

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

**UÇAK ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ
ELEKTRİK DRENÇ NOKTA KAYNAK YÖNTEMİLE BELİRLENMESİ
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. S. Ali AFAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE MALAT
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ÖZÜR

Ocak 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UÇAK ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ
ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

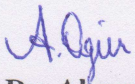
YÜKSEK LİSANS TEZİ

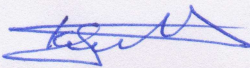
Mak. Müh. S. Ali ŞAFAK

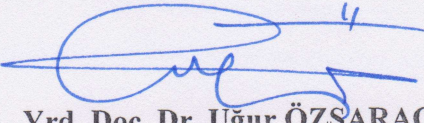
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

Bu tez 28/01/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Ahmet OĞUR
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Kenan GENEL
Üye


Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ
Üye

TE EKKÜR

Yüksek lisans tez çalı mam boyunca her türlü katkı ve yardımlarını esirgemeyen, de erli fikirleri ile çalı mamı yönlendiren, de erli hocam Prof. Dr. Ahmet O UR'a,

Tez çalı malarım kapsamında bulunan deney ve uygulamalarda de erli yardımlarını gördü üm FEDERAL ELEKTR K Firması ve çalı anları ile de erli arkadaş ım Mustafa BAYTEM R'e,

Uzun ve yorucu süren bu çalı malarım sırasında maddi ve manevi desteklerini sürekli yanımda hissetti im babam Vahit AFAK'a, annem Sevgi AFAK'a ve karde im O uz AFAK'a sonsuz te ekkürlerimi sunarım.

Ç NDEK LER

TE EKKÜR.....	ii
Ç NDEK LER	iii
S MGELER VE KISALTMALAR L STES	vii
EK LLER L STES	viii
TABLolar L STES	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi

BÖLÜM 1.

G R	1
-----------	---

BÖLÜM 2.

ALÜM NYUM VE ALA IMLARININ ÖZELL KLER	6
2.1. Alüminyumun Üretimi.....	6
2.2 Alüminyum ve Ala ımlarının Sınıflandırma ve Temper Tasarımları	9
2.2.1. Dövme alüminyum ala ımları.....	11
2.2.1.1. 1xxx serisi ala ımlar.....	13
2.2.1.2. 2xxx serisi ala ımlar.....	13
2.2.1.3. 3xxx serisi ala ımlar.....	13
2.2.1.4. 4xxx serisi ala ımlar.....	14
2.2.1.5. 5xxx serisi ala ımlar.....	14
2.2.1.6. 6xxx serisi ala ımlar.....	15
2.2.1.7. 7xxx serisi ala ımlar.....	16
2.2.1.8. 8xxx serisi ala ımlar.....	16
2.2.2. Döküm alüminyum ala ımları.....	17
2.3. Saf Alüminyumun Özellikleri.....	18
2.3.1. Mukavemet özellikleri.....	19

2.3.2. Fiziksel özellikleri.....	20
2.3.3. So uk ve sıcak ekil de i tirme.....	23
2.3.4. Kimyasal özellikleri.....	25
2.3.5. Korozyon özellikleri.....	25
2.4. Ala ım Elementlerinin Alüminyuma ve Alüminyum Ala ımlarına Etkileri.....	26
2.4.1. Bakır.....	26
2.4.2. Silisyum.....	27
2.4.3. Magnezyum.....	29
2.4.4. Manganez.....	31
2.4.5. Demir.....	32
2.4.6. Krom.....	33
2.4.7. Nikel.....	34
2.4.8. Titanyum.....	34
2.4.9. Zirkonyum.....	34
2.4.10. Fosfor.....	34
2.4.11. Sodyum.....	35
2.4.12. Kalay.....	35
2.5. Alüminyumun Kullanım Alanları.....	36
2.5.1. Ambalaj.....	36
2.5.2. Ta ıt araçları.....	37
2.5.3. Bina ve konstrüksiyon.....	37
2.5.4. Elektrik – elektronik.....	37
2.5.5. Mühendislik uygulamaları.....	37

BÖLÜM 3.

ALÜM NYUM VE ALA IMLARININ KAYNAK KAB L YET	39
3.1. Alüminyum ve Ala ımlarının Gaz Kayna ı.....	42
3.2. Alüminyum ve Alasımlarının Örtülü Elektrot Kayna ı.....	44
3.3. Alüminyum ve Alasımlarının MIG Kaynağı.....	45
3.4. Alüminyum ve Ala ımlarının TIG Kayna ı.....	49
3.5. Alüminyum ve Ala ımlarının Elektrik Direnç Kayna ı.....	51
3.6. Alüminyum ve Ala ımlarının Elektrocüruf Kayna ı.....	52

3.7. Alüminyum ve Alaımlarının Elektrogaz Kayna 1.....	53
3.8. Alüminyum ve Alaımlarının Plazma Kayna 1.....	53
3.9. Alüminyum ve Alaımlarının Ultrasonik Kayna 1.....	54
3.10. Alüminyum ve Alaımlarının Patlama Kayna 1.....	55
3.11. Alüminyum ve Alaımlarının Elektron Isın Kayna 1.....	55
3.12. Alüminyum ve Alaımlarının Difüzyon Kayna 1.....	57
3.13. Alüminyum ve Alaımlarının Yakma Kayna 1.....	58
3.14. Alüminyum ve Alaımlarının Lazer Isın Kayna 1.....	59
3.15. Alüminyum ve Alaımlarının Manyetik Puls Kayna 1.....	61
3.16. Alüminyum ve Alaımlarının So uk Basınç Kayna 1.....	61
3.17. Alüminyum ve Alaımlarının Sürtünme Kayna 1.....	63

BÖLÜM 4.

ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	66
4.1. Direnç Nokta Kaynağı Prensipleri.....	69
4.1.1. Kaynak Çevrimi.....	69
4.1.1.1. Yaklaşma ve sıkma zamanı.....	70
4.1.1.2. Kaynak zamanı.....	70
4.1.1.3. Tutma zamanı.....	71
4.1.1.4. Ayrılma zamanı.....	71
4.2. EDNK Uygulamalarında Kullanılan Elektrotlar.....	72
4.3. EDNK Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	73
4.4. Kaynak Hataları ve Nedenleri.....	74
4.4.1. Çukurluk hataları.....	74
4.4.1.1. Kaynak nüfuziyeti.....	74
4.4.1.2. Yetersiz nüfuziyeti.....	74
4.4.1.3. Aşırı nüfuziyet.....	75
4.4.1.4. Simetri	75
4.4.1.5. Gaz kabarcıkları ve gözeneklilik.....	76
4.4.1.6. Çatlaklar.....	76
4.4.2. Dış Hatalar.....	76
4.4.2.1. Yüzey yanması.....	76
4.4.2.2. Levha ayrılması.....	77

4.4.2.3. Fı kırma.....	77
4.4.2.4. Distorsiyon.....	78
4.4.2.5. A ırı ezilme.....	78
4.4.2.6. Dı çatlaklar.....	79
4.4.2.7. Bakır Birikmesi.....	79
4.5. EDNK Yönteminin Uygulandı ı Endüstriyel Alanlar	80
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALI MALAR.....	81
5.1. Genel.....	81
5.2. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri.....	81
5.3. Deney Numunelerinin Boyutları.....	82
5.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	83
5.5. Deneylerde Kullanılan Kaynak Makinesi ve Elektrotlar.....	85
5.6. Kaynak leminin Yapılı ı.....	87
5.7. Çekme Testi Deneyi.....	88
5.8. Mikrosertlik Ölçümleri.....	90
5.9. Çekirdek Çapı Ölçümleri.....	90
5.10. Mikroyapı ncelemeleri.....	90
BÖLÜM 6.	
DENEY SONUÇLARI VE RDELENMES	92
6.1. Genel.....	92
6.2. Çekme Makaslama Deneyi Sonuçları.....	92
6.3. Çekirdek Çapı Ölçümü Sonuçları.....	104
6.4. Mikrosertlik Deneyi Sonuçları.....	106
6.5. Mikroyapı nceleme Sonuçları.....	112
BÖLÜM 7.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNER LER.....	126
KAYNAKLAR.....	128
ÖZGEÇM	132

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ITAB	: Isının tesiri altında kalan bölge
akma	: Akma mukavemeti
çekme	: Çekme mukavemeti
ASTM	: Amerikan standart
Al	: Alüminyum
Cu	: Bakır
EDNK	: Elektrik direnç nokta kaynağı
RSW	: Resistance spot welding (Elektrik direnç nokta kaynağı)
HRC	: Rockwell sertliği
HV	: Vickers sertliği
kA	: Kiloamper
kgF	: Kilogramkuvvet
kN	: Kilonewton
Li	: Lityum
Mg	: Magnezyum
mm	: Milimetre
Mn	: Manganez
Si	: Silisyum
N	: Newton
TEB	: Termomekanik olarak etkilenen bölge
AC	: Alternatif akım
V	: Volt
Zn	: Çinko

EKLER LİSTESİ

ekil 2.1.	Alüminyum ergitme elektrolizine ait tekne.....	7
ekil 2.2.	Alüminyum üretim a amaları.....	8
ekil 2.3.	Saf alüminyumun, mukavemet, uzama ve elektrik iletkenli ine katkı elemanlarının etkisi.....	19
ekil 2.4	Saf alüminyum ve ala ımlarının elektrik öz direncin sıcaklık ile de i mesi.....	21
ekil 2.5	5052-H32 Alüminyum Ala ımlarına Ait Bazı Özelliklerinin Sıcaklık ile De i mesi.....	22
ekil 2.6.	Saf Alüminyumun So uk Pekle mesi	23
ekil 2.7.	Saf alüminyumun sıcaklıkla, çekme mukavemeti ve orantılılık sınırının de i imi.....	24
ekil 2.8.	Saf Alüminyumun ve Ala ımlarının, Özgül i irme Basıncının, i me Sıcaklı ına Ba lı Olarak De i imi (AIAG).....	24
ekil 2.9.	Alüminyum - Bakır Denge Diyagramı.....	27
ekil 2.10.	Alüminyum - Silisyum Denge Diyagramı.....	28
ekil 2.11.	Alüminyum-Magnezyum Denge Diyagramı.....	30
ekil 2.12.	Alüminyum-Çinko Denge Diyagramı.....	31
ekil 2.13.	Alüminyum-Manganez Denge Diyagramı.....	32
ekil 2.14	Alüminyum-Demir Denge Diyagramı.....	34
ekil 3.1.	Al ve alasımlarının oksii-asetilen ile kaynagında a ız hazırlık ekilleri.....	43
ekil 3.2.	Alüminyum ve ala ımlarından kalın saçların oksii-asetilen kayna ı.....	44
ekil 3.3.	MIG yöntemindeki ark bölgesi.....	47
ekil 3.4.	TIG kaynak yönteminde ark bölgesi.....	49
ekil 3.5	Kaynak ısı membainın güç yo unlu u.....	56

ekil 3.6.	Elektron ısıyı ile kaynak makinesinin sematik yapısı.....	56
ekil 3.7.	Sürekli tahrikle sürtünme kaynağı.....	64
ekil 4.1.	Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi.....	67
ekil 4.2.	Elektrik direnç nokta kaynağı makinesi.....	67
ekil 4.3.	Elektrik direnç nokta kaynağı makinesinin sematik görünümü.....	68
ekil 4.4.	Elektrik direnç nokta kaynağında meydana gelen dirençler.....	69
ekil 4.5.	Elektrik direnç nokta kaynağı ile ilgili sırası.....	70
ekil 4.6.	Nokta kaynak çevrimleri.....	72
ekil 4.7.	EDNK uygulamalarında kullanılan elektrot başlık tipleri.....	73
ekil 5.1.	Bindirme pozisyonunda kaynaklı deney parçası boyutları.....	82
ekil 5.2.	Deney numunelerinin çapaklarının alınması.....	93
ekil 5.3.	Deney numunelerinin temizlenmesi.....	84
ekil 5.4.	Deney numunelerinin işaretleme	84
ekil 5.5.	Kaynak makinesi.....	85
ekil 5.6.	Dijital kontrol ünitesi.....	86
ekil 5.7.	Kullanılan elektrotlar.....	86
ekil 5.8.	Kaynak işleminin yapılması.....	87
ekil 5.9.	Kaynak işlemi yapılmış deney numuneleri.....	88
ekil 5.10.	Zwick/Roell marka çekme cihazı ve çekme testlerinin yapılışı.....	89
ekil 5.11.	Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı cihaz.....	90
ekil 5.12.	Mikroyapı incelemelerinin yapıldığı cihaz.....	91
ekil 6.1.	Çekme makaslama testinde kopmuş bazı numunelere örnekler.....	95
ekil 6.2.	Kaynak akımının AA5754+AA5754 malzeme birleştirmede çekme makaslama dayanımına etkisi.....	96
ekil 6.3.	Kaynak akımının AA5754+AA6061 malzeme birleştirmede çekme makaslama dayanımına etkisi.....	97
ekil 6.4.	Kaynak akımının AA6061+AA6061 malzeme birleştirmede çekme makaslama dayanımına etkisi.....	98
ekil 6.5.	Kaynak zamanının AA5754+AA5754 malzeme birleştirmede çekme makaslama dayanımına etkisi.....	99
ekil 6.6.	Kaynak zamanının AA5754+AA6061 malzeme birleştirmede çekme makaslama dayanımına etkisi.....	100

ekil 6.7.	Kaynak zamanının AA6061+AA6061 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi.....	101
ekil 6.8.	Kaynak akımı ve periyodunun AA5754+AA5754 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi.....	102
ekil 6.9.	Kaynak akımı ve periyodunun AA5754+AA6061 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi.....	103
ekil 6.10.	Kaynak akımının AA6061+AA6061 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi.....	103
ekil 6.11.	Kaynak akımının AA5754 +AA5754 malzeme birle iminde çekirdek çapına etkisi.....	105
ekil 6.12.	Kaynak akımının AA5754 +AA6061 malzeme birle iminde çekirdek çapına etkisi.....	105
ekil 6.13.	Kaynak akımının AA5754 +AA6061 malzeme birle iminde çekirdek çapına etkisi.....	106
ekil 6.14.	Aynı malzeme çiftlerinden olu an numunelerin mikrosertlik ölçümlerinin yapıldı ı noktaların ematik gösterimi.....	107
ekil 6.15.	Farklı malzeme çiftlerinden olu an numunelerin mikrosertlik ölçümlerinin yapıldı ı noktaların ematik gösterimi.....	107
ekil 6.16.	AA 5754-5754 malzeme birle imi, 9 kA, 12,14 Per. sertlik de i imi.....	107
ekil 6.17.	AA5754-5754 malzeme birle imi, 9.5 kA, 10,12,14, Per. sertlik de i imi.....	108
ekil 6.18.	AA5754-5754 malzeme birle imi, 10 kA, 10,12,14, Per.sertlik de i imi.....	108
ekil 6.19.	AA5754-6061 malzeme birle imi, 9 kA, 12,14, Per. sertlik de i imi.....	109
ekil 6.20.	AA5754-6061 malzeme birle imi, 9.5 kA, 10,12,14, Per. sertlik de i imi.....	109
ekil 6.21.	AA 5754-6061 malzeme birle imi, 10 kA, 10,12,14, Per. sertlik de i imi.....	110
ekil 6.22.	AA 6061-6061 malzeme birle imi, 9 kA, 12,14, Per. sertlik de i imi.....	110

ekil 6.23.	AA 6061-6061 malzeme birle imi, 9.5 kA, 10,12,14, Per. sertlik de i imi.....	111
ekil 6.24.	AA 6061-6061 malzeme birle imi, 10 kA, 10,12,14, Per. sertlik de i imi.....	111
ekil 6.25.	9 kA kaynak akım iddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	113
ekil 6.26.	9 kA kaynak akım iddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	113
ekil 6.27.	9.5 kA kaynak akım iddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	114
ekil 6.28.	9.5 kA kaynak akım iddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	114
ekil 6.29.	9.5 kA kaynak akım iddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	115
ekil 6.30.	10 kA kaynak akım iddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	115
ekil 6.31.	10 kA kaynak akım iddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	116
ekil 6.32.	10 kA kaynak akım iddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	116
ekil 6.33.	9 kA kaynak akım iddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	117

ekil 6.34.	9 kA kaynak akım iddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	117
ekil 6.35.	9.5 kA kaynak akım iddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	118
ekil 6.36.	9.5 kA kaynak akım iddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	118
ekil 6.37.	9.5 kA kaynak akım iddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	119
ekil 6.38.	10 kA kaynak akım iddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	119
ekil 6.39.	10 kA kaynak akım iddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	120
ekil 6.40.	10 kA kaynak akım iddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	120
ekil 6.41.	9 kA kaynak akım iddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	121
ekil 6.42.	9 kA kaynak akım iddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	121
ekil 6.43.	9.5 kA kaynak akım iddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	122
ekil 6.44.	9,5 kA kaynak akım iddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	122

ekil 6.45.	9,5 kA kaynak akım iddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	123
ekil 6.46.	10 kA kaynak akım iddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	123
ekil 6.47.	10 kA kaynak akım iddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	124
ekil 6.48.	10 kA kaynak akım iddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü.....	124

TABLolar L STES

Tablo 2.1.	Alüminyum saflık tasnifi.....	18
Tablo 2.2.	Alüminyumun genel özellikleri.....	18
Tablo 2.3.	Alüminyum ala ımlarının kar ıla tırmalı özellikleri.....	19
Tablo 2.4.	Saf alüminyumun oda sıcaklı ındaki mekanik özellikleri.....	20
Tablo 2.5.	Saf Alüminyumda Termal Genle me Katsayısının (A) Sıcaklık le De i mesi.....	21
Tablo 2.6.	Saf alüminyumda ısı iletim katsayısının (k) sıcaklık ile de i mesi.....	22
Tablo 5.1.	AA6061 serisi alüminyumun kimyasal analizi.....	81
Tablo 5.2.	AA5754 serisi alüminyumun kimyasal analizi.....	82
Tablo 6.1.	AA5754 + AA5754 numunelerinin çekme makaslama testi de erleri.....	93
Tablo 6.2.	AA5754 + AA6061 numunelerinin çekme makaslama testi de erleri.....	94
Tablo 6.3.	AA6061 + AA6061 numunelerinin çekme makaslama testi de erleri.....	94

ÖZET

Anahtar kelimeler: Elektrik direnç nokta kaynağı, Alüminyum, AA5754, AA6061.

Günümüzde uçak ve savunma endüstrisinde kaynak kabiliyeti bakımından farklılık arz eden AA5754 (AlMg) ve AA6061 (AlMgSi) alüminyum alaşımları sıkça kullanılmaktadır.

Bu alüminyum alaşımları elektrik direnç nokta kaynak yöntemi (EDNK) ve farklı kaynak parametreleri ile birleştirilmiştir. Farklı kimyasal kompozisyona sahip, değişik kaynak parametreleriyle birleştirilen alüminyum malzemelerin, birleştirme bölgelerinde meydana gelen mikroyapılar incelenmiştir.

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde mikro sertlik ölçümleri alınmıştır. Kaynaklı ve kaynaklı olmayan bölgelerden alınan numunelere çekme testleri uygulanmıştır. Mekanik testlerden elde edilen değerler ve mikroyapı değişimleri incelenerek analiz edilmiştir.

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF RSW (RESISTANCE SPOT WELDING) WELDED ALUMINIUM ALLOYS

SUMMARY

Key Words: Electric resistance spot welding, Aluminium, AA5754, AA6061

The aluminium alloys that are different from the other wrought aluminium alloys with respect to their weldability, namely 6061(AlMgSi) and 5754(AlMg), are often used in aerospace industry today.

These alloys are combined with different welding parameters and through RSW method. The micro-structural changes occurring at the joint areas of the aluminum Materials of different chemical compositions combined through different Welding parameters were examined with microstructure microscope.

To identify the mechanical properties, micro-hardness measurements were made. Tension tests were applied on the specimens obtained from the welded regions. The values obtained from the mechanical tests and the micro-structural changes obtained from micrographs were analyzed.

BÖLÜM 1. G R

Dünyada en fazla mevcut metaller sıralamasında alüminyum ikinci sırayı alır. Alüminyum metalinden muhtelif alaşımlama ve farklı ısıl işlem artışı ile çok farklı fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek mümkün olmuştur. Endüstriyel uygulama amacı için dört yüze yakın sayıda alüminyum alaşımı geliştirilmiştir. Alüminyum alaşımlarının düşük yoğunluğu, kolay şekillendirilebilmesi, yüksek korozyon direnci, geliştirilebilen fiziksel ve mekanik özelliklerine sahip olması bu alaşımların kullanım alanını artırmaktadır.

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 yapması için avantaj sağlamaktadır. Alüminyumun elastisite modülü çelikin ancak üçte biri kadardır. Bu nedenle basma gerilmesine çalışılan alüminyum bazlı elemanlarda çok kritik durumlar olabilir. Ancak alüminyum tok (darbe eklemindeki) yüklere direnci daha yüksektir. Doğru yapılan bir yapı tasarımında alaşımsız çelik yerine alüminyum kullanmak konstrüksiyon ağırlığında %50'nin üzerinde hafifleme sağlar. Elektrik iletkenliği bakırdan daha düşük olmasına rağmen aynı ağırlıktaki bakırdan iki misli daha fazla elektrik akımı sağlarlar. Enerji ağırlıktaki tellerde alüminyum telin kesit alanı, bakır telden daha yüksek olduğu için alüminyum tel daha fazla elektrik iletir [1].

Alüminyum ve alüminyum alaşımları; hafiflik, yüksek mukavemet, iyi korozyon dayanımı, kolay biçimlendirilebilirlik ve birçok kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirlikleri açısından mühendislik malzemesi olarak yaygın kullanım alanına sahiptirler. Alüminyumun özgül ağırlığı; çelikin yaklaşık $1/3$ 'ü kadardır. Ayrıca alüminyum ve alaşımları; havada, su içinde, yağlarla temas halinde ve birçok kimyasal maddeye karşı oldukça iyi korozyon direncine sahiptir. Atmosfer ile temas

sonucunda yüzeyde olu an ince, ancak yo un refrakter karakterli oksit tabakası korozif etkilere kar ı direnç sa lar.

Alüminyum ve alüminyum ala ımlarının kayna ının çelikten farklı olmasını sa layan bir dizi özellik vardır. Bunlar; yüzeyde buluna alüminyum oksit tabakası, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek ısıl genle me katsayısı, ergime sıcaklı ına yakla tıkça renk de i imi göstermemesi olarak sıralanabilir.

Birçok alüminyum ala ımı ya landırma sertle mesi ile sertle tirilir. Bu sertle en ala ımlarda yüksek mukavemet de erleri elde edilir. Ayrıca alüminyum hava, su, tuzlu su, petro-kimyasal ve birçok kimyasal sistem ortamlarında yüksek korozyon dirençleri gösterirler. Alüminyum oksijene kar ı olan yüksek afinitesi nedeni ile yüzeyde hava ile teması sonucu ince fakat yo un bir oksit tabakası (Al_2O_3) te ekkür eder. Bu oksit tabakası alüminyumu di er etkilere korur. Ancak bazı asitler ve tuzlar bu oksit tabakasını çözer. Yani alüminyum bu maddelere kar ı dayanıklı de ildir. Yüzeydeki oksit tabakası suni olarak kuvvetlendirilir. Metal anot olarak galvanik bir banyo ya asılır. Devreden geçen elektrik akımı ile parça oksit tabakası kuvvetlendirilir. Bu i leme eloksal i lemi denir [1].

1807 yılında Davy, bir alüminyum - silisyum ala ımı elde etmi tir. Ancak yöntemin kötü çalı ması ve elde edilen ala ımın miktarının az olması alüminyumun özelliklerini belirtmeye yetmemi ti. 1825 yılında Dersted, az miktarda saf olmayan alüminyum amalgamı hazırlamı tir. Alman Wöhler 1827'de Alüminyum metali gri pudra ekinde elde etmi tir. 1854'de Saintre-Claire DEV LLE özelliklerinin belirli oldu u saf Alüminyum hazırlamı tir ve 1856'da alüminyum - silisyum ala ımı yapmı tir. 1905 yılında Conrad CLAESSEN alüminyum ala ımlarına su verilmesi hakkında bazı neticeler bulup, %4 Cu içeren ala ımın su verme sıcaklı ının $525^{\circ}C$ civarında oldu unu belirtmi tir. 1906'da Alfred WILM, %4 Cu'lu alüminyum ala ımında tesadüfen ya lanma sertle mesini buldu. 1907'de bir Alman irketi %4 Cu, %0.25 Mg içeren ve ısıl i lemlerin söz konusu olmadığı bir ala ım yapmı tir.

Alfred WILM, 1911'de %3,5 Cu, %0.25 Mg içeren ala ımın su verme sıcaklı ını $500^{\circ}C$ olarak tespit edip su verme sonucunda ala ımın yumu ak oldu u fakat birkaç

saat sonra sertle tmesi ini belirtmi tir. Bu sertle me ba langıçta hızlı, daha sonra yava tır. 1919'da Merica, Waltenber ve Scott ya lanmanın olabilmesi için ala ımın nasıl bir faz diyagramına sahip olması gerekti ini tespit ettiler. 1920'de Frankel ve Seng ya lanma sırasında elektrik iletkenli inin de i imini tespit ettiler. 1926'da Schmidt ve Wassermann ya lanma sırasında latis parametresinin de i imini incelediler. 1930'da Frankel a ırı ya lanmayı gözledi.

1935'de Wassernann ve Went, alüminyum-bakır ala ımlarına X ı nlarıyla inceleme yaparak Al-Cu denge diyagramındaki fazına benzer fakat aynı olmayan fazını gördüler. Buna geçi latisi adını verip aynı adlı teoriyi ortaya attılar. 1938'de Guiner ve Preston ya lanma sertle mesinin kayna ını te kil eden GP zonlarını tespit ettiler [2].

Anık ve ark. [36] yaptıkları çalı mada EDNK yönteminde kullanılan elektrotların ömürlerini deneysel olarak inceleyerek bu elektrotlar ile Al ala ımlı malzemeler arasındaki difüzyonu irdelemi lerdir. Deneylerinde Cu – Cr – Zr ala ımlı elektrotlar kullanarak seçtikleri bir elektrot başlı ı ile Al ala ımlı malzemelere 10000 nokta kayna ı uygulamı lardır. Yapılan bu çalı mada üst ve alt elektrot başlıklarının boyları yakla ık 4000 nokta kayna ına kadar hızlı, bu de erden sonra ise yava bir ekilde azalma göstermi tir. Bunun nedeni, elektrot uç yüzeyindeki ısınmanın, plastik sekil de i tirmeyi daha kolay mümkün hale getirmesi olmu tur. Deneysel analizlerin ı ında 4000 – 4500 nokta kayna ından sonra elektrotların tıra lanması gerekti i veya elektrot ucunun büyümesine göre akımı arttıran step programının çalı tırılıp akımın kontrollü olarak kademe kademe yükseltilmesi gerekti i sonucuna ula mı lardır.

Lum ve ark. [37] çalı malarında 1.5 mm kalınlı ına sahip 5182 serisi alüminyum ala ımlı levhalara direnç nokta kaynak yöntemi uygulayarak elektrotlarda meydana gelen a ınmayı incelelemi lerdir. Birle tirmelerin mekaniksel özelliklerine etki eden bir ba ka unsurun da EDNK yönteminde kullanılan elektrotlar oldu unu saptamı lardır. Ara tırmalar göstermi tir ki Cu elektrot ile Al malzemesi EDNK yöntemi uygulaması esnasında bir difüzyon olu turmaktadır. Al – Cu fazının

oluşumundan dolayı Al malzemesinin elektrotlar üzerine yapıma eilimi gözlemlenmiştir.

James ve ark. [38] yaptıkları çalışmada 50 x 350 x 2.0 mm boyutlarına sahip ve 70 nm silisyum dioksit kaplanmış 5754 serisi alüminyumun direnç nokta kaynaında mekaniksel yüklerin etkilerini incelemiştir. Çalışmalarında, nokta kaynaı ile ilgili bir yükleme yapısında, kontak yüzeyinde kaplanmış alüminyum levhaların temas direncinin kaplanmamış alüminyum levhalara nazaran çok daha büyük olduğunu sonucuna varmışlardır. Ayrıca direnç kuvveti davranışının kontak yüzeyinde düzensiz bir davranış sergilediğini altını çizerek davranışlardaki farklılıkların yükleme sistemindeki simetriklikten kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kontak yüzeyinin direncini azaltmada etkili olan asimetrik elektrot çifti kullanılarak yapılan testler neticesinde direnç kuvveti davranışının kontak yüzeyinde daha düzenli bir davranış sergilemeye iliminde olduğunu sonucuna varmışlardır. Bununla birlikte çalışmalarıda, temas ara yüzeyindeki gözle görülebilir kaymaların mikroskopik bir skala üzerinde metal – metal temasını sağlamak için kaplanmış izole maddesinin kaldırılması gerektiğini sonucuna vararak kayma olmadan normal basıncın uygun bir metal – metal teması sağlamak için belirtmişlerdir.

Crinon ve Evans [39] çalışmalarıda 2.0 mm kalınlığa sahip 5000 serisi alüminyum alaımlı levhalara direnç nokta kaynaı yöntemi uygulayarak yüzey pürüzlülüğü, oksit film kalınlığı ve ara yüzey kaymalarının kaynak kalitesine etkilerini incelemiştir. Çalışmalarıda, kontak yüzeyi temas alanında kaplanmış alüminyumun, yükleme düzenindeki düşük seviyeli mekanik dengesizliklere karşı gösterdiği hassasiyet izlenmiştir. Yükleme yapılan numunelerde sarsıntıyı azaltmak adına özel önlemler alınmıştır takdirde kontak yüzeyi temas direncinin düzenli bir şekilde elde edilebileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, oksit filmlerinin sarsıntısız yüzeyler ile birlikte azami derecede temas direncini arttırdığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, temas ara yüzeyindeki çok küçük bağıl kayma hareketlerinin dahi temas direncini olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Qiu ve ark. Çalışmalarıda [40] 1.0 mm kalınlığa sahip 5052 serisi alüminyum alaımı ile soğuk haddelenmiş çelik (SPCC) levhaları direnç nokta kaynak

yöntemiyle birleştirilerek birleştirilmenin mukavemeti üzerine ara yüzey reaksiyon katmanının etkisini incelemiştir. Ara yüzey reaksiyon katmanının kaynak bölgesi çevresinde ince olduğu ve kaynak bölgesinin merkezine doğru gidildikçe arttığını gözlemiştir. Ayrıca birleştirmede oluşan çatlak yarıklarının kaynak bölgesi çevresinde alüminyum levhaya kadar yayıldığını ve kaynak bölgesinin merkezinde ara yüzey reaksiyon katmanına ulaştığını belirtmiştir. Bununla birlikte ara yüzey reaksiyon katmanının 1.5 mikron kalınlığı aşması halinde direnç nokta kaynaklı birleştirmelerin gerilme mukavemetini azaltabileceğinin altını çizmiştir.

Bu çalışmada, uçak ve savunma sanayinde oldukça önemli ve kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmaya başlayan AA 5754-H111 (düşük seviyede gerilimle sertleştirilmiş) ile AA 6061-T651 (çözeltiye alınıp suni yalandırılmış ayrıca kontrollü germe ve kademeli yalandırma uygulanmış) alüminyum sacların elektrik direnç nokta kaynağıyla kaynaklı bağlantıları yapılmış, birleştirmelerin mekanik özellikleri çeşitli deney koşullarında ve proses parametreleri değiştirilerek araştırılmıştır. Aynı zamanda birleştirilen parçaların mikroyapıları incelenerek en ideal kaynak parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ

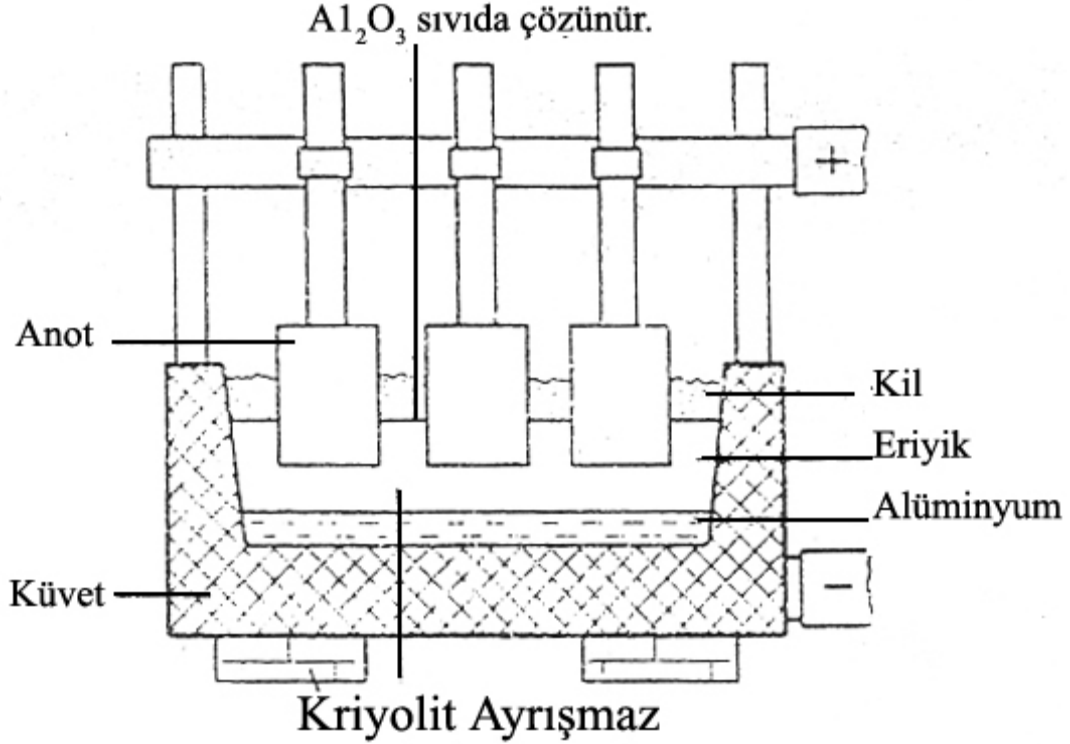
2.1 Alüminyumun Üretimi

Alüminyum üretimi hem cevherden hem de hurdadan yapılır. Cevherden yapılan üretim ise toplam üretimin dörtte üçü kadardır. Hurda üretimi hem çevre kirlenmesini azaltmakta hem de ekonomik üretimin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Tüm dünyada aynı yöntemle cevherden saf alüminyum elde edilmektedir. Üretimde kullanılan en önemli cevher boksittir. Boksit yaklaşık olarak %55 – 65 Al_2O_3 , %28 Fe_2O_3 , %6 SiO_2 , %15 H_2O ihtiva eder. Cevherin ilk önce yabancı maddelerden temizlenmesi için kızgın sodyum hidroksit ($NaOH$) ile işleme tabi tutularak, alüminyum oksit, suda çözünebilen sodyumalüminat ($NaAlO_2$) haline dönüştürülür. Filtrasyon ile diğer çözünmeyen maddeler demir oksit (Fe_2O_3) ve silisyum (SiO_2) ayrılabilir. Demir ihtiva eden filtrasyon artığı kırmızı çamur olarak adlandırılır ve yüksek fırın işleme gönderilir.

Alüminat çözeltisi içerisinde alüminyum, alüminyum hidroksit ($Al(OH)_3$) halinde kristalize edilir, yıkanır ve döner borusal fırınlarda tavllanır. Böylelikle yapıdaki su uzaklaştırılır ve geriye saf alümina (Al_2O_3) kalır. Bu madde ergitme elektrolizi usulünde kullanılan arj malzemesidir [1].

Ergitme elektrolizi için Al_2O_3 kimyasal bileşiminin ergitilmesi gereklidir. Böylece bu bileşik iyonlarına ayrılır. İkinci işlem olarak sisteme doğru akım uygulanırsa (+) yüklü metal iyonları katoda hareket ederler. Ve buradan elektron alarak metal halinde redüklenirler. Alüminyum oksitin çok yüksek bir ergitme noktasına sahip olması ($2000^{\circ}C$ 'nin üzerinde) nedeni ile yüksek sıcaklıkta eriyen oksit, ilk önce ergitilmiş kriyolit içerisinde çözündürülmektedir. İşlem sırasında karışımı sıvı hale getirebilmek için $950^{\circ}C$ civarındaki bir sıcaklık yeterli gelmektedir.

Yaklaşık 5 V'luk bir do ru akım uygulanınca Al_2O_3 parçalanırken kriyolit de i ime u ramaz. Kriyolit bir Na-Al-Fluor bile i idir. Bu usul karbon astarlı banyo fırınlarında uygulanır.(ekil 2.1)



ekil 2.1. Alüminyum ergitme elektrolizine ait tekne

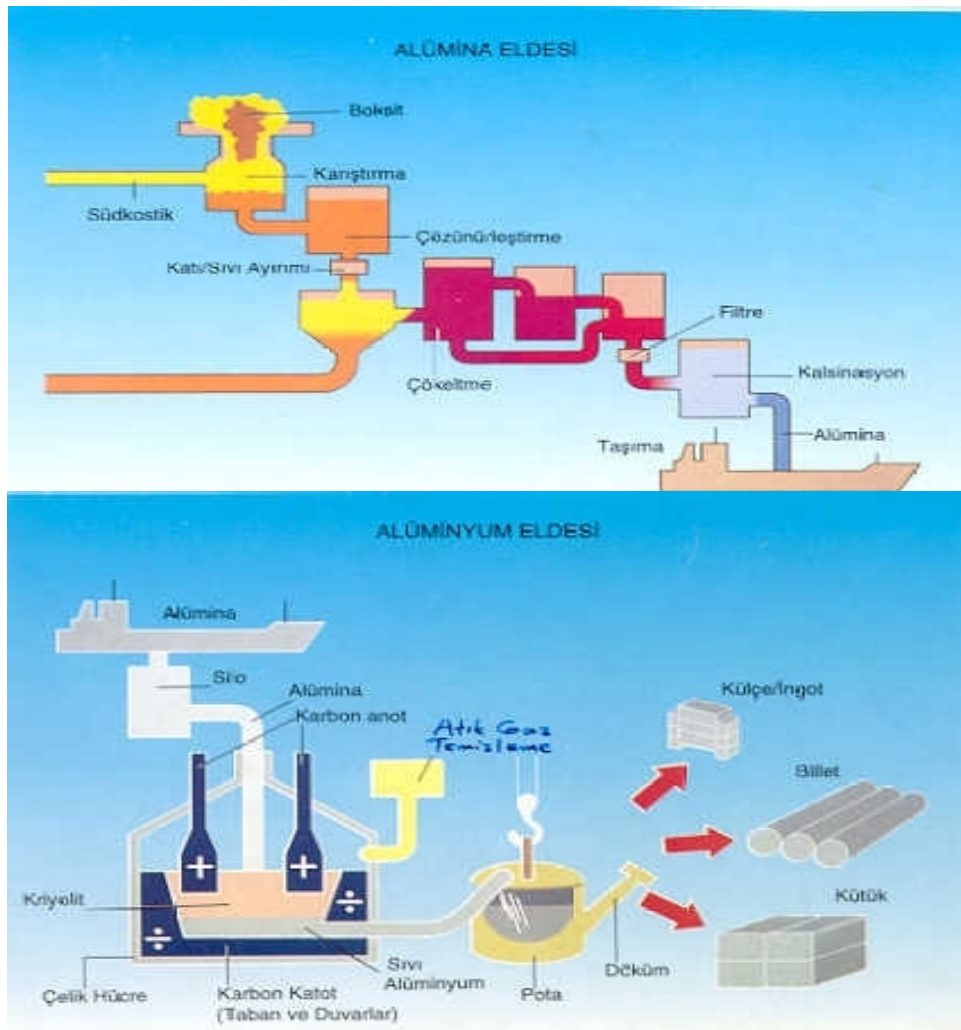
Eriyi in içerisinde anot olarak karbon bloklar daldırılır. Serbest kalan oksijen elektrotlardaki karbonu oksit halinde ba lar. Alüminyum banyonun dibinde toplanır ve periyodik olarak dı arıya pompalanır. Kullanılan alüminyum oksit yerinede periyodik olarak yenisi doldurulur. %99,8 safiyette elde edilen alüminyum çe itli formlarda dökülmesi amacı ile dengeleme fırınlarına doldurulur [3].

Burada amaç, alüminyumu oksijenden ayırmaktır. Elektroliz i lemi için 4-5 volt gerilimde do ru akım uygulanır. Dipte biriken alüminyumun alınması ile i lem tamamlanır Bundan sonraki asama, "alümina"nın "alüminyum"a dönü türülmesidir. Beyaz bir toz görünümündeki alümina, elektroliz i leminin yapılaca ı hücre adı verilen özel yerlere alınır. Madenden çıkarılan boksit cevheri, sudkostik eriyi i ile muamele edilerek alüminyum hidroksit eldesi gerçekleştirir. Bu i lem sonucunda

olu an erimeyen kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile "alümina" (alüminyum oksit) elde edilir.

Bu metal ticari olarak iki ana gruba ayrılırlar: dövme ala ımları ve dökme ala ımları. Dövme ala ımları saç, folyo, çubuk, tel boru, profil gibi ekillerde olan malzemelerdir. Bunlar kütük, blok halinde döküldükten sonra sıcak ekillendirme (ekstrüzyonu, dövme, haddeleme vb) ve so uk ekillendirme (hadde, çekme vb) yöntemleri ile bitmi hale getirirler.

Dökme ala ımları ise ergitme i leminden sonra kum, kokil, savurma, hasa vb. döküm yöntemlerinden biri ile bitmi parça haline getirilen malzemelerdir [1].



ekil 2.2. Alüminyum üretim a amaları

2.2. Alüminyum ve Ala ımlarının Sınıflandırma ve Temper Tasarımları

Alüminyum ala ımları üretim metotları esas alınarak dövme ve döküm olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Bu da, imal usullerinin farklı ihtiyaçları olduğunu gösterir. Plastik deformasyonla şekillendirilen dövme ala ımlar, döküm ala ımlardan oldukça farklı mikro yapı ve bileşimlere sahiptirler. Her ana grup içindeki ala ımlar, ısıl işlem yapılabilir ve yapılamaz ala ımlar olmak üzere iki alt gruba ayrılabilirler. Isıl işlem yapılabilir ala ımlar, yaşlandırma işlemiyle sertleştirilebilirken, ısıl işlem yapılamayan ala ımlar ise katı eriyik sertleşmesi, pekiştirme ve dağılım (dispersiyon) sertleştirilmesiyle mukavemetlendirilirler [4].

Dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi dövme alüminyum ve alüminyum ala ımlarını tanımlamak için kullanılır. Son iki basamak alüminyum ala ımını veya alüminyumun saflığını gösterir. İkinci basamak orijinal ala ımın modifikasyonunu veya empürite sınırlarını gösterir [5].

Döküm ala ımlarında dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi, alüminyum ve alüminyum ala ımlarını dökümü ve dökümhane ingotu şeklinde tanıtmada kullanılır.

İlk basamak ala ım grubunu gösterir. Bir kesir işaretiyle diğerlerinden ayrılan son basamak ürünün biçimini, örnek dökümler veya ingotu gösterir. Orijinal ala ım veya empürite sınırlarının bir modifikasyonu sayısal tasarımdan önce bir seri harfle gösterilir. Harf "x" deneysel ala ımlar için kullanılır. Bununla beraber alüminyum döküm ala ımları daha yaygın olarak üç basamakla tanımlanır [5].

Dövme ala ımlar:

1XXX Ticari saflıkta Al (>%99Al)	Yaşlandırılmaz
2XXX Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4XXX Al-Si ve Al-Mg-S	Eğer magnezyum varsa yaşlandırılabilir
5XXX Al-Mg	Yaşlandırılmaz

6XXX Al-Mg-Si	Yaslandırılabilir
7XXX Al-Mg-Zn	Yaslandırılabilir

Döküm alaşımları:

1XX.X Ticari saflıkta Al	Yaslandırılmaz
2XX.X Al-Cu	Yaslandırılabilir
3XX.X Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Biraz yaslandırılabilir
4XX.X Al-Si	Yaslandırılmaz
5XX.X Al-Mg	Yaslandırılmaz
7XX.X Al-Mg-Zn	Yaslandırılabilir
8XX.X Al-Sn	Yaslandırılabilir

Temper tasarımları; alaşım tasarımlarını takip eder ve önek (örneğin 3003-Q) ile ayrılır. Bir temel temperin alt bölümleri tekrar bir veya daha çok ilave basamaklarla (örneğin 3003-H14) takip edilir [5].

Temel temper durumları:

F : Üretildiği gibi. Pekleme üzerine kontrol yok; mekanik özellikler sınırlaması yok.

O : Tavlanmış ve yeniden kristallenmiş. En düşük dayanım ve en yüksek süneklige sahip temper.

H : Pekle tirilmiş (alt bölümler için aşağıya bakınız).

T : F ve O' dan başka kararlı temperler üretmek için ısı işlem uygulanmış (alt bölümler için aşağıya bakınız) [5].

Pekle tirilmiş alt bölümler:

H1x : Sadece soğuk ekilendirilmiş (x soğuk ekilendirme miktarına ve mukavemetlendirmeye işaret eder).

H12 : Soğuk ekilendirme, O ve H14 temperleri arasında ortalarda bir çekme dayanımı sağlar.

H14 : Soğuk ekilendirme, O ve H18 temperleri arasında bir çekme dayanımı sağlar.

H16 : Soğuk ekilendirme, H14 ve H18 temperleri arasında ortalarda bir çekme

dayanımı sa lar.

H18 : So uk ekillendirme, yakla ık %75 azalma sa lar.

H19 : So uk ekillendirme, H18 temperleme ile elde edilen çekme dayanımından 13,789 MPa fazla dayanım sa lar.

H2x : So uk ekillendirilmi ve kısmen tavlanmı .

H3x : Dü ük sıcaklıkta yapının yaslanmasını önlemek için so uk ekillendirilmi ve dengelenmi [4].

Isıl i lem uygulanmı alt bölümler:

W : Çözündürme uygulanmı .

T : Yaslandırılmı .

T1 : Fabrikasyon sıcaklı ından so utulmu ve do al olarak yaslandırılmı .

T2 : Fabrikasyon sıcaklı ından so utulmu , so uk ekillendirilmi ve do al olarak yaslandırılmı .

T3 : Çözündürme uygulanmı , so uk ekillendirilmi ve do al olarak yaslandırılmı .

T4 : Çözündürme uygulanmı ve do al olarak yaslandırılmı .

T5 : Fabrikasyon sıcaklı ından so utulmu ve yapay olarak yaslandırılmı .

T6 : Çözündürme uygulanmı ve yapay olarak yaslandırılmı .

T7 : Çözündürme uygulanmı ve a ırı yaslandırma ile kararlı hale getirilmi .

T8 : Çözündürme uygulanmı , so uk ekillendirilmi ve yapay olarak yaslandırılmı .

T9 : Çözündürme uygulanmı , yapay olarak yaslandırılmı ve so uk ekillendirilmi .

T10 : Fabrikasyon sıcaklı ından so utulmu , so uk ekillendirilmi ve yapay olarak ya landırılmı [5].

2.2.1. Dövme alüminyum ala ımları

Bu ala ımlar, isimlendirilmesinden de anla ılaca ı gibi; dövme, haddeleme ve ekstrüzyon gibi plastik sekil verme yöntemleriyle üretilmektedirler. Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı, hangi temel ala ım elementini içeren alüminyum ala ımı

oldu unu belirtir. 1XXX dizisi saf alüminyum (% 99.00) gösterir. Son iki rakam % 99 de erinin noktadan sonraki rakamlarını belirtir. Soldan ikinci rakam ise, özel olarak denetlenen katkı elementlerin sayısını belirtir ve 1'den 9'a kadar de i ebilir. 2XXX'den 8XXX'e kadar olan alüminyum ala ımlarında ilk rakam ala ım türünü, ikinci rakam de i imleri (modifikasyon) simgeler, son iki rakamın özel bir anlamı yoktur. Ala ımı dizideki di er ala ımlardan ayıran sıra numarası gibi kullanılır [6].

Genellikle dövme alüminyum ala ımların sınıflandırılması ala ım elementlerinin katkılarına göre yapılırken, aynı zamanda ısıl ilsem uygulanabilirli i (yaslandırma) açısından da bu ala ımlar ele alınmaktadırlar. Alüminyum ala ımlarına di er metallerin ilave edilmesi, mekanik özelliklerin iyilemesine olanak tanır. Örne in, ticari vasıftaki alüminyumda mevcut küçük miktarlardaki yapı kirleticilerinin bile alüminyumun mukavemetini saf metale kıyasla % 50'ye kadar arttırmaya yeterli oldu u literatürlerde izah edilmektedir. Alüminyum ala ımlarının üretiminde en fazla kullanılan metaller bakır, silisyum, mangan, magnezyum ve çinkodur. Bu metaller, arzu edilen nitelikteki ürünü imal edebilmek için alüminyum ala ımına, tek veya bile ik halde ilave edilebilirler. Döküm ala ımlarında, ala ım yapıcı metaller daha yüksek miktarlarda kullanıldı ı zaman hadde ala ımları için bu metallerin toplam yüzdesi, nadiren % 10'un üstüne çıkar. Dökülmü ve tavlama artlardaki alüminyum ala ımlarının çekme mukavemeti bile imlerine ba lı olarak ticari alüminyumunun iki misline kadar yükselir. So uk i lem, hadde ala ımlarının çekme mukavemetini daha da yükseltir. Ala ımlandırma sonucu alüminyum metalinin mukavemetinde elde edilen yükseli , di er özelliklerdeki de i imlerle birlikte meydana gelir. Bu de i imler farklı ala ımlarda nadiren aynı olur. Çünkü birçok ala ım, esas itibariyle aynı çekme mukavemetine sahip olmasına karşın; süneklik, elektrik ve ısı iletkenli i ile üretim kolaylı ı bakımından birbiriyle önemli farklılıklar gösterir. Ala ımlandırmada bazı katkılar, malzemenin yo unlu unu artırıcı etki gösterirken; bazı ala ımlar da daha hafif olurlar. Örne in % 10-13 oranında silisyum içeren ala ımların yo unlu u 2,65 g/cm³ civarındadır [6].

2.2.1.1. 1xxx serisi ala ımlar

1xxx grubu alüminyum ala ımları saf ya da çok az ala ım elemanı bulduran malzemeler olup; levha, folyo ve profil haline kolayca getirilebilirler [7]. Bu gruptaki ala ımlar yaslanma sertle mesi göstermezler ve bunlara sadece deformasyon sertle mesi yolu ile kısmen mukavemet kazandırılabilir [6]. Derin çekme i lemne de uygun olan bu ala ımların iyi korozyon özellikleri ve yüksek ısı ve elektrik dirençleri vardır. ekillendirme ve islenebilirlik kabiliyeti yüksek ama mukavemetleri dü üktür. Bu ala ımlar mimari uygulamalarda, ısı esanjörlerinde, elektrik iletim levhalarında ve ambalajlama i lemlerinde kullanılmaktadır [8].

2.2.1.2. 2xxx serisi ala ımlar

2xxx serisi Al-Cu ala ımlarının temel ala ım elementi bakırdır. 2024 ala ımı bu gruba ait ala ımlar arasında mekanik mukavemeti en yüksek olandır. Bile iminde % 4.5 Cu yanında % 1.5 Mg içerir. Bu ala ımın kullanım buldu u en önemli alan uçak ve uzay yapılarıdır. Baslıca otomotiv, vagon, uçak, mühimmat sanayisinde, di li ve ba lantı elemanlarında, voltaj yükselticilerinde, süspansiyon parçalarında, perçinlerde, vida mekanizmalarında yüksek dayanım ve hafifli in gerekli oldu u yerlerde kullanılmaktadır. Al-Cu ala ımları 490 °C'den hızla so utularak çökeltme sertle mesi i lemne tabi tutulurlar. Daha sonra oda sıcaklı ında do al yaslanmaya maruz bırakılabildikleri gibi, mekanik mukavemetin daha da artırılması için 120 °C'de tavlanarak yapay yaslanmaya u ratılırlar [9]. Yaslanma ısıl i lemi sonunda bu ala ımlarda, ala ımsız çelik mukavemetinin üzerinde bir mukavemet de eri elde edilmektedir. Sertle tirilen ala ımın çekme dayanımıyla beraber islenme kabiliyeti de artar, fakat süneklige azalır. Yaslanan malzemelerde elektrik iletkenli i de azalmaktadır [8]. Bu malzemelerin bakır ilavesi nedeniyle korozyon direnci azdır.

2.2.1.3. 3xxx serisi ala ımları

Bu serinin ana ala ım elementi manganezdır. Genel olarak bir alüminyum-manganez ala ımı % 1.80 oranında manganez içerir. Sıcaklık dü ü üyle beraber manganezin çözünürlü ü de azalır. Isıl i lemle yaslandırma sertle mesi bu ala ım için

mümkündür. Manganın etkisi alüminyumun çekme mukavemetini artırmaktadır. Bu alaım yüksek süneklik ve çok iyi korozyon özelliklerine sahiptir. 1xxx serisi alaımlardan % 20 daha fazla mukavemete sahiptirler. Bu alaımlar, saf alüminyum ile yüksek mukavemetli alüminyum alaımları arasındaki boşluğu doldururlar. Zira % 1,5 mertebesindeki bir mangan ilavesi, mukavemetin önemli miktarda (100 ila 170 N/mm²) artmasına, fakat sünekliliğin ise az oranda azalmasına neden olur. Mangan çözünürlüğünün az olması bu alaımların üretim yelpazesini kısıtlar.

2.2.1.4. 4xxx serisi alaımları

Bu serinin temel alaım elemanı silisyumdur. Al-Si alaımlarının en önemli özelliğidüük silisyum katkılarında ergime sıcaklığının düük olmasıdır. Bu nedenle kaynak çubukları ve sert lehim levhalar için özellikle uygundur. Lehim teli, mimari uygulamalar ve radyatör dilimleri başlıca kullanım yerleridir. Alüminyumda silisyumun maksimum çözünme sınırı % 1.65'dir. Ancak 4xxx serisi alaımlarda % 2,5'e kadar silisyumlu alaım yapılıdır. Artan silisyum oranı ergime sıcaklık aralığını azaltır ve dökülebilme yeteneğini artırır [8]. Yüksek silisyumlu alaımların düük termal genleşme katsayısı, yüksek korozyon direnci ve yüksek aınma direnci vardır. Bu nedenle dövme motor pistonları 4032 alaımlarından yapılıdır [8]. Diğer taraftan bu alaımlar ısı ile sertleştirilmeye elverişlidir [9]. Önemli miktarlarda silisyum içeren alaımlara anodik oksidasyon uygulandıında koyu gri renk alırlar, bu yüzden mimari uygulamalarda dekoratif amaçlı olarak kullanılırlar [7].

2.2.1.5. 5xxx serisi alaımları

Bu alaımlar magnezyumu ana katkı elemanı olarak içerirler ve mekanik mukavemetleri de orta düzeyden yüksele kadar geliştirilebilen malzemelerdir. Isı ile sertleştirilebilme yetenekleri sınırlıdır [9]. Katı fazda magnezyum çözünürlüğü azalan sıcaklık ile hızla düşer. Ancak % 5'den az magnezyum ve yeteri kadar silisyumu olmayan alaımlar yaslandırma ile sertleştirilemez. Genellikle soğuk şekil verme ile sertleştirilebilir alaımlar elde edilir. 5xxx serisi alaımlarda magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artarken süneklik azalır [8]. Yüksek çekme dayanımı, sertlik, aınma direnci, deniz atmosferine karşı iyi korozyon direnci

ve iyi kaynak edilebilirli i önemli özellikleridir. So uk sekil de i imine elveri li de illerdir [7]. Mekanik mukavemetin artırılmasında ana etken olan Mg % 0,8-4,5 arasında de i en miktarlarda kullanılır. Alüminyum-magnezyum ala ımlarında, % magnezyum miktarı ne kadar fazla kullanılırsa çekme mukavemeti de o oranda yükselir. Bu ala ımlar çok iyi bir süneklige ve tam bir korozyon direncine sahip oldu undan deniz ko ullarında, özellikle gemi ve bot yapı malzemeleri üretiminde yaygın bir ekilde kullanılmaktadır [6]. Alüminyum-magnezyum ala ımları içinde 4 serisi sanayide çok talep görmektedir [10]. Bu serinin zengin ala ımlarında ötektik sıcaklık 450 °C (840 °F) ve Mg konsantrasyonu % 14,9 dur [9].

2.2.1.6. 6xxx serisi ala ımları

6XXX serisi bu ala ım, silisyum ve magnezyumun birlikte olu turdukları seriyi temsil etmektedir. Magnezyum ve silisyum birle erek Mg_2Si bile i ini olu turur. Bu ala ımda sertle me, Mg_2Si metallar arası bile i inin sıcaklık ile de i en çözünürlü ünden ileri gelmektedir. Bu bile ik alüminyum ile basit bir ötektik sistemi olu turur [8]. Ani so utma ve yaslandırma arasında oda sıcaklı ında depolanan Al-Mg-Si ala ımları ani so utma ve yaslandırma yoluyla üretilenden daha dü ük mekanik özellikler sergilerler. 6xxx serisi ala ımlar çözeltiye alınır ve suni olarak yaslandırılırsa alüminyum matrisi içinde Mg_2Si partikülleri çöker. Böylece orta seviyede mukavemet ve sertlik elde edilir. Fakat elde edilen mukavemet 2xxx ve 7xxx serisinde elde edilen de erlerden daha az olur [8]. Bu grupta en iyi ısıl i lem uygulanabilen ve yaygın olan ala ım 6061'dir. Bu ala ımların ekillendirme kabiliyeti, kaynak kabiliyeti, Talas kaldırma kabiliyeti ve korozyon direnci di er yaslandırılan ala ımlardan daha fazladır. Bu ala ımlar kararlı olmaları ve çözünme ısıl i lemi ko ullarında çok iyi ekillenebilmeleri ile karakterize edilirler.

ekillendirme, su verme i leminden sonra malzeme üzerinde yürütülebilir ve gerekli mukavemet, malzemeyi daha sonra 160-180 °C'de çökelme ısıl i lemne tabii tutmak suretiyle temin edilir [10]. Kimyasal bile imlerine ba lı olarak, iyi mekanik özelliklerinden dolayı uçak ve uzay konstrüksiyonlarda ve donanımlarında, tasıma araçlarında, demiryolu ta ıtlarında vb. sanayi sektörünün çe itli alanlarında kullanılan bu ala ımlar, ayrıca ısıl i lemle sertle tirilen ala ımlar arasında so uk ekillendirmeye elveri li ala ım grubudurlar [9].

2.2.1.7. 7xxx serisi ala ımları

Bu grupta ana ala ım elemanı olan çinko küçük miktarda magnezyumla kullanıldı ında çok yüksek mukavemetli ısıl i lem uygulanabilen ala ımlar meydana gelmektedir. Ana katkı maddesi olan çinko % 5 civarında kullanılır ve ala ımlara çok yüksek çekme dayanımı kazandırır. Çinkonun ana ala ım elemanı olarak ve bir miktar Mg ile birlikte kullanılması malzemenin ısıl i lemle sertle tirilmesini sa lar. Bu ala ımlar tüm alüminyum ala ımları içinde en mukavemetli olanlarıdır ve ikinci dünya savaşı sırasında hava kuvvetlerinde kullanılmak üzere geli tirilmi tir. Uçak gövdelerinin yapımında kullanılan 7075 çok yüksek mukavemeti ile özellik ta ır. Al-Zn-Mg serisi ala ımlar orta mukavemetli ve ökellemeyle sertle ebilir konstrüksiyon malzemesidir. Al-Cu-Mg ala ımlarına nazaran daha iyi korozyon direnci gösterirler, fakat korozyon dirençleri Al-Mg ve Al-Mg-Si ala ımlarına nazaran daha azdır (Öksüz, 1996). Bu ala ımlarda temel sertle tirici faz b ($MgZn_2$) fazıdır. lave olarak $CuAl_2$ ve $CuMgAl_2$ bile ikleri de ökelebilir [11]. Ayrıca tavan vinçleri, kamyon kasaları, vidalı makine parçaları, uçak, roket ve savunma sanayi parçaları başlıca kullanım yerleridir [12]. Çinkonun ala ımda kullanılmasıyla beraber malzemenin dökülebilirlik kabiliyeti dü mektedir. inkolu ala ımlar sıcak çatlama ve so uma çekmesi meydana getirirler. % 8'den yüksek ala ımlar gerilmeli korozyon çatlaması göstermesine kar ılık, di er ala ım elementleri ile birlikte bulunması halinde dayanımı çok artmaktadır. Bu ala ımlar imal güçlükleri arz ederler ve ekillendirme i lemi, ergitme ısıl i leminden hemen sonra yapılmalıdır. Bunu çökelleme ısıl i lemi takip etmektedir [11].

2.2.1.8. 8xxx serisi ala ımları

Son yıllarda özellikle uzay ve uçak sanayisi için dü ük yo unluklu, yüksek mukavemetli malzemeye duyulan talep, Al-Li ala ımlarını ön plana ıkarmı tır. Al-Li ala ımları dü ük yo unlu un yanında, yüksek elastisite modülü, yüksek yorulma direnci, dü ük ve yüksek sıcaklıklarda tokluk özellikleri ile dikkat çekmektedir [13]. Lityumun alüminyum ala ımlarına ilavesinin başlıca nedeni, yo unlu un azalması ve buna karşın elastiklik modülündeki artışı sa lanmasıdır. Alüminyuma her % 1 Li ilavesinde ala ımın yo unlu u % 3 azalırken elastiklik modülünü de % 6 oranında

artırmaktadır. Geleneksel olarak % (1.0-2.0) arasında lityum içeren alaşımlar ısıtılma işlemine tabi tutulabilir. Hızlı katılma yöntemi ile % 4 kadar Li ilave edilebilir, bu da yüksek mukavemete ve daha düşük ağırlık nedeniyle olabilir [9]. Lityum içeren alüminyum alaşımlarının diğer geleneksel alüminyum alaşımlarına göre üç dört kat daha yüksek olan üretim maliyetleri nedeniyle; aktif kullanım açısından bu alaşımlar, hem ekonomik hem de teknolojik açıdan geliştirilmeye çalışılmaktadır.

2.2.2. Döküm alüminyum alaşımları

Döküm alaşımları; genellikle kum döküm, pres döküm ve sabit kalıp yöntemleri kullanılarak üretilirler. Bu alaşımlar son derece yüksek fiziksel özellikler gösterir ve işlenmeye elverişlidirler. Döküm alaşımları kaynak edilebilirler. Isıl işlem çok yaygın olarak dövme alüminyum alaşımlarına uygulanmakla birlikte, döküm alaşımlarının bir kısmına da başarıyla uygulanabilmektedir. Bu özelliklerin yanında, mukavemet ve korozyon özellikleri iyidir. Bu nedenle döküm alaşımlarının kimyasal bileşimleri dövme alaşımlarından oldukça farklı olup silisyum % 5-12 oranı ile en önemli alaşım elementidir. Silisyum ötektik reaksiyon veren bir element olduğundan ilavesiyle alaşımın akıcılığı ve besleme kabiliyeti artarken, aynı zamanda malzeme mukavemeti de artar. Magnezyum elementi % 0.3-1 arasında ısıtılma işlemi uygulanabilir alaşımlara eklenir ve çökeltme (Mg_2Si) ile malzeme mukavemetinin artışı sağlanır. Bakır, yüksek sıcaklık direncini arttırmak amacıyla % 1-4 arasında kullanılır ve $CuAl_2$ bileşiği şeklinde çökeltme fazı oluşturur. Çinko elementi de aynı şekilde yaslanma amaçlı olarak malzemeye ilave edilir ve $MgZn_2$ çökeltisi oluşturur. Bor (B) ve titanyum (Ti) döküm alüminyum alaşımlarına tane küçültücü olarak ilave edilirken, sodyum (Na) ve stronsiyum (Sr) elementleri ötektik yapıyı kodifiye edici olarak eklenir. Diğer özellikleri de kontrol amacıyla kalay (Sn) ve krom (Cr) gibi elementler kullanılabilir [9]. Bu alaşım grubunun özellikleri her ne kadar hafif bir döküm alaşımı yapısı sergiliyorsa da, özellikle otomotiv sanayisinde çok geniş bir şekilde kullanılmaktadırlar. Döküm alüminyum alaşımları genellikle iki fazlıdır. Bazı bileşim özellikleri ısıtılma işlemi veya ergimi metali kalıba dökmeden önce döküm yapısında bir iyileştirme işlemi vasıtasıyla düzeltilebilir [11].

2.3 Saf Alüminyumun Özellikleri

Alüminyumun saflığı belirtilen kesin sınırları olmamasına rağmen Tablo II.1'deki tasnif, kullanılmakta olan tasniftir [1].

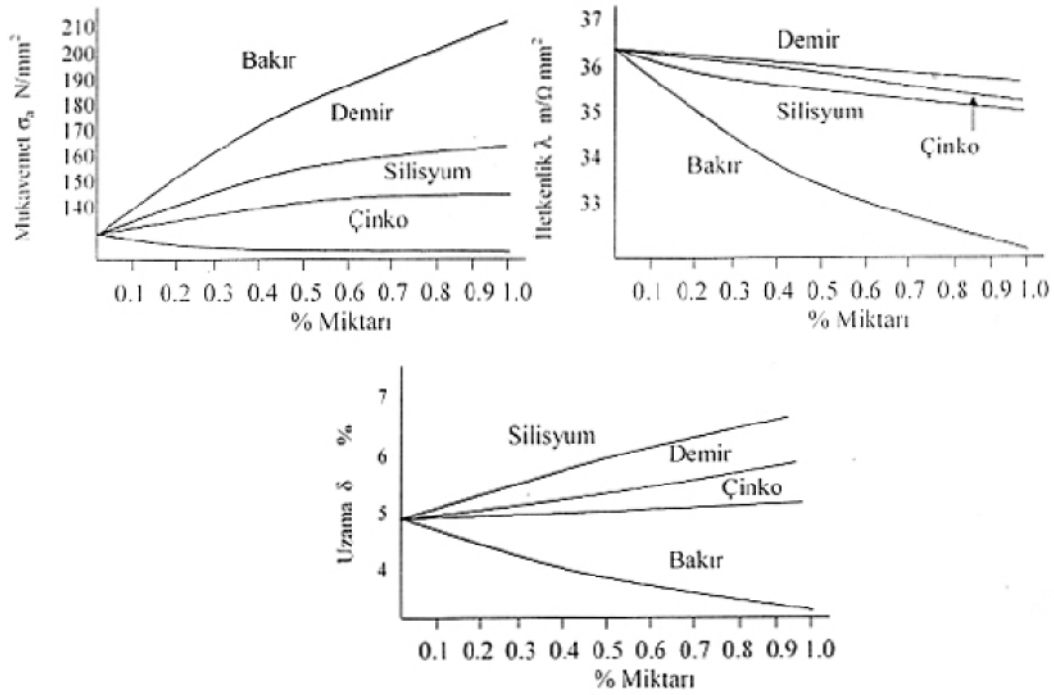
Tablo 2.1. Alüminyum saflık tasnifi [1]

%Alüminyum	Verilen isim
99.50 – 99.79	Ticari saflık
99.80 – 99.949	Yüksek saflık
99.950 – 99,9959	Süper saflık
99.9960 – 99,9990	A ırı saflık
+ 99.9990	Ultra saflık

Tablo 2.2 Alüminyumun genel özellikleri [1]

Sembol	Al
Atom No	13
Atom A ırlığı	26.97 g/mol
Kristal Yapısı	YMK (a= 4.091 Å)
Yo unlu u (25°C)	2.7 g/cm ³
Ergime Noktası	660 °C
Yeniden Kristalle me Sıcaklığı	150–300 °C
Buharla ma Noktası	2450 °C
Isısal Genle me	23 .6 x 10 ⁻⁶ (20-100 °C)
Özgül ısı	0.224 cal/g (100 °C)
Ergime Gizli ısı	94.5 cal/g
Elastik Modül	7.2
Kayma Modülü	2.7
Çekme Dayanımı	4-9 kg/mm ²
Akma Dayanımı	1-3 kg/mm ²
% Uzama	60
Kopma Uzaması	%30 – 40
Çentik Darbe Tokluğu	10kg/cm ²

Saf alüminyum özelliklerini, en fazla etkileyen katkı maddeleri; silisyum, demir, titan, bakır ve çinkodur. Saf alüminyumun çekme mukavemet, uzama ve elektrik iletkenli ine Fe, Si, Cu ve Zn elemanlarının etkisi ekil 2.3’de gösterilmektedir [14].



ekil 2.3. Saf alüminyumun, mukavemet, uzama ve elektrik iletkenli ine katkı elemanlarının etkisi [7]

2.3.1 Mukavemet özellikleri

Mukavemet özellikleri malzemenin safiyet derecesine ve imal ekline ba lıdır.

Tablo 2.3 Alüminyum ala ımlarının kar ıla tırmalı özellikleri [15]

Özellikler	Döküm Al	Hadde Al	Isıl i lemlenmiş Al
Çekme Muk. (Kg/mm ²)	9–12	18–28	7–11
Akma Muk. (Kg/mm ²)	3–4	16–24	5–8
Uzama (%)	18–25	3–5	30–45
Büzülme(%)	40–55	60–85	80–95
Sertlik (Brinell)	24–32	45–60	15–25
Elastik Modül. (Kg/mm ²)		6000–7000	

Saf alüminyumun dinamik mukavemeti, statik mukavemetinin yaklaşık 0,4 ila 0,45 katıdır. Soğuk çekilme testi için alüminyum kaynak yapıldığı takdirde, geçiş bölgesinin mukavemeti düşer [8]. Tablo 2.3' de saf alüminyumun oda sıcaklığı çekme deney sonuçları görülmektedir. Metalin saflığı azaldıkça katı eriyik sertleşmesine bağlı olarak mukavemet artmakta ve süneklik azalmaktadır. Saf alüminyum ve alüminyum alaşımlarının elastisite modülü 70 Gpa ve Poisson oranları 0,33 civarındadır. Metal sıcaklığı arttıkça saf alüminyumun akma mukavemeti ve elastisite modülü azalır [1].

Tablo 2. 4. Saf alüminyumun oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [1]

% Saflık	Akma Mukavemeti MPa	Çekme Mukavemeti MPa	%Uzama
99.99	10	45	50
99.8	20	60	45
99.6	30	70	43

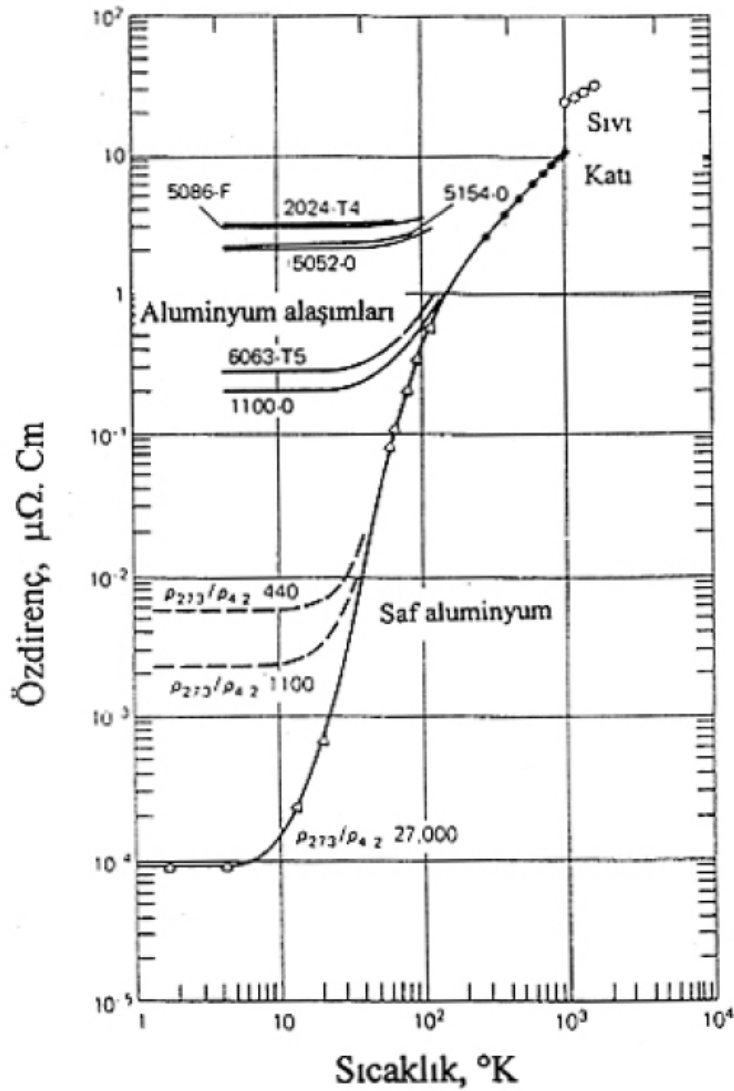
Çeşitli alüminyum alaşımlarının ısıl işlemler sonucu istenilen şekilde mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikleri geliştirilebilir. Mekanik özelliklerinin böylece geliştirilebilir olması alüminyum alaşımlarının kullanım alanlarını genişletmektedir [14].

2.3.2. Fiziksel özellikleri

Alüminyum kübik yüzey merkezli kafes yapısında katıdır ve ergiyene kadar kafes yapısı değişmez. Bu KYM kafes yapısı metale yüksek süneklik kazandırır. Katı alüminyumun yoğunluğu oda sıcaklığında $2,7 \text{ g/cm}^3$ dir. Ergime sıcaklığı 660°C dir. 660°C deki sıvı alüminyum yoğunluğu $2,37 \text{ g/cm}^3$ olur. Sıvı sıcaklığı arttıkça yoğunluk azalır. 750°C deki $2,34 \text{ g/cm}^3$ olan sıvı yoğunluğu 850°C de $2,32 \text{ g/cm}^3$ de erimeye düşer. Saf alüminyum sıcaklığı arttıkça termal genleşme katsayısı ve elektrik özdirenci artarken ısı iletim katsayısı azalır [1].

Tablo 2.5. Saf Alüminyumda Termal Genleme Katsayısının (A) Sıcaklık ile Değişmesi [1]

Sıcaklık °C	$10^{-6} K^{-1}$		Sıcaklık °C	$10^{-6} K^{-1}$
20	23.0		327	28.2
77	24.1		427	30.4
127	24.9		527	33.5
227	26.5		627	37.3

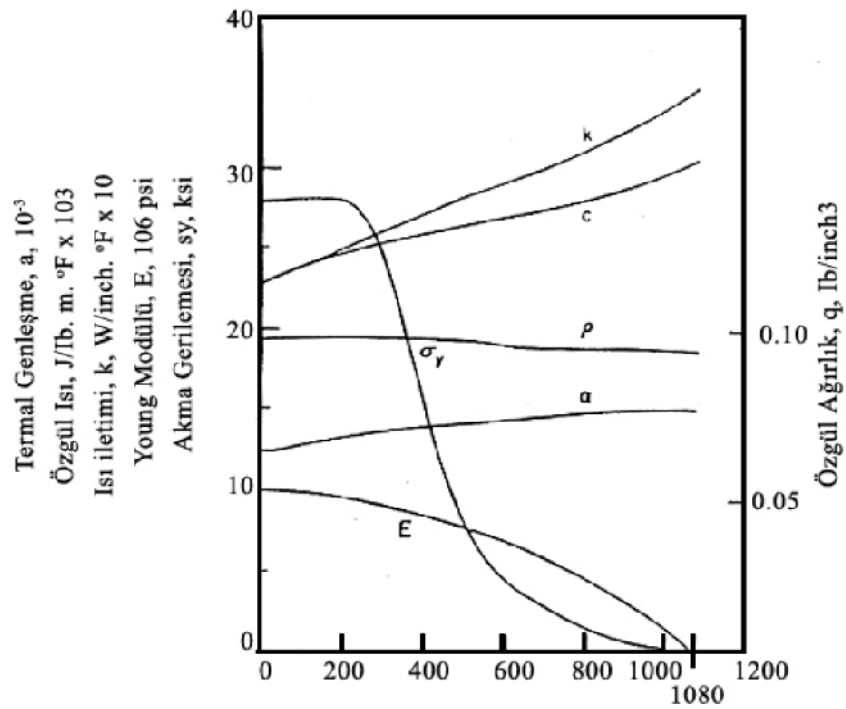


ekil 2.4. Saf alüminyum ve alaşımlarının elektrik öz direncin sıcaklık ile değişmesi [1]

5052 – H32 alüminyum alaımlarında metal sıcaklı ının mekanik ve fiziksel özelliklere tesirini ekil II.4da görmekteyiz. Katı haldeki yo unluk hemen hemen hiç de i memektedir. Mukavemet ve elastisite modülü azalırken ısı iletimi, termal genle me ve özgül ısı artmaktadır [1]

Tablo 2.6. Saf alüminyumda ısı iletim katsayısının (k) sıcaklık ile de i mesi [1]

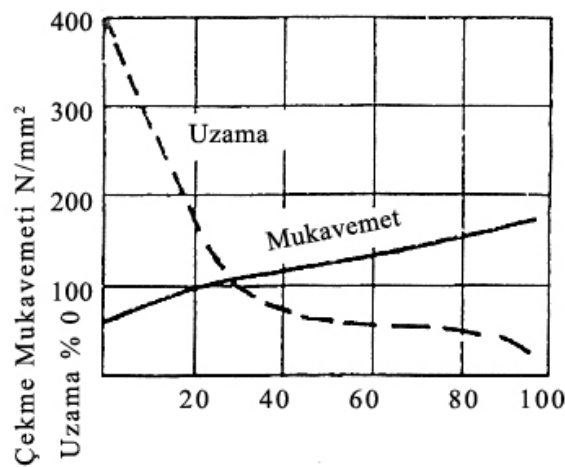
Sıcaklık °C	k $W cm^{-6} K^{-1}$	Sıcaklık °C	k $W cm^{-6} K^{-1}$
0	2.36	300	2.33
25	2.37	400	2.26
50	2.39	500	2.19
10	2.40	600	2.12
200	2.37	660	2.08



ekil 2.5. 5052-H32 Alüminyum Alaımlarına Ait Bazı Özelliklerinin Sıcaklık ile De i mesi [1]

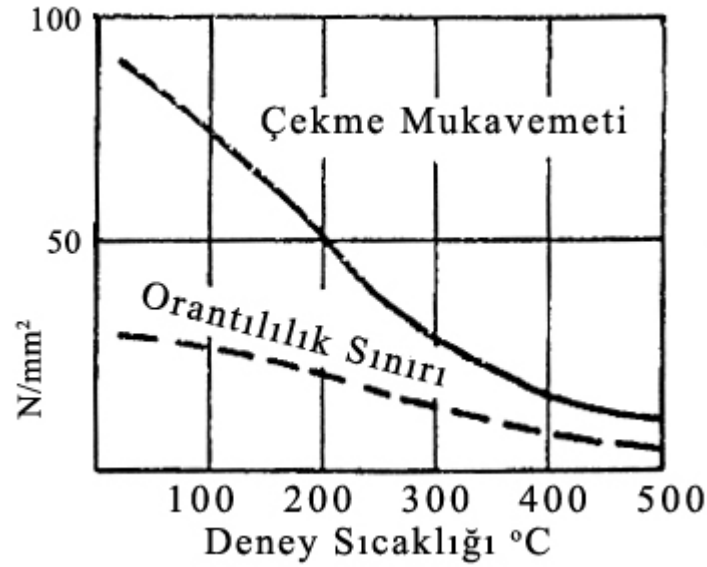
2.3.3. So uk ve sıcak ekil de i tirme

Alüminyum oda sıcaklığı nda so uk ekil de i tirdi i takdirde, çekme ve akma mukavemeti yükselir. Buna kar ılıklı uzama miktarı ve ekil de i tirme kabiliyeti azalır. Bu artma ve azalma, ekil de i tirme derecesine ba lıdır. ekil de i tirme derecesine ba lı olarak da alüminyum yumu ak, 1/16 sert, 1/8 sert, 1/4 sert, 1/2 sert ve 1/1 sert olmak üzere kısımlara ayrılır. Sert yani ekil de i tirmi alüminyum, yumu ak alüminyumdan daha az bir korozyon mukavemetine sahiptir. Mesela %99,5 saflık derecesinde bulunan bir alüminyum, 7kg/mm² çekme mukavemetine ve %35 uzama miktarına sahip olmasına ra men; %20 derecesinde bir so uk ekil de i tirmeye tabi tutulursa, çekme mukavemeti 10 kg/mm² ye yükseldi i gibi uzama miktarı da %15'e dü er. ekil de i tirme derecesi %40'a yükselirse, mukavemet 12 kg/mm² ve uzamada %12 de erini alır. Alüminyumun sıcak ekil de i tirmesi (boruların, profillerin ve sacların sıcak olarak bükülmesi)her zaman mümkündür. Daha önce so uk ekil de i tirmi bir alüminyum parça, sıcak ekil de i tirebilir. Fakat kaynak i leminde oldu u gibi mukavemet dü er. Sıcak ekil de i tirme sıcaklığı ı 300 – 450 °C arasındadır [8]. Saf alüminyumun, so uk ve sıcakta ekil de i tirme kabiliyeti çok iyidir. Alüminyum ve ala ımları so uk ekil verme sırasındaki pekle me gösterir. Saf alüminyumun so uk ekil de i tirme derecesine ba lı olarak, çekme mukavemeti ve uzama miktarının de i imi ekil 2.5'de verilmi tir [7]. Ala ımların özelliklerinin de i imi, ala ım elementlerinin cinsine ve miktarına ba lı olarak de i ir.

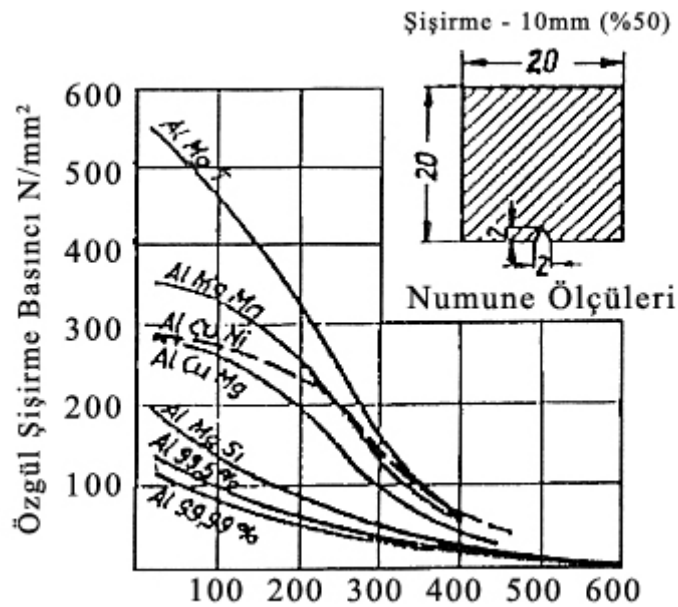


ekil 2.6. Saf Alüminyumun So uk Pektile mesi [7]

Alüminyumun sıcak zorlanmasında, orantılık sınırı ve çekme mukavemeti sıcaklık ile düzgün olarak azalmaktadır (ekil 2.6) [7]. Bu azalma 200 °C sıcaklığına kadar oldukça fazladır. Benzer durum saf alüminyumun işlenmesi halinde de görülür. [7]



ekil 2.7. Saf alüminyumun sıcaklıkla, çekme mukavemeti ve orantılılık sınırının değişimi



ekil 2.8. Saf alüminyumun ve alaşımlarının, özgül şişirme basıncının, deneysel sıcaklığına bağlı olarak değişimi [1]

2.3.4. Kimyasal özellikleri

Alüminyum yüksek bir kimyasal aktiviteye sahiptir. Oksijen, halojenler, kükürt ve karbon ile bileşiklerinin tekkül enerjisi çok yüksektir. Elektromotif kuvvet serisinde en kuvvetli elektronegatif elementlere dâhildir. Alüminyum havada ince fakat çok sıkı bir alüminyum oksit tabakası ile kaplanır. Elektron mikroskobu ile yapılan ara tırmalar bu örtünün çok sık ve gözeneksiz olduğunu göstermektedir. Bu örtü, metali oksitlenmenin devam etmesine karşı korur. Malzemeye yüksek bir korozyon direnci kazandırır.

