir karakter sergiliyorsa, aşırı yaşlanma ve tane büyümesi meydana gelebilir. Şekil değiştirmiş bir malzemede ise ısı tesiri altında kalan bölgede, kendine gelme ve yeniden kristalleşme ile yapısal değişimler meydana gelir ve bölge boyunca özellikler değişim sergiler [38] .

3.2. Kaynak Çeşitleri

3.2.1. Ergitme Kaynak Yöntemleri

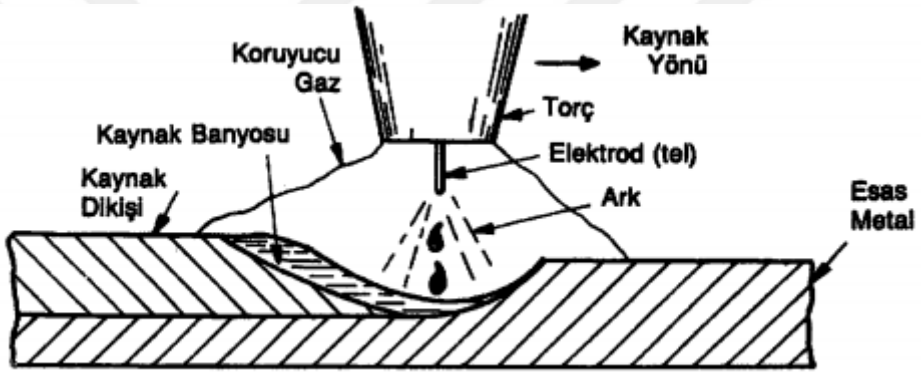
3.2.1.1. Gaz Metal Ark Kaynağı

Gaz metal ark esaslı kaynak yöntemleri, koruyucu gaz farklılığına dayanmaktadır. Kaynak esnasında asal bir gaz kullanılıyorsa MIG (Metal Inert Gaz), aktif gaz kullanılıyorsa MAG (Metal Active Gaz) olarak adlandırılır. MIG ve MAG kaynaklarında kullanılan ekipmanlar aynıdır tek fark ise MAG Kaynağında sadece tüp çıkışına bir ısıtıcı eklenir. MIG-MAG kaynağının büyük bir kısmında doğru akım kullanılır ve elektrot daima pozitif kutuptadır. Bu yöntemlerde ark, devamlı tükenen metal elektrot ile kaynak edilecek iş parçası arasında meydana gelir. MIG-MAG kaynak yönteminin üstünlükleri aşağıdaki gibidir;

- Metal ve alaşımlarının tümünün kaynağında kullanılabilir.
- Kaynak her pozisyonda yapılabilir.
- Sınırlı elektrot problemi yoktur.
- Pasolar arası temizlik kolaydır.
- Sprey şeklinde iletim olduğunda ark kaynağına nazaran nüfuziyet derinliği artar.
- MIG-MAG kaynağının dezavantajları ise şu şekildedir;

- İlk yatırım maliyeti daha yüksektir.
- Torcun mesafesi önemli olduğu için ulaşılması güç olan bazı yerlerle karşılaşılabilir.
- Yüksek şiddetle ısı yayılması ve ark yoğunluğu nedeniyle gerekli önlemler alınmalıdır.

Kaynakta iyi ergime özelliğine, yüksek akım yoğunluğu değerlerinde kaynak işlemi gerçekleştirildiğinde erişilir. Yüksek akım şiddetine çıkılarak derin nüfuziyetli kaynak dikişi elde edilebilir. MIG-MAG kaynağında ark bölgesi Şekil 3.2.' de görülmektedir [40, 41].



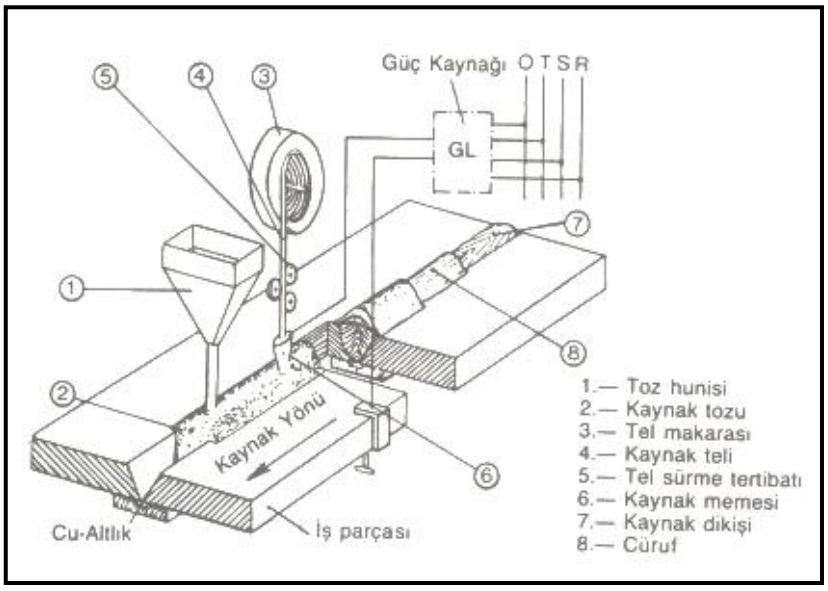
Şekil 3.2. MIG-MAG kaynağı ark bölgesi şematik gösterimi [40].

3.2.1.2. Toz Altı Ark Kaynağı

Toz altı kaynak yönetiminde ark, kaynak bölgesine otomatik bir teçhizatla sürülen elektrot ve iş parçası arasında meydana gelir. Kaynak işlemi esnasında bir taraftan da ayrı bir hazneden kaynak edilen bölgeye koruyucu özelliği olan özel bir toz gönderilir ve kaynak işlemi bu toz altında gerçekleşir. Kaynak arkının toz yığını altında oluşmasından dolayı bu yöntem toz altı kaynağı olarak adlandırılır. Toz altı kaynak yöntemi yüksek ergitme gücü ve yüksek kaynak hızına sahip bir yöntemdir. El ile yapılan kaynağa nazaran elektrot daha yüksek akım şiddetiyle yüklenebildiğinden, kaynak banyosu daha geniş olur ve nüfuziyet derinliği artar. Bu yöntemde ergime, sürekli beslenen tel şeklindeki bir elektrot ile iş parçasında oluşan ark yardımı ile sağlanır. Bu esnada bir toz deposundan bir huni ile gönderilen granül halindeki toz, kaynak arkını örterek, kaynak banyosunu ortamın olumsuz etkilerinden korur. Kaynak tozunun koruma özelliğinin yanı sıra kaynak

esnasında ergiyerek kaynak banyosuyla reaksiyona girmesiyle kaynak metalinde oksit oluşumunu engeller. Toz altı ark kaynağının avantajları aşağıdaki gibidir;

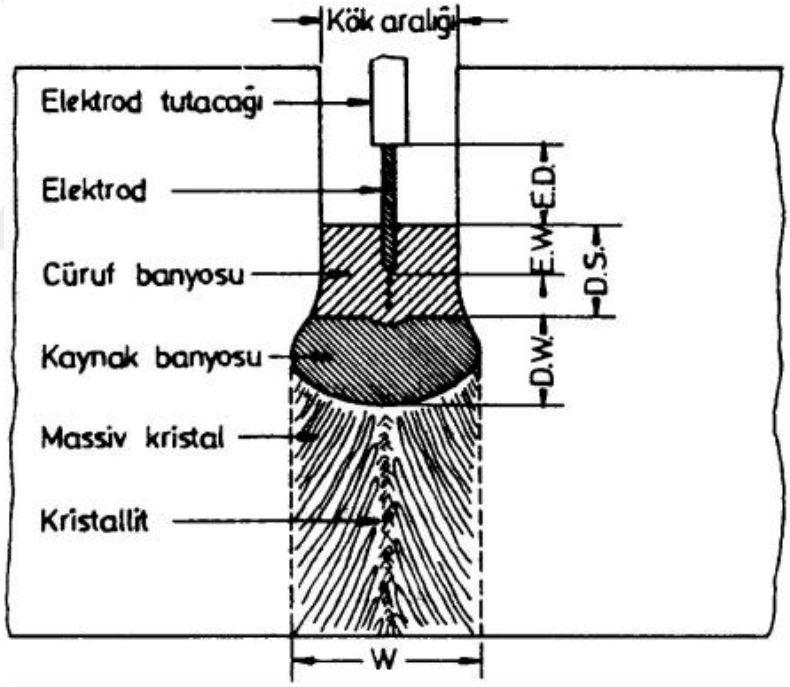
- Kaynak hızı yüksektir.
- Kaynak parametreleri uygun olduğunda hatasız ve düzgün kaynak dikişleri elde edilir.
- Kaynak arkı, kaynak tozu tarafından örtüldüğünden ark ışınlarından korunmaya gerek yoktur.
- Sıçrama kaybı yoktur.
- Kaynak tozu, kaynak dikişinin özelliklerini değiştirebilmek için gerektiğinde alaşımlandırılabilir. Böylelikle, alaşımsız bir elektrot kullanıldığından istenilen özellikteki kaynak dikişleri daha ucuz ve daha ekonomik olarak elde edilir.
- Toz altı ark kaynak yönteminin dezavantajları ise şu şekildedir;
- Makine ve teçhizatları pahalı ve ilk yatırım maliyetleri yüksektir.
- İnce saçların kaynak edilmesinde ekonomik değildir.
- Her pozisyonda, örneğin tavan ve düşey pozisyonda kaynak yapılamaz.
- Kaynak esnasında oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle kaynak metalinde ve ITAB' da istenmeyen içyapı değişmeleri meydana gelebilir. Ancak gerekli teknolojik ve metalurjik tedbirlerin alınmasıyla bu ihtimaller en aza indirilebilir [40, 42, 43]. Şekil 3.3' de toz altı ark kaynağı şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.3. Toz altı ark kaynağı şematik gösterimi [40].

3.2.1.3. Elektro Curuf Kaynağı

Elektro curuf kaynağı, elektrik akımının bir flux yada curuf arasından geçerken oluşturduğu ısıdan yararlanarak ergitme işleminin gerçekleştirildiği kaynak işlemidir. Birbirlerinden ayrılmış birleştirme kenarları ergime noktasına getirilir ve aralık ergimiş ilâve metalle doldurulur. Elektro curuf kaynağı aslında tam anlamıyla bir "ark kaynağı" değildir. Ark, işin sadece başında vardır ve iş başladıktan, kaynak sürecinin sonuna kadar ark görülmez. Bu yöntem, demir veya demirdışı metallerin kaynağında, özellikle büyük kesitli parçaların kaynağında önemli bir yer tutmaktadır [40, 44]. Şekil 3.4' de elektro cüruf kaynağı şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.4. Elektro curuf kaynağı şematik gösterimi [44].

3.2.1.4. Plazma Transfer Ark Kaynağı

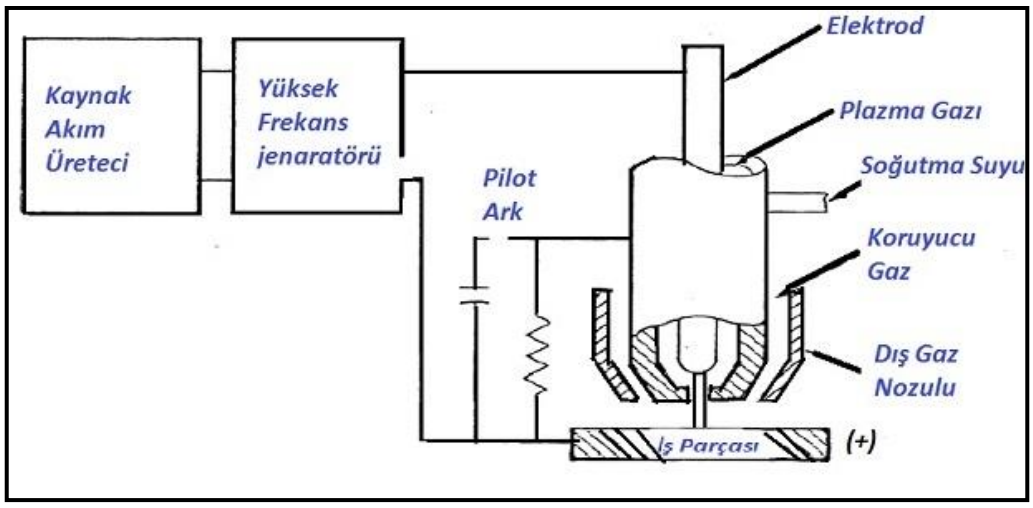
Bir nozul sayesinde plazma arkının daraltıldığı ve bu sayede artan sıcaklık ve enerji yoğunluğuyla TIG kaynak yönteminin geliştirilmiş bir halidir. Daha yüksek enerji yoğunluğu 13 mm kalınlığa kadar parçaların alın birleştirmelerinde oluşturduğu anahtar deliği sayesinde daha büyük bir nüfuziyet kapasitesine sahiptir. Plazma transfer ark

kaynağında ark oluşumunun TIG kaynağından farkı, oluşan ilk pilot arkın nozulun içerisinde gerçekleşmesidir. Bu pilot ark sayesinde iyonize olan gaz iletken hale geçerek arkı iş parçasına iletir [45-47]. Plazma transfer ark kaynağının bazı avantajları aşağıdaki gibidir;

- Biriktirme oranı ve ısı girdisi yüksektir [48].
- Yüksek sıcaklıklara çıkılabilir ve üretim maliyeti düşüktür [49].
- Daha yüksek kaynak hızları, paslanmaz çelikler ve süper alaşımların karbürler ve çapraşık metaller arası bileşiklerin oluşumu nedeniyle gevrekleşmesine daha az zaman bırakır [50],
- Klasik TIG kaynağına göre plazma jetin daha büyük nüfuziyet gücü kaynakta daha yüksek derinlik/genişlik oranlarının elde edilmesinde kullanılır [50].

Plazma transfer ark kaynağının dezavantajları aşağıdaki gibidir;

- Plazma transfer ark kaynağı yöntemi küt alın kaynakları için 25 mm sac kalınlığı ile sınırlı olup bunun daha kalın kesitlere uygulanabilmesi için daha fazla gelişmeye gerek vardır,
- Otomatik (mekanize) plazma transfer ark kaynağı genel olarak düz ve yatay şartlar altında kaynak pozisyonlarında uygulanabilir,
- Çok hassas elektrot uç profili ve merkezleştirilmesini, doğru seçilmiş ağız boyutu ve hem ağız hem de koruma gazı debilerinin uygun seçimini gerektirir [50]. Şekil 3.5' de plazma transfer ark kaynağı şematik gösterimi verilmiştir.

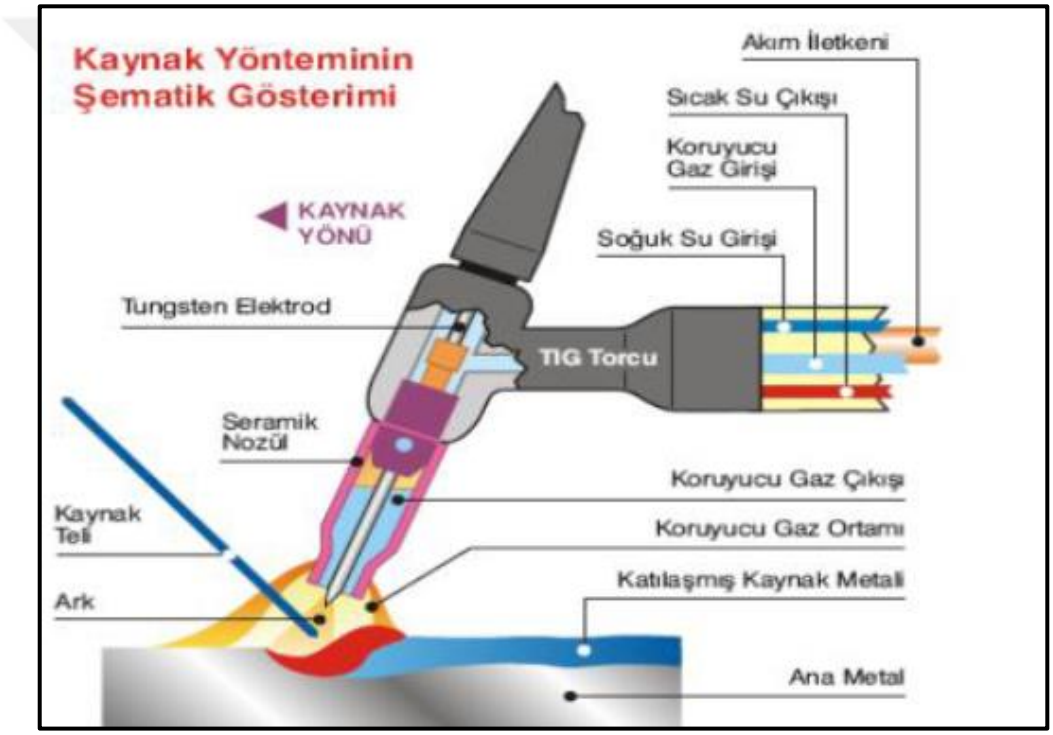


Şekil 3.5. Plazma transfer ark kaynağı şematik gösterimi [50].

3.2.1.5. Gaz Tungsten (TIG) Ark Kaynağı

TIG kaynağı, esas olarak bir ark kaynağı şeklidir. Özellikle alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif metallerin kaynağına uygundur. Koruyucu gaz olarak çoğunlukla (%80 civarında) Argon gazı kullanıldığından "Argonark" kaynağı diye de isimlendirilebilir. Ayrıca İngilizce "Tungsten Inert Gaz" kelimelerinin baş harfleri alınarak kısaca TIG kaynağı olarak isimlendirilmektedir. Eğer tungsten yerine wolfram kelimesi kullanılırsa kaynak yönteminin ismi WIG olur. Bu metotta kaynak işlemi elde edilen arkın ısısından faydalanılarak yapılmaktadır. Ark, erimeyen bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında yapılmaktadır. 1940–1960 döneminde geliştirilen bu yöntem, günümüzde önemli bir kaynak yöntemi olarak geçerli hale gelmiştir. TIG kaynak yöntemi için elektrik akımı, su ve gazın her an sağlanması ve kontrol edilmesi gerektiğinden bu yöntemde kullanılan donanım, ark kaynağında kullanılanlara göre daha karmaşık ve pahalıdır. Dolgu teli kaynak durumuna göre ya kullanılır ya da kullanılmaz. Bazı çelik malzemelerin kaynağında kullanılabildiği gibi genellikle ve yaygın olarak demir dışı metallerin kaynağında çok daha başarılı olan bu metotla değişik kalınlıklardaki metallerin kaynağı da mümkündür. TIG kaynağında ark ve kaynak banyosu kaynakçı tarafından rahatça ve net bir şekilde görülebilir. Bu metotla curuf tabakası meydana gelmez dolayısıyla curuf temizleme ve kalıntısı sorunu yoktur. Dolgu teli kullanılmadan kaynak ağzı kenarları ergitilerek kaynak yapılabildiği gibi dolgu teli kullanarak da kaynak yapma imkânı vardır. Dolgu teli kaynak banyosuna yandan verildiğindende sıçrantı sorunu yoktur. Tabi iş parçasının temizliğine de çok dikkat etmek gerekir. Bu metot ilk kullanılmaya başladığı yıllarda (ABD'de) koruyucu gaz olarak tabii ve bol olarak elde edilen Helyum gazı kullanılıyordu. Yine o yıllarda (II. Dünya Savaşı sonlarına kadar) doğru akım üreten güç kaynakları kullanılmış ve tungsten elektrota pozitif kutba bağlanmıştır. Tabi bunun sonucu elektrot aşırı ısınmaya maruz kalmakta ve bu durumda da tungsten elektrottan küçük parçacıkların koparak kaynak dikişinde kalması problemi genellikle söz konusuydu. Bu problem sonraları elektrotun negatif kutba bağlanmasıyla çözülmüş (Elektrotun aşırı ısınması önlenmiş) ve paslanmaz çeliklerin kaynağında da kullanılmaya başlamıştır. II. Dünya Savaşı yıllarında alternatif akım üreten makineler imal edilmeye başlanmış ve yüksek frekans cihazları geliştirilerek alüminyum ve magnezyum daha kaliteli bir şekilde kaynağı mümkün olmuştur. Koruyucu gaz olarak argon, helyum ya da bunları karışımı

yapılarak yeni bir gaz karışımı oluşturulup kullanılır. Enerji üretecinin bir kutbu tungsten elektroda diğeri parçaya bağlıdır. Ark, sadece bir elektrik iletkeni ve ark taşıyıcısı olan tungsten elektrot ile parça arasında oluşur. Kaynak bölgesine ilave edilen malzeme, akım yüklü değildir; ilave malzeme kaynak yapılan bölgeye ön taraf veya yan taraftan el yardımıyla çubuk şeklinde ya da bir küçük aparatla taşıma işlemi yapılan tel şeklindedir. Tungsten elektrot ile ergimiş banyo ve ilave metalin eriyen ucu; havadaki oksijenden, elektrotun bulunduğu bir koruyucu gaz memesinden elektrotla eş eksenli olarak beslenen bir asal gaz yani koruyucu gaz ile korunur [51, 52]. Şekil 3.6' da TIG kaynağı şematik gösterimi verilmiştir.

