

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

**6XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SOĞUK
METAL TRANSFERİ İLE
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şafak IŞIK

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

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ

Nisan 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**6XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SOĞUK
METAL TRANSFERİ İLE
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

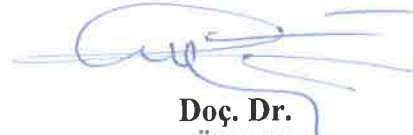
Şafak IŞIK

Enstitü Anabilim Dalı

**: METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 18/05/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


**Prof. Dr.
Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı**


**Doç. Dr.
Uğur ÖZSARAÇ
Üye**


**Doç. Dr.
Emel TABAN
Üye**

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.

Şafak IŞIK

19.04.2017

TEŞEKKÜR

250-300 MPa mukavemete sahip olan Alüminyum dövme alaşımı olarak adlandırılan 6082 serisi alüminyum otomotiv, marine, havacılık ve inşaat sanayilerinde kullanılmakta olup hafiflik, iyi şekillendirilebilirlik, mukavemet ve iyi korozyon dayanımına sahip olacak şekilde kullanılmaktadır. Alüminyum üstündeki oksit tabakasını eritmek için verilen yüksek sıcaklıktan dolayı, faz dönüşümü yaşlanma ve tane büyümesi gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. CMT yöntemiyle düşük ısı girdisi sayesinde yaşlanma etkisini azaltmasını sağlar. CMT bu etki ve yaşlanma etkisi azalmasıyla tane büyümesinide engellemiş olmaktadır.

Çeşitli sektörlerde kullanılmakta olan Alüminyum 6082 serisi levhaya CMT çalışmasının uygulanması ve bu çalışmaların sonuçlandırılmasında başta tez danışmanım Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ' a, Prof. Dr. Salim Aslanlar' a, Yrd. Doç. Dr. Faruk VAROL' a, Arş. Gör. Fatih KURTULMUŞ' a, çalışma arkadaşlarım Erman FERİK' e, Cengiz ÖZDEMİR' e, ERMETAL firmasından Serdar AKTAŞ, Rahmi ŞAHİNBAŞ beye, TMMOB odasından Metalurji ve Malzeme Mühendisi Erman CAR beye ve Fronius firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezi sadece çalışmalarım boyunca değil, tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi koruyuculuğumu üstlenmiş olup desteklerini esirgememiş olan babam Turan IŞIK' a, annem Filiz IŞIK' a ve kardeşim Şeyda IŞIK' a ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ENDÜSTRİDE ALÜMİNYUM.....	4
2.1. Alüminyum Üretimi ve Genel Özellikleri.....	4
2.2. Dünyada Alüminyum.....	4
2.3. Türkiyede Alüminyum.....	5
2.4. Alüminyum Alaşımları.....	6
2.4.1. Alüminyum dövme alaşımları.....	6
2.4.2. Alüminyum döküm alaşımları.....	7
BÖLÜM 3.	
LEHİMLEME.....	8
3.1. Lehimleme.....	8
3.2. Yumuşak Lehimleme.....	9
3.3. Sert Lehimleme.....	9
3.4. MIG Lehimleme.....	10

BÖLÜM 4.

ALÜMİNYUM KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	11
4.1. Kaynak.....	11
4.1.1. Ergitme kaynak yöntemleri.....	12
4.1.2. Katı hal kaynak yöntemleri.....	13

BÖLÜM 5.

COLD METAL TRANSFER.....	14
5.1. CMT Tanımı ve Özellikleri.....	14
5.2. CMT Yönteminin Diğer Kaynak Yöntemlerine Göre Sağladığı Üstünlükler.....	17
5.2.1. Digital proses regülasyonu.....	17
5.2.2. Düşük ısı girdisi.....	18
5.2.3. Çapaksız kaynak.....	18
5.2.4. Kararlı ark.....	18
5.2.5. Entegre tel hareketi.....	19
5.3. CMT Yönteminin Alüminyum Kaynağındaki Avantajları.....	19
5.4. CMT Yönteminin Türleri.....	21
5.4.1. CMT pulse.....	21
5.4.2. CMT advanced.....	22
5.4.3. CMT advanced plus.....	22

