

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**AZ31 MAGNEZYUM ALAŞIMININ SÜRTÜNME
KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAK YÖNTEMİ İLE
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Harun YILDIRIM

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

Mayıs-2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AZ31 MAGNEZYUM ALAŞIMININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA
KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARUN YILDIRIM
(111122104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :24 Nisan 2018

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Mayıs 2018

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sermin OZAN

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

Dr.Öğrt.Üyesi Yakup SAY

Mayıs -2018

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım sırasında maddi manevi her türlü yardımını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sermin OZAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında; fikirlerini ve desteklerini eksik etmeyen Mersin Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Mustafa TAŞKIN hocama, çalışmanın kaynak uygulamalarında yardımını esirgemeyen Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Arş. Gör. İsmail Hakkı ŞANLITÜRK'e, mekanik test işlemlerinde ve çekme deneylerim sırasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Nida KATI'ya ve bu tez çalışmasını TEF15.01 numaralı proje kapsamında maddi olarak destekleyen FÜBAP ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen annem Nevriye YILDIRIM'a, babam Cemil YILDIRIM'a, eşim Betül YILDIRIM'a, çocuklarım Hatice ve Necmettin Burak başta olmak üzere tüm aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Harun YILDIRIM
ELAZIĞ-2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALARLİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİ	3
2.1. Magnezyum	3
2.1.1. Magnezyum Alaşımaları ve Özellikleri	3
2.1.2. Magnezyum Alaşımalarında Alaşım Elementlerinin Etkisi.....	4
2.1.3. Magnezyum Alaşımalarının Kullanım Alanları.....	7
2.1.4. AZ31 Alaşımaları.....	9
2.2. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı	10
2.2.1. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının Uygulanışı	10
2.2.2. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağındaki Parametreler.....	13
2.2.3. Takım Malzemesi	13
2.2.4. Takım Dönme Hızı ve Kaynak Hızı	13
2.2.5. Takım Omuz Çapı	14
2.2.6. Takım Geometrisi.....	14
2.2.7. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının Magnezyum Alaşımalarına Uygulanması.....	16
3. LİTERATÜR TARAMASI	17
4. MATERYAL VE METOT	20
4.1. Çalışmanın Amacı	20
4.2. Kaynak Öncesi İşlemler	20
4.2.1. Deneyde kullanılan Malzeme ve Özellikleri	20
4.2.2. Kaynak Numunelerinin Hazırlanması	21
4.2.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Takım Tezgahı	22

4.2.4. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan uç tipi.....	23
4.2.5. Numunelerin tezgâha bağlanması	24
4.2.6. Sürtünme karıştırma Kaynağının yapılışı.....	26
4.3. Kaynak Sonrası Yapılan İncelemeler	26
4.3.1. Metalografik İncelemeler	26
4.3.2. Mikrosertlik Analizi	28
4.3.3. Çekme Deneyi	30
5. DENEY SONUÇLARI ve YORUMLANMASI.....	32
5.1. Kaynaklı Numunelerin Makroskobik Değerlendirilmesi.....	32
5.2. Kaynaklı Numunelerin Mikro Yapı Değerlendirmesi.....	32
5.3. Mikrosertlik Sonuçları.....	39
5.4. Çekme Deneyi Sonuçları.....	47
6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	53
6.1. Öneriler.....	54
KAYNAKLAR.....	55
ÖZ GEÇMİŞ	58

ÖZET

Son zamanlarda, otomobil endüstrisi, sadece benzin tüketimini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda yapısal bileşenler için hafif malzemeler araştırmasına olan ilgiyi arttırmıştır. Magnezyum alaşımları, araştırmacıların ve otomobil tasarımcılarının dikkatini çeken düşük yoğunluk, daha yüksek özgül mukavemet ve daha iyi işlenebilirlik özelliklerine sahiptir ve gelişmiş ülkeler, otomobil gibi taşıma uygulamalarında magnezyum alaşımlarına büyük önem vermektedir. AZ31 yoğunluğu 1.78 g/cm^3 olan, alüminyum, magnezyum, mangan ve çinko içeren bir magnezyum alaşımıdır. Organik ortamlarda dayanıklı, deniz suyuna ve asidik ortamlarda dayanıksızdır.

Sürtünme karıştırma nokta kaynak metodu Sürtünme karıştırma kaynağından türetilen otomotiv, elektronik ve diğer sanayi kollarında kullanılan bir katı hal kaynak yöntemidir. Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminde kullanılan kaynak takımı ile benzer bir takımla, dalma, karıştırma ve geri çekilme olarak belirtilen üç aşamalı son derece basit bir uygulaması vardır.

Bu çalışmanın amacı, piyasada yaygın kullanım alanına sahip AZ31 Magnezyum Alaşımının farklı kaynak parametrelerinde sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemiyle birleştirmektir. Birleşme sonrası arakesitte oluşan yapıların metalografik değerlendirilmesi yapılacak, çekme ve mikrosertlik ölçümü gibi testler ile mekanik davranışları belirlenecektir. Yapılan çalışmalar sonucunda en uygun kaynak parametreleri ve bu parametrelerdeki mekanik davranışlar belirlenecektir.

Deneysel çalışmalarda freze tezgâhı kullanılarak farklı parametrelerde sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilen numunelerin kaynak ara kesitleri optik ve SEM mikroskopları ile incelenmiş ve mikrosertlik dağılımları Vickers sertlik skalasında belirlenmiştir. Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerine uygulanan çekme deneyi mekanik özelliklerini bulmak amacıyla uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: AZ31 Magnezyum, Sürtünme Karıştırma Nokta kaynağı, Çekme deneyi, Mikroyapı

SUMMARY

Investigation of the Joining AZ31 Magnesium Alloy Friction Stir Spot Welding Method

In recent times, the automobile industry has not only reduced petrol consumption but also increased interest in researching lightweight materials for structural components. Magnesium alloys have the characteristics of low density, higher specific strength and better machinability that attract the attention of researchers and automobile designers, and the developed countries place great importance on magnesium alloys in transportation applications such as automobiles. AZ31 is a magnesium alloy containing aluminum, magnesium, manganese and zinc with a density of 1.78 g/cm^3 . Resistant in organic environments, resistant to sea water and acidic environments.

Friction stir spot welding method is a solid state welding method in automotive, electronics and other industrial branches derived from friction stir welding. There is a very simple application in three stages of plunge, stir and withdrawal with a set similar to the welding set similar to the friction stir welding method.

The purpose of this work is to combine friction welding at different welding parameters of the AZ31 Magnesium Alloy, which is widely used in the market. Metallographic evaluation of the structures formed after the merger will be made, mechanical behavior will be determined with tests such as tensile and microhardness measurement. The most appropriate source parameters and the mechanical behaviors in these parameters will be determined at the end of the studies.

Experimental studies were carried out by using optical bench and SEM microscopes and the microhardness distributions were determined on the Vickers hardness scale by using the milling bench and welding cross sections of the samples combined with friction mixing point source at different parameters. The tensile test applied to the specimens combined with the friction material was applied to find the mechanical properties.

Keywords: AZ31, Magnesium Alloy, Friction Stir Spot Welding, Tensile Test, Mechanical Properties.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Mg-Al-Zn-Mn alaşımının faz diyagramı	5
Şekil 2.2. Otomobillerde Mg alaşımından dökülerek üretilmiş parçalar	8
Şekil 2.3. Döküm yöntemi ile üretilmiş AZ alaşımı parçaları.....	8
Şekil 2.4. AM alaşımı döküm parçaları.....	9
Şekil 2.5. Magnezyum alaşımlarının yoğun kullanıma sahip olduğu elektronik endüstrisinden örnekler	9
Şekil 2.6. SKNK yönteminin aşamaları	10
Şekil 2.7. Birleştirme mekanizması.....	11
Şekil 2.8. Japon otomobil üreticisi kuruluş tarafından geliştirilen sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminin spor model bir otomobilin gövde panellerinin ve arka kapılarının sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanımı.....	12
Şekil 2.9. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan farklı omuz biçimleri.....	14
Şekil 2.10. FSSW kaynağı yönteminde kullanılan takımlardan örnekler	15
Şekil 2.11. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi ile elde edilen kaynak görüntüsünün üst ve alttan görüntüsü	15
Şekil 4.1. Piyasadan temin edilen AZ31B Magnezyum alaşımının boyutları.....	21
Şekil 4.2. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı için hazırlanan numune ölçüleri.....	22
Şekil 4.3. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan freze tezgâhı	23
Şekil 4.4. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan uç	24
Şekil 4.5. Malzeme çiftinin freze tezgâhına bağlanma düzeneği	25
Şekil 4.6. Mikroyapı şablonu	27
Şekil 4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	27
Şekil 4.8. Metalografik incelemeler öncesi kaynaklı numune	28
Şekil 4.9. Mikrosertlik cihazı	29
Şekil 4.10. Mikrosertlik ölçüm şablonu	29
Şekil 4.11. Numunenin kaynak sonrası şematik gösterimi	30
Şekil 4.12. Çekme deneyi makinesi	31
Şekil 5.1. Kaynaklı Numunelerin üstten, alttan ve yandan görünüşleri.....	32
Şekil 5.2. AZ31B Mg alaşımının mikroyapı fotoğrafı	33
Şekil 5.3. P1 numunesine ait SEM görüntüleri	33

Şekil 5.4. P2 numunesine ait SEM görüntüleri	34
Şekil 5.5. P3 numunesine ait SEM görüntüleri	35
Şekil 5.6. P4 numunesine ait SEM görüntüleri	36
Şekil 5.7. P5 numunesine ait SEM görüntüleri	37
Şekil 5.9. P7 numunesine ait SEM görüntüleri	38
Şekil 5.10. P8 numunesine ait SEM görüntüleri	39
Şekil 5.11. P1 Numunesinin Mikrosertlik Değerleri	40
Şekil 5.12. P2 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi	41
Şekil 5.13. P3 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi	42
Şekil 5.14. P4 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi	42
Şekil 5.15. P1,P2,P3,P4 no'lu numunelerin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı ...	43
Şekil 5.16. P5 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi	44
Şekil 5.17. P6 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi	44
Şekil 5.18. P7 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi	45
Şekil 5.19. P8 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi	46
Şekil 5.20. P5,P6,P7,P8 no'lu numunelerin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı ...	46
Şekil 5.21. AZ31B Mg alaşımına ait gerilim-gerinim diyagramı	47
Şekil 5.22. P1 numunesine ait çekme grafiği	48
Şekil 5.23. P2 numunesine ait çekme grafiği	48
Şekil 5.24. P3 numunesine ait çekme grafiği	49
Şekil 5.25. P4 numunesine ait çekme grafiği	49
Şekil 5.26. P5 numunesine ait çekme grafiği	50
Şekil 5.27. P6 numunesine ait çekme grafiği	50
Şekil 5.28. P7 numunesine ait çekme grafiği	51
Şekil 5.29. P8 numunesine ait çekme grafiği	51

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Magnezyumun Fiziksel Özellikleri	3
Tablo 2.2. Alaşım elementleri ve kısaltmaları	4
Tablo 2.3. AZ31 malzemesinin kimyasal bileşimi.	9
Tablo 4.1. AZ31 magnezyum alaşımının kimyasal kompozisyonu.....	21
Tablo 4.2. Sürtünme karıştırma nokta kaynak parametreleri.....	26
Tablo 5.1. Kaynak parametreleri ve Çekme mukavemeti değerlendirmesi.....	52



SEMBOLLER ve KISALTMALARLISTESİ

- EM** : Esas Metal
FSSW : Friction Stir Spot Welding
ITAB : Isının Tesiri Altındaki Bölge
SEM : Scanning Electron Microscope
SKNK : Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı
TEB : Termomekanik Olarak Etkilenmiş Bölge



1. GİRİŞ

Magnezyum metali konstrüksiyon metalleri açısından bilinen 1.74 gr/cm^3 'lük düşük yoğunluğu nedeniyle en hafif yapısal metaldir. Magnezyum alaşımları birim hacimde Alüminyumdan % 36, çelikten ise % 78 oranında daha hafif bir metaldir. Magnezyum alaşımları plastiklere alternatif olarak otomotiv, savunma sanayisi ve havacılık endüstrisinde hafiflikleri ve yüksek mukavemeti dolayısıyla kullanımı giderek artan bir malzemedir. Magnezyum saf olarak soğuk şekillendirme kabiliyeti ve dayanımı düşüktür[1].

Son zamanlarda, otomobil endüstrisi, sadece benzin tüketimini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda yapısal bileşenler için hafif malzemeler araştırmasına olan ilgiyi arttıran otomobil imalatının maliyetini de düşürebilen otomobil ağırlığını azaltmak için kritik bir zorlukla karşı karşıya kalmıştır. Magnezyum alaşımları, araştırmacıların ve otomobil tasarımcılarının dikkatini çeken düşük yoğunluk, daha yüksek özgül mukavemet ve daha iyi işlenebilirlik özelliklerine sahiptir ve gelişmiş ülkeler, otomobil gibi taşıma uygulamalarında magnezyum alaşımlarına büyük önem vermektedir. Dünyanın 190 ülkesinde kabul edilen Kyoto Protokolü çerçevesinde İklim değişikliği ve Çevre Sözleşmesi kapsamında çevreye zararlı gazların ve geri dönüşümlü malzemelerin kullanımı konusunda uzlaşmaya varılmıştır. Ülkemizde de 13 Mayıs 2009 tarihinde Bakanlar Kurulu kararıyla bu sözleşme imzalanarak yürürlüğe girmiştir. Kyoto Protokolü kapsamında otomotiv sanayisinde kullanılan maddelerin daha hafif ve geri dönüşümü mümkün olan malzemelere yönelim başlamıştır. Magnezyum elementi ve alaşımları bu kapsamda otomotiv, havacılık ve elektronik sektöründe sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Otomotiv sanayisinde kullanılan Magnezyum alaşımları sayesinde yakıt tüketiminde belirgin bir düşüş görülmüş olup buna bağlı olarak sera gazının salınımı azalmaktadır. Sanayisi gelişmiş birçok ülkede özellikle Magnezyum ve alaşımlarının üretimi ve kullanım alanlarının artırılması noktasında önemli mesafeler kat edilmiştir [2]. Ülkemiz bu gelişmeleri yakından takip etmektedir şöyle ki Avrupa Birliği ülkeleri arasında ilk Magnezyum üretim tesisi 2015 yılında Eskişehir ilimiz sınırları içerisinde kurularak faaliyete geçmiştir.

Bu çalışmada, kullanım alanı artan Mg alaşımlarından AZ31B alaşımı, yeni bir kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma nokta (SKNK) kaynağı ile birleştirilmeye

alışılmıştır. Çalışmada 1500 ve 2000 dev/dk'da, konik uç profili ile 4,5 mm ve 5 mm batma derinliğinde, 5sn ve 10 sn bekleme süresi değişkenleri ile birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler 1500 dev/dk 4,5 mm dalma derinliği bekleme süresi 5 sn-10sn bekleme süresi, 2000 dev/dk 4,5 mm dalma derinliği 5sn-10sn bekleme süresi, 1500 dev/dk 5mm dalma derinliği 5sn-10sn bekleme süresi, 2000 dev/dk 5mm dalma derinliği 5sn-10sn bekleme süresi olmak üzere dört farklı grupta incelenmiştir. Kaynak işleminden sonra, kaynaklı bağlantıların mikroyapı fotoğrafları alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır.



2. GENEL BİLGİ

2.1. Magnezyum

Magnezyum elementi Sir Humphrey Davey tarafından 1808 yılında keşfedilmiştir. Magnezyum yer kabuğunun % 2.7' sinde ve okyanusların % 0.13' ünde bulunması nedeniyle, gezegenimizde en çok bulunan elementlerden biridir. Bu alkali element Periyodik Tabloda IIA grubunda yer alır[3]. Tablo 2.1de magnezyum elementine ait fiziksel özellikler verilmiştir.

Tablo 2.1. Magnezyumun Fiziksel Özellikleri[4].

Fiziksel Özellikler	Mg
Atom No	12
Atom Kütlesi	24.3
20°C Deği Özgöl 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

Dünyada bilinen ve endüstride kullanılabilen en hafif malzeme magnezyumdur. Son yıllarda otomotiv, savunma sanayinde ve havacılık sektöründe yoğun olarak kullanılmaya başlayan magnezyum, hafif olması ve mukavemeti nedeni ile tercih edilen bir metal konumundadır [4].

2.1.1. Magnezyum Alaşımları ve Özellikleri

Magnezyum % 99,8'in üzerinde saflık derecesinde bulunabilmesine karşın, mühendislik uygulamalarında genellikle Alüminyum, Mangan, Çinko, nadir toprak elementleri olan, Toryum, Zirkonyum, Gümüş gibi metaller ile alaşımlandırılarak kullanılmaktadır[5].

Mg alaşımları ASTM (A275) standart sistemi tarafından belirlenmiştir. Yöntem iki harf ve iki rakamı kapsamaktadır. İki harf Magnezyum harici alaşım elementlerinin en büyük elemanına verilmiş olan harf kısaltması; rakamlar ise bu alaşımların en yakın tam sayıya yuvarlanmış yüzdelik dilimleridir. Tablo 2.2’de yaygın bir şekilde kullanılan alaşım elementleri tek harfle listelenmiş şekilde verilmiştir[6].

Tablo 2.2. Alaşım elementleri ve kısaltmaları.

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

Örnek: AZ31 alaşımının açıklaması aşağıda gösterilmektedir.

- A → Al’yi yani Mg’den sonra alaşımdaki en fazla elementi belirtir.
- Z → Zn’yi yani ikinci olarak en çok kullanılan elementi belirtir.
- 3 → Alaşımdaki Al oranının yaklaşık % 2.5-3.5 arasında olacağını belirtir.
- 1 → Alaşımdaki Zn oranının yaklaşık % 0.7-1.3 arasında olacağını belirtir [6].

2.1.2. Magnezyum Alaşımlarında Alaşım Elementlerinin Etkisi

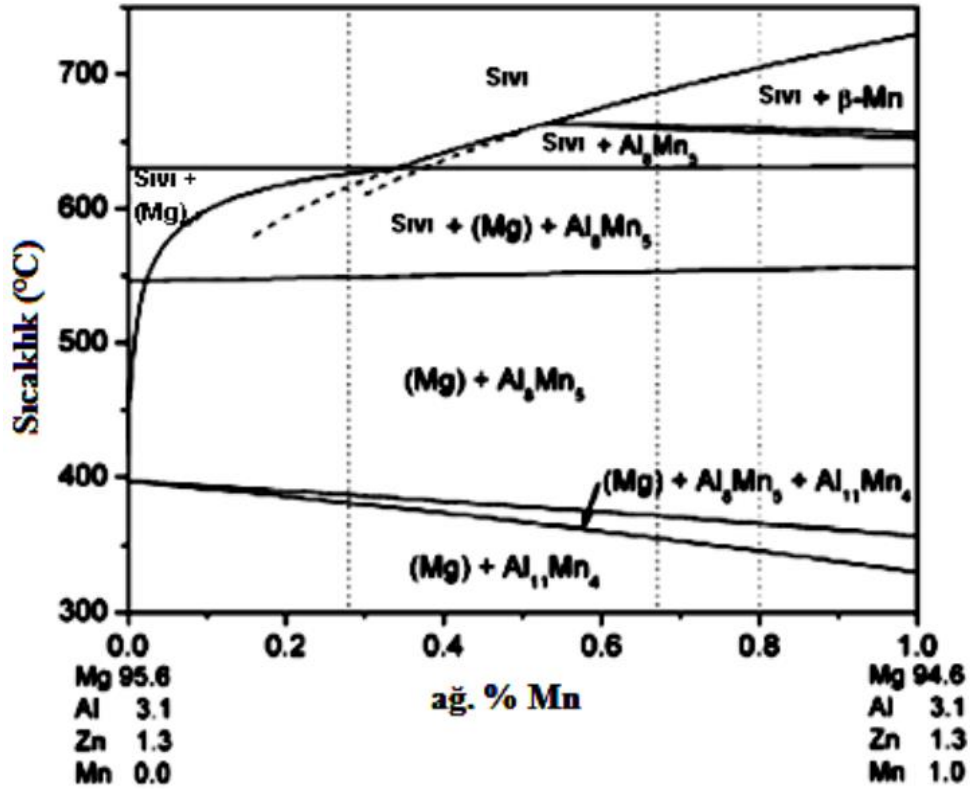
Magnezyum alaşımlarının kullanımında istenilen özellikleri elde etmek için alaşım elementlerinin oranları ve türleri büyük etkiye sahip sahiptir. Bu alaşım elementlerinin etkileri aşağıda sıralanmıştır;

Alüminyum: Magnezyum alaşımlarında en fazla Alüminyum elementi kullanılmaktadır ve magnezyumdaki maksimum çözünürlüğü % 12,7’dir. Alüminyum alaşımda korozyon direncini, mukavemeti, dökülebilirliği ve sertliği arttırmaktadır. Ergimiş magnezyum alaşımının oksidasyon hızını ise düşürmektedir. Alaşımda Alüminyum miktarı arttıkça süneklik azalmaktadır. Mukavemetin ve sünekliğin en iyi kombinasyonu ise, magnezyum alaşımında % 6 alüminyum bulunduğunda elde edilmektedir[5, 7, 8].

