

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ROBOTİK MIG İLE BİRLEŞTİRİLEN AA 5754
ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğretmen Ceyhun KÖSE

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zafer TATLI

Haziran 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ROBOTİK MIG İLE BİRLEŞTİRİLEN AA 5754
ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ceyhun KÖSE

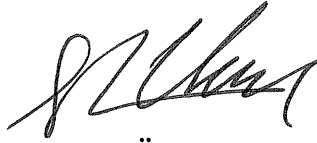
Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez .. / .. /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Jüri Başkanı

Yrd. Doç. Dr. Zafer TATLI



Üye

Prof. Dr. Hüseyin UZUN



Üye

Yrd. Doç. Dr. Erdinc İLHAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince beni yönlendiren, çalışmalarımın her aşamasında yakından ilgilenen değerli danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Zafer TATLI 'ya, değerli bilgilerini benimle paylaştıkları için Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nden Sayın Prof. Dr. Hüseyin UZUN'a, Doç. Dr. Ramazan YILMAZ'a, Doç. Dr. Salim ASLANLAR'a, Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ'a, Mikroyapı ve makroyapı çalışmalarımda yardımlarından Sayın Arş. Görv. Murat ÇOLAK'a, Metal Eğitimi bölümü Arş. Görevlilerine, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Hocalarıma, Trakya Üniversitesi Edirne M.Y.O. Kaynak Teknolojisi Bölümü Hocalarıma, Kaynak numunelerimin birleştirilmesinde büyük yardımlarından dolayı Gedik Holding Kaynak Müh. Sayın Kamil KURNAZOĞLU'na, Robot Uzm. Sayın Efe ERDEM'e, Robot teknisyeni Erhan Bey'e, Gedik Holding Eğitim Şefi Sayın Mehmet TURHAN'a ve tüm imkanlarını sunan GEDİK Holding'e, deneysel çalışmalarımda yardımlarından dolayı KOSGEB Metalurji Müh. Engin DEDE'ye ve Kosgeb çalışanlarına, Lazer kesim işlemini gerçekleştiren HASMATİK firması ve çalışanlarına, yardımlarından dolayı Sayın Tacettin SAYLAN'a, gerek tezimin deneysel çalışmalarında gerek tezimin yazım aşamasında hiç bir yardımı esirgemeyen değerli dostum Tekn. Öğrt. Sayın Cevdet BULUT'a, Çatalca End. Meslek Lisesi Müdür Yardımcıları Sayın Metin S.KARTAL ve Mehmet YALÇINDAĞ'a, Makine, Metal ve Bilgisayar bölümlerine ve Çatalca End. Meslek Lisesin'de ki tüm Öğretmen arkadaşlarıma, hayatımın her kademesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xvi
MICROSTRUCTURE and MECHANICAL PROPERTIES of AA 5754 H22 ALUMINIUM ALLOY WELDED by ROBOTIC GMAW PROCESS.....	xvii
SUMMARY	xvii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	2
1.1. Robotik Gazaltı Kaynağı (MIG / MAG).....	2
BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	2
2.1. Alüminyumun Özellikleri	2
2.1.1. Alüminyumun geri kazanımı.....	6
2.1.2. Alüminyumun genel karakteristikleri:.....	6
2.1.3. Birleştirme ile ilgili karakteristikler	6
2.1.4. Alüminyumun başlıca özellikleri:	7
2.1.4.1. Alüminyum saflık dereceleri.....	7

2.1.4.2.	Alüminyumun fiziksel özellikleri:	8
2.1.4.3.	Alüminyum mukavemet özellikleri	8
2.1.4.4.	Korozyona karşı mukavemet	9
2.1.4.5.	Soğuk şekil değiştirme ve sıcak şekil değiştirme	9
2.2.	Alüminyum Alaşımları ve Özellikleri.....	10
2.2.1.	Alüminyum ve alaşımlarının sınıflandırılması	10
2.2.2.	Alüminyum ve alaşımlarının döküm standartları	12
2.2.3.	Çeşitli alüminyum alaşımlarının özellikleri	12
2.2.3.1.	Alüminyum mangan alaşımları.....	13
2.2.3.2.	Alüminyum magnezyum alaşımları.....	13
2.2.3.3.	Alüminyum magnezyum silisyum alaşımları	15
2.2.3.4.	Alüminyum silisyum döküm alaşımları.....	15
2.2.3.5.	Alüminyum lityum döküm alaşımları.....	15
2.2.3.6.	Alüminyum ve alaşımlarının yaşlandırılması	16
2.2.3.7.	Alüminyum ve alaşımlarının yeniden kristalleşmesi.....	21

BÖLÜM 3.

ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI.....	20
3.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği.....	20
3.2. Alüminyumun Kaynak Esnasındaki Isıl Karakteristiği.....	33
3.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Oksi-Asetilen Kaynağı	33
3.4. Alüminyum ve Alaşımlarının Örtülü Elektrot Kaynağı	38
3.5. Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı	39
3.6. Alüminyum ve Alaşımlarının TIG Kaynağı	43
3.7. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrik Direnç Kaynağı	45
3.8. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrocüruf Kaynağı	47
3.9. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrogaz Kaynağı.....	48

3.10. Alüminyum ve Alaşımlarının Plazma Kaynağı	48
3.11. Alüminyum ve Alaşımlarının Ultrasonik Kaynağı	50
3.12. Alüminyum ve Alaşımlarının Patlama Kaynağı	51
3.13. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektron Işın Kaynağı	52
3.14. Alüminyum ve Alaşımlarının Difüzyon Kaynağı	56
3.15. Alüminyum ve Alaşımlarının Yakma Kaynağı.....	58
3.16. Alüminyum ve Alaşımlarının Lazer Işın Kaynağı	59
3.17. Alüminyum ve Alaşımlarının Manyetik Puls Kaynağı.....	61
3.18. Alüminyum ve Alaşımlarının Soğuk Basınç Kaynağı	63
3.19. Alüminyum ve Alaşımlarının Sürtünme Kaynağı.....	64
3.20. Alüminyum ve Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı	66
3.21. Alüminyum ve Alaşımlarının Robot Kaynağı	67
3.21.1. Giriş ve tanımı	67
3.21.2. Endüstriyel robotların sınıflandırılması.....	69
3.21.3. Mekanik yapılarına göre endüstriyel robotların sınıflandırılması	70
3.21.4. Robot ve çalışma düzlemleri	70
3.21.5. Robot sistemleri.....	71
3.21.6. Robotlu kaynak sistemleri	73
3.21.6.1. Manipülatör:.....	76
3.21.6.2. Kontrol ünitesi:	76
3.21.6.3. Kaynak ekipmanları	77
3.21.6.4. Pozisyoner ve sliderlar	77
3.21.6.5. Robotik gazaltı kaynak torc sistemi.....	77
3.21.7. Robot seçimi	80
3.21.7.1. Ark kaynak robotunun sahip olması gereken özellikleri	81
3.21.7.2. Eksen sayısı.....	82
3.21.7.3. Tamlık ve tekrarlanabilirlik	82

3.21.7.4. Proses kontrolü	83
3.22. Robotların kullanıldığı ağır sanayiler.....	83
3.22.1. Neden robot kullanılmalı	84
3.22.2. Robot uygulamalarında emniyet çözümleri.....	85
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	90
4.1. Kaynaklanacak Esas Malzeme	90
4.2. Kaynak İşlemi	90
4.3. Kaynak İşlemi Parametreleri	91
4.4. Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....	93
4.4.1. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanışı	93
4.4.2. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanışı	95
4.4.3. Mikroyapı ve makroyapı deney numunelerinin hazırlanışı.....	96
4.4.4. Mikrosertlik deney numunelerinin hazırlanışı.....	97
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....
5.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	98
5.2. Eğme Deneyi Sonuçları.....	104
5.3. Makroyapı Deneyi Sonuçları	106
5.4. Mikroyapı İncelemeleri ve Sonuçları	127
5.5. Mikrosertlik İncelemeleri ve Sonuçları.....	137
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	143
6.1. Sonuçlar.....	143
6.2. Öneriler	143

KAYNAKLAR	144
ÖZGEÇMİŞ	149

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
DADK	: Doğru Akım Düz Kutuplama
DATK	: Doğru Akım Ters Kutuplama
Ar	: Argon
He	: Helyum
Mg	: Magnezyum
TIG	: Tungsten Inert Gas
MIG	: Metal Inert Gas
GMAW	: Gas Metal Arc Welding
ITAB	: Isının Tesiri Altında Kalan Bölge
MPa	: Mega Pascal
µm	: Mikrometre

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Al-Mg Faz Denge Diyagramı (Keleş, 2008)	14
Şekil 2.2.	Mg-Al Faz Diyagramı (Keleş, 2008).....	14
Şekil 2.3.	Al-Cu Alaşımları denge diyagramı (Oğuz, 1990).....	17
Şekil 2.4.	(a) İdeal yaşlanma (b) Aşırı yaşlanma (mak.etu., 2011).....	18
Şekil 2.5.	Isıl işlemden tanecik çökmesinin şematik diyagramları (a), GP-1 bölgeleri; (b), GP-2 bölgeleri; (c), dörtgen $CuAl_2$ fazı; (d), kübik $CuAl_2$ fazı (Oğuz, 1990).....	18
Şekil 3.1.	Oksi-asetilen kaynak alevi ve alev türleri (şematik) (Oğuz, 1990).....	35
Şekil 3.2.	Al ve alaşımlarının oksijenle kaynakta ağız hazırlık şekilleri. a) $s < 1.5$ mm, b) $s = 1-3$ mm, c) $s = 3-12$ mm, d) $s > 8$ mm, e) $s > 12$ mm (Oğuz, 1990).....	36
Şekil 3.3.	Hafif metal saçlarının kaynak tertibi a, tel ya da saç parçası b, ısı iletkenliği olmayan destek (Oğuz, 1990).....	37
Şekil 3.4.	Alüminyum ve alaşımlarından kalın saçların oksijenle kaynağı (Oğuz, 1990).....	37
Şekil 3.5.	Örtülü elektrot kaynağı (Oğuz, 1990).....	39
Şekil 3.6.	Çeşitli koruyucu gazların dikişin şekline ve nüfuziyetine etkisi (Anık, 1993)	41
Şekil 3.7.	MIG yöntemindeki ark bölgesi (Kurşun, 2006).....	42
Şekil 3.8.	TIG kaynak yönteminde ark bölgesi (Kaluç ve Taban, 2006).....	44
Şekil 3.9.	Elektrik direnç kaynağı ve kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımı şeması (Anık, 1991) .	47
Şekil 3.10.	Elektro-curuf kaynak yönteminde kaynak bölgesi (Anık, 1991).....	47
Şekil 3.11.	Yüksek güç plazma birleştirme kaynağı prensibi ve kaynak dikişinin alternatif kaynak yöntemleriyle karşılaştırılması a) Prensip (1 Plazma gazı, 2 Koruma gazı, 3 Ateşleme cihazı, 4 Ön direnç, 5 Sıvı metal, 6Kaynak dikişi üstten görünüşü, 7 Kaynak dikişi enine kesiti, 8 Odaklama gazı) b) Plazma kaynağı dikişi ile elektron ışını ve MIG kaynağı	

dikişinin karşılaştırılması (1 Elektron ışını kaynağı, 2 Plazma kaynağı, 3 MIG kaynağı) (Karadeniz, 1990)	49
Şekil 3.12. Ultrasonik kaynağın şematik olarak gösterilişi (Anık, 1996)	50
Şekil 3.13. Alüminyum malzemenin patlama kaynağı şematik görünümü (Anık, 1996)	51
Şekil 3.14. Patlama kaynağının mikrofotografı (Oğuz, 1990)	52
Şekil 3.15. Elektron ışını ile kaynak makinesinin şematik yapısı 1-Katot, 2-Wehnelt silindiri, 3- Anod, 4-Ayar bobinleri, 5- Magnetik mercecek,6- Saptırma bobinleri, 7- Hava girişi, 8- Kaynak hücresi, 9- ış	53
Şekil 3.16. Elektron ışın kaynağına örnekler: (a) alüminyum; (b) paslanmaz çelik (Anık, 1993)....	54
Şekil 3.17. TIG, plazma ve elektron ışını ile yapılan kaynaklarda erime bölgesi formunun karşılaştırılması (Anık ve Vural, 1993b)	54
Şekil 3.18. Difüzyon kaynağının üç aşamalı mekanizması a. Yüzey pürüzlerinin başlangıç teması b. Birinci aşama deformasyon ve sınır bağ düzeni c. İkinci aşama tane sınırı göçü ve gözeneklerin yok edilmesi d. Üçüncü aşama hacim difüzyonu ve gözeneklerin elimine edilişi (Kurt, 1997).....	57
Şekil 3.19. Lazer kafası	59
Şekil 3.20. Manyetik puls kaynağının şematik gösterimi (Çam, 2001)	62
Şekil 3.21. Boru tipi parçaların bindirme kaynağında çeşitli manyetik puls kaynağı uygulamalarının şematik olarak gösterilmesi. (h: kaynak yapılacak parçalar arası mesafe) (Çam, 2001).....	63
Şekil 3.22 Sürekli tahrikle sürtünme kaynağı (Akata vd., 2003)	65
Şekil 3.23. Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi (Çam, 2005)	67
Şekil 3.24. Robotlu kaynak sistemleri (Yumurtacı, 2009).....	74
Şekil 3.25. Ark kaynak robotu şematik gösterimi (Megep,2011)	76
Şekil 3.26. Standart bir gazaltı kaynak torcu (dinse-gmbh, 2011).....	78
Şekil 3.27. Robotik bir gazaltı torcunun şematik gösterimi (otomasyonkaynak, 2011)	79
Şekil 3.28 Robotik gazaltı kaynak torcu ve elemanları (binzel, 2011)	79
Şekil 3.29 a-) Robotik MIG kaynak torcu b-) Robotik TIG kaynak torcu	79
Şekil 3.30. Mafsallı robot şematik gösterimi (Yumurtacı, 2009)	81
Şekil 3.31. Robotik ark kaynak birimleri şematik gösterimi (Yumurtacı, 2009).....	83
Şekil 4.1. OTC Marka kaynak robotu.....	91

Şekil 4.2.	Şekil çekme numunesi standart ölçüleri	93
Şekil 4.3.	Kaynaklanmış çekme deneyi numunelerinin görüntüsü	94
Şekil 4.4.	Testo model çekme cihazı	94
Şekil 4.5.	Eğme numunesi deney ölçüleri.....	95
Şekil 4.6.	Eğme deneyi cihazı ve uygulama görüntüsü	95
Şekil 4.7.	Mikroyapı incelemelerinde kullanılan Nikon marka Smz 800 model optik mikroskop ...	96
Şekil 4.8.	Makroyapı incelemelerinde kullanılan Nikon marka L 150 A model optik stereoskop ...	97
Şekil 4.9.	Mikrosertlik ölçümlerinde kullanılan Matsuzawa MHT-2 model cihaz.....	97
Şekil 4.10.	Mikrosertlik alınan bölgelerin gösterimi	97
Şekil 5.1.	Deney numunelerinin çekme deneyi sonrası görüntüsü	99
Şekil 5.2a.	Y-2 Deney numunesinin çekme işlemi sonrası görüntüsü	100
Şekil 5.3. a.	Çekme deneyi sonucu koparılan numunelerden Y-2 numunesinin kırılma yüzeyi görüntüsü	101
Şekil 5.4.	Deney numunelerinin akma dayanımı sonuçları.....	102
Şekil 5.5.	Deney numunelerinin çekme deneyi sonuçları	103
Şekil 5.6.	Deney numunelerinin yüzde uzama sonuçları	103
Şekil 5.7.	Deney numunelerinin gerilme – uzama eğrileri.....	104
Şekil 5.8a.	Eğme deneyi sonucunda oluşan görüntüler	105
Şekil 5.9.	X-1 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X).....	107
Şekil 5.10.	X-1 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20 X).....	107
Şekil 5.11.	X-2 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10X).....	108
Şekil 5.12.	X-2 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20X).....	108
Şekil 5.13.	X-3 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10X).....	109
Şekil 5.14.	X-3 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20X).....	109
Şekil 5.15.	Y-1 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X).....	110
Şekil 5.16.	Y-1 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20 X).....	110
Şekil 5.17.	Y-2 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X).....	111
Şekil 5.18.	Y-2 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20 x).....	111
Şekil 5.19.	Y-3 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X).....	112
Şekil 5.20.	Y-3 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20 X).....	112

Şekil 5.21.	Z-1 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X).....	113
Şekil 5.22.	Z-1 Numunesi ITAB makroyapı genel görüntüsü (20 X).....	113
Şekil 5.23.	Z-2 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X).....	114
Şekil 5.24.	Z-2 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20 X)	114
Şekil 5.25.	Z-3 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X).....	115
Şekil 5.26.	Z-3 Numunesi ITAB makroyapı genel görüntüsü (20 X).....	115
Şekil 5.27.	Kaynak damla geometrisi (Ap : Nüfuziyet alanı	116
Şekil 5.28.a.	X-1 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü	118
Şekil 5.29 a.	X-2 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü	119
Şekil 5.30 a.	X-3 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü	120
Şekil 5.31 a.	Y-1 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü	121
Şekil 5.32 a.	Y-2 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü	122
Şekil 5.33 a.	Y-3 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü	123
Şekil 5.34 a.	Z-1 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü.....	124
Şekil 5.35 a.	Z-2 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü.....	125
Şekil 5.36 a.	Z-3 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü.....	126
Şekil 5.37.	X-1 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	128
Şekil 5.38.	X-2 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	129
Şekil 5.39.	X-3 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	130
Şekil 5.40.	Y-1 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	131
Şekil 5.41.	Y-2 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	132
Şekil 5.42.	Y-3 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü.....	133
Şekil 5.43.	Z-1 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü	134
Şekil 5.44.	Z-2 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü	135
Şekil 5.45.	Z-3 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü	136
Şekil 5.46.	Sertlik alınan bölgelerin gösterimi (her bir numune için aynı bölgelerden sertlik değeri alınmıştır.)	138
Şekil 5.47.	Mikrosertlik deney sonuçları (X-1, X-2, X-3 Numunelerine ait)	138
Şekil 5.48.	Sertlik alınan bölgelerin gösterimi (her bir numune için aynı bölgelerden sertlik değeri alınmıştır)	139

Şekil 5.49. Mikrosertlik deney sonuçları (Y-1, Y-2, Y-3 Numunelerine ait)	139
Şekil 5.50. Sertlik alınan bölgelerin gösterimi (her bir numune için aynı bölgelerden sertlik değeri alınmıştır) 140	
Şekil 5.51. Mikrosertlik deney sonuçları (Z-1, Z-2, Z-3 Numunelerine ait).....	140

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Saf Alüminyum metalinin özellikleri (Gürleyik, 1993).....	6
Tablo 2.2. Alüminyumun fiziksel özellikleri (Makinateknik, 2011)	8
Tablo 2.3. Alüminyumun mukavemet özellikleri (Makinateknik, 2011)	9
Tablo 2.4. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının temel ısıl (temperleme) İşlemlerinin gösterimi (Kaluç ve Taban 2007a).....	20
Tablo 2.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının H (sertleştirme)İşlemlerinin alt bölümlerinin gösterimi (Kaluç ve Taban 2007a).....	20
Tablo 3.1. Isıl işleme tabi tutulamayan dövme alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri (Senyen, 2001).....	27
Tablo 3.2. Isıl işleme tabi tutulabilen dövme alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri (Senyen, 2001).....	28
Tablo 3.3. Isıl işleme tabi tutulamayan döküm alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri (Senyen, 2001).....	29
Tablo 3.4. Isıl işleme tabi tutulabilen döküm alüminyum alaşımlarının fiziksel Özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri (Senyen, 2001).....	30
Tablo 3.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı için önerilen bazı parametreler (Kurşun, 2006).....	43
Tablo 3.6. Elektron ışın kaynağı yapılmış alüminyumun ile ana metal özelliklerinin karşılaştırılması (Welding Handbook, 1996)	56
Tablo 3.7. Endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılması (Groover,1986)	70
Tablo 4.1. Kaynak işleminde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi.....	90
Tablo 4.2. Kaynak işleminde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri	90
Tablo 4.3. Gazaltı kaynak telinin kimyasal kompozisyonu	90

Tablo 4.4.	Gazaltı kaynak telinin mekanik özellikleri	90
Tablo 4.5.	Kaynak işleminde kullanılan parametreler gösterilmiştir	92
Tablo 4.6.	Keller dağılayıcısı bileşimi	96
Tablo 5.1.	Çekme deneyine tabi tutulan numunelerin deney sonuçları	102
Tablo 5.2.	Eğme deneyi sonuçları	106
Tablo 5.3.	Numunelerin kaynak damla geometrileri	117

ÖZET

Anahtar kelimeler: Robot kaynağı, , MIG, Optimum parametre, Mikroyapı, Alüminyum, Alaşım

MIG yöntemi endüstride uygulama kolaylığı nedeniyle bütün demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında en çok tercih edilen ve aranılan bir yöntem konumuna gelmiştir. MIG yönteminin Robotla kullanılması ile yapılan kaynak işlemlerinde, kaynak operatöründen kaynaklanan hataların meydana gelmemesi bu yöntemin kullanılabilirliğini ve güvenilebilirliğini artırıcı etkenler olmuştur. Bu konumdan yola çıkarak yapılan çalışmada AA 5754 H22 alüminyum levhalar farklı parametrelerde robotta MIG yöntemiyle birleştirilerek mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaynak işlemi yatay pozisyonda ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Robotta MIG yöntemiyle birleştirme işleminde farklı kaynak akımı, gerilim, kaynak hızı uygulanmış, gaz debisi, darbeli akım yöntemi, serbest tel uzunluğu, koruyucu gaz sabit tutulmuştur. Birleştirilen parçalara çekme deneyi, eğme deneyi, mikrosertlik taraması yapılmış, stereoskop ile makroyapı görüntüleri ve ışık mikroskobu ile mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada kaynak parametrelerinin değiştirilmesi ile hem mekanik özelliklerin hem de mikroyapı özelliklerinin etkilendiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu çalışmada optimum kaynak parametrelerine ulaşılarak optimum mekanik özellikler elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçların endüstride kullanılabilirlik açısından önem arzedeceğine inanılmaktadır.

MICROSTRUCTURE and MECHANICAL PROPERTIES of AA 5754 H22 ALUMINIUM ALLOY WELDED by ROBOTIC GMAW PROCESS

SUMMARY

Keywords: Robotic welding, MIG, Optimum parameter, Microstructure, Aluminium, Alloy

MIG method has become the most preferred and the most wanted method in the welding of all the nonferro metals and alloys due to its convenience. In the welding operations with the usage of robotic MIG method, that there are no defects which arise from welding operator has been the factor that increased the availability and reliability of this method. In a study done by starting from this point, aluminium sheets have been welded with robotic MIG method in different parameters and their microstructure and mechanical properties have been analysed. The welding operation has been done horizontally and in room temperature. In welding with robotic MIG method a different weld current, welding progress speed and weld voltage have been applied; gas flow, DC pulse method, free wire length and protective gas have been kept stable. welded plates have been exposed to tensile test, bending test and microhardness analysis; with the aid of stereoscope their macrostructure images and with the optic microscope their microstructure images have been acquired.

In this study optimum welding parameters have been reached . Also it was shown that the changed welding parameters affected the mechanical properties. These optimum parameters are believed to be important in their usage in industry.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Robotik Gazaltı Kaynağı (MIG / MAG)

Gazaltı kaynağı, bilindiği gibi kaynak yöntemleri içinde mekanizasyona / otomasyona uygunluğu ile göze çarpmaktadır. Robotun gelişimiyle bu prosesin robotla gerçekleştirilebileceği düşünülmüş, robota uygun ekipmanların yapılabilmesiyle birlikte de uygulanmaya başlamıştır. Robotlu kaynak sistemlerinin en önemli özelliği doğrudan kaynak kalitesi ve dolayısıyla ürün kalitesinin artışıdır.

Robotlu kaynak sistemlerinde kullanılan kaynak fikstürleri ise bu sistemlerin en önemli unsurlarının başında gelmektedir. Kaynak fikstürlerinin teknik özellikleri eğer istenilen koşulları sağlamıyorsa, istenilen ürün kalitesi elde edilememekte ve hatta üretim durma noktasına gelebilmektedir. Bazı kullanıcılar özellikle satın alma süreçlerinde sadece robot ve robot maliyetine odaklanmakta ve çok önemli olan fikstür ve diğer yan ekipmanların gözardı edilmesi ciddi sorunlara davetiye çıkarmaktadır.

Yüksek adetlerin ve ciddi kalite gerekliliklerinin söz konusu olduğu otomotiv sanayi bu gelişmeye çok çabuk tepki vermiş olup kısa sürede yüksek miktarlarda robot söz konusu sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Şu anda da en büyük robot kullanıcısı sektör otomotiv ve yan sanayileridir. Bununla birlikte beyaz eşya, genel makina ve metal sektörlerinde her geçen gün daha fazla sayıda robot kullanılmaktadır. Robot tabanlı gazaltı kaynak prosesinin kazandırdıklarını aşağıda özetlemeye çalışılmıştır:

- Ürün kalitesinin artışı
- Azalan imalat maliyetleri
- Verimlilik artışı
- Çalışma ortamının iyileştirilmesi

Robot kullanımını kısmen de olsa endüstride kullanılabilirlik bakımından kısıtlayan nedenlerde bulunmaktadır aşağıda özetlenen dezavantajları düşünen işletmeler robotun satın alınması ve böylelikle kullanımını azaltmaktadırlar;

- Robotlar düşünemez,
- Vision System, ile yalnızca kendisine öğretilen cisimleri görebilir,
- Programlanmadan çalışamaz,
- Kendisine öğretilenleri yapabildiğinden hareketleri kısıtlıdır,
- Yüksek yatırım maliyeti,
- Boşa geçen bakım ve onarım zamanları.

Robotik kaynak yöntemiyle yapılabilen diğer kaynak proseslerini de şöyle sıralayabiliriz:

TIG kaynağı: Çok ince ve özellikle beyaz eşya sektöründe kullanılan paslanmaz sacların kaynak robotuna uygun tel beslemeli ya da tel beslemesiz TIG kaynağı ekipmanının entegrasyonu ile kaynatılmasıdır.

Alüminyum kaynağı: Alüminyumun özellikleri nedeniyle alüminyum kaynağında standart gazaltı ekipmanları kullanılamamaktadır. Söz konusu kaynağın yapılabilmesi için özel torç, tel sürücü ve güç kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır.

Saplama kaynağı (Stud welding): Özellikle otomotiv parçalarının saplama kaynakları robotla çok etkin bir şekilde yapılabilmektedir (Türkcadcam, 2011).

Bu çalışmanın yapılmasında kısaca; robotik gazaltı kullanımının alüminyum ve alaşımlarının manuel ile yapılan kaynak uygulamalarına nazaran endüstride ne gibi avantajlar sağlayacağı ya da ne gibi dezavantajlar oluşturacağı sorularına cevap bulunabilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum metal sektöründe demir ve çelikten sonra ikinci sırayı almaktadır. 1989' da ABD' de 4.03 milyon ton alüminyum üretilmiştir. Alüminyum endüstrisindeki hızlı büyüme bu metalin essiz özellik kombinasyonuna atfedilmektedir. Bu özellikler alüminyumu çok yönlü yapı ve mühendislik malzemelerinden biri yapmaktadır. Alüminyum ağırlıkça hafiftir ve alaşımları yapı çeliklerinden daha fazla mukavemetlendirilmiştir. Alüminyum iyi elektriksel ve ısıl iletkenliğin yanında yüksek ısı ve ışık yansımaları özelliklerine de sahiptir. Pek çok hizmet şartlarında korozyon direnci oldukça iyi ve zehirsizdir. Alüminyum dökülebilir ve pek çok sekle getirilebilir ve iyi yüzey kalitesi verir. Alüminyumun bu üstün özellikleriyle mühendislik malzemesi olarak büyük önem kazanması şaşırtıcı değildir (Smith, 2001).

2.1. Alüminyumun Özellikleri

Alüminyumun yoğunluğu yaklaşık $2,7 \text{ g/cm}^3$ olup çelik ($7,83 \text{ g/cm}^3$) ve bakır($8,93 \text{ g/cm}^3$)yoğunluğunun yaklaşık üçte biri kadardır. Mukavemeti çelikten düşük olsa da, kesit artırılarak çeliğe eşdeğer mukavemet sağlanmaktadır. Birçok konstrüksiyonda alüminyum alaşımlarının kullanılması ağırlıkta düşme yaptığı için avantaj sağlamaktadır (Yükler, 2000).

Her ne kadar alüminyumunun oksijene büyük eğilimi varsa da, korozyona dayanımı göreceli olarak yüksektir. Bunu sağlayan da, metalin yüzeyinde oluşup onu daha ileri bir oksitlenmeden koruyan yoğun, nüfuz ettirmez oksit filmidir. Bu korozyona dayanım, doğal oksit filmini yapay olarak kalınlaştıran anodizasyonla daha da artırılır (bu işlem ayrıca boyanacak olan bir "yüzeyin hazırlanması, bir elektrik

iletkeni için bir yalıtkan kaplama sağlamak için de kullanılır). Alüminyum oksidi çok sert olduğundan, oksit tabakası aşınmaya mukavemeti de artırır. Bu bakımlardan alüminyumun oksijene eğilimi faydalı olmaktadır. Bu yüksek eğilimi dolayısıyla alüminyum, çeliklerde dezoksidan olarak ve termit (alüminotermi) kaynağında da yararlıdır.

Alüminyumun, bakırın özgül iletkenliğinin % 50'den fazlasına sahip bulunması, bunun ağırlık ağırlığa bakırdan daha iyi bir elektrik iletkeni olduğu anlamına gelir. Böylece de taşıyıcı görevini yapan bir çelik kablo (o da bir miktar elektrik iletir) etrafına sarılmış alüminyum örgülü telleri, enerji nakil ve dağıtım sistemlerinde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Saf alüminyum nispeten yumuşak ve zayıf olup (kopma mukavemeti 90 N/mm² mertebesindedir) sair endüstriyel uygulamalarda bu yüzden alaşımlandırılmış halde kullanılır.

EC (electrical conductor) grade'i alüminyumun elektriksel iletkenliği % 61 IACS, yüksek safiyette (% 99.99) alüminyumunki de yaklaşık W_o 65'dir. Düşük özgül ağırlığı dolayısıyla alüminyumun kitle iletkenliği, tavllanmış bakırınkinin % 201'ine varmaktadır. İlâve elementler bu iletkenliği azaltır.

Isıl iletkenliği de göreceli yüksek, bakırınkinin % 61'i kadardır. Bu da, element ilâvesiyle düşer. Alüminyum alaşımlarının bu yüksek ısıl iletkenliği, içten yanmalı motorların piston ve silindir kafaları gibi bazı uygulamalarda önemli olmaktadır. Ticari alüminyumun ısıl genleşme katsayısı, adi çelik ve dökme demirlerinkinin yaklaşık iki katı kadardır. Bu katsayı bakır ve bakır esaslı alaşımlarınkinden haylice büyüktür. Silisyum dışındaki alaşım elementlerinin bu katsayı üzerinde az etkisi vardır. Yüksek miktarlarda silisyum (örneğin % 12), değişen sıcaklıkların hasıl ettikleri boyutsal değişimleri hissedilir derecede azaltır. Bazı silisyumlu alüminyum alaşımları motor pistonlarında olduğu gibi, alçak ısıl genleşme katsayısının arandığı yerlerde kullanılır.

Alüminyum, herhangi başka metala göre daha yüksek ışık yansıtma ve ısı yayımı kabiliyetini haizdir. Yüksek safiyette alüminyum levha %80'den fazla ışık yansıtacak şekilde muamele edilebilir. Süreç, anodik işleme birlikte uygun parlatmayı kapsar.

Ultraviyole ışığını yüksek yansıtma kabiliyeti dolayısıyla, güneş ısınlarının tahribatına karşı koruyucu olarak alüminyum boyalan kullanılmaktadır. Alüminyum folyolar ısı yalıtkan olarak kullanılırlar. Daha büyük dalga uzunlukları radyan enerji yansıtma kabiliyeti dolayısıyla alüminyum radyo ve radar donanımında reflektörler ve dalga gaydaları gibi islerde kullanma yeri bulur (Oğuz, 1990).

Alüminyum soy olmayan metallere olmasına rağmen, yüzeyinde çok ince fakat yoğun bir oksit tabakasının bulunması, onu kimyasal etkenlerden özellikle korozyona karşı çok iyi korumaktadır. Bu tabaka, alkaliler ve klordan kolayca etkilenmektedir. Saf alüminyum; kimyasal maddeler için depo ve alet, beslenme ve gıda maddeleri endüstrisinde, ev ve büyük mutfak aletleri imalatı ve paketleme gayesi için çok uygundur. Çeşitli alüminyum alaşımları da, uygun ısı işlemlerle atmosferik şartlara, deniz suyuna ve diğer agresif maddelere karşı dayanıklılık kazanır (Gürleyik, 1993).

Saf alüminyumda olduğu gibi, alüminyum alaşımları da, sıvı halde iken oldukça büyük miktarda hidrojeni çözebilir. Katı haldeki alüminyum çok az hidrojeni çözüdürürken, ergitme sıcaklığında, sıvı hale geçerken, hidrojen çözüdürme miktarı yaklaşık 19 kat artar. Bu durumun aksine, sıvı haldeki alüminyum katılaırken, aniden büyük miktarda ayrışan hidrojen gazı, metal içerisinde mekanik olarak tutularak bazı hasarlara neden olur. Şekil değiştirme kabiliyeti; saf alüminyumun, soğukta ve sıcakta şekil değiştirme kabiliyeti çok iyidir (Gürleyik, 1993).

Alüminyumun düşük mukavemet değerleri, diğer metallere alaşımlandırma yapılarak oldukça yükseltilebilmektedir. Alüminyum için en önemli alaşım elamanları Cu, Mg, Si, Mn ve Zn' dur, diğer alaşım elamanları Ni, Co, Cr, Fe, Pb ve Ti ise pek mühim değildir. Bu elamanların çoğu Al_2Cu , Al_3Mg ve Mg_2Si gibi sert kimyasal bileşimler oluşturup, alüminyumu alaşımlandırarak mukavemet değerlerini yükseltirler ve ayrışma sertleşmesi yaparlar (Gürleyik, 1993). Ticari saf alüminyum metalinin özellikleri Tablo 2.1' de gösterilmiştir (Gürleyik, 1993).

Tablo 2.1. Saf Alüminyum metalinin özellikleri (Gürleyik, 1993)

Kristal Yapısı	YMK
Yoğunluk	2,7 gr / cm ³
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	150 - 300 °C
Isı İletkenliği (25o)	645 – 660 Kcal / Sa / c
İşlem Sıcaklığı	300 – 500 °C
Ergime Sıcaklığı	660 °C

2.1.1. Alüminyumun geri kazanımı

Kullanılmış alüminyumun geri kazanılması ile; ilk üretime göre % 95'lik enerji tasarrufu, ilk üretime göre % 99'luk kirletici gaz çıkışı azaltılması sağlanır. Yani alüminyumun geri kazanılması demek, daha az enerji ve hammadde tüketimi buna karşılık daha az hava kirliliği ve asit yağmuru demektir (Sınma ve Varınca, 2004).

2.1.2. Alüminyumun genel karakteristikleri

Alüminyum ağırlık olarak hafiftir. Bazı alaşımlar yumuşak çelikle mukayese edilecek derecede sağlamdır. Sıfır derecenin altında şekil değiştirme kabiliyetine sahiptir, korozyona direnci fazladır, zehirleyici değildir, elektrik ve ısı iletkenliği iyidir, ısı ve ışığa çok iyi yansıtır, manyetik değildir. Alüminyum imali kolaydır, bükülebilir, haddelenebilir, preslenebilir, çekilebilir, bükülüp uzatılabilir ve rulo haline getirilebilir, metal ayrıca çekiçle dövülüp, kızdırılıp işlenebilir veya kalıptan çekilerek çok büyük şekiller verilebilir (Makineteknik, 2011).

2.1.3. Birleştirme ile ilgili karakteristikler

Saf alüminyum 1220 F'den ergir. Alaşımları ise alaşım muhtevisiyatına göre 900-1220 F'da ergir. Kaynak ya da lehimleme sırasında alüminyum ısınsa da rengi değişmez. Bu yüzden metalin ergime noktasına gelip gelmediği kolay gözlenemez. Çeliğe

nazaran yüksek ısı iletkenliği, ergitme kaynağı için fazla ısı verilmesi gereklidir, büyük parçalarda ön ısıtma gereklidir.

Yüksek elektrik iletkenliğinden dolayı ise çelikle mukayese edilirse yüksek akımlar gerekecek ve direnç kaynağında kaynak süresi kısa tutulacaktır. Kaynak değişkenlerinin de daha keskin kontrolleri gerekecektir.

Alüminyum alaşımları havayla temas edince hemen yapışkan ve kolay giderilemez bir oksit filmi oluşturur. Ergitme kaynağında alüminyum parça ve ilave metalin uygun birleşmesi ve lehimlemenin veya yapıştırmanın iyi olması için bu oksit film takip edilmelidir. Temizleyici maddelerde, soygaz atmosferlerindeki koruyucu gaz arkıyla veya mekanik ya da kimyasal yöntemlerle oksit filmi giderilmeye çalışılır.

2.1.4. Alüminyumun başlıca özellikleri

Alüminyum ve alaşımların kaynağında müspet neticeler almak için alüminyum ve alaşımlarının özelliklerini iyi bilmek gerekir.

2.1.4.1. Alüminyum saflık dereceleri

Gıda ve elektrik endüstrisinde kullanılan alüminyum %99,99 saflık derecesindedir. Alüminyum borular ve saçlar %99,5 ile %99,8 bazen %98-99 derecesinde saftırlar. Geri kalan kısımlar genellikle silisyum ve demirden ibarettir. Demir (Al_3Fe) alüminyum 250-350 °C' da tavlınırsa, katı eriyik halinde bulunan silisyum, alüminyumdan ayrılır. 350 °C üzerinde tekrar katı eriyik haline geçer. Silisyumun ayrılmasıyla alüminyum mukavemeti düşer. Bu nedenle soğurken bu bölgeyi hızlı geçmek gerekir. Kaynaktan sonra dikiş 400 °C'den itibaren birdenbire suya daldırılarak çabuk soğutulmalıdır.

Alüminyum 99,0 - 99,5- 99,7, 99,8 - 99,9 - 99,99 saflıkta üretilir. %99,99 saflıktaki alüminyum yüksek nitelikte alüminyum olarak bilinir. Burada fiziksel ve mekanik özellikler belirli şekilde kendini gösterir.

Yüksek nitelikteki alüminyum yumuşak, kolay işlenebilir, ısı ve ışığı verimi bir şekilde yansıtır; ısı ve elektriği iyi iletir, korozyona karşı çok dayanıklıdır (Makinateknik, 2011).

2.1.4.2. Alüminyumun fiziksel özellikleri

Tablo 2.2. Alüminyumun fiziksel özellikleri (Makinateknik, 2011)

Atom Ağırlığı	26,97
Dökme Al.	2,65 – 2,69 (gr / cm ³)
Hadde Al.	2,7 g / cm ³
Ergime noktası	658 °C
Kaynama noktası	1800 °C
Isı geçirgenlik katsayısı	173

Sıcaklık tesiri ile uzama:

0..50 °C 1,17 (mm/m)

100 °C 2,38 (mm/m)

200 °C 4,94 (mm/m)

400 °C 10,60 (mm/m)

500 °C 13,70 (mm/m)

Kendini çekme miktarı: % 1,7 - % 1,8

Katı halden sıvı hale geçerken meydana gelen hacim büyümesi: % 6,5

2.1.4.3. Alüminyum mukavemet özellikleri

Mukavemet özellikleri, malzemenin saflığına ve imal şekline bağlıdır. Saf alüminyum dinamik dayanıklılığı, statik dayanıklılığının 0,4-0,5 katıdır. Soğuk şekil değiştirmiş alüminyuma kaynak yapıldığında ısıdan etkilenen bölgenin mukavemeti düşer. Kaynak esnasında parça tavlandığı için mukavemeti azalmaktadır. Kaynaktan sonra parça soğuk olarak çekiçlenirse dayanıklılık kazanır.

Tablo 2.3. Alüminyumun mukavemet özellikleri (Makinateknik, 2011)

	Döküm Al.	Hadde Al.	Is.İşl.Tb.Tut. Al.
Çekme muk. (kg/mm ²)	9-12	18-28	7-11
Akma muk. (kg/mm ²)	3-4	16-24	5-11
Uzama (%)	18-25	3-5	30-40
Büzülme (%)	40-55	60-85	80-95
Sertlik (Brinell)	24-32	45-60	80-95

2.1.4.4. Korozyona karşı mukavemet

Alüminyum oksijene karşı ilgisi çok fazladır. Hava ile temas neticesinde, kısa zaman oksijen ile birleşerek alümin (Al_2O_3) oluşturur. Bunun sonucu bütün yüzeyi çok renkli alümin tabakası ile örtülür. Alüminyum bu özellikleri korozyona karşı mukavemetini yükseltmektedir. Oluşan bu oksit tabakası su ile yıkamak suretiyle çıkartılmaz. Alüminyum bu özelliği kullanma sahasını genişletmiştir. Soğuk şekil değiştirme korozyon mukavemetini düşürür. Alüminyum saflık derecesi azaldığı takdirde de korozyon mukavemeti düşer. Yabancı elemanlar, korozyon mukavemetini azaltmaktadır (Makineteknik, 2011)

2.1.4.5. Soğuk şekil değiştirme ve sıcak şekil değiştirme

Sıcak ve soğuk şekil değiştirme, yeniden billurlaşma sıcaklığı yardımıyla şu şekilde ifade edilir: Soğuk şekil değiştirme, yeniden billurlaşma sıcaklığının altında sıcak şekil değiştirme ve yeniden billurlaşma sıcaklığı üzerinde yapılan şekil değiştirmedir. Soğuk şekil değiştirmeden sonra taneler bozulmuş olarak kalır; sıcak şekil değiştirmeden sonra ise taneler tekrar düzgün bir halde teşekkül eder.

Alüminyum oda sıcaklığında soğuk şekil değiştirildiği takdirde, çekme ve akma mukavemeti yükselir. Buna karşılık uzama miktarı ve şekil değiştirme kabiliyeti azalır. Bu artma ve azalma şekil değiştirme (haddeleme) derecesi bağlıdır. Sert (yani soğuk şekil değiştirmiş) alüminyum, yumuşak alüminyumdan daha az bir korozyon

mukavemetine sahiptir. Daha önce soğuk şekil değiştirmiş bir alüminyum parça sıcak şekil değiştirilebilir. Fakat kaynakta olduğu gibi mukavemet düşer. Sıcak şekil değiştirme sıcaklığı 300-450 °C arasındadır (Makineteknik, 2011).

2.2. Alüminyum Alaşımları ve Özellikleri

Yapısal ürünler için kullanılan alüminyumun çoğu, alüminyum alaşımı şeklindedir. Yüksek mukavemet ve düşük yoğunluk özelliklerinden dolayı alüminyum üretiminin büyük bir kısmı nakil araç gereçleri ve hareketli makine parçalarında kullanılır (Tülbentçi, 1990).

Alüminyum katılan alaşım elemanları, mukavemet özelliklerini yükseltir. Özellikle mukavemet artar. Başlıca alaşım elemanları: magnezyum, manganez, silisyum, bakır, çinko ve bazen de kurşun, nikel ve titandan ibarettir.

Alaşım elemanları alaşım için üç farklı halde bulunur:

- 1) Alüminyum içinde katı halde eriyebilirler (katı eriyik)
- 2) Katı halde alüminyumda erimeyip veya sınırlı eriyip mekanik bir karışım teşkil ederler.
- 3) Alüminyumla veya birbirleriyle metaller arası veya kimyasal bileşik teşkil ederler.

Alüminyum ve alaşımları genel olarak üç gruba ayrılır:

- a) saf alüminyum
- b) ısıt işlem yapılamayan alaşımlar
- c) ısıt işlem yapılabilir alaşımlar (Oğuz, 1990).

2.2.1. Alüminyum ve alaşımlarının sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikroyapısına bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur. Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Dövme alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum dövme ve döküm alaşımlarının büyük bir kısmına ısıt işlem uygulanabilmektedir.

Amerikan alüminyum birliğine göre, alüminyum dövme alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma şu şekildedir:

1XXX: Saf alüminyum. Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır.

2XXX: Al-Cu alaşımları. Esas alaşım elementi bakırdır. Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir, yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

3XXX: Al-Mn alaşımları. Esas alaşım elementi mangandır. Boru, sıvı tankları ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır.

4XXX: Al-Si alaşımları. Esas alaşım elementi silisyumdur. Termal genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alaşımlardır. Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, otomobil parçaları üretiminde kullanılmaktadır.

5XXX: Al-Mg alaşımları. Esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar fakat süneklik azalır. Denizel korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında kullanılmaktadır.

6XXX: Al-Mg-Si alaşımları. Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılır.

7XXX: Al-Zn alaşımlar. Bakır esas alaşım elementi olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır. Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır.

8XXX: Al-Li alaşımları: Esas alaşım elementi lityum olup, kalay eklentisi de yapılabilmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu

malzeme, iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer Al alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri yüksektir (Eker, 2008).

2.2.2. Alüminyum ve alaşımlarının döküm standartları

- TS 410; Alüminyum Alaşımlarından Yapılan Dökümlerin Bileşimi
 TS 414; Magnezyum-Alüminyum-Çinko Alaşımı Dökümlerin Bileşimi
 TS EN 577; Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları-Sıvı Metal-Özellikler
 TS EN 601; Alüminyum ve Alüminyum Alaşımı Dökümler Gıda Maddeleriyle Temas Eden Döküm Malzemelerin Kimyasal Bileşimi
 TS 1426; Hafif Metaller ve Hafif Metal Alaşımlarının Kısa Gösterilişleri
 TS 1540; Alüminyum Alaşımları-Kuma Dökülmüş Deney Parçaları Mekanik Özellikleri
 TS 1628; Alüminyum Külçeler (Alaşımsız) Sınıflandırma ve Kimyasal Bileşimleri (Eritmek İçin)
 TS 2307; Alüminyum Alaşımları-Kokil'e Dökülen - Örnek Deney Parçası
 TS 2308; Alüminyum Alaşımları-Kum'a Dökülen-Örnek Deney Parçası TS 2349 Alüminyum Alaşımları
 TS 5185 EN 23134-4; Hafif Metaller ve Alaşımları-Terimler ve Tarifler Kısım 4: Dökümler
 TS 7229; Alüminyum ve Alüminyum Alaşımı Hurdaların Sınıflandırılması
 TS ISO 10049; Alüminyum Alaşımı Dökümler-Gözenekliliği Gözle Değerlendirme Metodu (Türkdöküm, 2011).

2.2.3. Çeşitli alüminyum alaşımlarının özellikleri

Bu bölümde; Al-Mn, Al-Mg, Al-Mg-Si alaşımları ile Al-si döküm alaşımları ve Al-Li döküm alaşımlarının özelliklerine değinilmiştir.

2.2.3.1. Alüminyum mangan alaşımları

Ticari saf alüminyuma yaklaşık %1,2 Mn ilavesi (%6 Fe ve % 0,2 Si) orta düzeyde dayanımlı ısıtıl işlem uygulanamayan bir alüminyum alaşımı üretir. Mangan ilavesi alüminyumu katı eriyik mukavemetlenmesi ve ince bir dağılım çökmesi ile mukavemetlendirir.

Dayanımda daha fazla artış %1' e kadar magnezyum ilavesi ile elde edilir. Bu alaşımlar genel amaçlar için kullanılır. Burada orta düzeyde dayanım ve iyi şekillendirilebilirlik gereklidir (Smith, 2001).

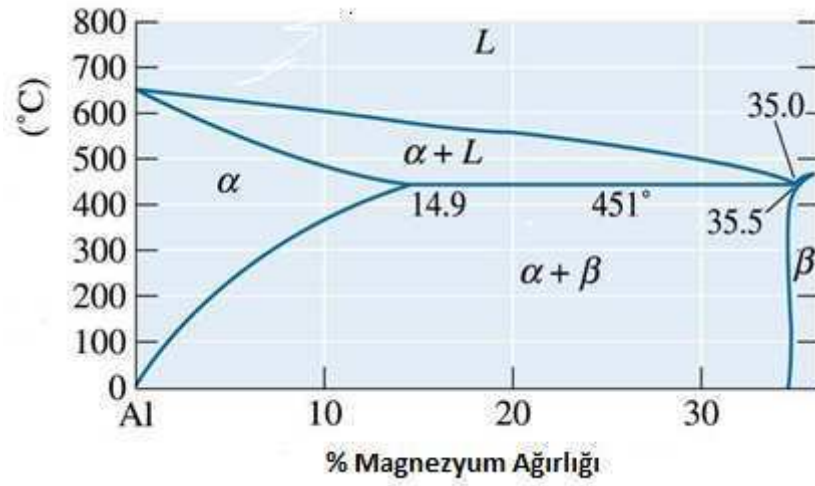
2.2.3.2. Alüminyum magnezyum alaşımları

İkili alüminyum magnezyum alaşımları ısıtıl işlem uygulanamayan 5XXX serileri için esas oluşturmaktadır. Magnezyum, alüminyumda önemli bir eriyebilirliğe sahip olmakla beraber (451 °C' de % 14,9) katı eriyebilirlik sıcaklık düştükçe azalır. Alüminyum magnezyum alaşımları %7 Mg' dan daha az konsantrasyonlarda kayda değer çökme sertleşmesi göstermezler.