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
6.1. Genel.....	23
6.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz.....	24
6.3. Uygulanan CMT İşlemleri.....	24
6.3.1. Numune hazırlama.....	25
6.3.2. CMT işlemi.....	26
6.4. Sertlik Ölçümleri ve Isı Girdileri.....	26
6.5. Mikroyapı.....	27
6.5.1. Optik mikroskop mikroyapı incelemeleri.....	27
6.5.2. Makroyapı.....	28

6.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	29
6.6. Çekme Deneyi.....	29
BÖLÜM 7.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	31
7.1. 6082 Alüminyum Levhanın AlMg5 İlave Metali Kullanılarak CMT	
Kaynak Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri.....	31
7.1.1. Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine	
etkisi.....	31
7.1.1.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının mekanik	
özelliklerine etkisi.....	31
7.1.1.2. Kaynak hızının bağlantının mekanik özelliklerine	
etkisi.....	32
7.1.1.3. Kaynak gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine	
etkisi.....	34
7.1.1.4. Kaynak torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine	
etkisi.....	35
7.1.2. Kaynak parametrelerinin kaynak geometrisine etkisi.....	37
7.1.2.1. Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisi...	37
7.1.2.2. Kaynak hızının kaynak geometrisine etkisi.....	40
7.1.2.3. Kaynak gaz debisinin kaynak geometrisine etkisi.....	43
7.1.2.4. Kaynak torç açılarının kaynak geometrisine etkisi.....	47
7.1.3. Kaynak parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	50
7.1.3.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi...	50
7.1.3.2. Kaynak hızının bağlantının sertliğine etkisi.....	52
7.1.3.3. Kaynak gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi.....	53
7.1.3.4. Kaynak torç açısının bağlantının sertliğine etkisi.....	55
7.1.4. Kaynak parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı	
özelliklerine etkisi.....	56
7.1.4.1. Kaynak akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı	
özelliklerine etkisi.....	56
7.1.4.2. Kaynak hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine	
etkisi.....	59

7.1.4.3. Kaynak gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	63
7.1.4.4. Kaynak torç açısının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	67
7.2. 6082 Alüminyum Levhanın AlSi5 İlave Metali Kullanılarak CMT Kaynak Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri.....	71
7.2.1. Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	71
7.2.1.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi.....	71
7.2.1.2. Kaynak hızının bağlantının mekanik değerleri üzerine etkisi.....	72
7.2.2. Kaynak parametrelerinin kaynak geometrisine etkisi.....	73
7.2.2.1. Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisi....	73
7.2.2.2. Kaynak hızının kaynak geometrisine etkisi.....	76
7.2.3. Kaynak parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi.....	79
7.2.3.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi....	79
7.2.3.2. Kaynak hızının bağlantının sertliğine etkisi.....	80
7.2.4. Kaynak parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	81
7.2.4.1. Kaynak akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	81
7.2.4.2. Kaynak hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi.....	84
BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	88
8.1. Sonuçlar.....	88
8.2. Öneriler.....	96
KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	101

SİMGELER VE KISALTMALAR

$^{\circ}$	: Derece
α	: Alfa
A	: Amper
L	: Litre
V	: Volt
I	: Akım şiddeti
kJ	: Kilojoule
σ	: Gerilme
σ_{φ}	: 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	: Si
HI	: Heat input
Hv	: Hardness Vickers
MIG	: Metal Inert Gaz
TIG	: Tungsten Inert 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 altında kalan bölge