Çinko: Alüminyum elementi ile birlikte kullanılan Çinko elementi genellikle oda sıcaklığı mukavemetini arttırmak için kullanılmaktadır. Magnezyum alaşımında bulunan demir ve nikel empüritelerinin korozif etkilerini azaltmaktadır. Buna ek olarak, ergimiş metalin akışkanlığını arttırmaktadır. Fakat magnezyum alaşımını % 2’den fazla çinko

içerdiğinde, uzama miktarı azalarak kırılma meydana gelmektedir. Sünekliğin azalması ise, çinko elementinin Mg₁₇Al₁₂ fazında tercihli olarak birikmesi şeklinde açıklanmaktadır. Çinko, magnezyum alaşımının mukavemetini arttırmak için zirkonyum, nadir toprak elementleri ve toryum ile birlikte de kullanılmaktadır [5, 7, 9].

Mangan: Genellikle diğer alaşım elementleri ile beraber kullanılmaktadır. Magnezyum alaşımı en fazla ağırlık % 1,5 – 2 mangan içermektedir. Alüminyum içeren magnezyum alaşımlarında mangan, alüminyum ile MnAl, MnAl₄, MnAl₆, Al₈Mn₅ ve Al₈(Mn,Fe)₅ bileşiklerini oluşturmaktadır. Mg-Al-Zn-Mn alaşımına ait faz diyagramı Şekil 2.1’de görülmektedir [11]. Magnezyum alaşımlarına mangan eklenmesinin temel sebebi, manganın Fe-Mn çökeltileri oluşturarak demir miktarının kontrol altında tutulmasını sağlamasıdır. Bu şekilde, alaşımda bulunan ağır metal empüriteler giderilerek korozyon özellikleri yükseltmektedir. [5, 7, 8, 10].



Şekil 2.1. Mg-Al-Zn-Mn alaşımının faz diyagramı [11].

Silisyum: AS serisi magnezyum alaşımlarında bulunan silisyum, meydana gelen Mg₂Si çökeltilerine bağlı olarak alaşımın sürünme dayanımı arttırmaktadır [11]. Mg-Si ötektik noktası olan % 1,16’den fazla silisyum ilavesi ise, alaşımın mekanik özelliklerini

olumsuz etkileyen kaba intermetalik partiküllerin oluşmasına neden olmaktadır [26,30]. Mg_2Si çökelti fazının zayıf bir katot olması nedeniyle silisyumun, magnezyum alaşımının korozyon hızı üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır. Mg_2Si çökelti fazının, pH değeri 10,5 olan % 5 NaCl çözeltisindeki korozyon potansiyeli -1,65 V/SCE'dir ve -1,66 V olan saf magnezyumun korozyon potansiyeli değerine çok yakındır [12].

Kalsiyum: Nadir toprak elementleri ile karşılaştırıldığında daha uygun fiyatlı ve hafif olan kalsiyum, tane sınırları boyunca oluşan Al_2Ca çökeltilerine bağlı olarak magnezyum alaşımının sürünme dayanımını arttırmaktadır [36]. Kalsiyum, magnezyum alaşımlarında tane boyutu kontrolünde kullanılmaktadır. Levhaların haddelenebilirlik özelliklerinde de gelişme sağlamaktadır. [26,30]. Alaşım elementlerinin korozyon hızı üzerindeki etkisi alaşımda bulunma yerine, şekline ve miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Magnezyum AC52 ve AC53 alaşımları, AM50 alaşımına kalsiyum ilave edilerek elde edilmektedir. Başlangıçta magnezyum içerisinde çözünen ve magnezyumun aktivitesini düşüren kalsiyum, alaşımın korozyon özelliklerini iyileştirmektedir. Magnezyum içerisindeki konsantrasyonu artan kalsiyum ise, Al ve Mg ile $(Mg_2Al)_2Ca$ intermetalik bileşiğinin oluşması ve galvanik hücre sayısının artması nedeniyle korozyon hızını arttırmaktadır [12].

Gümüş: Nadir toprak elementleri ile birlikte kullanılarak, magnezyum alaşımının sürünme dayanımını ve yüksek sıcaklık mukavemetini yükseltmektedir. Fakat alaşımın korozyon direncini azaltmaktadır [12].

Zirkonyum: Zn, Ag, Y, Th ve nadir toprak elementleri içeren saf magnezyuma ve magnezyum alaşımlarına ilave edilen zirkonyum, tane küçültücü olarak kullanılmaktadır. Berilyumun tane büyütücü etkisini düşürmektedir. Örnek olarak, berilyum içeren AZ92 alaşımına ilave edilen % 0,2 Zr, alaşımın tane boyutunun 510 μm 'den 180 μm 'ye düşmesini sağlamaktadır. Bu şekilde alaşımın mekanik özellikleri iyileşmektedir [7, 8, 12].

Berilyum: Ergimiş metalin tutuşmasını ve oksidasyonunu engellemek amacıyla düşük miktarda (10-15 ppm) kullanılmaktadır. Magnezyum eriyikten, demirin giderilmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Fakat Mg-Al alaşımlarına ilave edilen eser miktardaki berilyum, tane büyümesine sebebiyet vermektedir [7].

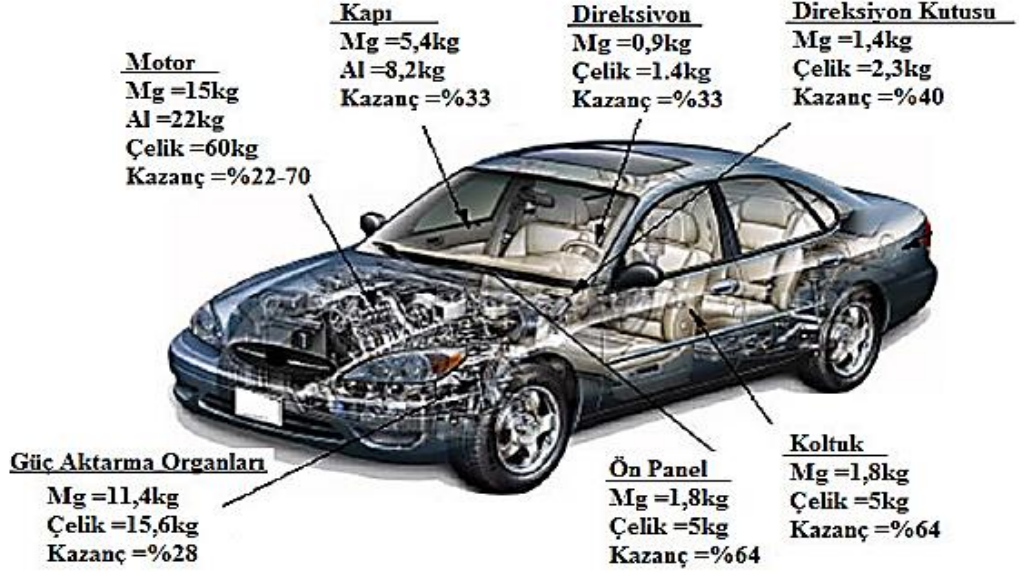
Toryum: Magnezyum alaşımlarının sürünme dayanımını 350°C sıcaklığa kadar arttırmakta ve dökülebilirliğini iyileştirmektedir [8].

İtriyum: Magnezyum alaşımlarının yüksek sıcaklık mukavemetini ve sürünme dayanımını 300°C sıcaklığa kadar arttırmak amacıyla nadir toprak elementleri ile birlikte kullanılmaktadır [8].

Stronsiyum: Mg-Al alaşımlarına ilave edilen stronsiyum, tane boyutunun küçülmesini sağlamaktadır. Noranda Inc.'in geliştirdiği AJ magnezyum alaşımı, BMW hibrid motor karterinde kullanılmaktadır. Tane boyutunun küçülmesine, bileşimin ve oksit tabakasının yapısının değişmesine, mevcut fazların elektrokimyasal özelliklerinin değişmesine bağlı olarak alaşımın korozyon hızı azalmaktadır. Yeni geliştirilen Mg-Al-Sr magnezyum alaşımının sürünme dayanımının yüksek olması diğer olumlu özellikleri arasında yer almaktadır. Yapılan karakterizasyon çalışmalarında alaşımın Al-Sr-(Mg) intermetalik ikincil fazlarını içerdiği gözlemlenmiştir. Magnezyum basınçlı döküm alaşımları AS41, AE42, AM60B ve alüminyum basınçlı döküm alaşımı A380 ile karşılaştırıldığında, Mg-Al-Sr magnezyum alaşımının tuz püskürtme korozyon direncinin (0,09 – 0,15 mg/cm² gün) daha yüksek olduğu yapılan araştırmalar sonucu gözlemlenmiştir[12].

2.1.3. Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Alanları

Günümüz endüstrisinde şekil verilebilirliği, iletkenlik ve düşük yoğunluğu sebebiyle mg alaşımları yoğun şekilde kullanılmaktadır. Mg alaşımlarının kullanılmakta olduğu alanlar Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Otomobillerde Mg alaşımından dökülerek üretilmiş parçalar [13].



Tekerlek jantı



Bisiklet çatalı



Güverte desteği



Silindir ana kapağı



Direksiyon



İçten yanmalı motor pistonları

Şekil 2.3. Döküm yöntemi ile üretilmiş AZ alaşımı parçaları [13].



Şekil 2.4. AM alaşımı döküm parçaları [4].



Şekil 2.5. Magnezyum alaşımlarının yoğun kullanıma sahip olduğu elektronik endüstrisinden örnekler [14].

2.1.4. AZ31 Alaşımları

Yoğunluğu 1.78 g/cm³ olan, alüminyum, magnezyum, mangan ve çinko içeren bir magnezyum alaşımıdır. Organik ortamlarda dayanıklı, deniz suyunda ve asidik ortamlarda dayanıksızdır. AZ31 alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3. AZ31 malzemesinin kimyasal bileşimi.

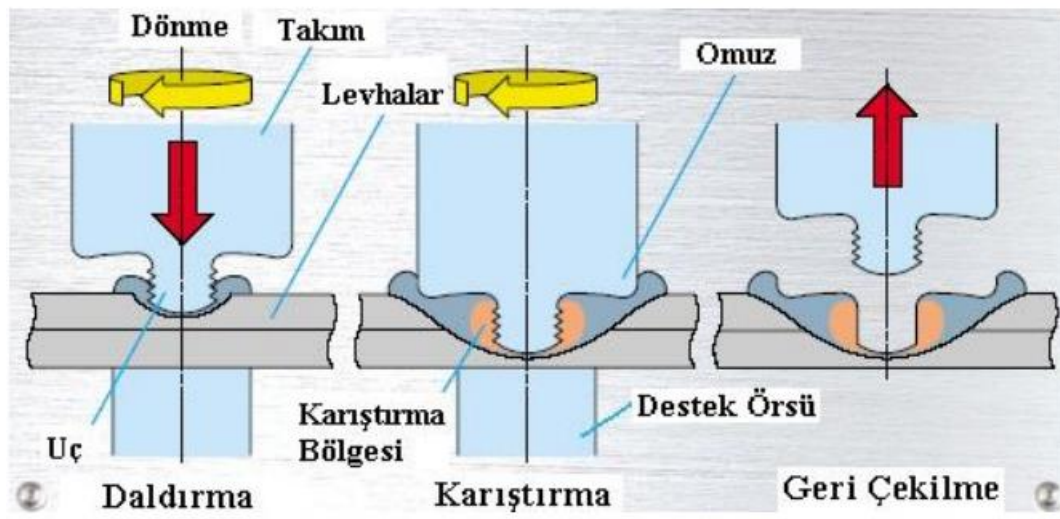
Alaşım	Mg	Al	Zn	Mn	Si <	Fe	Cu <	Ni <	CA	Diğer
AZ31	94-96	2,5-3,5	0,6-1,4	0,2-1,0	0,05	0,002	0,01	0,001	0,04	0,01

2.2. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı

Elektrik direnç nokta kaynağına alternatif olarak geliştirilmiş olan ve alışılmış sürtünen elemanla kaynak veya yaygın adıyla sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) yönteminden yola çıkılarak geliştirilen sürtünme karıştırma nokta kaynağı (Friction Stir Spot Welding-FSSW) yöntemi, kaynak teknolojisi konusundaki en yeni gelişmelerden biri olarak karşımızdadır. Yöntem, nokta sürtünme kaynağı (Spot Friction Welding- SFW) veya sürtünme nokta birleştirmesi (Friction Spot Joining- FSJ) olarak da adlandırılmaktadır[15, 16]. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi, ilk olarak literatüre 2000 yılında girmiş ve 2001 yılında temel prensibi hakkındaki ilk rapor yayımlanmıştır. Bu yöntem bir Japon otomobil kuruluşu olan Mazda tarafından 1999 yılında geliştirilmiş ve daha sonra patenti alınarak ve literatür de yayınlanarak dünyaya tanıtılmıştır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ilk defa 2003 yılında Mazda RX-8'in yan kapı panel nokta kaynağında kullanılmıştır [17].

2.2.1. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının Uygulanışı

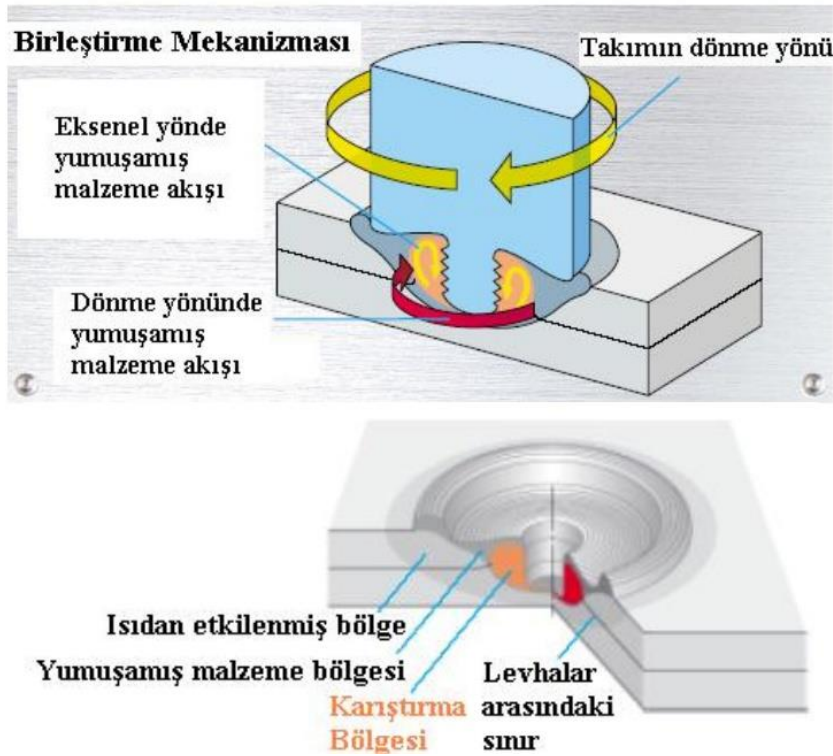
Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminin, sürtünme karıştırma kaynağı yönteminde kullanılan kaynak takımı ile benzer bir takımla, dalma, karıştırma ve geri çekilme olarak belirtilen üç aşamalı son derece basit bir uygulaması vardır (Şekil 2.6). Bu üç aşama sırasıyla aşağıdaki gibidir [18].



Şekil 2.6. SKNK yönteminin aşamaları [18].

1) Daldırma: Sabit bir devirle döndürülen kaynak takımının uç kısmı bindirme kaynağı pozisyonundaki parçalara temas ettiği anda bu aşama başlamış olur. Takımın uyguladığı kuvvet, birleştirilecek parçalar ile takım ucundaki pim arasında sürtünme ısısının ortaya çıkmasını sağlar. Bu sürtünme ısısı sebebiyle bölgede yumuşayan malzeme, takım ucunun iş parçasına dalmasına müsaade eder. Bu aşama takım omzunun üst parça yüzeyine temas etmesiyle son bulur[18].

2) Karıştırma (Birleştirme): Kaynak takımının omuz kısmı üst parça yüzeyine temas ettiğinden dolayı bu bölgede de sürtünme ısısı meydana gelmekte ve kaynak bölgesine daha yüksek seviyede ısı girişi sayesinde daha büyük bir alanda malzeme yumuşaması sağlanmaktadır. Yumuşayan malzeme karıştırılarak metalurjik bir bağ takım ucu etrafında oluşmaktadır. Ayrıca, takım omuzu parçalara kuvvet uygulamaya devam ederek iki parça arasındaki birleşme ara yüzeyinin tam temasta olmasını sağlar. Karıştırma safhasında yumuşayan malzemenin iki türlü hareketi mevcuttur (Şekil 2.7) [18].



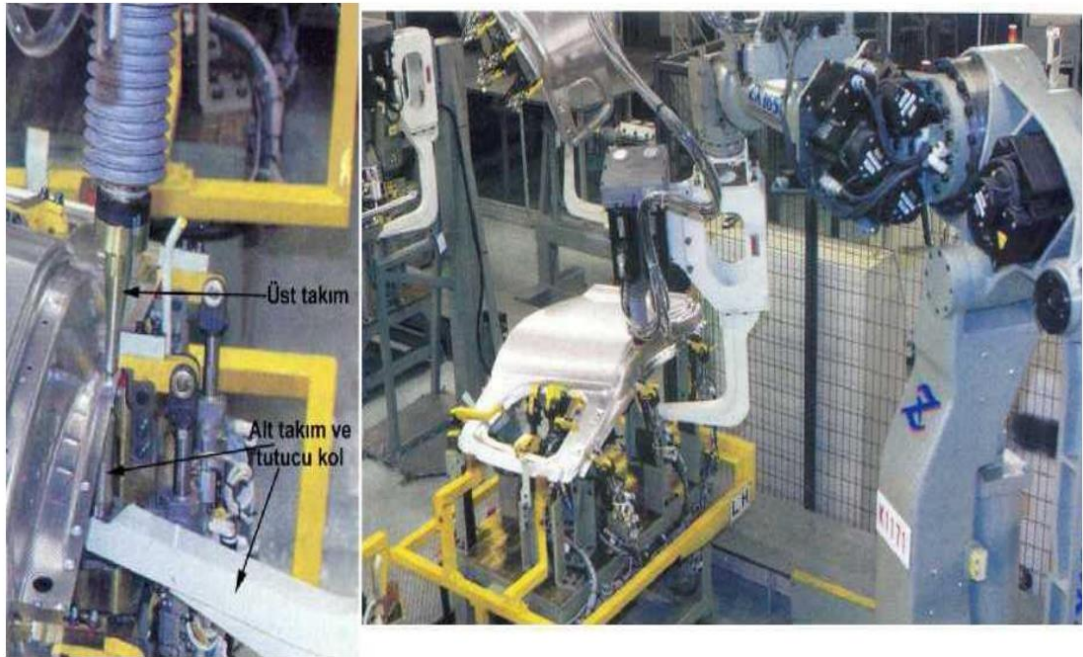
Şekil 2.7. Birleştirme mekanizması [18].

a) Eksenel doğrultuda yumuşamış malzeme hareketi: Takım ucunun çevresindeki yumuşamış olan malzeme, takım ucundaki vida dişlerinin dönmesiyle eksenel doğrultuda (kalınlık doğrultusunda) hareket eder [18].

b) Dönme yönünde yumuşamış malzeme hareketi: Kaynak takımının dönüşüyle malzeme sürükleniyormuş gibi hareket eder [18].

3) Geri çekilme: Kaynak takımı, birleştirme tamamladıktan sonrada, dönmeye devam ederek geri çekilir Kaynak takımı parçalardan tamamen uzaklaştığında, kaynak bölgesinin ortasında karakteristik bir boşluk oluştuğu görülür [18].