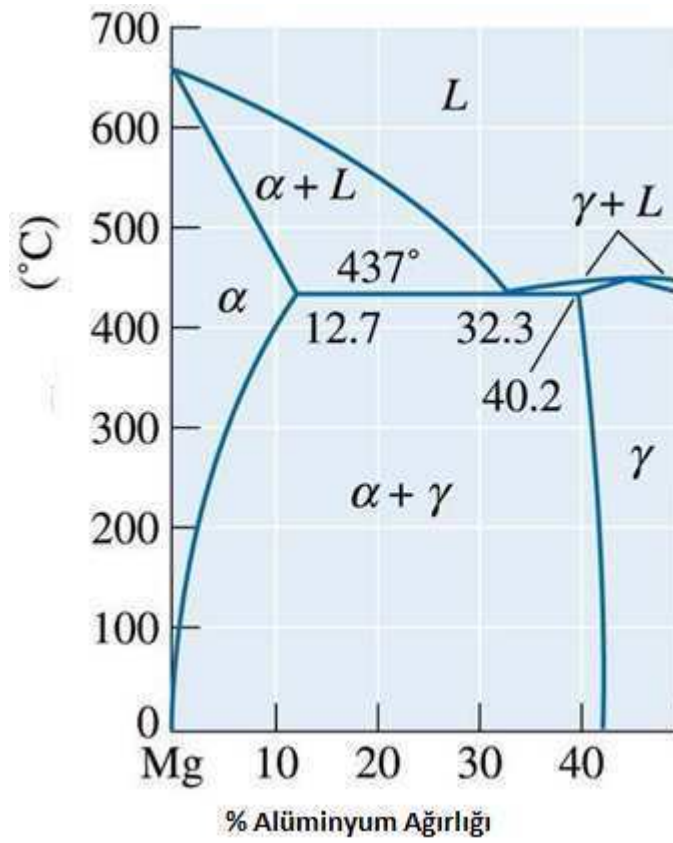
Buna karşın magnezyum katı eriyik mukavemetlenmesi ile alüminyumu önemli ölçüde mukavemetlendirir ve bu yüksek pekleşme özelliği sağlar. Al-Mg alaşımları geniş bir aralıkta dayanım, iyi şekillendirilebilirlik, kaynak özellikleri ve yüksek bir korozyon direncine sahiptir.

Argon korumalı ark kaynak işlemi kullanıldığında iyi kaynak tepkisi Al-Mg yüksek dayanım alaşımlarının üstün bir özelliğidir (Smith, 2001).

Şekil 2.1.'de Al-Mg faz denge diyagramı ve Şekil 2.2.'de Mg-Al denge diyagramının bir kısmı gösterilmektedir (Keleş, 2008).



Şekil 2.1. Al-Mg Faz Denge Diyagramı (Keleş, 2008)



Şekil 2.2. Mg-Al Faz Diyagramı (Keleş, 2008)

2.2.3.3. Alüminyum magnezyum silisyum alaşımları

Alüminyumda magnezyum (% 0,6-1,2) ve silisyumun (% 0,4-1,3) kombinasyonu dövme, ısıl işlem uygulanabilir 6XXX serileri için temel oluşturur. Çoğu durumda, magnezyum ve silisyum, kombine olarak metaller arası Mg_2Si bileşiğinin kararsız fazlarını oluşturmak için gerekli olandan fazla silisyum kullanılabilir. Magnezyum ve krom, çoğu 6XXX serisi alaşımlarına yükseltilmiş dayanım ve tane boyutu kontrolü için ilave edilir. Bakır da bu alaşımın dayanımını yükseltir ancak % 0,5' den fazla bulunursa korozyona direncini azaltır (Smith, 2001).

2.2.3.4. Alüminyum silisyum döküm alaşımları

Ana alaşım elementi olarak silisyum içeren alüminyum döküm alaşımları, üstün döküm özelliklerinden dolayı en önemli ticari döküm alaşımlarıdır. Alüminyum-silisyum alaşımları ergiyik durumda nispeten yüksek akıcılık, katılaşma sırasında ise mükemmel akıcılığa sahiptirler ve nispeten sıcak yırtılmadan bağımsızdırlar. Silisyum saf alüminyumun korozyon direncini azaltmaz, orta asidik ortamlar gibi bazı durumlarda korozyon direncini artırır.

İkili Al-Si alaşımları ısıl işlem uygulanabilir olarak düşünülmez çünkü sadece küçük bir miktar silisyum (maksimum %1,65) alüminyumda çözünebilir ve silisyum katı eriyikten çökmez, çok az sertleşmeye neden olur (Smith, 2001).

2.2.3.5. Alüminyum lityum döküm alaşımları

Alüminyum lityum alaşımları 1980'li yıllarda öncelikle uzay ve uçak yapılarının ağırlığını azaltmak için üretilmiştir. Bunlar soğuk uygulamalar için sıvı oksijen ve uzay araçları için, hidrojen yakıt tankları için araştırılmıştır. Bununla beraber Al-Li alaşımlarının maliyeti, lityumun yüksek bedeli ve işlem için özel ekipmanlar gerektirmesinden geleneksel al. alaşımlarından üç-beş kat fazladır. Bu nedenle bu alaşımların uygulanması ağırlığın öncelikli olduğu yerlerde sınırlandırılmıştır.

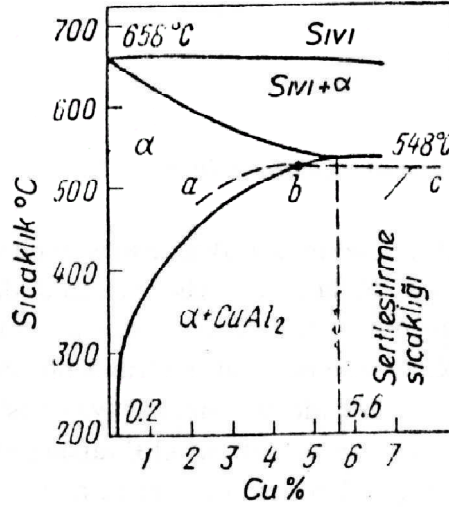
İkili Al-Li alaşımları düşük süneklik ve kırılma tokluğuna sahip olma eğiliminde oldukları için alüminyum-lityum alaşımları, mukavemetlenme için daha ince ve daha homojen çözeltiler sağlamak amacıyla bakır veya bakır ve magnezyum içerirler (Smith, 2001).

2.2.3.6. Alüminyum ve alaşımlarının yaşlandırılması

Bu işlem, metaller arası fazların tümünün ya da çoğunun Al içinde eridiği bir sıcaklığa ısıtmak; bu sıcaklıkta tutmak ve aşırı doymuş bir katı eriyik elde etmek ve hızlı soğutmadan ibarettir. Örneğin Al-Cu sisteminin alaşımları (Şekil 2.3) için sertleştirme sıcaklığı abc çizgisiyle saptanmış olup bu çizgi, % 5.6 dan az Cu içeren alaşımlar için maksimum eriyebilme çizgisinin üstünden geçer. % 5.6 ya kadar bakır içeren alaşımları sertleştirilmesi için ısıtıldıklarında, $CuAl_2$ fazı tamamen erir, ve ardından yapılan hızlı soğutulmada sadece aşırı doymuş b katı eriyiği mevcut olur ve alaşımda bulunan kadar bakır içerir.

Metaller arası fazları eritmek için gerekli sertleştirme sıcaklığında tutma süresi, alaşımın içyapısal durumu, ısıtma fırınının tipi ve sertleştirilecek parçanın kalınlığına bağlıdır. 0.5 mm den 150 mm kalınlığa kadar saçlar, levhalar, çubuk ve bantlar, nitrat banyosunda ısıtıldıklarında 10 ila 80 dakika; bugün yaygın olarak kullanılan cebri hava cereyanlı elektrik fırınlarında ısıtıldıklarında da 30-210 dakika tutulur.

Döküm parçalar, sertleştirme sıcaklığında daha uzun süre (2-15 saat) bekletilir. Böylece, kabaca çökelmiş metaller arası fazlar erimiş olur. Sertleştirmede, şekillendirilmiş (haddelenmiş, çekilmiş, dövülmüş...) alaşımlar soğuk suya, döküm parçalar da 50-100°C' a ısıtılmış suya daldırılırlar; suyu ısıtmaktan amaç, çarpılmayı ve çatlak oluşumunu önlemektir. Hızlı soğutmadan sonra alaşımlar düşük çekme mukavemeti ve akma sınırına, ama yüksek sünekliğe sahip olurlar (Oğuz, 1990).



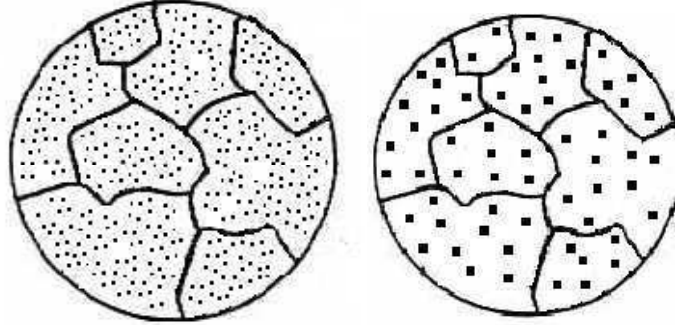
Şekil 2.3. Al-Cu Alaşımları denge diyagramı (Oğuz, 1990)

Hızlı soğumayı yaşlandırma işlemi takip eder. Bunda alaşım birkaç gün oda sıcaklığında (doğal yaşlandırma) veya 10 ila 24 saat yüksek sıcaklıklarda (yapay yaşlandırma) tutulur. Yaşlandırma süreci sırasında aşırı doymuş katı eriyik ayrışır. Bu da alaşımı mukavemetlendirir. Kafesinde bakır atomlarının bir uniform düzende bulunduğu katı eriyiğin ayrışması, yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlı birkaç aşamada gerçekleşir. Doğal (20°C' de) veya alçak yapay (100- 150°C' nin altında) yaşlandırma sıcaklıklarında bakır atomları, b katı eriyiğinin kristal kafesi içinde sadece fevkalade kısa mesafelerde hareket ederler ve Guinier-Preston bölgeleri (GP-1) adı verilen iki boyutlu levhaya benzer oluşum ya da diskler halinde (100) düzlemleri içinde toplanırlar. (Şekil 2.5,a). GP-1 bölgeleri her kristalin sınırları içinde az çok uniform olarak dağılmışlardır. GP-1 bölgelerinde bakır içeriği CuAl₂ dekinden (% 54) daha azdır (Oğuz, 1990).

Şekil 2.4'de ideal ve aşırı yaşlanma sembolize edilmiştir. (Mak.etu., 2011).

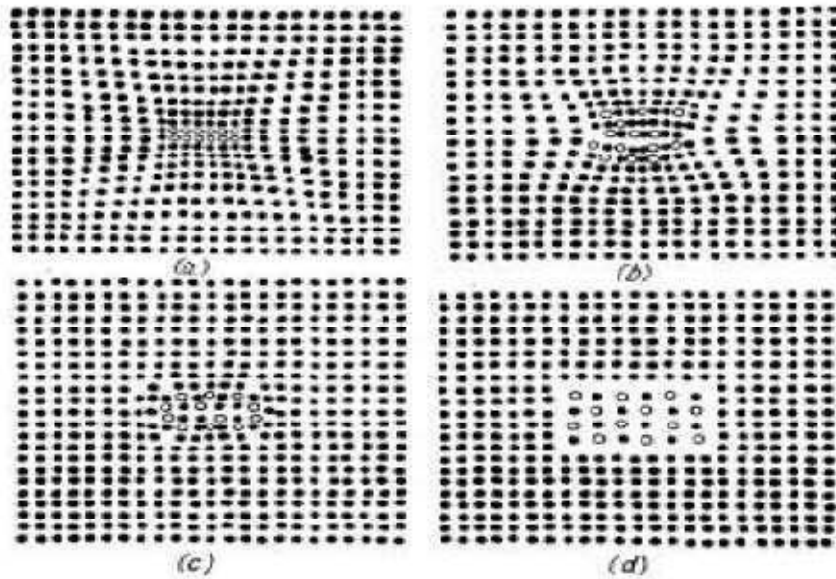
Plastik deformasyondan dolayı mukavemette artış gözlenir. Metalik malzemeler yük altında gerilmeye maruz kaldıklarında ortaya dislokasyonlar çıkar. Kalıcı şekil değiştirmeler gerçekleşir. Düşük sıcaklıklarda, soğuk işlemde dislokasyonlar malzeme dışına atılamaz, içerde birikirler, yığılırlar ve konsantrasyon artar. Birbirleri ile kesişirler. Bu hareketler sonucunda mukavemet artar, süneklik azalır. Soğuk işlem, dövme,haddeleme, ekstrüzyon,tel çekme bükme gibi işlemlerle yapılır.

Pekleşme bu proseslerde daha çok görülür. Azalan sünekliliği ve soğuk işlemden istenmeyen etkileri gidermek için tavlama yapılır. Bu tavlama recovery (poligonizasyon) veya rekristalizasyon tavidir. Bu tavlama dislokasyon yoğunluğunu azaltmaya yöneliktir (AY, 2011).



Şekil 2.4. (a) İdeal yaşlanma

(b) Aşırı yaşlanma (mak.etu., 2011)



Şekil 2.5. Isıl işlemden tanecik çökmesinin şematik diyagramları (a), GP-1 bölgeleri; (b), GP-2 bölgeleri; (c), dörtgen CuAl_2 fazı; (d), kübik CuAl_2 fazı (Oğuz, 1990)

Uzun süre 100°C 'de veya birkaç saat 150°C 'de tutma, geniş boyutlu Guinier-Preston bölgelerinin oluşmasına götürür; bunlardaki içyapı düzeni b katı eriyiğinkinden

farklıdır (Şekil 2.3, b). Bu bölgelerdeki bakır içeriği CuAl_2 dekine tekabül eder. Bu bölgeler bilindiği üzere GP-2 bölgeleri diye adlandırılır. Difüzyon yayınma süreçleri ve dolayısıyla, iç-yapısal dönüşüm süreçleri ve de mukavemet artışının kendisi, yaşlandırma sıcaklığının artışıyla daha hızlı bir tempoda meydana gelir. (Oğuz, 1990).

Doğal yaşlanmada, sadece GP-1 bölgeleri oluşur. Yapay yaşlandırmada içyapısal değişmelerin sırası GP-1dGP-2d Ø'd Ø (CuAl_2) şeklinde gösterilebilir. Ancak bu, bir oluşumun derhal öbürüne dönüştüğü anlamına gelmez. Müteakip oluşum veya faz, ilkinin erimesinden sonra meydana çıkabilir. Bu Al-Cu alaşımlarındaki aşırı doymuş katı eriyik ayrışması genel prensibi, baksa alaşımlarda da geçerlidir. Tek fark, çeşitli alaşımlarda farklı bileşim ve bölgelerin içyapısı ile oluşan farklı fazlardadır (Oğuz, 1990).

Sertleştirme ve yaşlandırmada mukavemet artışının derecesi, pekiştirici fazların tabiatına ve bunların taneciklerinin miktar ve dağılımına bağlı olur. Maksimum pekiştirici kuvvetlendirici etki, b katı eriyiklerinkinden farklı bir çapraşık içyapı ve bileşimi haiz olan MgZn_2 , Mg_2Si ve S fazı ($\text{Al}_2\text{Cu Mg}$) dendir. Alansal yaşlanmadan sonra alaşımlar bilindiği üzere artmış bir akma sınırı, daha yüksek bir sunaklık, iyi korozyon mukavemeti ve gevrek kırılmaya direnç kazanırlar. Bunun nedeni, alaşımın şekil değiştirmesinde, dislokasyonların ilk şekil değiştirmelere fazla direnç göstermeyen bölgeleri kat etmeleridir.

GP-1 veya GP-2 bölgeleri arasında bir yüzey arasının olmayışı, iyi korozyon mukavemetini sağlar. Faz yaşlanmasından sonra süneklik, tokluk, gevrek kırılmaya ve gerilme korozyonuna mukavemet düşer. Bu durumda, alaşımın şekil değiştirmesinde dislokasyonlar, stabil olmayan fazların taneciklerinin çevresinden geçer ve çok sayıda dislokasyon düğümü ve çeşitli kümeler oluştururlar. Bunun sonucunda başlangıç şekil değiştirmelerine mukavemet artar ve süneklik azalır.

Alüminyumun Mn, Cr, Ni, Zr, Ti ve diğer metallerle bazı alaşımları sıcak ve bazen de soğuk işleme maruz olup bunların yeniden kristalleşme sıcaklığı, sıcak çalimsa veya sertleştirme için bilindiği üzere tayin edilmiş ısıtma sıcaklığından yüksektir.

Dolayısıyla bu alaşımlar, sertleştirilip yaşlandırıldıktan sonra, yeniden kristalleşmemiş (poligonlaşmış) içyapı ve yüksek dislokasyon yoğunluğunu muhafaza ederler, yeniden kristalleşmiş içyapıya göre mukavemeti hayli yüksektir. Bu olgu, içyapısal güçlendirme olarak bilinir.

Isıl işleme tabi tutulamayan alaşımlar en yüksek mekanik özelliklerini, soğuk şekillendirme yoluyla mukavemeti artırma yöntemi olan şekil değiştirme sertleştirilmesi ile kazanırlar (Oğuz, 1990).

6061-T6, 6063-T4, 5052-H32 alaşımlarının gösteriminde olduğu gibi alaşım numaralama sistemini ısıl işleme bir tire ile birleştiren, serilerin harflerini alaşım gösterim numarasının takip ettiği sistemdir ve bu gösterim tüm standartlarda aynıdır (Kaluç ve Taban 2007a).

Tablo 2.4. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının temel ısıl (temperleme) İşlemlerinin gösterimi (Kaluç ve Taban 2007a).

Harf	Anlamı
F	Üretim-Ürünlerde hiçbir özel ısıl kontrol veya sertleştirme koşulları kullanılmayan şekillendirme sistemi
O	Tavlama-Uygulanan tav, en düşük mukavemet koşullarını, süneklik ve boyutsal kararlılığı sağlamak için uygulanır
H	Şekil değiştirme sertleşmesi- soğuk şekillendirme ile üretilen ürünlere uygulanır.
W	Çözeltiyeye alma işlemi- kararlı olmayan alaşımlara yalnızca çözeltiyeye alma tavlamasından sonra oda sıcaklığında kendiliğinden yaşlanmayı sağlayan tav uygulanır
T	Isıl işlem- F,O,H' dan daha kararlı tav sağlamak içindir. Ürünlere tav uygulaması bazen sabit sertlik derecesi sağlamak için şekil değiştirme sertleştirilmesiyle birlikte uygulanır.

Tablo 2.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının H (sertleştirme) İşlemlerinin alt bölümlerinin gösterimi (Kaluç ve Taban 2007a).

<p>H'dan sonraki sonraki ilk rakam temel işlemi tanımlar</p> <p>H1- Sadece Şekil Değiştirme Sertleştirilmesi</p> <p>H2- Şekil Değiştirme Sertleştirilmesi ve Yapay Yeniden Kristalleşme</p> <p>H3- Şekil Değiştirme Sertleştirilmesi ve Yapı Dengelemesi</p> <p>H4- Şekil Değiştirme Sertleştirilmesi ve Parlatma veya Boyama</p> <p>H'dan sonraki ikinci harf şekil değiştirme sertliğinin derecesini tanımlar</p> <p>HX2- Dörtte bir</p> <p>HX4- Yarım sert</p> <p>HX6- Üç çeyrek sert</p> <p>HX8- Tam sert</p> <p>HX9- Çok sert</p>

2.2.3.7. Alüminyum ve alaşımlarının yeniden kristalleşmesi

Soğuk işlenmiş malzeme, yeter derecede yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında, soğuk şekil değiştirme sonucu meydana gelmiş olan parçalanmış partiküller malzemenin tabii tutulduğu şekil değiştirme derecesi yeterli ise, yeniden gerilimsiz tanecikler oluştururlar. Bu olaya yeniden kristalleşme denir.

Metallerin uygulanan yükler altında elastik bölgeyi geçerek kalıcı şekil değişimine uğraması ve buna bağlı olarak mukavemet ve sertlik değerlerinin artmasına neden olur bu olay pekleşme olarak adlandırılır (Gyte, 2011).

Soğuk şekil değiştirme esnasında meydana gelen yüksek enerjili noktalar, yeni danelerin meydana gelmesinde çekirdek rolü oynar. Soğuk şekil değiştirme derecesi yeterli değil ise yeniden kristalleşme olmaz.

Kullanılan sıcaklık derecesine yeniden kristalleşmeyi meydana getirecek kadar tam soğuk şekil değiştirme varsa elde edilen malzeme gayet iri daneli olur (Metal ve malzeme, 2011).

Soğuk plastik şekil değiştirme sonucunda metal malzemede tane yapısı değişir, iç gerilmeler ve anizotropi meydana gelir, mekanik ve fiziksel özellikler değişir. Malzemeye, şekil değiştirmeden önceki özellikleri, yeniden kristalleşme tavlama (annealing) ile kazandırılabilir. Yeniden kristalleşme sıcaklığı bu olayın bir saat içinde tamamlandığı sıcaklık olarak tanımlanır. Metalin erime sıcaklığı T_e (°Kelvin) ise yeniden kristalleşme sıcaklığı yaklaşık $0.4 \times T_e$ (°Kelvin) mertebesinde dir. Bazı malzemelerin yeniden kristalleşmeleri oda sıcaklığında bile olabilir. Mesela kurşun, kalay, çinko ve kadmiyum oda sıcaklığı civarında yeniden kristalleşir. Dolayısıyla, bu metaller oda sıcaklığında şekil değiştirdiklerinde pekleşmez. Yeniden kristalleşme tavlama sonucunda malzeme şekil değiştirmeden önceki özelliklerini tekrar kazandığı gibi yapısı da genellikle daha ince daneli olur.

Soğuk plastik şekil değiştirmiş bir malzemeyi yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda tavlama yaparak iç gerilmeler büyük ölçüde giderilebilir. Bu sırada sertlikte önemli bir düşme olmadığı gibi mikroyapıda da gözlenebilir bir değişim olmaz yani bozulmuş tane yapısı düzelmez. Fakat fiziksel özellikler şekil değişiminden önceki değerlerine ulaşır. Bu olaya toparlanma denir (Gyte, 2011).

Rekristalizasyon tavlama ise; kuvvetli soğuk şekillendirilme sonrası dayanım artışını gidermek ve ince daneli yapıya ulaşmak için yapılır. Demir olamayan malzemeler için kaba daneli yapıyı ince daneli yapıya dönüştürmek için tek yol bu tavlama işlemidir. Buna karşın çeliklerde soğuk dayanıklılaşmayı gidermek ve ince daneli yapı için ayrıca normal tavlama yapılır. Ancak Normal tavlama sıcaklığının yüksek oluşu enerji maliyetinin yüksekliği, fırında aşınmanın fazlalığı ve tufalleşme Kayıpları karbon azalması ve deformasyon olaylarından dolayı eğer parçada

homojen ve kritik şekil değiştirmenin üzerinde şekillendirme varsa Yeniden Kristalleştirme tavlaması uygulanabilir.

Rekristalizasyon tavlamasıyla tane büyüklüğü, şekillendirme derecesi, rekristalizasyon sıcaklığı ve süresine bağımlı olan yeni yapı oluşur. Ve Şekillendirme derecesi yükseldikçe o ölçüde tane incilmesi iyileşir. Kritik şekil değiştirme derecesinin altında şekillendirilmiş parçalarda bu tavlama uygulandığında ince taneli yapı değil aksine kaba taneli yapı meydana gelir (Bayolmakina, 2011).

Rekristalizasyon tavlama soğuk deforme edilmiş metallere; deformasyonla değişen fiziksel, mekanik ve mikroyapı özelliklerini geri kazandırmak için yapılır. Soğuk deformasyonla malzemelerdeki dislokasyon yoğunluğu 10^{12} cm/cm³ değerine kadar yükselebilmektedir. Bu değerden sonra soğuk şekillendirmeye devam etmek imkânsızlaşır. Şekillendirme işlemini hasar oluşturmadan devam ettirebilmek ve/veya soğuk deformasyon pekleşmesini ortadan kaldırmak için rekristalizasyon tavlaması gerekir.

Rekristalizasyon işlemi yaklaşık $0,4 \times T_m$ sıcaklığında gerçekleşir. Burada T_m malzemenin ergime sıcaklığıdır. Malzeme bu sıcaklığa çıkartılsa bile eğer soğuk deformasyon görmemişse rekristalizasyon oluşmaz. Rekristalizasyon oluşabilmesi için gerekli en az soğuk deformasyona “kritik deformasyon” denir. Teknolojik uygulamalarda malzemeler kritik deformasyon derecesinin çok az üzerinde deforme edildiklerinde tavlama sonrasında tanelerde kabalaşma ortaya çıkar bu nedenle rekristalizasyon tavlamasına tabi tutulacak parçalardaki deformasyon bölgelerinin ya kritik deformasyonun altında kalması ya da kritik deformasyon değerinin oldukça üzerinde deformasyona uğraması gerekmektedir (Keleşoğlu, 2006).

BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

3.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği

Çeşitli endüstri kollarında hızla kullanıma giren ve çeşitli kaynak yöntemleri ile birleştirilen alüminyum ve alüminyum alaşımlarına, ergitme esaslı kaynak yöntemlerinin yanı sıra basınç esaslı kaynak yöntemleri de (katı faz kaynak yöntemleri) uygulanabilmektedir. Ergitme esaslı kaynak yöntemleri ile alüminyum ve alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde, ergime ve yeniden katılaşma sonucu oluşan ve genellikle gözenek içeren döküm yapısında bir kaynak metali, malzeme iç yapısına bağlı olarak kaynak metalinin iki yanında geniş biçimde oluşan ısıdan etkilenmiş bölgedeki (IEB) metalurjik dönüşümler, büyük miktarlarda çarpılmalar ve kaynak ısı girdisine bağlı kalıntı gerilmeler oluşur. Kaynaklı bağlantıların kullanımı sırasında bazı problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Kaluç ve Taban, 2005).

Alüminyum ve alüminyum alaşımları ergitme kaynak yöntemleri ile kaynak yapılabilir. Çeliklere kıyasla alüminyum malzemeleri kaynak yaparken, malzemeye has bazı özellikler dikkate alınmalıdır. Alüminyum malzemeler, yapısal çeliklere göre daha yüksek termik iletkenliğe sahip olduğundan kaynak nüfuziyeti daha düşük ve kaynak banyosunun gazlardan arınması daha geç olur. Sonuç olarak, kaynak dikişinde yetersiz ergime ve gözenekler oluşabilir. İş parçasını ön tav yaparak ve kalın kesitli malzemeleri kaynak esnasında da tavlayarak, bu tür kaynak hataları önlenebilir (Oerlikon, 2006).

Kaynağa başlamadan önce, yüzeydeki alüminyum-oksit tabakası kaynak bölgesinden frezeleme yoluyla veya paslanmaz çelik fırça ile fırçalayarak tamamen temizlenmelidir. Kaynak ağzı yüzeyleri ve kaynağa yakın bölgeler (kaynak ağzının en az 50 mm yakını) temiz, yağsız ve kuru olmalıdır.

İyi bir depolama ve mekanik işlemler sonrası kaynak yüzeylerinin özel bir yağ çözücü ile temizlenmesi, bu tür hazırlık işlerini kolaylaştırır. Bunların yanında, alüminyum malzemelerin kaynağında kullanılan el aletleri yalnız bu malzemeler için kullanılmalıdır (Oerlikon, 2006).

Ergitme kaynak yöntemleri ile Al-alaşımının kaynağında yüksek miktarlarda çatlak ve porozite oluşumu gibi problemler mevcuttur. Bu sorunlar, özellikle yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış yüksek mukavemetli Al-alaşımının kaynağında daha bariz olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alaşımların kayağı esnasında çatlak oluşumunun nedeni, bu malzemelerin tipik olarak geniş katılma sıcaklık aralığına ve yüksek ısı genleşme katsayısına sahip olmalarıdır.

Lazer ve elektron kaynağı gibi yöntemlere kıyasla ark kaynağındaki yüksek ısı girdisi, bu malzemelerin ısı genleşmelerinin yüksek ve katılma sıcaklık aralıklarının geniş olması sonucu özellikle çatlak oluşumuna daha duyarlı yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış Alüminyum alaşımlarında kaynak dikişinde çatlak oluşumuna neden olur. Ark kaynağındaki yüksek ısı girdisi ayrıca, ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) tane sınırlarında da düşük ergitme dereceli fazların oluşumuna ve dolayısıyla bu bölgede çatlak oluşumuna neden olabilir.

Porozite oluşumunun nedeni ise alüminyumun hidrojen çözünürlüğünün sıvı halde katı haldekinden çok daha yüksek olması, dolayısıyla kaynak dikişine kaynak işlemi esnasında giren hidrojenin katılma esnasında gaz olarak açığa çıkmasıdır. Vakum ortamında yapılan elektron ışın kaynağı yöntemi porozite açısından en avantajlı ergitme kaynak yöntemidir. Fakat yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu elektron kaynağı vakum ortamında yapıldığı için düşük buharlaşma sıcaklığına sahip alaşım elementleri içeren alüminyum alaşımlarında kaynak dikişinde alaşım elementi kaybı dolayısıyla mukavemet düşüşü problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Alüminyum ve alaşımlarının ark kaynağında karşılaşılan diğer bir güçlük bu alaşımların ısı iletkenlik katsayılarının yüksek olması nedeniyle ısınan kaynak bölgesine çok hızlı bir şekilde uygulanması zorunluluğudur. Düşük ısı girdisine rağmen lazer kaynağı alüminyum ve alaşımlarının kaynağında sorunsuz kullanılamamaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının lazer ışınlarını yansıtması bu yöntemin bu malzemelerde kullanılmasında dikkate alınması gereken diğer bir husustur.

Alüminyum alaşımlarının özellikle yaşlandırma sertleştirmesine tabi tutulmuş türlerin ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmelerinde karşılaşılan bir başka sorun kaynak dikişinde sertleştirici çöktürlerin çözünmesi ve tane sınırı segregasyonu sonucu ve ITAB' da aşırı yaşlanma sonucu sertlik ve mukavemetin düşmesidir. Bu durum kaynak yapılan baz malzeme ile kaynak bölgesinde mekanik uyumsuzluğa (strength mismatch) neden olmakta ve kaynak bölgesinde mukavemet düşüşü (strength undermatching) olarak bilinmektedir.

Ayrıca, Al-Li alaşımları ve AA7075 gibi bazı Al-alaşımları ergitme kaynak yöntemi ile kaynak edilememektedirler. Kısaca özetlersek, birçok mevcut kaynak yönteminin Al-alaşımlarında uygulanmasında özellikle kaynak kabiliyeti daha düşük olan yüksek mukavemetli türlerinde problemler karşımıza çıkmaktadır (Çam, 2005).

Bir alüminyum alaşımının kaynak edilebilirliğinin tayininde şekillendirilmiş alaşım bileşimi alaşımın biçiminden çok daha fazla önemlidir. Şekillendirilmiş esas alaşımların fiziki özellikleri ve nispi kaynak edilebilirlik dereceleri Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.'de verilmiştir. Yaygın döküm alaşımları için benzer veriler Tablo 3.3. ve Tablo 3.4.' de sıralanmıştır (Senyen, 2001).

Tablo 3.1. Isıl işleme tabi tutulamayan dövme alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri (Senyen, 2001)

Esas Alaşım	Yaklaşık Ergime Aralığı °C	25 °C'de Isıl İletkenlik W/m.k.	Elektrik İletkenliği (a) % IACS	Kaynak Edilebilirlik (b)				
				Gaz Kaynağı	Tozaltı Kaynağı	Asal Gaz Ark Kaynağı	Direnç Kaynağı	Basınç Kaynağı
1060	646-657	234	62	A	A	A	B	A
1100	643-657	222	59	A	A	A	A	A
1350	646-657	234	62	A	A	A	B	A
3003	643-654	193	50	A	A	A	A	A
3004	629-654	163	42	B	A	A	A	B
5005	632-654	200	52	A	A	A	A	A
5050	624-652	193	50	A	A	A	A	A
5052	607-649	138	35	A	A	A	A	B
5652								
5083	574-638	117	29	C	C	A	A	C
5086	585-641	125	31	C	C	A	A	B
5154	593-643	125	32	C	C	A	A	B
5254								
5454	602-646	134	34	B	B	A	A	B
5456	568-638	117	29	C	C	A	A	C

a-) 20 C'da eş değer hacim

b-) Kaynak edilebilirlik derecesi: A, Kolayca kaynak edilebilir; B, Çoğu uygulamalarda kaynak edilebilir, ancak özel teknik veya ilave metal alaşımı gerektirir; C, Sınırlı kaynak edilebilir.

Tablo 3.2. Isıl işleme tabi tutulabilen dövme alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri (Senyen, 2001)

Esas Alaşım	Yaklaşık Ergime Sıcaklığı °C	25 °C'de Isıl İletkenlik W/m.K	Elektrik İletkenliği (a) % IACS	Kaynak Edilebilirlik (b)				
				Gaz Kaynağı	Tozaltı Kaynağı	Asal Gaz Ark Kaynağı	Direnç Kaynağı	Basınç Kaynağı
2014	507-593	154	140	X	C	B	B	C
2024	502-638	121	30	X	C	C	B	C
2090	560-643	88	17	X	X	B	B	C
2219	543-643	121	30	X	C	A	B	C
2618	549-638	161	37	X	C	B	B	C
6009	560-649	167	44	C	C	B	B	B
6013	560-649	150	38	C	C	B	A	B
6061	579-649	167	43	A	A	A	A	B
6063	616-654	200	53	A	A	A	A	B
6101	621-654	218	57	A	A	A	A	B
6262	582-652	172	44	C	C	B	A	B
6351	596-652	176	46	A	A	A	A	B
6951	616-654	198	52	A	A	A	A	A
7005	607-646			X	X	A	A	B
7039	577-638	154	34	X	X	A	A	B
7075	477-635	130	33	X	X	C	B	C
7079	482-638	125	32	X	X	C	B	C
7178	477-629	125	31	X	X	C	B	C

a-) 20 C'da eş değer hacim
b-) Kaynak edilebilirlik derecesi: A,Kolayca kaynak edilebilir: B, Çoğu uygulamalarda kaynak edilebilir,ancak özel teknik veya ilave metal alaşımı gerektirir: C, Sınırlı kaynak edilebilir: X, Tavsiye edilmeyen metod

Tablo 3.3. Isıl işleme tabi tutulamayan döküm alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri (Senyen, 2001)

Esas Alaşım	Yaklaşık Ergime Aralığı °C	25°C'da Isıl İletkenlik W/m.K	Elektrik İletkenliği (a) % IACS	Kaynak Edilebilirlik (b)				
				Gaz Kaynağı	Tozaltı Kaynağı	Asal Gaz Ark Kaynağı	Direnç Kaynağı	Basınç Kaynağı
Kum döküm								
208	521-632	121	31	C	C	B	B	X
511	577-632	1746	37	A	A	A	A	X
512	588-632	146	38	X	X	B	B	X
514	599-638	137	35	X	X	A	A	X
535	549-632	99	23	X	X	A	A	X
710	599-649	137	35	C	C	B	B	X
712	599-638	159	40	C	C	A	B	X
Kokil döküm								
208	521-632	121	31	C	C	B	B	X
238	510-599	104	25	C	C	B	S	X
443	577-632	146	37	A	A	A	A	X
A443	577-632	159	41	A	A	A	A	X
513	582-638	133	34	X	X	A	A	X
711	599-643	159	40	B	B	A	A	X
Kalıp döküm								
360	571-588	146	37	C	X	C	B	X
380	521-588	108	27	C	X	C	B	X
413	577-588	154	39	C	X	C	B	X
518	538-621	99	24	X	X	C	B	X
a-) 20 °C'da eş değer hacim b-) Kaynak edilebilirlik derecesi: A,Kolayca kaynak edilebilir: B, Çoğu uygulamalarda kaynak edilebilir, ancak özel teknik veya ilave metal alaşımı gerektirir: C, Sınırlı kaynak edilebilir: X, Tavsiye edilmeyen metod								

Tablo 3.4. Isıl işleme tabi tutulabilen döküm alüminyum alaşımlarının fiziksel Özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri (Senyen, 2001)

Esas Alaşım	Yaklaşık Ergime Aralığı °C	25 °C'da Isıl İletkenlik W/m.K	Elektrik İletkenliği (a) % IACS	Kaynak Edilebilirlik				
				Gaz Kaynağı	Tozaltı Kaynağı	Asal Gaz Ark Kaynağı	Direnç Kaynağı	Basınç Kaynağı
Sadece kum döküm								
A201	571-649	121	30	C	C	B	B	X
240	516-604	95	23	X	X	C	B	X
A242	527-638	146	38	X	X	B	B	X
295	521-643	141	35	C	C	B	B	X
520	449-599	87	21	C	C	B	C	X
Sadece kokil döküm								
332	521-582	104	26	X	X	B	B	X
333	521-588	117	29	X	X	B	B	X
336	538-571	117	29	X	X	B	B	X
354	538-599	125	32	C	C	B	B	X
Kum ve kokil döküm								
222	521-627	130	33	X	X	B	B	X
242	527-638	133	34	X	X	C	B	X
319	521-604	112	27	C	C	B	B	X
355	549-621	150	39	B	B	B	B	X
C355	549-621	146	39	B	B	B	B	X
356	560-616	150	41	A	A	A	A	X

Alüminyumun oksijene karşı kuvvetli bir ilgisi olup havaya maruz kaldığında hemen oksitlenir. Isıl işlemler ve nemli depolama şartları oksit kalınlığını artıracaktır. Tabii oksit, asal gaz kaynak arkları veya tozlar vasıtasıyla giderilebilecek inceliktedir. Bununla beraber daha kalın oksit, mekanik veya kimyasal araçlarla kaynak öncesi giderilmelidir (Senyen, 2001).

Alüminyum oksit, esas metal alaşımının ergime sıcaklığından çok daha yüksek olan 2050°C civarında (yaklaşık olarak alüminyum alaşımının kendi ergime sıcaklığının 3

katı sıcaklıkta) ergir. Kaynak sırasında esas metalin oksitten çok daha önce ergiyeceği aşikârdır. Isıl işleme tabi tutulamayan alüminyum alaşımlarının kaynağında tabii oksitler asal gaz ark vasıtasıyla parçalanabilir. Bununla beraber, ısıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları belli bir ısıl işlem için yüksek sıcaklığa çıkarıldığından ısıl işlem uygulanamayan alaşımlarda bulunandan daha kalın bir oksit tabakası biçimlenecektir. Oksit giderilmediğinde veya yeri değiştirildiğinde yetersiz ergimeye sebep olacaktır.

Oksidi gidermek için klorür ve florür ihtiva eden tozların kullanıldığı bazı birleştirme işlemlerinde kullanım sırasında korozyon problemi ihtimalinden kaçınmak için birleştirme işleminden sonra bu tozlardan birleştirme yeri arındırılmalıdır. Bu konu, toz kullanılmaksızın oksidi giderebilen asal gaz ark kaynak işlemlerinin kullanımını geniş ölçüde ön plana çıkarır. Alüminyum oksit, bir elektriksel yalıtkandır. Yeterince kalın olduğunda, anodik kaplamalarda olduğu gibi ark başlatmayı önleyebilir. Bu durumda, oksit azalması sadece kaynak yapılacak yerde değil aynı zamanda şase bağlantısının yapıldığı yerde de gereklidir.

Ergimiş alüminyumda hidrojen çok hızlı çözünür. Buna karşılık, hidrojen katı alüminyum içinde hemen hemen hiç çözünmez. Bu da alüminyum kaynağında gözenegin birinci sebebi olarak tanımlanır. Yüksek sıcaklıklarda kaynak banyosu çok miktarda hidrojen soğrulmasına müsaade eder ve katılaşma esnasında hidrojen çözünürlüğü çok miktarda azalır. Etkili çözünebilirlik sınırını aşan hidrojen, katılaştıran kaynaktan kaçamadığında gözenek oluşturur (Senyen, 2001).

Sağlam kaynakların yapılabilmesi için esas metal ve ilave metal üzerindeki yağlayıcı, yüzeydeki nem veya hidrojen ihtiva eden oksit, bir su soğutmalı üfleç nozulu içinde nem yoğunlaşması veya su sızıntısı, koruyucu gaz içerisindeki nem uzaklaştırılmalıdır. Alüminyum-magnezyum alaşımları (5xxx serisi), hidrojen ihtiva eden oksit oluşumu yönünden en hassas olan alaşımlardır. Makaralara sarılmış haldeki çıplak tel elektrot, kuru ve ısıtılmış bir bölgede ambarlanmalıdır. Nem, hidrojen ihtiva eden oksitten toz özlü elektrotlarda yapıldığı gibi ısıtılarak uzaklaştırılmaz.

Alüminyumun ısı iletkenliği, çeliğin altı katı civarındadır. Alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklığı demir esaslı alaşımların ergime sıcaklığının altında olmasına rağmen özgül ısısının yüksek olması sebebiyle alüminyumun kaynağı için daha yüksek ısı girdisi gerekir. Buna rağmen bir kaynak düşük hızla yapılıyorsa, ısı arkın önünde ilerleyebilir, kaynak parametrelerinin devamlı ayarı gerekir (Senyen, 2001).

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı esnasında, gerek ısı iletkenliği ve buna bağlı olarak ısı girdisinin, gerekse alüminyumda sıvı halden katı hale geçme sırasında hacim kaybının çeliğe göre daha fazla olması sebebiyle doğal olarak çarpılma daha çok olur. Çarpılmanın azaltılması için yapılacak çalışmalar tasarım sırasında kaynak ağızlarının tespitiyle başlayıp atölye çalışmalarıyla devam eder.

Her türlü yabancı maddenin kaynak yapılacak yüzeyden kaldırılması ile kaynak esnasında; ısı, üfleme gibi sebeplerle tekrar geri dönme ihtimalini ortadan kaldıracak kadar uzağa götürülmesi gereklidir. Temizlik, hemen kaynak öncesi dikkatli bir şekilde yapılmalı ve kaynak boyunca temizlik konusunda aynı özen gösterilmelidir. Temizlik, ortam şartları (ısı, nem, havadaki parçacık miktarı v.b.) göz önüne alınarak belirli aralıklarla tekrarlanmalıdır. Kullanılabilecek üç çeşit temizleme metodu;

Mekanik temizleme, çözücü ile temizleme ve kimyasal aşındırma ile temizlemedir. Zaman zaman bu metotlar birlikte kullanılabilir. Mekanik temizleme özellikle yüzeydeki oksidin ve yüzeye yapışan metal buharlarının giderilmesi için kullanılır. Yüzeyde yağ, gres gibi kirleticiler bulunduğunda ikinci (çözücü ile temizleme) metotla birlikte kullanılması tavsiye edilir. Fırçalama, eğeleme, planyalama, taşlama, zımparalama veya çelik yünle ovalama alüminyum için kullanılabilecek mekanik temizleme metotlarıdır.

Çözücü ile temizleme metodu, metal yüzeyi düzgün ve kirleticiler yüzeye fazla yapışmadığında yağ, gres, kir ve gevsek, parçacıkların giderilmesi için kullanılır. Kimyasal temizlemenin, gerek temizleme ve gerekse kendi başına yeterli yönünden diğer metotlarla karşılaştırıldığında çok daha iyi sonuç verdiği görülür. Ancak gözeneğe sebep olabilecek hidrojen ihtiva eden herhangi bir oksitten kaçınmak için yeterince kurutmaya dikkat edilmelidir. Bu amaçla durulama sonrası parçaların 40°C

sıcaklıktaki su banyosuna daldırılması, ilk bakışta masraflı bir işlem gibi görünse de önleyeceği problemler yönünden iyi bir uygulamadır (Senyen, 2001).

3.2. Alüminyumun Kaynak Esnasındaki Isıl Karakteristiği

Alüminyumun ısıl iletkenliği, çeliğin altı katı civarındadır. Alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklığı demir esaslı alaşımların ergime sıcaklığının altında olmasına rağmen özgül ısısının yüksek olması sebebiyle alüminyumun kaynağı için daha yüksek ısı girdisi gerekir. Buna rağmen bir kaynak yavaş hızla yapılıyorsa, ısı arkın önünde ilerleyebilir, kaynak parametrelerinin devamlı ayarı gerekir. Düzenli kaynak şartlarının çoğu uyumlu kaynak hızları ile yüksek ısı girdilerine zorlar.

Yüksek ısıl iletkenlik, kaynak işlemi vasıtasıyla ısı girişinde alüminyumu değişimlere hassas hale getirir. Özellikle GMAW (Gas Metal Arc Welding) gibi daha hızlı kaynak işlemleri ile nüfuziyet ve ergime farklılıklarından kaçınmak için sabit bir ısı girdisi gerekir. Mesela bu iki süreksizliğin her ikisi de sabit gerilimli bir makina ile torç salınımı kullanılarak yapılan bir GMAW da, kaynak ağzı açılmış bir alın kaynağı veya bir iç köşe kaynağının kök pasosunda akım değişimi sebebiyle meydana gelebilir. Radyografik muayeneye tabi tutulacak parçalarda alüminyumda en sağlam kaynakların yapılması için sabit akım tipi bir güç ünitesi ile GMAW tercih edilir. Alüminyumun ısıl genleşmesi çeliğin iki katı civarındadır ve alüminyum kaynaklan katılma sırasında hacim olarak %6 büzülür (Senyen, 2001).

3.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Oksi-Asetilen Kaynağı

Basit ekipmana ve düşük maliyete sahip olması nedeniyle, bazen saf alüminyumu ve bazı alüminyum alaşımlarını kaynak yapmak için gaz (oksi-asetilen) kaynağı kullanılmaktadır.

Kaynak gazları (Yanıcı gaz-oksijen) : Genellikle asetilen ve oksijen gazları kullanılmaktadır. Oksi-asetilen alevinin göreceli olarak düşük ısı yoğunluğu ve alüminyumun yüksek ısı iletkenliği kaynak hızını düşürür ve büyük çekmelere neden

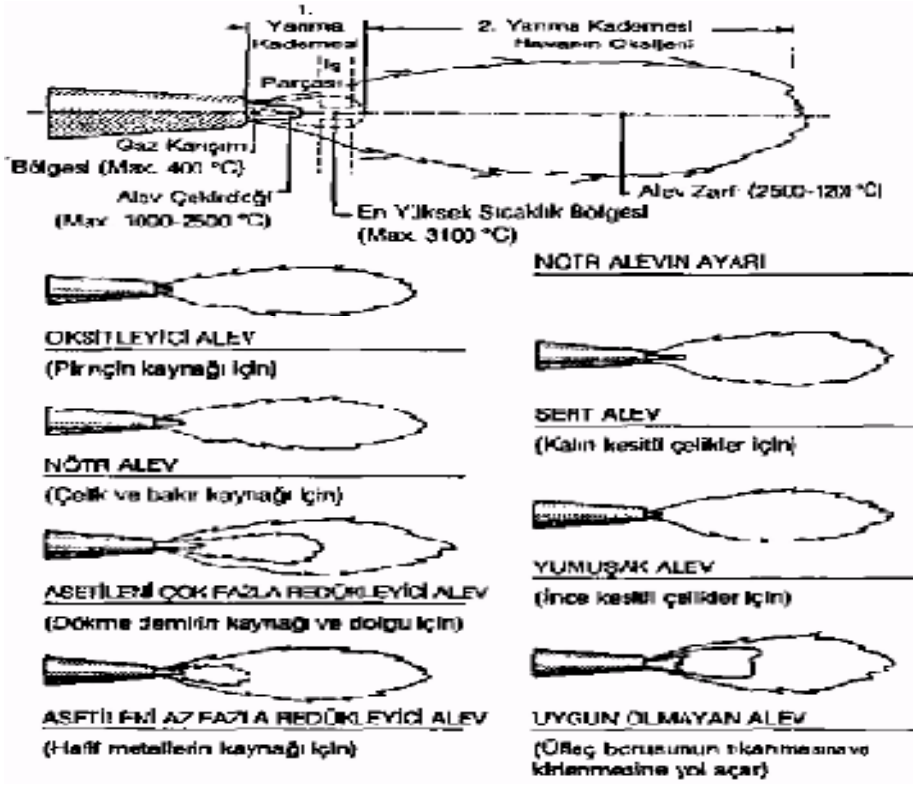
olur ki bu kaynaklı birleştirmede gerilimler ve deformasyon oluşturur. Isıdan etkilenen b6lge çok geniştir, soğuk veya yaşlandırarak sertleştirilen iş parçalarında ana metal yumuşar ve mekanik mukavemetini kaybeder. Gaz kaynağı için gereken dekapan kaynak ağzının iki yüzeyine ve ilave metale fırça ile uygulanır. Dekapan artıklarının temizliği zaman harcayan bir iştir (Oerlikon, 2006).