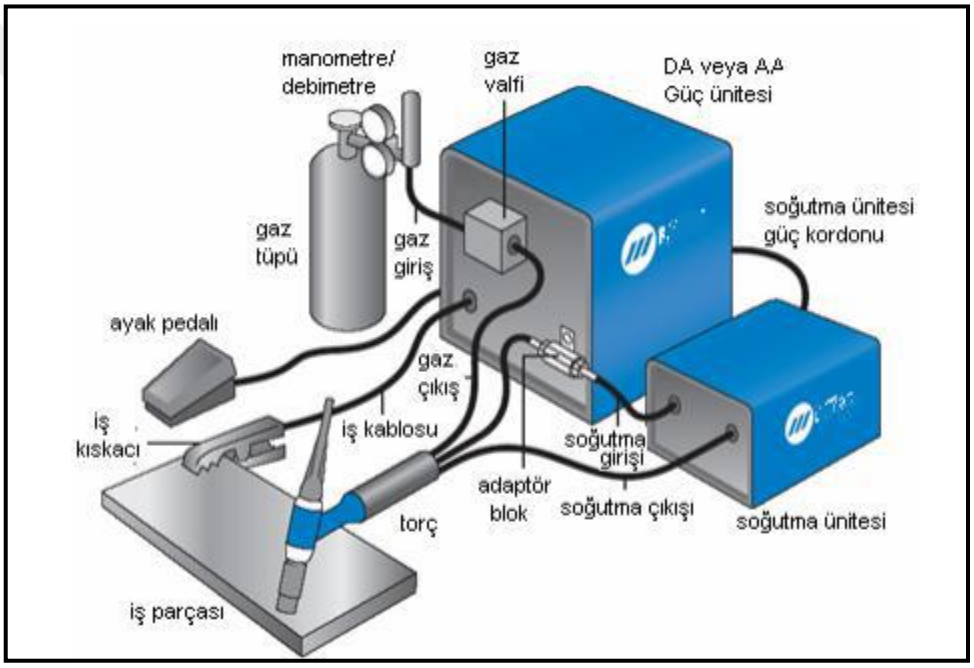


Şekil 3.6. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi [51].

Bu kaynak yönteminde argon koruyucu gazı oldukça yaygın kullanılmaktadır. Elektrotun iyi bir şekilde muhafaza edilebilmesi için bu koruyucu gazın saflığı önem teşkil eder ve o yüzden bu gazın saflık derecesi ise minimum % 99.95 olmalıdır. Ticari anlamda argon koruyucu gazı 200 bar basınç altında 10 Nm^3 'lük çelik tüplerde satılır. Hafif metallerde geniş ve derin nüfuziyet sağladığı için son birkaç yıldır argon/helyum koruyucu gaz karışımlarının kullanılması yönünde artış yaşanmaktadır [51].

3.2.1.5.1. TIG Kaynağından Kullanılan Ekipmanlar

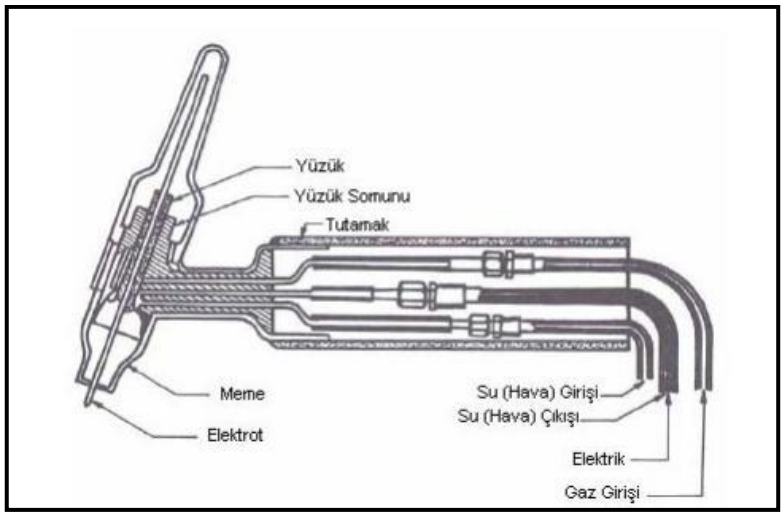
TIG kaynağı için gerekli ekipman ve malzemeler, içinden gaz akımı sağlanan ve koruyucu gazı arkın oluştuğu çevreye yönlendiren bir nozul ile ergimeyen bir tungsten elektrot içeren bir elektrot tutucusu veya torç; bir koruyucu gaz tüpü, bir basınç düşürme manometresi (basınç regülâtörü) ve akış ölçer (debimetre); bir elektrik akım üreteci ve bazı makinelerde bir soğutma suyu devresinden oluşur [51]. Şekil 3.7' de TIG kaynağında kullanılan ekipmanların şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.7. TIG kaynağından kullanılan ekipmanlar [51].

3.2.1.5.2. TIG Torcu

Bir TIG torcu, özel olarak tasarlanmış bir elektrot tutucusudur. Torç, çeşitli boyutlarda tungsten elektrotları kolaylıkla kullanabilecek tarzda imal edilmiş olup koruyucu gazın akışını yönlendirecek, değiştirilebilen bir gaz memesi ile donatılmıştır. Torçların bazıları hava soğutmalıdır ancak su soğutmalı torçlar daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. Şekil 3.8.' de TIG kaynak torcunun ana ekipmanları gösterilmektedir [51].



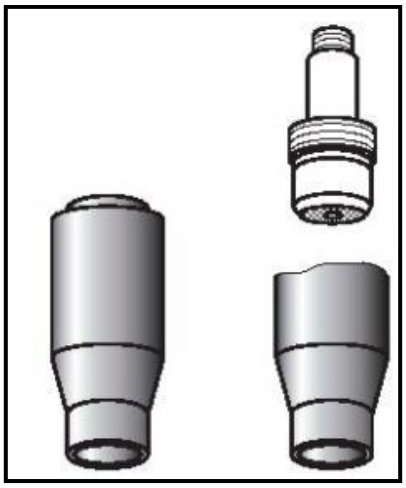
Şekil 3.8. TIG kaynak torcu temel elemanları [51].

Hava soğutmalı torçlarda, soğutma işlemi dış kısmından akan hava yardımıyla gerçekleştirilir. Torcun iç kısım soğutması ise kullanılan koruyucu gaz ile sağlanır [51].

Su soğutmalı TIG kaynak torcunda ise, torcun soğutulması su yardımıyla gerçekleştirilir. Su bir pompa yardımıyla torcun dış kısmına hortum yardımıyla iletilerek soğutma işlemi gerçekleştirilir. Koruyucu gaz karışımı elektrot ile nozul arasından kaynak edilecek bölgeye gönderilir. Bu nozulun çapı ve boyutu kullanılan elektrotun cinsine, boyutlarına, akıma, kaynak edilecek malzemeye ve koruyucu gazın cinsine göre değişiklik gösterebilir. Elektrik arkı tungsten elektrota iletilen akım ve iş parçası arasında oluşturulur. Elektrotun ucunda oluşturulan ark, kaynak edilecek malzemeye geçer ve malzeme üzerine bağlanan kutuplama aparatı üzerinden tekrar kaynak makinesine döner [51].

3.2.1.5.3. Gaz Nozulu

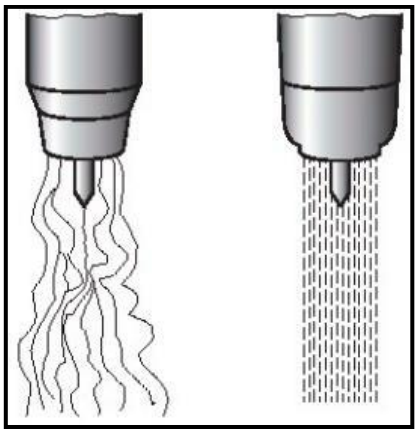
Gaz nozulu koruyucu gazı kaynak bölgesine ileterek kaynak bölgesinden atmosfer havasının süpürülmesine yarar. Gaz nozulu gerektiğinde sökülerek değiştirilebilir ve genellikle seramikten imal edilmiş ve yüksek ısıya karşı dayanıklıdır. Şekil 3.9.'da TIG kaynağında kullanılan nozullar gösterilmektedir [51].



Şekil 3.9. Normal gaz nozul ve gaz lensli gaz nozulu şematik gösterimi [51].

3.2.1.5.4. Gaz Lensi

Diğer bir nozul çeşidi de lensli nozuldur. Bu nozulda koruyucu gaz tel şeklindeki olukların içinden geçerek koruyucu gaz akışının daha uzun mesafelere iletilmesini ve daha stabil olmasını sağlayan bir sisteme sahiptir. Bunun avantajı, kaynakta daha düzgün dikişlerin elde edilmesine olanak sağlamasıdır. Şekil 3.10.'da TIG kaynağında gaz lenslerinin kullanımıyla koruyucu gaz akışının değişimi gösterilmektedir [51].



Şekil 3.10. Koruma gazı akışı şematik gösterimi [51].

3.2.1.5.5. Kaynak Elektrotları

TIG kaynak yönteminde diğer elektrik ark kaynağı yöntemlerinin aksine ergimeyen tungsten elektrot kullanılır. Bu elektrotun ergime sıcaklığı yaklaşık 3500°C' dir. Tungsten yüksek erime sıcaklığına sahip olmasının yanında elektronları da kuvvetli bir şekilde

yayarak ark bölgesindeki atomları iyonize eder bu da arkın daha kararlı olmasına yardımcı olur. Tablo 3.1.' de elektrotların kimyasal bileşimleri ve renk kodları verilmiştir [51].

Tablo 3.1. Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri ve renk kodlarının gösterimi [51].

İşareti	Malzeme No	Oksit içeriği	Katışkılar %	Renk kodu
W	2.6005	-	≤ 0.20	Yeşil
WT 10	2.6022	0.9-1.20 ThO_2	≤ 0.20	Sarı
WT 20	2.6026	1.80-2.20 ThO_2	≤ 0.20	Kırmızı
WT 30	2.6030	2.80-3.20 ThO_2	≤ 0.20	Leylak
WT 40	2.6036	3.80-4.20 ThO_2	≤ 0.20	Portakal
WZ 4	2.6050	0.30-0.50 ZrO_2	≤ 0.20	Kahverengi
WZ 8	2.6062	0.70-0.92 ZrO_2	≤ 0.20	Beyaz
WL 10	2.6010	0.90-1.20 LaO_2	≤ 0.20	Siyah

3.2.1.5.6. TIG Kaynağında Kullanılan Kaynak Makineleri

TIG kaynak işleminde düşey yönlü statik kaynak makineleri kullanılır. TIG kaynağında, ark süresince kesintiler daha az olduğundan kuvvetli akım üreteçlerine ihtiyaç duyulmaktadır. TIG kaynak makinelerinde doğru akım, alternatif akım ve her ikisini birlikte veren makineler de mevcuttur. Kaynak makinelerinde ayarlanabilen en düşük ve en yüksek ayar eğrileri arkın karakteristik eğrisiyle kesişim noktalarında elde edilmektedir. Kaynak makinelerinde ayrıca darbeli akımla da kaynak yapılabilmesi mümkündür [51].

3.2.1.5.6.1. Jeneratör ve Alternatör Tipi Kaynak Makineleri

Jeneratör tipi kaynak makineleri, elektrik motoruyla veya içten yanmalı bir motorla tahrik edilir. Jeneratör tipi kaynak makineleri genellikle elektrik ark kaynaklarından kullanılmakla birlikte koruyucu gaz ve yüksek frekans cihazları monte edilerek TIG kaynağında da kullanılabilir. Bu tip kaynak makinelerinden genellikle doğru akım elde edilir. Bunun yanında bazı değişikliklerle alternatif akımın elde edilmesi de mümkündür [51].

3.2.1.5.6.2. Transformatör-Redresör Tipi Kaynak Makineleri

TIG kaynağında transformatör-redresör tipi kaynak makineleri jeneratör tipi kaynak makinelerine göre çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makineler ile doğru ve alternatif akım elde edilebilir. Alternatif akım üreten tek fazlı transformatör, alternatif

akımı doğru akıma çeviren bir redresörle bağlantılıdır. Bu durumdan dolayı TIG kaynak işleminde farklı cinslerdeki metallerin kaynak işlemi gerçekleştirilebilir. Transformatör-redresör tipi kaynak makinelerinin jeneratör tipi kaynak makinelerine göre, sessiz çalışma, çalışma sarfiyatının düşük olması, kaynak işleminde maliyetin uygun olması ve tamir masraflarının düşük olması gibi avantajları mevcuttur [51, 52].

3.2.1.5.6.3. Üç Fazlı Redresör Tipi Kaynak Makineleri

Bu tip kaynak makinelerinde tek fazlı transformatör redresör tipi kaynak makinelerinin devrelerinde görülen dengesizlikler üç fazlı girişten dolayı azalmıştır. Ayrıca bu kaynak makinelerinin programlama yapılabilen çeşitleri de mevcuttur ve kararlı düzgün bir ark en fazla bu makineler kullanılarak elde edilebilmektedir [52].

3.2.1.5.6.4. Transformatör Tipi Kaynak Makineleri

Bu tip kaynak makineleri de koruyucu gaz sistemi ve yüksek frekans cihazı monte edilerek TIG kaynağında kullanılabilir. Bu tip makinelerden yalnızca alternatif akım uygulanabildiğinden genellikle alüminyum ve magnezyum gibi demir dışı metallerin kaynağı için uygundur [52].

3.2.1.5.7. TIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar

TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazın amacı kaynak bölgesini ve elektrotu havanın olumsuz etkilerinden korumaktır. Koruyucu gaz; ya silindir biçimindeki tüplerden veya sabit ve taşınabilir tanklardan borularla dağıtılarak kullanım alanına getirilebilir. TIG kaynağında koruyucu gaz olarak genellikle argon, helyum ve bu gazların karışımı gibi gazlar kullanılır. Demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında argonun saflık derecesinin yüksek olması oldukça önemlidir. Argon ve argon içeren gazlar düşük iyonizasyon enerjisine sahiptir ve ark oluşumu kolaydır. Alternatif akımla kullanıldığında alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağında oksit temizleme özellikleri yüksektir. TIG kaynağı için önerilen koruyucu gazlar ve elektrotlar Tablo 3.2’ de gösterilmektedir [40, 51, 52].

Tablo 3.2. TIG kaynağı için önerilen koruyucu gazlar ve elektrotların gösterimi [51].

Metalin Türü	Kalınlığı	Akım Türü	Elektrot Türü	Koruyucu Gaz
Alüminyum	Tüm kalınlıklar Kalın parçalar İnce parçalar	AA DAEN DAEP	W veya WT WT WT veya WZ	Ar veya Ar-He Ar veya Ar-He Ar
Bakır ve Bakır Alaşımları	Tüm kalınlıklar İnce parçalar	AA DAEN	WT W veya WZ	Ar veya Ar-He Ar
Magnezyum Alaşımları	Tüm kalınlıklar İnce parçalar	AA DAEP	W veya WZ WZ veya WT	Ar Ar
Nikel Alaşımları	Tüm kalınlıklar	DAEN	WT	Ar
Yalın Karbonlu ve Az Alaşımlı Çelik	Tüm kalınlıklar İnce parçalar	DAEN AA	WT W veya WZ	Ar veya Ar-He Ar
Paslanmaz Çelik	Tüm kalınlıklar İnce parçalar	DAEN AA	WT W veya WZ	Ar veya Ar-He Ar
Titanyum	Tüm kalınlıklar	DAEN	WT	Ar

3.2.1.5.7.1. Argon (Ar) Koruyucu Gazı

Argon gazı inert bir gazdır ve kaynak bölgesini havanın etkilerinden koruyucu bir kalkan görevi üstlenir. Ayrıca arkın kararlılığını sağlar. Ar gazının fiziksel özellikleri Tablo 3.3.' de verilmiştir [40].

Tablo 3.3. Ar gazının fiziksel özellikleri [40].

Özellik	Değer
Moleküler Ağırlık	39.948
Kaynama Noktası (1 atm)	-185.7 °C
Yoğunluk (Likit, 1 atm)	1.49 kg/l
Spesifik Isı(B.Pt)	0.124 J/g °C
Buharlaşma Isısı	6469 Joule/mol
Yoğunluk, Gaz (15 °C, 1 atm)	1.69 kg/m^3
Hacimsel Genleşme (Likitten gaza, atm)	846
Spesifik Ağırlık, Gaz (Hava:1)	1.38
Kritik Sıcaklık	-122.3 °C
Kritik Basınç	48 atm

Saf Ar genellikle nikel, magnezyum, alüminyum, titanyum, bakır ve bu metallerin alaşımları gibi metal ve alaşımlarının kaynağında kullanılır. Argon gazında oluşan arkın gerilim düşümünün az, ayrıca ısı iletim kabiliyetinin düşük olması sebebiyle; dikişin merkezinde nüfuziyet derin, kenarlarda ise daha azdır. Özellikle alüminyum ve bakır gibi demir dışı metallerin kaynağında geniş kullanım alanına sahip olan argon gazı çeliklerin kaynağında ancak başka gazlar ile karıştırıldığında iyi sonuç vermektedir. Atmosferde çok az bulunan ve ancak doğal gazlardan ve helyum içerikli bazı minerallerden ayrıştırılarak elde edilebilen helyum gazı en hafif monoatomik gazlardan birisi olup, argona göre 10 kez daha hafiftir. Bundan dolayı kaynak sırasında etkin bir koruma sağlanması için gerekli gaz sarfiyatı artmaktadır. Ancak helyum gazının ısı iletiminin yüksek ve oluşan arkın daha yüksek enerjili olması sebebiyle daha geniş ve derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilmekte, özellikle yüksek hızda çalışan mekanizma kaynak uygulamalarında tercih edilmektedir [40]. Ar gazının avantaj ve dezavantajları şu şekildedir;

- Düşük ark gerilimi sağlayarak ısı girdisini azaltır ve ince parçaların elle kaynak edilebilmesine olanak sağlar.
- Alüminyum ve magnezyum alaşımları gibi oksitlenmeye karşı eğilimleri yüksek metallerin kaynağında koruyucu etkisi daha yüksek olduğundan bu tip metallerin kaynağında oldukça avantajlıdır.
- Arkın oluşumu daha kolaydır, ark daha kararlı ve stabildir.
- Havaya nazaran ağırlığının yüksek olması nedeniyle koruyucu gaz sarfiyatını azaltır.
- Otomatik kaynak işlemlerinde yüksek hızdan dolayı gözenek oluşumuna neden olur [51].

3.2.1.5.7. 2. Helyum (He) Koruyucu Gazı

Helyum gazının kaynakta kullanımı, argona göre daha yüksek ısı iletimi nedeniyle kaynakta nüfuziyet ve dikiş kesit profilini daha iyi yönde etkilemektedir. Bununla beraber çok hafif bir gaz olduğundan kaynak banyosunu örtebilmek için birim miktar argona nazaran yaklaşık üç kat fazla helyum sarfiyatı olması, birim fiyatının oldukça yüksek

olması nedeniyle kullanımı yaygın değildir. He gazının temel özellikleri Tablo 3.4.' de verilmiştir [40].

Tablo 3.4. He gazının fiziksel özellikleri [40].

Özellik	**Değer**
Moleküler Ağırlık	4.00
Kaynama Noktası (1 atm)	-268.9 oC
Yoğunluk, Likit (b.pt)	0.125 kg/l
Yoğunluk, gaz (b.pt, 1 atm)	0.169 kg/m^3
Özgül Isı (b.pt)	3.41 J/gm °C
Hacimsel Genleşme (Likitten gaza, atm)	740
Özgül Ağırlık, gaz (Helyum/Hava:1)	0.14
Kritik Sıcaklık	-268 °C
Kritik Basınç	2.28 atm

Helyumun iyonizasyon enerjisi (24.6 eV) argonla (15.8 eV) kıyaslandığında çok yüksektir. Bundan dolayı helyum yüksek bir ark sıcaklığına sahiptir. Argona nazaran helyum havadan daha hafiftir. Birçok uygulamada yüksek kaynak hızlarına imkân sağlar [40]. Helyum gazının avantaj ve dezavantajları şu şekildedir;

- Yüksek ark geriliminden dolayı ortaya çıkan yüksek ısıdan ve ısı iletkenliğinin yüksek olmasından dolayı kalın kesitli parçaların kaynağında daha iyi sonuç verir.
- Daha dar bir ITAB oluşmasına fırsat verdiğinden kaynaklı birleşmenin mekanik özellikleri iyileşir ve çarpılmalar azalır.
- Havaya nazaran ağırlığının daha az olmasından dolayı gaz sarfiyatı daha yüksektir.
- Havadan daha hafif olması nedeniyle tavan kaynaklarında daha iyi koruma sağlayarak daha iyi sonuçlar verir [51].

