

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



AZ31B MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME
KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Veysel YAPICI

Yüksek Lisans Tezi
Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi
Danışman: Prof. Dr. Sermin OZAN

OCAK-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AZ31B MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK
YÖNTEMİ KULLANILARAK BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Veysel YAPICI

(092122104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

Tezin Savunulduğu Tarih:

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sermin OZAN (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sedat KOLUKISA (M.Ü)
Doç. Dr. Tülay YILDIZ (F.Ü)

OCAK-2017

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında özgül ağırlığının düşük olması sebebiyle tüm dünyada kullanımı gittikçe artan özellikle de Otomotiv sektörünün çok fazla ilgi gösterdiği Magnezyum alaşımlarından AZ31B metalinin katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile birleştirilebilirliği incelenmiştir.

Öncelikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan, çalışmalarında yol gösteren ve karşılaştığım problemlerde yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Sermin OZAN'a , kaynağı yaparken Elazığ Gazi 100. Yıl Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Makina Bölümü Öğretmeni Celal BİÇER'e, deneysel çalışmalarından SEM ve Optik Mikroskop fotoğraf görüntülerimde bizlere yardımcı olan TUBİTAK MAM' dan sayın hocam Doç. Dr. Havva KAZDAL ZEYTİN'e, Çekme deneyi, Mikrosertlik deneyi, Optik Mikroskop görüntülerini almamda ve tez yazarken yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör. Dr. Nida KATI'ya, tezimin dizaynı ve düzenlenmesinde bana yardım eden Yük. Lisans Öğr. Müh. Semih TAŞKAYA'ya ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili eşim Melek YAPICI'ya, çocuklarım Nurefşan ve Mustafa Fatih'e teşekkür ederim.

Veysel YAPICI

ELAZIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Magnezyum	3
1.2. Magnezyum Alaşımları ve Özellikleri	6
1.2.1. Mg'un Akıcılığı	8
1.2.2. Sönümleme Kapasitesi	8
1.2.3. Sürünme Dayanımı	9
1.2.4. Yorulma Dayanımı	9
1.2.5. Mg Alaşımlarının Standart Gösterimi	12
1.2.6. Magnezyum Alaşımları	12
1.2.6.1. Mg-Al Döküm Alaşımları	13
1.2.6.2. Mg-Al-Zn Döküm Alaşımları.....	13
1.2.6.3. Mg-Zn-Zr Döküm Alaşımları.....	14
1.2.6.4. Mg-Zn-Nadir Toprak-Zr Döküm Alaşımları.....	14
1.2.6.5. Dövme Magnezyum Alaşımları	14
1.2.6.6. Yüksek Sıcaklık Mg Döküm Alaşımları	14
1.2.7. Alaşım Elementlerinin Magnezyum Alaşımına Etkisi	14
1.2.7.1. Alüminyum.....	15
1.2.7.2. Çinko	15
1.2.7.3. Diğer Elementler.....	15
1.2.8. Mg Alaşımlarının Korozyonu.....	16
1.2.9. Korozyon Önleme Yöntemleri	16
1.2.10. Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Alanları	17
1.3.1. Mg Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti	20

1.3.2.	Magnezyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı	21
1.4.	Sürtünme Karıştırma Kaynağı	22
1.4.1.	Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Uç Tipleri.....	23
1.4.1.1.	Whorl™ Serisi Pimler (BatıcıUçlar)	23
1.4.1.2.	MX Triflute™ ve Flared-Triflute™ Serisi Pimler (BatıcıUçlar)	24
1.4.1.3.	Skew-Stir™ ve A-Skew™ Serisi Pimler (BatıcıUçlar)	26
1.4.2.	SKK' da Kaynak Metalürjisi	27
1.4.3.	Kaynak Bölgesinin Mekanik Özellikleri	30
1.4.4.	Sürtünme Karıştırma Kaynağının Avantajları ve Dezavantajları.....	31
1.4.5.	Sürtünme Karıştırma Kaynağının Uygulama Alanları	32
2.	LİTERATÜR TARAMASI.....	33
3.	MATERYAL ve METOT	37
3.1.	Çalışmanın Amacı	37
3.2.	Kaynak Öncesi İşlemler.....	37
3.2.1.	Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri	37
3.2.2.	Kaynak Numunelerinin Hazırlanması	38
3.2.3.	Sürtünme Karıştırma Kaynağı Takım Tezgahı.....	38
3.2.4.	Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan uç tipleri.....	39
3.2.5.	Numunelerin tezgaha bağlanması.....	41
3.2.6.	Sürtünme Karıştırma Kaynak Parametreleri.....	41
3.2.7.	Sürtünme karıştırma Kaynağının yapılışı	42
3.3.	Kaynak Sonrası Yapılan İncelemeler	43
3.3.1.	Metalografik İncelemeler	43
3.3.2.	Mikrosertlik Analizi	45
3.3.3.	Çekme Deneyi	47
4.	BULGULAR	49
4.1.	Kaynaklı Bağlantıların Mikroyapı Değerlendirmesi	49
4.1.1.	1500 dev/dk, Dişli Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikroyapı Değerlendirmeleri	51
4.1.1.	1500 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikroyapı Değerlendirmeleri	54
4.1.2.	2300 dev/dk, Dişli Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikroyapı Değerlendirmeleri	57

4.1.3.	2300 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikroyapı Değerlendirmeleri	60
4.2.	Mikrosertlik Sonuçları	63
4.2.1.	1500 dev/dk, Dışlı Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikrosertlik Değerlendirmeleri	63
4.2.2.	1500 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikrosertlik Değerlendirmeleri	66
4.2.3.	2300 dev/dk, Dışlı Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikrosertlik Değerlendirmeleri	68
4.2.4.	2300 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikrosertlik Değerlendirmeleri	71
4.2.5.	1500 dev/dk, Dışlı Uç İle Kaynatılan Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları	75
4.2.6.	1500 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları	78
4.2.7.	2300 dev/dk, Dışlı Uç İle Kaynatılan Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları	80
4.2.8.	2300 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları	83
5.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA	87
	KAYNAKLAR	92
	ÖZGEÇMİŞ	96

ÖZET

AZ31B MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada haddelenmiş AZ31B magnezyum alaşım levhalarının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliği incelenmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağında üçgen ve dişli uç profili, 1500 - 2300 dev/dk dönme hızı ve 100, 160 ve 190 mm/dk, ilerleme hızı seçilerek farklı parametrelerde kaynak yapılmıştır. Deneyde karıştırıcı uç ile ana metal arasında oluşan sıcaklıkların malzemenin mikro yapısını ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Deneysel çalışmanın sonunda, devir sayısının artışıyla birlikte dinamik olarak yeniden kristalleşen bölgede sıcaklığın yükseldiği tespit edilmiştir. Bunun sonucu olarak dinamik olarak yeniden kristalleşmiş bölge sertliği ana malzemenin sertliğinden daha düşük ölçülmüştür. Kaynaklarda mikroyapı ise dinamik olarak yeniden kristalleşen bölgede ana malzemeye göre daha ince ve homojen tane yapısı tespit edilmiştir. Çekme deneyi sonucunda kaynaklı bağlantıların mukavemeti ana malzemeye göre % 83'lük bir kaynak mukavemet değeri vermiştir. Deneyler sonucunda en iyi bağlantı üçgen profilli uç, 1500 dev/dk ve 160 mm/dk hızındaki yapılan kaynak numunelerinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AZ31B, Magnezyum Alaşımı, Sürtünme Karıştırma Kaynağı, Mekanik Özellikler

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF WELDABILITY OF THE AZ31 MAGNESIUM ALLOYS BY FRICTION STIR WELDING

In this study, the weldability of rolled AZ31B magnesium sheets has been investigated by friction stir welding. Samples have been welded at different welding parameters such as the 1500, 2300 rpm rotational speeds and 100,160 and 190 mm/min transverse speeds. In the experiment shown that the temperatures of between of the friction stir welding shoulder and materials affect mechanical and microstructure properties. In the recrystallization zone temperature has been increased the increase of rotational speed. According to these results, the hardness of recrystallization zone has been measured higher than base material. The microstructure of recrystallization zone, because of recrystallization has been thinner and homogenous than base material. At this results of stress strength test has been detected 83% compared with that of base material. As a result of the experiments, the best connection was obtained at weld specimens with triangular profiled tip, 1500 rpm and 160 mm / min.

Keywords: AZ31B, Magnesium Alloy, Friction Stir Welding, Mechanical Properties.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Otomobil üretiminde Mg alaşımından dökülmüş parçalar [2].	17
Şekil 1.2. AZ alaşımı döküm parçaları [2].	18
Şekil 1.3. AM alaşımı döküm parçaları [20].	18
Şekil 1.4. WE43 alaşımından dökülmüş helikopter vites kutusu [8].	19
Şekil 1.5. Li katkılı Mg alaşımı döküm parçaları [8].	19
Şekil 1.6. Sürtünme karıştırma kaynak takımı şematik gösterimi	23
Şekil 1.7. Çeşitli whorl™ konfigürasyonları [23].	24
Şekil 1.8. 75 mm kalınlığındaki AA6082 T6 alaşımının kaynağında whorl™ takımını kullanılması, kaynağın bitmiş hali ve kaynak dikişinin görüntüsü [23].	24
Şekil 1.9. MX Triflute™ pimin esin kaynağı deniz kabuklarıdır, MX Triflute™ serisi pimin resim ve şematik çalışma şekli [24].	25
Şekil 1.10. MX Triflute™ ve Flared-Triflute™ dizaynları [24].	25
Şekil 1.11. Flared Triflute Probe ile yapılmış olan bindirme kaynağında kaynak ara yüzeyinin görünümü [29].	26
Şekil 1.12. Skew-Stir metodunun çalışma prensibi ve A-Skew ucunun resmi [23].	26
Şekil 1.13. Whorl™ ve MX Triflute™ takımlarının omuz profilleri [23].	27
Şekil 1.14. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan içyapının şematik görünümü. A: ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), B: termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), C: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) [23].	28
Şekil 1.15. Sürtünme karıştırma kaynağında batıcı ucun eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi [25].	29
Şekil 1.16. Sürtünme karıştırma kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirme şekilleri [24].	30
Şekil 1.17. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış kaynağın kaynak bölgesinin kesiti [25].	31
Şekil 1.18. SKK ile Alüminyum panellerinin üretimi [25].	32
Şekil 3.1. Piyasadan temin edilen AZ31B Magnezyum alaşımının boyutları	37
Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağı için hazırlanan numune ölçüleri	38
Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan freze tezgahı	39
Şekil 3.4. Dişli karıştırıcı uç tasarımı	40

Şekil 3.5. Üçgen karıştırıcı uç tasarımı	40
Şekil 3.6. Malzeme çiftinin freze tezgahına bağlanma düzeneği	41
Şekil 3.7. Sürtünme karıştırma kaynağı yapım aşamaları	43
Şekil 3.8. Metalografik incelemeler öncesi kaynaklı numune	43
Şekil 3.9. Metalografik incelemeler ve mekanik test numunelerinin hazırlanması	44
Şekil 3.10. Metalografik incelemelerde kullanılan numune boyutları	45
Şekil 3.11. Mikrosertlik cihazı	46
Şekil 3.12. Mikrosertlik ölçümü yapılan noktaların şematik gösterimi	46
Şekil 3.13. Çekme deney numunelerine ait ölçüler	47
Şekil 3.14. Çekme deney cihazı	48
Şekil 4.1. AZ31B Mg alaşımının mikroyapı fotoğrafı	49
Şekil 4.2. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan içyapının şematik görünümü	49
Şekil 4.3. N1 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	51
Şekil 4.4. N2 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	51
Şekil 4.5. N3 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	52
Şekil 4.6. N3 no'lu numunenin EDS analizi	53
Şekil 4.7. N4 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	54
Şekil 4.8. N4 no'lu numunenin EDS analizi	55
Şekil 4.9. N5 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	55
Şekil 4.10. N6 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	56
Şekil 4.11. N7 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	57
Şekil 4.12. N7 no'lu numunenin EDS analizi	58
Şekil 4.13. N8 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	58
Şekil 4.14. N9 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	59
Şekil 4.15. N10 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	60
Şekil 4.16. N11 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	61
Şekil 4.17. N12 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri	61
Şekil 4.18. N12 no'lu numunenin EDS analizi	62
Şekil 4.19. N1 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı	63
Şekil 4.20. N2 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı	64
Şekil 4.21. N3 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı	64
Şekil 4.22. N1-N2-N3 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı	65

Şekil 4.23. N4 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı.....	66
Şekil 4.24. N5 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı.....	66
Şekil 4.25. N6 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı.....	67
Şekil 4.26. N4-N5-N6 no'lu numunelerinin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı...	67
Şekil 4.27. N7 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı.....	68
Şekil 4.28. N8 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı.....	69
Şekil 4.29. N9 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı.....	69
Şekil 4.30. N7-N8-N9 no'lu numunelerin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı.....	70
Şekil 4.31. N10 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı	71
Şekil 4.32. N11 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı	71
Şekil 4.33. N12 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı	72
Şekil 4.34. N10-N11-N12 no'lu numunelerin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı	72
Şekil 4.35. AZ31B Mg alaşımına ait gerilim-gerinim diyagramı.	73
Şekil 4.36. AZ31B Mg alaşımına ait makro kırık yüzey fotoğrafı.....	75
Şekil 4.37. N1 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	75
Şekil 4.38. N2 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	76
Şekil 4.39. N3 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	76
Şekil 4.40. N1, N2 ve N3 nolu numunelere ait makro kırık yüzey fotoğrafları.....	77
Şekil 4.41. N4 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	78
Şekil 4.42. N5 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	78
Şekil 4.43. N6 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	79
Şekil 4.44. N4, N5 ve N6 nolu numunelere ait makro kırık yüzey fotoğrafları.....	80
Şekil 4.45. N7 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	81
Şekil 4.46. N8 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	81
Şekil 4.47. N9 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	82
Şekil 4.48. N7, N8 ve N9 nolu numunelere ait makro kırık yüzey fotoğrafları.....	83
Şekil 4.49. N10 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	84
Şekil 4.50. N11 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	84
Şekil 4.51. N12 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı.....	85
Şekil 4.52. N10, N11 ve N12 nolu numunelere ait makro kırık yüzey fotoğrafları.....	85

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Magnezyumun sağladığı ağırlık kazancı.....	2
Tablo 1.2. Magnezyumun fiziksel özellikleri.....	5
Tablo 1.3. Magnezyum metalinin avantajları.....	5
Tablo 1.4. Magnezyum metalinin dezavantajları	5
Tablo 1.5. Uygulanan gerilme değeri	9
Tablo 1.6. Magnezyuma ilave edilen elementlerin genel etkileri	10
Tablo 1.7. Magnezyum alaşımları	12
Tablo 1.8. %3–6 NaCl içeren çözeltide farklı metallerin korozyon potansiyeli	16
Tablo 1.9. Mg alaşımlarının göreceli kaynak kabiliyetleri.....	21
Tablo 3.1. AZ31B magnezyum alaşımının kimyasal kompozisyonu.....	38
Tablo 3.2. Sürtünme karıştırma kaynak parametreleri	42
Tablo 4.1. Sürtünme karıştırma kaynak parametreleri ve çekme deneyine ait sonuçlar	74

SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ

DKB	: Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge
EDS	: Enerji Dağılımı Spektrometresi
EM	: Esas Metal
ITAB	: Isının Tesiri Altındaki Bölge
SEM	: Scanning Electron Microscope
SKK	: Sürtünme Karıştırma Kaynağı
TEB	: Termomekanik Olarak Etkilenmiş Bölge



1. GİRİŞ

Magnezyum, hafifliği ve mukavemeti nedeni ile otomotiv sanayi, savunma sanayi ve taşımacılık sektörü gibi sanayinin birçok kolunda kullanımı oldukça yaygın olan bir metaldir [1]. Magnezyum metali 1.74 g/cm^3 olan düşük yoğunluğu ile mühendislik uygulamaları açısından bilinen en hafif yapısal metaldir. Tüm konstrüksiyon metalleri içinde en hafif olan metal magnezyumdur. Magnezyum alaşımları birim hacimde Alüminyumdan % 36, çelikten ise % 78 oranında daha hafiftir ve konvansiyonel metalik alaşımlara ve plastiklere alternatif olarak özellikle otomotiv ve elektronik eşya endüstrileri için cazip olan, hafiflikleri ve daha yüksek mukavemet/ağırlık oranları nedeniyle kullanımları giderek yaygınlaşan malzemelerdir [2]. Alaşımsız olarak düşük mukavemet ve tokluk değerlerine sahip olduğundan dolayı anlamlandırılarak kullanılmaktadır. Magnezyum ayrıca yüksek ısıl iletkenlik, yüksek boyutsal kararlılık, iyi elektromanyetik koruma, yüksek sönümleme, iyi ilenebilme ve kolay geri dönüşüm özelliklerine de sahip bir metaldir [1].

Bu malzeme bir plastik kadar hafif ama bir metal kadar da mukavemetlidir. Magnezyum özellikle otomobil sanayisindeki gücü ile dikkat çekmekte ve ihtiyaca binaen magnezyum üretiminde büyük kapasite artışları yaşanmaktadır. Son yıllarda araç hafifletme çalışmaları önem kazanmış, bu doğrultuda yakıt tüketimini azaltmak ve güvenliğini artırmak amacıyla yeni malzemelerin geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Otomobil ağırlığının artması, atmosfere salınan CO_2 gazının da artmasına sebep olmakta ve küresel ısınmayı hızlandırmaktadır. Yakıt tasarrufunun önemliliği ve çevre ile ilgili Kyoto hükümlerinin yakın gelecekte tüm dünya tarafından uygulanacak olması, son yıllarda otomotiv sanayisinin daha hafif malzeme ile üretime yönelmesine neden olmaktadır. Ayrıca magnezyum alaşımı; sivil ve askeri havacılık, savunma sanayi, elektronik sanayi (bilgisayar ve cep telefonu gibi cihazların kasaları), her tür metal eşya, spor gereçleri, beyaz eşya, matbaa, klişe ve mobilya için son derece cazip hafif bir metal olması bu sektörler için alternatiflik sağlamaktadır [3].

Tüm dünya ekonomik ve çevresel nedenlerle, otomotiv sektöründe hafif ve geri dönüşebilir malzemelere yönelmiş durumdadır. Türkiye'ye de bu durumun yansımalarının olacağı tahmin edilmektedir. Magnezyum alaşımlarının otomotiv sektöründeki hızlı kullanımı arttıkça, Türkiye'de de magnezyum alaşım ürünlerin ithalatına yönelecek, ya da bu malzemeleri üretme ihtiyacı doğması kaçınılmaz olacaktır.

Atmosfere önemli miktarda zararlı atık (CO₂) salan otomobillerin artık “ Daha az ağırlık daha az yakıt tüketimi ” amacı güderek üretilmeleri zorunlu hale gelmektedir. Otomobillerde düşük gaz emisyonu, bir başka deyişle düşük yakıt tüketimi demektir. Önümüzdeki yüzyılda Avrupa Birliği ülkelerinde yakıt sarfıyatı için 3 litre/100 km hedefi ulaşılması gereken önemli bir nokta olarak karşımızda durmaktadır. Daha az zararlı gaz emisyonu daha az yakıt tüketimi, daha az yakıt tüketimi daha düşük ağırlık, daha düşük ağırlık ise daha hafif malzeme demektir [4].

Otomobil sanayinde düşük emisyon düşük yakıt tüketimi konusunda sürekli ARGE çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle araç ağırlığını azaltarak motor performansını artırma hususunda çalışmalar yapılmaktadır. Aracın ağırlığını 50 kg azaltmak demek, aynı yakıtla 80-200 metre arası daha fazla yol anlamına gelmektedir. Magnezyum alaşımı kullanımı düşük yoğunluğu sebebiyle araç ağırlığını azaltabilecek bilinen en iyi metal olarak karşımıza çıkmaktadır [2].

Tablo 1.1. Magnezyumun sağladığı ağırlık kazancı

	PARÇALAR							
	MOTOR BLOĞU		DİŞLİ KUTUSU VE KAVRAMA MUAHAFAZASI (AL ALŞ.)	KARTER (AL ALŞ.)	4 TEKERLEK		MOTOR KIZAĞI	
	DÖKME DEMİR	AL ALŞ.			ÇELİK	AL ALŞ.	ÇELİK	AL ALŞ.
KLASİK UYG. (KG)	32	23,5	21.5+3	3	36	23	25	17,5
MG ALAŞIMI (KG)	19	19	15+3	2	18	18	15	15
AĞIRLIK KAZANCI (KG)	13	4,5	6,5	1	18	5	10	2,5
AĞIRLIK KAZANCI (%)	40	19	30	33	50	22,5	40	30

Tablo 1.1 incelendiğinde otomobilin özellikle motor kısmının değişik metallere magnezyum ağırlığı arasındaki farkı göstermektedir. Otomobilin motor aksamında magnezyum alaşımı kullanımında aracın 100 km’lik yolda 0,25 lt yakıt tasarrufu yaptığı belirleniyor. Otomobil üreticileri orta ve uzun vadeli teknoloji geliştirme birimlerinde magnezyum kullanımını önemsemektedir [1].

TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü, VİG Makine San.Tic. Ltd. Şti. işbirliği ile çift merdaneli direkt levha döküm sistemi (Twin Roll Casting TRC) kullanarak 1500 mm (1.5m) eninde magnezyum alaşım sürekli (continuous) levha dökümünü yapmış bulunmaktadır. Söz

konusu ölçek aynı yöntemle uzak doğuda erişilen 50 cm eninde levha üretimini geride bırakan dünyadaki tek örnektir. Böylece, hafif olması nedeniyle özellikle elektronik eşya ve otomotiv sektöründe kullanımı hızla yaygınlaşan magnezyum alaşımlarının ekonomiklik ölçeğinde de alüminyum ve çelik karşısındaki rekabet gücü artmış ve ağırlık azaltımına yönelik yepyeni uygulamalar için olanak doğmuştur [5].

Bu proje gerek üretilmiş olan sürekli döküm ürünü levha genişliği ve gerekse ürün/yarı ürün imalatı için kurulu tek bir sistemdeki ergitme kapasitesi ile dikkat çekmektedir. Aynı zamanda, hafif metal teknolojilerinde ülkemizde atılmış çok önemli bir adımdır [5].

Avrupa Birliği üye ülkeleri ve Uzak doğu ülkeleri başta olmak üzere geri dönüşebilir yapısal malzeme üretimi ve gelişimine büyük önem vermektedir. Japonya'da ise yeni otomobillerde % 95 geri dönüşebilir malzeme kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Otomotiv sektöründeki sürekli yenilenme Magnezyum alaşımının gelişimine neden olmuştur. Bu gelişim Magnezyumun kaynaklanma ihtiyacını doğurmuştur. Kaynak yöntemlerinin gelişimi malzemenin kullanım alanlarını da geliştirmiştir. Bu nedenle de en iyi birleştirme yönteminin tespit edilmesi gerekmektedir. Kaynak yöntemlerinde, ergitmeli kaynaklardaki olumsuzluklar nedeniyle ergitmesiz kaynak yöntemine yönelinmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı ergitmesiz bir kaynak yöntemi olup, günümüzde kullanımı hızla gelişmektedir [6].

Bu çalışmada, kullanım alanı giderek yaygınlaşan Mg alaşımlarından AZ31B alaşımı yeni bir kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma (SKK) kaynağı ile birleştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada 1500 ve 2300 dev/dk'da, dişli ve üçgen olmak üzere iki karıştırıcı uç profili ve her devir ve karıştırıcı uç profilinde 100 mm/dk, 160 mm dk ve 190 mm/dk olmak üzere üç farklı ilerleme hızında birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler 1500 dev/dk üçgen uç, 1500 dev/dk dişli uç, 2300 dev/dk üçgen uç ve 2300 dev/dk dişli uç olmak üzere dört farklı grupta incelenmiştir. Kaynak işleminden sonra, kaynaklı bağlantıların mikroyapı fotoğrafları alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır.

1.1. Magnezyum

Dünyada bilinen ve endüstride kullanılabilen en hafif malzeme magnezyumdur [7]. Magnezyum elementi 1808 yılında Sir Humphrey Davey tarafından keşfedilmiştir. Magnezyum yer kabuğunun % 2.7' sinde ve okyanusların % 0.13' ünde bulunması nedeniyle, (dünyamızın $\frac{3}{4}$ ü deniz olduğundan) gezegenimizde en çok bulunan elementlerden biridir. Bu alkali element Periyodik Tabloda IIA grubunda yer alır [8].

Birçok sektörde magnezyumu cazip kılan özellikleri düşük yoğunluğu, yüksek özgül ısı kapasitesi ve yüksek ses absorpsiyonu gibi nitelikleridir. Otomotiv ve havacılık sektöründe hafifliği dolayısıyla çok fazla tercih edilmektedir [9]. Sektörde magnezyumun üretiminin yaygın olmaması ve zor olması, alüminyuma göre daha maliyetli olmasından dolayı magnezyumun kabul görmesi uzun zaman almıştır. Üretimde düşen maliyetler sebebiyle magnezyum da endüstride kendine fazlasıyla yer bulmaya başlamıştır. Yeryüzü kaynakları düşünüldüğünde magnezyum, alüminyum ve demirden sonra en çok bulunan elementten biridir. Fakat Okyanuslarda bulunan magnezyum elementi düşünüldüğü zaman gezegenimizde bulunan en fazla element olarak göze çarpmaktadır. Dünyamızda 330 milyon mil küp deniz suyu olduğu ve bu deniz suyunun 1 mil küpünde, 6 milyon ton magnezyum elementinin olduğu tahmin edilmektedir.

Ayrıca magnezyum; sivil ve askeri havacılık, savunma sanayi, elektronik sanayi (bilgisayar ve cep telefonu gibi cihazların kasaları), her tür metal eşya, spor gereçleri, beyaz eşya, matbaa, klişe ve mobilya için son derece cazip hafif alternatif bir malzemedir [1].

Magnezyumun üstün ve tercih edilebilir özelliklerinden dolayı, otomobil üreticileri de magnezyum alaşımlı parçalar üretmeye başlamışlardır. BMW otomobil firması R6 ismini verdiği yeni motorunda, motor blokunun tamamını magnezyum alaşımından yapmıştır. Eski ürettiği motoruna göre 10 kg daha hafiflik sağlamaktadır [10].

Düşük ağırlık kadar önemli olan bir konu olan geri dönüşebilirlik, dünya hammadde ve enerji kaynaklarının korunması için malzeme seçiminde etken bir faktör haline gelmiştir. Otomotiv endüstrisinde kullanılabilecek malzemeler arasında plastiklerle karşılaştırıldığında daha katı ve daha çok geri dönüşümü mümkün, alüminyum ve çelik ile karşılaştırıldığında çok daha hafif ve yeterli dayanıma sahip magnezyum metalinin bazı fiziksel özellikleri Tablo 1.2’de, avantajları Tablo 1.3’de ve dezavantajları ise Tablo 1.4’de verilmiştir [11].

Tablo 1.2. Magnezyumun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Mg
Atom No	12
Atom Kütlesi	24.3
20°C Deki Özgül Ağırlık	1.74
Ergime Noktası	651°C
Kaynama Gizli Isısı	46,5 cal/°C
20°C deki Isıl İletkenliği	0,038 cal/cm.s.°C
25°C deki Lineer G.K.	26×10^{-5}
20°C deki Elektrik Direnci	$4,5 \times 10^{-5}$
Elektrik İletkenliği	36,5 ohm.cm
Elastite Modülü	4570 kgf/mm ²
Kristal Yapısı	Hegzagonal SD

Tablo 1.3. Magnezyum metalinin avantajları

1	Doğada kolay bulunabilir.
2	Metalik malzemeler içinde en düşük yoğunluğa sahiptir.
3	Özgül ağırlığı yüksektir.
4	Yüksek mekanik özelliklere sahiptir.
5	Korozyon direnci yüksektir.
6	Yaşlanmaya karşı direnci yüksektir.
7	Geri dönüşüm özelliği vardır.
8	Yüksek hızlarda tornalanabilme ve frezelenebilme yeteneğine sahiptir.
9	Dökülebilirliği iyidir ve yüksek basınçlı kalıp dökümlerine uygundur

Tablo 1.4. Magnezyum metalinin dezavantajları

1	Düşük elastite modülüne sahiptir.
2	Soğuk şekillendirilmesi sınırlıdır.
3	Katılaşmada yüksek derecede kendini çeker.
4	Kimyasal reaksiyona girme eğilimi yüksektir.
5	Sürünme direnci yüksektir.

1.2. Magnezyum Alaşımları ve Özellikleri

Magnezyum alaşımları, 160–300 N/mm² çekme dayanımı, 80–190 N/mm² % 0,2 akma dayanımı ve % 2–15 kopma uzamasına sahiptir [12]. Bu alaşımlar otomotiv sanayinde, sivil ve askeri havacılık, savunma sanayi, elektronik sanayi ve spor gereçleri endüstrisinde kullanılmaktadır. Konvansiyonel magnezyum alaşımları bu asrın ilk on yılında geliştirilmeye başlanmış ve 1930'lu yılların sonunda bir zirveye ulaşmıştır [13].

İkinci zirve ise 1950'lerde görülmektedir. Son 40 yılda daha ziyade alüminyum ve çelik üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Ancak plastik ve fiberle güçlendirilmiş plastiklerde konvansiyonel magnezyum alaşımlarının ikamesi bu malzemeyi yeniden gündeme getirmiştir [13].

Dünya enerji kaynaklarının ve ekolojik dengenin korunması, yakıt tüketiminde zorunlu kısıtlamaları dünya ülkelerinin gündemine getirmiş olup, bunun için çok sistematik çalışmalar yapılmaktadır. Önümüzdeki yüzyılda Avrupa Birliği ülkeleri motorlu binek araçlarda yakıt tüketiminde 3 litre/100km hedefine ulaşmak için karar almışlardır. Yakıt tüketimini azaltmak için, otomotiv endüstrisinin mutlaka hafif fakat aynı zamanda güvenilir malzeme kullanması zorunludur. Otomobillerde yakıt tüketiminin % 60'ı otomobil ağırlığından kaynaklandığından ağırlığın azaltılması doğrudan yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Ağırlıktaki % 10'luk bir azalma %5'lik yakıt tasarrufu sağlar. Araç ağırlığını düşürmek, hem yakıt tüketimini azaltmak hem de HC/CO₂ emisyon oranını düşürmek açısından önemlidir [13]. Bu amaçla kullanılacak malzemeler arasında magnezyum alaşımları ön plandadırlar. Potansiyel olarak magnezyum alaşımları otomobillerdeki her tür metal aksam uygulamasında kullanılmaya adaydır ve geri dönüşebilir olmaları nedeniyle plastiklere de rakiptir. Otomotivdeki uygulamalar iç ve dış gövde panelleri, koltuk iskeleti, direksiyon simidi, motor bloğu ve transmisyon kutusu vs. gibi, talepleri birbirinden farklı, çok zorlu ve çeşitli mühendislik özelliklerini bir arada gerektiren geniş bir yelpaze oluştururlar. Ekonomik ve çevresel nedenlerle tüm dünyada, özellikle de otomotiv sektöründe hafif ve geri dönüşebilir malzemelere yönelişin Türkiye'ye de yansıtacağı öngörülmektedir. Magnezyum alaşımlarının otomotiv sektöründeki kaçınılmaz kullanımı arttıkça, Türkiye ya magnezyum alaşım ürünlerin ithalatına yönelecek, ya da bu malzemeleri üretmek zorunda kalacaktır.

Yapısal mühendislik uygulamalarında hafif olmalarının yanı sıra magnezyum alaşımlarını çekici kılan diğer özellikler kısaca şunlardır:

- Ses ve titreşim sönümlleme özelliği ile gürültünün ve titreşiminin azaltılması,
- Döküm ve işlemede çok sütun boyutsal hassasiyet ve ekonomiklik sağlanması,
- Çok ince kesitlerde dökülebilir olmaları, döküm veya sıcak şekillendirme sonrası tavlama veya gerilme giderme gerektirmemeleri,
- Yüksek göçüklenme direnci nedeniyle bükülmezlik (stiffness) sağlamaları,
- Yüksek ısı iletkenliği sayesinde ısıyı biriktirmemeleri,
- Antimanyetik oluşları (manyetik yalıtım özelliği nedeniyle elektronik cihaz kasası yapımına elverişlidir).

Ozon tabakasındaki yırtılmanın en büyük sebeplerinden biri de CO₂, azot oksit, su buharı, sülfür dioksit ve diğer gazların etkileridir. Ozon tabakasındaki delinmenin 1994 yılında maksimum seviyeye çıktığı, Avrupa Cevre Komisyonu Raporları'nda bildirilmektedir.