Gaz eritme kaynağında, kaynak için gerekli ısı, bir yanıcı gaz ve oksijenin oluşturduğu alev tarafından sağlanır (Anık, 1991).

Yanıcı bir gazın oksijen ile yakılmasıyla elde edilen yüksek ısı ile metalin eritilerek kaynatılması işleminde en yaygın yakıt olarak asetilen gazı kullanıldığı için, genellikle oksi asetilen kaynağı olarak telaffuz edilir. Asetilenin oksijen ile yakılmasında takriben 3200  C sıcaklığa ulaşılır. Genellikle % 50 - % 50 oranında oksijen - asetilen karışımı ile kaynak yapılır. Yüksek ısı ile oluşturulan kaynak banyosu istenilen dikiş boyunca ilerletilirken banyoya genellikle metal kaynak teli damlatılarak arzu edilen miktarda dolgu yapılıır.

Gaz ergitme kaynağı her tür hafif metala uygulanabilir; bunda oksi-asetilen alevi en iyi sonucu verendir ř6yle ki alev, büyük ısı yoğunlaştırması sonucu 6rneğin hidrojen-oksijen alevinden daha az arpılmalara yol açar. Bununla birlikte hidrojen-oksijen alevi, havagazı oksijeninki gibi, daha düşük alev sıcaklığını haiz olmasıyla, 1 mm' den az kalınlıkta saçlarda kaynakçının işini kolaylaştırır, saçların delinme tehlikesini azaltır.

Ancak H-O alevi, Al-Mg gibi alaşımlarda g6zeneğe yol açar, magnezyum alaşımlarında da ergime akışını engelleyen kuvvetli bir oksitlenme hasil eder. Oksi-asetilen alevinin bir başka avantajı da, çok hassas ayarlanabilme kabiliyetidir. Kaynak işleminde en 6nemli hususlardan biri, dikişi meydana getiren kaynak metalinin kaynatılan metal ile aynıozellikte olmasıdır. Bunu sağladığımız taktirde, kaynak başarımız artar. Kaynakıkaynak dikişini istediği tarzda kontrol altında tutmalıdır. Oksi-asetilen kaynağının 6zelliklerinden biri olan telsiz dikişbunu sağlar.

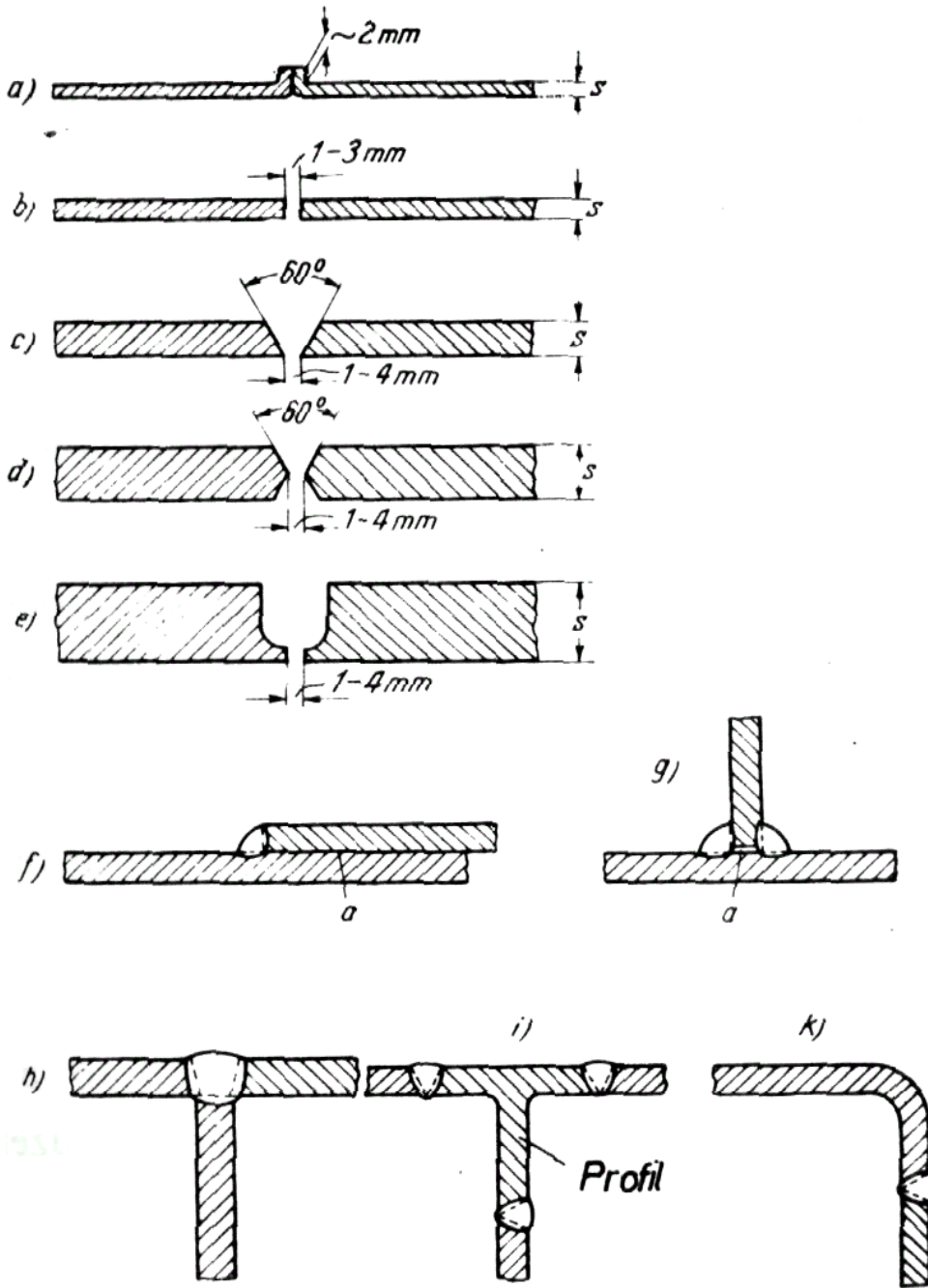


Şekil 3.1. Oksi-asetilen kaynak alevi ve alev türleri (şematik) (Oğuz, 1990)

Hafif metallerin kaynağında "hafif" alevle çalışılır yani belli bir üfleç memesi numarası için uygulanan oksijen basıncından 0.2-0.4 atü kadar daha az basınca ayarlanır. Sakin ve sivri yanması gereken kaynak alevi (Şekil 3.1) "normal" veya hafif asetilen fazlalı ("karbürleyici") ye ayarlanacak (E/dış örtülü alev). "Oksitleyici" alevden kesinlikle kaçınılacaktır. Hiçbir surette alevin beyaz konisi iş parçasına temas etmeyecektir. Ön ısıtma gereği, bilinen nedenlerle, burada da önemini koruyor.

Gerçekten 6 mm ve daha kalın Al levhaların oksi-asetilen kaynağında tam nüfuziyeti sağlamakla çatlamaya karşı önlem olarak önısıtma avantajlı olmaktadır. Önısıtma sıcaklığı 150- 200°C arasında olup daha yüksek sıcaklıklar, arandılan niteliklerin kaybına ve gereksiz yere genişlemiş bir IEB' ye yol açar.

Çeşitli kalınlıklara göre ağız hazırlıkları Şekil 3.22'degösterilmiştir. Hafif metallerin oksi-asetilen kaynağında mümkün olduğu kadar küt alın şekillerine yer verilmelidir (Oğuz, 1990).

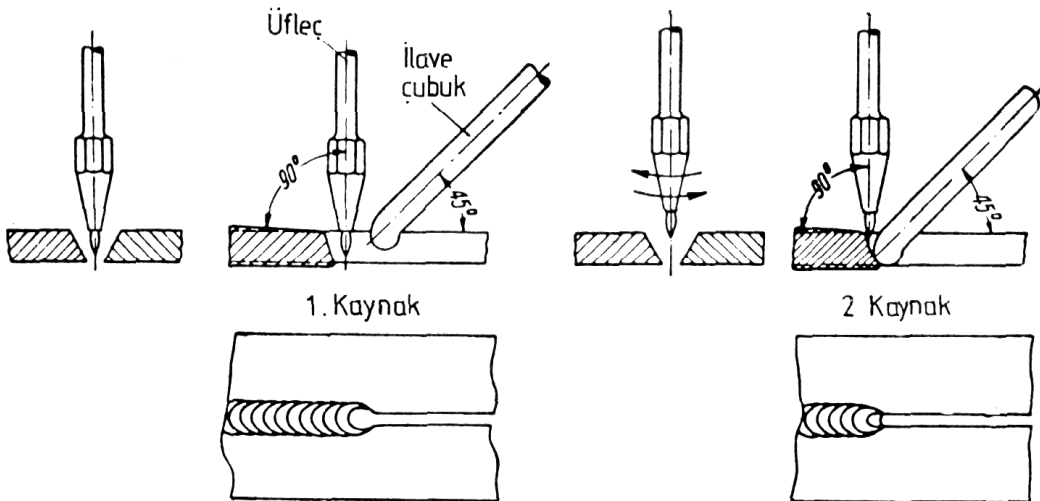


Şekil 3.2. Al ve alaşımlarının oksji-asetilen ile kaynağında ağız hazırlık şekilleri. a) $s < 1.5$ mm, b) $s = 1-3$ mm, c) $s = 3-12$ mm, d) $s > 8$ mm, e) $s > 12$ mm (Oğuz,, 1990)



Şekil 3.3. Hafif metal saçlarının kaynak tertibi a, tel ya da saç parçası b, ısı iletkenliği olmayan destek (Oğuz, 1990)

Kalın saclarda kökte emniyetli bir kaynak elde etmek için Griesheim yöntemi adı verilen sola kaynak süreci (Şekil 3.4) önerilir. Hafif salıntı ile ilerletilen üfleç bu yöntemde saçın üst yüzeyine dik tutulur, kaynak teli bu yüzeye 45° yapar. Kaynak işlemi birbirini sürekli olarak tekrarlayan iki çalışma aşamasıyla olur. Birinci aşamada üfleç kaynak ağzının içinde tutulur, bu suretle ağız daire şeklinde genişler; kaynak teli bu sırada alev alanı içinde sıcak tutulur. Bundan sonra gelen ikinci aşamada üfleç biraz yukarı çekilir ve kaynak teli ergime banyosuna batırılır ve ergitilir (Oğuz, 1990).



Şekil 3.4. Alüminyum ve alaşımlarından kalın sacların oksisasetilen kaynağı (Oğuz, 1990)

3.4. Alüminyum ve Alaşımlarının Örtülü Elektrot Kaynağı

Bu yöntemle bütün alüminyum türleriyle ısıtılma yoluyla sertleşmeyen alaşımları kaynak etmek mümkündür. Yapısal sertleşmeli alaşımlar arasında Al-Si-Mg ve Al-Mg-Si tipi alaşımlar uygun şekilde örtülü elektrotla birleştirilebilirler; ancak dikiş yakın bölgelerde mekanik karakteristikler düşer. Çinko ve magnezyumlu alaşımlar, kaynaktan sonra, herhangi bir işlemi gerektirmeden, mekanik karakteristiklerinin az çok tümüne yeniden sahip olurlar. Şekil 3.5’de örtülü elektrot kaynağı gösterilmiştir.

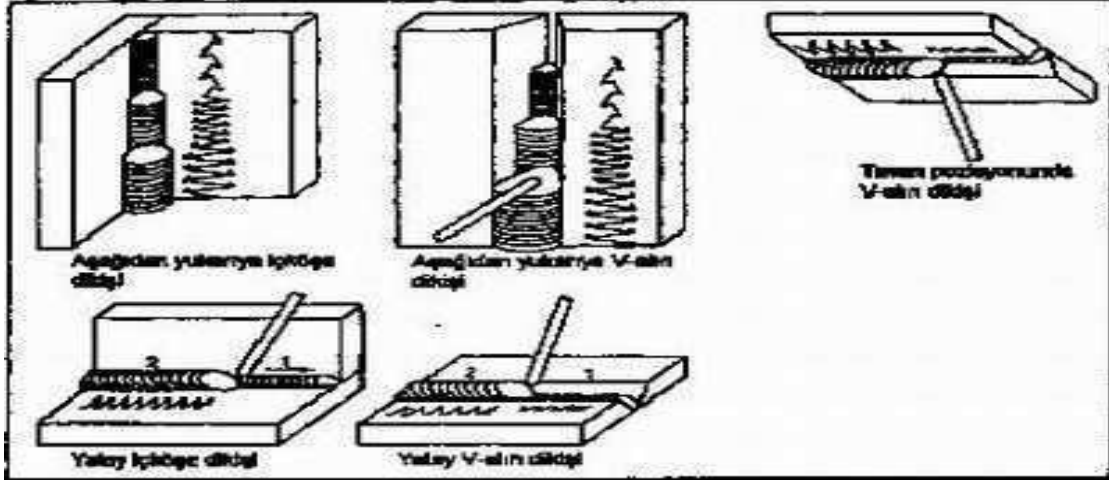
Alüminyumun bu metal-ark kaynağında dikkate alınacak önemli etkenler nem, ön ısıtma, dekapan ve elektrotla iş parçasının temizliğidir. Elektrot örtüsünde nemin varlığı, gözenekliğin başlıca nedenidir. Sağlam kaynaklar elde etmek için elektrotların kuru, temiz depolanma olanakları bulunacaktır. İş parçasının ön ısıtılması, özellikle kalın parçalarda, gereklidir. Elektrotu kaplayan örtü (dekapan) çok inatçı olup bunun dikiş içinde sıkışıp kalmaması için oldukça beceri gerekir. Kaynaktan sonra bu dekapanın (cürufun) temizlenmesinde gösterilecek özen de önemlidir (Oğuz, 1990).

Alüminyum üzerinde kaynaklı birleştirmelerin tasarımında önemli husus, anikisit ve kaynak yönü değişmelerinden kaçınmaktır. Bunu sağlamak için bazen birleşecek parçalar arasına ara parçalar koymak kolaylık sağlayabilir. Aynı bağlamda, takviye plakaları, kesitleri düzenli olarak azalacak şekilde kesilirler.

Alüminyum parçaların 200 °C' a ön ısıtılması istenir ve levha kaynağında bu işlem gereklidir. Ön ısıtma, oksii-asetilen üfleci ya da elektriksel dirençle yapılabilir; bu sonuncusu için, küçük parçalarda, bir tungsten elektrot, kaynak pensesinin ucuna gümüşle lehimlenir. Topraklama mengenesi iş parçasına bağlandıktan sonra tungsten elektrottan parçaya intikal edecek akım, onu ısıtacaktır. Yöntem, büyük parçalara uygulanmaz.

Genellikle 5 mm' ye kadar saclar ön ısıtılmaz. Dökümler, kural olarak ön ısıtılır. Alüminyumun örtülü çubuk elektrotla kaynağında arkın tutuşturulması, çelikte olanıkinden farklıdır. Hem Al. elektrot hem de ana metal az çok derhal ergiyip

katılaştıklarından, elektrot yapışması bir sorun olabilmektedir. Bundan kaçınmak için ark, elektrotu ana metalin yüzeyi üzerinde bir fırçalama hareketi yaparak tutuşturulur (Oğuz, 1990).



Şekil 3.5. Örtülü elektrot kaynağı (Oğuz, 1990)

3.5. Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı

Günümüzde alüminyum konstrüksiyonunda en çok kullanılan kaynak metodu, ergiyen elektrotla bir koruyucu gaz veya gaz karışımı atmosferi altında yapılan MIG (Metal inert Gaz) kaynak tekniğidir. Ergiyen elektrot ile yapılan MIG gazaltı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. MIG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine göre, mekanize edilebilme, daha hızlı çalışma, robot kullanma imkanı, çok karmaşık kaynak konstrüksiyonlarında kolay bir şekilde uygulanabilme, her pozisyonda kullanılabilme ve karbonlu çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır gibi bütün ticari metallerin kaynak edilebilmesi açılarından bir çok avantajlar sağlamaktadır (Kurşun, 2006). MIG yönteminin bir karakteristiği olan enerjinin verimli kullanılması, çoğu kez ön ısıtmayı gereksiz kılar, dolayısıyla süreç kalın Al kesitlerinin kaynağında geniş ölçüde uygulanır (Oğuz, 1990).

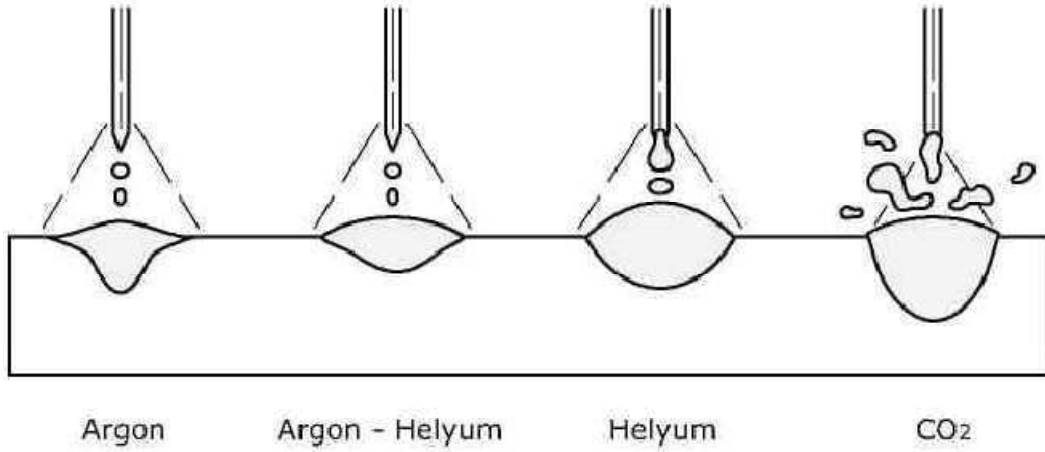
Bu teknik her kalınlıktaki alüminyum ve alaşımları için uygulanabilir olmasına rağmen genellikle 3 mm'den daha kalın alüminyum ve alaşımlarının kaynağında tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Çünkü MIG kaynağında kaynak hızı ve ergime

gücü diğer gazaltı kaynak yöntemi olan TIG (tungsten inert gaz) kaynağına göre daha yüksek olduğu için çok ince levhalar ancak darbeli akım yöntemi uygulanarak kaynak yapılır (Kurşun, 2006).

Alüminyum ve alaşımları 550–660 °C arasındaki sıcaklık aralığında ergimelerine rağmen ısı iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeni ile kaynak için gerekli ısı girdisi eş kalınlıktaki çeliğin kaynağından daha fazla olmak zorundadır.

Alüminyum ve alaşımlarının ısı genleşme katsayılarının büyük olması, kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma sonucu oluşan sıcaklık farkları şiddetli gerilmeler ve büyük çaplı çarpılmaların olmasına neden olur. Alüminyum üzerinde hava ile teması sonucunda oluşan refrakter alüminyum oksit tabakası, alüminyum ve alaşımlarının kaynağını büyük çapta güçleştirir. Doğru akım, ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile yapılan kaynakta, banyo üzerinde yüzen oksit tabakası parçalanır ve ancak bu kutuplama ile kaynak gerçekleştirilebilir. Alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynağında, malzemenin kalınlığı göz önüne alınmaksızın sprej ark ile kaynak yapmak daima tercih edilir. Sprej arkın yüksek ısı girdisine karşın alüminyumun yüksek ısı iletkenliği dolayısı ile kaynak banyosu oldukça çabuk katılaştığından her pozisyonda kaynak yapmak mümkün hale gelmektedir.

Yalnız burada oksit tabakasının giderilebilmesi için sola kaynak yöntemi seçilmeli ve dikey pozisyonundaki kaynaklar aşağıdan yukarıya doğru yapılmalıdır. Böylece hem kaynak edilecek bölgelerdeki oksit tabakaları temizlenmiş olur hem de kaynak ağızları iyi bir şekilde ergiyerek uygun bir şekilde kaynak yapılmış olur. Sağa kaynak yöntemi uygulandığında ve dik kaynaklarda yukarıdan aşağıya doğru kaynak yapıldığında gözenekli, kötü görünümlü ve yetersiz ergimeden dolayı tam kaynamamış bölgeler meydana gelir. Kaynak dikişi düz veya dar zikzaklarla çekilmelidir. Geniş zikzaklar kaynak dikişinin aşırı oksitlenmesine neden olduğundan kullanılmamalıdır. İnce alüminyum levhaların gerek yarı otomatik gerekse de mekanize edilmiş MIG kaynağında genellikle koruyucu gaz olarak Argon gazı kullanılır. Koruyucu gazların kaynak dikiş şekline ve nüfuziyetine etkisi farklıdır. Şekil 3.6' de çeşitli koruyucu gazların kaynak dikişine etkisi gösterilmiştir.

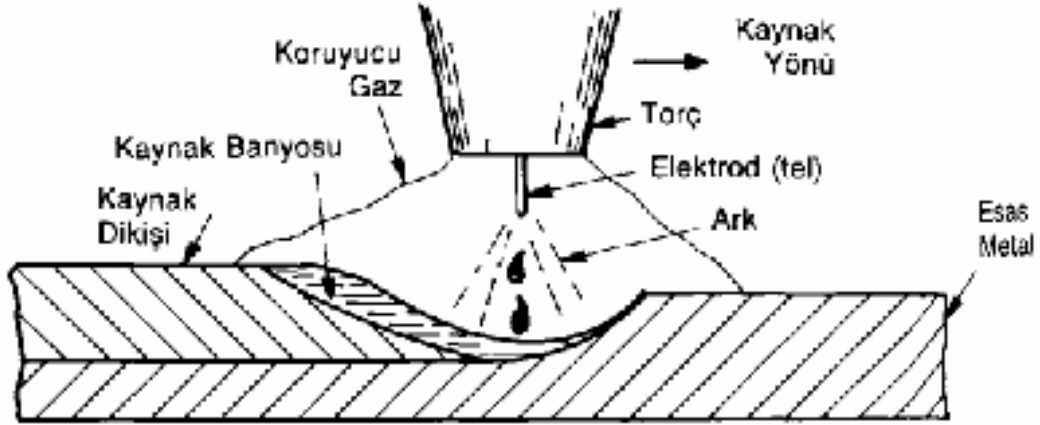


Şekil 3.6. Çeşitli koruyucu gazların dikişin şekline ve nüfuziyetine etkisi (Anık, 1993)

Kalın alüminyum levhaların otomatik kaynağında ise daha sıcak bir kaynak banyosu ve daha iyi nüfuziyet elde etmek için koruyucu gaz olarak Helyum gazı veya Helyum-Argon gaz karışımı kullanılır. Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliğinin yüksek olması özellikle kalın parçalarda kaynak bölgesinin şiddetli soğumasına neden olur. Bu bakımdan kalın ve bilhassa döküm alüminyum parçalara kaynak öncesi ön tav uygulamak gerekir. Genellikle 15 mm'den daha kalın parçalara uygulanan ön tav sıcaklığı 200 °C' yi geçmemelidir.

Soğuk şekil değiştirme veya ısıl işlem ile sertleştirilmiş alüminyum parçaların kaynak bölgesinde, sonradan kazanılmış olan bu sertlikte bir azalma görülür, bu bakımdan ısıl işlem ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarına kaynak öncesi, bir çözeltiye alma tavı uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısıl işlem uygulanarak sertleştirilir (Kurşun, 2006).

MIG kaynak yönteminin uygulanması çok basittir. Toprak kablosunu iş parçasına veya kaynak masasına bağlayarak ve üfleç ucundaki tel elektrodu kaynak ağzına değdirerek ark oluşturulur. Makine telin ilerlemesini ve uygun ark boyunu otomatik olarak sağlar. MIG kaynağı, uygulama kolaylığı nedeniyle bütün demir dışı metal ve alaşımların kaynağında çok popüler ve arandığı kaynak yöntemi haline gelmiştir. MIG yöntemindeki ark bölgesi şematik olarak Şekil 3.7'de gösterilmiştir (Kurşun, 2006).



Şekil 3.7. MIG yöntemindeki ark bölgesi (Kuşun, 2006)

Bu yöntemde kaynak arki Şekil 3.7’de görüldüğü gibi iş parçası ile aynı zamanda ilave metal olan, tükenen tel elektrot arasında oluşur. Alüminyumun MIG kaynağı doğru akım, ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile yapılır. Bu kutuplama sprey damla geçişi olarak adlandırılır ve asal gaz atmosferi (Ar veya He veya Ar/He karışımı) altında korunur. MIG kaynak yöntemi kalın çaplı tel elektrot kullanarak daha kararlı hale getirilebilir. Tel elektrotun düzgün olarak kaynak bölgesine iletilebilmesi için teflon spiral kullanılmalı, kılavuzlar ve tel sürme makaralarının yuvaları U biçimli olmalı, kontak meme daha uzun olmalı ve iç çap toleransının daha fazla olması gerekir.

Kaynağa başlamadan önce, yüzeydeki alüminyum-oksit tabakası kaynak bölgesinden frezeleme yoluyla veya paslanmaz çelik fırça ile fırçalayarak tamamen temizlenmelidir. Kaynak ağızı yüzeyleri ve kaynağa yakın bölgeler (kaynak ağızının en az 50 mm yakını) temiz, yağsız ve kuru olmalıdır. İyi bir depolama ve mekanik işlemler sonrası kaynak yüzeylerinin özel bir yağ çözücü ile temizlenmesi, bu tür hazırlık işlerini kolaylaştırır. Bunların yanında, alüminyum malzemelerin kaynağında kullanılan el aletleri yalnız bu malzemeler için kullanılmalıdır.

MIG yöntemi ile 4 mm’den büyük kesit kalınlığına sahip malzemeleri alın kaynağını veya köşe kaynağını tek pasoda yapmak mümkündür. Yüksek kaynak akımı ve güçlü bir nüfuziyet nedeniyle 6 mm’ye kadar kalınlığa sahip malzemelerde kaynak

banyosunu desteklemek için kaynak altlığı kullanılır. Ayrıca alüminyum ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı için önerilen bazı parametreler Tablo 3.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı için önerilen bazı parametreler (Kurşun, 2006) de görülmektedir (Kurşun, 2006).

Tablo 3.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı için önerilen bazı parametreler (Kurşun, 2006)

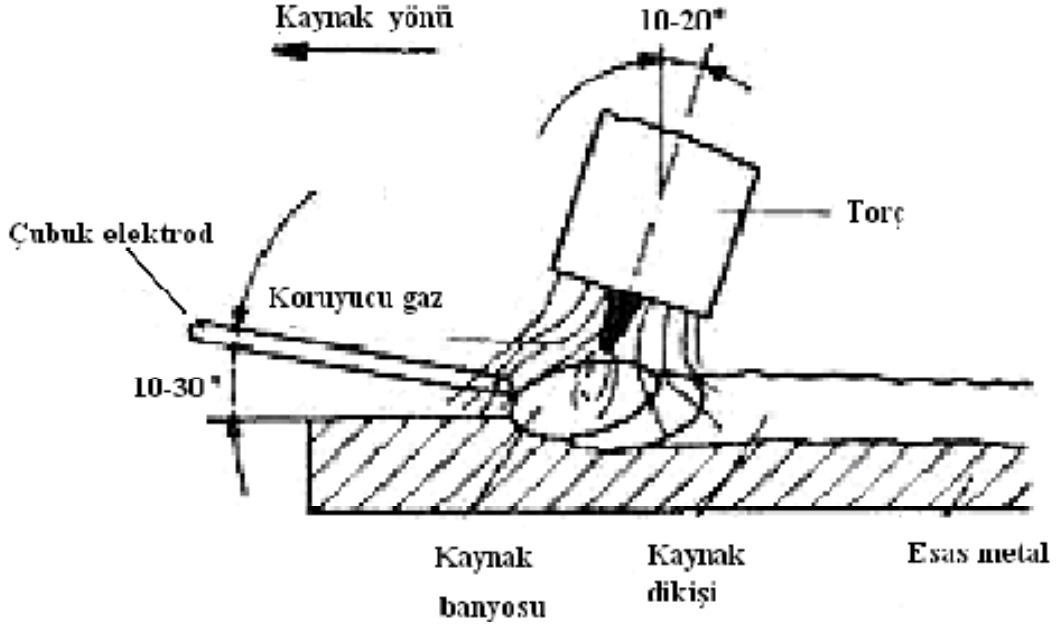
Malzeme Kalınlığı (mm)	Ağız Türü	Ağız Aralığı (mm)	Kök Alın Yüksekliği (mm)	Paso Sayısı	Kaynak Gerilimi (V)	Kaynak Akımı (A)	Tel İlerleme Hızı (m/dak.)	Tel Çapı (mm)
4	Alın	0	-	1	23	180	3,2	1,2
5	Alın	0	-	1	25	200	4,3	1,6
5	Alın	0	1,5	1	22	160	5,6	1,6
6	Alın	0	-	1	26	230	7,1	1,6
6	Alın	0	1,5	1	22	170	6	1,6
8	Alın	0	-	2	26	220	6,8	1,6
10	Alın	0	2	3	26	220	6,2	1,6
12	Alın	0	1,5	3	24	200	6	1,2
12	Alın	0	1,5	2	27	260	7,2	2,4

3.6. Alüminyum ve Alaşımlarının TIG Kaynağı

TIG kaynak yöntemi; ergitme esaslı buna karşın dolgu oranı düşük bir kaynak yöntemi olmasına karşın ısı girdisi yerel olduğundan ısı iletimi yüksek olan alüminyum ve alaşımlarının kaynağında çarpılmaları en aza indirdiği için tercih edilen bir gazaltı kaynak yöntemidir.

Bu yöntemde kaynak için gerekli olan ısı enerjisi, bir tungsten elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır. Kaynak bölgesi de havanın olumsuz etkilerinden elektrot ile merkezlenmiş konumda bulunan bir

nozuldan gönderilen bir koruyucu gaz (He veya Ar veya He+ Ar karışımları) ile korunmaktadır (Şekil 3.8) (Kaluç ve Taban, 2006).



Şekil 3.8. TIG kaynak yönteminde ark bölgesi (Kaluç ve Taban, 2006)

Alüminyumun elle ve otomatik kaynağı için genellikle AA yeğlenir. Bunun nedeni, sırasıyla DADK ve DATK TIG kaynağının başlıca avantajları olan nüfuziyet ve temizleme etkisi arasında verimli bir denge kurmasıdır (Oğuz, 1990).

Nüfuziyet derinliği, AA sayıklının düzkutup bölümü sırasında iş parçasına yüksek akım akısından hasil olan ısının sonucudur. Temizleme etkisi ters kutup kaynağın özünde olan bir nitelik olduğundan, her türlü oksit filmi, AA sayıklının ters kutup bölümü sırasında parçalanır.

Nüfuziyetle temizleme etkisi arasındaki bu denge özellikle punta kaynağı ile boru kaynaklarının birinci pasosunun çekilmesinde önemli olmaktadır. AA TIG, bütün pozisyonlarda mükemmel kalitede alüminyum kaynaklar verir. 12.5 mm (1/2 in) kalınlıklara kadar tek paso tam nüfuziyet sağlar; ancak bunun için uygun şekilde hazırlanmış birleştirmeler ve tavsiye edilen tekniklere uyulması gereklidir.

Birleştirmenin kökünde ergimiş banyonun köprü kurmasının önlenmesi için önlem alınacaktır. Böyle bir köprü, kök aralığında arkın önünü kesen bir ergimiş metal tabakasından ibaret olup tam kök nüfuziyetine engel olur. Tam kök nüfuziyeti, diğer koşulların ise uygun olmaları kaydıyla, kısa ark tutularak sağlanabilir. (Yaklaşık elektrot çapına eşit ark uzunluğu).

AA TIG, göreceli olarak ince alüminyum kesitlerinin kaynağında kullanılır. 0.025 ilâ 8.5 mm kalınlıklar ilâve metalsiz ve ön ısıtmasız kaynak edilebilir; daha kalın malzeme ön ısıtma gerektirir. TIG kaynağının üç tipinden DADK, kalınlık sırasının kalın ucunda; AA, ortasında; DATK da ince ucunda en etkin durumda olurlar.

Etkin bir AA TIG kaynağı için, bir stabil ark hasıl eden dengeli güç gereklidir. Birçok istenmeyen doğrultmaların mevcut olduğu ark kolaylıkla belirlenir. Ark, tutarsız çıtırtılı ses çıkaracak, stabil AA arkının yumuşak vızılı veya vınlamasına sahip olmayacaktır (Oğuz, 1990).

Dövme alüminyum ve alüminyum alaşımlarını kaynak kabiliyetlerine göre şöyle sıralamak mümkündür: çok saf ve saf alüminyum, Al-Mn alaşımları, Al-Mg Mn alaşımları, Al-Mg alaşımları, Al-Mg-Si alaşımları, Al-Cu-Mg alaşımları, Al-Cu-Ni alaşımları (Anık, 1982).

Yaşlandırma ile sertleştirilmeyen alaşımlar her hangi bir ilave metal kullanmadan da kaynak yapılabilir. Alüminyum malzemelerin TIG kaynağı alternatif akımda ve argon koruyucu gazı kullanarak yapılır. Mekanîğe TIG kaynağı ilave metal kullanarak veya kullanmadan da yapılabilir (Oerlikon, 2006).

3.7. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrik Direnç Kaynağı

Direnç kaynağı; iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın uygulanmasıyla yapılan bir kaynak yöntemidir. Malzemedен geçen elektrik akımının doğurduğu ısının dışında, herhangi bir ısı uygulanmamaktadır. Isı, kaynak edilecek kısımlarda oluşur

ve basınç kaynak makinesindeki elektrotlar ya da çeneler aracıyla uygulanır.Şekil 3.9 da Elektrik direnç kaynağının şematik görüntüsü gösterilmiştir.

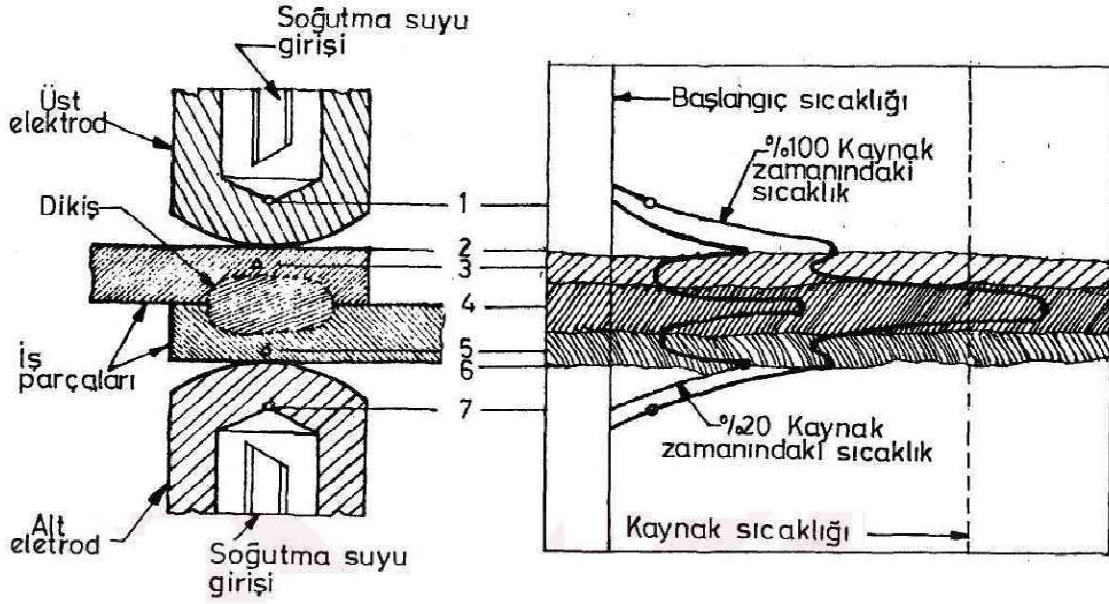
Elektrik direnç kaynağı için gerekli alçak gerilim ve yüksek akım şiddetindeki elektrik gücü, kaynak transformatörlerinden, basınç ise hidrolik ya da mekanik donanımlarla sağlanır (Anık, 1996).

Bazı alüminyum alaşımlarının direnç kaynağı diğerlerine göre daha kolaydır. Genelde diğer kaynak prosesleri ile kaynaklanabilen döküm alaşımları direnç kaynağı ile de kaynaklanabilir.

Sürekli döküm ve kum döküm alaşımları başarıyla nokta kaynağı yapılabilirken kalıp dökümlerin bu metotla birleştirilmeleri zordur. Döküm alaşımları kendi kendileriyle, diğer döküm alaşımlarıyla ve dövme alaşımlarla nokta kaynağı ile kaynaklanabilirler (Anık, 1996).

Alüminyum, sıvıdan katı hale geçişte önemli ölçüde çeker (yaklaşık % 6-7). Bu özellik, 2024 ve 7075 gibi yüksek mukavemetli ısıtılabilir kabul eden alaşımlarda en çok belirgindir ve çatlama götürebilir. Isıtılabilir kabul etmeyen alaşımlarla 6000 serileri alaşımları bu çekmeden ötürü çatlama daha az meyillidirler.

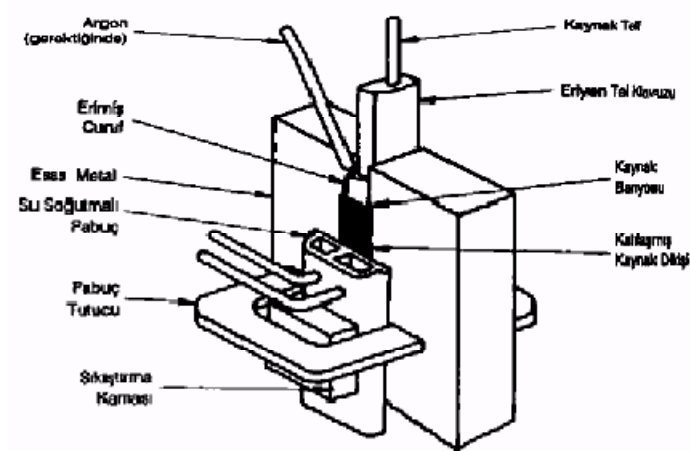
Alüminyum üzerinde doğal oksit kaplaması oldukça yüksek ve değişken elektriksel direnci haizdir. Yüksek ve tekdüze mukavemetli nokta ve dikiş kaynakları elde etmek için genellikle kaynaktan önce bu kaplamanın redüklenmesi gerekli olur (Oğuz, 1990).



Şekil 3.9. Elektrik direnç kaynağı ve kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımı şeması (Anık, 1991)

3.8. Alüminyum ve Alaşımlarının Electrocuruf Kaynağı

Bu yöntemde kaynak yapılacak bölge, bir döküm kalıbı içine alınır. Ergitilerek dökülen sıvı metal, hem enerji taşıyıcı hem de ilave metal görevi yapar; bu sayede birleşme yüzeyleri gerekli kaynak sıcaklığına ulaşır. Dökülecek malzeme, ergitme ocaklarında veya alümino-termik reaksiyon yardımıyla ergitilir (Şekil 3.10) (Anık ve Vural, 1993a).



Şekil 3.10. Elektro-curuf kaynak yönteminde kaynak bölgesi (Anık, 1991)

Curuf oluşturmak için örtülü elektrotun örtüsünde curuf oluşturucu maddeler olarak tanımlanan mineral tozlar kullanılır. İşlem sırasında malzeme genişliğine bağlı olarak birden fazla tel kullanılabilir. Elektro - curuf yöntemi, 20 mm.'den kalın parçaların dik kaynağında tek veya çok pasolu olarak uygulanabilmektedir. Özellikle gemi yapımı, büyük basınçlı kaplar ve büyük makina gövdelerinin yapımında uygulama alanı bulmuştur.

Günümüz endüstrisinde oldukça geniş uygulama alanı bulmuş olan bu eritme kaynağı yöntemlerinin işin gereğine göre çeşitli varyasyonları da geliştirilmiştir. Bütün bunlarda amaç, emniyetli ve ekonomik kaynağı bağlantılar gerçekleştirebilmektir (Anık, 1991).

3.9. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrogaz Kaynağı

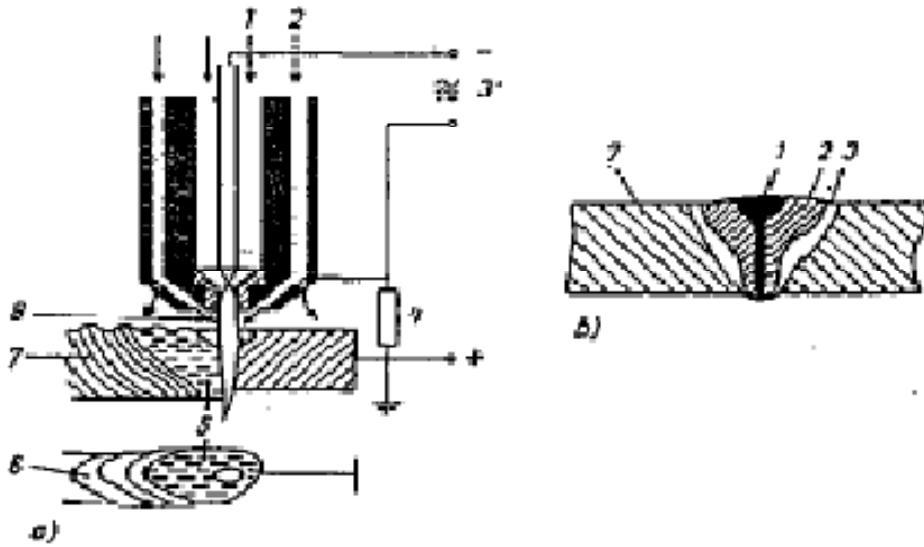
Elektrogaz kaynağında elektrocuruf kaynağında olduğu gibi, ergimiş metal banyosu hareketli (kayar) kalıplar (pabuçlar) tarafından yerinde tutulur. Elektrocurufda birleşme yerinin kenarları ve elektrot metali yüksek sıcaklığa getirilmiş bir elektriksel iletken cürufun teması ile ergirken, elektrogazda bu ergime (çeliklerde) CO₂ koruması altında, elektrotla banyo arasında tutuşan ark tarafından sağlanır.

Elektrogaz yönteminin alüminyuma uygulanmasında ilk ve en önemli sorun yukarıda sözü edilen pabuçlar olmuştur. Elektrogaz kaynağının alüminyuma uygulanması, pabuçların katılaşmış alüminyum üzerindeki kısmen sürükleyici etkisiyle kaynakta meydana gelen yırtılma nedeniyle uzun süre mümkün olamamıştır. Ancak bu engelin üstesinden gelinmiş olup 45 mm kalınlıkta 5083-O alüminyum levha üzerinde 1200 mm uzunlukta kaynaklar, 5356, 5556 ve 5183 ilave metal elektrotlarla gerçekleştirilmiştir (Oğuz, 1990).

3.10. Alüminyum ve Alaşımlarının Plazma Kaynağı

Bu kaynak metodunda direk kısa arklı bir plazma üflecinde sıkıştırılmış ve enerji yoğunluğu büyük bir plazma elde edilir. Şekil 3.11'de prensip şeması verilen plazma

üflecinde çift gaz kullanılmaktadır. (İçten) verilen gaz, plazma gazı adını alır. Plazma gazı olarak asal gaz, genellikle argon kullanılır. İkinci gaz koruma gazı olup, daha dıştan iş parçası ile üfleç arasına, plazmayı çepeçevre sarar şekilde verilir. Bu gaz genelde Argon ve moleküler bir gaz (H_2 veya N_2) karışımıdır. Burada şekilde görüldüğü gibi plazma iş parçasını bir çivi gibi delip geçer. Kaynak yerinde ergiyen malzeme (kaynak banyosu) plazma ilerledikçe plazmanın arkasında yüzey gerilimi nedeniyle kolayca katılaştır ve böylece belirli kalınlıklarda (2.5–8.0 mm arası) parçaları hiç dolgu malzemesi kullanmadan, tek pasoda kaynatmak mümkün olur.

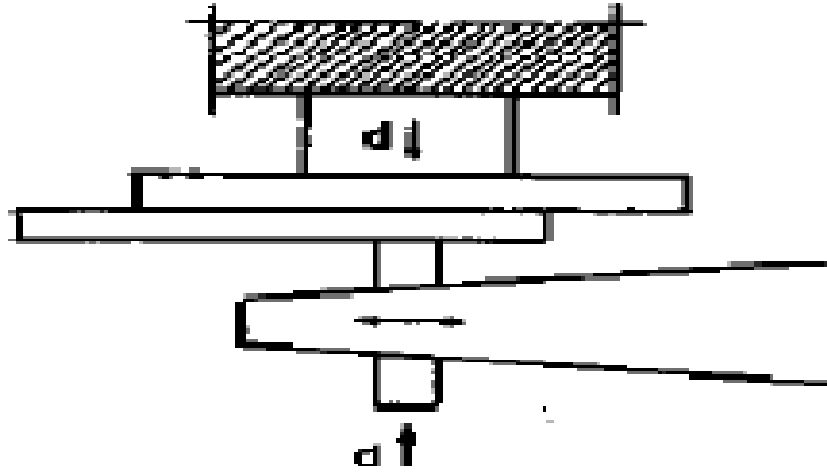


Şekil 3.11. Yüksek güç plazma birleştirme kaynağı prensibi ve kaynak dikişinin alternatif kaynak yöntemleriyle karşılaştırılması a) Prensip (1 Plazma gazı, 2 Koruma gazı, 3 Ateşleme cihazı, 4 Ön direnç, 5 Sıvı metal, 6 Kaynak dikişi üstten görünüşü, 7 Kaynak dikişi enine kesiti, 8 Odaklama gazı) b) Plazma kaynağı dikişi ile elektron ışını ve MIG kaynağı dikişinin karşılaştırılması (1 Elektron ışını kaynağı, 2 Plazma kaynağı, 3 MIG kaynağı) (Karadeniz, 1990)

Plazma kaynağına alternatif olabilecek kaynak yöntemi MIG kaynağı olabilir. Şekil 3.11' de elektron ışını, MIG ve plazma kaynağı dikişleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi MIG kaynağına göre, plazma kaynağında malzeme daha dar bir bölgede ergimeye uğramaktadır. Bu da gerek kaynakta sarf olunan enerji, gerekse kaynatılan malzemelere kaynak esnasında yapılan olumsuz etki yönünden avantajlıdır (Karadeniz, 1990).

3.11. Alüminyum ve Alaşımlarının Ultrasonik Kaynağı

Ultrasonik kaynakta birleştirilecek parçalar, hareketli ultrasonik frekansla titreşen sonotrot ile sabit duran bir altlık arasına konur ve az bir kuvvetle bastırılır. (Şekil 3.12) Sonotrot tarafından oluşturulan ultrasonik titreşimler, yüzeye paralel olarak üstteki parçaya iletilir ve temas yüzeylerinde yani alt ve üst kaynak yerinde bağıl bir harekete neden olur. Ultrasonik dikiş kaynağında bindirilen saclar dönen tekerlek şeklindeki sonotrotlar tarafından senkronize çalıştırılan altlık makaralarına bastırılır. Tekerlek şeklindeki sonotrotların levha titreşimleri üstteki iş parçasına iletilir.



Şekil 3.12. Ultrasonik kaynağın şematik olarak gösterilişi (Anık, 1996)

Ultrasonik kaynak yöntemi alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, plastik malzemeler, cam ve beton gibi malzemenin kaynağında kullanılmaktadır. Ayrıca, alüminyum ile seramik ya da camın kaynağı gibi farklı malzemelerin birleştirilmesinde başarı ile uygulanmaktadır (Anık, 1996).

İş parçalarına düşük kenetlenme basıncı altında bir arada tutulduklarında yüksek frekanslı, düşük genlikli titreşimli hareketin bölgesel uygulanması ile yapılmaktadır. Proses folyo ve levha şeklindeki alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde ve de ince tellerin levha veya folyolara birleştirilmesinde kullanılır. Tüm alüminyum alaşımları ultrasonik kaynakla kaynaklanabilir fakat kaynaklanabilirliğin derecesi

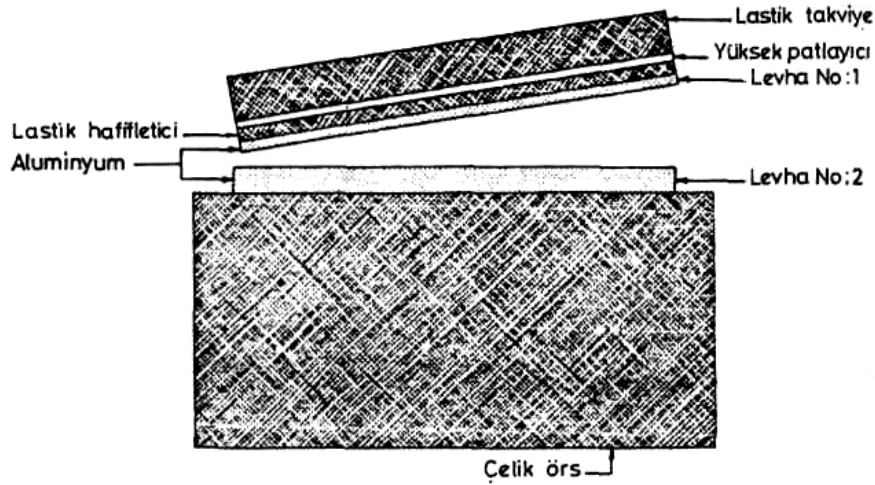
alaşım ve temper durumuna göre değişir. Alüminyum alaşımları diğer metallerle bu proses ile birleştirilebilir.