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Dünyada alüminyum üretimi ve ticareti.....	5
Şekil 5.1. CMT çevriminin gerçek zamanlı hızlı fotoğraflanmış görüntüsü.....	15
Şekil 5.2. Kısa devre metal transferinin akım-voltaj değerine bağlı olarak şematik gösterimi.....	16
Şekil 5.3. CMT yönteminin aşamaları.....	16
Şekil 5.4. Robotik uygulamada CMT sistem konfigürasyonu.....	17
Şekil 5.5. MIG kısa devre ark yöntemi (a) ve CMT yöntemi (b) ile oluşan çapak miktarının kıyaslanması.....	18
Şekil 5.6. 0,3 mm Alüminyum levhanın kaynağı.....	19
Şekil 5.7. Isı girdisi ve kaynak hızlarının mukayesesi.....	20
Şekil 5.8. 2 mm kalınlığındaki levhanın bindirme kaynağında boşluk doldurma kabiliyeti.....	21
Şekil 5.9. CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon.....	21
Şekil 5.10. Negatif CMT ve pozitif CMT'nin kombinasyonu.....	22
Şekil 5.11. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon.....	22
Şekil 6.1. 6082 Alüminyum levhanın numune ebatları.....	26
Şekil 6.2. Alın birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar.....	27
Şekil 6.3. Denklem 1.1 Lineer ısı girdisi, Denklem 1.2 Normalize ısı girdisi.....	27
Şekil 6.4. Mikroyapı inceleme noktaları.....	28
Şekil 6.5. Alın altına birleştirme numunelerinden ölçüm alınan noktalar.....	29
Şekil 6.6. Çekme deneyi numune boyutları.....	30
Şekil 7.1. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	32
Şekil 7.2. Farklı kaynak hızlarında çekme mukavemeti grafiği.....	33
Şekil 7.3. Farklı gaz debilerinde maksimum çekme mukavemetleri grafiği.....	35
Şekil 7.4. Farklı kaynak torç açılarında çekme mukavemeti grafiği.....	36
Şekil 7.5. Farklı akım şiddetlerindeki geometriler.....	37

Şekil 7.6. Farklı akım şiddetlerinde kaynak ısılatma açısı grafiği.....	38
Şekil 7.7. Farklı akım şiddetlerinde kaynak genişliği grafiği.....	39
Şekil 7.8. Farklı akım şiddetlerinde kaynak yüksekliği grafiği.....	40
Şekil 7.9. Farklı kaynak hızlarında makro görüntüleri.....	41
Şekil 7.10. Farklı kaynak hızlarında ısılatma açısı grafiği.....	41
Şekil 7.11. Farklı kaynak hızlarında kaynak genişliği grafiği.....	42
Şekil 7.12. Farklı kaynak hızlarında kaynak yüksekliği grafiği.....	43
Şekil 7.13. Farklı kaynak gaz debilerinde makro görüntüleri.....	44
Şekil 7.14. Farklı gaz debilerinde ısılatma açısı grafiği.....	45
Şekil 7.15. Farklı gaz debilerin kaynak kep genişliği grafiği.....	46
Şekil 7.16. Farklı gaz debilerinde kaynak kep yüksekliği.....	46
Şekil 7.17. Farklı kaynak torç açılarında makro görüntüleri.....	47
Şekil 7.18. Farklı kaynak torç açılarında ısılatma açısı grafiği.....	48
Şekil 7.19. Farklı kaynak torç açılarında kaynak genişliği.....	49
Şekil 7.20. Farklı torç açılarında kaynak yüksekliği grafiği.....	49
Şekil 7.21. 65A, 70A, 75A, 80A, 85A kaynak akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.....	51
Şekil 7.22. 90A, 95A, 100A, 105A kaynak akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları.....	51
Şekil 7.23. 20sn, 25sn, 30sn kaynak hızlarında mikrosertlik noktaları.....	52
Şekil 7.24. 35sn, 40sn, 45sn kaynak hızlarında mikrosertlik noktaları.....	53
Şekil 7.25. 9 Lt/dk, 10 Lt/dk, 11Lt/dk gaz debilerinde mikrosertlik noktası....	54
Şekil 7.26. 12 Lt/dk, 13 Lt/dk, 14 Lt/dk gaz debilerinde mikrosertlik noktaları	54
Şekil 7.27. 50°, 60°, 80°, 90° torç açılarında mikrosertlik noktaları.....	55
Şekil 7.28. Farklı akım şiddetlerinde ısı girdileri grafiği.....	56
Şekil 7.29. 80A akım şiddetinde mikro yapı görüntüleri.....	57
Şekil 7.30. Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri.....	58
Şekil 7.31. 80A akım şiddetinde SEM görüntüleri.....	59
Şekil 7.32. 80A akım şiddetinde EDS analizi.....	59
Şekil 7.33. Farklı kaynak hızlarında ısı girdisi grafiği.....	60
Şekil 7.34. 30 sn kaynak hızı mikroyapı görüntüleri.....	61