Metalik parlak alüminyum yüzeyindeki koruyucu oksit tabakası takriben 0.2 mm kalınlığındadır. Alüminyum havada, ergime noktasının (650°C) hemen altına kadar ısıtılırsa oksitlenme devam eder.

Alüminyum ergime noktası üzerindeki sıcaklıklarda daha hızlı oksitlenir. İnce taneli metal havada ısıtılınca çok kuvvetli oksitlenir. Alüminyumda magnezyum, kalsiyum, sodyum, silisyum ve bakırın mevcudiyeti oksidasyon hızını kuvvetlendirir. Bilhassa Al-Mg alaşımları ısıtılınca kolayca oksitlenir ve yüzeylerinde gevrek bir oksidasyon tabakası meydana gelir Alüminyum oksijen ile reaksiyonu kuvvetli bir ekzotermiktir ve birçok metalin oksitlenmesinden çok daha fazla ısı verir (400. kcal/g.mol). 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklar da alüminyum, klor ile 161.4 kcal/g.mol kıymetinde ısı vererek alüminyum klorür tekil eder.

Alüminyum hidrojen ile reaksiyona girmektedir. Fakat onu kolayca çözer. Hidrojenin ergimi alüminyumda çözünürlüğü 1000°C'de her bir cm³ Al için 0.2 cm³ de erime ulamaktadır. Alüminyum hücrelerinde hidrojenin kaynağı, H₂ ayrılmı ile katotta elektrolitik olarak parçalanmış nemdir [7].

2.3.5. Korozyon özellikleri

Alüminyumun oksijene karşı ilgisi çok fazladır. Kısa bir zamanda oksijenle birleşerek alümin (Al₂O₃) tekil eder. Bunun içindir ki alüminyum havada

bırakıldı ı zaman oksijenle birle erek bütün yüzeyi gri renkte alümin tabakasıyla örtülür. Alüminyumun bu özelli i, korozyona kar ı mukavemetini yükseltir. Meydana gelen bu oksit tabakası su ile yıkama suretiyle çıkmaz. Alüminyumun bu özelli i kullanma sahasını geni letmi tir. So uk ekil de i tirme korozyon mukavemetini dü ürür. Alüminyumun safiyet derecesi azaldı ı takdirde de korozyon mukavemeti dü er. Yani yabancı elemanlar, korozyon mukavemetini azaltır [8].

2.4. Ala ım Elementlerinin Alüminyuma ve Alüminyum Ala ımlarına Etkileri

Ticari olarak sadece yüksek elektrik iletkenli inin istendi i uygulamalarda kullanılan saf alüminyumun, mekanik ve döküm özelliklerini iyile tirmek için çe itli ala ım elementleri kullanılır. Ba lıca kullanılan ala ım elementleri, bakır, silisyum, magnezyum, çinko, krom, kalay, manganez, demir, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum, lityumdur.

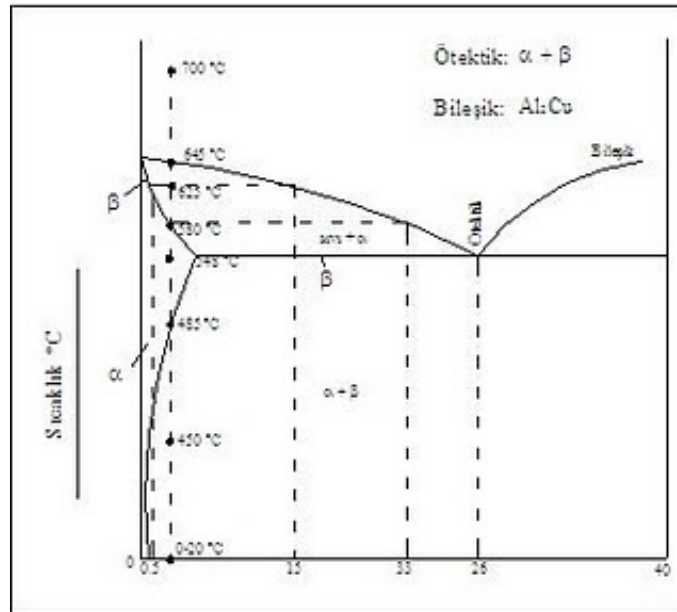
2.4.1. Bakır

Alüminyum ala ımlarında en çok kullanılan ala ım elementidir. Alüminyumun endüstride ilk kullanıldı ı yıllarda döküm ala ımı olarak %8 Cu içeren Al -Cu ala ımı kullanılıyordu. Ticari saflıktaki alüminyuma bakır ilavesi ile yapılan bu kum kalıba döküm ala ımı uzun yıllar dökülebilirli inin zorlu una ra men kullanılmı tır. Daha sonraları bakırın miktarı %5 civarına indirildi ve silisyum ilave edildi, bu ekilde kolay dökülebilir, iyi akı kanlı a sahip ve ısıl i lemle sertle ebilen bir ala ım geli tirilmi oldu ve de geni kullanım sahası buldu.

Bakır dü ük sıcaklıklarda ısıl i lemle, yüksek sıcaklıklarda ise di er ala ım elementleri ile olu turdu u ara fazlar dolayısı ile malzemenin mukavemetini artırır. Al-Cu denge diyagramına göre, (ekil 2.8) bakırın alüminyum içende erirlili i oda sıcaklı ında %0.5, 548°C ötektik yatayında ise %5.65 ' dir. Yüksek süneklik istenen uygulama alanlarında %2-5 Cu, sıcak yırtılmanın önemli oldu u uygulamalarda ise % 4-12 Cu kullanılır. Bakırın, alüminyum içinde katı fazda çözünürlü ü artan sıcaklıkla beraber artar. Böylece çökelme sertle mesi mümkün olur. Çökelme için gerekli zamanla ala ımın bile imine ve sıcaklı ına ba lıdır. Çökelmenin mekanik

özelliklere yapıcı etki, çökelen fazın miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır.

Al-Cu sisteminde bakır miktarının %5.5'e kadar artışı ile mukavemet artmakta, süneklik azalmaktadır. Daha yüksek de erdeki bakır mekanik özelliklerde dümeye yol açar. En iyi özellik açısından tercih edilen bileşim %4.5 Cu içeren Al-Cu alaımıdır. Bakır yanında Mg veya Mn olduğu zaman süneklik azalır. Erer alaımda kalay yüksek oranda var ise sertlik azalır, korozyon direnci düşer. Yüksek miktarda demir ve silisyum da mekanik özelliklere kötü yönde etki yapar.



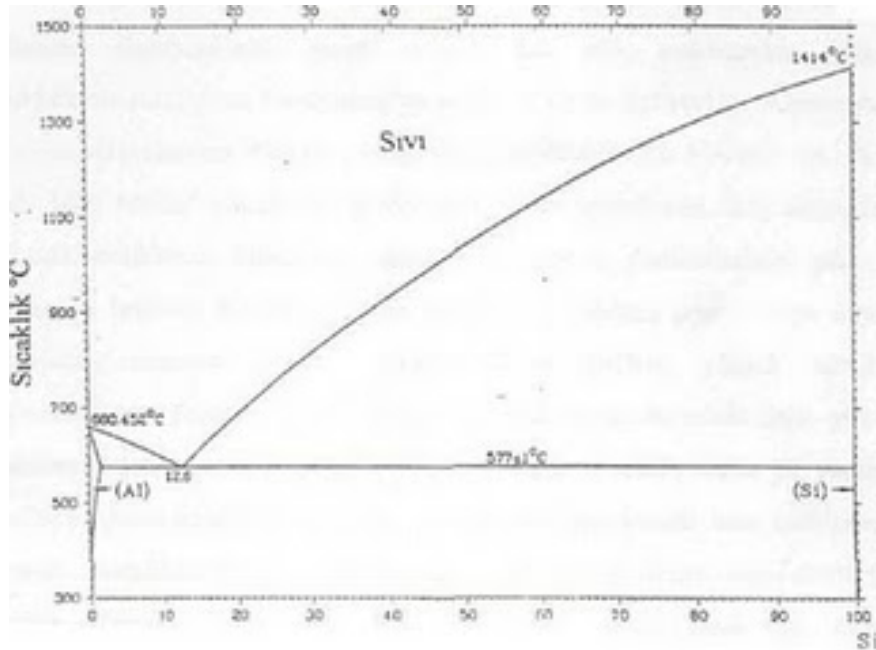
ekil 2.9. Alüminyum - Bakır Denge Diyagramı.

Genel olarak bakır alüminyuma, sertlik, dayanım, dayanım özelliği ve işlenme kolaylıkları gibi özellikler kazandırır. Bakır, alaım hazırlamada Al %33-50 Cu ön alaımı şeklinde ilave edilir.

2.4.2. Silisyum

Boksit cevherlerinde bulunan kuartz ve silis katlı kayalar nedeniyle silisyum, alüminyumda en çok bulunan ikinci empürite elementtir. Keza bakırdan sonra alüminyumda en yaygın kullanılan alaım elementidir. Alüminyuma, akıkanlık,

kaynak kabiliyeti ve yüksek mekanik özellikler kazandırıldı ı gibi bazı elementleri ilavesi ile ısıl i leme uygun ala ımlar da yapmak mümkündür. Al-Si Sistemi basit bir ötektik içeren alüminyum ve silisyum fazlarına sahip bir denge diyagramı verir.



ekil 2.10. Alüminyum - Silisyum Denge Diyagramı

Oda sıcaklı ında çok az silisyum, alüminyum erir. Ötektik sıcaklı ında ise %1.59 erir, 577o C 'de ve % 12,6 noktasında ötektik ayrı ması gösterir. "Al-Si" ala ımları, katı eriyik bölgesinin çok dar olması ve solüdü s e risinin dik olması nedeniyle ısıl i lem ile sertle tirilmezler. Bu ala ımın ı ıl i lem ile sertle tirilmesi için belirli oranda magnezyum ilavesi yapılır. Si miktarı %7–12 aralı ında olan "Al-Si" ala ımları yüksek mukavemet gerektiren, yüksek sıcaklıkta a ınma direnci istenen uygulamalarda kullanılır.

Mekanik özellikler, ala ımın bile iminden çok silisyum içeren fazın ekli ve da ılımına ba lıdır. Küçük ve yuvarlak primer faz (veya ötektik yapı) yüksek mukavemet ve süneklik verir, i ne ekindeki silisyumla faz, çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini dü ürür.

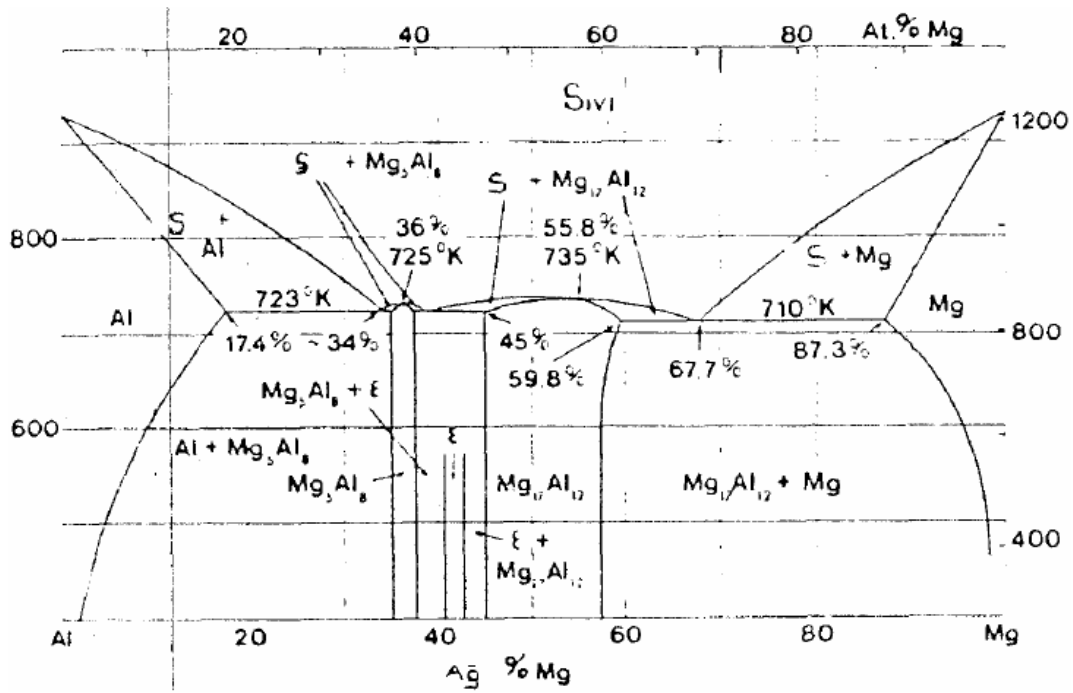
Si ilavesiyle akı kanlık ve korozyon direnci artar. Tane küçültme ve modifikasyon i lemleri ile iyi i lenebilme sa lanabilir. Ayrıca sıcak yırtılma da dü ürülür. Silisyum ve bakır beraberce ala ımlarda amacı ile kullanılabilir. Bu amaçla geli tirilen (%6 Si, %5 Cu) ala ımının kaynak kabiliyeti iyidir. (%9 Si, %4 Cu) ala ımı ise sızdırmazlık isteyen yerlerde tercih edilirler.

Al-Si ala ımlarında da "Fe" ve "Mg" varsa süneklik dü er. Bu ala ım sisteminde müsaade edilen empürite element yüzdeleri %0.5 Zn, %0.6 Cu, % 1 .3 Fe, %0.3 Mg'dır. Silisyum, ala ım hazırlamada Al-%13–22 Si ön ala ım ekinde ilave edilir. Özel bazı piston ala ımları %25'e varan silisyum içerirler.

2.4.3. Magnezyum

Magnezyum, "Al-Mg" grubu ala ımların en önemli bile enidir. Ala ıma yüksek mukavemet, so uk i lemlerde iyi ekil de i tirme ve mükemmel korozyona kar ı direnç ile iyi kaynaklanabilme özelli i verir. "Al" döküm ala ımlarında % 4 ile 10 oranında "Mg" bulunur. %7–10 Mg içeren ala ımlara ısıl i lem uygulanır. %7–8 arasında korozyon uygulamalarında tercih edilir.

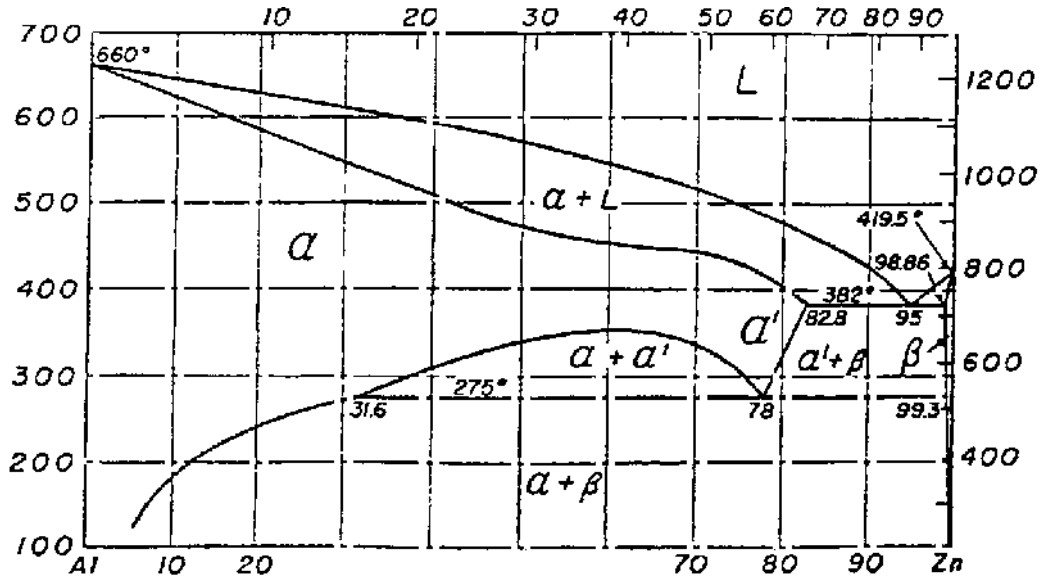
"Mg", "Al-Cu" ala ımların daha iyi ya lanma karakteristikleri, "Al-Mn" ala ımlarına korozyon direnci ve düktiliteyi azaltmadan mukavemeti arttırma özelli i ve "Al-Si" ala ımlarına da ısıl i lem yapılabilme kabiliyetini kazandırmak amacıyla ilave edilir. Bile imler de "Mg₂Si" metaller arası bile i ini yapabilecek oranda Mg ve Si olan "Al-Mg-Si" ala ımları ısıl i leme tabii tutulabilen ve kolay i lenebilen ala ımlardır. Korozyon dirençleri de yüksek olan bu ala ımlarda, silisyum miktarı söz konusu orandan fazla olması durumunda ala ımın mukavemeti suni ya landırma ile arttırılabilir."Al-Zn-Mg" ala ımı iyi korozyon direnci iyi kaynaklanabilme kabiliyeti ve mükemmel yüksek mukavemet gösterir."Mg" oda sıcaklı ında %1.9, ötektik sıcaklı ında (450°C) de 17.4 Al'da erir (ekil 2.11). Yaklaşık %34 Mg bile iminde Sıvı - Al-Mg₅Al₈ reaksiyonu vererek ötektik ayrılma olur.



ekil 2.11 - Alüminyum-Magnezyum Denge Diyagramı

Sodyum, yüksek sıcaklıkta i lenen Al-Mg ala ımlarında çatlak hataların olu umuna neden olur. Mg miktarı %2'den fazla ise gevreklik sorunu da ortaya çıkar. Sodyumun ortaya çıkardığı bu problemin nedeni, ara faz içinde çözünmeyip serbest kalarak Hidrojen absorpsiyonu ile "NaH" bile i i yapmasıdır. Bu gevrek ve sıcak i lem sıcaklı ında sıvı olan bir fazdır.

Magnezyum, ala ım hazırlamada Al-%10 Mg ön ala ımı ekinde ilave edildi i gibi saf halde de ilave edilebilir. "Al-Zn" ala ımları genellikle en yüksek mukavemetli "Al" ala ımları olarak bilinir, ilk geli tirilen alüminyum döküm ala ımıdır. Fakat "Al-Cu" ala ımları ve bilhassa "Al-Si" ala ımları geli tirilince yerini onlara bırakılmı tır. 1920'li yıllarda alüminyum-çinko-magnezyum ala ımları ve daha sonra yüksek çinkolu süper plastik ala ımların geli tirilmesi ile alüminyum ala ımlarında önemi tekrar artmı tır. Alüminyum -çinko denge diyagramı üzerinde en fazla durulan ve (80 yıldan fazla ara tırma yapılan bir denge diyagramıdır, son birkaç yılı öncesin ise bu ara tırmalar tamamlanmı tır (ekil 2.12)



ekil 2.12. Alüminyum-Çinko Denge Diyagramı

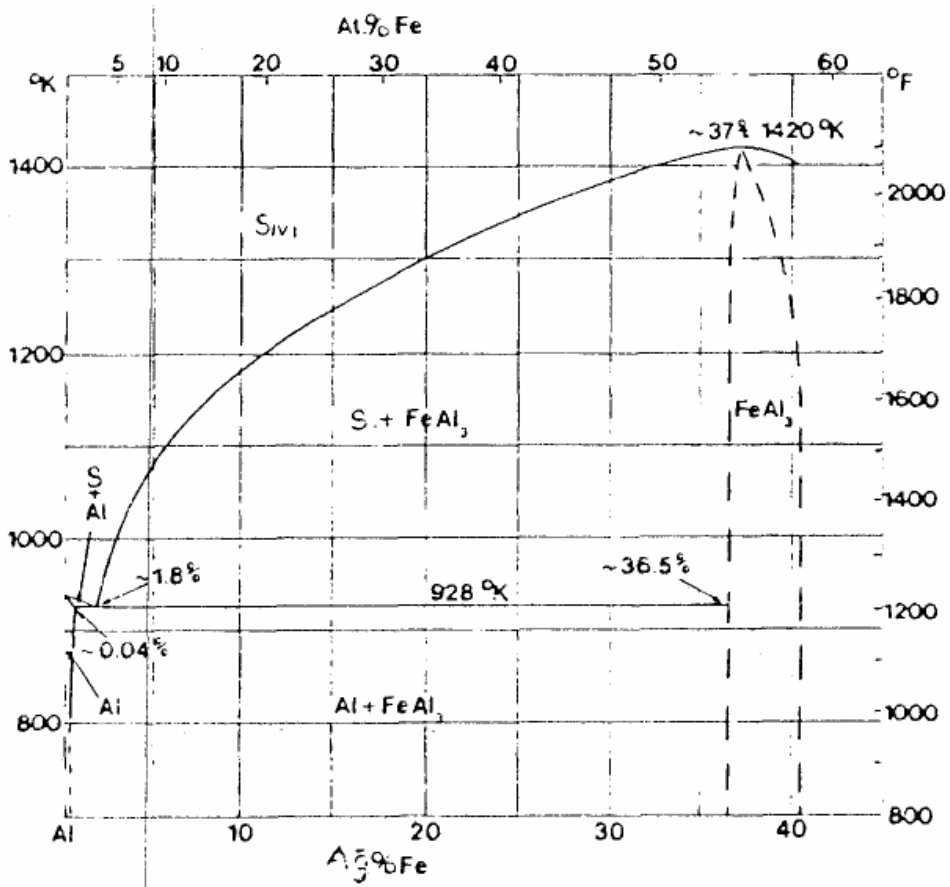
Yaklaşık %70 Zn bileşiminde $S_{ıvı} + Al > Al + ZnAl$ peritektik reaksiyon %94.9 Zn bileşiminde $S_{ıvı} Al + ZnAl$ ötektik reaksiyon vardır. "Zn", alüminyum alaşımlarının iletkenliğini artırır. Sıcak yırtılmaya sebep olmasına rağmen diğer alaşımlar elementleri ile bu kötü özellik giderilebilir. Örneğin bakır ilavesi sıcak yırtılmayı engeller. "Mg" ve "Zn" içeren alaşımlar ısıl iletken tabii tutulabilen, genelde uçak sanayinde kullanılan Al+Mg+Zn+Cu alaşımlarıdır ve bu alaşımlarda çinko ve magnezyum oranı birden büyüktür. ($Zn/Mg > 1$) Örneğin, %2-8 Zn, 0,5-4 Mg, 0-3 Cu gibi. Çinko alaşımlarında, "Al-%25 Zn" ön alaşımı şeklinde ilave edildiği gibi metalik halde de ilave edilebilir.

2.4.4. Manganez

Mn daha ziyade dövme alaşımlarında kullanılır. "Al-Mn" alaşımlarında sertleştirici bala element olduğu gibi, "Al-Cu", "Al-Mg", "Al-Mg-Si", "Al-Zn-Mg" alaşımlardaki demirin kötü etkisini gidermek için kullanılır. Diğer taraftan bazı döküm alaşımlarında sınırlı olsa da bir miktar bulunur.

Alüminyumda manganezin max. Çözünürlüğü $657^{\circ}C$ 'de % 1.8 Mn olup, %1.9 Mn bileşiminde ötektik reaksiyon verir (ekil 2.13).

ergitme ve alaımlandırma veya di er i lemler esnasında kullanılan alet ve ekipmanlardan sıvıya geçebilir. Di er taraftan bazı alaımlarda örne ini "Al-Cu- Ni" alaımlarına yüksek sıcaklıktaki mukavemet arttırmak amacıyla, "Al-Fe-Ni" alaımlarına buhar sistemlerindeki çalı ma sıcaklı ındaki korozyonu azalttı ı, yeni geli tirilen iletken malzemelerde iletkenlik özelli ini kaybetmeden mukavemet kazandırdı ı için demir ilave edilmektedir. Bazı "Al-Mg" alaımlarına tane küçültücü olarak demir ilave edildi i gibi katı fazdaki demirin çözünlü ü "Mg" ilavesi ile azalır. "Mg" aynı zamanda alüminyum- demir alaımlarında olu an primer "FeAl₃" kimyasal bile i inin tane boyutunu da dü ürür.



ekil 2.14. Alüminyum-Demir Denge Diyagramı

2.4.6. Krom

Krom, alüminyum içinde çözünürlüğü düşük olan "Cr-Al7", kimyasal bileşimini oluşturur. "Cr-Al7" kaba metallere arası bileşimi titanyum, manganez veya demir ile inceltilir.

Krom anodizasyonunda altın sarısı renk verir. %0.15–0.25 arasında krom, "Al-Zn-Cu" alaşımlarında mukavemeti artırır. Ayrıca gerilmeli korozyon olasılığı da azalır. Krom, "Al- %2 Cr" ön alaşımı halinde ilave edilir.

2.4.7. Nikel

Nikel yüksek sıcaklıkta malzemeye mukavemet kazandırmak amacıyla ilave edilir. Nikel içeren "Al" alaşımlarında ısıl genleşme katsayısı düşüktür. Sıvı metale "Al-20 Ni" ön alaşımı şeklinde ilave edilir.

2.4.8. Titanyum

Titanyum, genellikle primer alüminyumda empürite halinde vardır ve cevherden gelir. Bunun dışında döküm alaşımlarında tane küçültücü olarak kullanılır. Titanyum, "Al-%5 Ti" ön alaşımı şeklinde ilave edilir.

2.4.9. Zirkonyum

Zirkonyum, alüminyumda tane küçültücü olarak kullanılır. Ayrıca korozyona engel olur ve yüksek sıcaklıklarda sürünme mukavemetini artırır. Sıvı metale "Al- %5 Zr" ön alaşımı halinde ilave edilir.

2.4.10. Fosfor

Fosfor, primer alüminyumda fosfatlı cevherlerden gelir. Ötektik üstü "Al-Si" alaşımlarında, silisyumlu primer fazın daha küçük ve düzgün dağılımı olarak

bulunması için ilave edilir. Fosforun alüminyumdaki çözünürlüğü ppm mertebesinde dir.

2.4.11. Sodyum

Sodyum, "Al-Si" alaşımlarında modifikasyon için kullanılır. Sodyum içeren alüminyum alaşımlarının sünelik ve darbe mukavemetinde yükselme görülür. Ayrıca sertlikte çok az bir artış olur. Ancak % 0.01 civarındaki "Na" sıcak yırtılmaya yol açabileceği gibi korozyona karşı direnci de azalır.

2.4.12. Kalay

Kalay içeren alaşımlar, yataklar ve kovanlar için geliştirilmiştir. Alüminyum döküm alaşımlarında sıcak yırtılmalar ve korozyon direnci üzerine olumsuz etkileri vardır.

2.5. Alüminyumun Kullanım Alanları

Alüminyum ve alaşımları bu gün imalat sanayinin hemen her dalında, tarım, enerji, ulaşımla ve inaat sektöründe giderek artan miktarlarda kullanılmaktadır. Özellikle demir ve bakır yerine alüminyum; imalat sanayinde, çelikli konstrüksiyonlarda, elektrik endüstrisinde, iletkenlerde ve taşıt araçları imalinde alaşımların önemli ölçüde azaltılmasını sağlamıştır. Bu yüzden alüminyum ve alaşımları otomotivden inaat sektörüne ve elektrik endüstrisine kadar çelikli dallarda uygulama alanı bulmuştur.

Alüminyum talebini yönlendiren sektörler genellikle otomotiv, uçak uzay sektörleridir. Bu sektörlerin özellikle alüminyum döküm ve yassı mamul ihtiyaçları üst düzeydedir. Bu sebeple son yıllarda arz ve talep dengeleri de değişmiştir [16].

2.5.1. Ambalaj

Alüminyum en kullanışlı ambalaj malzemelerinden birisidir. Alüminyum, konteynır imalatından ilaç kutularına kadar çok çelikli ambalaj uygulamalarına mükemmel

cevap verir. Zehirleyici olmadığından ve bakteri çoğalmasını azalttığından gıda ve ilaç sanayinde çok de i ik eklede ambalaj malzemesi olarak kullanılmaktadır. Banyoda di macunu tüpünden, marketlerdeki sayısız ürünler (çikolata vb.) mutfakta folyoya sarılı fırın yemekleri ve buzdolabındaki so uk me rubatlara kadar, alüminyum pek çok ürünü sarar ve korur.

Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo (alüminyum kâ it) ekinde Üretilmesi, hava geçirmezli i ve kolay ekillenebilmesi onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar [17].

2.5.2. Ta it araçları

Korozyona dayanıklılı ı ve konstrüksiyona hafiflik kazandırdı ı için otomobil, kamyon, tren, deniz ta itı gibi nakliye araçlarında hem döküm hem de dövme ala ımlar kullanılmaktadır [1]. Alüminyum kullanımının yaklaşık %25'i ta it araçlarının üretimine aittir. Ta it Araçları ne kadar hafif olursa, hareket etmeleri için daha az enerjiye gerek duyulur. Günümüzde bir otomobilde yaklaşık 50 kg alüminyum kullanılmaktadır. Bu sayede, yaklaşık 100 kg demir, çelik ve bakır malzeme tasarrufu yapılmaktadır. Yapılan hesaplar ve deneyimler sonucunda, alüminyum kullanılan bir otomobilin, yeterince alüminyum kullanılmamı bir otomobile kıyasla, ekonomik ömrü boyunca 1500 litre daha az yakıt harcadı ı anlaşılmı tır [17].

Deniz araçlarında, özellikle teknelerde alüminyum süper-yapı sistemleri ile a ırlık merkezi daha a a ıya çekilmekte ve böylece teknenin dengesi arttırılmakta ve daha çok kullanım hacmi sa lanmaktadır. Bir uça ın a ırlıkça % 70'i alüminyumdan olmaktadır, Alüminyum ala ımlarının hafifli i yanı sıra sa lamlı ı, uçakların ve dolayısıyla havacılık sektörünün geli mesine en büyük katkıyı yapmı tır.

Duralüminyum (alüminyum-bakır) ala ımlarından sonra gelecekte en önemli uçak malzemesi alüminyum-lityum ala ımları olacaktır, Alüminyum-lityum ala ımları ile, uçakların % 15 hafiflemesi mümkündür [17].

2.5.3. Bina ve konstrüksiyon

Alüminyum; binaların çatı, cephe kaplamaların da, kapı ve pencerelerinde, merdivenlerde, çatı iskeletinde, inaat iskelelerinde ve sera, köprü, kule, depolama tankı vb, yapımında büyük miktarda kullanılır. Çeliğe nazaran alüminyum pahalı olmasına rağmen, yapılarda mimari tasarım, hafiflik, korozyon direnci gibi avantajlar sağladığı hallerde alüminyum tercih edilmektedir. İnaat sektörü için, yılda Avrupa'da 1,2 milyon ton, ABD'de 1,05 milyon ton, Japonya'da 0,92 milyon ton alüminyum kullanılmaktadır.

Alüminyumun sağlamlığı yanında sahip olduğu dekoratif görünüm, eloksal (anodik oksidasyon) kaplama ile bir bakıma ölümsüzdür. Gerek natürel veya renkli eloksal kaplama, gerek ise lake (elektrostatik toz veya sıvı) boyama ile alüminyum; mimar ve mühendislerin inaat sektöründe zengin seçenekler sunar [17].

2.5.4. Elektrik – elektronik

Hem elektrik iletiminde hem de motor, jeneratör, transformatör gibi cihazların muhtelif kısımlarında alüminyum kullanılmaktadır [1]. Alüminyum son derece iletken bir metaldir. Bu nedenle, tüm alüminyum kullanımının Avrupa'da % 10'u, ABD'de % 9'u, Japonya'da % 7'si elektrik ve elektronik sektöründe kullanılmaktadır. Alüminyumun bu alanda en çok kullanıldığı yer, elektrik nakil hatlarıdır. Çelik özlü alüminyum iletkenler, yüksek voltajlı elektrik nakil hatlarında tercih edilen tek malzeme olmuştur. Alüminyum, yeraltı kablolarında, elektrik borularında ve motor bobin sarımında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Elektronikte, alüminyum kullanım yerleri arasında, anahtarlar, yongalar, transistör soğutucuları, data kayıt diskleri ve elektronik cihazların kasaları bulunmaktadır [17].

2.5.5. Mühendislik uygulamaları

Petrol, lastik, tekstil, kâğıt, kömür madeni gibi sanayi sektörüne ait makine ve teçhizatla alüminyum yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Makine elemanları

uygulamalarında, yüksek dayanım/a ırlık oranı, korozyona dayanımı ve i leme kolaylı ı alüminyumun Üstün özellikleridir. Hafifli i nedeniyle, büyük ve tek parçaların manipülasyonu mümkün olur. Hassas toleranslarda i leme kolaylı ı sayesinde, standart birimlerden büyük parçaların yapılması mümkün olur. Karma ık kesitli parçaların Üretiminde, alüminyum ekstrüzyonu büyük avantajlar sa lar. Vites kutuları, motor blokları ve silindir kafaları kolaylıkla alüminyum döküm ile yapılır. Son uygulamalarda krank mili yataklarında alüminyum kullanılması, bu parçaların uzun ömürlü olmasını sa lamı tır [6].

BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM VE ALAİMLERİNİN KAYNAK KAPLAMA YETİ

Alüminyum ve alüminyum alaımları 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 dikinde yetersiz ergime ve gözenekler oluşabilir. S parçasını ön tav yaparak ve kalın kesitli malzemeleri kaynak esnasında da tavlarken, bu tür kaynak hataları önenebilir [18].

Kaynağa başlamadan önce, yüzeydeki alüminyum-oksit tabakası kaynak bölgesinden frezeleme yoluyla veya paslanmaz çelik fırça ile fırçalayarak tamamen temizlenmelidir. Kaynak ağız 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 [18].

Ekstrüzyonlu olanlar ile (plaka, levha, ekstrüzyon, dövme, çubuk, bar ve darbeli ekstrüzyon), olabildiğince iyi kumlanmış kokil dökümler kaynak edilebilir. Alılgelimi kalıp dökümleri kaynak edildiğinde iç gazlar sebebiyle kaynak ve kaynağa bitişik esas metalde ağız gözenek meydana gelir. Bununla beraber vakum altında kalıp döküm kaynak yapıldığında mükemmel sonuç verir. Toz metalürjisi ile imal edilen parçalarda da kaynak esnasında iç gazdan dolayı gözenek oluşabilir [19]. Bir alüminyum alaımının kaynak edilebilirliğini tayininde ekstrüzyonlu alaım bileşimi alaımın biçiminden çok daha fazla önemlidir.

Dövme alaımlar arasında gaz korumalı ark süreçleriyle en büyük kolaylıkla kaynak edilebilenler, ısıl işleme tabi tutulamayan lxxx, 3xxx ve 5xxx serileridir. 6xxx serilerindeki ısıl işleme tabi tutulamayanlar da kolayca kaynak edilebilirler. 4xxx ile yüksek mukavemetli serilerinin ve ısıl işlem görebilen 2xxx serilerinin alaımları da arkla kaynak edilebilirlerse de özel tekniklerin uygulanması gerekebilir ve biraz düşük süneklik elde edilebilir. Yüksek mukavemetli, ısıl işlem görebilen 7xxx serilerinden 7075, 7079 ve 7178 alaımları kaynak edilebilir ama bunların ısı etkili bölgeleri (IEB) gevrek olur; dolayısıyla da bunlara kaynak yapılması tavsiye edilmez. Buna karşılık 7005 ve 7039 alaımları kaynak için özel olarak geliştirilmiş olup bunların kaynak kabiliyetleri iyidir [6].

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 [19].

Alüminyum oksit, esas metal alaımının ergime sıcaklığından çok daha yüksek olan 2050°C civarında (yaklaşık olarak alüminyum alaımının kendi ergime sıcaklığının 3 katı sıcaklıkta) ergir. Kaynak sırasında esas metalin oksitten çok daha önce erimeye başlayacaktır. Isıl işleme tabi tutulamayan alüminyum alaımlarının kaynağında tabii oksitler asal gaz ark vasıtasıyla parçalanabilir. Bununla beraber, ısıl işlem uygulanabilen alüminyum alaımları belli bir ısıl işlem için yüksek sıcaklıkta çıkarıldığında ısıl işlem uygulanamayan alaımlarda bulunandan daha kalın bir oksit tabakası biçimlenecektir. Oksit giderilmediğinde veya yeri değiştirildiğinde yetersiz erimeye sebep olacaktır. Oksiti 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 başlatışının yapıldığı yerde de gereklidir [19].

Ergimi alüminyumda hidrojen çok hızlı çözünür. Buna karşılık, hidrojen katı alüminyum içinde hemen hemen hiç çözünmez. Bu da alüminyum kaynağında gözenek oluşumunun birinci sebebi olarak tanımlanır. Yüksek sıcaklıklarda kaynak banyosu çok miktarda hidrojen soğutulmasına müsaade eder ve katılma esnasında hidrojen çözünürlüğü çok miktarda azalır. Etkili çözünebilirlik sınırını aşan hidrojen, katılma kaynağından kaçamadığı anda gözenek oluşur [19].

Salam kaynakların yapılabilmesi için esas metal ve ilave metal üzerindeki yağlayıcı, yüzeydeki nem veya hidrojen ihtiva eden oksit, bir su soğutmalı üfleç nozülü 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 sarılmı haldeki çıplak tel elektrot, kuru ve ısıtılmı bir bölgede ambarlanmalıdır. Nem, hidrojen ihtiva eden oksitten toz özlü elektrotlarda yapıldığı gibi ısıtılarak uzaklaştırılmaz [19].

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 girişi gerekir. Buna rağmen bir kaynak düşük hızla yapıyorsa, ısı arkın önünde ilerleyebilir, kaynak parametrelerinin devamlı ayarı gerekir [19].

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı esnasında, gerek ısı iletkenliği ve buna bağlı olarak ısı girişinin, gerekse alüminyumda sıvı halden katı hale geçme sırasında hacim kaybının çeliğe göre daha fazla olması sebebiyle dolaylı olarak çarpılma daha çok olur. Çarpılmanın azaltılması için yapılacak çalışmalar tasarım sırasında kaynak ağızlarının tespitiyle başlayıp atölye çalışmalarıyla devam eder. [19] Sıcak çatlama, birçok halde alüminyum kaynak metalinde görülen bir kusur olup başta alaşımın buna eğilimi olmak üzere çekme (büzülme) gerilimi, kaynak sırasında birleşme yerinin tespit edilmesi gibi nedenlerden ileri gelir. Normal olarak sıcak çatlak saf alüminyum veya ötektik bileşimde kaynak metalinde olmaz [6]. Her türlü yabancı maddenin kaynak yapılacak yüzeyden kaldırılması ile kaynak esnasında; ısı, üfleme gibi sebeplerle tekrar geri dönme ihtimalini ortadan kaldıracak kadar uzaklaştırılması gereklidir. Temizlik, hemen kaynak öncesi dikkatli bir

ekilde yapılmalı ve kaynak boyunca temizlik konusunda aynı özen gösterilmelidir. Temizlik, ortam artları (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 indirgeyici ile temizlemedir. Zaman zaman bu metotlar birlikte kullanılabilir [19].

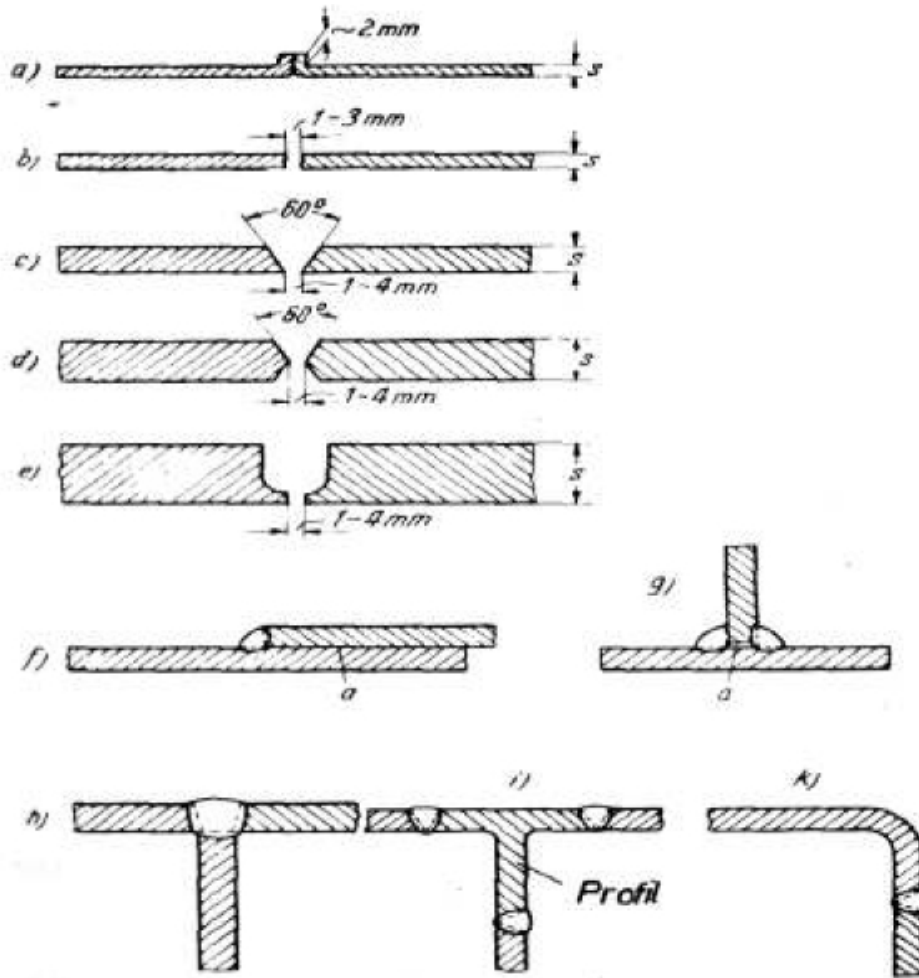
Mekanik temizleme özellikle yüzeydeki oksidin ve yüzeye yapışan metal buharlarının giderilmesi için kullanılır. Yüzeyde yağ, gres gibi kirleticiler bulunduğu ikinci (çözücü ile temizleme) metotla birlikte kullanılması tavsiye edilir. Fırçalama, eleme, planyalama, taslama, zımparalama veya çelik yünle ovalama alüminyum için kullanılabilecek mekanik temizleme metotlarıdır. Çözücü ile temizleme metodu, metal yüzeyi düzgün ve kirleticiler yüzeye fazla yapıştırmaz 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 gözeneklere 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 bakıma masraflı bir işlem gibi görünse de önleyici problemler yönünden iyi bir uygulamadır [19].