Yöntemi geliştiren ve ilk kullanan Japon otomobil kuruluşu, yöntemin uygulanmasında bu yöntem için özel olarak geliştirilen kaynak robotunu kullanarak üretmekte olduğu spor model otomobillerin arka kapılarını ve motor kaputlarını üretmektedir. Ekipman fiyatları bakımından sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi direnç nokta kaynağına göre % 40 daha az kurulum maliyeti gerektirdiği de belirtilmektedir. Şekil 2.8’de kaynak robotuyla yapılan FSSW kaynak uygulaması görülmektedir [17].



Şekil 2.8. Japon otomobil üreticisi kuruluş tarafından geliştirilen sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminin spor model bir otomobilin gövde panellerinin ve arka kapılarının sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanımı [17].

2.2.2. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağındaki Parametreler

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yönteminde kullanılan değişkenlere bağlı olarak değişik biçimlerde kaynak noktaları oluşmaktadır. Bu değişkenler;

- Kaynak edilen malzeme,
- Takım malzemesi,
- Takım omuz çapı,
- Takım geometrisi (pim çapı ve pim biçimi),
- Takımın dönme hızı,
- Kaynak hızı [19].

2.2.3. Takım Malzemesi

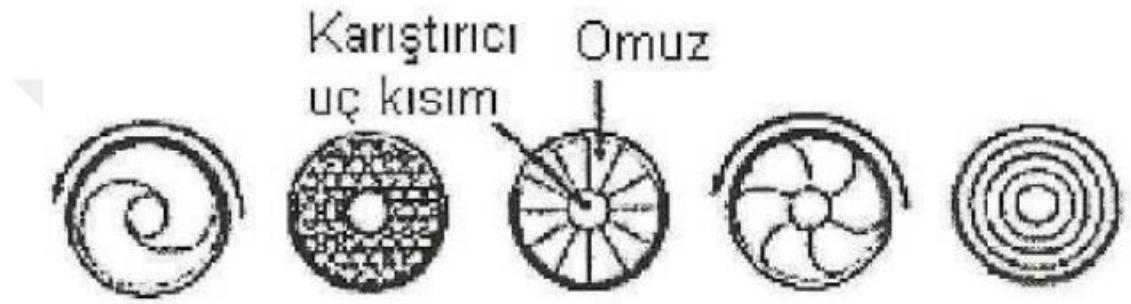
Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) uygulamalarında kaynak edilecek malzemenin türüne bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda aşınma direncine sahip takımlar kullanılır. Yöntem önceleri alüminyum ve alüminyum alaşımları için kullanıldığından alaşımsız çeliklerden yapılmış takımlar ile iyi sonuçlar alınmıştır. Ancak yöntemin ısı işlem görmüş bazı alüminyum türlerinde de kullanılması takımın aşınmasına ve kısa sürede kırılmasına neden olmuştur. Zaman içinde alaşımsız çelik takımlar yerini alaşımlı çelik takımlara bırakmıştır. Alüminyum alaşımlarının normal türlerinde alaşımlı AISI 4140 ve AISI 4340 türü transmisyon (mil) çelikleri kullanılabilmesinin yanı sıra (X40CrMoV51) sıcak iş takım çeliği ve bazı tür HSS (EN HS 6-5-3) yüksek hız çelikleri kullanılabilir. Önce alüminyum levhaların kaynağında da C45, C50, C60 gibi az alaşımlı takım çelikleri kullanılmaktadır [19].

2.2.4. Takım Dönme Hızı ve Kaynak Hızı

Yapılan çalışmalarda genel olarak takım devri 1000-2000 dev/dk değerlerindedir. Bu devirler özellikle birleştirmenin mukavemeti ve kaynak süresi üzerinde olumlu ya da olumsuz etki yapmaktadırlar. Çalışmaların büyük kısmında elde edilen ortak görüş; düşük takım dönme hızlarında (1000-1500 devir/dk) daha yüksek bağlantı mukavemeti elde edilebilmesidir. Genel olarak ortaya çıkan kaynak süresi 1,5 sn ile 3,25 saniye arasında değişmektedir. Bu süre kaynak malzemesi ve takım devri ile değişmektedir [16].

2.2.5. Takım Omuz Çapı

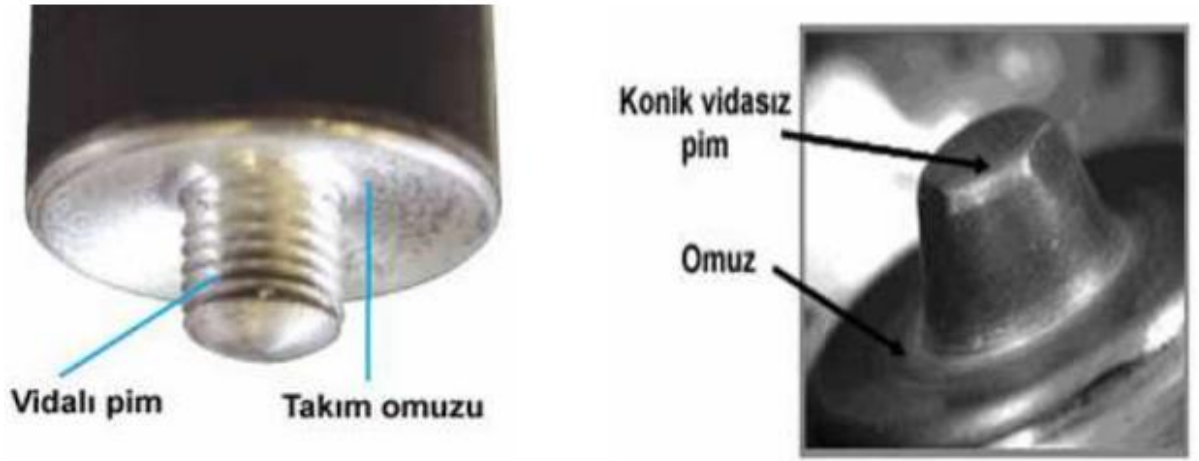
Sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi üzerine yapılan çalışmalar, malzemeye basınç uygulayan omuzlu takımın omuz profillerinin kaynak kalitesi üzerinde etkisi olduğunu göstermiş, bu amaçla çeşitli omuz profillerine sahip takımlar geliştirilerek endüstriyel uygulamalarda kullanılmıştır. Şekil 2.9’da farklı omuz biçimleri görülmektedir. Özellikle omuz profili, kaynak edilen malzemede kaynak sırasında plastik şekil değiştiren metali aşağıya doğru bastırarak kaynak dikişinin oluşumunu etkilemektedir [19].



Şekil 2.9. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan farklı omuz biçimleri [19].

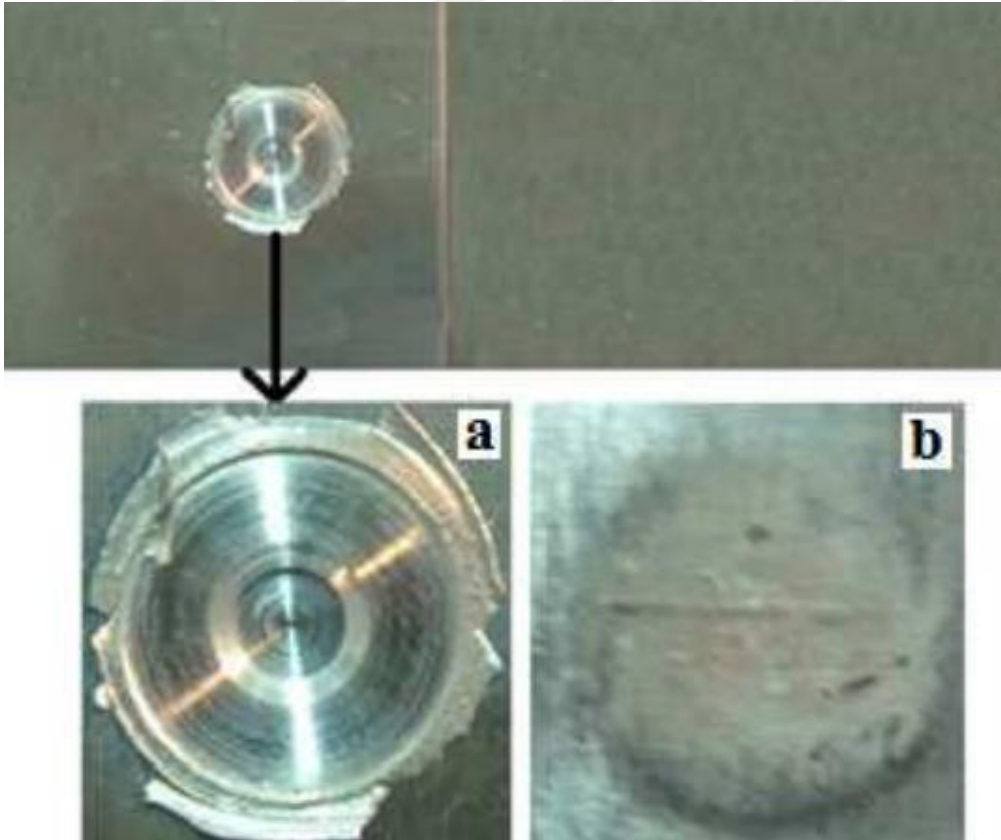
2.2.6. Takım Geometrisi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kaynak kalitesine etkiyen en önemli etkenlerden biri yöntemde kullanılan takım geometrisidir. Takım bu yöntemin uygulanmasında iki önemli görevi yerine getirmektedir. Bunlardan ilki yerel ısı oluşturmak, diğeri de ısınarak plastikleşmiş olan malzemeyi takım arkasına doğru iterek yer değiştirmesini sağlamaktır [19]. Şekil 2.10’da sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan takım örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.10. FSSW kaynağı yönteminde kullanılan takımlardan örnekler [19].

Japon kuruluşu tarafından geliştirilen Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminde pimli üst takımın yukarıya çekilmesi sonucu bir delik kalmaktadır. Şekil 2.11’de alışılmış Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi takımı kullanılarak oluşturulan bir deney parçasındaki noktanın üst ve arka görünümü verilmektedir [19].



Şekil 2.11. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi ile elde edilen kaynak görüntüsünün üst ve alttan görüntüsü [16].

2.2.7. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının Magnezyum Alaşımlarına Uygulanması

Gelişen teknoloji ile birlikte otomotiv sanayisinde saçların yerine daha hafif malzemeler(Magnezyum ve Alüminyum) kullanılmaya başlanmıştır. Sürtünme karıştırma nokta kaynak metodu Sürtünme karıştırma kaynağından türetilen otomotiv, elektronik ve diğer sanayi kollarında kullanılan bir katı hal kaynak yöntemidir [18].

Daha sonra birçok firma Sürtünme karıştırma nokta kaynağını kullandığını açıklamıştır. Kaynak metodunun temeli, aşınmaya dayanıklı dönel bir uç sayesinde alüminyum, magnezyum, bakır ve kurşun gibi malzemelerin birleştirilmesinin sağlanmasıdır[20].Laboratuar koşullarında ana metal olan alüminyum kompozitler, magnezyum alaşımlar, çinko, titanyum alaşımları ve çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağı ile başarılı bir şekilde kaynaklı imatları 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 [21, 22].

3. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde sürtünme karıştırma nokta kaynağı ve magnezyum alaşımlarının kaynağı ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu bölümde yapılan çalışmalardan bazıları verilecektir.

Bilici M.K. ve arkadaşları (2011), yaptıkları çalışmada, yüksek yoğunluğa sahip polietilen levhalarını sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi ile birleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda Kaynak takımının dönme hızı, takımın iş parçalarına dalma derinliği ve takım dönme süresi kaynak dikişi oluşumunda büyük oranda etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda bu parametrelerin kaynak kopma kuvveti üzerine önemli oranda etki ettiği, Takım bekleme süresinin kaynak dikişi kopma kuvvetini yükselttiği ve takım dalma hızının kaynak kopma kuvvetine etki etmediğini tespit edilmişlerdir [23].

Mert Ş. ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma nokta kaynağı ve direnç nokta kaynağını teorik olarak karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada sürtünme karıştırma nokta kaynağının, sürtünme karıştırma kaynağından türetildiğini gözlemleyerek, iki yöntem arasındaki birleştirme mekanizmasının aynı olduğunu belirtmişlerdir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağının direnç nokta kaynağında olduğu gibi hafif metallerin kaynağında kullanıldığını ve direnç nokta kaynağının yerini alabileceğini belirtmişlerdir [18].

Külekçi M.K. ve arkadaşları (2011) yaptıkları çalışmada, EN AW – 5005 (Al Mg1) alüminyum alaşımını sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma kaynak parametrelerinden takım dalma mesafesinin nokta kaynağı bağlantısı üzerinde büyük oranda etkiye sahip olduğu tespit etmişlerdir. Takım dalma mesafesinin artırılması ile birlikte kaynaklı bağlantının kesme makaslama mukavemetinde artma olduğunu gözlemleyerek optimum kaynak parametrelerinin 2,6 mm takım dalma mesafesi, 1500 rev/min takım devri ve 10 s kaynak süresi olduğunu belirtmişlerdir [24].

R. Kaçar ve arkadaşları (2011) yaptıkları çalışmada, levha halindeki 5754 alüminyum alaşımını bakır ara tabaka kullanarak ve kullanmadan sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirmişler. Yaptıkları çalışma sonucunda bakır ara tabaka kullanılarak yapılan birleştirme işleminde mekanik özelliklerinin daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir [25].

Sudağ M. (2011), yaptığı çalışmada AA6061 ve AA7075 alüminyum alaşımlarını 3 farklı uç takımı kullanarak sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirmiş. Yaptığı çalışma sonucunda en iyi mekanik ve metalürji özellikleri silindirik uç ile yapılan birleştirme sonucu elde edildiğini gözlemlemiştir [16].

J. Gonçaves ve arkadaşları (2015), yaptıkları çalışmada Sürtünme karıştırma nokta kaynağının yeni bir kaynak türü olduğunu, Kaynak yapımı için parçalar arasında makromoleküler difüzyona sahip olabilmesi için yeterli ısı girdisi ve parçalar arasında sürtünmeyi kullandığını belirtmişlerdir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağının fiber takviyeli polimer kompozitler için son teknoloji ürünü olan ultrasonik kaynaklarla karşılaştırılabilecek performansa sahip olduğunu belirtmişlerdir [26].

Fanelli P. ve arkadaşları (2011), yaptıkları çalışmada Sürtünme karıştırma nokta kaynağına bağlanan iş parçasının analizini hem sayısal hem de deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağın mekanik özelliklerinin dağılımı ve mafsalsın çok yönlü iç geometrisinin parametrik olarak değerlendirilmesini sağlayan bir 3D görüntü üzerinde analizinin yapmışlardır [27].

H.M. Rao ve arkadaşları (2015), yaptıkları çalışmada Sürtünmeli karıştırma noktası kaynağı, farklı kaynak koşulları altında alüminyum (Al) 6022-T4 benzeri dökme magnezyum (Mg) alaşımı AM60B ve dövülmüş alaşımına uygulamışlardır. Çalışma devir sayısının her iki malzeme içinde mekanik özelliklere doğrudan etki ettiğini belirtmişlerdir [28].

Kahraman B. (2009) yaptığı çalışmada; Alüminyum 5754 alaşımını Direnç nokta kaynağı ve Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirerek elde edilen bağlantıların kaynak bölgelerindeki metalürji ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile yapılan birleştirmelerin direnç nokta kaynağı ile yapılan birleştirmelere göre daha iyi mekanik özellik sergilediğini gözlemlemiştir [17].

Akın M. (2017) yaptığı çalışmada; DX51D+Z galvanizli çelik sac levha ile 6061 serisi alüminyum alaşımı sac levhanın sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilebilirliğini araştırmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda DX51D+Z galvanizli çelik sac levha ile 6061 serisi alüminyum alaşımı sac levhanın sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilebileceğini ortaya koymuştur [29].

Bulut R. (2009), yaptığı çalışmada AZ31 magnezyum alaşım levhalarının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirmiştir. Yaptığı çalışmada uç ile ana metal arasında oluşan

sıcaklıkların malzemenin mikro yapısını ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediği incelemiş, devir sayısının artışıyla birlikte dinamik olarak yeniden kristalleşen bölgede sıcaklığın yükseldiği ve Kaynaklarda mikroyapının dinamik olarak yeniden kristalleşen bölgede ana malzemeye göre daha ince ve homojen tane yapısı tespit etmiştir [30].

Çoşkun M.H. (2009) yaptığı çalışmada DP600 ve IF 7114 çeliklerini Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ve Elektrik Direnç Kaynağı ile birleştirmiştir. Yaptığı çalışma sonucunda IF 7114 çeliğinin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile yapılan bağlantılarının Elektrik Direnç Kaynağı ile yapılan birleştirmelere göre daha yüksek mekanik özellikler sağladığını tespit etmiştir [15].



4. MATERYAL VE METOT

4.1. Çalışmanın Amacı

Yoğun kullanılmaya başlayan magnezyum alaşımlarından biri olan AZ31B serisi alaşımının sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği incelenen bu çalışmada Magnezyum levhalar bindirme kaynağı pozisyonunda kaynak edilip oluşan bağlantının mekanik özellikleri incelenecektir.

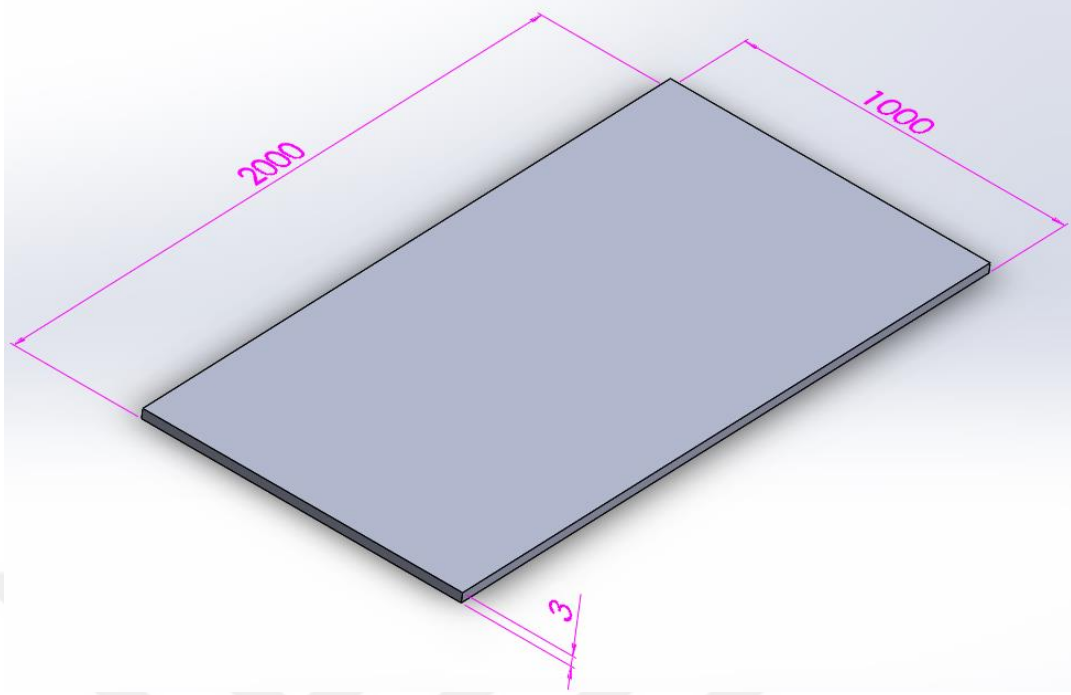
Kaynak yapılırken devir sayısı, dalma derinliği ve dalma süresi değişken parametreler olarak seçilecektir. Kaynaklı bağlantıların mekanik ve mikroyapı özelliklerini belirlemek amacıyla numunelere mikrosertlik ölçümü, çekme testi, mikroyapı görüntüsü, SEM görüntüsü ve EDS analizi uygulanacaktır.

Yapılan çalışmalar sonucunda; seçilen malzemeye sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmede 2 farklı devir sayısı, 2 farklı dalma derinliği ve 2 farklı dalma süresi kullanılarak parametrelerinden en uygunlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

4.2. Kaynak Öncesi İşlemler

4.2.1. Deneyde kullanılan Malzeme ve Özellikleri

Deneyler sırasında kullanılan AZ31 Magnezyum Alaşımı Akkaya Makina San..Ltd. Şti'den 1000*2000*3 plaka ölçülerinde ticari olarak temin edilmiştir (Şekil 4.1). Bu AZ31 magnezyum alaşımına ait kimyasal bileşim Tablo 4.1'de verilmiştir.



