

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**CMT YÖNTEMİ İLE 5XXX VE 6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM
SACLARIN BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür YILMAZ

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Faruk VAROL

Ortak Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Erman FERİK

Eylül 2022

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

CMT YÖNTEMİ İLE 5XXX VE 6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM
SACLARIN BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür YILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 29/09/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Salim ASLANLAR	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Remzi GÖREN	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Faruk VAROL	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Volkan ONAR	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Erman FERİK	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Özgür YILMAZ

29/09/2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli tez danışman hocam Doç. Dr. Faruk VAROL'a, Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ortak danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erman FERİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemediği için Gür Metal Hassas Döküm San. ve Tic. A.Ş. Isıl İşlem & Malzeme Laboratuvar Mühendis'i Meral GÜLCAN'a, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

Son olarak tüm hayatım boyunca yanımda olan, aldığım kararları her zaman destekleyen, sadece bu çalışma sürecinde değil tüm hayatım boyunca beni cesaretlendiren ve moral veren annem Emine YILMAZ'a, babam Ali Rıza YILMAZ'a, ablam Özlem YILMAZ'a ve kız kardeşim Özge YILMAZ'a sonsuz şükranlarımı sunar teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	i
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	2
2.1. Genel	2
2.2. Alüminyumun Özellikleri	2
2.3. Türkiye’de Alüminyum.....	3
2.4. Alüminyumun Özellikleri	4
2.4.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri	4
2.4.1.1. Yoğunluk.....	4
2.4.1.2. Elektrik iletkenliği ve öz direnç	4
2.4.1.3. Manyetiklik	5
2.4.1.4. Isıl iletkenlik	5
2.4.1.5. Isıl genleşme.....	6
2.4.1.6. Korozyon dayanımı.....	6
2.4.2. Alüminyumun mekanik özellikleri	6
2.5. Alüminyum Alaşımları.....	7
2.5.1. Alüminyum dövme alaşımları.....	7
2.5.2. Alüminyum döküm alaşımları	8
2.6. Alüminyum Kaynak Yöntemleri	9
2.6.1. Kaynak	9
2.6.2. Ergitme kaynak yöntemleri.....	10
2.6.3. Katı hal kaynak yöntemleri	10

BÖLÜM 3.

SOĞUK METAL TRANSFER YÖNTEMİ (CMT).....	12
3.1. CMT Tanımı ve Özellikleri.....	12
3.2. CMT Yönteminin Diğer Kaynak Yöntemlerine Göre Sağladığı Üstünlükler. 16	
3.2.1. Dijital proses regülasyonu.....	16
3.2.2. Düşük ısı girdisi	16
3.2.3. Çapaksız kaynak	16
3.2.4. Kararlı ark	16
3.2.5. Entegre tel hareketi	17
3.3. CMT Yönteminin Alüminyum Kaynağındaki Avantajları	17
3.4. CMT Yöntemin Türevleri	19
3.4.1. CMT (Soğuk Metal Transferi) Pulse	19
3.4.2. CMT Advanced.....	19
3.4.3. CMT Advanced Plus	20

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
4.1. Giriş.....	21
4.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	21
4.4. CMT İşlemleri	23
4.5. Çekme Deneyleri.....	24
4.6. Optik Mikroskop ve SEM İncelemeleri	25
4.5. Kaynak Boyutlarının Tespiti	26
4.6. Sertlik Değerlerinin Ölçümü	26

BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	28
5.1. 6061-T6 AA Sacların CMT Kaynak Yöntemi ile Birleştirmeleri.....	28
5.1.1. Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi	28
5.1.1.1. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının dayanımına etkisi.....	28
5.1.1.2. Farklı akım şiddetlerinin kaynak geometrisine etkisi	29
5.1.1.3. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi ...	31
5.1.1.4. Farklı akım şiddetlerindeki bağlantının mikroyapısına etkisi.....	33
5.1.2. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi	35
5.1.2.1. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının dayanımına etkisi	35
5.1.2.2. Farklı ilerleme hızlarının kaynak geometrisine etkisi.....	37
5.1.2.3. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi...	38
5.1.2.4. Farklı ilerleme hızının bağlantının mikroyapısına etkisi	39
5.1.3. Farklı gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi	42
5.1.3.1. Farklı gaz debilerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	42
5.1.3.2. Farklı gaz debisinin bağlantının kaynak geometrisine etkisi	43
5.1.3.3. Farklı gaz debilerinin bağlantısının sertliğine etkisi	45
5.1.3.4. Farklı gaz debilerinin bağlantılarının mikroyapı özelliklerine etkisi	46
5.1.4. Farklı torç açılarının bağlantının özelliklerine etkisi	49
5.1.4.1. Farklı torç açılarının bağlantısının mekanik özelliklerine etkisi.....	49
5.1.4.2. Farklı torç açılarının kaynak geometrisine etkisi	50
5.1.4.3. Farklı torç açılarının bağlantısının sertliğine etkisi.....	52
5.1.4.4. Farklı torç açılarının bağlantısının mikroyapı özelliklerine etkisi	53

5.2. 5754 AA Sacların CMT Kaynak Yöntemi ile Birleştirmeleri.....	55
5.2.1. Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi	55
5.2.1.1. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının dayanımına etkisi.....	55
5.2.1.2. Farklı akım şiddetlerinin kaynak geometrisine etkisi	57
5.2.1.3. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi ...	59
5.2.1.4. Farklı akım şiddetlerindeki bağlantının mikroyapısına etkisi.....	59
5.2.2. Farklı ilerleme hızının bağlantının özelliklerine etkisi	62
5.2.2.1. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının dayanımına etkisi	62
5.2.2.2. Farklı ilerleme hızının kaynak geometrisine etkisi	64
5.2.2.3. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi...	65
5.2.2.4. Farklı ilerleme hızının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi....	66
5.2.3. Farklı gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi	69
5.2.3.1. Farklı gaz debilerinin bağlantının dayanımına etkisi.....	69
5.2.3.2. Farklı gaz debisinin bağlantının kaynak geometrisine etkisi	70
5.2.3.4. Farklı gaz debilerinin bağlantının mikroyapısına etkisi.....	73
5.2.4. Farklı torç açılarının bağlantının özelliklerine etkisi	76
5.2.4.1. Farklı torç açılarının bağlantının dayanımına etkisi.....	76
5.2.4.2. Farklı torç açılarının kaynak geometrisine etkisi	77
5.2.4.3. Farklı torç açılarının bağlantının sertliğine etkisi	79
5.2.4.4. Farklı torç açılarının bağlantının mikroyapısına etkisi	80
5.3. 5754 ve 6061-T6 AA Sacların CMT Kaynak Yöntemi ile Birleştirmeleri	82
5.3.1. Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi	82
5.3.1.1. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının dayanımına etkisi.....	82
5.3.1.2. Farklı akım şiddetlerinin kaynak geometrisine etkisi	84
5.3.1.3. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi ...	86
5.3.1.4. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının mikroyapısına etkisi.....	86
5.3.2. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının özelliklerine etkisi	90
5.3.2.1. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının dayanımına etkisi	90
5.3.2.2. Farklı ilerleme hızlarının kaynak geometrisine etkisi	91
5.3.2.3. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi...	93
5.3.2.4. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının mikroyapısına etkisi	94
5.3.3. Farklı gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi	98
5.3.3.1. Farklı gaz debilerinin bağlantının dayanımına etkisi.....	98
5.3.3.2. Farklı gaz debisinin bağlantının kaynak geometrisine etkisi	100
5.3.3.3. Farklı gaz debilerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	102
5.3.3.4. Farklı gaz debilerinin bağlantının mikroyapısına etkisi.....	102
5.3.4. Farklı torç açılarının bağlantının özelliklerine etkisi	106
5.3.4.1. Farklı torç açılarının bağlantının dayanımına etkisi.....	106
5.3.4.2. Farklı torç açılarının kaynak geometrisine etkisi	108
5.3.4.3. Farklı torç açılarının bağlantının sertliğine etkisi	109
5.3.4.4. Farklı torç açılarının bağlantının mikroyapısına etkisi	110

BÖLÜM 6.

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	114
6.1. Sonuçlar.....	114
6.2. Öneriler.....	119

KAYNAKLAR	120
------------------------	------------

SİMGELER VE KISALTMALAR

°	: Derece
α	: Alfa
A	: Amper
AA	: Alüminyum alaşımı
L	: Litre
V	: Volt
I	: Akım Şiddeti
J	: Joule
σ	: Gerilme
$\sigma\epsilon$	: Çekme mukavemeti
σ_a	: Akma mukavemeti
e	: Parça kalınlığı
η	: Kaynak akım verim katsayısı
dk	: Dakika
sn	: Saniye
İ.H	: İlerleme hızı
μm	: Mikron
Al	: Alüminyum
Mg	: Magnezyum
Si	: Silisyum
HI	: Heat input
HV	: Hardness Vickers
MIG	: Metal İnert Gaz
TIG	: Tungsten İnert Gaz
EDNK	: Elektrik Direnç Nokta Kaynağı
SKK	: Sürtünme Karıştırma Kaynağı

TWI : The Welding Institute

CMT : Cold Metal Transfer

YMK : Yüzey merkezli kübik

ITAB : Isı tesiri altındaki bölge



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1 : 6061-T6 alüminyum sacın kimyasal bileşimi (Elementler (ağ%)).	22
Tablo 4.2 : 6061-T6 alüminyum sacın mekanik özellikleri.	22
Tablo 4.3 : 5754 alüminyum sacın kimyasal bileşimi (Elementler (ağ%)).	22
Tablo 4.4 : 5754 alüminyum sacın mekanik özellikleri.	23
Tablo 4.5 : AlMg4,5Mn telinin kimyasal bileşimi (Elementler (ağ%)).	24
Tablo 4.6 : AlMg4,5Mn telinin mekanik özellikleri.	24
Tablo 5.1 : Farklı akım şiddetlerinde kaynak parametrelerinin ve mekanik özelliklerine etkisi.	28
Tablo 5.2 : Farklı kaynak hızlarının kaynak parametreleri ve mekanik özelliklere etkisi.	36
Tablo 5.3 : Farklı kaynak gaz debilerinde kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkisi.	42
Tablo 5.4 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.	49
Tablo 5.5 : Farklı akım şiddetlerinde kaynak parametrelerinin ve mekanik özelliklerine etkisi.	56
Tablo 5.6 : Farklı kaynak hızlarının kaynak parametreleri ve mekanik özelliklere etkisi.	63
Tablo 5.7 : Farklı kaynak gaz debilerinde kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkisi.	69
Tablo 5.8 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.	76
Tablo 5.9 : Farklı akım şiddetlerinde kaynak parametrelerinin ve mekanik özelliklerine etkisi.	83
Tablo 5.10 : Farklı kaynak hızlarının kaynak parametreleri ve mekanik özelliklere etkisi.	91
Tablo 5.11 : Farklı kaynak gaz debilerinde kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkisi.	99
Tablo 5.12 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.	107

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 : Dünya’da alüminyum üretimi ve ticareti.	3
Şekil 2.2 : Birim hacime düşen ağırlık miktarı.	4
Şekil 2.3 : Birim hacime düşen ağırlık miktarı.	5
Şekil 2.4 : Alüminyuma ait ısı iletkenlik değeri diğer metaller ile karşılaştırılması.	6
Şekil 2.5 : Alaşım elementlerinin mekanik özelliklere etkisi.	7
Şekil 2.6 : Döküm alüminyum alaşımlarının alaşım elementlerinin gösterimi.	8
Şekil 2.7 : Döküm alüminyum alaşımlarının alaşım elementlerinin gösterimi.	8
Şekil 3.1 : CMT çevriminin gerçek zamanlı hızlı fotoğraflanmış görüntüsü.	13
Şekil 3.2 : Kısa devre metal transferinin akım-voltaj değerine bağlı olarak şematik gösterimi.	13
Şekil 3.3 : CMT yönteminin aşamaları.	14
Şekil 3.4 : Robotik kullanımda CMT(Soğuk Metal Transferi) sistem konfigürasyonu.	15
Şekil 3.5 : Manuel CMT(Soğuk Metal Transferi) sistem konfigürasyonu.	15
Şekil 3.6 : MIG kısa devre ark yöntemi (a) ve CMT yöntemi (b) ile oluşan çapak miktarının kıyaslanması.	16
Şekil 3.7 : 0,3 mm Alüminyum sacının kaynağı.	17
Şekil 3.8 : Isı girdisi ve kaynak hızlarının karşılaştırılması.	18
Şekil 3.10 : CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon.	19
Şekil 3.11 : Negatif Soğuk Metal Transferi ve pozitif Soğuk Metal Transferi’nin kombinasyonu.	19
Şekil 3.12: Negatif Soğuk Metal Transferi ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon.	20
Şekil 4.1 : 6061-T6 ve 5754 Alüminyum sacların ebatları.	23
Şekil 4.2 : Çekme deneyi numune ebatları.	24
Şekil 4.3 : Çekme deneyi test cihazı.	25
Şekil 4.4 : Optik mikroskop.	25
Şekil 4.5 : Taramalı elektron mikroskobu.	26
Şekil 4.6: Makroyapı incelemelerinde çekilen örnek bir görüntü.	26
Şekil 4.7 : Mikrosertlik ölçümlerinde kullanılan Vickers sertlik ölçme cihazı.	27
Şekil 4.8 : Vickers mikrosertlik ölçümü alınan noktalar.	27
Şekil 5.1 : Farklı akım şiddetlerindeki parçanın çekme dayanımları grafiği.	29
Şekil 5.2 : Farklı akım şiddetlerine ait makro görüntüler.	30
Şekil 5.3 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak genişliği grafiği.	30
Şekil 5.4 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak yüksekliği grafiği.	31
Şekil 5.5 : Farklı akım şiddetlerindeki numunelerin mikrosertlik değerleri grafiği. .	32
Şekil 5.6 : Farklı akım şiddetlerindeki numunelerin ısı girdileri grafiği.	32
Şekil 5.7 : 70A akım şiddetinde kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.	33

Şekil 5.8 : Farklı akım şiddetinde kaynak yapılan numunelerin kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.	34
Şekil 5.9 : 70A akım şiddetinde kaynak yapılan numuneye ait ara bölgesi SEM görüntüsü.	34
Şekil 5.10 : 70A akım şiddetinde kaynak edilmiş numunenin ara bölge bölgesel EDS analizi.	35
Şekil 5.11 : Farklı kaynak hızlarındaki çekme dayanımı grafiği.	36
Şekil 5.12 : Farklı kaynak ilerleme hızlarında makro görüntüler.	37
Şekil 5.13 : Farklı kaynak ilerleme hızlarına ait kaynak genişliği grafiği.	38
Şekil 5.14 : Farklı kaynak ilerleme hızlarına ait kaynak yüksekliği grafiği.	38
Şekil 5.15 : Farklı kaynak ilerleme hızları mikro sertlik noktaları.	39
Şekil 5.16 : Farklı kaynak ilerleme hızları ısı girdileri grafiği.	39
Şekil 5.17 : 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilen numuneye ait mikroyapı görüntüleri.	40
Şekil 5.18 : Farklı kaynak ilerleme hızlarındaki kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.	40
Şekil 5.19 : 48 cm/dk kaynak ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin ara bölge SEM görüntüsü.	41
Şekil 5.20 : 48 cm/dk kaynak ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.	41
Şekil 5.22 : Farklı kaynak gaz debilerinden elde edilmiş olan makroyapı görüntüleri.	44
Şekil 5.23 : Gaz debisi kaynak genişliği grafiği.	44
Şekil 5.24 : Farklı kaynak gaz debisi kaynak yüksekliği grafiği.	45
Şekil 5.25 : Farklı kaynak gaz debilerinde mikrosertlik değerleri.	46
Şekil 5.26 : 13 lt/dk gaz debisiyle kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.	47
Şekil 5.27 : Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş kaynak bölgeleri mikroyapı görüntüleri.	47
Şekil 5.28 : 13 lt/dk gaz debisi ile birleştirilmiş numuneye ait ara bölge SEM görüntüsü.	48
Şekil 5.29 : 13 lt/dk debi ile birleştirilmiş numunenin ara bölgesinden alınan bölgesel EDS analizi.	48
Şekil 5.30 : Farklı kaynak torç açılarında çekme mukavemeti grafiği.	50
Şekil 5.31 : Farklı kaynak torç açılarındaki makro fotoğraf görüntüleri.	51
Şekil 5.32 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak genişliği grafiği.	51
Şekil 5.33 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak yüksekliği grafiği.	52
Şekil 5.34 : Farklı kaynak torç açılarında mikro sertlik noktaları.	52
Şekil 5.35 : 60 ⁰ torç açısına ait mikroyapı görüntüleri.	53
Şekil 5.36 : Farklı torç açılarındaki kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.	54
Şekil 5.37 : 80 ⁰ torç açısındaki numuneye ait ara bölge SEM görüntüsü.	54
Şekil 5.38 : 80 ⁰ torç açısındaki numuneye ait ara bölge noktasal EDS analizi.	55
Şekil 5.39 : Farklı akım şiddetlerindeki parçanın çekme dayanımları grafiği.	56
Şekil 5.40 : Farklı akım şiddetlerine ait makro görüntüler.	57
Şekil 5.41 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak genişliği grafiği.	58
Şekil 5.42 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak yüksekliği grafiği.	58
Şekil 5.43 : Farklı akım şiddetlerine ait mikrosertlik değerleri grafiği.	59
Şekil 5.44 : Farklı akım şiddetlerine ait ısı girdileri grafiği.	59
Şekil 5.45 : 60A akım şiddetinde kaynak yapılan numunenin mikroyapı görüntüleri.	60

Şekil 5.47 : 60A akım şiddetinde birleştirilen numunenin ara bölge SEM görüntüsü.	61
Şekil 5.48 : 60A akım şiddetinde kaynak edilmiş numunenin kaynak bölgesi EDS analizi.	62
Şekil 5.49 : Farklı kaynak hızlarındaki çekme dayanımı grafiği.	63
Şekil 5.50 : Farklı kaynak ilerleme hızlarında makro görüntüler.	64
Şekil 5.51 : Farklı kaynak ilerleme hızlarına ait kaynak genişliği grafiği.	64
Şekil 5.52 : Farklı kaynak ilerleme hızlarına ait kaynak yüksekliği grafiği.	65
Şekil 5.53 : Farklı kaynak ilerleme hızları mikro sertlik noktaları.	66
Şekil 5.54 : Farklı kaynak ilerleme hızlarının ısı girdileri grafiği.	66
Şekil 5.55 : 48cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilen numuneye ait mikroyapı görüntüleri.	67
Şekil 5.56 : Farklı kaynak ilerleme hızlarındaki kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.	67
Şekil 5.57 : 48 cm/dk kaynak ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin ara bölge SEM görüntüsü.	68
Şekil 5.58 : 48 cm/dk kaynak ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.	68
Şekil 5.59 : Farklı gaz debilerindeki en yüksek çekme dayanımları grafiği.	70
Şekil 5.60. Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş makroyapı görüntüler.	71
Şekil 5.61 : Gaz debisi kaynak genişliği grafiği.	71
Şekil 5.62 : Farklı kaynak gaz debisi kaynak yüksekliği grafiği.	72
Şekil 5.63: Farklı kaynak gaz debilerinde mikrosertlik değerleri.	73
Şekil 5.64 : 11 lt/dk gaz debisiyle kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.	74
Şekil 5.65 : Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş kaynak bölgeleri mikroyapı görüntüleri.	74
Şekil 5.66 : 10 lt/dk gaz debi ile birleştirilmiş numuneye ait ara bölge SEM görüntüsü.	75
Şekil 5.67 : 10 lt/dk debi ile birleştirilmiş numunenin ara bölgesinden alınan bölgesel EDS analizi.	75
Şekil 5.68 : Farklı kaynak torç açılarında çekme mukavemeti grafiği.	77
Şekil 5.69 : Farklı kaynak torç açılarında makro fotoğraf görüntüleri.	78
Şekil 5.70 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak genişliği grafiği.	78
Şekil 5.71 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak yüksekliği grafiği.	79
Şekil 5.72 : Farklı kaynak torç açılarında mikro sertlik noktaları.	79
Şekil 5.73 : 50 ⁰ torç açısına ait mikroyapı görüntüleri.	80
Şekil 5.74 : Farklı torç açılarındaki kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.	81
Şekil 5.75 : 80 ⁰ torç açısındaki numuneye ait ara bölge SEM görüntüsü.	81
Şekil 5.76 : 80 ⁰ torç açısındaki numuneye ait ara bölge bölgesel EDS analizi.	82
Şekil 5.77 : Farklı akım şiddetlerindeki çekme dayanımları grafiği.	83
Şekil 5.78 : Farklı akım şiddetlerindeki numunelere ait makro görüntüler.	84
Şekil 5.79 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak genişliği grafiği.	85
Şekil 5.80 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak yüksekliği grafiği.	85
Şekil 5.81 : Farklı akım şiddetlerindeki numunelerin mikrosertlik değerleri grafiği.	86
Şekil 5.82 : Farklı akım şiddetlerindeki numunelerin ısı girdileri grafiği.	86
Şekil 5.83 : 70A akım şiddetinde kaynak yapılan numunenin mikroyapı görüntüleri.	87
Şekil 5.84 : Farklı akım şiddetinde kaynak yapılan numunelerin kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.	88

Şekil 5.85 : 70A akım şiddetinde kaynak yapılmış numunenin ara bölge (5754-Kaynak) SEM görüntüsü.	88
Şekil 5.86 : 70A akım şiddetinde kaynak yapılmış numunenin ara bölge (Kaynak-6061-T6) SEM görüntüsü.	89
Şekil 5.87 : 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin kaynak bölgesi EDS analizi.	89
Şekil 5.88 : 80A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin kaynak bölgesi EDS analizi.	90
Şekil 5.89 : Farklı kaynak hızlarındaki çekme dayanımı grafiği.	91
Şekil 5.90 : Farklı kaynak ilerleme hızlarında makro görüntüler.	92
Şekil 5.91 : Farklı kaynak ilerleme hızlarındaki kaynak genişliği grafiği.	92
Şekil 5.92 : Farklı kaynak ilerleme hızlarının kaynak yüksekliği grafiği.	93
Şekil 5.93 : Farklı kaynak ilerleme hızları mikro sertlik noktaları.	94
Şekil 5.94 : Farklı kaynak ilerleme hızlarının ısı girdileri grafiği.	94
Şekil 5.95 : 48cm/dk ilerleme hızıyla kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.	95
Şekil 5.96 : Farklı kaynak ilerleme hızlarındaki kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.	96
Şekil 5.97 : 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge (5754-Kaynak) SEM görüntüsü.	96
Şekil 5.98 : 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge (Kaynak-6061) SEM görüntüsü.	97
Şekil 5.99 : 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.	97
Şekil 5.100 : 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.	98
Şekil 5.101 : Farklı kaynak gaz debilerindeki en yüksek çekme dayanımları grafiği.	99
Şekil 5.102 : Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş makroyapı görüntüler.	100
Şekil 5.103 : Gaz debisi kaynak genişliği grafiği.	101
Şekil 5.104 : Farklı kaynak gaz debisi kaynak yüksekliği grafiği.	101
Şekil 5.105 : Farklı kaynak gaz debilerinde mikrosertlik değerleri.	102
Şekil 5.106 : 10 lt/dk gaz debisiyle kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.	103
Şekil 5.107 : Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş kaynak bölgeleri mikroyapı görüntüleri.	104
Şekil 5.108 : 10 lt/dk koruyucu gaz debisi ile birleştirilmiş numunenin ara bölge (5754-Kaynak) SEM görüntüsü.	104
Şekil 5.109 : 10 lt/dk koruyucu gaz debisi ile birleştirilmiş numunenin ara bölge (Kaynak-6061) SEM görüntüsü.	105
Şekil 5.110 : 10 lt/dk koruyucu gaz debisi ile birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.	105
Şekil 5.111 : 10 lt/dk koruyucu gaz debisi ile birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.	106
Şekil 5.112 : Farklı kaynak torç açılarında çekme mukavemeti grafiği.	107
Şekil 5.113 : Farklı kaynak torç açılarında makro görüntüleri.	108
Şekil 5.114 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak genişliği grafiği.	108
Şekil 5.115 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak yüksekliği grafiği.	109
Şekil 5.116 : Farklı kaynak torç açılarında mikro sertlik noktaları.	109
Şekil 5.117 : 50 ⁰ torç açısına ait mikroyapı görüntüleri.	110

Şekil 5.118 : Farklı torç açılarında kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	111
Şekil 5.119 : 50° torç açısı ile birleştirilmiş numunenin ara bölge (5754-Kaynak) SEM görüntüsü.....	111
Şekil 5.120 : 50° torç açısı ile birleştirilmiş numunenin ara bölge (Kaynak-6061) SEM görüntüsü.....	112
Şekil 5.121 : 50° torç açısı ile birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.....	112
Şekil 5.122 : 50° torç açısı ile birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.....	113



CMT YÖNTEMİ İLE 5XXX VE 6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM SACLARIN BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Son 10 yılda özellikle otomotiv endüstrisinde araç ağırlığının hafifletilmesi çalışmaları, yakıt tasarrufu ve yolcu güvenliği vb. çalışmaları artarak devam etmektedir. Bu alanda yüksek mukavemetli çeliklerin kullanılması ya da daha düşük yoğunluğa ve ağırlığa sahip olan alüminyum alaşımlarının kullanılması yönünde çalışmalar sürmektedir. Alüminyum alaşımlarının sahip olduğu düşük ağırlık, yüksek dayanım, korozyon direncinin fazla olması vb. özellikler ile çeşitli endüstri alanlarında kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Alüminyum alaşımları özellikle Süper plastik şekillendirme (SPF) adı verilen çok karmaşık şekilli ince kesitli levha parçalar üretmek için kullanılan uygulamalarda havacılık alanında popülerleşmiştir. Bu uygulama havacılıkta kullanılmış ve bazı uçakların kanat uçlarında bu yöntemle üretilen parçalar kullanılmaya başlanmıştır. Alüminyum alaşımları polimer matrisli kompozitlerin yaygınlaşmasına kadar uçakların gövde yapılarının üretiminde kullanılan ana malzemelerdi. Bazı uçak türlerinin ağırlıkça yaklaşık %50'si polimer matriks kompozitlerle üretilmiştir. Bu malzemeler alüminyum alaşımlarına göre daha hafif, ayrıca yorulma ve korozyona daha dayanıklıdır. Alüminyum üreticileri ise daha hafif ve daha ucuz alüminyum alaşımları üretme konusunda çalışmaktadır.

5XXX serisi alüminyum alaşımları sahip olduğu iyi şekil alabilirlik, kaynaklanabilirlik, mükemmel korozyon direnci ile çeşitli endüstri alanında kullanılmaktadır. 6XXX serisi alüminyum alaşımları sahip olduğu kaynak kabiliyeti, iyi şekillendirilebilirlik, işlenebilirlik ve iyi korozyon direnci ile çeşitli endüstri alanında kullanılmaktadır. CMT yöntemi sahip olduğu çok iyi boşluk doldurma kapasitesi, çok az çapak oluşumu, çok düşük ısı girdisi, ana malzeme ve dolgu malzemesi için %50 daha az eriyik oluşumu vb. özellikleri ile son 10 yılda özellikle otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada otomotiv, uçak, uzay, savunma ve yapı endüstrisinde kullanılan alüminyum çeşitlerinden 6XXX serisi alüminyum alaşımı olan 6061-T6 alüminyum sac ile basınçlı kaplar, hidrolik uygulamaları, gemi inşa ekipmanları ve otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum çeşitlerinden 5XXX serisi alüminyum alaşımı olan 5754 alüminyum sacının CMT yöntemi ile birleştirilebilirliği ve karakterizasyonu amaçlanmaktadır. Diğer kaynak yöntemlerinden farklı olan CMT yönteminde, 6XXX ve 5XXX alüminyum saclarının farklı akım şiddetleri, farklı kaynak ilerleme hızları, farklı koruyucu gaz debileri, farklı kaynak torç açılarından birleştirilebilirliği ve mekanik özellikleri incelenecektir. Ayrıca makroyapı, mikroyapı, mikrosertlik, SEM ve EDS incelemeleri de yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum 6061-T6, Alüminyum 5754, Soğuk Metal Transferi CMT, Çekme Mukavemeti

INVESTIGATION OF COMBINABILITY OF 5XXX AND 6XXX SERIES ALUMINUM SHEET WITH CMT METHOD

SUMMARY

Evaluation of the last 10 small-scale manufacturing industries, to be reviewed and the traveler's etc. continues to work. This area describes the use of high-strength steels or the use of aluminium, which has a higher density. It is what aluminum alloys have, high strength, high wear resistance, etc. The use of features and material appearance is not widespread.

Aluminum alloys have become popular in aerospace, especially in applications used to produce thin section sheet parts with very complex shapes, called Superplastic forming (SPF). This application has been used in aviation and parts produced by this method have begun to be used in the wing tips of some aircraft. Aluminum alloys were the main materials used in the manufacture of aircraft fuselage structures until polymer matrix composites became widespread. About 50% by weight of some aircraft types are produced with polymer matrix composites. These materials are lighter and more resistant to fatigue and corrosion than aluminum alloys. Aluminum manufacturers are working on producing lighter and cheaper aluminum alloys.

5XXX series aluminum alloys are used in various industries with their good visibility, weldability and excellent corrosion options. 6XXX series aluminum alloys are used in various industries with their welding, good formability, machinability and good corrosion protection. The very good filling capacity of the CMT method, very little burr formation, very low heat input, 50% less molten material for the base material and material, etc. It is widely used in the last 10 industrial sectors with its features.

In this study, it is aimed to characterize the health and characterization of 5754 aluminum sheet, which is 6XXX series aluminum alloys from automotive, aircraft, space, defense and construction type 61- aluminum types, and 5XXX series aluminum alloy, which is used in shipbuilding equipment and automotive industry, by CMT method. The CMT method, which is different from other sources, will have different standard speeds, different safety measures, different weather conditions, and its mechanical properties will be good. In addition, macrostructure, microstructure, microhardness, SEM and EDS examinations were also performed.

Keywords: Aluminum 6061-T6, Aluminum 5754, Cold Metal Transfer CMT, Tensile Strength

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları Dünya’da çelikten sonra en kullanılan malzemelerdir. Çeşitli kullanım alanlarına özgü olarak istenilen ihtiyaçlara bağlı olarak alüminyum ve alaşımlarının özellikleri gelişmekte ve çeşitleri artmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarını birleştirmek için çeşitli kaynak yöntemleri mevcut olup sürekli yeni yöntemler geliştirilmekte ve mevcut yöntemler ise optimize edilmektedir.

Alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesi alüminyumun oksijenli ortamda reaksiyona girerek meydana gelen refrakter karakterli Al_2O_3 yüzünden zordur. Bu sebeple daha düşük ergime sıcaklığına sahip olan alüminyum, yüzeydeki alüminadan daha önce ergimektedir. Ayrıca alüminyumun sahip olduğu ısı iletkenliğinin yüksek olması sebebi ile birleştirilmesi güç olmaktadır. Bu sorunları çözmek için son 10 yılda MIG kaynak yönteminin optimize edilmiş versiyonu olan Soğuk Metal Transfer (CMT) kaynak yöntemi geliştirilmiştir. MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi zor olan alüminyum ve alüminyum alaşımları gibi demir dışı metaller bu yöntemle kolayca birleştirilebilir MIG kaynak yöntemine göre sıçranı daha az meydana gelir.

Yaptığımız bu çalışmada 6XXX ve 5XXX serisi 1,5 mm kalınlığa sahip alüminyum saclar soğuk metal transferi Soğuk Metal Transfer (CMT) kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. CMT kaynak işlemi sırasında 1,5 mm kalınlığına sahip AlMg4,5Mn alüminyum teli kullanılmıştır. CMT kaynağında koruyucu gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. Kaynak işlemi sonrasında yapılan çekme test, sertlik testi yapılmıştır. Yapılan testlere ait parçalardan mikroyapı ve makroyapı örnekleri alınıp bunların SEM ve EDS incelemeleri yapılmıştır. Kaynak esnasında kaynak akımı, tel ilerleme hızı, koruyucu gaz debisi, torç çalışma açısı gibi parametreler değiştirilerek kaynak üstündeki etkileri incelenmiştir. Elde edilecek veriler ışığında uygun mukavemet değerleri açısından CMT sonuçları, diğer kaynak yöntemlerine göre avantaj ve dezavantajlarına dahil bilgiler elde edilmek istenmiştir.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. Genel

Alüminyum, çelikten sonra en çok kullanılan metal malzemelerden biridir. Alüminyum ve alüminyum alaşımları otomotiv sektörü, savunma sanayi ve havacılık sanayilerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır [1].

Alüminyumun simgesi “Al” olup, bu elementin özgül ağırlığı 2,70 gr/cm³’tür. Çelikten, bakırdan ve pirinçten oldukça hafif bir malzemedir [2, 3]. Alüminyumun üretiminde çoğunlukla %55-%65 içeren ve boksit ismi verilmiş cevher kullanılmaktadır [1].

Alüminyumun iletkenliğinin düşük olmasına rağmen sahip olduğu düşük yoğunluktan dolayı enerji hatlarında tercih edilir [4, 5]. Alüminyumun atmosfer ile temas etmesi sonucunda üzerinde ince ve yoğun refrakter karakterli bir oksit katmanı oluşur. Bu katman havanın ve çeşitli maddelerin kimyasal etkileri sonucu oluşan korozyon etkilerine karşı direnç kazanır [6, 7]. Alüminyumun bir diğer tercih sebebi de metalin sahip olduğu YMK (yüzey merkezli kübik) kafes yapısı sayesinde yüksek oranda şekillendirilebilme özelliğidir [8].

2.2. Alüminyumun Özellikleri

Birincil alüminyum, 2014 yılı itibari ile dünya genelinde 53.127 milyon ton üretilmiştir. Çin, 2014 yılında en fazla birincil alüminyum üreticisi Çin olmuştur. Çin, toplamda 27,5 milyon ton ile dünya genelinde %52’sini gerçekleştirmiştir. Birincil alüminyum üretimi Amerika ve Avrupa kıtalarında azalırken son 20 yılda Çin’de sürekli artış göstererek birincil alüminyum üretimi lideri konumundadır. Bu sektör son 4 yılda dünya genelinde her yıl yaklaşık %6 oranında büyüme göstermiştir. Aşağıdaki şekilde alüminyum üretimi ve ticareti gösterilmiştir [9].



Şekil 2.1 : Dünya’da alüminyum üretimi ve ticareti [9].

2.3. Türkiye’de Alüminyum

Türkiye 2001-2015 yılları arasında; 2015 yılı da dahil olmak üzere 14 yıl süresince birincil alüminyum ithalatını her yıl 70.000 ton artırmıştır. Dünya genelinde olduğu gibi ekonomik etkenler Türkiye’de de etkilerini göstermiş alüminyum ithalatında düşüşler görülmüştür. Dünya genelinde 2014 yılı itibari 24.9 milyon ton alüminyum hammadde ithalatı gerçekleşmiştir. En fazla alüminyum ithalatı yapan ülkeler ABD, Japonya, Almanya, Hollanda, Kore, İtalya ve Türkiye’dir. Türkiye %4,4 seviyesinde 1,09 milyon ton alüminyum ithalatı yapmıştır. Türkiye ihracatı yarı-mamul sektöründe ekstrüzyon ve yassı mamul ürünleri ihracatında dünya ticaretinin ekstrüzyon ürünleri alanında %4’ünü gerçekleştiren ülkemiz sıralamada 7. sıradadır. Yassı mamul ürünleri alanında %2,2’si ile Türkiye 11. Sırada yer almaktadır. Türkiye alüminyum sektöründe dünya genelinde kendini bil hassa ara-mamul ürünlerde gösterebilmiş ve bu yönde geliştirmiştir.

Türkiye’de kullanım halindeki alüminyumun %30 oranında binalar, %50 oranında taşımacılık ve %20 makine, elektrik, elektronik ve ambalaj ürünleridir. Örneğin otomobillerde ortalama 120 kg diğer ticari araçlarda 200 kg’ın üzerinde alüminyum kullanılmaktadır [9].

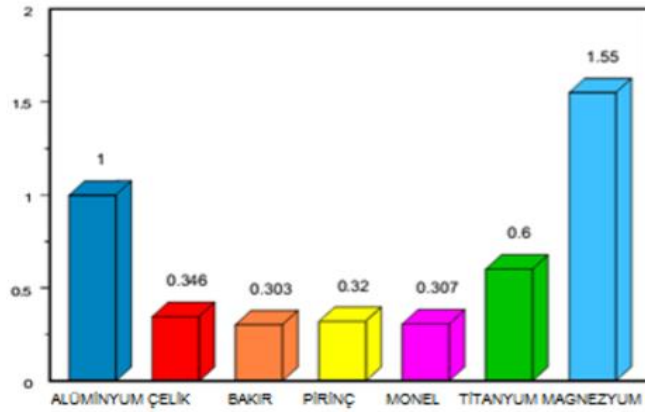
2.4. Alüminyumun Özellikleri

2.4.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri

Alüminyuma fiziksel, kimyasal ve mekanik davranış olarak bakıldığında çelik, titanyum, bakır, çinko, kurşun ve bronz gibi metal sınıfında bulunan değerli bir metaldir. Alüminyumu değerli kılan özellikler başında hafifliği, korozyon direnci, mukavemeti, şekil verilebilirliği, geri dönüşüm özelliği ve ısı-elektrik iletkenliği gelmektedir. Diğer metaller gibi ergitilebilir, dökülebilir, işlenebilir ve kolayca dövme yapılabilir. Alüminyum endüstrinin birçok alanında kullanılıp dünya ekonomisinde çok önemli bir yere sahiptir. Alüminyumdan üretilmiş ürünler otomotiv, uzay ve havacılıkta vazgeçilmez bir konumdadır [10].

2.4.1.1. Yoğunluk

Alüminyumun hafif olması en çok bilinen özelliklerinden birisidir. Titanyum ve magnezyum haricinde sık kullanılan metallere göre üçte biri oranında daha hafiftir (Şekil 2.2) [11, 12].

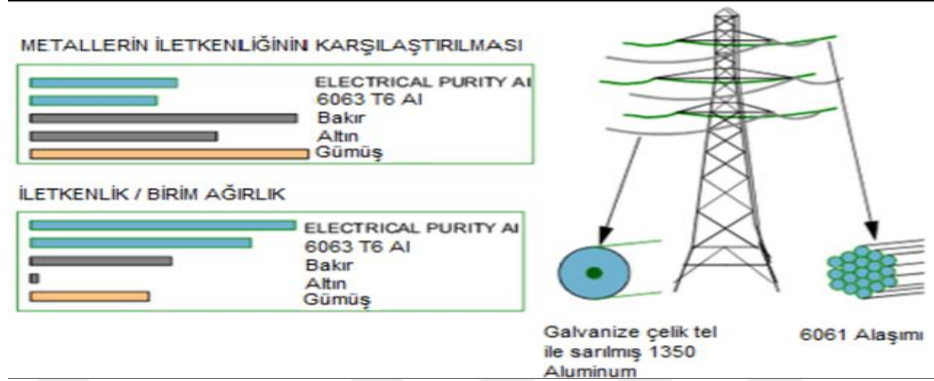


Şekil 2.2 : Birim hacime düşen ağırlık miktarı.

2.4.1.2. Elektrik iletkenliği ve özdirenç

Saf alüminyumun elektrik iletkenliği özgül ağırlığının düşük olması nedeniyle tavllanmış bakırın elektrik iletkenliğinin iki katından diğer tüm metallere göre daha fazladır (Şekil 2.3.).

Alaşım elementlerinin ilave edilmesiyle alüminyumun elektriksel iletkenliği azalır örneğin mukavemetteki artış gibi bu durumu dengeler niteliktedir. Elektrik özelliklerinin bu seviyede olmasından dolayı elektrik endüstrisinde oldukça tercih edilme sebebidir. [11].



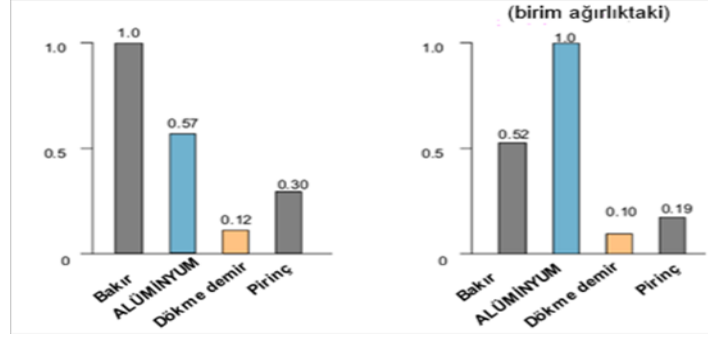
Şekil 2.3 : Birim hacime düşen ağırlık miktarı.

2.4.1.3. Manyetiklik

Alüminyum normalde manyetik olmayan metal olarak belirtilmiştir. Bakır alaşımı ile birlikte manyetik duyarlılık daha da azalmaktadır. Alüminyumun manyetik olmaması özellikler askeri uygulamalarda gemilerde hafif olması diğer manyetikliği olmayan metallere göre daha düşük olması sebebiyle büyük avantaj sağlamaktadır. Aynı zamanda kaynaklı birleştirmelerde ark üflemesi gibi sorunları göstermemesi alüminyumun ark kaynağında avantajını oluşturur [11, 13].

2.4.1.4. Isıl iletkenlik

Alüminyumun ısıl iletkenlik değeri bakırın ısıl iletkenlik değerinden iki katından daha fazladır (Şekil 2.4.). Alaşım elementlerinin yapıya dahil olması ile ısıl iletkenlik sert şekilde azalır. Isıl iletkenlik değeri, iyi şekillendirebilmesi ve hafifliğinin bir arada olması ile eşanjörler araba radyatörleri ve mutfak araçlarının yapılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Alüminyumun ısıl iletkenliği çelikten 6 kat daha fazladır. Bu durum alüminyumun kaynağında ısı kaynağının çelik metaline göre daha fazla ve şiddetli olması gerekmektedir [11, 13].



Şekil 2.4 : Alüminyuma ait ısı iletkenlik değeri diğer metaller ile karşılaştırılması.

2.4.1.5. Isıl genleşme

Alüminyumun metalinin ısı genleşme katsayısı yaklaşık olarak çeliğin 2 katıdır. Bu da iki metalin kaynak sonrası ısı girdisine bağlı olarak burkulma ve çarpılma oluşumuna sebep olabilir [11, 14].

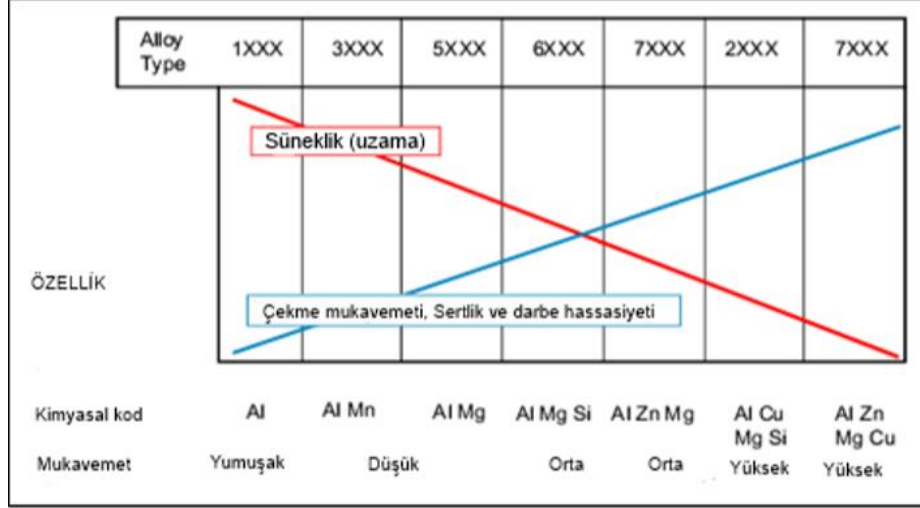
2.4.1.6. Korozyon dayanımı

Alüminyumun üzerinde sağlam ve ince film oksit tabakasının bulunması sebebiyle diğer tüm metallere nazaran korozyona dayanıklılığı daha fazladır. Sahip olduğu bu özellik oksit tabakasının oksijen atmosferinde alüminyumun üzerinde varlığını her zaman sürdürür [11, 14].

2.4.2. Alüminyumun mekanik özellikleri

3xxx, 5xxx ve 6xxx alüminyum serileri, çok iyi düşük sıcaklık tokluğu olarak kendini göstermektedir. Sıfırın altı sıcaklıkta hatta mutlak sıfıra kadar alüminyumun ve alaşımlarının sünekliği, tokluğu ve mukavemetleri de oda sıcaklığına nazaran daha yüksektir [15-16].

Alüminyum ve alaşımlarının birçok endüstride doğan ihtiyaçları karşılayabilmesi temeli de bu özelliğinden kaynaklanmaktadır. Şekil 2.5’de alaşımın farklı alaşım elementleri ile alüminyum ve alaşımlarında mekanik özelliğinde meydana gelen değişim görülmektedir. Alaşımsız alüminyumun çekme dayanımı 70 MPa iken 7xxx serisi alaşımda çekme dayanımı yaklaşık 700 MPa kadar çıkmaktadır.



Şekil 2.5 : Alaşım elementlerinin mekanik özelliklere etkisi [11].

2.5. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum ve alaşımları, alaşım elementlerinin farklı etkilerinden dolayı, birbirlerinden farklı özelliklere sahip olurlar, ayrıca ekonomiklik ve estetiklik bu durumu etkileyen faktörlerdir. Döküm ve dövme alaşımları olarak alüminyum alaşımları iki gruba ayrılırlar [1, 17].

2.5.1. Alüminyum dövme alaşımları

Alüminyum sahip olduğu birçok iyi özelliklerle beraber “hafiflik, korozyon dayanımı ve kolay şekil verme vb.” döküm ve mekanik özellikleri iyi değildir [18]. Alüminyumun bu özelliklerini iyileştirme için bazı elementler ilave edilir [13]. Bu elementler bakır, manganez, magnezyum, çinko, silisyum, nikel ve diğer elementlerdir. Bu alüminyum alaşımları sürekli döküm yolu ile kütle halinde üretilip, homojenleştirme tavlama yapırlar. [13, 19, 20]. Dövme alüminyum alaşımları ısıtıl işlem yapılan ve ısıtıl yapılamayan olarak iki alt gruba ayrılırlar. Isıtıl işlem yapılan alaşımlar yaşlandırma işlemi yoluyla sertleştirilebilirlerken, ısıtıl işlem yapılamayan grup ise katı çözelti sertleşmesi, dispersiyon sertleşmesi ile mukavemet kazanırlar [21]. İlk olarak 1954 yılında Alüminyum alaşımları, Alüminyum birliği tarafından sınıflandırılmıştır [1]. Bu sistem 1’den 9’a kadar numaralanmaktadır. İlk rakam alaşımın temel elementini ifade etmektedir. İkinci rakam özel olarak istenen elementi belirtir. Son iki hane ise %99.00 nokta değerinden sonraki rakamları belirtir [22]. Bu sınıflandırmaya uymayan alaşım serisi 6xxx serisidir, bu seride magnezyum ve silisyum elementleri beraber bulunur ve

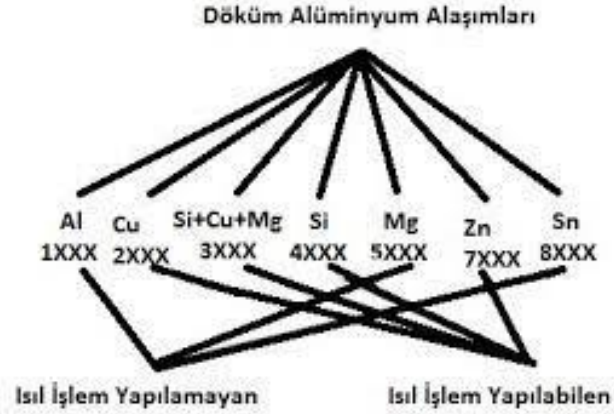
iki element birleşerek Mg_2Si oluşturur [23]. Şekil 2.6’da döküm alüminyum alaşımlarının alaşım elementlerinin gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.6 : Döküm alüminyum alaşımlarının alaşım elementlerinin gösterimi.

2.5.2. Alüminyum döküm alaşımları

Döküm alaşımları genellikle kum, pres döküm ve sabit kalıp yöntemleriyle üretilirler. Bu alaşımlar yüksek fiziksel özellik, işlenme kolaylığı ve kaynak edilebilirlik gösterirler. Hepsinde olmamakla beraber bir kısım döküm alaşımlarında da ısıtılabilir uygulanabilir [1]. Şekil 2.7’de dövme alüminyum alaşımlarının alaşım elementlerinin gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Döküm alüminyum alaşımlarının alaşım elementlerinin gösterimi.