3.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Gaz Kaynağı

Basit ekipmana ve düşük maliyete sahip olması nedeniyle, bazen saf alüminyum ve bazı alüminyum alaşımlarını kaynak yapmak için gaz (oksi-asetilen) kaynağı kullanılmaktadır [18].

Gaz ergitme kaynağı her tür hafif metale uygulanabilir; bunda oksii-asetilen alevi en iyi sonucu verir. Bununla birlikte hidrojen-oksijen alevi, havagazı oksijeninki gibi, daha düşük alev sıcaklığına haiz olmasıyla, 1 mm' den az kalınlıkta saçlarda saçların delinme tehlikesini azaltır. Ancak H-O alevi, Al-Mg gibi alaşımlarda gözeneklere yol açar, magnezyum alaşımlarında da erime akışını engelleyen kuvvetli bir oksitlenme olur. Oksii-asetilen alevinin bir başka avantajı da, çok hassas ayarlanabilme kabiliyetidir [18].

6 mm ve daha kalın Al levhaların oksii-asetilen kaynakında tam nüfuziyeti sa lamakla çatlamaya karşı önlem olarak ön ısıtma avantajlı olmaktadır. Ön ısıtma sıcaklığı 150- 200°C arasında olup daha yüksek sıcaklıklar, aramılan niteliklerin kaybına ve gereksiz yere geni lemi bir IEB' ye yol açar. Çe itli kalınlıklara göre a ız hazırlıkları, Sekil 3.1 'de gösterilmi tir. Hafif metallerin oksii-asetilen kaynakında mümkün oldu u kadar küt alın ekilerine yer verilmelidir [6].

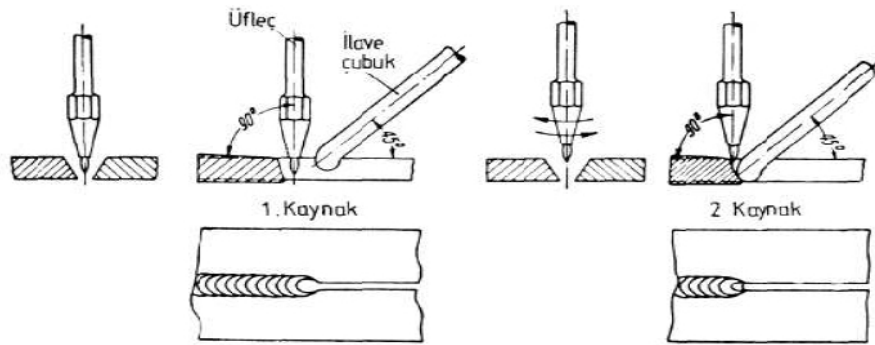


Sekil 3.1. Al ve alasımlarının oksii-asetilen ile kaynakında a ız hazırlık ekileri. a) $s < 1.5$ mm, b) $s = 1-3$ mm, c) $s = 3-12$ mm, d) $s > 8$ mm, e) $s > 12$ mm

Oksii-asetilen alevinin göreceli olarak düşük ısı yoğunluğu ve alüminyumun yüksek ısı iletkenliği kaynak hızını düşürür ve büyük çekmelere neden olur ki bu kaynaklı birle tirmede gerilimler ve deformasyon olur turur. Isı etkili bölge çok geni tir, so uk sekil de i tirme veya yaslandırarak sertle tirilen is parçalarında ana metal yumu ar

ve mekanik mukavemetini kaybeder. Gaz kaynağı için gereken dekapan kaynak a zının iki yüzeyine ve ilave metale fırça ile uygulanır [18].

Kalın saçlarda kökte emniyetli bir kaynak elde etmek için Griesheim yöntemi adı verilen sola kaynak süreci (Sekil 3.2) önerilir. Hafif salıntı ile ilerletilen üfleç bu yöntemde saçın üst yüzeyine dik tutulur, kaynak teli bu yüzeye 45° yapar. Kaynak i lemi birbirini sürekli olarak tekrarlayan iki çalı ma a amasıyla olur. Birinci a amada üfleç kaynak a zının içinde tutulur, bu suretle a ız daire seklinde geni ler; kaynak teli bu sırada alev alanı içinde sıcak tutulur. Bundan sonra gelen ikinci a amada üfleç biraz yukarı çekilir ve kaynak teli ergime banyosuna batırılır ve ergitilir [6].



Sekil 3.2. Alüminyum ve ala ımlarından kalın saçların oksii-asetilen kaynağı

3.2 Alüminyum ve Alasımlarının Örtülü Elektrot Kayna ı

Bu yöntemle bütün alüminyum türleriyle ısıl i lem yoluyla sertle meyen ala ımları kaynak etmek mümkündür. Yapısal sertle meli ala ımlar arasında Al-Si-Mg ve Al-Mg-Si tipi ala ımlar uygun ekilde örtülü elektrotla birle tirilebilirler; ancak diki e yakın bölgelerde mekanik karakteristikler dü er. Çinko ve magnezyumlu ala ımlar, kaynaktan sonra, herhangi bir i lemi gerektirmeden, mekanik karakteristiklerinin az çok tümüne yeniden sahip olurlar [6].

Alüminyumun bu metal-ark kayna ında dikkate alınacak önemli etkenler nem, ön ısıtma, dekapan ve elektrotla is parçasının temizli idir. Elektrot örtüsünde nemin varlı ı, gözenekli in başlıca nedenidir. Sa lam kaynaklar elde etmek için

elektrotların kuru, temiz depolanma olanakları bulunacaktır. s parçasının ön ısıtılması, özellikle kalın parçalarda, gereklidir. Elektrotu kaplayan örtü (dekapan) çok inatçı olup bunun diki içinde sıkı ıp kalmaması için oldukça beceri gerekir. Kaynaktan sonra bu dekapanın (cürufun) temizlenmesinde gösterilecek özen de önemlidir [25]. Alüminyum üzerinde kaynaklı birle tirmelerin tasarımında önemli husus, ani kesit ve kaynak yönü de i melerinden kaçınmaktır. Bunu sa lamak için bazen birle ecek parçalar arasına ara parçalar koymak kolaylık sa layabilir. Aynı ba lamda, takviye plakaları, kesitleri düzenli olarak azalacak ekilde kesilirler [6].

Alüminyum parçaların 200° C' a ön ısıtılması istenir ve levha kayna ında bu i lem gereklidir. Ön ısıtma, oksii-asetilen üfleci ya da elektriksel dirençle yapılabilir; bu sonuncusu için, küçük parçalarda, bir tungsten elektrot, kaynak pensesinin ucuna gümü le lehimlenir. Topraklama mengenesi is parçasına ba landıktan sonra tungsten elektrottan parçaya intikal edecek akım, onu ısıtacaktır. Yöntem, büyük parçalara uygulanmaz. Genellikle 5 mm' ye kadar saçlar ön ısıtılmaz. Dökümler, kural olarak ön ısıtılır. Alüminyumun örtülü çubuk elektrotla kayna ında arkın tutu turulması, çelikte olanıkinden farklıdır. Hem Al elektrot hem de ana metal az çok derhal ergiyip katıla tıklarından, elektrot yapı ması bir sorun olabilmektedir. Bundan kaçınmak için ark, elektrotu ana metalin yüzeyi üzerinde bir fırçalama hareketi yaparak tutu turulur [6].

3.3. Alüminyum ve Ala ımlarının MIG Kayna ı

Günümüzde alüminyum konstrüksiyonunda en çok kullanılan kaynak metodu, ergiyen elektrotla bir koruyucu gaz veya gaz karı ımı atmosferi altında yapılan MIG (Metal nert Gaz) kaynak tekni idir. Ergiyen elektrot ile yapılan MIG gaz altı kaynağı çok geni bir uygulama alanına sahiptir. MIG kaynak yöntemi di er kaynak yöntemlerine göre, mekanize edilebilme, daha hızlı çalı ma, robot kullanma imkanı, çok karma ık kaynak konstrüksiyonlarında kolay bir ekilde uygulanabilme, her pozisyonda kullanılabilme ve karbonlu çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır gibi bütün ticari metallerin kaynak edilebilmesi açılarından bir çok avantajlar sa lamaktadır [25].

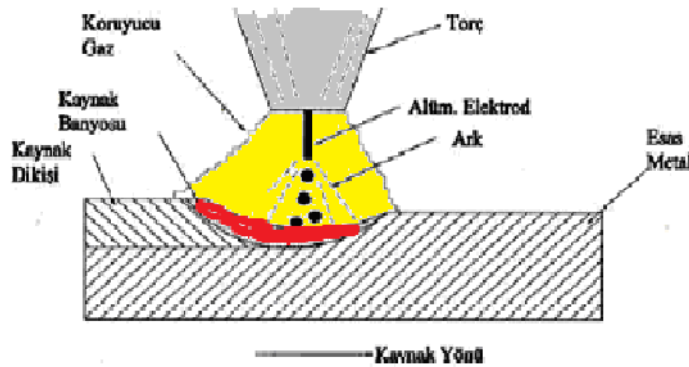
MIG yönteminin bir karakteristiği olan enerjinin verimli kullanılması, çoğu kez ön ısıtmayı gereksiz kılar. Dolayısıyla süreç kalın Al kesitlerinin kaynağında geniş ölçüde uygulanır [6].

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 gaz altı kaynak yöntemi olan TIG (tungsten inert gaz) kaynağına göre daha yüksek olduğu için çok ince levhalar ancak darbeli akım yöntemi uygulanarak kaynak yapılır.

Alüminyum ve alaşımları 550–660 °C arasındaki sıcaklık aralığında ergimelerine rağmen ısı iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeniyle kaynak için gerekli ısı girişi eskin kalınlıktaki çeliğinkinden daha fazla olmak zorundadır. Alüminyum ve alaşımlarının ısı genleşme katsayılarının büyük olması, kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma sonucu oluşan sıcaklık farkları nedeniyle 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 spreyle kaynak yapmak daima tercih edilir. Spreyle yüksek ısı girişine karşın alüminyumun yüksek ısı iletkenliği dolayısıyla kaynak banyosu oldukça çabuk katılaşacağından 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. Sola kaynak yöntemi uygulandı ve dik kaynaklarda yukarıdan aşağıya doğru kaynak yapıldığında gözenekli, kötü görünümüne ve yetersiz ergimeden dolayı tam kaynamamış bölgeler meydana gelir. Kaynak dikini düz veya dar zikzaklarla çekilmelidir. Geniş zikzaklar kaynak dikinin ağız oksitlenmesine neden

oldu undan kullanılmamalıdır. Alüminyum levhaların gerek yarı otomatik gerekse de mekanize edilmiş MIG kaynağında genellikle Argon gazı kullanılır. Kalın alüminyum levhaların otomatik kaynağında ise daha sıcak bir kaynak banyosu ve daha iyi nüfuziyet elde etmek için Helyum gazı veya Helyum-Argon gaz karışımı kullanılır.

Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliğinin yüksek olması özellikle kalın parçalarda kaynak bölgesinin hızlı 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 1200 °C'yi geçmemelidir. Dövme alüminyum alaşımlarında genel olarak ön tav yerine daha yüksek akım yoğunluğu ve ark gerilimi ile daha yüksek ısı girdisi sağlanır. Soğuk şekilde tırme veya ısı ile sertleştirilmiş alüminyum parçaların kaynak bölgesinde, sonradan kazanılmı olan bu sertlikte bir azalma görülür, bu bakımdan ısı ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarına kaynak öncesi, bir çözeltilme alma tavlama uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısı ile sertleştirilerek sertleştirilir. MIG kaynak yönteminin uygulanması çok basittir. Toprak kablosunu iş parçasına veya kaynak masasına bağlayarak ve üfleç ucundaki tel elektrodu kaynağına doğru tutarak ark oluşturulur. Makine tel ilerlemesini ve uygun ark boyunu otomatik olarak sağlar. MIG kaynağı, uygulama kolaylığı nedeniyle bütün demir döküm metal ve alaşımların kaynağında çok popüler ve aranan kaynak yöntemi haline gelmiştir. MIG yöntemindeki ark bölgesi otomatik olarak Şekil 3.3'de gösterilmiştir [25].



Şekil 3.3. MIG yöntemindeki ark bölgesi

Bu yöntemde kaynak arkı Sekil 3.3'de de görüldü ü gibi is parçası ile aynı zamanda ilave metal olan, tükenen tel elektrot arasında olur. Alüminyumun MIG kayna ı do ru akım, ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile yapılır. Bu kutuplama spre y damla geçi i olarak adlandırılır ve asal gaz atmosferi (Ar veya He veya Ar/He karı ımı) altında korunur. MIG kaynak yöntemi kalın çaplı tel elektrot kullanarak daha kararlı hale getirilebilir. Tel elektrodun 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.

Çeliklere nazaran alüminyum malzemeleri kaynak yaparken, bu malzemeye özgü bazı özellikler dikkate alınmalıdır. Alüminyum malzemeler, çeliklere göre daha yüksek ısı iletkenli e sahip oldu undan, kaynak nüfuziyeti daha dü ük ve kaynak banyosunun gazlardan arınması daha geç olur. Sonuç olarak, kaynak diki inde yetersiz ergime ve gözenekler olu abilir. s parçasını ön tav yaparak ve kalın kesitli malzemeleri kaynak esnasında da tavlayarak, bu tür kaynak hataları önlenabilir.

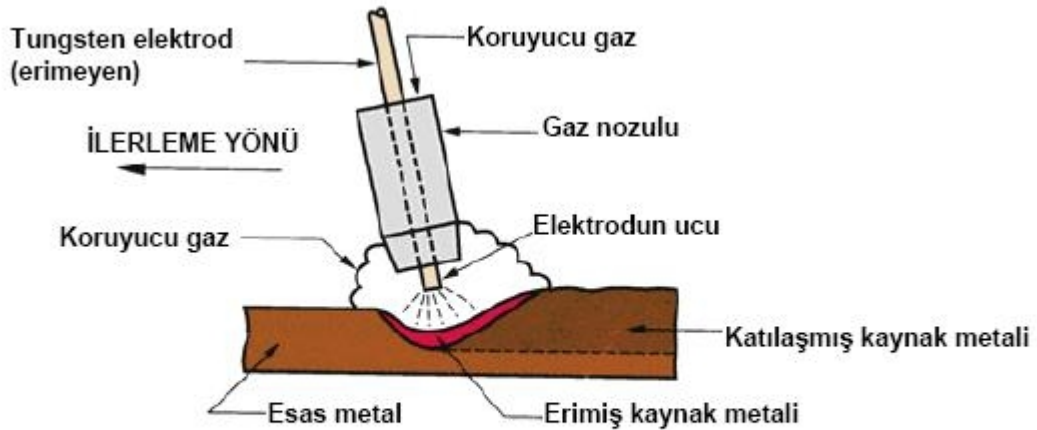
Kayna a ba lamadan önce, yüzeydeki alüminyum-oksit tabakası kaynak bölgesinden frezeleme yoluyla veya paslanmaz çelik fırça ile fırçalayarak tamamen temizlenmelidir. Kaynak a zı yüzeyleri ve kayna a yakın bölgeler (kaynak a zının en az 50 mm yakını) temiz, ya sız ve kuru olmalıdır. yi bir depolama ve mekanik i lemler sonrası kaynak yüzeylerinin özel bir ya çözücü ile temizlenmesi, bu tür hazırlık işlerini kolayla tırır. Bunların yanında, alüminyum malzemelerin kayna ında kullanılan el aletleri yalnız bu malzemeler için kullanılmalıdır.

MIG yöntemi ile 4 mm'den büyük kesit kalınlı ına sahip malzemeleri alın kayna ını veya köse kayna ını tek pasoda yapmak mümkündür. Yüksek kaynak akımı ve güçlü bir nüfuziyet nedeniyle 6 mm'ye kadar kalınlı a sahip malzemelerde kaynak banyosunu desteklemek için kaynak altlı ı kullanılır [21].

3.4. Alüminyum ve Ala ımlarının TIG Kayna ı

TIG sembolü, Tungsten Inert Gas kelimelerinin bas harflerinin alınmasıyla oluştuğudur [22]. 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 ala ımlarının kayna ında çarpılmaları en aza indirdiği için tercih edilen bir gazaltı kaynak yöntemidir [29].

Bu yöntemde kaynak için gerekli olan ısı enerjisi, bir tungsten elektrot ve is parçası arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesinde havanın olumsuz etkilerinden elektrot ile merkezlenmiş konumda bulunan bir nozülde gönderilen bir koruyucu gaz (He veya Ar veya He+ Ar karışımları) ile korunmaktadır (Şekil 3.4) [29].



Tungsten Inert Gaz (TIG) kaynağı

Şekil 3.4. TIG kaynak yönteminde ark bölgesi

TIG kayna ında, doğru ya da alternatif akım kullanılabilir. Fakat alüminyum ve magnezyum ala ımlarının kayna ında alternatif akım kullanılması gerekir [6]. Dövme alüminyum ve alüminyum ala ımlarını kaynak kabiliyetlerine göre şöyle sıralamak mümkündür: çok saf ve saf alüminyum, Al-Mn ala ımları, Al-Mg-Mn

ala ımları, Al-Mg ala ımları, Al-Mg-Si ala ımları, Al-Cu-Mg ala ımları, Al-Cu-Ni ala ımları [21].

Alüminyum ve ala ımlarının kayna ında sac kalınlı ının 16 mm yi a tı ı durumlarda, 150°C'lik bir ön tavlama faydalı olur. Ark önce ba ka bir parça üzerinde tutulduktan sonra, esas kaynak edilecek parçalar üzerine getirilmelidir. Parçalarda meydana gelebilecek distorsiyonları azaltmak için parçaların kaynaktan önce tespiti ya da aksi yönlerde tertiplenmesi gerekir [21].

Alüminyumun TIG kayna ı DADK (do ru akım düz kutup (elektrot (—)), DATK (do ru akım ters kutup elektr. (+)) veya alternatif akım (AA) ile yapılabilir. Genellikle DATK çok ince saçlar için, DADK göreceli kalın kesitler ve otomatik üfleç ilerlemesi ve kontrolleri için, AA da ince saç ve hafif levhalar için kullanılır. DADK'ta akım, elektrottan is parçasına gider; ark ısısı yo unla ması % 70 is parçasında, % 30 elektrotta olur. Bu yo unla manın etkileri, daha küçük elektrotlarla daha yüksek akım iddetleri kullanma olana ı; ark ısısının ana metal içine dar ve derin nüfuziyeti; kaynak hızının dakikada 12.5 cm ile 36 m arasında olabilmesi şeklinde belirir. Ark istikrarlı olur. Ark ve/veya gazın hiçbir temizleme etkisi olmaz; bununla birlikte DADK' la helyum kullanarak memnuniyet verici kaynaklar yapılabilir (akım iddeti azami 600 A). Otomatik DADK TIG kayna ında bazen argon kullanılır [6].

Yaslandırma ile sertle tirilmeyen ala ımlar her hangi bir ilave metal kullanmadan da kaynak yapılabilir. Alüminyum malzemelerin TIG kayna ı alternatif akımda ve argon koruyucu gazı kullanarak yapılır. Mekanize TIG kayna ı ilave metal kullanarak veya kullanmadan da yapılabilir [18].

TIG kayna ı ile 1 ila 4 mm arasındaki kalınlıklardaki malzemelerin tek pasolu alın kayna ı veya tek pasolu köse kayna ı; 12 mm'ye kadar et kalınlı ına sahip malzemelerin çift operatör ile aynı anda yukarıdan a a ıya kayna ı yapılabilir. Daha fazla kesit kalınlıklarının TIG yöntemi ile kaynak yapılması, MIG yöntemine kıyasla dü ük ısı yo unlu u nedeniyle ekonomik de ildir. Çünkü dü ük kaynak hızına sahiptir ve çok pasolu kaynaklarda çok büyük ısı etkili bölge

yaratır. TIG kaynaının çok iyi boşluk doldurma kabiliyeti ve gözenekli olma riskinin daha düşük olması nedeniyle özellikle kaynaının arkasından kapatma pasosu yapılamayan kalın kesitli malzemelerde, kök pasoların kaynaında kullanılır (ör; boru hattı kaynaklarında), kaynaklı birleştirimdeki diğer pasolar MIG kaynak yöntemi ile yapılır [18].

3.5 Alüminyum ve Alaımlarının Elektrik Direnç Kaynaı

Direnç kaynaı; is parçalarından geçen elektrik akımına karşı is parçalarının gösterdiği dirençten oluşan ısı ve aynı zamanda basıncın uygulanmasıyla yapılan bir kaynak yöntemidir. Malzemedeki geçen elektrik akımının doğurduğu ısıda, herhangi bir ısı uygulanmamaktadır. Isı, kaynak edilecek kısımlarda olur ve basınç kaynak makinesindeki elektrotlar ya da çeneler aracılığıyla uygulanır. Elektrik direnç kaynaı için gerekli düşük gerilim ve yüksek akım düzeyindeki elektrik gücü, kaynak transformatörlerinden, basınç ise hidrolik ya da mekanik donanımlarla sağlanır [22].

Bazı alüminyum alaımlarının direnç kaynaı dillerine göre daha kolaydır. Genelde diğer kaynak prosesleri ile kaynaklanabilen döküm alaımları direnç kaynaı ile de kaynaklanabilir. Sürekli döküm ve kum döküm alaımları başarıyla nokta kaynaı yapılabilirken kalıp dökümlerinin bu yöntemle birleştirilmeleri zordur. Döküm alaımları kendi kendileriyle, diğer döküm alaımlarıyla ve dövme alaımlarla nokta kaynaı ile kaynaklanabilirler. Bir alüminyum alaımının temperonun kaynaklanabilirliğini etkiler. Tavlanmış durumdaki alüminyum alaımlarının direnç kaynaı derin çentikler, distorsiyon ve artan uç ilerlemesi yüzünden işlemesi ve çözeltilmeye ısı ile uygulanandan zordur. Elektrot ömrü ve kaynak tutarlılığı daha sert temperler kaynaklandığında düzelir [20].

Nokta kaynaı elektrotlar tarafından bir arada tutulan is parçalarından geçen elektrik akımına karşı is parçalarının gösterdikleri dirençten elde edilen ısı ile parçaların bölgesel olarak ertirilip basınç altında birleştirilmeleridir. Kaynak dikiinin boyut ve şekli elektrotların boyut ve şekline bağlıdır [22].

Alüminyum ve alüminyum alaımları yüksek termal ve elektrik iletkenli e sahiplerdir. Nokta ve diki kayna ı yapabilmek için yüksek kaynak akımı de eri ve nispeten kısa kaynak süresi gereklidir. Alüminyum nokta kayna ında teçhizat seçimini etkileyen bir di er faktör ise kaynak sıcaklı ında malzemenin hızla yumu amasıdır .

Alüminyum levha yapıların imalinde nokta kayna ı pratik bir birle tirme metodudur. Sürekli döküm ve kum döküm ala ımlarda oldu u kadar tüm dövme ala ımlarda da kullanılabilir Alüminyumun nokta kayna ı için gerekli olan prosedürler ve ekipman çelikler için kullanılanlarla aynıdır. Bununla beraber, alüminyum ala ımlarının yüksek termal ve elektrik iletkenli i teçhizat ve kaynak planında bazı de i iklikler yapılmasını gerektirir [20].

Alüminyum AC (alternatif akım) ve DC (do ru akım) kullanılarak kaynaklanabilir. Yüksek kaynak akımı alüminyumun yüksek elektrik iletkenli i yüzünden gereklidir. Sonuç olarak, çelikle aynı kalınlıkta bir malzeme kaynaklandı ında gerekli olan birincil enerji miktarı çelik için gerekli olandan daha yüksektir. En yüksek kalite için sürekli veya kesintili DC güç üreten makineler tercih edilmelidir [20].

Genelde tabaka ayrımı e ilimi daha az ve kaynak mukavemeti sabitli i daha iyi oldu u için yüksek mukavemetli 2024 ve 7075 ala ımlarının kayna ı daha kolaydır. Bununla beraber çatlama ve poroziteye karsı dü ük mukavemetli ala ımlara nazaran daha fazla e ilim gösterirler. Gerçekte kaynak metalindeki çekme çatlakları neredeyse tamamen bakır ve çinko bazlı ala ımlar (2024 ve 7075 gibi) ile sınırlıdır [20].

3.6. Alüminyum ve Ala ımlarının Elektrocüruf Kayna ı

Bu yöntemde kaynak yapılacak bölge, bir döküm kalıbı içine alınır. Ergitilerek dökülen sıvı metal, hem enerji ta ıyıcı hem de ilave metal görevi yapar; bu sayede birle me yüzeyleri gerekli kaynak sıcaklı ına ula ır. Dökülecek malzeme, ergitme ocaklarında veya alümino-termik reaksiyon yardımıyla ergitilir [22].

Elektrocüruf kayna ı ta ıyıcı çubuklarda ve uygun duvar kalınlı ındaki kazan ve tanklarda alüminyumun kayna ı için kullanılır. Elektrocüruf prosesi ile yapılan kaynaklarda porozite yoktur ve tam bir ergime sa lanır. Halojen esaslı flaks kaynak süresince ergimi metalden empüriteleri (özellikle Al₂O₃) temizleyen sürekli bir hareket üretir. Kaynak; elektrocüruf kayna ında tipik olan dendiritik tane büyümesine sahiptir. Bununla beraber artan so uma hızı sebebiyle taneler küçüktür [20].

3.7. Alüminyum ve Ala ımlarının Elektrogaz Kayna ı

Elektrogaz kayna ında elektrocüruf kayna ında oldu u gibi, ergimi metal banyosu hareketli (kayar) kalıplar (pabuçlar) tarafından yerinde tutulur. Elektrocürufda birle me yerinin kenarları ve elektrot metali yüksek sıcaklı a getirilmi bir elektriksel iletken cürufun teması ile ergirken, elektrogazda bu ergime (çeliklerde) CO₂ koruması altında, elektrotla banyo arasında tutu an ark tarafından sa lanır [6].

Elektrogaz yönteminin alüminyuma uygulanmasında ilk ve en önemli sorun yukarıda sözü edilen pabuçlar olmu tur. Elektrogaz kayna ının alüminyuma uygulanması, pabuçların katıla mı alüminyum üzerindeki kısmen sürükleyici etkisiyle kaynakta meydana gelen yırtılma nedeniyle uzun süre mümkün olamamı tır. Ancak bu engelin üstesinden gelinmi olup 45 mm kalınlıkta 5083-O alüminyum levha üzerinde 1200 mm uzunlukta kaynaklar, 5356, 5556 ve 5183 ilave metal elektrotlarla gerçekleştirilmi tir [6].

3.8 Alüminyum ve Ala ımlarının Plazma Kayna ı

Bu kaynak metodunda direk kısa arklı bir plazma üflecinde sıkı tırılmi ve enerji yo unlu u büyük bir plazma elde edilir. Plazma gazı olarak asal gaz, genellikle argon kullanılır. kinci gaz koruma gazı olup, daha dı tan is parçası ile üfleç arasına, plazmayı çepeçevre sarar ekilde verilir. Bu gaz genelde Argon ve moleküler bir gaz (H₂ veya N₂) karı ımıdır. Burada ekilde görüldü ü gibi plazma is parçasını bir çivi gibi delip geçer. Kaynak yerinde ergiyen malzeme (kaynak banyosu) plazma ilerledikçe plazmanın arkasında yüzey gerilimi nedeniyle kolayca katıla ır ve

böylece belirli kalınlıklarda (2.5-8.0 mm arası) parçaları hiç dolgu malzemesi kullanmadan, tek pasoda kaynatmak mümkün olur [30].

Plazma arkı, metallerin, metal olmayan malzemelerin ve kombinasyonlarının birle tirme ve doldurma kayna ında kullanılır. Plazma ark kayna ı ile ala ımsız, hafif ve yüksek ala ımlı çelikler, nikel ve nikel ala ımları, zirkonyum, bakır ve bakır ala ımları, alüminyum ve alüminyum ala ımları birle tirilebilir [29].

Plazma ark kayna ı ark boyutunun su so utmalı nozül tarafından sınırlandırılması dı ında gaz tungsten ark kayna ına benzer. Kaynaktan önce yüzey temizleme gereklidir. Nüfuziyet derinli inin yüksek olusu ve yüksek kaynak hızları plazma ark kayna ının gaz tungsten ark kayna ına üstün yönleridir. Kaynak öncesi ana metalin temizlenmesi, temiz dolgu teli ve kayna ın yeterli inert gaz ile korunması kaynak porozitesinin minimuma indirilmesi için gereklidir. 5XXX serisi ve Al-Li ala ımları için tüm kaynak yüzeylerinde inert gaz koruması gerekir [20].

3.9. Alüminyum ve Ala ımlarının Ultrasonik Kayna ı

Ultrasonik kaynakta birle tirilecek parçalar, hareketli Ultrasonik frekansla titreşen sonotrot ile sabit duran bir altlık arasına konur ve az bir kuvvetle bastırılır. Sonotrot tarafından olu turulan ultrasonik titreşimler, yüzeye paralel olarak üstteki parçaya iletilir ve temas yüzeylerinde yani alt ve üst kaynak yerinde ba ıl bir harekete neden olur. Ultrasonik diki kayna ında bindirilen saclar dönen tekerlek şeklindeki sonotrotlar tarafından senkronize çalı tırılan altlık makaralarına bastırılır. Tekerlek şeklindeki sonotrotların levha titreşimleri üstteki is parçasına iletilir [22].

Ultrasonik kaynak yöntemi alüminyum ve ala ımları, bakır ve ala ımları, plastik malzemeler, cam ve beton gibi malzemenin kayna ında kullanılmaktadır. Ayrıca, alüminyum ile seramik ya da camın kayna ı gibi farklı malzemelerin birle tirilmesinde başarı ile uygulanmaktadır [22].

3.10. Alüminyum ve Ala ımlarının Patlama Kayna ı

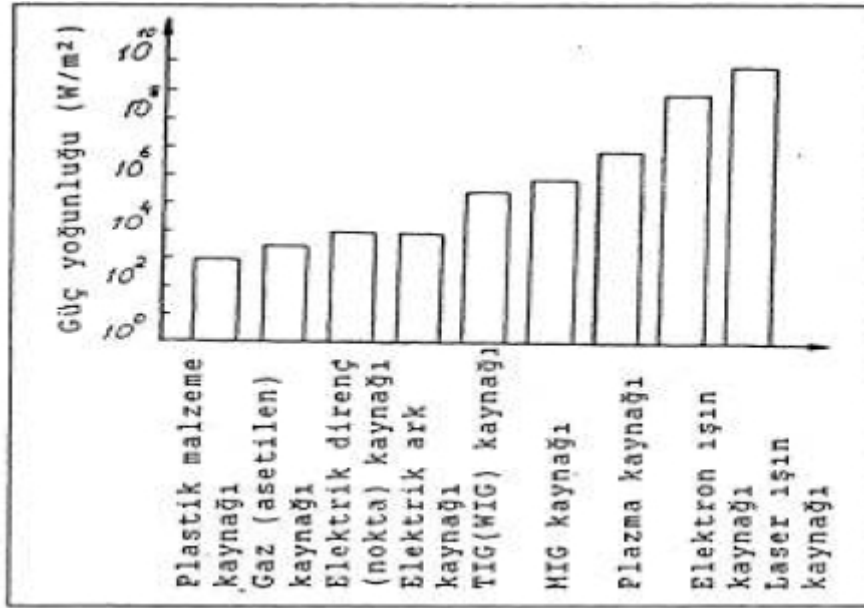
Prensip bakımından so uk basınç kayna ına benzer. Her iki yöntemde de dikey bir basınç kuvveti, te etsel bir yükleme ile kombine ekilde etki eder. Bu, yüzeydeki oksit tabakasının yırtılmasına ve yüzeyin büyümesine neden olur [21]. Gerekli yüksek basınç, i lem gören parçalardan patlayıcı madde ile yüklü birinin patlaması ile di erine karşı 2° ile 25° lik bir açı altında ve 100 ile 1000 m/sn hıza kadar hızlanması ko uluyla ortaya çıkar. Bu sırada çarpma basıncı 10 ile 100 k bar a kadar çıkar [22].

Temizlenen yüzeyler bir kaç mm gibi yeterli bir aralık bırakılarak karşı karşıya (üst üste) getirilir. Aralıklar dalgalı metal eritler ya da tellerle sa lanır. Bunlar sonra birlikte kaynak edilir. Birle tirilecek tabakaların üst yüzeyine ince bir koruyucu plastik tabakası ve bunun üzerine de patlayıcı madde yerle tirilir. Patlayıcı tutu turulunca yüksek basınç ve hızla (1200 ile 7000 m/sn) patlama olur ve üstteki sac alttakine kaynak edilir [22].

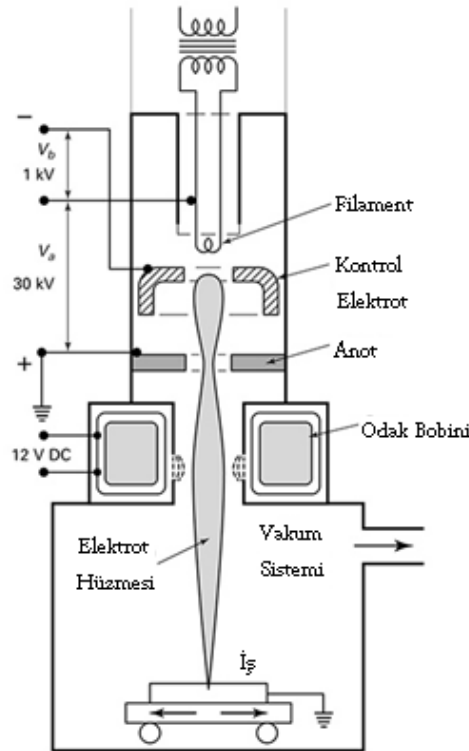
Yaygın uygulaması paslanmaz çelik, bakır veya titanyum ala ımlarının alüminyum ile kaplanmasıdır. Patlama kayna ı uygulanmı bimetalik parçalar aslında geçi parçaları olarak kullanılırlar. Alüminyumun patlama kayna ı için yüzey hazırlanması di er kaynak proseslerine benzerdir. Temas yüzeyleri kaynaktan önce temizlenmelidir. Yüzey oksitleri kaynak süresince kırılıp da ılırlar [20].

3.11. Alüminyum ve Ala ımlarının Elektron Isın Kayna ı

Elektron ısını ile sa lanan ısının ya da gücün yo unlu u, klasik kaynak yöntemlerinden yüksektir. Elektron ısınlarının güç yo unlu u, yakla ık 108 W/cm² dir. Bu güç yo unlu u ile tabancadan 1 m uzaklıklara kadar çalı ma mümkündür. Isı membaı olarak elektron ısınının en önemli üstünlü ü, gaz alevi ve elektrik arkına kar ılıklı, kaynak yerinde 10.000 misli daha yüksek bir ısı konsantrasyonunun elde edilmesidir [22]. Elektrik ark kayna ında yüzeye bırakılan ısı, yarım daire seklinde bir bölgeye yayılırken, elektron ısının yüksek ısı yo unlu u nedeniyle parçanın derinliklerine giren kanal seklinde bir ısı da ılımı ortaya çıkar.



Sekil 3.5. Kaynak ısı membranının güç yoğunluğu



Sekil 3.6. Elektron ısı ile kaynak makinesininematik yapısı

Arkın, plazma taneciklerinin enerjisi, yalnızca iş parçasının yüzeyinde bıraktığı ve bununla birlikte iç bölgelerin ısıtılmasında her yönden gelişen bir ısı da ılımına

ayrıldı ı için yarım daire seklinde bir erime bölgesi olur. Elektron bombardımanı altında, kaynak yerinin kuvvetli bir şekilde ısınmasıyla etkili olan yüksek buhar basma, eriyikte, elektronların enerjisini bırakmadan önce, is parçasının derinliklerine kadar nüfuz edebildikleri bir kanalın oluşumunu sağlar [22].

Birçok alüminyum alaşımı elektron ısını ile kaynaklanabilir, 2XXX, 6XXX ve 7XXX gibi bazı ısıl işlem görebilen alaşımlarda çatlama görülebilir. Dolgu metali ilavesi kaynak çatlaklarını önleyebilir. Alüminyum alaşımları düşük ya da yüksek voltajlı elektron ısın kaynağı teçhizatları ile kaynaklanabilir. Elektron ısın kaynağı makineleri 60 tan 175 kV'a ve 100 KW değerlerine kadar bulunmaktadır. Teçhizat seçimi ve prosedür alıştırma, malzeme kalınlığına, birleştirme geometrisine ve servis şartlarına bağlıdır [21].

Alaşım elementlerinin kaybı genellikle akma mukavemetinde önemli bir azalmayla sonuçlanmaz fakat bu her uygulama için belirlenmelidir. Isıl işleme tabi tutulamayan alüminyum alaşımlarının (1XXX, 3XXX ve 5XXX) elektron ısın kaynağı tüm gaz tungsten ark kaynaklarının özelliklerine eşit ya da daha iyidir ve birleştirmenin akma mukavemeti verimliliği % 100'dür.

3.12 Alüminyum ve Alaşımlarının Difüzyon Kaynağı

Birleştirilecek yüzeylerin birbirine teması sağlanıp kaynak için gerekli sıcaklık ve zamana ulaşması 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 birleştirme genel detane sınırlarında olur. Basıncın etkisi ile yüzeydeki oksit kırılarak oksitlerin kırılması olan noktalarından atom akışı başlar. İkinci aşamada difüzyon deformasyondan daha önemlidir. Birçok gözenek bu aşamada detane sınırı difüzyonu neticesinde kaybolur.

Alüminyum alaşımlarının difüzyon kaynağında yüzey oksitlerinin dağıtılması ve çözünmesi sağlanmalıdır. Kaynak mukavemeti ve birleştirme kolaylığı (gümüş , bakır veya altın-bakır alaşımı gibi) bir diğer metalden ince ara tabaka ile sağlanır.

Sıcaklık, basınç ve zaman geni aralıklarla kullanılabilir. Kaynak vakumda veya inert gaz atmosferinde gerçekleştirilmelidir [21].

3.13 Alüminyum ve Ala ımlarının Yakma Kayna ı

Yakma alın kayna ında kaynak edilecek parçalar, çeneler aracılığıyla sıkı tırılır. Bu çeneler kaynak makinesinin sekonderiyle bağlantılı olup kaynak akımının sürekliliğini sağlarlar. Kaynak işlemi aşağıdaki şekilde yapılır:

Parçalar birbiri ile temas etmeden, çeneler arasında sıkı tırılır.

Transformatöre, dolayısıyla parçalara akım uygulanır.

Hareketli tabla yavaş yavaş hareket eder.

Tabla hareketinin devamıyla parçalar birbiriyle temas eder ve sekonder elektrik devresi kapanır.

Parçaların temas noktalarında kıvılcıklar çıkarak ergitme baslar. Böylece parçaların alınları kaynak sıcaklığına ulaşır.

Tablanın ani hareketiyle birbirlerine temas eden alınlarda kaynama oluşur.

Tüm alüminyum ala ımları yakma kaynak prosesi ile birleştirilebilir. Bu proses özellikle benzer kesitli iki parçanın alın ve köşe birleştirilmelerinin yapılması için tasarlanmıştır. Yakma kayna ı alüminyumla bakırın birleştirilmesinde kullanılabilir [21]. Alüminyum ala ımı çubuk ve borular, bakır çubuk ve borular ile yakma kayna ı ile birleştirilebilirler [25].

Alüminyum ala ımlarının yakma kayna ında kullanılan kaynak makineleri çeliklerin yakma kayna ında kullanılanlara göre daha büyük transformatör kapasitesi gerektirir. Yakma kaynaklı birleştirilmelerden iyi mekanik özellikler elde edilir ve bağlantı verimliliğinin en az % 80'i kolayca elde edilebilir. Ala ımın sert temperlerinde mukavemet genellikle yüksektir. Yakma, kayna ıdan sonraki ısıl işlem birleştirme verimliliğinde önemsiz bir artış sağlayabilir [21].

3.14 Alüminyum ve Ala ımlarının Lazer İ n Kayna ı

Lazer sistemi esas olarak optik resonatör (lazer kafası) ve kumanda düzenli enerji kayna ından oluşur. Lazer kafasının içerisine gönderilen enerjinin bir bölümü, lazer aktif madde (ortam) tarafından hacim ve zamana ba lı olarak elektromanyetik bir ısına çevrilir. Aktif madde katı, sıvı ya da gaz şeklinde olabilir. Sıvı hal lazeri, malzeme işlemek üzere imdiye kadar hiç kullanılmamıştır. Lazerler sürekli ya da darbeli olarak çalışırlar. Farklı lazerler, farklı dalga boylarında ısın ortaya çıkarırlar. Lazer ısını ile kaynak, bir ergime kayna ıdır. Güç yoğunluğu, malzeme kuvvetle buharla madan ergiyecek şekilde ayarlanmalıdır. Teorik olarak ek metal kullanılmadan kaynak yapıldığı için, parçalar birbirlerine tam olarak yaklaştırılmalıdır.

A ızlar arasındaki açıklık ergimi banyo genişliğinin 1/5 i kadar olmalıdır. Ergimi banyo genişliği ise, 100 mikron dolayındadır. Enerji göndermenin ve zamana ba lı kumandanın basitliği nedeniyle hemen hemen bütün malzemelerin birbirleriyle kaynak edilebilmeleri, iyi bir şekilde otomatize edilebilir olması, iş parçasının üzerine hiçbir kuvvetin etkisinin olmayışı, atmosferde çalışmaya olanağı olması, hiçbir takım a ınması olmayışı, büyük çalışma aralıkları olanağının varlığı, ısının etkisi altındaki bölgelerin darlığı ve zor ula ılan yerlerde kaynak yapmaya olanağı lazer kayna ının üstünlükleridir [22].