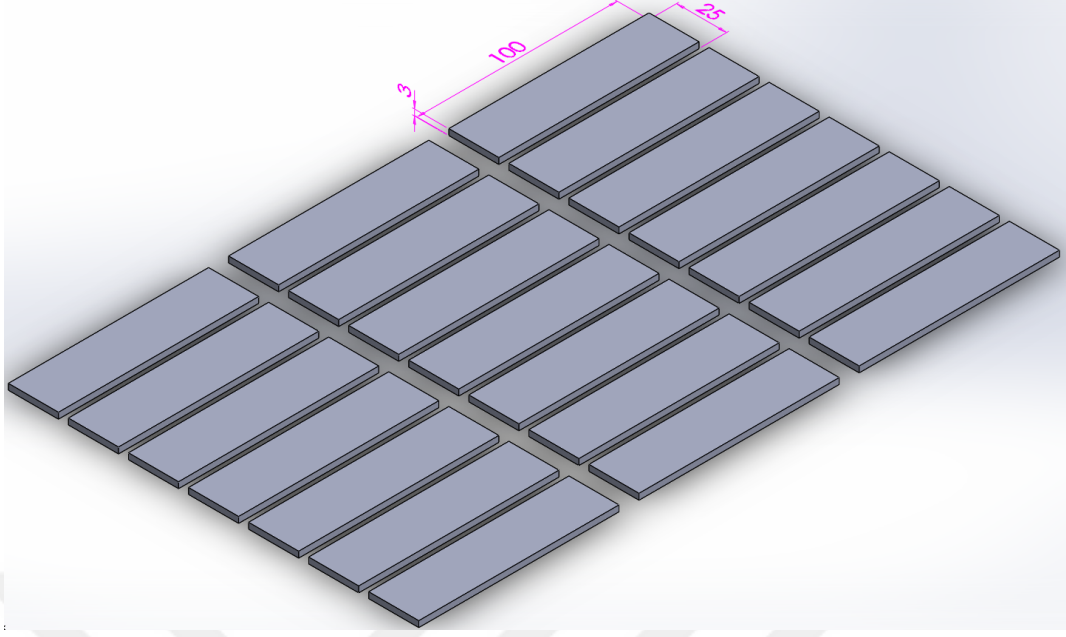
Şekil 4.1. Piyasadan temin edilen AZ31B Magnezyum alaşımlının boyutları

Tablo 4.1. AZ31 magnezyum alaşımlının 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

4.2.2. Kaynak Numunelerinin Hazırlanması

Piyasadan plaka halinde temin edilen Magnezyum alaşımı 3x25x100 mm'lik ölçülerde giyotin vasıtasıyla hazırlanmış ve boyutlarının tamamen eşit olması için freze yardımıyla numuneler hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı için hazırlanan numune ölçüleri

4.2.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Takım Tezgahı

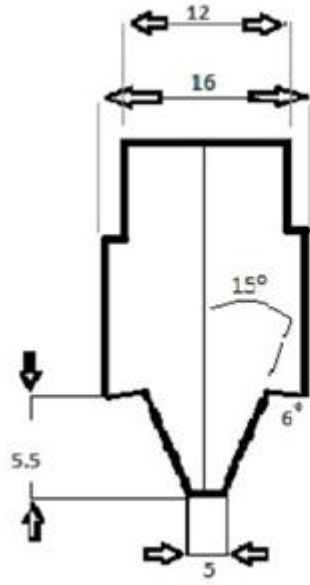
Kaynak işlemi için hazırlanan numunelerin sürtünme karıştırma nokta kaynak işlemleri, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3'te görülen Microcut Challenger marka freze tezgahında yapılmıştır. Bu freze tezgahında devir sayısı ayarı dalma derinliği ayarı ve bekleme süresi ayarlamaları otomatik olarak yapılmaktadır.



Şekil 4.3. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan freze tezgâhi

4.2.4. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan uç tipi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı sırasında konik uç tipi kullanılmıştır. Uçlar omuz kısmı ve uç kısmı olmak üzere aşağıdaki şekilde belirtildiği gibi tasarlanmıştır. Konik uç (Şekil 4.4) M5 matkap ucundan (HSS çeliği) yapılmıştır.

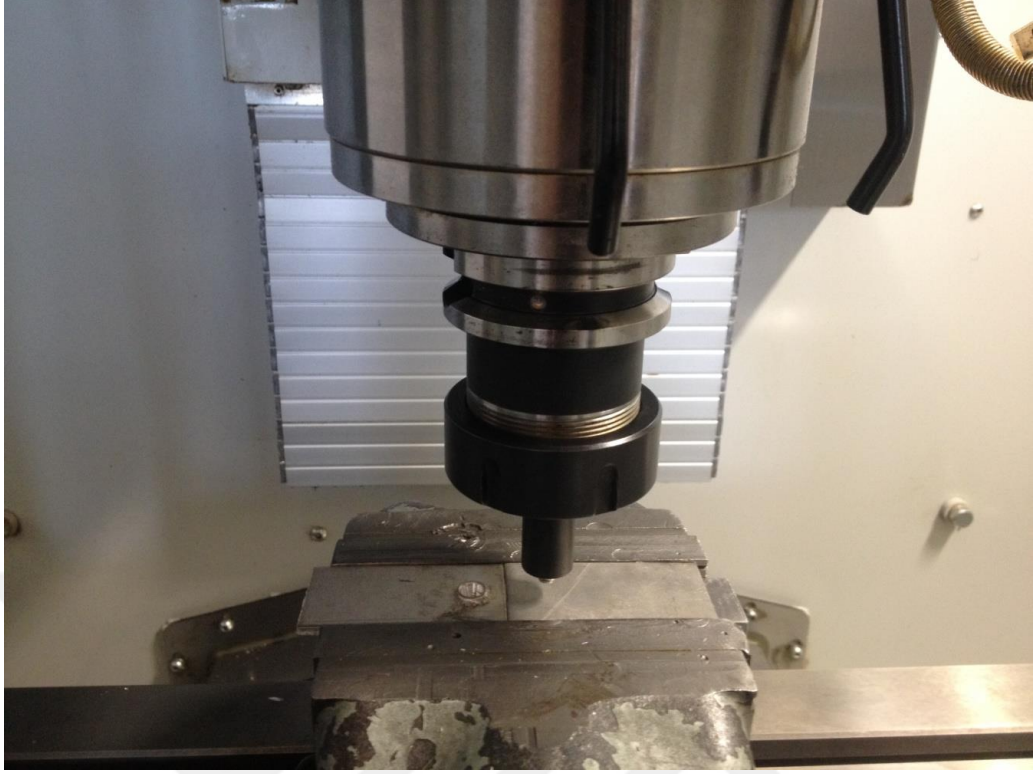


Şekil 4.4. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan uç

4.2.5. Numunelerin tezgâha bağlanması

Kaynak yapılacak malzemelerin kaynak yüzeyleri temizlendikten sonra bindirme kaynağı yapılacağından dolayı parçalar üst üste getirilip hizalanmıştır. Üst üste getirilen parçalar mengeneye bağlanmıştır. Mengeneye bağlanan parçaları dengelemek için alt kısımlarına parça konulmuştur.

Kaynak yapılacak levhalar mengene vasıtası ile sıkıca tutturulmuştur kaynak pimi merkez alınarak sıfırlanmıştır. Frezede gerekli kontroller yapılarak kaynak yapmaya hazır konuma getirilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Malzeme çiftinin freze tezgâhına bağlanma düzeneği

Yapılan literatür çalışmalarından sonra, freze tezgahının teknik özellikleri de dikkate alınarak ön denemeler yapılmıştır. Bu ön denemelerden sonra, ilk olarak freze tezgahı 1500 dev/dk. devir sayısı ve 4,5 mm dalma derinliği ve dalma süresi olarakta 5 sn bekletilerek 1 nolu numune birleştirilmiştir. Daha sonra Tablo 4.2’de ki kaynak parametrelerinde devir sayısı, dalma mesafesi ve dalma süresi değişkenlerine göre SKNK ile 8 numune kaynatılmıştır. Değişken parametre olarak devir sayısı, dalma mesafesi ve dalma süresinin seçilme nedeni, devir sayısının dalma mesafesinin ve dalma süresinin bağlantı kalitesini belirleyen en önemli parametreler olmasıdır.

Tablo 4.2. Sürtünme karıştırma nokta kaynak parametreleri

Parça No	Devir Sayısı	Dalma Mesafesi	Dalma Süresi
P1	1500 dev/dk	4,5 mm	5 sn
P2	1500 dev/dk	4,5 mm	10 sn
P3	2000 dev/dk	4,5 mm	5 sn
P4	2000 dev/dk	4,5 mm	10 sn
P5	1500 dev/dk	5 mm	5 sn
P6	1500 dev/dk	5 mm	10 sn
P7	2000 dev/dk	5 mm	5 sn
P8	2000 dev/dk	5 mm	10 sn

4.2.6. Sürtünme karıştırma Kaynağının yapılışı

Freze tezgâhı kaynak işlemine başlamadan önce kaynak için uygun hale getirilmiştir. Freze çakısına özel yaptırdığımız sürtünme karıştırma nokta kaynak başlığı monte edilmiştir. Kaynak yapılacak numuneler bindirme kaynak metodu gereğince üst üste yerleştirilerek Freze tablasına oynama yapmayacak şekilde sabitlenmiştir. Daha sonra freze tezgâhının devir sayısı dalma mesafesi ve bekleme süresi ayarları yapılarak, eksen ayarları yapılmış olan freze çakısına komut verilmiş ve kaynak işlemine başlanmıştır. Ayarlanan süre boyunca kaynak işlemi devam etmiş süre dolduğunda ise işlem otomatik olarak sonlanmıştır.

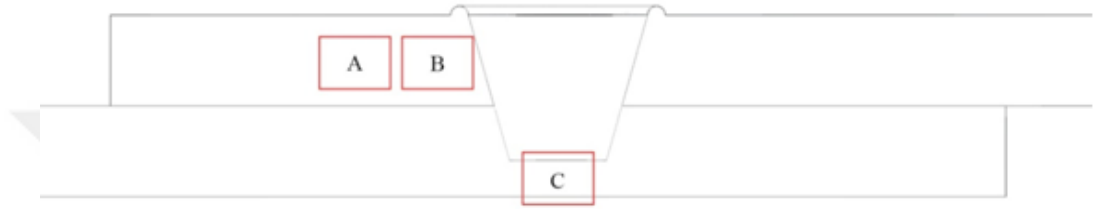
4.3. Kaynak Sonrası Yapılan İncelemeler

4.3.1. Metalografik İncelemeler

Tüm numuneler Sürtünme Karıştırma Nokta kaynağı işlemi sonrasında metalografik inceleme öncesi kullanılarak 60, 120, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh'lik zımparalar ile zımparalanarak yüzey pürüzleri giderilmiş ve ardından 3µm' lik elmas pasta ile parlatılarak dağlama işlemine hazır hale getirilmişlerdir.

Dağlama işleminde 5gr pikrik asit, 5 ml asetik asit, 100 ml etanol ve 10 ml saf su kullanılmış ve dağlama işlemi her numune için 5 sn olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü bünyesinde bulunan Jeol marka taramalı elektron mikroskobunda (SEM) (Şekil 4.7) Vakum altında çekilmiştir. Sem görüntüleri kaynak bölgesinin genel görüntüsünün ardından; Isıdan etkilenmiş bölge(A), Termomekanik etkilenmiş bölge(B) ve Karıştırılmış bölge(C) olmak üzere 3 bölgeden alınmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Mikroyapı şablonu



Şekil 4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)



Şekil 4.8. Metalografik incelemeler öncesi kaynaklı numune

Metolografik incelemeler öncesi kaynaklı numuneler Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

4.3.2. Mikrosertlik Analizi

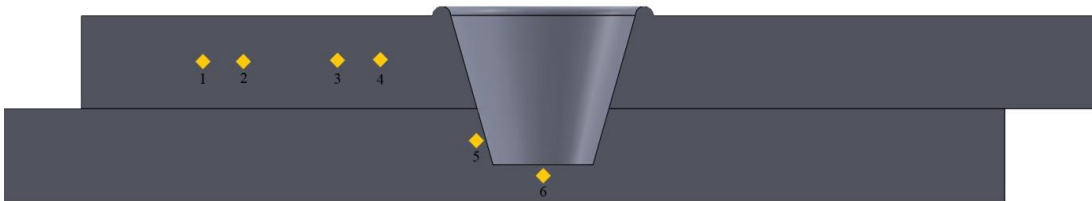
Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilen numunelerinde meydana gelmiş olabilecek sertlik değişimlerini incelemek için mikrosertlik analizi yapılmıştır. Mikrosertlik analizi öncesi numuneler dağlanmıştır. Numunelerin mikrosertlik ölçümleri Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında bulunan EMCOTEST DuraScan marka mikrosertlik cihazı ile 500 gr yük

altında, numuneler ana malzemeden başlayarak ısı tesiri altında kalan bölge ve asıl kaynağın gerçekleştiği bölgeye doğru bir hat üzerinden 1 mm aralıklar ile 10 sn'lik yükleme süresinde gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçümünün gerçekleştirildiği cihaz Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Mikrosertlik cihazı

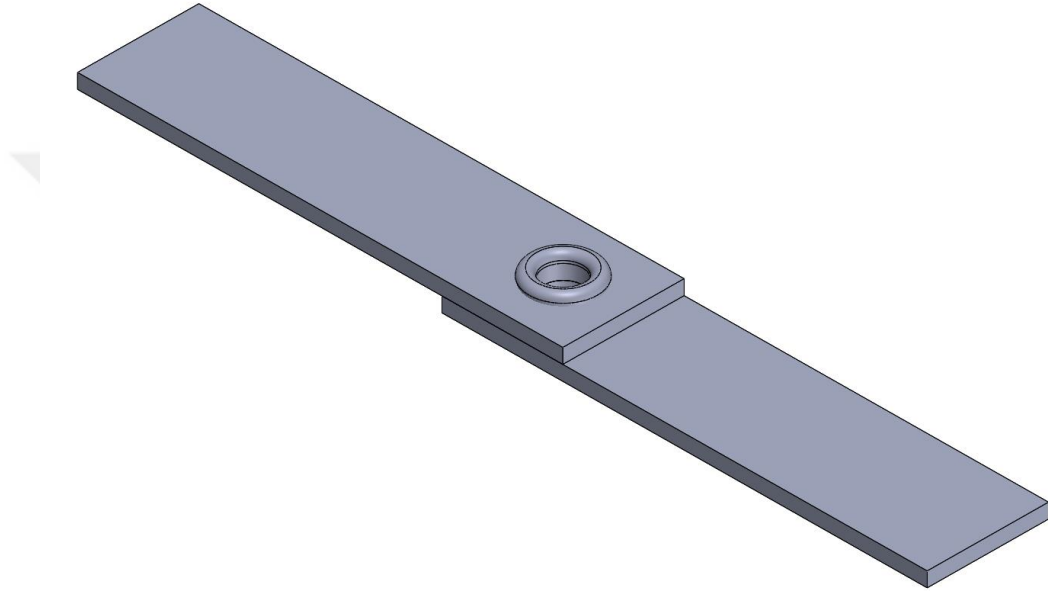
Ölçümlerde 136° tabanı kare olan piramit uç kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı bölgeler Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Isıdan etkilenmiş bölge, termomekanik bölge ve karıştırılmış bölgeden ikişer adet olmak üzere toplam 6 noktadan Mikrosertlik ölçümü yapılmıştır.



Şekil 4.10. Mikrosertlik ölçüm şablonu

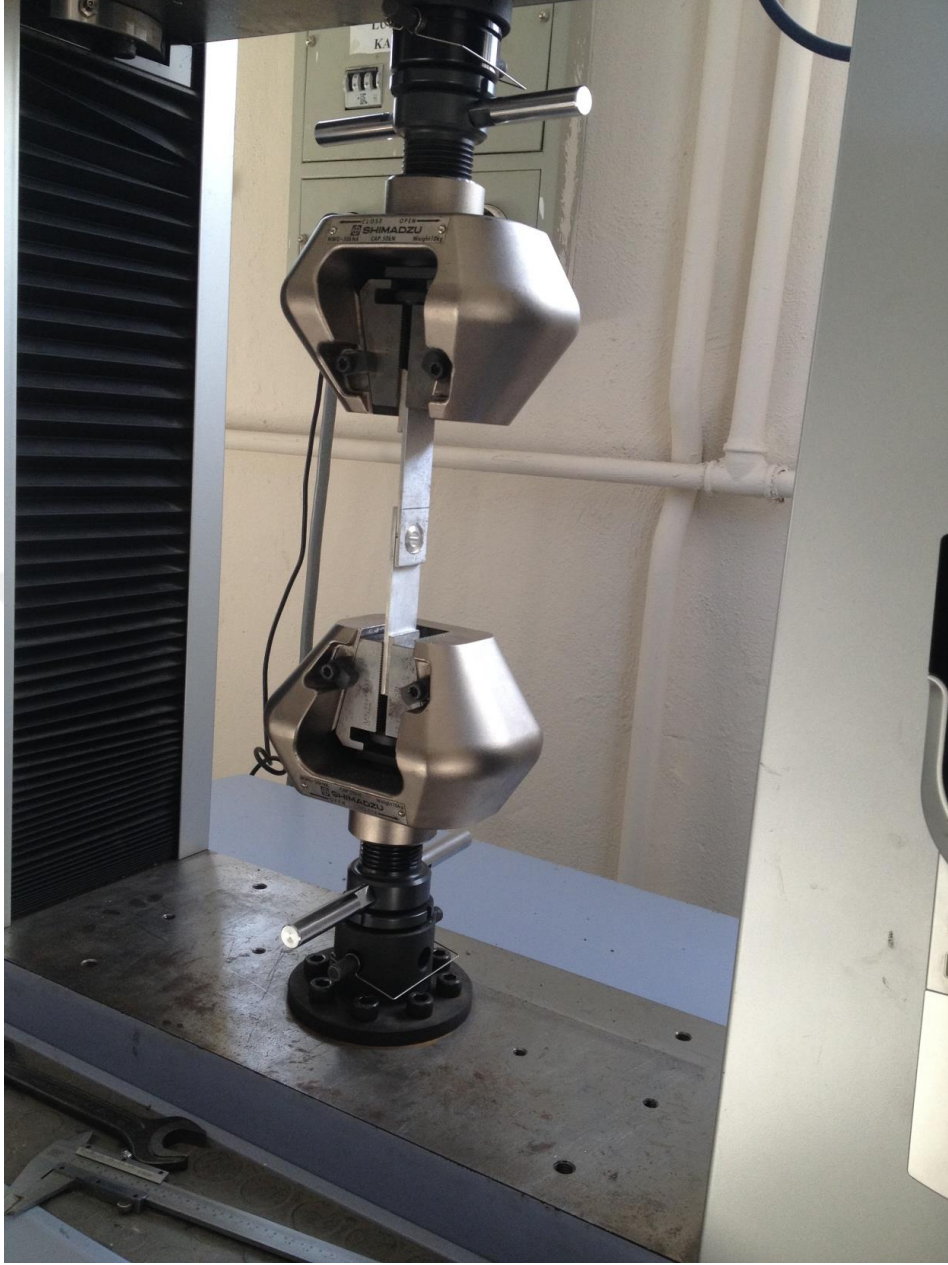
4.3.3. Çekme Deneyi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılmış numunelere çekme testi uygulamak amacı ile kaynak yapılmış numunelere herhangi bir işlem yapılmadan çekme deneyi işlemine geçilmiştir. Şekil 4.11'deki gibi ölçülere uygun olan kaynaklı numunelere çekme uygulanmıştır.



Şekil 4.11. Numunenin kaynak sonrası şematik gösterimi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulanmış 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 olacak şekilde ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapıldığı çekme cihazı Şekil 4.12'de gösterilmektedir.