Ultrasonik kaynak, direnç kaynağının gerektirdiğinden daha az yüzey hazırlama işlemi gerektirir. Uniform bir kaynak elde etmek için ısıl işlem alaşımları ve yüksek miktarda magnezyum içeren alaşımların kaynaktan önce yüzey oksitlerinin giderilmesi gerekmektedir (Welding Handbook, 1996).

3.12. Alüminyum ve Alaşımlarının Patlama Kaynağı

Prensip bakımından soğuk basınç kaynağına benzer. Her iki yöntemde de dikey bir basınç kuvveti, teğetsel bir yükleme ile kombine şekilde etki eder. Bu, yüzeydeki oksit tabakasının yırtılmasına ve yüzeyin büyümesine neden olur.

Temizlenen yüzeyler bir kaç mm gibi yeterli bir aralık bırakılarak karşı karşıya(üst üste) getirilir. Aralıklar dalgalı metal şeritler ya da tellerle sağlanır. Bunlar sonra birlikte kaynak edilir. Birleştirilecek tabakaların üst yüzeyine ince bir koruyucu plastik tabakası ve bunun üzerine de patlayıcı madde yerleştirilir. Patlayıcı tutuşturulunca yüksek basınç ve hızla (1200 ile 7000 m/sn) patlama olur ve üstteki sac alttakine kaynak edilir (Şekil 3.13) (Anık, 1996).



Şekil 3.13. Alüminyum malzemenin patlama kaynağı şematik görünümü (Anık, 1996)

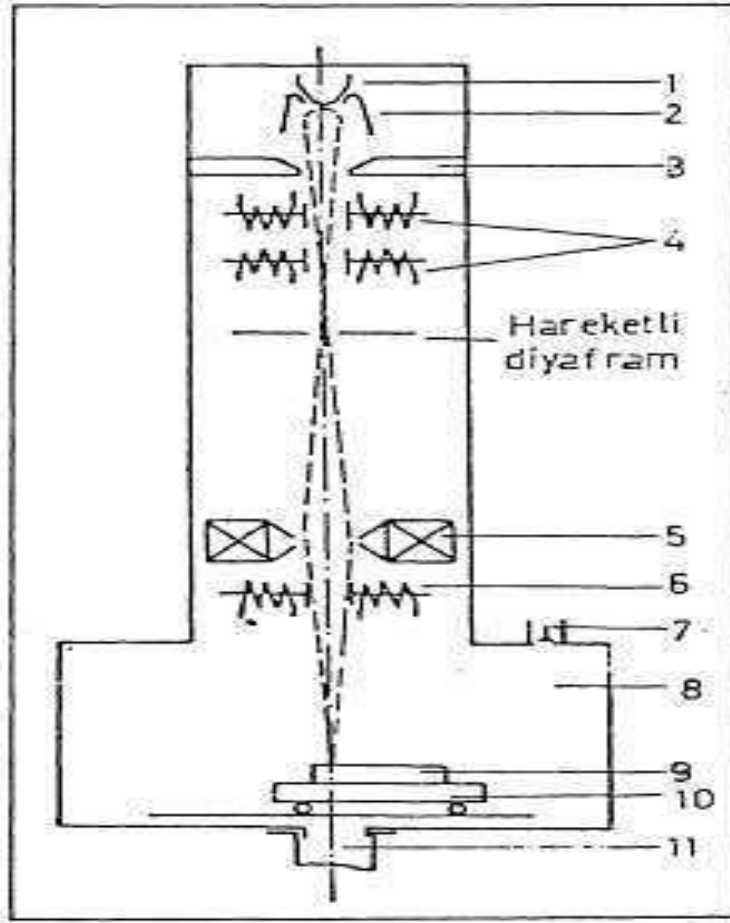


Şekil 3.14. Patlama kaynağının mikrofotografı (Oğuz, 1990)

3.13. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektron Işın Kaynağı

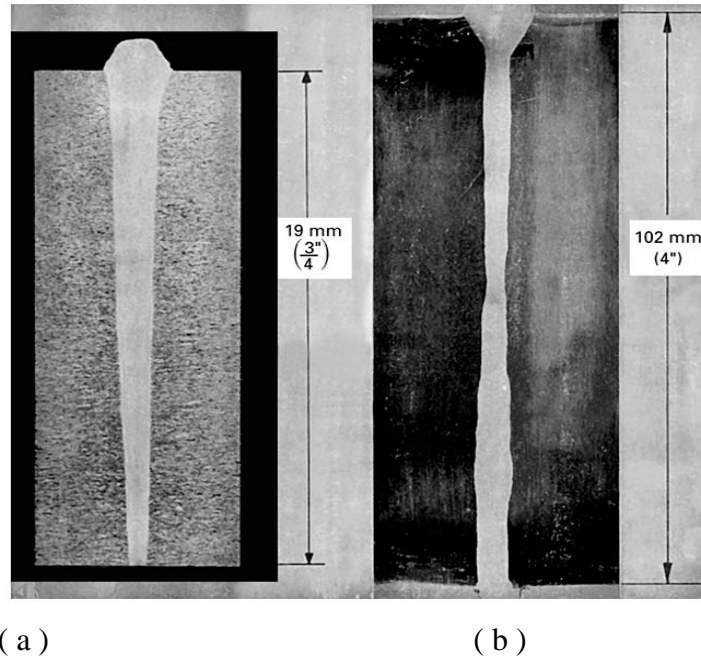
Elektron ışını ile sağlanan ısının ya da gücün yoğunluğu, klasik kaynak yöntemlerinden yüksektir. Elektron ışınlarının güç yoğunluğu, yaklaşık 10^8 W/cm²'dir. Bu güç yoğunluğu ile tabancadan 1 m uzaklıklara kadar çalışma mümkündür (Anık, 1996).

Elektrik ark kaynağında yüzeye bırakılan ısı, yarım daire şeklinde bir bölgeye yayılırken, elektron ışının yüksek ısı yoğunluğu nedeniyle parçanın derinliklerine giren kanal şeklinde bir ısı dağılımı ortaya çıkar. Elektron ışını ile kaynak makinesinin yapısı, şematik olarak Şekil 3.15'de görülmektedir.

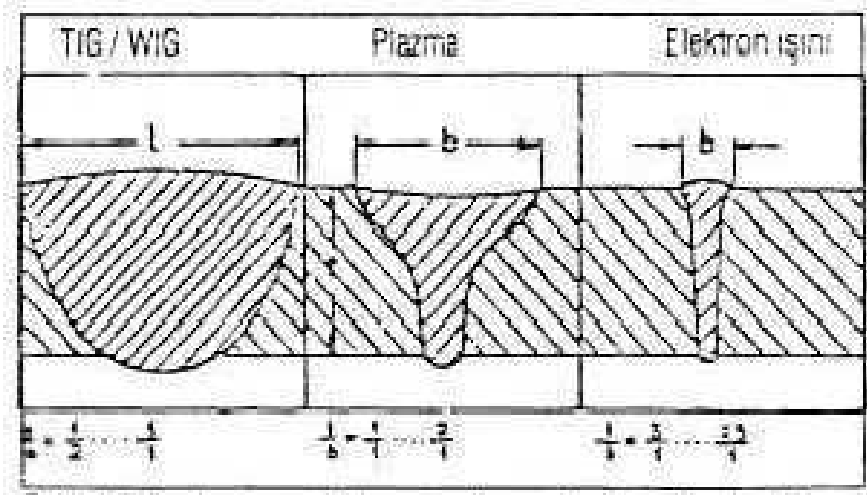


Şekil 3.15. Elektron ışını ile kaynak makinesinin şematik yapısı 1-Katot, 2-Wehnelt silindiri, 3-Anod, 4-Ayar bobinleri, 5- Magnetik mercek,6- Saptırma bobinleri, 7- Hava girişi, 8-Kaynak hücresi, 9- iş parçası, 10- Hareketli masa, 11- Vakum flanşı (Anık ve Vural, 1993b)

Arkın, plazma taneciklerinin enerjisi, yalnızca iş parçasının yüzeyinde bıraktığı ve bununla birlikte iç bölgelerin ısıtılmasında her yönden gelişen bir ısı dağılımına ayrıldığı için yarım daire şeklinde bir erime bölgesi oluşur. Elektron bombardımanı altında, kaynak yerinin kuvvetli bir şekilde ısınmasıyla etkili olan yüksek buhar basma, eriyikte, elektronların enerjisini bırakmadan önce, iş parçasının derinliklerine kadar nüfuz edebildikleri bir kanalın oluşumunu sağlar. Oluşan ergime bölgesinin derinliğinin, ortalama genişliğe oranı: 25/1' e kadar olan bir kamanın şekline sahiptir. (Şekil 3.17) (Anık ve Vural, 1993b).



Şekil 3.16. Elektron ışın kaynağına örnekler: (a) alüminyum; (b) paslanmaz çelik (Anık, 1993)



Şekil 3.17. TIG, plazma ve elektron ışını ile yapılan kaynaklarda erime bölgesi formunun karşılaştırılması (Anık ve Vural, 1993b)

Elektron ışını ile yapılan kaynakta, birleştirilecek parçalar kalın ağız formunda hazırlanır ve ek metal kullanmadan kaynak yapılır. Derin giriş nedeniyle altlık kullanılmaz. Fakat akmayı ya da yetersiz birleşmeyi önlemek için kaynak parametreleri çok dikkatli olarak seçilir. Elektron ışınının birleşme yerlerini

etkilemeden geçmemesi ve aralığın ergimiş hacimle tamamen doldurulabilmesi için, kaynaklanacak iki parça arasında aralığın 1/100 mm den fazla olmaması gereklidir.

Bu dar tolerans, freze ya da taşlama ile ağızların dikkatli bir şekilde hazırlanmasını gerektirir. Diğer kaynak yöntemlerinde bu kadar dar toleranslara gerek yoktur. Bazı durumlarda metalürjik nedenlerden dolayı, birleştirilecek parçaların arasına mekanik olarak ek bir tel ya da bant yerleştirilir. Araya konan bu ek metal elektron ışınının etkisiyle esas metal ile birlikte ergiyerek aralığın tam olarak doldurulmasını sağlar. Diğer yöntemlerde olduğu gibi, elektron ışını ile kaynakta kaynak yerinin kimyasal olarak saflığını bozacak hiçbir işlem oluşmaz. Bu nedenle kaynak metalinin bileşimi esas metalinkiyle aynıdır ve bir homojenlik sağlanmış olur (Anık, 1996).

Elektron ışını ile yapılan bağlantının metalürjik özellikleri üzerinde aşağıdaki faktörlerin etkisi vardır:

1. Çok hızlı ısınma ve soğuma çevrimi,
2. Metal, ergime bölgesinde kısmen buhar haline geçer,
3. Ergimiş banyoda gaz absorpsiyonu ya da etkisi yoktur (oksidasyon gibi).

Elektron ışını ile kaynakta yüksek ısı konsantrasyonu nedeniyle, yüksek ergime noktalı malzemelerin (tungsten gibi) kaynağı kolayca yapılabilir. Hızlı soğuma nedeniyle ergimiş metalde tane irileşmesi önlenmiş olur. Fakat bu durum, dönüşmeyle sertleşen malzemelerde sertleşmeye neden olur. Elektron ışını ile kaynakta derin bir giriş elde edilebildiğinden T-birleştirmelerde yatay levha tarafından kaynak yapmak mümkündür. Birçok alüminyum alaşımı elektron ışını ile kaynaklanabilir, 2XXX, 6XXX ve 7XXX gibi bazı ısı işlem görebilen alaşımlarda çatlama görülebilir. Dolgu metali ilavesi kaynak çatlağını önleyebilir (Anık, 1996).

Alüminyum alaşımları alçak ya da yüksek voltajlı elektron ışın kaynağı ekipmanları ile kaynaklanabilir. Elektron ışın kaynağı makineleri 60 tan 175 kW' a ve 100 KW değerlerine kadar bulunmaktadır. Teçhizat seçimi ve prosedür alaşıma, malzeme kalınlığına, birleştirme geometrisine ve servis şartlarına bağlıdır. Alaşım elementlerinin kaybı genellikle akma mukavemetinde önemli bir azalmaya

sonuçlanmaz fakat bu her uygulama için belirlenmelidir. Isıl işleme tabi tutulamayan alüminyum alaşımlarının (1XXX, 3XXX ve 5XXX) elektron ışın kaynağı tüm gaz tungsten ark kaynaklarının özelliklerine eşit akma mukavemeti verimliliği % 100 dür. Bazı alüminyum alaşımlarının elektron ışın kaynağının tipik özellikleri Tablo 3.6’da verilmiştir (Welding Handbook, 1996).

Tablo 3.6. Elektron ışın kaynağı yapılmış alüminyumun ile ana metal özelliklerinin karşılaştırılması (Welding Handbook, 1996)

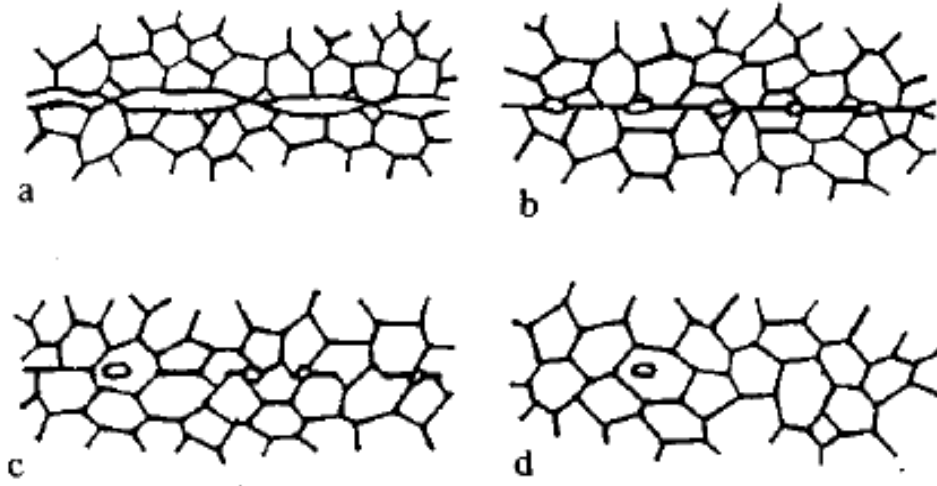
Ana Metal	Numune	Ortalama Çekme Akma Mukavemeti MPa	Ortalama Mukavemeti MPa
Isıl İşlem Görmeyen Alaşımlar			
5083-Q	BM	290	145
	AW	261	149
	AW	252	145
5456-H	BM	317	228
	AW	310	265
2219-T87	BM	476	379
	AW	317	228
6061-T6	BM	310	276
	AW	238	199
	AW	210	154
7039-T6	BM	418	356
	AW	298	256
	WHT	309	305
7039-Q	BM	228	113
	AW	227	116
7075-T6	BM	524	462
	AW	348	299
	WHT	483	416
BM: Ana malzeme, AW: Kaynaklanmış numune , WHT: Isıl işlem uygulanıp kaynaklandıktan sonra tekrar ısıl işlem uygulanmış numune			

3.14. Alüminyum ve Alaşımlarının Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynağı, birleştirilmek üzere esleşmiş iki yüzeyin, malzemelerin ergime sıcaklıkları altındaki bir sıcaklıkta, malzemelerde makroskobik plastik deformasyon

oluşturmayan bir basınç altında, katı hal difüzyonu yoluyla malzemeler arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzemenin özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek kadar bir sürede tutulmasıyla yapılan birleştirmedir (Dikbaş, vd., 2009).

Difüzyon kaynak mekanizması ile ilgili günümüze kadar birçok model sunulmakla beraber genelde üç aşamalı mekanizma kabul görmüştür. Bu üç aşamalı mekanizma Şekil 3.18'da gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Difüzyon kaynağının üç aşamalı mekanizması a. Yüzey pürüzlerinin başlangıç teması b. Birinci aşama deformasyon ve sınır bağ düzeni c. İkinci aşama tane sınırı göçü ve gözeneklerin yok edilmesi d. Üçüncü aşama hacim difüzyonu ve gözeneklerin elimine edilişi (Kurt, 1997)

Birleştirilecek yüzeylerin birbirine teması sağlanıp kaynak için gerekli sıcaklık ve zamana ulaşılması ile yüzeyler arasında temas alanı artar. Kaynağın birinci aşamasında yüzeydeki pürüzlülüklerde akma ve sürünme mekanizmaları ile ara yüzeyde büyük bir alanda temas sağlanır. Bu aşamanın sonunda birleşme genelde tane sınırlarında oluşur. Basıncın etkisi ile yüzeydeki oksit kırılarak oksitlerin kırılmış olan noktalarından atom akışı başlar. İkinci aşamada difüzyon deformasyondan daha önemlidir. Birçok gözenek bu aşamada tane sınırı difüzyonu neticesinde kaybolur.

Gözenekler tane sınırı göçü ile birleşme yerinden tane içine geçer ve tane içinde oluşur. Bunların tane sınırını hareketsiz hale getirme etkisi azdır. Başlangıçta düz olan birleşme çizgisi üçlü noktalarda bir malzemenin diğerine birkaç mikron kadar nüfuz etmesi ile eğrilir. Birleşme sınırı hareket ederken geride kalan gözenekler tanelerin içerisinde kalır ve burada tane sınırı ile temas alanını kaybederler. Difüzyon işlemleri bu gibi boşlukları küçülterek ortadan kaldırmaya yardımcı olur.

Üçüncü aşama, birleşmenin ve birleştirilecek parçalar arasındaki atomik bağın tamamlandığı aşamadır. İkinci aşama sonunda tane sınırlarından yok edilemeyen tane içine taşınan gözenekler bu aşamada hacim difüzyonu ile büyük oranda yok edilir. Yok edilemeyen gözenek miktarının oranı kaynak sıcaklığı ile ilişkilidir (Kurt, 1997).

Alüminyum alaşımlarının difüzyon kaynağında yüzeydeki oksitlerin dağıtılması ve çözünmesi sağlanmalıdır. Kaynak mukavemeti ve birleşme kolaylığı (gümüş, bakır veya altın-bakır alaşımı gibi) bir diğer metalden ince ara tabaka ile sağlanır. Sıcaklık, basınç ve zaman geniş aralıklarla kullanılabilir. Kaynak vakumda veya soy gaz atmosferinde gerçekleştirilmelidir (Welding Handbook, 1996).

3.15. Alüminyum ve Alaşımlarının Yakma Kaynağı

Yakma alın kaynağında kaynak edilecek parçalar, çeneler aracılığıyla sıkıştırılır. Bu çeneler kaynak makinesinin sekonderiyle bağlantılı olup kaynak akımının sürekliliğini sağlarlar. Kaynak işlemi aşağıdaki şekilde yapılır : (Anık, 1996)

- Parçalar birbiri ile temas etmeden, çeneler arasına sıkıştırılır.
- Transformatöre, dolayısıyla parçalara akım uygulanır.
- Hareketli tabla yavaş yavaş hareket eder.
- Parçaların temas noktalarında kıvılcımlar çıkarak ergitme baslar. Böylece parçaların alınları kaynak sıcaklığına ulaşır.
- Tablanın ani hareketiyle birbirlerine temas eden alınlarda kaynama oluşur.

Bütün alüminyum alaşımları yakma kaynağı işlemi ile birleştirilebilir. Bu işlem özellikle benzer kesitli iki parçanın alın ve köşe birleştirmelerinin yapılması için tasarlanmıştır. Yakma kaynağı alüminyumla bakırın birleştirilmesinde kullanılabilir (Welding Handbook, 1996).

Alüminyum alaşımı çubuk ve borular, bakır çubuk ve borular ile yakma kaynağı ile kaynatılabilirler. Alüminyum alaşımlarının yakma kaynağında kullanılan kaynak makinaları çeliklerin yakma kaynağında kullanılanlara göre daha büyük transformatör kapasitesi gerektirir (Metals Handbook, 1971).

3.16. Alüminyum ve Alaşımlarının Lazer Işın Kaynağı

Lazer sistemi esas olarak optik resonatör (lazer kafası) (Şekil 3.19) ve kumanda düzenli enerji kaynağından oluşur. Lazer kafasının içerisine gönderilen enerjinin bir bölümü, lazer aktif madde (ortam) tarafından hacim ve zamana bağlı olarak elektromanyetik bir ışına çevrilir. Aktif madde katı, sıvı ya da gaz şeklinde olabilir. Sıvı hal lazeri, malzeme işlemek üzere şimdiye kadar hiç kullanılmamıştır.



Şekil 3.19.Lazer kafası

Lazer ışını ile kaynak, bir ergime kaynağıdır. Güç yoğunluğu, malzeme kuvvetle buharlaşmadan ergiyecek şekilde ayarlanmalıdır. Teorik olarak ek metal kullanılmadan kaynak yapıldığı için, parçalar birbirlerine tam olarak yaklaştırılmalıdır.

Ağızlar arasındaki mesafe ergimiş banyo genişliğinin 1/5 i kadar olmalıdır. Ergimiş banyo genişliği ise, 100 mikron civarındadır (Metals Handbook, 1971).

Enerji göndermenin ve zamana bağlı kumandanın basitliği nedeniyle hemen hemen bütün malzemelerin birbirleriyle kaynak edilebilmeleri, iyi bir şekilde otomatize edilebilir. İş parçasının üzerine hiçbir kuvvetin etkisinin olmayışı, atmosferde çalışma olanağı oluşu, hiçbir takım aşınması olmayışı, büyük çalışma aralıkları olanağının varlığı, ısının etkisi altındaki bölgelerin darlığı ve zor ulaşılan yerlerde kaynak yapma olanağı lazer kaynağının üstünlükleridir (Anık, 1996).

Alüminyum alaşımlarının kaynağında toplam ısı girdisinin azalması yararlı etki yapmaktadır. Neredeyse tüm endüstriyel alüminyum alaşımları çökelme sertleşmesi ya da deformasyon sertleşmesi ile sertleştirilmektedir. Ark kaynağı süresince, IEB (ısı etkili bölge) da ulaşılan sıcaklık; çökelme sertleşmeli alaşımlarda bölgesel aşırı yaşlanma veya deformasyon sertleşmeli alaşımlarda bölgesel yumuşama olması için yeterlidir. Bu aşırı yaşlanmanın veya yumuşamanın etkisiyle ana metal özelliklerine kıyasla IEB' in mekanik özelliklerinin bozulmasına sebep olur. Bu bozulma önemli olabilir. Ark kaynağı uygulanmış yüksek mukavemetli 2XXX serisi alaşımlarda mekanik özelliklerin % 50 ye kadar düşüşü sık görülür.

Ark kaynağıyla kıyaslandığında lazer ışın kaynağında görülen daha dar kaynak ve IEB daha az yaşlanmış ya da yumuşamış metal hacmiyle sonuçlanır. Bu aynı kalınlıktaki ark kaynağına göre lazer ışın kaynağının enine çekme testlerinde daha yüksek akma ve çekme mukavemeti göstermesiyle sonuçlanır. IEB' nin çok dar oluşu da bir dezavantajdır, mekanik özelliklerdeki uyumsuzluk (yani, kuvvetli ana metale kıyasla daha zayıf IEB) aşırı şekilde bölgeseldir. Sonuç olarak, lazer ışın kaynağının enine çekme testi tipik olarak kaynak veya IEB de sünekliğin olmamasından değil ama tüm deformasyonların IEB de meydana gelmesinden dolayı düşük uzama gösterir. Bu; parçalar lazer ışın kaynağı ile birleştirildiğinde problem olur. Kopma IEB da meydana gelir. Lazer ışın kaynağının darbe ve yorulma özelliklerinde deformasyonun bölgeselleşmesi zıt bir etkiye sebep olur. Alüminyum alaşımlarının lazer ışın kaynağında temel zorluk Nd: YAG ve CO lazerlerle sırasıyla 1,06 dm veya 10,5 dm dalga boyu ışık yayınımalarında alüminyumun iyi

birleşmemesidir. Bir diğer deyişle lazer ışın enerjisi alüminyum tarafından emilmek yerine yansıtılmak eğilimindedir bu da metalin ergimesi için gerekli olan enerjiyi sağlamaz. Parlatılmış alüminyum yüzeylerde % 90 kadar çok lazer enerjisi yansıtılır.

Ek olarak bir kez kaynak havuzu ve anahtar deliği oluşturulduğunda yansıtıcılık çarpıcı biçimde düşer ve bu güç yoğunluğunun çok yükselmesi ile sonuçlanır. Daha önceki lazer ışın kaynağı kontrol sistemleri yansıtıcılıktaki bu değişimi sağlayamıyorlardı.

Kontrol sistemlerinin daha fazla gelişimine ihtiyaç duyulmaktadır. Alüminyumun yansıtıcılığını azaltmanın bir diğer yolu; yüzeyi mekanik veya kimyasal pürüzlendirmeyele değiştirmek, çeşitli emici boya kaplamaları ile kaplamak veya alüminyum yüzeyin anotlanması ve boyanmasıdır. Bu zorluklar alüminyumun diğer yapısal malzemelere göre lazer ışını ile kaynaklanmasını zorlaştırır. Bu zorluklara rağmen uzay endüstrisinde birçok uygulamada 2XXX ve 6XXX serisi alaşımlar başarıyla kaynaklanmaktadır. Otomotiv sanayisinde de ince 2XXX ve 5XXX alaşım serisi levhalar başarıyla kaynatılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının lazer ışın kaynağı uygulamaları daha fazla ekipman ve proses gelişimi gerektirmesine karşın lazer ışın kaynağının alüminyum alaşımlarında kullanımı giderek artmaktadır (Welding Handbook, 1996).

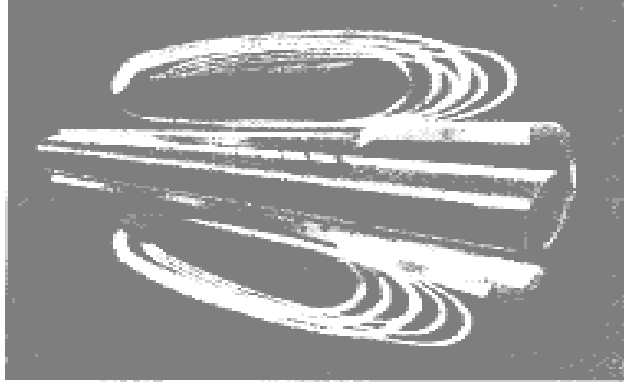
3.17. Alüminyum ve Alaşımlarının Manyetik Puls Kaynağı

Kesikli manyetik alan metodunun kaynak konstrüksiyonda kullanılan diğer geleneksel yöntemlere avantajları oldukça uzun zamandır bilinmektedir. Fakat yakın zamana kadar bu kaynak cihazlarının ticari olarak üretilmeleri mümkün olmamıştır. Bir katı hal kaynak metodu olan bu yöntem patlamalı kaynak yöntemine benzer bir yöntem olup, günümüzde bu yöntemi kullanan kaynak makineleri ticari olarak üretilmektedir.

Bu yöntemde, paralel veya aralarında belli bir açı olan iki metal sac sargı arasına yerleştirilmektedir (Şekil 3.20). Sargıdan yüksek akım geçirilerek iki manyetik alan

oluşturulmaktadır. İki manyetik alanın birbirini itme kuvvetinden dolayı saclar uygulanan akımın karesi ile orantılı yüksek bir hızda birbirlerine çarpmaktadır. Yüksek hızdaki bu çarpma dolayısıyla plastik deformasyona uğrayan saclar kaynak olmaktadır.

Bu yöntem ile iki parçanın kaynak edilebilmesi için, iki parçanın iletken olması ve yüksek hızda birbirine çarpması ve bu çarpma esnasında iki yüzeyin atomik temasının sağlanması gerekmektedir. Bu kaynak yönteminde elde edilen çarpma hızı, manyetik basınca, hızlandırılan malzemenin kütesine, malzeme özelliklerine ve kaynak yapılacak parçalar arasındaki mesafeye bağlıdır.

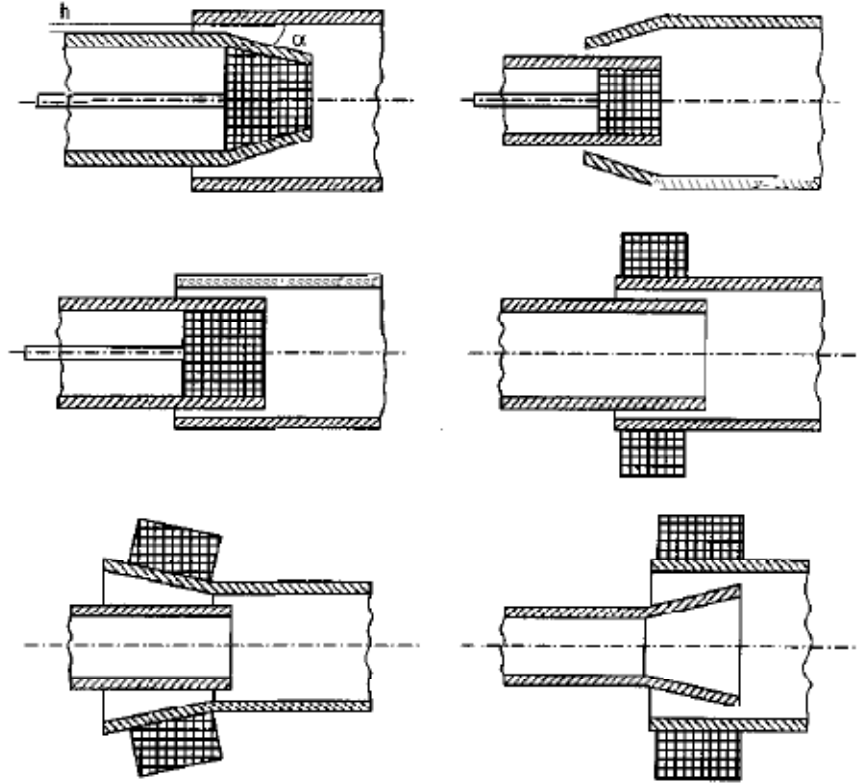


Şekil 3.20. Manyetik puls kaynağının şematik gösterimi (Çam, 2001)

Bu yöntem ile boru tipi parçaların bindirme kaynağını yapmak mümkün olup, şu anda birleştirilebilen boru geometrileri silindirik, eliptik ve kare kesitlidir.

Şekil 3.21' de bu yöntemin farklı uygulamalarını şematik olarak göstermektedir. Bu yöntemin en önemli avantajı, diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri mümkün olmayan Al-alaşımı parçaların birbiri ile veya diğer malzemelerden imal edilmiş parçalar ile kaynak edilebilmesidir. Elde edilen kaynak kalitesi oldukça yüksek olup, bu yöntemle elde edilen kaynaklarda kaynak bölgesi kesitinin daha büyük olmasından dolayı hasar kaynak bölgesi dışında olmaktadır. Bu kaynak metodu ile birleştirilmesi mümkün malzeme kombinasyonlarına örnek olarak Al-Al, Al-Mg, Al-paslanmaz çelik, Al-çelik, Al-pirinç ve Al-Cu verilebilir. Bu kombinasyonlara ilaveten diğer bazı malzeme kombinasyonlarında da bu yöntem kullanılabilir. Bu

yöntem ile birleştirilen parçalarda, patlamalı kaynağına benzer bir kaynak bölgesi elde edilmektedir (Çam, 2001).



Şekil 3.21. Boru tipi parçaların bindirme kaynağında çeşitli manyetik puls kaynağı uygulamalarının sematik olarak gösterilmesi. (h: kaynak yapılacak parçalar arası mesafe) (Çam, 2001)

3.18. Alüminyum ve Alaşımlarının Soğuk Basınç Kaynağı

Soğuk basınç kaynağı oda sıcaklığında ya da hafif sıcaklık uygulayarak basınç altında katı halde parçaları birbirine birleştirmektir. Parçaların en düşük yeniden kristalleşme sıcaklığı, en yüksek sınır sıcaklık olarak alınır. Metallerin yüzeyi çevre koşullarında her zaman yağ, oksit, sülfür ya da gaz gibi bir tabaka ile kaplandığından, bu tabakanın kaynak işleminden önce temizlenmesi gerekir ve kaynak sırasında uygulanan basınçla şekil değiştirmelidir (Anık, 1996).

Soğuk kaynak ısı girdisi olmadan meydana gelir. Kaynatılacak iki parçaya önemli derecede plastik deformasyonla sonuçlanan bir dış basınç uygulanır. Soğuk kaynak

için temel gereksinim metallere en az birinin sünekliğinin yüksek olması ve soğuk işlem sertleşmesinin önemli derecede olmamasıdır. Tüm alın ve bindirme birleştirmeler soğuk kaynakla kaynatılabilir (Welding Handbook, 1996).

Isıdan etkili bölge olmadığı için alın birleştirme kaynak ana malzemeyle aynı yada yakın derecede sağlamdır. Birçok alüminyum alaşımı çatlak hassasiyetleri yüzünden ark kaynağı ile kaynaklanamazken soğuk kaynak ile başarıyla kaynaklanabilir. Örneğin alın kaynaklı 2024 ve 7075 alaşımları başarıyla soğuk kaynak yapılabilir fakat bindirme kaynağı yapılamaz.

Alın ve köşe birleştirmeler tel, çubuk, boru ve basit ekstrüzyon şekillerindeki alüminyum malzemelere yapılabilirken; bindirme birleştirmelerin kaynağı levha malzemelere yapılabilir. Bindirme birleştirmelerin kaynağında kaynak bölgesinde kalınlıkta yaklaşık %70 azalma gerektirir ve sadece düşük dayanımlı 1XXX ve 3XXX serisi alaşımlar için uygundur. Bu kaynak iyi kayma mukavemeti sağlar fakat eğme tipi bir yüklemeye maruz kaldığında iyi bir performans göstermez (Welding Handbook, 1996).

3.19. Alüminyum ve Alaşımlarının Sürtünme Kaynağı

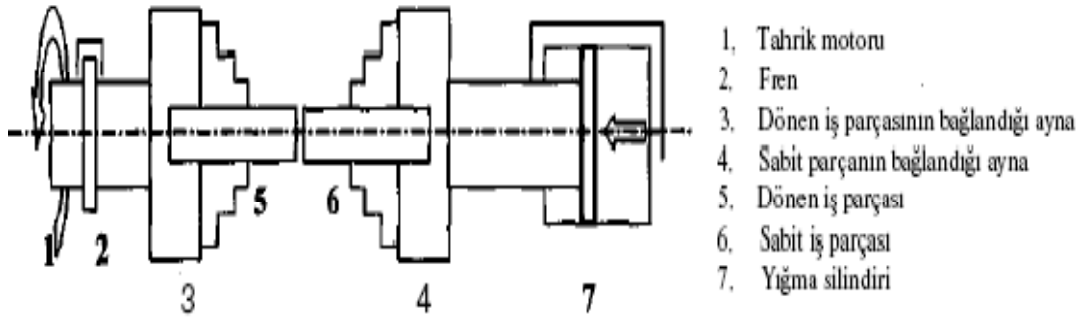
Sürtünme kaynak yöntemi, özellikle malzeme ve enerji tasarrufu sağlaması bakımından 1950 yılından sonra kendisine özel kaynak yöntemleri içerisinde yer bulmuştur. Sürtünme kaynağı, dışarıdan hiçbir mekanik enerji veya ısı kullanılmadan parçaların sürtünmeden oluşan mekanik enerjiyi, termal enerjiye dönüştürmesiyle parçaların birleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Sürtünme kaynağında parametrelerin belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır. Bu kaynak türündeki en önemli parametreler; sürtünme süresi, sürtünme basıncı, yığma süresi, yığma basıncı ve devir sayısı olarak sayılabilir. Parçalar kaynak edilirken birleştirilecek parçaların yüzeylerinin de yağ ve oksitten arındırılması kaynak yapılırken olumlu bir işlem olacaktır.

Sürtünme kaynak yöntemi genel olarak;

— Klasik (Sürekli Tahrikli) Sürtünme Kaynağı

— Volanlı (Atalet) Sürtünme Kaynağı şeklinde ikiye ayrılabilir.

Klasik (Sürekli Tahrikli) sürtünme kaynağında (Şekil 3.22) birleştirilecek parçalardan biri eksen etrafında döndürülmekte diğeri ise aksenal yönden hareketli olarak dönen parçaya belirli bir süre bastırılmaktadır. Sürtünen yüzeylerde yeterli sıcaklığa erişilince dönme işlemi ani olarak durdurulurken basınç artırılmakta ve yumuşak malzeme bu yüksek basınç altında soğumaya bırakılmaktadır. Açıklamadan da anlaşılacağı gibi basınç iki kademeli olarak uygulanmaktadır. Basıncın birinci kademesine "Isınma veya Sürtünme Basıncı" ve ikinci kademesine de "Yığıma veya Dövme Basıncı" denir (Akata vd., 2003).



Şekil 3.22 Sürekli tahrikle sürtünme kaynağı (Akata vd., 2003)

Normal olarak kaynak edilmez diye bilinen bazı yüksek mukavemetli ısıl işlem kabul eden alüminyum alaşımları, sürtünme kaynağıyla birleştirilebilirler. Mukavemette bir kayıp olmadığı gibi kaynak bölgesi tamamen sünek olur. Böylece de mutlak olarak kütükten talaşlı işlemeye çıkarılan birçok parça sürtünme kaynağı ile imal edilebilir ve malzeme ve işçilikten tasarruf sağlanır (Oğuz, 1991).

Birçok metalsel malzeme ve kombinasyonunun sürtünme kaynağı için, uygulamalar ve deneylerden elde edilmiş verileri mevcuttur. Sürtünme kaynağının özelliği, ergitme kaynağı yöntemlerinin uygulanamadığı malzeme ve malzeme kombinasyonlarında da başarıyla kullanılmasıdır. Diğer kaynak yöntemleri için kaynağa uygunluğu belirleyen kriterler, sürtünme kaynağı için her zaman kullanılamaz. Bunun nedeni, birleştirme sıcaklığının düşük, kaynak süresinin kısa ve birleştirmenin bir kuvvet altında yapılmasıdır. Buna örnek olarak çeliğin (alaşım)

veya alaşımsız) alüminyum ve bakır ile toz metalürjisi ile üretilen parçaların ve seramiklerin (Al_2O_3 , ZrO_2) alüminyum ile sert ve ağır metallerin diğer metallerle sürtünme kaynağı gösterilebilir (Anık ve Vural, 1993a).

Çatlak hassasiyeti yüzünden ark kaynağı ile kaynaklanamayan 7XXX serisi alaşımlar da dahil olmak üzere neredeyse tüm alüminyum alaşımları sürtünme kaynağı ile kaynaklanabilir. Sürtünme ısı ile yumuşayan metal kaynak bölgesinden uzaklaştırılır ve yüksek mukavemetli ısıl işlem görebilen alüminyum alaşımlarında bile birleşmenin mukavemeti esas metalinkine yaklaşır. Kontak yüzeyindeki alüminyum oksit kırılır ve birleşmeden uzaklaşır. Kaynak öncesi temizleme diğer kaynak proseslerinde olduğu kadar kritik değildir.

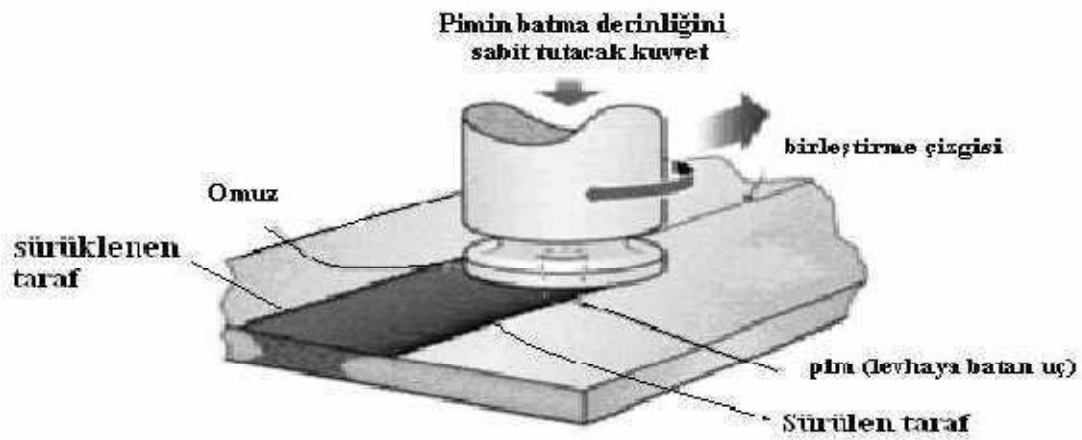
Tüm malzeme kombinasyonları için mümkün olmamasına rağmen alüminyum alaşımları birçok başka metal ile sürtünme kaynağı ile kolay bir şekilde kaynatılabilirler. Elektrik endüstrisinde kullanılan alüminyumun bakır alaşımları ile kaynağı ve boru sistemleri ve basınçlı kapların geçiş bağlantılarında kullanılan alüminyumun paslanmaz çeliklerle kaynağı en yaygın iki kaynak kombinasyonudur (Welding Handbook, 1996).

3.20. Alüminyum ve Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Sürtünme karıştırma kaynağı, sürtünme kaynak yönteminin geliştirilmiş bir başka yöntemidir. Bilindiği gibi sürtünme kaynağı, genellikle silindirik kesitli malzemelere uygulanan katı faz kaynak yöntemidir. Bir katı faz birleştirme işlemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak kabiliyeti zor olan malzemelerin birleştirme işlemleri için kısa kaynak süresi, minimum yüzey hazırlama ve otomasyon kolaylığı gibi kendine özgü avantajlarından dolayı uygun bir alternatif kaynak yöntemidir. Sürtünme karıştırma kaynağının endüstride kullanımı hızla artmaktadır. Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığı zaman maliyet çok düşük kalmaktadır. Günümüzde yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerinde de (alaşımsız çelikler, paslanmaz çelikler, v.s) bu yöntemle birleştirilmesi başarılmıştır. Yüksek ergime sıcaklığına sahip

metallerde güçlü tezgahlara, özel takım makinelerine ve takım tutuculara ihtiyaç duyulmaktadır.

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi 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. Şekil 3.23' de sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi verilmiştir (Şık vd., 2010).



Şekil 3.23. Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi (Çam, 2005)

3.21. Alüminyum ve Alaşımlarının Robot Kaynağı

3.21.1. Giriş ve tanımı

Robotların şimdiye kadar birçok farklı tanımı yapılmıştır. Webster sözlüğünde robot, genellikle insanların gerçekleştirdikleri işlevleri yerine getiren otomatik araçlar olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu tanıma göre mesela bir çamaşır makinesi de robot sayılabilmektedir.

Robotun, Amerikan Robot Enstitüsü tarafından yapılan tanımı ise, malzemelerin, parçaların ve araçların hareket ettirilebilmesi için tasarlanmış olan çok fonksiyonlu

ve programlanabilir manipülatör veya farklı görevleri yerine getirebilmek için değişken programlı hareketleri gerçekleştirebilen özel araç şeklindedir.

Robotlar verilen bir dizi görevleri önceden programlanmış hareketler aracılığıyla malzemeleri, materyalleri, el aletlerini veya özel donanımları hareket ettirmek amacıyla tasarlanmış çok işlevli manipülatörlerdir.

Sanayi robotunun en kapsamlı tanımı ve robot tiplerinin sınıflandırılması ISO 8373 standardında belirlenmiştir. Bu standarda göre bir robot şöyle tanımlanır; Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya hareket edebilen birden fazla motorlu makine veya el aletine robot denir (Türkcad, 2011).

Robot bir kaide üzerinde en az bir kol, tutma organları (genellikle pensler, vantuzlar veya elektromıknatıslar), pnomatik, hidrolik veya elektriksel sensörler ile konumu ve basınç algılayıcılarıyla, bilgi işlem organlarıyla donatılmış kontrollü mekanik manipülatörlerdir.

Yukarıdaki tanımlarda da görüldüğü gibi robot; canlılara benzer işlevleri olan ve davranış biçimleri sergileyen makinelerdir.

Bilgisayar destekli tasarım ve buna paralel olarak bilgisayar destekli üretimin gelişmesiyle endüstriyel robot ihtiyacı ve kullanımı artmıştır. Robotları diğer makinelerden ayıran en önemli özellik robotların birden fazla programlanabilmeleri ve mekanik sistemlerinin yanında kontrol sistemi içermesidir. Kısacası robot bilgisayar kontrollü endüstriyel manipülatördür. Robot bilimi elektrik, elektronik, makine, bilgisayar ve matematik mühendisliğinin içine girdiği disiplinler arası bir bilim dalıdır.

Tüm robotların sahip olduğu uzuv ve eklemlere göre bir çalışma uzayı vardır. Bu çalışma uzayı robotun uç işlevcisinin serbest olarak hareket edebileceği alandır. Robot manipülatörünün eklem açıları yardımıyla ana çerçeveye göre uç işlevcisinin konumu ve yöneliminin bulunmasına ileri kinematik, uç işlevcisinin konum ve

yönelim bilgileriyle robot manipülatörünün eklem değişkenlerinin bulunmasına ise ters kinematik denir. Kinematik nesnelere hareketiyle ilgilenir. Robot kinematiği ile robotun kuvvet, hız ve ivme analizi yapılabilir.

Bir robot birbirinden bağımsız olarak hareket edebilen prizmatik (kayar) veya döner tip eklemlerden ve bu eklemleri birbirine bağlayan uzuvlardan oluşur. Döner eklem iki uzuv arasında dönme hareketine izin verir. Prizmatik eklem ise iki uzuv arasında doğrusal harekete izin verir. Dönel eklemlerde dönme hareketinden dolayı oluşan yer değiştirmeye eklem açısı, prizmatik eklemlerde uzuvlar arası doğrusal hareketten oluşan yer değiştirmeye ise eklem kayması denir. Dönel eklemlerde eklem değişkeni eklem açısı, prizmatik eklemlerde ise eklem değişkeni eklem kaymasıdır.

Manipülatörler birbirlerine bağlanmış rijid cisimlerin açık uçlu kinematik zinciri olarak kabul edilirler. Bu zincirin bir ucu ana çevreye bağlı iken diğer ucu uç işlevcisine bağlıdır. Sonuç olarak manipülatörün hareketi her bir uzuvun diğerine göre hareketlerinin toplamıdır. Bu kinematik zinciri oluşturan ifadeler robotun konum ve yönelimini içeren homojen dönüşüm matrisinden oluşur. Manipülatör hareketini belirlemek için öncelikle rijid cismin uzaydaki yönelimi ve konumunun belirlenmesi gerekir. Rijit cismin Kartezyen uzaydaki yönelimi dönme matrisi ile rijit cismin konumu ise konum vektörü ile bulunur. Üç boyutlu uzayda herhangi bir noktaya ulaşmak için 6 serbestlik derecesi yeterlidir. Serbestlik derecesi altıdan fazla olan robotlarda artıklık meydana gelir. Artıklık bir eklemin taradığı alanı başka bir ekleminde taraması olarak tanımlanabilir (Bingül, Z., Küçük, S., 2005).

3.21.2. Endüstriyel robotların sınıflandırılması

Günümüzde kullanılan robotların çok çeşitli sınıflandırma şekilleri yapılmaktadır (Tablo 3.7) Bunlardan bazıları şöyledir:

- Mekanik Yapılarına göre Robotlar (Kartezyen Robotlar, Silindirik Robotlar
- Güç kaynağının yapısına göre (Pnömatik, Hidrolik, Elektriksel vb.)

Hareketli ve Sabit robotlar.

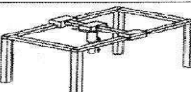
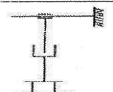


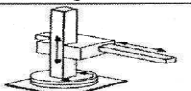
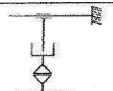


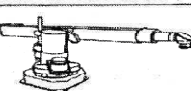
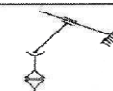


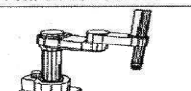
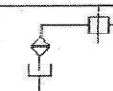



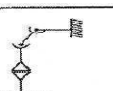



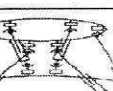


- Yeteneklerine göre (Ardışık kontrollü robotlar, adaptif, zeki, tekrarlayan vb.)

— Kontrol Yöntemlerine göre (Noktadan noktaya, Sürekli yörüngeli, Kontrollü yörünge izleyen vb.) (Anık ve Vural, 2000).

3.21.3. Mekanik yapılarına göre endüstriyel robotların sınıflandırılması

1. Kartezyen Robotlar
2. Silindirik Robotlar
3. Mafsallı Robotlar
4. SCARA Robotlar
5. Küresel Robotlar
6. Paralel Robotlar (Anık ve Vural, 2000).

Tablo 3.7. Endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılması (Groover, 1986)

Robot	Eksenler		Örnekler
	Prensip	Kinematik Yapı	
 Kartezyen Robot			
 Silindirik Robot			
 Küresel Robot			
 SCARA Robot			
 Mafsallı Robot			
 Paralel Robot			

3.21.4. Robot ve çalışma düzlemleri

İnsanın fiziksel gücü sınırlı olduğundan fazla fiziksel güç gerektiren işler için insan tarafından yönetilen makinalar geliştirilmiştir. Sanayi çağı bu makinaların çağıdır.