3.2.1.5.7. 3. Argon (Ar) – Helyum (He) Koruyucu Gaz Karışımları

Argon ve helyumun avantajlarından birlikte yararlanılması için bu iki gaz birlikte karıştırılarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bu karışımlar genelde demir dışı metallerin kaynak işlemlerinde kullanılır. Helyum kaynak edilecek malzeme üzerine iletilen ısıyı arttırır,

böylelikle kalın parçaların birleştirilmesi kolaylaştırılır. Helyum oranı arttıkça ark voltajı, sıçrama miktarı ve kaynak genişliliğinin nüfuziyete oranı artar. En çok kullanılan argon-helyum gaz karışımları içinde % 25‑50 ve 75 helyum bulunanlardır. Yüksek kaynak hızlarına helyum miktarının arttığı gaz karışımlarıyla ulaşılabilir.

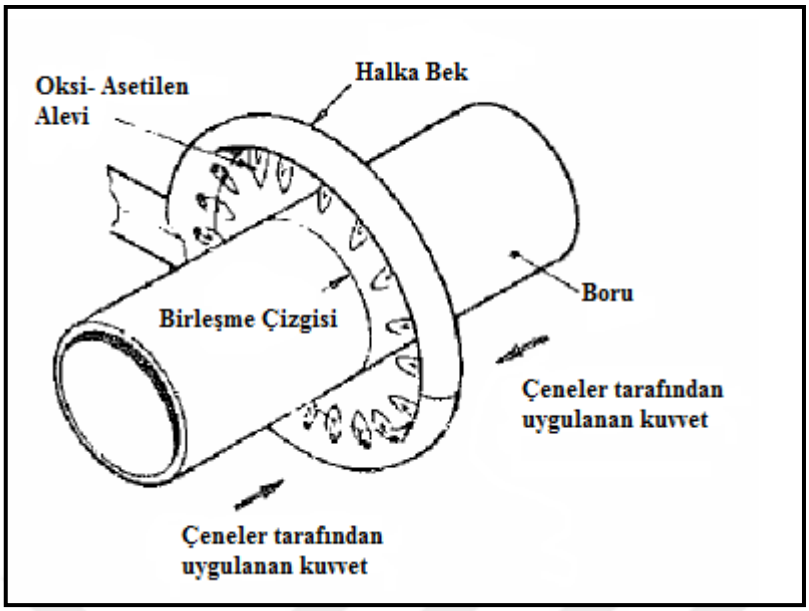
Yüzdelik oranına bakılmaksızın argon-helyum gaz karışımları alüminyum, bakır, nikel alaşımları ve reaktif metaller gibi demir dışı metallerin kaynağında kullanılır. Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan bu gazların, argonun olumlu karakteristiğinden dolayı ısı ve voltajı yükselten çeşitli kombinasyonları vardır. Genellikle ağır metaller yüksek orandaki helyumla kaynak edilir. Helyumun %10' dan daha az yüzdelik dilimlerinin kaynağın mekanik ve ark özelliklerine olumlu etkisi vardır. Karışımdaki helyum oranı arttıkça, ark voltajı, ark sıçraması ve nüfuziyet artarken gözeneklilik azalır. Saf helyum gazı nüfuziyeti genişletir, fakat nüfuziyetin derinliğine etkisini azaltır. Ancak ark kararlılığı yüksektir [40].

Ar – He koruyucu gaz karışımında en çok tercih edilen karışım oranları; % 75 helyum + % 25 argon veya % 80 helyum + % 20 argon gaz karışımları tercih edilir [52].

3.2.2. Katı Hal Kaynak Yöntemleri

3.2.2.1. Yüksek Sıcaklıkta Basınç Kaynağı

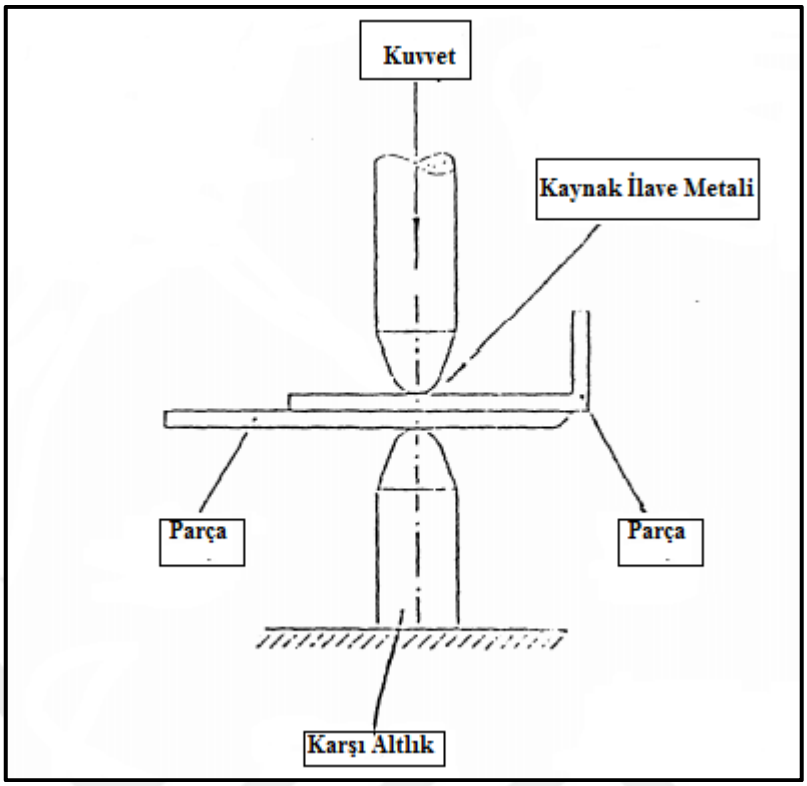
Metaller kaynak işlemi sırasında ısıtıldığında, artan sıcaklıkla eşik deformasyon değeri azaldığından, kaynak işlemi çok daha kolay ve başarılı bir şekilde gerçekleşir. Bu nedenle pek çok sayıda sıcak basınç kaynağı yöntemi geliştirilmiştir. Bu kaynak yönteminde, birleştirilecek olan dövülebilir demir veya çelik çubuklar 1350 °C' ye kadar ısıtılırlar. Bu sıcaklıkta yüzey üzerinde ki demir oksit ergir birleştirilecek elemanlar beraber çekiçle dövüldükleri zaman, sıvı haldeki bu oksitler bağlantı yerinden sıkıştırılarak atılırlar. Sıcak basınç kaynağı günümüzde daha çok dekoratif amaçlı süsleme işlerinde kullanılmaktadır [53]. Şekil 3.11' de küçük çaplı bir borunun oksi-asetilen basınç kaynağı şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.11. Küçük çaplı bir borunun oksi-asetilen basınç kaynağı [53].

3.2.2.2. Soğuk Basınç Kaynağı

Soğuk basınç kaynağı oda sıcaklığında veya hafif sıcaklık uygulayarak basınç artışında katı halde malzemeleri birbirine birleştirme esasına dayanır. Tüm soğuk pres kaynağı uygulamalarında, öngörülen birleşmenin sağlanması için, her iki parçada da biçim değiştirmenin belirli bir orana ulaştırılmış olması, ortak bir şart olarak gerekmektedir [53, 54]. Şekil 3.12' de soğuk basınç kaynağı şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.12. Soğuk basınç kaynağı şematik gösterimi [54].

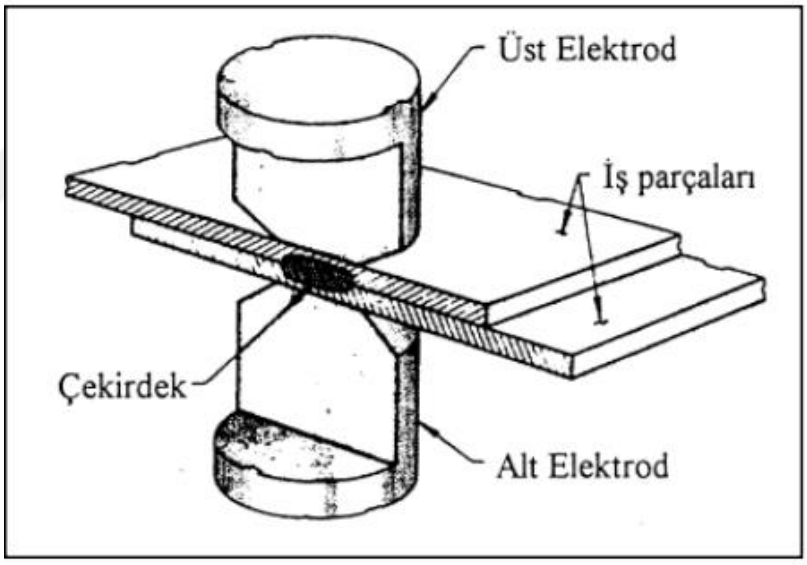
3.2.2.3. Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynağı, aynı ya da farklı çoğunlukla metal malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır. Difüzyon kaynağı, mekanizması itibariyle bir katı hal difüzyon birleştirmesidir. Kontak yüzeylerin birleşimi yüksek sıcaklıkta basınç uygulaması ile sağlanır. Kaynak sırasında ergime meydana gelmez ve yalnızca sınırlı makroskobik deformasyon ya da parçaların nispi hareketi meydana gelir. Difüzyon olayı, atomların daha gevşek bağlara sahip olması nedeni ile, tane sınırlarında, orta kısımlara kıyasla daha hızlı oluşum şeklinde görülmektedir. Kaynak basıncı 1-30 N/mm^2 'dir. Yüksek sıcaklıkta etkiyen bu basınç, yüzeylerdeki pürüzlülük tepelerinin plastik şekil değişimini sağlar. Kaynak basıncı hidrolik, pnömatik veya mekanik olarak uygulanır [53, 54].

3.2.2.4. Nokta Direnç Kaynağı

Nokta direnç kaynağı, elektrotlar arasında basınç altında bir arada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynak yöntemidir. Kaynak için gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebeke elektrik akımını, düşük gerilim ve yüksek akım

şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinasından sağlanır. Gerekli basınç veya elektrod kuvveti, pnömatik veya mekanik donanımlar ile gerçekleştirilir. Nokta direnç kaynağında ısı transformatörler yardımı ile elde edilir. Transformatörler şebeke elektriğinin voltajını düşürür ve akımını arttırırlar. Nokta direnç kaynağı, elektrotlar tarafından uygulanan kuvvet altında bir arada tutulan iş parçalarında, geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdikleri dirençten elde edilen ısı ile parçaların tek ya da daha çok noktada bölgesel olarak ergitilip basınç altında birleştirilmesine dayanan bir yöntemdir. Bu kaynak yöntemi, ilave malzeme kullanılmadığından, sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel kaynak beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerle, günümüzde otomotiv ve uçak endüstrisinde ve metal eşya imalatında büyük ölçüde kullanılmaktadır [28]. Şekil 3.13' de nokta direnç kaynağı şematik gösterimi verilmiştir.

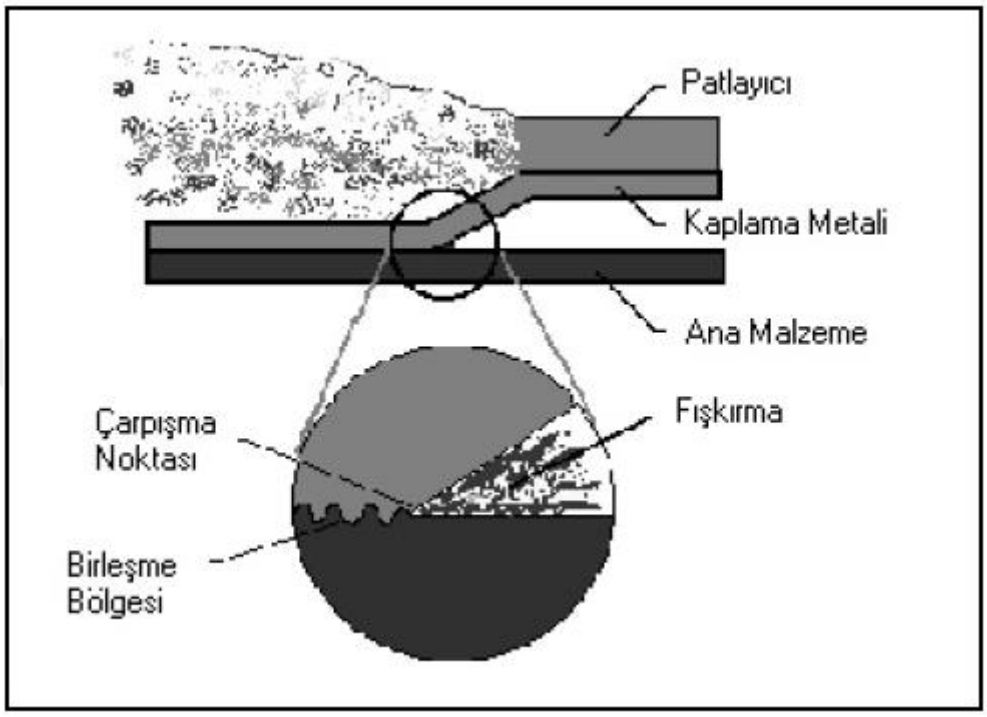


Şekil 3.13. Nokta direnç kaynağı şematik gösterimi [28].

3.2.2.5. Patlatma Kaynağı

Patlamalı birleştirme olarakta bilinen patlama kaynağı, iki metal arasında yüksek hızdaki eğimli çarpışma sonucu meydana gelir. Patlatma kaynağı; patlayıcı ile elde edilen yüksek basınç yardımıyla iki ya da daha fazla metali birleştirmek için kullanılan bir katı hal kaynak yöntemidir. Metal yüzeylerin çarpışması sonucu yeterli bir çarpışma enerjisi meydana geldiğinde, bu yüzeyler oluşan ilk temaslarını birbirleri üzerinde bir akış sergileyerek devam ettirirler ve sonuçta bir katı hal birleşmesi meydana gelir. Bu işlem

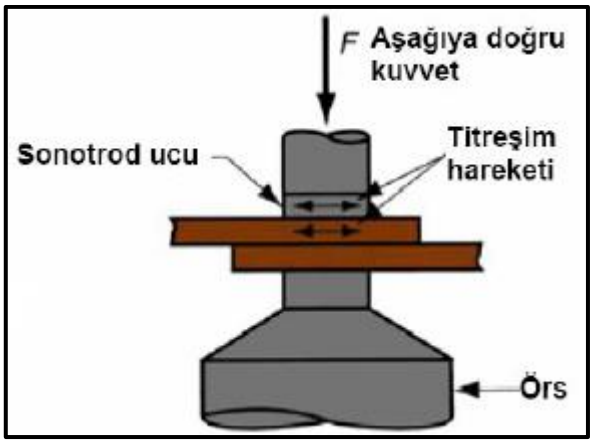
dışarıdan herhangi bir ısı verilmediği için soğuk teknik olarak tanımlanmasına rağmen işlemin dinamiğinden dolayı kaynak ara yüzeyinde bölgesel yüksek sıcaklıklar oluşabilir [55]. Şekil 3.14' de patlatma kaynağı şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.14. Patlatma kaynağı şematik gösterimi [55].

3.2.2.6. Ultrasonik Kaynak

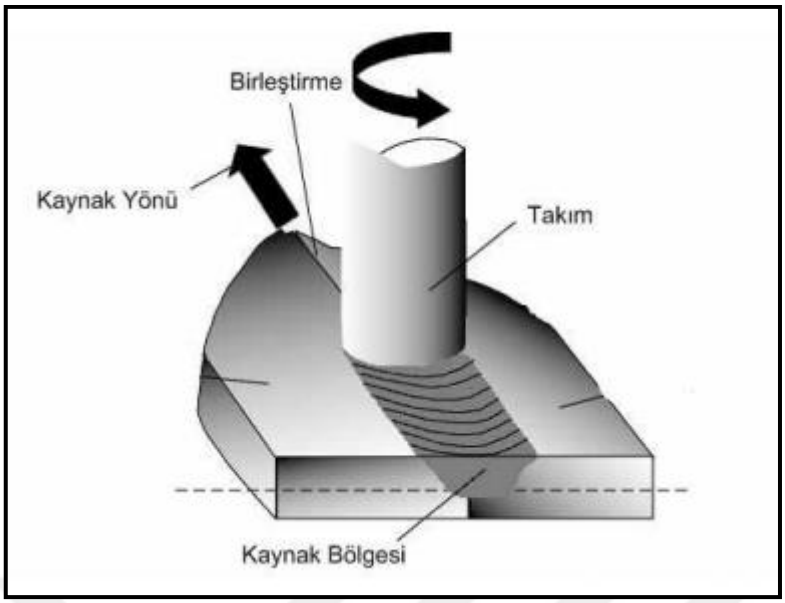
Ultrasonik kaynak yönteminde parçalar, ultrasonik alandaki mekanik titreşimler ve hafif bir basınç yardımı ile birleştirilir. Bu amaçla bir elektro-akustik dönüştürücüden yararlanılır. Bu dönüştürücüde değişken bir elektrik akımı (örneğin 22 kHz) bir nikel alaşımının manyetostriktif etkisi yardımı ile aynı frekanstaki boyuna mekanik titreşimlere çevrilir. Bu yöntemle, yumuşak metallerden (alüminyum, altın) ince sacların, folyoların veya tellerin (kalınlık 0.03–2 mm), daha kalın çelik, demir dışı metaller, cam veya seramik gibi malzemeler üzerine kaynağı yapılır. Sert ve tabakalar halinde kırılan bir oksit tabakasına sahip alüminyum, bu yöntem için çok uygundur. Ultrasonik kaynak bu malzemelerin dışında diğer birçok metal kombinasyonlarının birleştirilmesinde de kullanılabilir [53]. Şekil 3.15' de ultrasonik kaynağın şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.15. Ultrasonik kaynağın şematik gösterimi [53].

3.2.2.7.Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Sürtünme karıştırma kaynağı, sürtünme kaynak yönteminin geliştirilmiş bir başka yöntemidir. Bilindiği gibi sürtünme kaynağı genellikle silindirik kesitli malzemelere uygulanan ergitmesiz kaynak yöntemidir. Bu yöntem genellikle bakır alüminyum gibi ergime sıcaklığı düşük metallerin kaynağında kullanılır. Adından da anlaşılabileceği gibi bu yöntemde malzeme sürtünme yolu ile ısıtılır ve karıştırma ile kaynaklanır. Kaynak sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığının yarısıdır ve bu yöntemde herhangi bir ergime gerçekleşmez. Malzeme ısının etkisi ile yumuşar ve kolay şekillendirilebilir bir sıcaklığa gelir ve yüksek devirli karıştırıcı uç ile birbirine kaynaklanır. Özellikle kaynak yapılması çoğu zaman zor olan alüminyum alaşımların birleştirilmesinde, sürtünme-karıştırma kaynağı başarılı bir performans göstermiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı düz ve bindirmeli alüminyum alaşım kaynakları için yeni ve başarılı bir kaynak tekniğidir. Sürtünme karıştırma kaynağı iyi kalitede birleşme ve bindirmeler veren bir katı hal birleştirme işlemidir [56]. Şekil 3.16’ da sürtünme karıştırma kaynağı şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.16. Sürtünme karıştırma kaynağı şematik gösterimi [56].

3.2.2.8.Sürtünme Kaynağı

Günümüzde yaygın olarak kullanılan sürtünme kaynağı hem bir katı hal hem de bir tür basınç kaynağıdır. Bu kaynak; parçaların birbirine sürtünmesi sonucunda yalnızca mekanik enerjiden doğan ısının kullanımı ile gerçekleştirilir. Sürtünme kaynağının temel mekanizmaları; sürtünme, plastik deformasyon, ekstrüzyon ve yeniden kristalleşmedir. Sürtünme kaynağı*;* çalışma parçalarının ara yüzeylerinde, sürtünme yoluyla üretilen mekanik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen ısıdan yararlanılarak, malzemelerin plastik deformasyona uğramasıyla gerçekleştirilen bir katı hal kaynak tekniğidir. Parçalar arasında kaynak bağı oluşabilmesi için parça yüzeylerinin metalürjik anlamda temas haline gelmesi gerekir. Sürtünme kaynağında bütün temassızlıklar sürtünme yolu ile giderildiği için arzu edilen temas çok iyi gerçekleşir. Kaynak kalitesi, malzemeye uygun seçilen kaynak parametreleri (sürtünme süresi, sürtünme basınç kuvveti, devir sayısı, yığma basınç kuvveti, yığma süresi vb.) ile arttırılabilir [57].