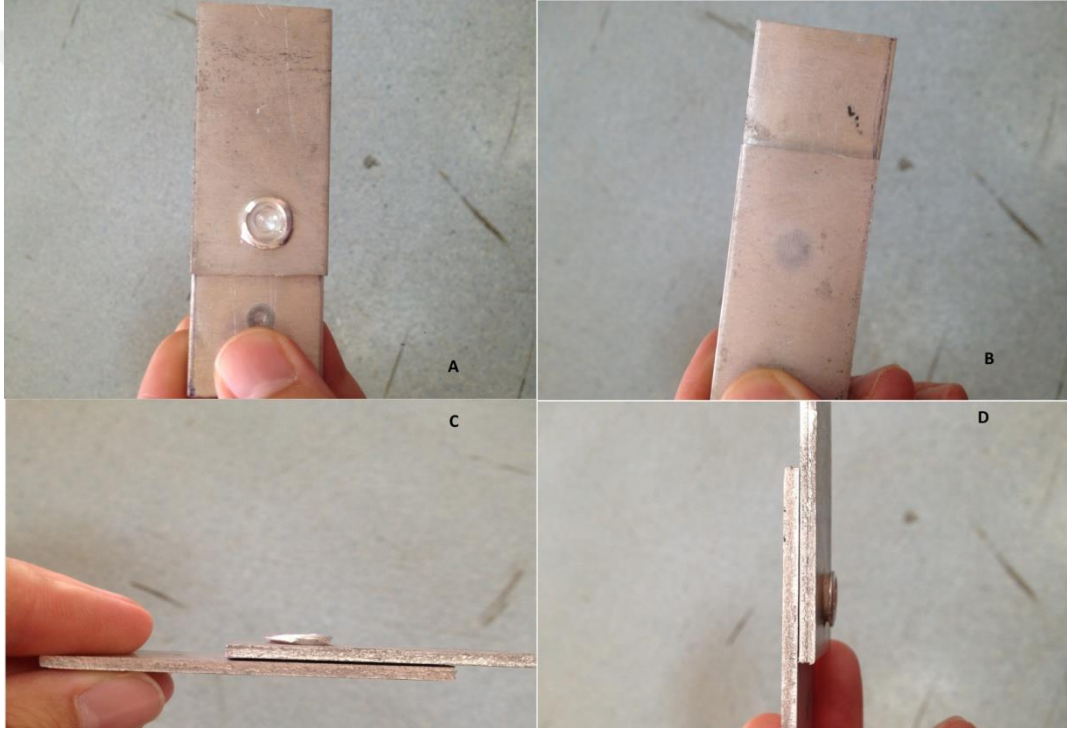


Şekil 4.12. Çekme deneyi makinesi

5. DENEY SONUÇLARI ve YORUMLANMASI

5.1. Kaynaklı Numunelerin Makroskobik Değerlendirilmesi

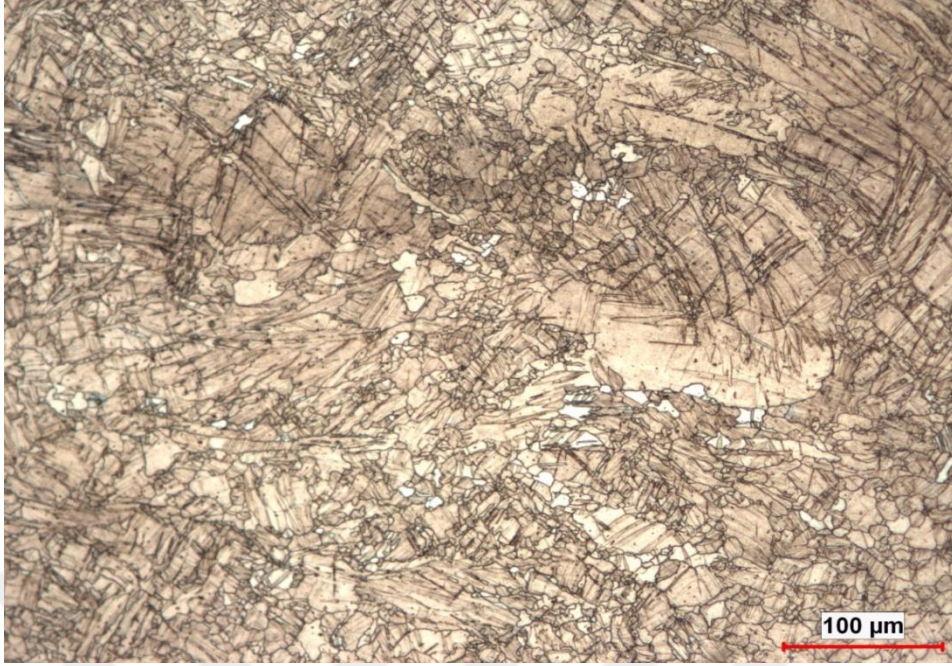
Kaynaklı numuneler makroskobik olarak incelendiğinde literatüre uymayan herhangi bir duruma rastlanmamıştır. Kaynaklı bölgelerde birbirine yakın mukavemete sahip bağlantılar elde edildiği gözlemlenmiş ve kaynaklı bağlantılarda gözle görülebilir herhangi bir deformasyona rastlanmamıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Kaynaklı Numunelerin üstten, alttan ve yandan görünimleri (A:üstten görünüm, B:Alttan görünüm, C:Yan görünüm D:Yan görünüm)

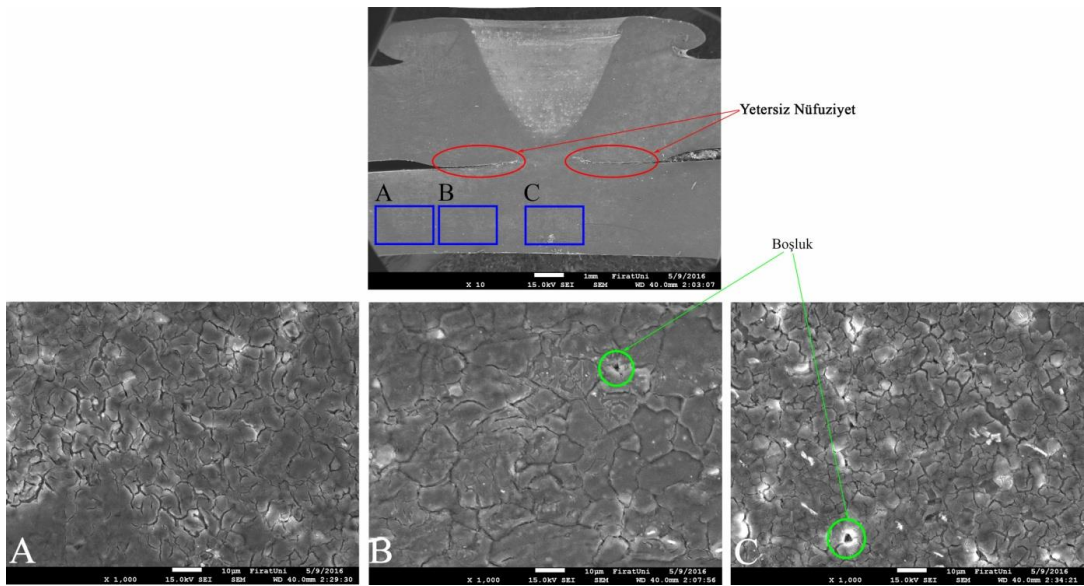
5.2. Kaynaklı Numunelerin Mikro Yapı Değerlendirmesi

Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında (FSSW) kullanılan ana malzemenin iç yapı görüntüsü ve kaynaklı numunenin ısıdan etkilenmiş bölge, termomekanik bölge, karıştırılmış bölge ve karıştırılmış alt bölgenin mikro yapı fotoğrafları Şekil 5.2’de verilmiştir. Bu alaşım fotoğrafı incelendiğinde eş eksenli ve homojen tane yapıları görülmektedir.



Şekil 5.2. AZ31B Mg alaşımının mikroyapı fotoğrafı [4].

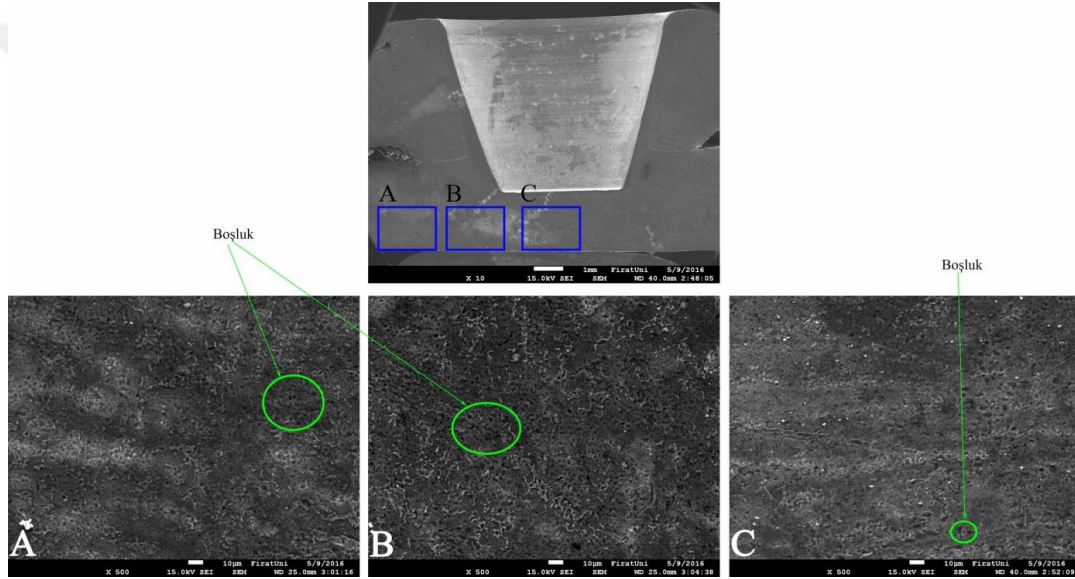
1500 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 5 sn bekleme süresinde birleştirilen P1 numunesinin ilk olarak genel SEM görüntüsü alınmıştır. Daha sonra numuneye ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), Termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölge (C) olmak üzere 3 farklı noktanın SEM görüntüleri alınmıştır. P1 numunesine ait alınan SEM görüntüleri Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3. P1 numunesine ait SEM görüntüleri

Şekil 5.3’de gösterilmiş olan P1 numunesine ait genel SEM görüntüsü incelendiğinde numunenin birleşme bölgesinde düşük ısı girdisi sebebiyle nüfuziyet yetersizliği olduğu görülmektedir. Ayrıca P1 numunesine ait termomekanik etkilenmiş bölgede (B) ve karıştırılmış bölgede (C) küçük boşluklara rastlanmıştır.

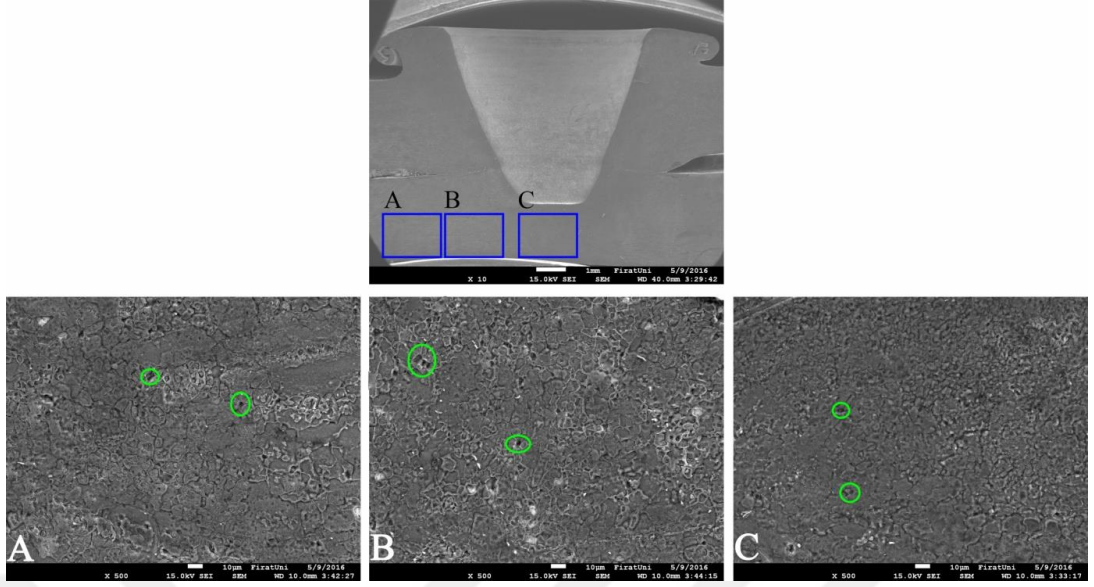
1500 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 10 sn bekleme süresinde birleştirilen P2 numunesinin ilk olarak genel SEM görüntüsü alınmış, daha sonra ise numuneye ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölge (C) olmak üzere 3 farklı noktanın SEM görüntüleri alınmıştır. P2 numunesine ait alınan SEM görüntüleri Şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.4. P2 numunesine ait SEM görüntüleri

Şekil 5.4’de gösterilmiş olan P2 numunesine ait genel SEM görüntüsü incelendiğinde birleşme bölgesinde yeterli nüfuziyet sağlandığı görülmektedir. P2 numunesine ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölgede (C) küçük boşluklara rastlanmıştır. Bu boşluklar şekil üzerinde örnek teşkil etmesi amacı ile her görüntüde işaretlenmiştir.

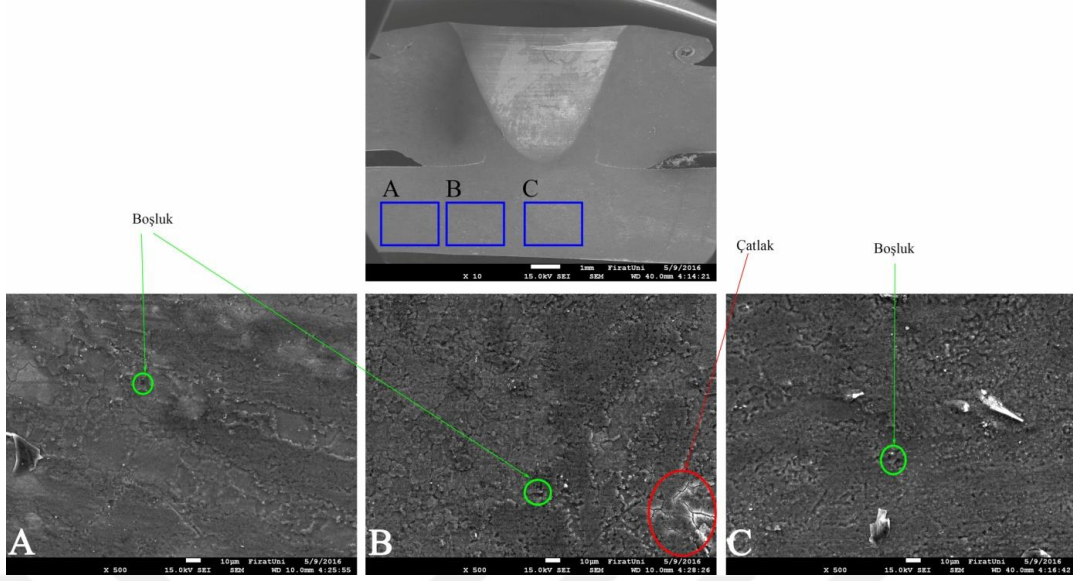
2000 Dev/dk 4,5 mm Dalma Mesafesi ve 5 sn bekleme süresinde birleştirilen P3 numunesinin ilk olarak genel SEM görüntüsü alınmış, daha sonra numuneye ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), Termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölge (C) olmak üzere 3 farklı noktanın SEM görüntüleri alınmıştır. P3 numunesine ait alınan SEM görüntüleri Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.5. P3 numunesine ait SEM görüntüleri

Şekil 5.5’de gösterilmiş olan P3 numunesine ait genel SEM görüntüsü incelendiğinde birleşme bölgesinde yeterli nüfuziyet sağlandığı görülmektedir. P3 numunesine ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), Termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölgede (C) çok sayıda boşluk ile karşılaşmıştır. Numune kesitinde yeşil daire işaretlenmiş olan boşluklar örnek olarak gösterilmiştir.

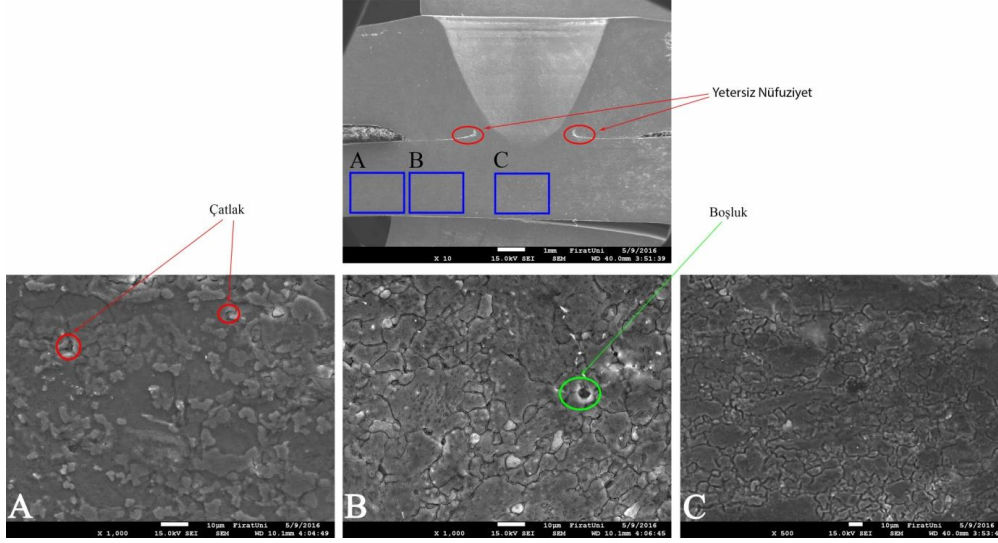
2000 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 10 sn bekleme süresinde birleştirilen P4 numunesinin ilk olarak genel SEM görüntüsü alınmış, daha sonra numuneye ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölge (C) olmak üzere 3 farklı noktanın SEM görüntüleri alınmıştır. P4 numunesine ait alınan SEM görüntüleri Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6. P4 numunesine ait SEM görüntüleri

Şekil 5.6’da gösterilmiş olan P4 numunesine ait genel SEM görüntüsü incelendiğinde birleşme bölgesinde yeterli nüfuziyet sağlandığı görülmektedir. P4 numunesine ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölgede (C) küçük boşluklara rastlanmıştır. Ayrıca termomekanik olarak etkilenmiş bölgede (B) çatlak gözlemlenmiştir.

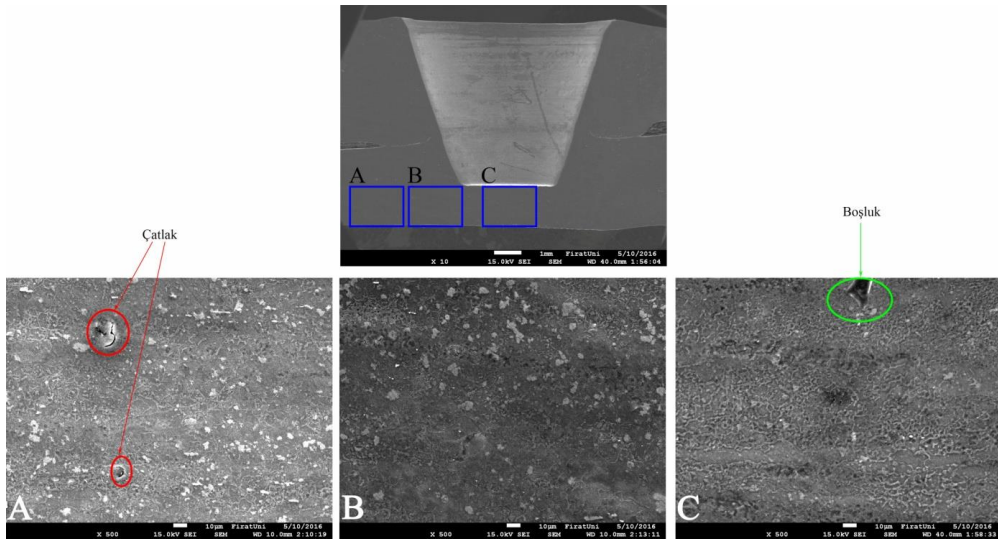
1500 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 5 sn bekleme süresinde birleştirilen P5 numunesinin ilk olarak genel SEM görüntüsü alınmış, daha sonra numuneye ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), Termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölge (C) olmak üzere 3 farklı noktanın SEM görüntüleri alınmıştır. P5 numunesine ait alınan SEM görüntüleri Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. P5 numunesine ait SEM görüntüleri

Şekil 5.7’de gösterilmiş olan P5 numunesine ait genel SEM görüntüsü incelendiğinde numunenin birleşme bölgesinde düşük ısı girdisi sebebiyle nüfuziyet yetersizliği olduğu görülmektedir. P5 numunesine ait ısıdan etkilenmiş bölgede (A) çatlaklar gözlemlenmektedir ve termomekanik etkilenmiş bölgede (B) ise küçük bir boşluğa rastlanmıştır.