Ancak bu makinelerin kendi kendine karar verme kabiliyeti yoktur ve çalışmalarını için genellikle sürekli (atanmış) bir kullanıcı gerekmektedir. Teknoloji alanındaki gelişmeler arttıkça insanın yerini alacak, kendi kendini kontrol edebilen otonom sistemler üzerinde durulmuştur. Bu şekilde insan sadece kendinde var olan düşünebilme yeteneği sayesinde onun yerine çalışacak, belli bir iş yapma konusunda uzman, mekatronik elemanlar üretmiştir. Zamanla bu kavram genişlemiş ve bir işlemi başından sonuna kadar insan müdahalesi olmadan gerçekleştirebilecek robotlu otomasyon sistemleri ortaya çıkmıştır. Bilgi çağının ürünü olan bu karmaşık sistemler, çeşitli algılama elemanları yardımıyla çevresinden haberdar olan, çevreden gelen bu verileri ve kendi bilgi tabanındaki verileri kullanarak karar verebilen ve herhangi bir operatör yardımına gerek duymadan kararların sonuçlarını uygulayabilen sistemlerdir.

Sanayi robotlarının temel kullanım amacı, üretim maliyetlerini düşürürken üretkenliği ve üretim kalitesini arttırmak, yapılması zor olan, insana fiziksel olarak zarar veren yorucu işlerde, sağlıksız ve zararlı (kimyasal madde, yüksek ısı, yüksek gürültü, titreşim, vs. bulunan) ortamlarda çalışmayı gerektiren uygulamalarda insanın yerine makina kullanmaktır. Bu sayede insan kendine yakışan-bilek gücü değil, beyin gücü gerektiren işlere kaydırılabilecektir.

Endüstriyel robotlar için ilk teorik çalışma 1955 yılında Denavit ve Hartenberg'in geliştirdikleri, kendi adlarıyla anılan homojen transformasyon matrisleridir. İlk endüstriyel uygulama ise 1961 yılında kalıp dökme makinasının bakımında kullanılan Unimate robotudur. O tarihten günümüze kadar robotlar, parça yükleme/boşaltma, parça işleme, kaynak, boyama, montaj, test gibi birçok farklı uygulama alanında kullanıla gelmiştir (Gök, Afyon, 1999).

3.21.5. Robot sistemleri

Endüstriyel uygulamalarda robotlar, her zaman daha büyük bir sistemin parçası olmak durumundadırlar. Böyle bir sistemde robotun yanında düşünülmesi gereken diğer parametreler, tanımlanması gereken hedefler, sistemin sağlaması gereken

şartlar ve gerekli bileşenler belirlenmelidir. Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'nün (IEEE)' nin tanımına göre sistem, "Birbiriyle etkileşim içinde bulunan farklı yapılardan veya alt bileşenlerden meydana gelen ve bir bütünlük oluşturan tümleşik yapıdır".

Diğer bir görüş açısına göre ise sistem belli bir amaca hizmet eden, yapısı ve sınırları tanımlanmış bir varlıktır. Birlikte çalışan alt sistemlerin veya parçaların toplamı sistem olarak tanımlanabilir. Sistemler, bazı özel fonksiyonları gerçeklemek için alt sistemlerden oluşabilirler.

Robotlu sistemler için bunlar denetim, görüntü algılama, konveyör, vs. gibi alt sistemler olabilir. Alt sistemler, kendi içlerinde bir bütün olmakla birlikte daha büyük bir sistemin parçasıdır. Alt sistemler, sistem hiyerarşisi içinde birden fazla sistemin parçası olabilirler. Robotlu bir sistem planlanırken, birinci adım daima sistemin sağlaması gereken amaçların belirlenmesidir. Sonraki adım, amaçların analizi sonucunda, sistemin istenen hedeflere ulaşması için sağlaması gerekli olan şartların tanımlanmasıdır. Sistem gerekliliklerinin belirlenmesi için incelenmesi gerekli olan konular ana başlıklar halinde şöyle sıralayabiliriz :

Sistemin kurulacağı çevre şartları: Robotun hangi şartlardaki bir ortamda çalışacağı incelenmelidir. Ortamın sıcak, nemli veya tozlu olup olmadığı, robot kollarının serbest olarak hareket imkanına sahip olup olmadığı, diğer ekipmanlar ve araçlar tarafından sınırlanıp sınırlanmadığı belirlenmelidir (Gök ve Afyon, 1999).

Hareket alanı: Kol hareketiyle ilgili aralıklar genelde şu şekilde belirlenir, 300 mm.'den küçük; 300-1000 mm. arası, 1000-3000 mm. arası ve 3000 mm.'den büyük. Bütün robotun hareketli (mobil)olmasının gerekli olup olmadığı, sadece kol hareketinin yeterli olup olmayacağı incelenmelidir.

Çalışma hızı: Kol, bilek, gripper ya da robotun diğer parçaları ne kadar hızlı olmalıdır, mm/s cinsinden lineer hareketler ve derece/s cinsinden dönel hareketler dikkate alınmalıdır. Burada hız aralıkları şu şekilde düşünülebilir :

Düşük Hız: 300 mm/s'den veya 60 derece/s'den daha küçük.

Orta Hız: 300-1500 mm/s veya 60-180 derece/s

Yüksek Hız: 1500 mm/s'den veya 360 derece/s'den daha büyük Gerekli kontrol tipi:

Basit kuvvet kontrolü: Tek eksen boyunca kuvvetin algılanması

Karmaşık kuvvet kontrolü: İki ya da daha fazla eksendeki kuvvetin algılanması.

Yüksek konum hassasiyet: 0.5 mm.

Hassas (kesin) konumlama: 0.05 mm.

Sensörlü kontrol: görüntü, dokunma ya da kuvvet sensörleri kullanarak.

Sensör gereklilikleri: Yaklaşım sensörleri, kontak sensörleri, basit görüntü işleme ve kompleks görüntü işleme aygıtları.

Diğer ekipmanlarla etkileşimler: Birçok uygulamada robotun parça taşıyan konveyörle senkronize olması, preslerde olduğu gibi bir başka makinanın işini veya başka bir robotla senkronize hareket etmesi gerekebilir (Gök ve Afyon, 1999).

3.21.6. Robotlu kaynak sistemleri

Ark kaynağı uygulamalarında kaynak robotlarının, insan operatörler yerine tercih edilmelerinin birçok sebebi bulunmaktadır. Ark kaynağında radyasyon, duman ve sıçrantıların meydana getirdiği tehlikeli ortamdan insanları kaynak robotları uzak tutabilmektedir. Ayrıca kaynak robotları, kaynakta hareketleri ve kaynak tabancasının yönlendirilmesini çok daha hassas ve yüksek tekrarlanabilirliğe sahip şekilde gerçekleştirebilmektedir. Bu gibi avantajlarından günümüzde özellikle otomotiv sektörü ve otomotiv yan sanayinde kaynak robotu kullanımı hızla artmıştır (Yumurtacı, 2009).



Şekil 3.24. Robotlu kaynak sistemleri (Yumurtacı, 2009)

Tüm ölçekteki üretici kuruluşlar bugünün uluslararası pazarında rekabet edebilir bir çizgi yakalamak için robota dayalı kaynak sistemlerini tercih etmektedirler. Bu tercihte olan üreticiler kaynak kalitesini, verimliliğini ve esnekliğini arttırmak ve müşterilerinin dinamik ihtiyaçlarını karşılamak gerektiğini fark etmektedirler. Robot kullanılarak yapılan kaynak göz önüne alınırsa, bu sistem, kullanılan kaynak telinin 1.5 katı kadar tekrarlanabilir hassasiyette kaynak kalitesinde parçalar içerir. Parçalar bu aralıkta tekrarlanabilir değil ise dokunma sensörü (Touch Sensor) veya herhangi bir dikiş izleme sistemi (Seam Tracker) veya ark sensörü (Arc Sensor) gerekecektir.

Ark sensörü yardımı ile sürekli kaynak çizgisini takip ederken çalışılan parçanın üretiminde meydana gelen hata, ısıl gerilme vs. bağlı olarak meydana gelebilecek sapmaları düzeltmek mümkün olur. Dokunma sensörü yardımı ile kaynak başlama noktası en iyi şekilde bulunabilir. Robot sistemi seçiminde diğer bir önemli ön adım da doğru kaynak prosesini ve uygulama ekipmanım seçmektir. Kaynak prosesinin seçimi kaynak görünümünü, kaynak genişliğini, ilerleme hızını, üretim kapasitesini ve parça kalitesini etkileyecektir. Elle kaynak yapılan benzer prosesler bazen robot sistemi tarafından yapılamayabilir. Bir robot parçalar arasında ayarlama yapamazken kaynakçı yapabilir (Gök ve Afyon, 1999).

Ve yine bir robot genellikle bir kaynakçıdan iki hatta dört kat hızlı şekilde kaynak yapabilecek ve sabit sonuçlar elde ederek çalışacaktır. Sonuçta hangi tip parçaların robotlu kaynak sistemiyle kaynak edilmesi gerektiğine karar vermek gerekir. Eğer parça listeniz çok geniş olursa bu sizi çok yüksek maliyetli bir robotlu kaynak sistemine götürür. Bunun için verilen parça ailesi içinden anahtar parçalar üzerinde odaklanmaya çalışılmalıdır. Bu, üreticiyi, robot sisteminin alınmasındaki finansal ayarlama da rahatlatacaktır. Sistemin baştan oluşturulan maliyeti ve sonradan basit sisteme eklenecek parçalarla oluşacak maliyeti arasında, finansal ömrü göz önünde bulundurularak bir optimum seçim yapmak gerekmektedir. Robot sistemi almaya karar vermek bir çok faktöre bağlı olacaktır. Bunlar;

- Robot tecrübesi
- Eldeki insan gücü

3.21.6.1. Manipülâtör:

Kaynak işleminin gerçekleşmesi için gerekli hareketleri sağlayan mekanizmadır. Kaynak işlemlerinde en çok kullanılan eklem konfigürasyonları 6-eksenli antropomorfik (veya Vertical Articulated) ve 5-eksenli hibrit (Hybrid Articulated) yapısında olan robotlardır. 6-serbestlik dereceli robotlar çalışma uzayı içinde kalan her türlü yörüngeyi izleyebilmektedir ve genellikle 3- boyutlu parçaların kaynakla imalatında kullanılır. 5-serbestlik dereceli hibrit robotlar ise hızlı ve düzlemsel (yatay) parçaların kaynağında tercih edilir.

Ark kaynağı işleminde genellikle hareket tekrarlama kabiliyetinin +0,1 ve -0,1 mm hata sınırında olması yeterlidir. Bir ark kaynağı robotunun yük taşıma kapasitesinin diğer robotlardaki kadar yüksek olmasına da gerek yoktur. Bu nedenle sanayide kullanılan ark kaynağı robotlarının büyük bir kısmı 4,5 ila 6 kg taşıma kapasiteli robotlardır (Gök ve Afyon, 1999).

3.21.6.2. Kontrol ünitesi:

Robot kaynak torcunun kaynak prosesi sırasında izlemesi gereken yörünge, öğretim (teaching) programı ile belirlenir. Kullanıcı, robotun izlemesi gereken yörünge üzerinde referans noktalarını (knotpoints) ve bu noktalardaki kaynak parametrelerini robotun kendi programındaki komutlarla belirler. Kontrol ünitesi de bu değerlere göre robotun izlemesi gereken yörüngeyi ve yapılacak kaynak işlemini öğrenmiş olur. Elde edilen bu verilere ve pozisyon algılayıcılardan gelen geri besleme sinyallerine göre robot mafsalları motorlarına uygulanması gereken dönme miktarı, hız ve moment değerleri robot kontrol ünitesi tarafından belirlenir. Kontrol ünitesinin robotun 6 eksenini kontrol edebilmesi yeterli gibi gözükmemektedir. Bununla beraber eğer sisteme yardımcı ekipman (pozisyoner, slider, 2. bir robot) eklenirse kontrol ünitesi ek bir eksen kartıyla bu isteğe karşılık verebilecek yapıda olmalıdır. 15 eksene kadar çıkarılabilen eksen kontrolü sağlayarak, bu isteği fazlasıyla karşılayabilecek kontrol sistemleri vardır.

3.21.6.3. Kaynak ekipmanları

Robotlarda ağırlıklı olarak CO₂, MIG, MAG ve TIG ark kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır. Bunların içinde de en çok uygulama alanı bulan yöntem MAG kaynağıdır. CO₂, MIG ve MAG ark kaynağı yöntemleri eriyen elektrotla kaynak, TIG kaynağı ise erimeyen elektrotla koruyucu gaz altında ark kaynağı metodudur. Koruyucu gaz, CO₂ ark kaynağında karbondioksit, MIG kaynağında saf Argon, MAG kaynağında Argon-CO₂ karışımı, TIG kaynağında saf Argon gazıdır.

Konvansiyonel tristörlü güç ünitelerine göre daha hızlı ark kontrolü ile çıkış akımı ve gerilimini daha hassas ayarlayabilen inverter kontrollü üniteler de mevcuttur. Bu üniteler ile ark başlama ve bitiş kabiliyeti iyileşir, kısa devre ark transferi rahatlıkla sağlanabilir. Herhangi bir frekans ve dalga formundaki darbeleri akım kontrolü ile dikiş yüzeyinin kontrolü ve metal transferinin dengeli yayılması sağlanabilmektedir (Gök ve Afyon, 1999).

3.21.6.4. Pozisyoner ve sliderlar

Robot kontrol ünitesi tarafından robotla senkronize olarak kontrol edilebilirler. Pozisyoner, dönel hareketleriyle kaynak edilecek parçaları tutarak istenen duruşa getirir. Pozisyonerler 2 eksenli olabilmektedir. Slider ise, üzerine monte edilen robotun çalışma uzayını arttırır. Robotun aksenal hareketlerle ulaşamayacağı veya ulaşırken zorlanacağı hareketlere ilave eksen imkanı sağlarken bir yandan da standart ve seri üretim için yardımcı olmaktadır (Gök ve Afyon, 1999).

3.21.6.5. Robotik gazaltı kaynak torc sistemi

Elektrotu ve koruyucu gazı kaynak bölgesine sevk etmek ve elektrik gücünü elektroda iletmek için kullanılır. Yüksek üretim işlerinde yüksek akımla çalışan ağır iş torclarından başlayıp, zor pozisyon kaynağında kullanılan düşük akımla çalışan hafif iş torclarına kadar değişen geniş bir aralıkta çeşitli torclar üretilmektedir. Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli bir şekilde soğutulması gerekir. Düşük akım

şiddetlerinde koruyucu gaz akımı bu soğutmayı yeterli bir şekilde gerçekleştirir. Kalın çaplı elektrotların, diğer bir deyişle 250A'den daha yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde gaz soğutması yeterli düzeyde olmaz. Bu nedenle 250A'in üstündeki kaynak işlemlerinde su soğutması kesinlikle gereklidir. Kaynak torcunun temel elemanları şunlardır:

Temas tüpü

Gaz memesi

Elektrot kılavuz hortumu ve gömleği

Gaz hortumu

Su hortumu

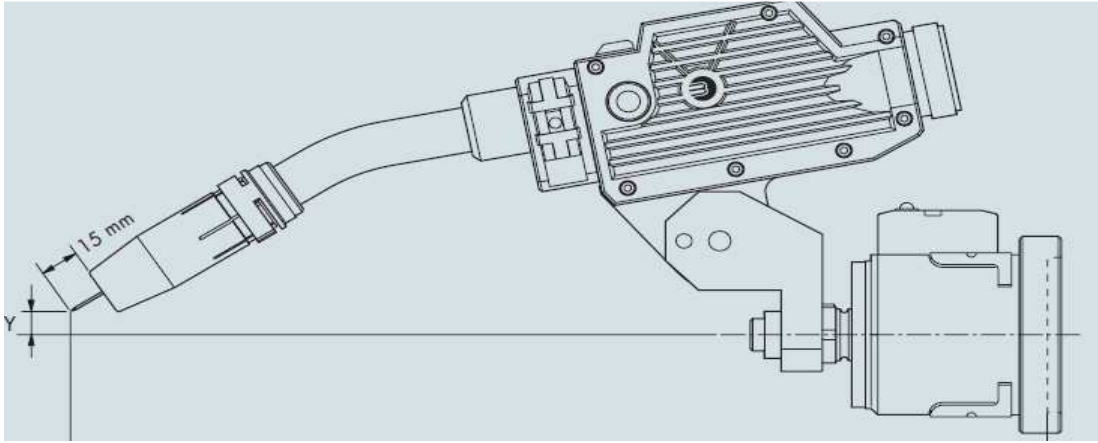
Elektrik kablosu

Tetik

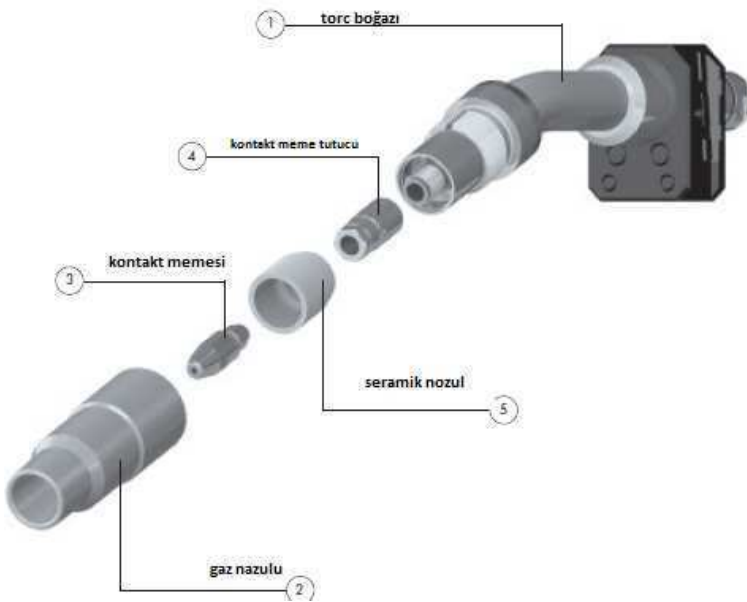
Aşağıda standart bir gazaltı kaynak torcunun şematik gösterimi ve robotik gazaltı kaynak torc tipleri gösterilmiştir (Eryürek, 2003).



Şekil 3.26. Standart bir gazaltı kaynak torcu (dinse-gmbh, 2011)



Şekil 3.27. Robotik bir gazaltı torcunun şematik gösterimi (otomasyonkaynak, 2011)



Şekil 3.28. Robotik gazaltı kaynak torcu ve elemanları (binzel, 2011)



Şekil 3.29. a-) Robotik MIG kaynak torcu

b-) Robotik TIG kaynak torcu



c-) Robotik Lazer kaynak torcu
(2011)



d-) Robotik direnç kaynak tabancası (smt-systeme,
2011)



e-) Rotor tip robotik torclar



f-) Robotik TIG torcu (Binzel, 2011)

3.21.7. Robot seçimi

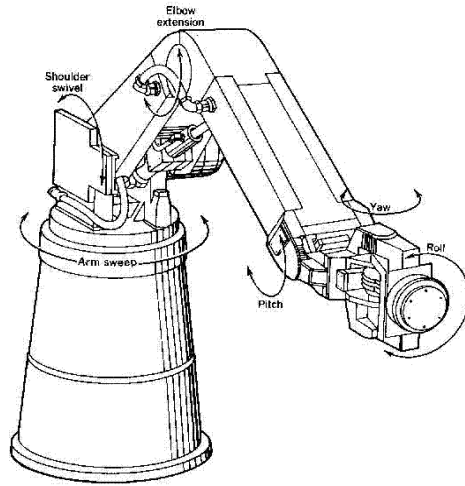
Robot sisteminde dikkate alınması gereken önemli faktörleri şöyle sıralayabiliriz.

- Çalışma Hacmi
- Tekrarlanabilirlik
- Hız ve Yük Taşıma Kabiliyeti
- Kontrol Ünitesi
- Yazılım

— Diğer Özellikler (Gök ve Afyon, 1999)

3.21.7.1. Ark kaynak robotunun sahip olması gereken özellikleri

Ark kaynağı için gerekli hareket hızları göreceli olarak düşüktür ve kaynak tabancasının ağırlığı fazla değildir; dolayısıyla da ark kaynağı için genellikle elektrik tahrikli robotlar tercih edilmektedir. Su soğutma sistemli ağır kaynak tabancaları kullanılması durumunda ise hidrolik robotlar tercih edilebilmektedir. Mafsallı robotlar (Şekil 3.30), boşta çalışma esnasında alınan yolun büyük olduğu küçük parçaların ark kaynağı için tercih edilmektedir. Bu tip robotlar, hızlı hareket gerçekleştirme yeteneğine sahip olmakta ve bunların tasarımı ise hareket ettirilemez parçalara uygun düşmekte, pek çok ark kaynağı uygulamalarında da doğrusal robotlar tercih edilmektedir. Doğrusal robotlar daha yavaş hareket etmekte ayrıca mafsallı robotlara göre çizdikleri yörünge daha kolay elde edilebilmektedir. Doğrusal olmayan kaynak dikişlerinin doğru şekilde kontrolünü basitleştirmek için interpolasyon gereklidir (Yumurtacı, 2009).



Şekil 3.30. Mafsallı robot şematik gösterimi (Yumurtacı, 2009)

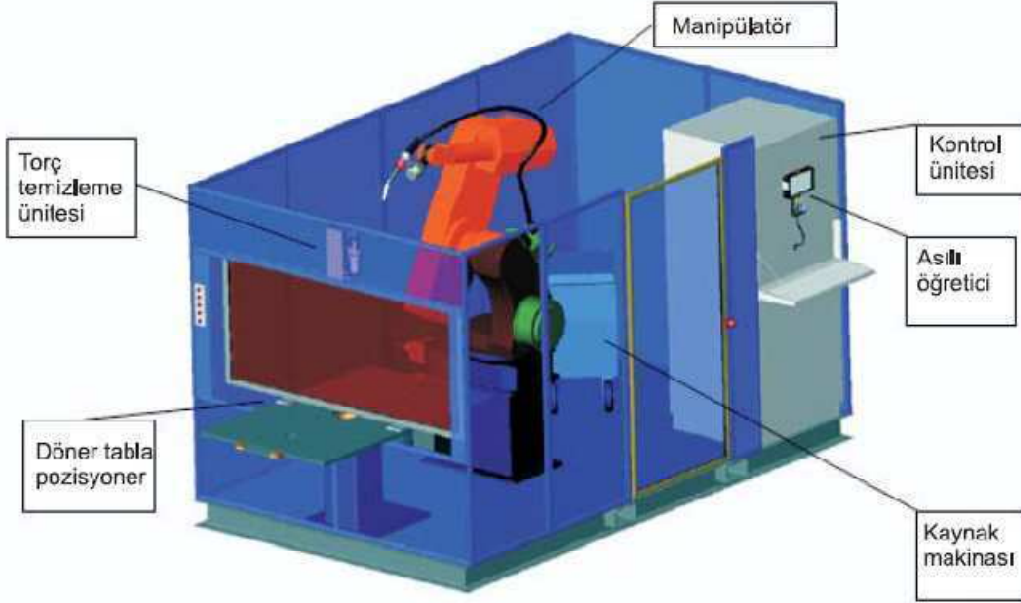
3.21.7.2. Eksen sayısı

Çoğu robot modelleri altı dönel ekleme sahiptirler. Ark kaynak robotları genellikle beş veya altı eksene sahip olmaktadır ve bazıları yedi ya da sekiz eksene de sahip olabilmektedirler. Eş zamanlı çalışan iki kaynak robotunun bulunduğu komple robotik iş istasyonu, harici eksenlerle birlikte on beş koordineli hareket eksenine sahip olabilmektedir. Eğer altıdan serbestlik derecesi varsa uzaydaki bir noktaya birkaç yönden yaklaşabilmektedir. Böylesi bir esneklik ark kaynak uygulamalarında çok önemli olup, bu önem yerçekimi etkisinin ergimiş kaynak banyosunun biçimlenmesinde etkili olduğu durumlarda kendisini göstermektedir (Yumurtacı, 2009).

3.21.7.3. Tamlık ve tekrarlanabilirlik

Robotun uzaydaki bir noktaya hangi kesinlikle yaklaştığına tamlık denmektedir. Tamlık, kontrol programlarının sayısal olarak geliştirildiği robotlarda gerekli olmaktadır. Programların öğretildiği robotların, diğerleri kadar tam olması gerekmemektedir. Çünkü bunların hareketleri, öğretilen noktaların hatırlanması ve bunların tekrar edilmesine bağlı olmaktadır. Tekrarlanabilirlik, uzayda bir noktaya robotun tekrarlı şekilde gidebilme yeteneğine denilmektedir. Ark kaynak robotları tekrarlanabilirliğe sahip olmalıdır; ancak robota yörüngesinin öğretildiği durumlarda tamlık zorunlu olmaktan çıkmaktadır.

3.21.7.4. Proses kontrolü



Şekil 3.31. Robotik ark kaynak birimleri şematik gösterimi (Yumurtacı, 2009)

Endüstriyel robot, ark kaynak prosesini kontrol etme yeteneğine sahip olmalıdır. En azından, robot, koruyucu gazı açıp kapatabilmeli, kaynak sırasını başlatıp sonlandırabilmeli ve programlanmış kaynak koşullarını seçebilmelidir. Bazı robotlar mevcut değerleri seçerek kaynak prosesini kontrol etmektedirler. Daha karmaşık robotlar ise tel besleyici, güç kaynağı ve hızı doğrudan kontrol edebilmekte ve robot programının parçası olarak proses şartlarını oluşturabilmektedirler. Ayrıca kaynak prosesi değişkenleri, robot programından ayrı olarak programlanmalıdır. Şekil 3.31’de robotik ark birimlerinin şematik resmi gösterilmektedir (Yumurtacı, 2009).

3.22. Robotların kullanıldığı ağır sanayiler

Ağır Sanayi Alanları;

- Arazi Araçları İmalatı
- Makina İmalatı
- Tersaneler

- Kamyon, Tır, Treyler, Dorse imalatı
- Demir Çelik,
- Çimento,
- Döküm,
- Kimyasal Tesisler,
- Cam Sanayi (Yıldırım, 2011)

3.22.1. Neden robot kullanılmalı

Birincil Kazanımlar

- Verimlilik Artışı
- Üretim Kalitesinin Geliştirilmesi
- Üretim Sürekliliği
- Proseslerin Kontrol Altına Alınması
- Üretimde Güvenilirliğin Arttırılması
- İmalatta Emniyet Koşullarının Geliştirilmesi
- Çalışma Ergonomisinin Sağlanması
- Zararlı Ortamlardan Çalışanların Korunması

İkincil Kazanımlar

- Planlı Bakım Sürecine Geçme
- Sabit Maliyet
- Üretimde Duraksamadan Devamlılık
- Üretimde Esneklik
- Kümülatif Artan Maliyet Kazancı
- Pazarlamada Kalite Avantajı
- Otomasyon Seviyesinde Firma Gelişimi
- Çalışan Memnuniyeti(Yıldırım, 2011)

3.22.2. Robot uygulamalarında emniyet çözümleri

Günümüz üretim teknolojilerinde sürekli artan talepleri karşılamak için düşük maliyetlerde, hızlı ve verimli üretim çözümleri aranmıştır. Bu çözümlerin başında maliyetleri etkileyen en büyük faktörlerden insan gücü işçiliği mümkün olduğunca azaltılmak istenmiştir. Avrupa Standartlarına uyum sürecinde çalışana karşı işverenin yükümlülüğünün de artırılmasıyla üretimde endüstriyel robotlar kullanılmaya başlanmıştır. Böylece üretim hızı artırılmıştır. Ama...

Ülkemizde son 5 yılda endüstriyel robot uygulamalarında çok hızlı bir artış olmuştur. Robotlu üretim teknolojilerin artması ile emniyet ile ilgili boşluklar oluşmuş, ölümlü kazaların günden güne sayısı artmıştır. Neyse ki, Sanayi Bakanlığının da yaptığı Pazar Gözetimi ile iş kazaları artık mercek altına alınmaya ve sorumlulara çok ciddi cezalar verilmeye başlanmıştır. Bu çalışmalar daha da hız kazanarak, kaza olmaksızın firmalarda denetlemeler yapılmaktadır. Bu kontroller sonucu CE' siz makine ve emniyet tedbiri alınmamış tesisler tespit edildiğinde, uyarı ve maddi cezalar verilmeye başlanmıştır. Robot uygulamalarının da bir standardı vardır, EN 775...

Robotlar, üretim esnasında yaptığı çok hızlı manevralarla etrafındaki canlılar için büyük bir tehlike oluşturur. Robotun yanına yaklaşan bir insan, robotun bir sonraki hareketinin hangi yönde olacağını tahmin edemez. Hareketsiz duran bir Robot, harekete başlamak için bir sensörden (algılayıcı) alacağı sinyalle anında hareket etmeye başlayabilir. Bu durumda "Robot çalışmıyor" düşüncesi ile robotun etrafında bulunan bir insanın kazaya maruz kalması içten bile değildir. Bu kazaların engellenmesi ve kaza maliyetlerinin minimum düzeyde tutulması için EN 775

Endüstriyel Robot Standardı hazırlanmış ve uygulanması öngörülmüştür. Bu standartlarla robot uygulamalarında gerekli emniyet tedbirleri alınmaya başlanmıştır. Ancak görülmüştür ki, her bir emniyet tedbiri üretimde ciddi kayıplara yol açmaya başlamıştır. Buna karşılık emniyet sistemlerini geliştiren firmalar emniyeti en üst düzeyde tutarken üretimde verimi de artıran çözüm arayışlarına girmiştir (Metal Dünyası, 2007).

Robot hücresi: Robotun etrafı tel örgülerle çevrilerek insanlar ve diğer canlılar tehlikeli hareketlerden uzak tutulur. Maliyeti düşük bir o kadarda emniyeti tek başına tamamen yetersiz bir çözümdür. Ayrıca üretim sahasının büyük bir kısmı koruma alanı olarak harcanmaktadır.

Hücre girişinin denetlenmesi: Robot hücresi tamamen kapatılmaz. Bakım esnasında içeriye giriş yapılacak bir geçit olmalı. Bu geçit ya bir ışık perdesi yada bir emniyet şalteri ile denetlenen bir yapıda olmalıdır.

A-Işık Perdesi: Type:4 kullanılmalı ve EN 999, EN 50100 standardına göre montaj yeri hesaplanmalıdır. Manual reset kullanılmalı, operatör ışık perdesini keserek hücre içersine girdiğinde tüm tehlikeli hareketler bir emniyet rölesi ile durdurulmalı, dışarıya çıkıp reset butonuna basmadığı sürece de sistem tekrar çalıştırılmamalıdır. Emniyet için sadece ışık perdesinin kullanılması yeterli değildir. Operatör içerdeyken başka bir kişinin yanlışlıkla reset butonuna basması durumunda sistem tekrar çalıştırılabilir. Ayrıca ışık perdesinin ışınları görülebilir olmadığından insanların yanlışlıkla bu ışını keserek üretimde gereksiz durmalara sebep olması mümkündür.

b-Emniyet Kapısı: Daha düşük maliyette olmasından dolayı en çok kullanılan yöntemdir. Ancak birçok uygulamada görüldüğü üzere kapı şalterinin bağlantısı önemsenmemektedir. Oysa büyük oranda kazaları önleyen kapı şalterlerinde, EN 954-1e göre Kat:4 çift kanal olarak bağlantı yapılmalı ve bir emniyet rölesi ile izlenmelidir. Kapının açılması durumunda tehlikeli hareketler aniden durdurulmalıdır. Işık Perdesinde olduğu gibi burada da operatörün içerde kalması durumunda başkası tarafından kapının kapatılma olasılığı bulunmaktadır.

c-Alan Tarayıcı: Robot hücresinin ve kapı izlemesinin yeterli görülmediği ortamlarda alan tarayıcılar da kullanılabilir. Ancak sadece 2 boyutta tarama yapabildiğinden bazı kör alanlar denetim dışında kalmaktadır. Zaten yüksek fiyatlarda olan bu cihazların birden fazla kullanılması gerekli olduğundan genelde tercih edilmemektedir (Metal Dünyası, 2007)

d-Emniyet Paspası: Alan tarayıcısının kullanılmaması durumunda tercih edilen bir diğer yöntemdir. Metrekaresi 1000 ları bulan paspasların uygulanması gereken alan çok geniş olduğundan dolayı birden fazla paspas birbirine bağlanarak kullanılır.

Maliyetleri daha da artıran bu yöntemle paspasların herhangi birisinin arızalanması durumunda tamamının da çalışmayacağından genelde tercih edilmezler.

Son teknoloji, üç boyutlu emniyet kamera sistemi, SafetyEYE : Bu sistemin kullanılması ile yukarıda bahsi geçen emniyet tedbirlerinden hiçbirine ihtiyaç duyulmamaktadır. SafetyEYE tesislerde kuşbakışı, konik bir koruma alanı oluşturur. Cihaz üzerinde, emniyet gereği birden fazla kamera kullanılmıştır. Bu kameralar sayesinde üç katmandan oluşan koruma alanı, üretimin emniyetli olarak devamını garantiler. Katmanlar, ikaz, tampon ve tehlikeli çalışma bölgeleridir.

Sisteme komut veren operatör, emniyet gereği riskli bölge dışında bulunmaktadır. Eğer operatör herhangi bir sebeple, ikaz bölgesine girerse dışarı çıkması için uyarılır. Aynı anda sistem, robotu daha yavaş çalıştıracak gerekli komutları gönderir. Bu aşamada robot durmaz ve üretim kesintisiz devam eder. Eğer operatör ikaza rağmen tampon bölgeye girecek olursa SafetyEYE, robotu aniden durdurarak olası kazaları önler. SafetyEYE'in bu şekilde akıllı karar vermesi üretimi durdurmak yerine yavaş dahi olsa devam ettirmesi, istenmeyen durumlarda üretim verimini düşürmemek adına önemli bir avantajdır. Sistemin sağladığı bir diğer üstünlük de yavaşlayan robota müdahale etme hızının artırılması ve kazaların mutlak şekilde önlenmesidir. Bu sayede, tampon bölge mesafesi önemli oranda azaltılmış olur.

Bu sistemle emniyet sektörünün robot uygulamalarında yeni bir kavram oluşmuştur. SafetyEYE ile sağlanan emniyet çözümleri, üretimin hızını azaltan bir etken değil aksine üretimin verimini artırarak kaza maliyetlerini minimize eden bir yöntemdir. Yakın zamanda robotlarla insanlar arasındaki çit engeli kalkacak ve robotlar dahagüvenilir makineler haline gelecektir (Metal Dünyası, 2007).

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada AA 5754 H-22 alüminyum alaşımı levhalar tek taraflı olmak üzere robotta mig yöntemiyle, sabit gaz debisi, aynı cins koruyucu gaz, farklı amper, gerilim ve kaynak hızlarında birleştirilerek, bu kaynak parametrelerinin mikroyapıya ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

4.1. Kaynaklanacak Esas Malzeme

Bu çalışmada kullanılan 2 mm kalınlığındaki AA 5754 H-22 alüminyum alaşımı levhaların Tablo 4.1’de kimyasal bileşimi, Tablo 4.2’de mekanik özellikleri, Tablo 4.3’de gazaltı kaynak telinin kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Deneyde kullanılan esas malzemenin H-22 özellikte olması; deformasyon sertleştirilmesi uygulanmış ve kısmi tavllanmış, başlangıçta istenenden fazla dayanıma sahip, soğuk işlenmiş malzemenin kısmi tavllanmasıyla elde edilen temperleme malzeme olması anlamına gelmektedir (Smith, 2001).

Bu gruptaki alaşımlardan başlıca, yoğurulmuş-sertleşmiş halde, yeterli mukavemet ve rijitlik ve bunlarla birlikte iyi bir korozyona dayanım beklenir. Bu alaşımlar kara nakil araçlarının karosörü imalinde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Burada Al-Mg alaşımlarının yüksek korozyon mukavemeti önemli olmakta, daha yüksek magnezyumlular deniz suyuna ve atmosferine mükemmel dayanıklılık arz edip deniz ulaşım araçlarının üretiminde yaygın kullanılmaktadır.

İstenilen mekanik nitelikler, nihaî soğuk işlemden uygulanan soğuk yoğurulma derecesi tarafından meydana getirilir ve bu alaşımlar alışımlı olarak "yumuşak", "3/4 sert", "1/2 sert", "3/4 sert" ve "tam sert" olarak üretilir. Burada başlıca

sakınca, malzemenin son boyut ve şekle getirilmesinden sonra (tavlama ile yumuşatma dışında) mekanik nitelikleri üzerinde oynanamamasıdır. Oysa ki çökeltme sertleşmeli alaşımlarda, nitelikler, belli sınırlar içinde, ısıl işlemle değiştirilebilir (Oğuz, 2001).

Tablo 4.1. Kaynak işleminde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi

Malzeme	% Fe	% Si	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti	% Cr	% Al
AA5754	0,311	0,22	0,025	0,35	3,2	0,164	0,098	0,25	95,382

Tablo 4.2. Kaynak işleminde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri

Numune	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Sertlik (HV)
AA 5754	215	131	10,3	76

Tablo 4.3. Gazaltı kaynak telinin kimyasal kompozisyonu

Kaynak teli	Si	Fe	Mn	Mg
AlMg5	0,25	0,4	0,3	5

Tablo 4.4 Gazaltı kaynak telinin mekanik özellikleri

Kaynak teli	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama
AlMg5	110	240	17

4.2. Kaynak İşlemi

Kaynak işleminden önce numunelerin yüzeyleri kimyasal çözücü kullanılarak temizlenmiştir. Kaynaklı birleştirme işlemi, Gedik Holding robotik işlemler bölümünde bulunan OTC marka A II-B4L (Long Reach) model 6 eksenli kaynak

robotuyla TS EN 15614-1 standardında, 150 mm x 300 mm x 2 mm ölçülerinde optimum kaynak amperi, gerilimi ve kaynak hızı ile kaynak işlemi yapılmış ve belirtilen standarda uygun çekme deneyi, eğme deneyi ve mikrosertlik incelemeleri için numuneler çıkarılmıştır. Kaynaklı numunelerin 27 adeti çekme deneyi testi , 9 adeti eğme deneyi testi, mikroyapı incelemeleri ve mikrosertlik ölçümleri için kullanılmıştır. Şekil 4.1’de kaynak işlemini gerçekleştiren robot gösterilmiştir.



Şekil 4.1. OTC Marka kaynak robotu

4.3. Kaynak İşlemi Parametreleri

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında ısıl genişleme katsayılarının yüksek olması nedeniyle kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma nedeniyle oluşan sıcaklık farkları şiddetli iç gerilmeler ve çarpılar ortaya çıkartır bu olumsuz durumu gözönünde

bulundurarak, deney numunelerinin birleştirilmesinde DC Pulse (doğru akım darbeli ark) yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede bu yöntem ile arzulanan her çalışma bölgesinde kuvvetli bir büzülme (pinch effect) kuvveti uygulanması sayesinde, kısa devre oluşturmadan iş parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak uygun çalışma ortamı sağlanmış olur. Ve ayrıca frekansı ayarlayarak istenen sayıda ve irilikte erimiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanmış, böylece kaynak metalinin mekanik özelliklerini arttırmada olumlu bir etki elde edilmiştir.

Tablo 4.4’de gösterildiği gibi, X-1, X-2, X-3 numuneleri için amper, gerilim, koruyucu gaz, akım türü, gaz debisi sabit tutulmuş, kaynak hızları farklı değerlerde tutulmuştur. Y-1, Y-2, Y-3 numunelerinin kaynaklı birleştirmelerinde, gaz türü, gaz debisi, akım türü sabit tutulmuş, amper değerlerinde 10 amperlik bir artış yapılmış, amper değerinin artması ile robot gerilim değerini kendiliğinden 0,5 V arttırdığı gözlenmiştir. Z-1, Z-2, Z-3 numunelerinin kaynaklı birleştirmelerinde de gaz türü, gaz debisi, akım türü sabit tutulmuş, amper değerinde 10 amperlik bir artış yapılmış, amper değerinin artması ile yine robot gerilim değerinin kendiliğinden 0,5 V arttırdığı gözlenmiştir.

Tablo 4.5 .Kaynak işleminde kullanılan parametreler gösterilmiştir.

Numune Num.	Amper (A)	Kaynak Hızı (cm/dak.)	Gerilim (V)	Gaz Türü	Gaz Debisi (lt/dak.)	Akım Türü
X-1	70	60	17	Ar	20	DCpulse
X-2	70	62	17	Ar	20	DCpulse
X-3	70	64	17	Ar	20	DCpulse
Y-1	80	67	17.5	Ar	20	DCpulse
Y-2	80	69	17.5	Ar	20	DCpulse
Y-3	80	71	17.5	Ar	20	DCpulse
Z-1	90	75	18	Ar	20	DCpulse
Z-2	90	77	18	Ar	20	DCpulse
Z-3	90	79	18	Ar	20	DCpulse

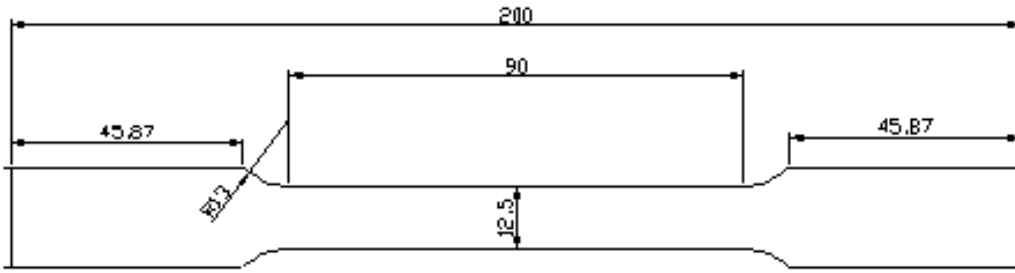
4.4. Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Robot kaynağı ile birleştirilen numunelerin, çekme dayanımı, eğme dayanımı, mikrosertlik ve mikroyapı özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

4.4.1. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanışı

Kaynaklı numuneler, çekme deneyi için her bir parametre için 3 er adet deney numunesi TS 138 EN 10002-1' de belirtilen standart ölçülerde hazırlanmıştır, kıyaslama yapılabilmesi açısından standart ölçülerde kaynaklı bir numunede referans alınması bakımından çekme işlemine tabi tutulmuştur.

Şekil 4.2'de çekme numunesinin standartlarla belirlenmiş ölçüleri gösterilmiştir. Deneyler için numuneler Testometric marka micro 500 model deney cihazı ile 17 mm / dak. hız ile çekme işlemi yapılmıştır. Şekil 4.3' de çekme işlemine tabi tutulan numunelerin bir bölümü gösterilmiştir.Şekil 4.4'de çekme deney cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Şekil çekme numunesi standart ölçüleri



Şekil 4.3. Kaynaklanmış çekme deneyi numunelerinin görüntüsü



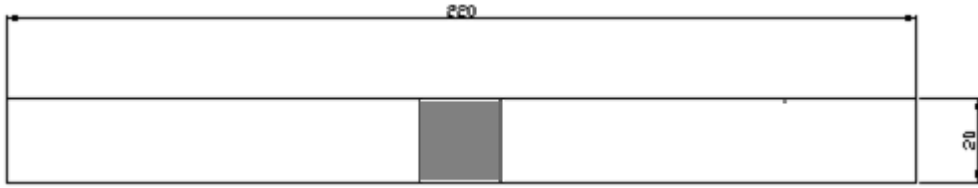
Şekil 4.4. Testo model çekme cihazı

4.4.2. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanışı

Kaynaklı numuneler, eğme deneyi için her bir parametre için 3 er adet deney numunesi TS EN 205' de belirtilen standart ölçülerde hazırlanmıştır.

Şekil 4.5'de eğme numunesinin standartlarla belirlenmiş ölçüleri gösterilmiştir. Deneyler için numuneler Testometric marka micro 500 model deney cihazı ile 17 mm / dak. hız ile kaynak dikişi üzerine ve tersi yüzüne eğme işlemi yapılmıştır.

Şekil 4.6'de eğme deneyi cihazı ve yapılışı gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Eğme numunesi deney ölçüleri



Şekil 4.6. Eğme deneyi cihazı ve uygulama görüntüsü

4.4.3. Mikroyapı ve makroyapı deney numunelerinin hazırlanışı

Mikroyapı incelemeleri için kaynak metalinden kesilen numuneler bakalite alma işleminden sonra sırasıyla 60-80-220-480-600-800-1000-1200 numaralı zımparalar kullanılmıştır. Zımparalanan numuneler 6 μ , 3 μ , 1 μ ' luk keçelerle çizik kalmayacak şekilde parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi yapılan numunelere mikroskop altında (Şekil 4.9) incelenebilme imkanı sağlanması bakımından alüminyum malzemelerin dağlanmasında kullanılan keller dağlayıcı maddesi ile dağlandıktan sonra mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Keller dağlayıcısının bileşimi Tablo 4.6' da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Keller dağlayıcısı bileşimi

Yüzde	Bileşim
% 3	HNO ₃
% 2	HCL
% 1	HF
% 94	H ₂ O



Şekil 4.7. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan Nikon marka Smz 800 model optik mikroskop



Şekil 4.8. Makroyapı incelemelerinde kullanılan Nikon marka L 150 A model optik stereoskop

4.4.4. Mikrosertlik deney numunelerinin hazırlanışı

Sertlik ölçümleri Matsuzawa marka MHT-2 model mikrosertlik cihazı ile yüzeyden 0,5 mm derinlikte 1mm aralıklarla 200 gr yük uygulanarak (HV 0,2 kg) ölçümler yapılmıştır. Mikrosertlik cihazı Şekil 4.9’da ve mikrosertlik alınan bölgeler Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Mikrosertlik ölçümlerinde kullanılan Matsuzawa MHT-2 model cihaz



Şekil 4.10. Mikrosertlik alınan bölgelerin gösterimi

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyi, malzemelerin statik yük altındaki mekanik özelliklerini belirlemek ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla uygulanan, mühendislik açısından çok önemli bir mekanik deneydir. Deney, mekanik özellikleri belirlemek amacıyla bir deney parçasının, genellikle kopuncaya kadar, gerilmesini kapsar (TSE, 2004).

Yapılan deneysel çalışmada, belirli standartlarda hazırlanmış çekme işlemine tabi tutulan kaynaklı numuneler ile ana metalden yine aynı standartta hazırlanmış referans numunenin çekme deneyi sonucu elde edilen veriler vasıtasıyla bir kıyaslama yapabilme imkanı sağlamıştır. Çekme işlemine tabi tutulan numunelerin hiç birisi deney sonucunda kaynak bölgesinden kopmamıştır,

Deney numunelerinden sadece X-2 numunesinin çekme gerilme sonucu hariç, diğer numunelerin akma gerilmeleri ve çekme gerilmeleri referans olarak alınan numunenin akma ve çekme gerilmeleri değerinden yüksek çıkmıştır. Deney sonuçlarından da görüleceği üzere çekme dayanımı değeri en yüksek numuneler 22,4 MPa ile X-3 ve Z-2 numunesi olmuştur. Referans numuneye en yakın çekme mukavemeti 21,4 MPa ile X-2 numunesi olmuştur. Farklı kaynak parametrelerinde yapılan bu deneyde kaynak akım değerlerinin artışı ile doğru orantılı olarak kaynak hızlarının da artırılması sonucunda çekme deneyi sonucunda, numunelerin çekme gerilmeleri ve akma gerilmeleri arasında değer olarak bir yakınlık oluşmuştur, uzama yüzdelerinde farklılıkların daha belirgin olduğu gözlenmiştir.

Deney numunelerinin referans alınan numunenin uzama yüzdesinden düşük değerlerde çıkması deformasyon olaylarının büyük bir çoğunluğunun ITAB da meydana gelmesi neden olduğu söylenebileceği gibi bu durum kaynak akımının ve koruyucu gaz olarak kullanılan argon gazının yüzde uzamaya etki ettiği de söylenebilir. Argon gazı, içinde oluşan arkın gerilim düşümü diğer koruyucu gazlara nazaran daha azdır, ayrıca argonun ısı iletme kabiliyetinin de zayıf olması nedeni ile ark sütunu daha geniş ve sıcaklığı da özellikle dış kısımlarda düşüktür. Sütunun merkezinde gerek metal buharları ve gerekse damla geçişi dolayısı ile sıcaklık daha yüksektir. Bu bakımdan argonun koruyucu gaz olarak kullanılması nedeniyle kaynak dikişlerinde nüfuziyet dikişin merkezinde derin, kenarlarda da az olduğu görülmüştür.