4. MATERYAL VE METOT

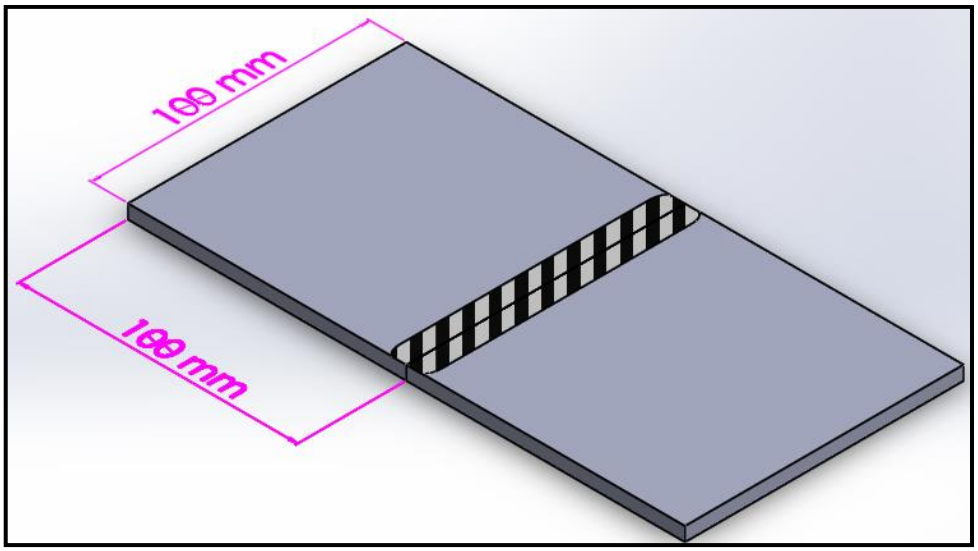
Bu tez çalışmasında AZ31 magnezyum alaşımı; TIG kaynak yöntemiyle farklı ısı girdilerinde ve farklı koruyucu gaz atmosferleri altında kaynak edilmiştir. AZ31' in kimyasal kompozisyonu Tablo 4.1 ' de verilmiştir.

Tablo 4.1. AZ31' in kimyasal kompozisyonu

Malzeme	Mg	Al	Ca	Mn	Zn	Cu	Fe	Ni	Si	Diğer
AZ31	Kalan	2.5-3.5	0.04(max.)	0.20 min.	0.7-1.3	0.05 max.	0.005 max.	0.005 max.	0.05 max.	0.3 max.

4.1. Kaynak İşlemi Yapılacak Numunelerin Hazırlanması

Kaynak işleminde kullanılmak üzere standart AZ31 plakalar piyasadan 1000x1000x5 mm^3 ölçülerinde ticari olarak temin edildi. Daha sonra bu plakalar 100x100x5 mm^3 ölçülerinde giyotin makinesinde kesildi. Kesilen numunelerin birleştirmek üzere eşleştirilmiş yüzeyleri oksit ve yağdan arındırmak için zımpara ile temizlendi. Kaynak işlemleri Şekil 4.1' de ki düzende Tablo 4.2' de verilen parametreler kullanılarak MAGMAWELD ID 300 TW AC/DC marka TIG kaynak makinesi (Şekil 4.2) kullanılarak alternatif pulse modunda gerçekleştirildi.



Şekil 4.1. Alın alına getirilen plakaların şematik gösterimi

Şekil 4.2. Oerlıkon marka magmaweld ID 300 TW AC/DC TIG kaynak makinesi

Tablo 4.2. Kaynaklı birleştirmelerde kullanılan parametreler

Numune no.	Akım (A)	Koruyucu gaz
N1	130	Ar
N2	140	Ar
N3	150	Ar
N4	160	Ar
N5	130	He
N6	140	He
N7	150	He
N8	160	He
N9	130	Ar-He
N10	140	Ar-He
N11	150	Ar-He
N12	160	Ar-He

4.2. Mikroyapı Numunelerinin Hazırlanması

TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerde değişken parametrelere bağlı olarak ara yüzeyde meydan gelen yapısal değişim optik mikroskop ve SEM analizi yapılarak değerlendirildi. Kaynak sonrası, numunelerin birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişikliklerin incelenmesi amacıyla numuneler; birleşme ara yüzeyine dik doğrultuda soğutma sıvısı olarak kesildi. Daha sonra bu numuneler 400, 600, 800, 1000, 1200, 2000 meshlik SiC zımpara kâğıtlarıyla zımparalandı. Parlatma işlemi 1 μ' luk elmas pasta ve alkolle gerçekleştirildi. Dağlayıcı olarak 6.5 ml asetik asit, 100 ml etanol, 20 ml su, 3.5 gr pikrik asit çözeltisi kullanıldı. Ar koruyucu gazı ile kaynak edilen numuneler 15 sn, He koruyucu gazı ile kaynak edilen numuneler 20 sn, Ar-He koruyucu gazı ile kaynak edilen numuneler ise 25 sn süre ile dağlandı ve alkolle yıkandıktan sonra hava ile kurutuldu. Kaynak mikroyapı optik mikroskop (OM) görüntüleri Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü metalografi laboratuvarında bulunan Nikon Eclipse NA200 marka optik mikroskop (Şekil 4.3.) ile farklı büyütmelerde incelendi. Kaynak bölgesi mikroyapı taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ZEISS EVO-MA10 (Şekil 4.4.) marka SEM mikroskobunda görüntülendi. Kaynağı meydana getiren fazların kimyasal kompozisyonları ZEISS EVO-MA10 SEM cihazına bağlı Bruker marka EDS dedektörü kullanılarak belirlendi.

Şekil 4.3. Nikon Eclipse NA200 Optik mikroskop

Şekil 4.4. ZEISS EVO-MA10 SEM cihazı

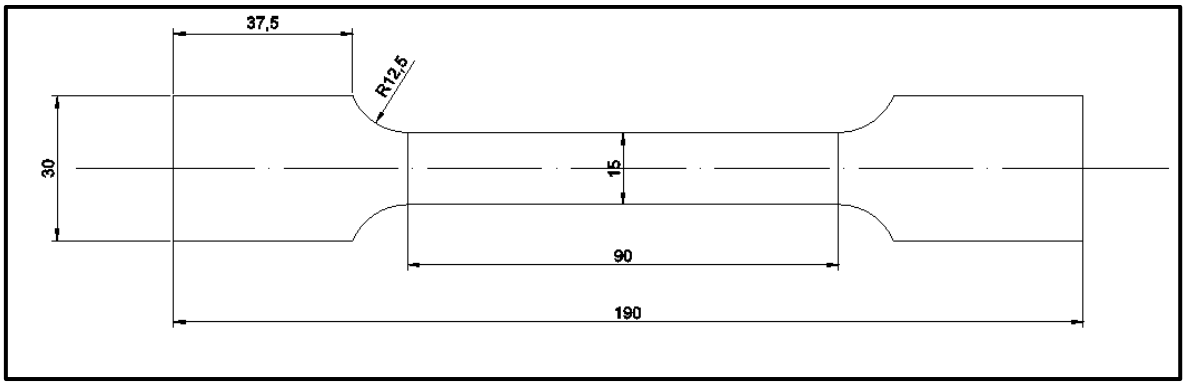
4.3. Sertlik Ölçümleri

Kaynaklı numunelerin birleşme bölgesinde meydana gelen sertlik değişimlerini belirlemek amacıyla mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. 100 gf kuvvet yük 10 sn' lik yükleme hızı uygulanarak, numunelerin birleşme hattına dik doğrultuda bir hat üzerinde 0.50 mm aralıklarla Vickers sertlik ölçümleri gerçekleştirildi. Mikrosertlik ölçümleri Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında mevcut EMCO TEST marka (Şekil 4.5) mikrosertlik test cihazı kullanılarak yapıldı.

Şekil 4.5. EMCO TEST marka mikrosertlik cihazı

4.4. Çekme Deneyi

TIG kaynağıyla ile birleştirilen kaynaklı numuneleri oda sıcaklığında akma ve kopma dayanımlarını ölçmek amacıyla çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deney numuneleri TS EN ISO 4136 Türk Standardına (Şekil 4.6) uygun olarak hazırlanmıştır. Çekme testleri oda sıcaklığında 0.5 mm/dk çekme hızı kullanılarak Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında mevcut 50 kN yük kapasitesine sahip Trapezium yazılım desteği olan SHIMADZU AG-X marka (Şekil 4.7) çekme test cihazında gerçekleştirildi.



Şekil 4.6. Çekme deneyi numune ölçüleri

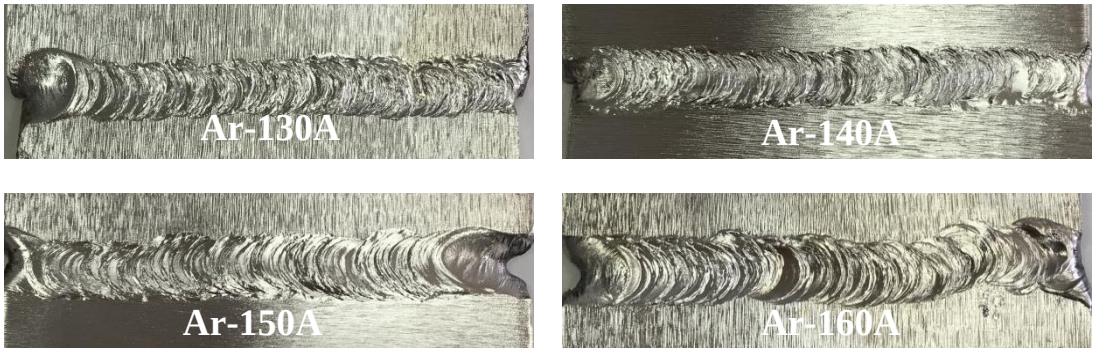
Şekil 4.7. Shımadzu AG-X marka çekme test cihazı

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

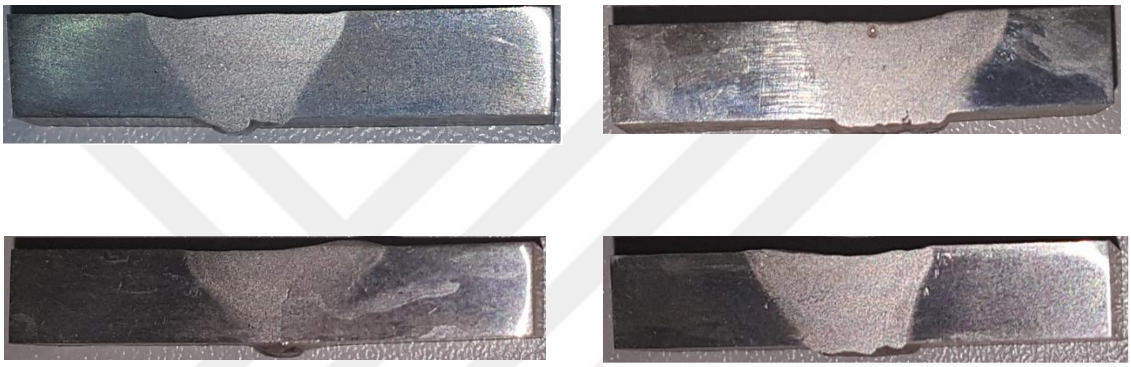
5.1. Mikro Yapı İnceleme Sonuçları

5.1.1. Argon Koruyucu Gaz Atmosferi Altında Gerçekleştirilen Kaynaklı Bağlantıların Makroskobik ve Mikroskobik Değerlendirilmesi

AZ31 magnezyum alaşımı plakalar, argon koruyucu gaz atmosferi altında dört farklı akım şiddeti (130, 140, 150 ve 160 A), 12 lt/dak. plazma gaz debisi ve çapı 2.7 mm olan tungsten elektrot kullanılarak birleştirilen N1, N2, N3 ve N4 no' lu kaynaklı bağlantılarına ait kaynak sonrası yüzey ve arayüzey makro fotoğrafları Şekil 5.1' de sırasıyla verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantılara ait fotoğraflar incelendiğinde (Şekil 5.1.); N1, N2, N3 ve N4 numunelerinin yüzeylerinde ilave metal kullanmadan, kaynak ağzı açmaksızın ve tek pasoda yapılan kaynaklarda, herhangi bir kaynak hatasının olmadığı kusursuz birleştirmeler görülmektedir. Ara kesit yüzeyinde alınan makro fotoğraflar Şekil 5.2. incelendiğinde; enerji girdisine bağlı olarak farklı eriyik metal profilleri gözlenmektedir. Her dört numuneye ait arayüzey makro fotoğraftan da görüldüğü gibi artan enerji girdisine bağlı olarak, kaynak dikiş genişliği ve penetrasyon derinliğinde önemli bir değişiklik görülmektedir. Deneysel tasarım tablosunda belirtilen parametreler dahilinde gerçekleştirilen bu kaynaklı bağlantılar üzerinden alınan dikiş genişliği ve nüfuziyet derinliği sonuçları Tablo 5.1' de verilmiştir. Sun (2002), yapmış oldukları çalışmada; kaynak dikiş şeklinin, biçim ve boyutlarındaki değişimin, kaynak akım şiddeti, koruyucu gaz, gaz debisi ve kaynak ilerleme hızına bağlı olduğunu vurgulamışlardır [6]. Şekil 5.2. incelendiğinde; akım şiddetindeki kademeli artışın, nüfuziyet derinliği ile kaynak metali ve havuzunun boyut değişimlerinde önemli rol oynadığı açıkça görülmektedir. Bunun nedeni ise; artan akım şiddetine bağlı olarak birim alanın, yüksek sıcaklık tesiri altında kalma seviyesini artırdığından dolayıdır. Ayrıca artan enerji girdisine bağlı olarak ısının tesiri altındaki bölgenin (ITAB) genişlediği görülmektedir. N1, N2, N3 ve N4 numunelerinde ITAB genişliği sırasıyla 10, 12.60, 13 ve 13.20 mm olarak ölçülmüştür. Bu uygulamada; enerji girdisinin artması sonucu, ısı tesiri altında kalma süresini artıracağı için ITAB bölgesi büyümüş ve genişlemiştir.



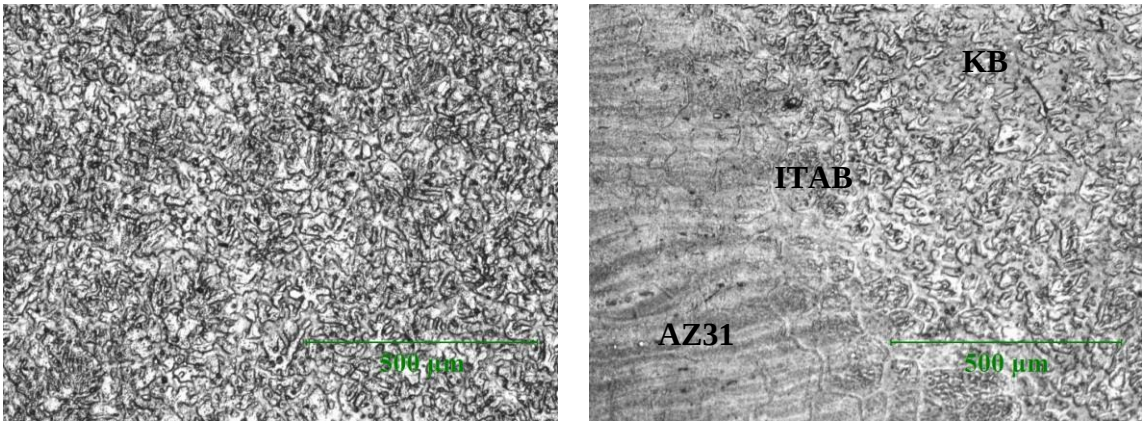
Şekil 5.1. Ar koruyucu gaz atmosferinde gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin makro fotoğrafları



Şekil 5.2. Ara kesit yüzeyinden alınan makro fotoğraflar

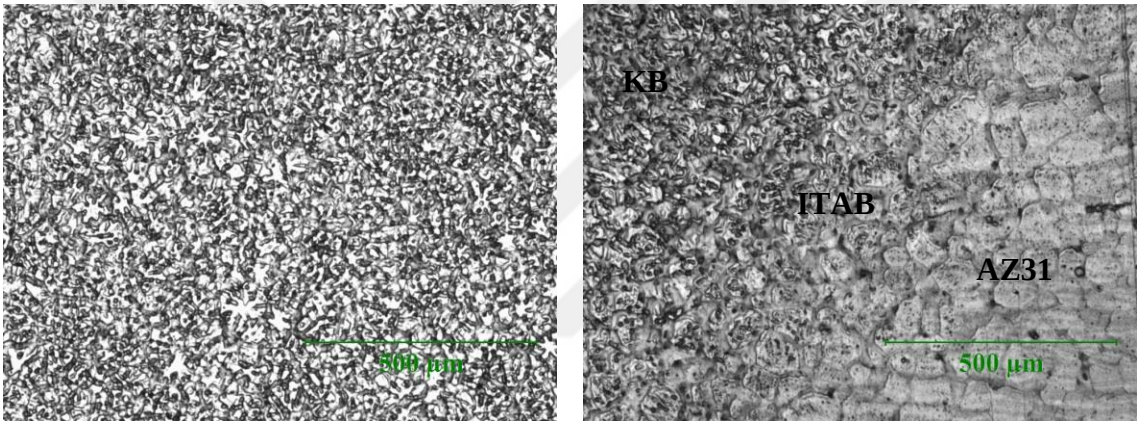
Tablo 5.1. Kaynaklı bağlantılar üzerinden alınan kaynak dikiş genişliği ve nüfuziyet derinliği sonuçları

Numune No	Kaynak Dikiş Genişliği	Kaynak Nüfuziyet Derinliği
N1	10.00 mm	5.20 mm
N2	12.60 mm	5.65 mm
N3	13.00 mm	5.76 mm
N4	13.20 mm	5.90 mm
N5	11.40 mm	5.30 mm
N6	12.80 mm	5.70 mm
N7	14.25 mm	5.82 mm
N8	14.50 mm	6.00 mm
N9	11.80 mm	5.70 mm
N10	12.20 mm	5.75 mm
N11	13.70 mm	5.86 mm
N12	14.00 mm	5.92 mm



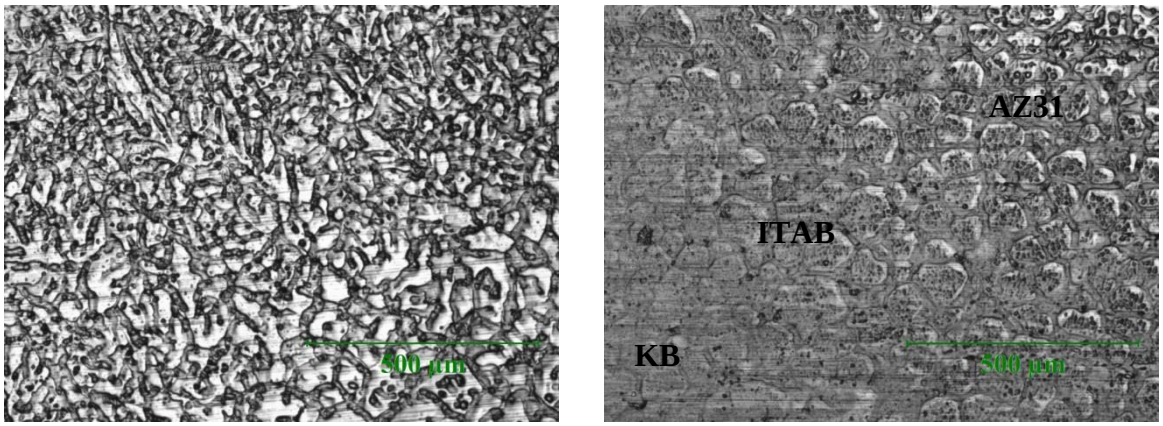
a) b)

Şekil 5.3. N1 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100



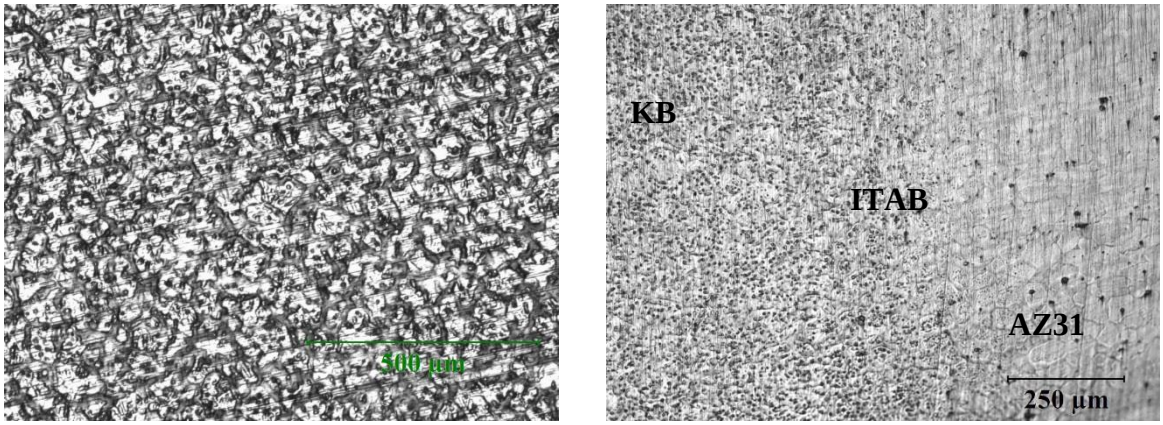
a) b)