2.6. Alüminyum Kaynak Yöntemleri

2.6.1. Kaynak

Bir veya birden fazla malzemenin ısı, basınç veya her ikisini birden kullanarak ergime sıcaklık aynı cins veya farklı cinsten malzemeleri ek bir malzeme kullanarak ya da kullanmadan sökülemeyecek şekilde birleştirmeye kaynak denir. Eğer kaynakta ek bir metal kullanılıyor ise buna “ilave metal” adı verilir [17, 24]. Tanımdan da anlaşılacağı gibi kaynaklı birleştirme işlemi aynı veya farklı metallerin birbirleri ile birleştirilmesini sağlar. Alüminyum kaynaklı üretim işleminde çelikten sonra en çok kullanılan metaldir.

Alüminyum kaynakla kabiliyeti çeliğe göre daha hassas ve etkili bir metaldir. Bu özellikler:

1. Alüminyumun yüzeyindeki oksit katmanı
2. Yüksek ısı iletkenliği
3. Yüksek ısı iletkenliği
4. Düşük ergime sıcaklığı
5. Ergime sıcaklığında renk değiştirmemesi (tav rengi oluşmaması)
6. Sıcak çatlama [13, 17]

Alüminyum bulunduğu ortamdaki oksijenle reaksiyon oluşturarak yüzeyinde alüminyum oksit tabakası oluşur. Bu tabaka ana metalin yüzeyini kaplayan oluşumu çok hızlı olan bir tabakadır ve ana metale ve korozyona karşı direnç sağlar [17]. Alüminyum ve alaşımları içerdikleri farklı alaşım elementlerine göre ergime sıcaklıklarında farklılıklar gösterebilir. Ama genel olarak alüminyum elementinin ergime sıcaklığı 660°C’dir. Fakat ana metal üzerinde oluşan refrakter karakterli bir oksit tabakası alüminyum oksidin ergime sıcaklığı 2050°C’dir. Bu tabaka bulunduğu ortamdaki nemi emerek daha kalın bir hale gelebilir ve kaynak işleminde ergimiş banyonun üstünde yüzer. İçeriğindeki hidrojen ise kaynak metaline geçerek gözenek oluşturabilir.

Alüminyumun içeriğindeki alaşım elementine göre ısı iletimi değişmektedir bu değer çelikten daha fazladır. Bunun içinde alüminyum ertirirken daha fazla enerji gerekir. Bu ısı iletkenlikten ötürü kalın parçalarda ön tav gerekebilir. Bu ön tav işlemi

gereğinden fazla bir süre ve yüksek sıcaklıkta olursa kaynak mukavemetinde düşme görülür. Ön tav sıcaklığı 200°C'yi geçmemelidir. Yüksek ısıl girdisi ve yüksek ısı iletkenliğinden ötürü kaynak prosesi hızlı olmalıdır. Bu parametrelerin avantajı olarak alüminyum hızlı katılaştır ve her pozisyonda kaynak imkânı sağlar [13, 17]. Alüminyum ısıl genleşme miktarı çeliğe göre daha fazladır. Ergimiş halden katılaşmayla kaynak metalinin çekmesi %6 civarındadır. Bu da boyutlarda değişime, çarpılma ve çatlamaya neden olur. Kaynak ağzı ve kaynak hızı ve kaynak metalinin çok iyi bağlanması bu gibi durumları önleyebilir [13].

Alüminyum kaynağında farklı kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemleri iki başlıkta toplayabiliriz bunlar;

1. Ergitme kaynak yöntemleri
2. Katı-hal kaynak yöntemleri

2.6.2. Ergitme kaynak yöntemleri

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarında kullanılabilen ergitme kaynak yöntemlerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

1. Oksi-Gaz kaynağı
2. Elektrik-Ark kaynağı
3. MIG (Metal Inert Gas) kaynağı
4. TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağı
5. EDNK elektrik direnç nokta kaynağı
6. Lazer Kaynağı

2.6.3. Katı hal kaynak yöntemleri

İlerleyen teknoloji ile günümüz koşullarında yeni teknolojilerin uygulandığı gelişmiş ürünlerin kaynaklı imalatında faz dönüşümleri, plastik deformasyonları ve mekanik özelliklerin düşmesi istenmemektedir. Bu durumları sağlamak malzemelerin metalürjik ve mekanik özelliklerini etkilemeyen düşük sıcaklıklardaki birleştirmelerle mümkündür. Bu durum ancak düşük sıcaklıklarda birleştirme sağlayan katı-hal kaynak yöntemleri ile mümkündür. Bunlar;

1. Sürtünme kaynağı
2. Ultrasonik kaynak
3. Difüzyon kaynağı
4. Sürtünme karıştırma kaynağı

gibi çeşitli kaynak teknikleri ile sağlanmaktadır [25].



BÖLÜM 3. SOĞUK METAL TRANSFER YÖNTEMİ (CMT)

CMT, MIG kaynağının geliştirilmesiyle oluşmuş bir kaynak yöntemidir [6].

3.1. CMT Tanımı ve Özellikleri

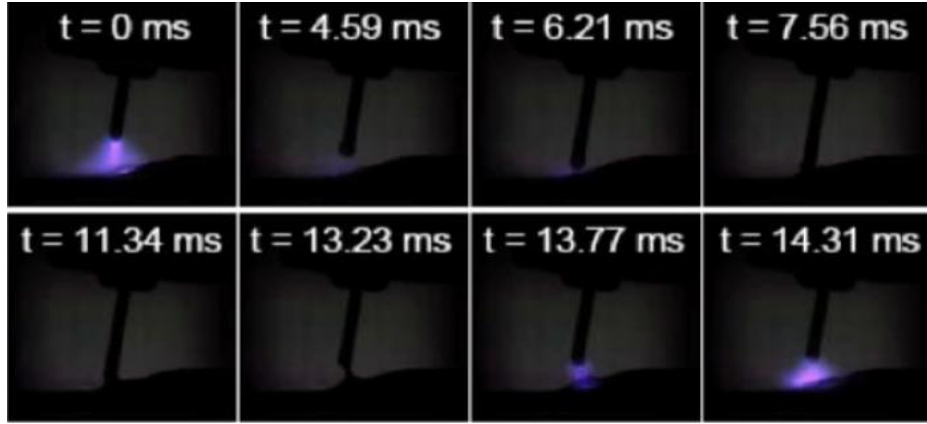
CMT yöntemi Fronius tarafından 2004 yılında geliştirilen kaynak uygulaması ve ekipmanı bakımından kaynak teknolojilerinde önemli bir adımdır. CMT tamamen yeni bir yöntem olmasıyla beraber MIG kaynağı uygulamalarında bilinenlerin beraberinde yenilikler getirmiş, MIG kaynak uygulamalarının yetersiz kaldığı alanlarda iyi bir kaynak performansı sağlamış olup alüminyum ve alaşımlarının diğer metallerle kaynaklanabilirliğini sağlayan yenilikçi bir teknoloji olarak kullanılmaktadır [6].

Bazı metal ve uygulamalarında sürekli ısı girdisi kaynak banyosunun çukurlaşması, sıçrantı olması ve kaynak bağlantılarının dayanım düşüklüğü oluşturmaktadır. Bu gibi durumları azaltmak için düşük ısı girdisi gereklidir. Bu gibi olumsuzlukları CMT yöntemi ile gidermek mümkündür [26, 27]. CMT, soğuk metal transferi anlamına gelmektedir. Kaynak uygulamaları açısından “soğuk” kavramı farklılık göstermektedir. Fakat geleneksel kaynak uygulamalarıyla karşılaştırıldığında CMT uygulamasında oluşan sıcaklık daha düşüktür. Sıcaklığın düşük olması düşük ısı girdisi, düşük distorsiyon ve yüksek hassasiyet avantajlarını sağlamaktadır [6, 28].

Soğuk Metal Transferi (CMT) ısı girdisinin çok az olduğu çapaksız bir kaynak dikişinin elde edildiği tam dijital, mikro-işlemci kontrollü bir inverter gazaltı kaynak yöntemi olarak tanımlanabilir [29]. Bu yöntemde, kısa devreyi algılayan ve ergiyen elektrot damlasının ve elektrottan ayrılma prensibiyle oluşan yeni bir teknolojidir [26, 30].

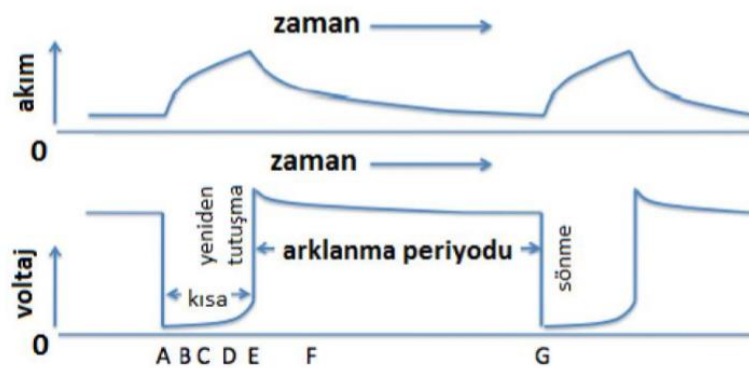
Geleneksel kaynak yöntemlerinde tel, kısa devre oluşuncaya kadar ilerletilir. Bu sırada kaynak akımı artarak, ark oluşumu için kısa devre açık devre olmasını sağlar. Bu sebepten klasik kaynak yöntemlerinde yüksek akımlar çekildiği için ısı girdisi yüksek olur ve kısa devre oluşumu kontrol dışı olduğundan sıçramalar görülür. CMT yönteminde 70Hz’lik

bir osilasyon ile telin beslenmesi yapılır ve tel iş parçasına itilerek geri çekilir [26, 31]. Şekil 3.1’de yöntem milisaniyedeki akışı görülmektedir.



Şekil 3.1 : CMT çevriminin gerçek zamanlı hızlı fotoğraflanmış görüntüsü [28].

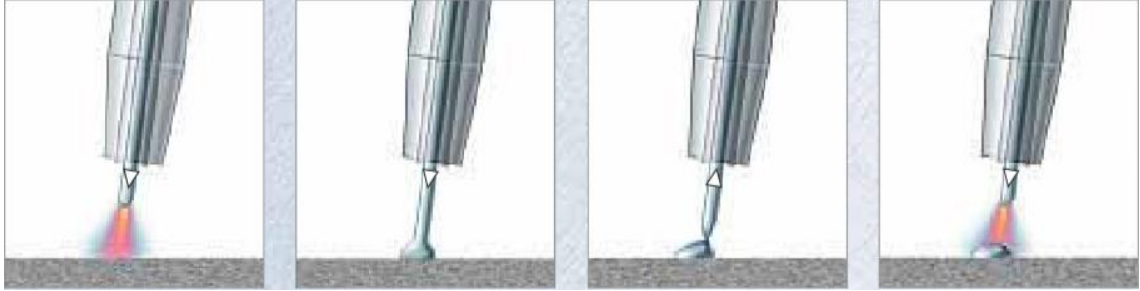
Tipik bir kısa devre transferi için metal aktarımında meydana gelen olayların sırası akım ve voltaja göre verilmiştir [4, 27]. Şekil 3.2.’deki A, B, C, D noktalarında tel, kaynak metaline temasında akım şiddeti artar. Elektrot ucundaki ergiyik metal D ve E noktalarında oluşarak ark başlatır. (Şekil (E) ve (F) noktaları). Burada akım artış hızı elektroru ısıtacak ve metal aktarımı için gerekli büyüklükte olmalıdır. Son olarak ark oluştuğunda, tel sonraki kısa devreye doğru (G) ileri beslenirken tel uç kısmı erir. Ergiyik metal damlası tel ana metale dokununcaya dek ayrılmaz [4, 30].



Şekil 3.2 : Kısa devre metal transferinin akım-voltaj değerine bağlı olarak şematik gösterimi [28].

CMT yöntemi, geleneksel MIG kaynak yöntemine göre daha kararlı bir ark, yöntem kontrolünün elde olduğu, sıcak ve soğğun sürekli değişme prensibiyle uygulandığı bir tekniktir. Ark yanma anında, dolgu malzemesi kaynak banyosuna hareket eder [4]. Dolgu

malzemesinin kaynak banyosuna temasıyla ark söner ve kaynak akımı şiddeti azalır [6, 30]. Telin geriye doğru hareketi (saniyenin 90'da biri gibi sürede), kısa devre anında (kısa devre akımı düşük seviyededir) damlacık transferi olur [4, 27]. Telin hareketi tersine çevrilir, geri çekilir ve yönleme tekrar başlanır [27].

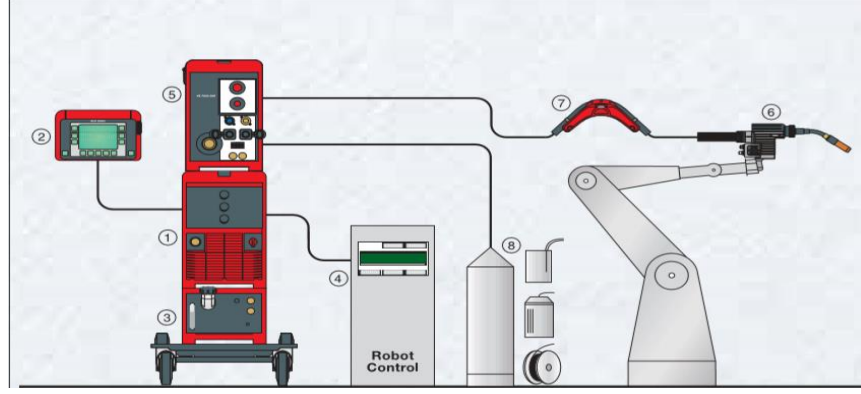


Şekil 3.3 : CMT yönteminin aşamaları [32].

CMT ile yapılan kaynağın üç önemli özelliği işlemi, diğer geleneksel MIG yönteminden ayırır. Birincisi tel beslemesi direk kaynak içindedir. Normalde tel besleme hızı değişmez veya işlemden önce belirlenen zaman aralıklarına göre değişir. CMT işleminde ise bu durum tel besleme hızı ve tel besleme yönü kısa devre oluşumuna bağlı ve açık hale gelmesi ile uygulanır. Yani kaynak banyosu ile kaynak telinin hareketi arasında direk bir etkileşim vardır. Bunun için ortalama bir hızla beraber osilasyon frekansı deyimini de yer almıştır ve bu değer 70 HZ civarındadır [26].

CMT yönteminde ikinci kendi yapısal özelliği ise, bilinen kaynak yöntemlerinde metal geçişi akıma bağlı iken bu yöntemde neredeyse akımdan bağımsız olmasıdır. Soğuk Metal Transferi (CMT) yönteminde akımın, kısa devreyi açık hale getirmesiyle bir alakası yoktur. Telin geriye doğru hareketi ve kaynak banyosunun yüzeyde oluşan gerilimi metal geçişinin olmasını sağlar. Bundan dolayı kısa devre akımı düşük tutularak daha düşük ısı girdisi sağlanır.

En son olarak, tel hareketi metal transferini Şekil 3.4'te gösterildiği gibi CMT işleminin kendine has özelliğidir [4, 26].



Şekil 3.4 : Robotik kullanımda CMT(Soğuk Metal Transferi) sistem konfigürasyonu [26].



Şekil 3.5 : Manuel CMT(Soğuk Metal Transferi) sistem konfigürasyonu [33].

Robotik ve manuel uygulamalarda Soğuk Metal Transferi sistem konfigürasyonu:

1. TPS 3200 / 4000 / 5000 Soğuk Metal Transferi güç kaynağı
2. RCU 5000'i uzaktan kumanda ögesi,
3. FK 4000 soğutma ögesi,
4. Robot arayüzü,
5. VR 7000 Soğuk Metal Transferi Tel besleyici,
6. Robot,
7. Tel tamponu,
8. Tel desteği,
9. TransPuls sinerjik 2700 Soğuk Metal Transferi güç kaynağı,
10. Su soğutmalı Soğuk Metal Transferi kullanımı için geliştirilmiş torc [33, 34].

3.2. CMT Yönteminin Diğer Kaynak Yöntemlerine Göre Sağladığı Üstünlükler

3.2.1. Dijital proses regülasyonu

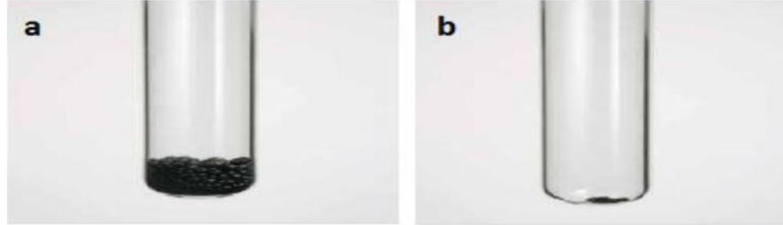
Tel hareketi direkt olarak işlem düzenlemesine bağlanmıştır. Dijital işlem düzeni olması muhtemelen bir kısa devreyi algılayarak ve geri çekilme yoluyla damlacık aktarımını gerçekleştirmektedir. Tüm işlem dijital olarak yönetilmesi, diğer birleştirme yöntemlerine göre önemli bir farktır [32].

3.2.2. Düşük ısı girdisi

Kaynak esnasında tel öne doğru ilerler ve kısa devre olduğu sırada tel tekrar geri çekilir. Yanma fazında ark, çok kısa bir zamanda ısı verir [32].

3.2.3. Çapaksız kaynak

Telin geri hareket hali, kısa devre anında damlacık geçişine kolaylık sağlar. Kısa devre kontrol edilerek ve akım düşük seviyelerde tutulur. Böylece çapaksız bir metal geçişi sağlanmış olur [32].



Şekil 3.6 : MIG kısa devre ark yöntemi (a) ve CMT yöntemi (b) ile oluşan çapak miktarının kıyaslanması [35].

3.2.4. Kararlı ark

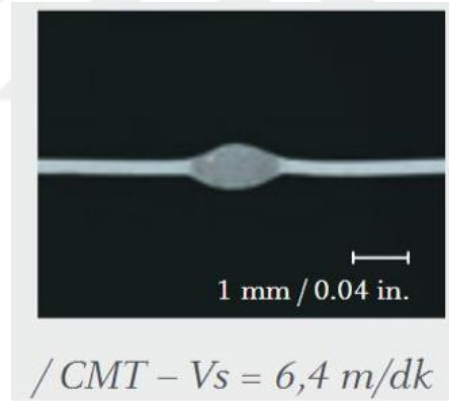
Ark boylarının algılanarak ayarlanması, mekanik olarak gerçekleşir. Ark, iş parçasının yüzey kalitesi ya da hangi hızda kaynak yapmak istediğimiz gibi durumda devamlı kararlı kalır. Bu sayede Soğuk Metal Transferi her yerde ve her konumda uygulanabilmektedir [32].

3.2.5. Entegre tel hareketi

Bu yeni nesil proses için yeni sistem bileşenleri de geliştirilmiştir. Sistemde iki tel sürücü bulunmaktadır. Dijital proses regülasyonu bir kısa devre algılar, arkadaki sürücü teli iter ve öndeki sürücü kaynak telini saniyede 90 defaya kadar geri çekerek damlacık aktarımına yardımcı olur. Öndeki sürücü dinamik AC servo motora sahiptir. Bu sürücü düzgün bir tel naklini sağlar. Burada torç hortum düzeneği de üniteden ayrılabilmeside ayrı bir yeniliktir. Buda robot kullanımında tekrar ayarlama gerektirmeden hızlı bir değişim sağlamaktadır. İki sürücü arasında bulunan tel tamponuda telin hareketini güç kullanılmadan ilerlemesini sağlar [32].

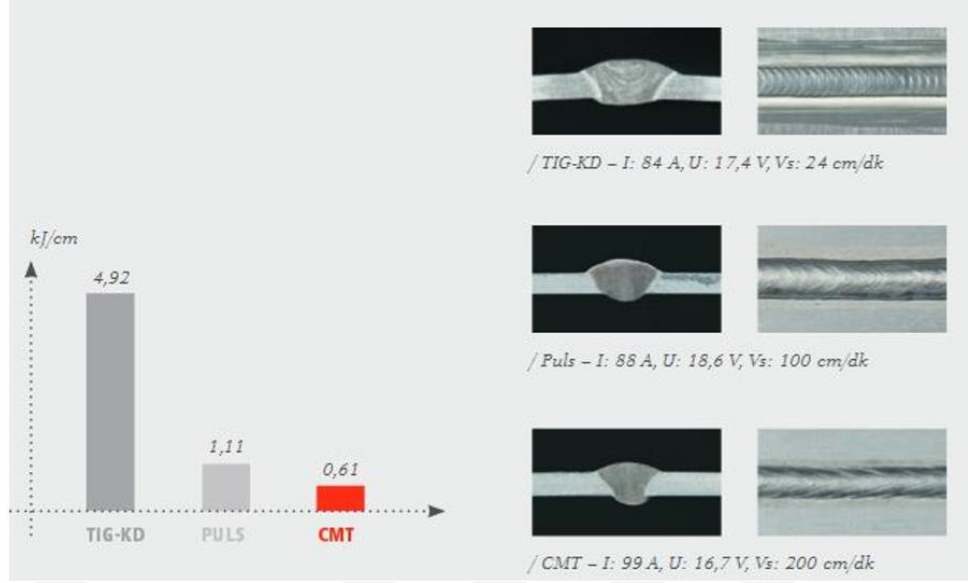
3.3. CMT Yönteminin Alüminyum Kaynağındaki Avantajları

Diğer kaynak yöntemlerinin çoğunda kaynak yapılamayan ince alüminyum ve alaşımlarının kaynağı yapılabilmektedir. Şekil 3.7'de 0.3 mm et kalınlığındaki alüminyum sacının kaynak kesiti görülmektedir.

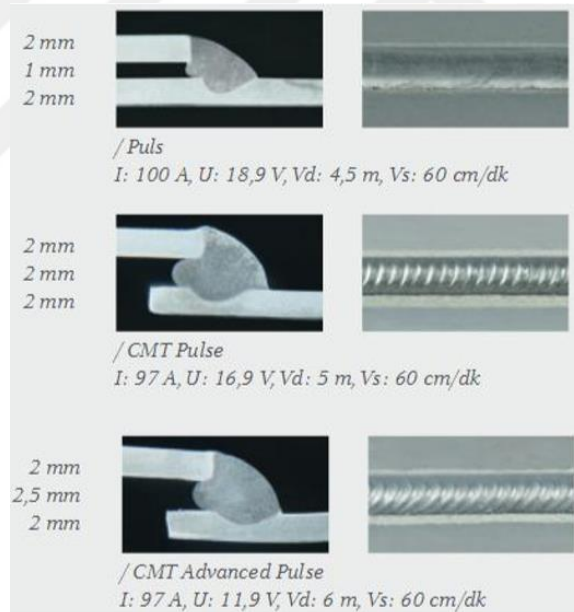


Şekil 3.7 : 0,3 mm Alüminyum sacının kaynağı [35].

Farklı kaynak yöntemlerine göre %90'a kadar daha düşük ısı girdisi, dikiş kalitesi ve akış kalitesi aynı olmakla beraber 10 kata kadar yüksek kaynak hızı elde edilebilir ve çok iyi boşluk doldurma yeteneği sağlar [32].



Şekil 3.8 : Isı girdisi ve kaynak hızlarının karşılaştırılması [35].



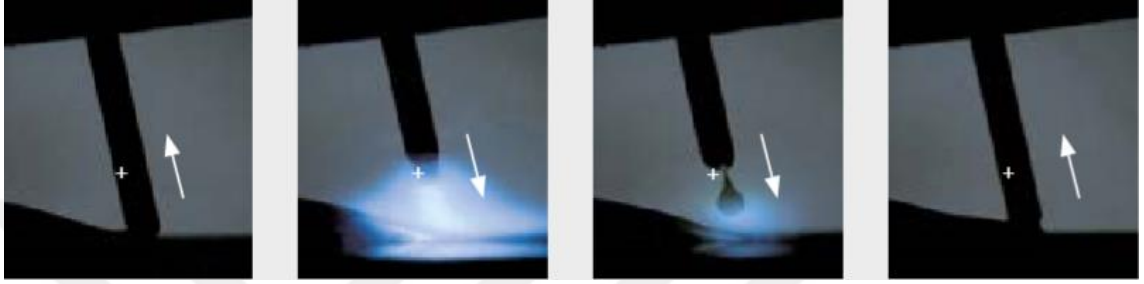
Şekil 3.9 : 2 mm et kalınlığındaki levhanın bindirme kaynağındaki boşluk doldurma yeteneği [35].

Ergime gücü ve kaynak hızı yüksek olan MIG kaynak yöntemi genellikle 3 mm'den daha ince parçaların kaynağında tercih edilmez. Çok ince levhalar 0.8 mm'ye kadar darbeli akım yöntemi ile kaynak edilebilirken, Soğuk Metal Transferi yöntemi yardımıyla bu kalınlık 0,3 mm'ye kadar düşebilmektedir [1, 14].

3.4. CMT Yöntemin Türevleri

3.4.1. CMT (Soğuk Metal Transferi) Pulse

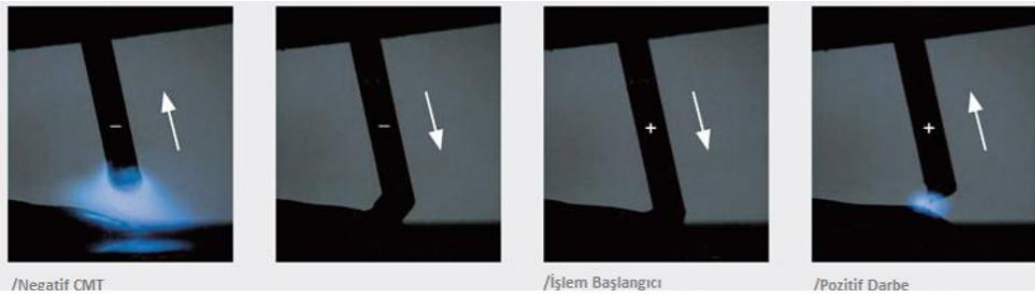
Bu metod bir darbe döngüsünü, bir Soğuk Metal Transferi döngüsü ile birleştirir ve bu sebeple daha yüksek ısı açığa çıkarır. İstenilen ve ayarlanabilir değiştirilebilir darbe ilavesi ile çok yüksek bir güç aralığı ve esneklik sağlar [32].



Şekil 3.10 : CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [32].

3.4.2. CMT Advanced

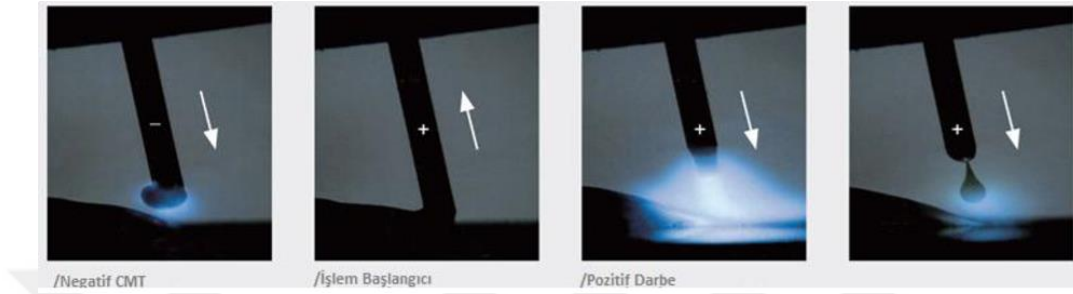
Bu CMT türünde daha da soğuk bir kullanıma ulaşılmıştır. Kaynak akımının polaritesi işlem regülasyonuna bütünüştür. Kutuplaşma değişimi kısa devre fazında meydana gelir; böylelikle kanıtlanmış Soğuk Metal Transferi işlem kararlılığı kısa devre fazında ise emniyete alınmıştır. Sonuç olarak amaçlanan ısı girdisine, çok yüksek boşluk doldurma kapasitesine ve %60'a kadar daha yüksek erime dayanımına ulaşılır [32].



Şekil 3.11 : Negatif Soğuk Metal Transferi ve pozitif Soğuk Metal Transferi'nin kombinasyonu [32].

3.4.3. CMT Advanced Plus

Negatif kutuplu Soğuk Metal Transferi döngüleri ve pozitif kutuplu darbe döngüleri birleşimi ile arkın mutlak doğruluğu ve arkı yüksek düzeyde elde tutma amaçlanmaktadır [32].



Şekil 3.12. Negatif Soğuk Metal Transferi ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [32].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Giriş

Bu çalışmada savunma, otomotiv, uzay, uçak ve yapı endüstrisinde kullanılan alüminyum çeşitlerinden 6XXX serisi alüminyum alaşımı olan 6061-T6 alüminyum sac ile basınçlı kaplar, hidrolik uygulamaları, gemi inşa ekipmanları ve otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum çeşitlerinden 5XXX serisi alüminyum alaşımı olan 5754 Alüminyum sacın Soğuk Metal Transfer (CMT) yöntemi ile birleştirilebilirliği ve karakterizasyonu amaçlanmaktadır. Diğer kaynak yöntemlerinden farklı olan Soğuk Metal Transfer (CMT) yönteminde, 5XXX ve 6XXX alüminyum sacın farklı akım şiddetleri, farklı kaynak ilerleme hızları, farklı koruyucu gaz debileri, farklı kaynak torç açılarından birleştirilebilirliği ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca makroyapı, mikroyapı SEM incelemeleri de yapılmıştır.

4.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneyisel çalışmalar kapsamında kullanılan levhalar, endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan 1,5 mm kalınlığında 6XXX ve 5XXX serisi Alüminyum saclardır. Orta derece mukavemet, yüksek şekillendirilme kabiliyeti ve yüksek korozyon direnci nedeniyle endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan 6061-T6 alüminyum alaşımının spektrometrik analizi Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 : 6061-T6 alüminyum sacın kimyasal bileşimi (Elementler (ağ%)).

Si	Fe	Mn	Mg	Cu
0,64	0,367	0,114	0,8	0,275
Cr	Ni	Zn	Ti	Al
0,193	0,005	0,157	0,029	97,4

6061-T6 alüminyum sacın mekanik özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 : 6061-T6 alüminyum sacın mekanik özellikleri.

Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Mikrosertlik (HV)
334	295	13	110

İyi şekil alabilirlik, kaynaklanabilirlik, mükemmel korozyon direnci nedeniyle ile çeşitli endüstri alanında kullanılan 5754 alüminyum alaşımının spektrometrik analizi Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3 : 5754 alüminyum sacın kimyasal bileşimi (Elementler (ağ%)).

Si	Fe	Mn	Mg	Cu
0,114	0,327	0,241	2,76	0,0075
Cr	Ni	Zn	Ti	Al
0,0075	0,0018	0,001	0,0056	96,4

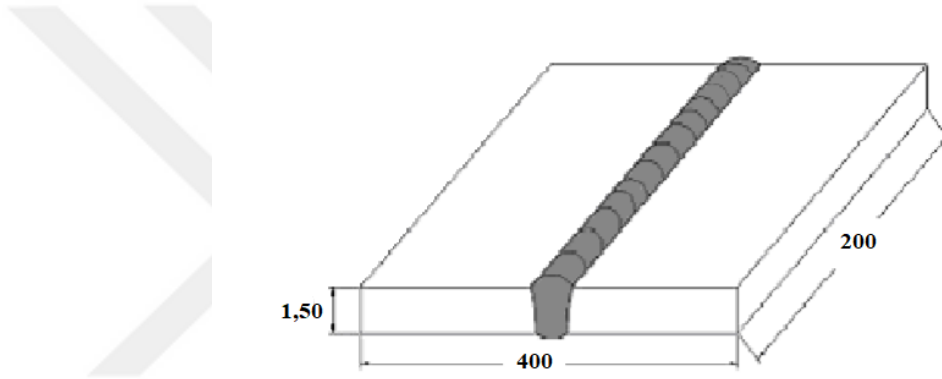
5754 alüminyum sacın çekme ve mikrosertlik sonucu elde edilen mekanik özellikleri Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 : 5754 alüminyum sacın mekanik özellikleri.

Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Mikrosertlik (HV)
220	127	20	67

4.3. Deney Parçalarının Hazırlanması

CMT işlemi öncesi 1,50 mm kalınlığında Alüminyum 6061-T6 ve 5754 saclar 200x200x1,50 mm ölçülerinde kesilip, aseton ile temizlenerek kir ve yağdan arındırılmıştır.



Şekil 4.1 : 6061-T6 ve 5754 Alüminyum sacların ebatları.

4.4. CMT İşlemleri

CMT işlemi Fronius A-4600 CMT kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma hassasiyetinden ötürü bir kaynak robotu kullanılmıştır. Birleştirme işlemi alın altına şeklinde uygulanmıştır. Numunelerde oluşabilecek çarpılma ve çatlama olayını azaltmak için vida ile sabitleyecek bir kalıp sistemi yapılmış, numuneler bu kalıba bağlanarak Soğuk Metal Transfer (CMT) işlemi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalardaki kaynak ilerleme hızının sabit olması için kaynak robotu kullanılmıştır. Kaynak uygulamaları, farklı akım şiddetleri, farklı ilerleme hızları, farklı gaz debileri, farklı torc açıları olmak üzere uygulanmıştır. 6061-T6 ve 5754 Alüminyum numunelerine 1,2 mm çapındaki AlMg4,5Mn alaşımlı MIG kaynak teliyle Soğuk Metal Transfer (CMT) işlemi uygulanmıştır. Çalışmada koruyucu gaz olarak %100 argon gazı kullanılmıştır.

AlMg4,5Mn alüminyum magnezyum manganlı MIG kaynak telidir. Deniz suyu korozyonuna karşı direnci yüksektir. Düşük sıcaklıklarda çalışan (-196 derece) yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılır. Kullanılan kaynak telinin spektrometrik analizi Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5 : AlMg4,5Mn telinin kimyasal bileşimi (Elementler (ağ%)).

Mg	Mn	Cr	Si	Fe	Al
5,00	0,8	0,2	<0,4	<0,4	Kalan

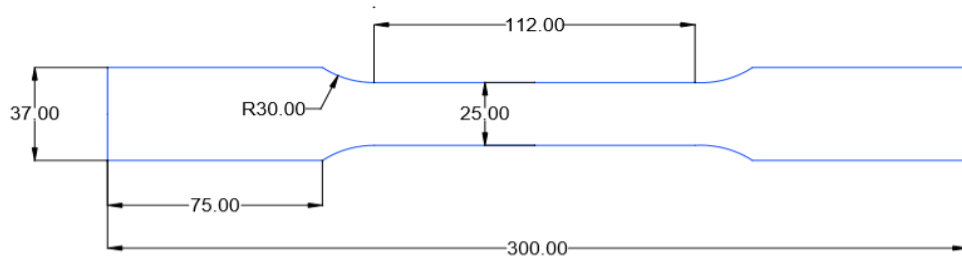
AlMg4,5Mn, MIG kaynak teli TS 6204 EN ISO 18273 normuna göre S Al 5183 olarak tanımlanmıştır. Tele ait mekanik özellikler Tablo 6.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6 : AlMg4,5Mn telinin mekanik özellikleri.

Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
>250	>120	>16

4.5. Çekme Deneyleri

CMT kaynağı ile birleştirilen Alüminyum 6061-T6 ve 5754 numunelerinin mekanik özelliklerini tespit etmek için 5 ton kapasiteli Shimadzu marka çekme cihazıyla çekme testleri yapılmıştır. Çekme deney numuneleri EN 895 normu standardına göre hazırlanmıştır. Çekme deneyinde kullanılan numune ebatları Şekil 4.2’de verilmiştir. Çekme hızı 10mm/dk olarak sabit tutulmuştur. Deney esnasında, kuvvet ve yüzde uzama değerleri bilgisayara numune çevresindeki probalar yardımı ile aktarılmıştır.



Şekil 4.2 : Çekme deneyi numune ebatları.



Şekil 4.3 : Çekme deneyi test cihazı.

4.6. Optik Mikroskop ve SEM İncelemeleri

Deney parçalarında alınan numuneler, kesilip ve bakalit içine gömülmüştür. Bakalit içerisinde bulunan deney numuneleri zımparalama işlemi ve parlatma işleminden sonra Keller reaktifi ile dağlanmıştır. Esas metaller, ısı tesiri altında kalan bölgeler (ITAB) ve kaynak çekirdeği optik mikroskop kullanılarak mikroyapı görüntüleri alınmış ve kaynak sonrası oluşmuş olan içyapı değişimleri incelenmiştir.



Şekil 4.4 : Optik mikroskop.

Şekil 4.4.'de taramalı elektron mikroskobu çalışmalarında kullanılmış olan cihaz gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Taramalı elektron mikroskobu.

4.5. Kaynak Boyutlarının Tespiti

Kaynak yükseklikleri ve kaynak genişliklerinin tespiti amacı ile kaynak yapılmış numunelerin makro fotoğrafları çekilerek kaynak yükseklik ve kaynak genişlikleri ölçülmüş, ölçülen bu değerler deneysel sonuçlar bölümünde grafikler halinde sunulmuştur.



Şekil 4.6: Makroyapı incelemelerinde çekilen örnek bir görüntü.

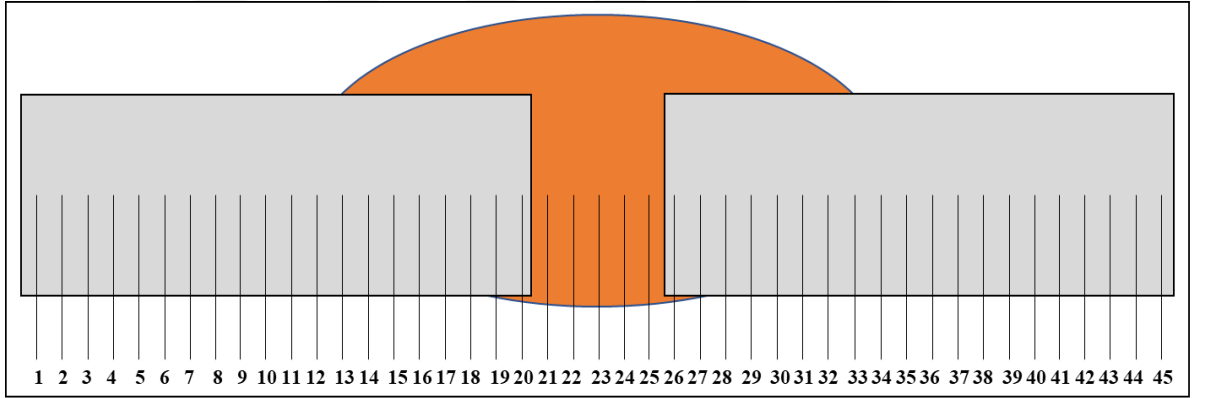
4.6. Sertlik Değerlerinin Ölçümü

Kaynak akımının ve kaynak süresinin bağlantının sertlik üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, her bir numunenin sertlik değerleri mikrosertlik ölçme cihazıyla (Vickers) ölçülmüştür. 0,5 mm aralıklarla mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Sertlik ölçümleri Şekil

6.6’da görülen cihaz ile yapılmıştır. Mikrosertlik deneyi laboratuvar koşullarında yapılmış bütün sertlik ölçümleri mikrosertlik (Vickers) ölçüm test metodu kullanılarak yapılmış ve 100 gramlık yük ve piramit batıcı uç 10 saniye süre ile uygulanmıştır.



Şekil 4.7 : Mikrosertlik ölçümlerinde kullanılan Vickers sertlik ölçme cihazı.



Şekil 4.8 : Vickers mikrosertlik ölçümü alınan noktalar.

CMT yöntemi ile birleştirilen 5754 ve 6061-T6 alüminyum sacların ısı girdisini hesaplamak için kullanılan lineer ısı girdisi formülü aşağıdaki denklemde verilmiştir. Bu formül ile kaynak işlemi yapılan bölgelerin ısı girdileri hesaplanmıştır.

$$\text{Isı Girdisi}_{\text{lineer}} = \frac{(60 \times A \times V) \times \eta}{\dot{I}.H. \times 1000} \quad (4.1)$$

A=Akım Şiddeti (Amper)

V=Gerilim (Voltaj)

H=Kaynak akım verim katsayısı (MIG için 0,7)

$\dot{I}.H.$ =İlerleme hızı(m/dk)

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. 6061-T6 AA Sacların CMT Kaynak Yöntemi ile Birleştirmeleri

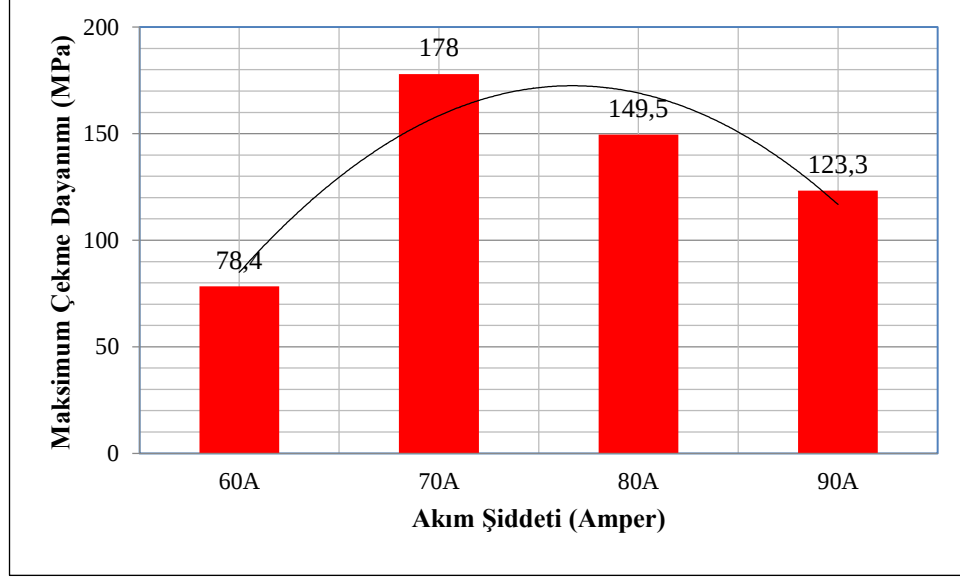
5.1.1. Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

5.1.1.1. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının dayanımına etkisi

6061-T6 Alüminyum levhanın CMT kaynağında uygulanan farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemeti incelemek için akım parametreleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Akım şiddetleri 50 amperden başlayıp 100 amperde dahil olmak üzere çıkılmıştır. 100 amperde akım şiddetine bağlı levhada erime ve delinmeler gözlenmiştir.

Tablo 5.1 : Farklı akım şiddetlerinde kaynak parametrelerinin ve mekanik özelliklerine etkisi.

ALÜMİNYUM 6061-T6 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[MPa]
60	3,8	12,4	12	Argon	60	0	78,4
70	4,4	12,5	12	Argon	60	0	178
80	5,2	12,5	12	Argon	60	0	149,5
90	5,9	13,3	12	Argon	60	0	123,3



Şekil 5.1 : Farklı akım şiddetlerindeki parçanın çekme dayanımları grafiği.

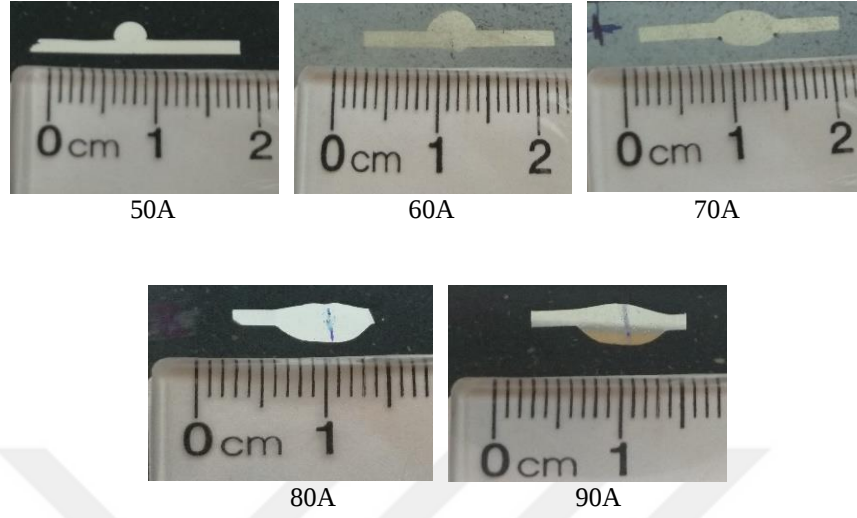
Şekil 5.1’de görüldüğü üzere akım şiddetine bağlı olarak çekme mukavemetlerinde değişim gözlenmiştir. 50 amperde kaynak tutmamış, 60 amperde en düşük çekme mukavemetine sahiptir. 70 amperden itibaren çekme mukavemetinde düşme gözlenmiş ve ana malzemeden koptukları gözlenmiştir.

Bu nedenle çekme geriliminde kritik eşik 70 amper olarak görülebilmektedir. 70 ampere kadar artan mukavemet değeri daha sonra 80, 90 amperlerde düşmüştür. 100 amperde görülen ani düşmenin kaynak hatası ya da boşluktan olabileceği düşünülmektedir. Malzemedeki değişen mukavemet değerlerinin akım şiddetine bağlı ısı girdisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle alüminyum 6061-T6 ve 6061-T6 levhalarda uygulanabilecek değer 70 amper olduğu görülmektedir.

5.1.1.2. Farklı akım şiddetlerinin kaynak geometrisine etkisi

Farklı kaynak akım şiddetlerinin kaynak geometrisine etkisini araştırmak için AlMg4,5Mn ilave kaynak teli kullanılarak farklı akım şiddetlerinde Soğuk Metal Transferi yöntemi ile birleştirilen 6061-T6 alüminyum alaşımı sac numunelere ait makro resimler çekilmiştir, makro ölçümler yapılmış ve bulunan değerler grafikler şeklinde verilmiştir. Kaynak akım şiddeti için 6061-T6 alüminyum alaşımı sac numunelerin optimum değeri belirlenmeye çalışılmıştır.

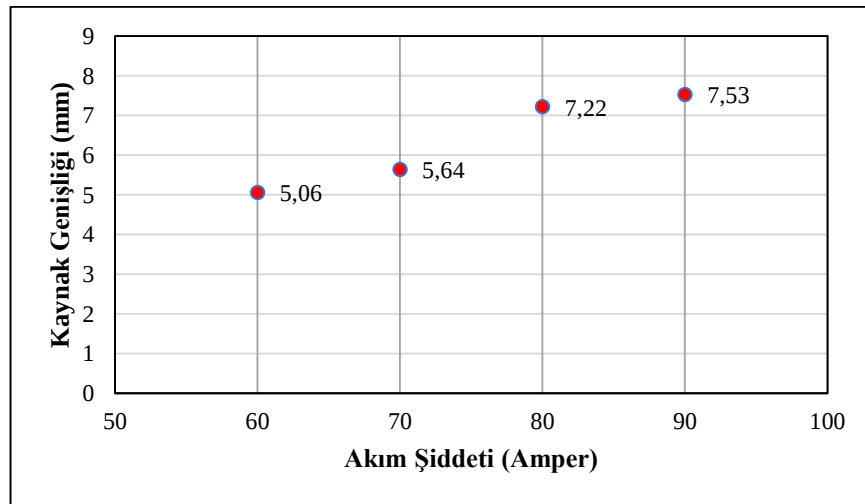
Şekil 5.2’de kaynak akım şiddetlerine göre CMT yöntemi ile farklı akım şiddetleri uygulanmış numunelere ait makro fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 5.2 : Farklı akım şiddetlerine ait makro görüntüler.

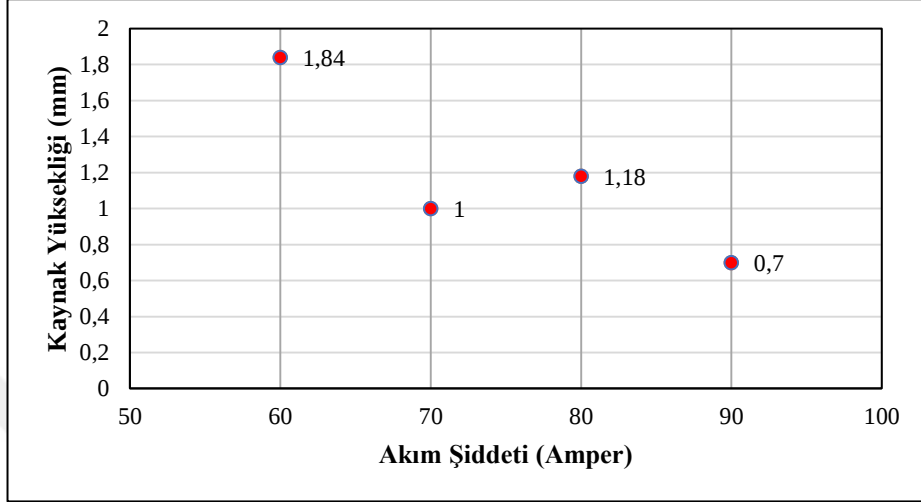
İncelenen numunelerin tüm değerlerinde kaynak ısılatma kabiliyetinin iyi olduğu görülmüştür. İlave metalin fazla olması sebebiyle belli değerden sonra ana metalin altına ilave metal nüfuziyeti artmakta ve sakal oluşumu meydana gelmektedir. 70A kaynak akım şiddetinin optimum olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.3’de farklı akım şiddetlerinde kaynak işlemi yapılmış numunelerin kaynak genişliğine ait grafik görülmektedir. Grafikte, akım şiddetinin artmasıyla kaynak kepi genişliğinin de artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.3 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak genişliği grafiği.