Ozon tabakasına zarar veren gazların kullanımı 1996 Montreal protokolü ile yasaklanmıştır. Fakat önümüzdeki yüzyılın ortalarına kadar atmosferde biriken gazlar etkisini sürdürecektir. Avrupa Birliği 1998 'de bir rapor halinde otomobillerden kaynaklanan CO₂ emisyonunun azaltılması ile ilgili bildirisini yayınlamıştır. Bu rapora göre: 2003 yılına kadar CO₂ emisyonunun 165-170 g/km olması amaçlanırken, 2008 yılına kadar 140 g/km, 2012 yılında ise 120 g/km CO₂ emisyonu ulaşılması gereken hedefler olarak belirtilmiştir. Taşıt araçlarının sadece CO₂ emisyonu değil atmosfere bıraktığı diğer gaz ve katı yakıtların miktarında da büyük sınırlamalar ve hedefler getirilmiştir [14].

Otomobil üreticileri artık ürettiği otomobillerde bu emisyon değerlerine bağlı kalarak üretim yapmaları gerekmektedir. Otomobillerde düşük CO₂ salınımı, düşük yakıt tüketimi demektir. Önümüzdeki yüzyılda Avrupa Birliği ve Uzak doğu ülkelerinde yakıt tüketimi için 3 litre/100 km hedefi ulaşılması gereken bir hedeften çıkıp zorunlu hale gelmiştir. Daha düşük zararlı gaz emisyonu daha düşük yakıt tüketimi, daha düşük yakıt tüketimi daha düşük ağırlık, daha düşük ağırlık ise daha hafif malzeme demektir [14].

Otomobil sanayisinde yakıt tüketimini düşürmek için yıllardan beri çok yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla lastiklerin yol ile sürtünmesinin azaltılması, araçların toplam ağırlığında azalma, motor performansının arttırılması, araç motor hacminin küçültülmesi gibi ARGE çalışmaları yapılmaktadır. Araç ağırlığını azaltmanın en kolay yolu ise, düşük yoğunluklu malzeme kullanmaktır [14].

Magnezyum alaşımında kullanılan alaşım elemanları alüminyum, çinko, zirkonyum ve toprak alkaliler olarak bilinirler. Ama en fazla kullanılan metal alüminyum ve çinko

grubudur. Magnezyum alaşımları, çekme dayanımı 160–300 N/mm², akma dayanımı 80-190 N/mm² %0.2 ve kopma uzaması % 2-15 sahip alaşımlardır.

1.2.1. Mg'un Akıcılığı

Magnezyumu cazip hale getiren özelliklerden biri de akıcı olması ve çok kolay dökülebilirliğidir. Çoğu zaman talaş kaldırmaya dökümden sonra gerek kalmaz. Bu sayede üretim maliyeti düşer. Magnezyumun harika işlenebilir ve yüksek kesme hızına olanak verir [13]. Alüminyumla karşılaştırsak 4 kat daha yüksek işleme hızlarıyla çalışmayı mümkün kılmaktadır. Bu nedenle daha az maliyetle üretilir ve işlenebilir. Kesme basıncının düşük olması, ısı iletkenliğinin yüksek olması ve hızlı ısı dağılımı, alüminyuma göre 4-5 kat daha uzun bir takım ömrü sağlamaktadır. Uygulamada makine ve iş verimliliği arttırabilmek için mümkün olduğunca yüksek hızlarda çalışmak istenmektedir fakat bunun önemli bir riski vardır. Buda yüksek hızlarda çalışılırken çıkan talaşın tutuşma riskidir. Düşük kesme ilerlemelerinde iş parçasına sürtünen kesici takımlar, talaşları tutuşturmayaya sağlayacak miktarda ısı açığa çıkarabilirler. Bu durumda magnezyum talaşı kaldırarak çalışılıyorsa soğutma sıvısı kullanmak gerekir [12].

Magnezyum metali otomotiv endüstrisinde plastiklerle karşılaştırıldığında daha katı ve daha çok geri dönüşümü mümkün görünmektedir. Magnezyum alaşımları, alüminyum ve çelik ile karşılaştırıldığında çok daha hafif ve yeterli dayanıma sahip olduğu görülmüştür [2].

1.2.2. Sönümleme Kapasitesi

Bir metalin titreşim enerjisini yutma ve metalsel yapılarda iletilen titreşimleri tutma özelliğine sönümleme kapasitesi denir. Sönümleme özelliği, bir noktada max. değere ulaştıktan sonra azalmaktadır. Diğer metallerle magnezyum ve alaşımları karşılaştırıldığı zaman, mükemmel sönümleme kapasitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Titreşim ve gürültüyü birçok uygulama için azalttığı gözlenmiştir [15].

Magnezyumun kalın parça üretimini düşük yoğunluğu, daha az titreşen ve daha sessiz çalışmasından dolayı mümkün kılar. Tablo 1.5'de magnezyum alaşımlarının, alüminyum alaşımları ve dökme demir ile sönümleme kapasitesi karşılaştırılmıştır [15].

Tablo 1.5. Uygulanan gerilme değeri

	UYGULANAN GERİLME DEĞERİ (MPa)				
MALZEME	35 MPa	25 MPa	20 MPa	14 MPa	7MPa
Magnezyum Al.					
AM60A.B-F	52	35	24	13,33	5,33
AS21 A-F	60	53,33	48	33,33	16
AZ31B-F	2,72	2,38	2,04	1,57	1,04
AZ91A.B.D-F	29,33	26	12	5,33	2,67
HK31-T6	--	-	1,12	0,66	0,37
Alüminyum Al.					
355-T6	-	1	0,67	0,51	-
356-T6	1,2	0,82	0,62	0,48	0,3
Dökme Demir	16,5	14,2	12,2	5	-

1.2.3. Sürünme Dayanımı

Yüksek sıcaklıklarda magnezyum alaşımlarının sürünme direnci düşüktür. Yüksek sıcaklıklarda sürekli yük altında kullanılacak birçok parçanın dizaynı, en büyük deformasyona göre yapılmaktadır. Bu nedenle magnezyum alaşımlarının sürünme direnci ve gerilmeden dolayı, şekil değiştirme özellikleri iyi değildir [15].

Alüminyum alaşımlarıyla karşılaştırsak sağladığı ağırlık avantajına rağmen, yüksek sıcaklıklarda dayanımının azalır. Bu da yüksek sıcaklıkta dayanım gerektiren yerlerde alüminyumun gerisinde kalmasına sebep olmaktadır. Fakat bir otomobil motorunda max. çalışma sıcaklıkları değerlendirildiğinde, 150 °C civarında bir sıcaklığa ulaşıldığı bunun da magnezyum alaşımında dayanım düşmesine sebep olmayacağı bilinmektedir. Magnezyum alaşımlarının yüksek sıcaklık uygulamaları için gelişimi yönündeki çalışmalar devam etmektedir [13].

1.2.4. Yorulma Dayanımı

Diğer tüm metallerde olduğu gibi magnezyum alaşımlarının da yorulma dayanımları çekme dayanımı ile alakalıdır. Lakin yorulma dayanımı ile çekme arasında tam bir

matematiksel ilişki bulunmamaktadır. Bunun sebebi ise mukavemeti farklı miktarlarda arttıran düzeneklerin olmasıdır. Soğuk şekillendirme ile magnezyum alaşımlarının yorulma dayanımları min. arttırılır. Konvansiyonel magnezyum alaşımları iki ana mekanizma ile dayanımı artırılabilir [13].

- Katı Eriyik Sertleştirilmesi
- Çökelti Sertleştirilmesi

Katı eriyik sertleştirilmesi tamamen elementlerin atomik boyutları ile alakalıdır. Magnezyum içinde maksimum çözünebilen elementler çinko ve kadmiyum elementleridir. Magnezyum ile kadmiyum yüksek sıcaklıklarda (253°C) sürekli katı eriyik oluşturur. Magnezyumun başlıca alaşım grupları magnezyum-alüminyum, magnezyum-çinko ve magnezyum-toprak alkali olarak gruplandırılırlar. Ama en fazla kullanılan alaşımları alüminyum ve çinko grubudur (Tablo 1.6) [13].

Tablo 1.6. Magnezyuma ilave edilen elementlerin genel etkileri

Alaşım elementi	Ergitme ve Döküm Özellikleri, Mekanik ve Teknolojik Özellikler, Korozyon Özellikleri
Ag	• Yüksek sıcaklıkta çekme ve sürünme özelliklerini artırır. • Korozyon direncini düşürür.
Al	• Dökülebilirlik özelliğini artırır. • Mikroporozite eğilimi katı eriyik sertleştiricidir, düşük sıcaklıklarda çökelme sertleşmesi yapar (120°C). • Az etkili.
Be	• Çok düşük derişimlerde (30ppm) erimiş metal yüzeyinde oksidasyonu azaltır. • Kaba tane.
Ca	• Etkili tane inceltme, ergimiş metalin oksidasyonuna engel olur. • Sürünme özelliklerini iyileştirir. • Korozyon özelliklerini azaltır.
Cu	• Metalik parlaklık sistemi oluşturur. • Dökülebilirlik özelliğini artırır. • Korozyon direncini azaltır, sınırlı kullanılmalı.

Fe	• Magnezyum çelikten imal edilmiş kalıplarla çok kuvvetli reaksiyona girer. • Korozyon direncini azaltır. Sınırlı kullanılmalı.
Li	• Buharlaşma ve alev alma özelliklerini artırır. • Ortam sıcaklığında katı eriyik sertleştirilmesi, yoğunluğu azaltır, sünekliği artırır. • Korozyon direncini kuvvetli olarak azaltır. Kaplamaları nem etkilerinden korumak için gereklidir.
Mn	• Fe-Mn çökeltlerinde demir kontrol edilmelidir. • Sürünme dayanımını artırır. • Demirin korozyon etkilerini kontrol etmek için gerekli bir elementtir.
Ni	• İşlenebilir metalik cam sistemleri oluşturur. • Korozyon özelliklerine zararlıdır, sınırlı kullanılmalı.
Toprak alkali	• Dökülebilirliği yükseltir, mikroporoziteyi düşürür. • Katı eriyik ve ortam - yüksek sıcaklıklarda çökelti sertleştirilmesi; yüksek sıcaklıklarda çekme sürünme özelliklerini iyileştirir. • Korozyon direncini artırır.
Si	• Dökülebilirliği azaltır. Bazı alaşım elementleri ile kararlı bileşikler oluşturur. • Sürünme özelliklerini artırır. • Kötü etki.
Th	• Mikroporoziteyi bastırır. • Yüksek sıcaklık çekme ve sürünme dayanımlarını artırır, sünekliği iyileştirir, en etkili alaşım elementidir.
Zn	• Ergimiş metalin akışkanlığını artırır. • Kuvvetli tane incelticidir. Mikroporozite eğilimi. • Çökelme sertleşmesi ortam sıcak. • Mukavemeti artırır, Zr olmadığında sıcak kullanımı kısa ve kırılganlık eğilimi vardır. Düşük etkili. Bakırın kötü etkisini kontrol etmek.
Zr	• Etkili tane inceltici, Si-Al-Mn ile uyumlu değil bir arada kullanılamaz. Fe-Al-Si 'u uzaklaştırır. • Ortam sıcaklığında çekme dayanımını artırır.

1.2.5. Mg Alaşımlarının Standart Gösterimi

Magnezyum alaşımları iki büyük harfi ve iki veya üç numara ile tanımlanır [13]. (Örnek; **AZ31B**). Harfler, alaşımda en fazla bulunan iki ana alaşım elementi ile ilgilidir. (Örnek **AZ31B A**: Alüminyum **Z**: Çinko) İlk harf en yüksek alaşım elementini, ikinci harf ikinci yüksek alaşım elementini gösterir. Harfleri takip eden ilk numara, ilk harf elementinin ağırlıkça yüzde oranını (yalnız iki numara varsa) ve ikinci numara da ikinci harf elementinin ağırlıkça yüzde oranıdır. (Örnek **AZ31B** Alüminyum: %3, Çinko: %1) A,B gibi harfler numaraları takip ederse bu, genellikle impurite (katışıklık) seviyelerinde alaşım için A, B gibi bir modifikasyonu belirtir. Örn: AZ31B Bu tanım magnezyum alaşımının nominal % 3 alüminyum ve %1 çinko içerdiğini, göstermektedir ve alaşım B modifikasyonudur [4].

1.2.6. Magnezyum Alaşımları

Tablo 1.7. Magnezyum alaşımları

SERİ ADI	ALAŞIM İÇERİĞİ	ÖRNEK
AE SERİSİ	Magnezyum - Alüminyum - Toprak alaşımları	AE42
AJ SERİSİ	Magnezyum - Alüminyum - Stronsiyum	AJ52 HP
AM SERİSİ	Magnezyum - Alüminyum - Mangan alaşımları	AM60B
AS SERİSİ	Magnezyum - Alüminyum - Silisyum alaşımları	AS31
AZ SERİSİ	Magnezyum - Alüminyum - Çinko alaşımları	AZ91D
EQ SERİSİ	Magnezyum - Toprak gümüş- Bakır alaşımları	EQ21
EZ SERİSİ	Magnezyum - Toprak - Çinko alaşımları	EZ33A
HM SERİSİ	Magnezyum - Toryum - Mangan alaşımları	HM 21A
HZ SERİSİ	Magnezyum - Toryum - Zirkonyum alaşımları	HZ32A
QE SERİSİ	Magnezyum - Gümüş - Toprak alaşımları	QE22A
QH SERİSİ	Magnezyum - Gümüş - Toryum alaşımları	QH21
WE SERİSİ	Magnezyum - İrityum - Toprak alaşımları	WE43
ZC SERİSİ	Magnezyum - Çinko - Bakır alaşımları	ZC71
ZK SERİSİ	Magnezyum - Çinko - Zirkonyum alaşımları	ZK11
ZT SERİSİ	Magnezyum - Çinko - Toryum alaşımları	ZT32

Tablo 1.7’de Magnezyum alaşımları gösterilmiştir. Bu gösterimden başka Magnezyum Araştırma Enstitüsünün (MRI) geliştirmiş olduğu yeni standart gösterimler de vardır. Magnezyum Araştırma Enstitüsü yeni alaşımları “MRI-1, MRI-2, MRI-3,.....MRI- 230D” şeklinde gösterilmiştir. Yapılan araştırmalarla her geçen gün keşfedilen alaşımlar artmaktadır. Bu alaşımlar temel alaşımların yenileşimi ile geliştirilmiştir. Örneğin, MRI-1’in temel alaşımı AM60 iken, MRI-2’nin temel alaşımı AM70’tir [13].

Genellikle magnezyum alaşımları döküm alaşımlar ve dövme alaşımlar olmak üzere ikiye ayrılır. Magnezyum döküm alaşımları genellikle kuma ve kalıba dökülerek üretilir. Dövme alaşımlar ise şerit, plaka ekstrüzyon ve dövme şeklinde üretilir. Döküm magnezyum alaşımları magnezyum akıcılık, besleyicilik, dayanım ve korozyon dirençlerinin iyileştirilmesi bakımından Al, Zn, Zr ve nadir toprak elementleri ile döküm yöntemiyle üretilir [13].

1.2.6.1. Mg-Al Döküm Alaşımları

Magnezyum alaşımlarında en fazla kullanılan alaşım metali alüminyumdur. Alüminyum, magnezyum alaşımlarında mukavemeti, dökülebilirliği ve korozyon direncini artırır [13]. Fakat sünekliği ve darbe dayanımını azaltır. Alüminyum miktarının %6’ yı aşması alaşımda ısıtılma işlem kabiliyetini artırır. Mg-Al alaşımlarından ticari önem arzeden birkaç alaşım vardır. Bunlardan biri de AM60 düşük ağırlık ve üstün süneklik özelliğiyle otomobil jantları için uygulama alanı bulur [13].

1.2.6.2. Mg-Al-Zn Döküm Alaşımları

Magnezyum alaşımlarında alüminyumdan sonra en fazla kullanılan alaşım elementi çinkodur. Bu alaşımlar hafiflik, dayanım ve nispeten iyi korozyon direnci özelliklerinden dolayı endüstride ticari öneme sahiptirler. Bu alaşımlar kokil kalıba dökülerek üretilirler. Magnezyum alaşımlarına çinko ilavesi dayanımı, katı ergiyik mukavemetlenmesi ve çökelme sertleştirilmesini artırır. Magnezyum alaşımları en fazla % 10 Al+Zn alaşımlandırılır. Bunun nedeni ise alaşımın sünekliği ve gevrek metaller arası bileşik oluşumudur. [13].

1.2.6.3. Mg-Zn-Zr Döküm Alaşımları

ZK51 ve ZK61 alaşımları %5-6 yüksek çinko içerirler. Yüksek çinko içermesinden dolayı sınırlı kullanılırlar. Bunun sebebi döküm sırasında boşluk oluşturmaları ve kaynak yapılma kabiliyetlerinin yok denecek kadar az olmasıdır [13].

1.2.6.4. Mg-Zn-Nadir Toprak-Zr Döküm Alaşımları

EZ33 ve ZE43 kısmi olarak iyi dökülebilirliğe sahiptir. Toprak elementlerinin eklenmesi mikro boşluk oluşumunu engeller. Bu da dökülebilirliği iyileştirir [13].

1.2.6.5. Dövme Magnezyum Alaşımları

Magnezyum alaşımları dövme olarak levha, folyo, çubuk, boru, v.b. gibi şekillerde üretilirler [15]. Bu dövme magnezyum alaşımlarının en önemli avantajı üretim maliyetinin düşük olması, yüksek dayanım ve süneklik göstermesidir. Bu mekanik özelliklerinden dolayı, dövme magnezyum alaşımları daha fazla alanda kullanılmaktadır [13].

1.2.6.6. Yüksek Sıcaklık Mg Döküm Alaşımları

Bu magnezyum alaşımları 200-250 °C arasında sıcaklığa maruz kalan alaşımlar için özel üretilmiştir. Alaşımında irityum elementi içermesi sayesinde yüksek sıcaklıklarda bile mukavemet değerlerini koruyabilir [13].

1.2.7. Alaşım Elementlerinin Magnezyum Alaşımına Etkisi

Magnezyum doğada seyrek olarak saf halde bulunabilir [16]. Magnezyumun mekanik özelliklerini geliştirmek için Mg alaşımı üretilirken Al, Zn, Mn, Si, Cu, Fe, Ni, Zr, Ca, Be, Ag ve Sn gibi elementler katılarak alaşımlandırılırlar [17].

1.2.7.1. Alüminyum

Magnezyum alaşımlarında en fazla kullanılan element alüminyum'dur. Alüminyum alaşımda çekme dayanımını, katılaşma zamanını ve sertliği artırır. Bunun yanı sıra bazı özelliklere de olumsuz etkiler yapar. Bunlar darbe dayanımı ve sünekliliği düşürmesidir [8].

1.2.7.2. Çinko

Alaşımin katılaşma sıcaklığını düşürür. Korozyon direncini yükseltir. Sertlik, çekme dayanımı ve akıcılığı artırır [8].

1.2.7.3. Diğer Elementler

Mn: Alaşımda % 0,1-0,5 arasında kullanılarak korozyon direncinin artmasını sağlar. Ayrıca Mn sürünme direncini azaltır. [18].

Sn: Alaşımin işlenebilirliğini artırır. Sünekliliğine olumlu etki yapar, çatlama eğilimini azaltır.

Pb: Alaşım içinde yüksek sıcaklıklarda çözünür.

Si: Alaşımin yüksek sıcaklıklarda mukavemetini artırır. Fakat Fe ile birlikte korozyon direncini düşürür. Alaşımin kırılma olmasına sebep olur.

Ti: Alaşımda tane incelticidir.

Zr: Mekanik özellikleri geliştirir. Tane incelticidir.

Ca: Magnezyum alaşımı içerisinde yüksek sıcaklıklarda çözünür. Alaşımin ergime sıcaklığını artırır. Sürünme direncini geliştirir. Oksidasyonu azaltır.

Cu: Magnezyum alaşımlarının dökülebilirliğini artırır. Korozyon direncini azaltır.

Y: Dayanımı artırır. Sürünme direncini geliştirir.

Ag: Sertliği artırır.

Sr: Mekanik özellikleri ve korozyonu artırır.

Th: Sürünme direncini artırır. Kaynaklanma özelliğini geliştirir [8].

1.2.8. Mg Alaşımlarının Korozyonu

Korozyon direncine bakıldığında magnezyum alaşımları diğer metallere göre direnci düşüktür [1]. Hatta saf magnezyum alaşımının hava ile temasında magnezyumun yüzeyinde magnezyum oksit oluşur. Tablo 1.8’de %3–6 NaCl içeren çözeltide farklı metallerin korozyon potansiyelleri verilmiştir.

Tablo 1.8. %3–6 NaCl içeren çözeltide farklı metallerin korozyon potansiyeli

METAL	V Koor. (O.IN.KE.)	METAL	V Koor. (O.IN.KE.)
Mg	-1,73	Pb	-0,55
Mg Alaşımları	-1,63	Sn	-0,50
Çinkosuz Çelik	-1,14	Krom Çeliği Aktif	-0,43
Zn	-1,05	Pirinç (60/40)	-0,33
Kadmiyumlu Çelik	-0,86	Cu	-0,22
Al (%99,99)	-0,85	Ni	-0,14
Al (%12 Si)	-0,83	Krom Çeliği Pasif	-0,13
Çelik	-0,78	Ag	-0,05
Dökme Demir	-0,78	Au	+0,18

1.2.9. Korozyon Önleme Yöntemleri

Magnezyum alaşımlarının korozyon direncini artırmak için aşağıdaki çözüm önerileri yapılabilir.

- Üretim safhasında Fe, Cu, ve Ni’den arındırılarak yüksek saflıkta üretilen magnezyum alaşımlarının korozyon direnci daha yüksek olur.
- Üretilen magnezyum alaşımları nikel kaplama veya kromatlama gibi yüzey kaplama yöntemleriyle yüzeyleri kaplanırsa korozyona uğramaları daha güç olur.
- Magnezyum alaşımının bakır, nikel demir ve paslanmaz çeliklerle teması engellenmelidir. Mümkün olduğunca izolasyonla metalik temas engellenebilir.
- Magnezyum alaşımları ıslak ortamda kullanılıyorsa farklı metallerle arasına plastik konmalıdır.

- Magnezyum alaşımları ile elektrolite maruz kalan başka tür bir metal varsa bu iki metal dıştan boyanmalıdır [13].

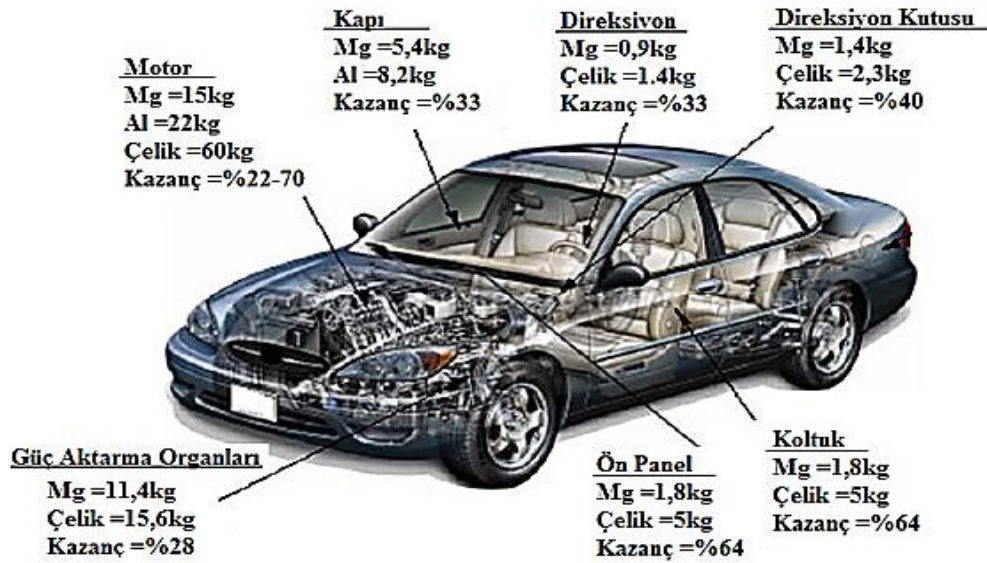
1.2.10. Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Alanları

Magnezyum metali saf olarak kullanılamaz. Saf olarak kullanılırsa dayanımı düşük olur. Bu nedenden dolayı magnezyum alaşımlandırılarak kullanılır [18].

Magnezyum alaşımının en çekici özelliği tabi ki ağırlığının düşük olması ve çekme dayanımının alüminyum ve çeliğe göre daha yüksek olmasıdır. Bu nedenle metal sanayinin birçok kolunda yaygın halde kullanılmaya başlanmıştır.

Uçak-uzay ve otomotiv sanayinde ağırlık tasarrufunun öneminden dolayı Mg alaşımları geniş yer bulmakta ve kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle otomotiv üreticileri Mg alaşımları üzerine çalışmalarını artırmışlardır. Önümüzdeki yüzyılda otomobil üreticileri güneş enerjisi, elektrik, hidrojen gibi alternatif çevreci enerjilerle çalışan otomobiller üreteceklerdir. Bu da otomobillerin daha da hafif üretilmek zorunda olduğunu gösteriyor. Magnezyum alaşımlarının önemi bir kez daha artmaktadır.

Magnezyum alaşımların üretilmesi daha maliyetli olmasına rağmen döküm parçalarda net üretimlerinin olması kullanılmasını hızlandırmıştır (Şekil 1.1) [19].



Şekil 1.1. Otomobil üretiminde Mg alaşımından dökülmüş parçalar [2].

Otomotiv, havacılık ve elektronik sanayinde genellikle AZ serisi alaşımlar kullanılmaktadır (Şekil 1.2) [20].



Tekerlek jantı



Bisiklet çatallı



Güverte desteği



Silindir ana kapağı



Direksiyon



İçten yanmalı motor pistonları

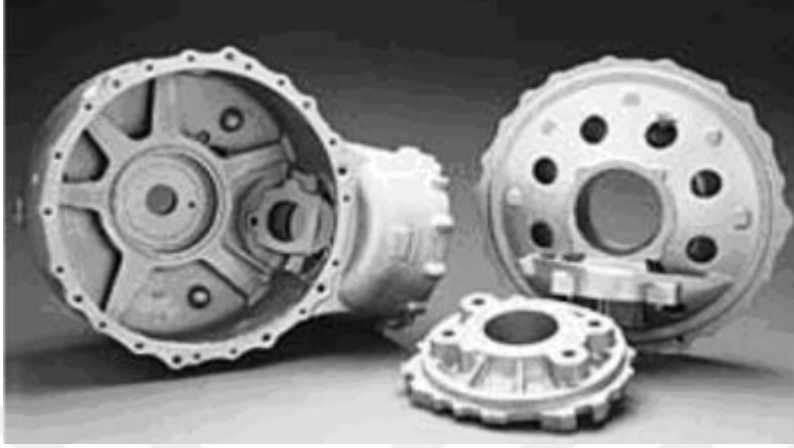
Şekil 1.2. AZ alaşımı döküm parçaları [2].

Yüksek tokluk ve enerji absorbe etme yeteneklerinden dolayı direksiyon, tekerlek ve koltuk iskeleti gibi otomobil parçalarında AM serisi alaşımlar kullanılmaktadır (Şekil 1.3) [20].



Şekil 1.3. AM alaşımı döküm parçaları [20].

Yüksek sıcaklığa maruz kalmak zorunda olan otomobil motoru ve transmisyon elemanlarında AE42 alaşımları kullanılmaktadır (Şekil 1.4) [8].



Şekil 1.4. WE43 alaşımından dökülmüş helikopter vites kutusu [8].

Elektronik sanayinde kamera kasası ve telefon kasası gibi yerlerde süper hafif Mg-Li esaslı alaşımlar kullanılmaktadır (Şekil 1.5) [8].



Kamera kutusu



Cep telefonu kutusu

Şekil 1.5. Li katkılı Mg alaşımı döküm parçaları [8].

1.3. Magnezyum Alaşımlarının Kaynağı

Magnezyum metalinin ergime sıcaklığı 650°C dir. Alaşımları ise içeriğine göre ergime sıcaklığı $483\text{-}600^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Alaşım içeriği bilinmeden ergime sıcaklığına gelip gelmediği gözle kontrol edilemez [13].

Yüksek ısı iletkenliğinden dolayı ergime kaynakları yapılırken fazla ısı verilmesi ve ön ısıtma yapılması gerekir. Yine yüksek elektrik iletkenliğinden dolayı direnç kaynağında kaynak süresi kısa tutulmalıdır. Magnezyum alaşımı havayla temas ederse hemen yüzeyinde oksit tabakası oluşur. Ergitme kaynağı yapılırken bu oksit tabakası kırılmalıdır. Kaynak sırasında koruyucu gaz, mekanik veya kimyasal yöntemlerle bu oksit filmi giderildikten sonra kaynak yapılır [21].

Magnezyumun kaynak kabiliyeti;

- Alaşımın yüzeyinde oksit filmi oluşmasından dolayı kaynağa pek elverişli değildir. Bu tabakanın varlığı kaynak dikişinin sürekli ve erimiş damlacıkların birbirine kaynamasını engelleyecektir. Bu durumu önlemek için kaynak sırasında veya öncesinde magnezyum oksidi ortadan kaldıracak veya eritecek bir cüruf-örtü kullanılmalıdır.
- Kaynak esnasında ana malzeme ve kaynak bölgesinde çökme oluşabilir. Bu da mukavemet değerleri ve alaşımın kimyasal özelliklerini zayıflatır [22].

Koruyucu gaz kullanılarak yapılan kaynak yöntemlerinde Mg dövme alaşımları kolayca kaynak edilebilir. Ergitme kaynaklarında bilindiği gibi kaynak bölgesi üç ana kısımda incelenir. Kaynak (ergime) bölgesi, Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) ve Isıdan Etkilenmemiş ana metaldir [13].

1.3.1. Mg Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti

Magnezyum alaşımlarının kaynak kabiliyeti aşağıdaki Tablo 1.9' da derecelendirilmiştir. Tabloda dereceler; A: Mükemmel B: İyi C: Fena Değil D: Sınırlı olarak verilmiştir. Çatlamaya olan eğilim ve kaynak verimi bu derecelendirmenin kriterleridir. En uygun kaynak şartlarında yapılan Mg alaşımı kaynağı %60-100 arası birleşme kalitesi vermektedir [12].

Tablo 1.9. Mg alaşımlarının göreceli kaynak kabiliyetleri

DÖKÜM ALAŞIM	ALAŞIM	DERECE	ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ALAŞIM	ALAŞIM	DERECE
	AM100A	B+		AZ10A	A
	AZ63A	C		AZ31B,C	A
	AZ81A	B+		AZ61A	B
	AZ91C	B+		AZ80A	B
	AZ92A	B		HK31A	A
	EK30A	B		HM21A	A
	AK41A	B		HM31A	A
	EZ33A	A		ZE10A	A
	HK31A	B+		ZK21A	B
	HZ32A	C			
	K1A	A			
	QE22A	B			
	ZE41A	C			
	ZH62A	C			
	ZK51A	D			
	ZK61A	D			

Mg alaşımlarında alüminyum oranı (%10'a kadar) içyapıda taneleri incelterek kaynak kabiliyetini artırır. Çinko oranı % 1'i geçerse ergitme kaynaklarında gevrek çatlama riski doğurur. AZ serisi Mg alaşımlarından AZ31B, AZ61B, AZ80A, AZ81A ve AZ91C kaynak kabiliyeti iyi olan alaşımlardır. Çinko içeriği fazla olan ZH62A ve Zk51A alaşımları kaynak sırası veya sonrası çatlama riski olan alaşımlardır. Alaşımında Thorium içeren Mg alaşımları mükemmel kaynak kabiliyetine sahiptir. Bunlara örnek HK31A, HM21A VE HM31A verilebilir [12].