Şekil 7.35. Farklı kaynak hızlarında kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri....	62
Şekil 7.36. 30 sn kaynak hızında SEM görüntüleri.....	62
Şekil 7.37. 30 sn kaynak hızı EDS analizi.....	63
Şekil 7.38. 11 L/dk gaz debisine ait mikro yapı görüntüleri.....	64
Şekil 7.39. Farklı gaz kaynak debilerinde kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri.	65
Şekil 7.40. 11 Lt/dk gaz debisine ait SEM görüntüleri.....	66
Şekil 7.41. 11 Lt/dk gaz debisi EDS analizi.....	67
Şekil 7.42. 50° kaynak torç açısında mikroyapı görüntüleri.....	68
Şekil 7.43. Farklı kaynak torç açılarında ITAB-kaynak bölgesi kesişim mikroyapı görüntüleri.....	69
Şekil 7.44. Farklı kaynak torç açılarında kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri.	69
Şekil 7.45. 50° torç açısı SEM görüntüleri.....	70
Şekil 7.46. 50° torç açısında kaynak bölgesi EDS analizi.....	70
Şekil 7.47. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği.....	71
Şekil 7.48. Farklı kaynak hızlarının çekme mukavemetleri grafiği.....	73
Şekil 7.49. Farklı kaynak hızlarında makroyapı görüntüleri.....	74
Şekil 7.50. Farklı akım şiddetlerinde kaynak ısılatma açısı grafiği.....	75
Şekil 7.51. farklı akım şiddetlerinde kaynak kep genişliği grafiği.....	75
Şekil 7.52. Farklı akım şiddetlerinde kaynak kep yüksekliği grafiği.....	76
Şekil 7.53. Farklı kaynak hızlarında makroyapı görüntüleri.....	77
Şekil 7.54. Farklı kaynak hızlarında ısılatma açısı grafiği.....	77
Şekil 7.55. Farklı kaynak hızlarında kaynak genişliği grafiği.....	78
Şekil 7.56. Farklı kaynak hızlarında kaynak yüksekliği grafiği.....	78
Şekil 7.57. 55A, 60A, 65A ve 70A bölgelerinde mikrosertlik noktaları.....	79
Şekil 7.58. 20sn, 25sn ve 30sn kaynak hızlarında mikrosertlik noktaları.....	80
Şekil 7.59. Farklı akım şiddetlerinde ısı girdisi grafiği.....	81
Şekil 7.60. 65A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri.....	82
Şekil 7.61. Farklı kaynak akım şiddetlerin kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri	82
Şekil 7.62. 60A akım şiddetinde SEM görüntüleri.....	83
Şekil 7.63. 60A akım şiddetinde EDS analizi.....	84
Şekil 7.64. Farklı kaynak hızlarında ısı girdisi grafiği.....	85
Şekil 7.65. 20sn kaynak hızı mikroyapı görüntüleri.....	86

Şekil 7.66. Farklı kaynak hızların kaynak bölgesi mikro yapı görüntüleri.....	86
Şekil 7.67. 20 sn kaynak hızı SEM görüntüleri.....	87
Şekil 7.68. 20 sn kaynak hızı EDS analizi.....	87



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Alüminyum alaşımlarının ilave edilen ana metale göre gösterimi.....	5
Tablo 6.1. 6082 Alüminyum kimyasal bileşimi.....	24
Tablo 6.2. 6082 Alüminyum mekanik özellikleri.....	24
Tablo 6.3. AlMg5 MIG telinin kimyasal bileşimi.....	25
Tablo 6.4. AlMg5 MIG telinin mekanik özellikleri.....	25
Tablo 6.5. AlSi5 MIG telinin kimyasal içeriği.....	25
Tablo 6.6. AlSi5 MIG telinin mekanik özellikleri.....	25
Tablo 7.1. Farklı akım şiddetlerinde kaynak parametrelerinin ve mekanik özelliklerine etkisi.....	31
Tablo 7.2. Farklı kaynak hızlarının kaynak parametreleri ve mekanik özelliklere etkisi.....	33
Tablo 7.3. Farklı kaynak gaz debilerinde kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkisi.....	34
Tablo 7.4. Farklı kaynak torç açılarındaki kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri.....	36
Tablo 7.5. Farklı akım şiddetlerinde kaynak parametrelerinin ve mekanik özelliklerine etkisi.....	71
Tablo 7.6. Farklı kaynak hızlarının kaynak parametrelerine ve mekanik özelliklerine etkisi.....	72