Şekil 5.4’de verilen farklı akım şiddetlerindeki kaynak yükseklikleri grafiğine bakıldığında, akım şiddetinin artması ile kaynak yüksekliğinin zamanla azaldığı görülmektedir. Akım şiddetinin artması ısı girdisini de artırmakta, böylece kaynak telinin ısılatma özelliğini artırdığı için kaynak kepi genişliğini artırdığı ve kaynak yüksekliğini ise azalttığı düşünülmektedir.

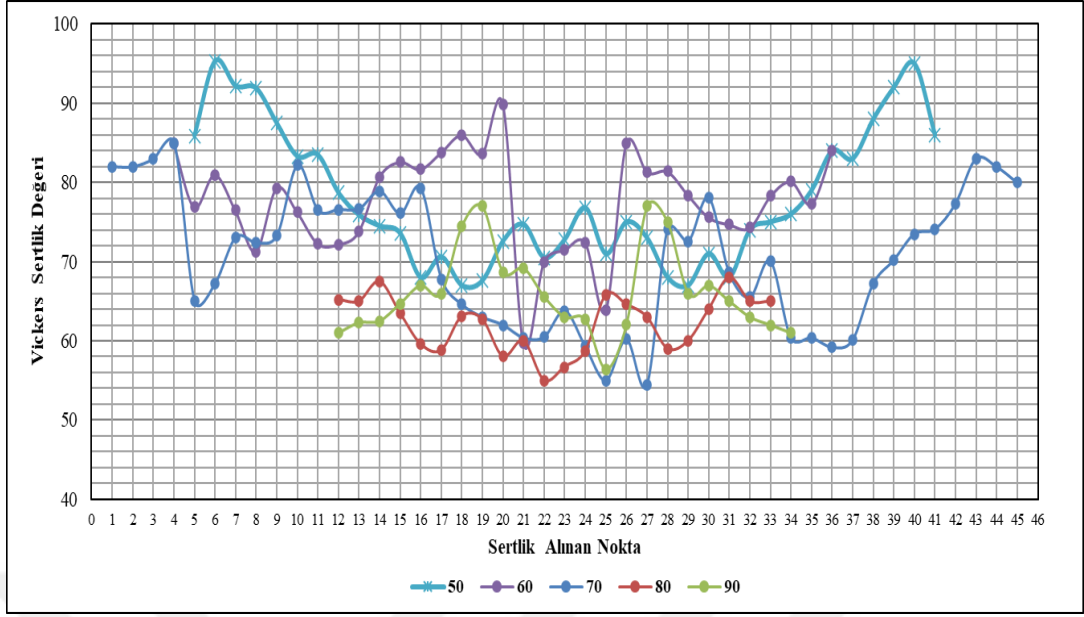


Şekil 5.4 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak yüksekliği grafiği.

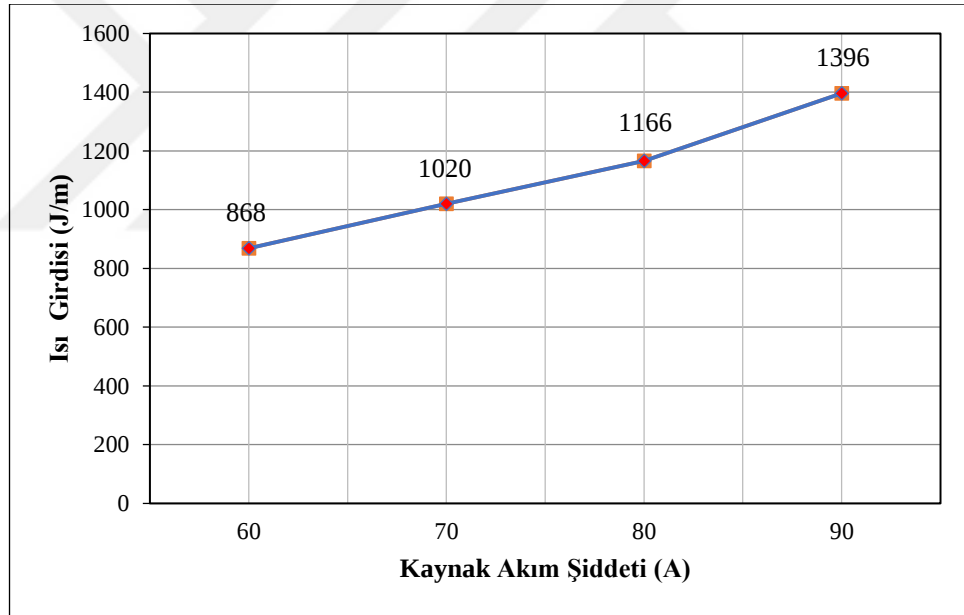
5.1.1.3. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi

CMT kaynak işlemi yapılmış farklı akımlardaki numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait değerler Şekil 5.5’de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları 3 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; kaynak metali, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metaldir.

Şekil 5.5’deki grafik incelendiğinde 50, 60, 70 ve 80A kaynak akım şiddetlerinde ve bu akım şiddetlerine bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.

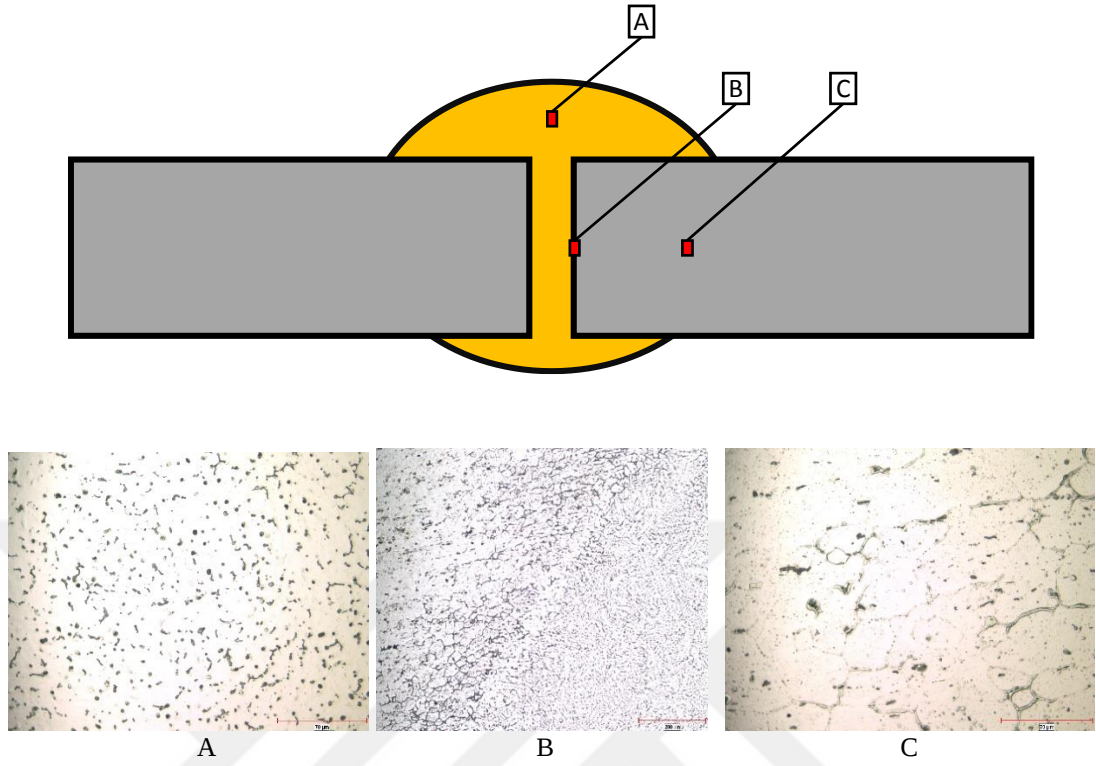


Şekil 5.5 : Farklı akım şiddetlerindeki numunelerin mikrosertlik değerleri grafiği.



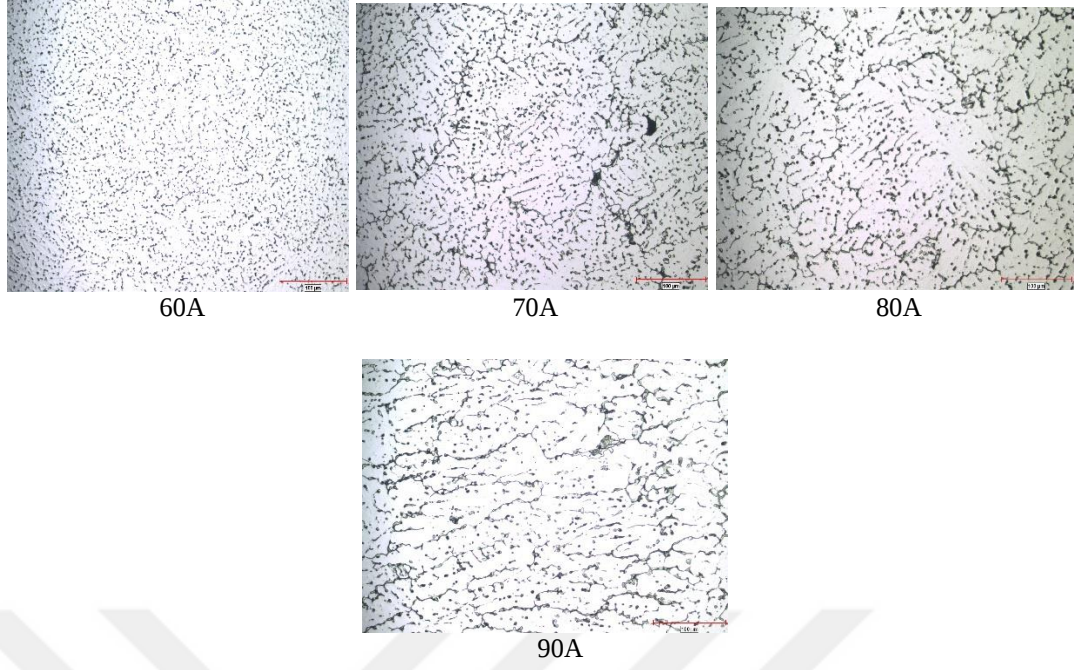
Şekil 5.6 : Farklı akım şiddetlerindeki numunelerin ısı girdileri grafiği.

5.1.1.4. Farklı akım şiddetlerindeki bağlantının mikroyapısına etkisi



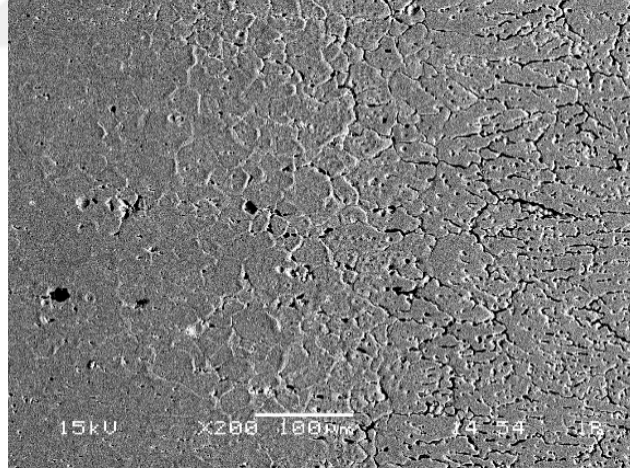
Şekil 5.7 : 70A akım şiddetinde kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.7’de 70A’lık akım şiddeti ile kaynak işlemi yapılan numunenin farklı bölgelere ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A kısmı kaynak bölgesi, B kısmı ara bölge, C kısmı ise ısı tesiri altındaki kalan bölge (ITAB) görüntülerini vermektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde CMT kaynağının gerçekleştirdiği bölgeye yakın bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye doğru yaklaştıkça tane boyutunda küçülmeler mevcuttur. Bununla birlikte tane boyutunun iri olduğu alanlarda maksimum sertlik değerleri ölçülmüştür. Bunun nedeninin ise ısı girdisinin en fazla etkili olduğu alan olarak bu bölge olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.8 : Farklı akım şiddetinde kaynak yapılan numunelerin kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.

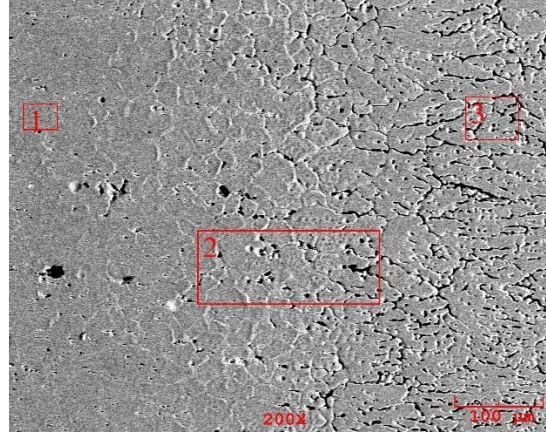
Şekil 5.8’de farklı akım şiddetinde AlMg4,5Mn ilave kaynak teli ile yapılmış CMT kaynak işlemine ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.9 : 70A akım şiddetinde kaynak yapılan numuneye ait ara bölgesi SEM görüntüsü.

Şekil 5.9’da 70A kaynak akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölgesinin SEM görüntüsü verilmiştir.

70A akım şiddeti ile birleştirilmiş numunenin ara bölgeden alınan EDS analizi değerleri Şekil 5.10’da verilmiştir.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkca %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	0,594	-	0,223	0,467	98,716
2	0,777	0,082	0,409	1,181	97,551
3	1,638	0,095	0,435	1,373	96,459

Şekil 5.10 : 70A akım şiddetinde kaynak edilmiş numunenin ara bölge bölgesel EDS analizi.

5.1.2. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

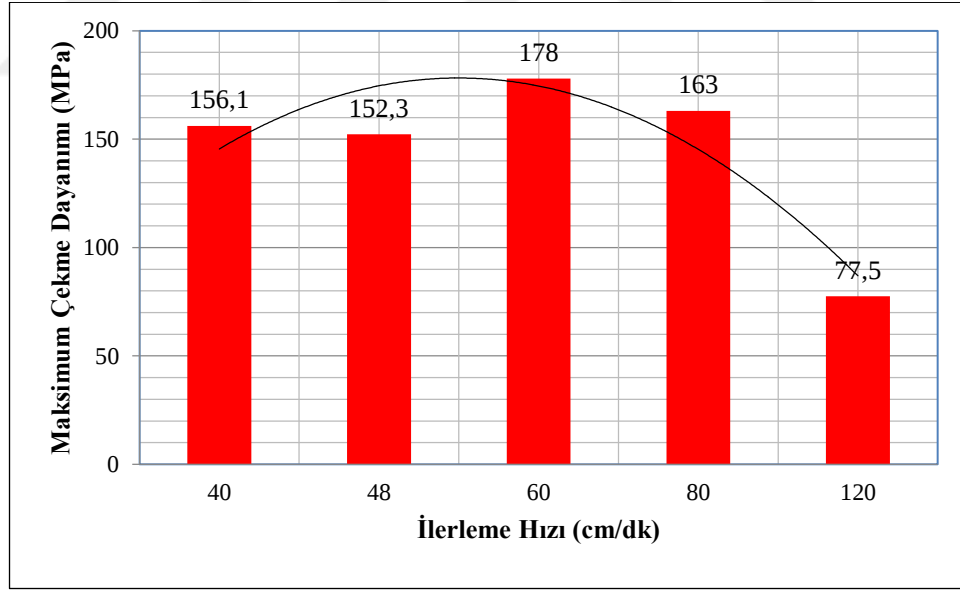
5.1.2.1. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının dayanımına etkisi

Alüminyum 6061-T6 alaşımı sacların CMT birleştirmesinin optimum akım şiddeti 70A olarak ve kaynak gerilimi 12,5V olarak belirlenmiştir. Bu değişkenlere bağlı olarak farklı kaynak hızlarındaki çekme mukavemeti değerlerini incelemek amacıyla Tablo uygulanan kaynak hızları, akım şiddetleri, gaz basıncı ve kullanılan gaz verilmiştir. Kaynak hızını sabitlemek için kaynak robotu kullanılmıştır. Kaynak hızları 40 cm/dk ile 120 cm/dk arasında uygulanmıştır. Bulunan sonuçlara göre en uygun ilerleme hızının belirlenmesi hedeflenmiştir. Tablo 5.2’de kaynak parametreleri verilmiştir.

Tablo 5.2 : Farklı kaynak hızlarının kaynak parametreleri ve mekanik özelliklere etkisi.

ALÜMİNYUM 6061-T6 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[MPa]
70	4,4	12,5	12	Argon	40	0	77,5
70	4,4	12,5	12	Argon	48	0	163
70	4,4	12,5	12	Argon	60	0	178
70	4,4	12,5	12	Argon	85	0	152,3
70	4,4	12,5	12	Argon	120	0	156,1

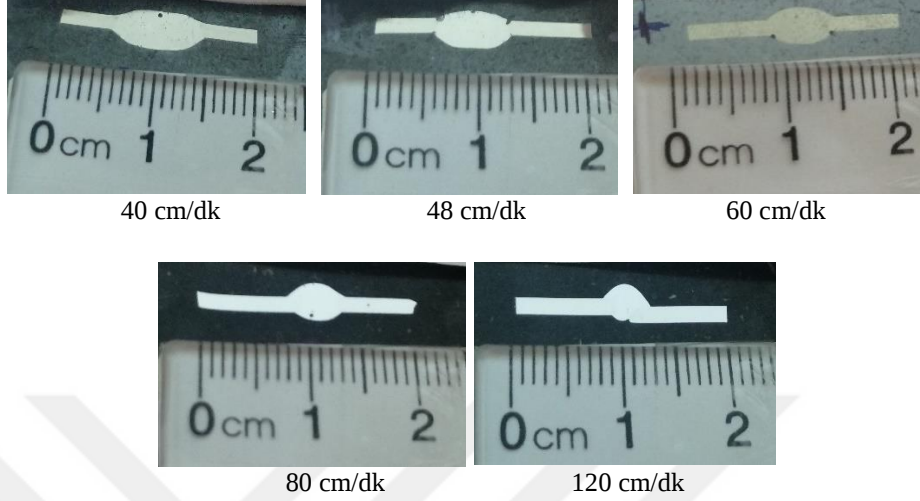
Farklı kaynak hızlarının çekme mukavemetleri Şekil 5.11’de incelenmiştir. İncelenen malzemelerde 80 cm/dk ve 120 cm/dk’da kaynak bölgesinden kopmalar mevcuttur. Kaynak ilerleme hızının artmasıyla beraber ITAB bölgesinden kopmalar meydana gelmiştir. Tablodaki verilere bakıldığında en yüksek çekme mukavemeti değerine 60 cm/dk’da ulaşılmıştır. Bu sebepten optimum kaynak hızı 60 cm/dk olarak belirlenmiştir. Kaynak süresi arttıkça ısı girdisi artmıştır.



Şekil 5.11 : Farklı kaynak hızlarındaki çekme dayanımı grafiği.

5.1.2.2. Farklı ilerleme hızlarının kaynak geometrisine etkisi

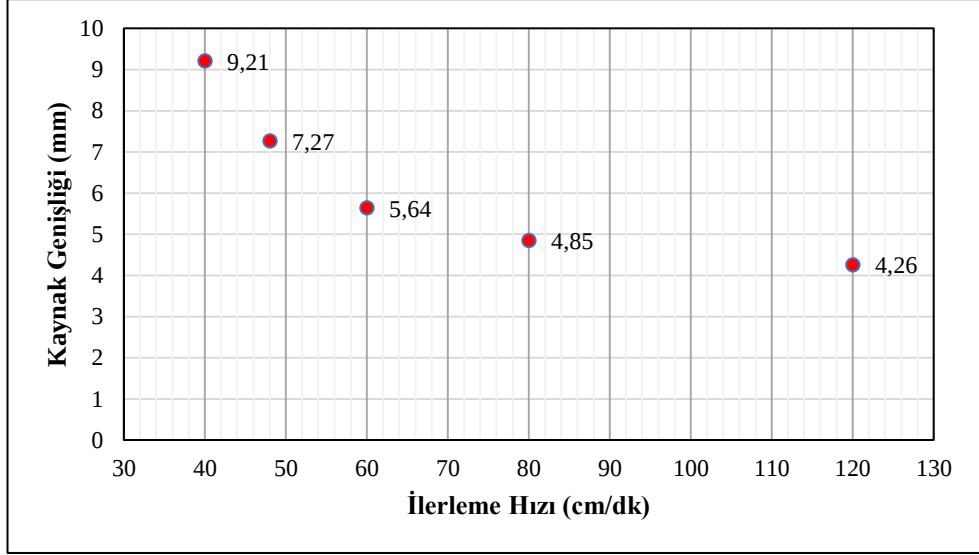
Farklı kaynak ilerleme hızı parametrelerine göre kaynak işlemi yapılmış olan numunelerin makro fotoğraf görüntüleri Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.12 : Farklı kaynak ilerleme hızlarında makro görüntüler.

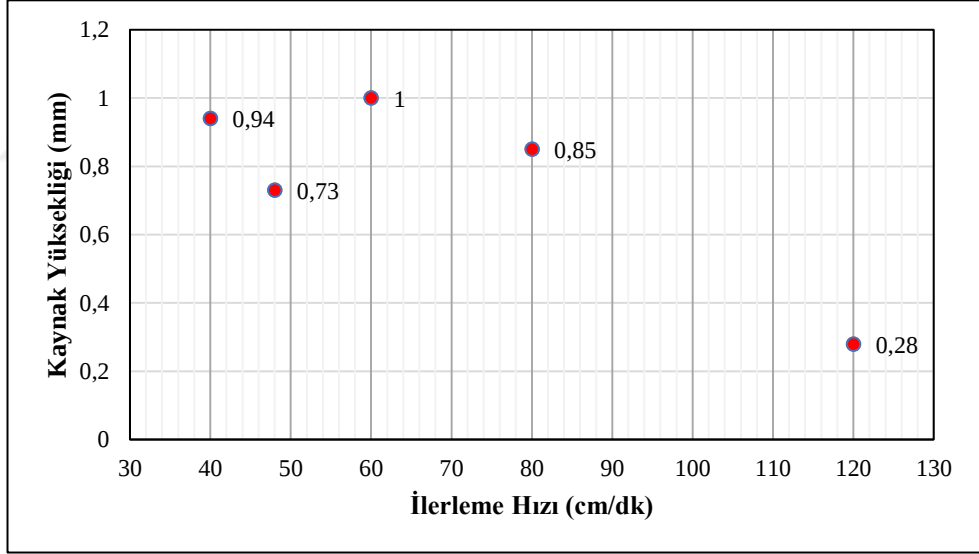
Şekil 5.12’deki makro görüntüler incelendiğinde, 60 ve 80 cm/dk ilerleme hızlarında kaynak ısılatma yeteneğinin diğer numunelere göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda maksimum mukavemet değerleri de bu hızlarda bulunmuştur.

Şekil 5.13’de farklı kaynak ilerleme hızı kaynak genişliği grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde kaynak ilerleme hızı arttıkça kaynak kep genişliğinde azalma görülmektedir. Maksimum mukavemet değerlerinin bulunduğu sonuçlar karşılaştırıldığında, ideal kaynak kep genişliğinin 5-6 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.13 : Farklı kaynak ilerleme hızlarına ait kaynak genişliği grafiği.

Kaynak ilerleme hızı ile kaynak yüksekliği arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 5.14’de verilmiştir.

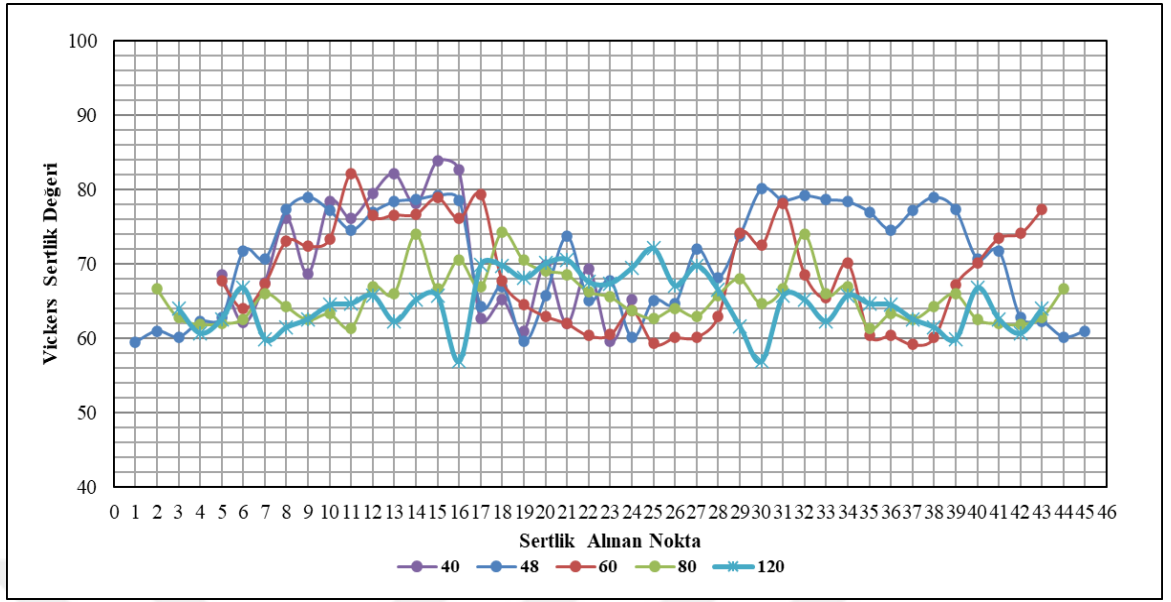


Şekil 5.14 : Farklı kaynak ilerleme hızlarına ait kaynak yüksekliği grafiği.

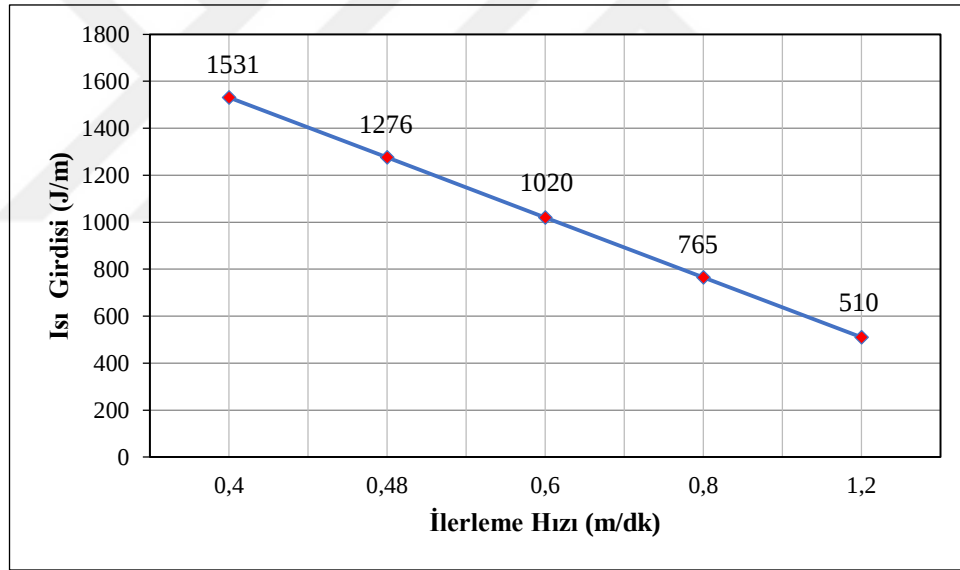
5.1.2.3. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi

Farklı akımlarda CMT-kaynak işlemi yapılmış numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait sonuçlar Şekil 5.15’de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları 3 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; kaynak metali, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metaldir.

Şekil 5.15’deki grafik incelendiğinde 40, 48, 60, 80 ve 120 cm/dk kaynak hızlarında ve bu hızlara bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.



Şekil 5.15 : Farklı kaynak ilerleme hızları mikro sertlik noktaları.

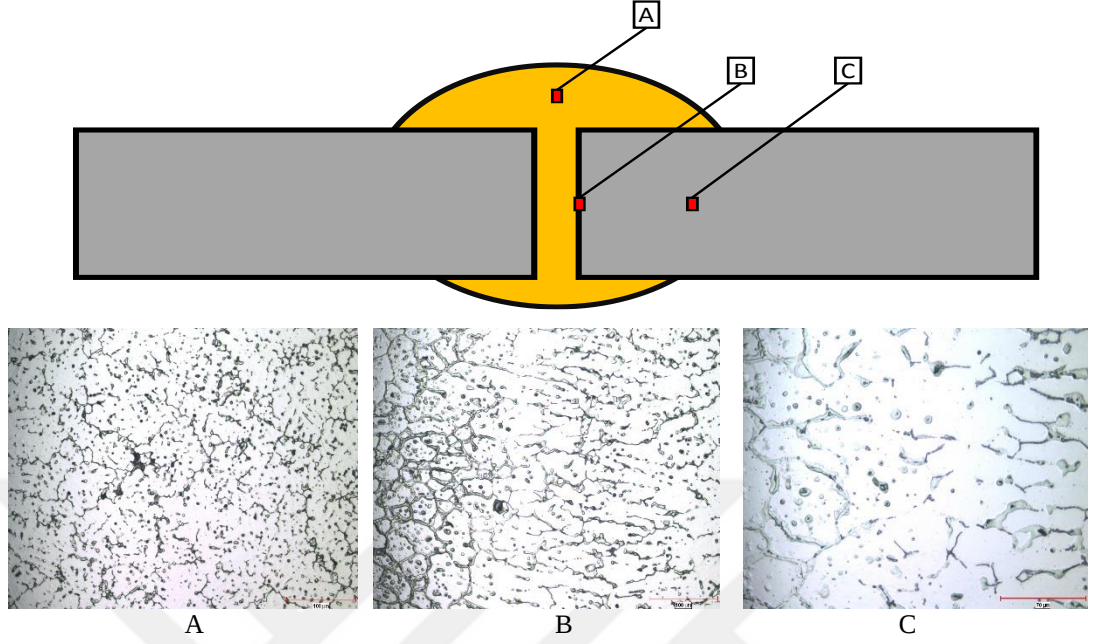


Şekil 5.16 : Farklı kaynak ilerleme hızları ısı girdileri grafiği.

5.1.2.4. Farklı ilerleme hızının bağlantının mikroyapısına etkisi

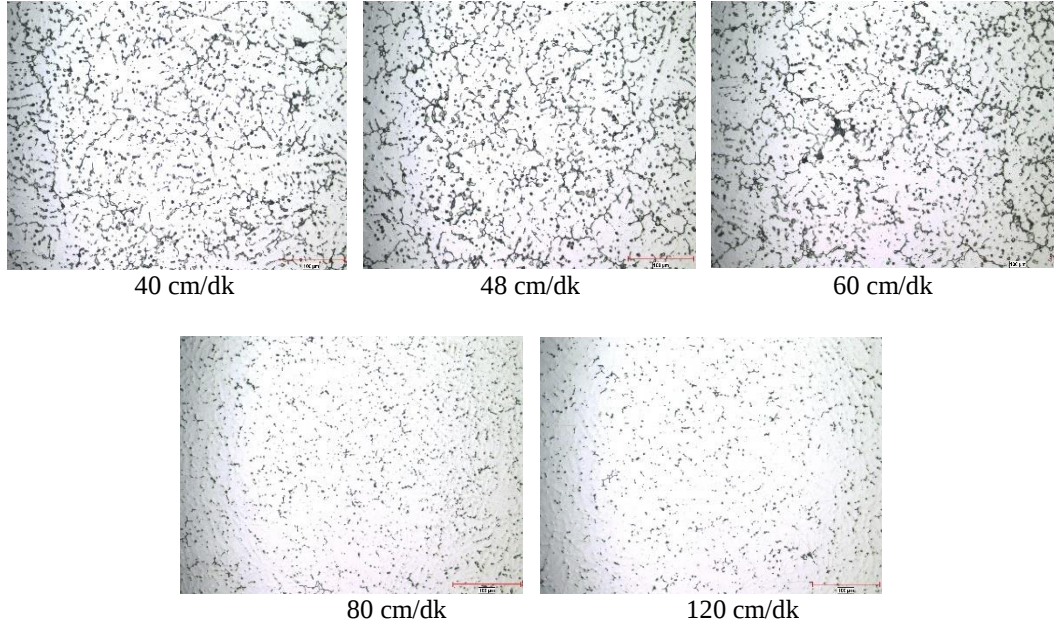
Şekil 5.17'de 48 cm/dk kaynak ilerleme hızı ile kaynak işlemi yapılan numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A kısmı kaynak bölgesi olup, B kısmı ara bölge, C kısmı ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) görüntülerini vermektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde CMT birleştirme işleminin gerçekleştirildiği bölgeye yakın bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye yaklaştıkça tane boyutu küçülmüştür. Bununla birlikte tane boyutunun iri olduğu

yerlerde maksimum sertlik değerleri ölçölmüştür. Bunun nedeninin ise ısı girdisinden en çok etkilenen bölgenin bu bölgenin olduğu anlaşılmaktadır.



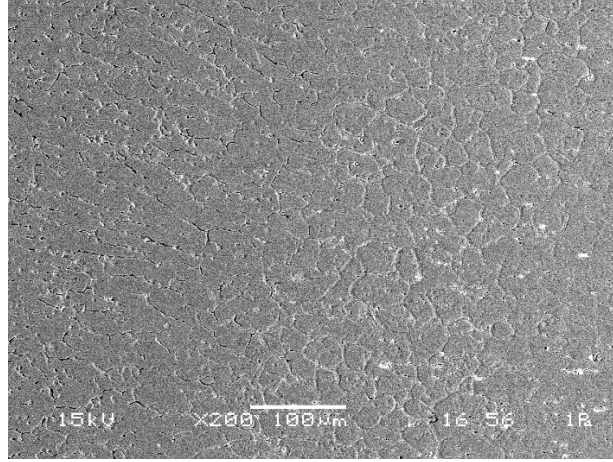
Şekil 5.17 : 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilen numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.18’de farklı kaynak ilerleme hızlarında birleştirilmiş numunelerin kaynak bölgelerindeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. İlerleme hızının kaynak bölgesi tane boyutunun değişmesine etki ettiği gözlemlenmiştir.

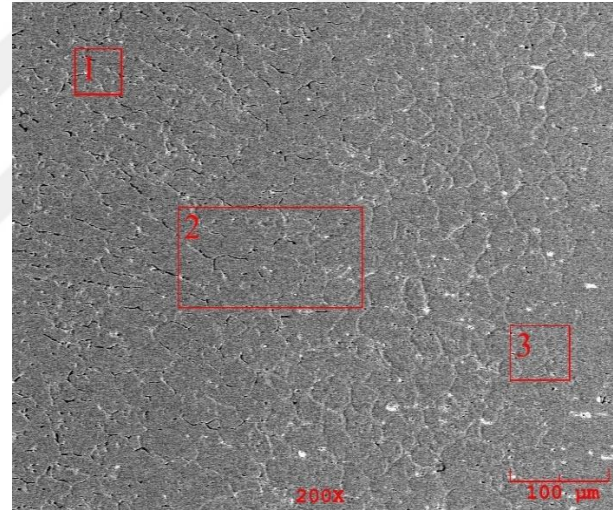


Şekil 5.18 : Farklı kaynak ilerleme hızlarındaki kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.

Ana malzeme ile kaynak metali bölgesi arasındaki ara bölgeden alınan SEM görüntüsü Şekil 5.19’da, ara bölgeden alınan EDS analiz sonucu Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.19 : 48 cm/dk kaynak ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin ara bölge SEM görüntüsü.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	2,703	-	0,647	0,768	95,882
2	1,002	0,038	0,522	1,188	97,249
3	0,901	0,228	0,298	0,910	97,663

Şekil 5.20 : 48 cm/dk kaynak ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.

5.1.3. Farklı gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi

5.1.3.1. Farklı gaz debilerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

Alüminyum 6061-T6 malzemesinin optimum akım şiddeti 70A olarak ve kaynak gerilimi 12,5V ve kaynak hızı 60 cm/dk olarak belirlenmiştir. Bu verilen değerler sabit tutularak yapılan kaynak işlemlerinde farklı gaz debileri kullanılmıştır. Yapılan işlemlerde farklı gaz debileri kullanılarak en uygun gaz debisi ve bu parametrenin ise dayanıma etkileri incelenmiştir.

Gaz akış debisinin argon tüpü manometresinden ölçüldüğü gibi gaz sızıntılarının oluşması ihtimali de düşünülerek, kaynak torcu ucundan gaz akış debileri ölçülerek kaynak işlemleri yapılmıştır.

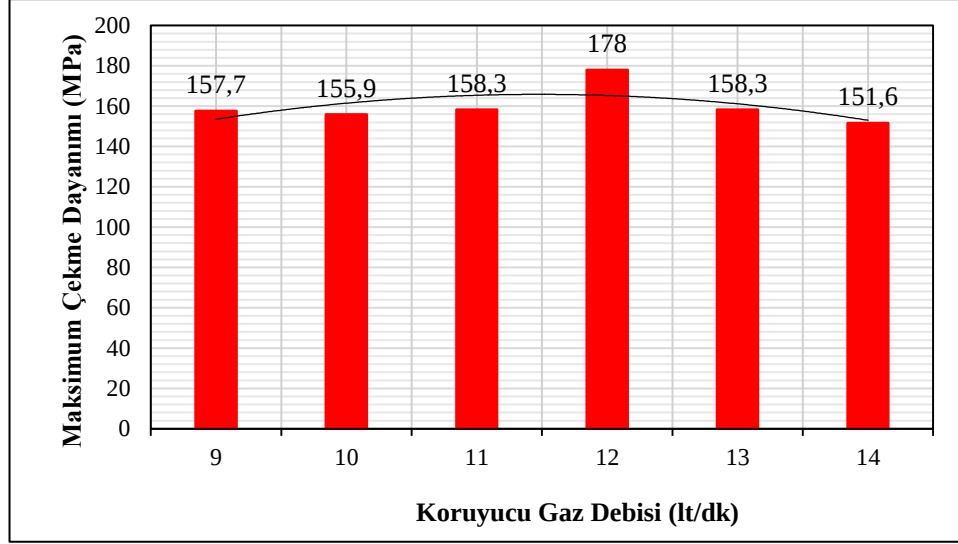
Tablo 5.3.'de 6061-T6 alüminyum alaşımı sacların farklı gaz akış debilerinde kaynak parametreleri ve çekme dayanımı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.3 : Farklı kaynak gaz debilerinde kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkisi.

ALÜMİNYUM 6061-T6 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[MPa]
70	4,4	12,5	9	Argon	60	0	157,7
70	4,4	12,5	10	Argon	60	0	155,9
70	4,4	12,5	11	Argon	60	0	158,3
70	4,4	12,5	12	Argon	60	0	178
70	4,4	12,5	13	Argon	60	0	158,3
70	4,4	12,5	14	Argon	60	0	151,6

Tablo 5.3'de görüldüğü üzere farklı gaz debileri ve çekme mukavemetleri incelendiğinde, kaynak gaz debisi değerlerinde, 12 lt/dk değeri en yüksek çekme mukavemeti değerleri olarak gözlenmiştir.

Şekil 5.21'de farklı gaz debilerinde en yüksek çekme mukavemetleri grafiği bulunmaktadır.

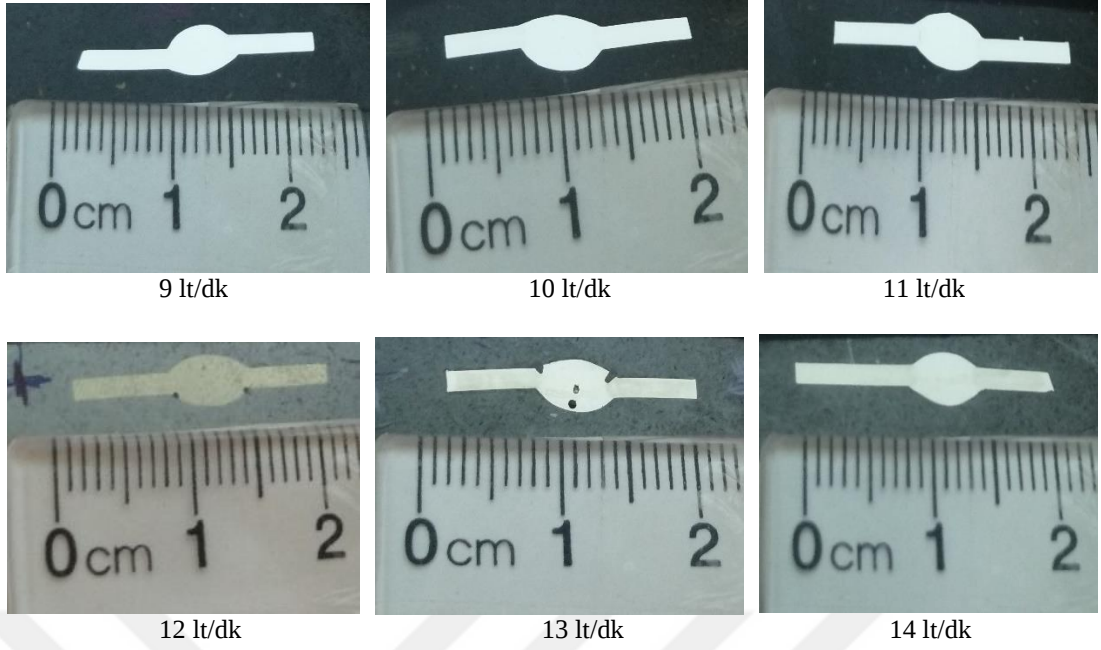


Şekil 5.21 : Farklı kaynak gaz debilerindeki en yüksek çekme dayanımları grafiği.

Şekil 5.21'deki grafik incelendiğinde 12 lt/dk gaz debisinde en yüksek çekme mukavemet değeri görülmüştür. Deney parçaları incelendiğinde maksimum çekme mukavemetine ait numunelerin ITAB bölgesinden koptuğu gözlenmiştir. Bu sebeple 6061-T6 alüminyuma CMT kaynağı işleminde uygulanabilir optimum koruyucu gaz debisi 12 lt/dk olduğu belirlenmiştir.

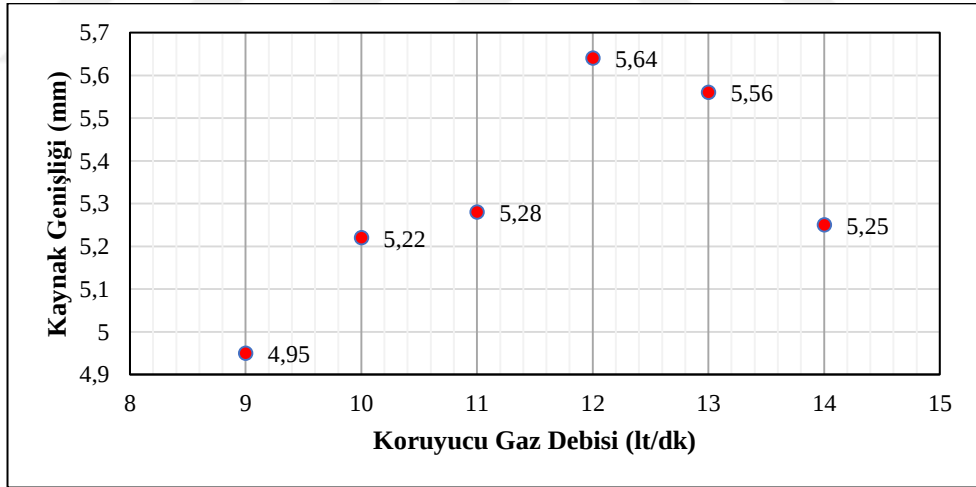
5.1.3.2. Farklı gaz debisinin bağlantının kaynak geometrisine etkisi

6061-T6 alüminyum alaşımı sacların kaynak işleminin verimli yapılabilmesi için uygun akım şiddeti 70A, gerilim 12,5V ve kaynak ilerleme hızı ise 60 cm/dk olarak belirlenmiş, optimum gaz debisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç ile farklı gaz debilerinde yapılmış olan kaynak işlemlerine ait numunelerin makro fotoğrafları görselleri Şekil 5.22'de verilmiştir.



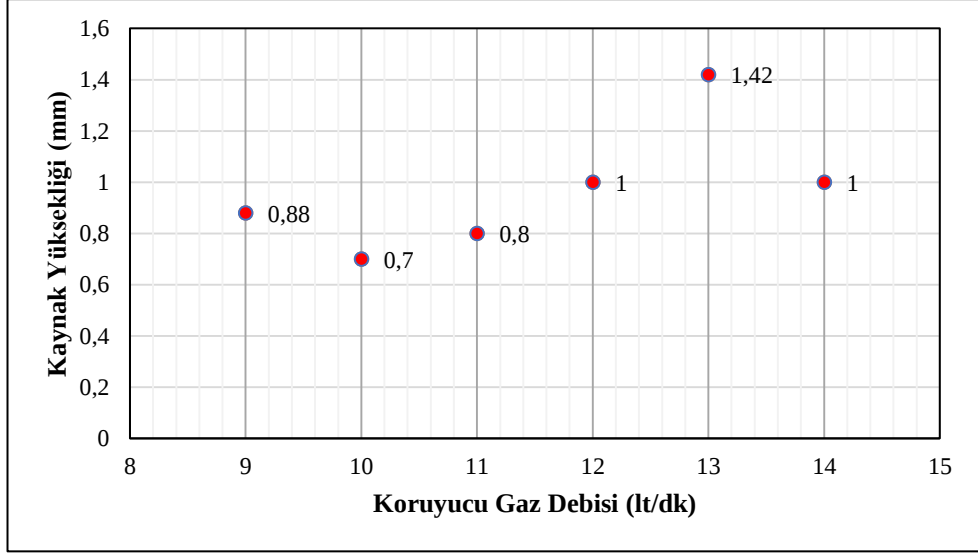
Şekil 5.22 : Farklı kaynak gaz debilerinden elde edilmiş olan makroyapı görüntüleri.

Makroyapı görüntüleri incelendiğinde elde edilen tüm değerlerinin ıslatabilirliğinin olduğu anlaşılmaktadır. Fakat çekme deneyi mukavemet sonuçları birlikte değerlendirildiğinde optimum gaz debisinin 12 lt/dk olduğu görülmektedir.



Şekil 5.23 : Gaz debisi kaynak genişliği grafiği.

Şekil 5.23’de farklı kaynak gaz debileri kaynak genişliği grafiği verilmiştir. Kaynak kepi genişliğindeki değerin birbirine yakın değerlerde olabileceği düşünülmektedir. Fakat 12 lt/dk gaz debisine sahip numunenin çekme dayanımı değeri maksimum olduğu için kaynak genişliğinin 5-6 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.



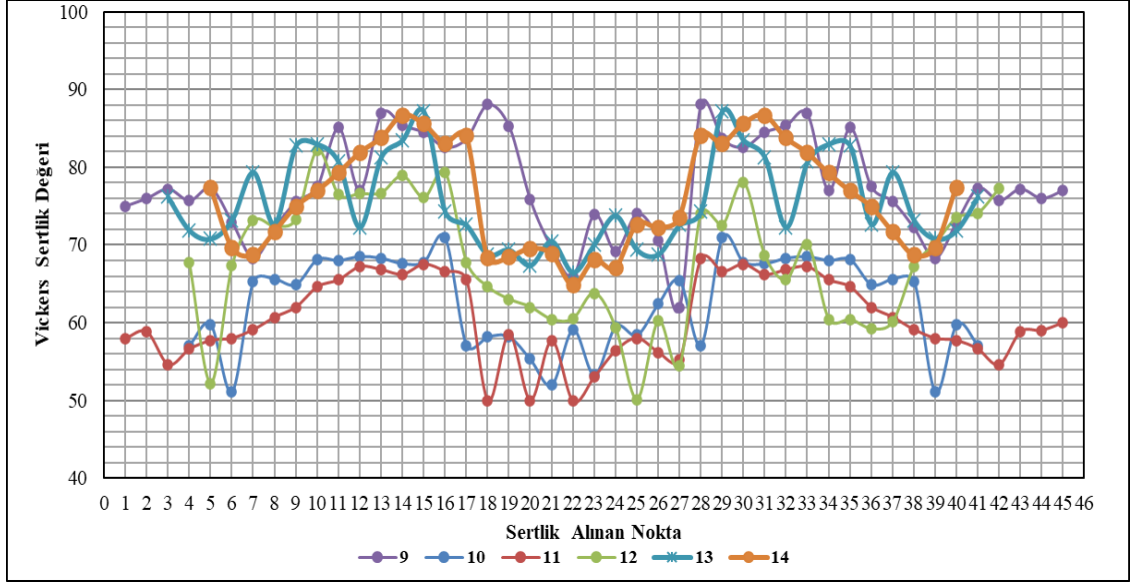
Şekil 5.24 : Farklı kaynak gaz debisi kaynak yüksekliği grafiği.