Deney numunelerinin kaynak performansları ise, numunelerin çekme deneyinden sonra elde edilen çekme gerilmeleri değerlerinin referans numunenin çekme gerilmesine bölünmesi ile elde edilmiştir, elde edilen sonuçlara göre numunelerin kaynak performansları yüksek değerlerde çıkmıştır bunun nedeni seçilen kaynak parametrelerin tam doğruluğunu ortaya koymaktadır. Farklı parametrelerle kaynak edilen numunelerin çekme deneyi sonuçları Tablo 5.1.'de gösterilmiştir. Deney numunelerinin çekme deneyi sonrası görüntüsü Şekil 5.1.'de gösterilmiştir. Çekme deneyi sonucunda Y-2 numunesinin görüntüsü Şekil 5.2.' de ve Şekil 5.3.'de, akma mukavemeti Şekil 5.4.'de, çekme mukavemeti sonucu Şekil 5.5.de ve yüzde uzama sonuçları Şekil 5.6.' de, Şekil 5.7.'de gerilme – uzama eğrileri verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney numunelerinin çekme deneyi sonrası görüntüsü



(a)



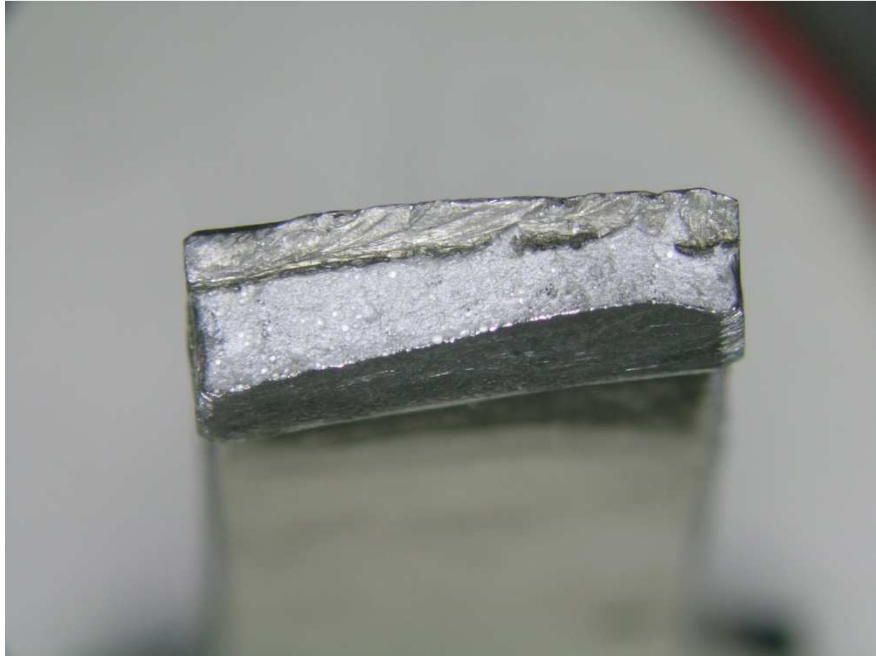
(b)

Şekil 5.2a. Y-2 Deney numunesinin çekme işlemi sonrası görüntüsü

b. Deney numunesinin çekme işlemi sonrası görüntüsü



(a)



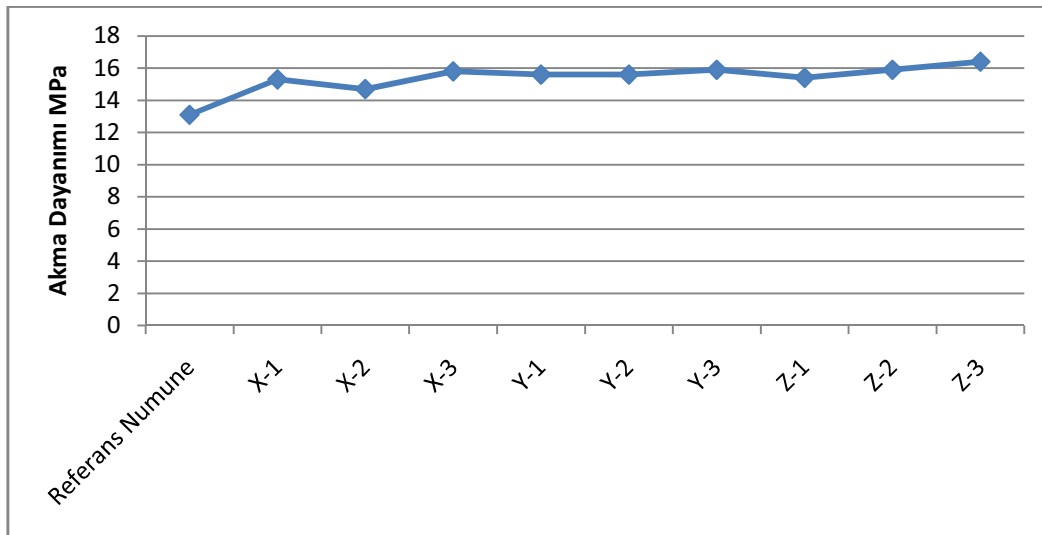
(b)

Şekil 5.3. a. Çekme deneyi sonucu koparılan numunelerden Y-2 numunesinin kırılma yüzeyi görüntüsü

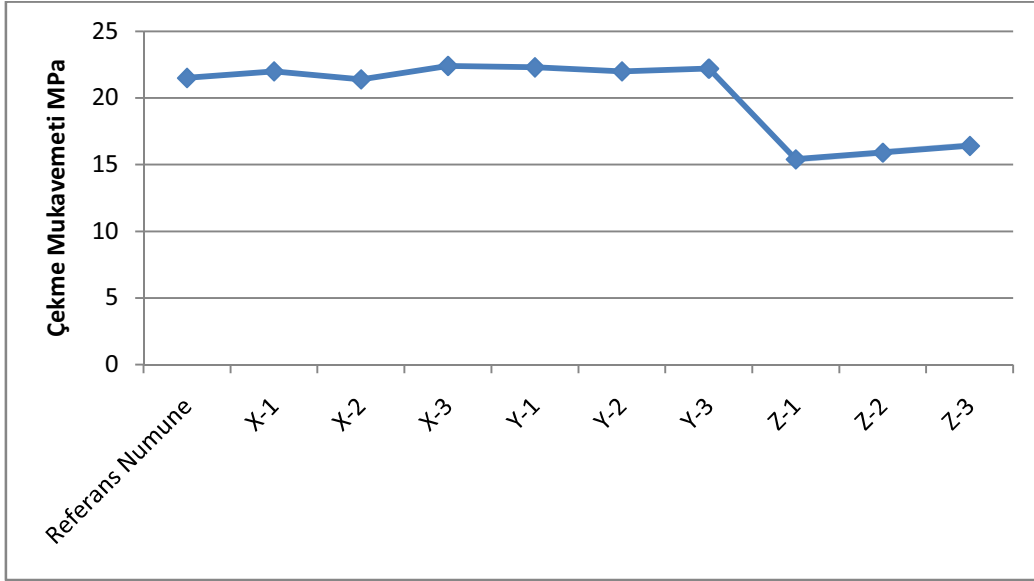
b. Çekme deneyi sonucu koparılan numunelerden Y-2 numunesinin görüntüsü

Tablo 5.1. Çekme deneyine tabi tutulan numunelerin deney sonuçları

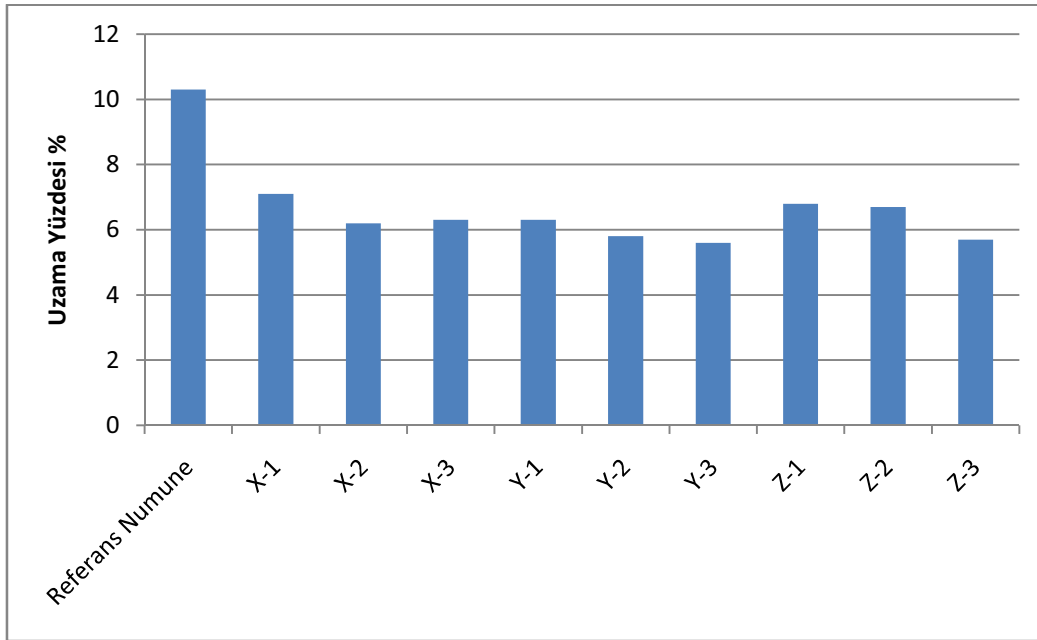
Numune	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Uzama	Kaynak Performansı%
Referans Numunesi	13,1 MPa	21,5 MPa	% 11,3	100
X-1	15,3	22	7,1	102
X-2	14,7	21,4	6,2	99
X-3	15,8	22,4	6,3	104
Y-1	15,6	22,3	6,3	103
Y-2	15,6	22	5,8	102
Y-3	15,9	22,2	5,6	103
Z-1	15,4	21,9	6,8	101
Z-2	15,9	22,4	6,7	104
Z-3	16,4	22,3	5,7	103



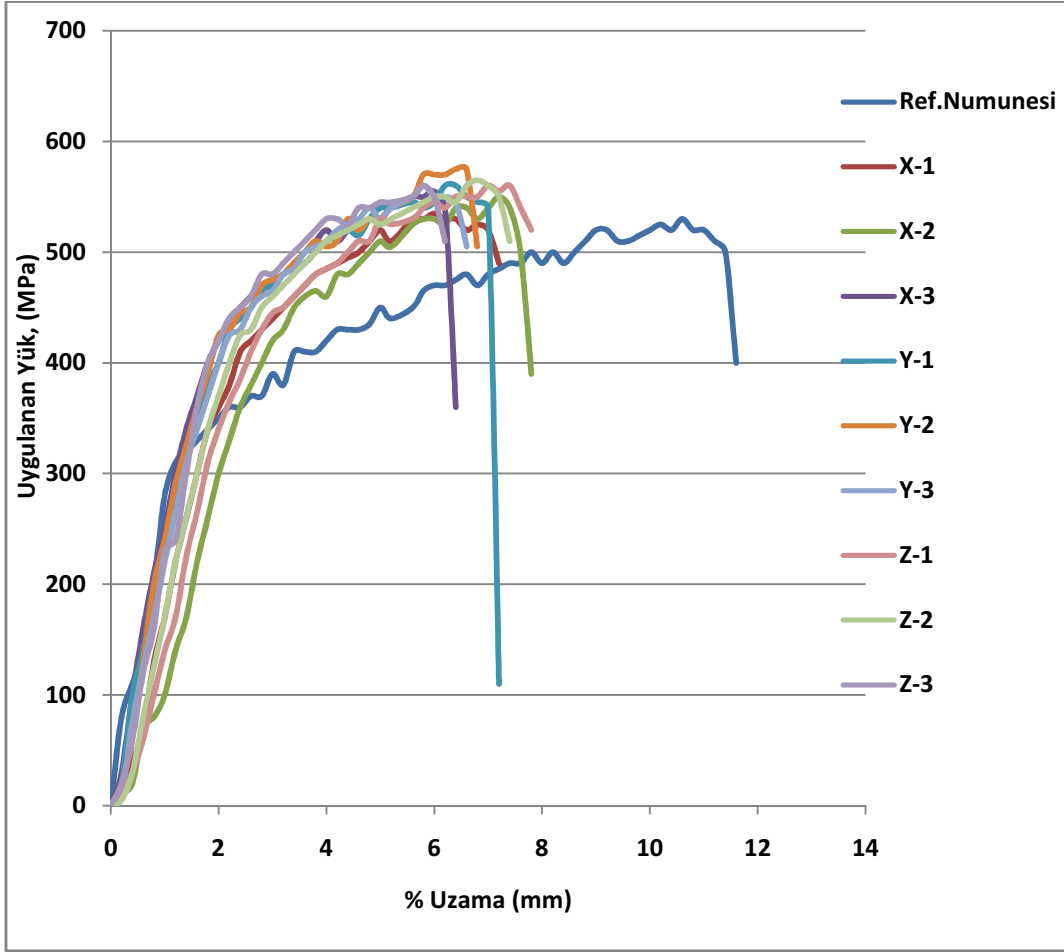
Şekil 5.4. Deney numunelerinin akma dayanımı sonuçları



Şekil 5.5. Deney numunelerinin çekme deneyi sonuçları



Şekil 5.6. Deney numunelerinin yüzde uzama sonuçları



Şekil 5.7. Deney numunelerinin gerilme – uzama eğrileri

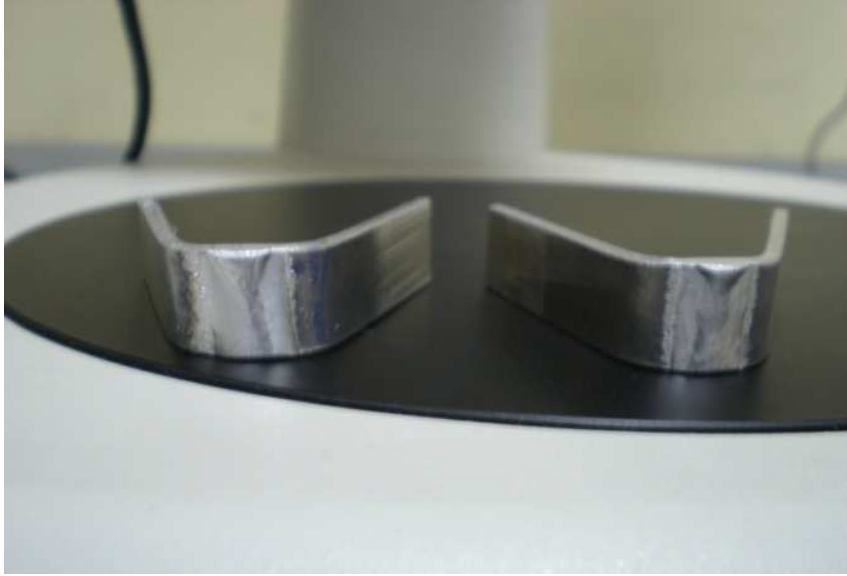
5.2. Eğme Deneyi Sonuçları

Eğme deneyinde test numunesi uzunlamasına yatay bir pozisyonda destekler üzerine konurken, üzerine tam ortasından kuvvet uygulanır. Deney boyunca, F kuvveti artırılırken, malzemenin tam ortasında oluşan sehim değerinin ölçülmesi prensibine dayanan bir yöntemdir (Başkent üni., 2011).

Eğme deneyi sonucunda numunelerin hiçbirinde çatlama gözlenmemiştir.(Şekil 5.8)'de eğme deneyi sonucunda meydana gelen değişimler Tablo 5.2.' de eğme deneyi sonuçları gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.8a. Eğme deneyi sonucunda oluşan görüntüler

b. Eğme deneyi sonucunda oluşan görüntüler

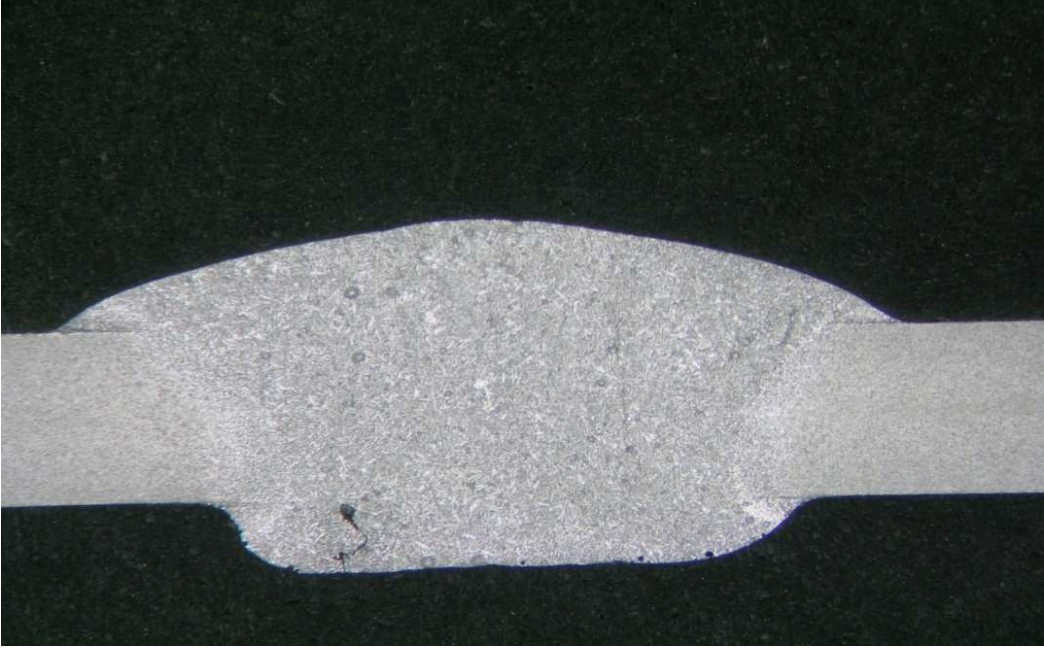
Tablo 5.2. Eğme deneyi sonuçları

Numune	Kaynak Parametresi		Deney Sonucu
X-1	Amper: 70 Kaynak hızı : 60 cm/dak	Gerilim : 17 V Gaz debisi :20lt/dak	Çatlama meydana gelmedi
X-2	Amper : 70 Kaynak hızı : 62 cm/dak	Gerilim : 17 V Gaz debisi : 20lt/dak	Çatlama meydana gelmedi
X-3	Amper : 70 Kaynak hızı: 64 cm/dak	Gerilim : 17 V Gaz debisi : 20lt/dak	Çatlama meydana gelmedi
Y-1	Amper : 80 Kaynak hızı : 67 cm/dak	Gerilim : 17 V Gaz debisi : 20lt/dak	Çatlama meydana gelmedi
Y-2	Amper : 80 Kaynak hızı : 69 cm/dak	Gerilim : 17,5 V Gaz debisi : 20lt/dak	Çatlama meydana gelmedi
Y-3	Amper : 80 Kaynak hızı : 71 cm/dak	Gerilim : 17,5 V Gaz debisi : 20lt/dak	Çatlama meydana gelmedi
Z-1	Amper : 90 Kaynak hızı : 75 cm/dak	Gerilim : 18 V Gaz debisi : 20lt/dak	Çatlama meydana gelmedi
Z-2	Amper : 90 Kaynak hızı : 77 cm/dak	Gerilim : 18 V Gaz debisi : 20lt/dak	Çatlama meydana gelmedi
Z-3	Amper :90 Kaynak hızı : 79 cm/dak	Gerilim : 18V Gaz debisi : 20lt/dak	Çatlama meydana gelmedi

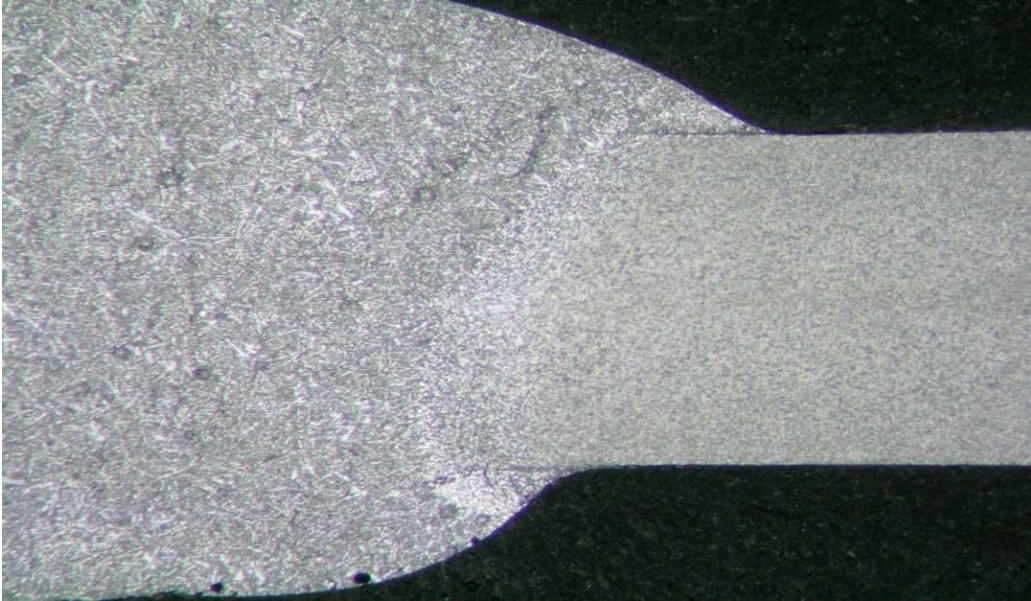
5.3. Makroyapı Deneyi Sonuçları

Farklı parametrelerde birleştirilen kaynak numunelerinden alınan 9 farklı kaynak kesitin makroyapı görüntüleri Şekil 5.9-36' da gösterilmiştir.(sırasıyla X-1, X-2, X-3, Y-1, Y-2, Y-3, Z-1, Z-2, Z-3 numunelerinin makroyapı görüntüleri)

Makro yapılarda, kaynak dikişinde izlenen gözeneklilik, kullanılan kaynak telinin ve koruyucu gazın, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında neden olabileceği normal bir durumdur ve gözenek boyut ve miktarları kabul edilebilir sınırlardadır.



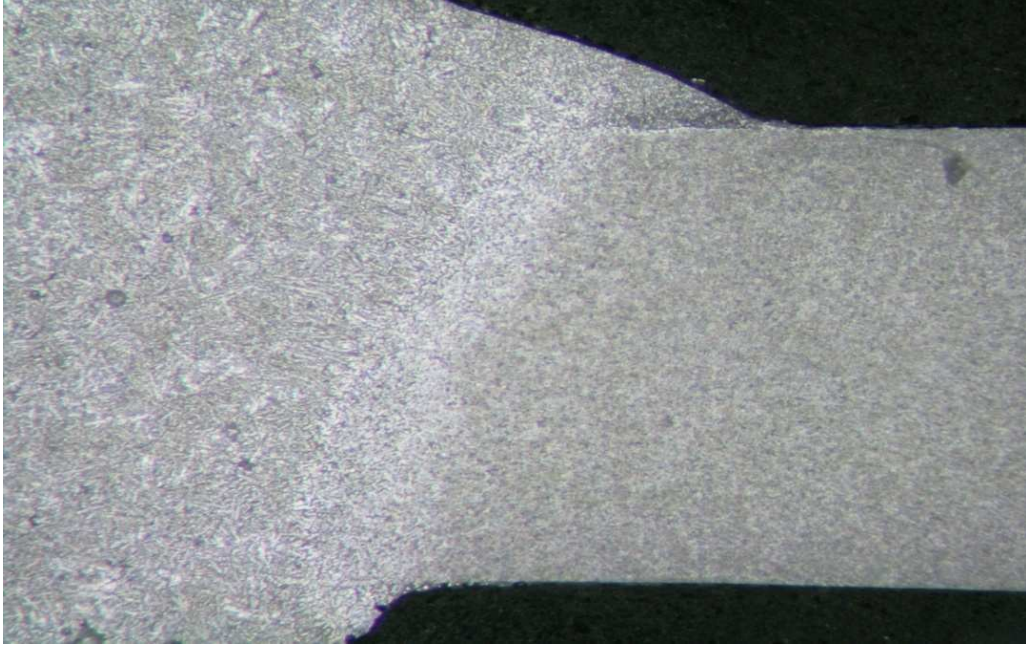
Şekil 5.9. X-1 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X)



Şekil 5.10. X-1 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20 X)



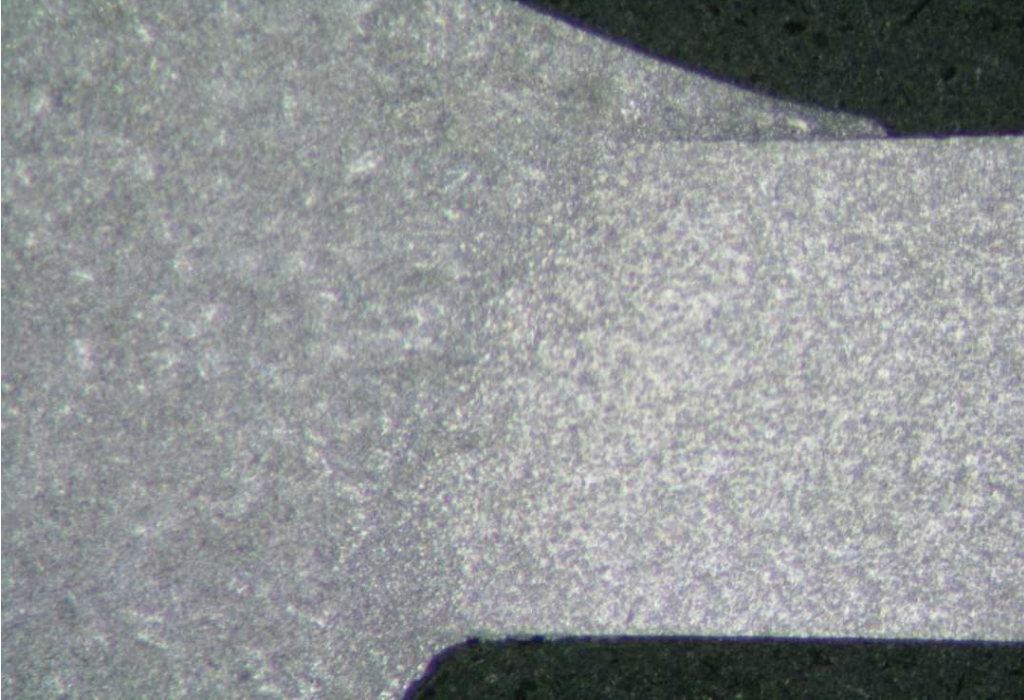
Şekil 5.11. X-2 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10X)



Şekil 5.12. X-2 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20X)



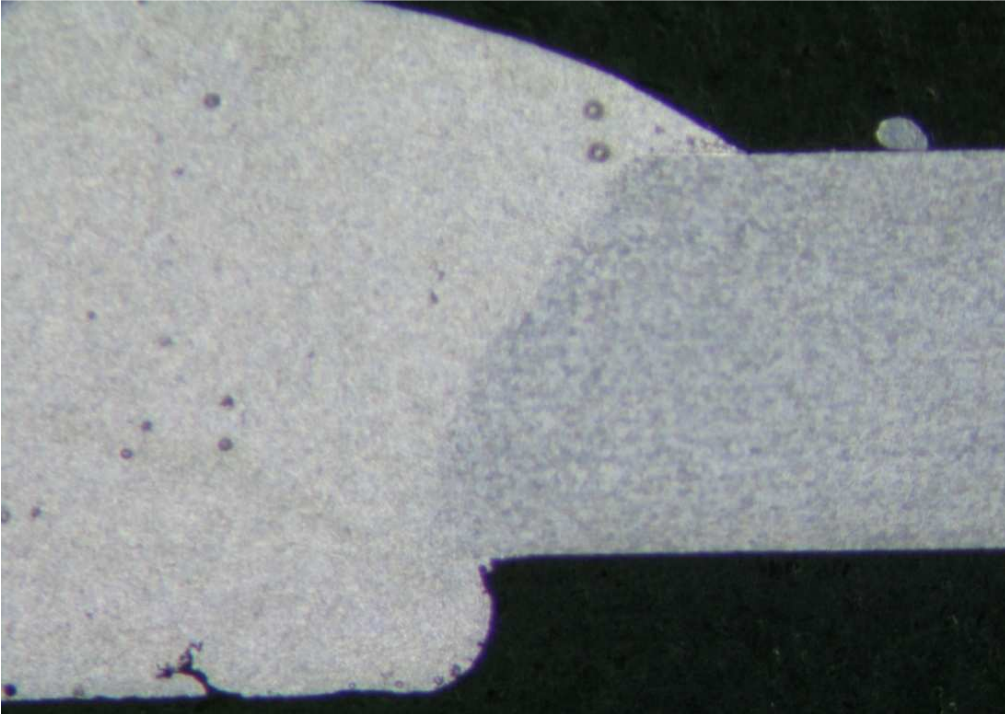
Şekil 5.13. X-3 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10X)



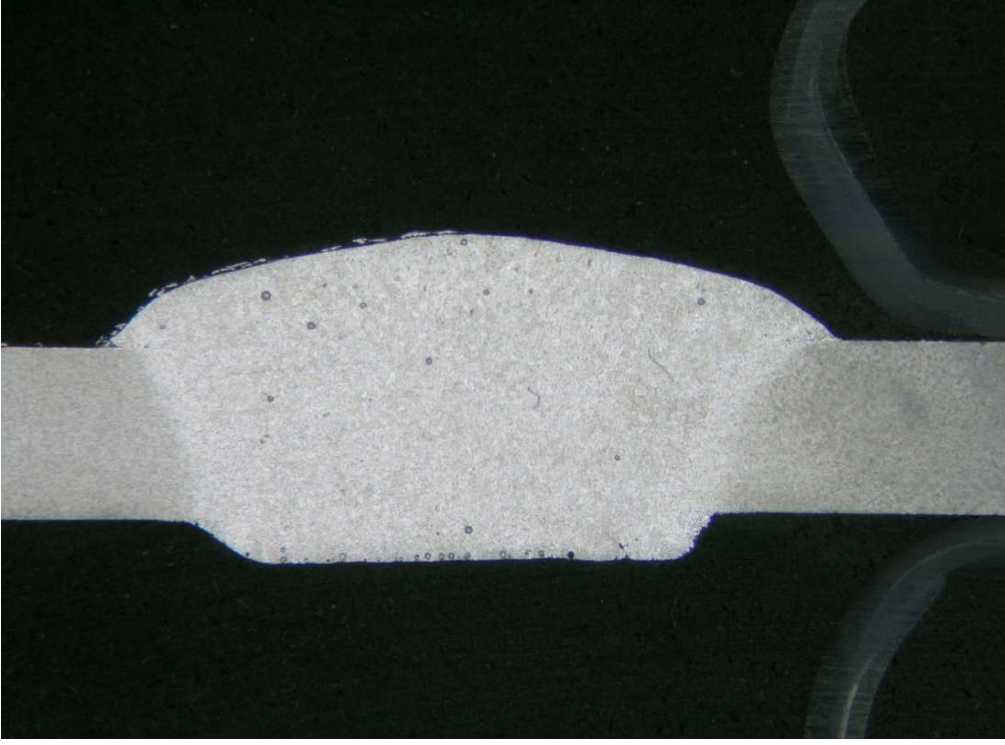
Şekil 5.14. X-3 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20X)



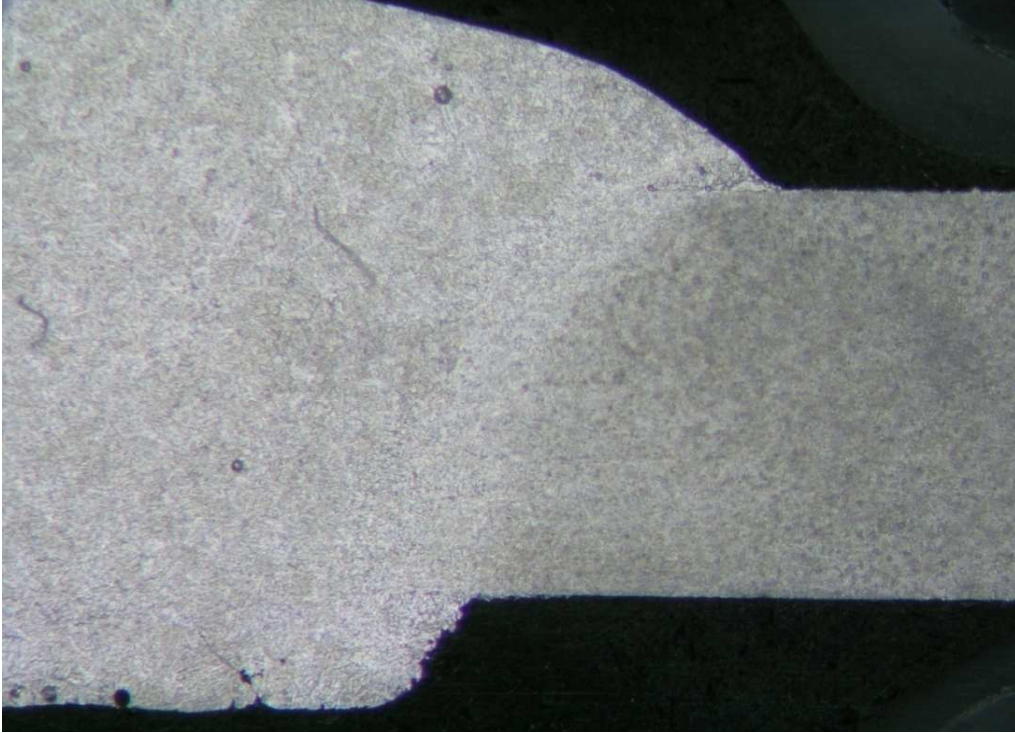
Şekil 5.15.Y-1 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X)



Şekil 5.16.Y-1 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20 X)



Şekil 5.17.Y-2 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X)



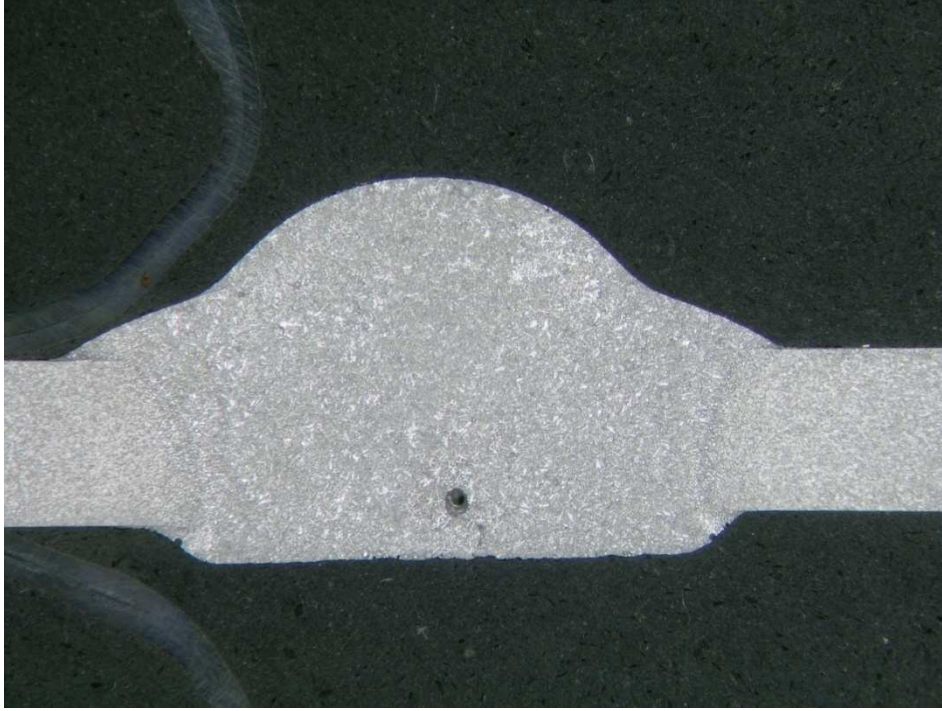
Şekil 5.18.Y-2 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20 x)



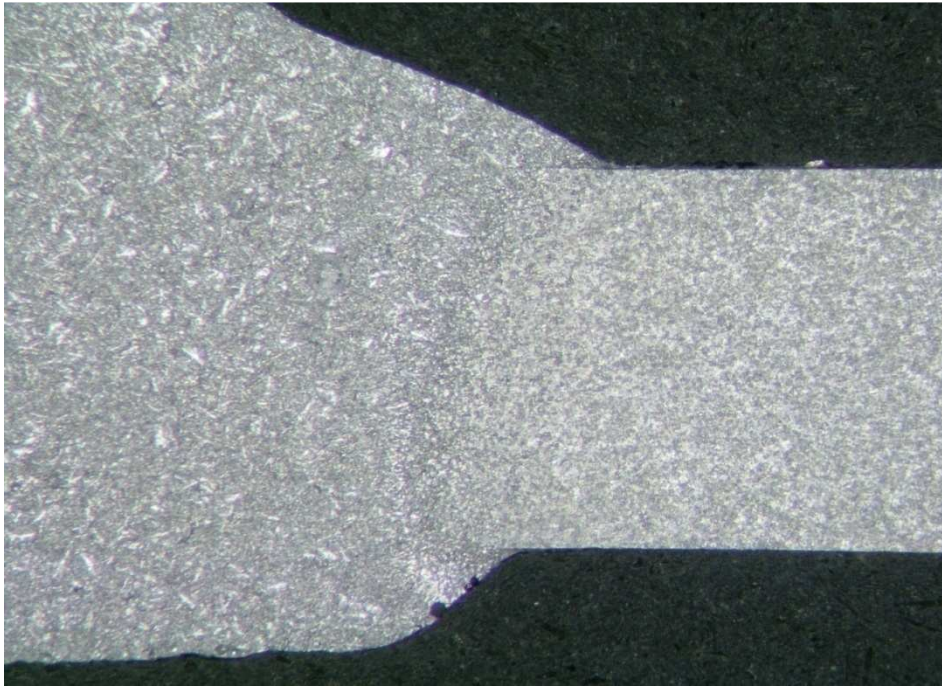
Şekil 5.19.Y-3 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X)



Şekil 5.20.Y-3 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20 X)



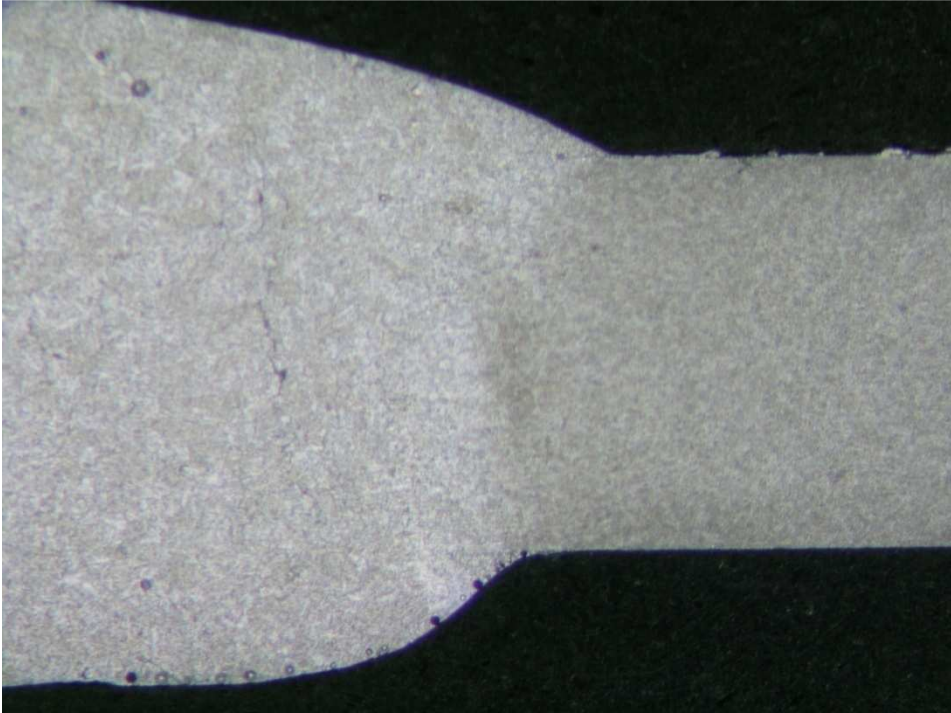
Şekil 5.21. Z-1 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X)



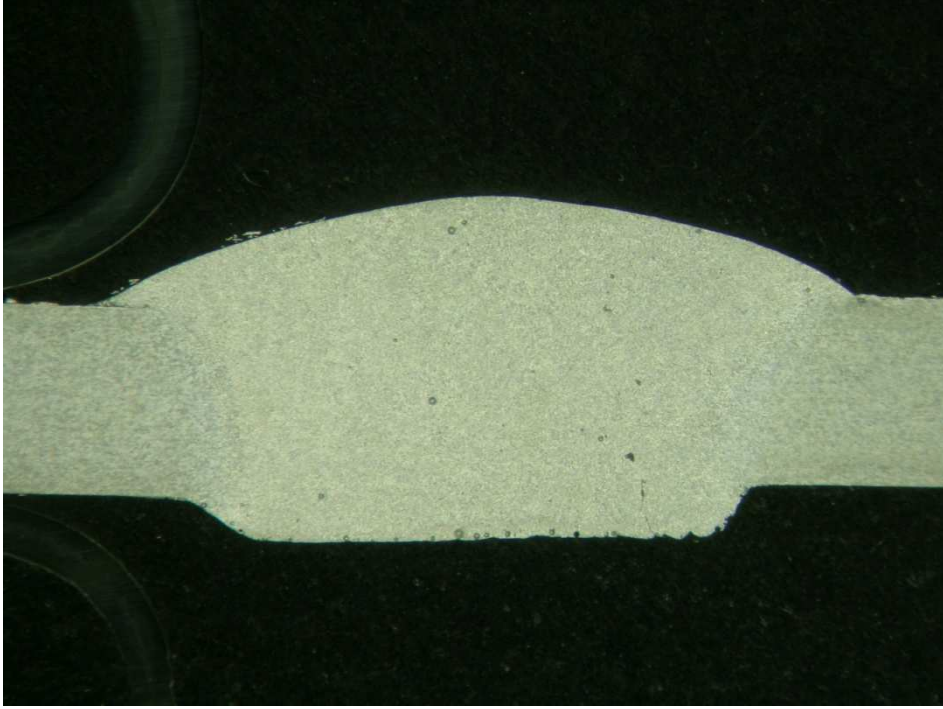
Şekil 5.22. Z-1 Numunesi ITAB makroyapı genel görüntüsü (20 X)



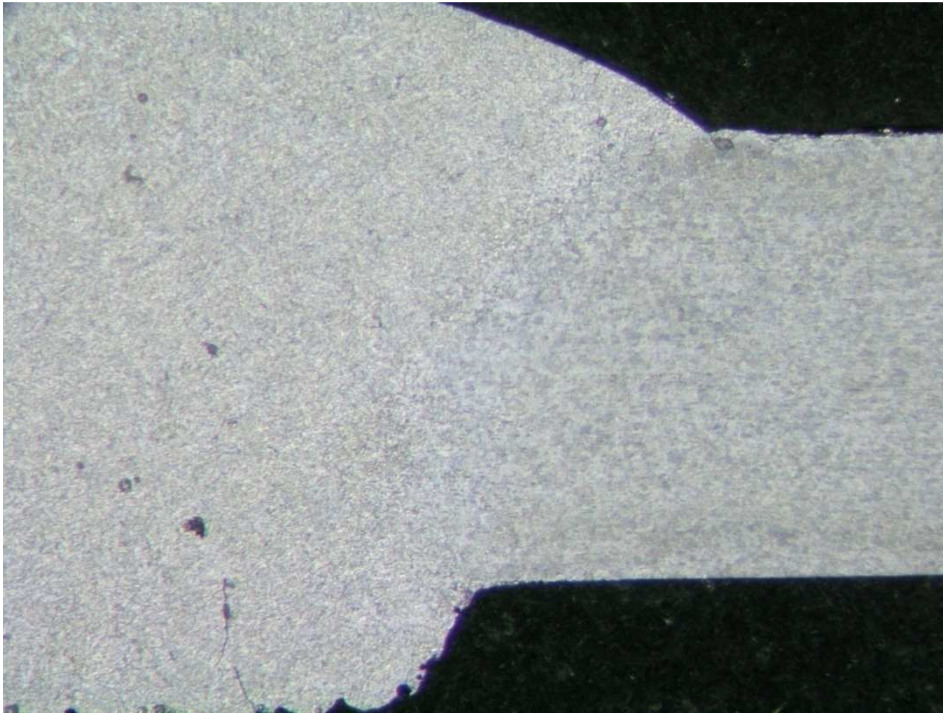
Şekil 5.23. Z-2 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X)



Şekil 5.24. Z-2 Numunesi ITAB makroyapı görüntüsü (20 X)



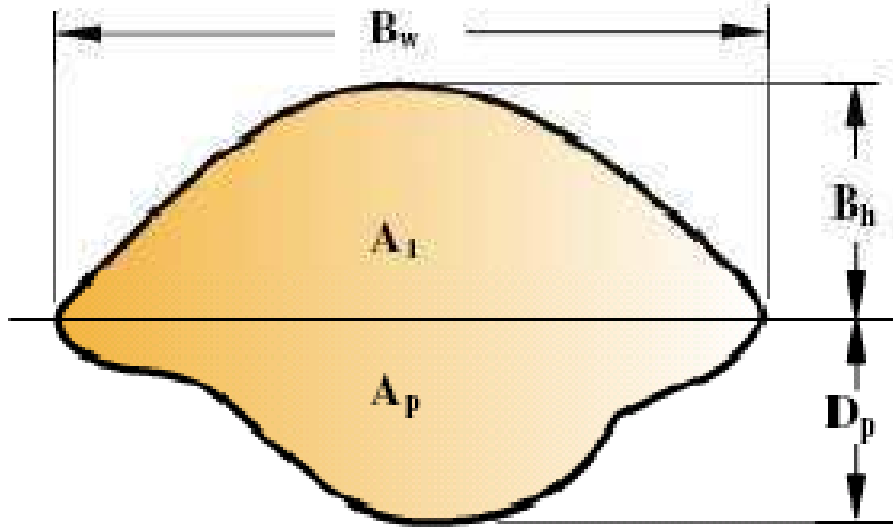
Şekil 5.25. Z-3 Numunesi makroyapı genel görüntüsü (10 X)



Şekil 5.26. Z-3 Numunesi ITAB makroyapı genel görüntüsü (20 X)

Makroyapı fotoğraflarında da görüleceği üzere yapılan kaynaklı numunelerin her biri uygun parametrelerde birleştirilmesi sebebiyle numunelerin hiç birinde yetersiz nüfuziyet hatalarına rastlanmamış, sadece Z-1 numunesinde kaynak dikişinde bir yığılma gözlenmiştir. Deneysel numunelerindeki tam nüfuziyetin sebebi kaynak akımının optimum düzeyde olması ve kaynak hızının optimum düzeyde olması olarak açıklanabilir, ayrıca deneyde koruyucu gaz olarak saf Argon gazının da kullanılması düşük ısıl iletkenliği sayesinde spray ark transferi oluşturmuş bu sayede kaynak arkının iyi bir şekilde penetrasyonunu sağlamıştır.

Z-1 numunesinin kaynak dikişindeki yığılma sebebi ise kaynak akımının optimum düzeyin altında kalması veya kaynak hızının optimum düzeyin altında kalması olabilir. Farklı parametrelerde birleştirilmiş deneysel numunelerinin kaynak damla geometrilerinin makro fotoğrafları bize kaynak parametrelerinde uygunluğu, nüfuziyet durumunu ve kaynak dikiş geometrisini tam manasıyla açıklayabilir. Tablo 5.3' de kaynak damla geometrileri, Şekil 5.28-45'da numunelerin kaynak damla geometri fotoğrafları ve kaynak damla geometri hesapları gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Kaynak damla geometrisi (A_p : Nüfuziyet alanı

Damla alanı : $A_1 + A_p$)

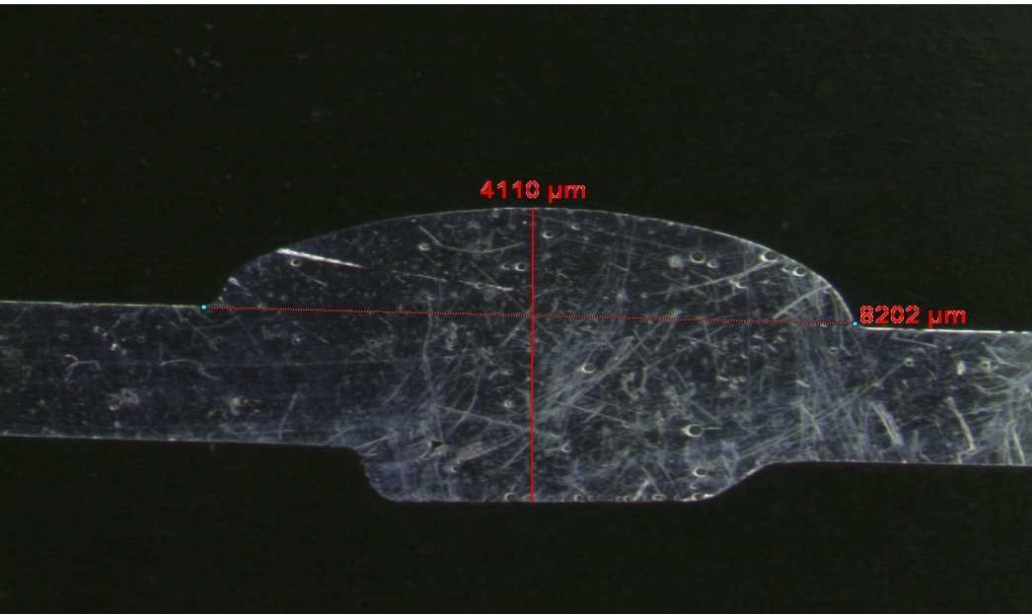
Tablo 5.3. Numunelerin kaynak damla geometrileri

Numuneler	B_h (mm)	B_w (mm)	D_p (mm)	A₁ (mm)	A_p (mm)	Damla Alanı mm²
X-1	1,1	8,2	3,1	4,51	12,7	17,2
X-2	1,3	7,7	2,3	5	8,8	13,8
X-3	1,2	7,7	2,4	4,6	9,2	13,8
Y-1	1,5	8,4	2,2	6,3	9,2	15,5
Y-2	1,3	8,1	2,4	5,2	9,7	14,9
Y-3	1,3	7,7	2,4	5	9,2	14,2
Z-1	2,2	8,5	2,2	9,2	9,2	18,4
Z-2	1,2	8,1	2,3	4,8	9,3	14,1
Z-3	1,2	7,4	2,4	4,4	8,8	13,2

Numunelerin kaynak damla geometrilerine bakıldığında, parametrelerden biri olan kaynak hızının damla geometrisine etkisi hızın artmasıyla damla alanının azalması şeklinde olmuştur. Koruyucu gazın çeşidi de damla geometrisini etkilediği de söylenebilir.