Şekil 5.4. N2 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100



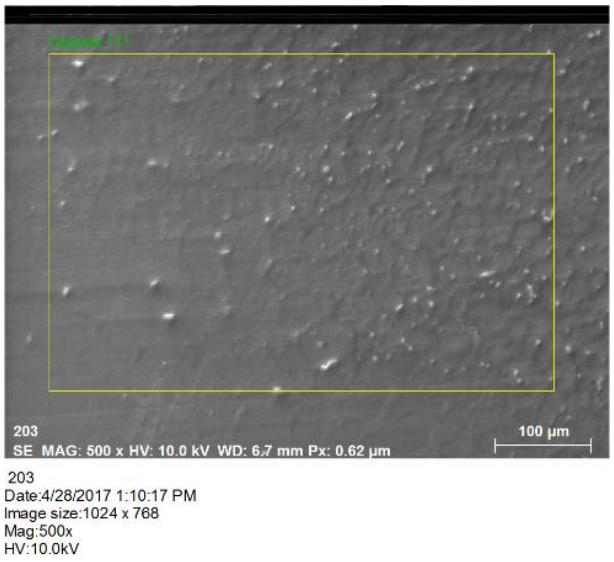
a) b)

Şekil 5.5. N3 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100

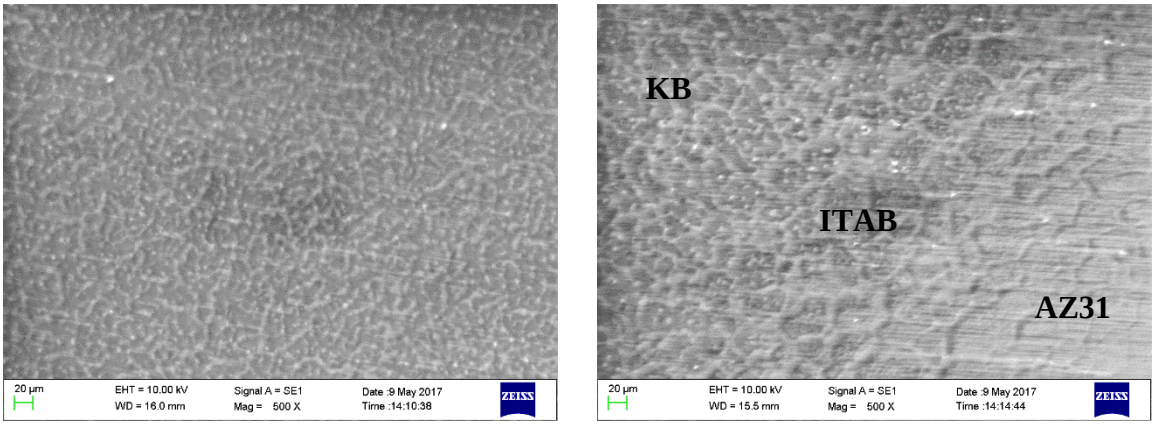


Şekil 5.6. N4 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100

Şekil 5.8.–5.11.' de N1-N4 numunelerine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Kaynak bölgesinden bölgesel olarak alınan EDS analiz sonuçları şekil 5.7' de verilmiş olup, N1 numunesi (%ağ.) 94.24 Mg- 2.89 Zn- 2.87 Al elementlerinden, N2 numunesi (%ağ.) 94.77 Mg- 3.00 Al- 2.23 Zn elementlerinden, N3 numunesi (%ağ.) 94.32 Mg- 2.96 Zn- 2.72 Al elementlerinden, N4 numunesi ise (%ağ.) 94 Mg- 3.18 Zn- 2.81 Al elementlerinden oluşmaktadır.

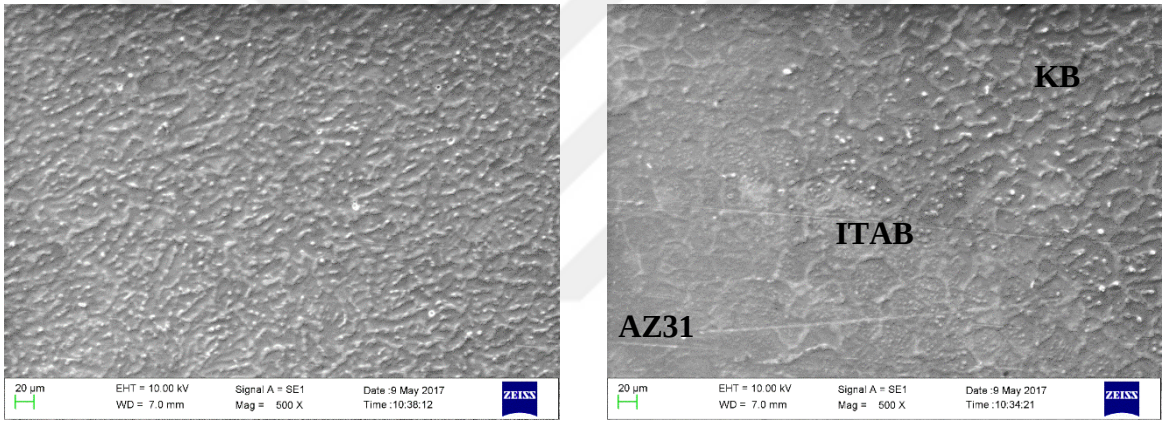


Şekil 5.7. N1-N4 numunelerine ait EDS görüntüsü



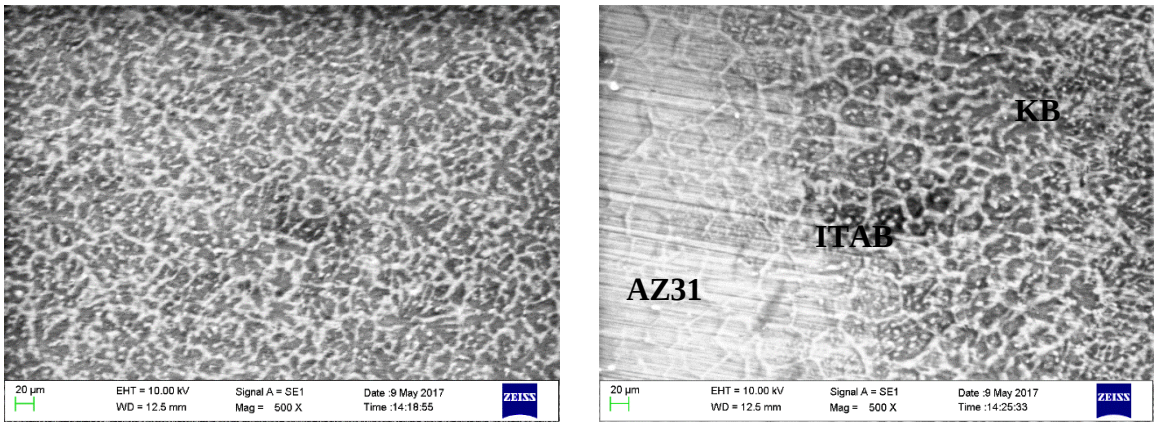
a) **b)**

Şekil 5.8. N1 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500



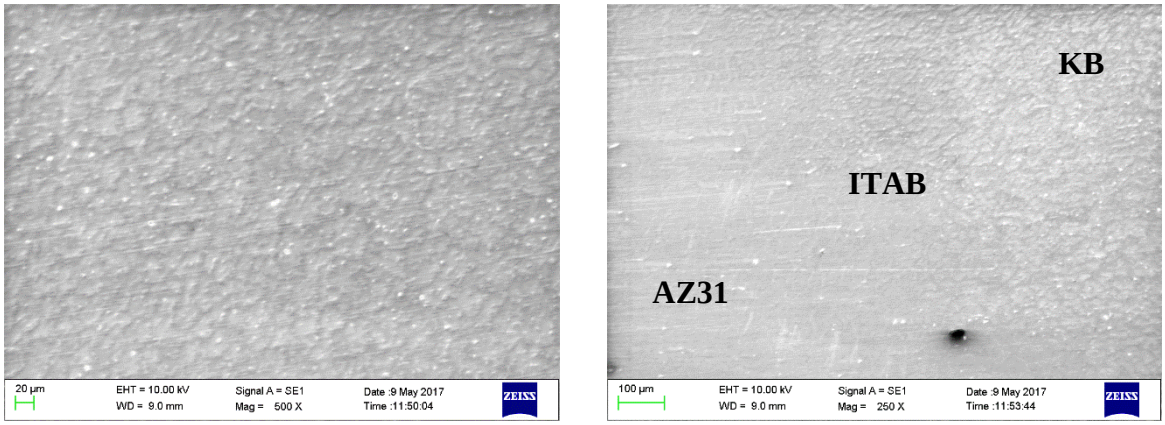
a) **b)**

Şekil 5.9. N2 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500



a) **b)**

Şekil 5.10. N3 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500

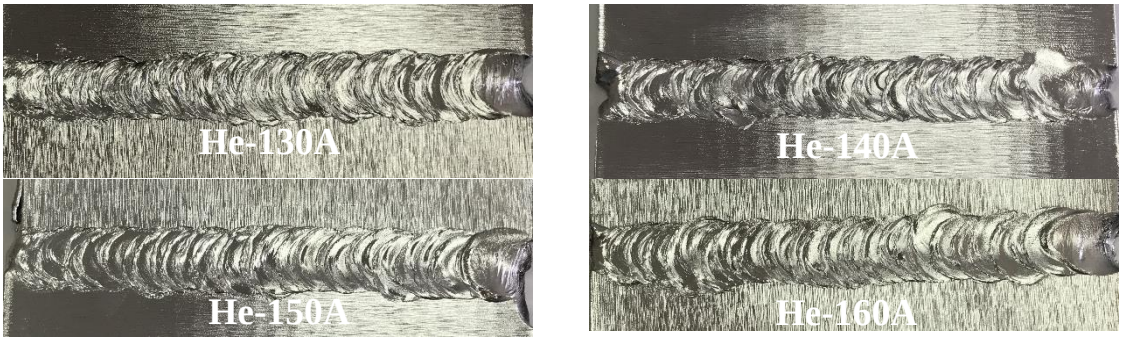


a) **b)**

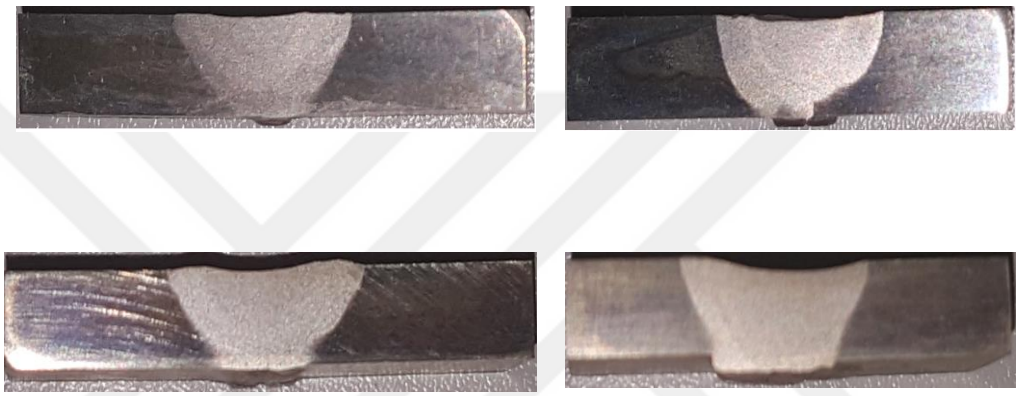
Şekil 5.11. N4 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x250

5.1.2. Helyum Koruyucu Gaz Atmosferi Altında Gerçekleştirilen Kaynaklı Birleştirmelerin Mikroyapısı

Helyum koruyucu gaz atmosferi altında dört farklı akım şiddeti (130,140,150 ve 160 A), 12 lt/dak. plazma gaz debisi ve çapı 2.7 mm olan tungsten kullanılarak birleştirilen N5, N6, N7 ve N8 no' lu kaynaklı bağlantılarına ait kaynak sonrası yüzey ve arayüzey makro fotoğrafları Şekil 5.12.' de sırasıyla verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantılara ait fotoğraflar incelendiğinde (Şekil 5.12.), bir önceki seridekilere benzer, artan enerji girdisine bağlı olarak ergiyik metal genişliği ve penatrasyon derinliğinde değişim kaydedilmiştir. Helyum koruyucu gazı kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılar argon koruyucu gazı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantılar ile kıyaslandığında, hatırı sayılır bir fark görülmektedir. Bu fark bilhassa penatrasyon derinliğinde artış olarak belirlenmiştir. Argon koruyucu atmosferi kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılarda en yüksek penatrasyon derinliği N4 kaynaklı bağlantılarda kaydedilmiştir. Bu değişimin kaynağı, helyumun iyonizasyon enerjisinin (24,6 eV) yaklaşık olarak argonun iyonizasyon enerjisinin (15,8 eV) 1.6 kat daha iyi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [40]. Ancak argonun ark kararlılığı helyumdan daha iyidir. Kaynak ağzı açmaksızın gerçekleştirilen bu kaynaklı bağlantılarda, her iki seride arzu edilen derinlikte bir bağlantının gerçekleştiği görülmektedir. N5, N6, N7 ve N8 numunelere ait arayüzey makro fotoğraflar incelendiğinde (Şekil 5.13.) ITAB genişliğinde, bir önceki seriye göre düşüş kaydedilmiştir. Bu değişime, koruyucu gazın etkisinin neden olduğu düşünülmektedir.

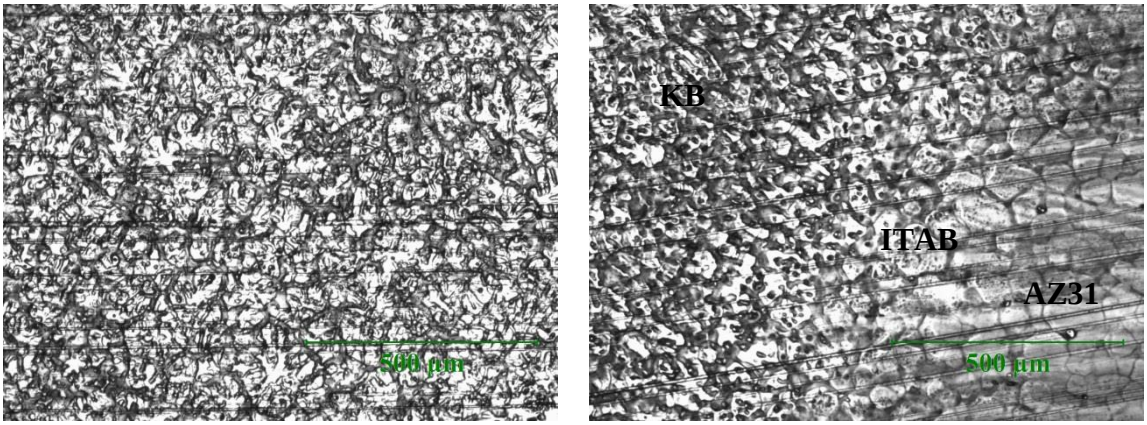


Şekil 5.12. He koruyucu gaz atmosferinde gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin makro fotoğrafları



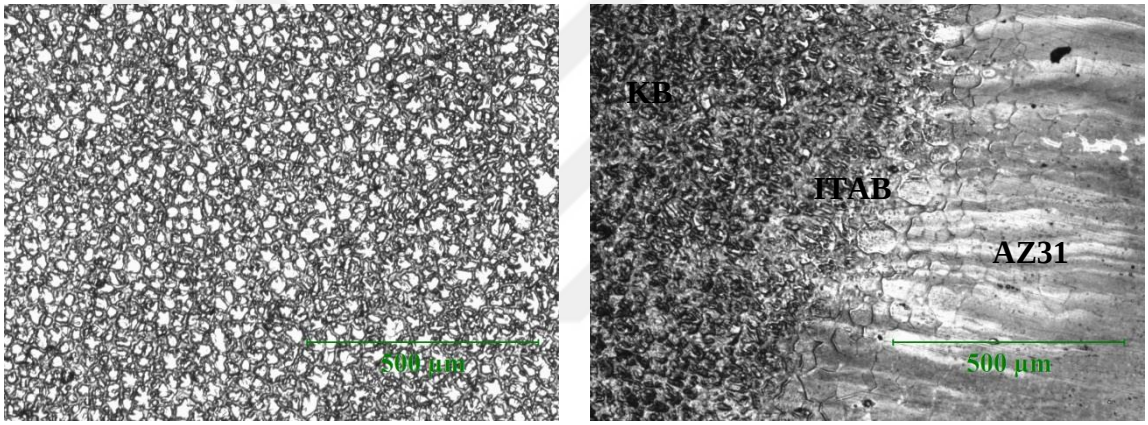
Şekil 5.13. Ara kesit yüzeyinden alınan makro fotoğraflar

Şekil 5.14.-5.17.' de N5-N8 numunelerine ait kaynak bölgesi (KB) ve geçiş bölgesi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, helyum koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerde kaynak bölgelerinde ve geçiş bölgelerinde herhangi bir porozite ve çatlağa rastlanmamıştır. Ayrıca kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe tanelerin soğuma hızının artmasından dolayı küçüldüğü görülmektedir. Ana malzemede kaynak bölgesine yakın noktalar daha fazla yüksek ısı tesiri altında kaldığından, taneler daha büyüktür.



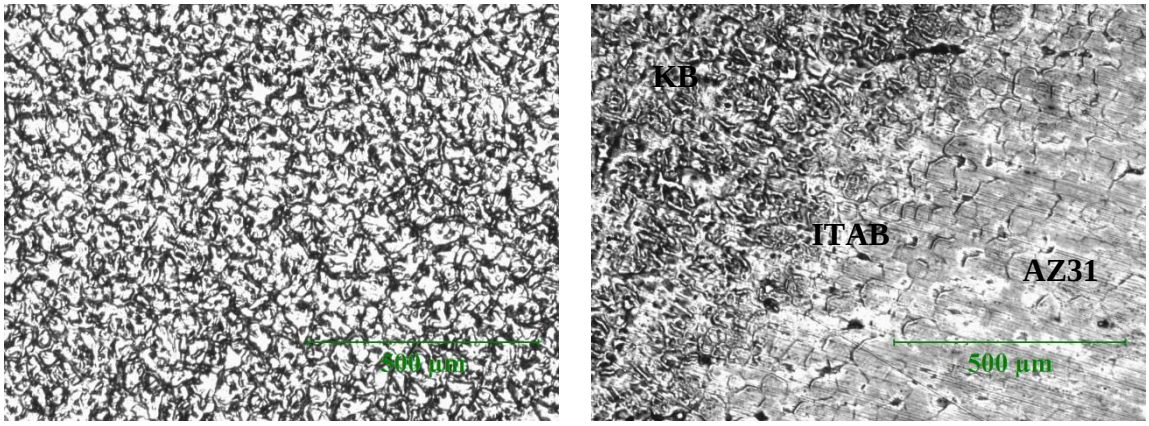
a) b)

Şekil 5.14. N5 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100



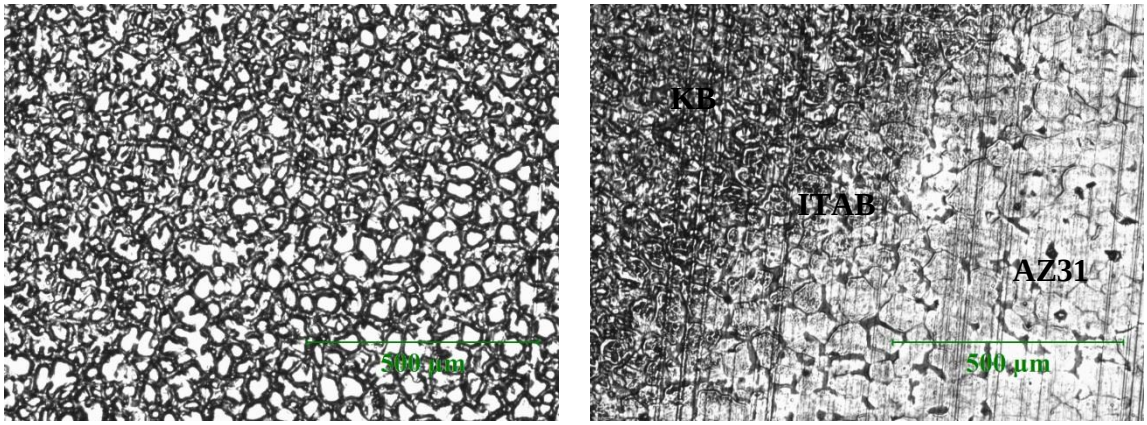
a) b)

Şekil 5.15. N6 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100



a) b)