1.3.2. Magnezyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı

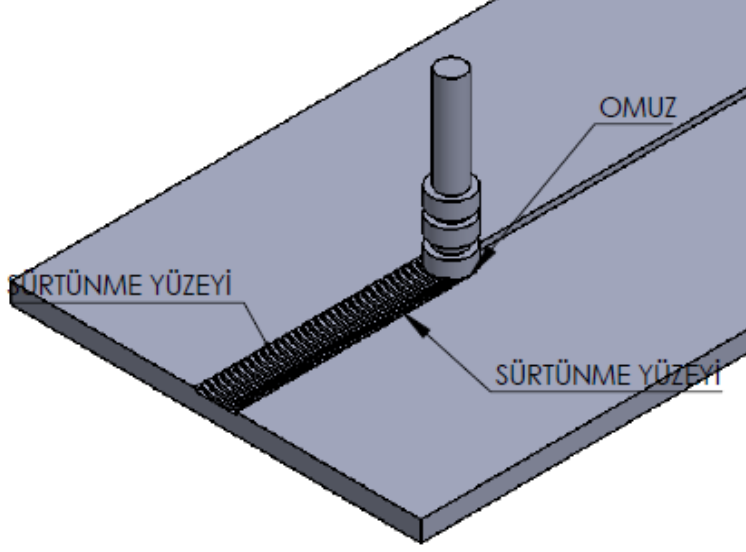
Sürtünme karıştırma kaynak metodu geniş uygulama alanlarına yayılmış ve farklı geometrilerde kaynak olanağı sağlayan 1991 yılında İngiliz Kaynak Enstitüsü'nde (TWI), W.Thomas tarafından geliştirilen, patenti alınan ve halen geliştirilmeye devam edilen bir

katı faz kaynak yöntemidir [23]. Birçok kuruluş sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) alanında pilot kuruluş olarak metodun geliştirilmesi için projelerine devam etmektedir. Kaynak metodunun dayandığı temel, aşınmaya dayanıklı dönel bir uç sayesinde alüminyum, magnezyum, bakır ve kurşun gibi malzemelerin birleştirilmesinin sağlanmasıdır [24]. Laboratuvar koşullarında ana metal olan alüminyum kompozitler, magnezyum alaşımlar, çinko, titanyum alaşımları ve çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağı ile başarılı bir şekilde kaynaklı imalatları yapılmıştır. Kaynak katı fazda, ergime noktasının altında gerçekleşir. Ergimenin olmamasına ve ısı girdisinin az olmasına rağmen, sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen malzemeler çok iyi mekanik özellikler ve korozyon dayanımı göstermektedir. Bu kaynak katı fazda gerçekleştiği için ısı girdisi ile kaynağı yapılamayan malzemelerin kaynağının yapılmasında oldukça işlevseldir. Ayrıca sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan kaynaklarda enerji sarfiyatının az olması, işlemin hızlı gerçekleşmesi, imalatın ucuzluğu ve seri üretimde avantajlı olması bu kaynak metodunun önemini oldukça artırmaktadır [25-26].

1.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Sürtünme karıştırma kaynağı, katı hal kaynak yöntemlerinden biridir. Şekil 1.6'daki gibi kaynağı yapan kısım kaynak takımı dönme hareketi yapmakta olup iki kısımdan oluşur. Bunlar kaynak sırasında kaynak bölgesinde ısı oluşmasını sağlayan omuz kısmı ve kaynakta karıştırmayı sağlayan karıştırıcı uç kısmıdır. Freze makinasına bağlanan kaynak takımı seçilen bir hızda döndürülür. Kaynak yapılacak malzeme frezenin tablasına bağlanır. Karıştırıcı uç dönme hareketine devam ederken kaynak yapılacak malzeme çiftini ortalayacak şekilde batırılır. Kaynakta ilerleme, kaynak yapılacak malzemenin bağlandığı tablanın ilerlemesi ile sağlanır. Omuz kısmı kaynatılacak malzemenin dış yüzeyi ile sürtünürken karıştırıcı uç kısmı iki malzeme arasında karıştırma yaparak plastik deformasyon oluşmasına sebep olur [27]. Kaynak yapılırken en önemli kısım sürtünme ile sıcaklığın oluşmasıdır. Bunu da omuz kısmı sağlar. Oluşan bu ısı sayesinde malzemeler akışkan hale gelir. Bu sayede karıştırıcı pim plastik deformasyon yaparak iki malzemeyi birbirine karıştırır [28].

Pim üzerine değişik geometrilerde şekiller verilebilir. Bunlardan biride diş açılmasıdır. Karıştırma sırasında diş açılmış pim malzeme kaybına neden olmadan malzemenin düzgün bir şekilde karışmasını sağlar. Kaynakta kök kısmında çok fazla boşluk kalmaması için pimin ucunun malzeme arkasına en yakın noktadan geçmesi sağlanmalıdır [23].

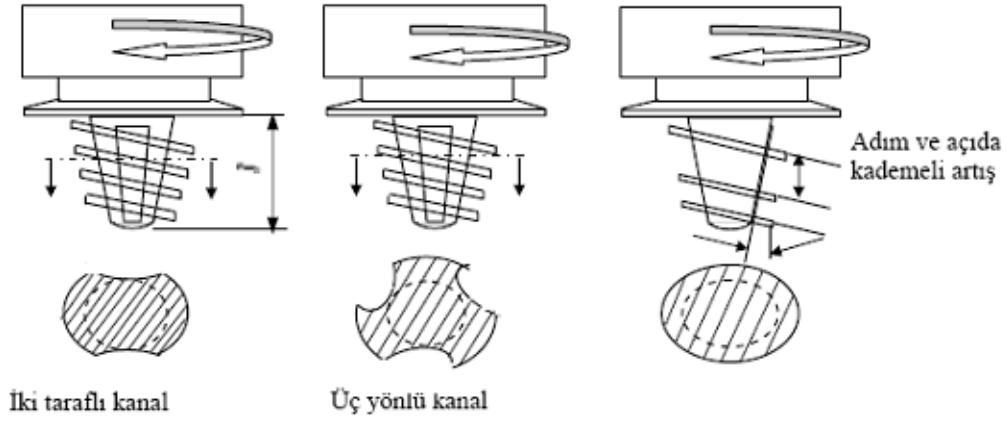


Şekil 1.6. Sürtünme karıştırma kaynak takımı şematik gösterimi

1.4.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Uç Tipleri

1.4.1.1. Whorl™ Serisi Pimler (BatıcıUçlar)

Yapılan birçok uygulama sonrasında Whorl™ konfigürasyonu saptanmıştır. (Şekil 1.7) Ucu kesik koni şeklindeki Whorl™ pim plastik deformasyona uğramış metali dış yönü aşağıya olduğu için aşağıya doğru yönlendirerek ekstüzyon yapar. Böylece malzemenin daha iyi akmasını sağlar. Pimin hızı dönme hızından daha az olması gerekir [26]. Şekil 1.8 de AA6082-T6 75 mm kalınlıktaki alüminyum alaşımı içine geçmiş olan Whorl™ serisi pim kullanılmıştır. Şekle bakıldığında kaynak kesiti ile kaynak takımı arasındaki ilişki görülmektedir. Malzemenin kaynak sırasında daha iyi akması için dişli ucun üzerindeki helisel dişlerin kademeli olarak aşağıya doğru azalması gerekir [23].



Şekil 1.7. Çeşitli whorl™ konfigürasyonları [23].



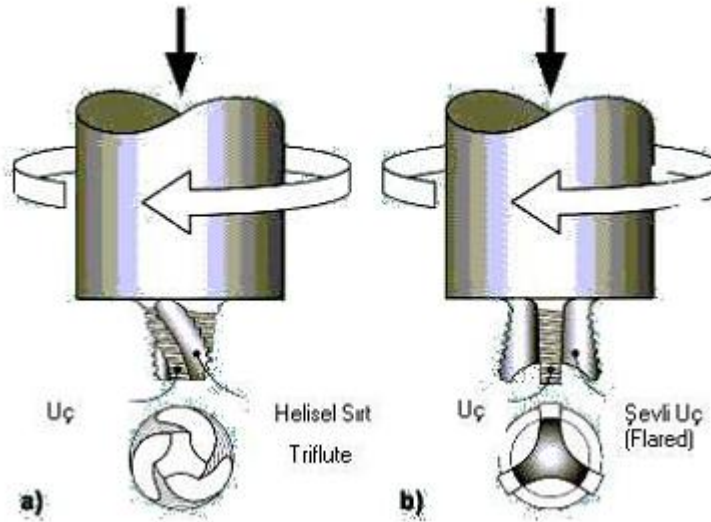
Şekil 1.8. 75 mm kalınlığındaki AA6082 T6 alaşımının kaynağında whorl™ takımını kullanılması, kaynağın bitmiş hali ve kaynak dikişinin görüntüsü [23].

1.4.1.2. MX Triflute™ ve Flared-Triflute™ Serisi Pimler (BatıcıUçlar)

Multi-Helix (MX Triflute™) pim uçları üzerinde bulunan yivlerin çevresinde helisel sırt kısımları vardır. Ucun aşağıya doğru helisel olması ucun takım hacmini düşürür. Malzeme akışının daha iyi olmasını sağlayarak yüzeydeki oksitleri dağıtır. Karıştırıcı uç üzerinde helisel sırtlar ve oluklar bulunur. Bu şekil ucun hacmini düşürür ve daha iyi bir karıştırma sağlar. Ayrıca sırt kısmı yüzey oksitlerinin yüzeyden atılmasına yardımcı olur (Şekil 1.9, Şekil1.10) [24].

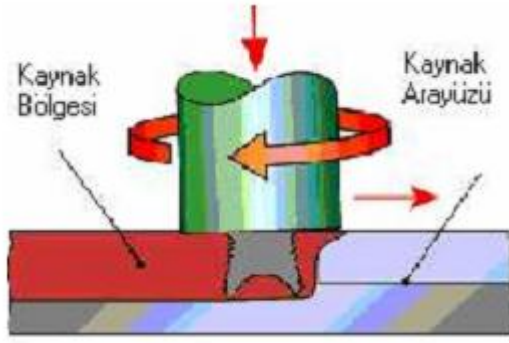


Şekil 1.9. MX Triflute™ pimin esin kaynağı deniz kabuklarıdır, MX Triflute™ serisi pimin resim ve şematik çalışma şekli [24].



Şekil 1.10. MX Triflute™ ve Flared-Triflute™ dizaynları [24].

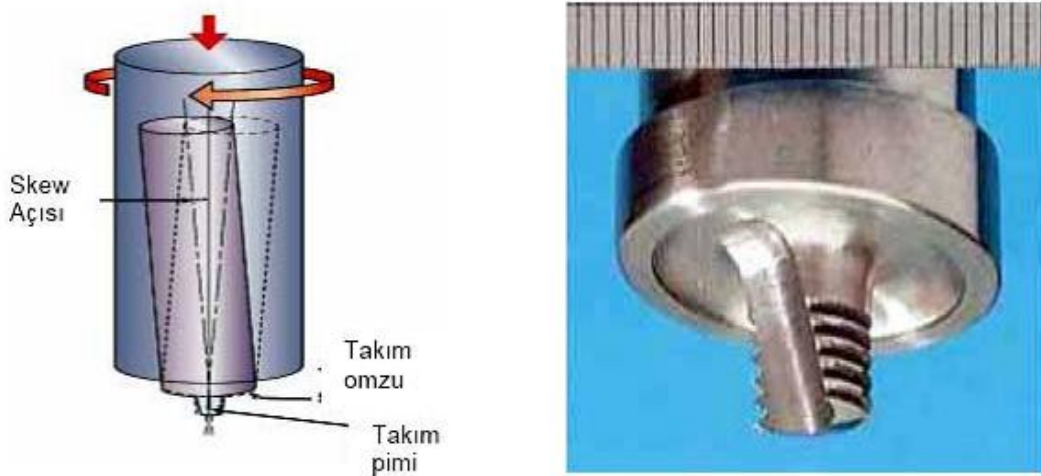
Bindirme kaynağında karıştırıcı pim kaynak yüzeyine dik konumdadır. Kaynak yapılacak alttaki malzemeye kadar nüfuz etmesi için daha geniş bir kaynak bölgesi ve daha uzun bir karıştırıcı ucun seçilmesi gerekir. Uç üzerinde bulunan girintilerin kaynakta kesiştiği açı da önem arz eder. Bu malzemenin yorulma direncini direk etkiler. Akan malzeme miktarı ve ucun hacmi arasında fark artarsa malzemenin akış yönü aşağıya doğru çökme şeklinde olur (Şekil 1.11) [29].



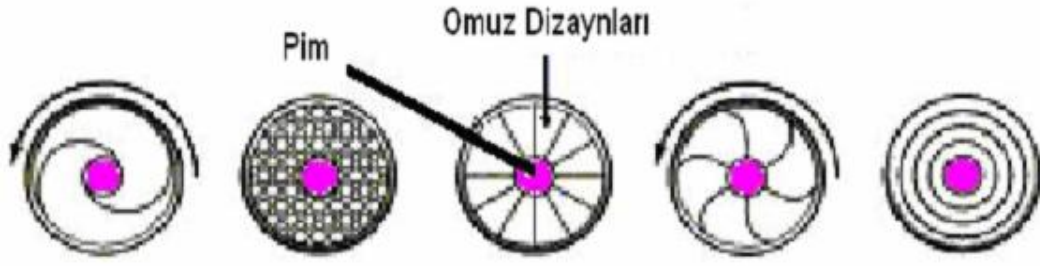
Şekil 1.11. Flared Triflute Probe ile yapılmış olan bindirme kaynağında kaynak arayüzünün görünümü [29].

1.4.1.3. Skew-Stir™ ve A-Skew™ Serisi Pimler (BatıcıUçlar)

Skew-Stir™ serisi pimleri diğer pimlerden ayıran özelliği pimin ucunun eğimli üretilmesidir. Pimin eğik olarak üretilmesi dinamik süpürme miktarı ile statik süpürme miktarı arasındaki oranı artırır. Bu oranın artması boşluk oluşumunun giderilmesi veya azalması ve kaynak veriminin artmasında önemli bir etkidir. Şekil 1.12’ de görüldüğü gibi omuz kısmı ile uç kısmı arasında eğim vardır. Omuz, plakaların yüzeyine sabit kalarak dönme hareketi yapar ve sürtünme oluşturur. Mesafe ve eğrilik açısı arttıkça karıştırılan akışkan miktarı da artma gösterecektir. Omuz sürtünme yaparken malzemenin kaynak bölgesinden ayrılmasını da engeller [23].



Şekil 1.12. Skew-Stir metodunun çalışma prensibi ve A-Skew ucunun resmi [23].

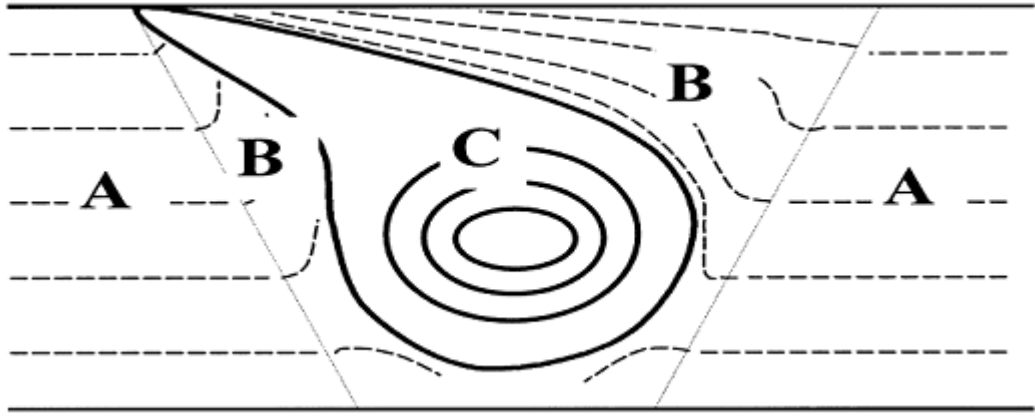


Şekil 1.13. Whorl™ ve MX Triflute™ takımlarının omuz profilleri [23].

Kaynak sonunda parça üzerinde genellikle küçük delikler kalabilmektedir. Pim, iki parça arasında kaynak bağıını oluşturmak için yavaşça daldırılır ve yüksek hızda döndürülür. Kaynak sonunda tek parçalı pim takımı geri çekilir ve delikten uzaklaştırılır. Bunlardan bazılarında yani tamburlar, borular ve stok tanklarında da böyle bir kaynak kabul edilemez. Diğer bir geri çekme, değişen kalınlıklarındaki malzemeler kaynatıldığında farklı uzunlukta pim takımları gereklidir. Bu geri çekme problemini çözümlenebilmek için NASA Marshall Uzay Uçuş Merkezi kaynak mühendisleri otomatik olarak geri çekilebilir pim takımı dizaynı yapmışlardır. Kaynak sonrasındaki deliği önlemek için takım omuzu içerisindeki pim bilgisayar destekli şekilde otomatik geri çekilebilir olarak kullanılmaktadır. Bu tasarım piminin açılma ayarına ve malzeme kalınlıklarına göre pim boyunda ayarlamaya imkân sağlar ve kaynak sonunda uygun bir kapalı delik ortaya çıkarır (Şekil 1.13) [23].

1.4.2. SKK' da Kaynak Metalürjisi

Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan simetrik olmayan kaynak dikişinin kesitindeki tipik bir içyapı Şekil 1.14'de ki gibi gösterilmiştir [25]. Şekil olarak soğan halkaları veya ağaçlardaki yaş halkalara benzerlik gösteren halkalar oluşmuştur. Kaynak bölgesindeki içyapı tipik olarak üç farklı bölgeden oluşur. Bu bölgeler, A: ark kaynağındaki ITAB'a benzer dikişten uzakta ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), B: dikişe bitişik termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge (TEB) ve C: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) olarak adlandırılmaktadır. Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölgenin dinamik toparlanma (dynamic recovery) sonucu oluştuğu kabul edilmektedir [23].



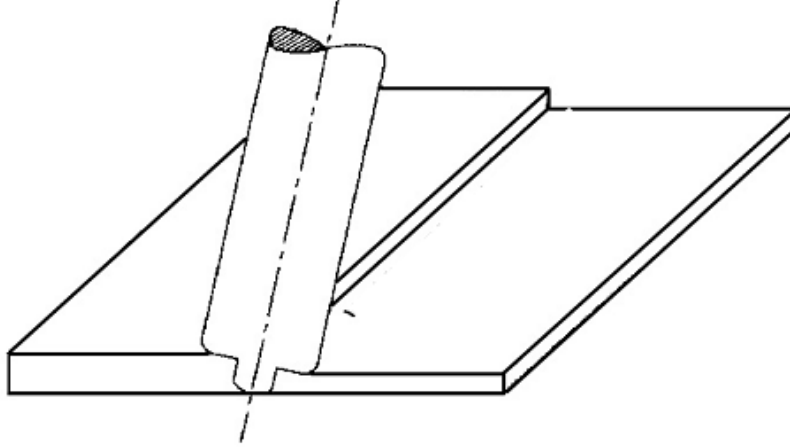
Şekil 1.14. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan içyapının şematik görünümü. A: ısıнын tesiri altındaki bölge (ITAB), B: termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), C: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) [23].

Sürtünme karıştırma kaynağını belirleyen 3 temel parametre vardır. Bunlar devir hızı, ilerleme hızı ve takım geometrisine bağlı batma derinliğidir. Bunlardan devir hızı ve ilerleme hızı kontrol edilebilir. Fakat batma derinliği kaynak yüzeyi uzun levhalar, yüzeyi düzgün olmayan levhalar da sabit tutulması zor olabilir. Kaynak süresince batma derinliğinin sabit kalması gerekir. Bu nedenden dolayı kaynak öncesi kaynak yapılacak yüzeyin ve kaynak düzeneğinin iyi hazırlanması gerekir. Kaynak bölgesinde iyi nüfuziyet olması için takım ucunun alt yüzeye en fazla 0,508 mm mesafede sabit tutulması gerekir. Nüfuz etme mesafesi ismi verilen bu mesafenin kaynak sırasında sürekli sabit ve küçük bir değerde tutmak gerekir [29].

Yine sürtünme karıştırma kaynağında karşılaşılan diğer bir sorun ise yetersiz basınç sebebiyle levhaların alt kısmında ısı miktarının yeteri seviyeye çıkmamasından kaynaklanan soğuk birleşme oluşmasıdır. Bu da yetersiz nüfuziyete sebep olur. Bu sorun omuz dizaynının düzgün yapılmaması, devir hızının artırılması ve omuz basıncının yeterince yapılması ile giderilebilir. Ayrıca batıcı uç üzerinde ki dişlerin aşağı yönlü olması hamur kıvamındaki malzemenin yukarı yönlü akmasını engeller [25].

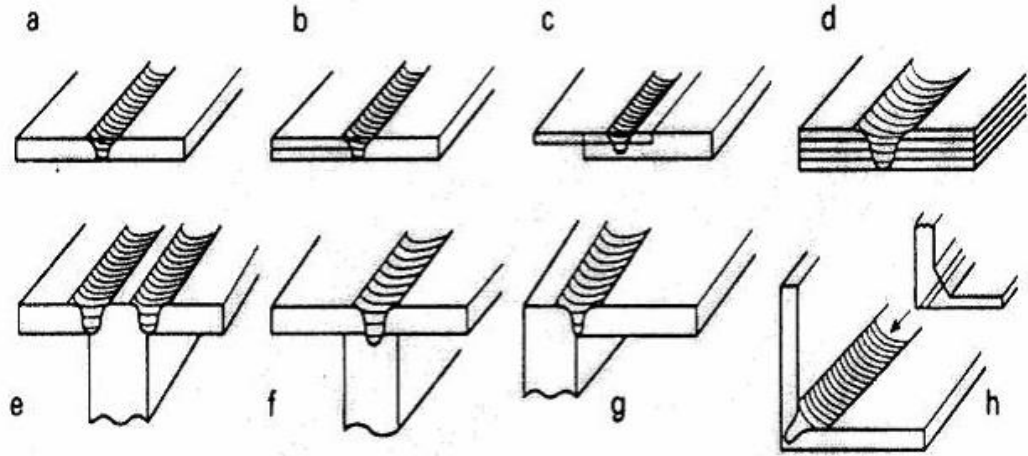
Sürtünme karıştırma kaynağı, otomatik çekilebilir takımların geliştirilmesiyle batıcı ucun işlem sonunda levhadan geri çekildiği yerde delik oluşmaması sonucu dairesel (çevresel) kaynak işlemlerinde ve takımın eğik daldırılması sonucu farklı kalınlıklardaki levhaların kaynak işlemlerinde de kullanılabilir. Farklı kalınlıklardaki Al-Li alaşımı 2195 levhaların birleştirme işlemlerinde eğik takım daldırma yöntemi ile umut verici

sonuçlar elde edilmiştir [9]. Eğik takım daldırma yöntemi şekil 1.15’de şematik olarak gösterilmektedir. Son yıllarda otomotiv endüstrisinde konstrüksiyona hazır levhaların (tailored blanks) kaynak işleminde sürtünme karışırma kaynağı yönteminin kullanılması büyük bir ilgi çekmektedir. Pimin farklı kalınlıklardaki levhalara açılı daldırılması ile lazer kaynağında elde edilenden daha düzgün bir yüzey elde edilebilmektedir [25].



şekil 1.15. Sürtünme karışırma kaynağında batıcı ucun eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi [25].

Takım omuzu özellikle ince levhalarda sürtünme işlemini dolayısıyla gerekli ısının büyük bir kısmını sağlar. Takım omuzları önceleri 1-2 derece eğik yapılırken, daha sonraları omuz profilleri, yani yüzeylerinde yivler (kanallar) bulunan omuzlu takımlar geliştirilmiştir. Omuz yüzeyindeki bu kanallar kaynak sırasında dışarı kaçmaya çalışan malzemeyi engeller, ayrıca takım ucundaki sıkıştırmayı (hidrostatik basıncı) artırır. Dolayısıyla, omuz profili bulunan takımlar kullanılarak daha yüksek hızda kaynak işlemi gerçekleştirilebilir [24]. Sürtünme karışırma kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirme şekilleri şekil 1.16 ‘da görölmektedir.



Şekil 1.16. Sürtünme karıştırma kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirme şekilleri [24].

1.4.3. Kaynak Bölgesinin Mekanik Özellikleri

Ergitme esaslı kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında, sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan birleştirmeler daha ideal bir kaynak profili ve daha pürüzsüz bir yüzey kalitesi gösterirler [27]. Kaynak işleminin uygun yapılması ve optimum kaynak parametrelerinin kullanılması ile kusursuz kaynak elde etmek mümkündür. Batıcı ucun istikrarsız hareketi ve parametrelerin uygun olmaması durumunda sırasıyla yüzey pürüzlülüğü ve daha önce bahsedildiği gibi kaynak dikişinin tabana yakın kısmında soğuk birleşme gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Bu yöntemde oluşabilecek bir başka kaynak hatası da kaynak dikişinde tünel şeklinde boşluk (porozite) kalmasıdır. Bu hatanın nedeni takım tasarımındaki hatadan dolayı çamur kıvamına gelen malzemenin omuz altından dışarı taşmasıdır. Karıştırıcı uç üzerine ve omuz üzerine uygun profillerin işlenmesi ile bu sorun ortadan kaldırılabilir. Takım omzunun dönmesi sonucu, bu metot ile elde edilen kaynağın üst yüzeyleri makine ile işlenmiş gibidir ki bu da yorulma ömrünü arttırmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağı ile yukarıda bahsedilen hususlar dikkate alınarak Al-alışımlarında hatasız kaynak dikişi elde edilebilir [29].

Şekil 1.17’de bu yöntem ile elde edilmiş hata içermeyen bir Al-alışımda kaynak dikişinin kesiti gösterilmektedir. Bu kaynak yöntemi ile kaynak edilmiş Al-alışımlarında elde edilen kaynağın tipik özelliği, özellikle yaşlandırma sertleşmesi yapılmış alaşımlarda, kaynak bölgesinde sertlik ve mukavemet düşüşüdür (strength undermatching). Fakat kaynak

bölgesinde mukavemet kaybı tüm ergitme kaynak yöntemlerinde bu yöntemden daha fazladır [25].



Şekil 1.17. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış kaynağın kaynak bölgesinin kesiti [25].

1.4.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Avantajları ve Dezavantajları

Sürtünme Karıştırma Kaynağının Avantajları;

1. Ergitme kaynağı zor olan metallerin birleştirilmesi kolaylıkla yapılabilir [25].
2. Isı girdisinin düşük olması kaynağı yapılan metallerin mekanik özelliklerinde fazla bir değişim olmamasını sağlar [28].
3. İnce levhaların kaynağında rahatlıkla kullanılır.
4. Alüminyum ve magnezyum alaşımları gibi yüzeyinde oksit filmi bulunduran metaller kolaylıkla kaynak edilebilir.
5. Ergitme kaynaklarında sıkça rastlanan porozite ve çatlak oluşumu bu kaynak yönteminde görülmez.
6. Kaynak sonrası yüzeyleri düzgündür, başka bir işleme gerek kalmaz.
7. Kaynak otomasyon ve robotlarıyla alın ve bindirme kaynağı yapılabilir.
8. Kaynak işlemi temiz ve çevrecidir. Atmosfere zararlı gaz salınımı, kıvılcım, çapak söz konusu değildir [29].
9. Mukavemet nispeten iyidir. Yüksek enerji verimi sağlar.
10. İlave tel ve koruyucu gaza gerek yoktur.
11. Özellikle kalın kesitli parçaların kaynağında bile kaynak ağzı açmaya gerek kalmaz.
12. Yatırım maliyetleri birçok kaynak yönteminden daha düşüktür.

Sürtünme Karıştırma Kaynağının dezavant

ajları ;

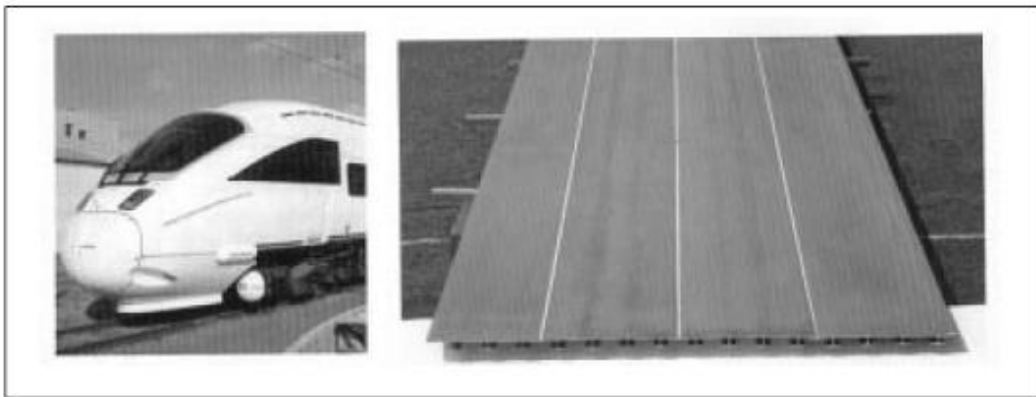
1. Kaynağı yapılacak malzemelerin tezgâha çok sıkı bağlanması gerekir. Bu kaynak yönteminde iş kazalarının olmaması için çok dikkatli olmak gerekir.
2. Kaynak sonrası karıştırıcı uç malzemeden çekildiği zaman kaynağın sonunda delik bırakır.
3. Kaynaklanma hızı diğer kaynak yöntemlerinden düşüktür. Kalın kesitli malzemelerin kaynağında güçlü tezgâhlara gerek vardır.

1.4.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Uygulama Alanları

Bu yöntem gemi inşaatı ve denizcilik, havacılık, demir yolu, otomotiv, inşaat, elektronik endüstrilerinde ve diğer birçok endüstri kuruluşunda kullanılmaktadır. Kullanım alanlarından bazıları aşağıda verilmiştir [25].

- Gemi – Güverte Endüstrisi
- Uçak – Uzay Endüstrisi
- Raylı Sistemler
- Alüminyum Köprüler
- Alüminyum cephe giydirme sistemleri
- Alüminyum boru hatları
- Kimya Sanayisi
- Otomotiv Sanayisi
- Yük Kaldırma Sistemleri
- Beyaz Eşya Endüstrisi

Bazı uygulama alanlarından resimler Şekil 1.18’ de verilmiştir [25].



Şekil 1.18. SKK ile Alüminyum panellerinin üretimi [25].

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde sürtünme karıştırma kaynağı ile alakalı birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar işlem parametreleri, uç geometrisi ve bunların mekanik özelliklere etkisi şeklinde başlıklar altında toplanabilir. Son dönemlerde alüminyum gibi hafif olan magnezyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliği üzerine çalışmalar artmıştır. Magnezyum alaşımlarının kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Bu da magnezyum alaşımlarına olan ilgiyi artırmaktadır.

Padmanaban ve Balasubramania, AZ31B magnezyum alaşımının 1200 ve 2000 dev/dk aralığında değişen devir sayıları ile 0,37-2,25 mm/sn arasında değişen ilerleme hızlarında sürtünme karıştırma kaynağı üzerine çalışma yapmışlardır. Kaynak sonucunda makro seviyede hatasız kaynak yapıları elde etmişlerdir. Kaynaklı bağlantıların içyapı ve çekme dayanımlarını incelemişlerdir. İçyapıda küçük hataların olduğunu belirlemiş ve kaynak işlemi yapılırken düşey yönlü oluşan kuvvet değerlerini almışlardır [30].

Zhang, Lin, Feng ve Ma, 5 mm kalınlığındaki magnezyum alaşımlarını 1000 dev/dk. dönme hızı ile 40-600 mm/dk. aralığında ilerleme hızı kullanarak kaynak işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda magnezyum alaşımlarının kaynağında sıkça karşılaşılan kaynak bölgesinde boşluk oluşumu ile ilgili hatasız bir kaynak bölgesi için yaptıkları deneyler sonucu bir matematiksel bir model olarak ortaya koymuşlardır. 200 mm/dk. ilerleme hızından sonra ilerleme hızının artması ile boşlukların oluşmaya başladıklarını tespit etmişlerdir [31].

Fu, Ji, Li ve Liu, AZ31 magnezyum alaşımını farklı devir ve ilerleme hızlarında kaynak ucunun saat yönünde ve saat yönünün tersine dönüşü ile iki farklı şekilde sürtünme karıştırma kaynağı yapmışlardır ve durumun mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada dönme hızının içyapı ve mekanik özellikler üzerine önemli etkisinin olduğu ve saat yönünde dönen kaynak ucu ile kapılan kaynaklarda ısı girişinin az olduğunu dolayısıyla daha fazla boşluğun olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan mekanik testler sonucunda saat yönünde dönen uçla yapılan kaynaklarda % 92 saat yönünün tersine yapılan kaynaklarda %96 kaynak performansı elde etmişlerdir [32].

Afrin, Chen Cao ve Jahazi, AZ31B –H24 çiftinin sürtünme karıştırma kaynağında ilerleme hızı ve dönme hızlarının mikroyapı ve çekme mukavemeti üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalar sırasında 1-4 mm/sn aralığında farklı ilerleme hızları 500, 750,

1000 dev/dk. olmak üzere üç farklı dönme hızı kullanmışlardır. Çalışma sonucunda tane boyutlarının ve mikrosertlik değerinin kaynak bölgesinde arttığını ve düşük ısı girdisinden dolayı ilerleme hızı arttıkça akma ve çekme gerilmelerinin arttığı gözlemlenmiştir [33].

Şık, 4 mm kalınlığındaki magnezyum alaşımına 20 mm omuz çapına sahip kaynak ucu kullanarak sürtünme karıştırma kaynağı uygulamıştır. Yaptığı çalışma sonucunda malzemeye giren ısı miktarının artması ile dönme yönünde süreksizlikler ve bozulmalar meydana geldiğini ve artan dönme hızı ile kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin arttığını çekme mukavemetinin azaldığını tespit etmiştir [2].

Cao ve Jahazi, 2 mm kalınlığındaki magnezyum alaşımına farklı kaynak hızlarında kaynak işlemi gerçekleştirmişlerdir ve bu kaynak hızlarının malzeme üzerinde mikroyapı, sertlik ve çekme mukavemetinde meydana gelen değişimlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonrasında kaynak bölgesinde boşluklara rastlanmış; karışım bölgesi ve termomekanik olarak etkilenen bölgede eş eksenli tane yapılarının oluştuğu kaynak hızının artması ile ısı girdisinin azalmasından dolayı karışım bölgesinde tanelerin küçüldüğü ve sertlik değerlerinin arttığını gözlemlenmiştir. Akma mukavemetinin kaynak hızının artması ile yükseldiğini tespit etmişlerdir [34].