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Alüminyum 6082, Soğuk Metal Transferi CMT, Çekme Mukavemeti

Son yıllarda gelişen teknolojiyle beraber endüstriyel alanda kullanılan malzemelerde gelişmeye başlamıştır. Geleneksel olarak kullanılan malzemelerin yanında yeni malzemelerde üretilmeye başlanmış ya da sürekli kullanılan malzemeler yenilenmeye başlanmıştır. Bu tip malzemelerin kullanılması da endüstri ve sanayide yenilenmeye yol açmıştır. Sanayinin farklı alanlarında otomotiv, havacılık, uzay teknolojileri, denizcilik, inşaat ve farklı sektörlerde kullanım amacına yönelik malzemelerin üretimi çoğalmıştır. Bu yenilenmeye uygun olarak bir çok malzeme vardır. Bu malzemelerden biriside Alüminyumdur. Alüminyum doğada en çok bulunan, geri dönüşümü rahat olan bir metaldir ve çelikten sonra mühendislik alanlarında en çok kullanılan metaldir. Alüminyum iyi korozyon direncine sahip, rahat şekillenebilen, hafif bir metaldir ve iyi bir ısıl iletkenliğe sahiptir. Bu gibi özelliklerine rağmen sertlik, mekanik özellikleri ve aşınma kabiliyetleri çeliklerden düşüktür. Alüminyum bahsettiğimiz özelliklerle beraber aynı zamanda kaynak yapılabilme kabiliyeti yüksek ve zor bir metaldir. Kaynak esnasında alüminyumun üstünde bulunan oksit tabakası alüminyum metalinin kendisinden daha yüksek sıcaklıkta erimektedir. Bu sebepten ötürü oksit tabakasını eritmek için verilen yüksek sıcaklıktan alüminyumda yapı değişikliği oluşur ve buna bağlı olarak tane büyümesinden dolayı mekanik özelliklerinde düşme görülmektedir. Geleneksel kaynak yöntemlerinde ekstradan ısıl işlem gerektiren bu durum geliştirilen yeni kaynak yöntemler sayesinde iyileştirilmesine çalışılmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak kullanılmaya başlanılan CMT Soğuk metal transferi tekniğidir. Bu yöntemle yüksek damla geçişi, hızlı kaynak otomasyona uygunluğuyla ve en önemlisi düşük ısı girdisiyle Soğuk metal transferi tekniğidir.

Bu çalışmada 1mm kalınlığına sahip alüminyum 6082-T6 levhalar CMT yöntemiyle birleştirilmiştir. Çalışmada 1mm kalınlığında AlMg5 ve AlSi5 telleri kullanılmıştır. Numuneler alın alına bağlantı biçiminde hazırlanmıştır. Kaynak işleminde akım şiddeti, kaynak hızı, gaz debisi, torç açısı ve farklı teller olmak üzere beş farklı parametre kullanılmıştır. CMT ile birleştirilmiş malzemelerin çekme mukavemeti ve bağlantı bölgesi arasındaki mikrosertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve mikroyapı tetkiklerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanıldı. Bu çalışmada akım şiddeti, kaynak hızı, gaz debisi, torç açısı ve farklı tellerin kaynak bağlantı bölgesi ve Alüminyum 6082-T6 arasındaki geçiş bölgesinin mikroyapısı ve mikrosertliği üzerindeki dağılımları araştırılmıştır.