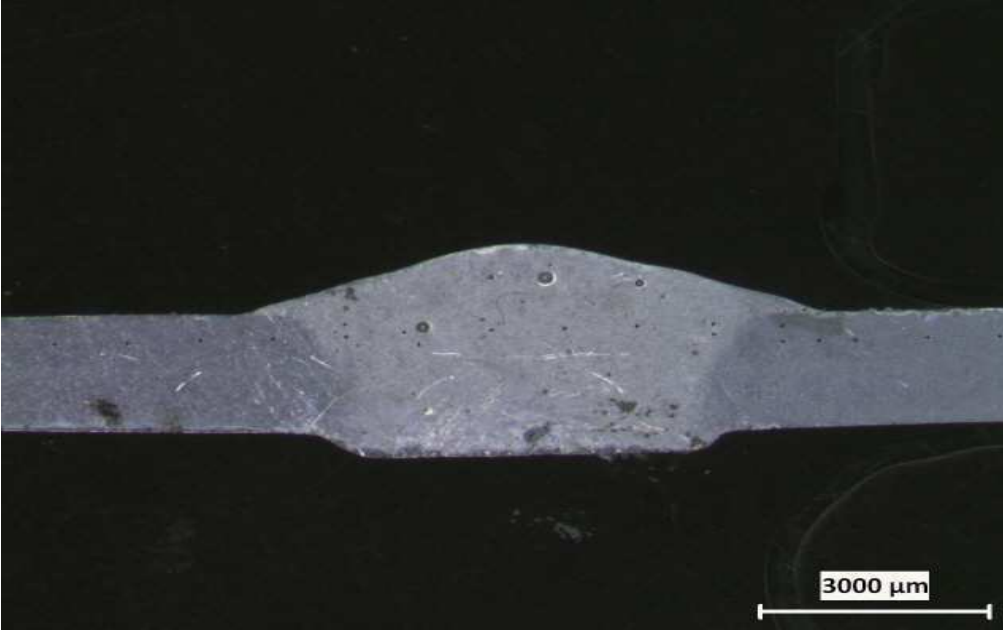
(a)



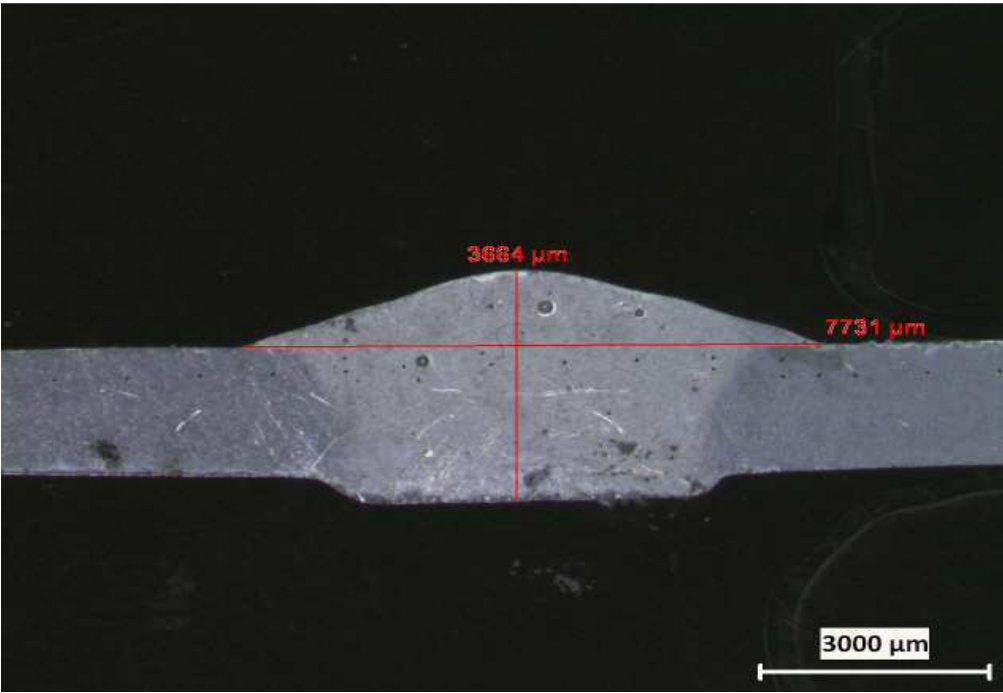
(b)

Şekil 5.28.a. X-1 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü

b. X-1 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü ve boyut hesabı



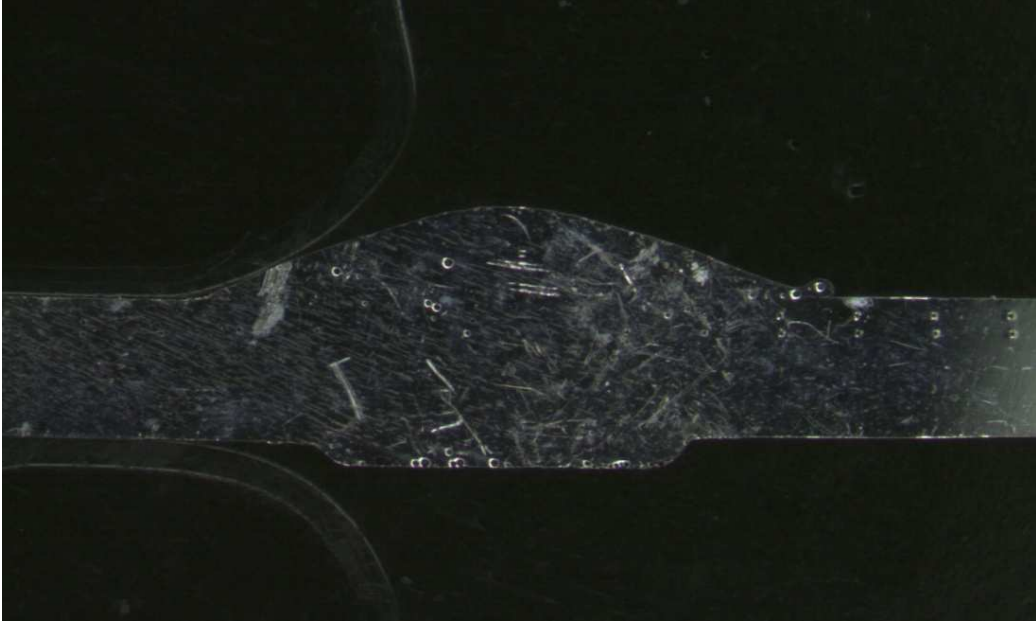
(a)



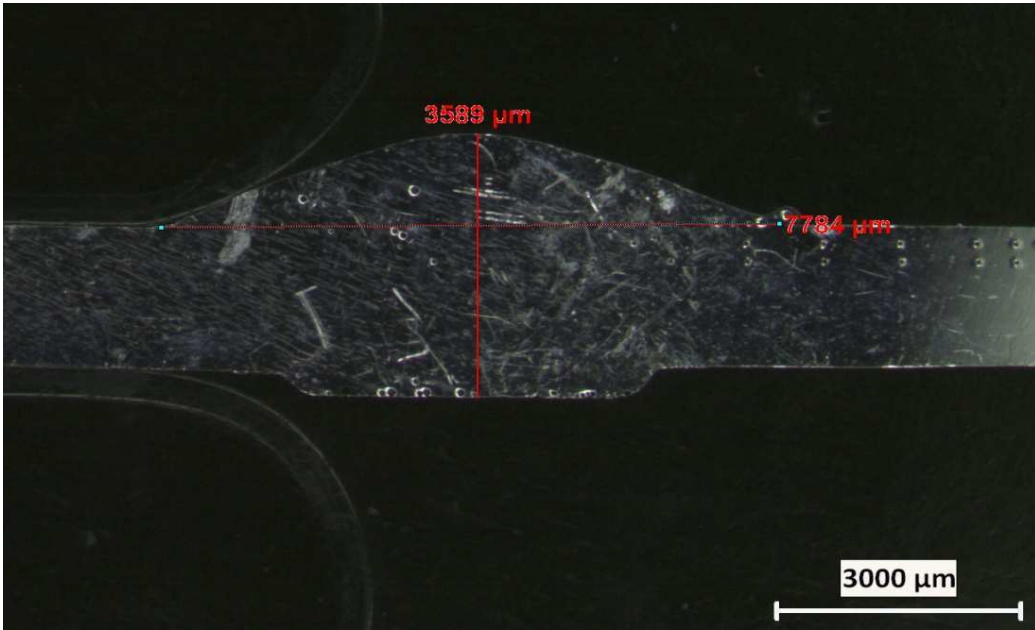
(b)

Şekil 5.29 a. X-2 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü

b. X-2 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü ve boyut hesabı



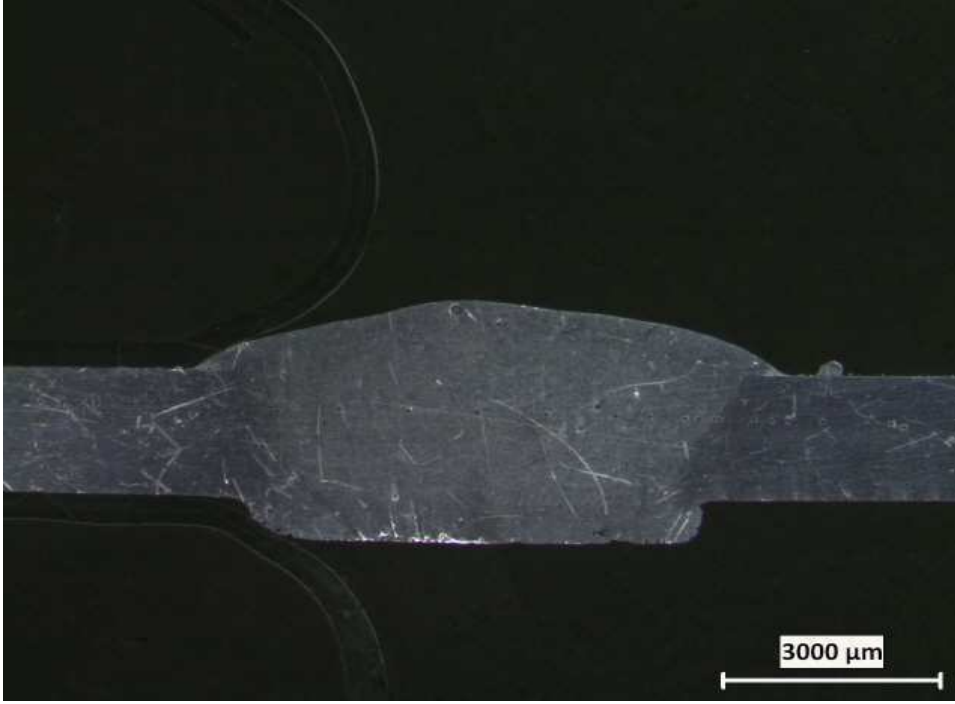
(a)



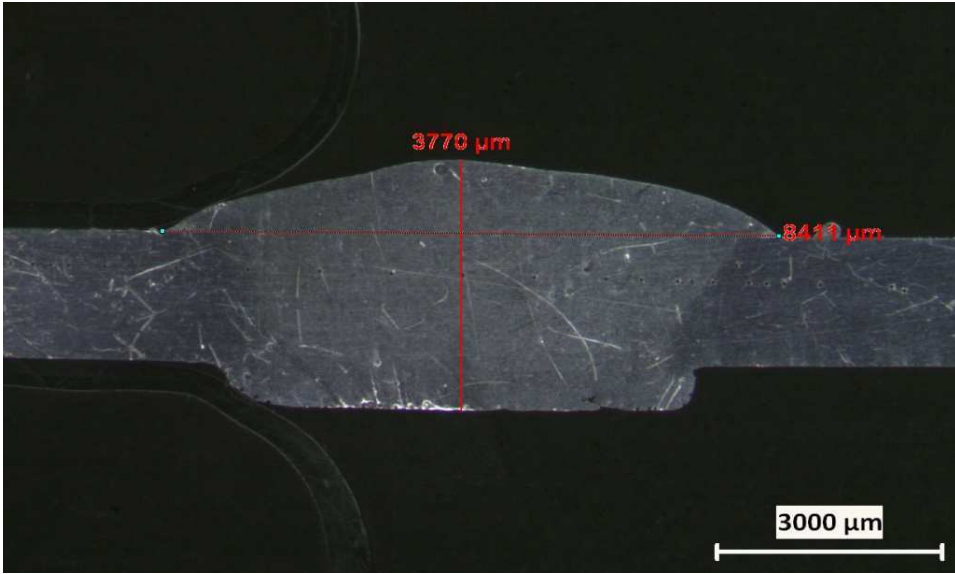
(b)

Şekil 5.30 a. X-3 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü

b. X-3 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü ve boyut hesabı



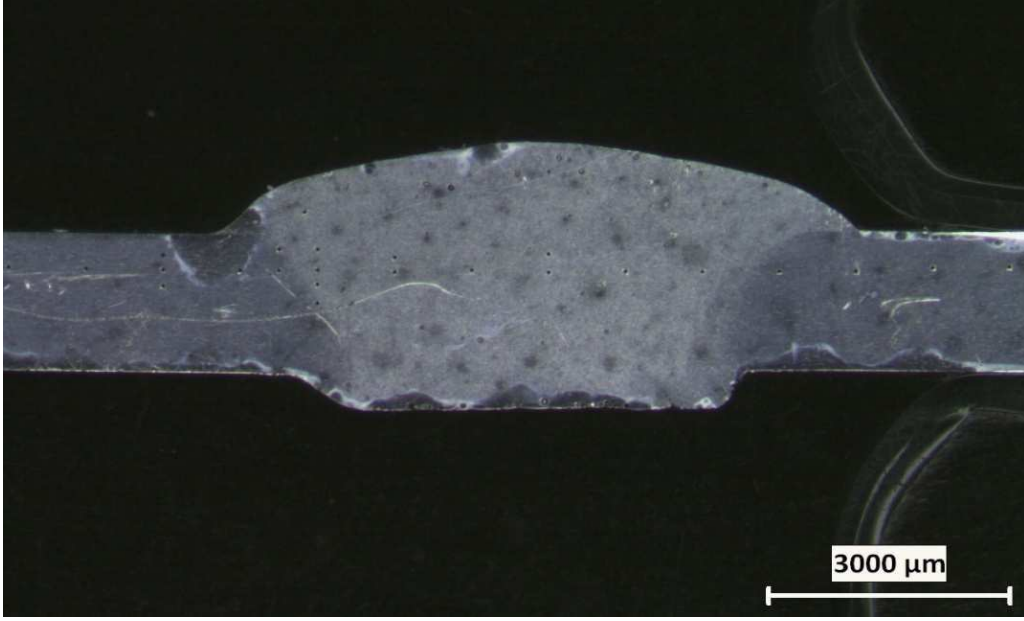
(a)



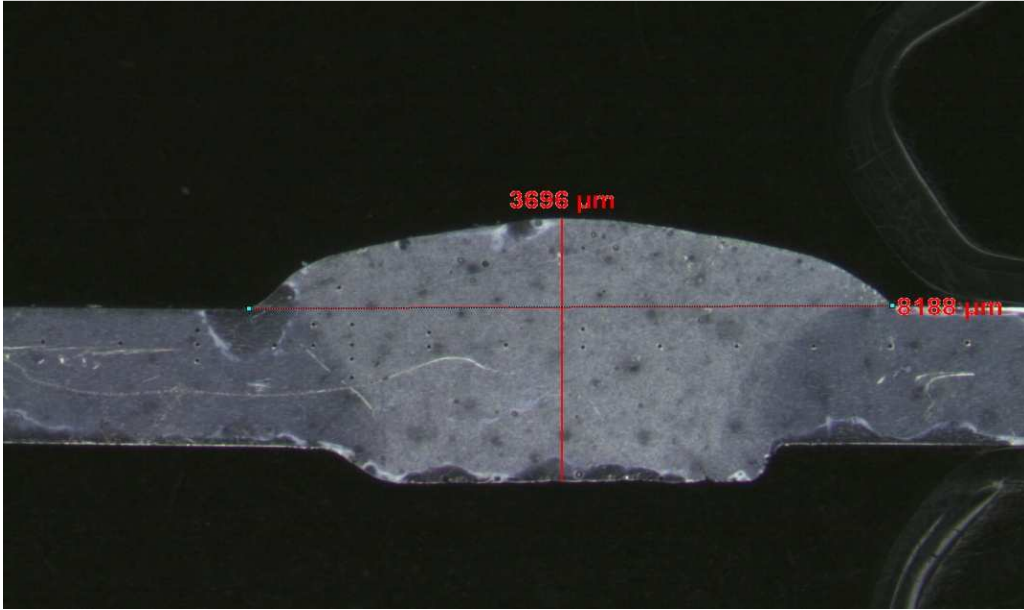
(b)

Şekil 5.31 a. Y-1 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü

b. Y-1 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü ve boyut hesabı



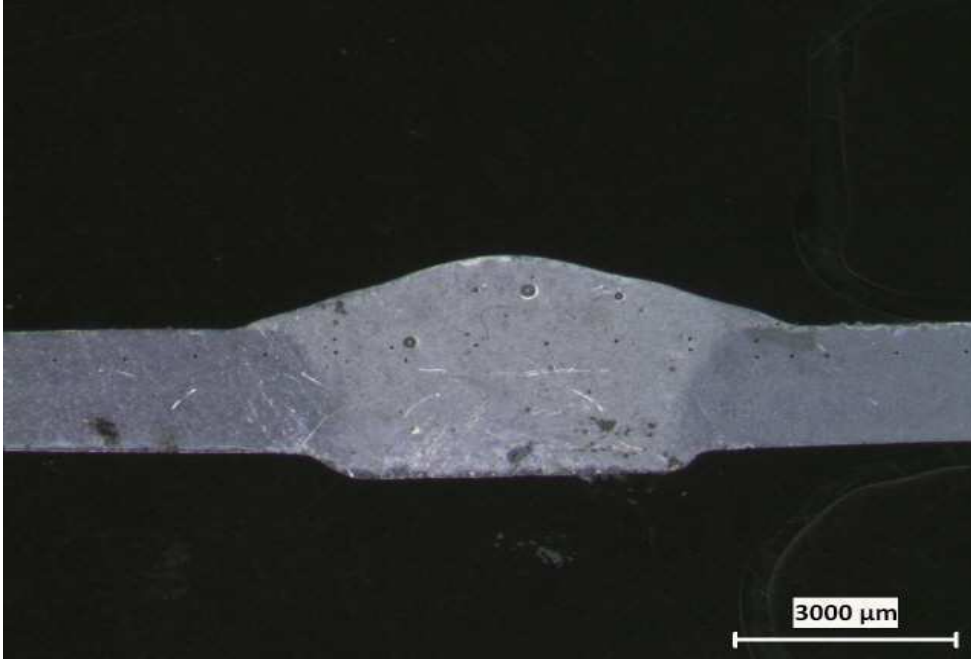
(a)



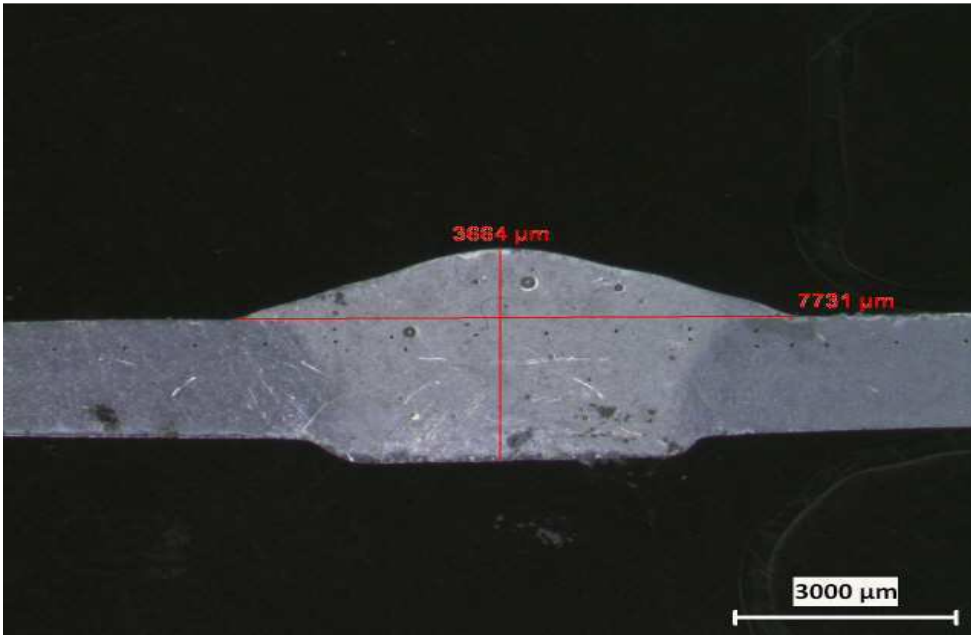
(b)

Şekil 5.32 a. Y-2 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü

b. Y-2 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü ve boyut hesabı



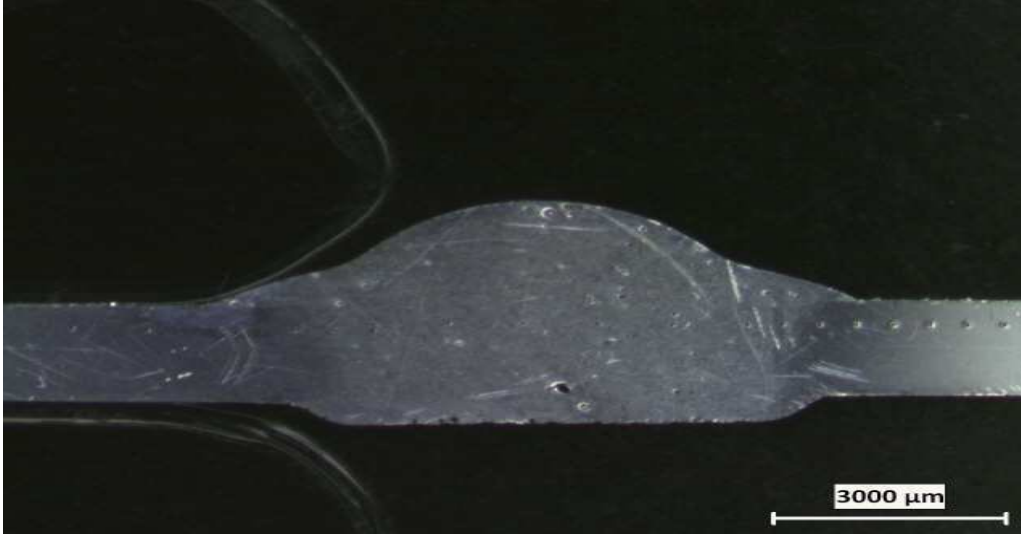
(a)



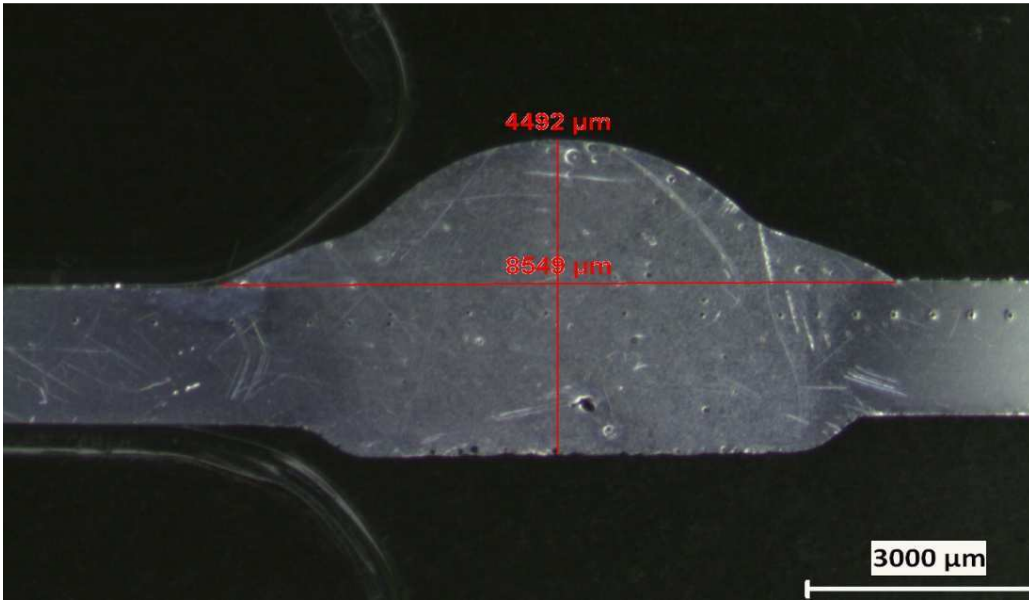
(b)

Şekil 5.33 a. Y-3 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü

b. Y-3 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü ve boyut hesabı



(a)



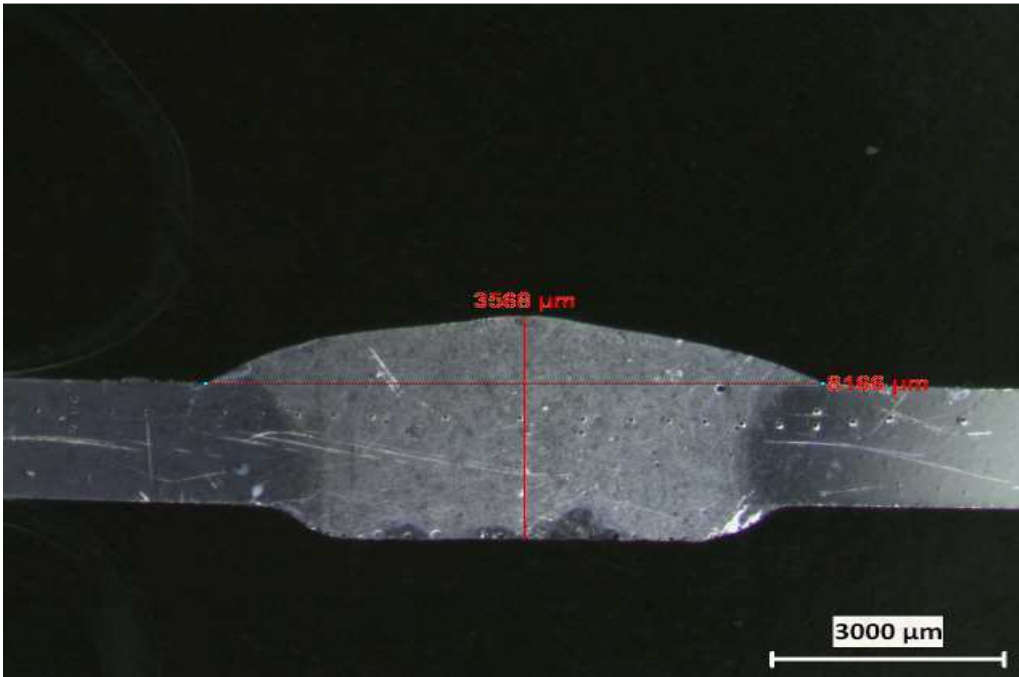
(b)

Şekil 5.34 a. Z-1 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü

b. Z-1 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü ve boyut hesabı



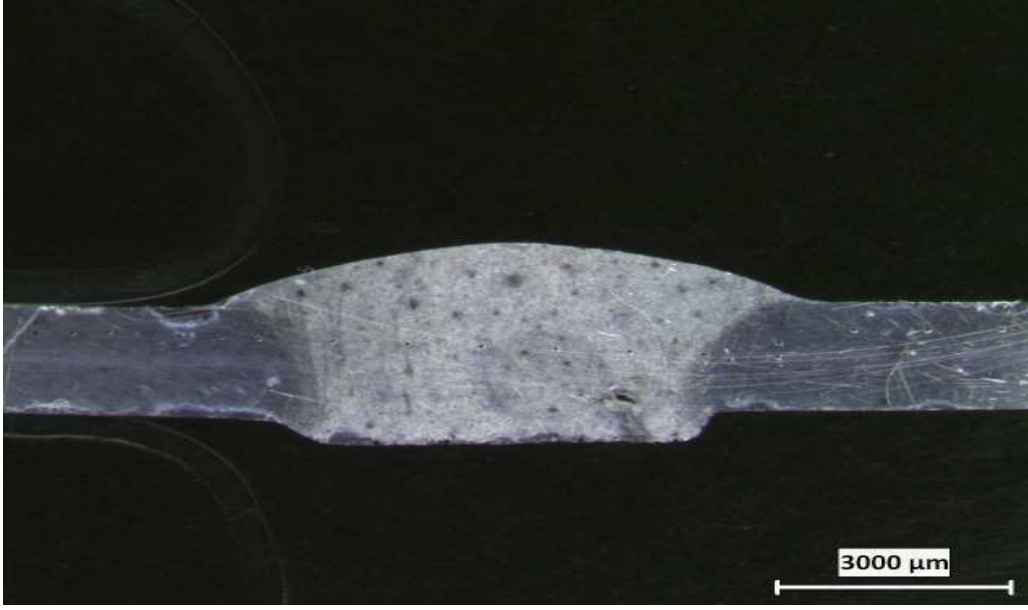
(a)



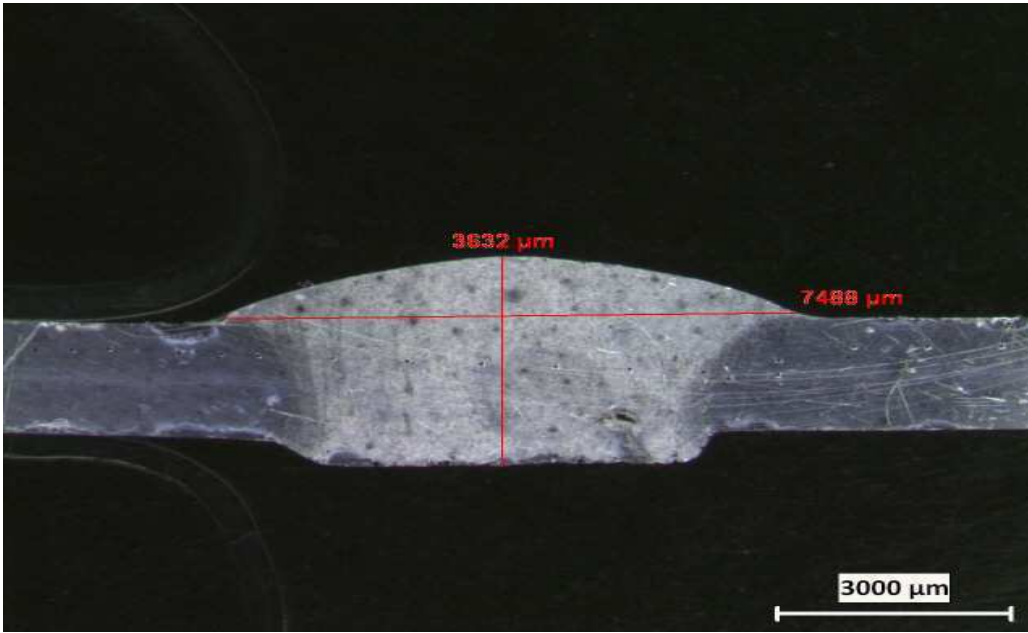
(b)

Şekil 5.35 a .Z-2 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü

b. Z-2 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü ve boyut hesabı



(a)



(b)

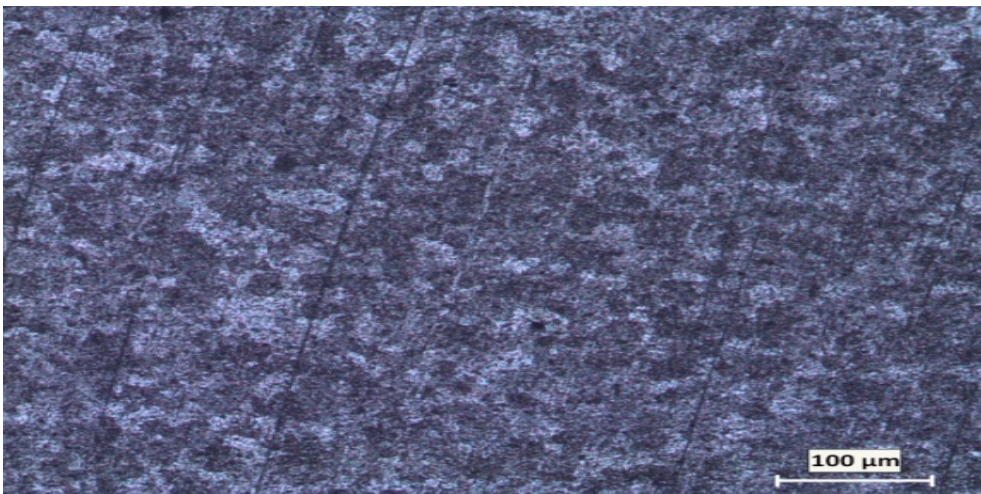
Şekil 5.36 a. Z-3 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü

b. Z-3 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü ve boyut hesabı

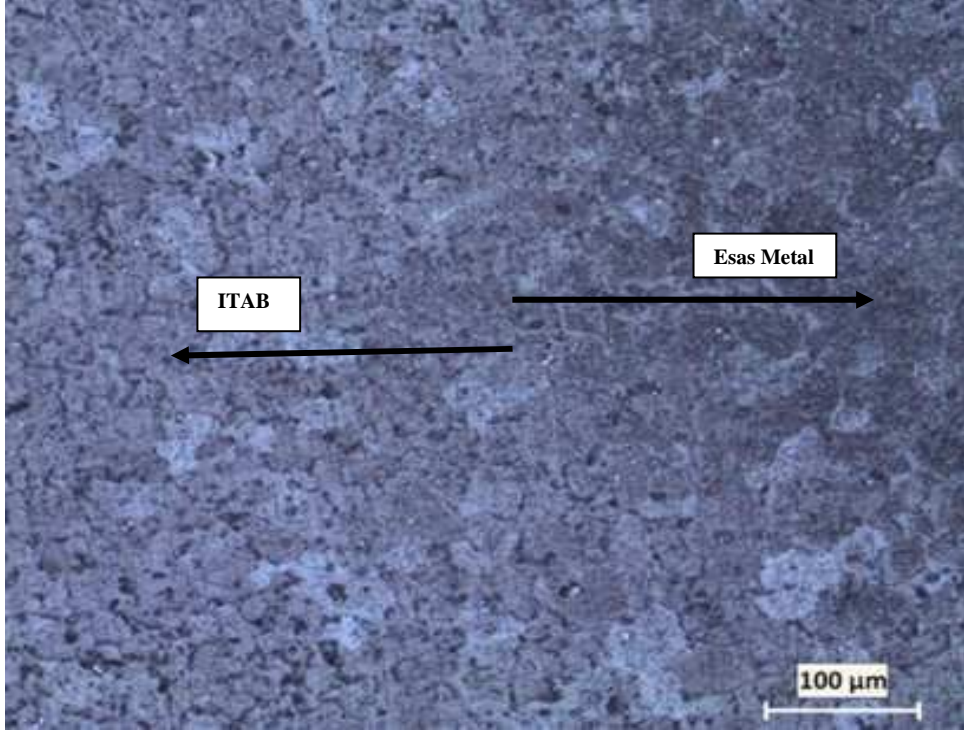
5.4. Mikroyapı İncelemeleri ve Sonuçları

Mikroyapı incelemeleri Sakarya üni. T.E.F.' de bulunan Nikon marka L150 A model optik mikroskop ile yapılmıştır. Farklı kaynak parametrelerde birleştirilen numunelerin, ana metal, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve kaynak metali incelenmiştir (Şekil 5.47-55) Belirtilen bu üç bölgede de ısı girdisi farklı olduğu için mikroyapı görüntüleri ve tane yapıları arasında farklılıklar görülmüştür. Mikroyapı görüntülerinden de anlaşılacağı üzere ana metalde homojen bir dağılımın olduğu görülmektedir. ITAB da ise daha düzensiz bir yapıya geçildiği görülmektedir, ITAB'ın çok geniş bir alana dağılmadığı da gözlenmiştir, ITAB'ın büyüklüğü kaynak bölgesindeki yapı dönüşümlerinin meydana geldiği bölgeyi belirlemektedir. Bu yapı dönüşümleri ise malzemenin mekanik özelliklerini çoğunlukla olumsuz yönde etkilemektedir.

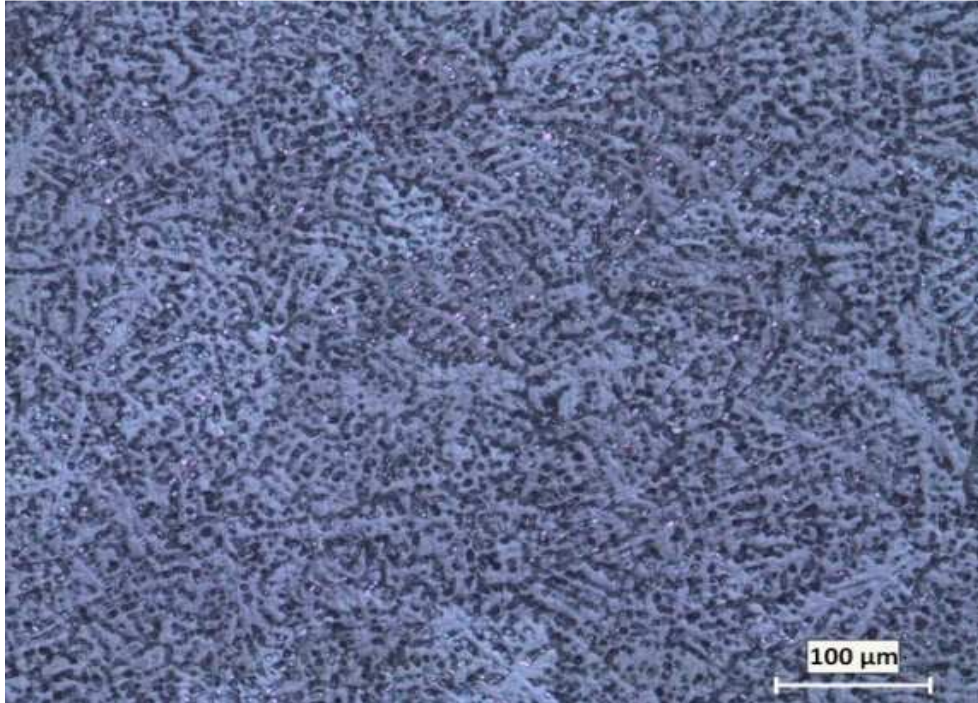
Kaynak metalinde ise dendritik bir yapı görülmektedir, bu dendritler kaynağın soğuması esnasında oluşmuştur, kaynak metalinde oluşan bu dendritler soğuma hızına bağlı olarak boyutlarında farklılıklar arzettiği gözlenmiştir. Kaynak metalinde çatlaklara rastlanılmamasının bir sebebi bu dendritik yapının ince bir yapıda olduğu sonucuna da varılabilir. Dendritler ITAB'daki sertliğe nazaran kaynak metalinin sertliğinin artmasında önemli rol oynamıştır. Mikroyapıda görülen bu farklı tane boyutları ve fazlar mekanik özellikleri etkileyen önemli faktörler olmuştur.



Esas Metal (100 X)

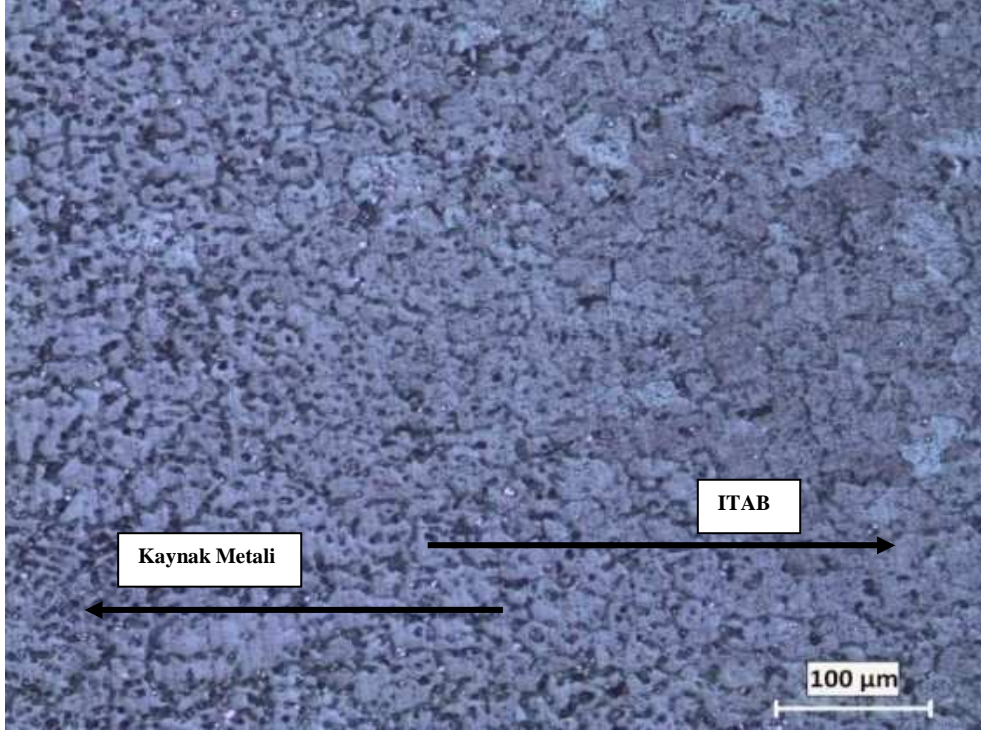


ITAB (100 X)

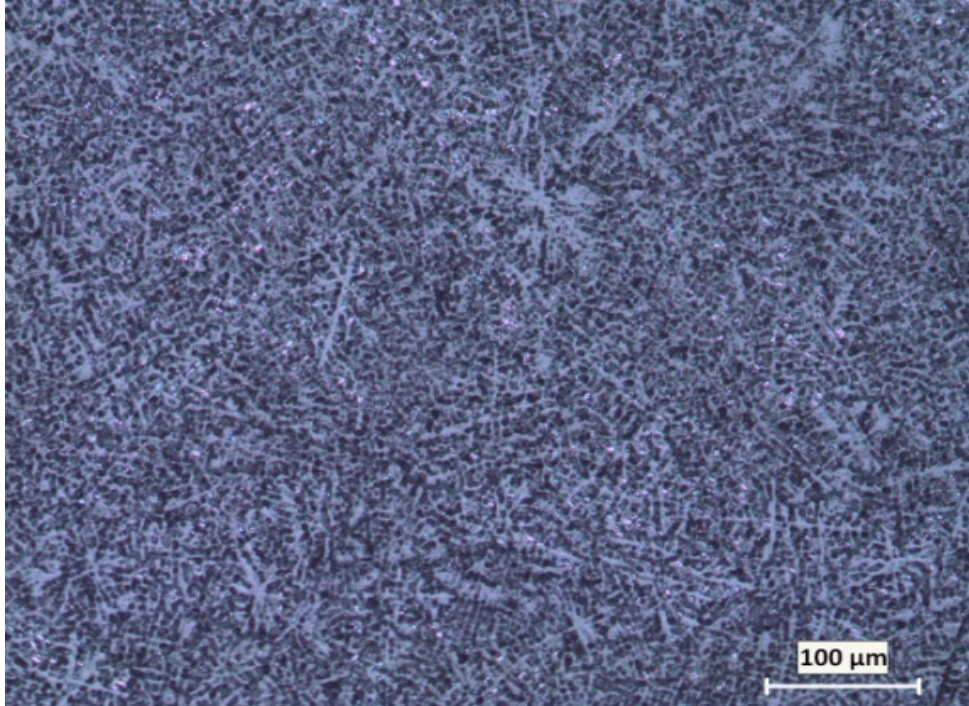


Kaynak Metali (100 X)

Şekil 5.37. X-1 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü

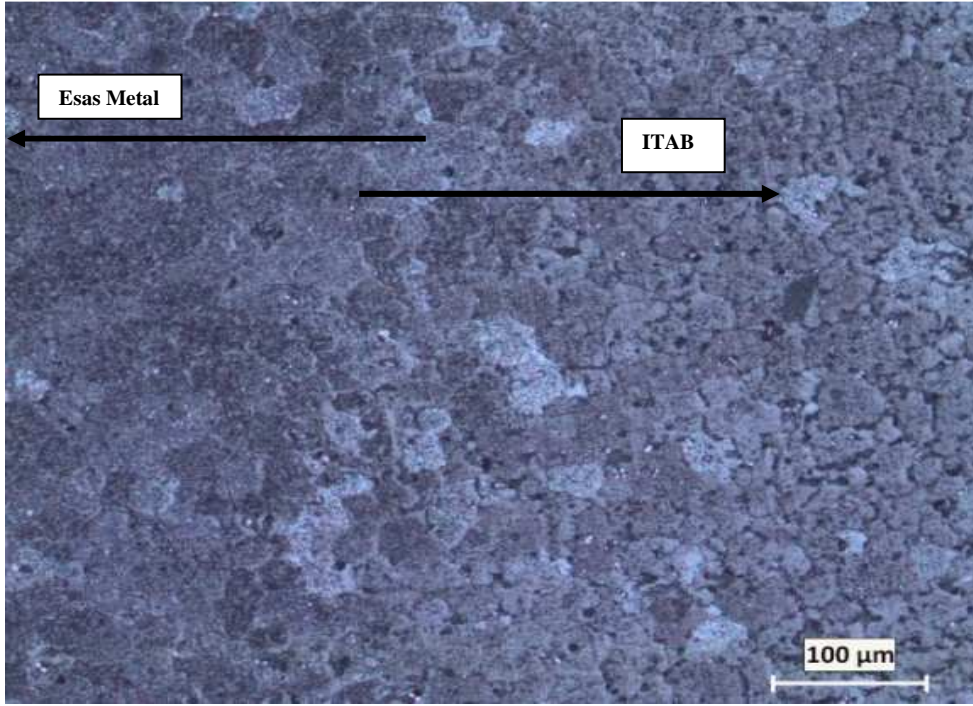


ITAB (100 X)

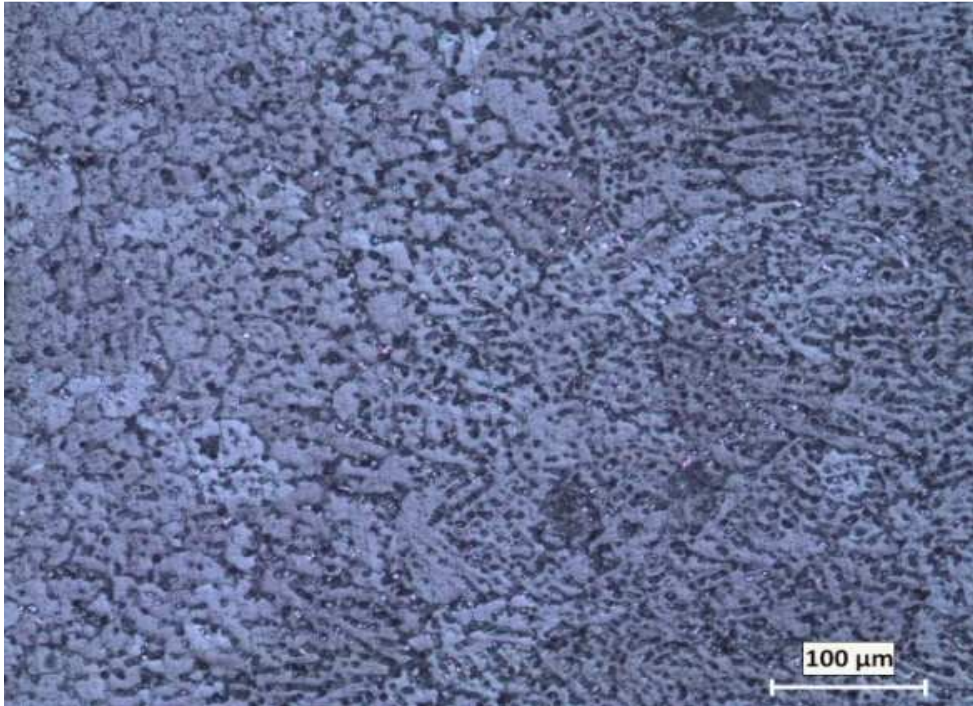


Kaynak Metali (100 X)