Gharacheh, Kokabi, Daneshi, Shalchi ve Sarrafi, AZ31 magnezyum alaşımını sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirmiş ve uygun dönme hızı ve ilerleme hız oranını tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda bu oranın kaynak kalitesi açısından önemli bir parametre olduğunu ve bu oran arttıkça, artan ısı girişi nedeni ile malzeme akışının kolaylaşması sonucu kaynak bölgesinin genişlediğini ve bunun kaynak performansını etkilediğini belirtmişlerdir [35].

Xunhang ve Kuaishe, AZ31 magnezyum alaşımını sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve en iyi kaynak performansını tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda karışım bölgesinde yeniden kristalleşmeden dolayı esas malzemeden daha düzenli ve eş eksenli tane yapılarının çıktığını ısıdan etkilenen bölgede esas metalden daha düşük bir sertlik profili meydana geldiğini belirtmişlerdir [36].

Darras, Khraisheh, Abu-Farha ve Omar, AZ31B- H24 malzeme çiftini sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirmişler, kaynak parametrelerinin ısı oluşumu, iç yapı ve mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda artan dönme hızı ile sertlik dağılımının düştüğü, artan kaynak hızı ile de sertlik dağılımının yükseldiğini tespit etmişlerdir [37].

Commin, Dumont, Masse ve Barrallier, AZ31 magnezyum alaşımları ile yaptıkları çalışmada uygulanan kuvvet, kaynak hızı ve dönme hızının artması ile kaynak performansının arttığını tespit etmişlerdir. Plastik deformasyon sonucu oluşan ısı girişinin etkisi ile oluşan sıcaklık dağılımlarının ilerleme tarafı ve yığma tarafı boyunca simetrik olmadığını kaynak hattı boyunca ise simetrik olduğunu belirtmişler ve oluşan sıcaklığı formülize etmişlerdir [38].

Albakri, Mansoor, Nassar ve Khraisheh, AZ31 magnezyum alaşımı kullanarak hem deneysel hem de nümerik bir çalışma yapmışlar, nümerik çalışmalarında akışkanlar mekaniği tabanında fiziksel olayları göz önünde bulunduran üç boyutlu kaynak parametrelerinden plastik deformasyon, sıcaklık ve malzeme akışının etkilerini gösteren termomekanik bir model geliştirmişlerdir. Bu etki sonunda dönme hızının sıcaklık alanında deformasyona ve ilerleme hızına göre daha etkin olduğu sonucuna varmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada da kaynak esnasında sıcaklık dağılımını, malzeme akışını ve tane yapılarını incelemişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda kaynak yapılırken ilerleme yönünde 20 K daha fazla sıcaklık olduğunu tespit etmişlerdir. Tane yapılarının yüksek ilerleme ve düşük dönme hızlarında daha iyi olduğunu saptamışlardır [39].

Chao ve Jahazi, magnezyum alaşımını sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirmiş, devir sayısı ve uç uzunluğunun birleşme kalitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Devir sayısının artması ile çekme kesme yükünün başlangıçta arttığını fakat daha sonrası devir artışlarında azaldığını tespit etmişlerdir [40].

Azizieh ve diğ., AZ 31- Al_2O_3 nanokompozitlerini sürtünme karıştırma kaynağı ile imal etmiş, devir sayısı ve uç profilinin mikroyapı ve sertlik üzerine etkisini araştırmışlardır. Her bir sürtünme karıştırma işlemindeki pasoda matrisin tane saflığı ve nano parçalarının dağılımının iyileştiğini belirtmişlerdir. Devir sayısının artması ile ısı girdisinin arttığını buna bağlı olarak esas alaşımın tane boyutunun arttırıldığını ve devirin daha fazla parçalayıcı etkisiyle daha iyi bir nano parça dağılımına sebebiyet verdiğini düşünmüşlerdir [41].

S.S. Yutaka ve ark., AZ 31 magnezyum alaşımı ve 1050 alüminyum alaşımını sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirmişlerdir. Çalışmada karıştırıcı uç devrini ve ilerleme hızını sabit tutmuşlardır. Karıştırma esnasında uç ile iş parçası arasında 3 derecelik bir açı ile saat ibresi tersi yönünde karıştırma yapmışlardır. Çalışma sonucunda kaynak bölgesinde yüksek miktarda $Al_{12}Mg_{17}$ intermetalik bileşiğinin oluştuğunu ve kaynak merkezinde sertliğin arttığını tespit etmişlerdir [42].

G.Kohn ve ark., AZ91 magnezyum alaşımını HSS çeliğinden imal edilen karıştırıcı uç kullanarak 1700 dev/dk. dönme hızı 50 mm/dk. ilerleme hızı kullanarak lazer destekli sürtünme karıştırma kaynağı yapmışlardır. 1 cm çapında lazer ışını oluşturmak için dönen karıştırıcı uca 5 metre uzunluğunda optik fiber kullanmışlardır. Yapılan alışma sonucunda lazer destekli SKK başarıyla gerçekleştirilmiştir. Levhaların n tavlama işleminde lazer enerjisinin kullanımının takım ve levhalar için gerekli kuvveti azalttığı ve daha düşük oranda takım aşınması olduğunu belirtmişlerdir [43].

W. Xunhong ve W. Kuaishe, AZ31 magnezyum alaşımını 12 mm omuz ve 4 mm karıştırıcı uç kullanarak SKK ile birleştirmişlerdir. Karışım bölgesinde mikrosertlik ana metalin sertliğinden yüksek çıkmıştır. Kırılmalar ITAB bölgesinde gerçekleşmiştir. Karışım bölgesinin dinamik rekristalizasyondan dolayı ince eksenli tanelere sahip olduğunu belirtmişlerdir [44].

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Çalışmanın Amacı

Yakın gelecekte dünyada çok önemli bir yere kavuşması beklenen magnezyum alaşımlarından biri olan AZ31B alaşımının sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile kaynağı incelenecektir. Levhalar alın pozisyonunda birleştirilecek, oluşan bağlantının mekanik özellikleri incelenecektir.

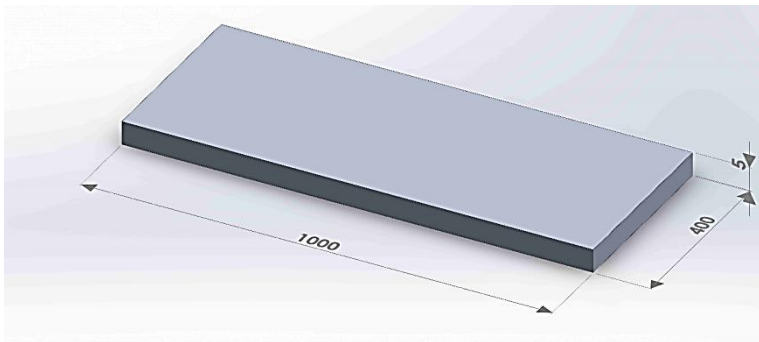
Kaynak esnasında devir sayısı, karıştırıcı uç profili ve kaynak ilerleme hızları değişken parametreler olarak seçilecektir. Kaynaklı bağlantıların mekanik ve mikroyapı özelliklerini belirlemek amacıyla numunelere mikrosertlik ölçümü, çekme testi, mikroyapı görüntüsü, SEM görüntüsü ve EDS analizi uygulanacaktır.

Yapılan çalışmalar sonucunda; seçilen malzemeye sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile yapılan kaynakta 2 farklı devir sayısı, 2 farklı karıştırıcı uç profili ve 3 ayrı kaynak ilerleme hızları kullanılarak parametrelerinden en uygunlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

3.2. Kaynak Öncesi İşlemler

3.2.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

Deneyler sırasında kullanılan AZ31B magnezyum alaşımı VIG Makine Sanayi Ticaret Limitet Şirketi'nden 400x1000x5 mm ölçülerinde plaka şeklinde ticari olarak temin edilmiştir (Şekil 3.1). Bu alaşıma ait kimyasal kompozisyon Tablo 3.1' de verilmiştir.



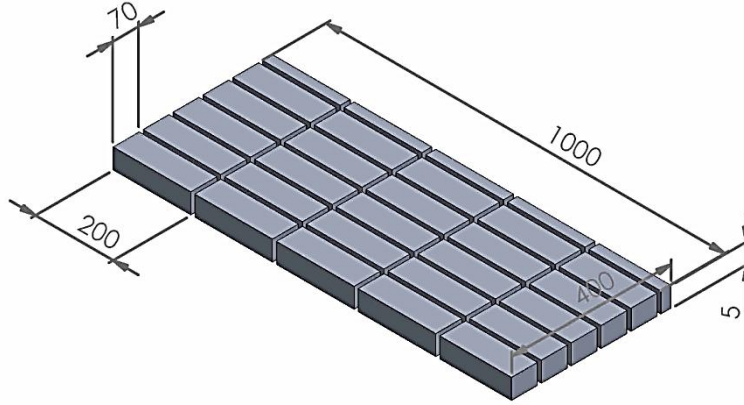
Şekil 3.1. Piyasadan temin edilen AZ31B Magnezyum alaşımının boyutları

Tablo 3.1. AZ31B magnezyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu

AZ31B	Al	Zn	Mn	Si	Fe	Sn	Ag	Ti	Cu	Ni	Mg
%	3.0	1.01	0.2113	0.0137	0.0039	0.0015	0.0006	0.0005	0.0004	0.0002	95.72

3.2.2. Kaynak Numunelerinin Hazırlanması

VIG Makine Sanayi Ticaret Limitet Şirketi'nden 400x1000x5 mm'lik plaka şeklinde ticari olarak temin edilen malzememiz kaynak işlemi için 200x70 mm ebatlarında giyotin makas yardımıyla kesilmiştir. (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağı için hazırlanan numune ölçüleri

3.2.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Takım Tezgahı

Kaynak işlemi için hazırlanan numunelerin sürtünme karıştırma kaynak (SKK) işlemleri, Elazığ Gazi Meslek ve Teknik Anadolu Lisesi Makine Teknolojisi Bölümü atelyesinde bulunan freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.3'de görülen BRİGGEPORT marka freze tezgahı max. 4600 devir çalışma kapasitesine sahiptir. Bu freze tezgahında devir sayısı ayarı yapılabilmektedir ve ilerleme hızı otomatik konumda ayarlanmaktadır.

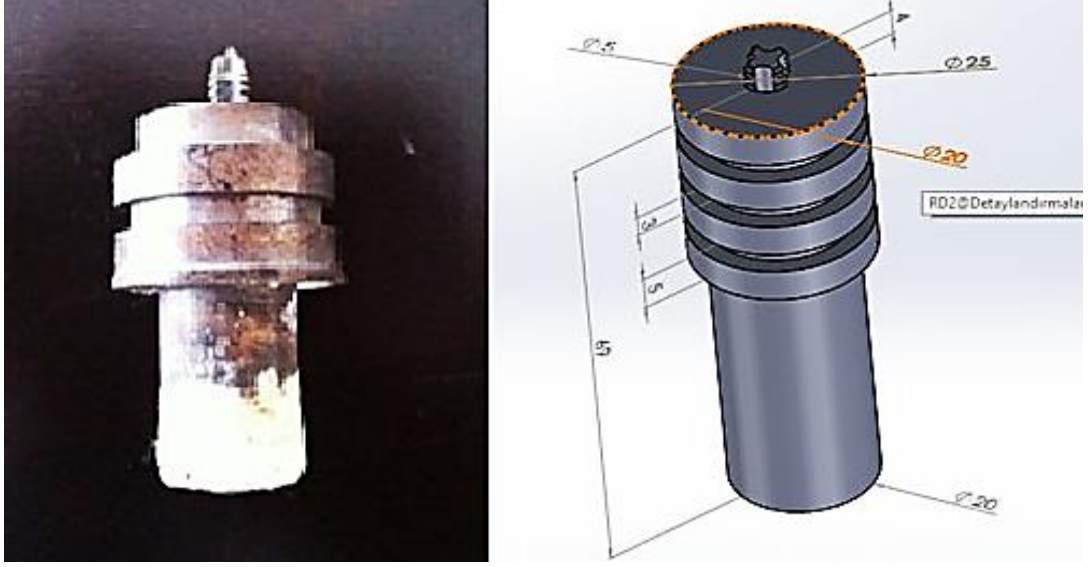


Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan freze tezgahı

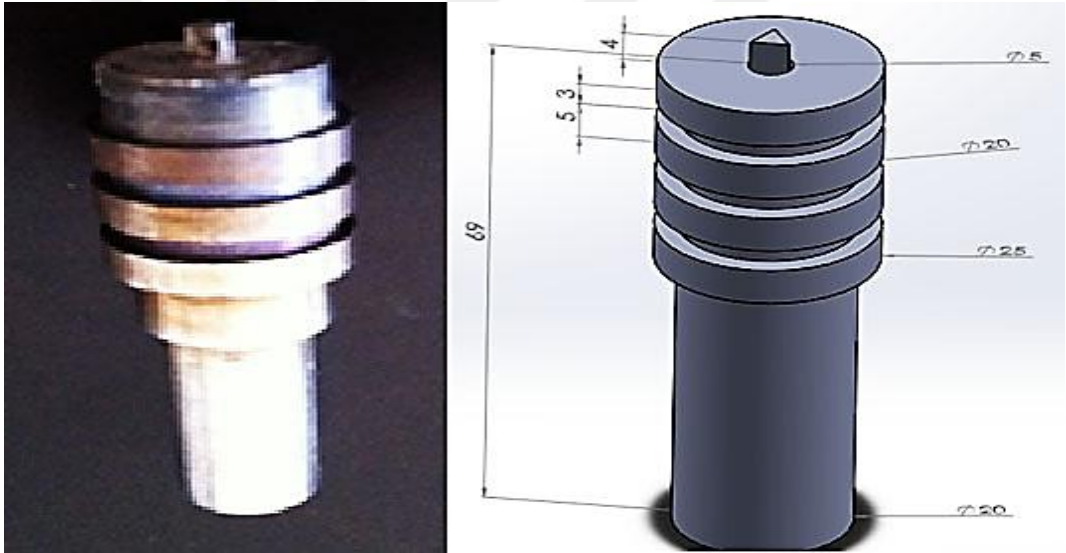
3.2.4. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan uç tipleri

Sürtünme karıştırma kaynağı sırasında diş ve üçgen olmak üzere iki farklı uç tipi kullanılmıştır. Uçlar omuz kısmı ayrı, uç kısmı ayrı olacak şekilde tasarlanmıştır. Omuz kısımları Ç1040 çeliğinden uç kısımları ise; dişli uç için M5 klavuz, üçgen uç için ise M5 matkap ucundan (HSS çeliği) yapılmıştır.

Dişli uç için Şekil 3.4 de görüldüğü üzere omuz kısmı boydan boya delinmiş, Ø 5 mm'lik klavuz omuz içine geçirilmiş ve üstten kaynatılmıştır.



Şekil 3.4. Dişli karıştırıcı uç tasarımı



Şekil 3.5. Üçgen karıştırıcı uç tasarımı

Üçgen uç için ise, $\varnothing 5$ mm' lik matkap ucu omuzdan geçirilmiş, uç kısmı taşlama tezgahında üçgen hale getirilmiş ve son olarak üstten omuza kaynatılmıştır. Şekil 3.5' de görüldüğü üzere omuzlar kademeli yapılmıştır. Bunun sebebi, kaynak sırasında pimin hava ile temas alanını artırarak sürtünmeden dolayı oluşan ısının tahliyesini kolaylaştırmaktır.

3.2.5. Numunelerin tezgaha bağlanması

Kaynak yapılacak malzemelerin kaynak yüzeyleri temizlendikten sonra alın altına getirilmiştir. Alın altına getirilen levhalar tablaya bağlanmış ve freze tablanın ilerleme doğrultusunda levhaların kaynak çizgisi paralel olarak ayarlanıp bağlama pabuçlarıyla sıkılmıştır. Bağlama pabuçlarının arka tarafına dengelemek için parça konulmuştur.

Levhalar bağlama pabuçlarına takılan dişli ve somunlarla sıkı bir şekilde tablaya montaj edilmiştir. Kaynak yapılacak levhaların kenarları pimin merkezini ayarlayarak sıfırlanmıştır. Frezede ayarlar sıfırlanmış ve kaynak yapmaya hazır konuma getirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Malzeme çiftinin freze tezgahına bağlama düzeneği

3.2.6. Sürtünme Karıştırma Kaynak Parametreleri

Yapılan literatür çalışmalarından sonra, freze tezgahının teknik özellikleri de dikkate alınarak birtakım ön denemeler yapılmıştır. Bu ön denemelerden sonra, ilk olarak freze tezgahı 1500 dev/dk. devir sayısı ve 100 mm/dk. ilerleme hızı ayarları yapılarak N1 nolu numune birleştirilmiştir. Daha sonra Tablo 3.2’de ki kaynak parametrelerinde devir sayısı, ilerleme hızı ve karıştırıcı uç profili değişkenlerine göre SKK ile 12 numune kaynatılmıştır.

Değişken parametre olarak devir sayısı, uç profili ve ilerleme hızının seçilme nedeni, devir sayısının ve uç profilinin bağlantı kalitesini belirleyen en önemli parametreler olmasıdır.

Tablo 3.2. Sürtünme karıştırma kaynak parametreleri

NUMUNE NO	DEVİR SAYISI	KARIŞTIRICI UÇ PROFİLİ	İLERLEME HIZI
N0			
N1	1500 dev/dk.	DİŞ	100 mm/dk
N2			160 mm/dk
N3			190 mm/dk
N4		ÜÇGEN	100 mm/dk
N5			160 mm/dk
N6			190 mm/dk
N7	2300 dev/dk.	DİŞ	100 mm/dk
N8			160 mm/dk
N9			190 mm/dk
N10		ÜÇGEN	100 mm/dk
N11			160 mm/dk
N12			190 mm/dk

3.2.7. Sürtünme karıştırma Kaynağının yapılışı

Kaynak yapılacak numuneler freze tezgâhına bağlandıktan sonra freze tezgâhının devir sayısı ve ilerleme hız ayarları yapılmıştır. Omuz kaynak işleminde her iki levhanın üzerine oturduğu kısım olduğundan omuz kısmının plakalara oturması kontrol edildi. Sürtünme karıştırma kaynak ucunun omuz kısmı, birleştirilecek her iki levha yüzeyine sürtündüğünden, sürtünme karıştırma kaynağında kritik olan sürtünme ısısının elde edilmesinde rol oynamaktadır. Kaynak dikişini üstten örterek, kaynak esnasında hamur kıvamına gelen ve ucun dönmesinden dolayı yukarı doğru hareket eden malzemenin hareketini kısıtlar; bu durumda malzeme omuz tarafından aşağı doğru itilir. Sürtünme karıştırma kaynağı işleminde magnezyum alaşımı malzemeye kaynak işlemi öncesinde

herhangi bir oksit giderme işlemi yapılmamıştır ve Şekil 3.7’de gösterilen aşamalarda kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Sürtünme karıştırma kaynağı yapım aşamaları

3.3. Kaynak Sonrası Yapılan İncelemeler

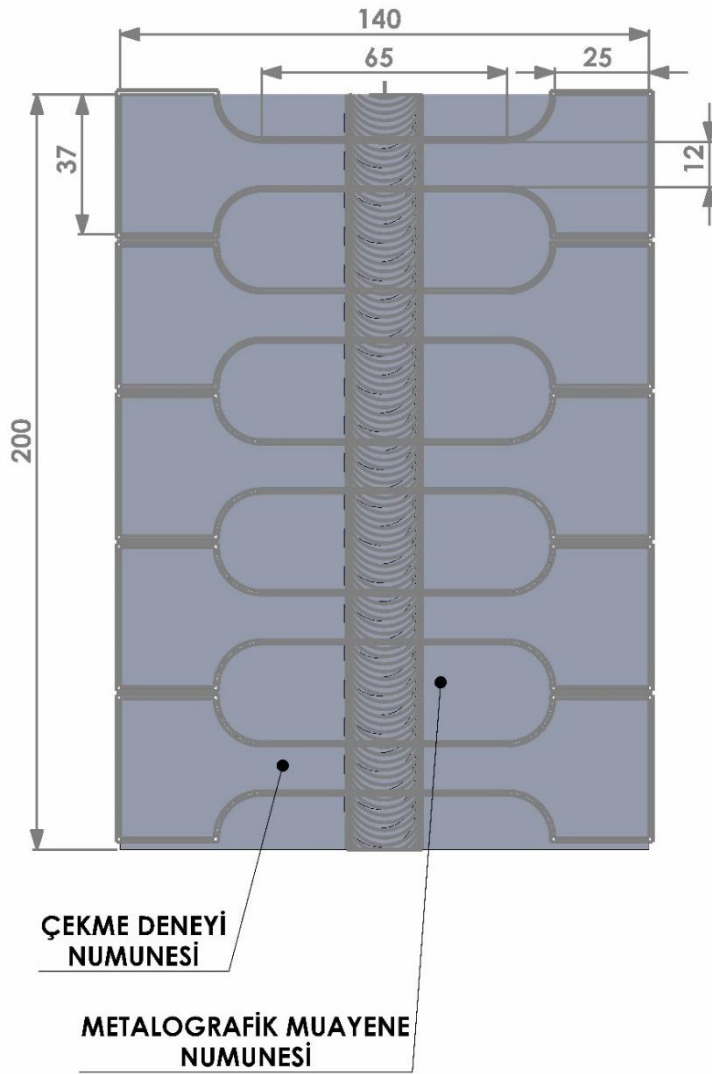
3.3.1. Metalografik İncelemeler

Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş numuneleri makroskobik olarak incelemek için Fujifilm Finepix J 38 marka fotoğraf makinası ile makroskobik fotoğraflar çekilmiştir. Kaynak işleminden sonraki numune fotoğrafı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

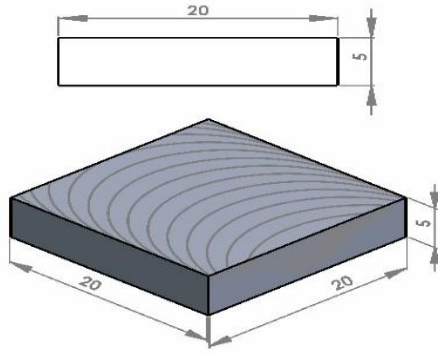


Şekil 3.8. Metalografik incelemeler öncesi kaynaklı numune

Farklı parametrelerde kaynak yapılan levhalar kaynak işleminden sonra, birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişikliklerin incelenmesi ve mekanik test numunelerinin hazırlanması için CNC freze ile hazır hale getirilmiştir. Numuneler CNC frezede Şekil 3.9 da çıkarılan ölçülerde kesildikten sonra mikroyapısal analiz için, sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh'lik zımpara ile zımparalandıktan sonra 3 µm' lik elmas pasta ile parlatılarak dağlamaya hazır hale getirilmiştir. Daha sonra numuneler 5 g pikrik asit, 5 ml asetik asit, 10 ml su ve 100 ml etanol ile 5 saniye bekletilerek dağlanmıştır. Mikroyapı incelemeleri için kullanılan numunenin son hali Şekil 3.10' da görülmektedir.



Şekil 3.9. Metalografik incelemeler ve mekanik test numunelerinin hazırlanması



Şekil 3.10. Metalografik incelemelerde kullanılan numune boyutları

Dağlama işlemi gerçekleştirildikten sonra, kaynak bölgesi ve kaynağa yakın bölgelerde meydana gelen mikroyapısal değişikliklerin gözlemlenmesi için numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Bu incelemeler, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi laboratuvarlarında bulunan Sem Jeol Jsm-6510lv düşük vakumlu taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise, aynı cihaz yardımı ile kaynak bölgesinde ve kaynağa yakın bölgelerde oluşan fazların kimyasal içerikleri Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) analizleri ile tespit edilmiştir.

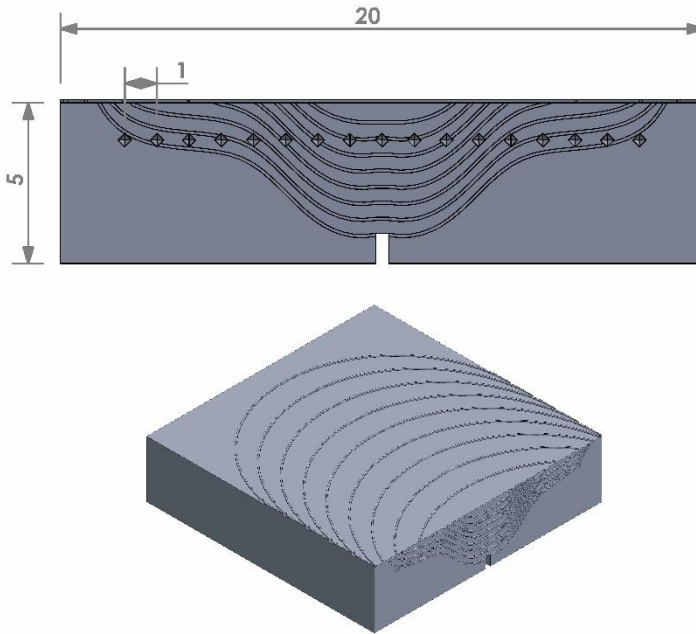
3.3.2. Mikrosertlik Analizi

Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin sertlik değişimlerini incelemek amacı ile mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri yapılmadan önce numuneler metalografik olarak hazırlanıp dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin mikrosertlik ölçümleri Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında bulunan EMCOTEST DuraScan marka mikrosertlik cihazı ile 500 gr yük uygulanarak, numunelerin tam orta ekseninden ve kaynak kesitine dik olacak şekilde bir hat üzerinden 1 mm aralıklarla ve 10 sn'lik yükleme hızında gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçümünün gerçekleştirildiği cihaz Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Mikrosertlik cihazı

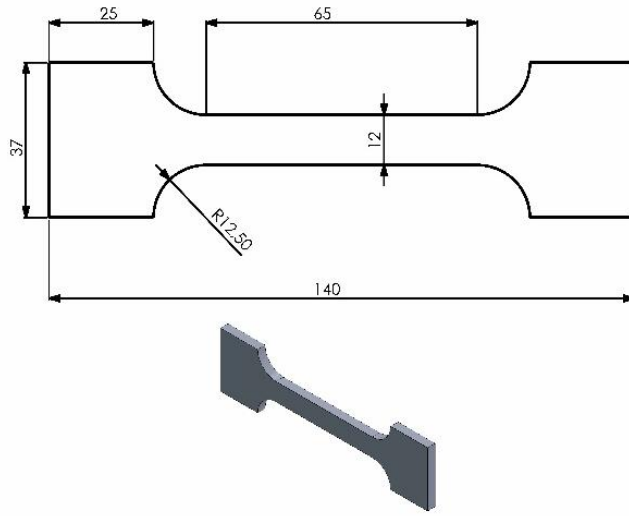
Ölçümlerde 136° tabanı kare olan piramit uç kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı bölgeler Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Mikrosertlik ölçümü yapılan noktaların şematik gösterimi

3.3.3. Çekme Deneyi

Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış numunelere çekme testi uygulamak amacı ile kaynak yapılmış numuneler CNC freze makinasında kesilerek hazırlanmıştır. Şekil 3.13'deki gibi işlenmiş ve TS 287'ye (EN 895) uygun ölçülere getirilmiştir. Her kaynaklı numuneden 5 adet çekme deneyi numunesi çıkmış bunlardan da 2 adetine çekme deneyi uygulanmıştır.



Şekil 3.13. Çekme deney numunelerine ait ölçüler

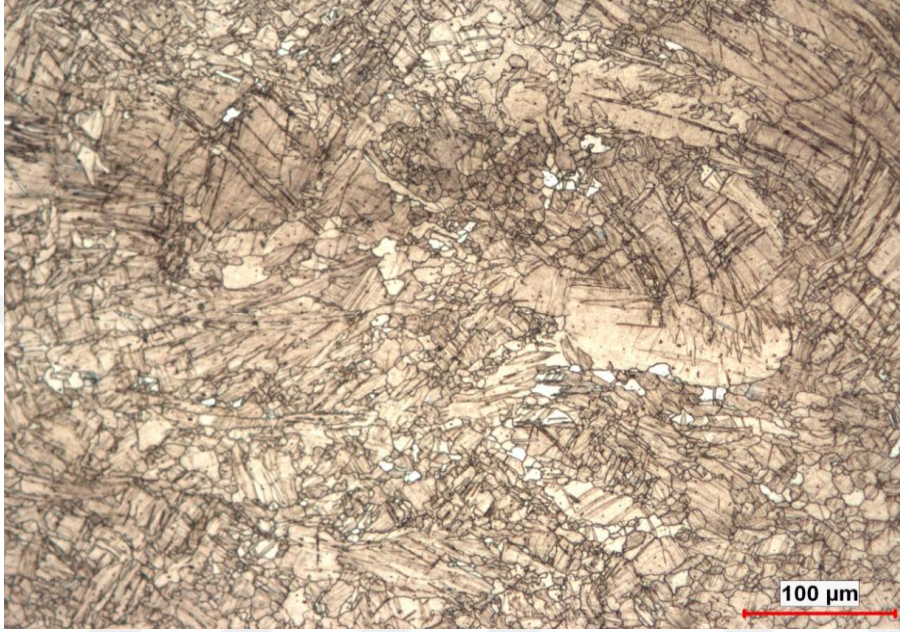
Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış numunelerin çekme deneyleri, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan, *SHIMADZU AG-X 50 KN* marka çekme cihazı ile 1mm/dk çekme hızında standartlara uygun olarak yapılmıştır. Tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapıldığı çekme cihazı Şekil 3.14'de gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Çekme deney cihazı

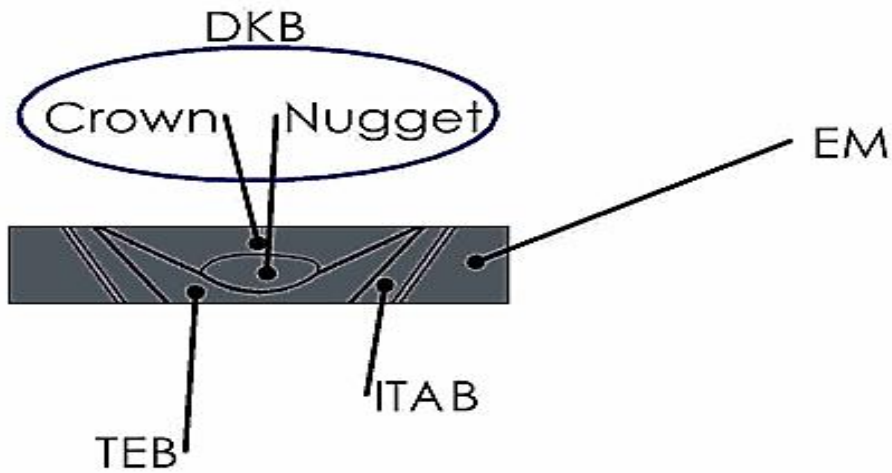
4. BULGULAR

4.1. Kaynaklı Bağlantıların Mikroyapı Değerlendirmesi



Şekil 4.1. AZ31B Mg alaşımasının mikroyapı fotoğrafı

AZ31B Mg alaşımasının kaynaktan önceki mikroyapı fotoğrafı Şekil 4.1.'de görülmektedir. Bu alaşım fotoğrafı incelendiğinde eş eksenli ve homojen tane yapıları görülmektedir.



Şekil 4.2. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan içyapının şematik görünümü.

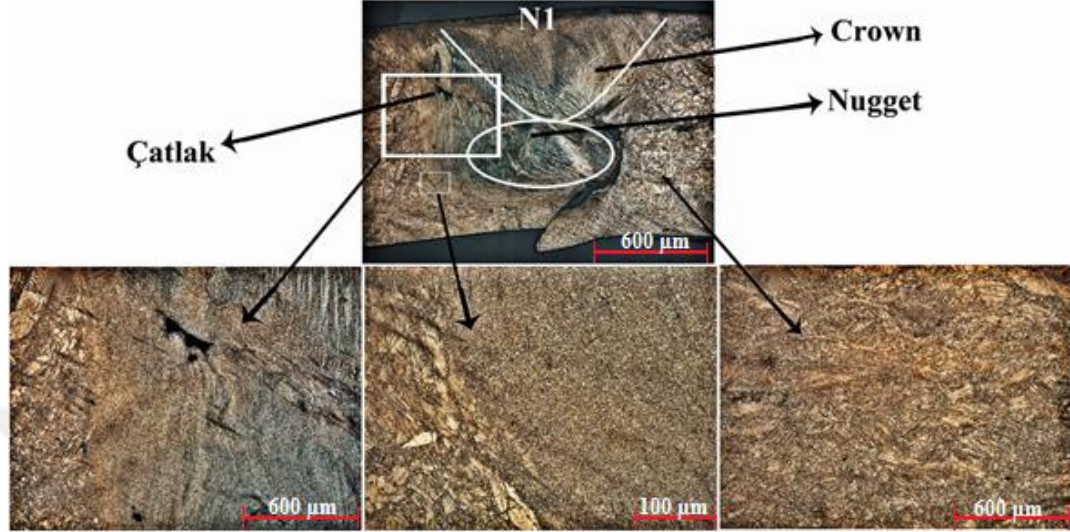
Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış numuneler incelenirken kaynaklı numunenin mikroyapı bölgesinin dört farklı bölgeden oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu bölgeler şekildeki gibi; Esas Metal (EM), Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB), Termomekanik Olarak Etkilenmiş Bölge (TEB) ve Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge (DKB) olarak incelenir. DKB bölgesi de Crown ve Nugget olarak ikiye ayrılır. (Şekil 4.2).

Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB): SKK işlemi esnasındaki yoğun plastik deformasyon ve sürünme ile oluşan ısı karıştırma bölgesinde yeni kristalleşmiş küçük taneli bir mikroyapı oluşturur. Bazı durumlarda bu bölgede “soğan halkası” şeklinde bir mikroyapı oluşur. Yeniden kristalleşmiş tanelerin içinde genelde düşük bir dislokasyon yoğunluğu vardır. Bununla birlikte bazı araştırmacılar bu bölgedeki küçük yeniden kristalleşmiş tanelerin yüksek yoğunluktan alt sınırlar, alt tanecikler ve dislokasyonlar içerdiğini saptamıştır. Yeniden kristalleşmiş DKB bölgesi ve ana malzeme arasındaki arayüzey, takımın firar kenarında dağınık iken hücum kenarında oldukça keskindir.

Termomekanik Olarak Etkilenmiş Bölge (TEB): SKK işlemine özgün bir şekilde, karıştırma bölgesi ile ana malzeme arasında “termo-mekanik etkilenmiş bölge” (TEB) adı verilen bir geçiş bölgesi oluşur. Bu bölge hem sıcaklıktan hem de deformasyondan etkilenmiştir. Bu bölgede plastik deformasyon görülmekle birlikte yeterli deformasyon uzaması olmadığından yeniden kristalleşme gerçekleşmez. Bununla birlikte yüksek sıcaklıktan ötürü bazı çökelti fazlarının çözülmesi gözlenmiştir. Çözülmenin miktarı bu bölgenin maruz kaldığı termal çevrime bağlıdır. TEB deki taneler genelde yüksek yoğunlukta alt sınırlar içerir.

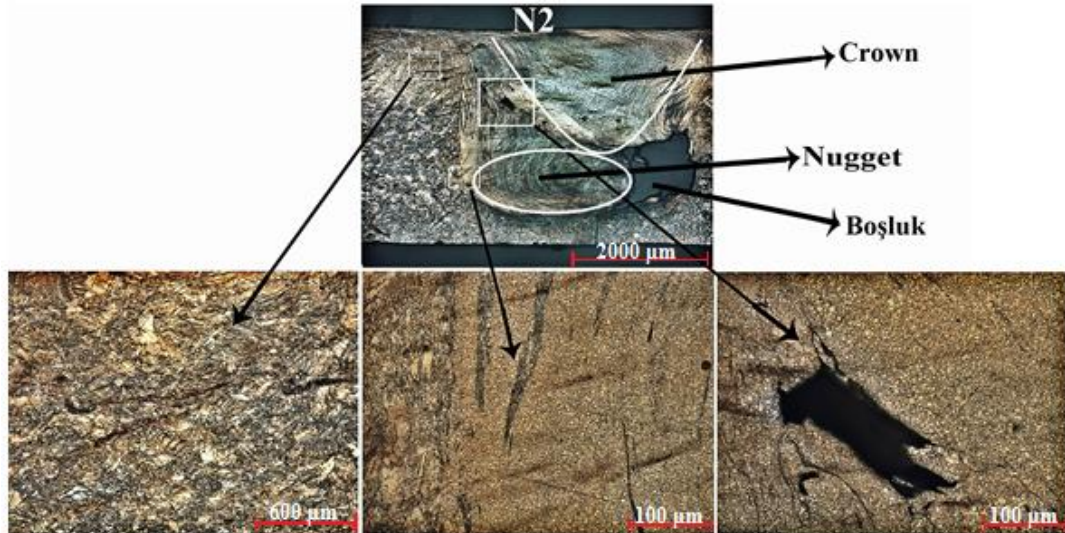
Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB): TEB’in hemen yanında ısıdan etkilenmiş bir bölge bulunmaktadır, bu bölge termal çevrime maruz kalmaktadır. Ancak plastik deformasyon yoktur. Bu bölge alınan malzeme ile aynı tane yapısına sahiptir. Fakat 250 °C ‘nin üzerindeki sıcaklıklar çökelti yapısını önemli ölçüde değiştirmektedir [45].

4.1.1. 1500 dev/dk, Dişli Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikroyapı Değerlendirmeleri



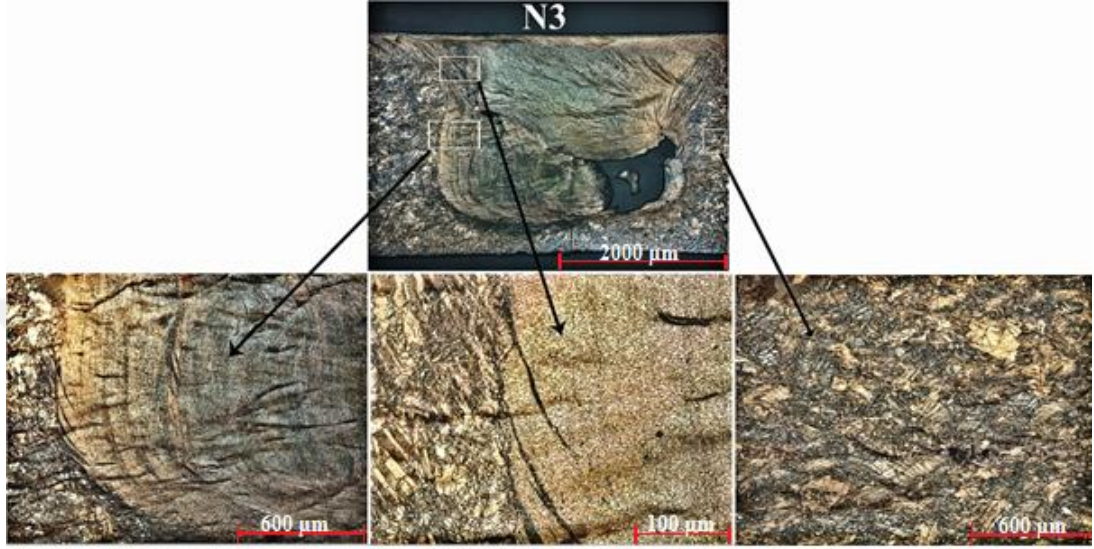
Şekil 4.3. N1 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

1500 dev/dk devir sayısı, dişli uç ve 100 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı kaynaklı bağlantılara ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.3'de verilmiştir. Numunede ilk olarak genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır.



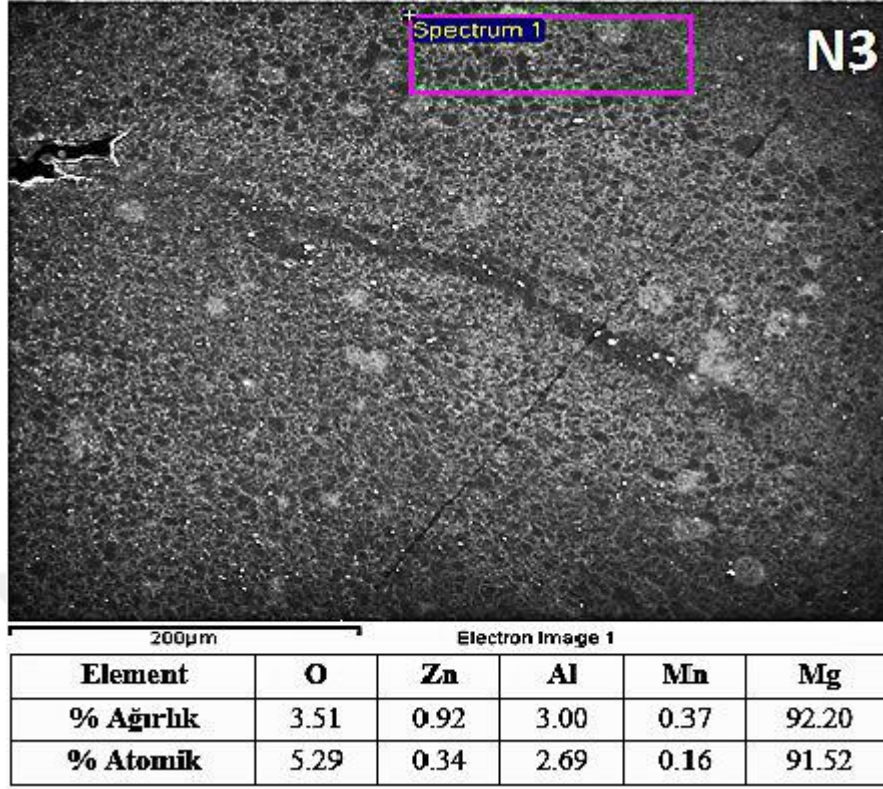
Şekil 4.4. N2 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

1500 dev/dk devir sayısı, dişli uç ve 160 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N2 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.4’de verilmiştir. Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır.



Şekil 4.5. N3 no’lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

1500 dev/dk devir sayısı, dişli uç ve 190 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N3 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.5’de verilmiştir. Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır. Aynı zamanda bu numuneye EDS analizi yapılmıştır (Şekil 4.6).



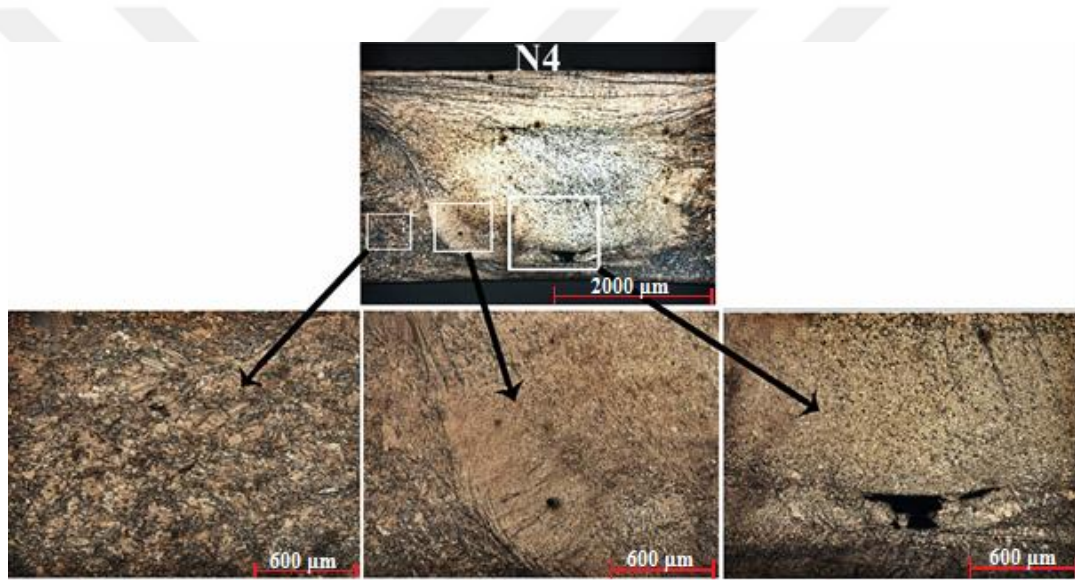
Şekil 4.6. N3 no'lu numunenin EDS analizi

Farklı ilerleme hızlarında kaynak yapılmış olan N1,N2 ve N3 numunelerinin SEM fotoğrafları incelendiğinde N1 numunesindeki boşluğun N2 ve N3 numunesine göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni düşük ilerleme hızının yüksek ısı girdisine sebep olması dolayısıyla malzemenin daha fazla yumuşayarak taşınmanın kolaylaşmasıdır. DKB bölgesine yaklaştıkça yeniden kristalleşmiş daha ince ve homojen görünümlü bir tane yapısı oluşmuştur. ITAB bölgesine yaklaştıkça tanelerde irileşme gözlenmiştir. Bu yüzden ITAB bölgesi SKK de birleşmenin en zayıf olduğu bölgedir. EM bölgesi resimlerine bakıldığında ise DKB bölgesinden EM bölgesine yaklaştıkça yine ana malzemenin mikroyapısının tane sınırları boyunca yayılmış ve tanelerin irileştiği gözlenmiştir. Artan kaynak hızı ile kaynak metalinde yönelmelerinin arttığı görülmüştür. Literatür incelemelerinde AZ31 magnezyum alaşımlarının SKK da genellikle kaynak hatası (boşluk) ortaya çıkmıştır. Bu durum magnezyum alaşımlarının SKK da görülen karakteristik bir hatadır. N2 ve N3 numunelerindeki boşluk hacimleri birbirine yakın olmasına rağmen N3 numunesinin çekme dayanımı daha yüksek çıkmıştır. N1,N2 ve N3 numunelerinin çekme dayanımları karşılaştırıldığında kaynaklı numunelerdeki boşluk miktarı ve literatür bilgileri esas

alındığında N1 numunesinin çekme dayanımının en yüksek değerde olması gerekmektedir. Çalışmada bunun aksine N1 numunesinin çekme dayanımının düşük çıkma sebebi Nuggetin sol üst kenarından başlayarak yüzeye kadar devam eden kaynak hatasıdır. (Çatlak)

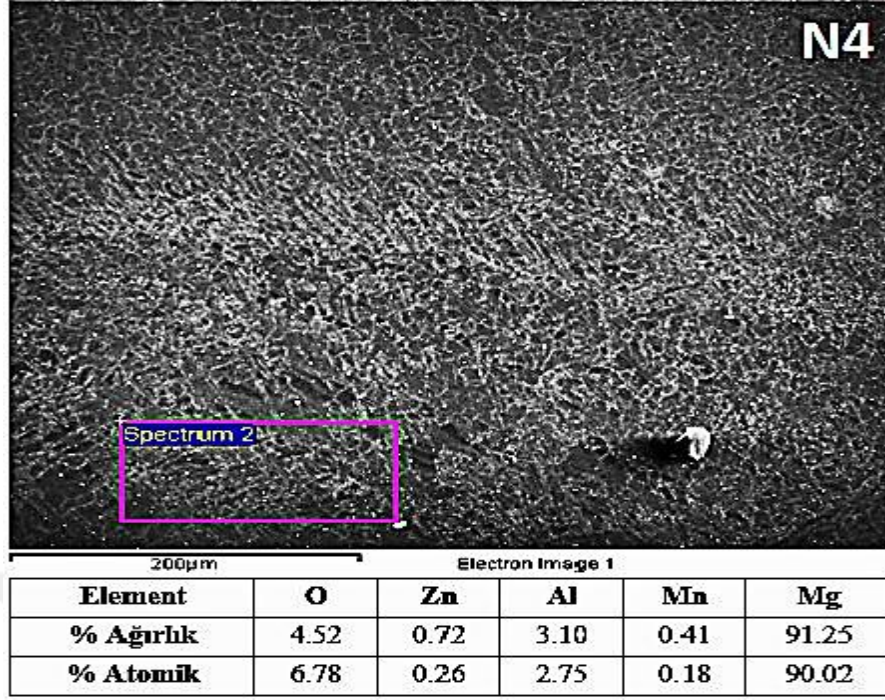
Bu gruptaki numunelerden kaynak açısından en iyi bağlantının sağlandığını düşündüğümüz N3 numunesinin DKB bölgesinde EDS analizi yapılmıştır. Bu EDS analizi incelendiğinde AZ31B Mg alaşımının içeriğinde bulunan elementlerin dışında herhangi bir element geçişi tayin edilmemiştir.

4.1.1. 1500 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikroyapı Değerlendirmeleri

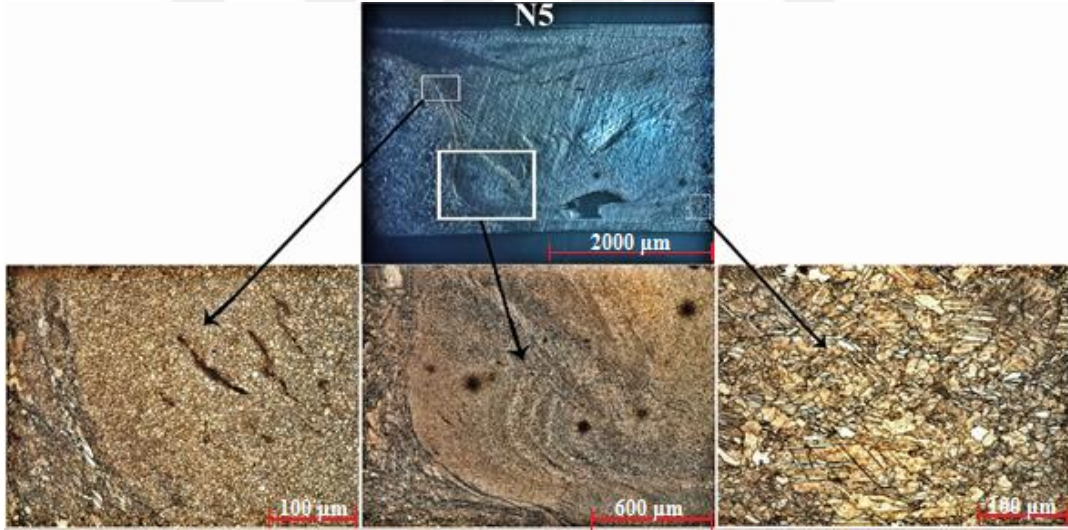


Şekil 4.7. N4 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

1500 dev/dk devir sayısı, üçgen uç ve 100 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N4 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.7'de verilmiştir. Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır. Ayrıca bu numuneye EDS analizi yapılmıştır (Şekil 4.8.).

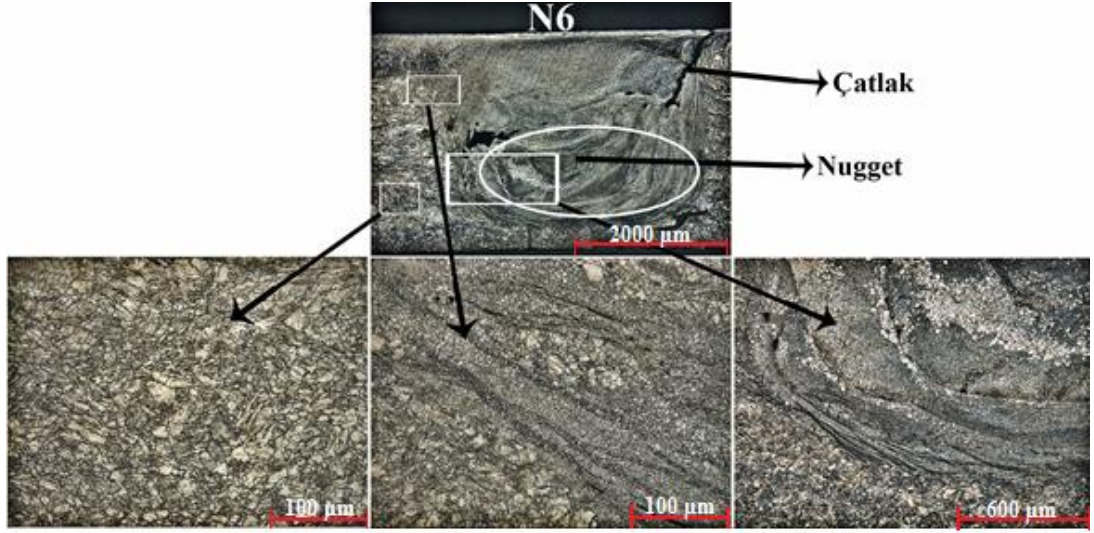


Şekil 4.8. N4 no'lu numunenin EDS analizi



Şekil 4.9. N5 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

1500 dev/dk devir sayısı, üçgen uç ve 160 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N5 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.9'da verilmiştir. Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır.



Şekil 4.10. N6 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

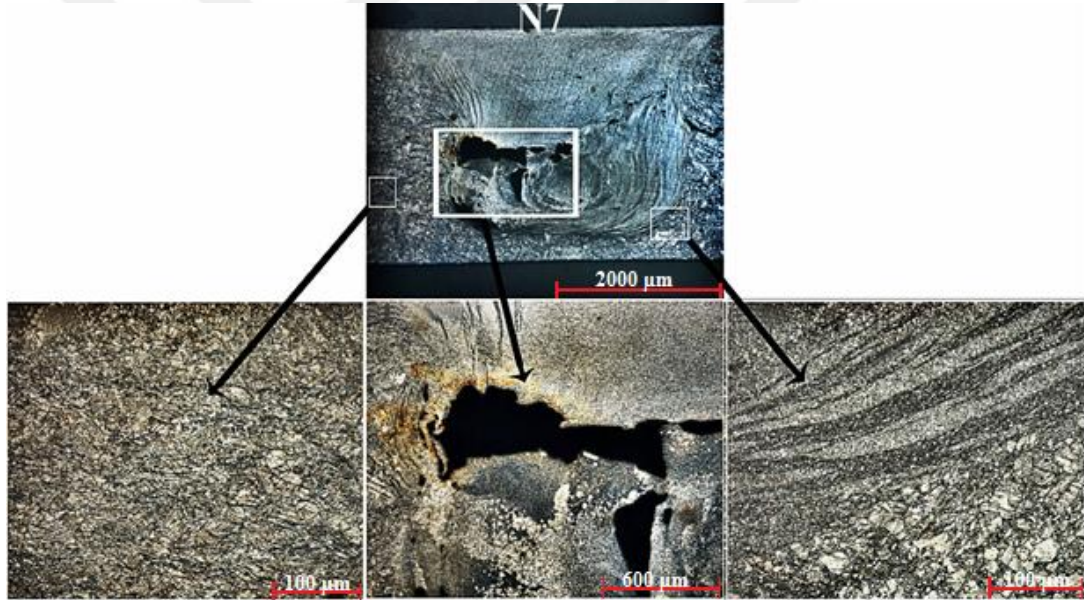
1500 dev/dk devir sayısı, üçgen uç ve 190 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N6 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.10'da verilmiştir. Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır.

Farklı ilerleme hızlarında kaynak yapılmış olan N4,N5 ve N6 numunelerinin SEM fotoğrafları incelendiğinde 1500 dev/ dk devir sayısında üçgen uç kullanıldığı zaman dişli uç kullanımına göre kaynak profili açısından daha iyi birleştirmelerin elde edildiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni üçgen uç profili ile sürtünme sonucu yuuşayan malzemenin daha kolay taşınmasıdır. N4 numunesinde en düşük ilerleme hızı kullanılmasına rağmen DKB' nin N5 ve N6 numunelerine göre daha geniş olduğu ve N5 numunesinin de N6 numunesine göre daha geniş bir DKB bölgesine sahip olduğu ve daha iyi bağlantı sağlandığı gözlenmiştir. Çekme deneyi sonuçları da bunu desteklemektedir. Düşük kaynak hızının uygulandığı birleştirmelerde ısı girdisinin artması ile daha iyi bir birleştirme gerçekleştirildiği literatür bilgisine paralellik göstermektedir. Bu durum N4,N5 ve N6 ya ait ara yüzeysel fotoğraflarında açıkça görülmektedir. N6 numunesinin çekme mukavemetinin N4 ve N5 numunelerinin çekme mukavemetinden düşük olmasının nedeni N6 numunesindeki birleşme hatasıdır.(Nuggetın sağ kenarından başlayıp yüzeye kadar uzayan çatlak) DKB, TEB ve ITAB bölgesinden alınmış SEM fotoğrafları incelendiğinde tüm numunelerde DKB bölgesine yaklaştıkça yeniden kristalleşmiş daha ince ve homojen görünümlü bir tane yapısı oluşmuştur. TEB ve ITAB bölgelerinde tanelerin yönlendiği ve

EM bölgesi resimlerine bakıldığında ise DKB bölgesinden EM bölgesine yaklaştıkça ana malzemenin mikro yapısının tane sınırları boyunca yayılmış ve tanelerin irileştiği gözlenmiştir.

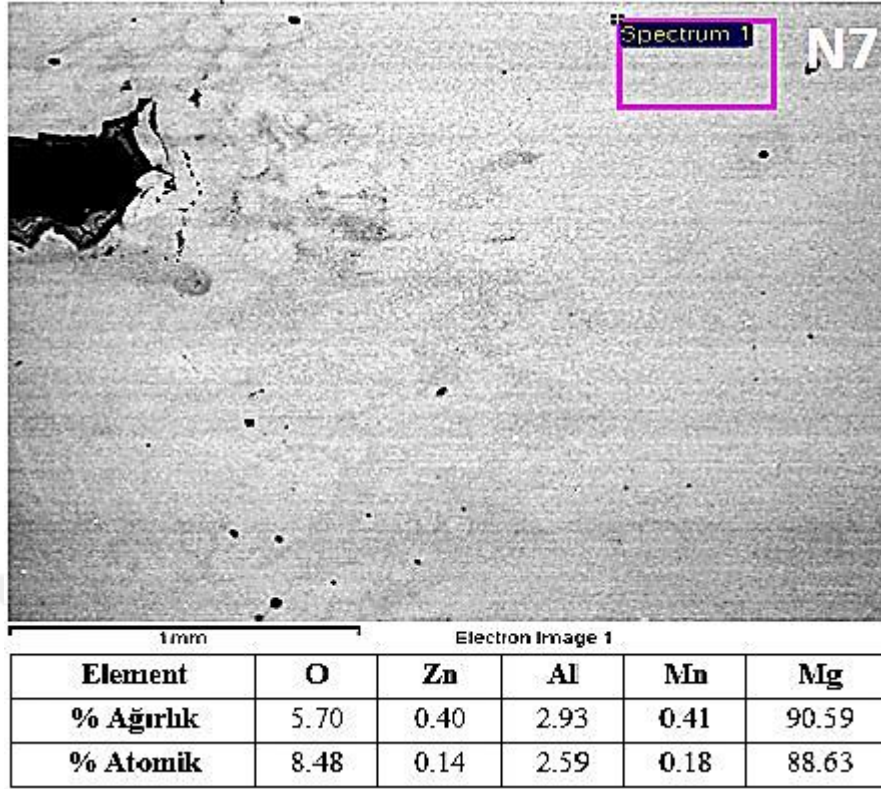
Bu gruptaki numunelerden kaynak açısından en iyi bağlantının sağlandığını düşündüğümüz N4 numunesinin DKB bölgesinde EDS analizi yapılmıştır. Bu EDS analizi incelendiğinde, oksijen elementinin miktarının ana malzemenin oksijen elementi miktarından fazla çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni ısı girdisiyle birlikte magnezyumun oksijen elementine olan afinitesinin artmasıdır.

4.1.2. 2300 dev/dk, Dişli Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikroyapı Değerlendirmeleri

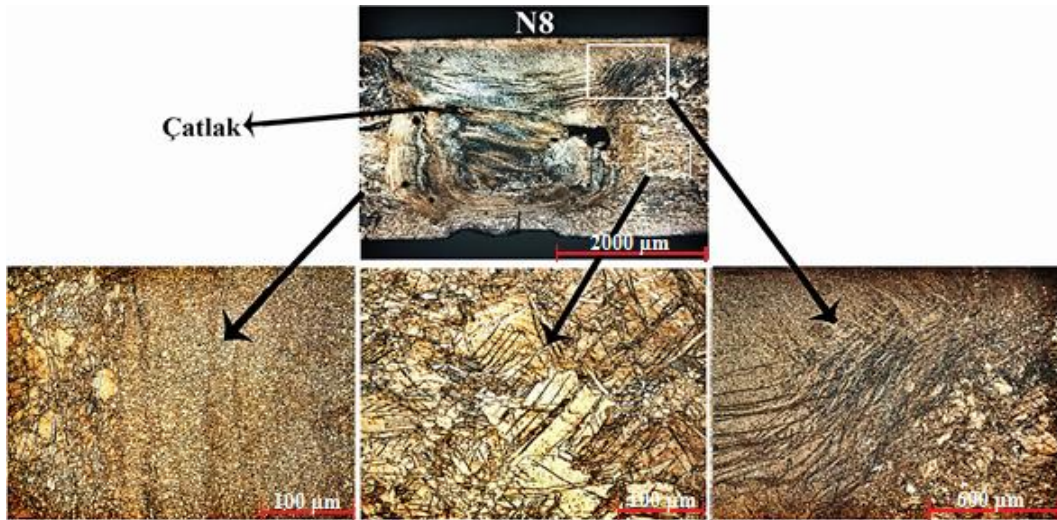


Şekil 4.11. N7 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

2300 dev/dk devir sayısı, dişli uç ve 100 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N7 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.11'de verilmiştir. Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır. Ayrıca bu numuneye EDS analizi yapılmıştır (Şekil 4.12).

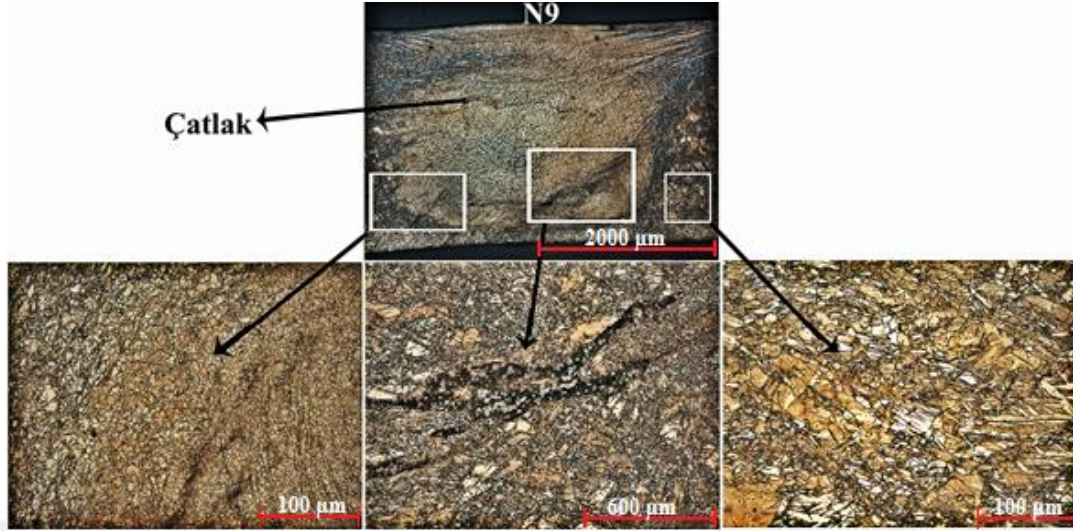


Şekil 4.12. N7 no'lu numunenin EDS analizi



Şekil 4.13. N8 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

2300 dev/dk devir sayısı, dişli uç ve 160 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N8 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.13'de verilmiştir. Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır.



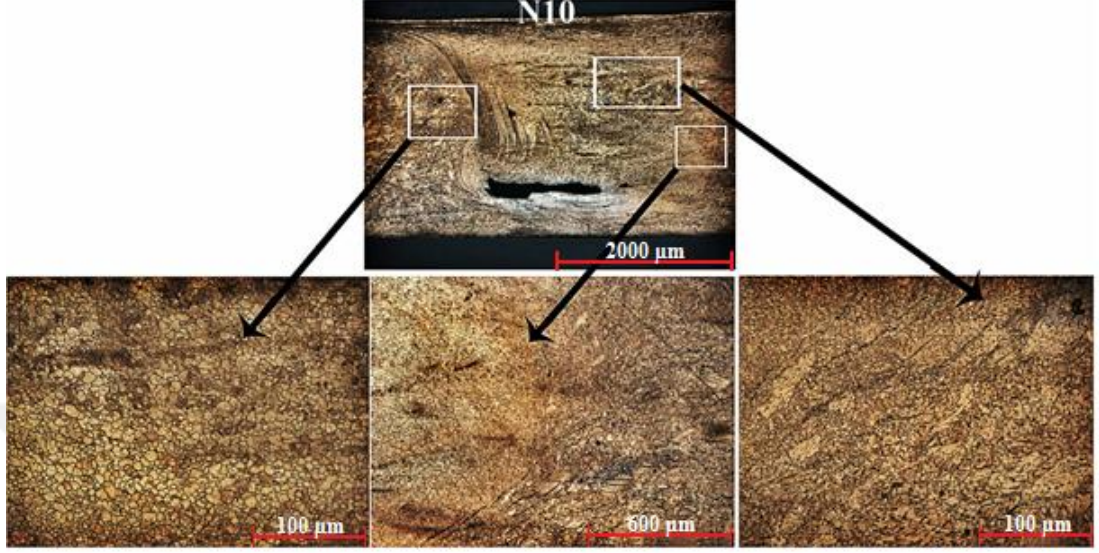
Şekil 4.14. N9 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

2300 dev/dk devir sayısı, dişli uç ve 190 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N9 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.14'de verilmiştir. Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır.