Alüminyum ala ımlarının kayna ında toplam ısı girdisinin azalması yararlı etki yapmaktadır. Neredeyse tüm endüstriyel alüminyum ala ımları çökeltme sertleşmesi ya da deformasyon sertleşmesi ile sertleştirilmektedir. Ark kaynağı süresince, IEB (ısı etkili bölge) da ula ılan sıcaklık; çökeltme sertleşmeli ala ımlarda bölgesel a ırması yaslanması veya deformasyon sertleşmeli ala ımlarda bölgesel yumuşama olması için yeterlidir. Bu a ırması yaslanmanın 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 ala ımlarda mekanik özelliklerin % 50 ye kadar düşüşü sık görülür [21]. Ark kaynağıyla kıyaslandığında lazer ısın kayna ında görülen daha dar kaynak ve IEB daha az yaslanmış ya da yumuşamış metal hacmiyle sonuçlanır. Bu aynı kalınlıktaki ark

kayna ına göre lazer ısın kayna ının enine çekme testlerinde daha yüksek akma ve çekme mukavemeti göstermesiyle sonuçlanır. IEB' nin çok dar olması da bir dezavantajdır, mekanik özelliklerdeki uyumsuzluk (yani, kuvvetli ana metale kıyasla daha zayıf IEB) a ır ı ekilde bölgeseldir. Sonuç olarak, lazer ısın kayna ının enine çekme testi tipik olarak kaynak veya IEB de sünekliğin olmamasından de il ama tüm deformasyonların IEB de meydana gelmesinden dolayı dü ük uzama gösterir. Bu; parçalar lazer ısın kayna ı ile birleştirildi inde problem olur. Kopma IEB da meydana gelir. Lazer ısın kayna ının darbe ve yorulma özelliklerinde deformasyonun bölgeselle mesi zıt bir etkiye sebep olur [21].

Alüminyum ala ımlarının lazer ısın kayna ında temel zorluk Nd:YAG ve CO lazerlerle sırasıyla 1,06µm veya 10,5µm dalga boyu ı ık yayınımlarında alüminyumun iyi birle memesidir. Bir di er deyi le lazer ısın enerjisi alüminyum tarafından emilmek yerine yansıtılmak e ilimindedir bu da metalin ergimesi için gerekli olan enerjiyi sa lamaz. Parlatılmı alüminyum yüzeylerde % 90 kadar çok lazer enerjisi yansıtılır.

Ek olarak bir kez kaynak havuzu ve anahtar deli i olu turuldu unda yansıtıcılık çarpıcı biçimde dü er ve bu güç yo unlu unun çok yükselmesi ile sonuçlanır. Daha önceki lazer ısın kayna ı kontrol sistemleri yansıtıcılıktaki bu de i imi sa layamıyorlardı.

Kontrol sistemlerinin daha fazla geli imine ihtiyaç duyulmaktadır. Alüminyumun yansıtıcılı ını azaltmanın bir di er yolu; yüzeyi mekanik veya kimyasal pürüzlendirmeye de i tirmek, çe itli emici boya kaplamaları ile kaplamak veya alüminyum yüzeyin anotlanması ve boyanmasıdır.

Bu zorluklar alüminyumun di er yapısal malzemelere göre lazer ısını ile kaynaklanmasını zorlaştırır. Bu zorluklara ra men uzay endüstrisinde birçok uygulamada 2XXX ve 6XXX serisi ala ımlar başarıyla kaynaklanmaktadır. Otomotiv endüstrisinde de ince 2XXX ve 5XXX ala ım serisi levhalar başarıyla kaynaklanmaktadır. Alüminyum ala ımlarının lazer ısın kayna ı uygulamaları daha

fazla ekipman ve proses geli imi gerektirmesine ra men lazer ısın kayna ının alüminyum ala ımları için kullanımı giderek artmaktadır [22].

3.15. Alüminyum ve Ala ımlarının Manyetik Puls Kayna ı

Kesikli manyetik alan metodunun kaynak konstrüksiyonda kullanılan di er geleneksel yöntemlere avantajları oldukça uzun zamandır bilinmektedir. Fakat yakın zamana kadar bu kaynak cihazlarının ticari olarak üretilmeleri mümkün olmamı tır. 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 yerle tirilmektedir. Sargıdan yüksek akım geçirilerek iki manyetik alan olu turulmaktadır. ki manyetik alanın birbirini itme kuvvetinden dolayı saclar uygulanan akımın karesi ile orantılı yüksek bir hızda birbirlerine çarpmaktadır. Yüksek hızdaki bu çarpma dolayısıyla plastik deformasyona u rayan 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 sa lanması gerekmektedir. Bu kaynak yönteminde elde edilen çarpma hızı, manyetik basınca, hızlandırılan malzemenin kütlesine, malzeme özelliklerine ve kaynak yapılacak parçalar arasındaki mesafeye ba lıdır.

3.16 Alüminyum ve Ala ımlarının So uk Basınç Kayna ı

So uk basınç kayna ı oda sıcaklı nda ya da hafif sıcaklık uygulayarak basınç altında katı halde parçaları birbirine birle tirmektir. Parçaların en dü ük yeniden kristalle me sıcaklı ı, en yüksek sınır sıcaklık olarak alınır. Metallerin yüzeyi çevre ko ullarında her zaman ya , oksit, sülfür ya da gaz gibi bir tabaka ile kaplandı ndan, bu tabakanın kaynak i leminden önce temizlenmesi gerekir ve kaynak sırasında uygulanan basınçla sekil de i tirmelidir [21].

So uk kaynak ısı girdisi olmadan gerçekle ir. Kaynaklanacak iki parçaya önemli miktarda plastik deformasyonla sonuçlanan bir dı basınç uygulanır. So uk kaynak için temel gereksinim metallere en az birinin sünekliliğinin yüksek olması ve so uk i lem sertle mesinin önemli derecede olmamasıdır. Tüm alın ve bindirme birle tirmeler so uk kaynakla kaynaklanabilir [22].

Yöntemin önemli de i kenleri, i lem öncesi yüzey hazırlama, deformasyon, kaynaklanacak malzeme veya malzeme çiftlerinin özellikleri ve basınçtır. Kaynak öncesi yüzey i lemleri çok önemlidir. Yaygın olarak kullanılan yöntem, metal yüzeylerinin ya dan temizlenmesi ve tel fırça ile fıralanmasıdır. Bu mekanik yöntem olup ayrıca ısı ve kimyasal i lemler de vardır [27].

Sayılanlar arasında deformasyon en önemli kaynak parametresidir. Her bir metalin so uk basınç kayna nda ba olu umu için minimum bir deformasyon-yüzey yayılması veya redüksiyon de eri bulunmaktadır. Al-Al birle tirmelerinde bu esik deformasyon de eri %40-%55-60 kabul edilmekte, alüminyumun kaynak öncesi gördü ü i lem, kalınlık, birle tirmenin şekli ve yüzey hazırlanmasında bu esik de erini do rudan etkilemektedir [27].

Isıdan etkili bölge olmadı ı için alın birle tirme kaynak ana malzemeye aynı ya da yakın derecede sa lamdır. Birçok alüminyum ala ımı çatlak hassasiyetleri yüzünden ark kayna ı ile kaynaklanamazken so uk kaynak ile başarıyla kaynaklanabilir. Örne in alın kaynaklı 2024 ve 7075 ala ımları başarıyla so uk kaynak yapılabilir fakat bindirme kayna ı yapılamaz [22]. Alın ve köse birle tirmeler tel, çubuk, boru ve basit ekstrüzyon şekillerindeki alüminyum malzemelere yapılabilirken; bindirme birle tirmelerin kayna ı levha malzemelere yapılabilir. Bindirme birle tirmelerin kayna nda kaynak bölgesinde kalınlıkta yaklaşık %70 azalma gerektirir ve sadece dü ük mukavemetli 1XXX ve 3XXX serisi ala ımlar için pratiktir. Bu kaynak iyi kayma mukavemeti sa lar fakat e me tipi bir yüklemeye maruz kalındı nda iyi bir performans göstermez [22].

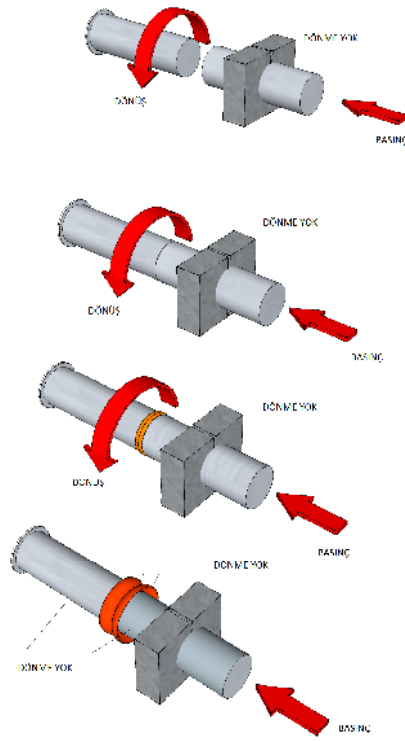
3.17. Alüminyum ve Alaşımlarının Sürtünme Kaynağı

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, yavaşlama süresi, yavaşlama 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 3.7); birleştirilecek parçalardan biri eksen etrafında döndürülmekte olduğu için eksenel yönden hareketli olarak dönen parçaya belirli bir süre bastırılmaktadır. Sürtünen yüzeylerde yeterli sıcaklık oluştuğundan dolayı dönmeye 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 "Yavaşlama veya Dövme Basıncı" denir [28].



Sekil 3.7. Sürekli tahrikle sürtünme kayna 1

Volanlı (Atalet) sürtünme kayna ında; bir volandaki kinetik enerjiden yararlanılır. Volan, i lemeden önce belli bir devir sayısına getirilerek tahrik motoru devreden çıkarılır. Birle tirilecek parçaların birbirine bastırılmasıyla sürtünen yüzeyler ısınır ve kaynak edilir. Volan ise gittikçe artan bir e kilde yava lar ve durur. Ancak bundan sonra basınç ve sıcaklık azalmaya baslar ve moment ile devir sayısı birlikte sıfıra eri ir. Boy kısalması ise eristi i de erde kalır. Burada dövme zamanı yoktur. Bu nedenle volanlı sürtünme kayna ı i lemi daha kısa zamanda gerçekleşmektedir [28]. Birçok metalsel malzeme ve kombinasyonunun sürtünme kayna ı için, uygulamalar ve deneylerden elde edilmi verileri mevcuttur. Sürtünme kayna ının özelli i, ergitme kayna ı yöntemlerinin uygulanamadı ı malzeme ve malzeme kombinasyonlarında da başarıyla kullanılmasıdır. Di er kaynak yöntemleri için kayna a uygunlu u belirleyen kriterler, sürtünme kayna ı için her zaman kullanılamaz. Bunun nedeni, birle tirme sıcaklı ının dü ük, kaynak süresinin kısa ve birle tirmenin bir kuvvet altında yapılmasıdır. Buna örnek olarak çeli in (ala ımlı veya ala ımsız) 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 [21].

Çatlak hassasiyeti yüzünden ark kaynağı ile kaynaklanamayan 7XXX serisi alaşımlar da dahil olmak üzere neredeyse tüm alüminyum alaşımları sürtünme kaynağı ile kaynaklanabilir. Sürtünme ısısı ile yumuşayan metal kaynak bölgesinden uzaklaştırılır ve yüksek mukavemetli ısı işlem görebilen alüminyum alaşımlarında bile birleminin mukavemeti esas metalinkine yaklaşıp. Kontak yüzeyindeki alüminyum oksit kırılır ve birlemeden uzaklaştırılır. Kaynak öncesi temizleme diğer kaynak proseslerinde olduğu kadar kritik değildir [22].

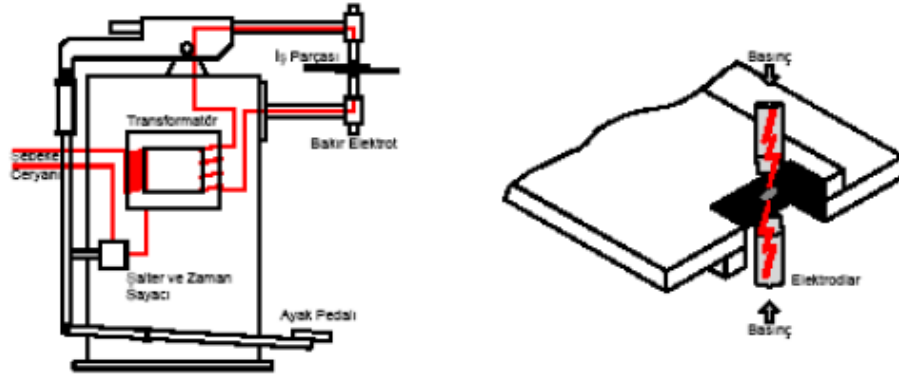
Tüm malzeme kombinasyonları için mümkün olmamasına rağmen alüminyum alaşımları birçok başka metal ile sürtünme kaynağı ile kolayca birleştirilebilir. Elektrik endüstrisinde kullanılan alüminyumun bakır alaşımları ile kaynağı ve boru sistemleri ve basınçlı kapların geçi bantlarında kullanılan alüminyumun paslanmaz çeliklerle kaynağı en yaygın iki kaynak kombinasyonudur [22].

BÖLÜM.4 ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

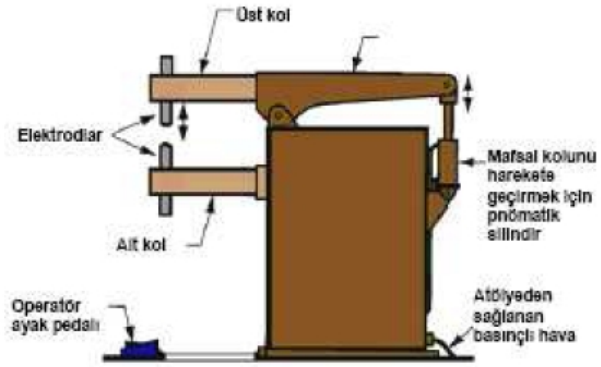
4.1. Direnç Nokta Kaynağı Prensipleri

Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi, elektrotlar arasında basınç altında bir arada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynak yöntemidir. Kaynak edilecek parçaların temas yüzeyi, kısa bir süre tatbik edilen düşük gerilim ve yüksek akım ile ısıtılarak erimi haldeki kaynak çekirdeğine dönüştürülür. Elektrik akımı kesilince, erimi metal hızla soğur ve katılaşır. Bu sırada elektrotlar, kaynak edilen parçaları sıkı bir şekilde tutmaya devam ederler daha sonra geri çekilerek parçayı serbest bırakırlar. Kaynak işlemi genellikle 1 sn'den daha kısa bir sürede tamamlanır. Elde edilen kaynağın şekli ve boyutu öncelikle elektrot ucunun boyutu ve çevresi ile belirlenir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi kaynak çekirdeği iki parçanın temas yüzeylerinde meydana gelir ve dış yüzeylere kadar yayılmaz. Kesit alınırsa, uygun bir şekilde yapılmış kaynağın çekirdeğinin oval şekilde olduğu görülür. Üstten görünümü ise elektrot yüzeyinin şeklinde ve yaklaşık aynı boyuttadır.

Kaynak noktaları, parçaların elektrot kuvveti ile çarpılması sonucu kaynak noktasından metalin kıvılcım halinde fırlamasını önlemek için kenarlarından yeteri kadar uzakta olmalıdır. Diğer yandan, paralel akım devrelerinin meydana gelmesini önlemek veya makul bir seviyede tutabilmek için, birbirini takip eden kaynak noktaları ve hatları arasındaki mesafe yeteri kadar büyük olmalıdır.

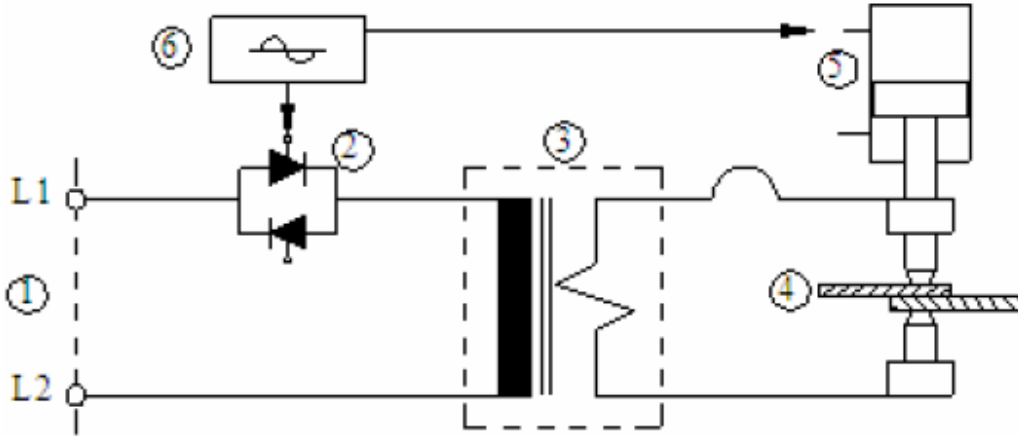


Sekil 4.1 Elektrik direnç nokta kayna ının prensibi



Sekil 4.2 Elektrik direnç nokta kayna ı makinesi

Kaynak için gerekli akım, yüksek gerilim ve dü ük akım iddetindeki ebeke elektrik akımını, dü ük gerilim ve yüksek akım iddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinesinden sa lanır. Gerekli basınç veya elektrot kuvveti, hidrolik, pnömomatik veya mekanik donanımlarla gerçekleştirilir [31].



Şekil 4.3 Elektrik direnç nokta kaynağı makinesininematik görünümü

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| (1) ebeke bağlantısı ve elektrotlar | (4) Sekonder devre akım iletimi |
| (2) Akım ayarlayıcı | (5) Kuvvet iletim sistemi |
| (3) Transformör | (6) Proses-Kontrol Cihazı |

I akımı, R ohmik direncinden t süresince geçtiğinde, Joule kanununa bağlı olarak J birim ısı açığa çıkar.

$$Q = I^2 R t \quad (2.1)$$

Burada,

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2.2)$$

dır, yani sekonder devredeki toplam dirençtir.

Bu dirençler

1. Malzeme dirençleri:

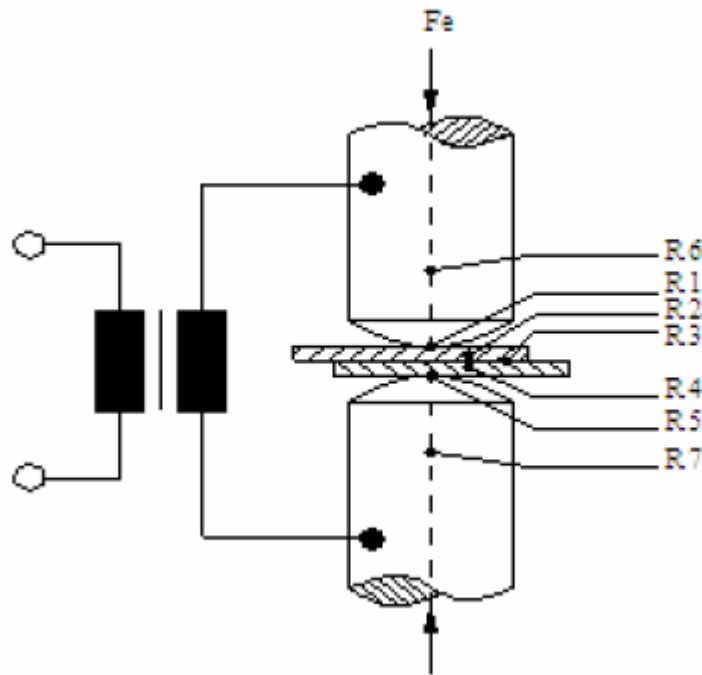
R_6, R_7 elektrotların direnci

R_2, R_4 parçalarının dirençleri

2. Temas dirençleri:

R_1, R_5 elektrod - malzeme temas direnci

R_3 malzeme - malzeme temas direnci



Şekil 4.4. Elektrik direnç nokta kaynağında meydana gelen dirençler[32]

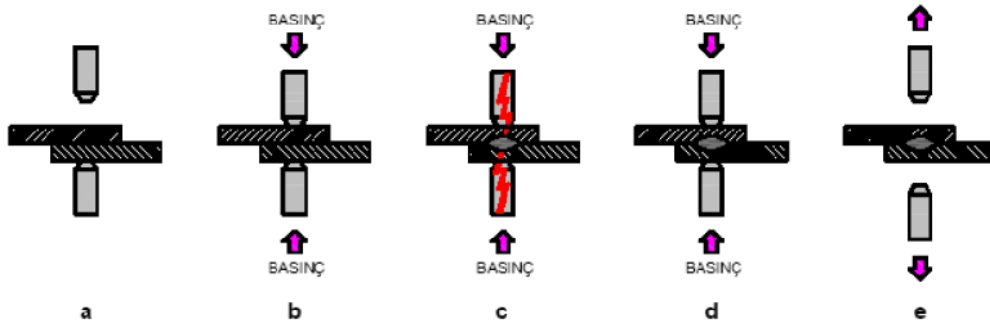
Malzeme direnci, malzemenin fiziksel özelliklerinden kaynaklanır ve de i ken de ildir. Temas dirençleri ise, malzemenin ve elektrotların uç durumlarına ba lı olarak de i ir.

Kaynak sırasında R3, en büyük ısının gerçekleştiği direnç olarak seçilir. Diğer dirençlerdeki ısınmaların mümkün olduğunca küçük olması gerekir. Bu ise, I kaynak akımının, t kaynak süresinin ve F elektrot kuvvetinin seçimiyle sağlanır. Temas dirençleri bağlantının kalitesine etki ederler [33].

R1 ve R5 temas bölgelerindeki ısınma, mümkün olduğunca düşük tutulur. Bu ise, iyi ısı ileten elektrot ve malzeme yüzeyleriyle sağlanır. Yüzeylerdeki pas, yağ ve boya gibi iyi ısı iletmeyen tabakaların olmaması gerekir. Temas dirençleri, farklı büyüklükte ısı miktarlarına ve bağlantı dayanım özelliklerinin farklılaşmasına yol açar [34].

4.1.1. Kaynak Çevrimi

Kaynak çevrimi 4 ana zaman diliminden oluşur.



Sekil 4.5. Elektrik direnç nokta kayna ı i lem sırası

Bunlar;

1. Yakla ma ve sıkma zamanı(a-b)
2. Kaynak zamanı(c)
3. Tutma zamanı(d)
4. Ayrılma zamanı(e)

4.1.1.1. Yakla ma ve sıkma zamanı

Elektrot kuvvetinin ilk uygulandı ı an ile kaynak akımının verildi i ilk an arasında geçen süredir. Bu aralık, solenoid hareketli silindir valfinin çalı ması ve üst elektrot tutucunun üst elektrodu is parçasıyla temas haline getirmesi ve elektrot kuvvetinin tamamını uygulaması için zaman sa lar. Bu zaman, parçalanın yakın temasını sa lamaya yetecek kadar olmalıdır [34].

4.1.1.2. Kaynak zamanı

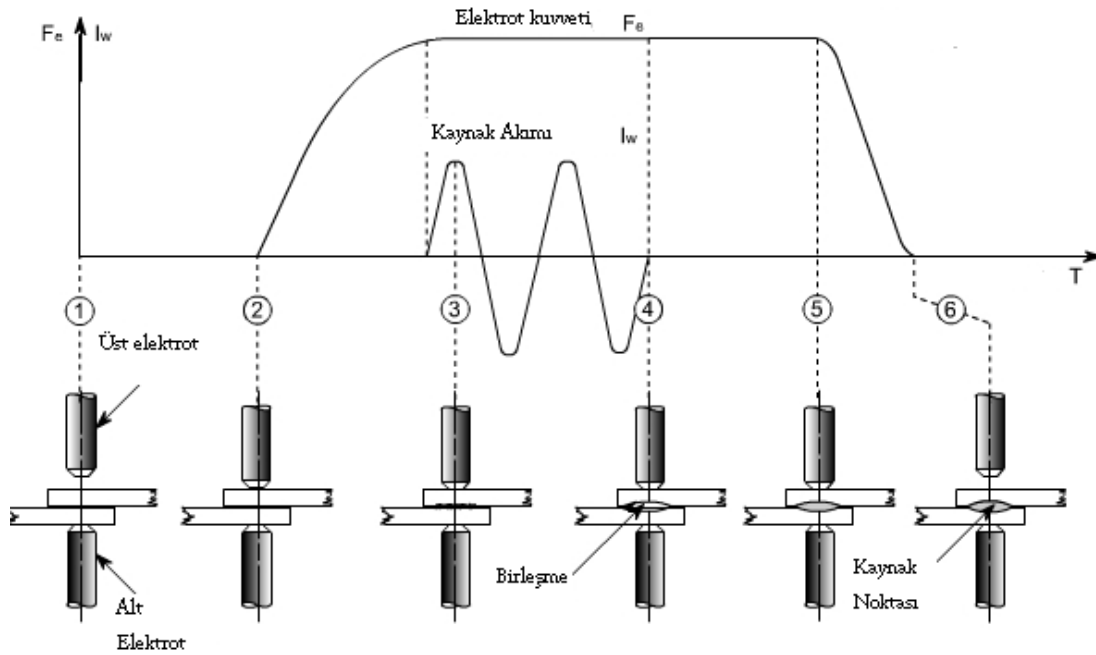
Kaynak akımının devreden geçti i zaman aralı ıdır. nce taneli yapı çeliklerinin birço unda, basit karbonlu çeliklere normal olarak uygulanandan biraz daha uzun kaynak süresinin kaynak kabiliyeti e risini geni letti i ve böylece kabul edilebilir kaynak akım sınırlarını arttırdı ı görülmü tür [34].

4.1.1.3. Tutma zamanı

Kaynak akımının kesilmesinden sonra, nokta kaynağının metali katıla ana kadar elektrot kuvvetinin etkisinin devam ettiği zaman aralığıdır. Bazı ince taneli yapı malzemeleri tutma süresine hassastır. 25 ile 50 arasındaki periyot sayılarında (1/2 ile 1 sn), bu malzemeler çekme deneylerinde ara yüzeyde yırtılma eğilimi gösterir [34].

4.1.1.4. Ayrılma zamanı

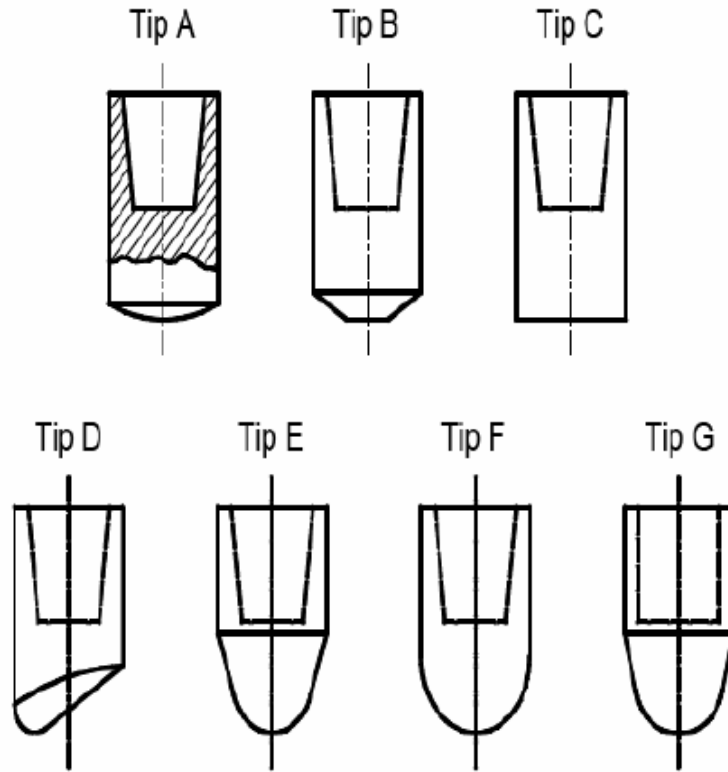
Tutma zamanının sonundan bir sonraki çevrimdeki basma zamanının başlangıcına kadar geçen, elektrotların is parçasıyla temasta olmadığı zaman aralığıdır. Otomatik çevrimde, ölü zaman, elektrotların geri çekildiği ve is parçasının kılavuzlandığı, kaldırıldığı veya pozisyonunun değiştirildiği süredir. Elle yapıldığında, kontrol cihazı tarafından maksimum periyot olarak sabitlenmemiş olup operatör yeni çevrime başlayana kadar geçen süreye bağlıdır. 50 Hz'lik bir ebeke için bir periyot 1/50 sn'dir. En basit kaynak çevrimi, kaynak aralığı boyunca, düzgün kaynak akımı ve elektrot kuvveti sağlamakla birlikte, elektrik kontrolünün eklenmesi kaynak akımının değiştirilebilmesine olanak tanır. Elektrik kontrolüne sahip bir kaynak çevriminde akım, kaynaktan önce artmakta, kaynaktan sonra da azalmaktadır. Artan akım, kaynak akımının tamamının bir anda uygulanması yerine, düşük bir değerden istenilen değere birkaç periyotta yükseltilmesine izin verir. Düşük ilk akım ya da kaynak akımı, akım ilk uygulandığında metal kırmasını azaltır ya da önler. Artı kontrolü, yüksek akım değerlerinde kaynakta ve çözümlenmeli metalin kaynağında kullanılmaktadır [34].



Sekil 4.6. Nokta kaynak çevrimleri [34]

4.2. EDNK Uygulamalarında Kullanılan Elektrotlar

EDNK uygulamalarında parça kalınlığına ve türüne göre elektrot seçimi kaynağın kalitesini belirleyen önemli bir unsur olmaktadır. Elektrotlar genellikle nokta direnç kaynağı ve kabartılı nokta direnç kaynağı seri üretiminde kullanıldıklarından, elektrotlardan geçen akımın oluşturduğu dirençten dolayı elektrotlarda ısınma olmaktadır. Elektrot ısısının artması kaynak kalitesini olumsuz yönde etkileyeceğinden elektrotların soğutulması gerekmektedir. Kaynak makinelerinde soğutma sistemi sıvısı olarak genellikle su kullanılmaktadır. Bu sistem, makine içerisinde bir düzenekle sürekli olarak su dolaşımını sağlayarak elektrotların soğutulmasını sağlamaktadır [35]. EDNK uygulamalarında kullanılan elektrot başlık tipleri Şekil 4.7’de görülmektedir.



Sekil 4.7. EDNK uygulamalarında kullanılan elektrot başlık tipleri [35]

Kullanıma ba lı olarak zaman içerisinde kaynak elektrotları a ınmaktadır. A ınma sonucunda elektrotun ucu bozularak akım ve basıncın azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum kaynak kalitesini olumsuz yönden etkilemektedir. Bu olumsuz durum elektrot uçlarının periyodik olarak bakımlarının yapılmasını gerektirmektedir. Bakım i lemi, bozulan uca yeniden eski formunun kazandırılması ve akım geçi ini engelleyen unsurların ortadan kaldırılması ile mümkün olmaktadır. Bu i lem e e, zımpara vb. araçlar kullanılarak yapılabilmektedir [35].

4.3. EDNK Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

EDNK yönteminin bazı avantajları a ıda sıralanmı tır.

- Dolgu maddesine gereksinim duyulmamaktadır.
- Yüksek üretim hızı elde etmek mümkündür.
- Otomasyona ve mekanize hale getirmeye elverişlidir.
- Yüksek operatör becerisi ve deneyimi gerektirmemektedir.
- Uygun yenilenebilirlik ve güvenilirlik sağlamaktadır.

EDNK yönteminin bazı dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Yüksek maliyetli donanım gerektirmektedir.
- Çoğu direnç kaynağı uygulamalarında bindirme bağımlı uygulamaları sınırlandırmaktadır [35].

4.4. Kaynak Hataları ve Nedenleri

Sürekli ve yüksek kaliteli nokta kaynaklarının elde edilmesi tabakaların kalınlık bileşimi yüzey durumu ve kaynaklanacak malzemelerin temperlenmesinin, teçhizatın elektrik - mekanik münasebetinin, elektrot bakımının, kaynak programı seçiminin sağlam bir şekilde kontrolüne bağlıdır. Bu kontrollerin en uygun şekilde yapılabilmesi için kaynak hatalarının cinslerini ve bu hataları meydana getiren sebepleri iyi bilmek gerekir. Kaynak hataları dış ve iç hatalar olmak üzere iki şekilde incelenebilir [35].

4.4.1. Dış hatalar

Dış hatalar levhaların içerisinde oluşan ve özellikle kaynak çekirdeği ile doğrudan ilgili olan hatalardır. Dış hataların mukavemet üzerinde direkt tesirleri vardır.

4.4.1.1. Kaynak nüfuziyeti

Nokta kaynağında nüfuziyeti, erimenin parçalar içinde uzanabildiği derinlik olarak tarif edilebilir, levha kalınlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Nüfuziyet sınırı kabaca % 20 – 80 arasında değişimine müsaade edilir. Minimum ve maksimum sınırları aşan kaynaklar, kaynak mukavemetinde istenmeyen düşülmeye sebep olabilirler [34].

4.4.1.2. Yetersiz nüfuziyeti

Nüfuziyeti % 20'den az olacak şekilde yapılan kaynaklar akım zaman ve elektrot kuvvetindeki normal değerlerden dolayı zayıf olarak tekkül edeceklerdir.

Yetersiz nüfuziyete aşağıdaki faktörlerden bir veya birkaçı sebep olabilir:

1. Yetersiz kaynak akımı

2. A ırı kaynak basıncı
3. Uygun olmayan ısıl denge
4. Çok büyük elektrot ucu
5. Uygun olmayan yüzey durumu [35].

4.4.1.3. A ırı nüfuziyet

Nüfuziyeti % 80'den fazla olan kaynaklar, akımı zaman ve elektrot basıncının normal de i melerinden dolayı, fı kırma çatlaklar ve gözenekler gibi di er hataları meydana getirebilirler.

A ırı nüfuziyete a a ıdaki faktörlerin biri veya birkaçı sebep olabilir:

1. Uygun olmayan yüzey durumu
2. Çok küçük elektrot ucu
3. Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
4. Yeterli olmayan kaynak basıncı
5. Yeterli olmayan elektrot so utulması [35].

4.4.1.4. Simetri

yi te ekkül etmi bir kaynak noktası yatay ve dü ey eksnelere göre simetrik olmalıdır. Sabit bir kaynak kalitesi elde etmek için üniform olarak ekillenmi , uygun olarak yerle mi , birle me içinde düzgün olan noktalar istenir. Simetrik olmayan kaynak noktalarına a a ıdaki faktörlerden bir veya birkaçı sebep olabilir:

1. Elektrotların yanlı hizalanması
2. Çok küçük elektrot ucu
3. Uygun olmayan yüzey durumu
4. Uygun olmayan kaynak programı
5. Parçaların düzgün yerle tirilmemesi

Kaynak akımının, basıncının uygun olmayan bir ekilde tatbiki gözenekli bir kaynak yapısına sebep olur. Gözeneklilik ise normal olarak yetersiz bir kaynak basıncının neticesidir. Gaz kabarcıklarının meydana gelmesine ve gözeneklili e a a ıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir [35].

4.4.1.5. Gaz kabarcıkları ve gözeneklilik

1. Fı kırma gaz kabarcıkları genellikle fı kırma iddetli oldu u zaman meydana gelir
2. Uygun olmayan kaynak basıncı
3. Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
4. Uygun olmayan kaynak akımı yükselme hızı [35].

4.4.1.6. ç çatlaklar

ç çatlaklar radyografi ile tahribatsız olarak, kaynaktan kesit almak suretiyle de tahribatlı olarak incelenebilirler. Çatlaklar kaynak içinde enine veya boyuna do ru olabilirler. Isı tesiri altında kalan bölgeye kadar uzanabilirler veya kaynak bölgesi ile sınırlanırlar.

ç çatlaklara a a ıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

1. Yetersiz kaynak basıncı
2. Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
3. Elektrotların aynı hizada olmamaları
4. Asın kaynak akımı
5. Elektrotların yana kayması
6. Yetersiz elektrot so utulması [35].

4.4.2. Dı hatalar

Dı hatalar daha çok gözle görülebilen tipteki hatalardır. Mukavemet üzerinde büyük etkileri vardır.

4.4.2.1. Yüzey yanması

Yüzey yanması, elektrotlarla temasta olan metal yüzeyinin erimesi olarak tarif edilebilir. Yüksek akım, yüksek basınç ve uzun süreli kaynak i lemlerinde kaynak metalinin yüzeyinde meydana gelen yanmalar olarak da tarif edilir. Kaynak kalitesi ve görünü ü, yüzey yanmasından etkilenir.

Yüzey yanmasına a a ıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

1. Çok seyrek elektrot temizlenmesi
2. Uygun olmayan yüzey durumu.
3. Yetersiz kaynak basıncı
4. A ır ı kaynak akımı
5. Parçaların düzgün yerle tirilmemesi
6. Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
7. Elettrodların yana kayması
8. Yetersiz elektrot so utulması
9. Uygun olmayan elektrot malzemesi [35].

4.4.2.2. Levha ayrılması

Levha ayrılması kaynak noktası civar levha yüzeylerinin birden ayrılması olarak tarif edilebilir. Ayrılma, iki dı levhanın ortalama kalınlı ının % 10'undan fazla de ilse normal olarak kabul edilebilir. Makaslama kuvveti tatbik edildi inde birle me yerindeki e ilme momentini arttırdı ından, a ır ı ayrılma istenmeyen bir durumdur.

Levha ayrılmasına a a ıdaki faktörlerden biri veya birkaç ı sebep olabilir.

1. A ır ı kaynak basıncı
2. Bir hizada olmayan elektrotlar
3. Çok küçük elektrot ucu
4. Fı kırma
5. A ır ı kaynak akımı
6. Parçaların düzgün yerle tirilmemesi
7. A ır ı kaynak zamanı [35].

4.4.2.3. Fı kırma

Fı kırma, genellikle a ır ı ısınmanın ve uygun olmayan basıncın sebep oldu u, ergimi metalin kaynak bölgesinden tasma sıdır. Fı kırmadan kaçınmak için, elektrot kuvveti ve sekli kaynak bölgesi etrafında bir basınç halkası temin edecek ekilde olmalı ve kayma yüzeyleri temizlenmi bulunmalıdır. Fı kırma, derin bir yüzey ezilmesi, levha ayrılması gaz kabarcıkları ve kaynak mukavemeti kaybına sebep olur. Fı kırmaya a a ıdaki faktörlerden biri veya birkaç ı sebep olabilir:

1. Uygun olmayan yüzey artları
2. Yeterli olmayan kaynak basıncı
3. A ırı kaynak akımı
4. Elektrot ucunun çok küçük olması
5. Elektrotların bir hizada olmamaları
6. Elektrotların yana do ru kaymaları [35].

4.4.2.4. Distorsiyon

Distorsiyon, kaynaklar levha kenarına çok yakın bir ekilde yapıldı ı zaman ortaya çıkar. Deformasyona karşı yeterli derecede mukavemet sa lamak ve ısı ile kenar çatlamalarını azaltmak maksadı ile kenar mesafesi yeteri derecede uygun olmalıdır.

Yüzey distorsiyonuna a a ıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

1. Elektrodun yana kayması
2. A ırı kaynak basıncı
3. Parçaların düzgün yerle tirilmemesi
4. Uygun olmayan kenar mesafesi
5. Fı kırma
6. A ırı kaynak akımı [35].

4.4.2.5. A ırı ezilme

A ırı ezilme, kaynak yüzeylerinde derin çukurla maların meydana gelmesi demektir. Elektrot basıncı kaynak metalinin dü ey genle mesine mani oldu undan bir miktar ezilmeden kaçınılamaz. Kabul edilebilir sınırlar genellikle ezilmenin meydana geldi i levhanın kalınlı ının % 10 - 20'si arasındadır. Derin bir ezik, kaynak noktası etrafındaki metal kalınlı ının azalmasına dolayısıyla mukavemet kaybına sebep olur.

A ırı ezilmeye a a ıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

1. Çok küçük elektrot ucu
2. A ırı kaynak basıncı
3. A ırı kaynak akımı
4. Fı kırma
5. A ırı nüfuziyet

6. A ır ı yüzey ısınması
7. Uygun olmayan dövme periyodu [35].

4.4.2.6. Dı çatlaklar

Nokta kayna ının yüzeyine do ru uzanan çatlaklar normal olarak uygun olmayan bir kuvvet ve akım münasebetinin i aretidir.

Kaynak basıncı, a ır ı sıcaklı ın meydana geli ini önlemek için yeteri kadar büyük de erde olmalıdır. Düşük kaynak basıncı temas direncinin büyük olmasına neden olur. Ayrıca ergimi bölgeyi uygun olarak so utmak için, basıncın yeteri kadar uzun bir müddet tatbik edilmesi gerekir. Yüzey çatla ı nokta kayna ının korozyona karşı direncini azaltır. Belirli artlar altında nokta kayna ının mukavemeti, yüzey çatlama sı a ır ı ise azalacaktır.

Dı çatlaklara a a ıdaki faktörlerden biri veya bir kaç ı sebep olabilir:

1. Elektrotların yanlı hizalanması
2. Yeterli olmayan kaynak basıncı
3. Parçaların düzgün yerle tirilmemesi
4. Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı
5. A ır ı nüfuziyet
6. A ır ı kaynak akımı
7. Yetersiz elektrot so utulması [35].

4.4.2.7. Bakır Birikmesi

Bakır birikmesi, nokta kayna ının korozyona karşı hassasiyetini arttırır. Bakır döküntüleri tel fırça ile temizlenerek tamamen ortadan kaldırılabilir. Temizleme için kum püskürtme i lemi de kullanılabilir. Temizlemeyi kontrol etmek için % 10'luk asetik asit eriyi i kullanılır.