Şekil 5.38. X-2 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü

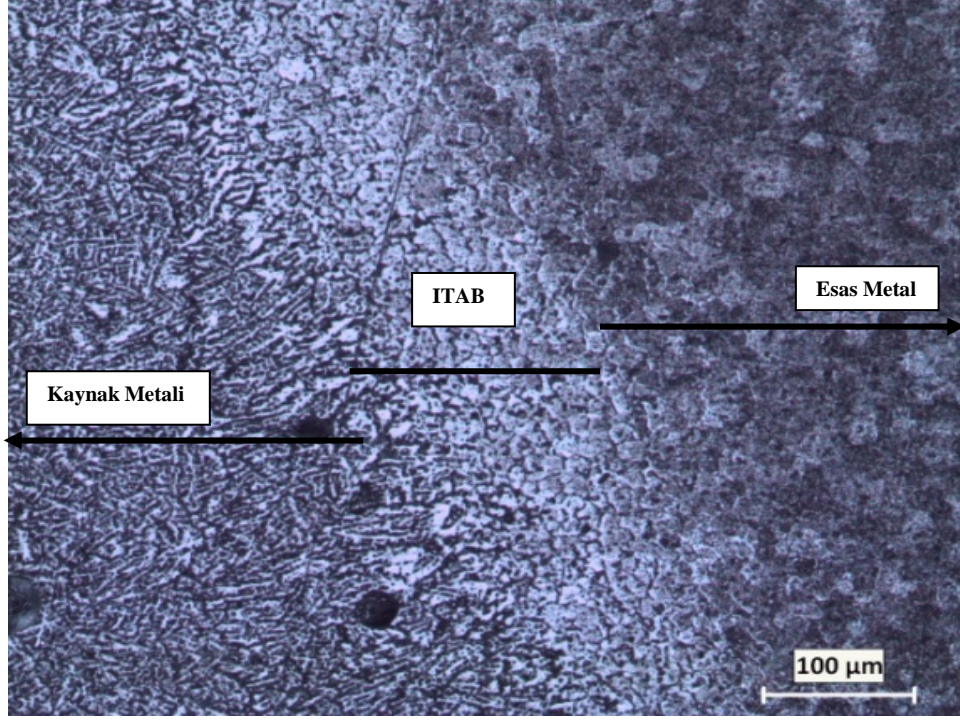


ITAB (100 X)

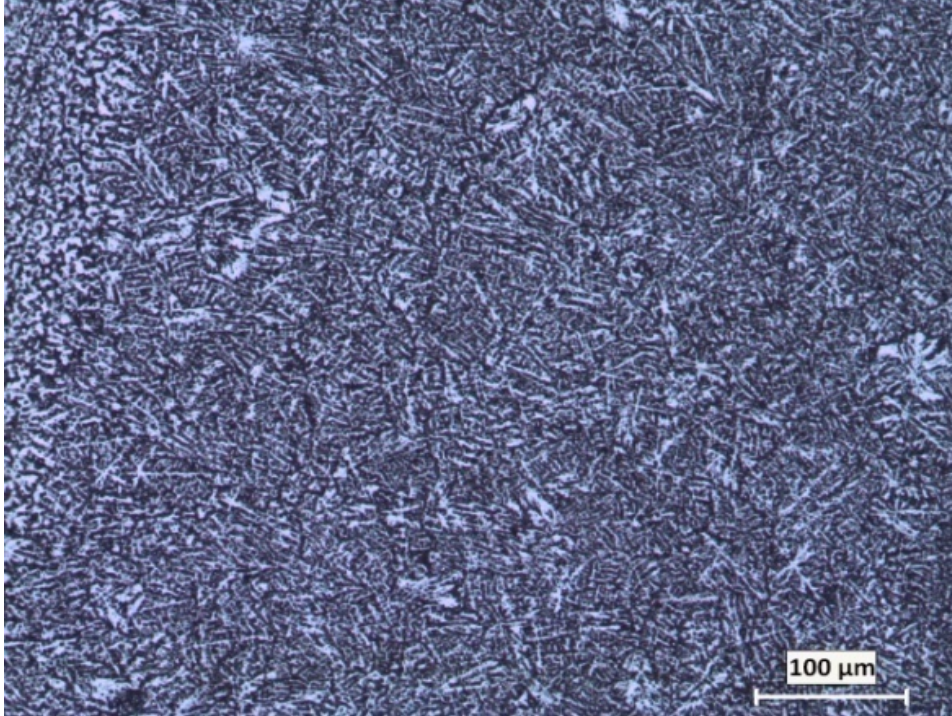


Kaynak Metali (100 X)

Şekil 5.39. X-3 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü

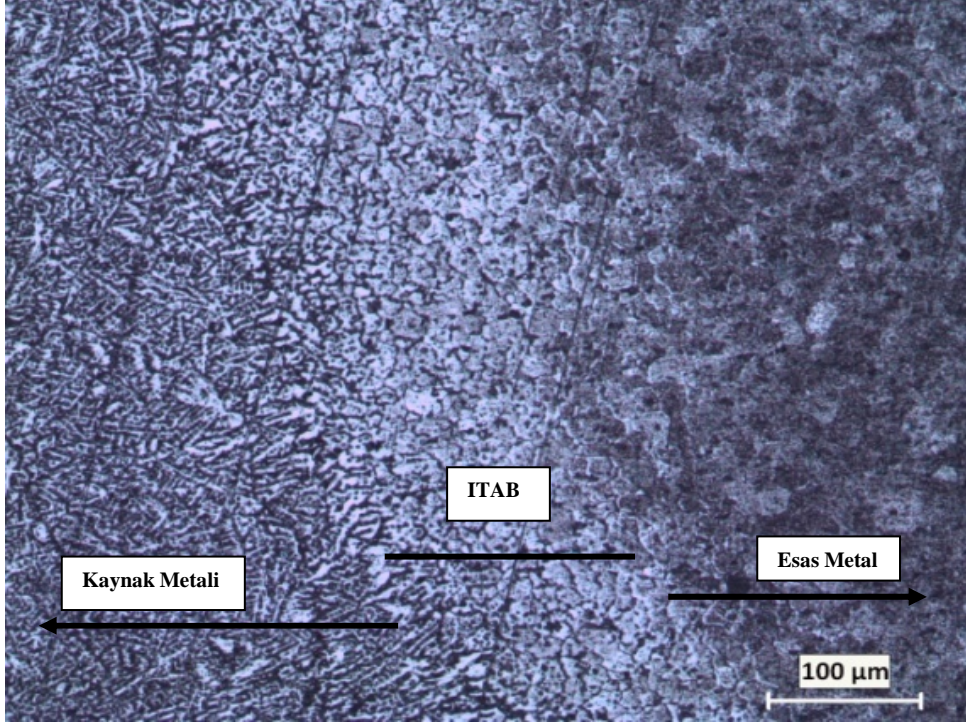


ITAB (100 X)

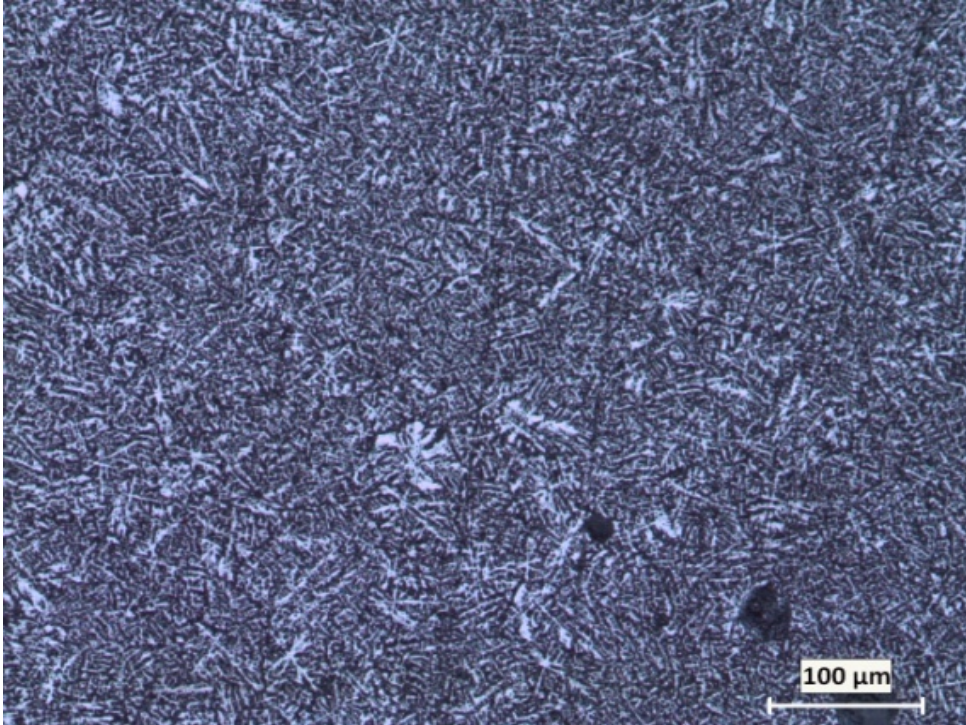


Kaynak Bölgesi (100 X)

Şekil 5.40. Y-1 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü

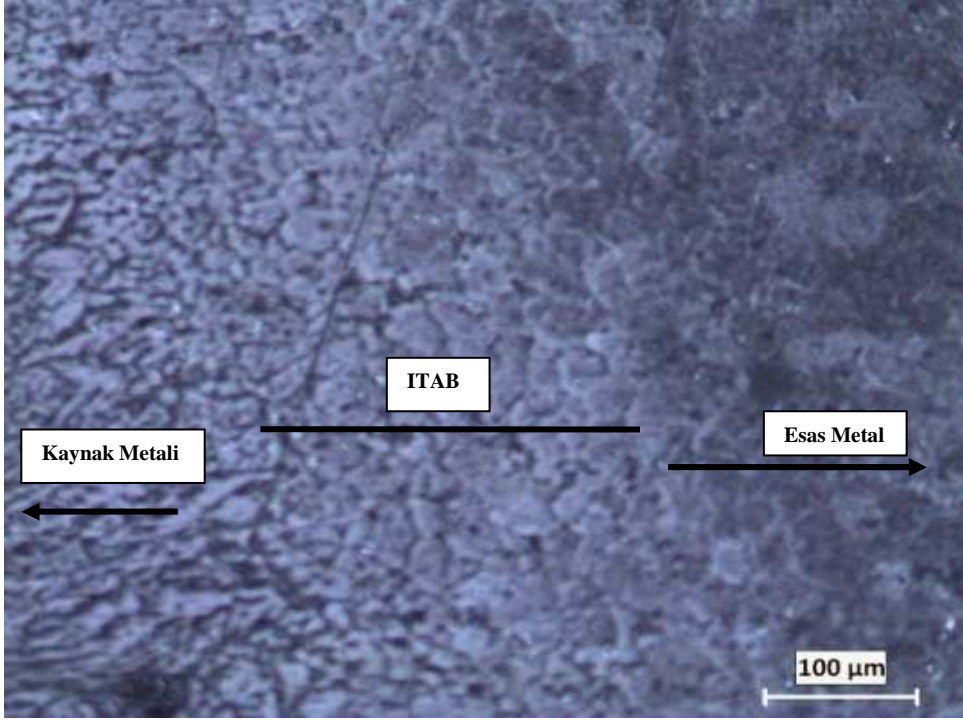


ITAB (100 X)

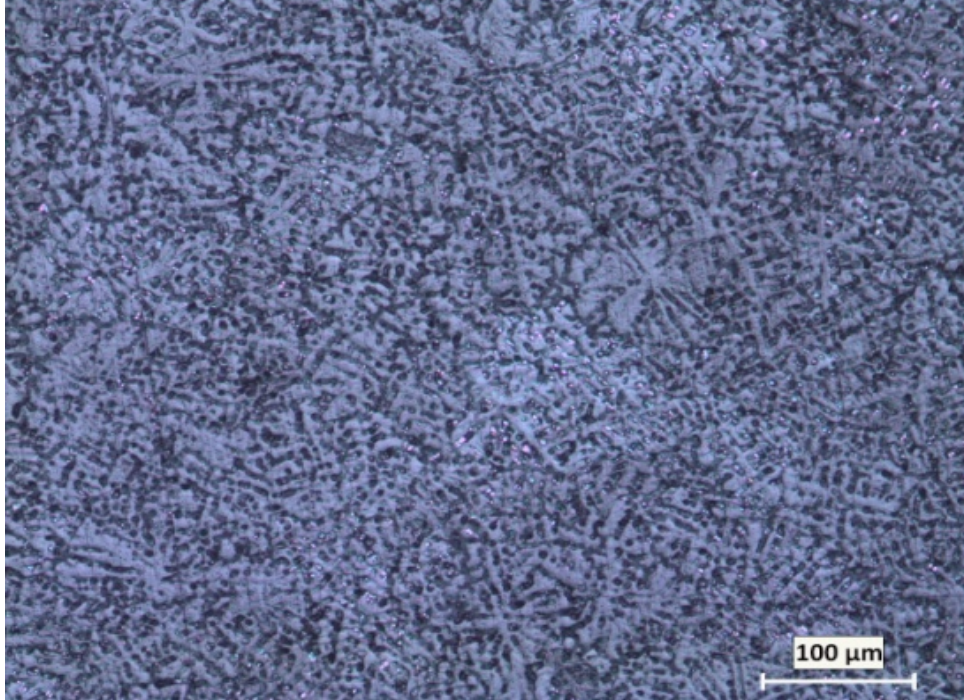


Kaynak Metali (100 X)

Şekil 5.41. Y-2 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü

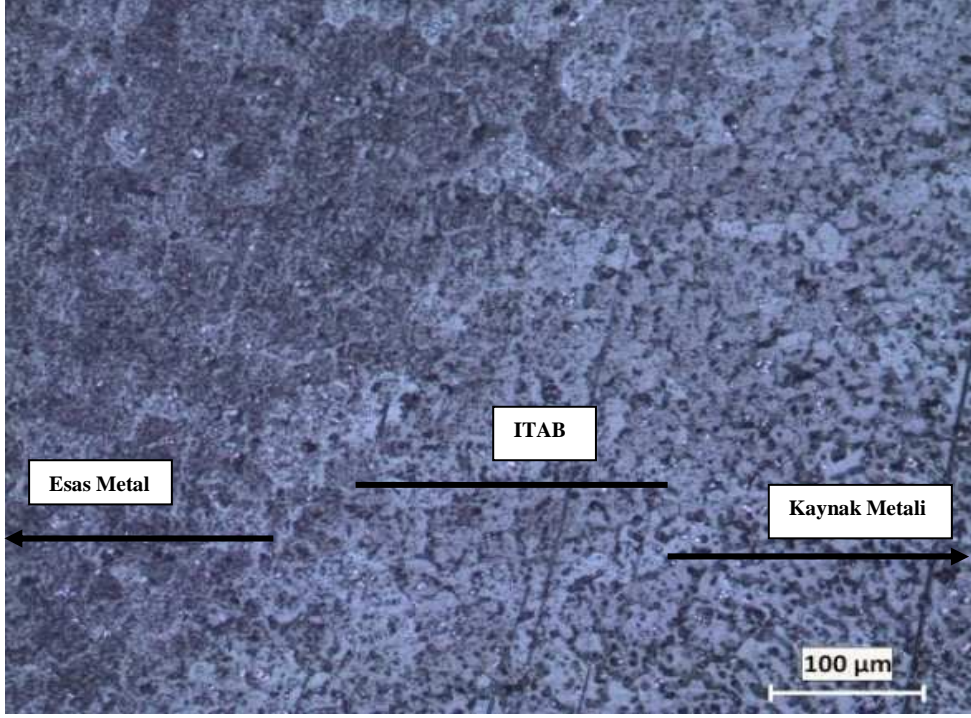


ITAB (100 X)

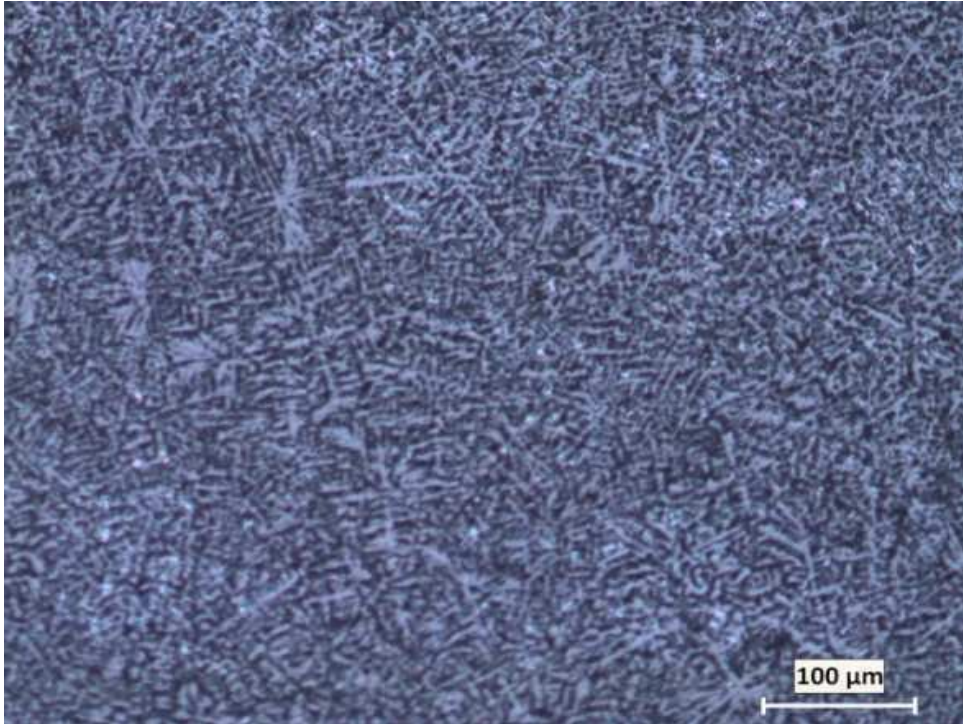


Kaynak Metali (100 X)

Şekil 5.42. Y-3 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü

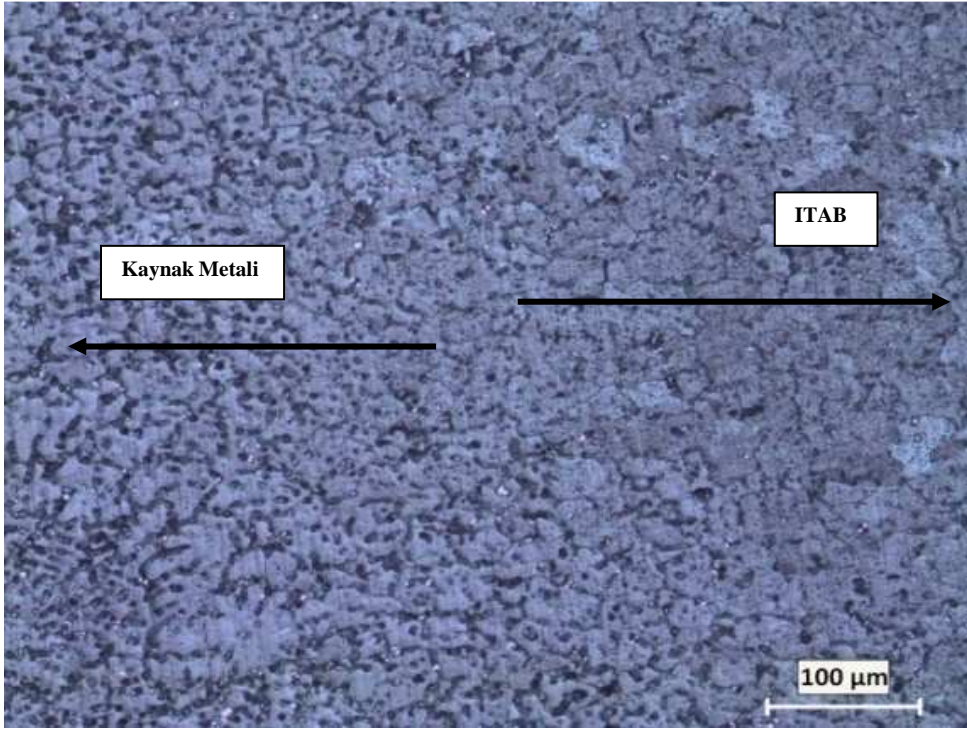


ITAB (100 X)

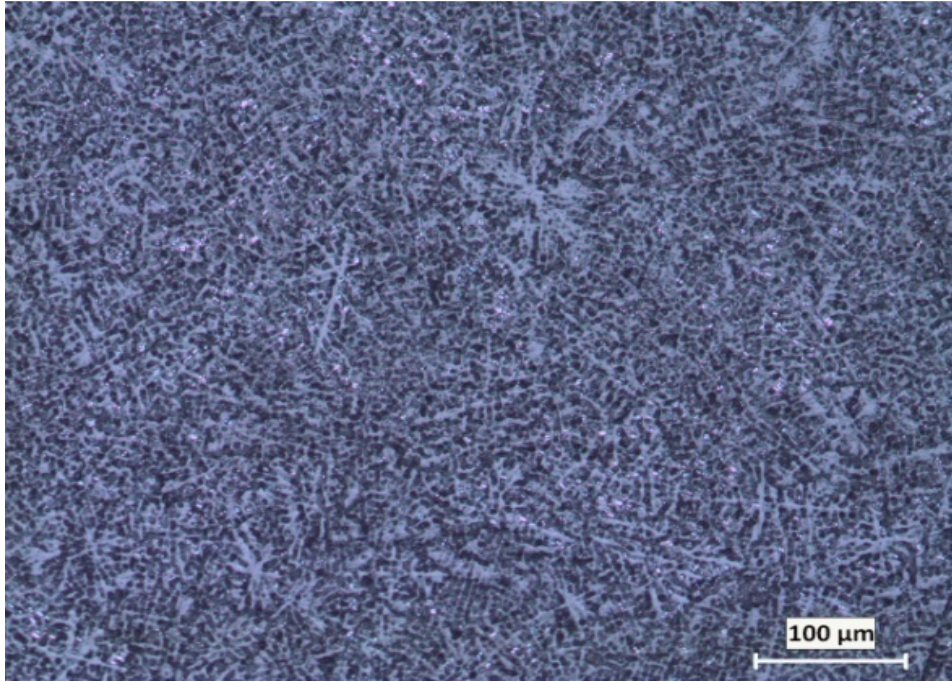


Kaynak Metali (100 X)

Şekil 5.43. Z-1 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü

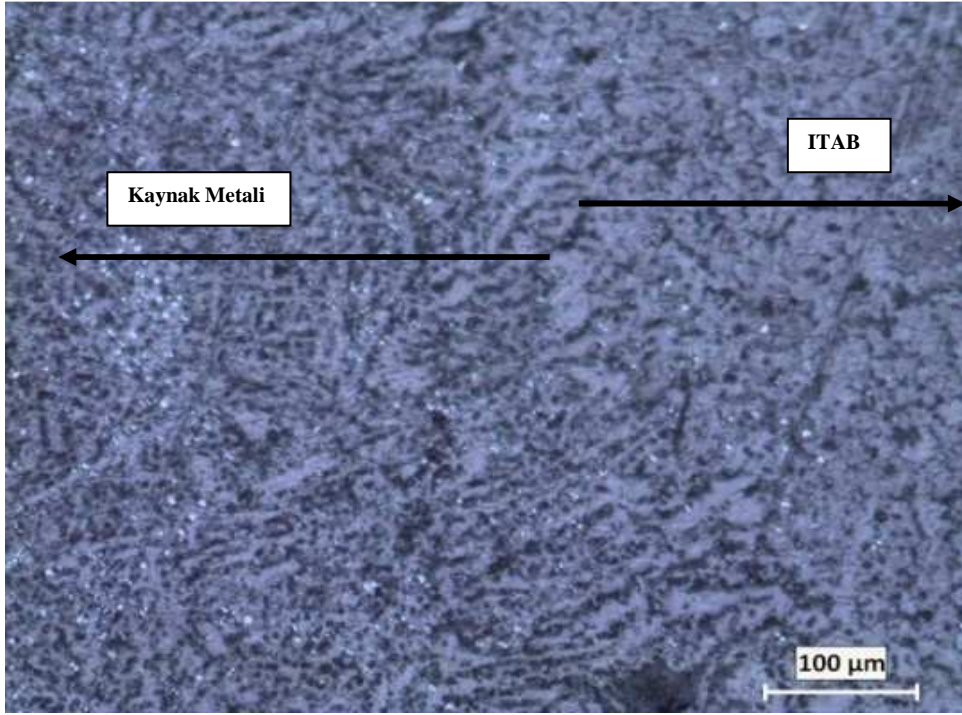


ITAB (100 X)

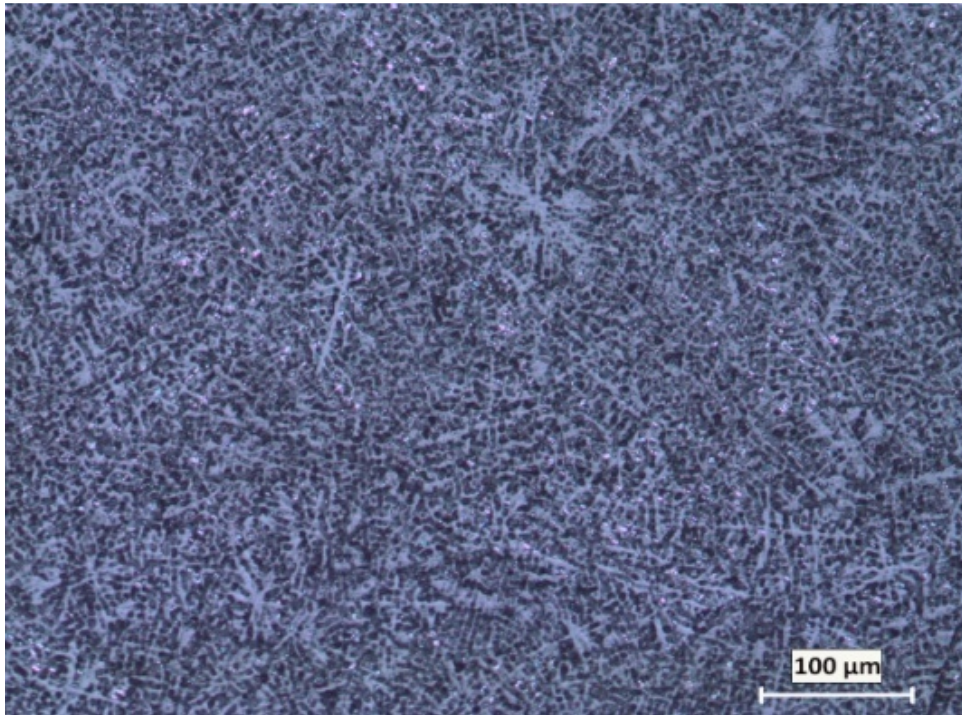


Kaynak Metali (100 X)

Şekil 5.44. Z-2 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü



ITAB (100 X)



Kaynak Metali (100 X)

Şekil 5.45. Z-3 Deney numunesinin mikroyapı görüntüsü

5.5. Mikrosertlik İncelemeleri ve Sonuçları

Mikrosertlik incelemelerinde farklı kaynak parametrelerinde birleştirilen ve havada soğutulan numunelerden alınan kaynak kesitlerinin ana metalden kaynak metaline doğru sertlikleri incelenerek aşağıdaki mikrosertlik sonuçları elde edilmiştir (Şekil 5.46-53) Sonuçlara bakıldığında her deney numunesinde ortalama değerler olarak beklenildiği gibi en sert bölgeler ana metal bölgesi (76 HV) görülmektedir. Ana metal sertliğine yakın değer olarak kaynak metali gelmektedir, daha sonra da ITAB gelmektedir.

Akım değeri 70 Amper seçilen, kaynak hızları farklı olan X-1, X-2, X-3 numunelerinin genel olarak ITAB'da sertliklerinin düştüğü (ort. 63 HV), kaynak metalinde ise sertliğin biraz daha yüksek değerlere çıktığı gözlenmiştir (ort.67 HV)

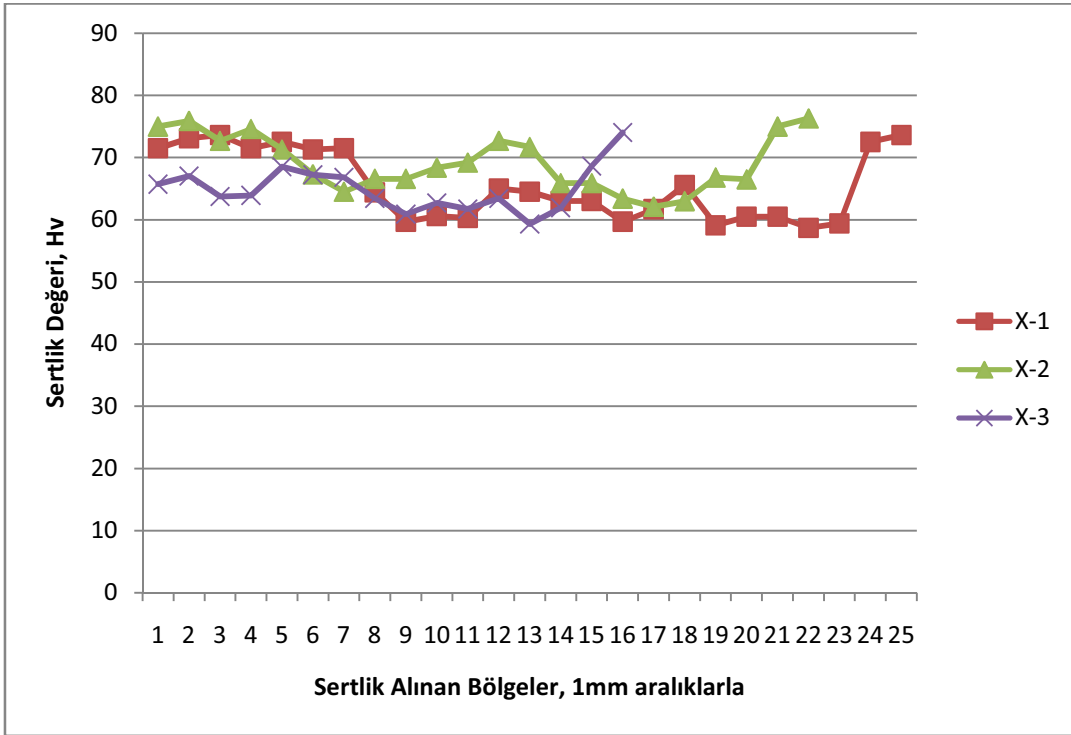
Akım değeri 80 Amper seçilen, kaynak hızları farklı olan Y-1, Y-2, Y-3 numunelerinin genel olarak ITAB'da sertliklerinin düştüğü (ort.62 HV), kaynak metalinde sertliklerinin biraz daha yüksek değerlere çıktığı gözlenmiştir (ort. 68 HV).

Akım değeri 90 Amper seçilen, kaynak hızları farklı olan Z-1, Z-2, Z-3 numunelerinin genel olarak ITAB'da sertliklerinin düştüğü (ort.62 HV), kaynak metalinde sertliklerinin biraz daha yüksek değerlere çıktığı gözlenmiştir (ort.64 HV)

Farklı parametreler kullanılarak birleştirilen numunelerin ITAB ve kaynak metali sertlik değerleri üzerinde belirgin bir etki oluşturduğu elde edilen veriler ile bu sonuca varılmıştır. Deney numunelerindeki farklı sertlik değerlerine ulaşılmasının sebebi farklı kaynak hızlarında, farklı amper ve ısı girdisinin oluşturduğu etkiler olduğu söylenebilir. Ayrıca kaynak sırasında oluşan yüksek ısıdan dolayı malzeme içyapısındaki dislokasyon hareketleri ve kristal yapıda oluşan değişmelerin sebep olduğu da söylenebileceği gibi yeniden kristalleşme oluşması sebebiyle ITAB ve çevresinde sertlik düşmüş ve buna bağlı olarak da dayanım da düşmüştür.



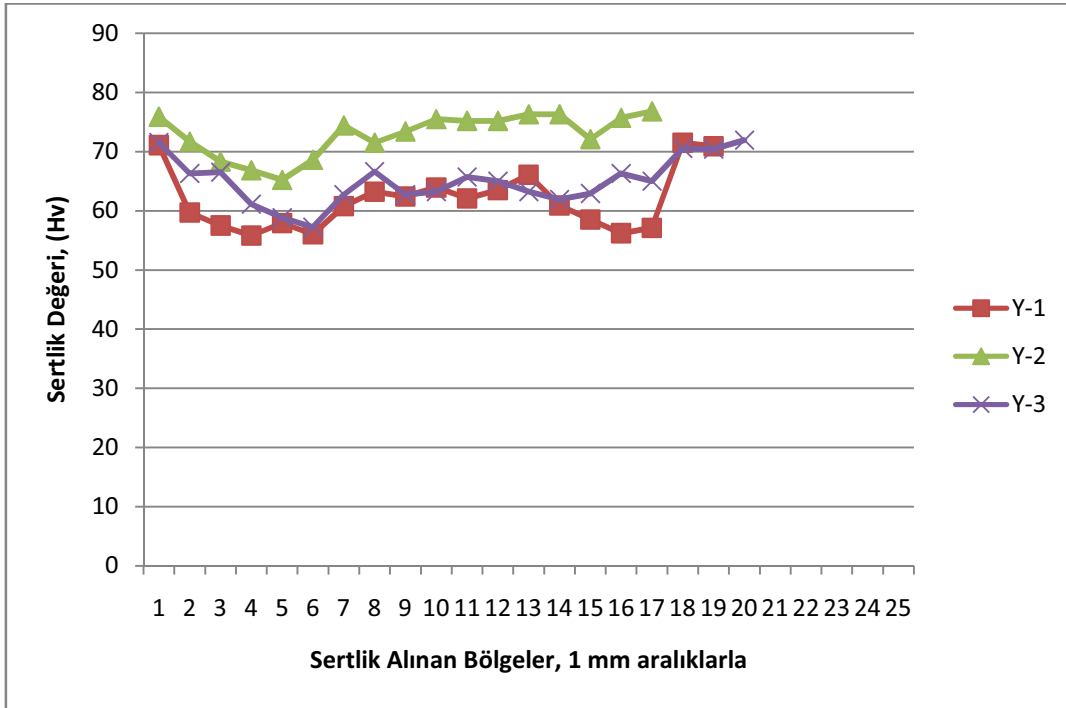
Şekil 5.46. Sertlik alınan bölgelerin gösterimi (her bir numune için aynı bölgelerden sertlik değeri alınmıştır.)



Şekil 5.47. Mikrosertlik deney sonuçları (X-1, X-2, X-3 Numunelerine ait)



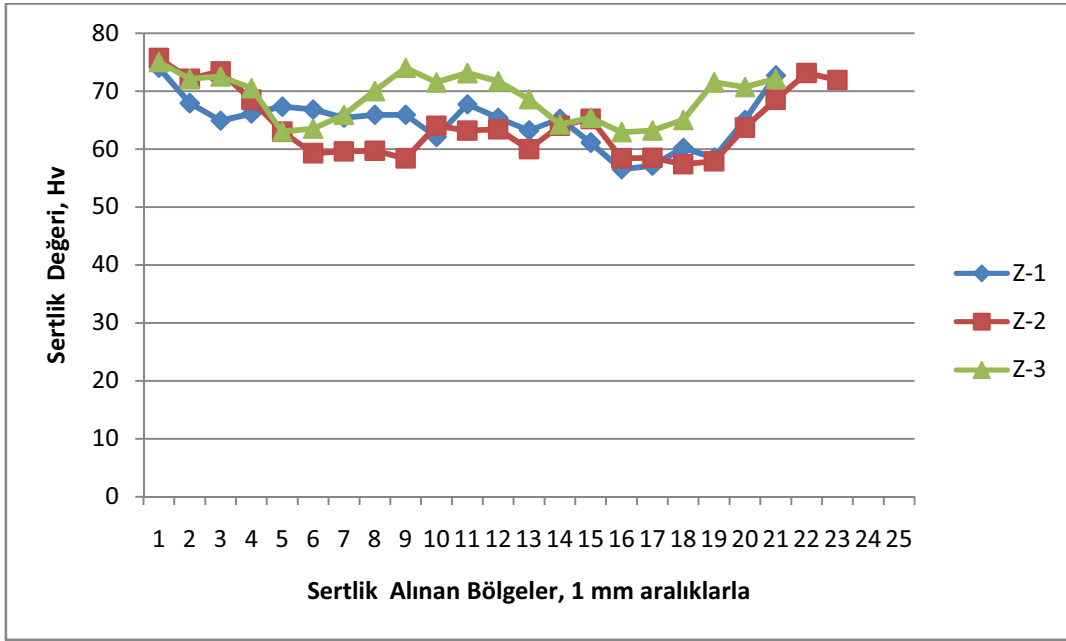
Şekil 5.48. Sertlik alınan bölgelerin gösterimi (her bir numune için aynı bölgelerden sertlik değeri alınmıştır)



Şekil 5.49. Mikrosertlik deney sonuçları (Y-1, Y-2, Y-3 Numunelerine ait)



Şekil 5.50. Sertlik alınan bölgelerin gösterimi (her bir numune için aynı bölgelerden sertlik değeri alınmıştır)



Şekil 5.51. Mikrosertlik deney sonuçları (Z-1, Z-2, Z-3 Numunelerine ait)

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Yapılan bu deneysel çalışmada, AA 5754-H22 Alüminyum levhalar farklı kaynak parametrelerinde birleştirilmiştir. Birleştirme işleminde farklı kaynak akımı, gerilimi, kaynak hızı kullanılarak numunelere çekme işlemi, eğme işlemi, makroyapı, mikroyapı incelemesi ve mikrosertlik taraması yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1-) Yapılan kaynaklı birleştirmelerinde DC Pulse akımı kullanılması sonucunda düşük ısı girdisi sağlanmış ve bu sayede numunelerin hiçbirinde çarpılma gözlenmemiştir.

2-) Numunelerin kaynak dikiş geometrilerinde gözle görülebilir bir hataya rastlanmamıştır.

3-) Çekme işlemi sonucunda deney numunelerinin hiçbirisi kaynak metalinden kopmamış, kopmalar ITAB ve civarından sünek kopma şeklinde gerçekleşmiştir. Deney numunelerinden sadece X-2 numunesinin çekme gerilme sonucu hariç, diğer numunelerin akma gerilmeleri ve çekme gerilmeleri referans olarak alınan numunenin akma ve çekme gerilmeleri değerinden yüksek çıkmıştır. Uzama yüzdeleri ise referans alınan numunenin yüzde uzamasından düşük çıkmıştır bunun nedeni, deformasyon olaylarının büyük bir çoğunluğunun ITAB da meydana gelmesinin neden olduğu söylenebilir.

4-) Deney numunesi haddelenmiş şekilde üretilen bir alaşım olduğundan, çekme deneyinde deney numuneleri üniform boyun vererek kopmalar meydana gelmiştir.

5-) ITAB' da yeniden kristalleşme oluşması sebebiyle dayanım düşmüş, akma gerilmesinden sonra numuneler boyun vererek kopmalar gerçekleşmiştir.

6-) Çekme - gerilme grafiklerinden elde edilen veriler doğrultusunda, deney numunelerinin kaynak performansları hesaplanmış ve numunelerin % 100 verimle birleştirildiği sonucuna varılmıştır. Buradan da seçilen kaynak parametrelerinin optimum seviyede belirlenmesi durumunda başarılı kaynaklar elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

7-) Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında koruyucu gaz olarak saf Argon gazı kullanılarak yapılan birleştirmelerde bir kez daha kaynaklı birleştirmelerin başarılı olacağını kanıtlar nitelikte olmuştur.

8-) Makroyapı incelemelerinde kaynak damla geometrilerinden anlaşılacağı üzere kaynak parametrelerinin değişkenlik göstermesi sonucu, kaynak dikiş profili de değişkenlik göstermiştir. Makroyapılarda, kaynak dikişinde izlenen gözeneklilik, kullanılan kaynak telinin ve koruyucu gazın, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında neden olabileceği normal bir durumdur ve gözenek boyut ve miktarları kabul edilebilir sınırlardadır.

9-) Sertlik tarama sonucunda, her deney numunesinde ortalama değerler olarak beklenildiği gibi en sert bölgeler ana metal bölgesi bulunmuş, ana metal sertliğine yakın değer olarak kaynak metali, daha sonrada ITAB bulunmuştur

10-) Deney numunelerinin mikroyapı görüntülerinden, değişik kaynak parametrelerinde farklı içyapı görüntüleri elde edilmiştir. Esas metalde daha düzenli, homojen bir yapı elde edilirken, ITAB da bu düzenli yapının biraz daha bozulduğu gözlenmiş, kaynak bölgesinde ise genelde kaynağın soğuması esnasında oluşan dendritik yapılar gözlenmiştir.

11-) Deney numunelerinin hiç birinde kaynak bölgesinde aşırı derecede mekanik uyumsuzluğa (strength mismatch) ve aşırı derecede mukavemet düşüşüne (strength undermatching) rastlanılmamıştır.

6.2. Öneriler

1-) Farklı alüminyum ve alaşımları bu çalışmada incelenen parametrelerde birleştirilerek mekanik özellikleri ve mikroyapı özellikleri incelenebilir.

2-) Yaşlandırma sertleştirme uygulanabilen alüminyum ve alaşımlarına yaşlandırma sertleştirme işlemi yapılarak, bu çalışmada incelenen veya farklı kaynak parametrelerinde birleştirmeler yapılarak mekanik özellikleri ve mikroyapı özellikleri incelenebilir.

3-) Değişik kaynak pozisyonlarında birleştirmeler yapılarak bu malzemelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenebilir.

4-) Çentik darbe deneyi yapılabilir.

5-) Mikroyapı incelemeleri SEM de görüntülenerek içyapı incelemeleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

AKATA, E., ŞAHİN, M. ve PEKÇİ, M., Atık Parçaların Değerlendirilmesinde Sürtünme Kaynak Yönteminin Kullanılması Üzerine Bir Çalışma, TMMOB Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 18-26, 2003

ANIK, S., Kaynak Tekniği, İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, 2, 1982

ANIK, S., Kaynak Tekniği El Kitabı, Elektrik Direnç Kaynağı, Gedik Holding, 124-125, İstanbul, 1991

ANIK, S., VURAL, M. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi, Cilt-2, Birsen Yayınları, , s.355-357, İstanbul, 1993

ANIK, S. ve VURAL, M., Özel Kaynak Yöntemleri, İTÜ Makine Fakültesi, 11-129, 1993

ANIK, S. ve VURAL, M., Elektron Işını ile Kaynak, İTÜ Makine Fakültesi, 107s, 1993b

ANIK, S., Makine Mühendisliği El Kitabı Üretim ve Tasarım, Kaynak Teknolojisi, A.Cerit (Der.), TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2, 222s, 1996

ANIK, S., VURAL, M. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi, Cilt-2, Birsen Yayınları, s.355-357, İstanbul, 2000

BİNGÜL,Z., KÜÇÜK,S., “Robot Tekniği” Birsen Yayınevi, 6, 13-15, 17-20, 21-22, 25, 41-42, 50-51, 53, 55-58, 65, 73-75, 105, 132-134, İstanbul, 2005

ÇAM, G., Al-Alaşımları için Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 3- 13, 2001

ÇAM, G., Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK): Al-Alaşımları için Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi, TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi, 46, 541, 30-39, 2005

DİKBAŞ, H., ÇALIGÜLÜ, U., TAŞKIN, M., ORHAN, A., GÜR, A.K., TM Yöntemiyle Üretilmiş Nitinol Alaşımlarında Difüzyon Kaynağı Sonrası Arakesitte Oluşan Fazların Tespiti, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 2009

ERYÜREK, B., Gazaltı Kaynağı”, Eczacıbaşı Yayınları, İstanbul ,25-35 (2003).

GÖK, G.V., AFYON, Ç., Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 225, 1999

GÜRLEYİK, Y., Alüminyum ve Alaşımları-I, TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi, 401, 27-34, 1993

GROOVER, M., Industrial Robotics, McGraw-Hill Company International Editions, Singapore, 1986

AY, İ., İmalat Yöntemleri 2 Ders Notları, Balıkesir Üni., 2011

KALUÇ, E., TABAN, E., Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti, Metal Dünyası Sayı 143, s. 154-162, 2005

KALUÇ, E., TABAN, E., Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynağı, Makine Tek, 102, 2006

KALUÇ, E., TABAN, E., Alüminyum ve Alüminyum Alaşımının Ark Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmesi, Metal Dünyası, 174, 130-140, 2007

KARADENİZ, S.,Plazma Tekniği, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 123s, 1990

KELEŞ, Ö., Malzeme Bilimi Ders Notları, İ.T.Ü., 2008

KELEŞOĞLU, E., Isıl İşlem Ders Notları, Y.T.Ü., 2006

KURŞUN, T., Alüminyum ve Alaşımının MIG Kaynağı, Metal Makine Dergisi, 158, 2006

KURT, A., Katı Hal Birleştirmeler için Difüzyon Kaynağı, TMMOB Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 42-54, 1997

Metals Handbook, Vol:6 Welding and Brazing, 1971

OERLIKON, Alüminyum ve alaşımının kaynağı, Oerlikon, 2006

OĞUZ, B., Demir Dışı Metallerin Kaynağı, OERLIKON yayını, 1990Prof. Dr.

EKER, A.A., Alüminyum ve Alaşımının Sınıflandırılması, Y.T.Ü. Ders Notları, 2008

YÜKLER, A.İ., Isıl İşlem, M.Ü. Ders Notları, 2001

SENYEN, C., Alüminyum Alaşımının Kaynağında Dikkat Edilecek Hususlar, TMMOB Kaynak Teknolojisi IV: Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 42-54, 2001

SMITH, W.F., Mühendislik Alaşımının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşım, Nobel Yayın Dağıtım, 2 ,602s, 2001

SINMA, B., VARINCA, K., Alüminyumun Geri Kazanımı, TMMOB Çevre Müh. Odası İstanbul Şubesi, 2004

ŞIK, A., ERTÜRK, İ., ÖNDER, M., AA2024 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında Farklı Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 16, Sayı 2, Sayfa 139-147, 2010

TÜLBENTÇİ, K., MIG-MAG Eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı, 1990

TÜRK STANDARDI TS 138 EN 10002-1 Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Bölüm 1:Ortam Sıcaklığında Deney Metodu, TSE, Nisan 2004

YUMURTACI, S., MERT, T., Ark Kaynak Robotunun Sahip Olması Gereken Özellikleri ve Robotik Ark Kaynak Hücresinin Elemanları, Mühendis ve Makine, Cilt 50, Sayı 591, 2009

Welding Handbook, Materials and Applications Part II, American Welding Society, 1996

http://www.makinateknik.org/download/download/aluminyum_alasimlari

<http://www.metaldunyasi.com/haberler/robot>

[http://www.turkcad.com/index.php/20080330244/Aluminyum Malzemeler/Aluminyum-ve-Alaşımının-MIG-Kaynağı.htm](http://www.turkcad.com/index.php/20080330244/Aluminyum_Malzemeler/Aluminyum-ve-Alasimlari-MIG-Kaynagi.htm)

<http://www.turkdokum.com/s-tse-t.htm>

www.turkcam.net/rapor/robotlu-kaynak/

http://www.baskent.edu.tr/~erol/MAK402/MAK402_Deney_3.pdf

<http://www.roboturk.com.tr/robotlar2.html>

<http://www.roboturk.com/robotlar3.html>

http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/

<http://www.metalvemalzeme.com/aluminyum-hakkinda/>

<http://www.gyte.edu.tr/dersler/107/TIM624/TIM624DersNotlari/TIM%20624%2004.pdf>

http://www.bayolmakine.com/web/download/03celik_tavlama.pdf

<http://www.mak.etu.edu.tr/dersler/mak208/Ders%20Notlar%FD/Is%FDI%20%DD%FElem.pdf>

<http://www.dinse.gmbh.com>

http://www.binzel.de/uploads/Content/Germany/PDF-Files/PDF_Files_ROBO/English/robo-katalog_pro_r121_gb_1-1-v1.pdf

<http://www.smt-systeme.de>

http://www.otomasyonkaynak.com/attachments/162_robot-abicorbinzel.pdf

<http://www.habas.com>

ÖZGEÇMİŞ

Ceyhun KÖSE, 04.01.1983 tarihinde Çatalca İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini İzzettin Köyü İlk Öğretim Okulunda yapmış, Orta öğrenimini Çatalca Endüstri Meslek Lisesi Metal İşleri Bölümünde yüksek başarı ile bitirmiştir. 2001 yılında kazandığı Trakya Üni. Edirne M.Y.O. Kaynak Teknolojisi Bölümü'nü 2003 yılında 1.likle, 2005 yılında kazandığı Marmara Üni. Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünü de 2008 yılında 1.likle bitirmiştir. 2008 yılından bu yana Çatalca Endüstri Meslek Lisesi Metal İşleri Bölümünde Teknik Öğretmen olarak görev yapmaktadır. 2009 yılında kazandığı Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Bölümünde öğrenim görmektedir. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulmuş bir makalesi bulunmakta ve akademik derecede İngilizce bilgisine sahiptir.