Farklı ilerleme hızlarında kaynak yapılmış olan N7, N8 ve N9 numunelerinin SEM fotoğrafları incelendiğinde dişli uç kullanımında ilerleme hızının artması ile kaynak profili açısından daha iyi kaynaklı birleştirmeler elde edilmiştir. 100 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N7 numunesinde DKB bölgesi ile TEB bölgesi arasında ciddi bir boşluk oluşmuştur. N8 Numunesinde bu boşluk daha az iken, N9 numunesinde nerdeyse boşluk bulunmamaktadır. DKB, TEB ve ITAB bölgesinden alınmış SEM fotoğrafı incelendiğinde tüm numunelerde DKB bölgesine yaklaştıkça yeniden kristalleşmiş daha ince ve homojen görünümlü bir tane yapısı oluşmuştur. TEB ve ITAB bölgelerinde tanelerin yönlendiği ve EM bölgesi resimlerine bakıldığında ise DKB bölgesinden EM bölgesine yaklaştıkça ana malzemenin mikro yapısının tane sınırları boyunca yayılmış ve tanelerin irileştiği gözlenmiştir.

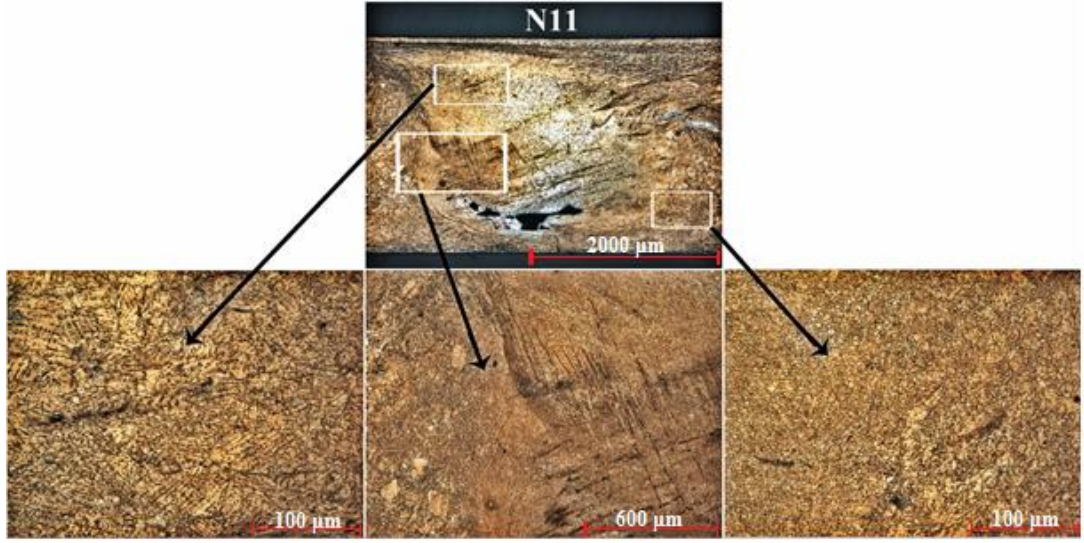
Bu gruptaki numunelerden kaynak profili açısından düzgün olmayan fakat grubun en iyi çekme mukavemetine sahip N7 numunesinin DKB bölgesinde EDS analizi yapılmıştır. Bu EDS analizi incelendiğinde N4 numunesinde olduğu gibi oksijen elementinin ana malzemenin oksijen elementinin miktarından fazla çıktığı tespit edilmiştir.

4.1.3. 2300 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikroyapı Değerlendirmeleri



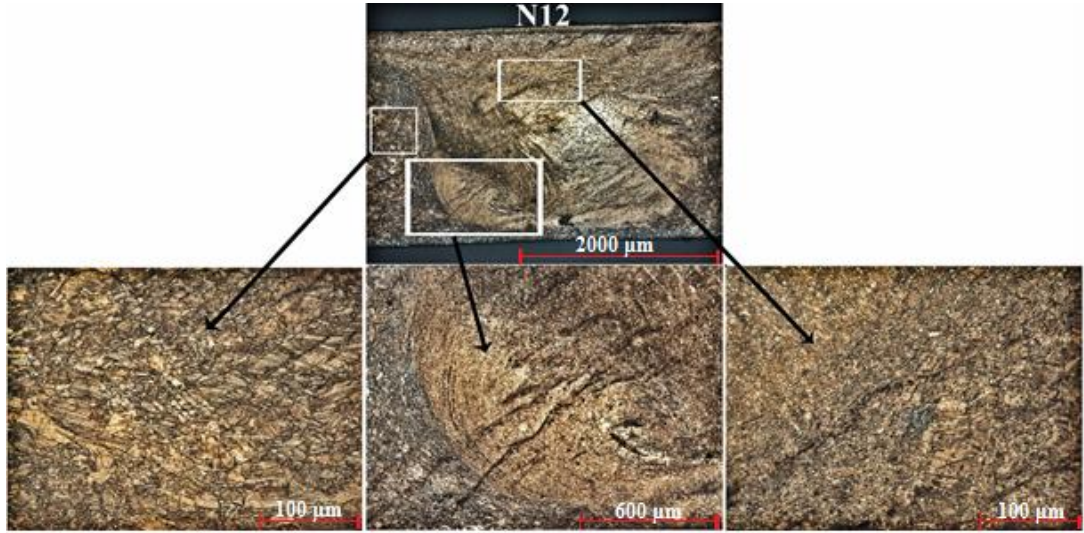
Şekil 4.15. N10 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

2300 dev/dk devir sayısı, üçgen uç ve 100 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N10 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.15'de verilmiştir. Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır.



Şekil 4.16. N11 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

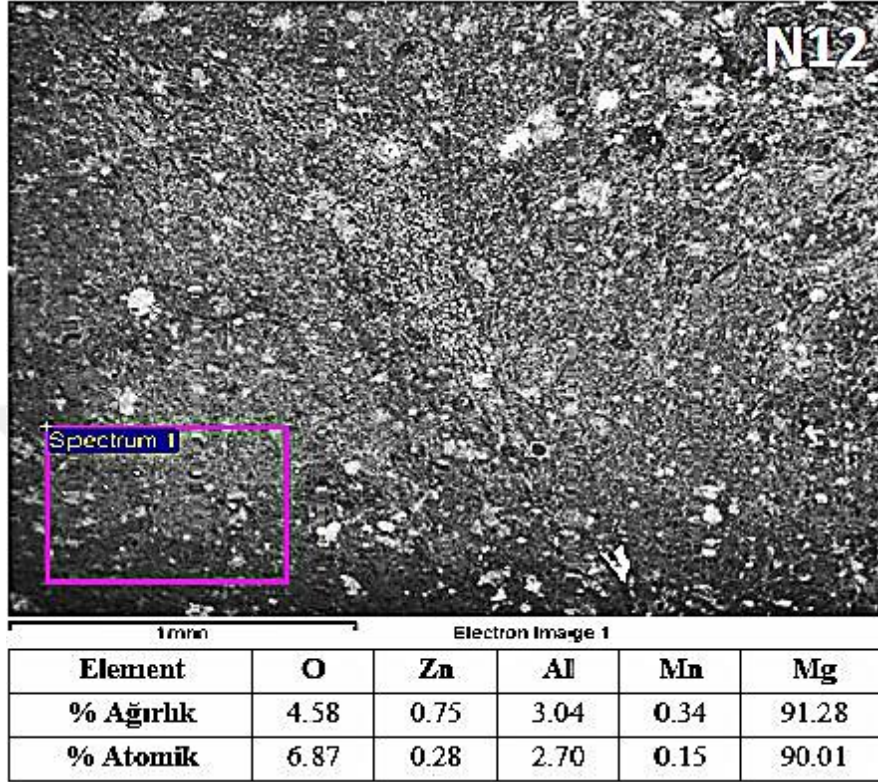
2300 dev/dk devir sayısı, üçgen uç ve 160 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N11 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.16'da verilmiştir. Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır.



Şekil 4.17. N12 no'lu numunenin arayüzey SEM görüntüleri

2300 dev/dk devir sayısı, üçgen uç ve 190 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı N12 numunesine ait kaynak sonrası arayüzey SEM fotoğrafları Şekil 4.17'de verilmiştir.

Numunenin öncelikle genel SEM fotoğrafı alınmış, daha sonra ise DKB, TEB, ITAB ve EM bölgelerinden SEM fotoğrafları alınmıştır.



Şekil 4.18. N12 no'lu numunenin EDS analizi

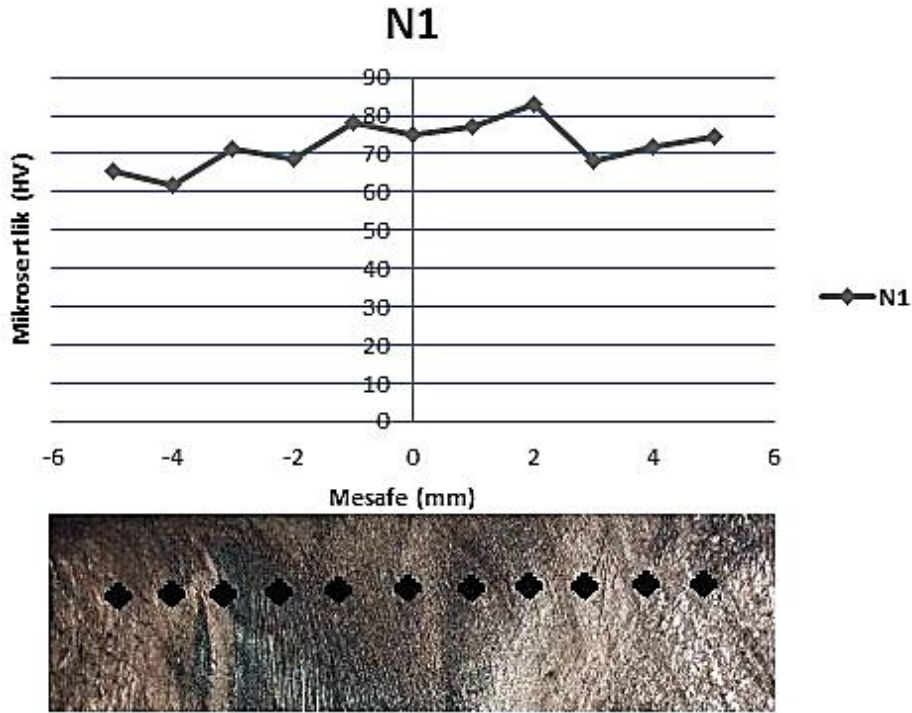
Farklı ilerleme hızlarında kaynak yapılmış olan N10, N11 ve N12 numunelerinde devir sayısını artması ile üçgen uç kullanımında ilerleme hızının artması, hem kaynak profili hem de çekme gerilmesi açısından daha iyi kaynaklı birleştirmeler elde edilmiştir. DKB, TEB ve ITAB bölgesinden alınmış SEM fotoğrafları incelendiğinde, tüm numunelerde DKB bölgesine yaklaştıkça yeniden kristalleşmiş daha ince ve homojen görümlü bir tane yapısı oluşmuştur. TEB ve ITAB bölgelerinde tanelerin yönlendiği ve EM bölgesi resimlerine bakıldığında ise DKB bölgesinden ITAB bölgesine yaklaştıkça tanelerin irileştiği gözlenmiştir.

Bu gruptaki numunelerden hem kaynak profili açısından düzgün hem de en iyi çekme mukavemetine sahip N12 numunesinin DKB bölgesinde EDS analizi yapılmıştır (Şekil 4.18). Bu EDS analizi incelendiğinde N4 ve N7 numunelerinde olduğu gibi oksijen elementi miktarının ana malzemenin oksijen elementi miktarından fazla çıktığı görülmüştür.

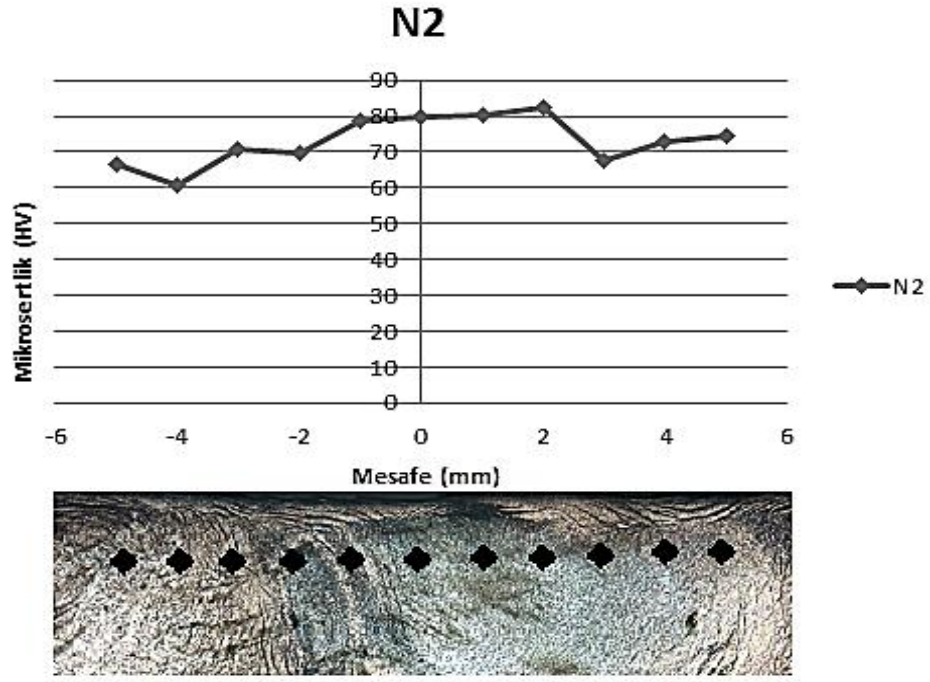
4.2. Mikrosertlik Sonuçları

AZ31B Mg alaşımına kaynak işlemi gerçekleştirilmeden önce mikrosertlik analizi yapılmıştır. Bunun için malzemenin 10 farklı noktasından ölçüm yapılmış ve ortalama sertlik değeri hesaplanmıştır. Bu analizin sonucunda AZ31B Mg alaşımının ortalama sertlik değerinin 65 HV olduğu tespit edilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış numunelerin farklı devir sayısı, farklı uç tipleri ve farklı ilerleme hızlarındaki sertlik değişimlerini gözlemlemek amacıyla mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu sertlik değerleri incelendiğinde tüm numunelerde kaynak bölgesine yaklaştıkça sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiş ve kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ana malzemenin sertlik değerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

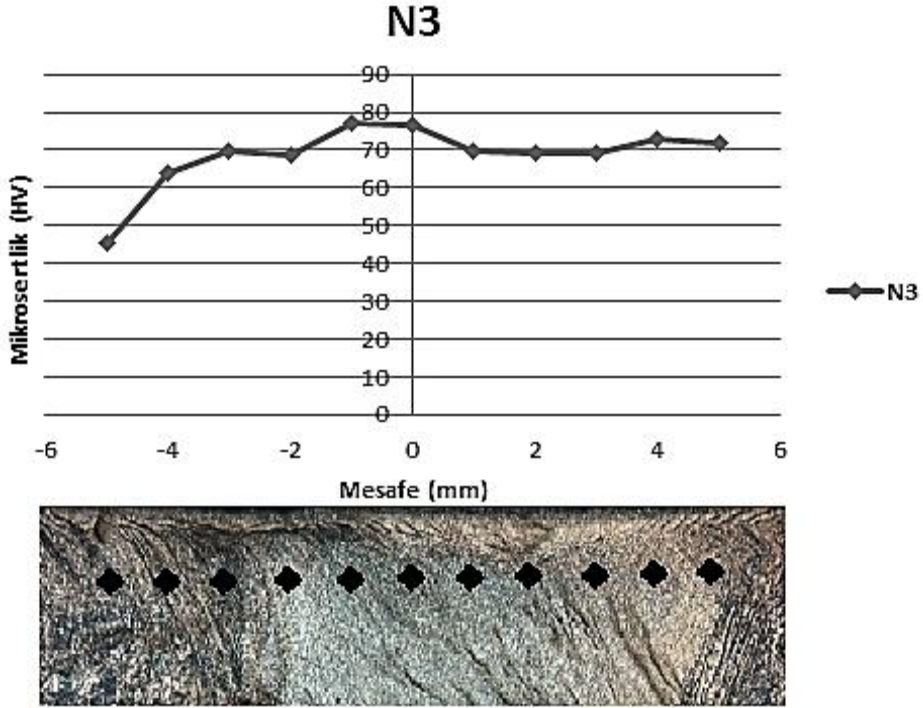
4.2.1. 1500 dev/dk, Dişli Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikrosertlik Değerlendirmeleri



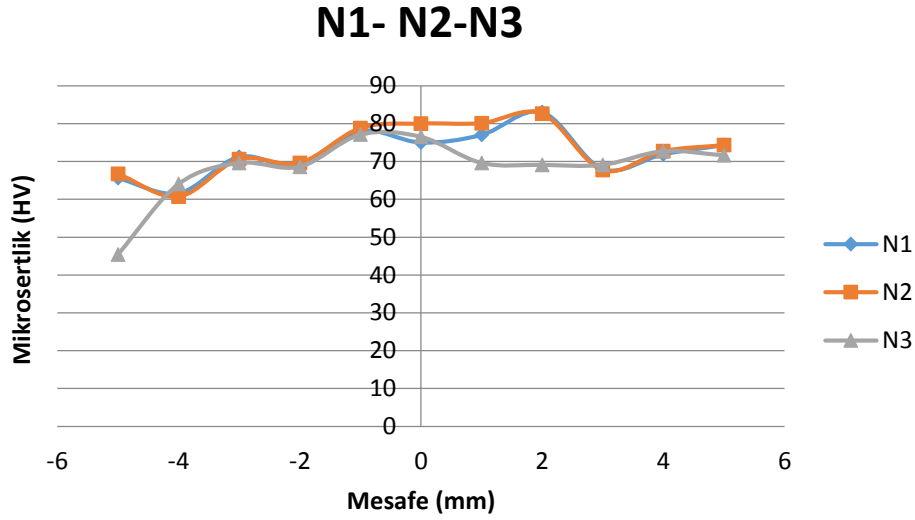
Şekil 4.19. N1 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.20. N2 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.21. N3 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı

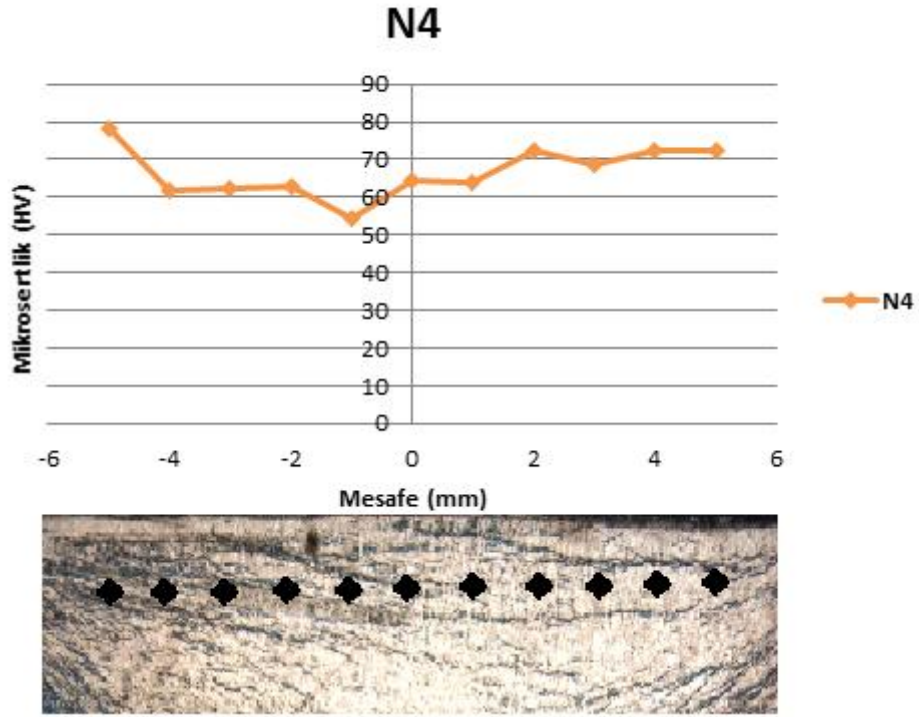


Şekil 4.22. N1-N2-N3 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı

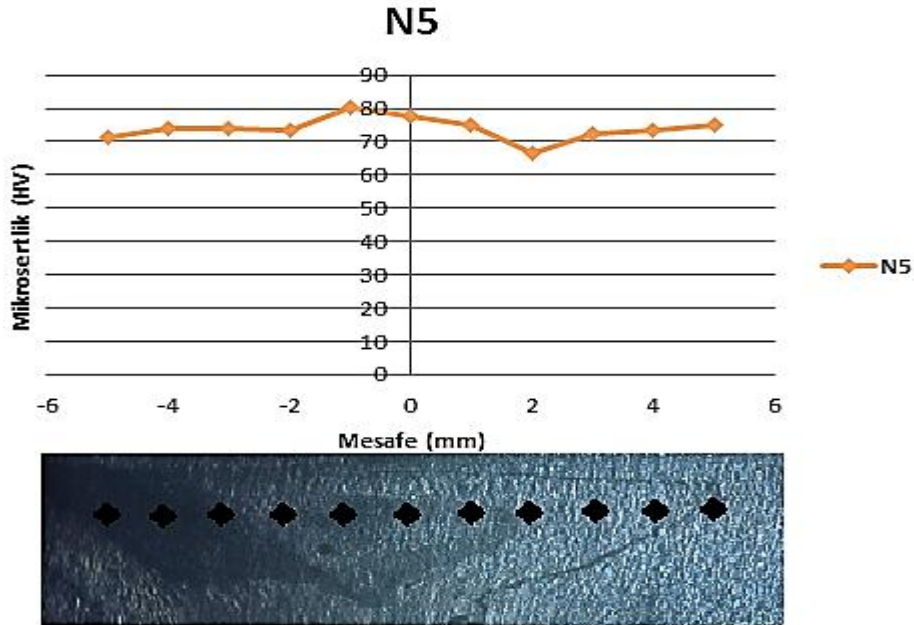
1500 dev/dk dişli uç ve 100 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numunenin mikrosertlik grafiğine bakıldığında max. sertlik değeri 78 vickers, 160 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numunenin max. sertlik değeri 82,6 vickers ve 190 mm/dk ilerleme hızında ise max. sertlik değeri 77,1 vickers olarak ölçülmüştür (Şekil 4.19, 4.20, 4.21) N1, N2 ve N3 numunelerinde max. sertk değerleri DKB bölgesinde ölçülmüştür. 1500 dev/dk dişli uç ve 100 mm/dk, 160 mm/dk ve 190 mm/dk ilerleme hızındaki parametrelerde birleştirilen N1, N2 ve N3 numunelerine ait mikrosertlik grafikleri Şekil 4.22’de verilmiştir. Bütün numunelerin DKB bölgesinde sertlik değeri ara malzemenin sertliğinden yüksektir. Bunun sebebi plastik deformasyonun ve ısıнын etkisiyle yeniden kristalleşmenin oluşması ve tane yapısının incelmesidir. Kaynak arayüzeyinden esas malzemeye yaklaştıkça sertlik değerleri düşmüş ve esas malzemenin sertlik değerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Sertlik dağılımı incelendiğinde kaynak bölgesinden başlayıp takım omuz çevresine yakın bir bölgede sertlik düşüşü görülmektedir. Takım omuz uzunluğunda merkezden dışarıya doğru uzaklaştıkça sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu durum ise nedenin ise bu bölgelerde ısı etkisinin azalmasına bağlanmıştır.

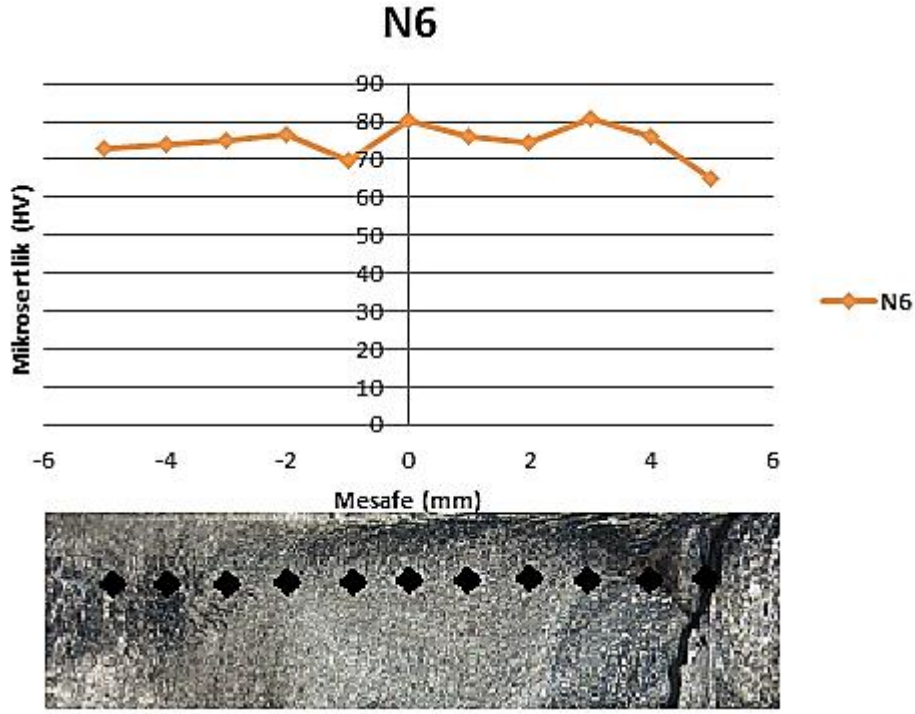
4.2.2. 1500 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikrosertlik Değerlendirmeleri



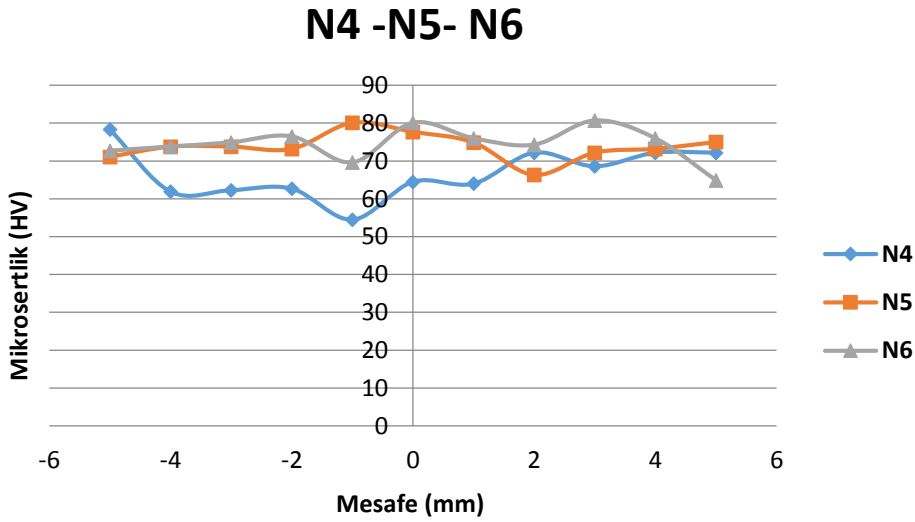
Şekil 4.23. N4 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.24. N5 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.25. N6 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı

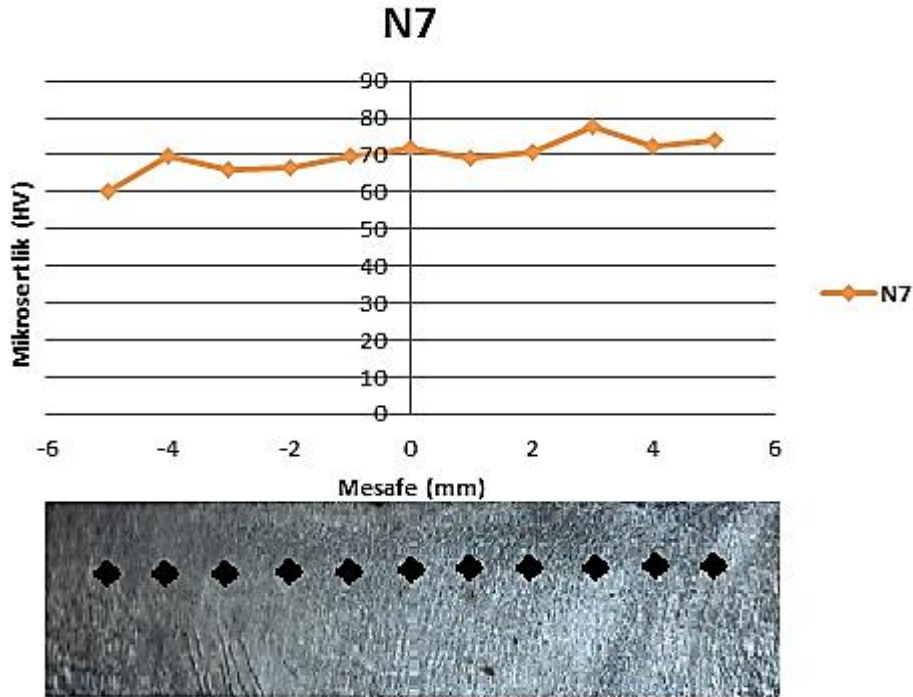


Şekil 4.26. N4-N5-N6 no'lu numunelerinin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı

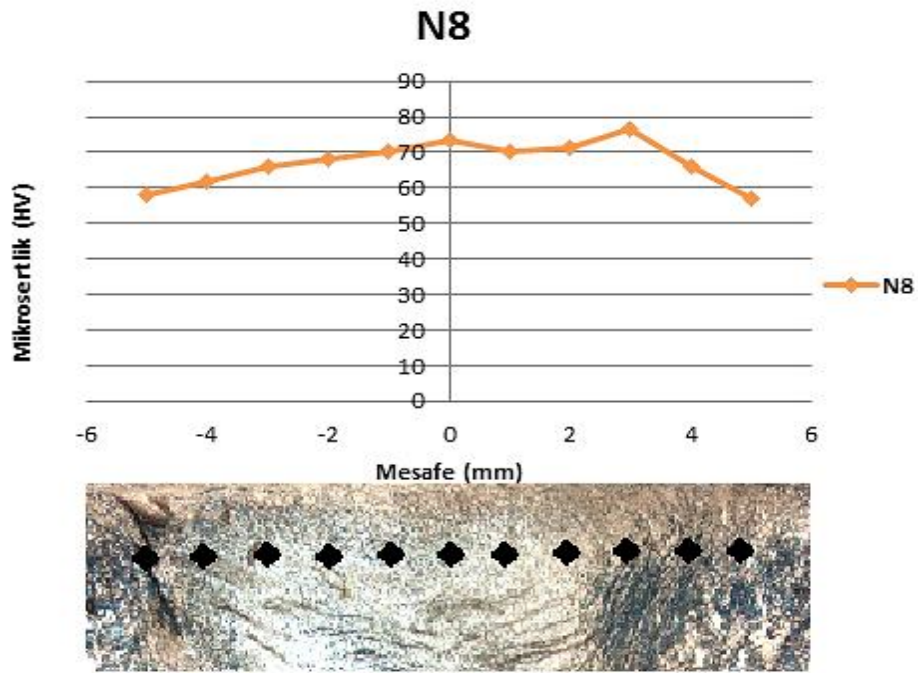
1500 dev/dk üçgen uç ve 100 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numunenin mikrosertlik grafiğine bakıldığında max. sertlik değeri 72,2 vickers, 160 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numunenin max. sertlik değeri 80,1 vickers ve 190 mm/dk ilerleme hızında ise max. sertlik değeri 80,7 vickers olarak ölçülmüştür (Şekil 4.23, 4.24, 4.25).

1500 dev/dk üçgen uç ve 100 mm/dk, 160 mm/dk ve 190 mm/dk ilerleme hızındaki parametrelerde birleştirilen N4, N5 ve N6 numunelerine ait mikrosertlik grafikleri Şekil 4.26’da verilmiştir. N4 numunesine ait sertlik dağılımı incelendiğinde numunede de farklı bir dağılımın olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ölçüm alınan noktaların bir kısmının kısmen rekristalizasyona uğramış (Nugget) bölgeye bir kısmının ise tamamen deformasyona uğramış bölgeye denk gelmesidir.