Farklı gaz akımları ile kaynak yüksekliği arasındaki bağıntı grafiği Şekil 5.24’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde kaynak yüksekliğinin en fazla olduğu değer 13 lt/dk gaz debisinde ona en yakın değerler ise 12 ve 14 lt/dk kaynak gaz debilerinde elde edilmiştir. En düşük kaynak yüksekliği ise 10 lt/dk gaz debisinde olduğu görülmektedir.

5.1.3.3. Farklı gaz debilerinin bağlantısının sertliğine etkisi

Farklı koruyucu gaz debilerinde CMT-kaynak ile birleştirme yapılmış numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait değerler Şekil 5.25’de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları üç bölgeden oluşmaktadır. Bunlar; kaynak metali, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metaldir.

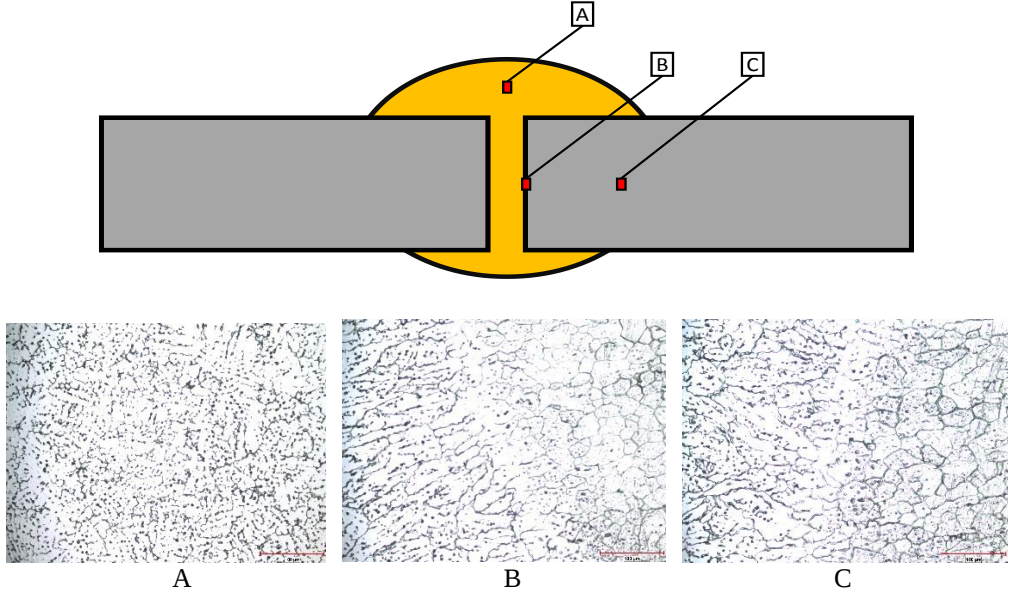
Şekil 5.25’deki grafik incelendiğinde 9 lt/dk, 10 lt/dk, 11 lt/dk, 12 lt/dk, 13 lt/dk ve 14 lt/dk koruyucu gaz debilerinde kaynak hızlarında ve bu hızlara bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.



Şekil 5.25 : Farklı kaynak gaz debilerinde mikrosertlik değerleri.

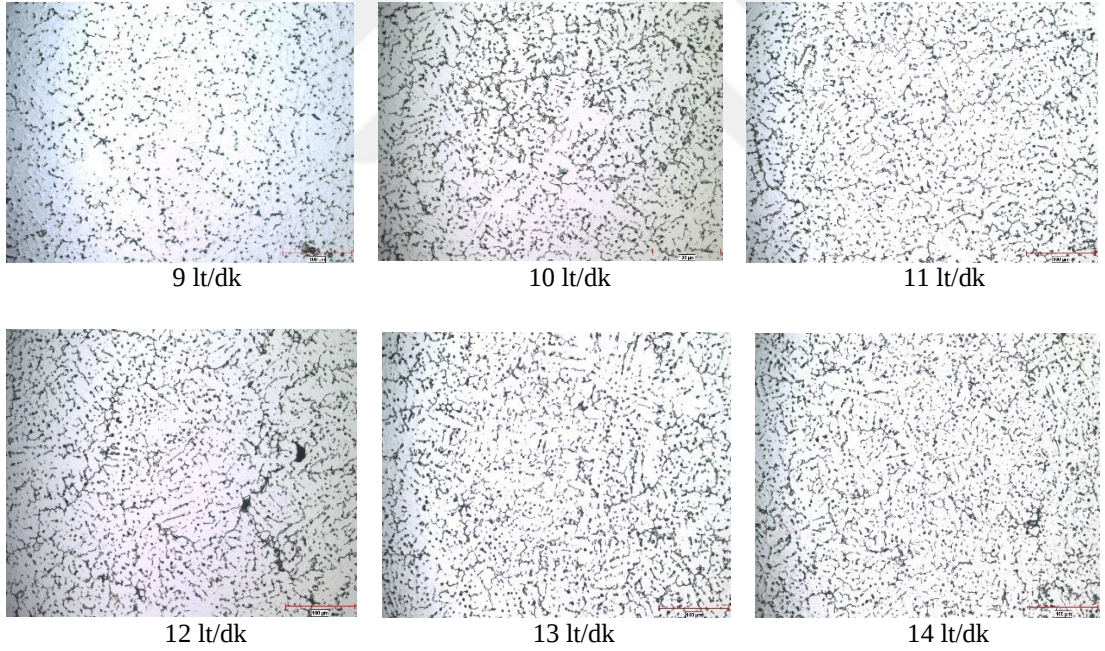
5.1.3.4. Farklı gaz debilerinin bağlantılarının mikroyapı özelliklerine etkisi

Şekil 5.26'da 13 lt/dk koruyucu gaz debisi ile kaynak işlemi yapılan numunenin farklı bölgelerde oluşan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A kısmı kaynak bölgesi, B kısmı ara bölge, C kısmı ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) görüntülerini vermektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde CMT kaynak işleminin gerçekleştirildiği bölgeye yakın bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye doğru yaklaştıkça tane boyutu küçülmüştür. Bununla beraber tane boyutunun iri olduğu kısımlarda maksimum sertlik değerleri ölçülmüştür. Bunun nedeninin ise ısı girdisinin en çok etkili olduğu bölgenin bu bölgenin olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.26 : 13 lt/dk gaz debisiyle kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

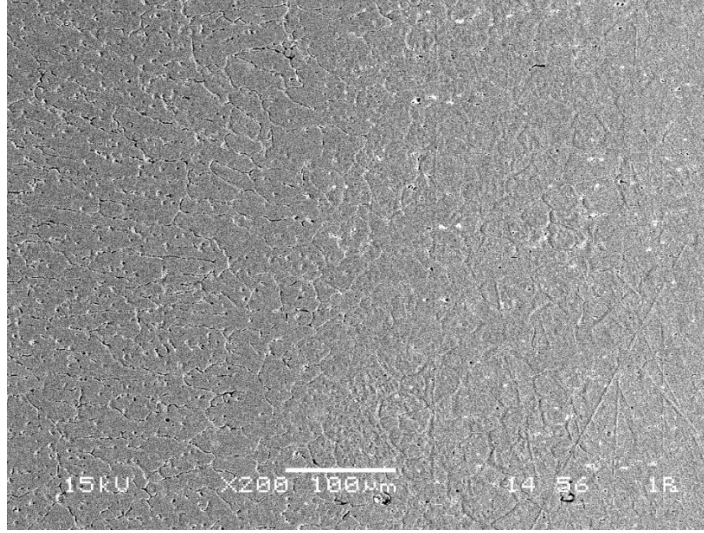
Şekil 5.27.'de farklı kaynak koruyucu gaz debilerinde birleştirilmiş numunelerin kaynak bölgelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



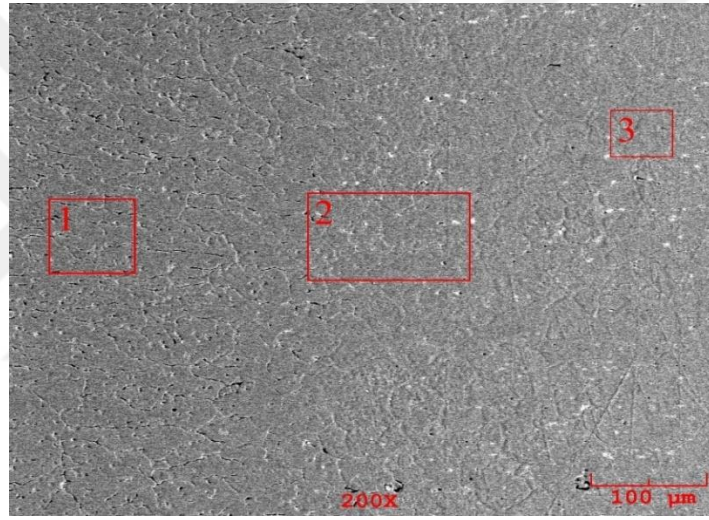
Şekil 5.27 : Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş kaynak bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.28'de 13 lt/dk gaz debisinde kaynak yapılmış numunenin ara bölge SEM görüntüsü verilmiştir.

Şekil 5.29'da 13 lt/dk gaz debisinde birleştirilmiş numunenin ara bölgesinden alınan EDS inceleme sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.28 : 13 lt/dk gaz debisi ile birleştirilmiş numuneye ait ara bölge SEM görüntüsü.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	1,820	0,022	0,465	1,132	96,562
2	0,615	0,517	0,278	0,597	97,992
3	0,951	0,371	0,576	0,860	97,242

Şekil 5.29 : 13 lt/dk debi ile birleştirilmiş numunenin ara bölgesinden alınan bölgesel EDS analizi.

5.1.4. Farklı torç açılarının bağlantının özelliklerine etkisi

5.1.4.1. Farklı torç açılarının bağlantısının mekanik özelliklerine etkisi

6061-T6 alüminyum alaşımı sacların optimum akım şiddeti 70A, kaynak gerilimi 12,5V, kaynak hızı 20 sn ve gaz akış debisi 12 lt/dk olarak belirlenmiştir. 6061-T6 alüminyum alaşımı sacların bu değerler sabitinde farklı torç açılarında mekanik değerlere etkisini ve optimum torç açısını belirlemek için farklı parametrelerde CMT kaynak uygulaması yapılmıştır.

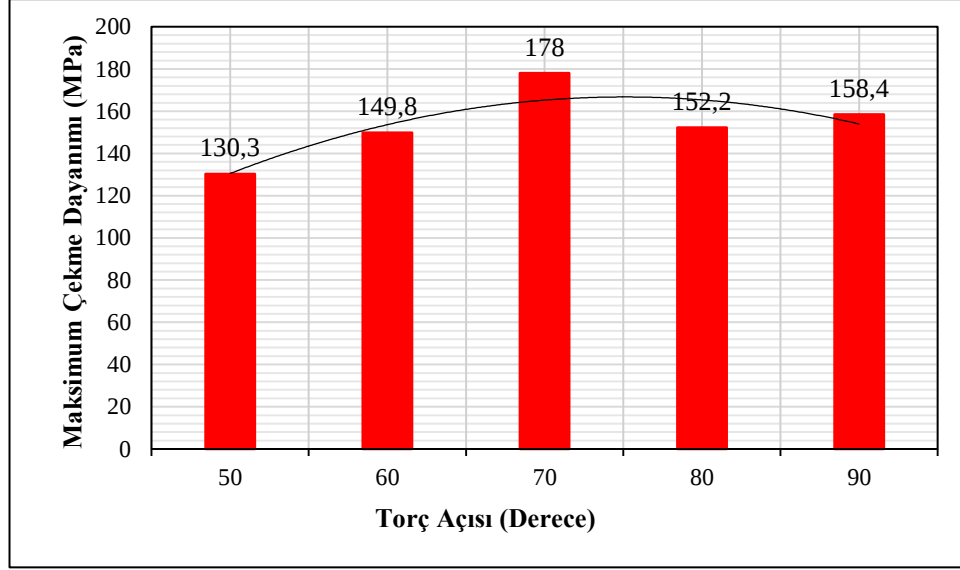
Yapılan bu çalışmada kaynak esnasında torç açısında değişiklik olmaması için, CMT kaynak makinesinin torcunu sekatöre sabitlemek için sabitleyici aparatlar kullanılmıştır ve farklı torç açılarında kaynak işlemi yapılmıştır. Tablo alüminyum farklı torç açılarında kaynak parametreleri ve belirlenen çekme mukavemeti değerleri verilmiştir.

Tablo 5.4’de 6061-T6 alüminyum alaşımı sacların farklı kaynak torç açılarında kaynak parametreleri ve çekme dayanım değerleri verilmiştir.

Tablo 5.4 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.

ALÜMİNYUM 6061-T6 CMT ALIN BİRLEŞTİRME								
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Torç açısı [derece]	Max. Çekme Muk. [MPa]
70	4,4	12,5	12	Argon	60	0	50	130,3
70	4,4	12,5	12	Argon	60	0	60	149,8
70	4,4	12,5	12	Argon	60	0	70	178
70	4,4	12,5	12	Argon	60	0	80	152,2
70	4,4	12,5	12	Argon	60	0	90	158,4

Şekil 5.30’da farklı kaynak torç açlarındaki en yüksek çekme mukavemeti değerleri verilmiştir.

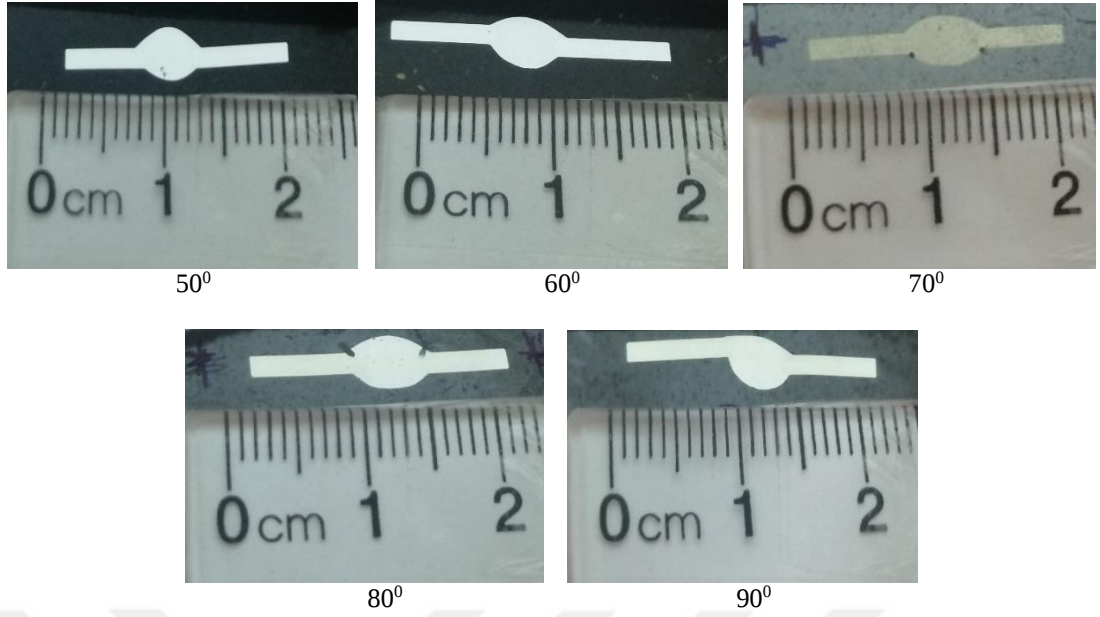


Şekil 5.30 : Farklı kaynak torç açılarında çekme mukavemeti grafiği.

Elde edilen çekme mukavemet değerleri incelendiğinde, kaynak torç açısı değeri 70°'de 178 MPa değeri ile maksimum çekme dayanımı olarak belirlenmiştir. En düşük çekme dayanımı değeri 50° torç açısında 130,3 MPa ile ölçülmüştür. Elde edilen çekme değeri 50° torç açısına göre çekme dayanımı değeri %27 azalmıştır. Elde edilen çekme mukavemet değerleri incelendiğinde en uygun kaynak torç açısı değerinin 70° olduğu belirlenmiştir.

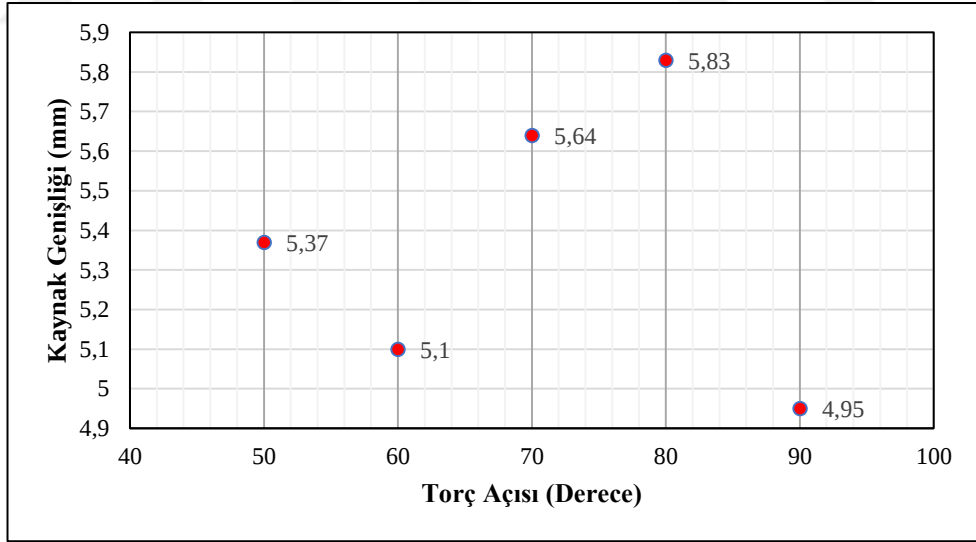
5.1.4.2. Farklı torç açılarının kaynak geometrisine etkisi

Şekil 5.31'de farklı torç açılarıyla yapılan kaynak işlemlerine ait numunelerin makroyapı görüntüleri verilmiştir.



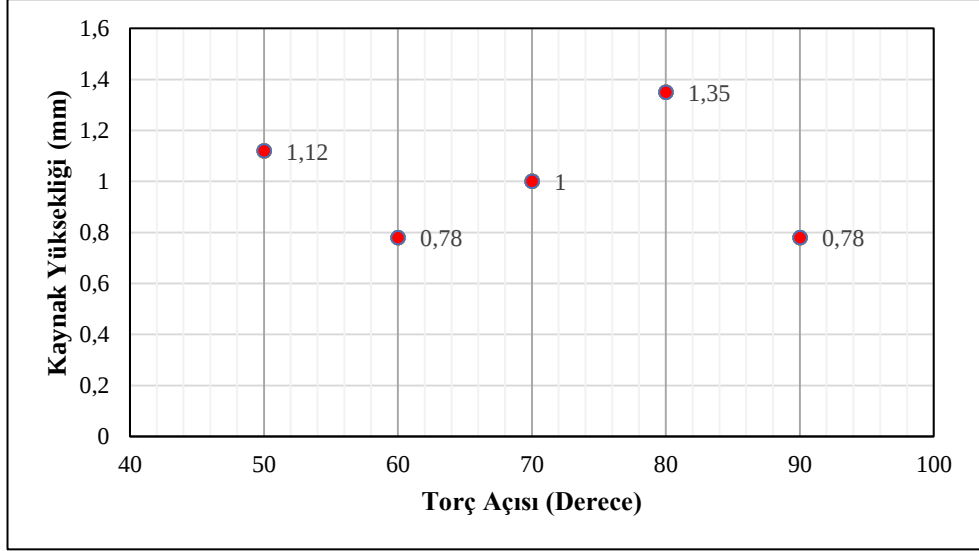
Şekil 5.31 : Farklı kaynak torç açılarındaki makro fotoğraf görüntüleri.

Makro fotoğraf görüntüleri incelendiğinde tüm torç açılarının hem nüfuziyet hem de ıslatabilirliği kabul olunabilirliği olduğu tespit edilmiştir. Makro fotoğraf görüntüleri en yüksek çekme dayanımları ile beraber değerlendirildiğinde 70° torç açısının en uygun değer olduğu görülmektedir.



Şekil 5.32 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak genişliği grafiği.

Farklı torç açılarında ulaşılan numunelere ait kaynak genişliği grafiği Şekil 5.32’de ve kaynak yüksekliği grafiği Şekil 5.33’de verilmiştir. Kaynak kep genişliğinin 5-6 mm arasında, kaynak kep yüksekliğinin ise 0,7-1,4 mm aralığında olduğu tespit edilmiştir.

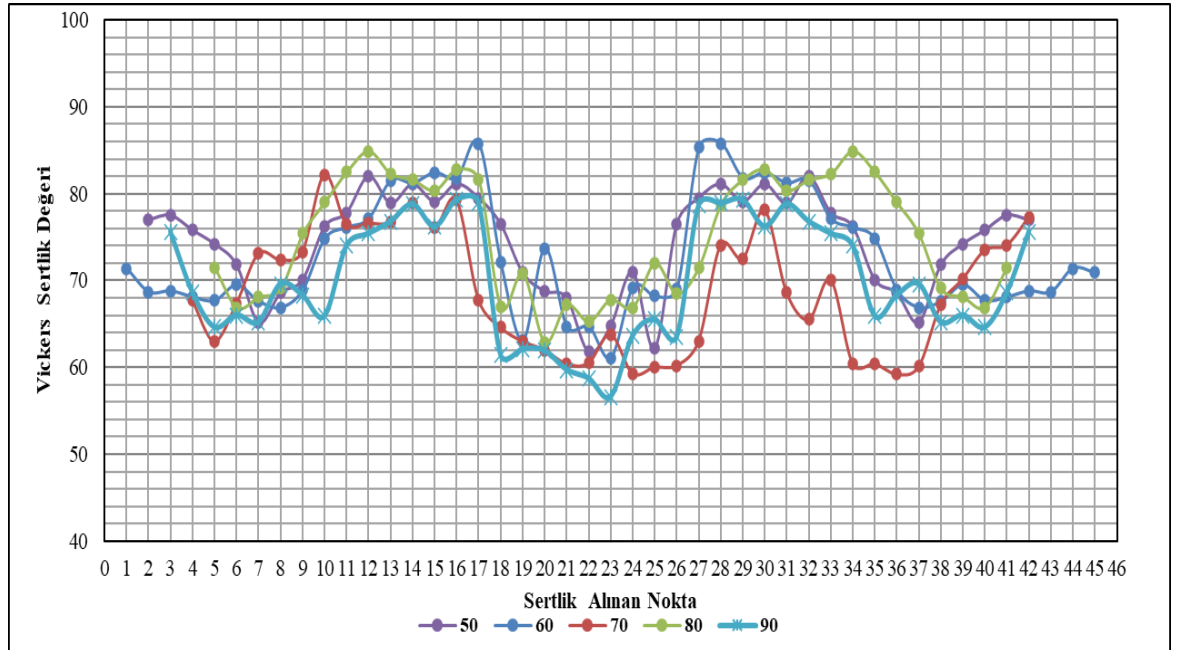


Şekil 5.33 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak yüksekliği grafiği.

5.1.4.3. Farklı torç açılarının bağlantısının sertliğine etkisi

Farklı torç açılarında CMT-kaynak ile birleştirme işlemi yapılan numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait sonuçlar Şekil 5.32’de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları üç bölgeden oluşmaktadır. Bunlar; kaynak metali, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metaldir.

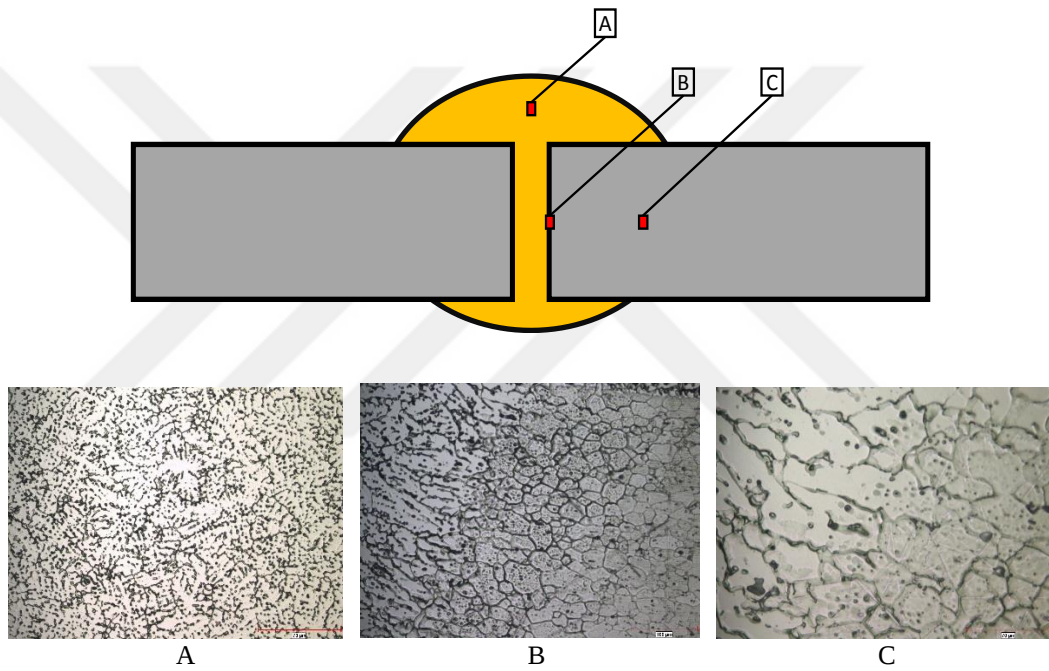
Şekil 5.34’deki grafik incelendiğinde 50°, 60°, 70°, 80° ve 90° torç açılarında ve bu torç açılarına bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.



Şekil 5.34 : Farklı kaynak torç açılarında mikro sertlik noktaları.

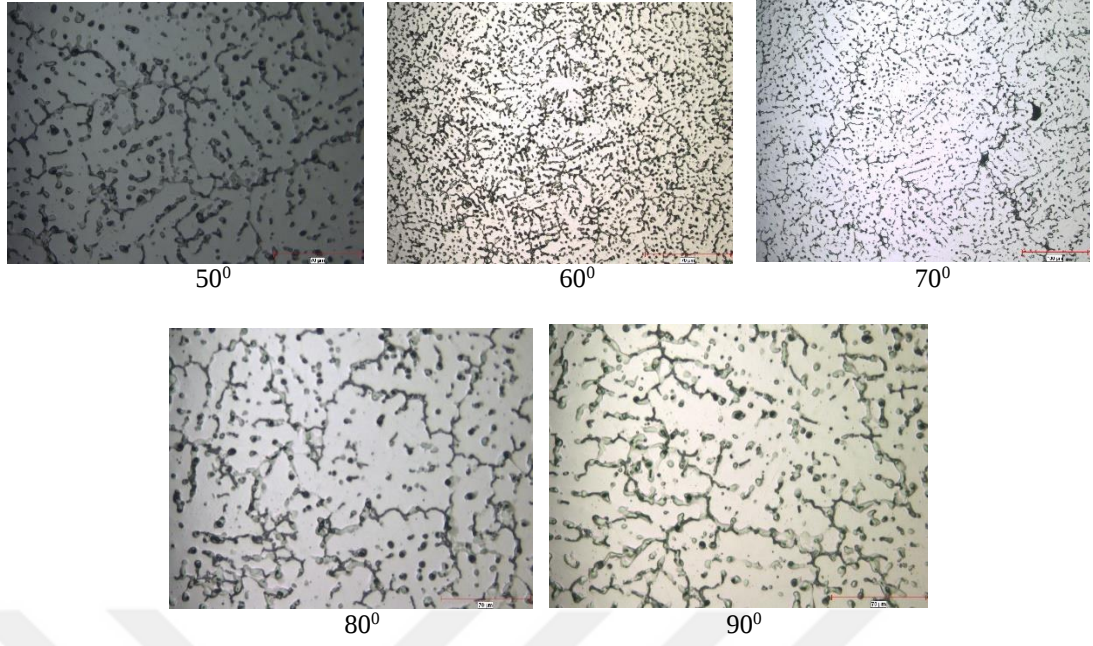
5.1.4.4. Farklı torç açılarının bağlantısının mikroyapı özelliklerine etkisi

Şekil 5.35’de 60^0 torç açısı ile kaynak işlemi sağlanan numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A kısmı kaynak bölgesi, B kısmı ara bölge, C kısmı ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) görüntülerini vermektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde CMT kaynak işleminin gerçekleştirildiği bölgeye yakın bölgelerde taneler daha iri ve ana malzemeye doğru yaklaştıkça tane boyutu küçülmüştür. Bununla birlikte tane boyutunun iri olduğu kısımlarda maksimum sertlik değerleri ölçülmüştür. Bunun nedeninin ise ısı girdisinin en çok tesirli olduğu alan olarak bu bölgenin olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.35 : 60^0 torç açısına ait mikroyapı görüntüleri.

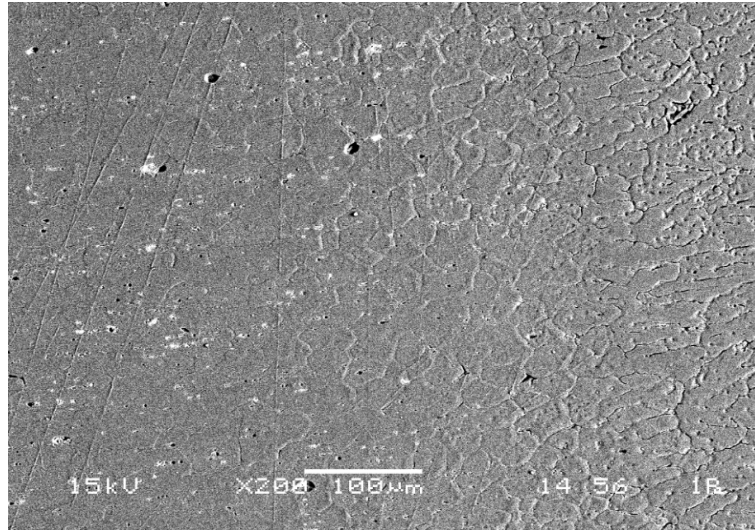
Farklı torç açılarından elde edilen numunelere ait kaynak bölgelerinin mikroyapı görüntüleri Şekil 5.36’da verilmiştir.



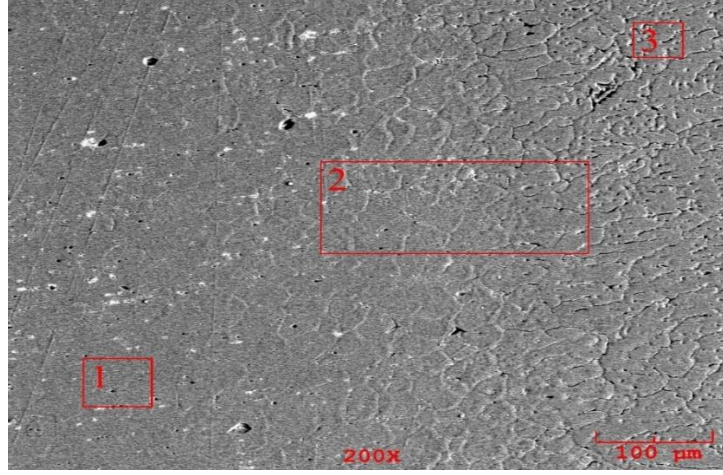
Şekil 5.36 : Farklı torç açılarındaki kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.37’de 80° torç açısında birleştirilmiş numunenin ara bölge SEM görüntüsü verilmiştir.

Şekil 5.38’de 80° torç açısında birleştirilmiş numunenin ara bölgesindeki EDS inceleme sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.37 : 80° torç açısındaki numuneye ait ara bölge SEM görüntüsü.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	0,970	0,184	0,362	0,214	98,270
2	0,820	0,261	0,724	0,383	97,812
3	2,363	0,062	0,235	0,996	96,343

Şekil 5.38 : 80° torç açısındaki numuneye ait ara bölge noktasal EDS analizi.

5.2. 5754 AA Sacların CMT Kaynak Yöntemi ile Birleştirmeleri

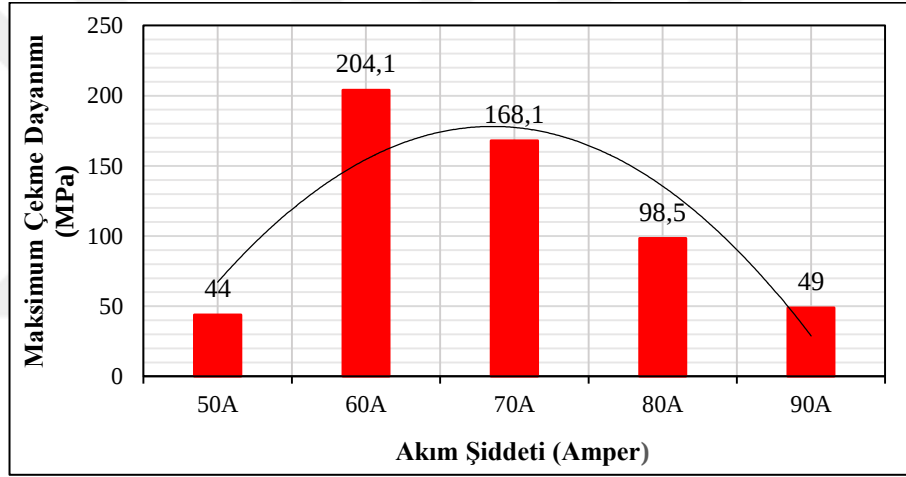
5.2.1. Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

5.2.1.1. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının dayanımına etkisi

5754-5754 Alüminyum levhanın CMT kaynağında uygulanan farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemeti incelemek için akım parametreleri Tablo 5.5.'de verilmiştir. Akım şiddetleri 50 amperden başlayıp 100 amper de dahil olmak üzere çıkılmıştır. 100 amperde akım şiddetine bağlı levhada erime ve delinmeler gözlenmiştir.

Tablo 5.5 : Farklı akım şiddetlerinde kaynak parametrelerinin ve mekanik özelliklerine etkisi.

ALÜMİNYUM 5754 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[MPa]
50	3	12,3	12	Argon	40	0	44
60	3,8	12,4	12	Argon	40	0	204,1
70	4,4	12,5	12	Argon	40	0	168,1
80	5,2	12,5	12	Argon	40	0	98,5
90	5,9	13,3	12	Argon	40	0	49



Şekil 5.39 : Farklı akım şiddetlerindeki parçanın çekme dayanımları grafiği.

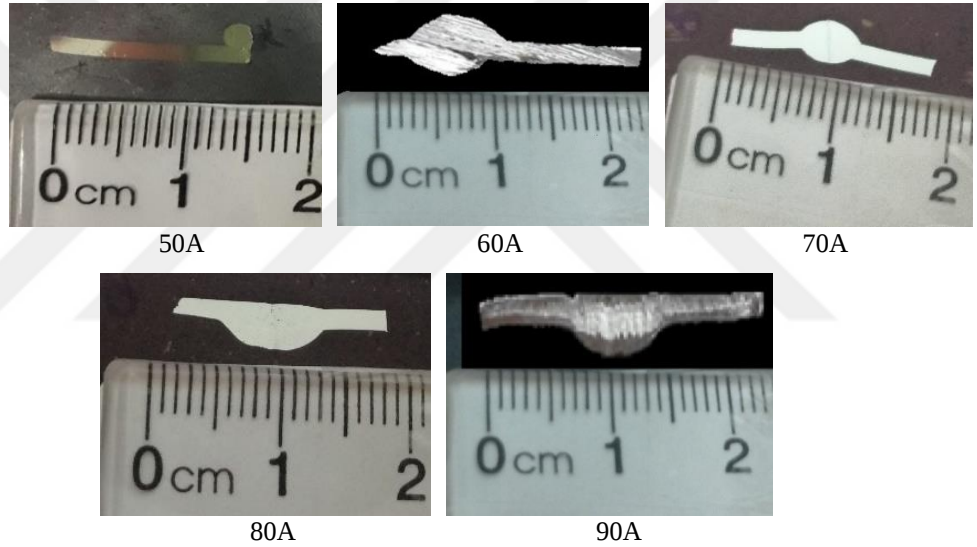
Şekil 5.39’da görüldüğü üzere akım şiddetine bağlı olarak çekme mukavemetlerinde değişim gözlenmiştir. 50 amperde kaynak mukavemeti en düşük gözlenmiş, 60 amperde ise en yüksek çekme mukavemeti gözlemlenmiştir. 60 amperden itibaren çekme mukavemetinde düşme gözlenmiş ve numunelerin hepsinin ITAB bölgesinden koptukları gözlenmiştir.

Bu nedenle çekme geriliminde kritik eşik 60 amper olarak görülebilmektedir. 60 ampere kadar artan mukavemet değeri daha sonra 70A, 80A ve 90 amperlerde düşmüştür. Malzemedeki değişen mukavemet değerlerinin akım şiddetine bağlı ısı girdisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle alüminyum 5754 alaşımı saclarda uygulanabilecek değerin 60 amper olduğu görülmektedir.

5.2.1.2. Farklı akım şiddetlerinin kaynak geometrisine etkisi

Farklı kaynak akım şiddetlerinin kaynak geometrisine etkisini araştırmak için AlMg4,5Mn ilave kaynak teli kullanılarak farklı akım şiddetlerinde Soğuk Metal Transferi yöntemi ile birleştirilen 5754 alüminyum alaşımı sac numunelere ait makro resimler çekilmiştir, makro ölçümler yapılmış ve bulunan değerler grafikler şeklinde verilmiştir. 5754 alüminyum alaşımı sac numunelerin optimum değeri belirlenmeye çalışılmıştır.

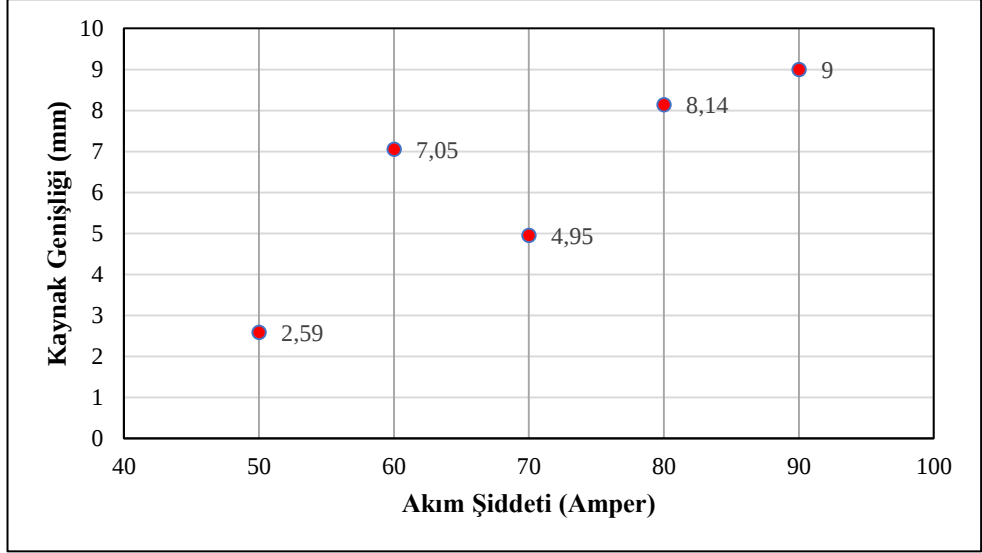
Şekil 5.40'da kaynak akım şiddetlerine göre CMT yöntemi ile farklı akım şiddetleri uygulanmış numunelerin makroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.40 : Farklı akım şiddetlerine ait makro görüntüler.

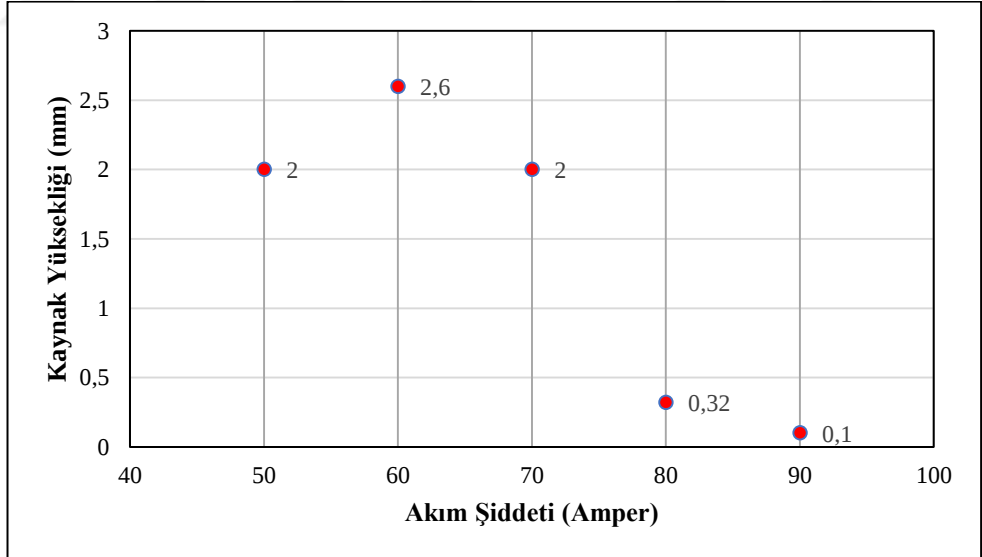
İncelenen numunelerin 60, 70, 80 ve 90A değerlerinde kaynak ısılatma kabiliyetinin iyi olduğu görülmüştür. İlave metalin fazla olması sebebiyle belli değerden sonra ana metalin altına ilave metal nüfuziyeti artmakta ve sakal oluşumu meydana gelmektedir. 60A kaynak akım şiddetinin optimum olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.41'de farklı akım şiddetlerinde kaynak işlemi yapılmış numunelerin kaynak genişliği ait grafik görülmektedir. Grafikte, akım şiddetinin artması kaynak kepi genişliğinin de artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.41 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak genişliği grafiği.

Şekil 5.42’de verilen farklı akım şiddetlerindeki kaynak yükseklikleri grafiğine bakıldığında, akım şiddetinin artmasıyla birlikte kaynak yüksekliğinin git gide azaldığı görülmektedir. Akım şiddetinin artmasıyla ısı girdisi artmakta, bu ise kaynak telinin ıslatma özelliğini artırdığı için kaynak kepi genişliğini artırdığı ve kaynak yüksekliğini ise azalttığı düşünülmektedir.

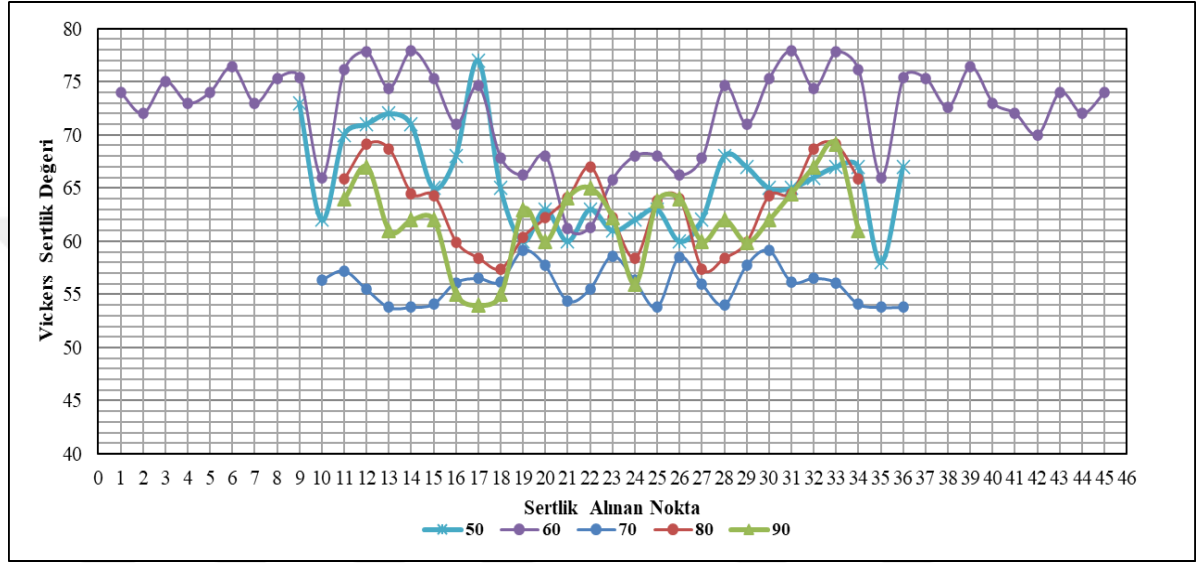


Şekil 5.42 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak yüksekliği grafiği.

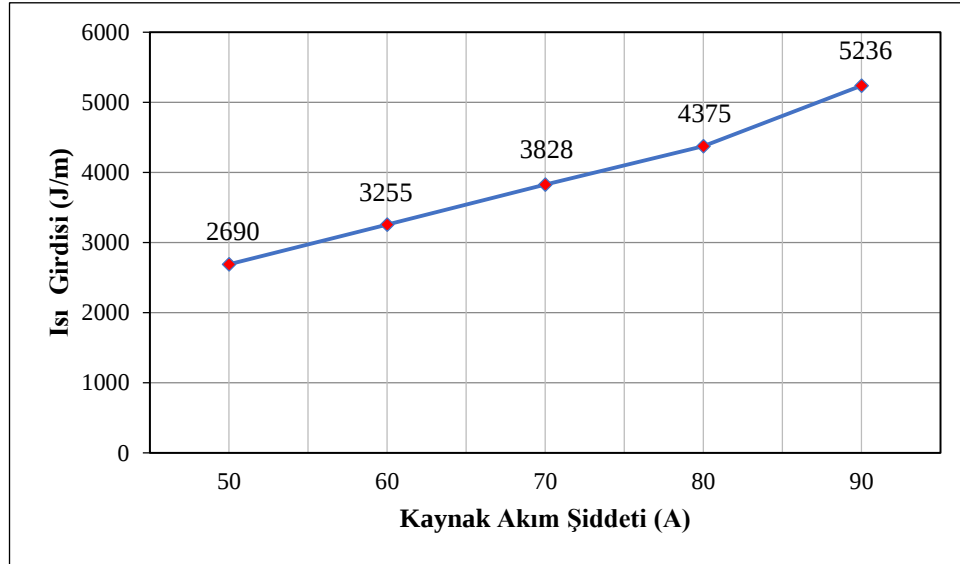
5.2.1.3. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi

CMT kaynak işlemi yapılmış farklı akımlardaki numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait değerler Şekil 5.43’de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları 3 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; kaynak metali, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metaldir.

Şekil 5.43’deki grafik incelendiğinde 60, 70, 80 ve 90A kaynak akım şiddetlerinde ve bu akım şiddetlerine bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.

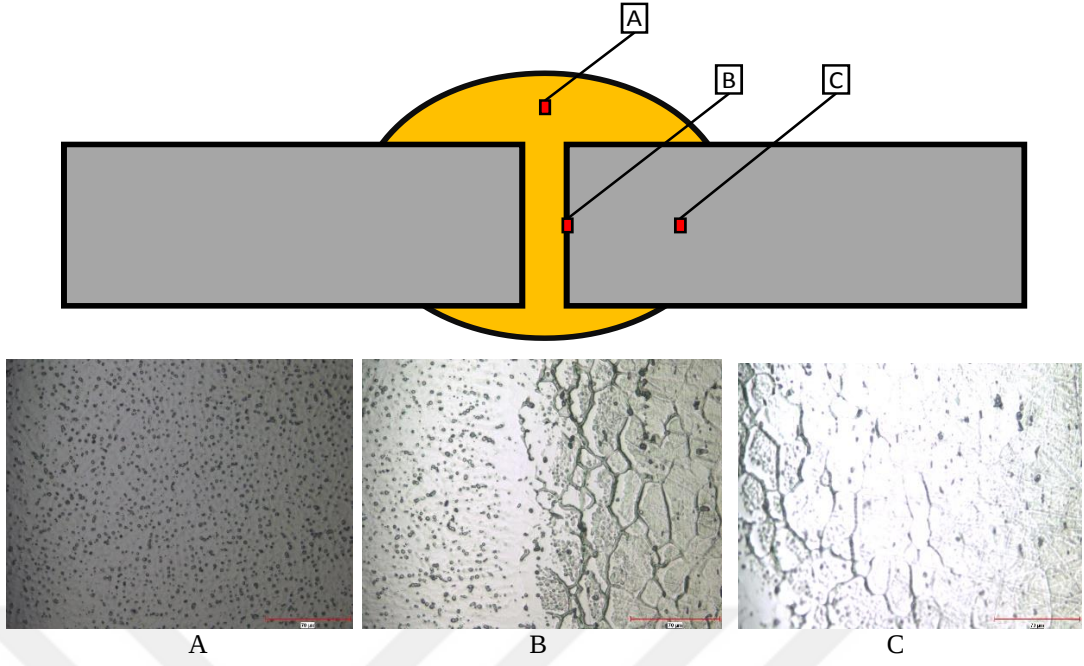


Şekil 5.43 : Farklı akım şiddetlerine ait mikrosertlik değerleri grafiği.