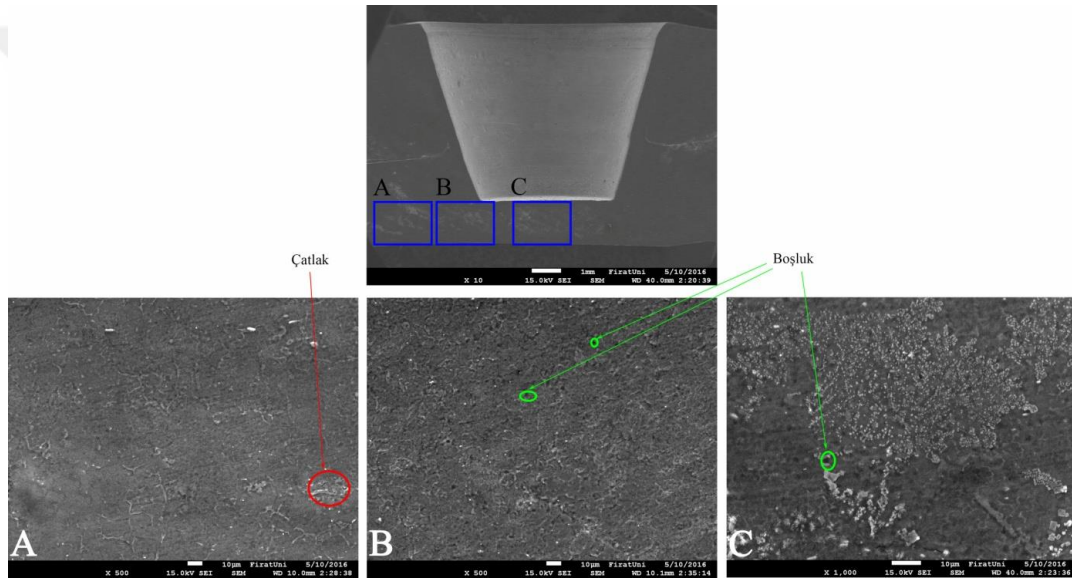
1500 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 10 sn bekleme süresinde birleştirilen P6 numunesinin ilk olarak genel SEM görüntüsü alınmış, daha sonra numuneye ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölge (C) olmak üzere 3 farklı noktanın SEM görüntüleri alınmıştır. P6 numunesine ait alınan SEM görüntüleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. P6 numunesine ait SEM görüntüleri

Şekil 5.8’de gösterilmiş olan P6 numunesine ait genel SEM görüntüsü incelendiğinde birleşme bölgesinde yeterli nüfuziyet sağlandığı görülmektedir. P6 numunesine ait ısıdan etkilenmiş bölgede (A) çatlaklar gözlemlenmiş ve karıştırılmış bölgede (C) ise boşluğa rastlanmıştır.

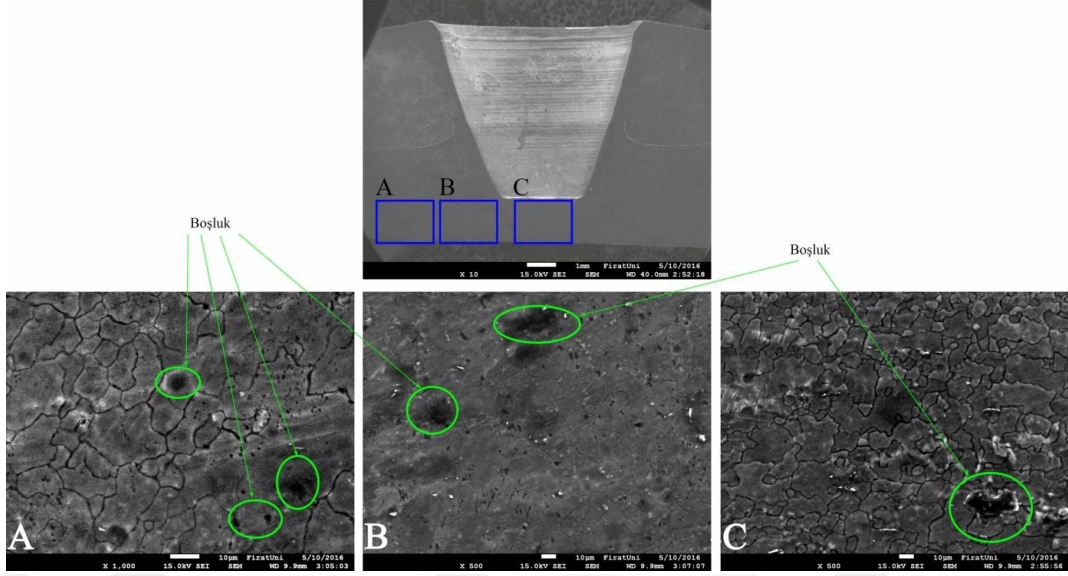
2000 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 5 sn bekleme süresinde birleştirilen P7 numunesinin ilk olarak genel SEM görüntüsü alınmış, daha sonra numuneye ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölge (C) olmak üzere 3 farklı noktanın SEM görüntüleri alınmıştır. P7 numunesine ait alınan SEM görüntüleri Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9. P7 numunesine ait SEM görüntüleri

Şekil 5.9’da gösterilmiş olan P7 numunesine ait genel SEM görüntüsü incelendiğinde birleşme bölgesinde yeterli nüfuziyet sağlandığı görülmektedir. P7 numunesine ait ısıdan etkilenmiş bölgede (A) çatlak gözlemlenmektedir, Termomekanik etkilenmiş bölgede (B) ve karıştırılmış bölgede (C) küçük boşluklara rastlanmıştır. Karıştırılmış bölgeye (C) ait SEM görüntüsünde pullanma benzeri bir yapının olduğu görülmüştür.

2000 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 10 sn bekleme süresinde birleştirilen P8 numunesinin ilk olarak genel SEM görüntüsü alınmış, daha sonra numuneye ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölge (C) olmak üzere 3 farklı noktanın SEM görüntüleri alınmıştır. P8 numunesine ait alınan SEM görüntüleri Şekil 5.10’da verilmiştir.



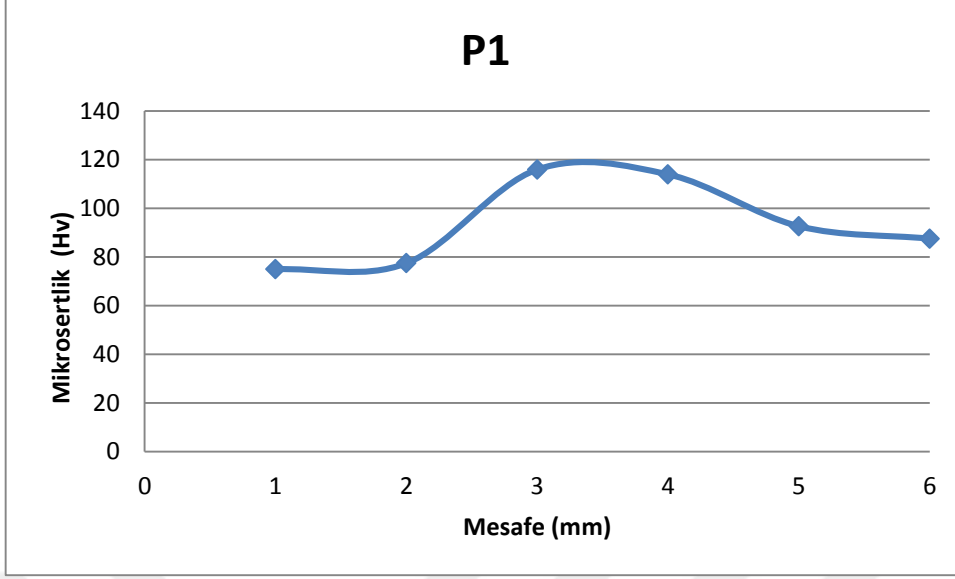
Şekil 5.10. P8 numunesine ait SEM görüntüleri

Şekil 5.10’da gösterilmiş olan P3 numunesine ait genel SEM görüntüsü incelendiğinde birleşme bölgesinde yeterli nüfuziyet sağlandığı görülmektedir. P8 numunesine ait ısıdan etkilenmiş bölge (A), termomekanik etkilenmiş bölge (B) ve karıştırılmış bölgede (C) çok sayıda boşluklara rastlanmıştır.

5.3. 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 dalma mesafesi ve farklı bekleme sürelerindeki sertlik değişimlerini gözlemlemek amacıyla mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır.

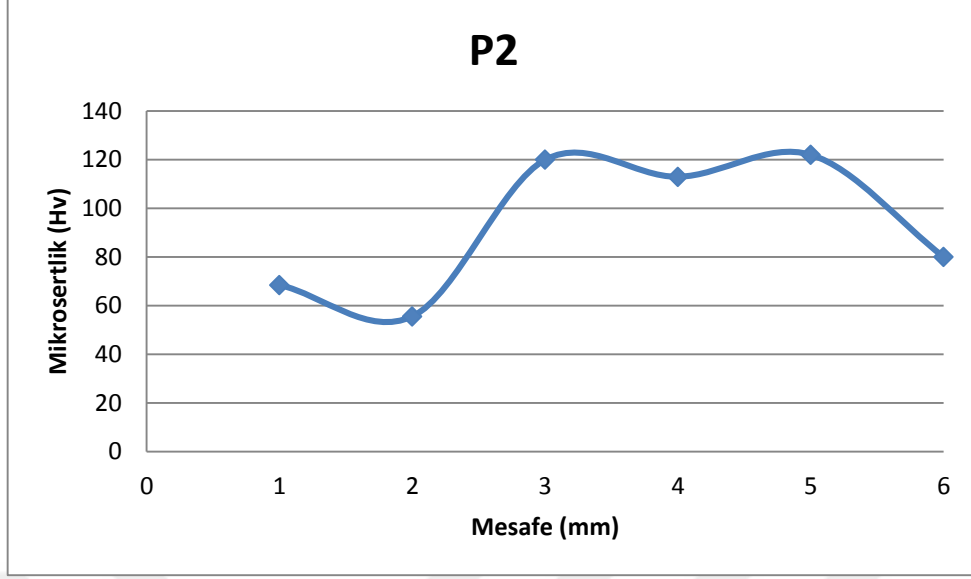
1500 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 5 sn bekleme süresinde birleştirilen P1 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. P1 Numunesinin Mikrosertlik Değerleri

P1 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin 116 Hv olarak termomekanik olarak etkilenmiş bölgede, en düşük mikrosertlik değerinin ise 75 Hv olarak ısıdan etkilenmiş bölgede olduğu gözlemlenmiştir. AZ31 Magnezyum alaşımının ortalama sertlik değeri 65 Hv dir ve SKNK işlemi sonucunda genel olarak numunenin sertlik değerinde artış görülmektedir. Bu artış karıştırıcı ucun çevresinde yeniden kristalleşen bir bölge oluşturmasına bağlanabilir. Karıştırıcı ucun etrafındaki yarı katı-sıvı haldeki akışkan malzemede çok yüksek miktarda plastik deformasyon olduğu ve yeniden kristalleşmeyle yapının daha ince taneli hale dönüştüğü düşünülmektedir.

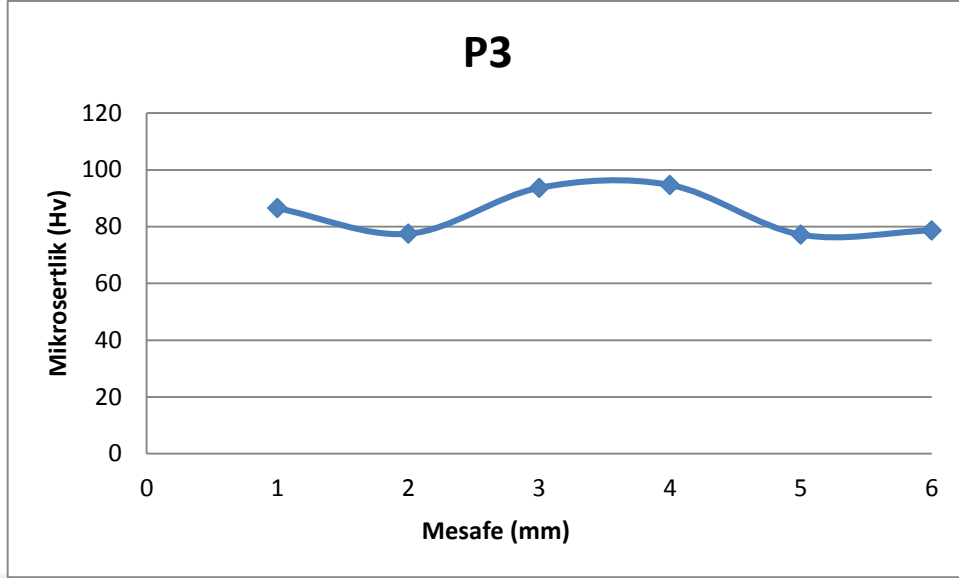
1500 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 10 sn bekleme süresinde birleştirilen P2 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. P2 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi

Şekil 5.12 incelendiğinde P2 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin 120 Hv olarak termomekanik olarak etkilenmiş bölgede, en düşük mikrosertlik değerinin ise 55 Hv olarak ısıdan etkilenmiş bölgede olduğu gözlemlenmiştir. Termomekanik olarak etkilenmiş bölgenin sertlik değerinin P1 numunesinden yüksek olduğu görülmektedir bu artışın bekleme süresinin artmasından kaynaklandığını düşünülmektedir. Bekleme süresi arttıkça yeniden kristalleşme miktarı artmış dolayısıyla tane yapısı daha da incelmıştır. İnce taneli yapıda sertlik daha yüksektir.

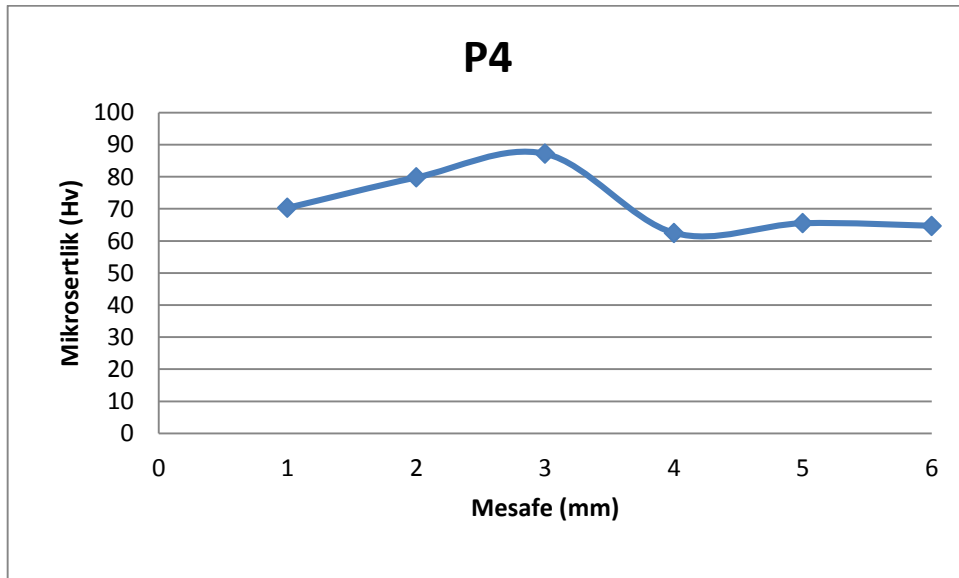
2000 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 5 sn bekleme süresinde birleştirilen P3 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 5.13’de verilmiştir.



Şekil 5.13. P3 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi

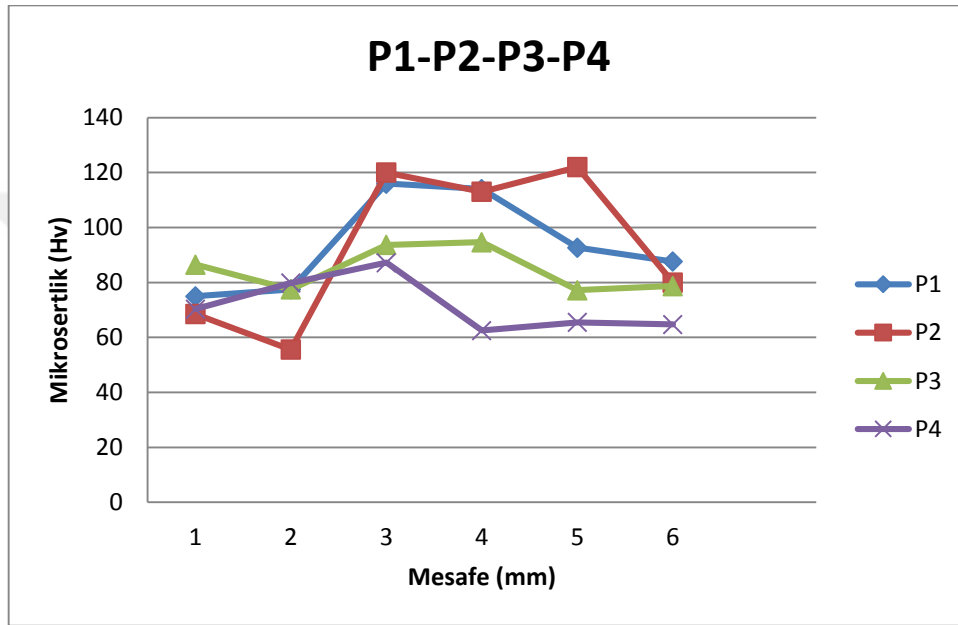
Şekil 5.13 incelendiğinde P3 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin 94 Hv olarak termomekanik olarak etkilenmiş bölgede, en düşük mikrosertlik değerinin ise 77 Hv olarak ısıdan etkilenmiş bölgede olduğu gözlemlenmiştir. P3 numunesinde P1 ve P2 numunelerine göre ısıdan etkilenmiş bölge termomekanik olarak etkilenmiş bölge ve karıştırma bölgesinde sertlik değerlerinin birbirine daha yakın olduğu görülmüştür.

2000 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 10 sn bekleme süresinde birleştirilen P4 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 5.14’de verilmiştir.



Şekil 5.14. P4 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi

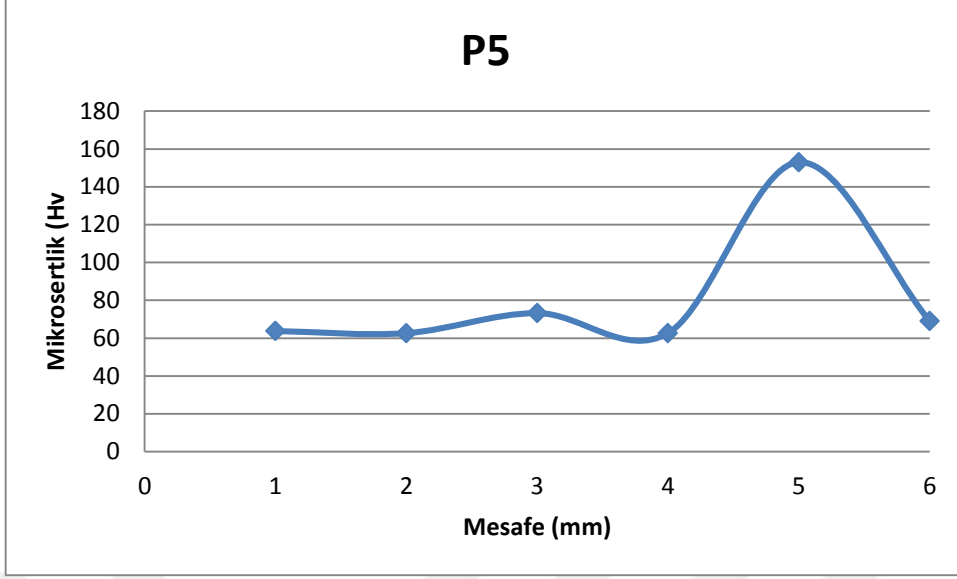
Şekil 5.14 incelendiğinde P4 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin 87 Hv olarak termomekanik olarak etkilenmiş bölgede, en düşük mikrosertlik değerinin ise 64 Hv olarak karıştırma bölgesinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu numunenin karıştırma bölgesindeki sertlik değeri hemen hemen ana malzemenin sertlik değerine yakın çıkmıştır. Bu durum karıştırıcı ucun nüfuziyetindeki yetersizliğe ve iç yapı resimlerinde belirgin olarak görülen çatlaklara bağlanabilir.