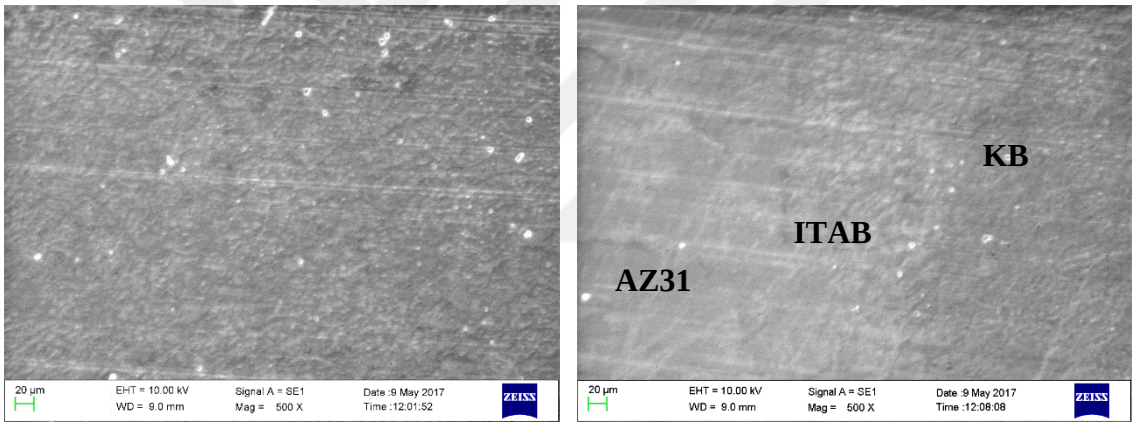
Şekil 5.16. N7 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100



a) b)

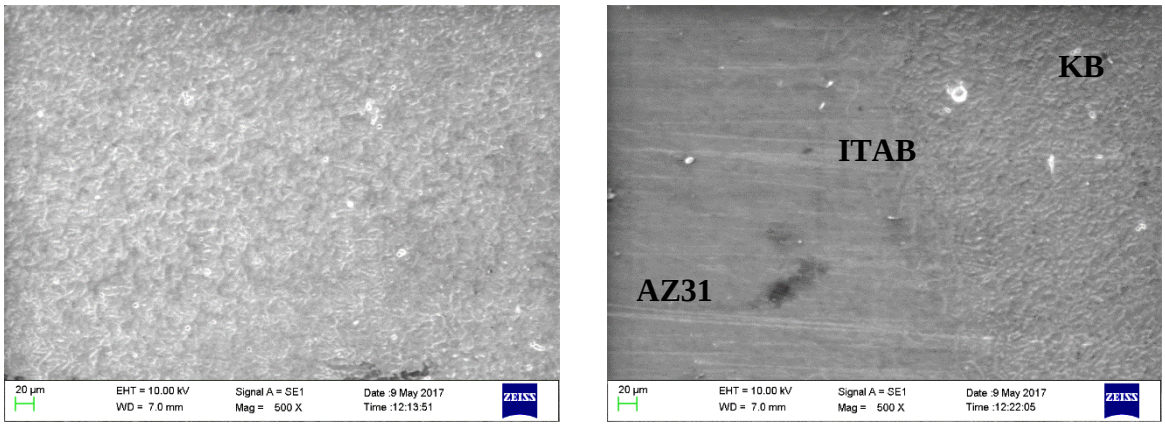
Şekil 5.17. N8 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100

Şekil 5.18. – 5.21.'de N5-N8 numunelerine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



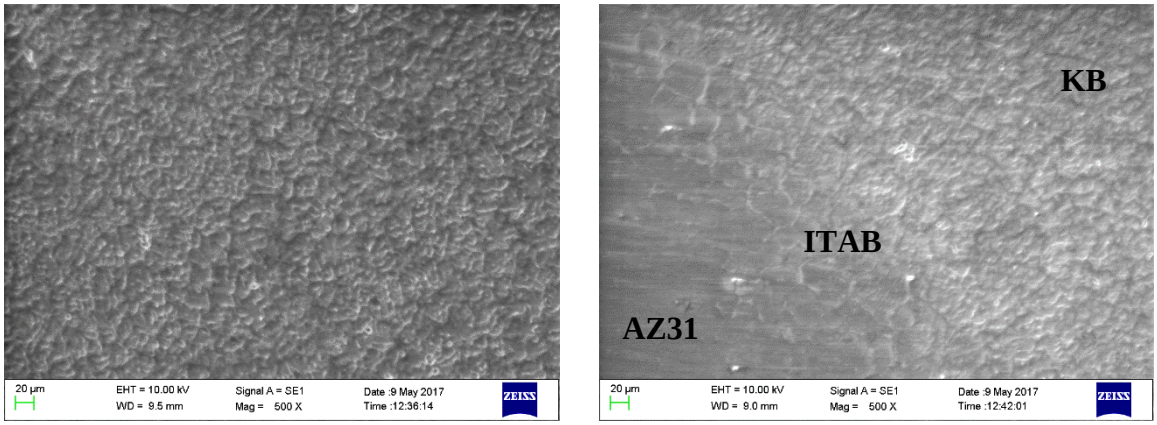
a) b)

Şekil 5.18. N5 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500



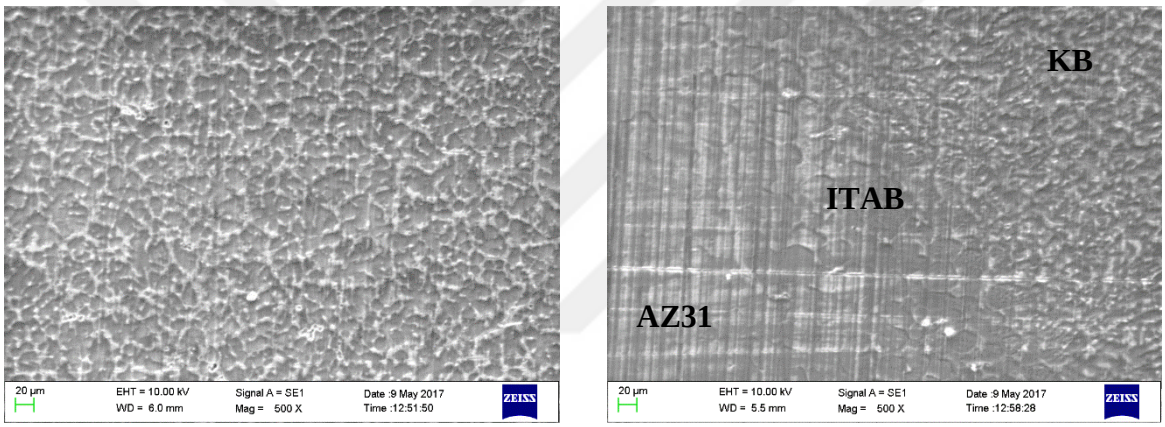
a) b)

Şekil 5.19. N6 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500



a) **b)**

Şekil 5.20. N7 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500

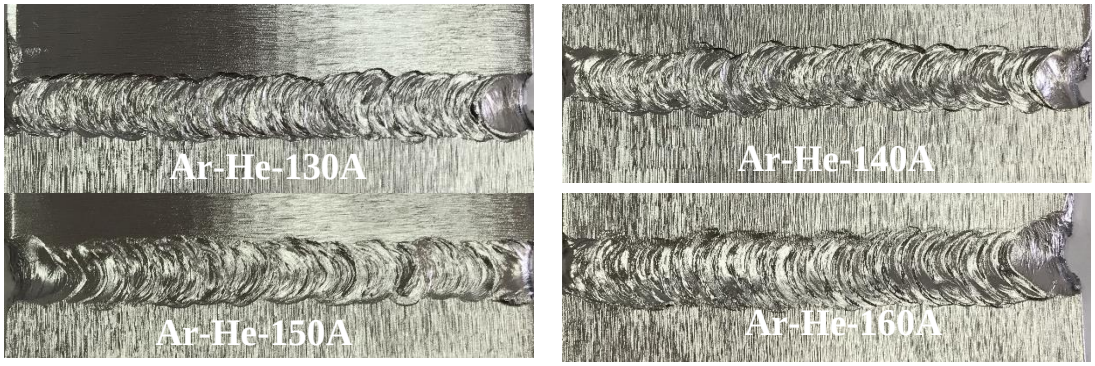


a) **b)**

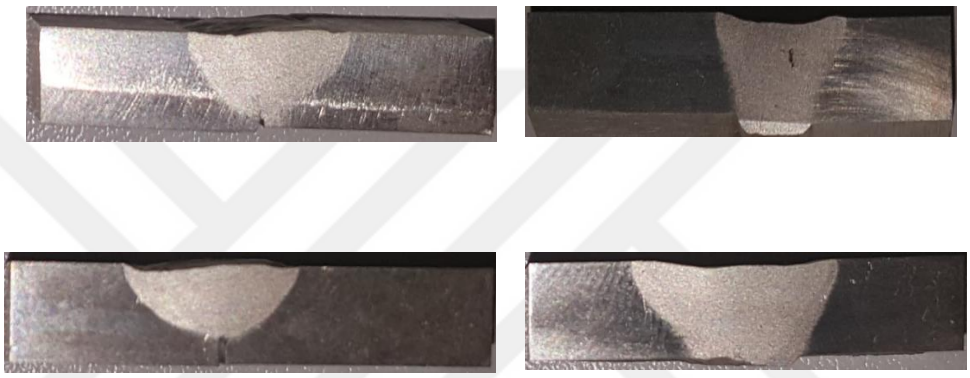
Şekil 5.21. N8 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500

5.1.3. Argon-Helyum Koruyucu Gaz Atmosferi Altında Gerçekleştirilen Kaynaklı Birleştirmelerin Mikroyapısı

Argon-Helyum gaz karışımı (%75 Ar, %25 He) atmosferi altında dört farklı akım şiddeti (130,140,150 ve 160 A), 12 lt/dak. plazma gaz debisi ve çapı 2.7 mm olan tungsten elektrot kullanılarak birleştirilen N9, N10, N11 ve N12 no' lu kaynaklı bağlantılarına ait kaynak sonrası yüzey ve arayüzey makro fotoğrafları Şekil 5.22.' de sırasıyla verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantılara ait yüzey fotoğrafları incelendiğinde (Şekil 5.23.), artan enerji girdisine bağlı olarak, parça kalınlığı ile dikiş boyutu arasındaki ilişki literatüre uygun değişimler sergilemektedir. Dikiş yüzey topoğrafyası önceki kaynaklı bağlantılarla benzerlik göstermektedir.

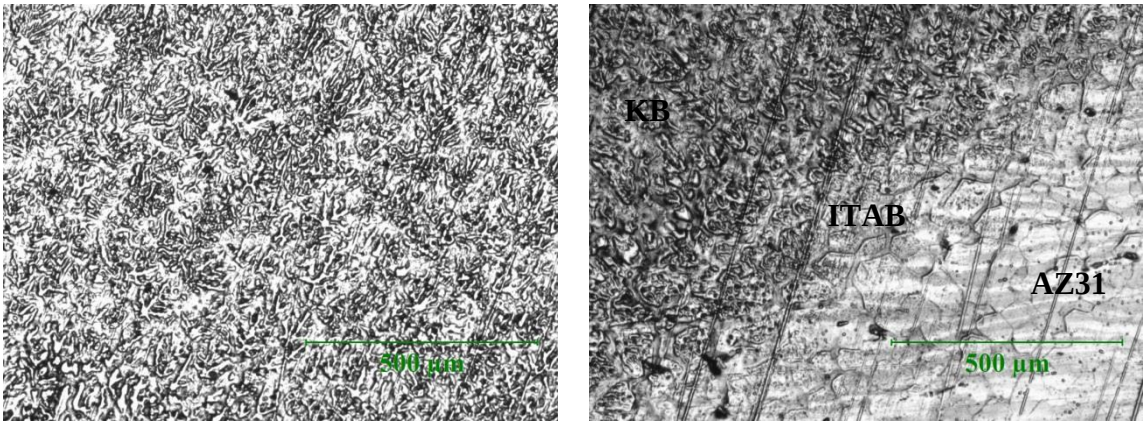


Şekil 5.22. He koruyucu gaz atmosferinde gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin makro fotoğrafları



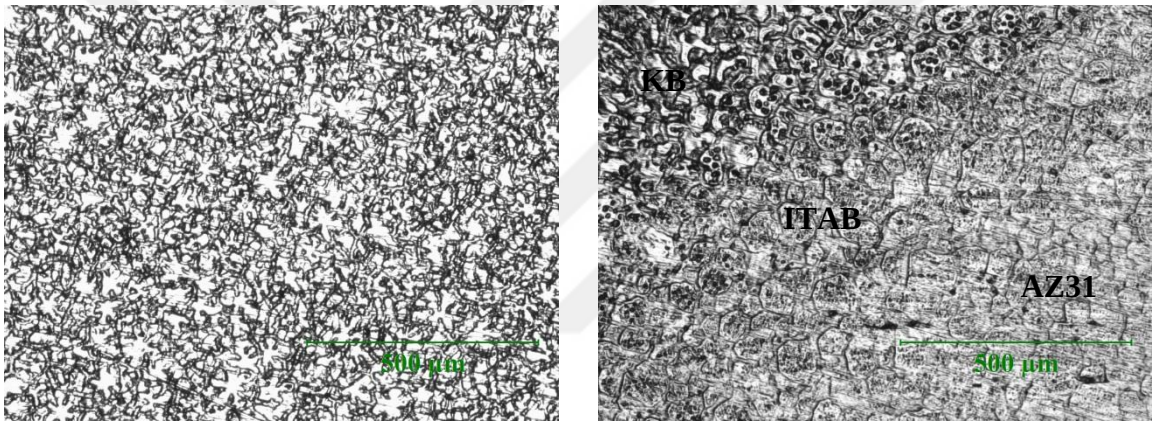
Şekil 5.23. Ara kesit yüzeyinden alınan makro fotoğraflar

Şekil 5.24.-5.27.' de N9-N12 numunelerine ait kaynak bölgesi (KB) ve geçiş bölgesi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, helyum koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerde kaynak bölgelerinde ve geçiş bölgelerinde herhangi bir porozite ve çatlağa rastlanmamıştır. Ayrıca kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe tanelerin soğuma hızının artmasından dolayı küçüldüğü görülmektedir. Ana malzemede kaynak bölgesine yakın noktalar daha fazla yüksek ısı tesiri altında kaldığından, taneler daha büyüktür.



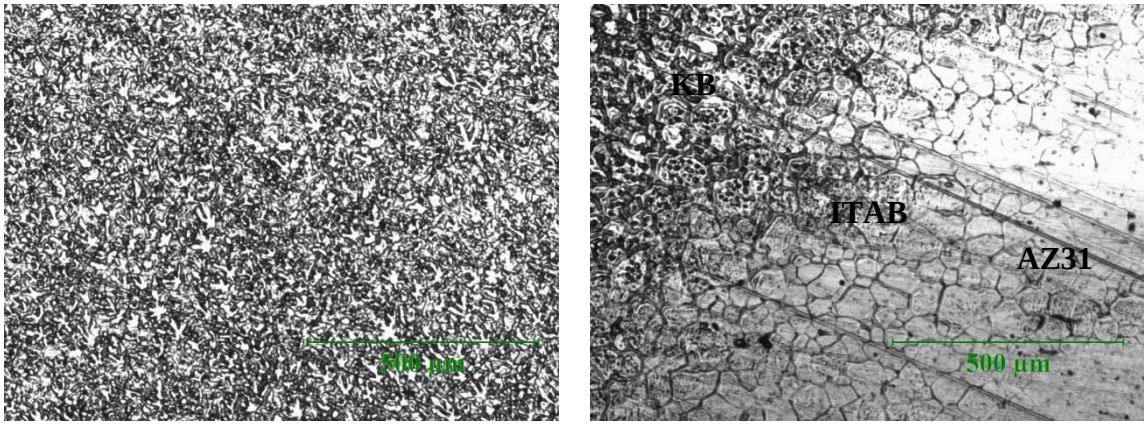
a) b)

Şekil 5.24. N9 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100



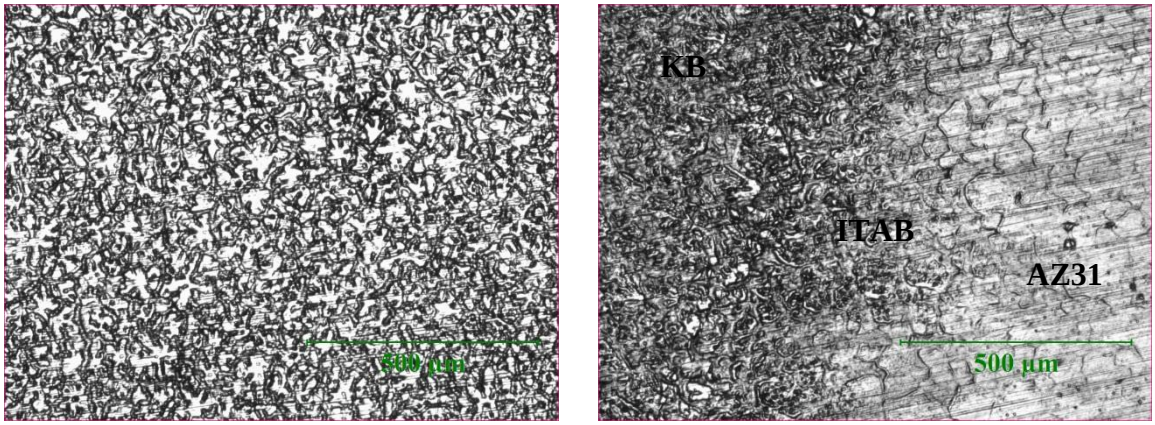
a) b)

Şekil 5.25. N10 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100



a) b)

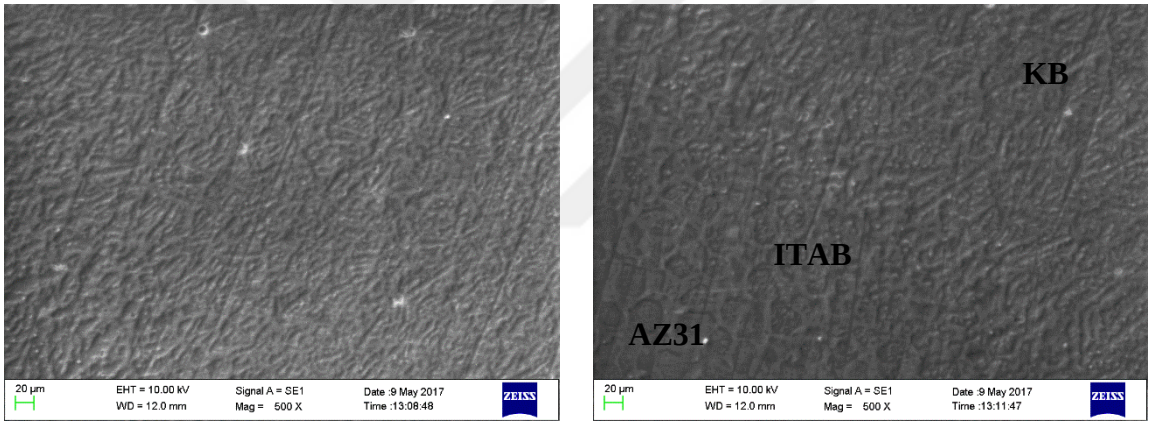
Şekil 5.26. N11 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100



a) b)

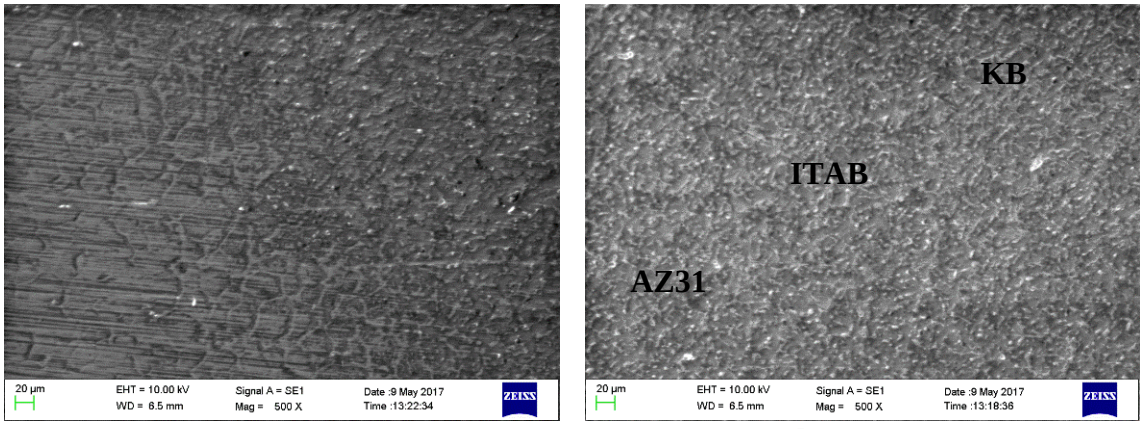
Şekil 5.27. N12 numunesinin optik mikroskop görüntüleri a) Kaynak bölgesi x100 ve b) Geçiş bölgesi x100

Şekil 5.28.–5.31.'de N5-N8 numunelerine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