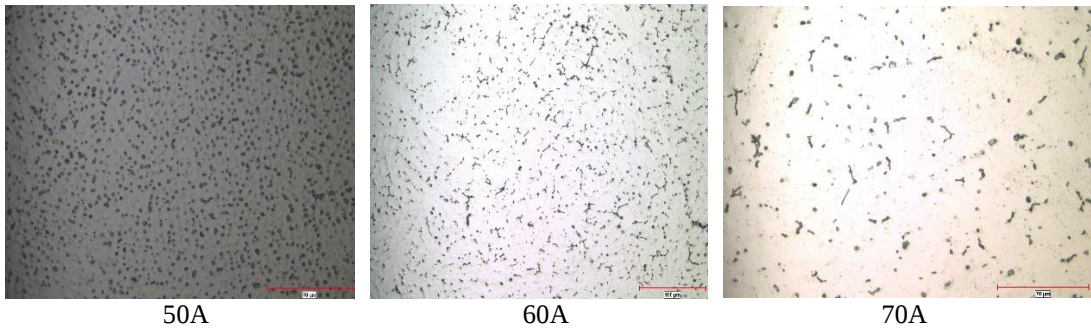
Şekil 5.44 : Farklı akım şiddetlerine ait ısı girdileri grafiği.

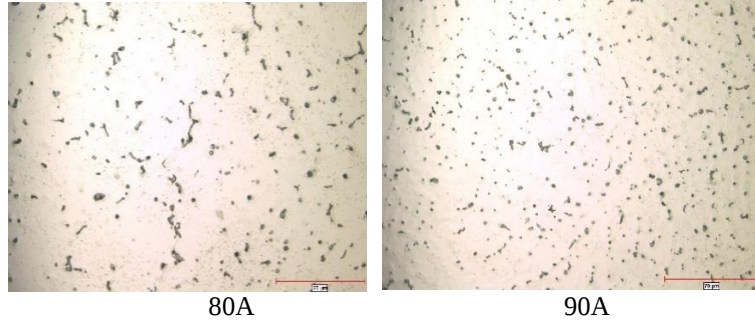
5.2.1.4. Farklı akım şiddetlerindeki bağlantının mikroyapısına etkisi



Şekil 5.45 : 60A akım şiddetinde kaynak yapılan numunenin mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.45’de 60A’lık akım şiddeti ile kaynak işlemi gerçekleştirilen numunenin farklı bölgelerden alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A kısmı kaynak bölgesi, B kısmı ara bölge, C kısmı ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) görüntülerini vermektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde CMT kaynak işleminin gerçekleştirildiği bölgeye yakın bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye yaklaştıkça tane boyutu küçülmüştür. Bununla birlikte tane boyutunun iri olduğu bölgelerde maksimum sertlik değerleri ölçülmüştür. Bunun nedeninin ise ısı girdisinin en fazla etkili olduğu alan olarak bu bölge olduğu anlaşılmaktadır.

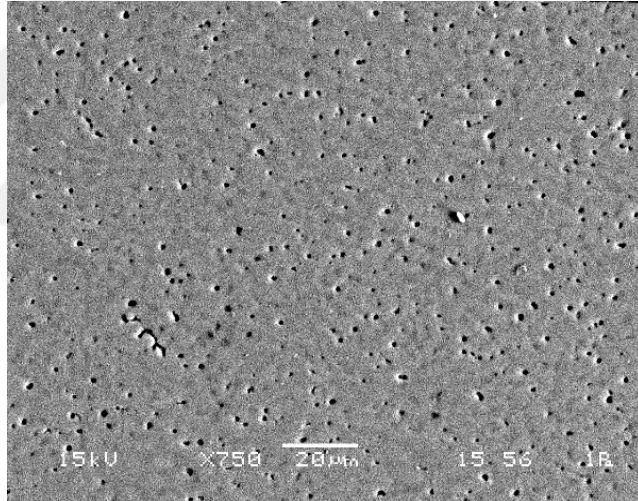




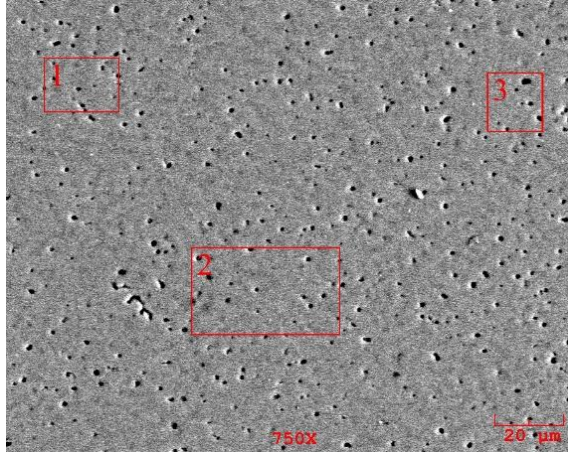
Şekil 5.46 : Farklı akım şiddetinde kaynak yapılan numunelerin kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.47’de farklı akım şiddetinde AlMg4,5Mn ilave kaynak teli ile yapılmış CMT kaynak işlemine ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

Kaynak bölgesinden alınmış olan SEM görüntüsü Şekil 5.48’de, kaynak bölgesinden alınan EDS analiz sonucu ise Şekil 5.49’da verilmiştir.



Şekil 5.47 : 60A akım şiddetinde birleştirilen numunenin ara bölge SEM görüntüsü.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	4,179	0,018	0,658	0,486	94,659
2	4,065	-	1,016	1,907	93,012
3	4,288	-	0,721	1,69	93,301

Şekil 5.48 : 60A akım şiddetinde kaynak edilmiş numunenin kaynak bölgesi EDS analizi.

5.2.2. Farklı ilerleme hızının bağlantının özelliklerine etkisi

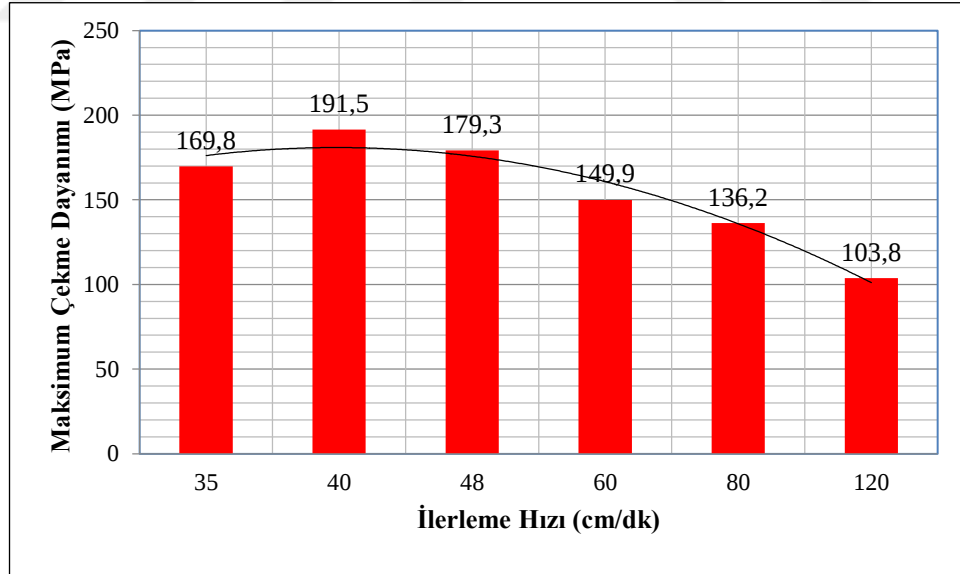
5.2.2.1. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının dayanımına etkisi

Alüminyum 5754-5754 malzemesinin optimum akım şiddeti 60A olarak ve kaynak gerilimi 12,5V olarak belirlenmiştir. Bu değişkenlere bağlı olarak farklı kaynak hızlarındaki çekme mukavemeti değerlerini incelemek amacıyla uygulanan kaynak hızları, akım şiddetleri, gaz basıncı ve kullanılan gaz verilmiştir. Kaynak hızını sabitlemek için kaynak robotu kullanılmıştır. Kaynak hızları 35 cm/dk ile 120 cm/dk aralığında uygulanmıştır.

Tablo 5.6 : Farklı kaynak hızlarının kaynak parametreleri ve mekanik özelliklere etkisi.

ALÜMİNYUM 5754 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[MPa]
60	3,8	12,5	12	Argon	35	0	103,8
60	3,8	12,5	12	Argon	40	0	136,2
60	3,8	12,5	12	Argon	48	0	149,95
60	3,8	12,5	12	Argon	60	0	179,3
60	3,8	12,5	12	Argon	80	0	191,5
60	3,8	12,5	12	Argon	120	0	169,8

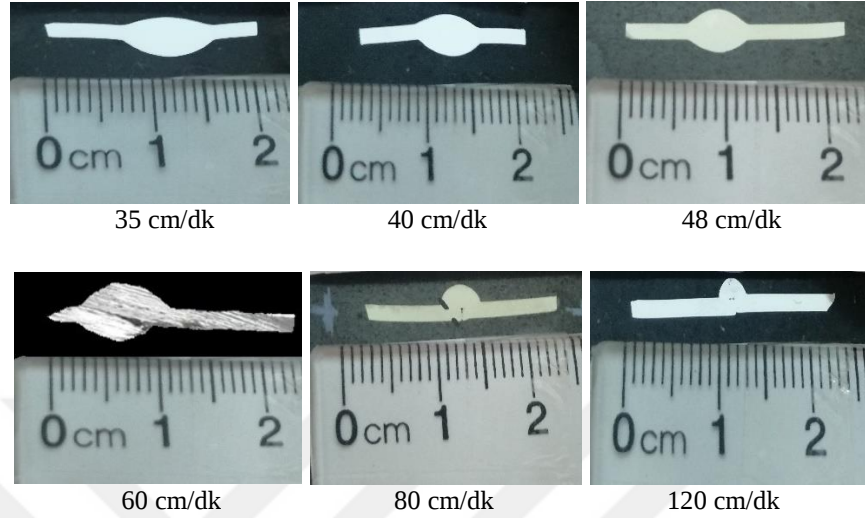
Farklı kaynak hızlarının çekme mukavemetleri Şekil 5.49'da incelenmiştir. İncelenen malzemelerde 80 cm/dk ve 120 cm/dk kaynak bölgesinden kopmalar mevcuttur. Kaynak ilerleme hızının artmasıyla beraber ITAB bölgesinden kopmalar meydana gelmiştir. Tablodaki verilere bakıldığında en yüksek çekme mukavemeti değerine 40 cm/dk'da ulaşılmıştır. Bu sebepten optimum kaynak hızı 40 cm/dk olarak belirlenmiştir. Kaynak süresini arttıkça ısı girdisi artmıştır.



Şekil 5.49 : Farklı kaynak hızlarındaki çekme dayanımı grafiği.

5.2.2.2. Farklı ilerleme hızının kaynak geometrisine etkisi

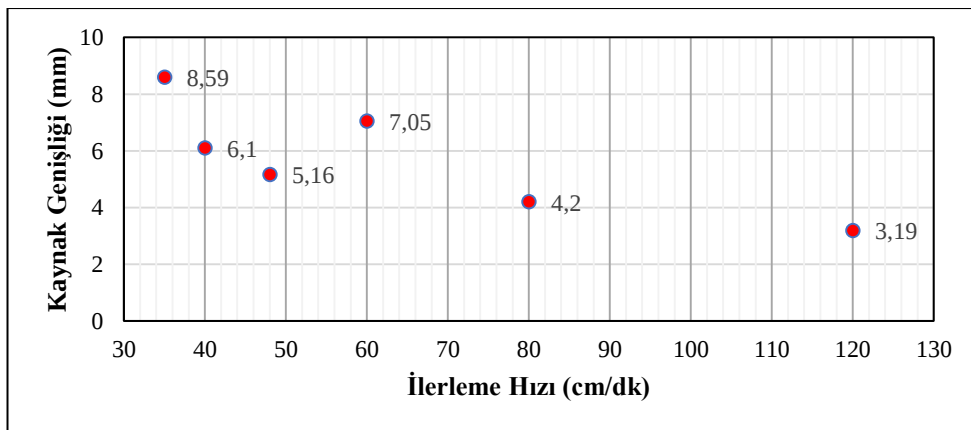
Farklı kaynak ilerleme hızı parametrelerine göre kaynak işlemi yapılan numunelerin makro fotoğraf görüntüleri Şekil 5.50’de verilmiştir.



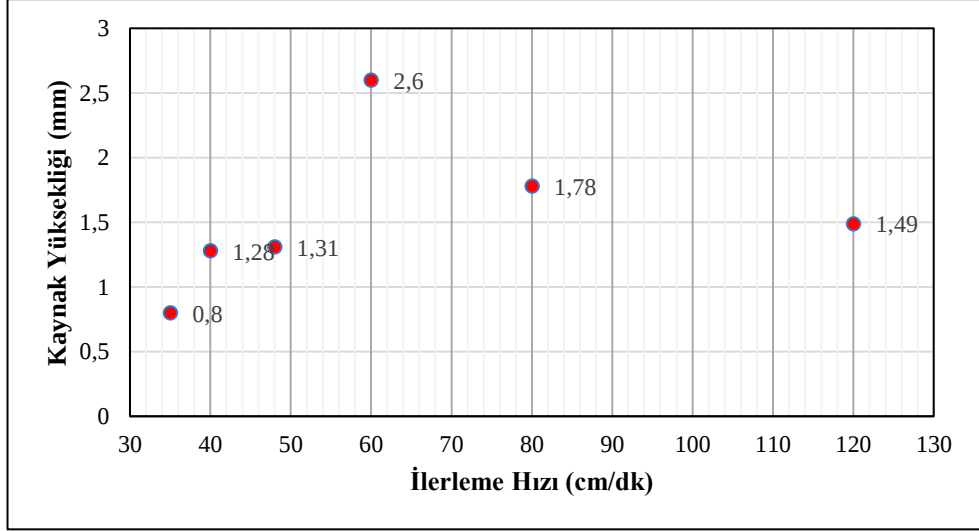
Şekil 5.50 : Farklı kaynak ilerleme hızlarında makro görüntüler.

Şekil 5.50’deki makro görüntüler incelendiğinde, 40 cm/dk ve 48 cm/dk ilerleme hızlarında kaynak ısılatma yeteneğinin diğer numunelere göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda en yüksek mukavemet değerleri de bu hızlarda bulunmuştur.

Şekil 5.51’de farklı kaynak ilerleme hızı kaynak genişliği grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde kaynak ilerleme hızı arttıkça kaynak kep genişliğinde azalma görülmektedir. Maksimum mukavemet değerlerinin bulunduğu sonuçlar karşılaştırıldığında, ideal kaynak kep genişliğinin 5-6,1 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.51 : Farklı kaynak ilerleme hızlarına ait kaynak genişliği grafiği.



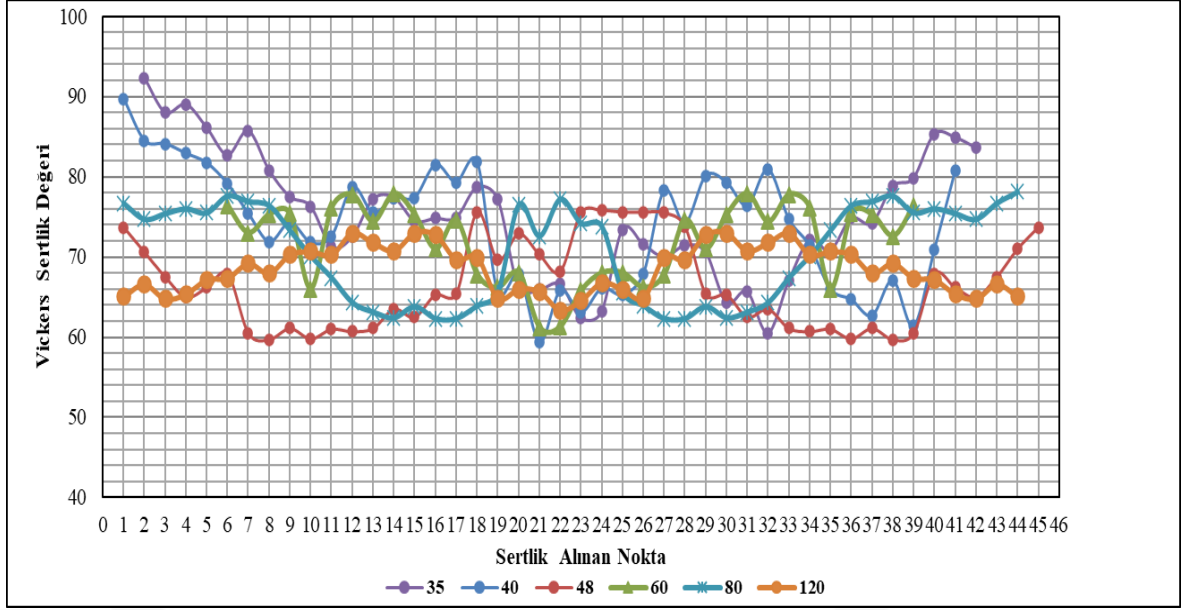
Şekil 5.52 : Farklı kaynak ilerleme hızlarına ait kaynak yüksekliği grafiği.

Kaynak ilerleme hızı ile kaynak yüksekliği arasındaki bağlantıyı gösteren grafik Şekil 5.52’de verilmiştir. Kaynak yüksekliği mukavemet değerleri ile beraber incelendiğinde optimum yüksekliğin 1,2-1,3 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.

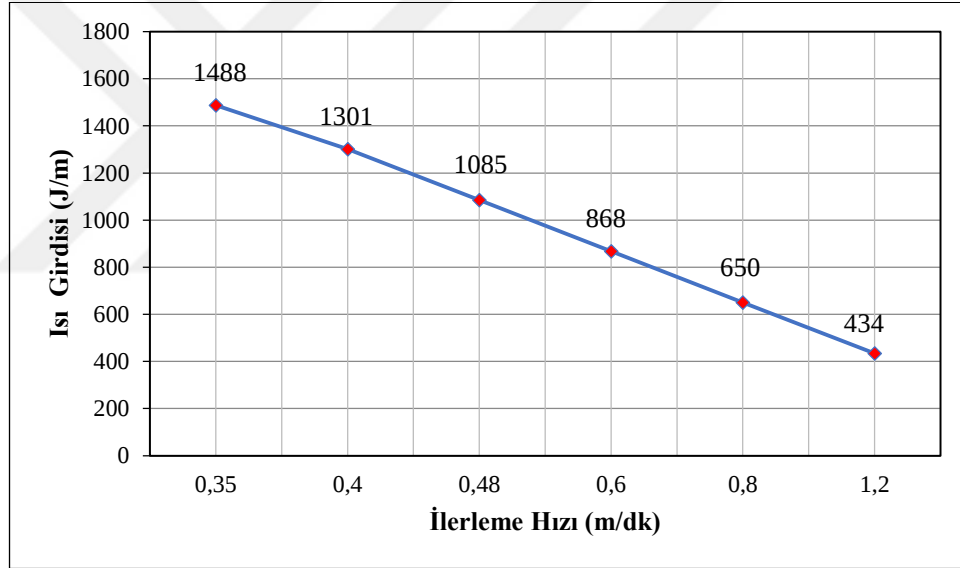
5.1.2.3. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi

Şekil 5.53’de farklı ilerleme hızlarında CMT-kaynak işlemi ile birleştirme yapılan numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait değerler verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; kaynak metal, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metaldir.

Şekil 5.53’deki grafik incelendiğinde 30, 40, 48, 60, 80 ve 120 cm/dk kaynak ilerleme hızlarında ve bu kaynak ilerleme hızlarına bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.



Şekil 5.53 : Farklı kaynak ilerleme hızları mikro sertlik noktaları.

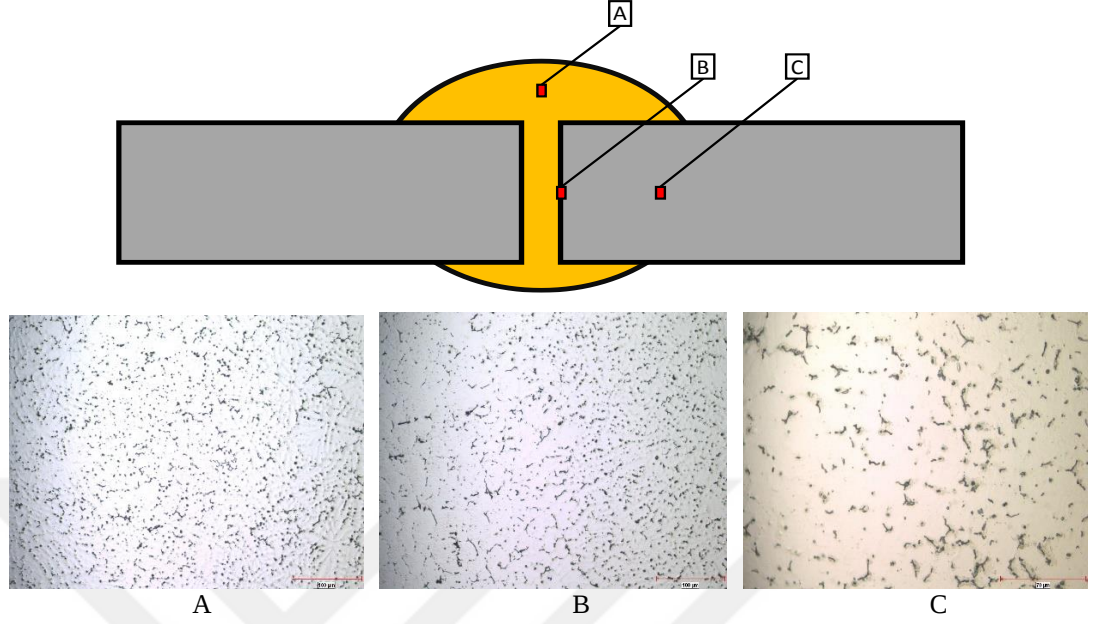


Şekil 5.54 : Farklı kaynak ilerleme hızlarının ısı girdileri grafiği.

5.1.2.4. Farklı ilerleme hızının bağlantının mikroyapı özelliklerine etkisi

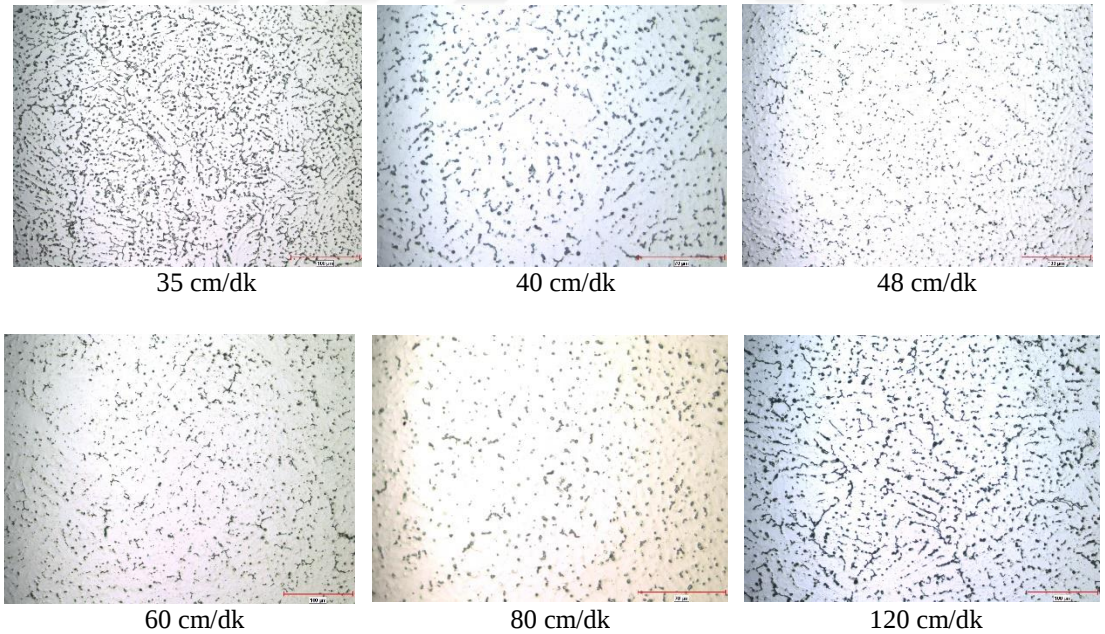
Şekil 5.55'de 48 cm/dk kaynak ilerleme hızı ile kaynak işlemi yapılan numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A kısmı kaynak bölgesi, B kısmı ara bölge, C kısmı ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) görüntülerini vermektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde CMT kaynak işleminin gerçekleştirildiği bölgeye bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye yaklaştıkça tane boyutu küçülmüştür. Bununla birlikte tane boyutunun iri olduğu yerlerde maksimum sertlik

değerleri ölçülmüştür. Bunun nedeninin ise ısı girdisinden çok etkilenen bölgenin bu bölgenin olduğu anlaşılmaktadır.



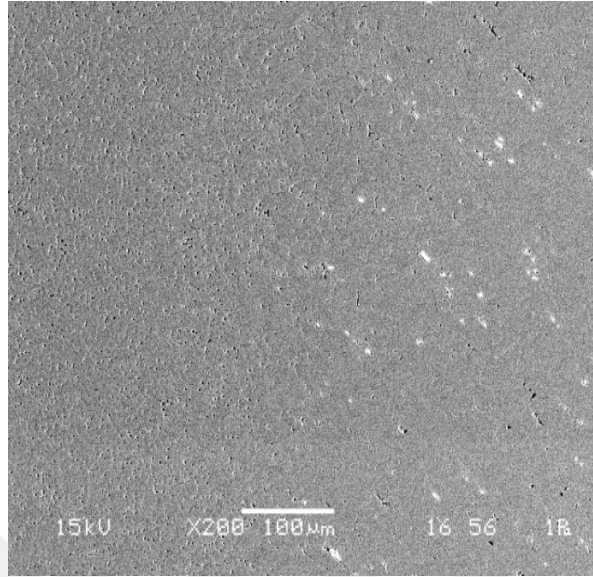
Şekil 5.55 : 48cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilen numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.56’da farklı kaynak ilerleme hızlarında AlMg4,5Mn ilave kaynak teli ile yapılmış CMT kaynak işlemine ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

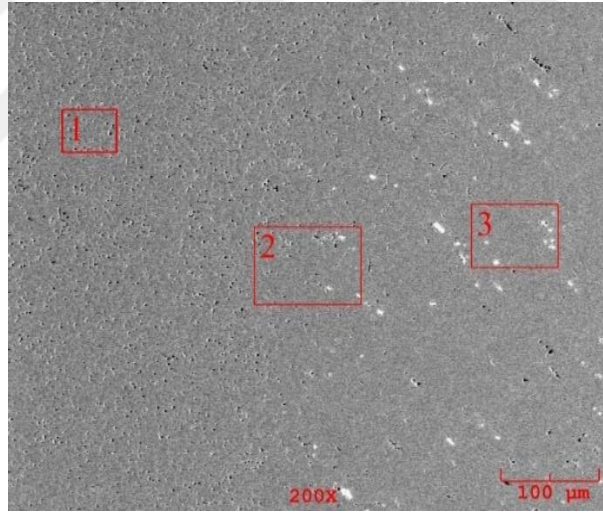


Şekil 5.56 : Farklı kaynak ilerleme hızlarındaki kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.

Ara bölgeden alınan SEM görüntüsü Şekil 5.57’de, ara bölgeden alınan EDS analiz sonucu Şekil 5.58’da verilmiştir.



Şekil 5.57 : 48 cm/dk kaynak ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin ara bölge SEM görüntüsü.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	3,701	-	0,870	0,606	94,823
2	2,545	0,048	0,369	1,158	95,881
3	2,408	0,003	0,289	1,807	95,493

Şekil 5.58 : 48 cm/dk kaynak ilerleme hızında birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.

5.2.3. Farklı gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi

5.2.3.1. Farklı gaz debilerinin bağlantının dayanımına etkisi

Alüminyum 5754-5754 malzemesinin optimum akım şiddeti 60A olarak ve kaynak gerilimi 12,5V ve kaynak hızı 40 cm/dk olarak belirlenmiştir. Bu verilen değerler sabit tutularak yapılan kaynak işlemlerinde farklı gaz debileri kullanılmıştır. Yapılan işlemlerde farklı gaz debileri kullanılarak en uygun gaz debisi ve bu değişkenin dayanıma etkileri incelenmiştir.

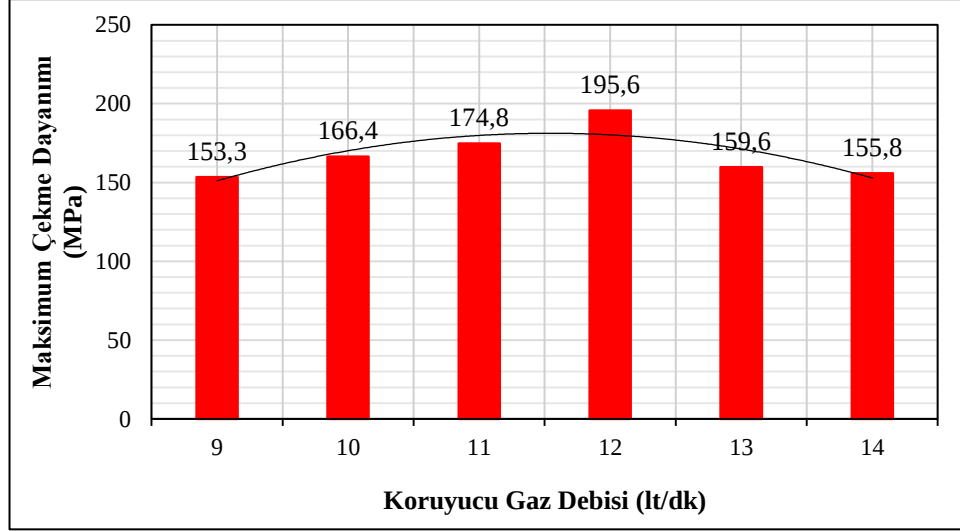
Gaz akış debisinin argon tüpü manometresinden ölçüldüğü gibi gaz sızıntılarının oluşması ihtimali de düşünülerek, kaynak torcu ucundan gaz akış debileri ölçülerek kaynak işlemleri yapılmıştır.

Tablo 5.7.'de 5754-5754 alüminyum farklı gaz akış debilerinde kaynak değişkenleri ve çekme dayanımı değerleri verilmiştir.

Tablo 5.7 : Farklı kaynak gaz debilerinde kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkisi.

ALÜMİNYUM 5754 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[MPa]
60	3,8	12,5	9	Argon	40	0	153,3
60	3,8	12,5	10	Argon	40	0	166,4
60	3,8	12,5	11	Argon	40	0	174,8
60	3,8	12,5	12	Argon	40	0	195,6
60	3,8	12,5	13	Argon	40	0	159,6
60	3,8	12,5	14	Argon	40	0	155,8

Şekil 5.59'da farklı gaz debilerinde en yüksek çekme dayanımları grafiği bulunmaktadır.

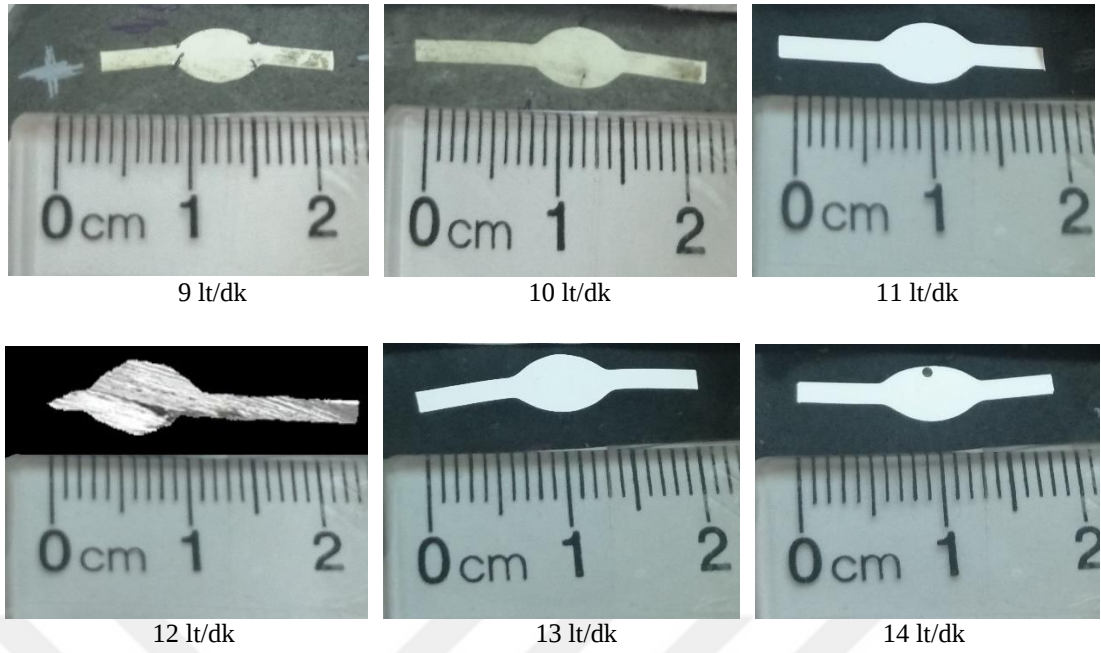


Şekil 5.59 : Farklı gaz debilerindeki en yüksek çekme dayanımları grafiği.

Şekil 5.59.'daki grafik incelendiğinde 12 lt/dk gaz debisinde en yüksek çekme mukavemet değeri görülmüştür. Deney parçaları incelendiğinde bütün numunelerin ITAB bölgesinden koptuğu gözlenmiştir. Bu sebeple 5754-5754 alüminyuma CMT kaynağı işleminde uygulanabilir optimum koruyucu gaz debisi 12 lt/dk olduğu belirlenmiştir.

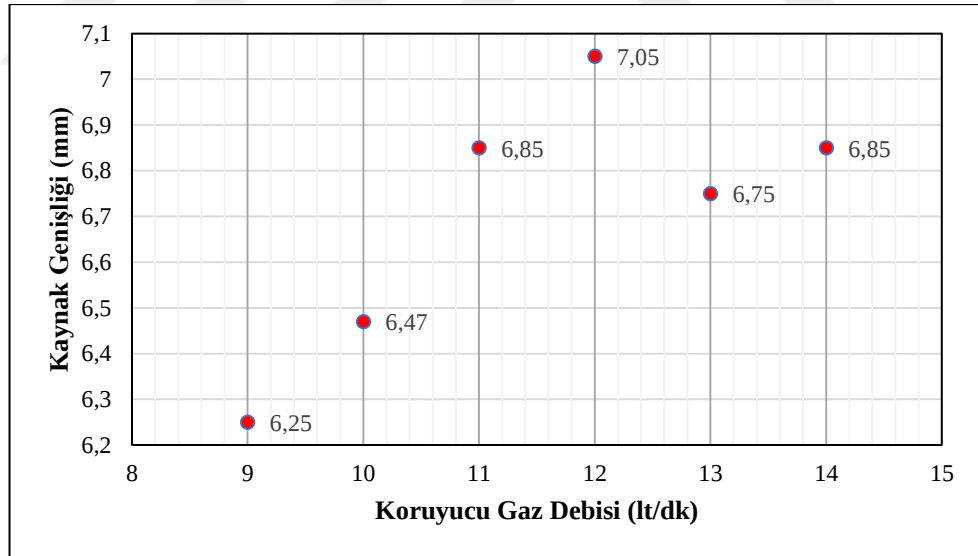
5.2.3.2. Farklı gaz debisinin bağlantının kaynak geometrisine etkisi

5754 alüminyum alaşımı sacların kaynak işleminin verimli yapılabilmesi için uygun akım şiddeti 60A, gerilim 12,5V ve kaynak ilerleme hızı ise 40 cm/dk olarak belirlenmiş, optimum gaz debisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç ile farklı gaz debilerinde yapılmış olan kaynak işlemlerine ait numunelerin makro fotoğrafları görselleri Şekil 5.60'da verilmiştir.



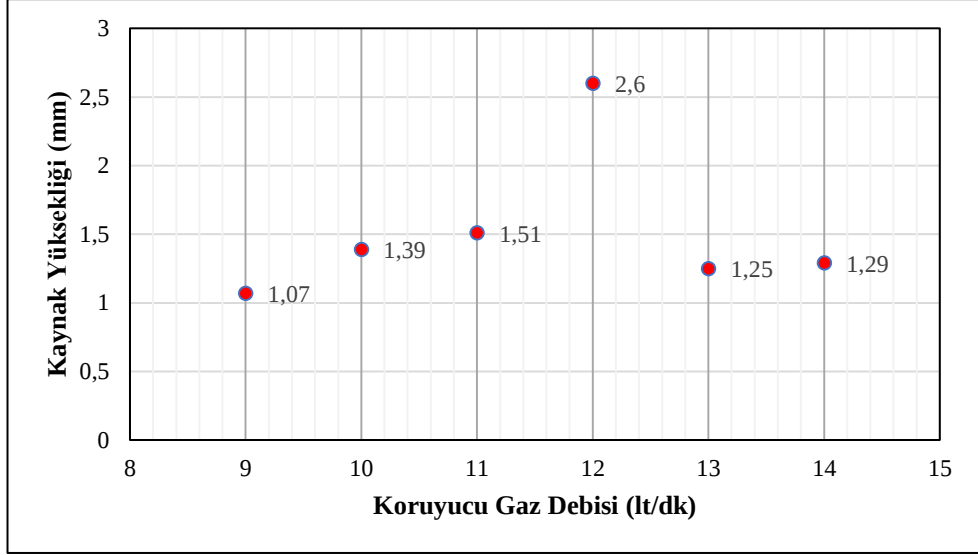
Şekil 5.60. Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş makroyapı görüntüleri.

Makroyapı görüntüleri incelendiğinde elde edilen tüm değerlerinin ıslatabilirliğinin olduğu anlaşılmaktadır. Fakat çekme deneyi mukavemet sonuçları ile beraber değerlendirildiğinde optimum gaz debisinin 12 lt/dk olduğu görülmektedir.



Şekil 5.61 : Gaz debisi kaynak genişliği grafiği.

Şekil 5.61’de farklı kaynak gaz debileri kaynak genişliği grafiği verilmiştir. Kaynak kepi genişliğindeki değerin birbirine yakın değerlerde olabileceği anlaşılmaktadır. Fakat 12 lt/dk gaz debisine sahip numunenin çekme dayanımı değeri maksimum olduğu için kaynak genişliğinin 6,5-7 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.



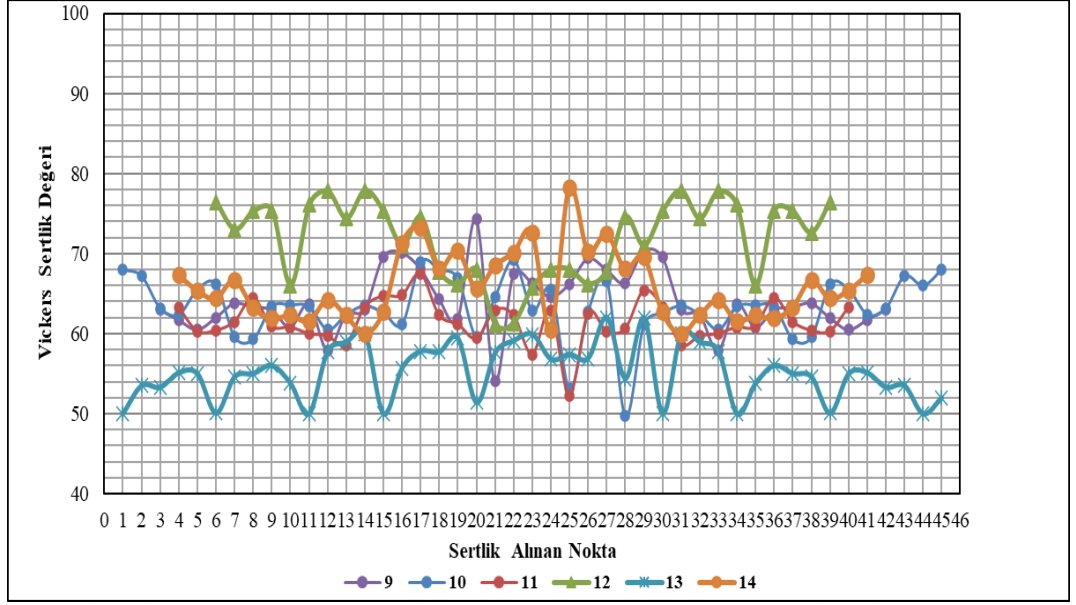
Şekil 5.62 : Farklı kaynak gaz debisi kaynak yüksekliği grafiği.

Farklı gaz akımları ile kaynak yüksekliği arasındaki bağıntı grafiği Şekil 5.62’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde kaynak yüksekliğinin en çok olduğu değer 12 lt/dk gaz debisinde ona en yakın değer ise 11 lt/dk kaynak gaz debisinde elde edilmiştir. Çekme sonuçlarında da bu yakınlıkta olduğu görülmektedir. En düşük kaynak yüksekliği ise 9 lt/dk gaz debisinde olduğu görülmektedir.

5.2.3.3. Farklı gaz debilerinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı koruyucu gaz debilerinde CMT-kaynak ile birleştirme yapılmış numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait sonuçlar Şekil 5.63’de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzemedir.

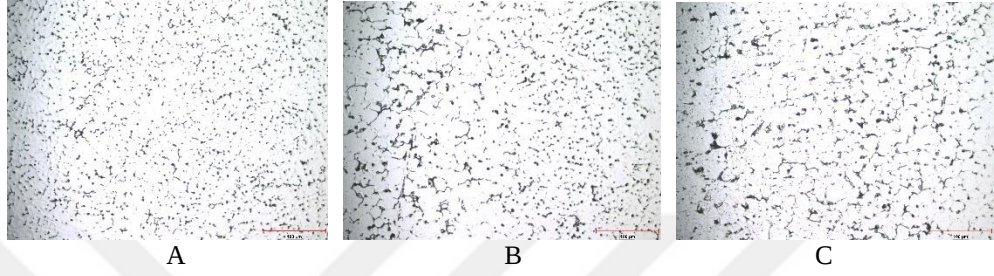
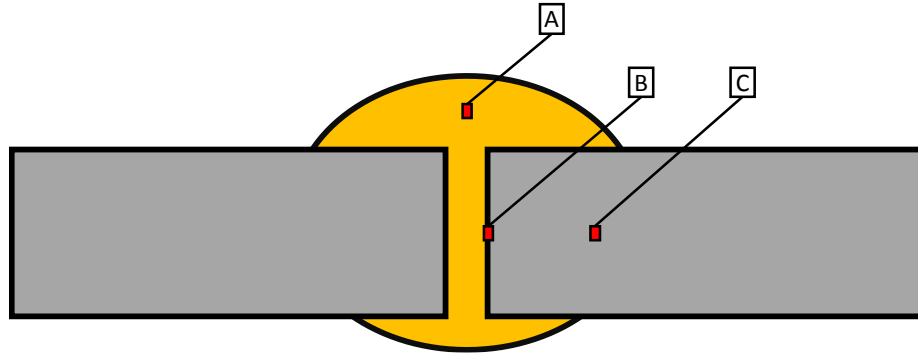
Şekil 5.63’deki grafik incelendiğinde 9 lt/dk, 10 lt/dk, 11 lt/dk, 12 lt/dk, 13 lt/dk ve 14 lt/dk koruyucu gaz debilerinde kaynak hızlarında ve bu hızlara bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.



Şekil 5.63: Farklı kaynak gaz debilerinde mikrosertlik değerleri.

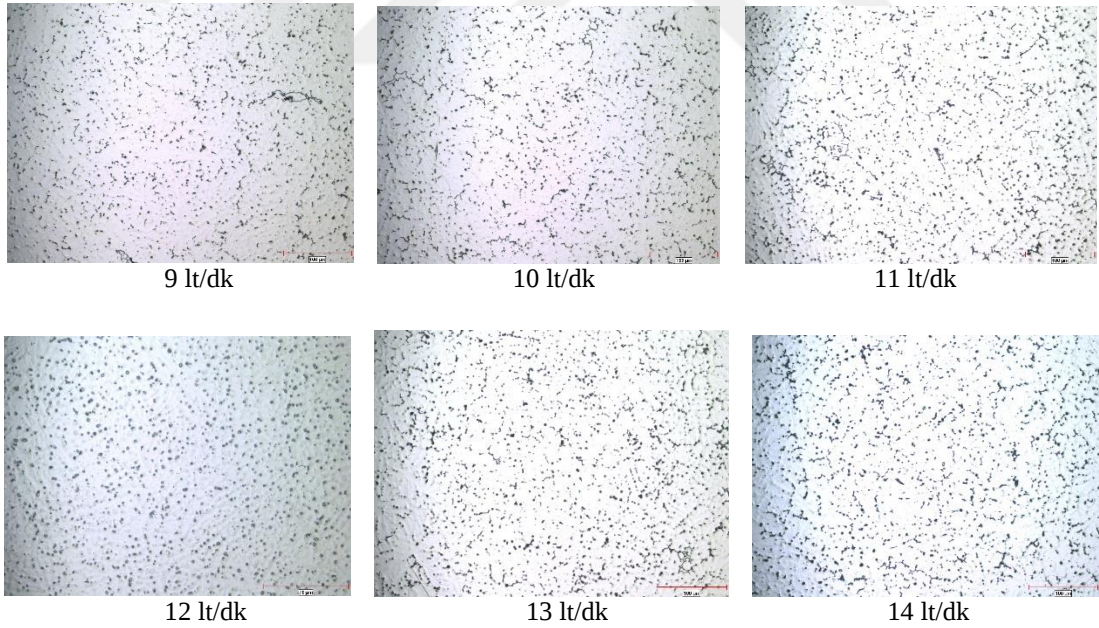
5.2.3.4. Farklı gaz debilerinin bağlantının mikroyapısına etkisi

Şekil 5.64.'de 11 lt/dk koruyucu gaz debisi ile kaynak işlemi yapılan numunenin farklı bölgelerde oluşan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A noktası kaynak bölgesi, B noktası ara bölge, C noktası ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) görüntülerini vermektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde CMT kaynak işleminin gerçekleştirildiği bölgeye yakın bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye gidildikçe tane boyutu küçülmüştür. Bununla birlikte tane boyutunun iri olduğu kısımlarda maksimum sertlik değerleri ölçülmüştür. Bunun nedeninin ise ısı girdisinin en çok etkili olduğu bölgenin, bu bölgenin olduğu anlaşılmaktadır.



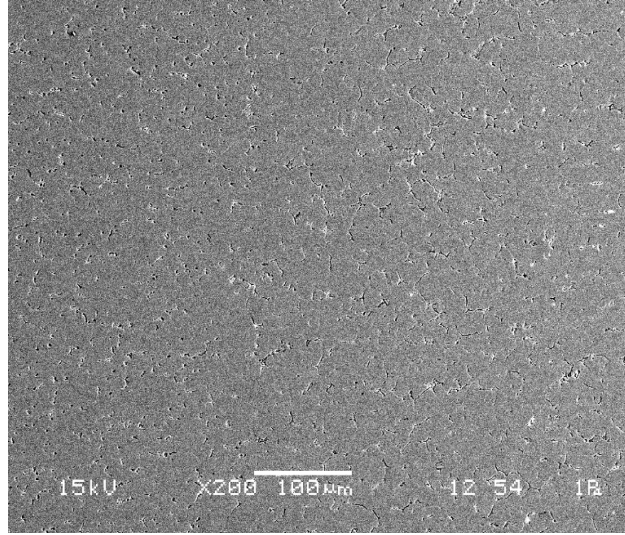
Şekil 5.64 : 11 lt/dk gaz debisiyle kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.65’de farklı kaynak gaz debilerinde kaynak işlemi yapılan numunelerin kaynak bölgelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

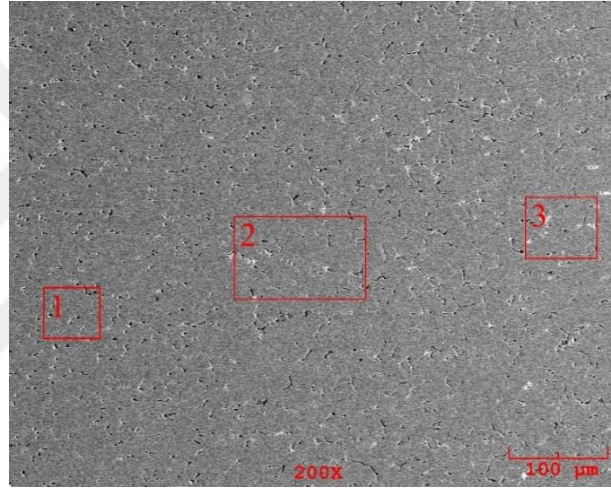


Şekil 5.65 : Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş kaynak bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

10 lt/dk gaz debisinde birleştirilmiş numunenin ara bölgesinin SEM görüntüsü Şekil 5.66’da verilmektedir. Ayrıca ara bölgeden bölgesel EDS inceleme sonuçları alınmıştır. Buna ait sonuçlar Şekil 5.67’de verilmiştir.