Bakır birikmesine a a ıdaki faktörlerden biri veya birkaç ı sebep olabilir:

1. Uygun olmayan yüzey hazırlama seçimi
2. Çok seyrek elektrot temizli i
3. Elektrot uçlarındaki rutubet
4. A ır ı kaynak akımı

5. Yeterli olmayan kaynak basıncı [35]

4.5. EDNK Yönteminin Uygulandığı Endüstriyel Alanlar

Otomotiv sektörü, uzay ve uçak teknolojileri, çelik yapılar, çelik e ya imalatı, hassas cihazların imalatı, elektroteknik, boru üretimi, makine sektörü gibi pek çok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Ayrıca bu alanlarda kullanılan ince kesitli metal malzemelerin kayna ında ya anan sorunlar, farklı kaynak türlerinin geli imini sa lamı tır. nce kesitli malzemeler yüksek ısı altında kaldıklarında kalıcı şekil bozukluklarına neden olur. Bu nedenle kaynaklama i leminin asgari ısıda ve en kısa sürede gerçekleştirme zorunlulu u ortaya çıkmaktadır. Kaynaklı ba lantıların hızlı bir ekilde en az deformasyonla gerçekleştirilmesi, ekonomik ve kaynak mukavemetinin yüksek olması istenilen yerlerde, elektrik direnç kayna ı ilk seçim olarak karşımıza çıkmaktadır [35].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALI MALAR

5.1. Genel

Deney malzemeleri olarak AA6061 ve AA5754 serileri alüminyum ala ımları seçilmi tir. Yapılan literatür ara tırmasında bu iki seri ala ımın ısıl i lem kabul ettikleri ve ikisinin de kaynak kabiliyetinin farklı oldu u tespit edilmi tir. 5754 (AlMg3) ala ımının kaynak kabiliyeti mükemmel, 6061 (AlMgSiCu) serisi ala ımın kaynak kabiliyeti iyi oldu u bilinmektedir. Kaynak kabiliyeti bakımından farklılık gösteren bu iki ala ıma kendi aralarında ve birbirleri arasında EDNK yöntemi ile kaynak uygulaması yapılacak, çekme deneyleri, sertlik de erleri ve mikro yapıları elektron mikroskobu altında incelenerek kar ıla tırılacaktır.

5.2. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

Deneylerde kullanılan malzemeler özellikleri Tablo 5.1 ve 5.2 de verilen AA5754 ve AA6061 serisi alüminyum ala ımlarıdır. Alüminyum ala ımı malzemeler ve kimyasal özellikleri Seykoç Alüminyum Paz. Ve San. Tic. Ltd. ti.'den temin edilmi tir.

Tablo 5.1 AA6061 serisi alüminyumun kimyasal analizi

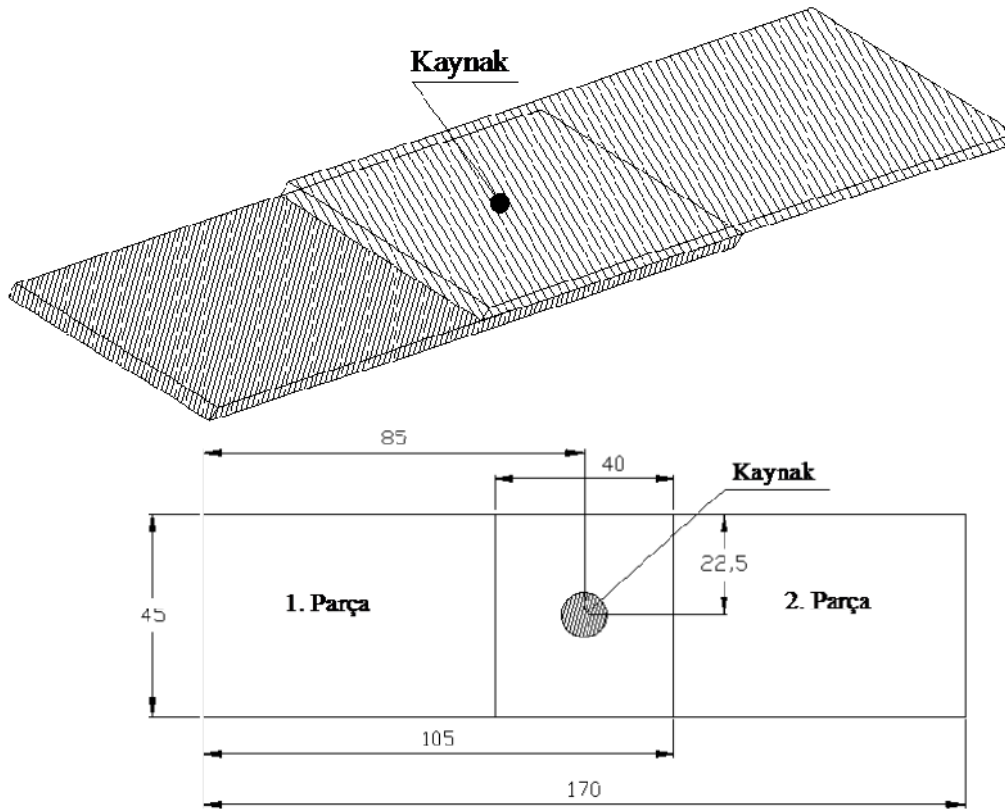
Malzeme	Elementler												
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr	Pb	Sn	Ti	Sb
AA6061	96,67	0,69	0,7	0,27	0,15	0,96	0,25	0,002	0,23	0,03	0,005	0,04	0,003

Tablo 5.2 AA5754 serisi alüminyumun kimyasal analizi

Malzeme	Elementler												
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr	Pb	Sn	Ti	Sb
AA5754	95,69	0,3	0,4	0,05	0,20	2,72	0,20	0	0,24	0,0	0,000	0,20	0,00

5.3. Dene Numunelerinin Boyutları

Kaynak edilecek parçaların boyutları ISO/DIS 14273 uluslararası standardına göre saptanmıştır. 1 mm kalınlığında 45x105 mm'lik levhalar bindirme pozisyonunda kaynak edilecek şekilde hazırlanmıştır. Kaynak edilecek parçaların boyutları ekil 5.1'de verilmiştir.



ekil 5.1 Bindirme pozisyonunda kaynaklı dene parçası boyutları.

5.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalı mada deney malzemelerinin standarda uygun ekilde kesilmesinin ardından kenarlarında çapakları alınmı tır. Elektrik direnç nokta kayna ı uygulaması için hiçbir i lem görmemi aynen piyasadan temin edilmi halde olan alüminyum ala ımı numunelerin yüzeyleri etil alkol ile kir ve ya dan arındırılmı tır. Daha sonra standarda uygun olarak bindirme mesafesi ve kaynak noktası i aretlenmi tir.



ekil 5.2 Deney numunelerinin çapaklarının alınması



ekil 5.3 Deney numunelerinin temizlenmesi



ekil 5.4 Deney numunelerinin i aretlenmesi

5.5. DeneYlerde Kullanılan Kaynak Makinesi ve Elektrotlar

Standard esaslarına göre hazırlanan alüminyum ala ımı numuneler daha önce yapılan ön deneyler sonucunda saptanan kaynak parametreleri kullanılarak elektrik direnç nokta kaynak yöntemi uygulanmı tır. Elektrik direnç kaynak makinesi olarak Decomstar RWC-70P marka 320 KVA gücünde, 380 V (3 fazlı), 9 kN basma kuvvetine sahip pnomatik basma tertibatlı elektronik-dijital kontrollü kaynak makinesi kullanılmı tır. Elektrik direnç nokta kayna ı ile AA5754 ve AA6061 alüminyum ala ımı numunelerin kayna ımının yapılmasında temas yüzeyi çapı 5 mm olan kesik konik uçlu ticari saflıkta Cu (Bakır) elektrotlar kullanılmı tır.



ekil 5.5 Kaynak makinesi



ekil 5.6 Dijital kontrol ünitesi



ekil 5.7 Kullanılan elektrodlar

5.6. Kaynak İleminin Yapılı ı

Bu a amada alüminyum ala ımı numuneler daha önce kaynak yeri ölçüleri belirtildi i ekilde bindirme pozisyonunda kaynak edilmi tir. Elektrik direnç nokta kayna ı uygulaması için AA5754 ve AA6061 alüminyum ala ımı parçalar yüzeyi temizlendikten sonra kendi aralarında ve birbirleri arasında olacak ekilde kaynak edilmi tir. Kaynaklı parçalar ekil 5,8'de görölmektedir. Elektrik direnç nokta kayna ında deney numunelerine 2,5 kN elektrot kuvveti, be farklı kaynak akımı (8 kA, 8.5 kA, 9 kA, 9.5 kA, 10 kA), üç farklı kaynak süresi periyodu (10, 12, 14 periyot) ve 20' er periyotluk sıkı tırma ve tutma süreleri uygulanmı tir.



ekil 5.8 Kaynak İlemi yapılması



ekil 5.9 Kaynak i lemi yapılmı deney numuneleri

5.7. Çekme Testi Deneyi

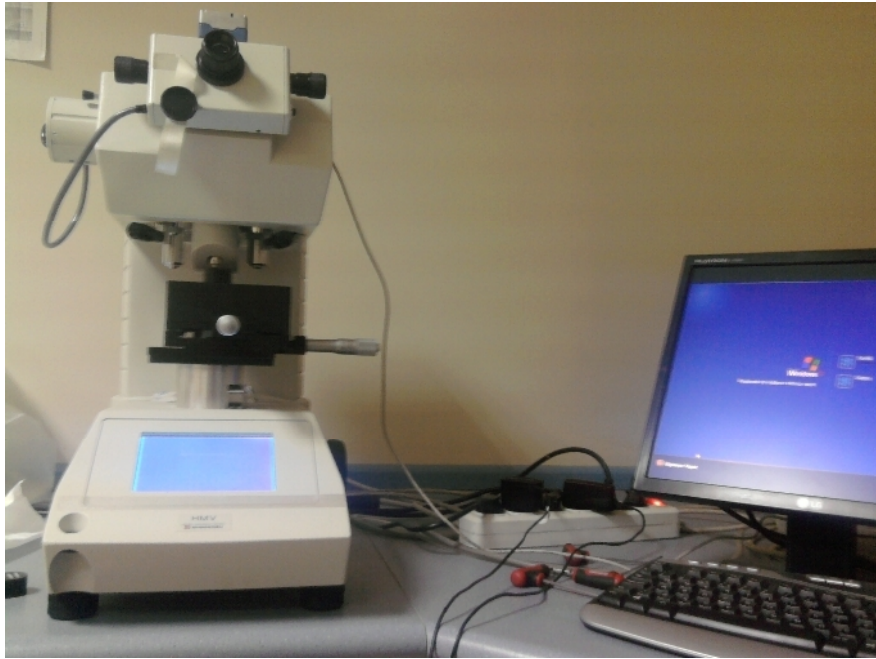
Çekme testi deneyleri Sakarya Üniversitesi laboratuvarında bulunan 50 kN Kapasiteli Z050 model Zwick/Roell marka çekme cihazı kullanılmı tır. Tüm deneyler oda sıcaklı nda gerçekte tirilmı olup, deney sonuçları çekme cihazı ile ba lantılı olan bilgisayar programı yardımı ile okunmu tur. 45 adet farklı birle imdeki çekme numunelerinin her birinden üçer adet çekilerek elde edilen sonuçların ortalaması deney numunesinin çekme yükü olarak verilmi tir. Toplamda 135 adet çekme testi yapılmı tır.



ekil 5.10 Zwick/Roell marka çekme cihazı ve çekme testlerinin yapılı 1

5.8. Mikrosertlik Ölçümleri

Kaynaklı parçaların sertlik ölçümleri için Sakarya Üniversitesi Laboratuvarındaki HMV marka mikrosertlik cihazı kullanılmı tır. Sertlik ölçümleri için deney numuneleri kaynak noktasından enine kesilerek grid zımpara ile zımparalanmı ve parlatılmı tır. Sertlik ölçümünde 50 gr yük ve 15 sn süre kullanılmı tır.



ekil 5.11 Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldı ı cihaz

5.9. Çekirdek Çapı Ölçümleri

Farklı kaynak akımı ve periyotların kaynak çekirdek çapına etkilerini bulmak için, çekirdek çapının enine ve boyuna ölçüleri dijital kumpas ile ölçülerek ortalaması çekirdek çapı olarak alınmı tır. Bu ölçümler deney sonuçları bölümünde detaylı olarak belirtilmi tır.

5.10. Mikroyapı ncelemeleri

Mikroyapı incelemeleri için Sakarya Üniversitesi laboratuvarındaki AxioCam Mrc5 marka optik mikroskop kullanılmı tır. Yapı incelemeleri için kaynaklı parçaların 2

mm kalınlı ındaki kesitinden görüntüler alınmı tır.. Da lama i lemi için Tucker Ayracı (25 ml su, 15 ml HF, 45 ml HCL, 15 ml HNO₃) kullanılmı tır.



ekil 5.12 Mikroyapı incelemelerinin yapıldı ı cihaz

BÖLÜM 6.DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENMESİ

6.1. Genel

Uygulanan bu çalışmada da rultusunda 1 mm kalınlı ında AA5754 ve AA6061 alüminyum ala ımı numuneleri kendi ve birbirleri arasında elektrik direnç nokta kayna ı yöntemiyle birleştirilmiştir.

Bu çalışmada hiçbir işlem görmemiş aynen piyasadan temin edilmiş halde olan alüminyum ala ımı numunelerin yüzeyi etil alkol ile temizlenmiş , yüzeyleri yağ dan ve kirlerden arındırılmış tır.

Elektrik direnç nokta kayna ı yöntemiyle kaynak edilmelerinde bir dizi ön deney yapılmış ve literatürde verilmiş parametreler ile ön deneylerde saptanan parametreler karşılaştırılması amaçlanarak kaliteli kaynaklı bağlantıların oluşturulması için uygun kaynak parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır.

Bağlantıların mekanik özellikleri ve kaynak bölgelerinde, kaynak parametrelerine bağlı olarak oluşan kaynak ısısı girdisi nedeni ile ortaya çıkan metalürjik özellikler değerlendirilerek imle tanelerin yapısal değişimleri incelenmiştir.

Endüstriyel koşullarda elektrik direnç nokta kayna ı yöntemi kullanılarak elde edilen kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini incelemek üzere çekme deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca kaynak bölgesinin mikroyapısı ile kaynak bağlantısının enine kesitinde Vickers sertlik taraması yapılmıştır.

6.2. Çekme Makaslama Deneyi Sonuçları

Elektrik direnç nokta kayna ı uygulanmasında be farklı kaynak akımı (8, 8.5, 9, 9.5, 10 kA) ve üç farklı periyot (10, 12, 14p) kullanılmıştır. Alüminyum ala ımlı

malzemeler önce kendi aralarında sonra birbirleri arasından kaynaklanıp çekme testine tabii tutulmuşlardır. Deney numunelerinin çekme makaslama testi altındaki taşıyabildikleri yükler aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.1. AA5754 + AA5754 numunelerinin çekme makaslama testi değerleri

Elektrot Kuvveti (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Zamanı (periyot)	ÇEKME-MAKASLAMA DAYANIMI (N)			
			1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
2,50	8	10	660	690	620	656,67
		12	850	700	630	726,67
		14	970	1150	800	973,33
	8,5	10	960	1070	1020	1016,67
		12	1070	1440	1240	1250,00
		14	1130	1090	1320	1180,00
	9	10	1100	760	1530	1130,00
		12	1290	1030	1110	1143,33
		14	1370	1420	770	1186,67
	9,5	10	1550	1640	1470	1553,33
		12	1840	1630	1930	1806,67
		14	1520	1620	1950	1696,67
	10	10	1740	1510	1680	1643,33
		12	1600	1650	1690	1646,67
		14	1710	1580	1660	1650,00

Tablo 6.2. AA5754 + AA6061 numunelerinin çekme makaslama testi de erleri

Elektrot Kuvveti (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Zamanı (periyot)	ÇEKME-MAKASLAMA DAYANIMI (N)			
			1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
2,50	8	10	600	1020	1080	900,00
		12	780	1090	1120	996,67
		14	700	850	1130	893,33
	8,5	10	1140	1280	720	1046,67
		12	1250	1380	1200	1276,67
		14	990	1370	1180	1180,00
	9	10	1030	1420	770	1073,33
		12	1350	1310	1290	1316,67
		14	1400	1300	1420	1373,33
	9,5	10	1460	1410	1430	1433,33
		12	1570	1470	1540	1526,67
		14	1490	1380	1440	1463,33
	10	10	510	1570	1580	1220,00
		12	640	1660	1320	1206,67
		14	1170	1200	1220	1196,67

Tablo 6.3. AA6061 + AA6061 numunelerinin çekme makaslama testi de erleri

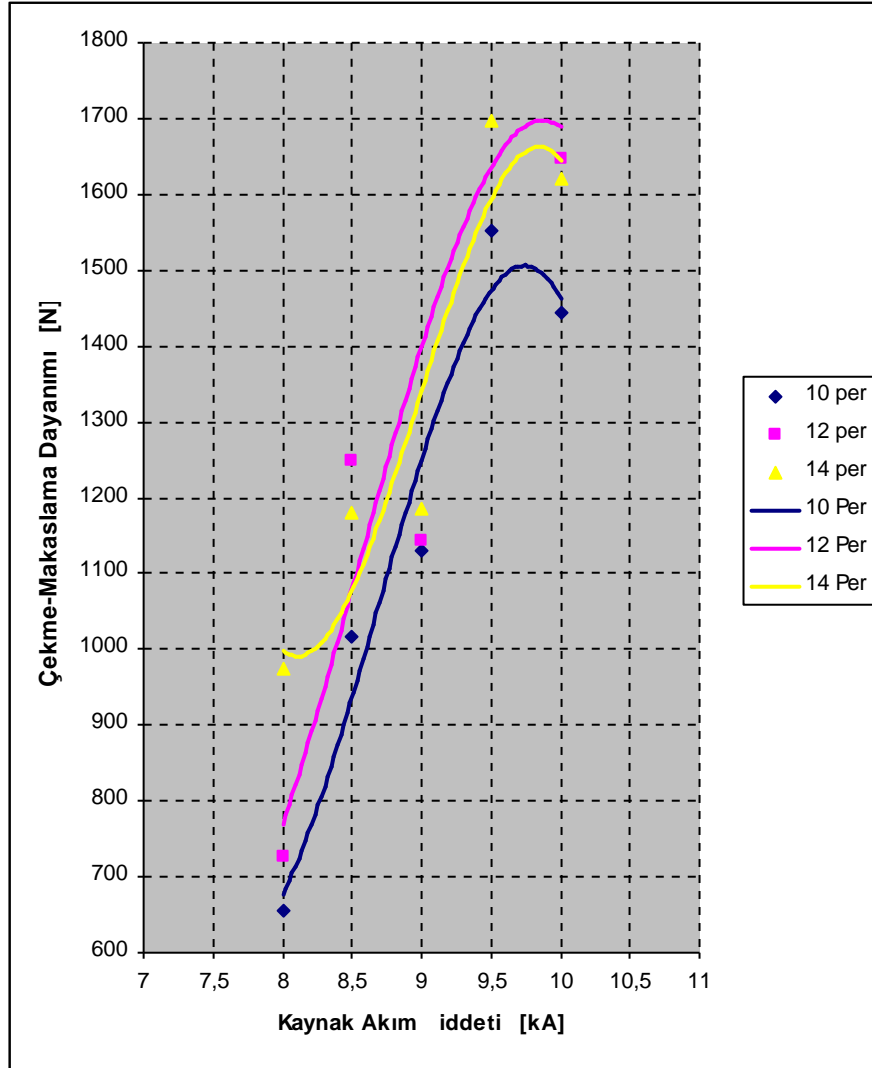
Elektrot Kuvveti (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Zamanı (periyot)	ÇEKME-MAKASLAMA DAYANIMI (N)			
			1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
2,50	8	10	540	940	820	766,67
		12	790	980	1080	950,00
		14	910	1280	700	963,33
	8,5	10	860	1100	1090	1016,67
		12	1370	1440	1290	1366,67
		14	1310	1310	1580	1400,00
	9	10	1490	1460	1530	1493,33
		12	1330	1550	1550	1476,67
		14	1500	1320	1580	1466,67
	9,5	10	1430	1580	1430	1480,00
		12	1430	1470	1580	1493,33
		14	1570	1610	1830	1670,00
	10	10	1300	1790	1570	1553,33
		12	1290	1430	1570	1430,00
		14	1540	1310	1370	1406,67

A a ıda test sonuçlarında ortaya çıkan kopma türlerine örnekler verilmi tir.

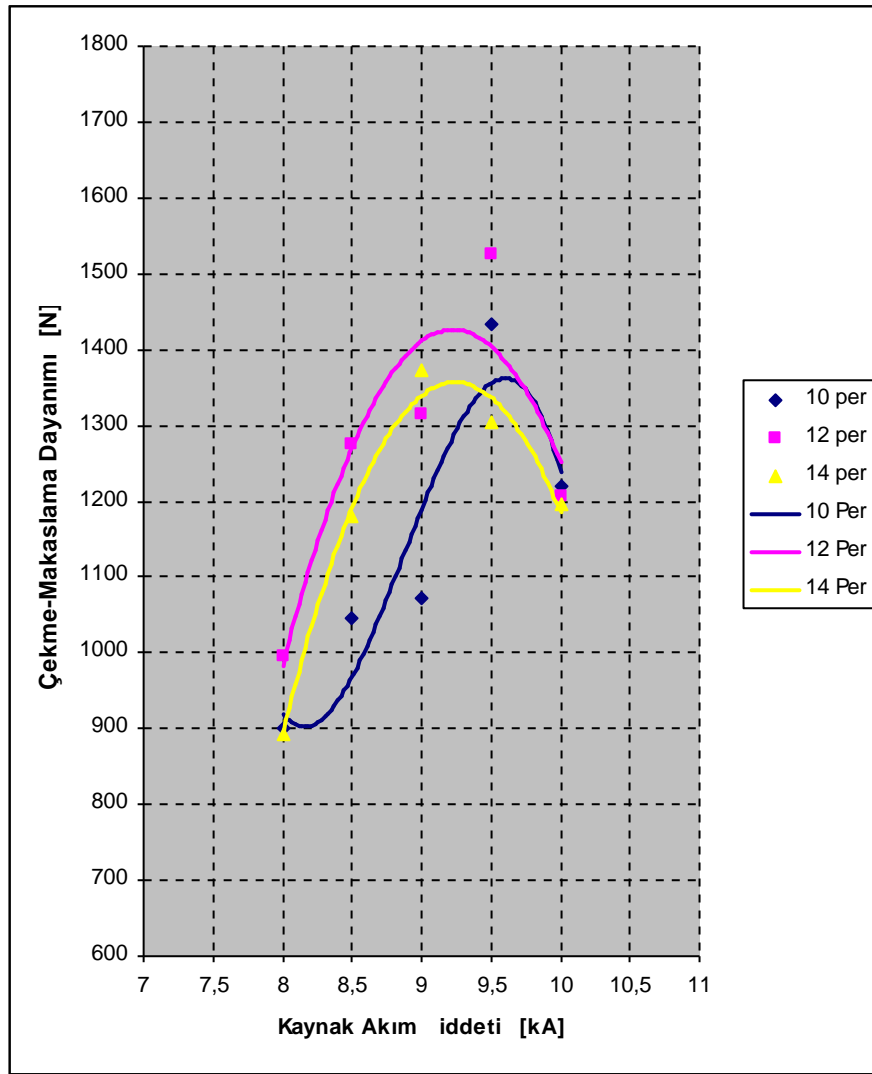


ekil 6.1.Çekme makaslama testinde ortaya çıkan kopma türlerine örnekler

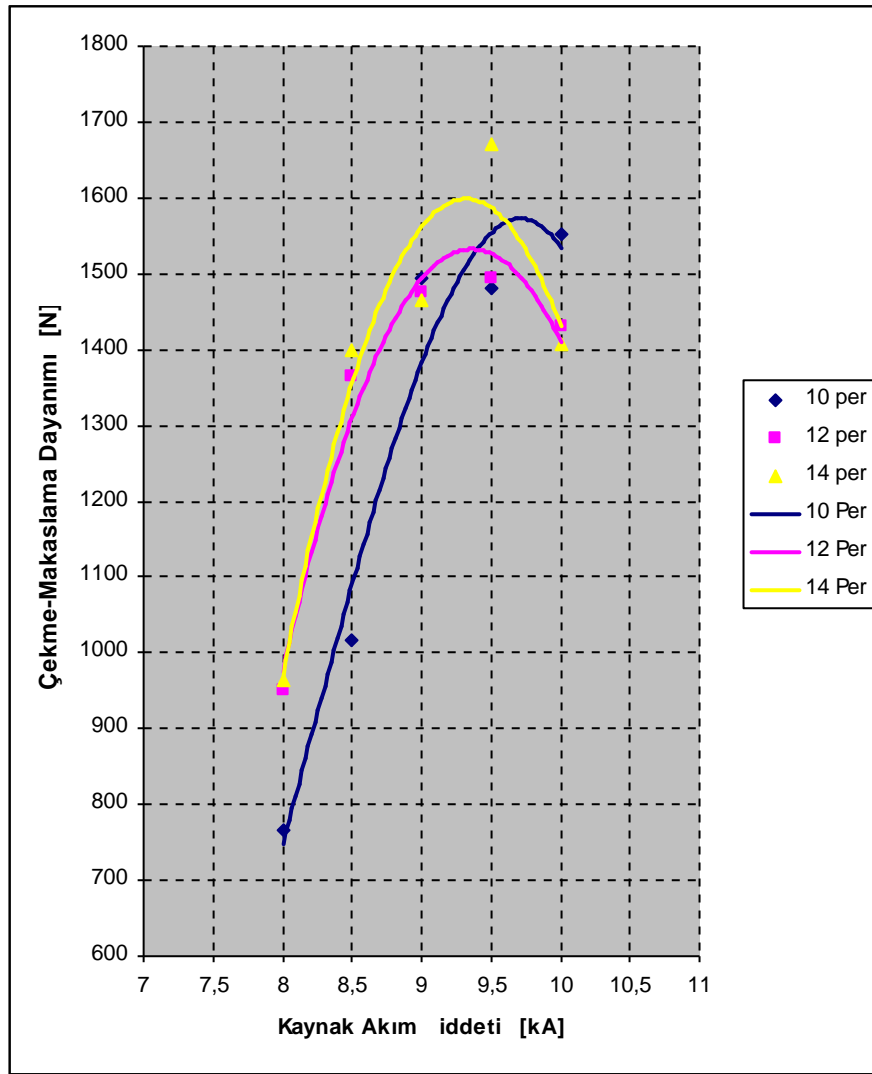
Çekme makaslama deneyi sonuçları a a ıda kaynak akımının etkisi ve kaynak zamanının etkisi göze alınarak grafiklerle kar ıla tırılmı tır.



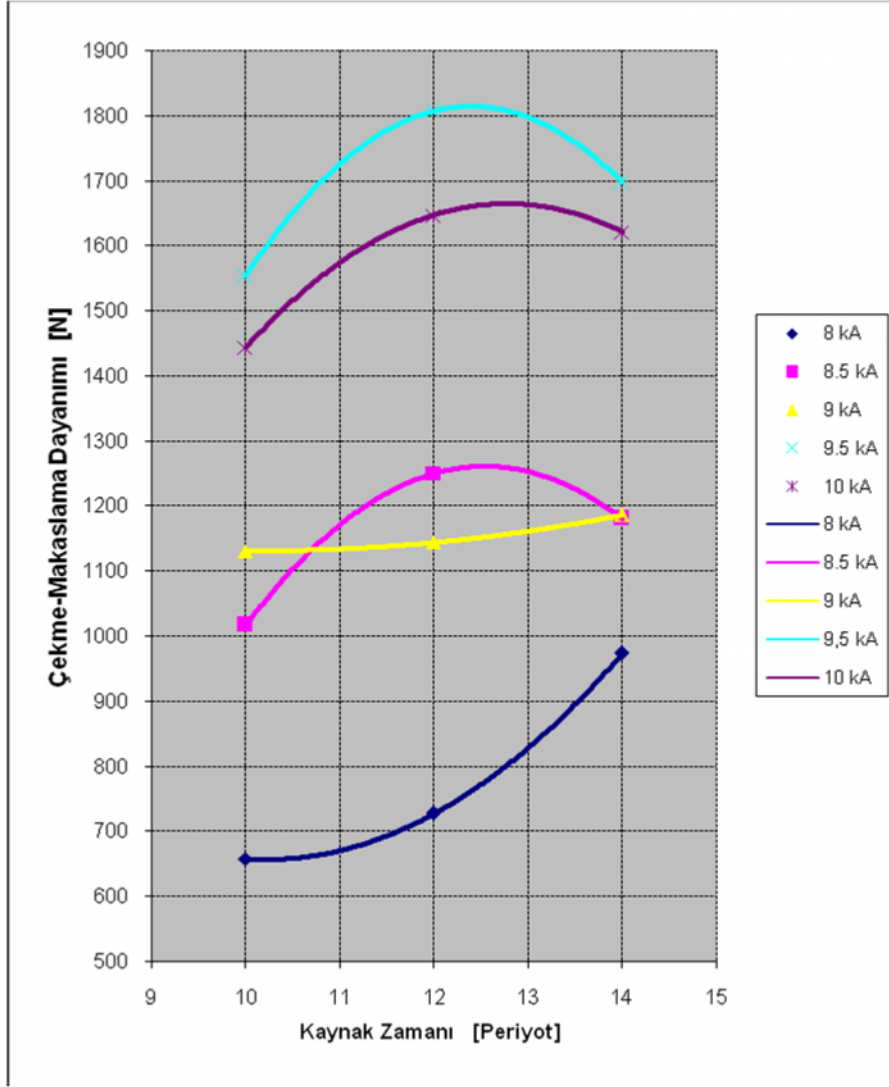
ekil 6.2. Kaynak akımının AA5754+AA5754 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi



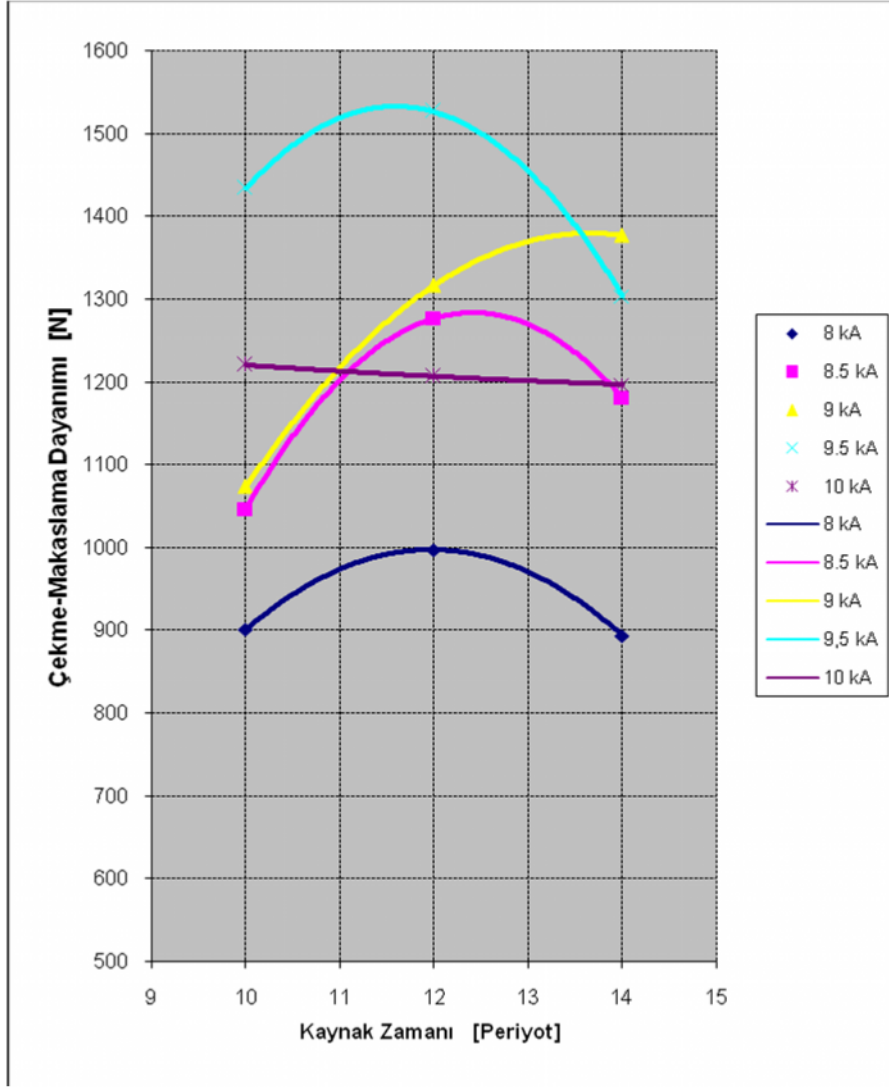
ekil 6.3. Kaynak akımının AA5754+AA6061 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi



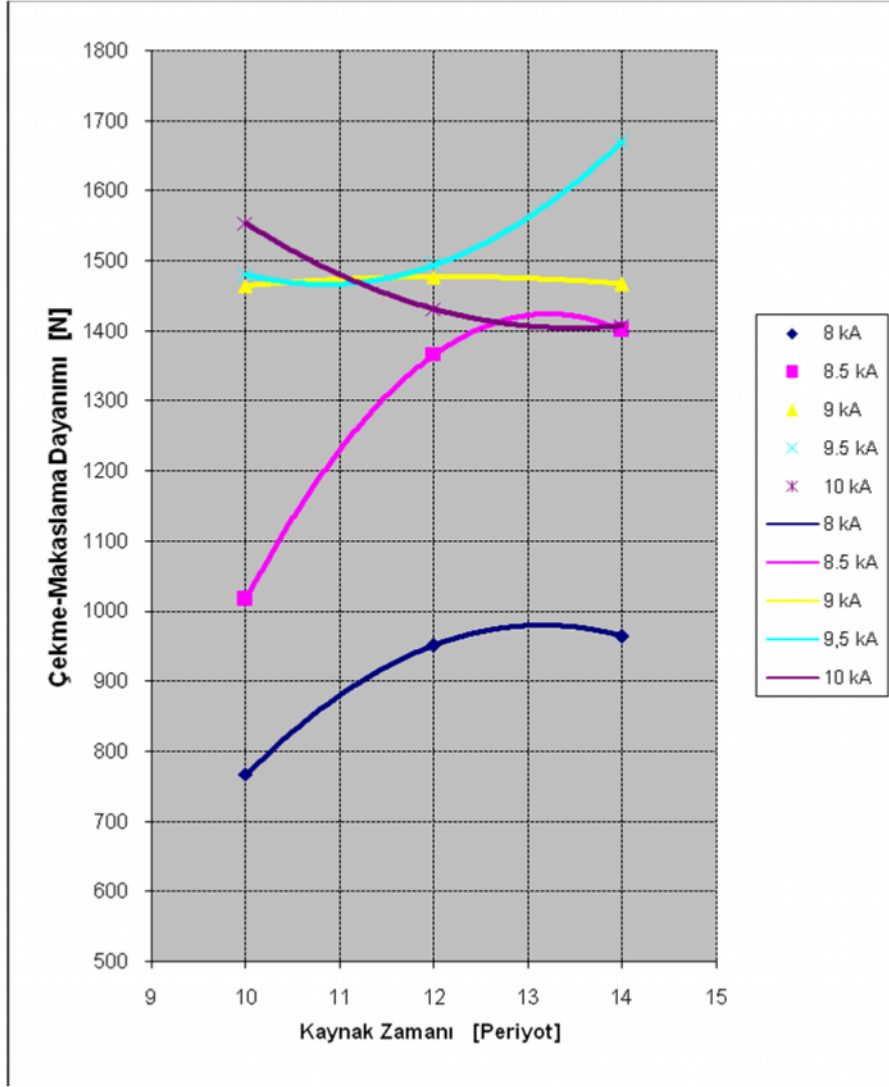
ekil 6.4. Kaynak akımının AA6061+AA6061 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi



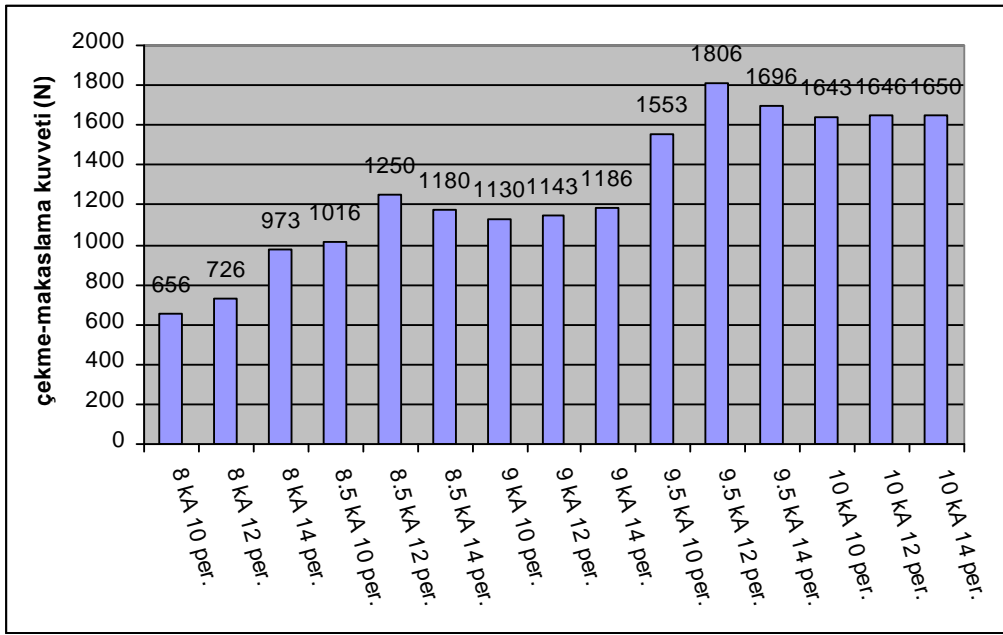
ekil 6.5. Kaynak zamanının AA5754+AA5754 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi



ekil 6.6. Kaynak zamanının AA5754+AA6061 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi

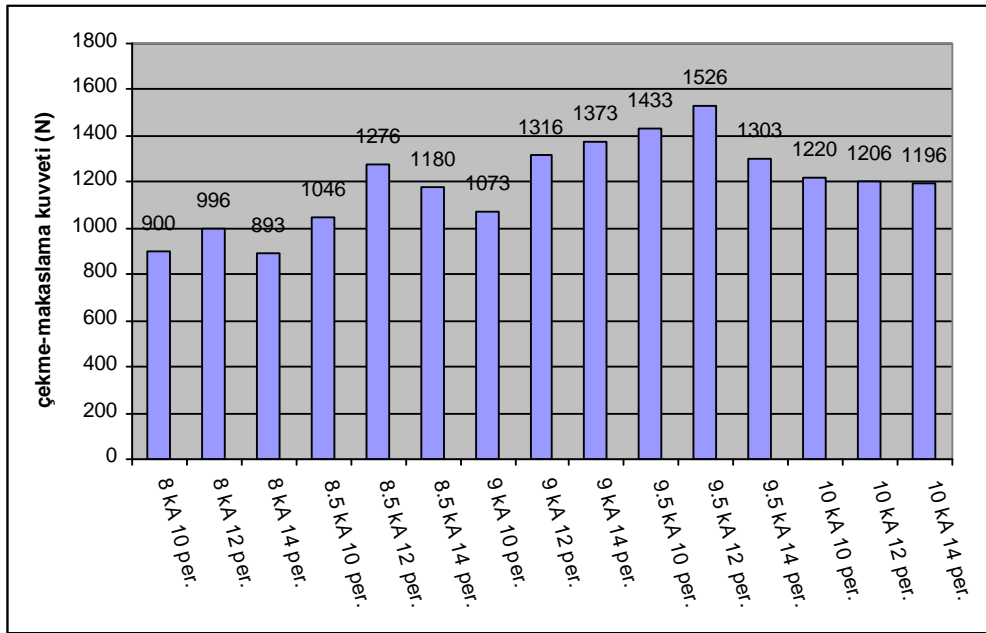


ekil 6.7. Kaynak zamanının AA6061+AA6061 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi



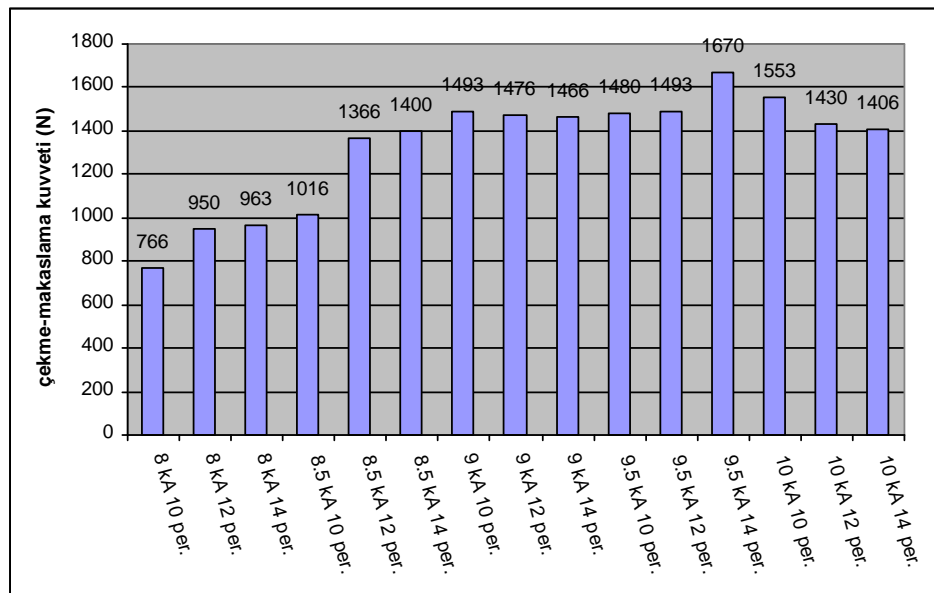
ekil 6.8. Kaynak akımı ve periyodunun AA5754+AA5754 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi

Yukarıdaki grafikleri incelendi inde AA5754-5754 alüminyum ala ımlarının kaynaklı birle iminde en yüksek çekme-makaslama de erine 9.5 kA, 12 periyotta ula ılmı tır.Bu de erin altında kaynaklı ba lantı zayıflık göstermi tir.Optimum de erin üstüne çıkıldı nda önce kaynak bölgesi etrafında sıçramalar görülmü tür.Daha da üst de erlerine çıkıldı nda malzeme çiftleri delindi i gözlemlenmi tir. Ayrıca ekil.6.8 den görülece i üzere kaynaklı ba lantıların çekme-makaslama de erleri 9.5 kA, 12 periyoda kadar artıp azaldı ı, fakat bu de erde maksimuma ula tı ı görülmektedir.Bu dalgalanmanın kaynak parametreleri olan kaynak akımı ve çevrim süresinin birbiri ile ili kili oldu unun göstergesidir.Yalnız kaynak akımının yüksek olması sa lam birle me için yeterli de ildir.Bunun yanında yeterli kaynak çevriminde yakalaması gerekmektedir.



ekil 6.9. Kaynak akımı ve periyodunun AA5754+AA6061 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi

ekil.6.9 dan görülece i üzere, AA5754-6061 alüminyum ala ımlarının kaynaklı birle imlerinde en yüksek çekme-makaslama de erine 9.5 kA 12 periyotta ula ıldı ı görülmü tür.Bu de erden sonra malzemede sıçramalar görülerek çekme-makaslama kuvvetinde dü ü ba lamı tır.