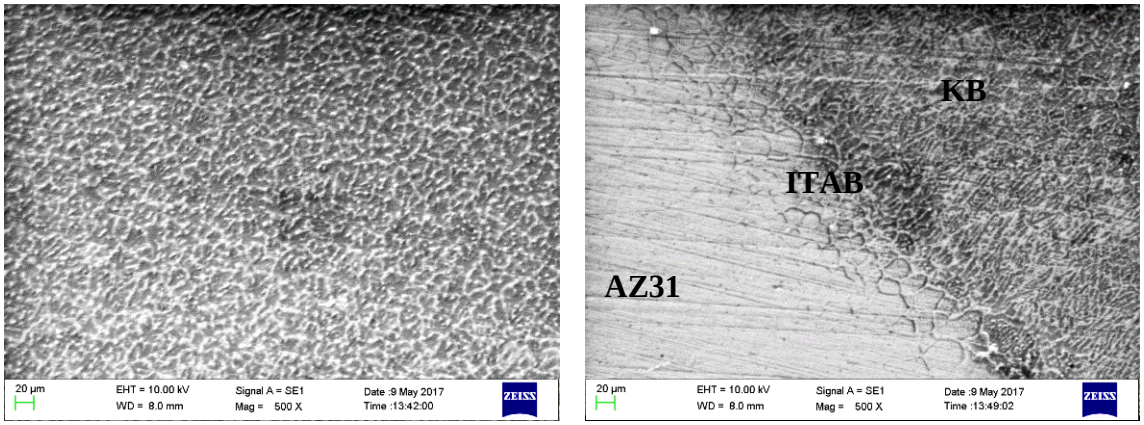
a) b)

Şekil 5.28. N9 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500



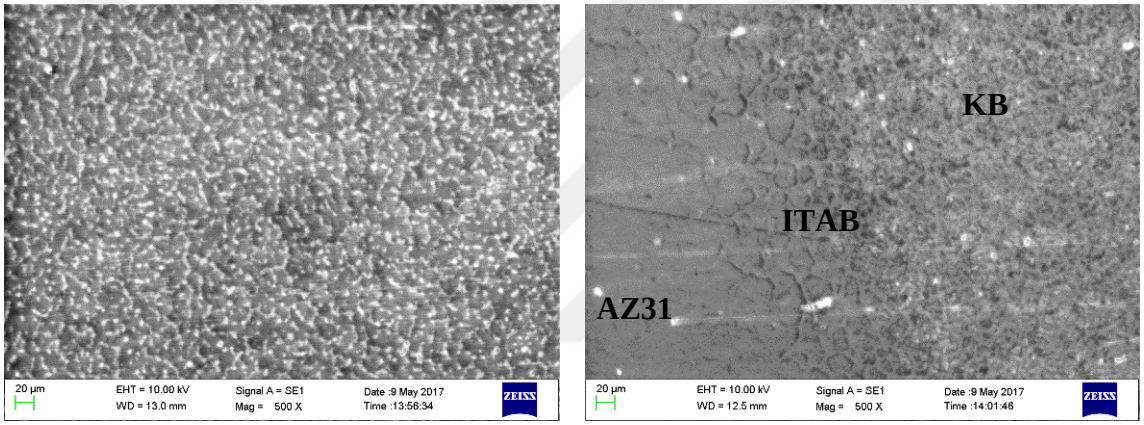
a) b)

Şekil 5.29. N10 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x50



a) **b)**

Şekil 5.30. N11 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500



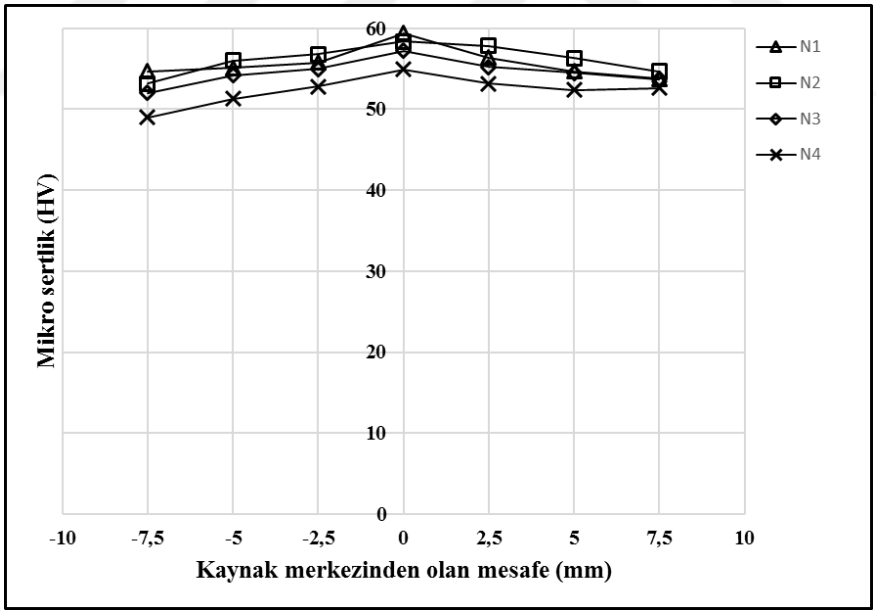
a) **b)**

Şekil 5.31. N12 numunesinin SEM görüntüleri a) Kaynak bölgesi x500 ve b) Geçiş bölgesi x500

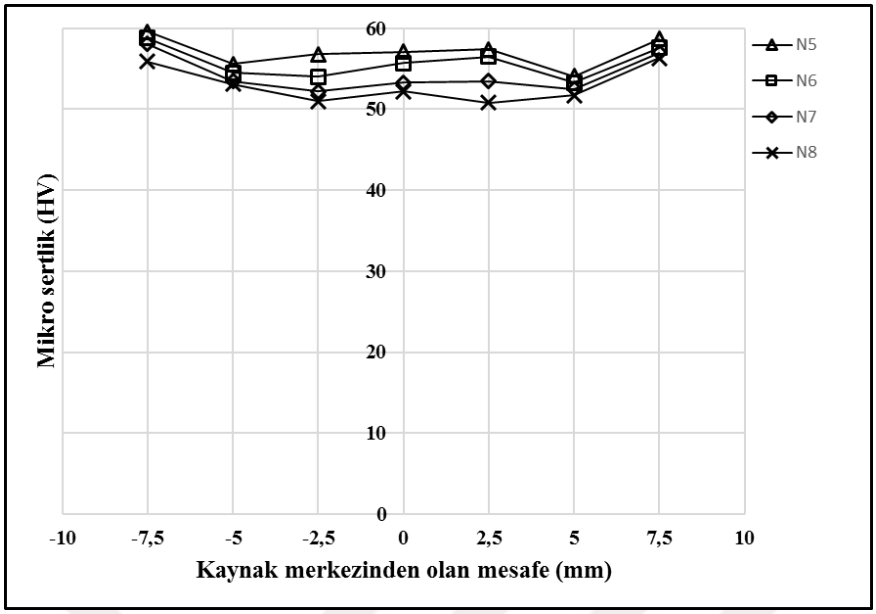
5.2. Kaynaklı Birleştirmelerin Mikrosertlik Sonuçları

Şekil 5.32-5.34' de N1-N12 numunelerine ait sertlik profili incelendiğinde; her 12 numunede de sertlik dağılımında farklılık görülmektedir. Bu dağılım, argon gazı kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların kaynak havuzunda maksimum, esas metale doğru gidildikçe düşüş kaydedilmiştir. Merkezdeki bu yükselme esas malzeme sertlik değerinden yüksek bir değerdir. Bu gruptaki her dört kaynaklı bağlantıda, bu yapıya benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak helyum ve argon-helyum karışım gazı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantılarda kaynak havuzunda sertlik düşüşü kaydedilmiştir. Bu durum, enerji girdisine bağlı olarak birleşeme bölgesinde ulaşılan sıcaklık derecesi ve katılaşma mekanizmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca birleşme bölgesinden

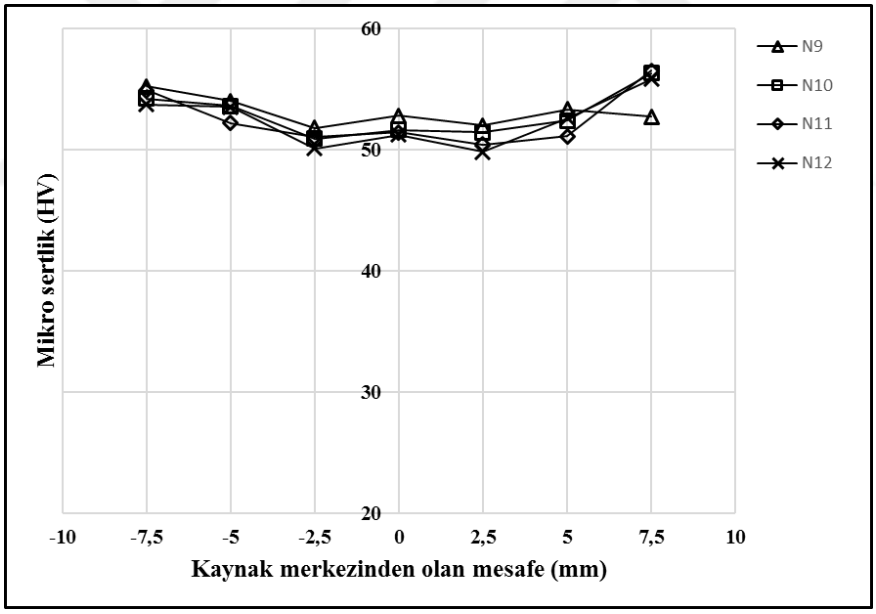
yapılan tane boyutu ölçümleri bu sonucu doğrulamaktadır. Kaynak sonrası bütün kaynaklı numunelerin birleşme bölgesinde tane irileşmesi ve ikizlemenin olduğu kaydedilmiştir. Bu her iki yapı sertlik artışını sağlayan etkenlerdir. Argon koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinde kaydedilen tane boyutu 85 μm, helyum koruyucu atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinde kaydedilen tane boyutu 30 μm, argon-helyum karışım gazı kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinde kaydedilen tane boyutu 50 μm olarak kaydedilmiştir. En yüksek mikrosertlik değeri argon koruyucu gaz atmosferi altında 130 A akım değeri kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıda 60 Hv olarak ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri argon–helyum karışım gazı kullanılarak gerçekleştirilen N12 no'lu kaynaklı bağlantıda 51 Hv olarak kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlardan açıkça görüldüğü gibi kaynak bölgesinin soğuma hızı ve koruyucu atmosferin birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişim üzerine önemli etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.32. Ar koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerin mikro sertlik dağılımı



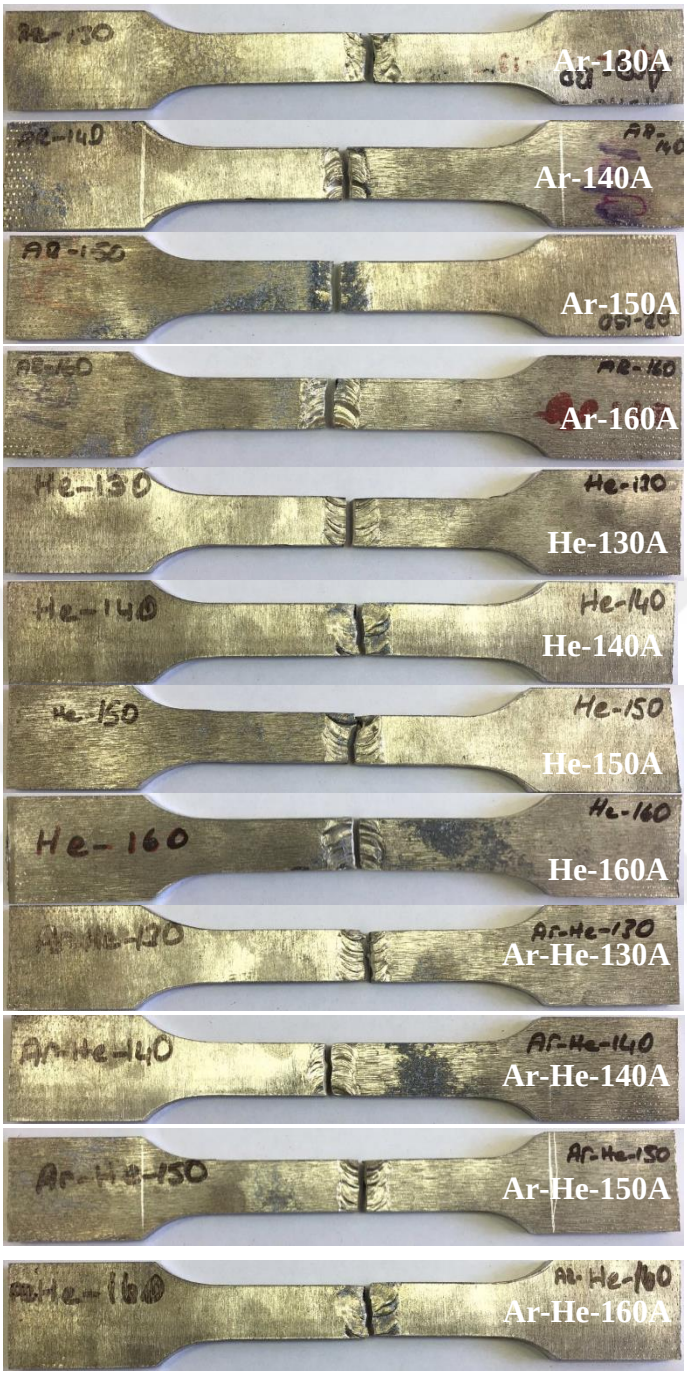
Şekil 5.33. He koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerin mikro sertlik dağılımı



Şekil 5.34. Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerin mikro sertlik dağılımı

5.3. Çekme Deneyi Sonuçları

Şekil 5.35' de çekme deneyi gerçekleştirilmiş numunelerin makro fotoğrafları verilmiştir. Görüldüğü gibi kırılmaların tamamı kaynak bölgesinde meydana gelmiş ve gevrek bir kırılma göstermiştir.



Şekil 5.35. Kaynak edilen numunelerin çekme deneyi sonrası resimleri

Dört farklı akım ve üç farklı koruyucu gaz atmosferi kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılara uygulanan çekme testi sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir. En yüksek çekme dayanımı değeri 130.19 N/mm^2 olarak Helyum koruyucu gaz atmosferi altında 130 A akım değerinde kaynak edilen N5 numunesinde ölçülmüştür. Bunun nedeni olarak helyumun ısıl iletkenliği yüksek olduğundan hızlı soğuma sonucu çekme dayanımı arttırıcı etki yaptığı düşünülmektedir [58]. En düşük çekme dayanımı değeri ise 92.33 N/mm^2

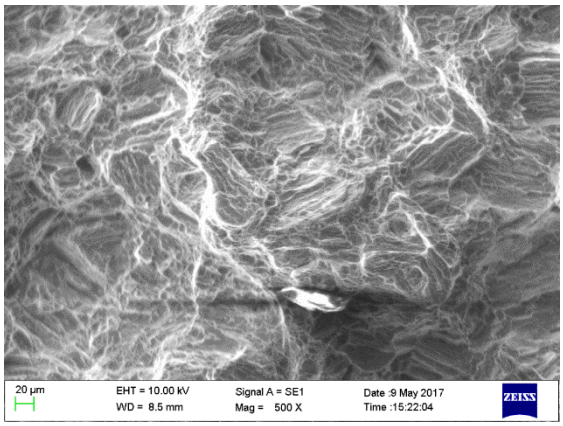
olarak N10 numunesinde ölçülmüştür. Genel olarak aynı ısı girdisi değerlerinde He koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerin çekme dayanımları Ar ve Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerden daha yüksektir. Tablo 5.2' de çekme deneyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.2. Çekme deneyi sonuçları

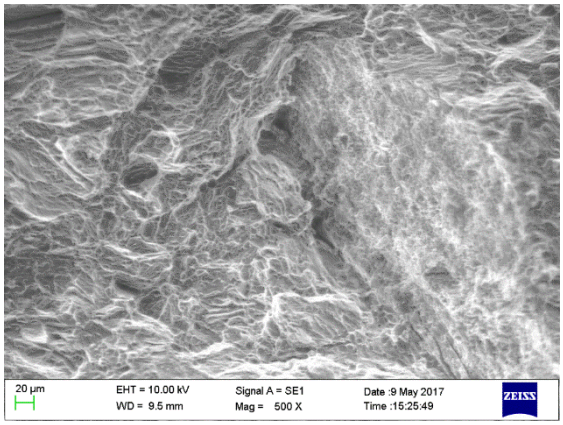
Numune No	Koruyucu Gaz	Akım	Çekme dayanımı
N0	İşlemsiz		137.23 N/mm^2
N1	Ar	130	101.2 N/mm^2
N2	Ar	140	100.34 N/mm^2
N3	Ar	150	104.84 N/mm^2
N4	Ar	160	110.11 N/mm^2
N5	He	130	130.19 N/mm^2
N6	He	140	100.5 N/mm^2
N7	He	150	100.11 N/mm^2
N8	He	160	95.09 N/mm^2
N9	Ar-He	130	94.019 N/mm^2
N10	Ar-He	140	92.33 N/mm^2
N11	Ar-He	150	94. 5 N/mm^2
N12	Ar-He	160	115.5 N/mm^2

5.4. Kaynak Edilen Numunelerin Kırık Yüzeylerinin İncelenmesi

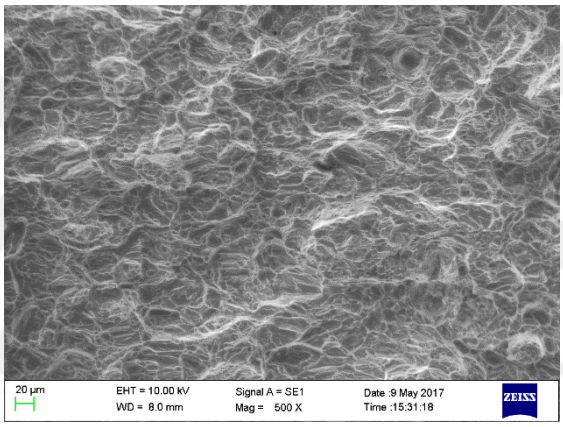
Şekil 5.36-5.39' da Ar koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin çekme testi sonrasındaki kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi numunelerden kopan parçacıklar yüzeyde gelişigüzel boşluklar oluşturmuş ve bölgesel olarak gevrek kırılmalar gerçekleşmiştir.



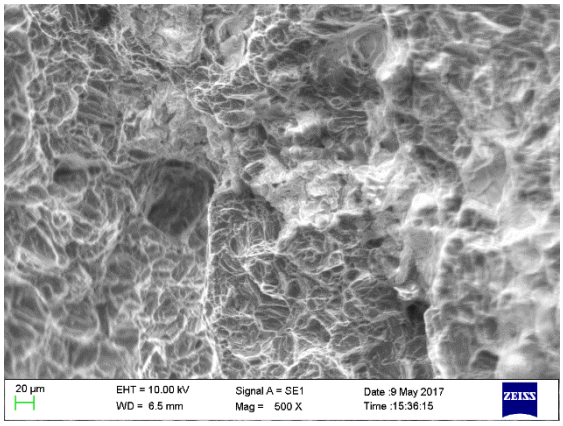
Şekil 5.36. N1 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500



Şekil 5.37. N2 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500



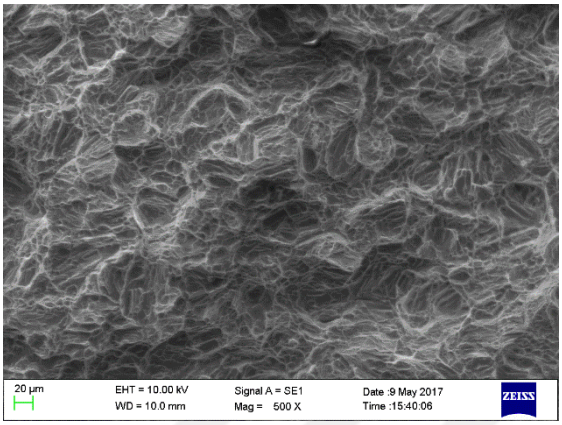
Şekil 5.38. N3 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500



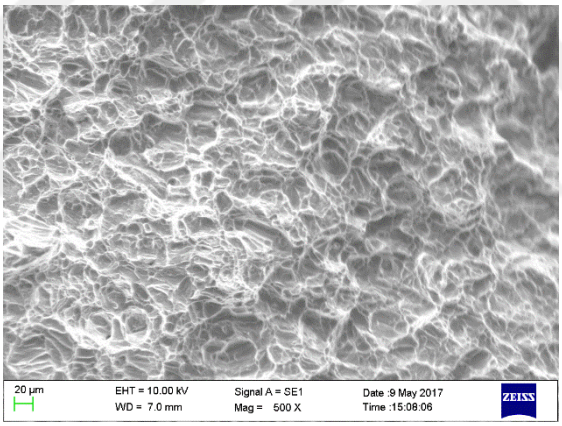
Şekil 5.39. N4 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500

Şekil 5.40-5.42' de He koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin çekme testi sonrasındaki kırık yüzey görüntülerinden görüldüğü gibi,

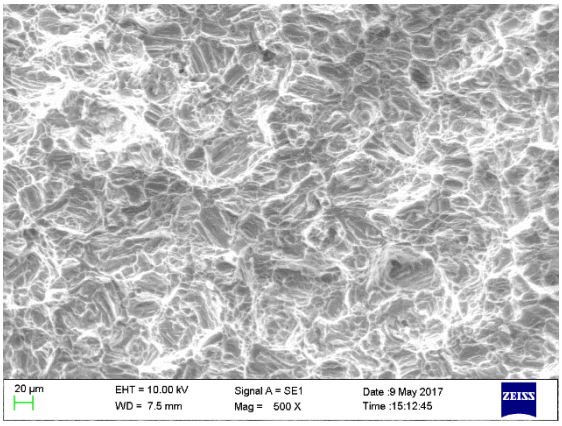
bölgesel olarak gevrek kırılmalar gerçekleşmiş ve yüzeyde yer yer kırılan parçacıklardan dolayı boşluklar olduğu gözlemlenmiştir.