Şekil 5.66 : 10 lt/dk gaz debi ile birleştirilmiş numuneye ait ara bölge SEM görüntüsü.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	3,215	0,008	0,104	1,511	95,162
2	2,872	0,128	0,518	1,823	94,659
3	2,293	0,111	0,052	1,647	95,897

Şekil 5.67 : 10 lt/dk debi ile birleştirilmiş numunenin ara bölgesinden alınan bölgesel EDS analizi.

5.2.4. Farklı torç açılarının bağlantının özelliklerine etkisi

5.2.4.1. Farklı torç açılarının bağlantının dayanımına etkisi

5754 alüminyum alaşımı sacların optimum akım şiddeti 60A ve kaynak gerilimi 12,5V, kaynak hızı 40 cm/dk ve gaz akım debisi 12 lt/dk olarak belirlenmiştir. 5754 alüminyum alaşımı sacların bu değerler sabitinde farklı torç açılarında mekanik değerlere etkisini ve optimum torç açısını belirlemek için farklı parametrelerde CMT kaynak uygulaması yapılmıştır.

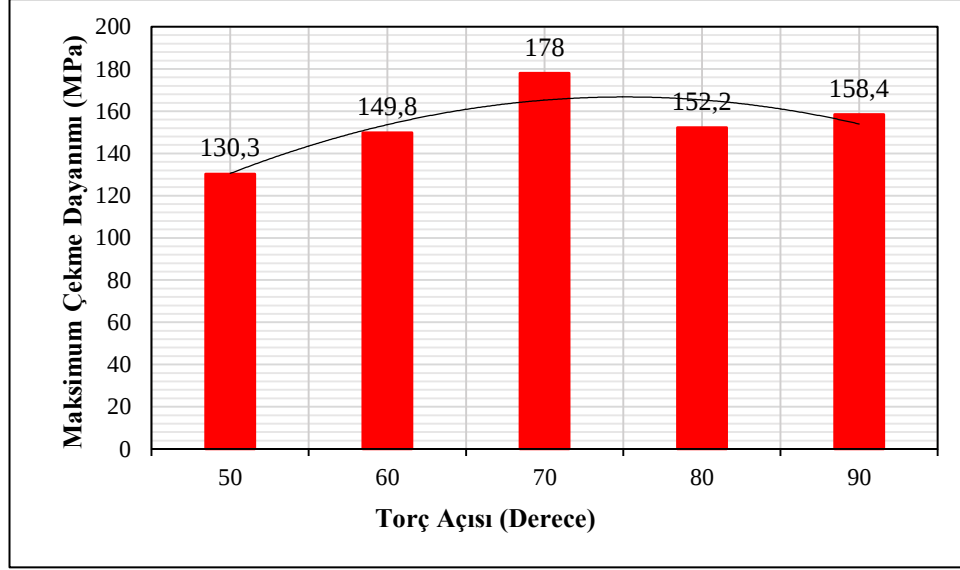
Yapılan bu çalışmada kaynak esnasında torç açısında değişiklik olmaması için, CMT kaynak makinesinin torcunu sekatöre sabitlemek için sabitleyici aparatlar kullanılmıştır ve farklı torç açılarında kaynak işlemi yapılmıştır. Tablo alüminyum farklı torç açılarında kaynak parametreleri ve belirlenen çekme mukavemeti değerleri verilmiştir.

Tablo 5.8’de 5754 alüminyum alaşımı sacların farklı kaynak torç açılarında kaynak parametreleri ve çekme dayanımı değerleri verilmiştir.

Tablo 5.8 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.

ALÜMİNYUM 5754 CMT ALIN BİRLEŞTİRME								
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Torç açısı [derece]	Max. Çekme Muk. [MPa]
60	4,4	12,5	12	Argon	60	0	50	130,3
60	4,4	12,5	12	Argon	60	0	60	149,8
60	4,4	12,5	12	Argon	60	0	70	178
60	4,4	12,5	12	Argon	60	0	80	152,2
60	4,4	12,5	12	Argon	60	0	90	158,4

Şekil 5.68’de farklı kaynak torç açılarındaki en yüksek çekme dayanımı değerleri verilmiştir.

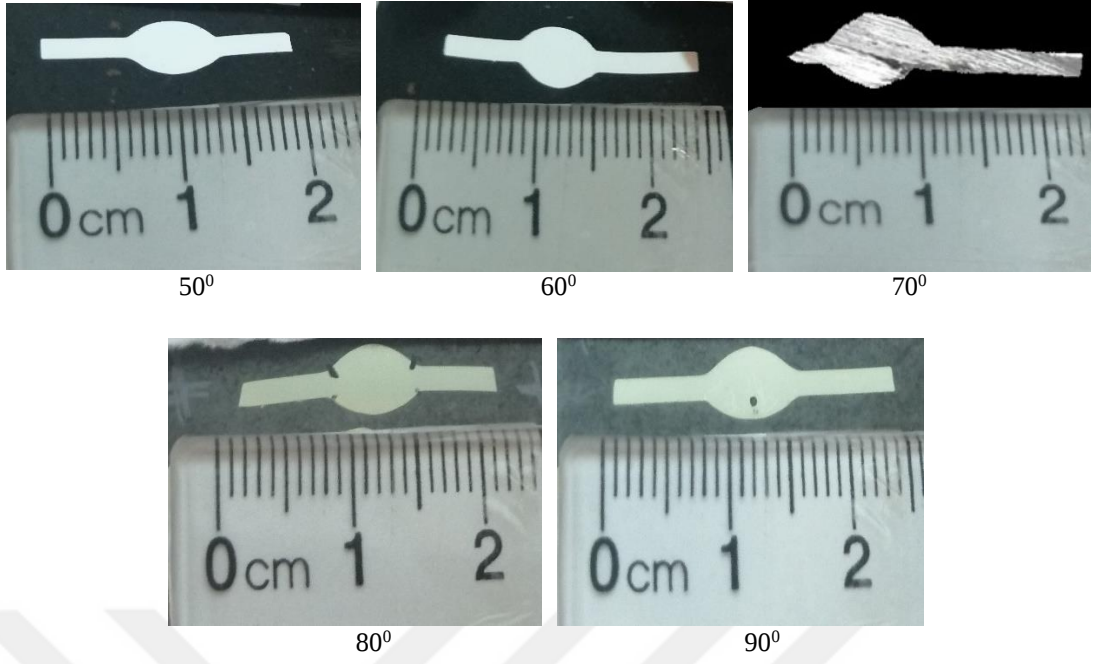


Şekil 5.68 : Farklı kaynak torç açılarında çekme mukavemeti grafiği.

Elde edilen çekme mukavemet değerleri incelendiğinde, kaynak torç açısı değeri 70°'de 178 MPa değeri ile maksimum çekme dayanımı olarak belirlenmiştir. En düşük çekme dayanımı değeri 50° torç açısında 130,3 MPa ile ölçülmüştür. Elde edilen çekme değeri 50° torç açısına göre çekme dayanımı değeri %27 azalmıştır. Elde edilen çekme mukavemet değerleri incelendiğinde en uygun kaynak torç açısı değerinin 70° olduğu belirlenmiştir.

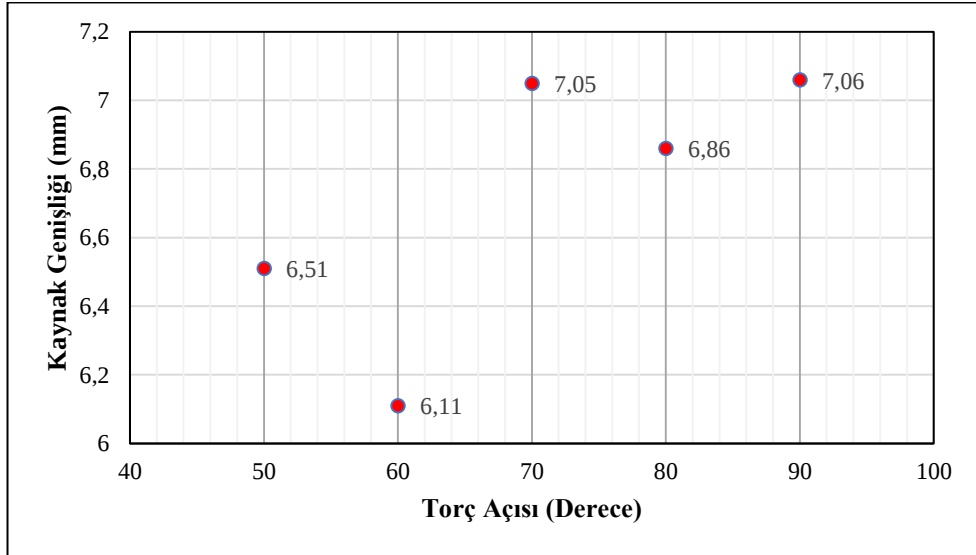
5.2.4.2. Farklı torç açılarının kaynak geometrisine etkisi

5754 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle birleştirmelerine ait kaynak geometrilerinin makroyapı görüntüleri Şekil 5.69'da verilmiştir.



Şekil 5.69 : Farklı kaynak torç açılarında makro fotoğraf görüntüleri.

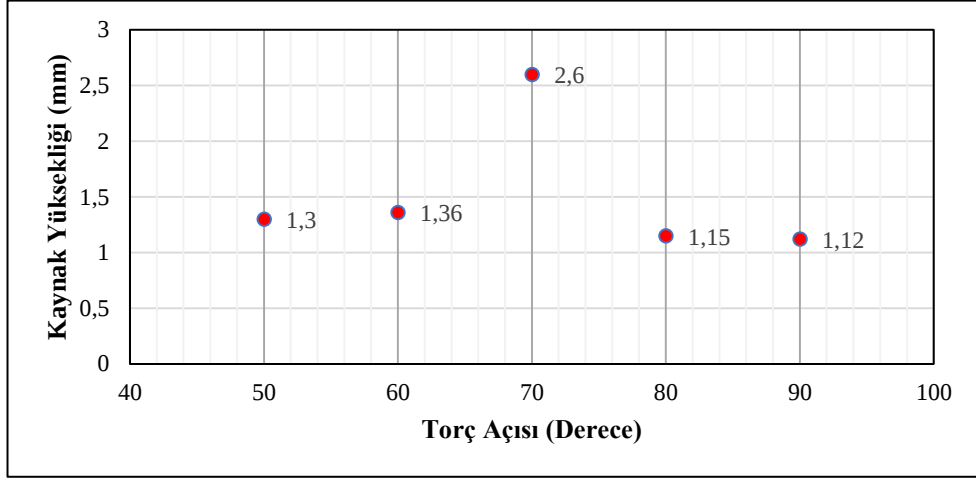
Makro fotoğraf görüntüleri incelendiğinde tüm torç açılarının hem nüfuziyet hem de ıslatabilirliği kabul olunabilirliği olduğu tespit edilmiştir. Makroyapı görüntüleri en yüksek çekme dayanımları ile beraber değerlendirildiğinde 70° torç açısının en uygun değer olduğu görülmektedir.



Şekil 5.70 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak genişliği grafiği.

Farklı torç açılarından ulaşılan numunelere ait kaynak genişliği grafiği Şekil 5.70'de ve kaynak yüksekliği grafiği Şekil 5.71'de verilmiştir. Kaynak kep genişliğinin 6-7

mm arasında, kaynak kep yüksekliğinin ise 1–2,6 mm arasında olduğu tespit edilmiştir.

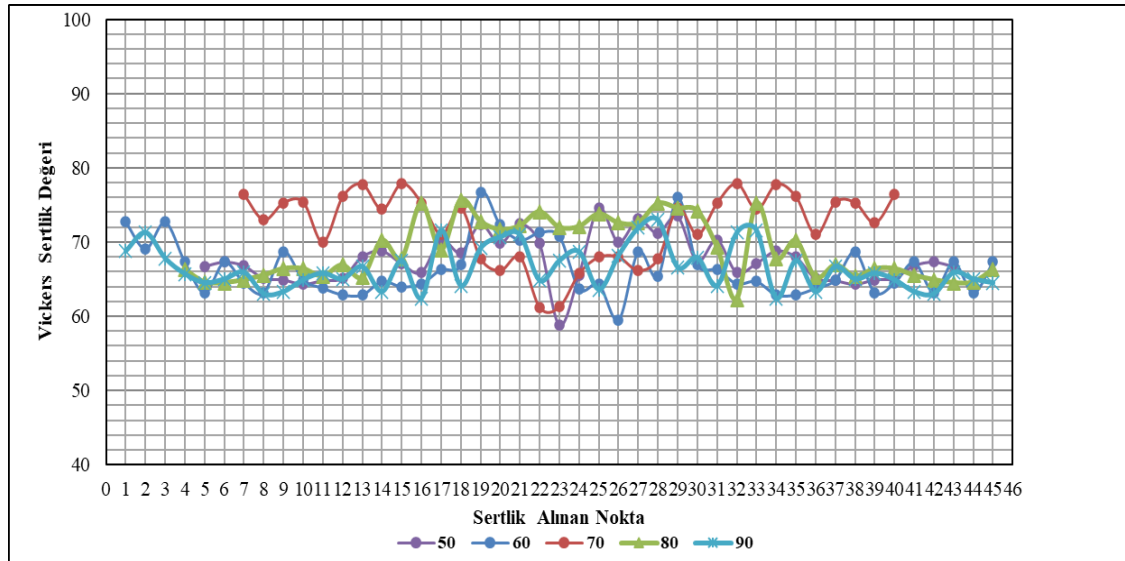


Şekil 5.71 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak yüksekliği grafiği.

5.1.4.3. Farklı torç açılarının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı torç açılarında CMT-kaynak ile birleştirme işlemi yapılan numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait sonuçlar Şekil 5.68’de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzemedir.

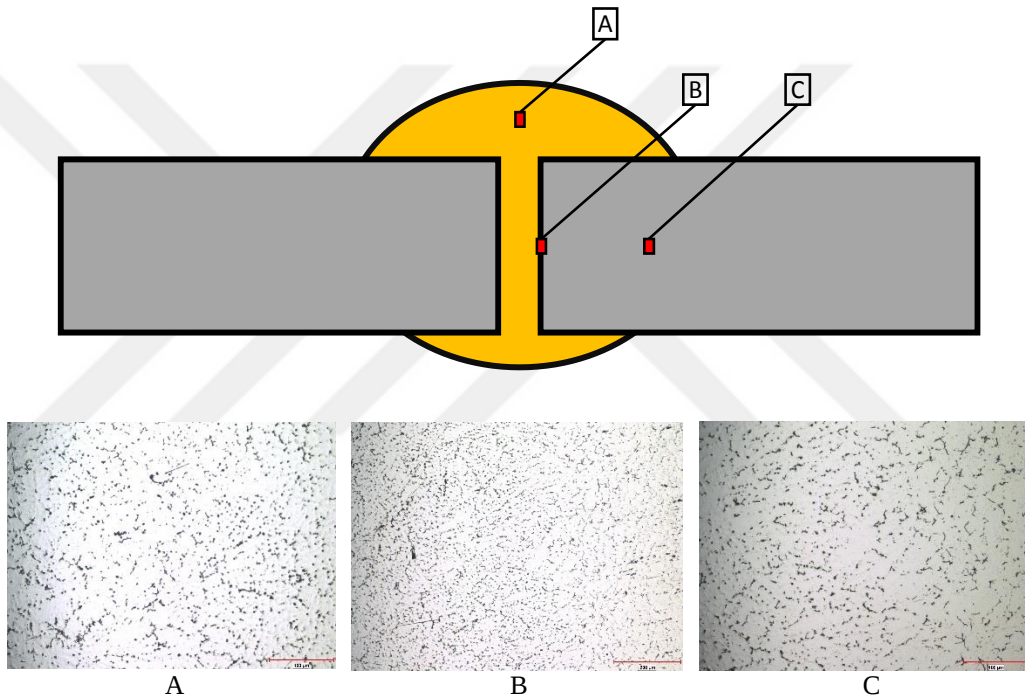
Şekil 5.72’deki grafik incelendiğinde 50°, 60°, 70°, 80° ve 90° torç açıları ve bu torç açılarına bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.



Şekil 5.72 : Farklı kaynak torç açılarındaki mikro sertlik noktaları.

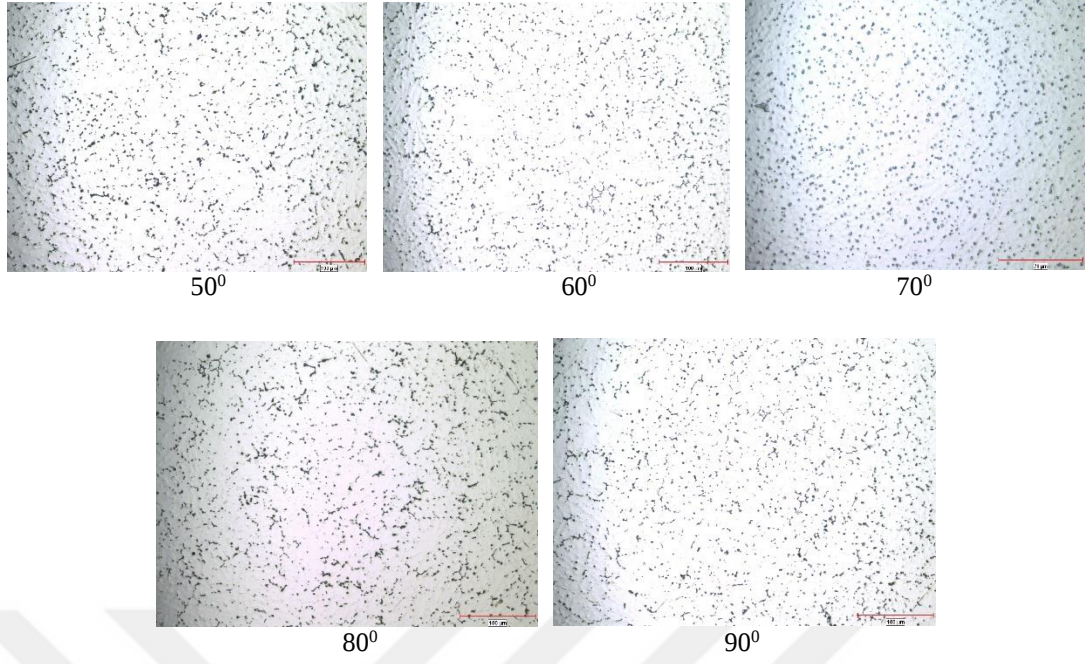
5.2.4.4. Farklı torç açılarının bağlantının mikroyapısına etkisi

Şekil 5.73’de 50^0 torç açısı ile birleştirme işlemi sağlanan numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A kısmı kaynak bölgesi, B kısmı ara bölge, C kısmı ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) görüntülerini vermektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde CMT kaynak işleminin gerçekleştirildiği bölgeye yakın bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye doğru yaklaştıkça tane boyutu küçülmüştür. Bununla beraber tane boyutunun iri olduğu kısımlarda maksimum sertlik değerleri ölçülmüştür. Bunun nedeninin ise ısı girdisinin en çok tesirli olduğu alan olarak bu bölgenin olduğu anlaşılmaktadır.

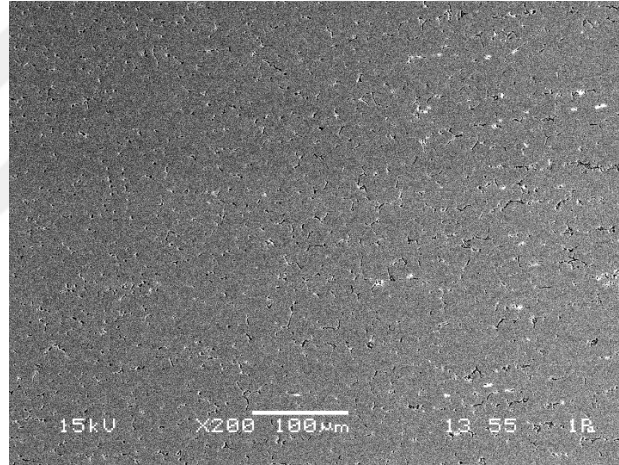


Şekil 5.73 : 50^0 torç açısına ait mikroyapı görüntüleri.

Farklı torç açılarında elde edilen numunelere ait kaynak bölgelerinin mikroyapı görüntüleri Şekil 5.74’de verilmiştir.

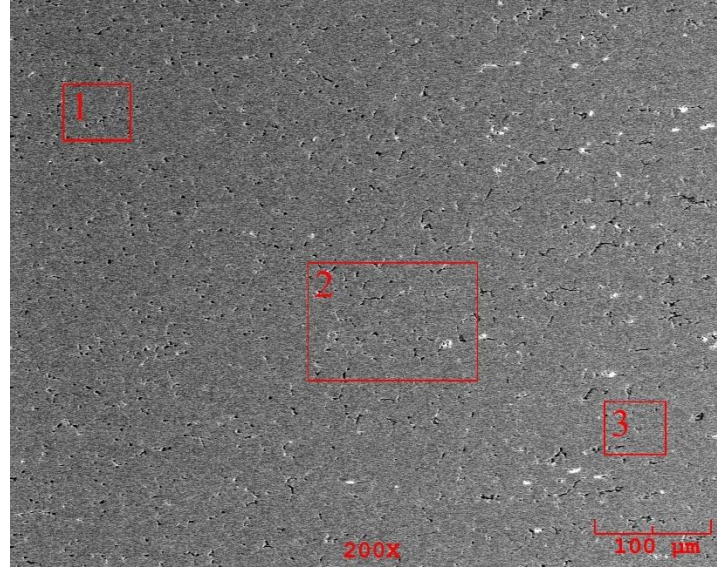


Şekil 5.74 : Farklı torç açılarındaki kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.75 : 80° torç açısındaki numuneye ait ara bölge SEM görüntüsü.

Şekil 5.75’de 80° torç açısındaki numunenin ara bölgesinde, ısı girişiyle elementlerin kaynak bölgesine doğru difüzyon ile geçişi görülmektedir. Bu geçiş sonrası ara bölgeden alınan bölgesel EDS analiz sonucu Şekil 5.76’da verilmiştir.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	3,820	0,033	0,341	0,958	94,848
2	2,850	0,045	0,768	0,850	95,487
3	2,581	0,087	0,543	1,480	95,309

Şekil 5.76 : 80° torç açısındaki numuneye ait ara bölge bölgesel EDS analizi.

5.3. 5754 ve 6061-T6 AA Sacların CMT Kaynak Yöntemi ile Birleştirmeleri

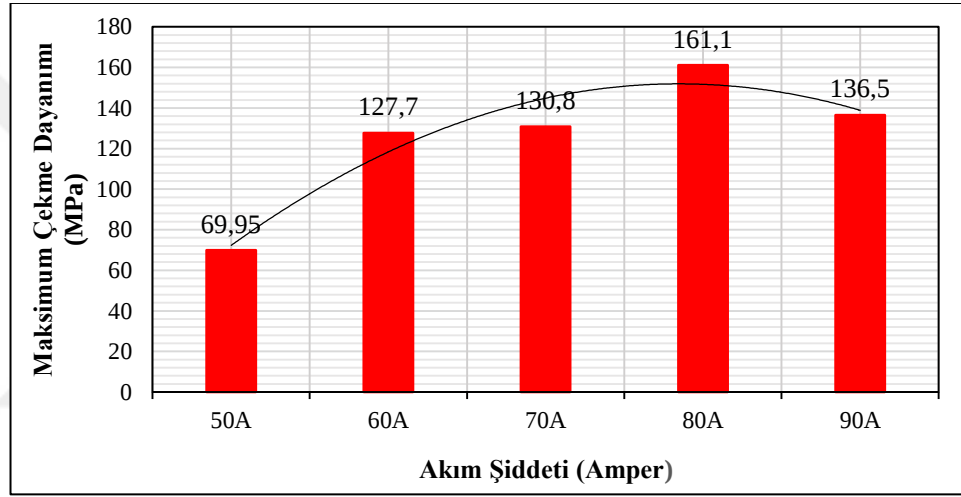
5.3.1. Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

5.3.1.1. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının dayanımına etkisi

5754 ve 6061-T6 Alüminyum levhanın CMT kaynağında uygulanan farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemeti incelemek için akım parametreleri Tablo 5.9.'da verilmiştir. Akım şiddetleri 50 amperden başlayıp 100 amperde dahil olmak üzere çıkılmıştır. 100 amperde akım şiddetine bağlı levhada erime ve delinmeler gözlenmiştir.

Tablo 5.9 : Farklı akım şiddetlerinde kaynak parametrelerinin ve mekanik özelliklerine etkisi.

ALÜMİNYUM 5754 ve 6061-T6 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[MPa]
50	3	12,3	12	Argon	120	0	69,95
60	3,8	12,4	12	Argon	120	0	127,7
70	4,4	12,5	12	Argon	120	0	130,8
80	5,2	12,5	12	Argon	120	0	161,1
90	5,9	13,3	12	Argon	120	0	136,50



Şekil 5.77 : Farklı akım şiddetlerindeki çekme dayanımları grafiği.

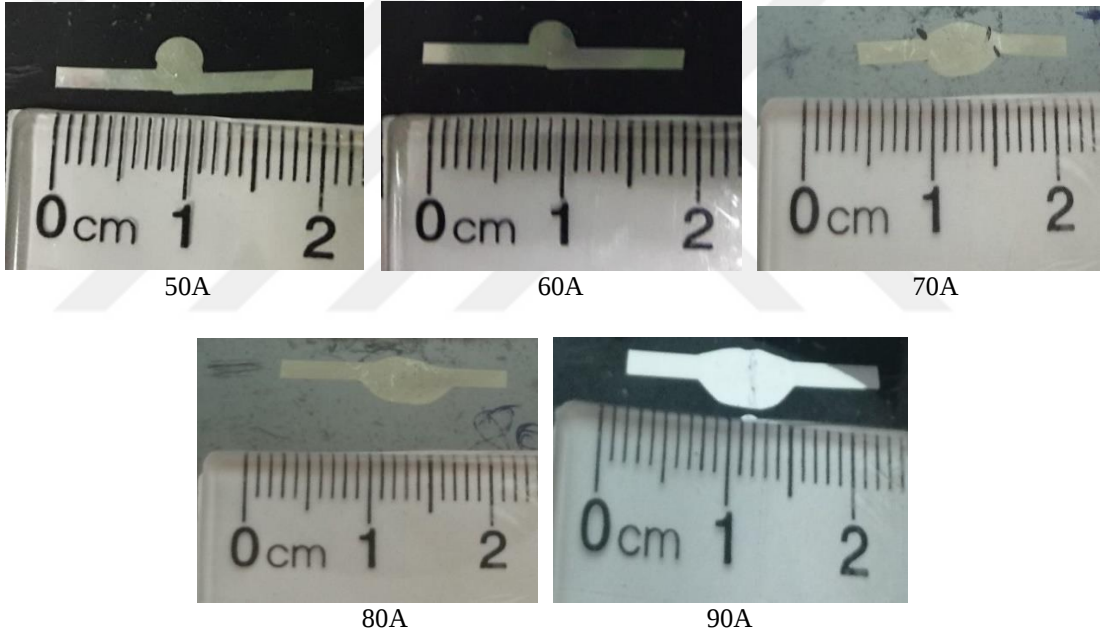
Şekil 5.77’de görüldüğü üzere akım şiddetine bağlı olarak çekme mukavemetlerinde değişim gözlenmiştir. 100 amperde kaynak tutmamış, 50 amperde en düşük çekme mukavemetine sahiptir. 80 amperden sonra çekme mukavemetinde düşme gözlenmiş ve 50 amperden sonra artan ısı girdisiyle beraber numunelerin ITAB bölgesinden koptukları gözlenmiştir.

Bu nedenle çekme geriliminde kritik eşik 80 amper olarak görülebilmektedir. 80 ampere kadar artan mukavemet değeri daha sonra 90 amperde düşmüştür. 90 amperde görülen ani düşmenin kaynak hatası ya da boşluktan olabileceği düşünülmektedir. Malzemedeki değişen mukavemet değerlerinin akım şiddetine bağlı ısı girdisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle alüminyum 5754 ve 6061-T6 levhada uygulanabilecek değer 80 Amper olduğu görülmektedir.

5.3.1.2. Farklı akım şiddetlerinin kaynak geometrisine etkisi

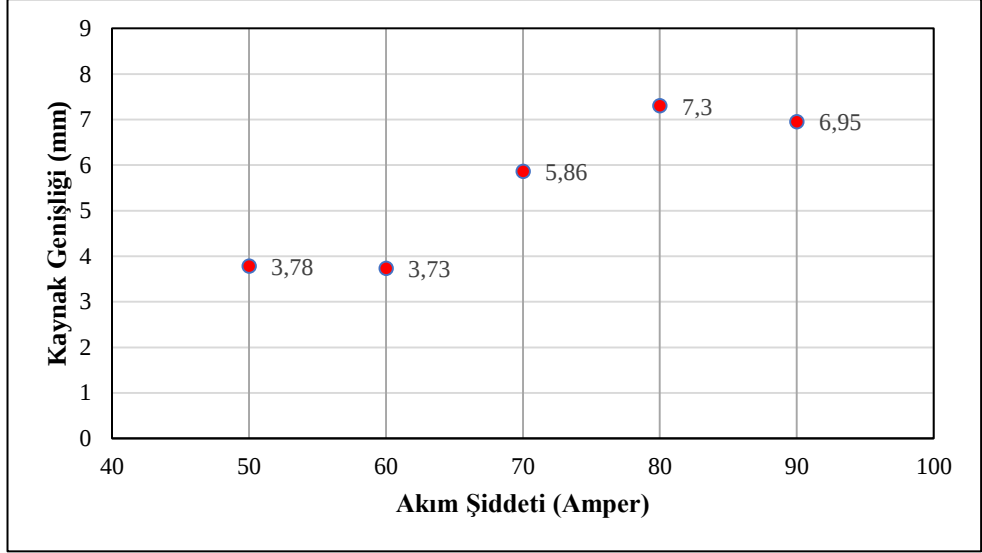
Farklı kaynak akım şiddetlerinin kaynak geometrisine etkisinin gözlemlenebilmesi için CMT kaynak işlemi yapılmış numunelerin makro fotoğrafları çekilmiştir. Bu fotoğraflardan kaynak genişliği ve kaynak yüksekliği değerleri ölçülmüştür. Şekil 5.78’de numunelerin farklı akımlardaki makro fotoğraf görüntüleri verilmiştir.

Şekil 5.78’de verilen farklı akımlardaki makro fotoğraf görüntülerine baktığımızda 50 ve 60A’lık akım şiddetlerinde kaynak ısılatma yeteneğinin azlığı ve nüfuziyetin yetersiz olduğu görülmektedir. 60A’lık akım şiddetinden sonra nüfuziyetin toparladığı ve kaynak ısılatma yeteneğinin arttığı görülmüştür. 80 ve 90A’lık akım şiddetlerinde ise kaynak köklerinde aşırı nüfuziyet gözlemlenmiştir.



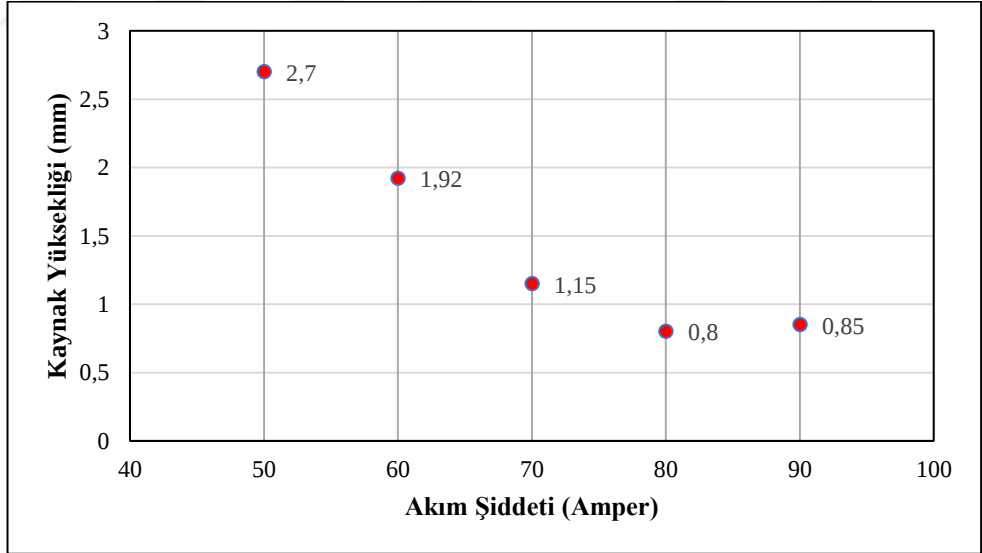
Şekil 5.78 : Farklı akım şiddetlerindeki numunelere ait makro görüntüler.

Şekil 5.79’da farklı akım şiddetlerinde kaynak işlemi yapılmış numunelerin kaynak genişliği grafiği görülmektedir. Grafikte, akım şiddetinin artması 80A değerine kadar kaynak kepi genişliğinin de artmasına sebep olmaktadır. 90A değerinde kaynak kepi genişliği bir miktar azalmıştır.



Şekil 5.79 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak genişliği grafiği.

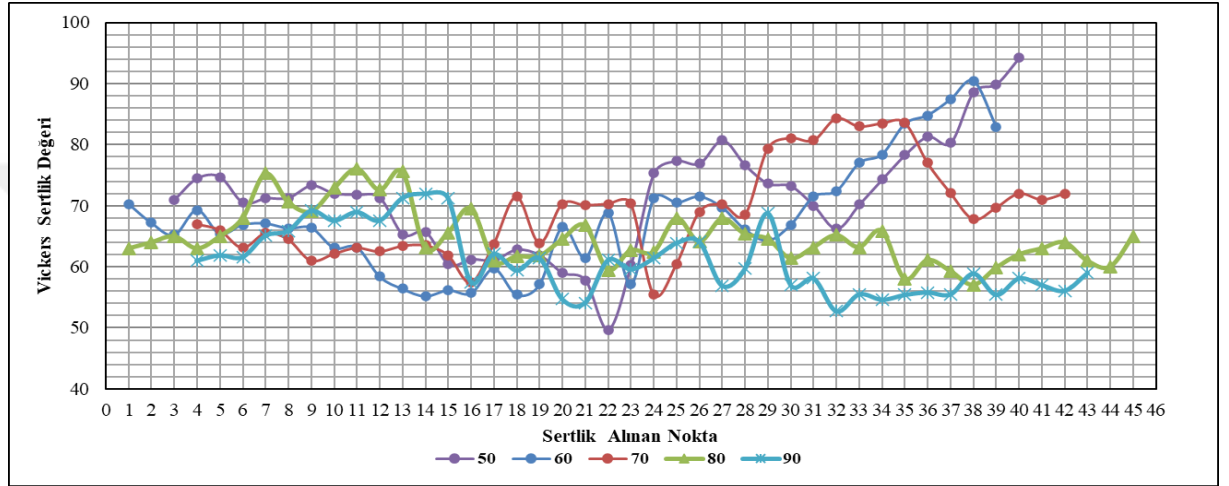
Şekil 5.80’de verilen farklı akım şiddetlerindeki kaynak yükseklikleri grafiğine bakıldığında, akım şiddetinin artması ile kaynak yüksekliğinin git gide azaldığı görölmektedir. Akım şiddetinin artmasıyla birlikte ısı girdisi artmakta, bu ise kaynak telinin ıslatma özelliğini artırdığı için kaynak kepi genişliğini artırdığı ve kaynak yüksekliğini ise azalttığı düşünölmektedir.



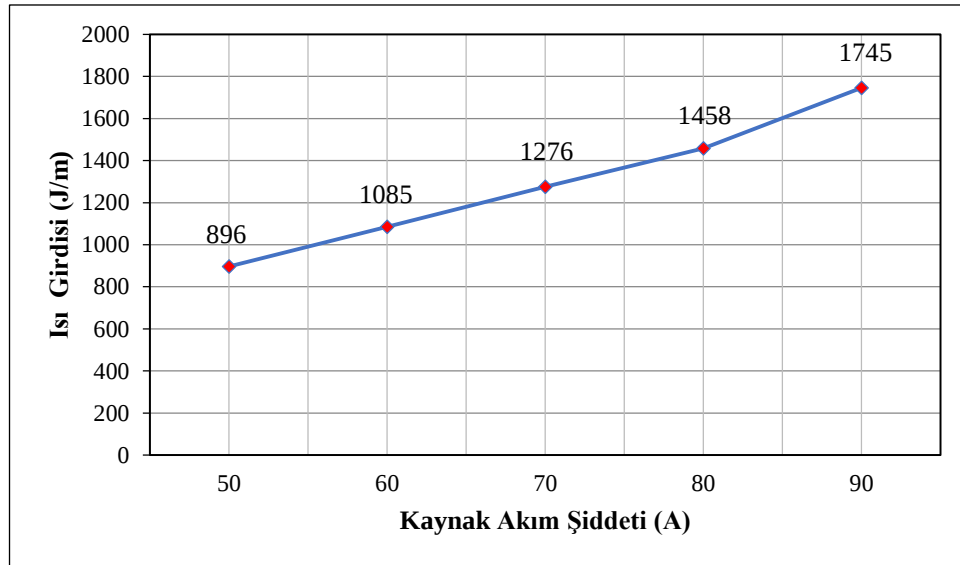
Şekil 5.80 : Farklı akım şiddetlerindeki kaynak yüksekliği grafiği.

5.3.1.3. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi

CMT kaynak işlemi yapılmış farklı akımlardaki numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait değerler Şekil 5.81’de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları 3 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; kaynak metali, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metaldir. Şekil 5.81’deki grafik incelendiğinde 50, 60, 70, 80 ve 90A kaynak akım şiddetlerinde ve bu akım şiddetlerine bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.

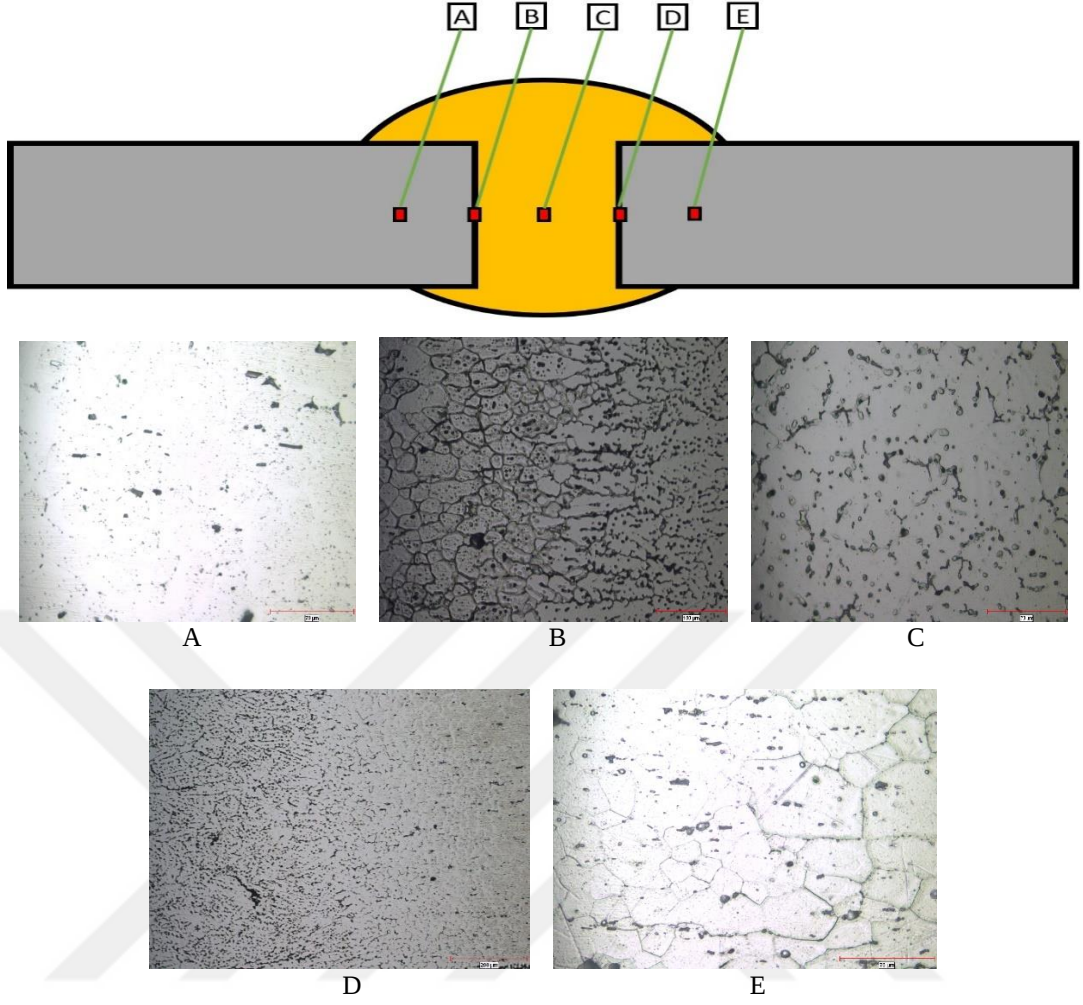


Şekil 5.81 : Farklı akım şiddetlerindeki numunelerin mikrosertlik değerleri grafiği.



Şekil 5.82 : Farklı akım şiddetlerindeki numunelerin ısı girdileri grafiği.

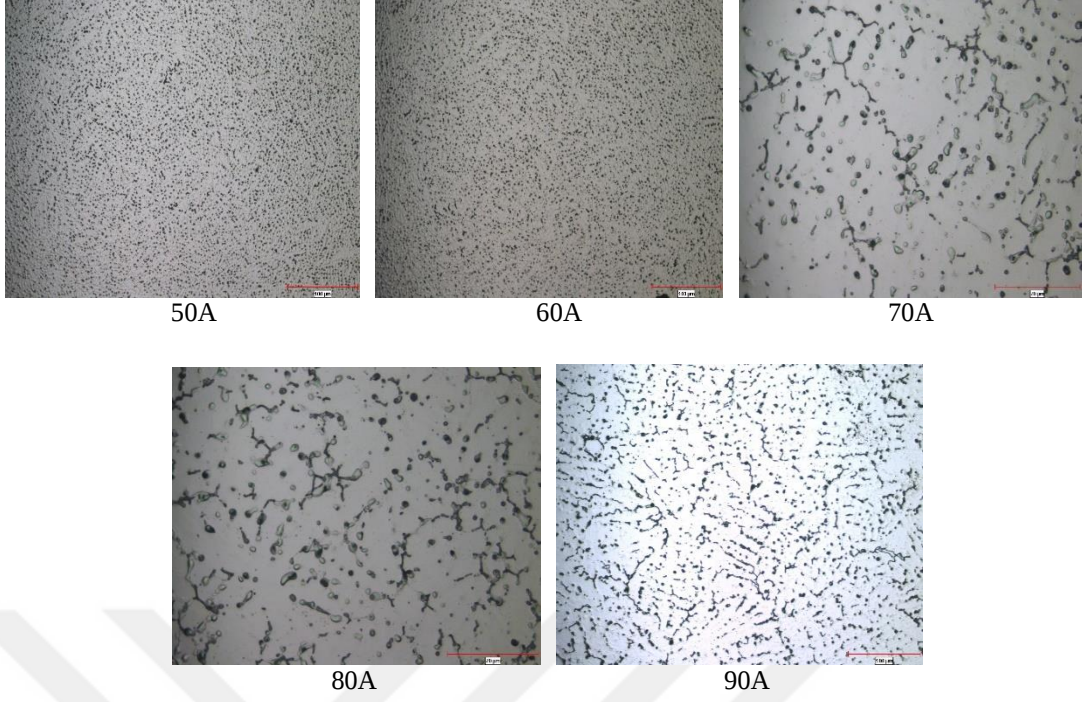
5.3.1.4. Farklı akım şiddetlerinin bağlantının mikroyapısına etkisi



Şekil 5.83 : 70A akım şiddetinde kaynak yapılan numunenin mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.83’de 70A’lık akım şiddeti ile kaynak işlemi yapılan numunenin farklı bölgelerden alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A ve E noktaları ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), B ve D bölgeleri ara bölge, (kaynak-ITAB), C bölgesi ise kaynak bölgesine ait görüntüleri vermektedir.

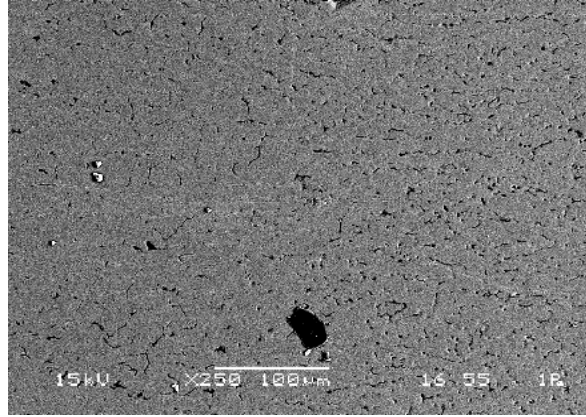
Mikroyapı görüntülerinden incelendiğinde CMT yönteminin gerçekleştirildiği bölgeye yakın bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye doğru yaklaştıkça tane boyutu küçülmüştür.



Şekil 5.84 : Farklı akım şiddetinde kaynak yapılan numunelerin kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.

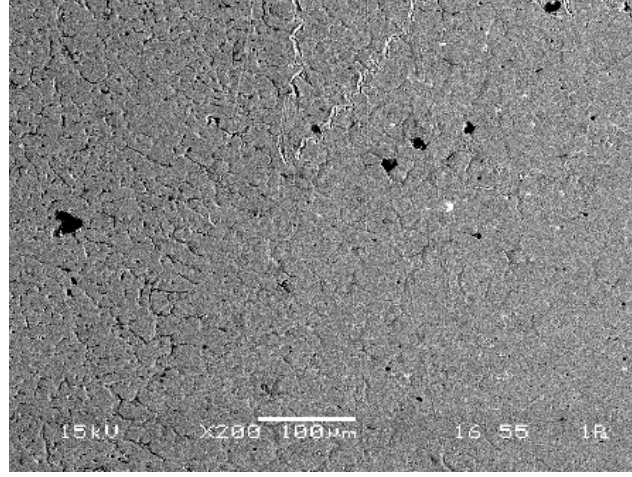
Şekil 5.84’da farklı kaynak akım şiddeti mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

Şekil 5.85’de 70A kaynak akım şiddetinde kaynak yapılmış numunenin ara bölge (5754- Kaynak) SEM görüntüsü verilmiştir.



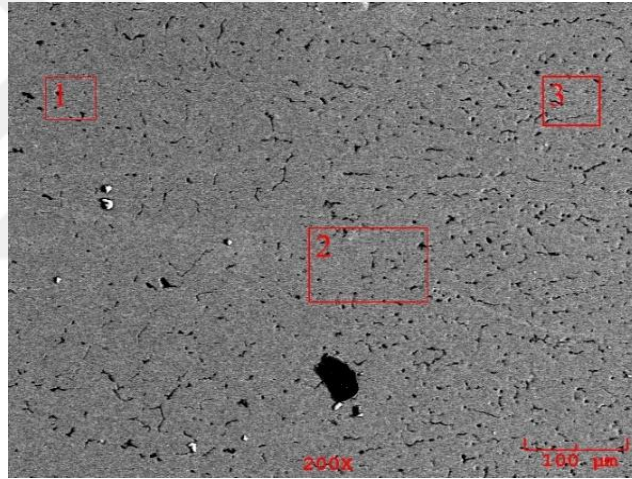
Şekil 5.85 : 70A akım şiddetinde kaynak yapılmış numunenin ara bölge (5754-Kaynak) SEM görüntüsü.

Şekil 5.86’da 70A kaynak akım şiddetinde kaynak yapılmış numunenin ara bölge (Kaynak-6061-T6) SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.86 : 70A akım şiddetinde kaynak yapılmış numunenin ara bölge (Kaynak-6061-T6) SEM görüntüsü.