Şekil 5.15. P1,P2,P3,P4 no'lu numunelerin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı

1500 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 5 sn. bekleme süreli P1 numunesi, 1500 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 10 sn. bekleme süreli P2 numunesi ve 2000 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 5 sn. bekleme süreli P3 numunesi, 2000 dev/dk 4,5 mm dalma mesafesi ve 10 sn. bekleme süreli P4 numunesine ait mikrosertlik grafikleri ve numunelerin kendi aralarındaki değerlendirmeleri Şekil 5.15'de verilmiştir.

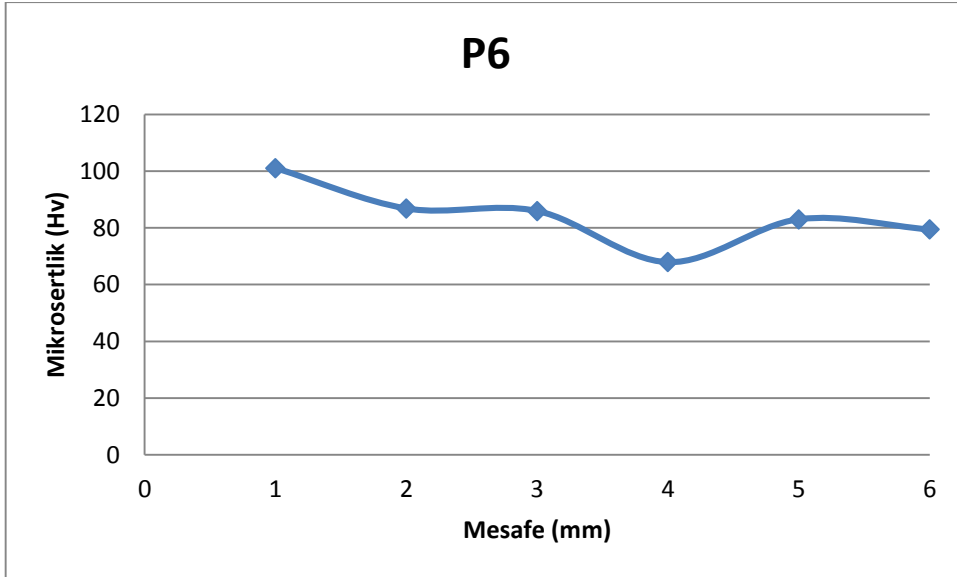
1500 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 5 sn bekleme süresinde birleştirilen P5 Numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. P5 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi

Şekil 5.16 incelendiğinde P5 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin 153 Hv olarak karıştırma bölgesinde, en düşük mikrosertlik değerinin ise 62 Hv olarak ısıdan etkilenmiş bölgede olduğu gözlemlenmiştir. Bu numunede de birçok numunede görülen yetersiz nüfuziyet mevcuttur.

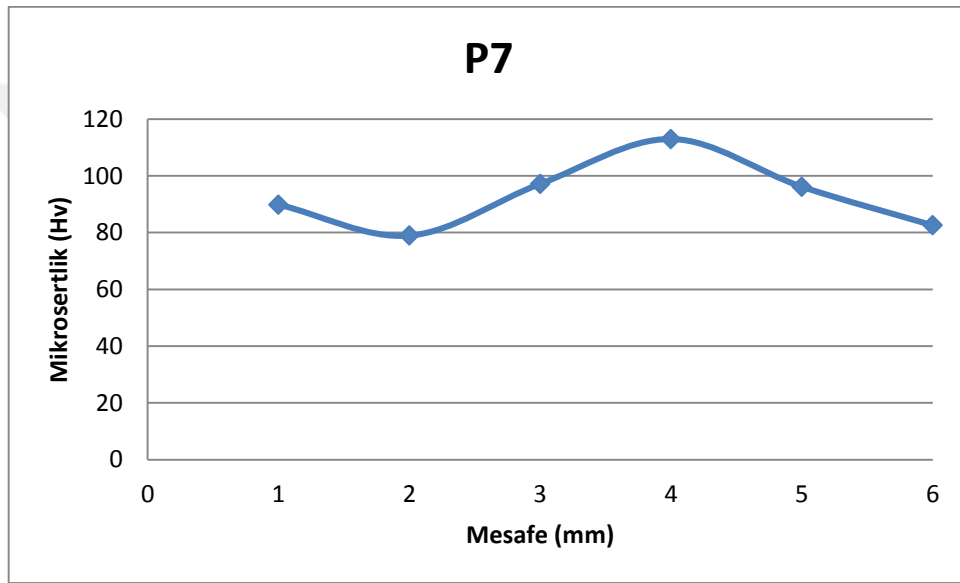
1500 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 10 sn bekleme süresinde birleştirilen P6 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17. P6 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi

Şekil 5.17 incelendiğinde P6 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin 101 Hv olarak ısıdan etkilenmiş bölgede, en düşük mikrosertlik değerinin ise 67 Hv olarak termomekanik olarak etkilenmiş bölgede olduğu gözlemlenmiştir. Isıdan etkilenmiş bölgedeki en yüksek sertlik değeri, dalma süresinin artmasıyla birlikte artan ısı girdisine ve bu ısının rekrisztalizasyon miktarını arttırmasına bağlanabilir.

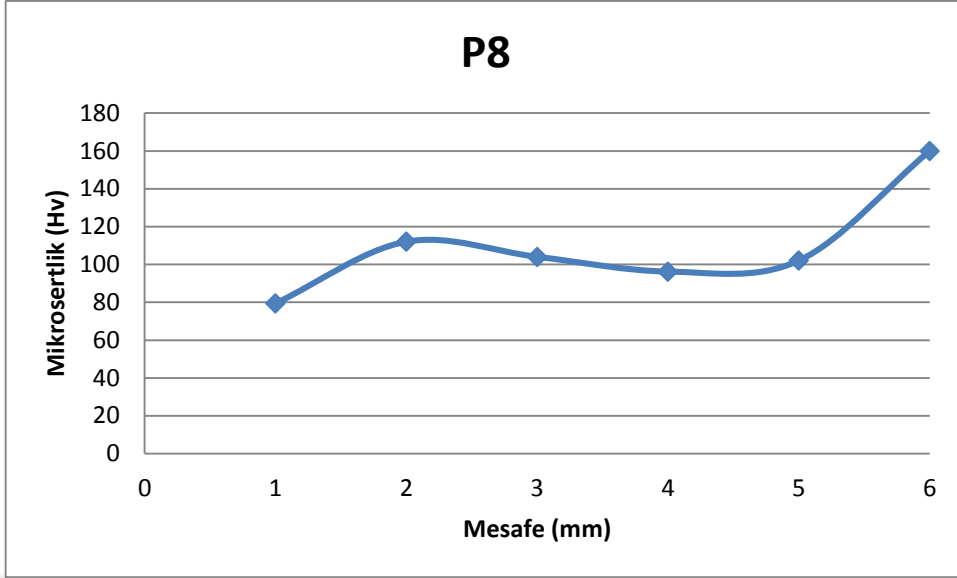
2000 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 5 sn bekleme süresinde birleştirilen P7 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. P7 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi

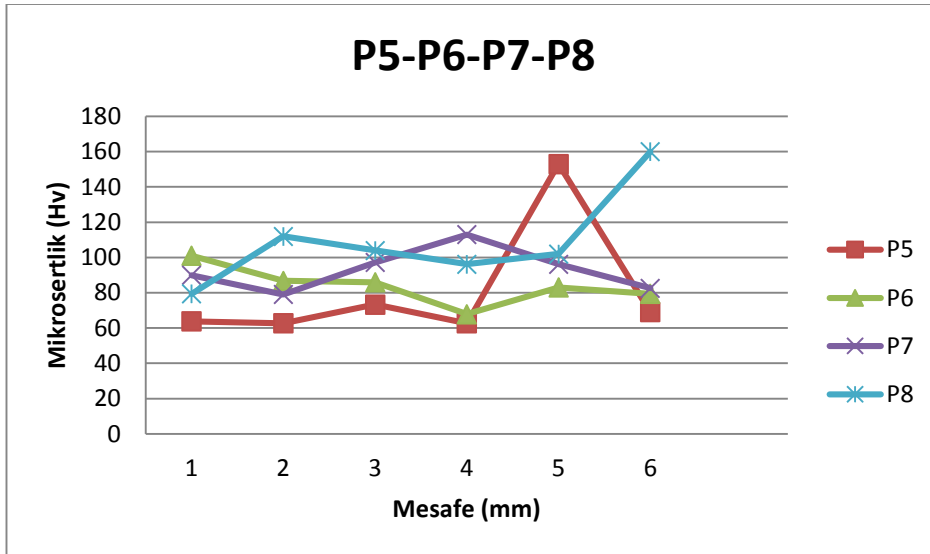
Şekil 5.18 incelendiğinde P7 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin 113 Hv olarak termomekanik olarak etkilenmiş bölgede, en düşük mikrosertlik değerinin ise 79 Hv olarak ısıdan etkilenmiş bölgede olduğu gözlemlenmiştir. Devir sayısı arttıkça karıştırıcı ucun etrafındaki plastik deformasyonun artması ve ısının artması yeniden kristalleşme miktarını arttırmış ve bu yüzden en yüksek sertlik değeri termomekanik olarak etkilenmiş bölgede ölçülmüştür.

2000 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 10 sn bekleme süresinde birleştirilen P8 numunesinin mikrosertlik değerleri Şekil 5.19’da verilmiştir.



Şekil 5.19. P8 Numunesinin Mikrosertlik Değerlendirmesi

Şekil 5.19 incelendiğinde P8 numunesine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin 160 Hv olarak karıştırma bölgesinde, en düşük mikrosertlik değerinin ise 79 Hv olarak ısıdan etkilenmiş bölgede olduğu gözlemlenmiştir. Karıştırma bölgesinde omuzun uyguladığı baskı sonucu tane boyutu küçülmüştür ve en yüksek sertlik değeri bu bölgede ölçülmüştür. Literatür bilgilerinde baskı sonuç kayna bölgesindeki tane boyutunun esas malzemenin tane boyutundan 3-5 kat daha küçük olduğu verilmiştir. Bütün numuneler içerisinde takım ucunun en iyi nüfuz ettiği kaynak budur. Bu durum çekme mukavemeti değerlendirmelerinde de belirgin olarak görülmektedir.

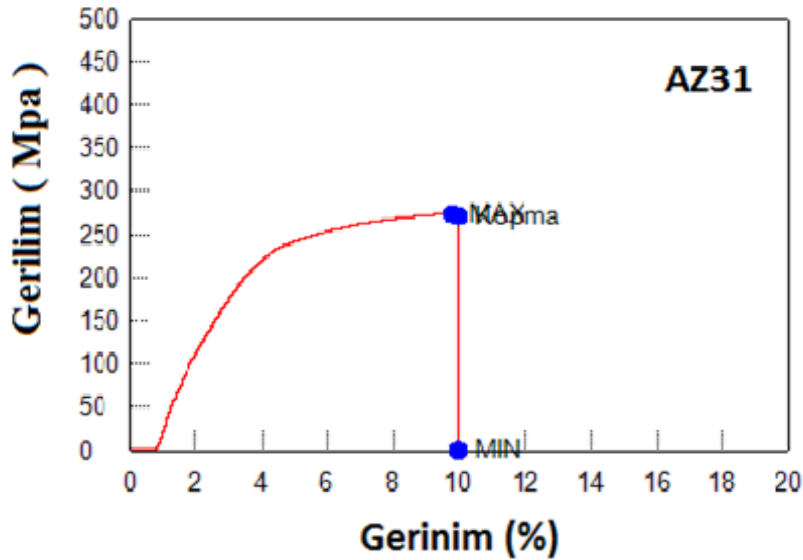


Şekil 5.20. P5,P6,P7,P8 no'lu numunelerin kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımı

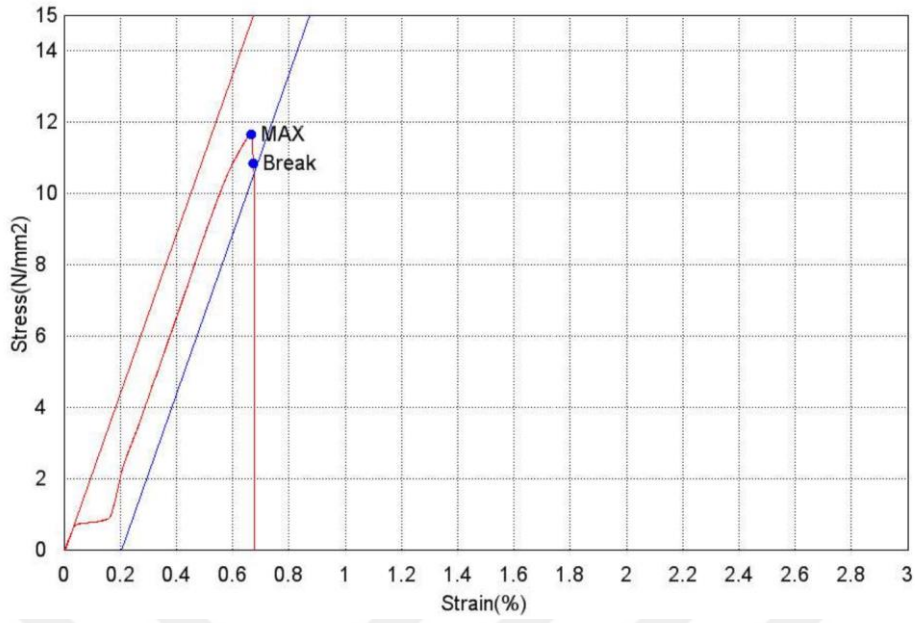
1500 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 5 sn. bekleme süreli P5 numunesi, 1500 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 10 sn bekleme süreli P6 numunesi ve 2000 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 5 sn. bekleme süreli P7 numunesi, 2000 dev/dk 5 mm dalma mesafesi ve 10 sn. bekleme süreli P8 numunesine ait mikrosertlik grafikleri ve numunelerin kendi aralarında ki değerlendirmeleri Şekil 5.20’de verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde genel olarak numunelerin sertlik değerlerinde stabil bir azalma veya artış olmadığını görüyoruz fakat batma derinliği 4,5 mm olan numune gurubunda en yüksek sertlik değerleri termomekanik olarak etkilenmiş bölgede gözlenirken, batma derinliği 5 mm olan bu numune gurubunda mikrosertlik değerlerinin özellikle P5 ve P8 numunesinde karıştırma bölgesinde maksimum seviyede olduğu gözlemlenmiştir.

5.4. Çekme Deneyi Sonuçları

Sürtünme karıştırma kaynak işleminde kullanılan AZ31 Mg alaşımının kaynak öncesi ve kaynak sonrası çekme dayanımlarını karşılaştırabilmek için, AZ31 Mg alaşımı standartlara göre hazırlanarak çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bu deney sonucunda AZ31 Mg alaşımının çekme dayanımı Max. 274 MPa olarak bulunmuştur. AZ31 Mg alaşımının gerilim- gerinim grafiği Şekil 5.21’de verilmiştir.

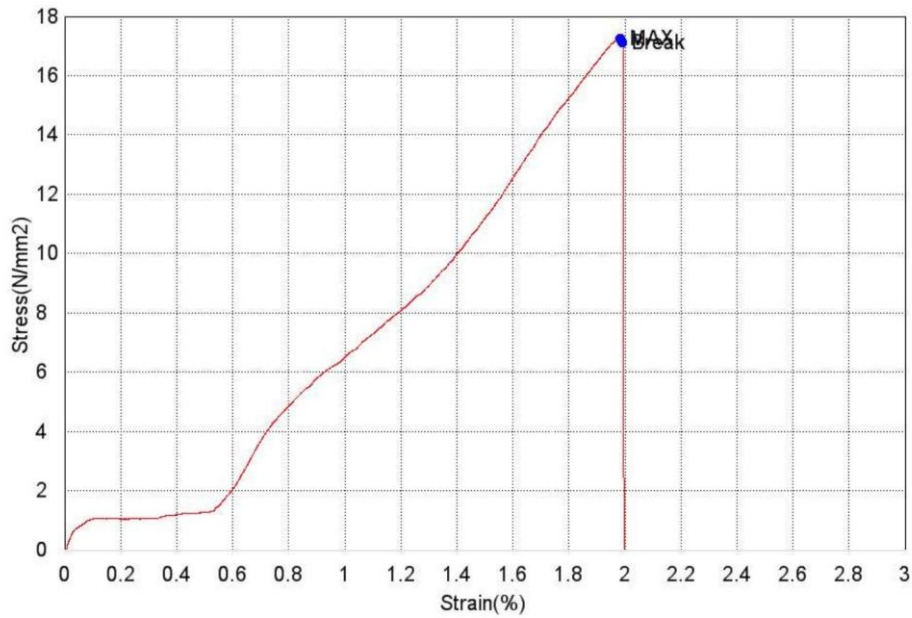


Şekil 5.21. AZ31B Mg alaşımına ait gerilim-gerinim diyagramı [4].



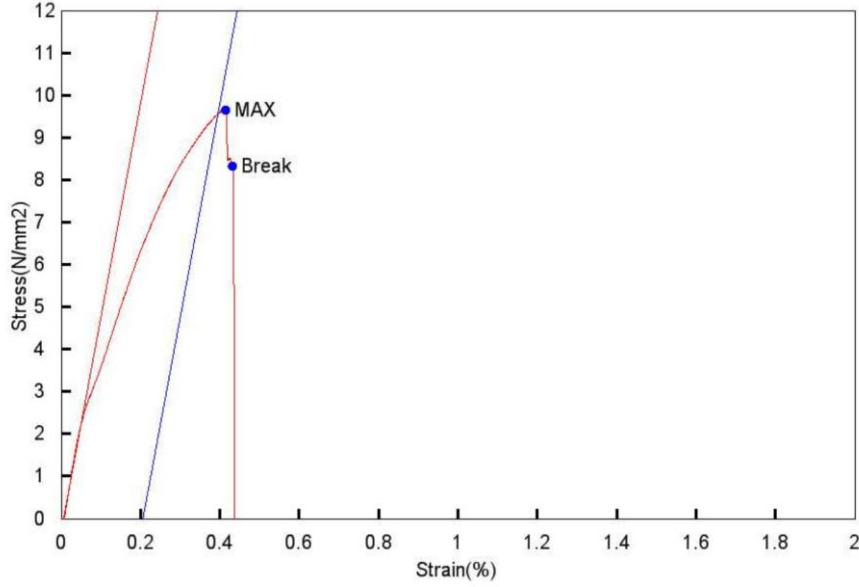
Şekil 5.22. P1 numunesine ait çekme grafiği

1500 dev/dk 4,5 mm batma derinliği ve 5 sn bekleme süresi parametrelerine sahip P1 numunesine ait çekme grafiği Şekil 5.22’de verilmiştir. P1 numunesine ait çekme grafiği incelendiğinde çekme mukavemetinin 11,66 Mpa olduğu görülmektedir.



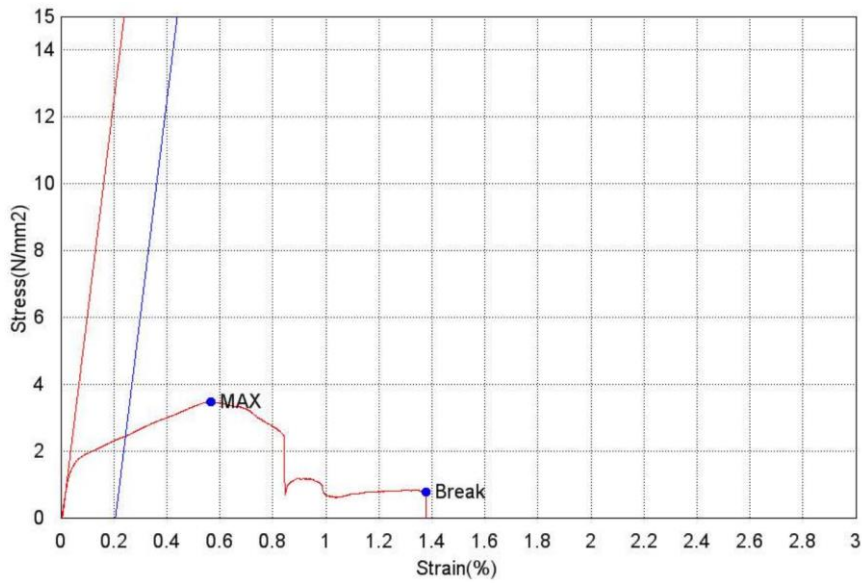
Şekil 5.23. P2 numunesine ait çekme grafiği

1500 dev/dk 4,5 mm batma derinliği ve 10 sn bekleme süresi parametrelerine sahip P2 numunesine ait çekme grafiği Şekil 5.23’de verilmiştir. P2 numunesine ait çekme grafiği incelendiğinde çekme mukavemetinin 17,23 Mpa olduğu görölmektedir.