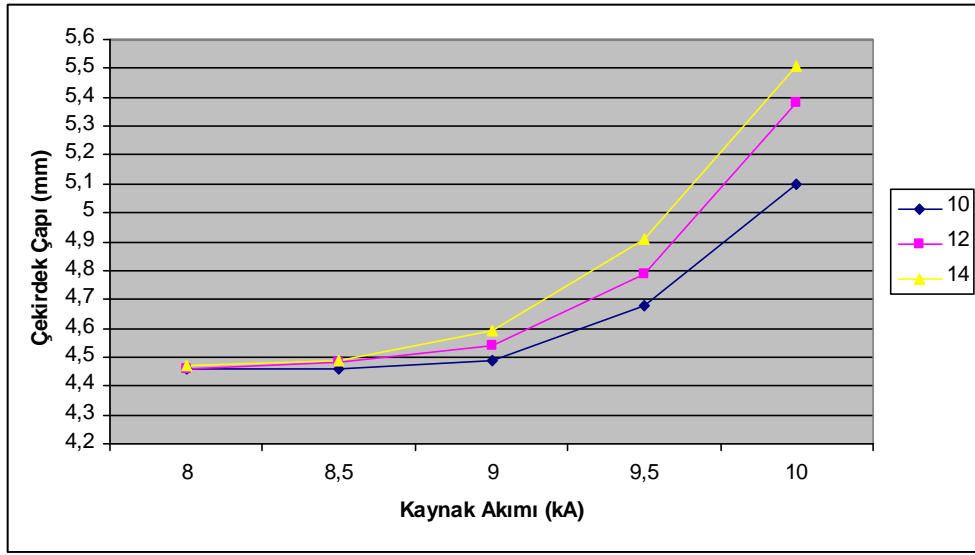
ekil 6.10. Kaynak akımının AA6061+AA6061 malzeme birle iminde çekme makaslama dayanımına etkisi

ekil 6.10 incelendi inde AA6061-6061 alüminyum alaımlarının kaynaklı birleimlerinde maksimum çekme-makaslama de erlerinin 9.5 kA, 14 periyotta meydana geldi i gözlemlenmi tir. Bunun nedeni olarak AA6061 alüminyum ala ımın AA5754 alüminyum ala ımına göre daha fazla ısı girdisine ihtiyaç duymas ıdır. Deneylerden alınan sonuçlarda bu do rultuda olmu tur. Aynı zamanda AA 6061 alüminyum ala ımı daha yüksek ısıl iletkenli e sahip olmasından dolayı kaynak esnasında olu an ısı daha çabuk yayılmaktadır. Bunun sonucunda ise sa lıklı kaynak yapılabilmesi için ısı girdisinin bir miktar daha uzun tutulması gerekmektedir.

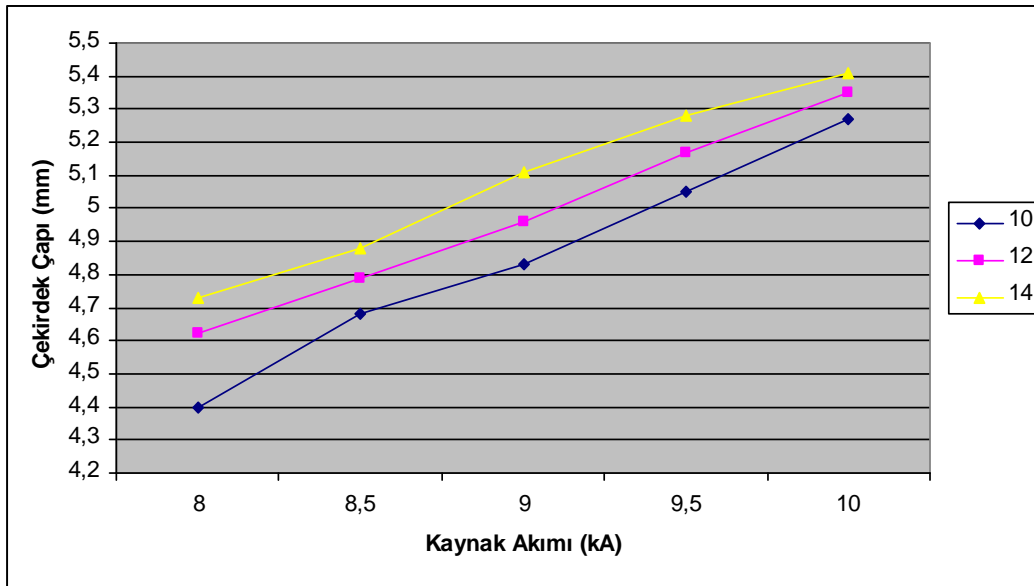
Çekme-makaslama deney sonuçlarından alınan veriler göstermektedir ki, . Artan ısı üretiminin akım yo unlu unun yükselmesine neden olmasıyla birlikte kaynak noktası daha büyük çaplı olu makta ve kaynak diki inin mukavemeti de artmaktadır. Bu durum direnç nokta kayna ı konusunda daha önce yapılmı çalı malar ile uyumlu bir sonuçtur [41].

6.3. Çekirdek Çapı Ölçümü Sonuçları

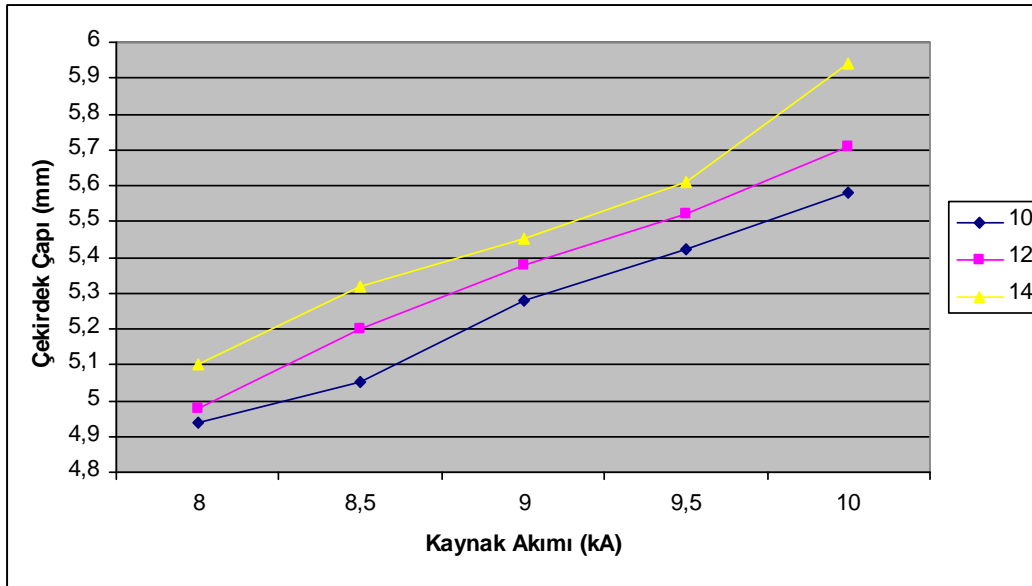
Çekirdek çapı ölçümleri, kaynak çekirde ini enine ve boyuna dijital kumpas yardımı ile ölçölüp ortalamasının alınmasıyla bulunmu tur. A a ıda kaynak çekirde i boyutları grafiklerle kar ıla tırmalı olarak verilmi tir.



ekil 6.11. Kaynak akımının AA5754 +AA5754 malzeme birle iminde çekirdek çapına etkisi



ekil 6.12. Kaynak akımının AA5754 +AA6061 malzeme birle iminde çekirdek çapına etkisi

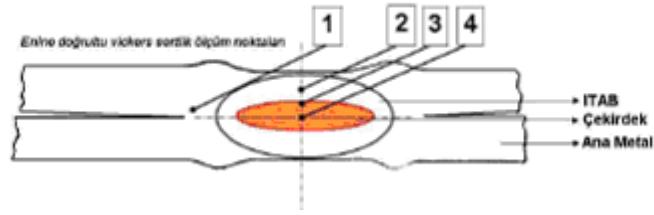


ekil 6.13. Kaynak akımının AA5754 +AA6061 malzeme birle iminde çekirdek çapına etkisi

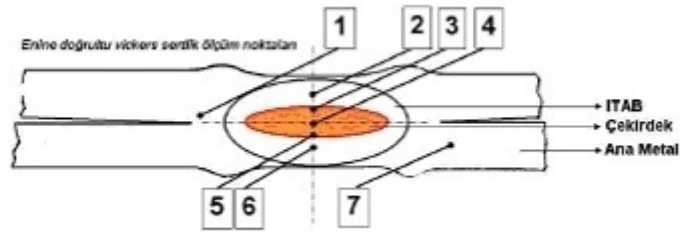
ekil 6.11-13 incelendi inde artan kaynak akımı ve buna ba lı olarak artan ısı miktarı sonucunda kaynak çekirdek çapının arttı ı gözlemlenmi tir.Kaynak akımının ve periyodunun artması sonucunda mevcut elektrot kuvvetinin (2.5 kN) çekirdek çapının artmasında yardımcı etken oldu u da söylenebilir.

6.4. Mikrosertlik Deneyi Sonuçları

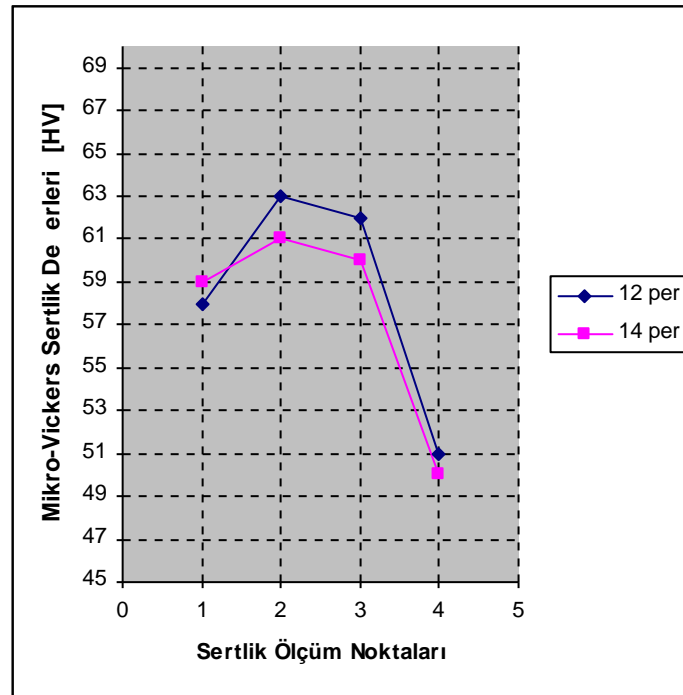
Mikrosertlik ölçümleri kaynak noktasına enine kesitin ekseninde ve 1 mm aralıklarla yapılmı tır.Mikro sertlik ölçümleri için çekme-makaslama testlerine göre maksimum kaynak performansının bulundu u de erlere yakın 24 adet numune seçilerek gerçekleştirilmi tir. Bu ölçümler aynı malzemeden olu an deney numunelerinde ekil 6.14 deki gibi, farklı malzemelerden olu an deney numuneleri ise ekil 6.15 deki gibi alınarak sertlik ölçümü tamamlanmı tır.



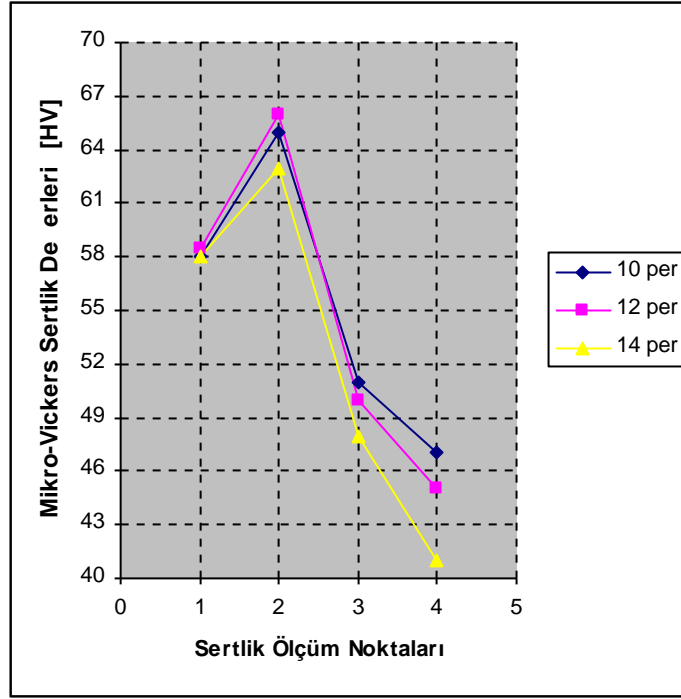
ekil 6.14 Aynı malzeme çiftlerinden oluşan numunelerin Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı noktalarınematik gösterimi



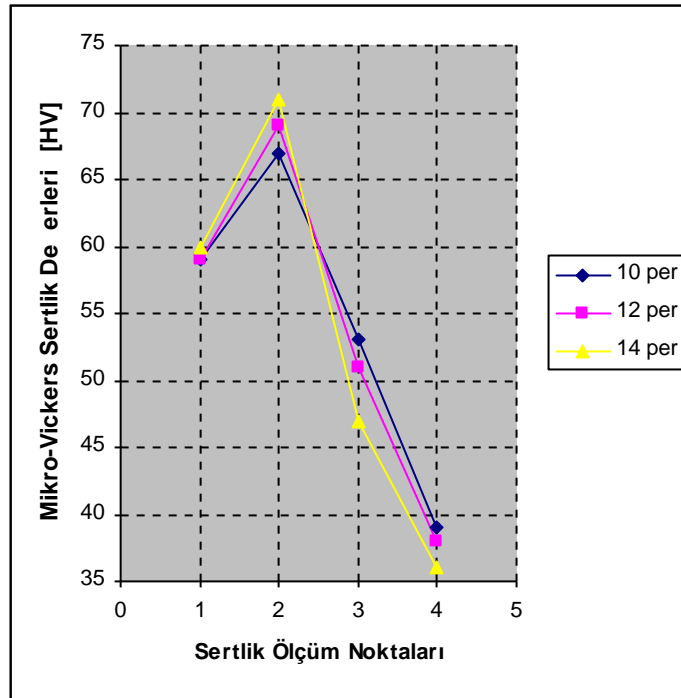
ekil 6.15 Farklı malzeme çiftlerinden oluşan numunelerin Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı noktalarınematik gösterimi



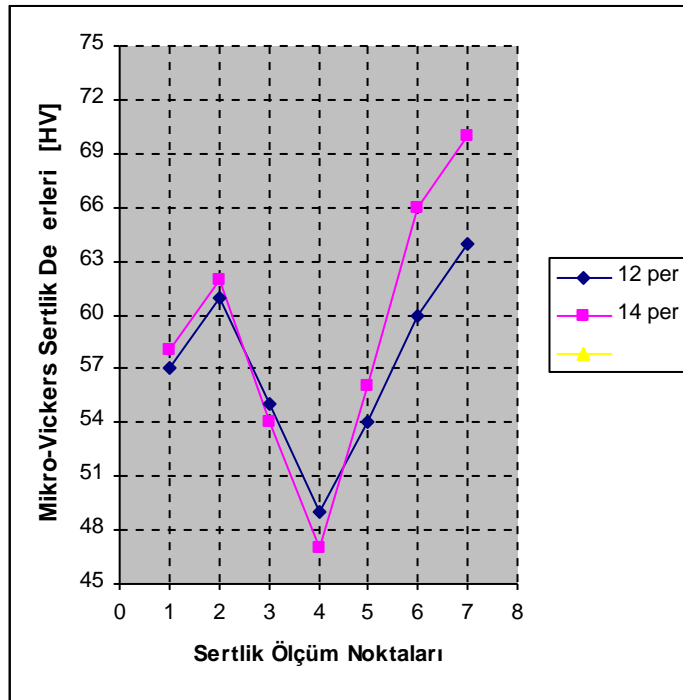
ekil 6.16. AA 5754-5754 malzeme birleşimi, 9 kA, 12,14 Per. sertlik değerini



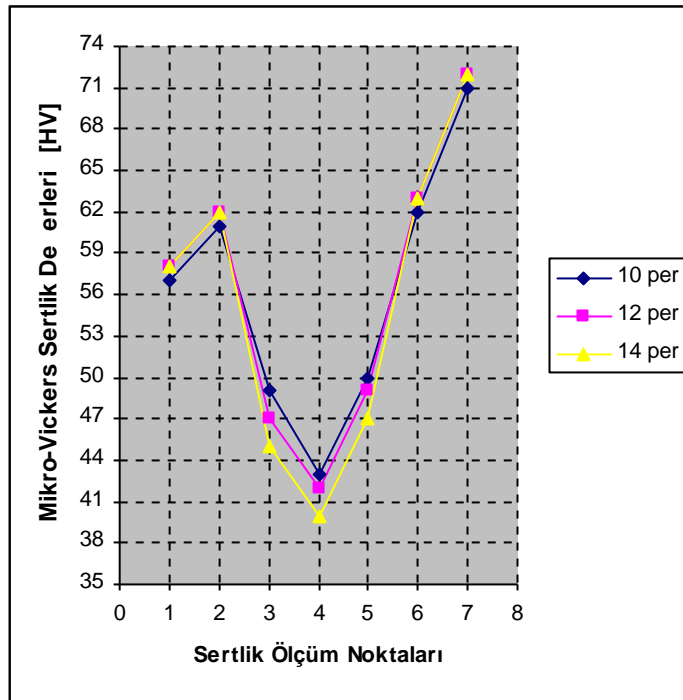
ekil 6.17. AA5754-5754 malzeme birleimi, 9.5 kA, 10,12,14, Per. sertlik değeri



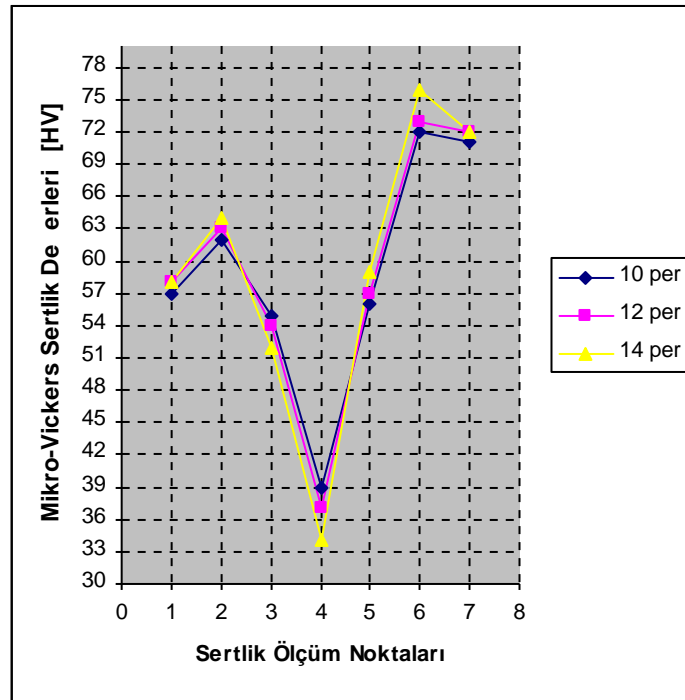
ekil 6.18. AA5754-5754 malzeme birleimi, 10 kA, 10,12,14, Per.sertlik değeri



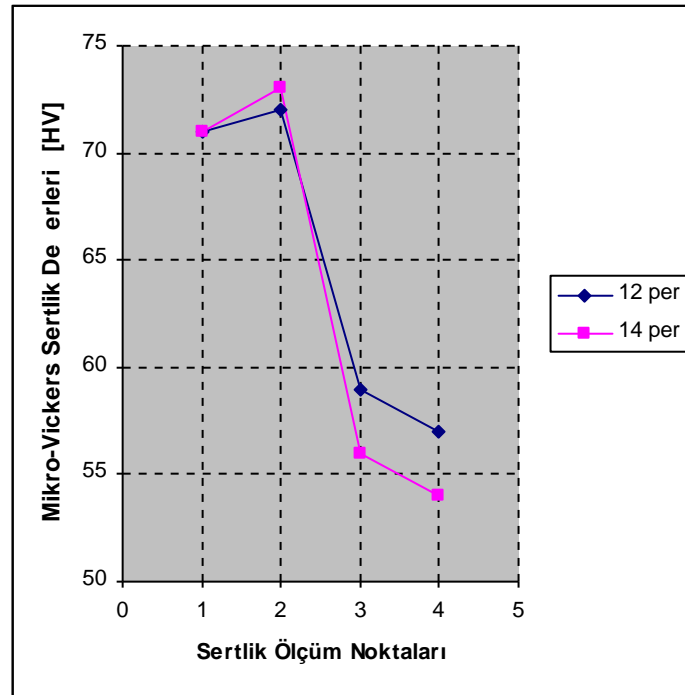
ekil 6.19. AA5754-6061 malzeme birle imi, 9 kA, 12,14, Per. sertlik de i imi



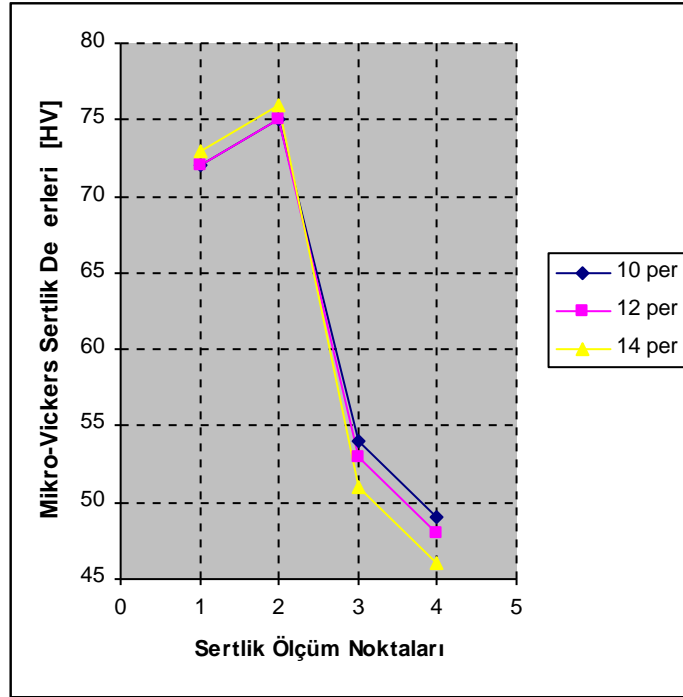
ekil 6.20. AA5754-6061 malzeme birle imi, 9.5 kA, 10,12,14, Per. sertlik de i imi



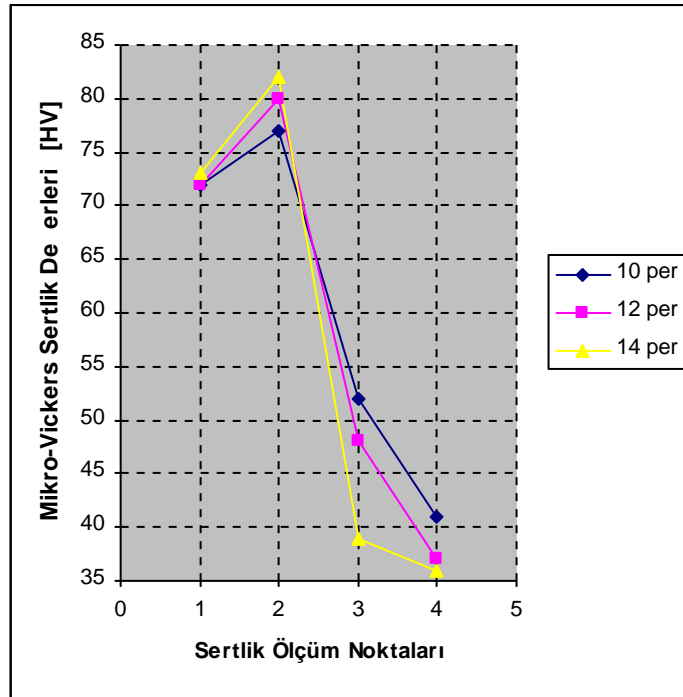
ekil 6.21.AA 5754-6061 malzeme birle imi, 10 kA, 10,12,14, Per. sertlik de i imi



ekil 6.22.AA 6061-6061 malzeme birle imi, 9 kA, 12,14, Per. sertlik de i imi



ekil 6.23.AA 6061-6061 malzeme birle imi, 9.5 kA, 10,12,14, Per. sertlik de i imi



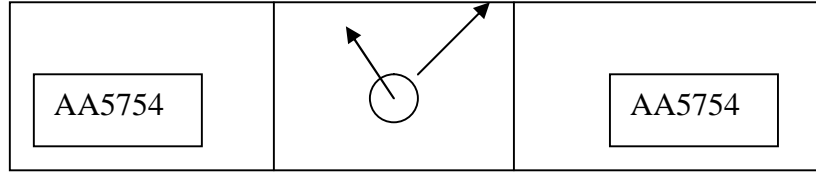
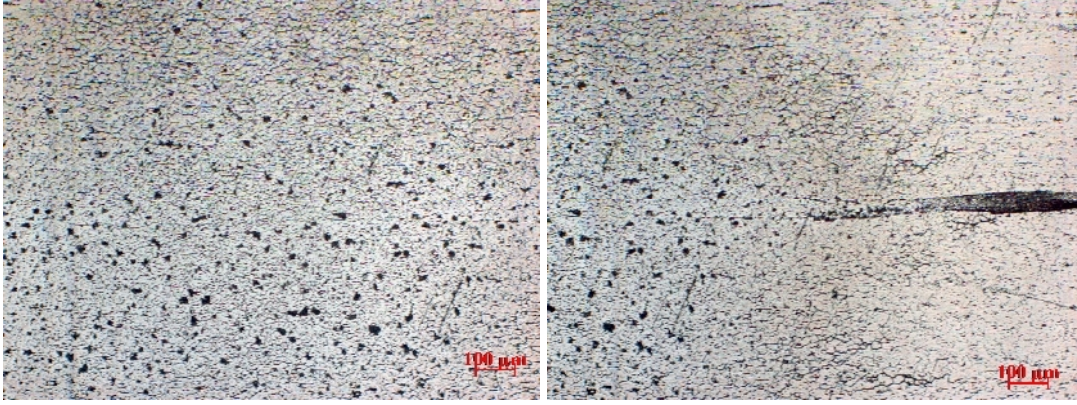
ekil 6.24.AA 6061-6061 malzeme birle imi, 10 kA, 10,12,14, Per. sertlik de i imi

Yukarıdaki grafikler incelendi inde esas metalden kaynak merkezine yakla ıldııkça sertli in önce arttı ı kaynak merkezine do ru ise giderek dü tü ü görülmektedir.Bunun nedeni yüksek akımda malzemeye giren ısı miktarının fazla olmasından dolayı kaynak bölgesinin so uması yava olmakta ve bu da sertli i dü ürmekte etken olmaktadır. Literatürde bunun sebebinin maruz kalınan yüksek sıcaklıkla birlikte mevcut dislokasyonların azalması ve mukavemetlendirici çökeltilerin irile erek sertle tirici etkilerinin azalması olarak belirtilmektedir. Tane boyutu rafinasyonu sa lanarak; sertlik dü ü ü daha da azaltılabilir.[1]

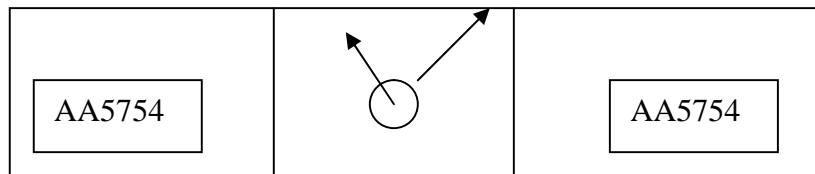
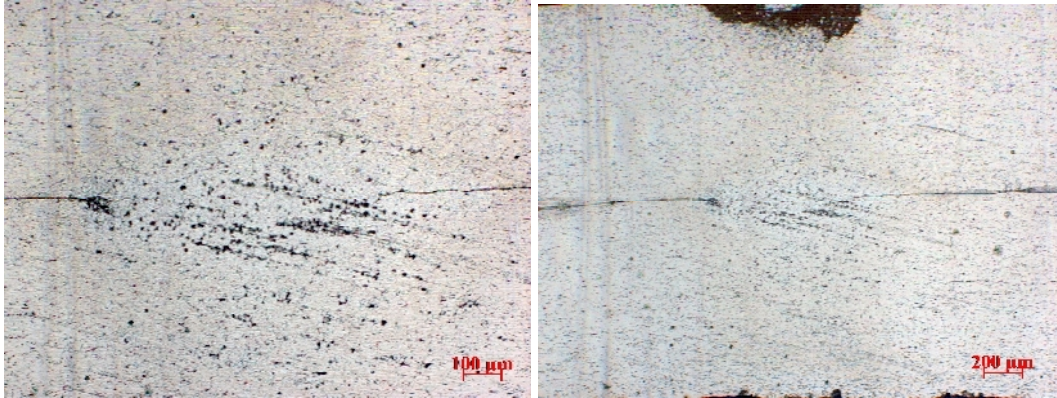
Ayrıca sertlik sonuçları ile ilgili elde edilen veriler daha önceki çalı malardaki sonuçlarla paralellik gösterdi i tespit edilmi tir.[35,41]

6.5. Mikroyapı ncelemeleri Sonuçları

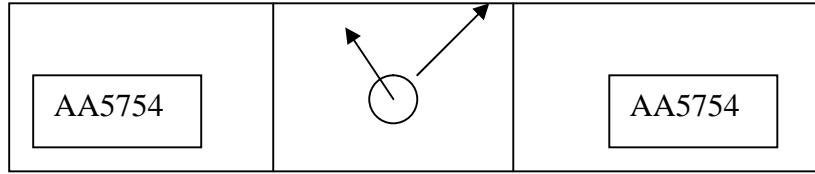
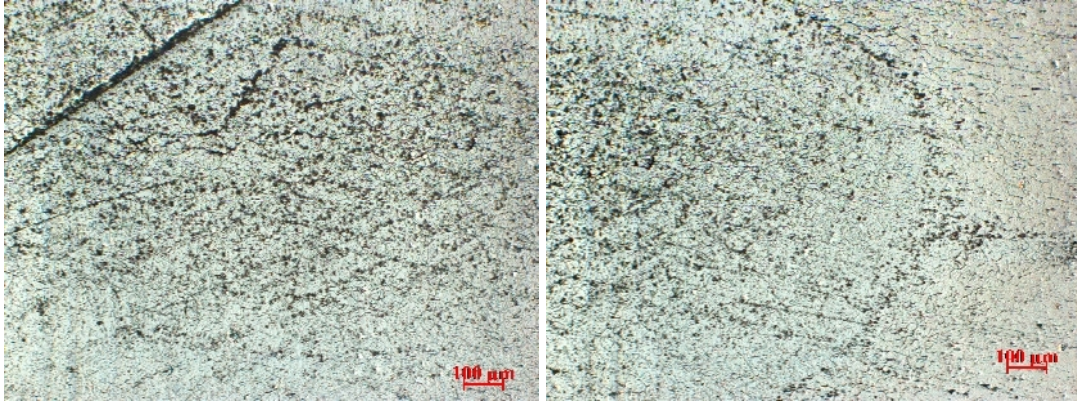
Farklı kaynak parametrelerinde direnç nokta kayna ı ile birle tirilmi AA5754-5754, AA5754-6061 ve AA6061-6061 çiftine ait ba lantılardan mikroyapı incelemeleri için hazırlanan toplam 24 adet numunenin kaynak kesitlerine optik mikroskop kullanılarak x100 büyütme yapımı ve ITAB ile kaynak çekirde i bölgesinde olu an mikroyapı görüntüleri elde edilmi tir. Çekilen mikroyapı görüntüleri a a ıda verilmi tir.



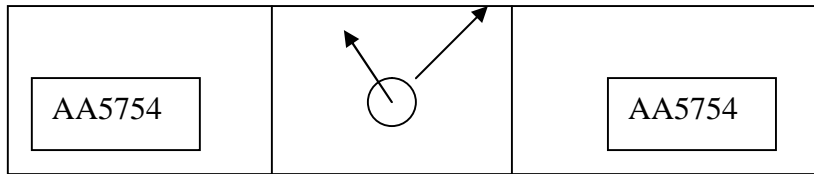
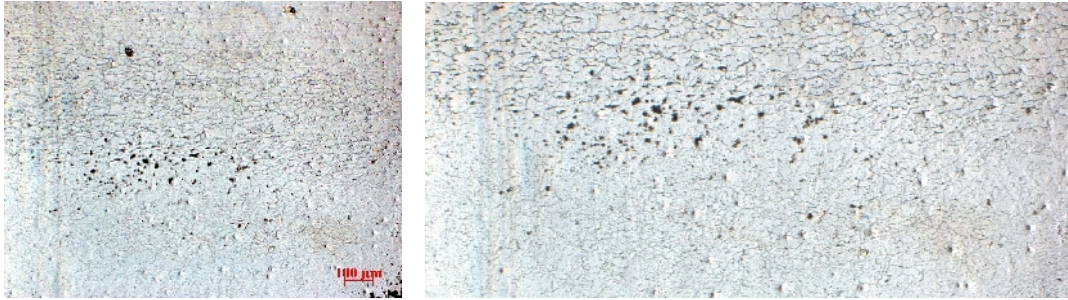
ekil 6.25. 9 kA kaynak akım ıddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



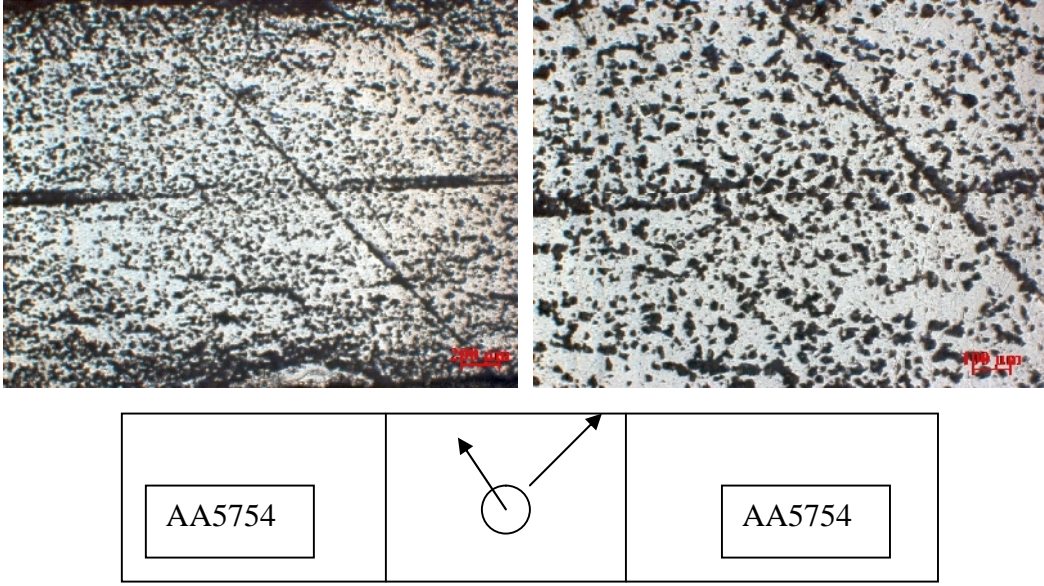
ekil 6.26. 9 kA kaynak akım ıddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



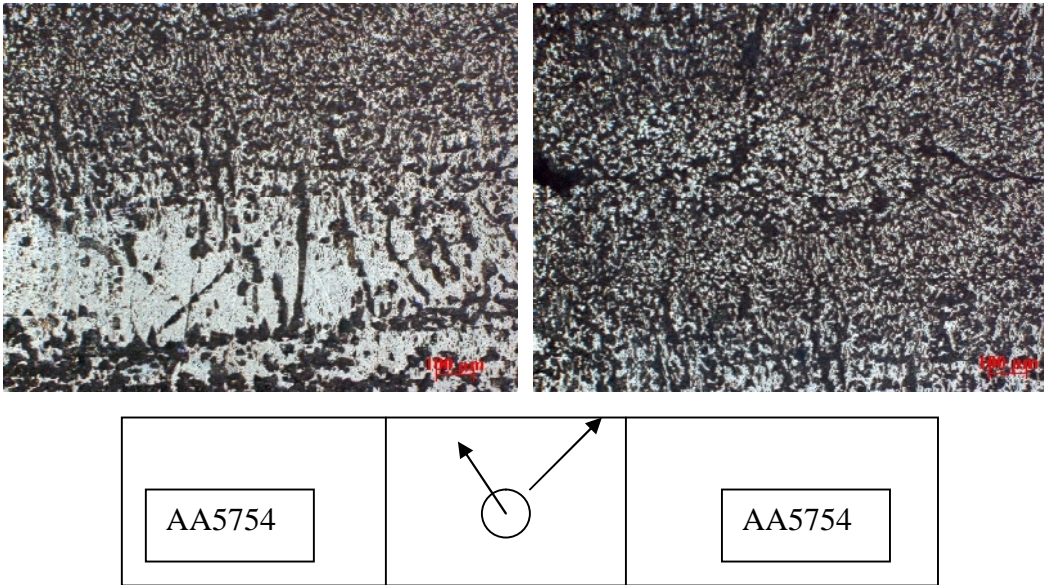
Resim 6.27. 9.5 kA kaynak akım şiddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



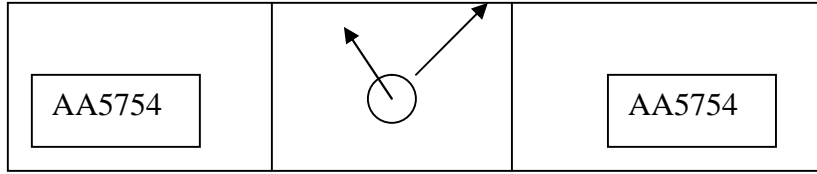
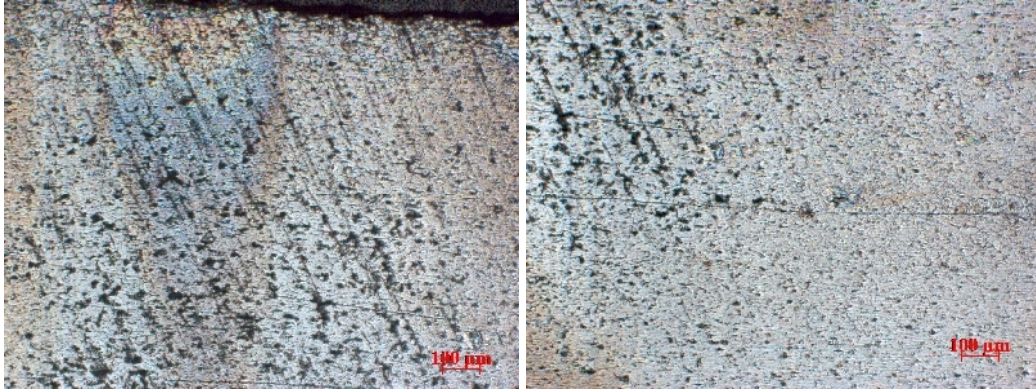
Resim 6.28. 9.5 kA kaynak akım şiddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



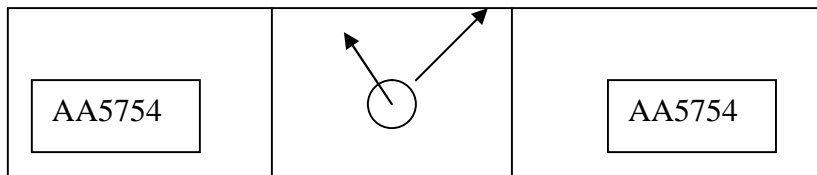
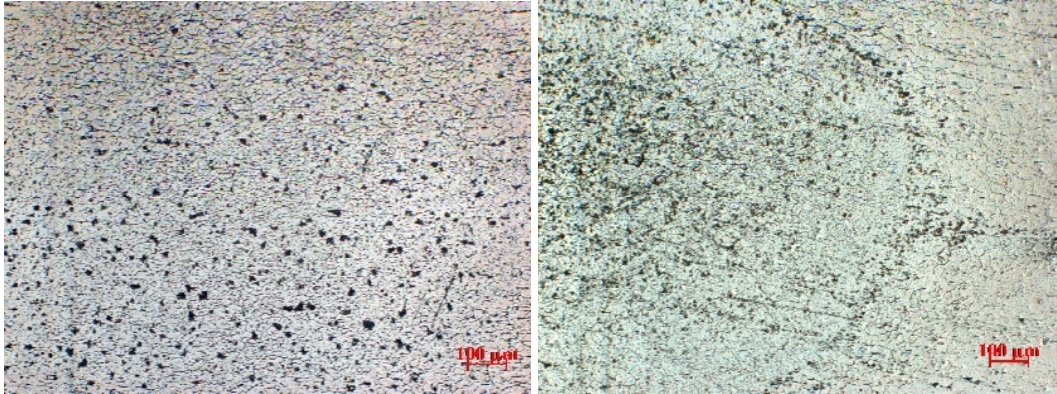
ekil 6.29. 9.5 kA kaynak akım şiddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