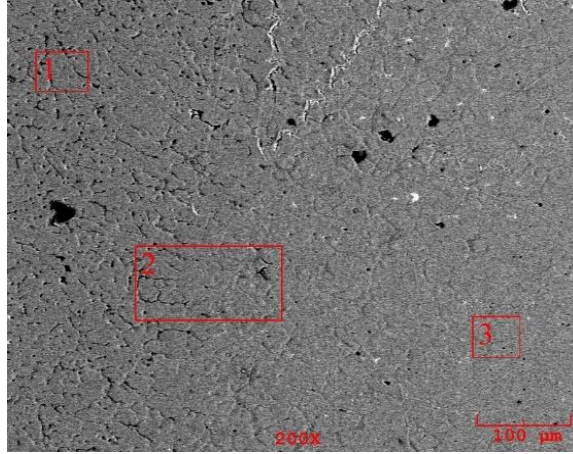
70A akım şiddeti ile birleştirilmiş numunenin ara bölgesinden alınan bölgesel EDS analizi Şekil 5.87’de verilmiştir.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	2,949	0,19	0,608	2,636	93,618
2	1,153	0,293	0,282	1,487	96,785
3	0,733	0,051	0,175	2,125	96,916

Şekil 5.87 : 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin kaynak bölgesi EDS analizi.

80A akım şiddeti ile birleştirilmiş numunenin kaynak bölgesinden alınmış olan bölgesel EDS incelemesi Şekil 5.88’de verilmiştir.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	2,264	-	0,213	2,25	95,272
2	2,871	0,081	0,326	0,527	96,195
3	3,358	-	0,534	1,448	94,66

Şekil 5.88 : 80A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin kaynak bölgesi EDS analizi.

5.3.2. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının özelliklerine etkisi

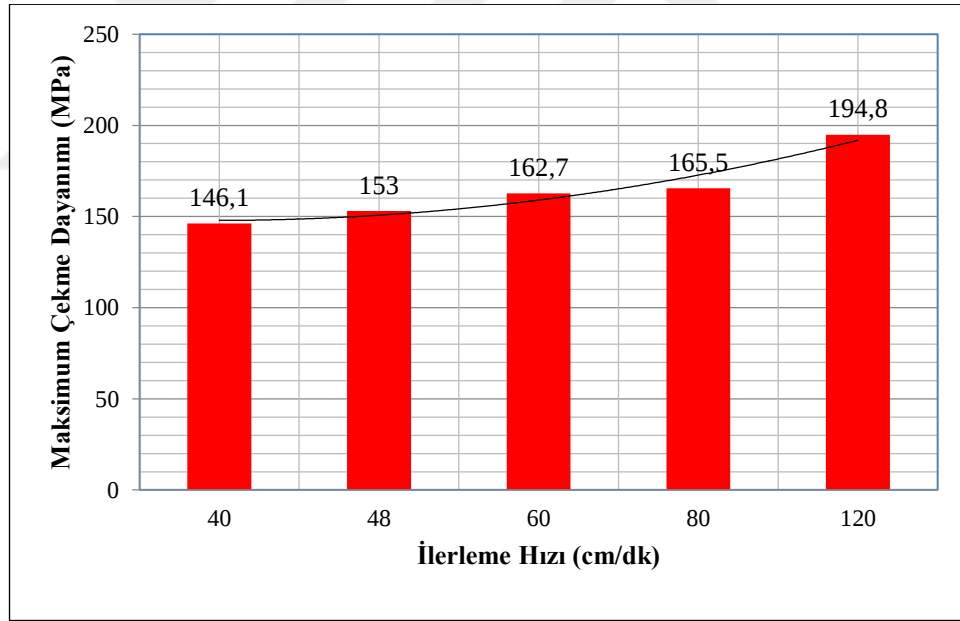
5.3.2.1. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının dayanımına etkisi

Alüminyum 5754 ve 6061-T6 malzemesinin optimum akım şiddeti 80A olarak ve kaynak gerilimi 12,5V olarak belirlenmiştir. Bu değişkenlere bağlı olarak farklı kaynak hızlarındaki çekme mukavemeti değerlerini incelemek amacıyla Tablo 5.10'da uygulanan kaynak hızları, akım şiddetleri, gaz basıncı ve kullanılan gaz verilmiştir. Kaynak hızını sabitlemek için kaynak robotu kullanılmıştır. Kaynak hızları 40 cm/dk ile 120 cm/dk aralığında uygulanmıştır.

Tablo 5.10 : Farklı kaynak hızlarının kaynak parametreleri ve mekanik özelliklere etkisi.

ALÜMİNYUM 5754 ve 6061-T6 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[MPa]
80	5,2	12,5	12	Argon	40	0	146,1
80	5,2	12,5	12	Argon	48	0	153
80	5,2	12,5	12	Argon	60	0	162,7
80	5,2	12,5	12	Argon	85	0	165,45
80	5,2	12,5	12	Argon	120	0	194,75

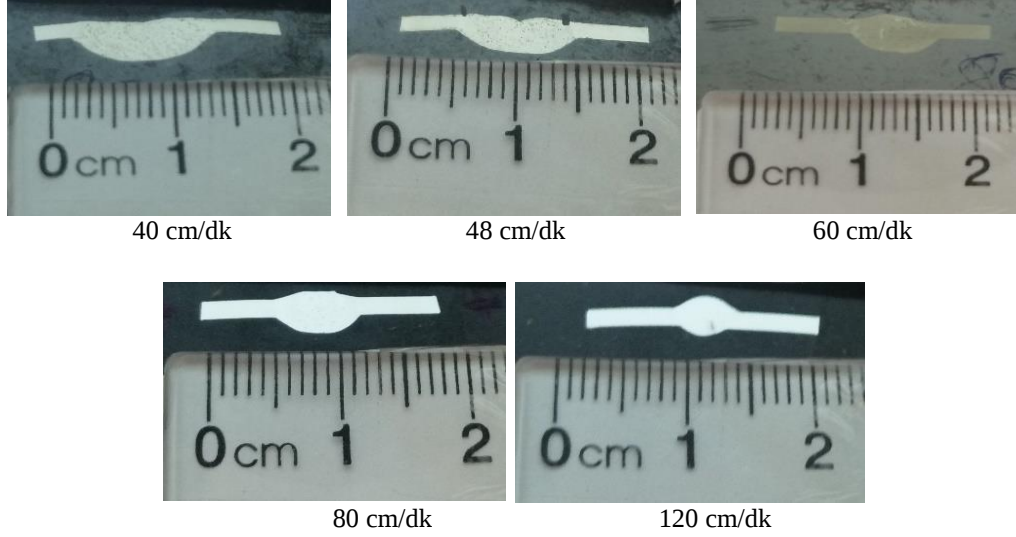
Farklı kaynak hızlarının çekme mukavemetleri Şekil 5.84’de incelenmiştir. İncelenen malzemelerin tümünde ITAB bölgesi ve kaynak bölgesinden kopmalar mevcuttur. Tablodaki verilere bakıldığında en yüksek çekme mukavemeti değerine 120 cm/dk’da ulaşılmıştır. Bu sebepten optimum kaynak hızı 120 cm/dk olarak belirlenmiştir. Kaynak süresini arttıkça ısı girdisi artmıştır.



Şekil 5.89 : Farklı kaynak hızlarındaki çekme dayanımı grafiği.

5.3.2.2. Farklı ilerleme hızlarının kaynak geometrisine etkisi

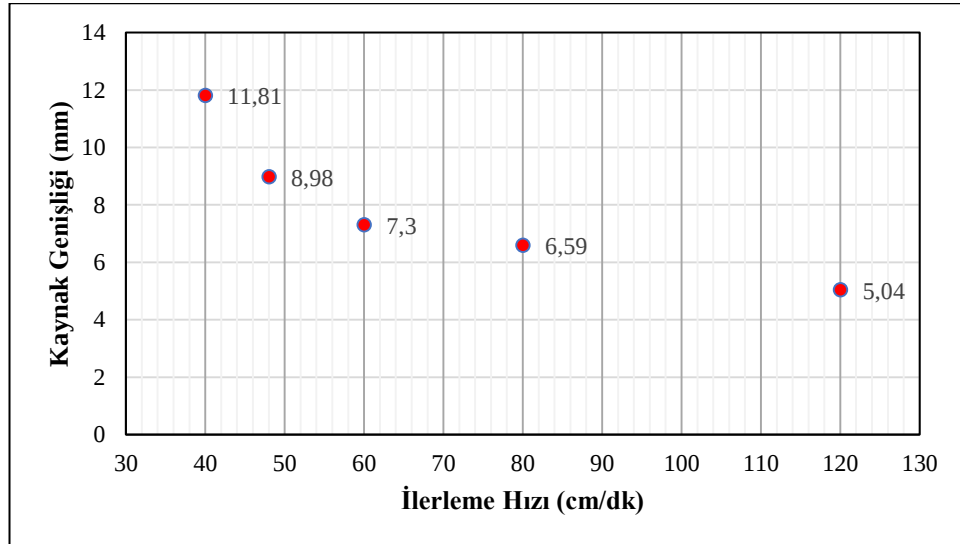
Farklı kaynak ilerleme hızı parametrelerine göre kaynak işlemi yapılmış numunelerin makro fotoğraf görüntüleri Şekil 5.90’da verilmiştir.



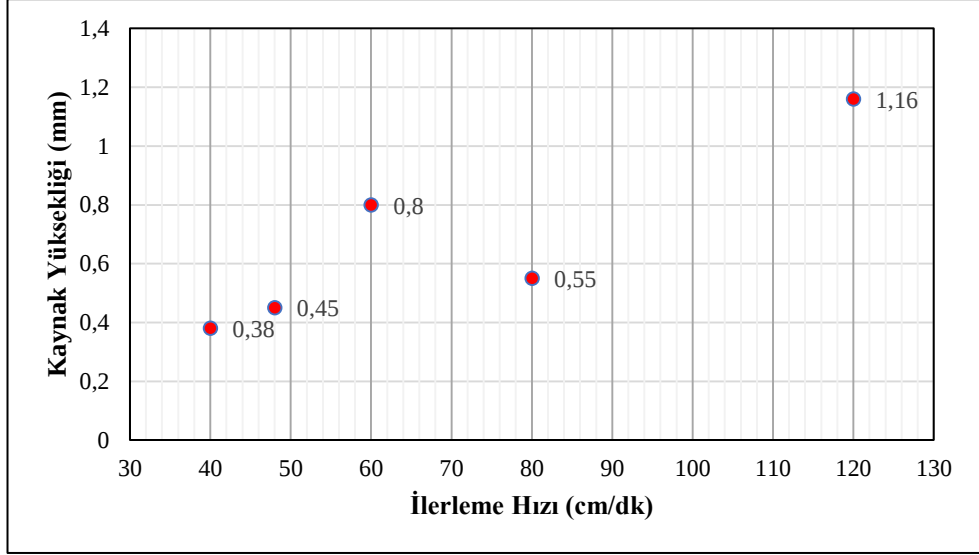
Şekil 5.90 : Farklı kaynak ilerleme hızlarında makro görüntüler.

Şekil 5.90'daki makro görüntüler incelendiğinde, 80 ve 120 cm/dk ilerleme hızlarında kaynak ısıtma yeteneğinin diğer numunelere göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda en yüksek mukavemet değerleri de bu hızlarda bulunmuştur.

Şekil 5.91'de farklı kaynak ilerleme hızı kaynak genişliği grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde kaynak ilerleme hızı arttıkça kaynak kep genişliğinde azalma görülmektedir. Maksimum mukavemet değerlerinin bulunduğu sonuçlar karşılaştırıldığında, ideal kaynak kep genişliğinin 5-7 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.91 : Farklı kaynak ilerleme hızlarındaki kaynak genişliği grafiği.



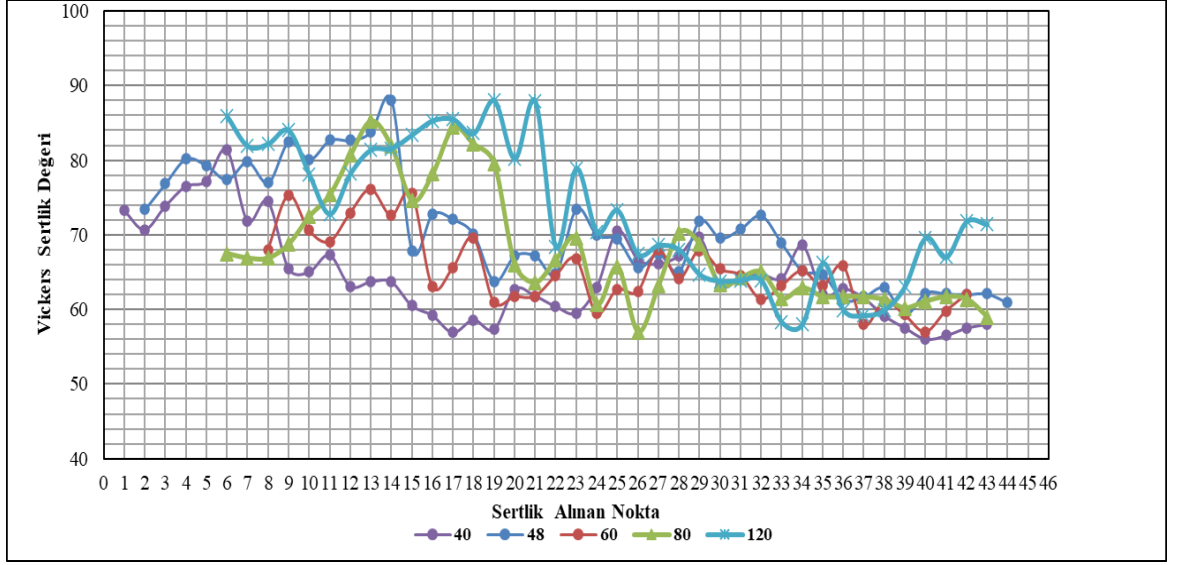
Şekil 5.92 : Farklı kaynak ilerleme hızlarının kaynak yüksekliği grafiği.

Kaynak ilerleme hızı ile kaynak yüksekliği arasındaki bağlantıyı gösteren grafik Şekil 5.92’de verilmiştir. Kaynak yüksekliği mukavemet değerleri ile birlikte beraber incelendiğinde optimum yüksekliğin 0,5-1,2 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.

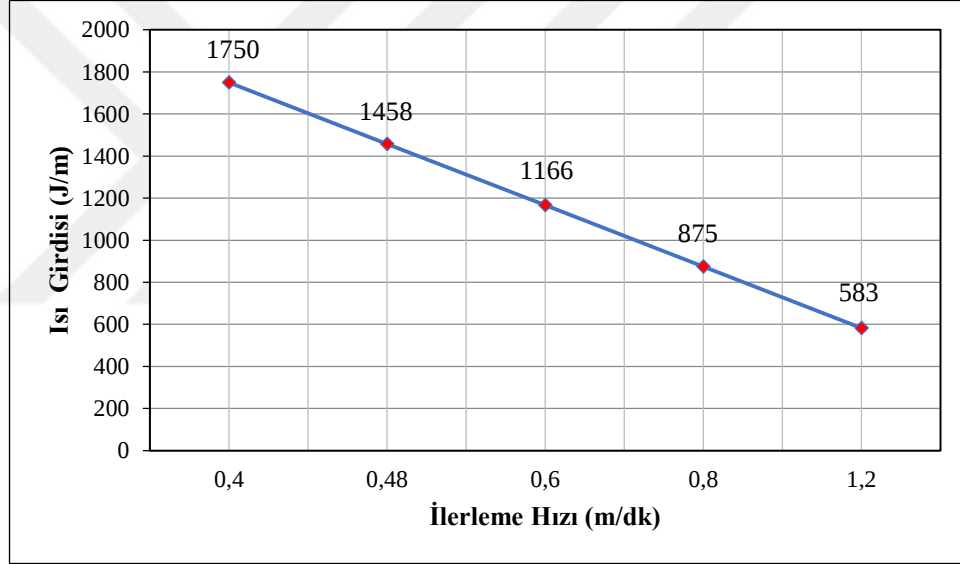
5.3.2.3. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının sertlik ve ısı girdisine etkisi

Şekil 5.93’de farklı ilerleme hızlarında CMT-kaynak işlemi birleştirme yapılan numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait değerler verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları 3 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; kaynak metali, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metaldir.

Şekil 5.93’deki grafik incelendiğinde 40, 48, 60, 80 ve 120 cm/dk kaynak ilerleme hızlarında ve bu ilerleme hızlarına bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.



Şekil 5.93 : Farklı kaynak ilerleme hızları mikro sertlik noktaları.

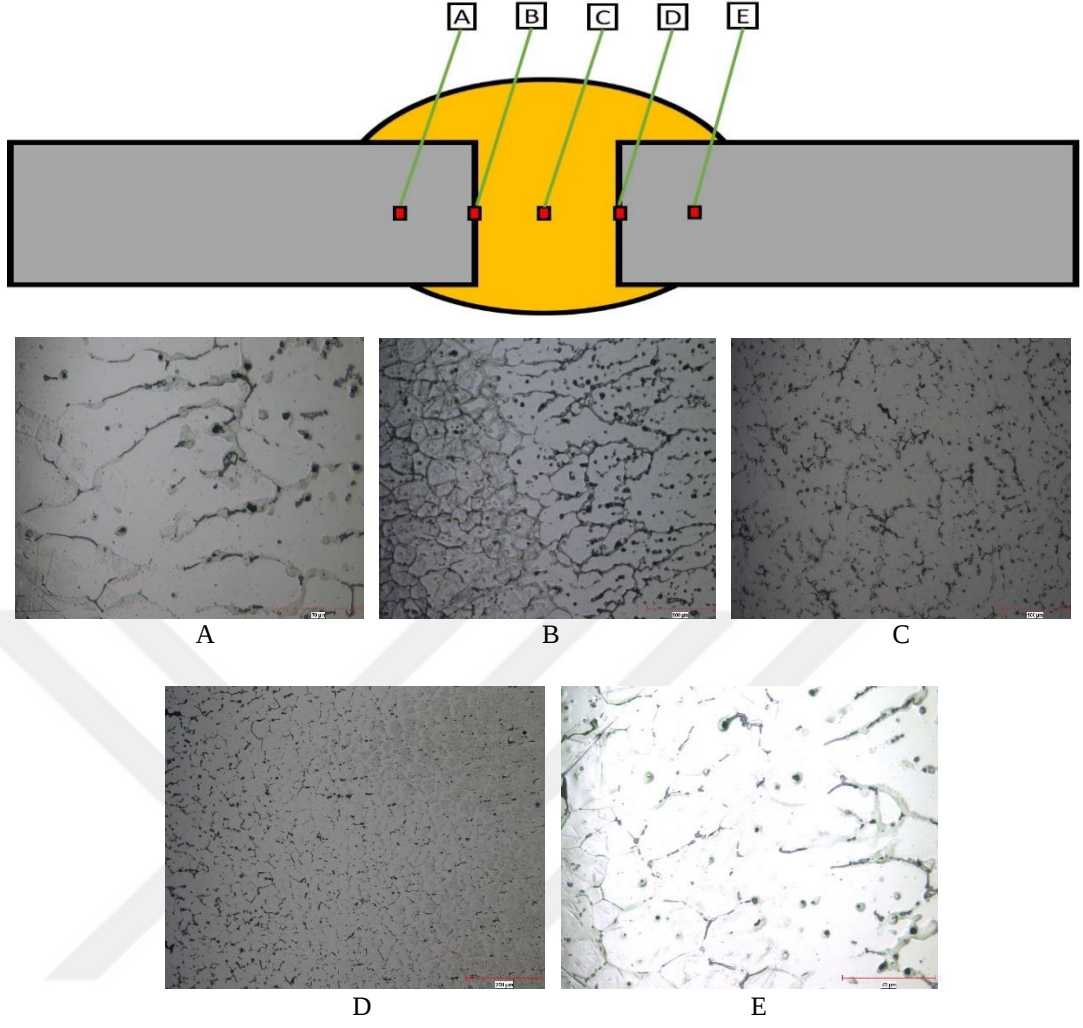


Şekil 5.94 : Farklı kaynak ilerleme hızlarının ısı girdileri grafiği.

5.3.2.4. Farklı ilerleme hızlarının bağlantının mikroyapısına etkisi

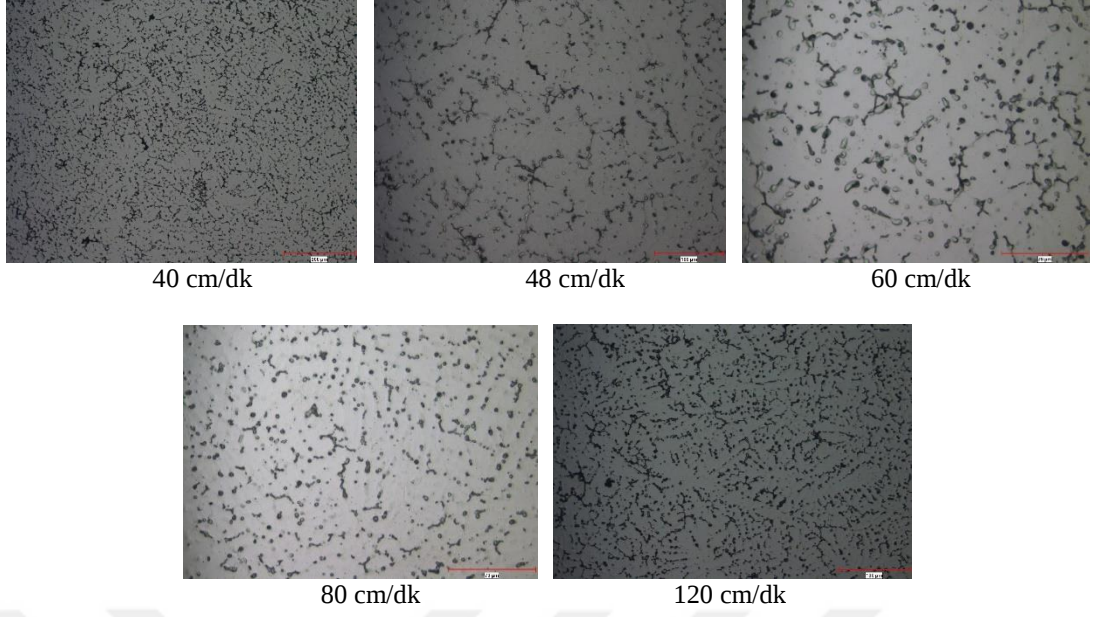
Şekil 5.95’de 48 cm/dk kaynak ilerleme hızı ile kaynak işlemi yapılan numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A ve E bölgeleri ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), B ve D bölgeleri ara bölge, (kaynak-ITAB), C bölgesi ise kaynak bölgesine ait görüntüleri vermektedir.

Mikroyapı görüntülerinden de anlaşılacağı üzere CMT kaynak işleminin gerçekleştirildiği bölgeye yakın bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye doğru yaklaştıkça tane boyutu küçülmüştür.



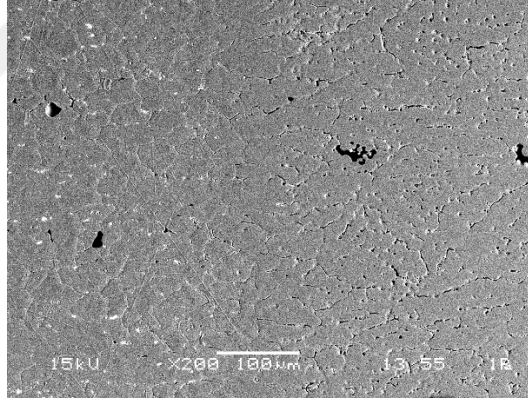
Şekil 5.95 : 48cm/dk ilerleme hızıyla kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.96’da farklı kaynak akım şiddeti mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



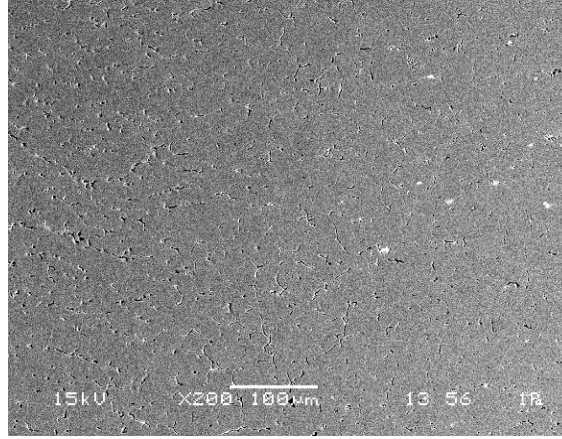
Şekil 5.96 : Farklı kaynak ilerleme hızlarındaki kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.97’de 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge (5754-Kaynak) SEM görüntüsü verilmiştir.



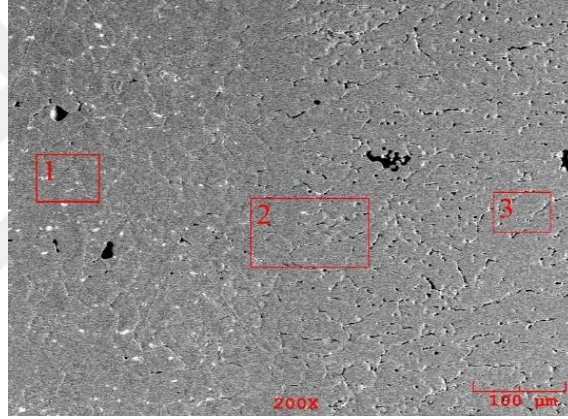
Şekil 5.97 : 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge (5754-Kaynak) SEM görüntüsü.

Şekil 5.98’de 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge (Kaynak-6061-T6) SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.98 : 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge (Kaynak-6061) SEM görüntüsü.

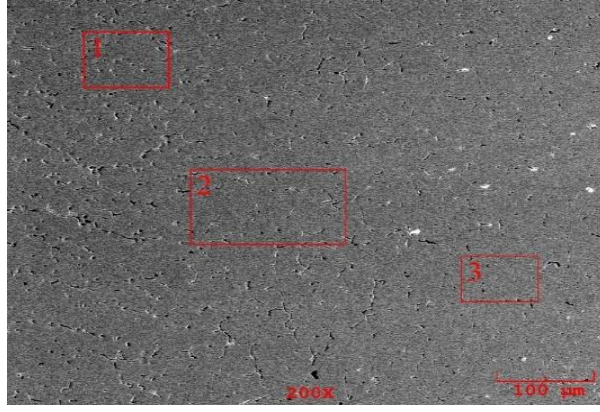
Şekil 5.99'da 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge (5754-Kaynak) bölgesel EDS analizi verilmiştir.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	0,940	0,306	0,267	1,050	97,437
2	2,195	0,068	0,354	0,939	96,444
3	3,493	0,049	0,594	0,652	95,212

Şekil 5.99 : 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.

Şekil 5.100'de 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge (Kaynak-6061-T6) bölgesel EDS analiz verilmiştir.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	3,367	-	0,268	0,957	95,409
2	2,691	0,139	0,340	0,457	96,372
3	2,829	0,005	0506	1,009	95,651

Şekil 5.100 : 48 cm/dk ilerleme hızıyla birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.

5.3.3. Farklı gaz debisinin bağlantının özelliklerine etkisi

5.3.3.1. Farklı gaz debilerinin bağlantının dayanımına etkisi

Alüminyum 5754 ve 6061-T6 malzemesinin optimum akım şiddeti 80A olarak ve kaynak gerilimi 12,5V ve kaynak hızı 120 cm/dk olarak belirlenmiştir. Bu verilen değerler sabit tutularak yapılan kaynak işlemlerinde farklı gaz debileri kullanılmıştır. Yapılan işlemlerde farklı gaz debileri kullanılarak en uygun gaz debisi ve bu değişkenin mukavemete etkileri incelenmiştir.

Gaz akış debisinin argon tüpü manometresinden ölçüldüğü gibi gaz sızıntılarının oluşması ihtimali de sayılarak, kaynak torcu ucundan gaz akış debileri ölçülerek kaynak işlemleri yapılmıştır.

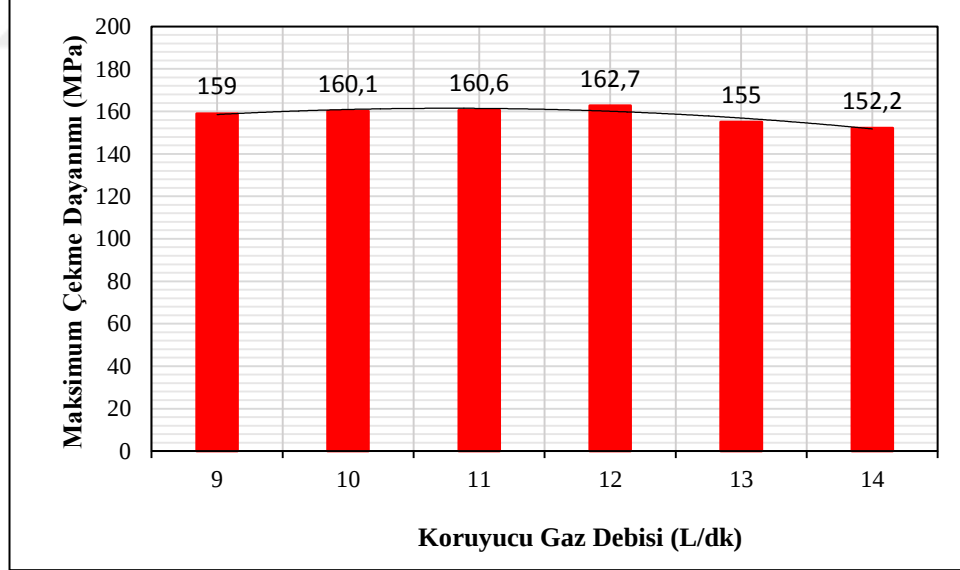
Tablo 5.11’de 5754 ve 6061-T6 alüminyum farklı gaz akış debilerinde kaynak değişkenleri ve çekme dayanımı değerleri verilmiştir.

Tablo 5.11 : Farklı kaynak gaz debilerinde kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkisi.

ALÜMİNYUM 5754 ve 6061-T6 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[MPa]
80	5,2	12,5	9	Argon	120	0	159
80	5,2	12,5	10	Argon	120	0	160,1
80	5,2	12,5	11	Argon	120	0	160,6
80	5,2	12,5	12	Argon	120	0	162,7
80	5,2	12,5	13	Argon	120	0	155
80	5,2	12,5	14	Argon	120	0	152,2

Tablo 5.11’de görüldüğü üzere farklı gaz debileri ve çekme mukavemetleri incelendiğinde, kaynak gaz debisi değerlerinde, 12 lt/dk değeri maksimum çekme dayanımı değeri olarak gözlenmiştir.

Şekil 5.101’de farklı gaz debilerinde en yüksek çekme dayanımları grafiği bulunmaktadır.



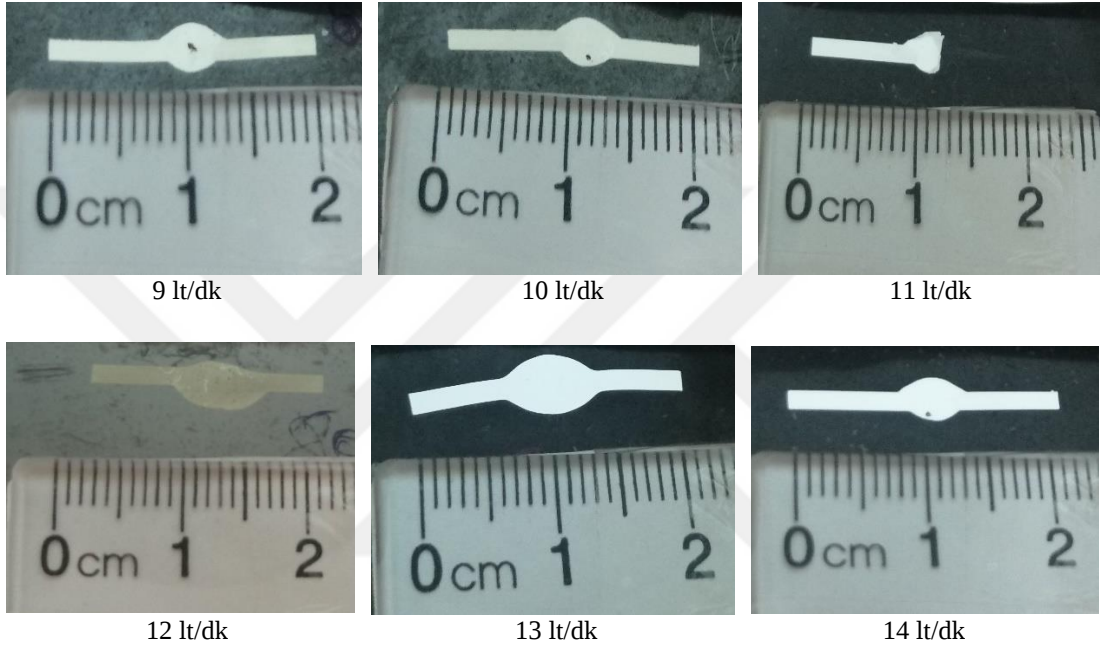
Şekil 5.101 : Farklı kaynak gaz debilerindeki en yüksek çekme dayanımları grafiği.

Şekil 5.101’deki grafik incelendiğinde 12 lt/dk gaz debisinde en yüksek çekme mukavemet değeri görülmüştür. Deney parçaları incelendiğinde maksimum çekme dayanımlarına sahip numunelerin ITAB bölgesinden koptuğu gözlenmiştir. Bu sebeple

5754 ve 6061-T6 alüminyuma CMT kaynağı işleminde uygulanabilir optimum koruyucu gaz debisi 12 lt/dk olduğu belirlenmiştir.

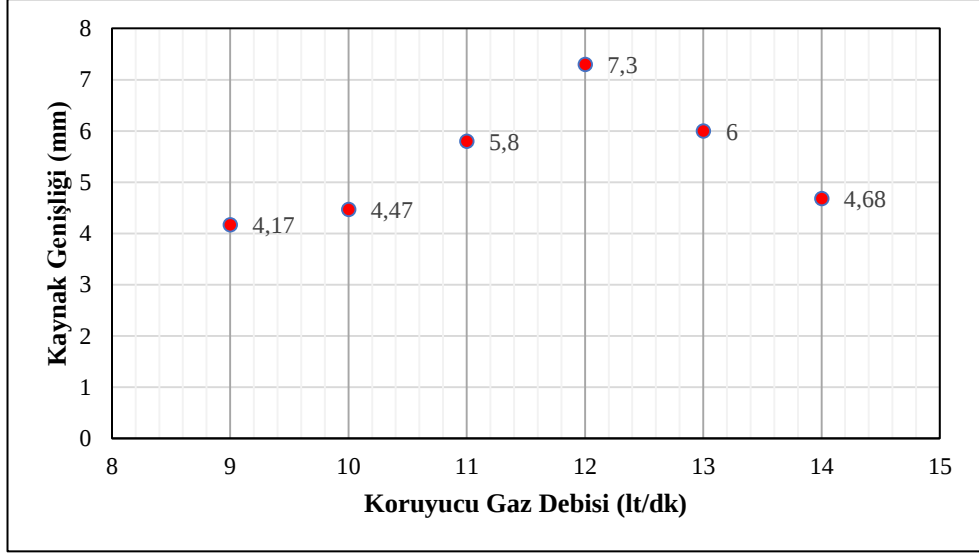
5.3.3.2. Farklı gaz debisinin bağlantının kaynak geometrisine etkisi

5754 ve 6061-T6 alüminyum alaşımı sacların farklı gaz debileriyle yapılan kaynaklı birleştirme işlemlerine ait numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 5.96'da verilmiştir.



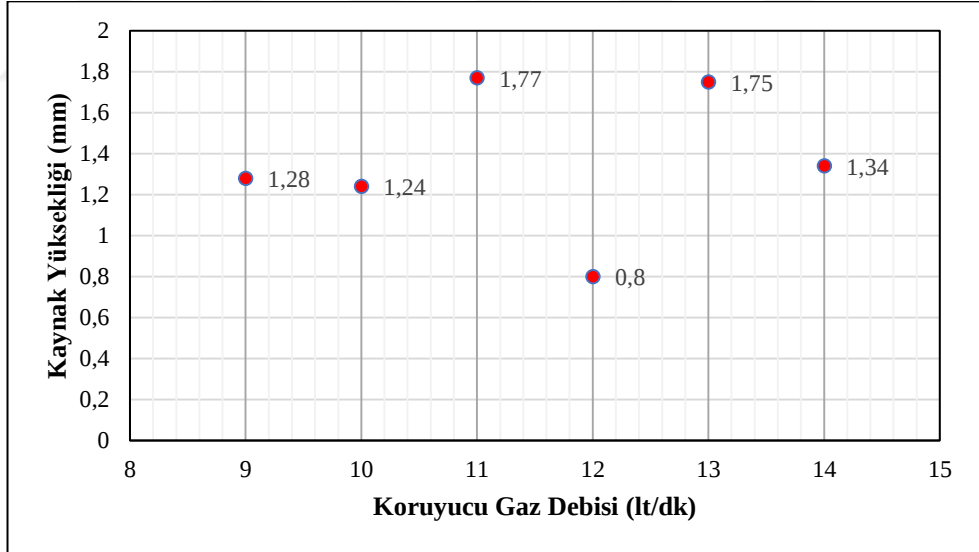
Şekil 5.102 : Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş makroyapı görüntüleri.

Makroyapı görüntüler incelendiğinde 9, 10 ve 11 lt/dk değerlerinin ıslatabilirliğinin olduğu görülmektedir. Fakat çekme deneyi mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde optimum gaz debisinin 12 lt/dk olduğu görülmektedir.



Şekil 5.103 : Gaz debisi kaynak genişliği grafiği.

Şekil 5.103’de farklı kaynak gaz debileri kaynak genişliği grafiği verilmiştir. Kaynak kep genişliğindeki değerin birbirine yakın değerlerde olabileceği anlaşılmaktadır. Fakat 12 lt/dk gaz debisine sahip numunenin çekme dayanımı değeri maksimum olduğu için kaynak genişliğinin 6-7,3 mm arasında olabileceği düşünülmektedir.



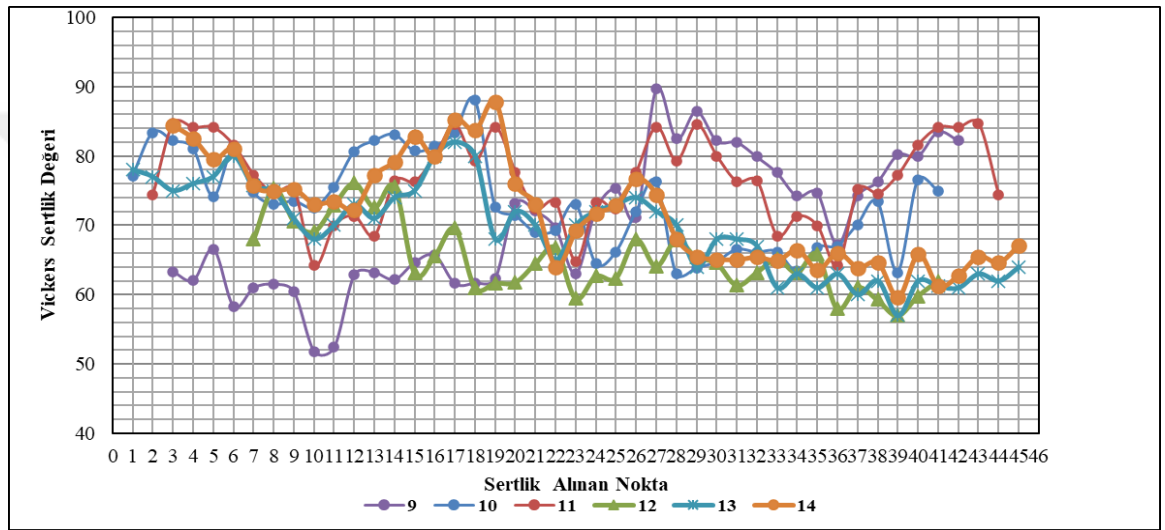
Şekil 5.104 : Farklı kaynak gaz debisi kaynak yüksekliği grafiği.

Farklı gaz akımları ile kaynak yüksekliği arasındaki bağıntı grafiği Şekil 5.104.’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde kaynak yüksekliğinin en çok olduğu değer 12 lt/dk gaz debisinde ona en yakın değer ise 10 lt/dk kaynak gaz debisinde elde edilmiştir. Çekme testi sonuçlarında da bu durum görülmektedir.

5.3.3.3. Farklı gaz debilerinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı gaz debilerinde CMT-kaynak ile birleştirme yapılmış numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait sonuçlar Şekil 5.105’de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları 3 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; kaynak metali, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana metaldir.

Şekil 5.105’deki grafik incelendiğinde 9 lt/dk, 10 lt/dk, 11 lt/dk, 12 lt/dk, 13 lt/dk ve 14 lt/dk gaz debilerinde ve bu gaz debilerine bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.

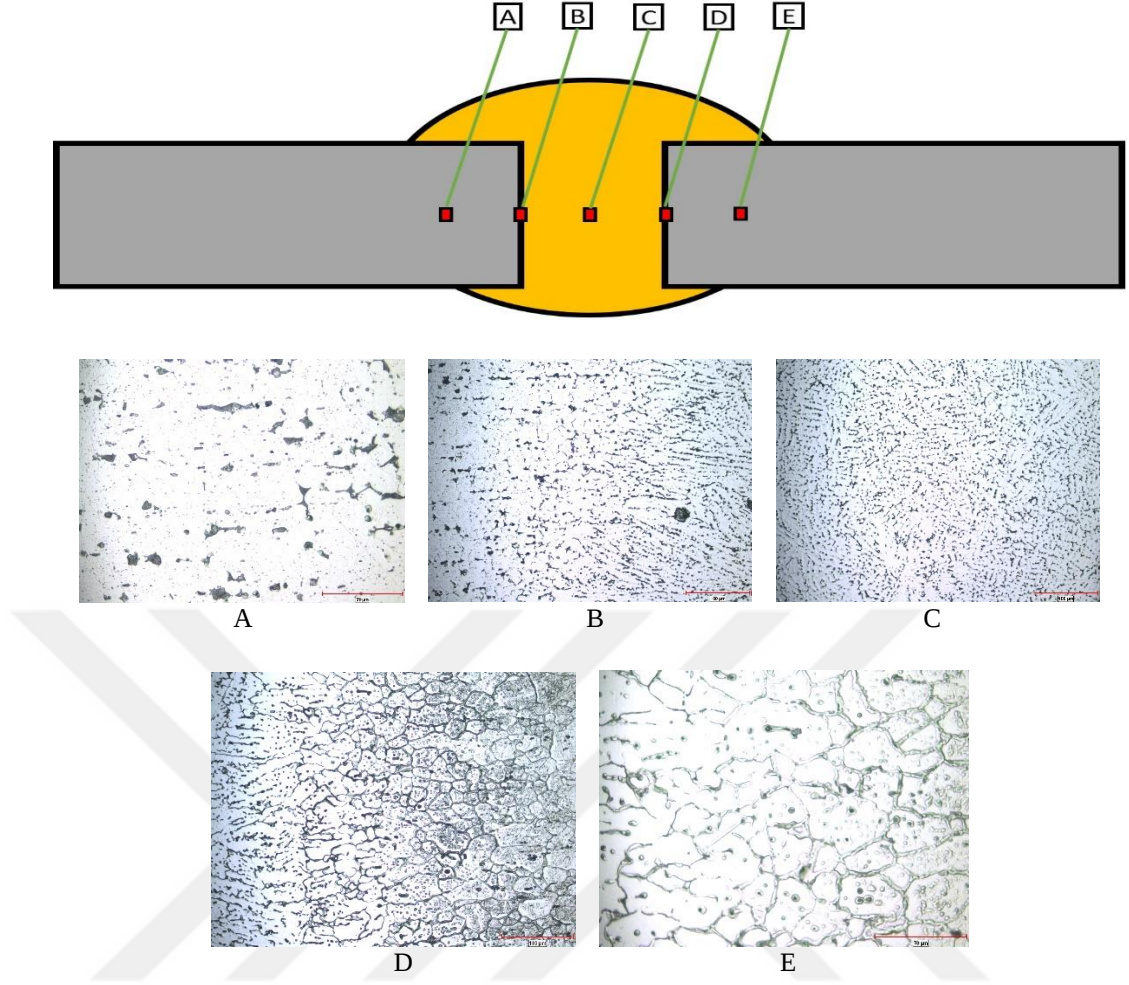


Şekil 5.105 : Farklı kaynak gaz debilerinde mikrosertlik değerleri.

5.3.3.4. Farklı gaz debilerinin bağlantının mikroyapısına etkisi

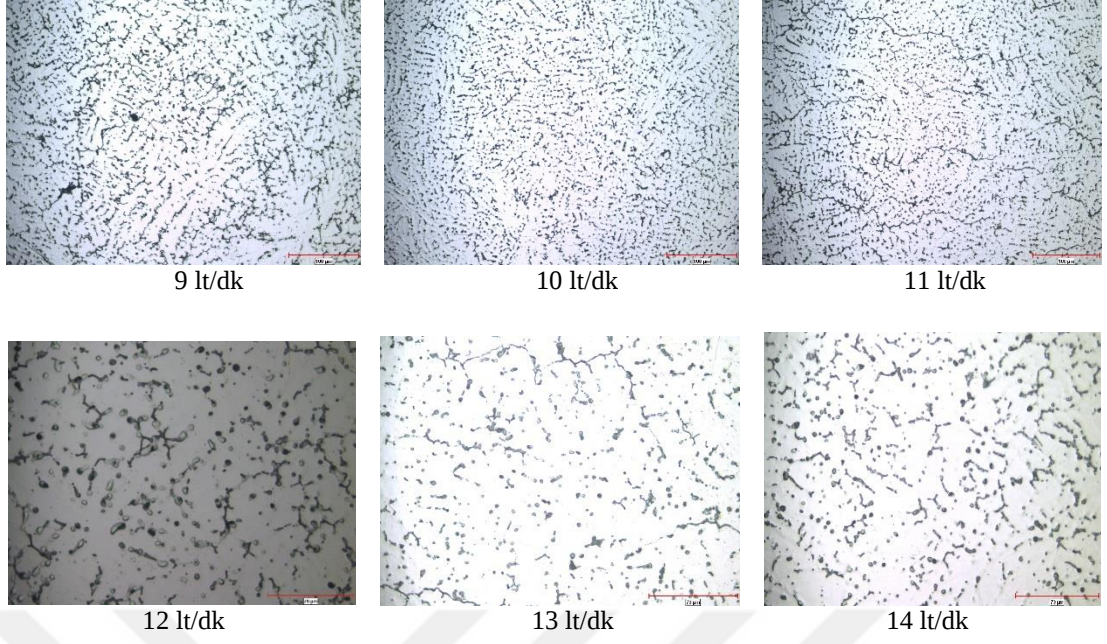
Şekil 5.106’da 10 lt/dk gaz debisi ile kaynak işlemi yapılan numunenin farklı bölgelerde oluşan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A ve E bölgeleri ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), B ve D bölgeleri ara bölge, (kaynak-ITAB), C bölgesi ise kaynak bölgesine ait görüntüleri vermektedir.

Mikroyapı görüntüleri de incelendiğinde CMT yönteminin gerçekleştirildiği bölgeye yakın bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye doğru yaklaştıkça tane boyutu küçülmüştür.



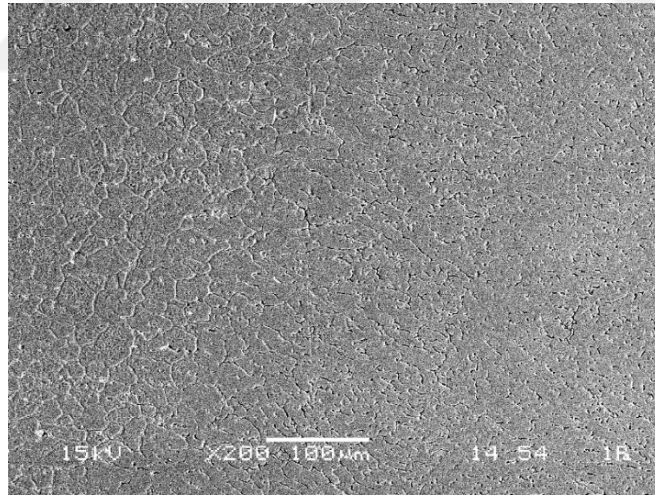
Şekil 5.106 : 10 lt/dk gaz debisiyle kaynak yapılan numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

Şekil 5.107’de farklı kaynak gaz debilerinde kaynak işlemi yapılan numunelerin kaynak bölgelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

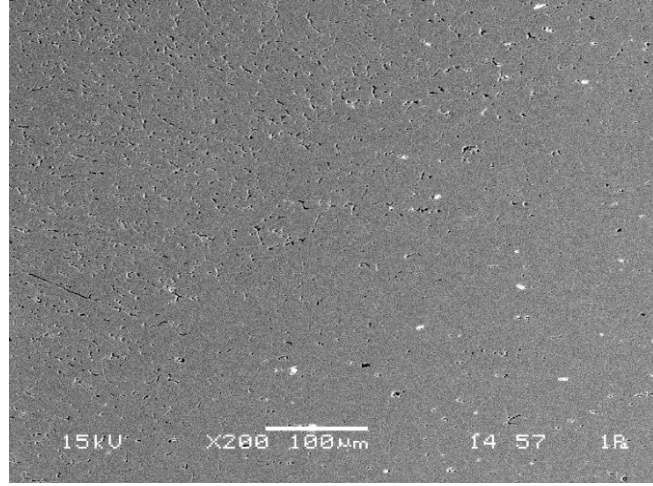


Şekil 5.107 : Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilmiş kaynak bölgeleri mikroyapı görüntüleri.