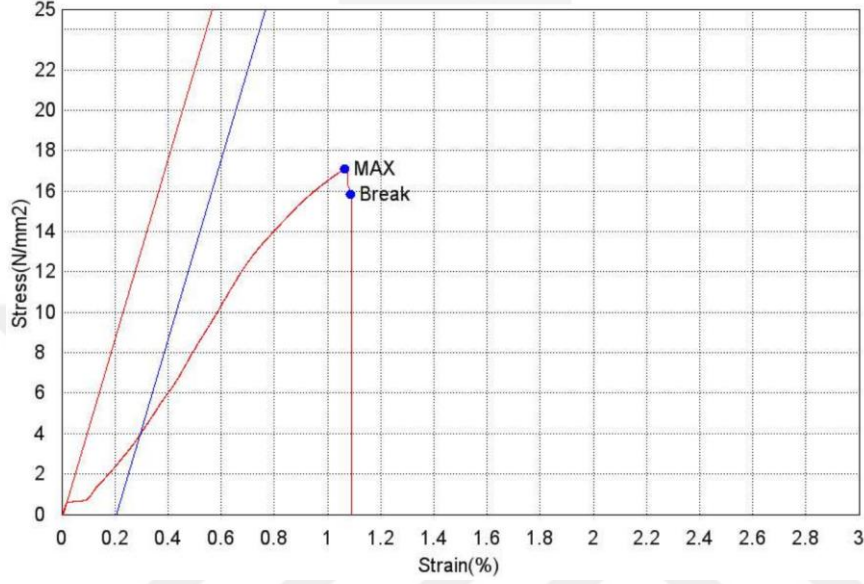
Şekil 5.24. P3 numunesine ait çekme grafiği

2000 dev/dk 4,5 mm batma derinliği ve 5 sn bekleme süresi parametrelerine sahip P3 numunesine ait çekme grafiği Şekil 5.24’de verilmiştir. P3 numunesine ait çekme grafiği incelendiğinde çekme mukavemetinin 9,64 Mpa olduğu görölmektedir.



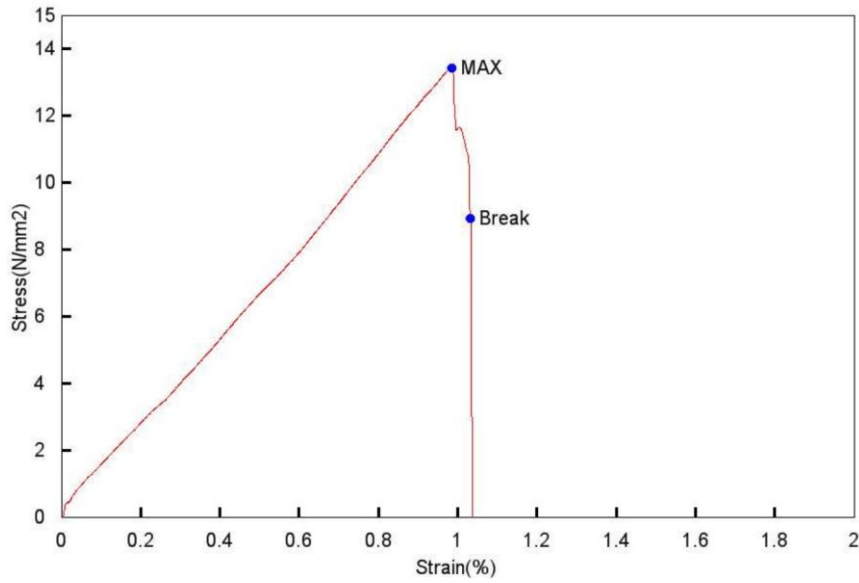
Şekil 5.25. P4 numunesine ait çekme grafiği

2000 dev/dk 4,5 mm batma derinliği ve 10 sn bekleme süresi parametrelerine sahip P4 numunesine ait çekme grafiği Şekil 5.25’de verilmiştir. P4 numunesine ait çekme grafiği incelendiğinde çekme mukavemetinin 3,46 Mpa olduğu görülmektedir.



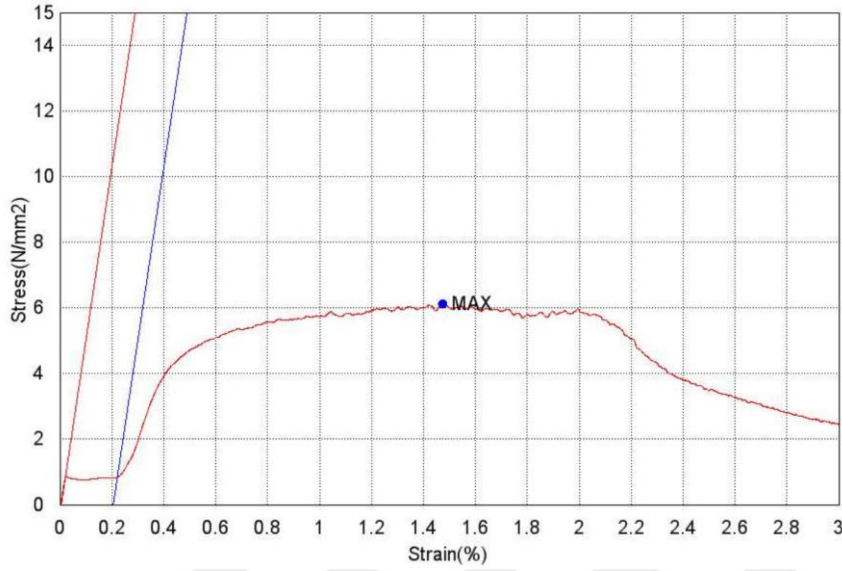
Şekil 5.26. P5 numunesine ait çekme grafiği

1500 dev/dk 5 mm batma derinliği ve 5 sn bekleme süresi parametrelerine sahip P5 numunesine ait çekme grafiği Şekil 5.26’de verilmiştir. P5 numunesine ait çekme grafiği incelendiğinde çekme mukavemetinin 17,09 Mpa olduğu görülmektedir.



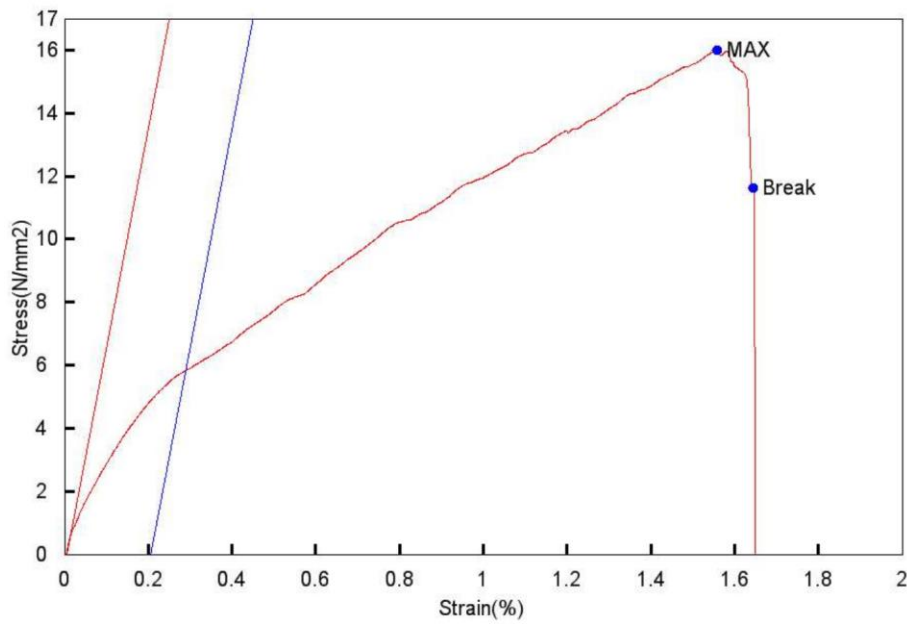
Şekil 5.27. P6 numunesine ait çekme grafiği

1500 dev/dk 5 mm batma derinliği ve 10 sn bekleme süresi parametrelerine sahip P6 numunesine ait çekme grafiği Şekil 5.27'de verilmiştir. P6 numunesine ait çekme grafiği incelendiğinde çekme mukavemetinin 13,41 Mpa olduğu görülmektedir.



Şekil 5.28. P7 numunesine ait çekme grafiği

2000 dev/dk 5 mm batma derinliği ve 5 sn bekleme süresi parametrelerine sahip P7 numunesine ait çekme grafiği Şekil 5.28'de verilmiştir. P7 numunesine ait çekme grafiği incelendiğinde çekme mukavemetinin 6,11 Mpa olduğu görülmektedir.



Şekil 5.29. P8 numunesine ait çekme grafiği

2000 dev/dk 5 mm batma derinliği ve 10 sn bekleme süresi parametrelerine sahip P8 numunesine ait çekme grafiği Şekil 5.29'da verilmiştir. P8 numunesine ait çekme grafiği incelendiğinde çekme mukavemetinin 16,00 Mpa olduğu görölmektedir.

Tablo 5.1. Kaynak parametreleri ve Çekme mukavemeti değerlendirmesi

Parça No	Devir Sayısı	Dalma Mesafesi	Dalma Süresi	Çekme Mukavemeti(MPa)
P1	1500 dev/dk	4,5 mm	5 sn	11,66
P2	1500 dev/dk	4,5 mm	10 sn	17,23
P3	2000 dev/dk	4,5 mm	5 sn	9,64
P4	2000 dev/dk	4,5 mm	10 sn	3,46
P5	1500 dev/dk	5 mm	5 sn	17,00
P6	1500 dev/dk	5 mm	10 sn	13,41
P7	2000 dev/dk	5 mm	5 sn	6,11
P8	2000 dev/dk	5 mm	10 sn	16,00

AZ31 Magnezyum alaşımının kaynak yapılmadan önce çekme mukavemeti değeri 274 Mpa olarak ölçölmüştür. Tüm numunelere ait çekme grafikleri ve Tablo 5.1'deki kaynak parametreleri-çekme mukavemeti değerlendirmeleri incelendiğinde, çekme mukavemeti değerlerinin ana malzemeye göre çok düşük olduğu gözlenmiştir. Kaynaklı bağlantıların resimleri incelendiğinde numunelerde takımın malzemeye dalma derinliğinin yeterli olmadığı görölmektedir. Literatürde çekme mukavemetini etkileyen en önemli parametrelerden birisi takımın malzemeye dalma derinliğidir. Karıştırıcı uç birleşme bölgesine daldırıldığında oluşan yüzey teması ısı artışı sağlar, artan ısıyla birlikte malzeme yumuşar ve yumuşayan malzemenin yeterince karıştırılmasıyla bağ oluşturulur. Yetersiz nüfuziyetten dolayı bağlantılardan genel bir çekme mukavemeti sonucu değerlendirmesi yapmak zorlaşmaktadır.

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada AZ31 magnezyum alaşımına sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemiyle 1500 ve 2000 dev/dk devir sayısı, 4,5 ve 5 mm batma derinliği ve 5 ve 10 sn olmak üzere farklı parametrelerde kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminden sonra, kaynaklı bağlantıların mikroyapı fotoğrafları alınmış, kaynak parametrelerinin bağlantı mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla mikrosertlik analizi yapılmış ve numunelere çekme deneyi uygulanmıştır.

Numunelerin sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi mevcut parametrelerde birleştirildiğinde istenilen bağlantılar elde edilemiştir. Numunelerin mikroyapı sonuçları Isıdan etkilenmiş bölge (A), Termomekanik olarak etkilenmiş bölge (B) ve karıştırma bölgesi (C) olarak üç farklı bölgede incelenmiştir. P1, P4 ve P5 numunelerinde düşük ısı girdisi sebebiyle nüfuziyet yetersizliği görülmüş P2, P3, P6, P7, P8 numunelerinde ise nüfuziyetin biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Hemen hemen tüm numunelerde boşluklara rastlanmıştır.

Numunelerin mikrosertlik sonuçları incelendiğinde. P1, P2,P3 ve P4 numunelerinde genel olarak devir sayısının artmasıyla birlikte tüm bölgelerde mikrosertlik değerlerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir. P5,P6,P7 ve P8 numunelerinde ise genel olarak numunelerin sertlik değerlerinde stabil bir azalma veya artış olmadığını görüyoruz, fakat batma derinliği 4,5 mm olan numune gurubunda en yüksek sertlik değerleri termomekanik olarak etkilenmiş bölgede gözlenirken, batma derinliği 5 mm olan bu numune gurubunda mikrosertlik değerlerinin özellikle P5 ve P8 numunesinde karıştırma bölgesinde maksimum seviyede olduğu gözlemlenmiştir.

Numunelerin tamamında karıştırıcı ucun yeterince nüfuz edemediği resimlerde görülmektedir yetersiz nüfuziyet P1, P4 ve P5 numunelerinde daha belirgindir.

4.5 ve 5 mm'lik dalma mesafesi kullanılmasına rağmen elde edilen nüfuziyet yeterli değildir. Bunun sebebinin karıştırıcı ucun birleşme bölgesine yeterince daldırılmamasıdır. Daldırmanın yeterince olmamasından dolayı karıştırıcı ucun etrafındaki yarı katı-sıvı haldeki akışkan metal az olmuştur yani yeterli bağ oluşturulamamıştır.

6.1. Öneriler

Sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AZ31 Mg alaşımının mikroyapı, mikrosertlik ve çekme sonuçları değerlendirildiğinde AZ31 Mg alaşımı;

- Farklı devir sayıları kullanılarak birleştirilebilir,
- Farklı bekleme sürelerinde birleştirmeler gerçekleştirilebilir,
- Farklı kalınlıktaki numunelere SKNK uygulanabilir.
- Optimum batma derinliğini sağlayabilmek için malzeme kalınlığına uygun boyutlarda uç seçilebilir.
- Çekme deneyi haricinde çentik darbe, kesme-makaslama deneyleri uygulanabilir,



KAYNAKLAR

- [1] **Topbaş, M.A.**, 1993. Isıl İşlemler, 400. Prestij Basın Yayın, İstanbul.
- [2] **LUO, T., SHI, B., DUAN, Q., FU, J., & YANG, Y.**, Fatigue behavior of friction stir spot welded AZ31 Mg alloy sheet joints, *ansactions of Nonferrous Metals Society of China*, **23(2013)**, 1949–1956. China.
- [3] **Xunhong, W., & Kuaishe, W.**, 2006. Microstructure and properties of friction stir butt-welded AZ31 magnesium alloy, *Materials Science and Engineering*, **A 431**, 114–117.
- [4] **Yapıcı, V.**, 2017. AZ31B MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI, *Yüksek Lisans Tezi*. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [5] **Seçgin, G.O.**, 2012. İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilmiş Az31 Magnezyum Alaşımının Korozyon Davranışının İncelenmesi, *Doktora Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Bayramoğlu, S.**, 2010. AZ31 Magnezyum Alaşımının Mikro Ark Oksidasyon Yöntemiyle Yüzey Kaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [7] **Czerwinski, F.**, 2008. Magnesium Injection Molding, Springer, USA.
- [8] **Friedrich, H.E., & Mordike, B.L.**, Magnesium Technology, Springer, Germany.
- [9] **Birol, Y.**, 2009. Otomotivde Alüminyumun Cazibesi, *Bilim ve Teknik*, **497**, 50–53.
- [10] **Polmear, L.J.**, 2006. Light alloys, from traditional alloys to nanocrystals, Springer, Germany.
- [11] **Laser, T., Nürnberg, M., Janz, A., Hartig, C., Letzig, D., Schmid-Fetzer, R., & Bormann, R.**, 2006. The influence of manganese on the microstructure and mechanical properties of AZ31 gravity die cast alloys, *Acta Materialia*, **54**, 3033–3041.
- [12] **Gahali, E.**, 2006. Corrosion resistance of aluminum and magnesium alloys, understanding, performance, and testing, Jogh Wiley & Sons, USA.
- [13] **Şık, A.**, 2006. Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilen Magnezyum Levhaların Mekanik Özelliklerini İncelenmesi, *Journal of Polytechnic*, **9**, 125–130.

- [14] **Duygulu, Ö.**, Production and development of wrought magnesium alloys, *Doktora Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Coşkun, M.H.**, 2009. “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan IF 7114 ve DP 600 Çelik Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) Ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı(FSSW) Yöntemleri İle Birleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [16] **Sudağ, M.**, 2011. Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı İle Birleştirilmesi Ve Dayanım Özelliklerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [17] **Kahraman, B.**, 2009. “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan 5754 Alüminyum Alaşımı Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) Ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) yöntemleri ile birleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [18] **MERT, Ş., & MERT, S.**, 2013. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Yönteminin İncelenmesi, *Journal of Advanced Technology Sciences*, **1**, 26–35.
- [19] **Kaluç, E., & Taban, E.**, 2007. Sürtünen Eleman İle Kaynak (FSW) Yöntemi, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, **460**, 66–77.
- [20] **Eren, T.**, 2005. AA 6063-T6 borularının sürtünme karıştırma kaynağı yöntemiyle kaynak edilebilirliğinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [21] **Gül, A.**, 2006. Farklı Metalsel Malzemelerin Sürtünme Kaynağında, Kaynak Parametrelerinin Dikiş Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Saraçoğlu, E.**, 2005. Alüminyumların sürtünme karıştırma kaynağının incelenmesi, *Bitirme Tezi*. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [23] **Bilici, M.K., Yükler, A.İ., & Kurtulmuş, M.**, 2011. Yüksek Yoğunluklu Polietilen Levhaların Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında Kaynak Ucu Geometrisinin Kaynak Mukavemetine Etkisi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **23**, 111–122.
- [24] **KÜLEKÇİ, M.K., & Er, O.**, 2012. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynaklı En AW - 5005 (Al Mg1) Alüminyum Alaşımı İçin Optimum Kaynak Parametre Seviyelerinin Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **27**, 537–545.

- [25] **Kaçar, R., Emre, H.E., Demir, H., & Gündüz, S.**, 2011. Al-Cu-Al Malzeme Çiftinin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Kabiliyeti, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **36**, 349–357.
- [26] **Gonçalves, J., Santos, J.F. dos., Canto, L.B., & Amancio-Filho, S.T.**, 2015. Friction spot welding of carbon fiber-reinforced polyamide 66 laminate, *Materials Letters*, **159**, 506–509.
- [27] **Fanelli, P., Montanari, R., Rovatti, L., Ucciardello, N., Vivio, F., & Vullo, V.**, Microstructural characterization and modelling of Friction Stir Spot Welded joints in 6082 aluminium alloy| Caratterizzazione microstrutturale e modellazione di giunti saldati per Friction Stir Spot Welding in lega di alluminio 6082, *LA METALLURGIA ITALIANA*, **103**(4), 43–49.
- [28] **Rao, H.M., Yuan, W., & Badarinarayan, H.**, 2014. Effect of process parameters on mechanical properties of friction stir spot welded magnesium to aluminum alloys, *Materials and Design*, **66**, 235–245.
- [29] **Akın, M.**, 2017. Otomotiv İmalat Sektöründe Kullanılan Çelik İle Alüminyum Alaşımı Levhaların Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (Sknk) Tekniği İle Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [30] **Bulut, R.**, 2009. Magnezyum AZ31 Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

ÖZ GEÇMİŞ

1984 yılında Elazığ/Palu İlçesinde dünyaya gelen Harun YILDIRIM ilk, orta ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalürji Malzeme Eğitimi Bölümü'nü kazanmış ve 2010 yılında lisans eğitimini tamamlayarak mezun olmuştur. 2007 yılında Diyarbakır Adliyesi Bilgi İşlem Müdürlüğünde Teknisyen olarak göreve başlamış olup 2011 yılında Elazığ Adliyesine tayin olmuştur. 2017 yılında Elazığ Adliyesi Bilgi İşlem Müdürlüğü görevine atanmıştır. Halen bu görevine devam etmektedir. Yabancı dili İngilizcedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