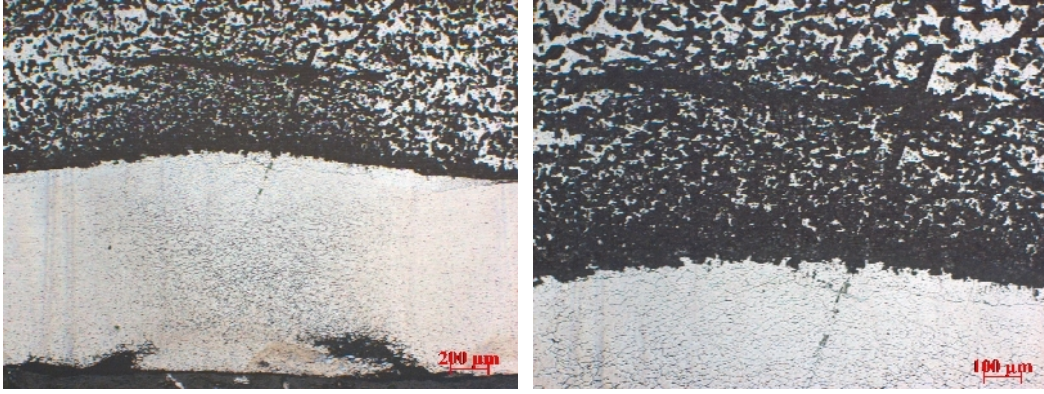
ekil 6.30. 10 kA kaynak akım şiddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



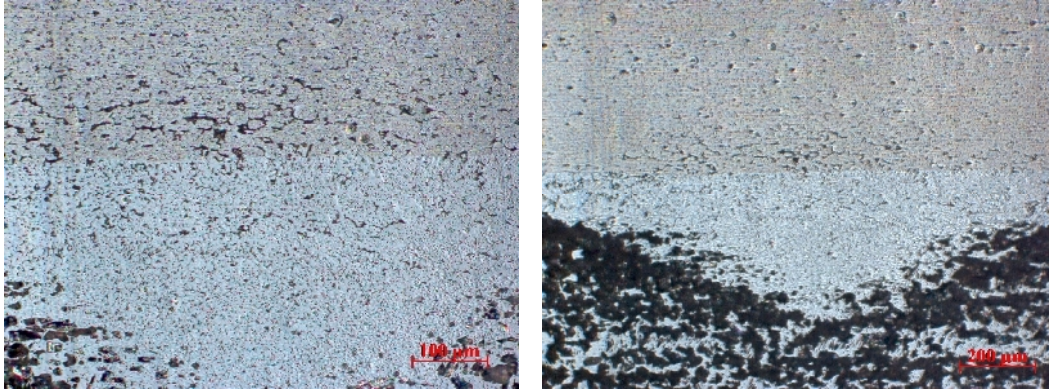
Şekil 6.31. 10 kA kaynak akım şiddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



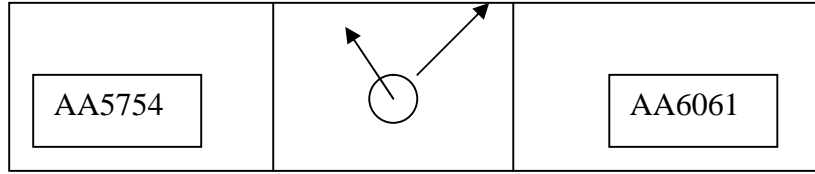
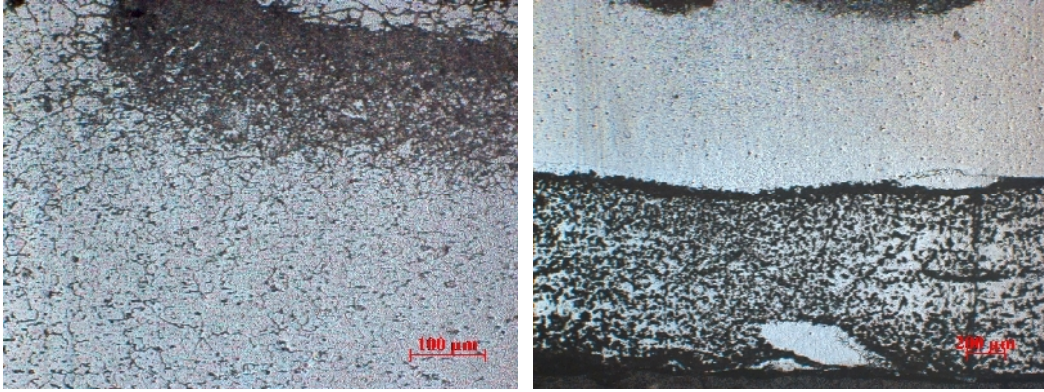
Şekil 6.32. 10 kA kaynak akım şiddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-5754 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



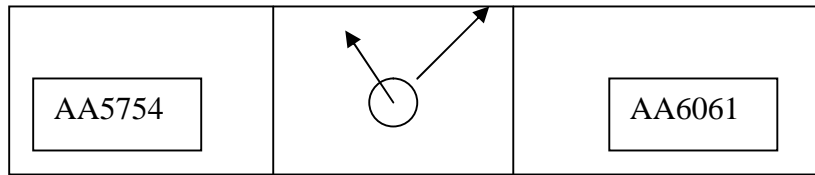
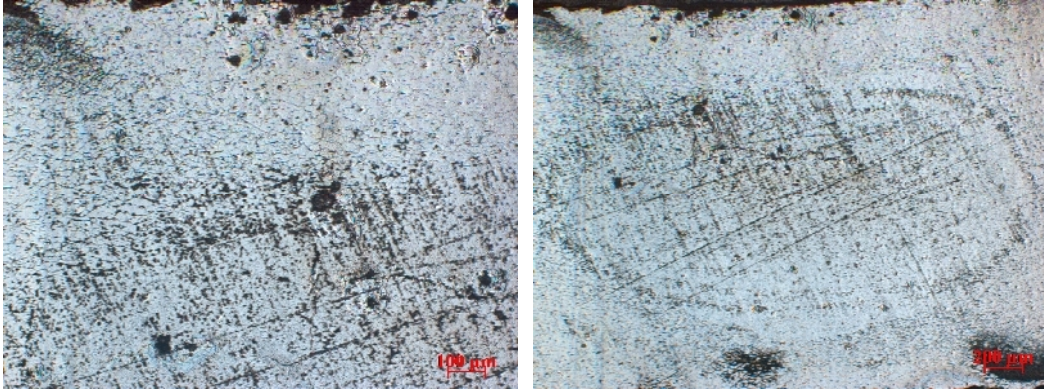
ekil 6.33. 9 kA kaynak akım ıddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



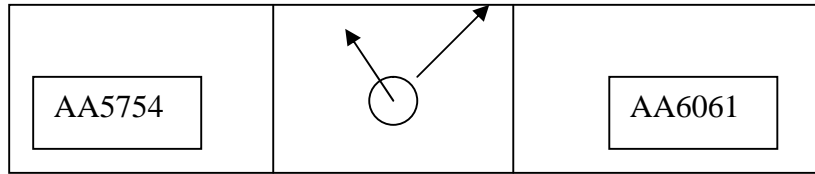
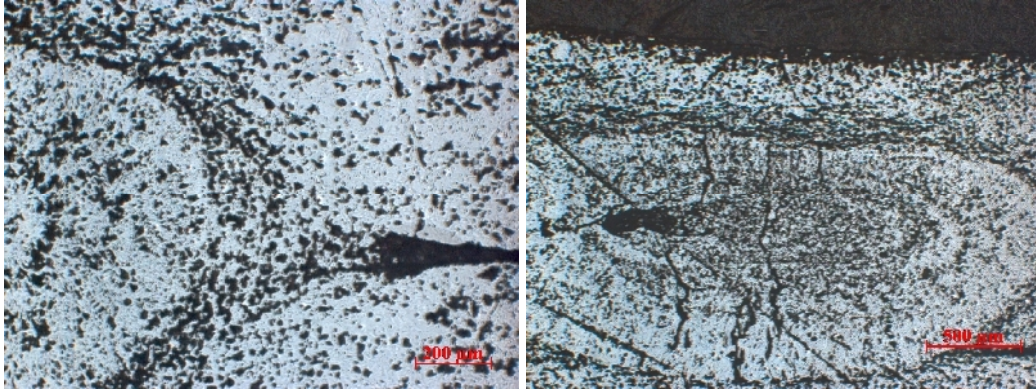
ekil 6.34. 9 kA kaynak akım ıddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kayna ı ile bile tirilmi AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



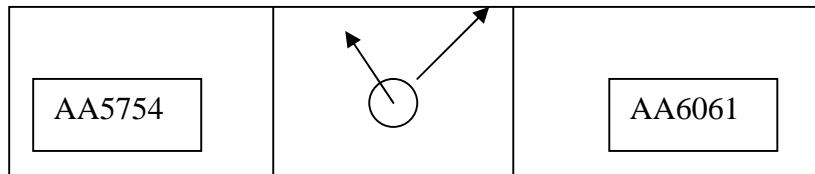
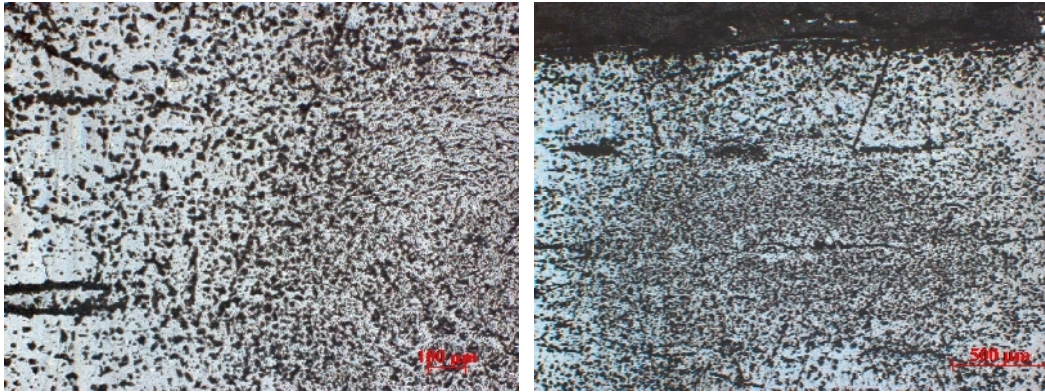
ekil 6.35. 9.5 kA kaynak akım şiddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



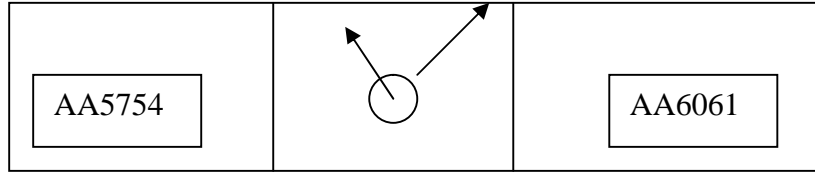
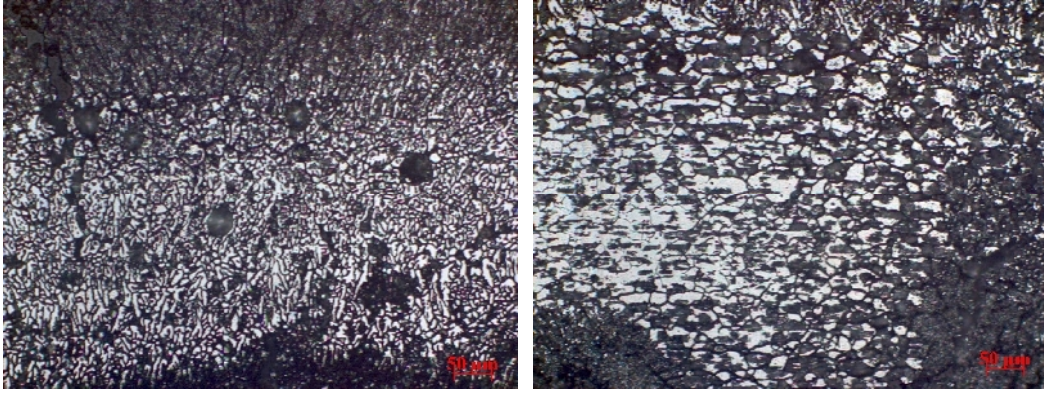
ekil 6.36. 9.5 kA kaynak akım şiddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



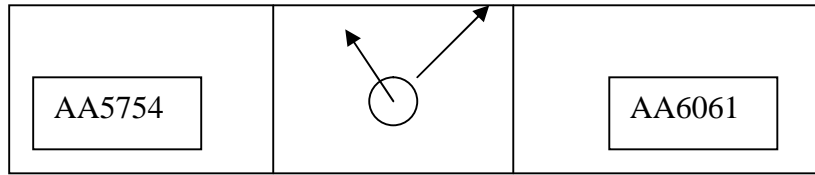
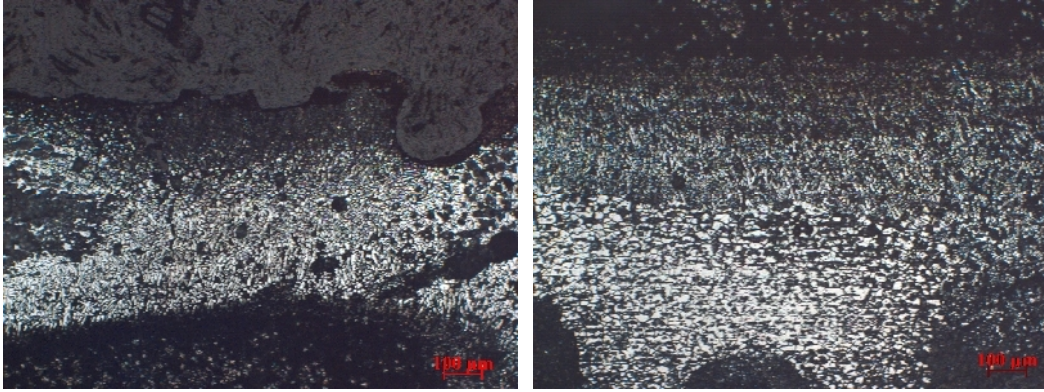
ekil 6.37. 9.5 kA kaynak akım şiddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



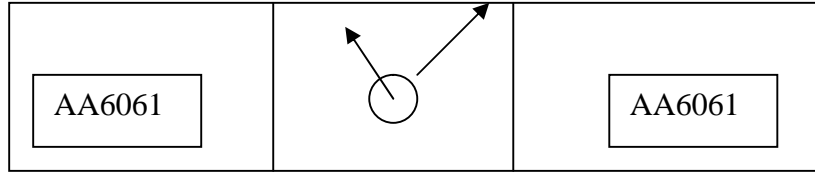
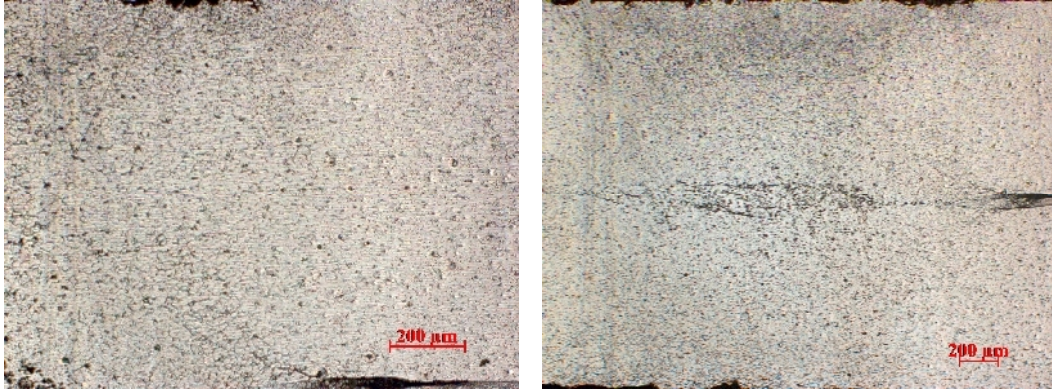
ekil 6.38. 10 kA kaynak akım şiddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



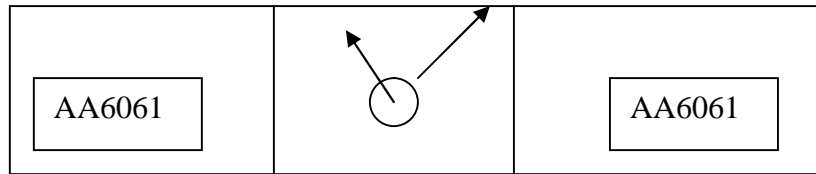
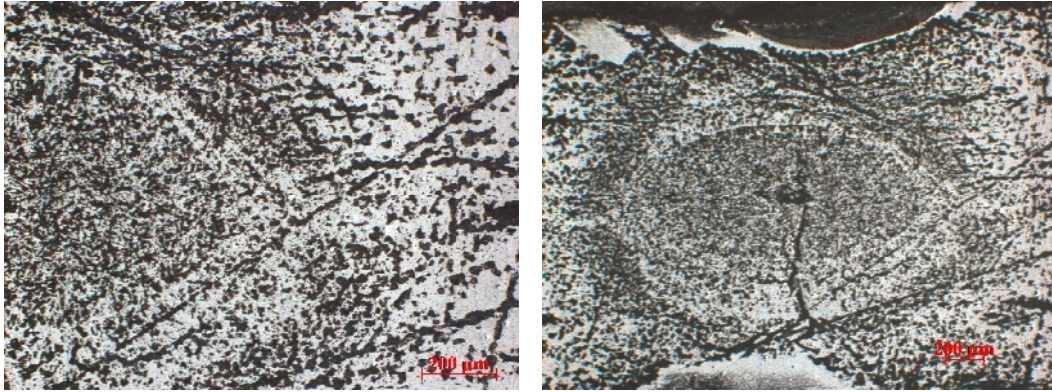
ekil 6.39. 10 kA kaynak akım şiddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



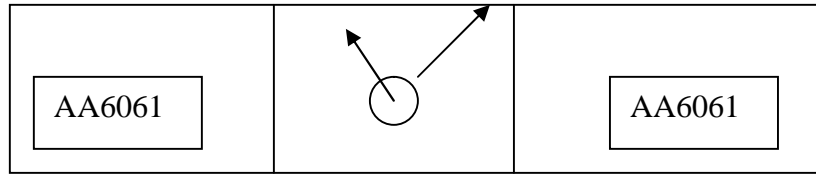
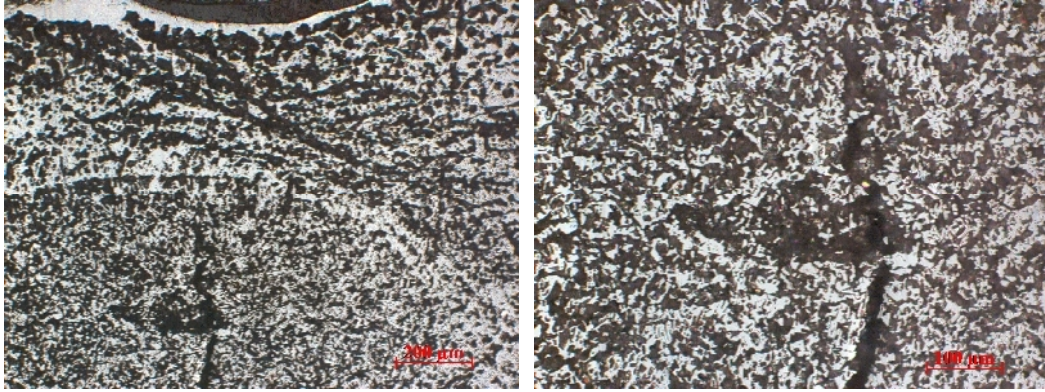
ekil 6.40. 10 kA kaynak akım şiddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA5754-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



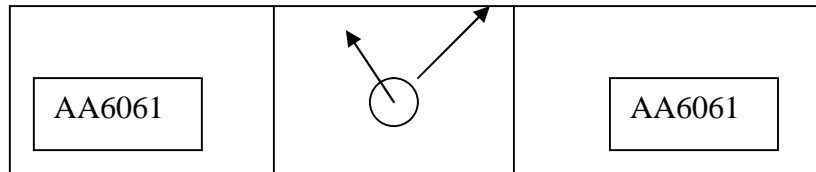
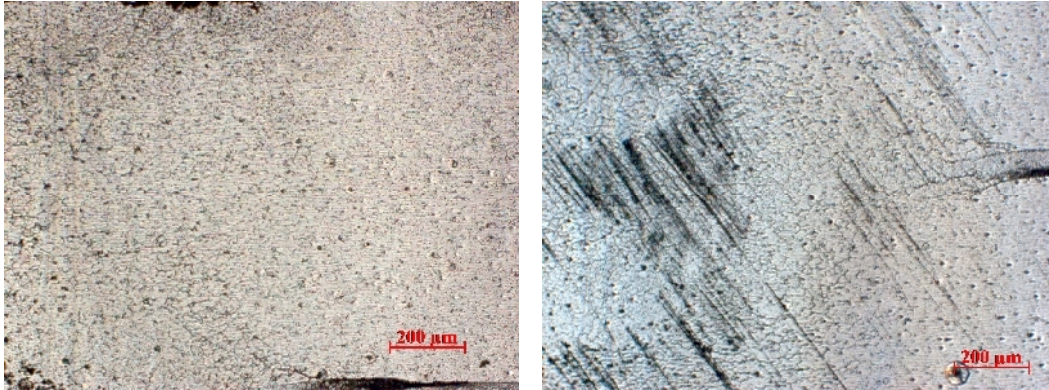
Resim 6.41. 9 kA kaynak akım şiddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



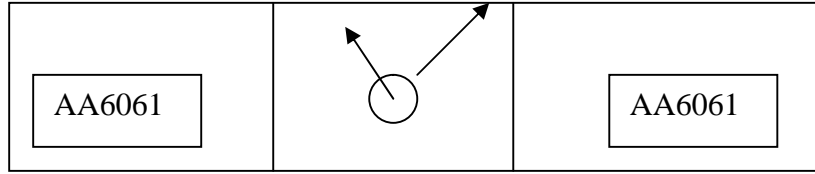
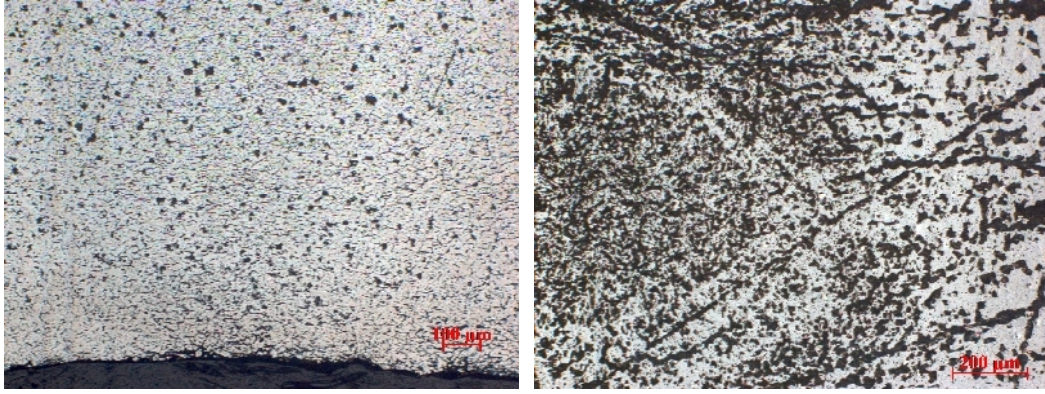
Resim 6.42. 9 kA kaynak akım şiddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



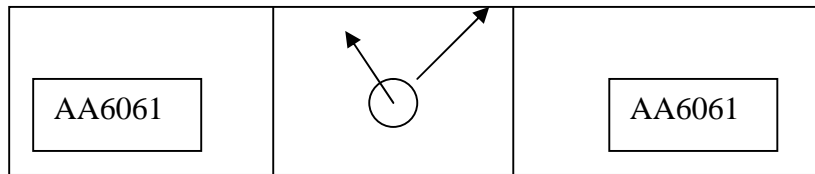
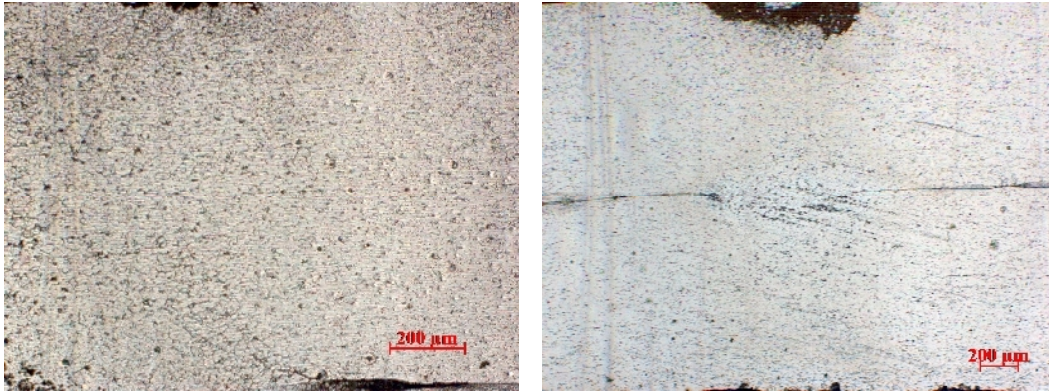
ekil 6.43. 9.5 kA kaynak akım şiddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



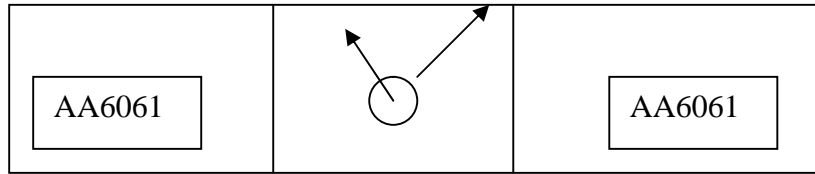
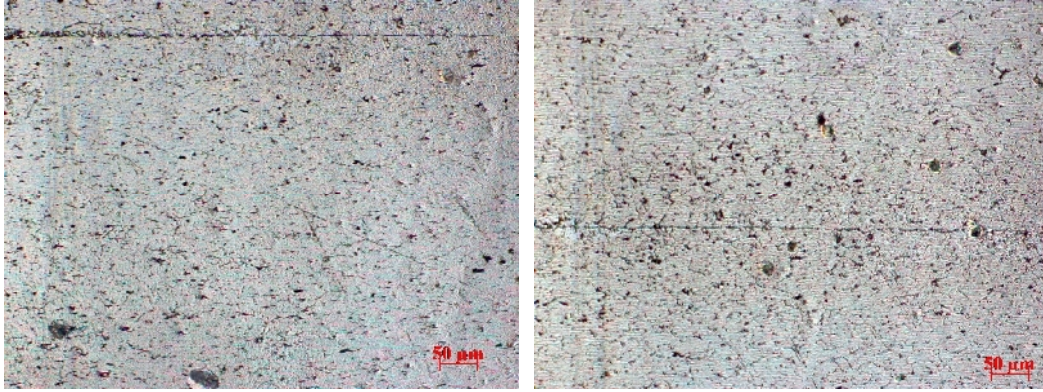
ekil 6.44. 9,5 kA kaynak akım şiddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



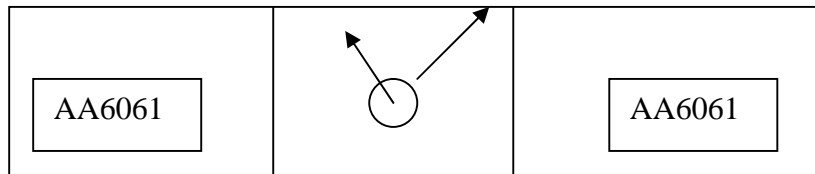
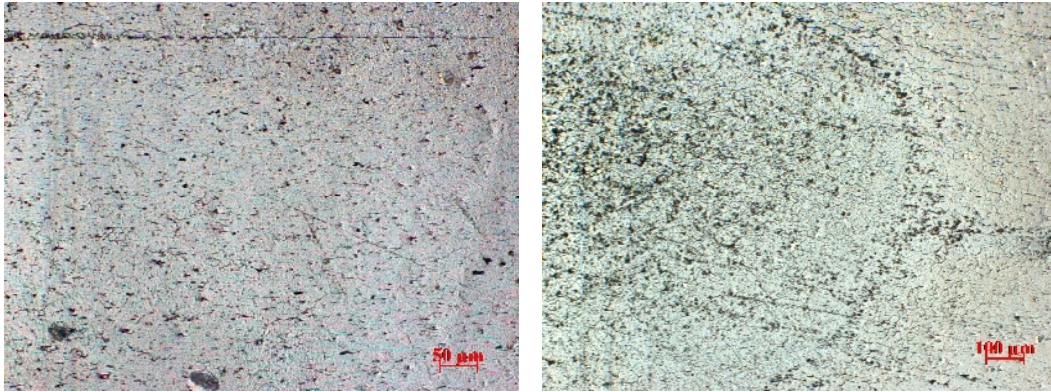
ekil 6.45. 9,5 kA kaynak akım şiddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



ekil 6.46. 10 kA kaynak akım şiddeti ve 10 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



ekil 6.47. 10 kA kaynak akım şiddeti ve 12 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü



ekil 6.48. 10 kA kaynak akım şiddeti ve 14 periyot kaynak zamanında elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AA6061-6061 çiftine ait numunenin mikroyapı görüntüsü

Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin kaynak kesitlerine optik mikroskop kullanılarak ısı tesiri altında kalan bölgenin ve kaynak çekirdeğinin görüntüleri elde edilmiştir.

Mikroyapı resimleri incelendi inde çekirdek bölgesi, iri tanelerden oluşur ve ısı tesiri altında kalan bölge tarafından çevrelenmiştir. Yüksek akımda malzemeye giren ısı miktarının fazla olmasından dolayı kaynak bölgesinin soğuması yavaş olmakta ve bu da tane büyümesine etken olmaktadır. Literatürde bunun sebebinin maruz kalınan yüksek sıcaklıkla birlikte mevcut dislokasyonların azalması ve mukavemetlendirici çökeltilerin irilemesi olarak belirtilmektedir.

Tane yapılarında elektrotlara doğru bir yönelmenin meydana geldiği de gözlemlenmiştir.

Çekme-makaslama testlerinde en iyi değerleri veren numunelere bakıldığında kaynak birleşme noktasının tam seçilemediği görülmektedir. Bu ise sağlıklı bir birleşimin işaretidir.

Elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi ile birleştirilen numunelerin mikro yapı incelemeleri sonucu elde edilen verilerin, yapılan diğer çalımalarda ki veriler ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.[35, 41, 42]

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uçak sanayinde kullanılan AA5754 ve AA6061 serisi alüminyum alaşımlarının deney numune boyutları ISO/DIS 14273 uluslararası standardına göre saptanmıştır. 1 mm kalınlığında 45x105 mm'lik levhalar bindirme pozisyonunda kaynak edilerek çekme-makaslama, mikrosertlik testlerine tabii tutulmuşlardır. Buna ilaveten mikroyapı incelemelerinde gerçekleştirilmiştir.

Alüminyum malzemelerin yüksek ısı ve elektriksel iletkenliklerinden dolayı kaynak çekirdeğinde sıcaklık birleşme yapabilecek kadar ısı girdisi elde etmek zordur. Bu sebepten dolayı daha yüksek kaynak akımlarına ihtiyaç duyulur. Deneysel çalışmalar esnasında çok çeşitli kaynak akımları ve kaynak zamanlarında çalışılarak, birleşmenin sıcaklığı en alt değerinde 8 kA ve 10 periyot olduğu tespit edilmiştir. Bu değerden yukarı doğru çıkılması ve malzemenin dayanabildiği en yüksek değer olan 10 kA 14 periyoda ulaşılmıştır. Bu değerinde malzeme delinmeye başlamış, daha da üstüne çıkıldığında elektrik direnç nokta kaynağının çenelerinin birbirine yapışması gözlemlenmiştir.

Yapılan çekme-makaslama testlerinde AA5754-5754 ve AA5754-6061 alaşımlı malzeme çiftlerinin 9.5 kA 12 periyotta maksimum çekme-makaslama kuvveti değerine ulaştığı tespit edilmiştir.(1806-1526 N). AA6061-6061 alaşımlı malzeme çiftinin ise 9.5 kA 14 Periyotta maksimum çekme-makaslama değerini verdiği görülmüştür. AA6061 alaşımlı malzemenin ısı iletkenliğinin AA5754 alaşımından daha yüksek olduğu düşünülürse, daha fazla ısı girdisi için böyle bir sonucun ortaya çıkması doğrudur.

Genel olarak bakıldığında zaman artan ısı miktarının ve çevrim süresinin sıcaklık birleşme için etken olduğu görülebilir. Buna ilaveten malzeme yüzeyleri zımparalanarak daha da sıcaklık birleşmelerin elde edilebileceği düşünülmektedir.

Mikrosertlik deneyleri incelendi inde elik malzemelere nazaran kaynak ekirde inde sertlikte d ü lerin meydana geldi i grlmektedir. AA6061 serisi alüminyum ala ımlarının AA5754 serisi alüminyum ala ımlarına nazaran daha sert oldu u yapılan mikro sertlik deneylerinde çekirdek bölgesi ve esas metale bakıldı ı zaman da anla ılabilmektedir.

Mikroyapı resimleri incelendi inde sa lıkly birle melerde, birle me çizgisinin pek seçilemedi i fakat kötü birle melerde ise bu çizginin açıkça belli oldu u görülmü tür. Ayrıca elektrik direnç nokta kayna ı esnasında meydana gelen manyetik alandan dolayı tanelerin elektrotlara do ru uzama-yönelme e ilimi içinde oldu u tespit edilmi tir.

Alüminyum ala ımlarında tercih edilen önemli bir kaynak türü ise sürtünme karı tırma kaynak yöntemidir. Yapılan nceki çalı malara bakıldı ında elektrik direnç nokta kayna ına nazaran daha iyi sonuçlar verdi i görülmü tür. Fakat kaynak hızı bakımından elektrik direnç nokta kayna ından geridedir.

Daha uygun bir bt ile bu çalı mada ki parametreler geni letilebilir. rnek olarak sabit tutulan elektrot kuvveti ve malzeme yüzey durumları de i tirilerek kaynak kalitesine etkileri görülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] YÜKLER, ., “Alüminyum Ala ımlar ve Isıl ılemleri”. Istanbul, (2000) s:12-172
- [2] YILMAZ, M.: “Al ve Ala ımların A ınma Davranı ları”. M.Ü.F.B Yüksek Lisan Tezi, stanbul, (1996).
- [3] WEISSAVACH, W.: “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi” Çeviren Prof. Dr. Selahaddin ANIK, 4. Baskı, (1993).
- [4] ASKELAND, D.R., 1998, Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri, (Çev. M.Erdogan),Nobel Yayın Da ıtım
- [5] SM TH, W.F., 2001, Mühendislik ala ımlarının yapı ve özellikleri demir dı ı ala ımlar, (Çev. M. Erdo an), Nobel Yayın Dağıtım, 2 ,602s.
- [6] O UZ, B., 1990, Demirdı ı Metallerin Kayna ı Metalurji-Uygulama, Oerlikon Yayınları, stanbul.
- [7] YILMAZ, B., 2002, Alüminyum Ala ımlarında Faz Yapılarının Mekanik Özelliklere Etkisi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi.
- [8] CAVAL ERE P., Cerri, E. 2005a, Mechanical response of 2024-7075 aluminium alloys joined by Friction Stir Welding, Journal of Materials Science, 40, 3669 – 3676.
- [9] ÖKSÜZ, C., 1996, Yüksek Mukavemetli (2024,6061,7075) Alüminyum Alasımlarının Jominy Yöntemi ile Suverme Duyarlılı ı. .T.Ü. Fen Bilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi.
- [10] BÜYÜKARSLAN S., 2006, Sürtünme Karı tırma Kayna ı ile Birleştirelmis Alüminyum Ala ımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. F.Ü. Fen Bilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi.
- [11] OYSU, M., 1996, 7075 Alüminyum Alasımlarına Uygulanan MIG Kayna ının Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması. K.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi.
- [12] CO KUNER, A.O., 2001, 5000 Serisi Al. Mgn. Als. Döküm ve Termomekaniksel Prosesleri. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek L. Tezi.

- [13] ALDIR, R., Alüminyum ve Ala ımlarının Kaynak Kabiliyeti, M.Ü.F.B.E., Yüksek Lisans Tezi., STANBUL, (2003)
- [14] ANIK, S.: “ Alüminyum ve Ala ımlarının Kayna ı” stanbul, (1960).
- [15] TÜRKER, E.: “ Alüminyum ve Ala ımlarının Dökümünde Rafinasyon Yöntemlerinin Kar ıla tırılması” TÜ Yüksek Lisans Tezi, (2005).
- [16] ANAÇ, S.: “ Demir Çelik ve Metal Sanayi Dergisi” Ere li, (1994).
- [17] OERL KON, 2006, Alüminyum ve alasımlarının kayna ı, s:27-54
- [18] SENYEN, C., 2001, Alüminyum alasımlarının kayna ında dikkat edilecek hususlar, TMMOB Kaynak Teknolojisi IV: Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 42-54.
- [19] Welding Handbook, 1970, Section Two Welding Process: Gas, Arc and Resistance.
- [20] Welding Handbook, 1972, Section Four Metals and Their Weldability.
- [21] Welding Handbook, 1996, Materials and Applications Part II, American Welding Society.
- [22] ANIK, S., 1996, Makine mühendisligi el kitabı üretim ve tasarım, Kaynak Teknolojisi, A. Cerit (Der.), TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2, 222s.
- [23] KURT, A., 1997, Katı hal birleştirmeler için difüzyon kayna ı, TMMOB Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 42-54.
- [24] Metals Handbook, 1971, Vol: 6 Welding and Brazzing.flow. Lab Chip 2004; 4:278–286.
- [25] ÇAM, G., 2001, Al-ala ımları için geli tirilen yeni kaynak yöntemleri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 3- 13.
- [26] ÜNAL, A. ve ALTAN, E., 1989, Alüminyumun so uk basınç kaynağında işlem parametrelerinin kaynak dayancına etkileri, TÜ Makine Fakültesi Malzeme ve mal Usulleri Birimi II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 337-343.
- [27] AKATA, E., AH N, M. Ve PEKÇ , M., 2003, Atık parçaların de erlendirilmesinde sürtünme kaynak yönteminin kullanılması üzerine bir çalışma, TMMOB Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 18-26

- [28] KALUÇ, E. ve TABAN, E., 2006, Alüminyum ve alüminyum alarımalarının TIG kayna ı, Makine Tek, 102.
- [29] KARADEN Z, S., 1990, Plazma tekniđi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 123s.
- [30] ANIK,S., Kaynak Tekniđi El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar, Kansu Matbaacılık,1991
- [31] N.N., Widerstandschweisstechnik, T.G.A. Resistance Welding Technology
- [32] ERYÜREK, B., Elektrik Direnç Kayna ı Mühendis ve Makine, Sayı 279, s22/31, 1983
- [33] GÜLTEKİN, N., “Kaynak Tekniđi” Yıldız Üniversitesi Yayınları, stanbul, 1-27, 1985
- [34] MEB. Elektrik Direnç Kayna ı kitabı, s: 2-8, Ankara, (2005)
- [35] DEM RKESEN, ., “Otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik ve alüminyum alarımı sacların nokta kayna ı ve yapıştırma ile kombinasyon ba lantıları” Yüksek Lisans Tezi stanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü stanbul, 13-37, 1997
- [36] ANIK, S., O UR, A., VURAL, M. ve TURAN, H. “Direnç nokta kaynak elektrodu ömrünün deneysel analizi”, Mühendis ve Makina, 513, (2002)
- [37] LUM, I., FUKOMOTO, S., BIRO, E., BOOMER, D. R. ve ZHOU, Y. “Electrode pitting in resistance spot welding of aluminum alloy 5182”, Metallurgical and Materials Transactions A, 35A: 217-226, (2004)
- [38] JAMES, P. S., CHANDLER, H. W., EVANS, J. T., WEN, J. ve Newton, C. J. “The effect of mechanical loading on the contact resistance of coated aluminum”, Materials Science and Engineering, A230(1-2): 194-201, (1997)
- [39] CRINON, E. ve EVANS, J. T. “The effect of surface roughness, oxide film thickness and interfacial sliding on the electrical contact resistance of aluminum”, Materials Science and Engineering, A242(1-2): 121-128
- [40] QUI, R., IWAMOTO, C. ve SATONAKA, S. “The influence of reaction layer on the strength of aluminum/steel joint welded by resistance spot welding”, Materials Characterization, 60(2): 156-159, (2009)
- [41] KUR UNGÖZ, N., “Alüminyum Esaslı Malzemenin Elektrik Direnç Nokta Kayna ında Temas Direncinin ncelenmesi”, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskisehir, 19-30, (1986)

- [42] KAHRAMAN, B. “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan 5754 Alüminyum Alasımı Sacların Direnç Nokta Kayna ı (RSW) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kayna ı (FSSW) Yöntemleri ile Birleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisli i Anabilim Dalı, Kocaeli, 98s (2009)

ÖZGEÇM

Sencer Ali AFAK, 08.01.1986 da İstanbul' da do du. İlk, orta ve lise e itimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında Adile Mermerci Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Yine aynı yılda İstanbul Ni de Üniversitesi Makine Mühendisli i bölümünü 2008 yılında bölüm ikincisi olarak bitirdi. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisli i Bölümünde yüksek lisans e itimine başladı.