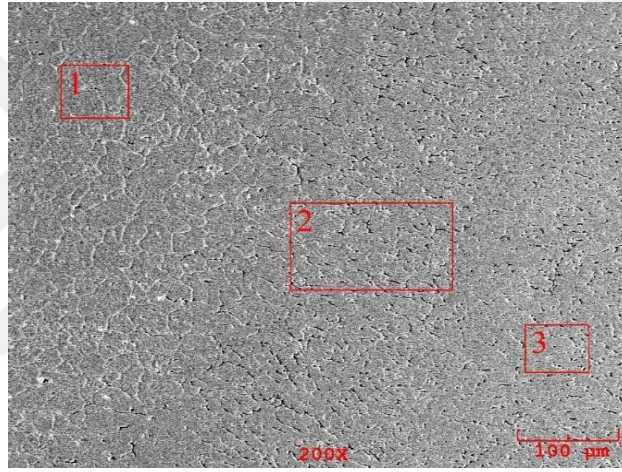
10 lt/dk gaz debisiyle kaynak yapılmış numunenin ara bölge SEM görüntüleri Şekil 5.108 ve Şekil 5.109’da verilmiştir. Ara bölgeden alınan bölgesel EDS inceleme sonuçları Şekil 5.110 ve Şekil 5.111’de verilmiştir.



Şekil 5.108 : 10 lt/dk koruyucu gaz debisi ile birleştirilmiş numunenin ara bölge (5754-Kaynak) SEM görüntüsü.

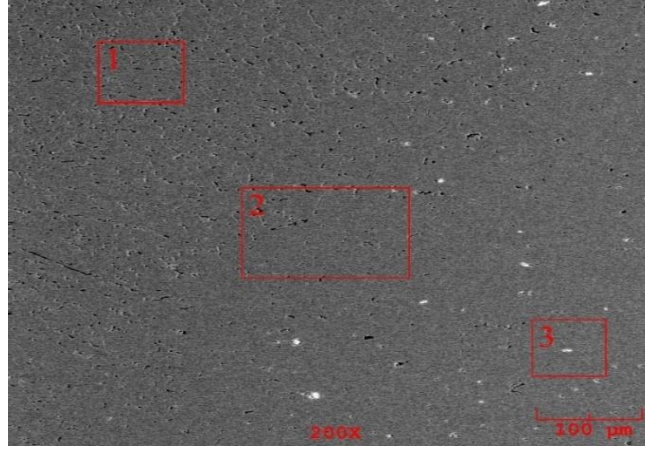


Şekil 5.109 : 10 lt/dk koruyucu gaz debisi ile birleştirilmiş numunenin ara bölge (Kaynak-6061) SEM görüntüsü.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	0,466	0,262	0,122	0,652	98,497
2	2,421	0,463	0,366	0,690	96,059
3	2,960	0,086	0,735	2,050	94,169

Şekil 5.110 : 10 lt/dk koruyucu gaz debisi ile birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	2,750	0,157	0,672	0,354	96,068
2	2,539	0,071	0,523	0,144	96,722
3	2,248	-	0,286	0,880	96,585

Şekil 5.111 : 10 lt/dk koruyucu gaz debisi ile birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.

5.3.4. Farklı torç açılarının bağlantının özelliklerine etkisi

5.3.4.1. Farklı torç açılarının bağlantının dayanımına etkisi

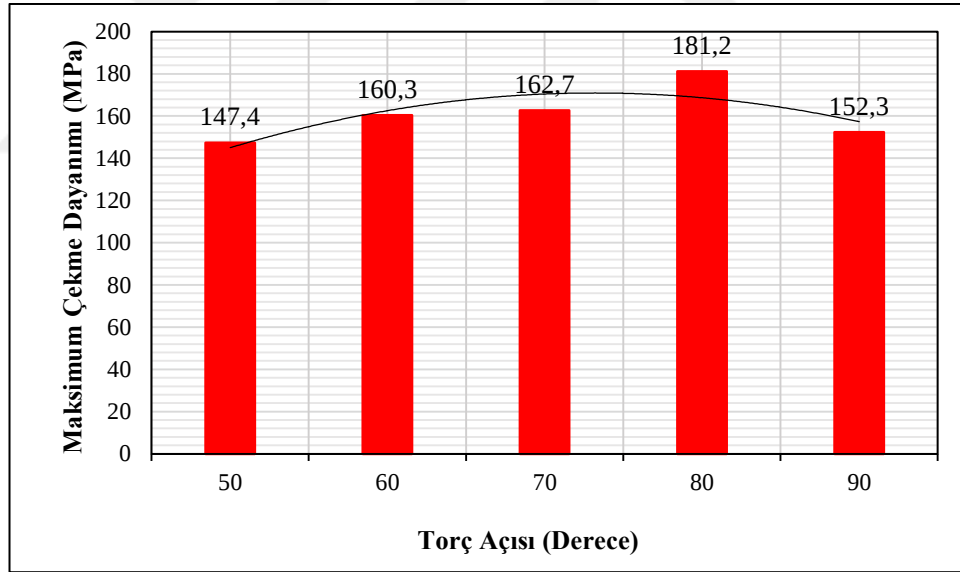
5754 ve 6061-T6 alüminyumun optimum akım şiddeti 80A ve kaynak gerilimi 12,5V, kaynak hızı 120 cm/dk ve gaz akım debisi 12 lt/dk olarak belirlenmiştir. 5754 ve 6061-T6 alüminyumun bu değerler sabitinde farklı torç açılarında mekanik değerlere etkisini ve optimum torç açısını belirlemek için farklı parametrelerde CMT kaynak uygulaması yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada kaynak esnasında torç açısında değişiklik olmaması için, CMT kaynak makinesinin torcunu sekatöre sabitlemek için sabitleyici aparatlar kullanılmıştır ve farklı torç açılarında kaynak işlemi yapılmıştır. Tablo 5.12’de alüminyum farklı torç açılarında kaynak parametreleri ve belirlenen çekme mukavemeti değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.12 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.

ALÜMİNYUM 5754 CMT ALIN BİRLEŞTİRME								
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi [V]	Gaz basıncı [lt/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Torç açısı [derece]	Max. Çekme Muk. [MPa]
80	5,2	12,5	12	Argon	120	0	50	147,4
80	5,2	12,5	12	Argon	120	0	60	160,3
80	5,2	12,5	12	Argon	120	0	70	161,1
80	5,2	12,5	12	Argon	120	0	80	181,2
80	5,2	12,5	12	Argon	120	0	90	152,3

Şekil 5.112’de farklı kaynak torç açılarında en yüksek çekme dayanımı değerleri verilmiştir.

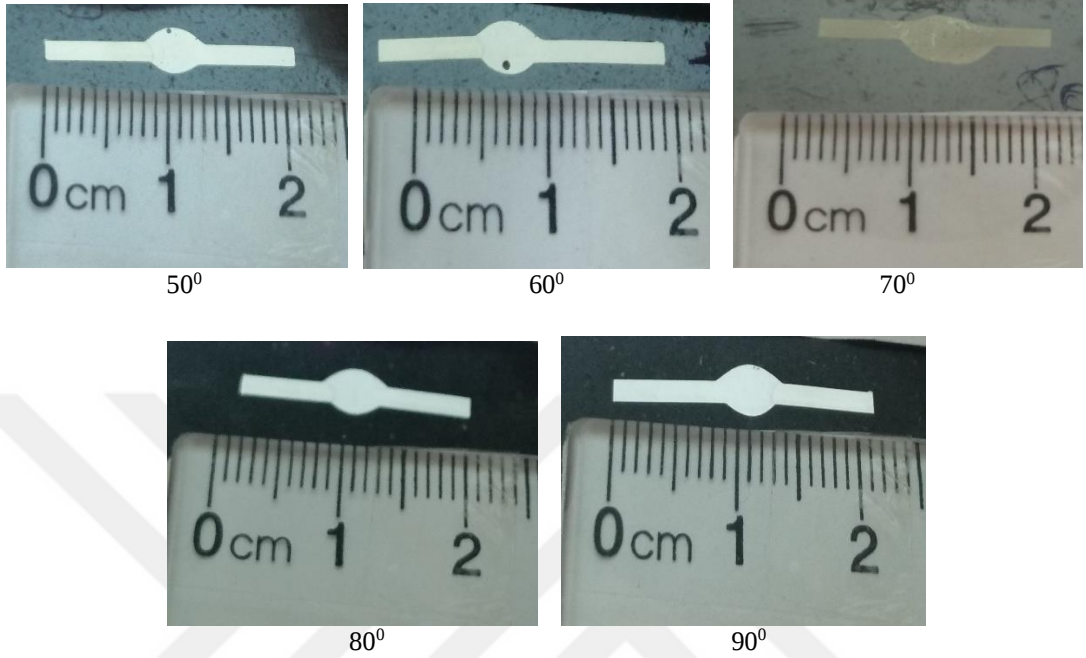


Şekil 5.112 : Farklı kaynak torç açılarında çekme mukavemeti grafiği.

Elde edilen çekme mukavemet değerleri incelendiğinde, kaynak torç açısı değeri 80°’de 181,2 MPa değeri ile maksimum çekme dayanımı olarak belirlenmiştir. En düşük çekme dayanımı değeri 50° torç açısında 147,4 MPa ile ölçülmüştür. Elde edilen çekme değeri 50° torç açısına göre çekme dayanımı değeri %18 azalmıştır. Elde edilen çekme mukavemet değerleri incelendiğinde en uygun kaynak torç açısı değerinin 80° olduğu belirlenmiştir.

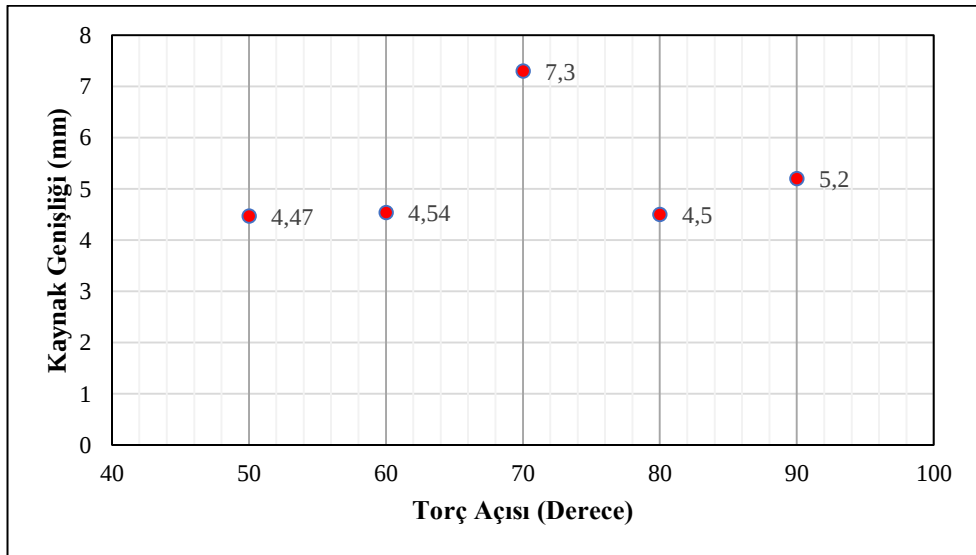
5.3.4.2. Farklı torç açılarının kaynak geometrisine etkisi

5754 ve 6061-T6 alüminyum alaşımı sacların farklı torç açlarına ait kaynak geometrilerinin makro görüntüleri Şekil 5.113’de verilmiştir.



Şekil 5.113 : Farklı kaynak torç açılarında makro görüntüleri.

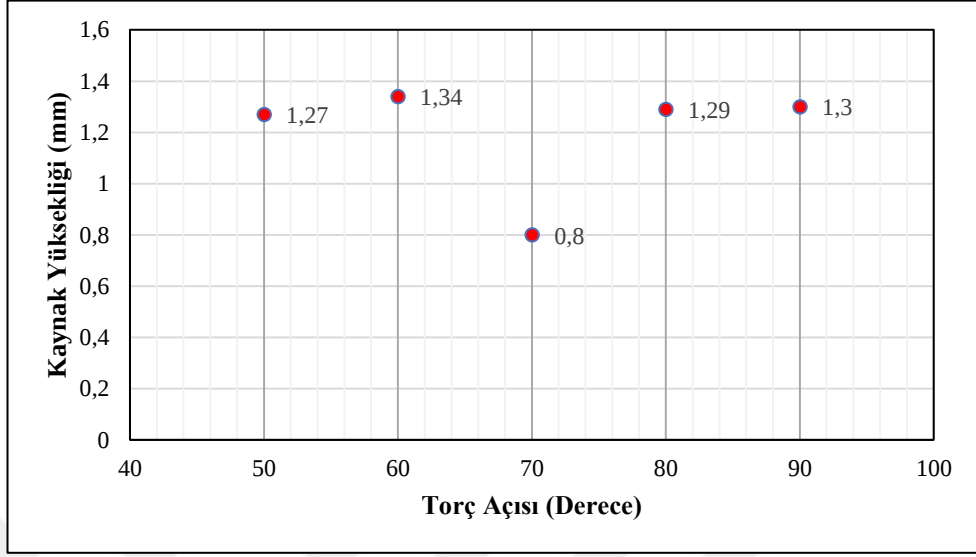
Makroyapı görüntüleri en yüksek çekme dayanımları ile birlikte değerlendirildiğinde 80° torç açısının en uygun değer olduğu görülmektedir.



Şekil 5.114 : Farklı kaynak torç açılarında kaynak genişliği grafiği.

Farklı torç açılarında ulaşılan numunelere ait kaynak genişliği grafiği Şekil 5.114’de ve kaynak yüksekliği grafiği Şekil 5.109’da verilmiştir. Kaynak kep genişliğinin 4,5-

7,5 mm arasında, kaynak kep yüksekliğinin ise 0,8-1,35 mm arasında olduğu tespit edilmiştir.

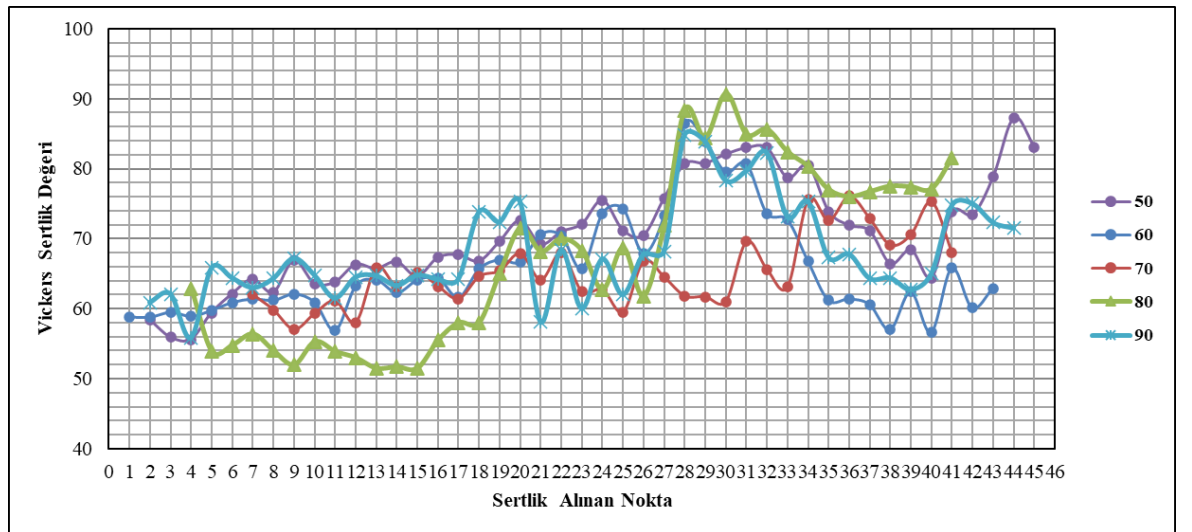


Şekil 5.115 : Farklı kaynak torç açılarındaki kaynak yüksekliği grafiği.

5.3.4.3. Farklı torç açılarının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı torç açılarıyla CMT-kaynak işlemi yapılmış numunelerin mikrosertlik ölçümlerine ait sonuçlar Şekil 5.116'da verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzemedir.

Şekil 5.110'daki grafik incelendiğinde 50°, 60°, 70°, 80° ve 90° torç açılarındaki ve bu torç açılarına bağlı mikrosertlik değerlerinde farklılıklar meydana gelmektedir.

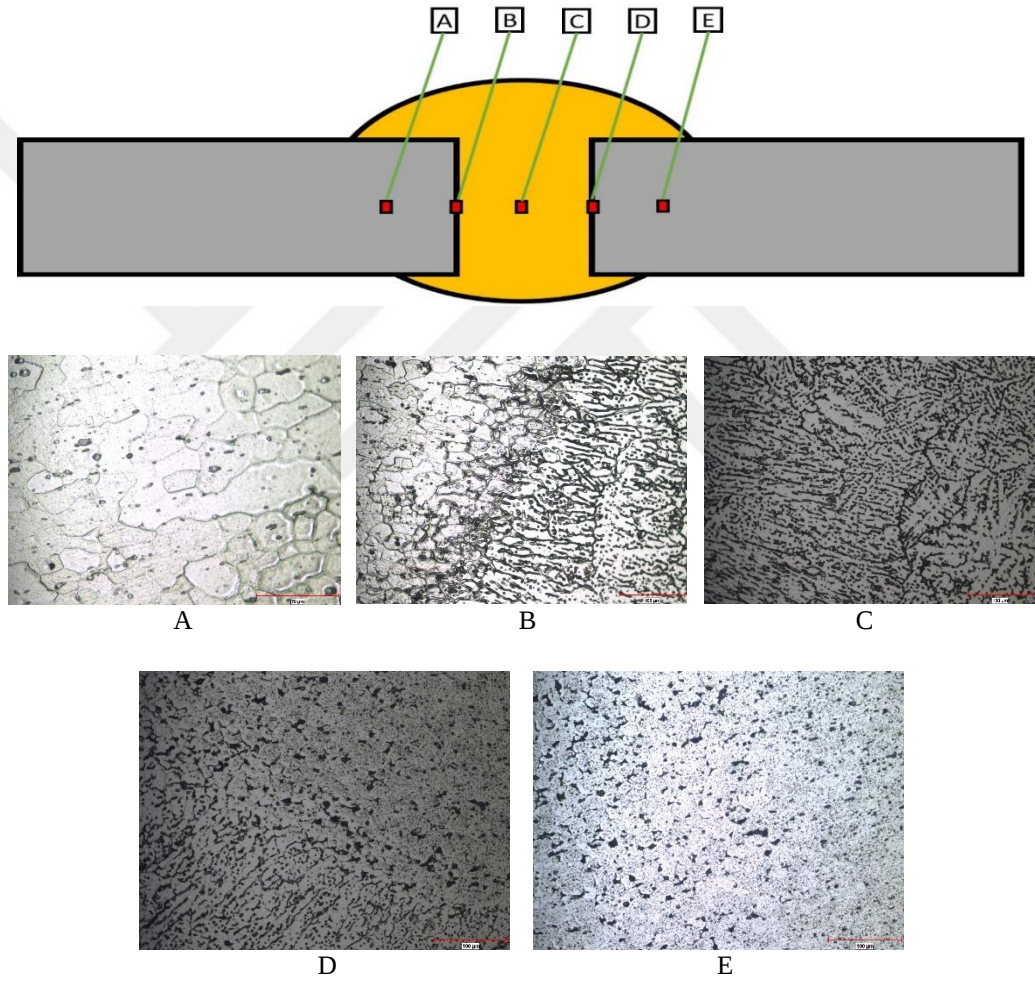


Şekil 5.116 : Farklı kaynak torç açılarındaki mikro sertlik noktaları.

5.3.4.4. Farklı torç açılarının bağlantının mikroyapısına etkisi

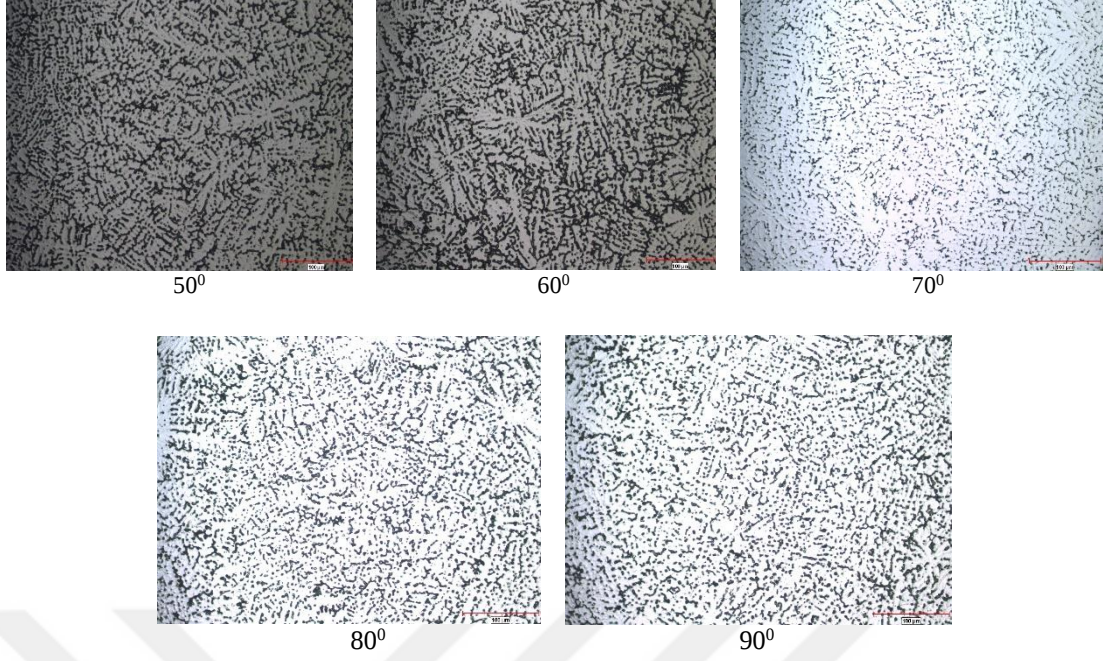
Şekil 5.117’de 50 derece torç açısı ile birleştirme işlemi sağlanan numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A ve E bölgeleri ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), B ve D bölgeleri ara bölge, (kaynak-ITAB), C bölgesi ise kaynak bölgesine ait görüntüleri vermektedir.

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde CMT yönteminin gerçekleştirildiği bölgeye yakın bölgelerinde taneler daha iri ve ana malzemeye yaklaştıkça tane boyutu küçülmüştür.



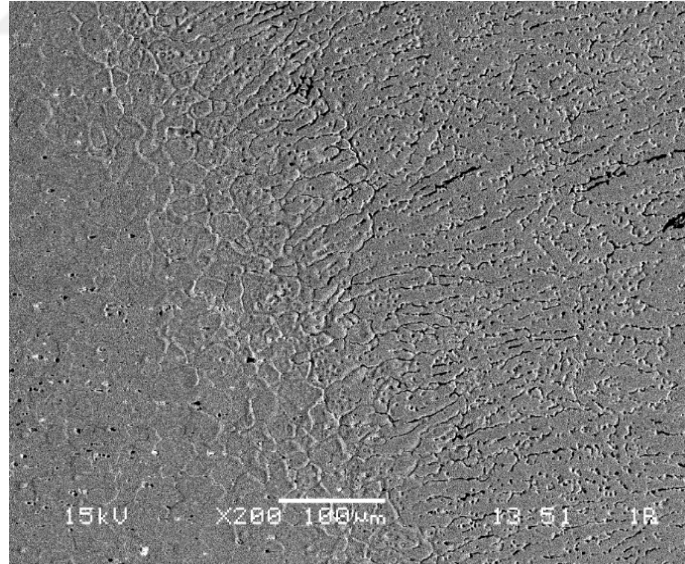
Şekil 5.117 : 50° torç açısına ait mikroyapı görüntüleri.

Farklı torç açılarında elde edilen numunelere ait kaynak bölgelerinin mikroyapı görüntüleri Şekil 5.118’de verilmiştir.

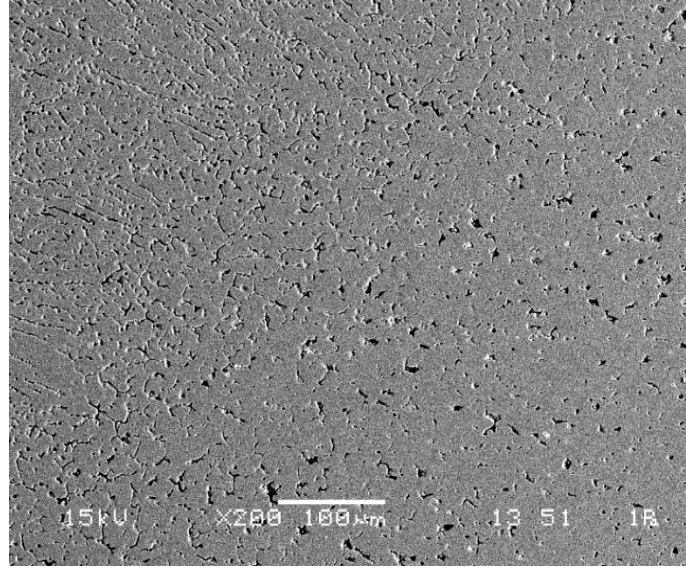


Şekil 5.118 : Farklı torç açılarında kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri.

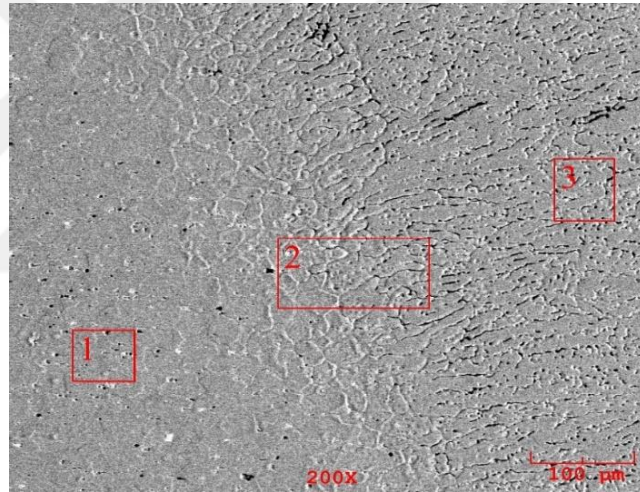
50° torç açısı ile birleştirilmiş numunenin ara bölge SEM görüntüleri Şekil 5.119 ve Şekil 5.120’de verilmiştir. Ara bölgeden alınan bölgesel EDS sonuçları Şekil 5.121 ve Şekil 5.122’de verilmiştir.



Şekil 5.119 : 50° torç açısı ile birleştirilmiş numunenin ara bölge (5754-Kaynak) SEM görüntüsü.

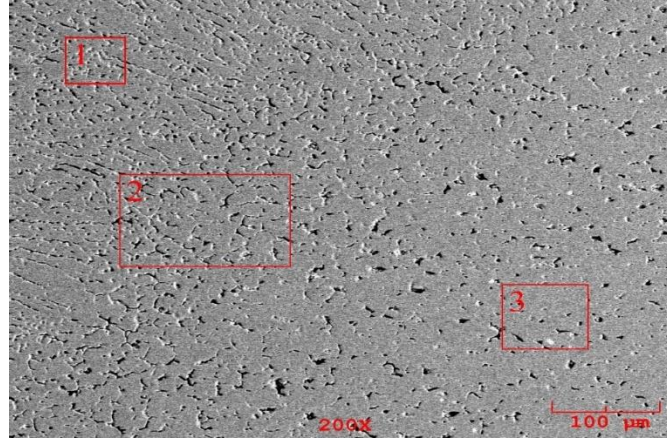


Şekil 5.120 : 50° torç açısı ile birleştirilmiş numunenin ara bölge (Kaynak-6061) SEM görüntüsü.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	0,645	0,234	0,477	3,773	94,871
2	1,146	0,392	0,210	1,664	96,588
3	2,408	0,037	1,256	2,141	94,158

Şekil 5.121 : 50° torç açısı ile birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.



Alınan Bölge	Element (Ağırlıkça %)				
	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	3,046	0,040	0,830	1,678	94,407
2	2,278	-	0,458	1,974	95,290
3	2,303	0,036	0,135	1,889	95,637

Şekil 5.122 : 50° torç açısı ile birleştirilmiş numunenin ara bölge EDS analizi.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada 1,5 mm et kalınlığa sahip 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımı sac lar CMT-kaynak yöntemi kullanılarak magnezyum esaslı AlMg4,5Mn teli ile birleştirilmiştir. Numuneler alın bağlantılar olarak hazırlanmıştır. 6061-T6 ve 6061-T6 sac lar kendi aralarında bir seri olarak, 5754 ve 5454 sac lar kendi aralarında bir seri olarak ve 6061-T6 ve 5754 sac lar kendi aralarında bir seri olarak birleştirilmiştir. CMT kaynak yöntemi ile birleştirmede AlMg4,5Mn teli ile alın birleştirme için her bir seride dört farklı parametrede, akım şiddeti, kaynak hızı, gaz debisi ve torc açısı olarak, toplamda 12 parametre şeklinde uygulanmış ve incelenmiştir. CMT kaynağı yapılmış malzemelerin mekanik özellikleri ve ana metal ile kaynak bölgesi arasındaki mikrosertlik dağılımları incelenmiştir. Makroyapı ve mikroyapı incelemelerinde optik mikroskop, (SEM) taramalı elektron mikroskobu ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanılmıştır. Bu çalışmada akım şiddeti, kaynak hızı, gaz debisi, torc açısı parametreleri ile 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımlarının kendi aralarındaki ve farklı alaşım türleri arasındaki geçiş bölgesindeki mikroyapı ve mikrosertliği üzerindeki dağılımları araştırılıp incelenmiştir. Çalışmalarda kullanılan 1,5 mm et kalınlığa sahip 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımlı sac lar ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan çıkarılan öneriler aşağıda sunulmuştur.

1. 6061-T6 alüminyum alaşımı sac ların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, 100 Amper akım şiddeti, 60 cm/dk kaynak ilerleme hızı, 13,3 V kaynak gerilimindeki alüminyum sac da delinme ve ergime görülmektedir. 50 Amper akım şiddetinde yetersiz ısı girdisinden dolayı kaynak metali malzemeyle birleşmemiştir. 60 Amper akım şiddetinde nüfuziyet sağlanmaya başlamış, 70 Amper akım şiddetinde maksimum çekme mukavemeti değerinde artış gözlenmiştir.

6061-T6 ve 6061-T6 alüminyum çiftinde 50 Amper kaynak metalinden, 60, 70, 80 ve 90 Amper akım şiddetlerinde ITAB bölgesine kopmuştur.

70 Amper akım şiddeti uygulanan bağlantıların kaynak kep genişliği 5,64 mm, kaynak yüksekliği 1 mm'dir. Bu değerler mukavemet sonuçlarıyla beraber incelendiğinde kaynak kepi genişliğinin 5,64 mm ve üstünde, kaynak yüksekliğinin 1 mm ve altında olması gerektiği düşünülebilir.

Farklı kaynak akım şiddetlerinde AlMg4,5Mn ilave metali ile yapılmış kaynağın sertlik değerleri incelendiğinde akım şiddetlerine bağlı farklılıklar olmuştur. ITAB bölgelerinde sertlik kaynak akım şiddeti ile beraber artmaktadır.

Farklı akım şiddetlerinde AlMg4,5Mn ilave metal ile kaynaklanan bölgenin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde 60 Amper akım şiddetinde sonra kaynak metali yapısı değişmektedir.

2. 6061-T6 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, farklı kaynak hızları maksimum çekme dayanım değerleri incelendiğinde, kaynak yapılmış numunelerin 40, 48 ve 60 cm/dk hızlarda ITAB'dan koptuğu, 80 ve 120 cm/dk hızlarda ise kaynak bölgesinden koptuğu belirlenmiştir.

Kaynak hızının artmasıyla birlikte ısı girdisinde azalma olmuştur, bu durumda ısı tesiri altındaki bölge daralmıştır. Buradaki değerlere bakıldığında kaynak hızı 60 cm/dk'da maksimum çekme mukavemeti değerine ulaşılmıştır.

Kaynak hızı arttıkça kaynak kep genişliğinin azaldığı görülmüştür. Kaynak kep genişliği başlangıçta 40 cm/dk kaynak hızında 9,21 mm iken, 120 cm/dk kaynak hızında 4,26 mm değerinde olmuştur. Kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azalmıştır ve kaynak genişliği azalmıştır. Bu durum aynı zaman kaynak kep yüksekliğinin azalmasını da sağlamaktadır.

3. 6061-T6 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, farklı kaynak gaz debisi en yüksek çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, malzemelerin ITAB'dan kopmuş oldukları görülmektedir. Kaynak gaz debisi 12 lt/dk'da en yüksek çekme mukavemeti değerlerine sahiptir.

6061-T6 alüminyum alaşımı sacların kaynak gaz debisine bağlı olarak kaynak kepinin en geniş olarak 12 lt/dk gaz debisinde ölçülmüştür. Kep genişliği 9 lt/dk gaz debisinde 4,95 iken 14 lt/dk 5,25 mm olmuştur. Kaynak gaz debisi kaynak genişliği grafiği

incelendiğinde ve mukavemet sonuçları incelendiğinde maksimum değerin 12 lt/dk gaz debisi 5,64 mm kaynak genişliğinde görülmüştür. Kaynak gaz debisi ve kaynak yüksekliği değerlendirildiğinde, kaynak gaz debisinin artması ile kaynak kep üstündeki basınç artmıştır.

4. 6061-T6 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, farklı kaynak torç açılarındaki en yüksek çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, kaynak torç açısı değeri 70°'de maksimum çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir.

50°, 60°, 70°, 80° ve 90° torç açısı uygulanan numunelerin makroyapı görüntülerinde kaynak torç açısı arttıkça kaynak kep genişliği önce azalıp daha sonra artmıştır. Kaynak genişliği 4,95-5,83 mm aralığındadır. Kaynak yüksekliği 0,78-1,35 mm aralığındadır.

5. 5754 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, 100 Amper akım şiddeti, 60 cm/dk kaynak ilerleme hızı, 13,3 V kaynak geriliminde alüminyum sacda delinme ve ergime görülmektedir. 50A akım şiddetinde yetersiz ısı girdisinden dolayı kaynak metal malzemeyle birleşmemiştir. 60A akım şiddetinde nüfuziyet sağlanmaya başlamış, 70A akım şiddetinde maksimum çekme mukavemeti değerinde artış gözlenmiştir.

5754 alüminyum çiftinde 50 ve 60 Amper kaynak metalinden, 70, 80 ve 90 Amper akım şiddetlerinde ITAB'dan kopmuştur.

60 Amper akım şiddeti uygulanan bağlantıların kaynak kep genişliği 7,05 mm, kaynak yüksekliği 2,6 mm'dir. Bu değerler mukavemet sonuçlarıyla beraber incelendiğinde kaynak kepi genişliğinin 7,05 mm ve üstünde, kaynak yüksekliğinin 2,6 mm ve altında olması gerektiği düşünülebilir.

Farklı kaynak akım şiddetlerinde AlMg4,5Mn ilave metal ile yapılmış kaynağın sertlik değerleri incelendiğinde akım şiddetlerine bağlı farklılıklar olmuştur. ITAB bölgelerinde sertlik kaynak akım şiddeti ile beraber artmaktadır.

6. 5754 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, farklı kaynak hızları maksimum çekme dayanım değerleri incelendiğinde, kaynak yapılmış numunelerin 35, 40 ve 48 cm/dk hızlarda ITAB'dan koptuğu, 60, 80 ve 120 cm/dk hızlarda ise kaynak bölgesinden koptuğu belirlenmiştir.

Kaynak hızının artması ısı girdisinin azalmasına neden olmuştur, bu durumda ısı tesiri altındaki bölge daralmıştır. Buradaki değerlere bakıldığında kaynak hızı 40 cm/dk'da maksimum çekme mukavemeti değerine ulaşılmıştır.

Kaynak hızı arttıkça kaynak kep genişliğinin azaldığı görülmüştür. Kaynak kep genişliği başlangıçta 35 cm/dk kaynak hızında 8,59 mm iken, 120 cm/dk kaynak hızında 3,19 mm değerinde olmuştur. Kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azalmıştır ve kaynak genişliği azalmıştır. Bu durum aynı zaman kaynak kep yüksekliğinin azalmasını da sağlamaktadır.

7. 5754 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, farklı kaynak gaz debisi en yüksek çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, malzemelerin ITAB'dan kopmuş oldukları görülmektedir. Kaynak gaz debisi 12 lt/dk'da en yüksek çekme mukavemeti değerlerine sahiptir.

5754 ve 5754 alüminyum alaşımlı sacların kaynak gaz debisine bağlı olarak kaynak kepinin en geniş olarak 12 lt/dk gaz debisinde ölçülmüştür. Kep genişliği 9 lt/dk gaz debisinde 6,25 iken 14 lt/dk 6,85 mm olmuştur. Kaynak gaz debisi kaynak genişliği grafiği incelendiğinde ve mukavemet sonuçları incelendiğinde maksimum değer 12 lt/dk gaz debisi 7,05 mm kaynak genişliğinde görülmüştür. Kaynak gaz debisi ve kaynak yüksekliği değerlendirildiğinde, kaynak gaz debisinin artması ile kaynak kep üstündeki basınç artmıştır.

8. 5754 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, farklı kaynak torç açıları en yüksek çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, kaynak torç açısı 70° de maksimum çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir.

50°, 60°, 70°, 80° ve 90° torç açısı uygulanan numunelerin makroyapı görüntülerinde kaynak torç açısı arttıkça kaynak kep genişliği önce azalıp daha sonra artmıştır. Kaynak genişliği 6,11-7,06 mm aralığındadır. Kaynak yüksekliği 1,12-2,6 mm aralığındadır.

9. 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, 50A kaynak metalinden, 60, 70, 80 ve 90A akım şiddetlerinde ITAB'dan kopmuştur.

80 Amper akım şiddeti uygulanan bağlantıların kaynak kep genişliği 7,3 mm, kaynak yüksekliği 0,8 mm'dir. Bu değerler mukavemet sonuçlarıyla beraber incelendiğinde

kaynak kepi genişliğinin 7,3 mm ve üstünde, kaynak yüksekliğinin 0,8 mm ve altında olması gerektiği düşünülebilir.

Farklı kaynak akım şiddetlerinde AlMg4,5Mn ilave metali ile yapılmış kaynağın sertlik değerleri incelendiğinde akım şiddetlerine bağlı farklılıklar olmuştur. ITAB bölgelerinde sertlik kaynak akım şiddeti ile beraber artmaktadır.

10. 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, farklı kaynak hızları maksimum çekme dayanım değerleri incelendiğinde, kaynak yapılmış tüm numunelerin ITAB'dan koptuğu belirlenmiştir.

Kaynak hızının artması ısı girdisinin azalmasına neden olmuştur, bu durumda ısı tesiri altındaki bölge daralmıştır. Buradaki değerlere bakıldığında kaynak hızı 120 cm/dk'da maksimum çekme mukavemeti değerine ulaşılmıştır.

Kaynak hızı arttıkça kaynak kepi genişliğinin azaldığı görülmüştür. Kaynak kepi genişliği başlangıçta 40 cm/dk kaynak hızında 11,81 mm iken, 120 cm/dk kaynak hızında 5,04 mm değerinde olmuştur. Kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azalmıştır ve kaynak genişliği azalmıştır. Bu durum aynı zaman kaynak kepi yüksekliğinin azalmasını da sağlamaktadır.

11. 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, farklı kaynak gaz debisi en yüksek çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, malzemelerin ITAB'dan kopmuş oldukları görülmektedir. Kaynak gaz debisi 12 lt/dk'da en yüksek çekme mukavemeti değerlerine sahiptir.

6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımli sacların kaynak gaz debisine bağlı olarak kaynak kepinin en geniş olarak 12 lt/dk gaz debisinde ölçülmüştür. Kapi genişliği 9 lt/dk gaz debisinde 1,28 iken 14 lt/dk 1,34 mm olmuştur. Kaynak gaz debisi kaynak genişliği grafiğı incelendiğinde ve mukavemet sonuçları incelendiğinde maksimum değerin 12 lt/dk gaz debisi 7,3 mm kaynak genişliğinde görülmüştür. Kaynak gaz debisi ve kaynak yüksekliği değerlendirildiğinde, kaynak gaz debisinin artması ile kaynak kepi üstündeki basınç artmıştır.

12. 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımı sacların CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, farklı kaynak torç açılarında en yüksek çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde,

kaynak torç açısı değeri 80° de maksimum çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir.

50°, 60°, 70°, 80° ve 90° torç açısı uygulanan numunelerin makroyapı görüntülerinde kaynak torç açısı arttıkça kaynak kep genişliği önce artıp daha sonra azalmıştır. Kaynak genişliği 4,47-7,3 mm aralığındadır. Kaynak yüksekliği 0,8-1,34 mm aralığındadır.

6.2. Öneriler

1. 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımlı sacların CMT kaynağı ile bundan sonraki yapılacak çalışmalarda, soğuma zamanları, sıcaklık dağılımları ve gerilim etkileri incelenebilir.
2. 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımlı sacların CMT kaynağında korozyon, darbe, yorulma ve eğme davranışları incelenebilir.
3. 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımlı sacların CMT kaynağında kaynak aralıkları incelenebilir.
4. 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımlı sacların CMT kaynağında farklı ilave metaller ile gaz debileri, torç açıları incelenebilir.
5. 6061-T6 ve 5754 alüminyum alaşımlı sacların CMT kaynağında farklı koruyucu gaz karışımları ile ilgili çalışmaların yapılması düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Taban, E. (2004). *5XXX serisi alüminyum alaşımlarının TIG, MIG ve Sürtünen eleman ile birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [2] Davis, J. R. (1993). *Aluminum and Aluminum Alloys (ASM Specialty Handbook)*, (1st ed., pp.13-59) ASM International,. ISBN: 0-87170496-X
- [3] Askeland D. R. (2002). *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, (Cilt 1, sayfa 265-269), Nobel Yayın Dağıtım. ISBN: 9789755910406
- [4] Yang, S., Zhang, J., Lian, J., Lei, Y. (2013). Welding of aluminum alloy to zinc coated steel by cold metal transfer, *Material and Design*, 49, 602-612. doi: 10.1016/j.matdes.2013.01.045
- [5] Avettand-Fenoel, M.-N., Racineux, G., Debeugny L., Taillard R. (2016). Microstructural characterization and mechanical performance of an AA2024 aluminium alloy-pure copper joint obtained by linear friction welding, *Materials and Design*, 98, 305-318. doi: 10.1016/j.matdes.2016.03.029
- [6] Cao, R., Wen, B. F., Chen, J. H., Wang, P.-C. (2013). Cold Metal Transfer joining of magnesium AZ31B-to-aluminum A6061-T6. *Materials Science & Engineering: A*, 560, 256-266. doi: 10.1016/j.msea.2012.09.065
- [7] Callister, W. D., Retwisch, D. G. (2013). *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, Ankara: Nobel Akademi Yayıncılık. ISBN: 978-605-133-418-9
- [8] Onaran, K. (1993). *Malzeme Bilimi* (1.basım, sayfa 320-321) İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi, ISBN: 9789755400174
- [9] Yılmaz, M. (2015). Alüminyum Sektör Değerlendirmesi. *ALUS07 7. Alüminyum Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye: TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 7-8 Ekim 2015.
- [10] Totten G. E., Mackenzie S. (2003). *Handbook of Aluminum Volume 1: Physical Metallurgy and Processes*, (1st ed.), New York: Marcel Dekker, Inc. ISBN: 0824704940
- [11] Cobden R., Banbury A. (1994). *Aluminium: Physical Properties, Characteristics And Alloys*, TALAT Lecture 1501, 1-60, European Aluminium Association.
- [12] Url-1 <http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID51778B3C4B522B10/fronius_uk/40_0006_2418_TR_v01_2009_CMT_109526_snapshot.pdf>, erişim tarihi 30.02.2022.
- [13] Mathers G. (2002). *The Welding of Aluminium and Its Alloys*, New York: Woodhead Publishing Limited. ISBN: 9781855737631

- [14] Ünel E. (2016). *CMT-MIG Kaynaklı Alüminyum ve Çelik Bağlantılarının Özellikleri ve Optimizasyon*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [15] Kaufman J. G. (2000). *Introduction To Aluminum Alloys And Tempers*, Ohio: ASM International. ISBN: 9780871706898
- [16] Güngör B., Kaluç E., Taban E., Şık A. (2014). Mechanical and Microstructural Properties of Robotic Cold Metal Transfer (CMT) Welded 5083-H111 and 6082-T651 Aluminum Alloys, *Materials And Design*, 54, 207-211. doi: 10.1016/j.matdes.2013.08.018
- [17] Anık, S., Anık E. S., Vural M. (1993). *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı* Cilt 1, (sayfa 395-396), İstanbul: Birsan Yayınevi. ISBN: 9755110941
- [18] Url-2 <http://www.oerlikon.com.tr/files/demir_disi_metallerin_kaynagina_giris.pdf>, erişim tarihi 27.03.2017.
- [19] Mondolfo, L. F. (1943). *Metallography of Aluminum Alloys*, New York: John Wiley & Sons Inc.
- [20] Sheppard, T. (1999). *Extrusion of Aluminium Alloys*. Dordrecht: Springer Science+Business Media. ISBN: 9781475730012
- [21] Brady, G. S., Clauser, H. H. (1986). *Materials Handbook*, (12th ed., pp.42-49), Singapore: McGraw-Hill Book co. ISBN: 0070070717
- [22] Oğuz, B. (1990). *Demirdışı Metaller Kaynağı "Metalurji - Uygulama"*, İstanbul: Oerlikon yayınları.
- [23] Sun, Y. F., Fujii, H., Tsuji, N. (2013). Microstructure and mechanical properties of spot friction stir welded ultrafine grained 1050 Al and conventional grained 6061-T6 Al alloys, *Materials Science & Engineering: A*, 585, 17-24. doi: 0.1016/j.msea.2013.07.030
- [24] Aslanlar, S. (2022), *Ders notları*, Sakarya Üniversitesi.
- [25] Kahraman, N., Gülenç, B. (2020). *Modern Kaynak Teknolojisi (Genişletilmiş 4. baskı, pp.1-323)*, Ankara: Epa-Mat Basın Yayın Ltd. Şti. ISBN: 9786058918931
- [26] Güngör, B. (2013). *AW5083-H111 ve Aw6082T-651 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma (FSW) ve robotik CMT-MIG kaynak yöntemleri ile kaynağında mekanik ve metalürjik özelliklerinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [27] Feng J., Zhang, H., He, P. (2009). The CMT short-circuiting metal transfer process and its use in thin aluminium sheets welding, *Materials and Design*, 30, 1850-1852. doi: 10.1016/j.matdes.2008.07.015
- [28] İrizalp, A. O. (2013). *Kaynakla birleştirilmiş alüminyum alaşımı sacların mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

- [29] Uzun, H. (2002). *Sert Lehimleme Teknikleri*. Sakarya: Değişim Yayınları. ISBN: 9758289365
- [30] Pcikin, C. G., Williams, S. W., Lunt, M. (2011). Characterisation of the cold metal transfer (CMT) process and its application for low dilution cladding, *Journal of Materials Processing Technology*, 211(3), 496-502. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2010.11.005
- [31] Liang, Y., Hu, S., Shen, J., Zhang, H., Wang, P., (2017). Geometrical and microstructural characteristics of the TIG-CMT hybrid welding in 6061 aluminum alloy cladding, *Journal of Materials Processing Technology*, 239, 18-30. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2016.08.005
- [32] Url-3 <http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SIDB3CCE53B-E1561288/fronius_istanbul/hs.xsl/35_9922.htm#.WPjA5mclHIV>, erişim tarihi 30.02.2022.
- [33] Url-4 <www3.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-51778B3C4B522B10/fronius_uk/40_0006_2418_TR_v01_2009_CMT_109526_snapshot.pdf>, erişim tarihi 30.02.2022.
- [34] Taban E., Kaluç E. (2007). Comparison between microstructural characteristics and joint performance of 5086-H32 aluminium alloy welded by MIG, TIG and friction stir welding processes, *Kovove Mater.*, 45(5), 241-248.
- [35] Url-5 <www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-03792BE3CE174961/fronius_uk/TR_leaflet_CMT_113_www_109526_snapshot.pdf>, erişim tarihi 30.02.2022.