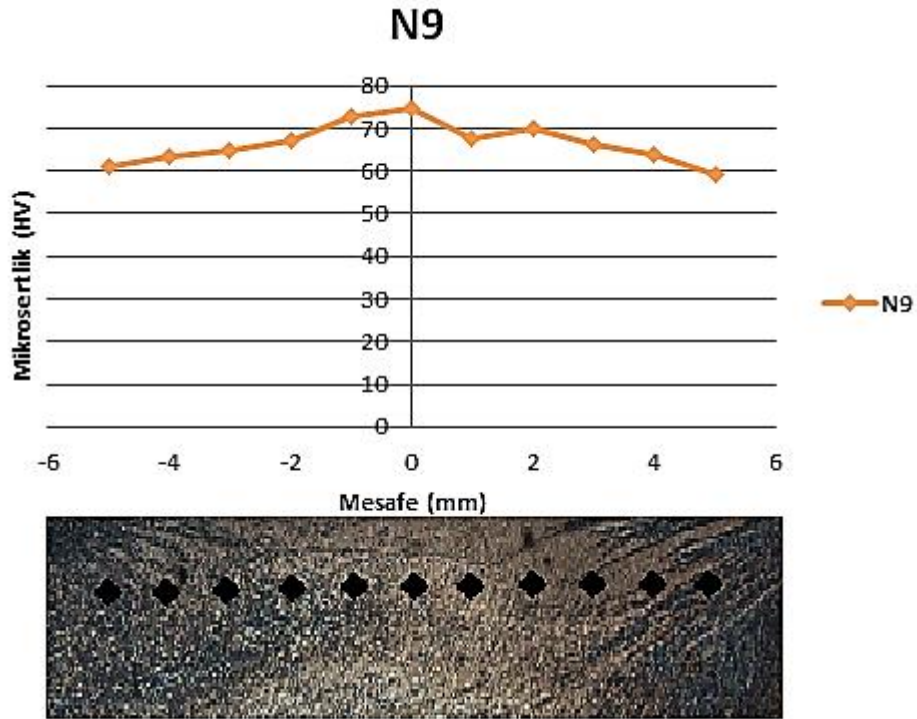
4.2.3. 2300 dev/dk, Dişli Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikrosertlik Değerlendirmeleri



Şekil 4.27. N7 no’lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı

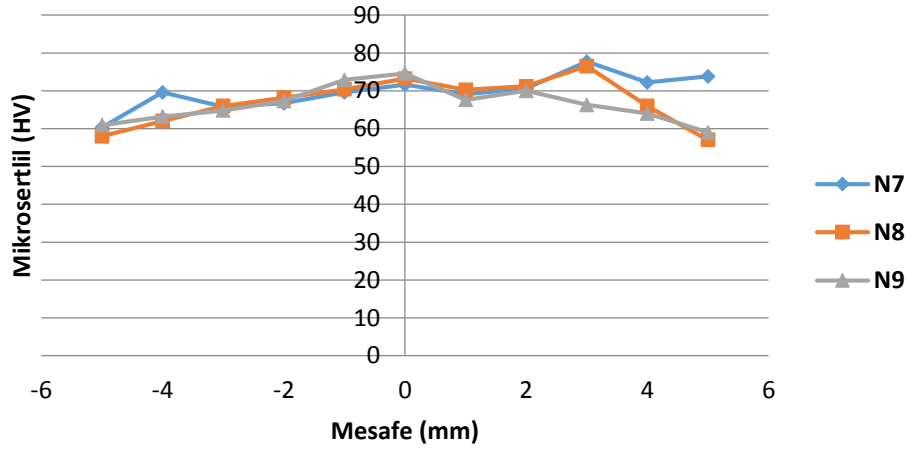


Şekil 4.28. N8 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.29. N9 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı

N7- N8- N9

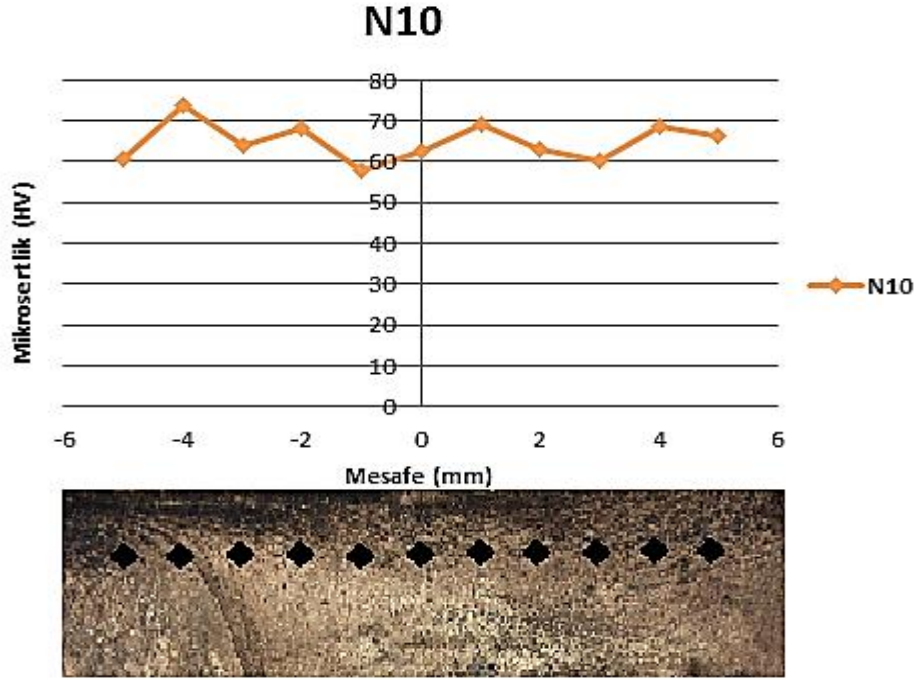


Şekil 4.30. N7-N8-N9 no'lu numunelerin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı

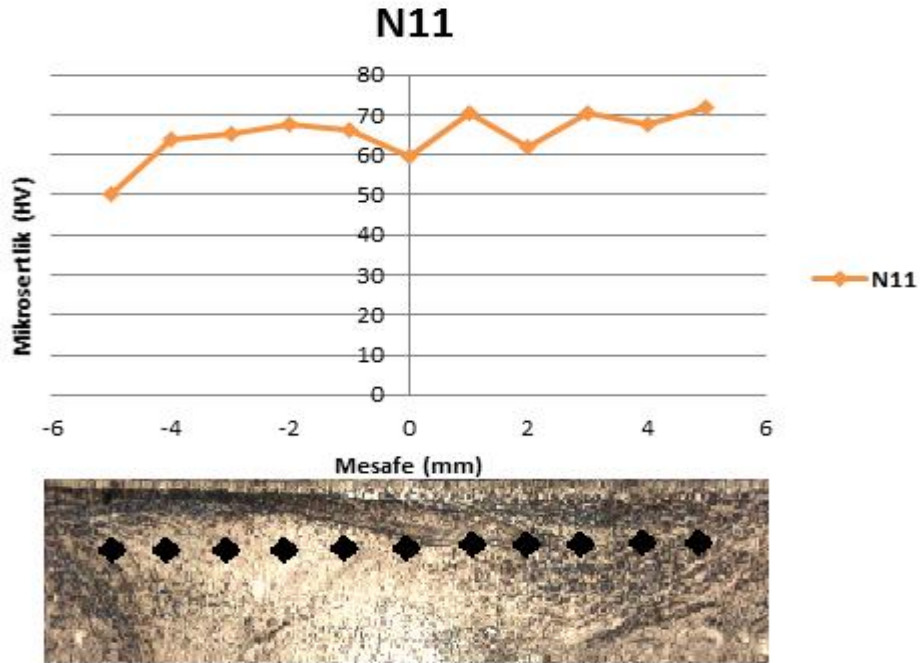
2300 dev/dk dişli uç ve 100 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numunenin mikrosertlik grafiğine bakıldığında max. sertlik değeri 77,7 vickers, 160 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numunenin max. sertlik değeri 76,5 vickers ve 190 mm/dk ilerleme hızında ise max. sertlik değeri 74,6 vickers olarak ölçülmüştür (Şekil 4.27, 4.28, 4.29).

2300 dev/dk dişli uç ve 100,160 ve 190 mm/dk ilerleme hızındaki parametrelerde birleştirilen N7, N8 ve N9 numunelerine ait mikrosertlik grafikleri Şekil 4.30' da verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantılara ait sertlik dağılımları incelendiğinde her üç numunede de benzer bir dağılımın olduğu görülmektedir.

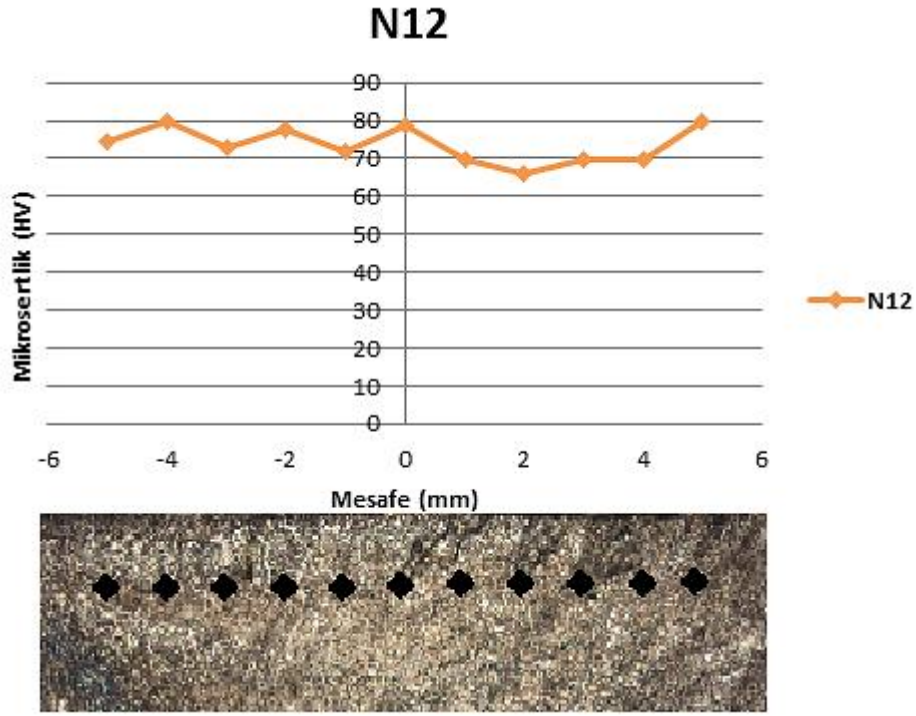
4.2.4. 2300 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Mikrosertlik Değerlendirmeleri



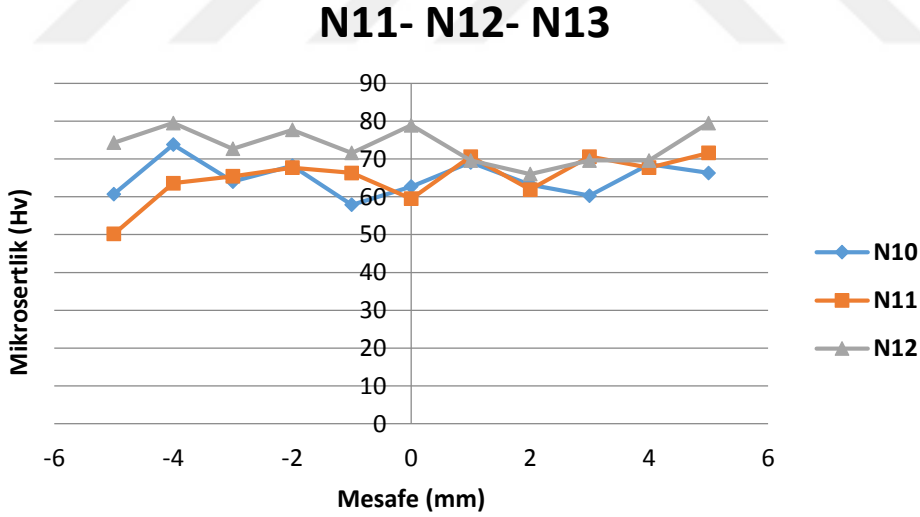
Şekil 4.31. N10 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.32. N11 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.33. N12 no'lu numunenin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.34. N10-N11-N12 no'lu numunelerin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı

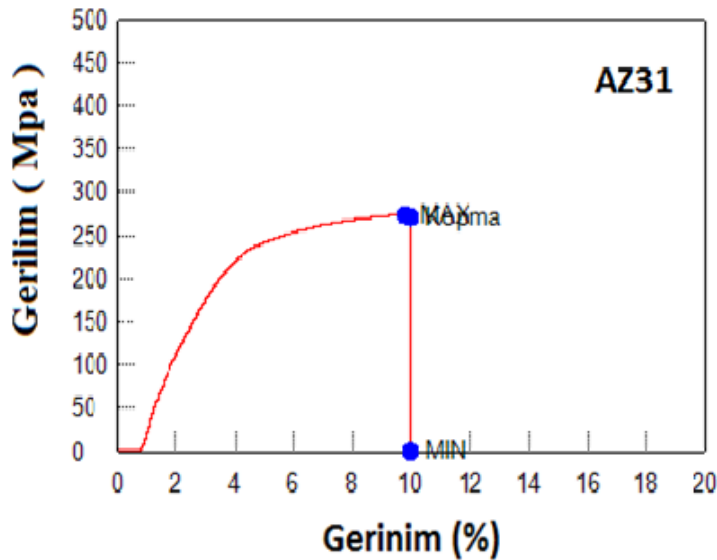
2300 dev/dk üçgen uç ve 100 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numunenin mikrosertlik grafiğine bakıldığında max. sertlik değeri 69,1 vickers, 160 mm/dk ilerleme hızı

kullanılarak birleştirilen numunenin max. sertlik değeri 70,6 vickers ve 190 mm/dk ilerleme hızında ise max. sertlik değeri 78,9 vickers olarak ölçülmüştür (Şekil 4.31, 4.32, 4.33).

2300 dev/dk üçgen uç ve 100 mm/dk, 160 mm/dk ve 190 mm/dk ilerleme hızındaki parametrelerde birleştirilen N10, N11 ve N12 numunelerine ait mikrosertlik grafikleri Şekil 4.34’de verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantılara ait sertlik dağılımları incelendiğinde her üç numunede de benzer bir dağılımın olduğu görülmektedir. Numunelerin ITAB bölgelerinde az miktarda da olsa sertlik düşüşü meydana gelmiştir. Kaynak merkezinin yakınındaki bölgelerde sertlik değerlerinde dalgalanmalar söz konusudur. Bu durum bu bölgelerde kararsız yapıların oluştuğunu ve bu bölgelerin hassaslaştığını göstermektedir.

4.3. Çekme Deneyi Sonuçları

Sürtünme karıştırma kaynak işleminde kullanılan AZ31B Mg alaşımının kaynak öncesi ve kaynak sonrası çekme dayanımlarını karşılaştırabilmek için, AZ 31B Mg alaşımı standartlara göre hazırlanarak çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bu deney sonucunda AZ 31B Mg alaşımının çekme dayanımı Max. 274 MPa olarak bulunmuştur. AZ31B Mg alaşımının gerilim- gerinim grafiği Şekil 4.35’de ve kırılan numunenin fotoğrafı ise Şekil 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.35. AZ31B Mg alaşımına ait gerilim-gerinim diyagramı.

Tablo 4.1. Sürtünme karıştırma kaynak parametreleri ve çekme deneyine ait sonuçlar

DEVİR SAYISI	KARIŞTIRICI UÇ PROFİLİ	İLERLEME HIZI	NUMUNE NO	Maksimum Çekme (σ max.) Mpa	Kopma Gerilmesi (σ kop.) Mpa	% Uzama	%Birleşme (Ana Malzemeye göre)
1500			N0	254			
				274	271	10	
	DİŞ	100	N1	59	57	1,5	24
				80			
		160	N2	80	80	1,8	32
		190	N3	95	95	1,8	43
				109	109	2,1	
	ÜÇGEN	100	N4	195	195	3,8	83
				210	205	4,3	
		160	N5	194	168	4,1	83
				210	204	4,2	
2300		190	N6	200	200	3,7	79
				150	149	3	
	DİŞ	100	N7	173	171	3,5	69
				165	164	3	
		160	N8	125	122	2,5	55
				138	127	2,6	
		190	N9	107	107	2,4	54
				136	136	2,5	
	ÜÇGEN	100	N10	176	174	3,2	70
				140	138	2,6	
		160	N11	170	169	3,2	68
				171	168	3,7	
		190	N12	200	194	4,2	80
				201	199	4	

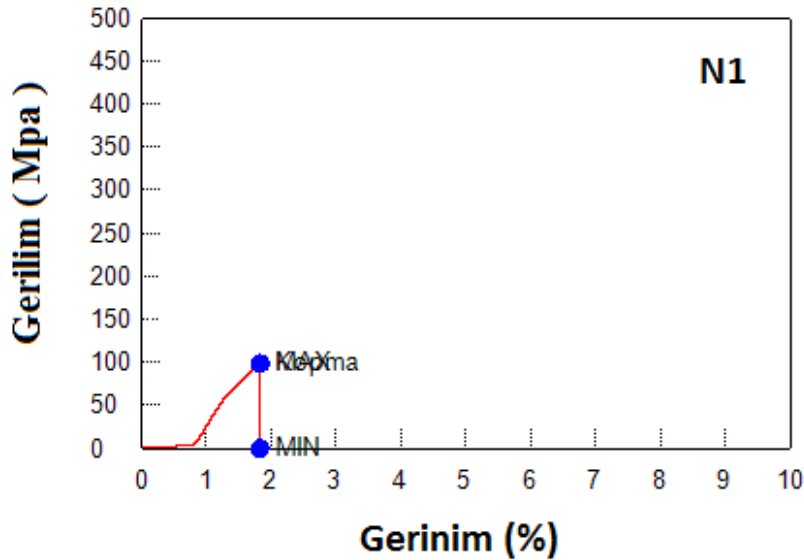


Şekil 4.36. AZ31B Mg alaşımına ait makro kırık yüzey fotoğrafı

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirmenin gerçekleştirildiği AZ31B Mg alaşımının hangi parametrelerde birleştirildiği ve bu birleştirme işlemlerinden sonra uygulanan çekme deneyine ait sonuçlar Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

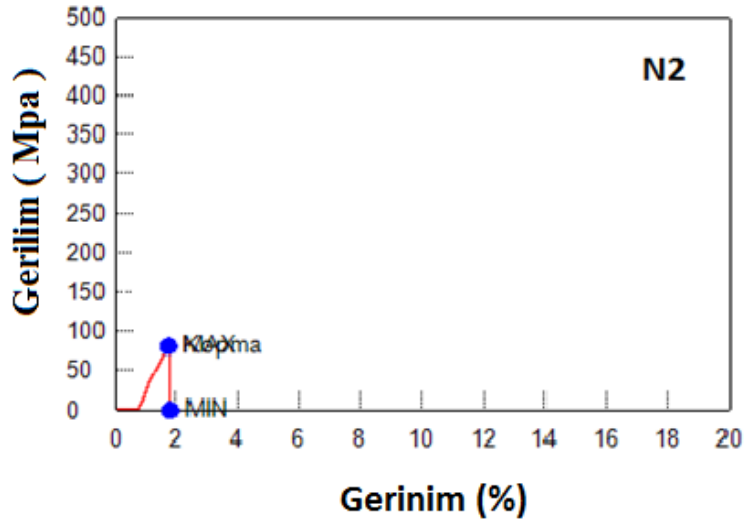
4.2.5. 1500 dev/dk, Dişli Uç İle Kaynatılan Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

1500 dev/dk, dişli uç ve 100 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N1 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği Şekil 4.37’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N1 nolu numunenin çekme gerilmesi 80 Mpa, kopma gerilmesi 80 Mpa ve % uzama değerinin ise 1.8 olduğu görülmüştür.



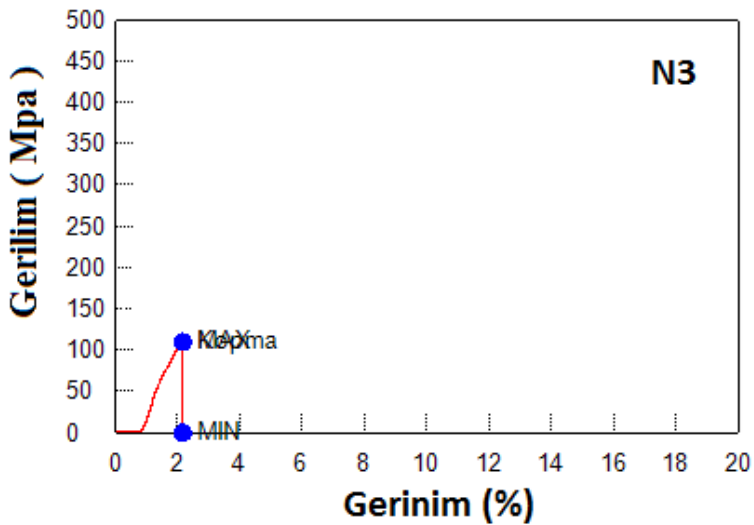
Şekil 4.37. N1 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

1500 dev/dk, dişli uç ve 160 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N2 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği Şekil 4.38’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N2 nolu numunenin çekme gerilmesi 80 Mpa, kopma gerilmesi 78 Mpa ve % uzama değerinin ise 1.9 olduğu görülmüştür.



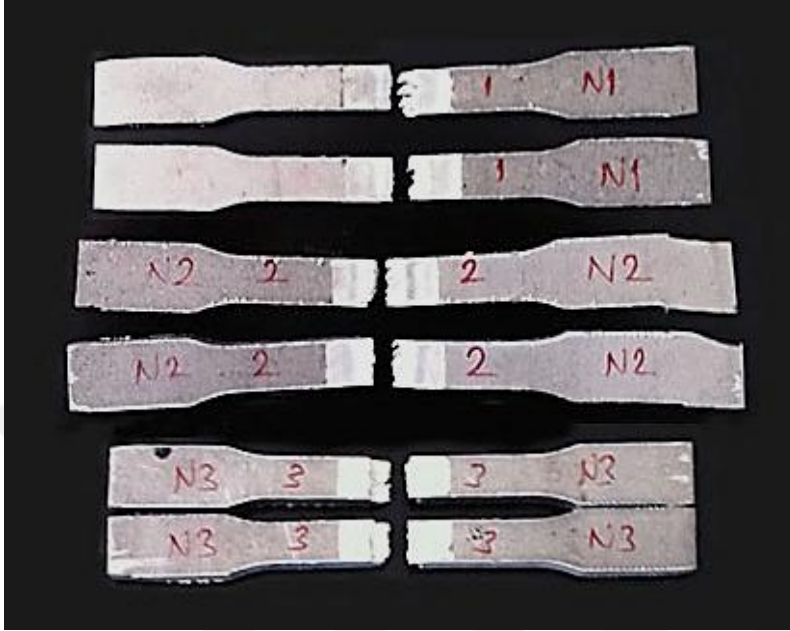
Şekil 4.38. N2 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

1500 dev/dk, dişli uç ve 190 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N3 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği Şekil 4.39.’da gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N3 nolu numunenin çekme gerilmesi 109 Mpa, kopma gerilmesi 109 Mpa ve % uzama değerinin ise 1.8 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.39. N3 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

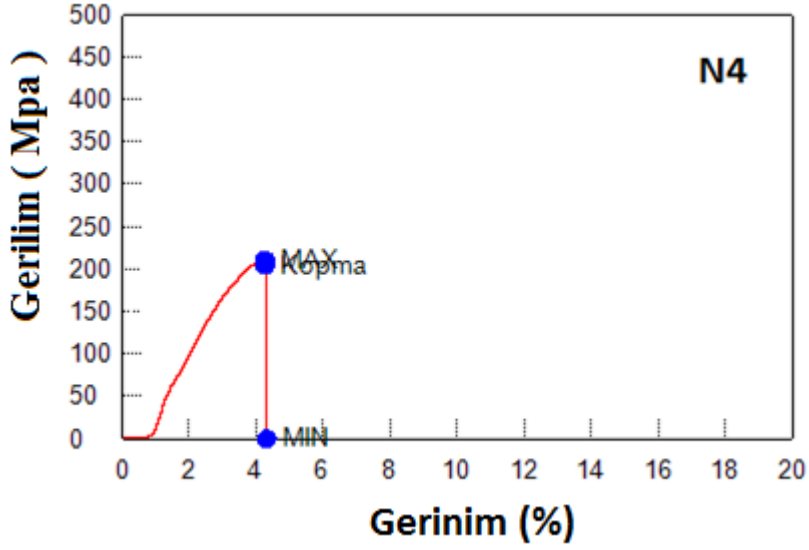
N1, N2 ve N3 numunelerinin kırıldıktan sonraki makro fotoğrafları Şekil 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.40. N1, N2 ve N3 nolu numunelere ait makro kırık yüzey fotoğrafları

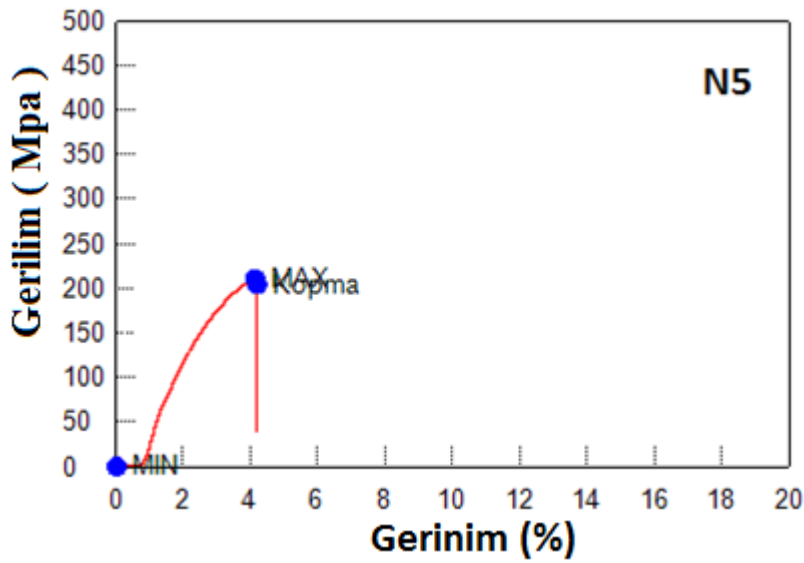
Numunelerin kırık yüzey fotoğrafları incelendiğinde karıştırmanın etkisiyle karıştırıcının omuz kısmının altında kalan kısım (crown bölgesi) deformasyon sertleşmesi göstermiş ve mukavemet artmıştır ve numuneler termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB) ile ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) arasındaki bir noktadan kopmuşlardır. Kaynak hızının artması ile çekme değerlerinde ciddi bir değişiklik gözlenmemiştir.

4.2.6. 1500 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları



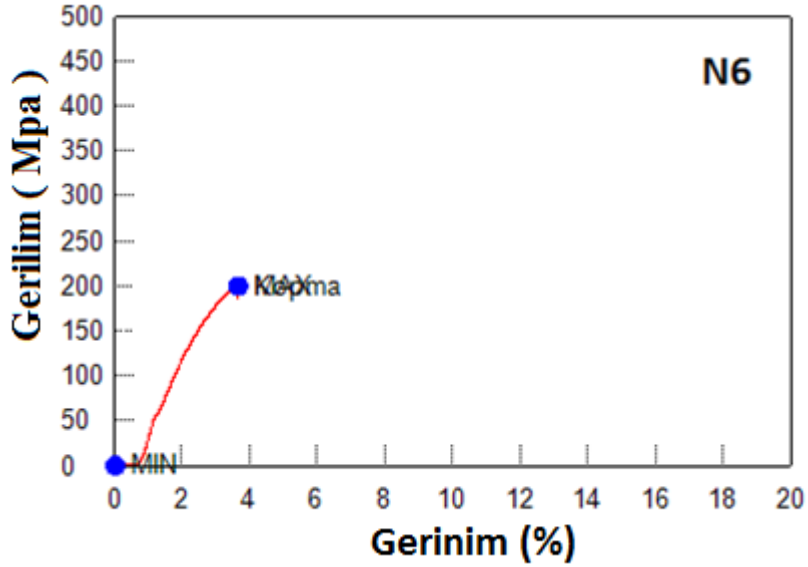
Şekil 4.41. N4 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

1500 dev/dk, üçgen uç ve 100 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N4 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği Şekil 4.41’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N4 nolu numunenin çekme gerilmesi 210 Mpa, kopma gerilmesi 205 Mpa ve % uzama değerinin ise 4,3 olduğu görülmüştür.



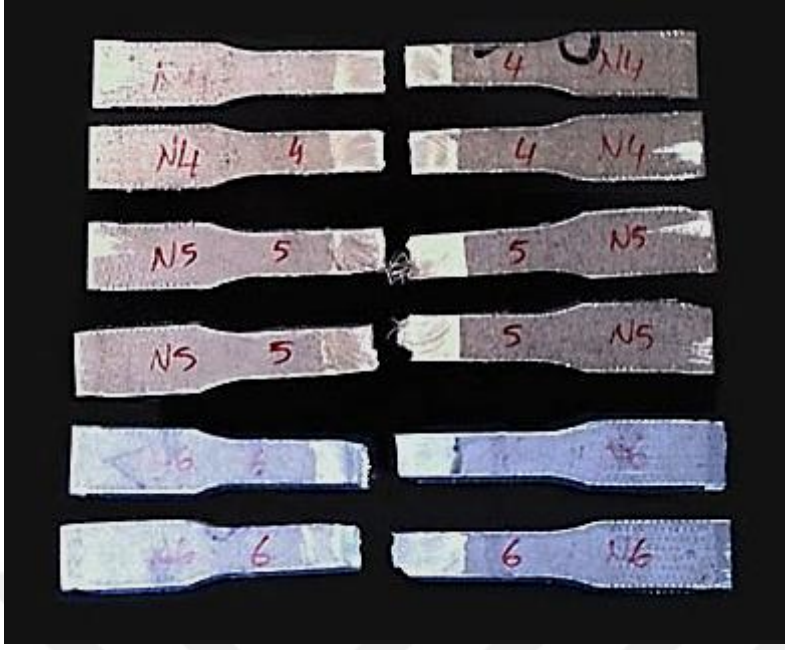
Şekil 4.42. N5 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

1500 dev/dk, üçgen uç ve 160 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N5 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği Şekil 4.42’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N5 nolu numunenin çekme gerilmesi 210 Mpa, kopma gerilmesi 204 Mpa ve % uzama değerinin ise 4.2 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.43. N6 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

1500 dev/dk, üçgen uç ve 190 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N6 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği Şekil 4.43’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N6 nolu numunenin çekme gerilmesi 200 Mpa, kopma gerilmesi 200 Mpa ve % uzama değerinin ise 3,7 olduğu görülmüştür. Bu numune grubunda da ilerleme hızının artması ile uzama miktarlarında önemli bir değişikliğin olmadığı görülmüştür.

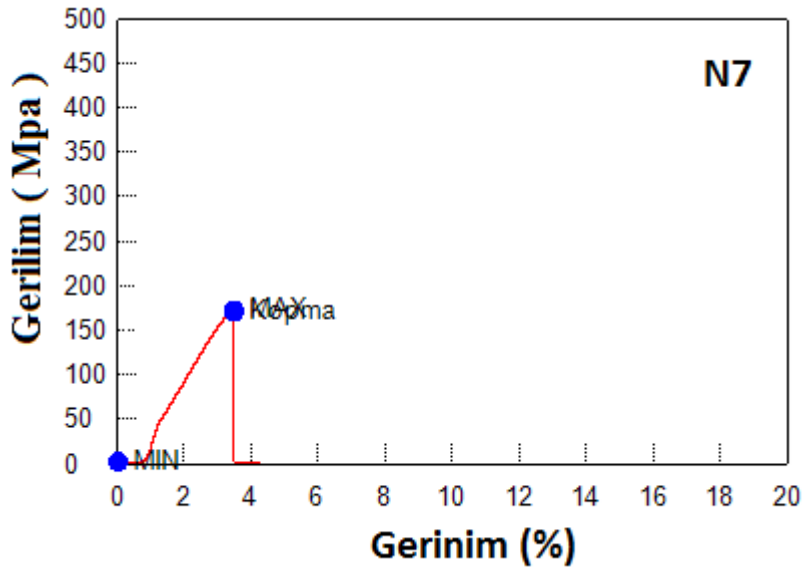


Şekil 4.44. N4, N5 ve N6 nolu numunelere ait makro kırık yüzey fotoğrafları

N4, N5 ve N6 numunelerinin kırıldıktan sonraki makro fotoğrafları Şekil 4.44’de verilmiştir. Bu numunelerin kırık yüzey fotoğrafları incelendiğinde numunelerin kopma yerlerinin termodinamik olarak etkilenmiş bölge (TEB) ile ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise bu bölgelerde tane yapısının değişmiş (büyümiş) olmasıdır.