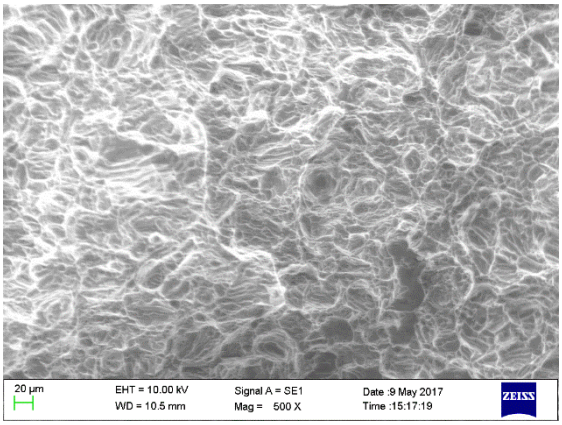
Şekil 5.40. N5 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500



Şekil 5.41. N6 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500

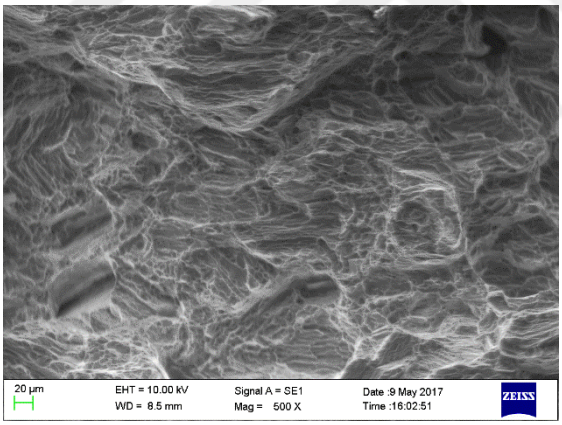


Şekil 5.42. N7 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500

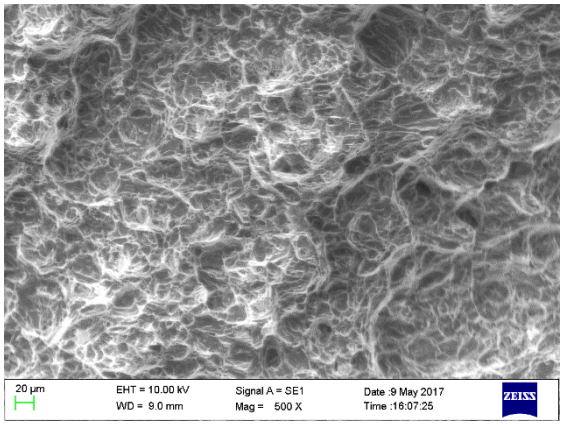


Şekil 5.43. N8 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500

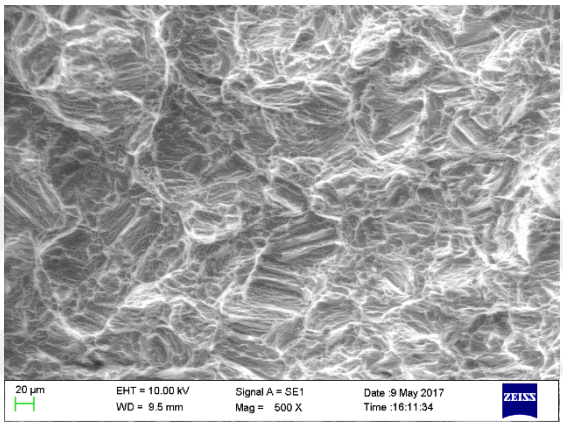
Şekil 5.44-5.47' de Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin çekme testi sonrasındaki kırık yüzey görüntülerinden görüldüğü gibi, bu numunelerde de kırılmalar genelde gevrek olarak gerçekleşmiştir. Yüzeyde kırılmalardan dolayı yer yer boşluklar gözlenmektedir.



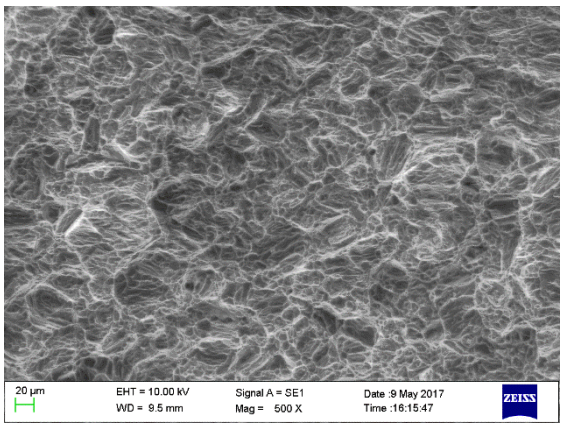
Şekil 5.44. N9 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500



Şekil 5.45. N10 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500



Şekil 5.46. N11 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500



Şekil 5.47. N12 numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü x500

6. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada AZ31 magnezyum alaşımı çifti TIG kaynak yöntemiyle Ar, He ve Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında ve 130, 140, 150, 160 A akım değerlerinde kaynak edilmiştir. Yapılan mikroyapı incelemeleri, mikro sertlik ölçümleri ve çekme testleri neticesinde aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır:

1. AZ31 magnezyum alaşımının TIG kaynak yöntemi ile Ar, He ve Ar-He koruyucu gaz atmosferleri altında başarılı bir şekilde kaynak edilebildiği görülmüştür.
2. Tüm kaynaklı birleştirmelerde, kaynak yüzeylerinde herhangi bir çatlak veya porozite oluşmamış ve kaynak edilen numuneler birlikte ergiyerek kaynaklı birleştirmeler başarı ile gerçekleştirilmiştir.
3. Tüm kaynaklı birleştirmelerde kaynak bölgelerinde ve geçiş bölgelerinde herhangi bir çatlağa ve porozite rastlanmamıştır.
4. Tüm kaynaklı birleştirmelerde ısı girdisi arttıkça kaynak genişliği artmış, kaynak bölgesindeki tane boyutları ise büyümüştür.
5. En yüksek kaynak bölgesi tane boyutları Ar koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerde meydana gelmiştir.
6. Ar koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerde kaynak dikiş genişliği 10-13.2 mm arasında değişmiştir.
7. Tüm kaynaklı birleştirmelerde, kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru gidildikçe soğuma hızının artmasından dolayı taneler küçülmüştür.
8. He koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgesi genişliğinin aynı ısı girdisi değerinde, Ar koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgesi genişliğinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
9. He koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerde dikiş genişliği 11.40-14.50 mm arasında değişmiştir.
10. He koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgesi tane boyutları, aynı ısı girdisi değerinde argon koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerdekinden daha düşüktür.

11. Aynı ısı girdisi değerlerinde Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgesi genişliği helyum koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerden daha yüksektir.
12. Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerde kaynak dikiş genişliği 11.80-14.00 mm arasında değişmiştir.
13. Tüm kaynaklı birleştirmelerde ısı girdisi arttıkça kaynak bölgesi mikro sertliği azalmıştır.
14. En yüksek mikro sertlik değeri Ar koruyucu gaz atmosferi altında 130 A akım değerinde kaynak edilen numunede 60 HV olarak ölçülmüştür.
15. En düşük kaynak bölgesi mikro sertlik değeri ise Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında 160 A akım değerinde kaynak edilen numune de 51 HV olarak ölçülmüştür.
16. Tüm akım değerlerinde He koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerin kaynak bölgesi mikro sertlik değerleri Ar ve Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerden daha yüksektir.
17. Tüm kaynak edilmiş numunelerde çekme testi sonucunda kırılmaların tamamı kaynak bölgesinde ve gevrek olarak meydana gelmiştir.
18. En yüksek çekme dayanımı değeri 130.19 N/mm^2 olarak helyum koruyucu gaz atmosferi altında 130 A akım değerinde kaynak edilen numunede ölçülmüştür.
19. En düşük çekme dayanımı değeri ise 92.33 N/mm^2 olarak Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında 140 A akım değerinde kaynak edilen numunede ölçülmüştür.
20. Genel olarak aynı ısı girdisi değerlerinde He koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerin çekme dayanımları Ar ve Ar-He koruyucu gaz atmosferi altında kaynak edilen numunelerden daha yüksektir.
21. Görüldüğü gibi numunelerden kopan parçacıklar yüzeyde gelişigüzel boşluklar oluşturmuş ve bölgesel olarak sünek kopmalar meydana gelmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre gelecekte yapılabilecek çalışmalar aşağıda ki gibi özetlenebilir.

1. Farklı ikili ve üçlü koruyucu gaz atmosferleri altında TIG kaynak yöntemiyle AZ31 magnezyum alaşımlarının kaynak işlemleri gerçekleştirilebilir

2. TIG kaynak yöntemiyle kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirilen AZ31 magnezyum alaşımlarının yorulma dayanımları incelenebilir.
3. Kaynaklı birleştirmeler gerçekleştirilmeden önce kaynak edilecek AZ31 magnezyum alaşımları ön ısıtmaya tabi tutulabilir.
4. Ar, He ve Ar-He koruyucu gaz atmosferleri altında TIG kaynak yöntemiyle farklı magnezyum alaşım çiftleri kaynak edilebilir.
5. Bu çalışmadaki aynı kaynak parametrelerinde ara dolgu malzemesi kullanılarak kaynak işlemleri gerçekleştirilebilir ve bu tez çalışmalarıyla karşılaştırabilir.
6. Koruyucu gaz debisi değiştirilerek kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

[1] **Cao, X., Jahazi, M., Immarigeon, J., Wallace, W.**, 2006. A review of laser welding techniques for magnesium alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, **171**(2), 188-204.

[2] **Zhang, Y., Luo, Z., Li, Y., Liu, Z., Huang, Z.**, 2015. Microstructure characterization and tensile properties of Mg/Al dissimilar joints manufactured by thermo-compensated resistance spot welding with Zn interlayer, *Materials & design*, **75**, 166-173.

[3] **Dai, X., Zhang, H., Liu, J., Feng, J.**, 2015. Microstructure and properties of Mg/Al joint welded by gas tungsten arc welding-assisted hybrid ultrasonic seam welding, *Materials & design*, **77**, 65-71.

[4] **Harooni, M., Carlson, B., Strohmeier, B.R., Kovacevic, R.**, 2014. Pore formation mechanism and its mitigation in laser welding of AZ31B magnesium alloy in lap joint configuration, *Materials & design*, **58**, 265-276.

[5] **Min, D., Shen, J., Lai, S., Chen, J., Xu, N., Liu, H.**, 2011. Effects of heat input on the low power Nd: YAG pulse laser conduction weldability of magnesium alloy AZ61, *Optics and Lasers in Engineering*, **49**(1), 89-96.

[6] **Sun, Z., Pan, D., Wei, J.**, 2002. Comparative evaluation of tungsten inert gas and laser welding of AZ31 magnesium alloy, *Science and technology of welding and joining*, **7**(6), 343-351.

[7] **Ding, M., Liu, S., Zheng, Y., Wang, Y., Li, H., Xing, W., Yu, X., Dong, P.**, 2015. TIG–MIG hybrid welding of ferritic stainless steels and magnesium alloys with Cu interlayer of different thickness, *Materials & design*, **88**, 375-383.

[8] **Durgutlu, A.**, 2004. Experimental investigation of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas on TIG welding of austenitic stainless steel, *Materials & design*, **25**(1), 19-23.

[9] **Eroğlu, M., Özdemir, N.**, 2002. Tungsten inert gas surface alloying of a low carbon steel, Surface and coating technology, **154**, 209-217.

[10] **Zhang, H., Lin, S., Wu, L., Feng, J., Ma, S.L.**, 2006. Defects formation procedure and mathematic model for defect free friction stir welding of magnesium alloy, *Materials & design*, **27**(9), 805-809.

[11] **Sibillano, T., Ancona, A., Berardi, V., Schingaro, E., Basile, G., Lugarà, P.M.**, 2006. A study of the shielding gas influence on the laser beam welding of AA5083 aluminium alloys by in-process spectroscopic investigation, *Optics and Lasers in Engineering*, **44**(10), 1039-1051.

[12] **Song, G., Liu, L., Wang, P.**, 2006. Overlap welding of magnesium AZ31B sheets using laser-arc hybrid process, *Materials Science and Engineering: A*, **429**(1), 312-319.

[13] **Cao, X., Jahazi, M.**, 2009. Effect of welding speed on the quality of friction stir welded butt joints of a magnesium alloy, *Materials & design*, **30**(6), 2033-2042.

[14] **Srinivasan, P., Riekehr, S., Blawert, C., Dietzel, W., Kocak, M.**, 2011. Mechanical properties and stress corrosion cracking behaviour of AZ31 magnesium alloy laser weldments, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, **21**(1), 1-8.

[15] **Zeng, Z., Li, X., Miao, Y., Wu, G., Zhao, Z.**, 2011. Numerical and experiment analysis of residual stress on magnesium alloy and steel butt joint by hybrid laser-TIG welding, *Computational Materials Science*, **50**(5), 1763-1769.

[16] **Wang, Z., Gao, M., Tang, H., Zeng, X.**, 2011. Characterization of AZ31B wrought magnesium alloy joints welded by high power fiber laser, *Materials Characterization*, **62**(10), 943-951.

[17] **Chen, J., Liu, T., Lu, L., Zhang, Y., Zeng, W.**, 2012. Microstructure and mechanical property of rolled-weld magnesium alloy AZ31, *Materials & Design (1980-2015)*, **36**, 577-583.

[18] **Babu, N.K., Brauser, S., Rethmeier, M., Cross, C.**, 2012. Characterization of microstructure and deformation behaviour of resistance spot welded AZ31 magnesium alloy, *Materials Science and Engineering: A*, **549**, 149-156.

[19] **Campanelli, L.C., Suhuddin, U.F.H., Antonialli, A.Í.S., dos Santos, J.F., de Alcantara, N.G., Bolfarini, C.**, 2013. Metallurgy and mechanical performance of AZ31 magnesium alloy friction spot welds, *Journal of Materials Processing Technology*, **213**(4), 515-521.

[20] **Tan, C., Li, L., Chen, Y., Guo, W.**, 2013. Laser-tungsten inert gas hybrid welding of dissimilar metals AZ31B Mg alloys to Zn coated steel, *Materials & design*, **49**, 766-773.

[21] **Harooni, M., Carlson, B., Kovacevic, R.**, 2014. Dual-beam laser welding of AZ31B magnesium alloy in zero-gap lap joint configuration, *Optics & Laser Technology*, **56**, 247-255.

[22] **Singh, I., Cheema, G.S., Kang, A.S.**, 2014. An experimental approach to study the effect of welding parameters on similar friction stir welded joints of AZ31B-O Mg alloy, *Procedia engineering*, **97**, 837-846.

[23] **Li, W., Fu, T., Hütsch, L., Hilgert, J., Wang, F., Dos Santos, J., Huber, N.**, 2014. Effects of tool rotational and welding speed on microstructure and mechanical properties of bobbin-tool friction-stir welded Mg AZ31, *Materials & design*, **64**, 714-720.

[24] **Harooni, M., Ma, J., Carlson, B., Kovacevic, R.**, 2015. Two-pass laser welding of AZ31B magnesium alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, **216**, 114-122.

[25] **Sun, M., Niknejad, S., Zhang, G., Lee, M., Wu, L., Zhou, Y.**, 2015. Microstructure and mechanical properties of resistance spot welded AZ31/AA5754 using a nickel interlayer, *Materials & design*, **87**, 905-913.

[26] **Uslu, P.**, 2011. Magnezyum alaşımlarının nokta direnç kaynaklı bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[27] **Koç, E.**, 2008. Alaşım elementlerinin magnezyum döküm özelliklerine etkisinin incelenmesi, *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[28] **Kaya, Y.**, 2010. Titanyum sacların nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[29] **Çatar, R.**, 2013. Magnezyum alaşımlarının farklı ortamlardaki gerilmeli korozyon davranışının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

[30] **Bulut, R.**, 2009. Magnezyum AZ31 alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

[31] **Kalaycı, F.**, 2013. Çift merdaneli sürekli döküm tekniği ile üretilmiş az31, az61 ve az91 magnezyum alaşımlarının korozyon davranışı üzerine ısıl işlemin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

[32] **Kerenciler, H.**, 2014. Magnezyum alaşımlarında yağlanma sertleşmesinin mekanik özelliklere etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[33] **Callister, W.D., Rethwisch, David G**, 2013. Materials Science and Engineering, Nobel Yayınevi, Ankara.

[34] **Germen Tutaş, G.**, 2016. Magnezyum-alüminyum alaşımlarının kontrollü atmosferde gravity döküm yöntemi ile üretilmesi ve alaşım elementlerinin özelliklere etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

[35] **Gören, H.A.**, 2010. Magnezyum alaşımlarında soğuma hızının mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[36] **Kuşdemir, H.**, 2008. AZ91 magnezyum alaşımının korozyon davranışları üzerine ilave alasım elementlerinin etkisi, *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[37] **Smith, W.F.**, 2001. Structure and Properties of Engineering Alloys, Nobel Yayınevi, Ankara.

[38] **Çiğdem, M.**, 2006. İmal Usulleri, Çağlayan Basımevi, İstanbul.

[39] http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn404/idn404.htm 10 Temmuz 2017

[40] **Gür, A.K.**, 2009. Plazma (PTA) yöntemiyle düşük karbonlu çeliğin yüzey modifikasyonuna koruyucu gazların etkisi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[41] https://sites.google.com/site/kaynakhakkindahersey/kaynak-cesitleri/mig-mag-kaynagi 10 Temmuz 2017

[42] **Kayakök, V.**, 2009. Tozaltı ve magc kaynak yöntemlerinde kaynak ağzı-nüfuziyet ilişkisinin incelenmesi ve ekonomik yönden kıyaslanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[43] http://www.oerlikon.com.tr/files/toz_alti_kaynak_yontemi_1-2.pdf 10 Temmuz 2017

[44] http://www.oerlikon.com.tr/files/elektroslag_elektrocuruf_kaynagi.pdf 10 Temmuz 2017

[45] **Dikbaş, H.**, 2012. Ti6Al4V/Ti6Al4V malzeme çiftinin pta kaynağında kaynak bölgesinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[46] http://www.oerlikon.com.tr/files/plazma_arkla_kaynak_ve_kesme.pdf 10 Temmuz 2017

[47] **Teker, T.**, 2010. AISI 430/AISI 1040 çelik çiftinin anahtar deliği plazma kaynak yöntemiyle birleştirilmesi, mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[48] **Gürgenç, T., Özel, C.**, 2016. Yöntemi ile gerçekleştirilen Fe-Cr-W-B-C kompozit kaplamasının mikroyapı ve mekanik özellikleri, *Technological Applied Sciences,* **11**(4), 171-184.

[49] **Gürgenç, T., Cihan, Ö.**, 2016. FeCrC, FeB ve FeW alaşımlarıyla PTA yöntemiyle kaplanan AISI 1020 çeliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **28**(2).

[50] http://www.metaluzmani.com/plazma-ark-kaynagi/ 10 Temmuz 2017

[51] **Eratıcı, E.**, 2011. Magnezyum alaşımlarının Tıg kaynak özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[52] **Seyitoğlu, M.N.**, 2013. TIG kaynağı ile kaynatılmış otomotiv saclarının mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[53] **Kumru, E.**, 2007. Farklı malzemelerin sıcak basınç kaynağı ile birleştirilmesinde işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[54] http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11075.pdf 10 Temmuz 2017

[55] http://www.metaluzmani.com/patlatma-kaynagi/ 10 Temmuz 2017

[56] **Sayaca, T.**, 2010. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen 2000 serisi alüminyum alaşımların yorulma davranışının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

[57] **Mercan, S.**, 2013. Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş AISI 2205 / AISI 1020 malzeme çiftinin mikroyapı ve yorulma davranışının araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[58] **Çalıgülü, U.**, 2009. AISI 304–430 paslanmaz–AISI 1010 çelik çiftlerinin lazer yöntemi ile kaynağında birleşme özelliklerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ

02.01.1992 tarihinde Sivas' ta doğdum. İlkokulu Sivas' ta Mimar Sinan İlkokulun' da ortaokulu Reşat Şemsettin Sirer Ortaokulun' da okudum, 2005 yılında ortaokuldan mezun olduktan sonra aynı yıl Kongre Lisesi' ne başladım. 2009 yılında Kongre Lisesi'nden mezun oldum. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazandım. 2014 yılında üniversiteden mezun oldum. Aynı yılın eylül ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metaluji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı Üretim Metalurjisi Programında yüksek lisansa başladım. Halen yüksek lisans öğrencisiyim.