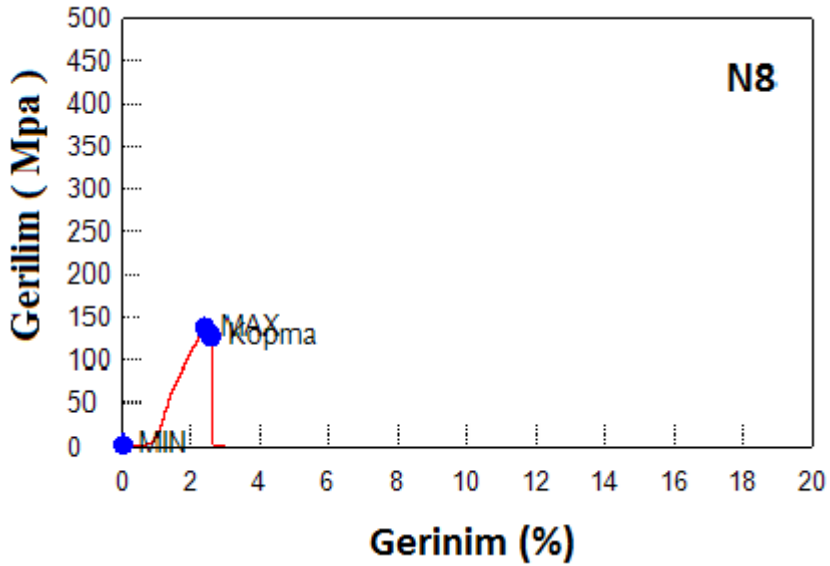
4.2.7. 2300 dev/dk, Dişli Uç İle Kaynatılan Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

2300 dev/dk, dişli uç ve 100 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N7 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği şekil 4.45’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N7 nolu numunenin çekme gerilmesi 173 Mpa, kopma gerilmesi 171 Mpa ve % uzama değerinin ise 3,5 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.45. N7 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

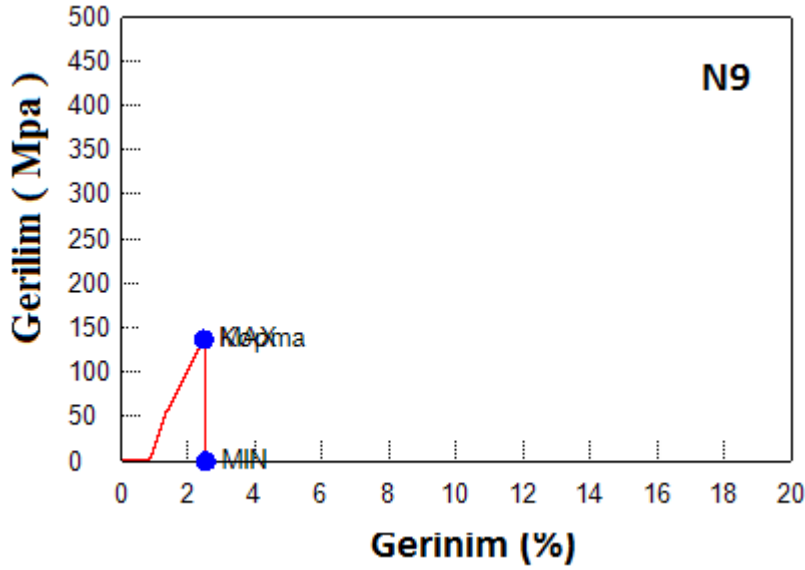
2300 dev/dk, dişli uç ve 160 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N8 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği Şekil 4.46’da gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N8 nolu numunenin çekme gerilmesi 138 Mpa, kopma gerilmesi 127 Mpa ve % uzama değerin ise 2.6 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.46. N8 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

2300 dev/dk, dişli uç ve 190 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N9 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği Şekil 4.47’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N9 nolu

numunenin çekme gerilmesi 136 Mpa, kopma gerilmesi 136 Mpa ve % uzama değerinin ise 2,5 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.47. N9 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

Bu gruptaki numunelerin çekme mukavemeti değerlerinde ilerleme hızının artması ile azalma meydana gelmiştir. Çünkü malzemeye giren ısı miktarı azalmış dolayısıyla tane irileşmesi de az olmuştur.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda kaynak kalitesini etkileyen ön önemli parametrelerin ucun ilerleme ve dönme hızı olduğu görülmekle beraber bu çalışmada ilerleme hızından daha çok ucun devri ve uç geometrisinin etkili olduğu bulunmuştur. Mg alaşımlarının kaynağında kaynak bölgesinde oldukça gevrek bir yapı meydana gelir. Bunun sebebi Mg alaışımının hegzagonal sıkı paket (HSP) kafes sistemine sahip olması ve bu malzemelerde çapraz kaymanın görülmesidir. Gerilme- gerinim eğrileri incelendiğinde çekme numunelerinin çok düşük bir oranda uzadığı malzeme plastik bölgeye bile geçmeden koptuğu gözlemlenmiştir. Çünkü kaynak bölgesi hem çok kırılgan bir yapıya sahiptir hem de kaynak bölgelerinde poroziteler mevcuttur.

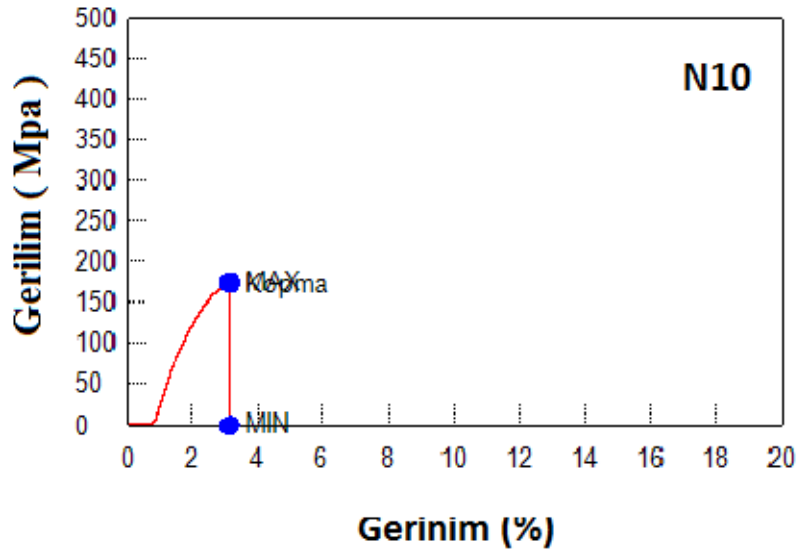


Şekil 4.48. N7, N8 ve N9 nolu numunelere ait makro kırık yüzey fotoğrafları

N7, N8 ve N9 numunelerinin kırıldıktan sonraki makro fotoğrafları Şekil 4.48’de verilmiştir. Bu numunelerin kırık yüzey fotoğrafları incelendiğinde diğer numune gruplarında olduğu gibi kopma yerlerinin termodinamik olarak etkilenmiş bölge (TEB) ile ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) arasındaki bölgede olduğu görülmüştür.

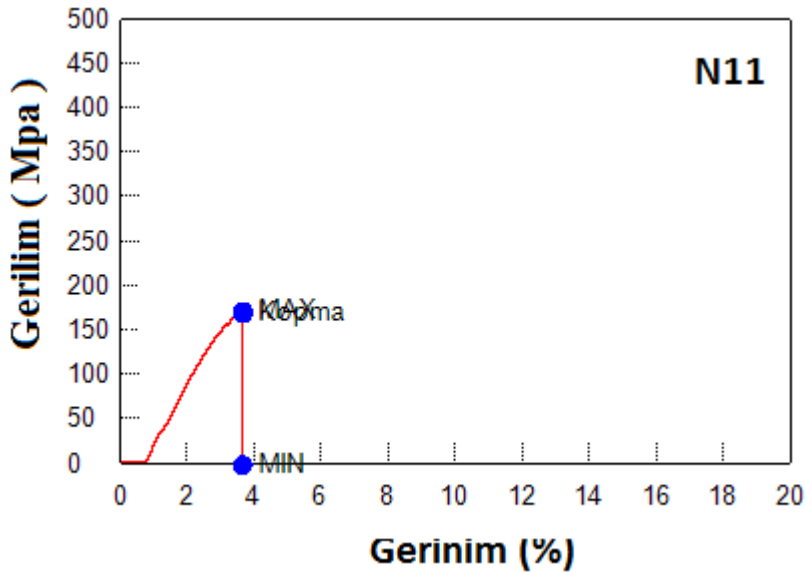
4.2.8. 2300 dev/dk, Üçgen Uç İle Kaynatılan Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

2300 dev/dk, üçgen uç ve 100 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N10 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği şekil 4.49’da gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N10 nolu numunenin çekme gerilmesi 176 Mpa, kopma gerilmesi 174 Mpa ve % uzama değerinin ise 3,2 olduğu görülmüştür.



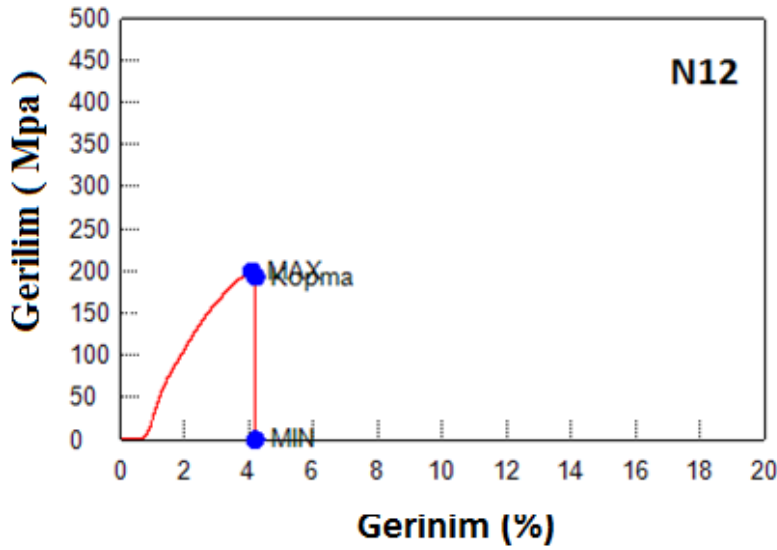
Şekil 4.49. N10 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

2300 dev/dk, üçgen uç ve 160 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N11 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği şekil 4.50’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N11 nolu numunenin çekme gerilmesi 171 Mpa, kopma gerilmesi 168 Mpa ve % uzama değerinin ise 3,7 olduğu görülmüştür.

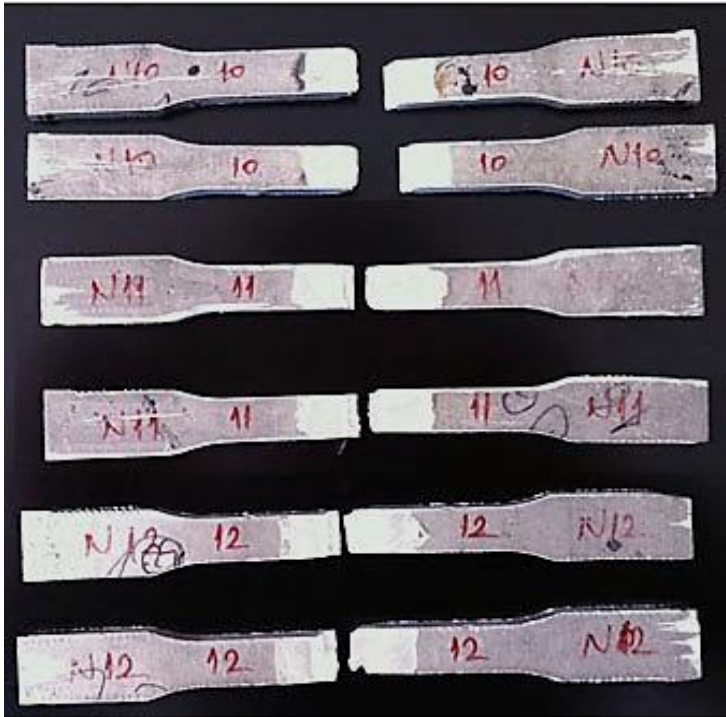


Şekil 4.50. N11 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı

2300 dev/dk, üçgen uç ve 190 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen N12 nolu numuneye ait gerilim-gerinim grafiği şekil 4.51’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, N12 nolu numunenin çekme gerilmesi 201 MPa, kopma gerilmesi 199 MPa ve % uzama değerinin ise 4 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.51. N12 nolu numuneye ait gerilim-gerinim diyagramı



Şekil 4.52. N10, N11 ve N12 nolu numunelere ait makro kırık yüzey fotoğrafları

N10, N11 ve N12 numunelerinin kırıldıktan sonraki makro fotoğrafları Şekil 4.52’de verilmiştir. Bu numunelerin kırık yüzey fotoğrafları incelendiğinde kopma yerlerinin termodinamik olarak etkilenmiş bölge (TEB) ve ısının tesiri altındaki bölge (ITAB)’ın arasındaki bir bölgenin olduğu görülmüştür.



5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada AZ31B magnezyum alaşımı sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle 1500 ve 2300 dev/dk'da, dişli ve üçgen olmak üzere iki karıştırıcı uç profili ve her devir ve karıştırıcı uç profilinde 100 mm/dk, 160 mm/dk ve 190 mm/dk olmak üzere üç farklı ilerleme hızında birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler 1500 dev/dk üçgen uç, 1500 dev/dk dişli uç, 2300 dev/dk üçgen uç ve 2300 dev/dk dişli uç olmak üzere dört farklı grupta incelenmiştir. Kaynak işleminden sonra, kaynaklı bağlantıların mikroyapı fotoğrafları alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır. Kaynak parametrelerinin bağlantı mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla mikrosertlik analizi yapılmış ve numunelere çekme deneyi uygulanmıştır.

5 mm kalınlığındaki AZ31B Mg levhalar dişli ve üçgen geometriye sahip iki farklı uç kullanılarak alın birleşme kaynağı ile tek taraftan SKK yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Özellikle dişli uç kullanılarak yapılan N1, N2, N3, N7, N8 ve N9 nolu numunelerde boşluklara ve bağlantısız bölgelere rastlanmıştır. Üçgen uç kullanılarak yapılan N4, N5, N6, N10, N11 ve N12 nolu numunelerde dişli uç kullanılarak kaynak yapılan numunelere göre daha iyi bağlantılar elde edilmiştir. Üçgen uç kullanılarak birleştirilen numunelerin hem kaynak profillerine hem de mikrosertlik ve çekme mukavemeti değerlerine bakıldığında en iyi sonuçların bu numunelerde elde edildiği görülmüştür.

1500 dev / dk devir sayısında 100 mm/ dk'lık ilerleme hızında yapılan N1 (dişli uç) ve N4 (üçgen uç) numunelerinin çekme dayanımlarına bakıldığında N4 numunenin çekme dayanımının N1 numuneye göre çok yüksek olduğu yani kaynaklı bağlantının daha iyi olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi üçgen ucun malzemeye tabaka halinde karıştırarak boşlukları daha rahat doldurmasıdır. N2 (dişli uç) , N5 (üçgen uç) numuneleri ve N3 (dişli uç), N8 (üçgen uç) numuneleri karşılaştırıldığında da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

2300 dev/ dk devir sayısında 100 mm/ dk'lık ilerleme hızında yapılan N7 (dişli uç) ve N10 (üçgen uç) numunelerinin çekme dayanımlarına bakıldığında N10 numunesinin çekme dayanımının N7 numunesine göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Aynı sonuç 1500 dev/ dk devir sayısında yapılan kaynaklarda da geçerlidir. Buradan AZ31B alaşımına SKK ' da üçgen uç kullanılmasının bağlantı kalitesini artıracak sonucuna varılabilir. N8 (dişli uç), N11 (üçgen uç) numuneleri ve N9 (dişli uç), N12 (üçgen uç) numuneleri karşılaştırıldığında da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

SKK ile tüm numunelerde birleştirme sağlanmıştır. Numunelerin mikroyapı fotoğrafları incelenirken DKB, TEB, ITAB ve EM olmak üzere dört farklı bölgeden inceleme yapılmıştır. Numunelerde DKB bölgesine yaklaştıkça yeniden kristalleşmiş daha ince ve homojen görünümlü tane yapıları oluşmuştur. ITAB bölgelerine yaklaştıkça ise tanelerde irileşme gözlenmiştir.

N7, N8 ve N9 nolu numunelerin mikroyapı resimleri mukayese edildiğinde en boşluksuz kaynağın N9 nolu numunede gerçekleştiği görülmüştür. Numunelere ait çekme sonuçlarına bakıldığında en iyi çekme dayanımı N7 numunesinde olduğu gözlenmiştir. N8 ve N9 numuneleri N7 numunesine göre daha boşluksuz olmalarına rağmen bu numunelerde nugget'in kenar kısımlarındaki çatlakların çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü düşünülmektedir.

N10, N11 ve N12 nolu numunelerin mikro yapı resimleri mukayese edildiğinde en iyi birleşmenin N12 nolu numunede gerçekleştiği görülmüştür.

Literatürde devir sayısı, ilerleme hızı ve uç profilinin SKK'daki en önemli parametreler olduğu görülmektedir. Bu çalışmada ise devir sayısının ve karıştırıcı uç profilinin kaynak mukavemetini etkileyen en önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir. Yüksek devir sayısı ve üçgen uç kombinasyonunda daha iyi sonuçlar alınmıştır.

AZ31B magnezyum alaşımının SKK da tüm numunelerde kaynak hatası (boşluk) meydana gelmiştir. Literatürde yapılan diğer çalışmalarda da bu boşluk hatalarına rastlanmıştır. Bu durum magnezyum alaşımlarının kaynağında ortaya çıkan karakteristik hatalardan biridir.

Literatürde sürtünme karıştırma kaynak işlemi iki kısma ayrılarak incelenmiştir. Birinci kısım; kaynak ucunun omuz kısmı tarafından sürtünme ile yumuşatılan malzemenin ilerleme yönünde taşınması, ikinci kısım ise; kaynak ucunun pim kısmının yumuşayan malzemeyi, üzerinde bulunan vida dişleri yardımıyla ve dönme yönüne paralel olarak oluşturduğu helezonik bir akış hareketi ile malzemeyi aşağıya yani iş parçasının alt kısmına doğru taşınmasından veya itmesinden oluşmaktadır. Kaynaklı bağlantılarda meydana gelen bu boşlukların ikinci durumdaki malzeme hareketi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yine literatürde bu hareketi tetikleyen diğer bir unsurun bölgeye olan ısı girdisi olduğu düşünülmüş ve yüksek ısı girdisi ile malzemenin daha fazla yumuşayacağı ve böylece taşınım hareketinin daha kolay sağlanacağı açıklanmıştır [46]. Çalışmada üçgen uç kullanılarak yapılan kaynakların daha iyi sonuçlar vermesi de bu literatür bilgisine paraleldir. Bunun nedeni üçgen ucun hamurumsu malzemeyi tabaka halinde alarak

boşluklara doğru yönlendirmesidir. Yani üçgen uç profiliyle hamurumsu malzemenin daha kolay taşınmasıdır.

Bütün numunelerde soğan halkası olarak bilinen dairesel halkalardan oluşmuş bir nugget bölgesi (karıştırma bölgesi) veya kaynak külçesi görülmüştür. Bu bölgelerde dinamik rekristalizasyondan dolayı eş eksenli ve ince taneli bir yapı oluşmuştur. Bu da bu bölgenin ITAB ‘ a göre setliğinin yüksek olmasının sebebidir.

Tüm kaynaklı numunelerde artan kaynak ilerleme hızı ile kaynak metalinde yönlenmelerin arttığı, ancak düşük ilerleme hızlarında kaynak metalinde yönlenmelerin fazla belirgin olmadığı görülmüştür.

Numunelerin DKB bölgelerinde tanelerin diğer bölgelerdeki tane boyutlarına göre küçük olduğu görülmüştür. Karıştırıcı ucun DKB bölgesindeki taneleri daha fazla deformasyona uğratması sonucu bu bölgede daha fazla rekristalizasyon oluşmuş dolayısıyla taneler küçülmüştür.

Her gruptan çekme mukavemeti en yüksek olan numunelere (N3, N4, N7 ve N12) EDS analizleri yapılmıştır. Bu EDS analizleri incelendiğinde devir sayısı arttıkça, oksijen elementi miktarlarında artış olduğu gözlenmiştir.

Numunelerin TEB ve ITAB bölgelerindeki sertlik değişimlerine bakıldığında bazı bölgelerde sertlik de dalgalanmalar olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi SKK yönteminde kaynak sırasında çok farklı bölgelerin ortaya çıkması ve bu bölgelerin kaynak parametrelerine bağlı olarak değişkenlik göstermesidir.

1500 dev/ dk ve dişli uç ile kaynatılan N1 (100 mm/dk), N2 (160 mm/dk) ve N3 (190 mm/dk) nolu numunelere ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde her 3 numunede birbirine yakın sertlik değerleri elde edilmiştir. Buna bağlı olarak ilerleme hızının kaynaklı bağlantının sertliği üzerinde ciddi bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir.

1500 dev / dk ve üçgen uç ile kaynatılan N4 (100 mm/ dk) , N5 (160 mm/ dk) ve N6 (190 mm/dk) nolu numunelerde yine birbirine yakın sertlik değeri sonuçları elde edilmiştir. Sonuç olarak, burada da ilerleme hızı kaynaklı bağlantının sertliğini önemli ölçüde etkilememiştir.

2300 dev/ dk ve dişli uç ile kaynatılan N7 (100 mm/ dk) , N8 (160 mm/ dk) ve N9 (190 mm/ dk) nolu numunelerde yine birbirine yakın sertlik değeri sonuçları elde edilmiştir. Sonuç olarak, burada da ilerleme hızı kaynaklı bağlantının sertliğini önemli ölçüde etkilememiştir.

2300 dev/ dk ve üçgen uç ile kaynatılan N10 (100 mm/ dk), N11 (160 mm/ dk) ve N12 (190 mm / dk) nolu numunelerde yine birbirine yakın sertlik değeri sonuçları elde edilmiştir. Sonuç olarak, burada da ilerleme hızı kaynaklı bağlantının sertliğini önemli ölçüde etkilememiştir.

Tüm numunelerin çekme mukavemeti sonuçlarına bakıldığında bu değerlerin ana malzemenin çekme mukavemeti değerinden düşük olduğu görülmüştür. Çekme deney sonuçları incelendiğinde kopmaların genellikle numunelerde termomekanik olarak etkilenmiş bölge (TEB) ile ısıнын tesiri altındaki bölge (ITAB) arasındaki bölgelerde olduğu görülmüştür. Kopmaların bu bölgelerde gerçekleşmesinin nedeni ısı etkisi ile tane irileşmesinin oluşması böylelikle mukavemetin bu geçiş bölgesinde düşmesidir.

Çekme deneyi sonucunda gerilme-gerinim diyagramları incelendiğinde numunelerin çok düşük bir oranda uzadığı ve numunelerin plastik bölgeye bile geçmeden koptuğu yani gevrek davranış sergilediği görülmüştür. Bu durum Mg alaşımlarının karakteristik özelliklerinden dolayı kırılgan davranış sergilemesine bağlanmıştır.

Sonuç olarak en iyi birleşme ara yüzey SEM fotoğrafları ve çekme deneyi sonuçları dikkate alındığında N12 nolu numunede elde edilmiştir. 2300 dev/ dk 'lık devir sayısında malzeme oldukça akışkan hale geldiğinden yüksek ilerleme hızlarında bile hatasız (boşluk) bir kaynaklı bağlantı elde edilmiştir. 2300 dev/dk'lık devir sayısı malzemeyi yeterince akışkan hale getirmiştir. Yüksek ilerleme hızında bile boşluklar kolayca doldurulmuştur. İlerlemenin hızlı olması ITAB' a olan ısı girdisinin azaltacağından tane irileşmesi az olmuş dolayısıyla ITAB'ın mukavemeti yükselmiştir.

6. ÖNERİLER

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AZ31B Mg alaşımının mikroyapı, mikrosertlik ve çekme sonuçları değerlendirildiğinde AZ31B Mg alaşımı;

- Farklı devir sayıları kullanılarak birleştirilebilir,
- Farklı ilerleme hızlarında birleştirmeler gerçekleştirilebilir,
- Kaynaktan önce ön ısıtma uygulanarak kaynaklı bağlantının mukavemeti yükseltilebilir,
- Kullanılan uç profilleri değiştirilebilir,
- Farklı kalınlıktaki numunelere SKK uygulanabilir.
- Optimum batma derinliğini sağlayabilmek için malzeme kalınlığına uygun boyutlarda uç seçilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Öztürk, F. ve Kaçar, İ.**, 2012, Magnezyum alaşımları ve kullanım alanlarının incelenmesi.
- [2] **Şık, A.**, 2010, Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen magnezyum levhaların mekanik özelliklerini incelenmesi.
- [3] **Akdoğan, A.**, 2008, Magnezyum ve magnezyum alaşımları.
- [4] **Atalay, O.**, 2006, Magnezyum ve alaşımlarının konstrüksiyon malzemesi olarak otomotivde kullanımı.
- [5] **Duygulu, Ö., Yücel, O., ve Kaya, A.A.**, 2010 .Magnezyum levha alaşımlarının üretimi ve geliştirilmesi.
- [6] **Kaya, M., Öztürk, F, Üçüncüoğlu, S, Seçgin, G.O, Duygulu, Ö. Ve Yenice, M.M.**, 2010, Torpido Traversi Borusunun AZ31 Sac Malzemeden Üretiminin İncelenmesi.
- [7] **Wang Xunhong and Wang Kuaishe**, 2006, Microstructure and properties of friction stir butwelded AZ31 magnesium alloy”, materials Science and Engineering Magnezyum.
- [8] **Koç, E.**, Temmuz 2008, Alaşım Elementlerinin Magnezyum Döküm Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü Zonguldak.
- [9] **Duygulu Ö., Oktay G., Kaya A. A.**, 2006, “Magnezyum Alaşımlarının Otomotiv Sanayisinde Kullanımı”, OTEKON’06, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 26-28 Haziran, Bursa.
- [10] İnternet Kaynağı WN M, BMW 3-Series, 1997-2005, <http://www.autozine.org/html/BMW/3er.html#R6>
- [11] **S.H.C. Park, Y.S.Sato, H. Kokawa**, 2003, Effect of micro-texture on fracture location in friction stir weld of Mg alloy AZ61 during tensile test”, Scripta Material 49,
- [12] **Oğuz, B.**, 1990, Demir dışı metallerin kaynağı, Oerlikon Yayını.
- [13] **Eker., A.A.**, Otomotiv sektöründe magnezyum ve alaşımları, 2014.
- [14] **Eren, T.**, Eylül 2005, AA 6063-T6 borularının sürtünme karıştırma kaynağı yöntemiyle kaynak edilebilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üni. Fen Bilimler Enstitüsü.

- [15] **Kandemir, K., ve CAN, A.Ç.**, 2002, Otomotiv endüstrisi için magnezyum alaşımlarının kullanım potansiyeli.
- [16] **Demirci, M, Vanlı, A.S. ve Akdoğan, A.**, 2015, Savunma sanayinde kullanılan magnezyum alaşımları ve uygulama Alanları.
- [17] **W. Woo, H. Choo, D.W. Brown, P.K. Liaw, Z.Feng**, 2006, Texture variation and its influence on the tensile behavior of a friction-stir processed magnesium alloy”, Scripta Materialia 54 “p”
- [18] **Avcı, P**, Temmuz 2005, Magnezyum alaşımı AZ91’in korozyon davranışına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi üni. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] **Tanrıverdi, A**, Eylül 2005, Magnezyum alaşımı AZ91’in korozyon davranışına katılma hızı ile Si ve Y katkı elementlerinin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] **Naiyi Li, Tsung-Yu Pan, Ronald P. Cooper, Dan Q. Houston, Zhli Feng, and Michael L. Santella**, 2004, Friction stir welding of Magnesium AM60 alloy”, Magnesium Technology, Edited by A. Lou, TMS (The minerals, Metals and Materials Society).
- [21] Avedesian vd., 1999.
- [22] **Varürer, B**, 2008, Ticari araçlarda kullanılan otomatik şanzıman kutusu malzemesinin iyileştirilmesi ,Yüksek Lisans Tezi.
- [23] **Doğan, S**, Ekim 2006, AA 5754 –H22 Alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağında işlem parametrelerinin mikro yapı ve mekanik özellikler etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24] **Eren, T**, Eylül 2005, AA 6063-T6 borularının sürtünme karıştırma kaynağı yöntemiyle kaynak edilebilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü..
- [25] **Saraçoğlu, E.**, Haziran 2007, Alüminyumların sürtünme karıştırma kaynağının incelenmesi, Bitirme Tezi, Dokuz Eylül Üni.
- [26] **Gül, A**, 2006, Farklı metalsel malzemelerin sürtünme kaynağında, kaynak parametrelerinin dikiş özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [27] **Peng Liu, Qingyu Shi, Wei Wang, Xin Wang, Zenglei Zhang**, 2008, Microstructure and XRD analysis of FSW joints for copper T2/aluminium 5006 dissimilar materials.

- [28] **Tanrıöver, L.**, 2008, AA5052/2024 alaşımlarının sürtünme karıştırma yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [29] **Güçlüer, S.**, Temmuz 2007, Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemiyle alın kaynağı yapılmış Al-5086 H32 levhaların mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [30] **Padmanaban, G. ve Balasubramanian, V.**, (2010). An experimental investigation on friction stir welding of AZ31B magnesium alloy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49, 111-121.
- [31] **Zhang, H., Lin, S. B., Wu, L., Feng, J. C. ve Ma, S. L.**, (2006). Defects formation procedure and mathematic model for defect free friction stir welding of magnesium alloy. *Materials and Design*, 27, 805-809.
- [32] **Fu, R. D., Ji, H. S., Li, Y. J. ve Liu, L.**, (2012). Effect of weld conditions on microstructures and mechanical properties of friction stir welded joints on AZ31B magnesium alloys. *Science and Technology of Welding and Joining*, 17, 174-179.
- [33] **Afrin, N., Chen, D. L., Cao, X. ve Jahazi, M.**, (2008). Microstructure and tensile properties of friction stir welded AZ31B magnesium alloy. *Materials Science and Engineering A*, 472, 179-186.
- [34] **Cao, X. ve Jahazi, M.**, (2009). Effect of welding speed on the quality of friction stir welded butt joints of a magnesium alloy. *Materials and Design*, 30, 2033-2042,
- [35] **Gharacheh, M.A., Kokabi, A.H., Daneshi, G.H., Shalchi, B. ve Sarrafi, R.**, (2006). The influence of the ratio of rotational speed/traverse speed (ω/v) on mechanical properties of AZ31 friction stir welds. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46, 1983-1987.
- [36] **Xunhong W. ve Kuaishe W.**, (2006). Microstructure and properties of friction stirbutt-welded AZ31 magnesium alloy. *Material Science and Engineering A*, 431,114-117.
- [37] **Darras, B.M., Khraisheh, M.K., Abu-Farha, F.K. ve Omar, M.A.**, (2007). Friction stir Processing of commercial AZ31 magnesium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 191, 77-81.
- [38] **Commin, L., Dumont, M., Masse, J.E. ve Barallier, L.**, (2009). Friction stir welding of AZ31 magnesium alloy rolled sheets: Influence of processing parameters. *Acta Materialia*, 57, 326-334.

- [39] **Albakri, A.N., Mansoor, B., Nassar, H. ve Khraisheh, M.K.,** (2013). Thermomechanical And metallurgical aspects in friction stir processing of AZ31 Mg alloy- A Numerical and experimental investigation. *Journal of Material Processing Technology*, 213, 279-290.
- [40] **Chao, X., Jahazi, M.,** 2009. Effect of welding speed on the quality of friction stir welded butt joints of a magnesium alloy. *Materials and Design*. 30, 2033–2042.
- [41] **Azizieh, M., Kokabi, A.H., Abachi, P.,** 2010. Effect of rotational speed and probe profile on microstructure and hardness of AZ31/Al₂O₃ nanocomposites fabricated by friction stir processing, *Materials and Design*, (Accepted Manuscript).
- [42] **Yutaka, S.S., Seung, H.C.P., Masato, M., Hiroyuki, K.,** “Constitutional liquation during dissimilar friction stir welding of Al and Mg alloys”, *Scripta Materialia*, 50: 1233-236 (2004).
- [43] **Kohn, G.; Greenberg, Y.;** Makover, I.; Munitz, A.: “Laser Assisted Friction Stir Welding”, *Welding Journal*, Issue: 2, 81 (2002) 46-48.
- [44] **Xunhong, W.; Kuaishe, W.:** “Microstructure and Properties of Friction Stir Butt-Welded AZ31 Magnesium Alloy”, *Materials Science and Engineering, A* 431 (2006) 114-117.
- [45] **Dalkılıç, S,** 2012, Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Havacılık ve Uzay Endüstrisindeki Uygulama Alanları.
- [46] **Serindağ, H.T,** 2014, Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Sürtünme Karıştırma Kaynağının Modellenmesi.

ÖZGEÇMİŞ

Veysel YAPICI 1978 yılında Elazığ/Merkez de dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamladı.

2000 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Kars'ın Sarıkamış ilçesine Öğretmen olarak göreve başladı. 2001 yılında Kars ili Kağızman ilçesinde vatani görevini yerine getirdi.

2003 yılında Elazığ Merkez ilçeye tayin oldu. Elazığ'da 100. Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, İMKB Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi ve Gazi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde idareci ve öğretmen olarak görev yaptı.

Veysel YAPICI halen Elazığ Gazi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde öğretmen olarak görev yapmakta olup, evli ve 2 çocuk babasıdır.