INVESTIGATION OF THE COMBINABILITY OF 6XXX ALUMINUM ALLOYS TO COLD METAL TRANSFER

SUMMARY

Keywords: Aluminium 6082, Cold Metal Transfer CMT, Tensile Strength

With the developing technology in recent years, it started to develop in materials used in the industrial field. In addition to traditionally used materials, materials that have been started to be produced in new materials or have been continuously used have begun to be replaced. The use of such materials has also led to renewal in industry and industry. Production of materials for use in automotive, aerospace, space technology, maritime, construction and other sectors has increased in different areas of the industry. There are many materials available for this renovation. One of these materials is Aluminum. Aluminum is the most abundant metal in the environment, a recyclable metal, and the most commonly used metal in engineering fields after steel. Aluminum is a light metal with good corrosion resistance, comfortable shape and good thermal conductivity. Despite these properties, their hardness, mechanical properties and abrasion abilities are lower than steel. Aluminum is a high and difficult metal that can be welded at the same time with the properties we mentioned. The oxide layer on the aluminum during welding melts at a higher temperature than the aluminum metal itself. Because of this reason, the structural change occurs in the aluminum from the high temperature given to melt the oxide layer, and as a result, the mechanical properties decrease due to grain growth. In traditional welding methods, extreme heat treatment is required and this situation has been tried to be improved by the new welding methods developed. The CMT cold metal transfer technique, which has begun to be used as a result of these studies. With this method, high drop passage is suitable for fast welding automation, and most importantly, cold metal transfer technique with low heat input.

In this study, aluminum 6082-T6 sheets with a thickness of 1 mm were joined by CMT method. AlMg5 and AlSi5 wires with a thickness of 1 mm were used in the study. The samples are prepared in the form of a receive link. Five different parameters were used in the welding process: current intensity, welding speed, gas flow, torch angle and different wires. The microhardness distributions between the tensile strength and the connecting region of the CMT bonded materials were investigated. Optical microscope, scanning electron microscope (SEM) and point element analyzer EDS were used in macro and microstructure tests. In this study, the distribution of current intensity, welding speed, gas flow, torch angle and welding area of different wires and microstructure and microhardness of the transition region between Aluminum 6082 and T6 were investigated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin ilerlemesinin sürekli olarak ele alınan konulardan biride malzemelerin gelişmesidir [1]. Bu sebepten dolayı malzeme bilimi tek bir bilim dalı olmaktan ziyade çeşitli bilim dalları içerisinde yer almaya başlamıştır. Günümüz teknolojisi çeşitli endüstriyel alanlarda birçok farklı malzeme çeşidini kullanmaya başlamıştır. Bu malzemeler endüstride kullanılmakta olan ama istenilen ihtiyaçlar doğrultusunda zaman zaman yetersiz kalmaktadırlar. Bu sebeple ihtiyaçlara cevap verebilecek malzeme çeşitleri sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu malzemeler kullanım yeri amacına göre farklı üretim yöntemleri ile üretilmekte veya üretilen bu malzemeler şekillendirilmektedir. Demir esaslı veya demir dışı malzemeler olarak sınıflandırırsak Alüminyum metalinin demir esaslı malzemeler haricinde demir dışı malzemeler içinde kullanımda ilk sırada kullanılan bir malzeme olduğunu sayabiliriz [2]. Metaller içerisinde kullanım ve üretim açısından en çok kullanılan ikinci metal diyebiliriz. İlerleyen teknolojiyle birlikte sanayide ve günlük kullanımda artan istekler ve bunu karşılamak için geliştirilen malzemeler açısından alüminyum metali için diğer malzemelere nazaran farklı bir yer ayırmak gerekmektedir.

Türkiye alüminyum sektörünün gelişimi dünya alüminyum sektör gelişimine paralel olarak hızla gelişmiş ve Türkiye'nin ekonomik büyüklüğünün dünya sıralamasındaki yerinden alüminyum sektörü sıralaması daha önlerde yer almıştır. Türkiye alüminyum sektörünün bu başarısı, ülkemizin sahip olduğu sınırlı doğal kaynaklara ve enerjide büyük oranda dışa bağımlı olmasına rağmen gerçekleşmiştir.

Alüminyum hammadde bakımından zayıf ülkemizde ara-mamül üretimleri olan döküm yassı en ekstrüzyon sektörlerinde hatırı sayılır gelişmeler kat edilmiştir [3]. Alüminyum yüksek oranda geri kazanımı, hafifliği bakımından bakımından enerji tasarrufu bakımından önemli bir yer tutmaktadır. Son yıllarda alüminyum yukarıda

bahsettiğimiz birçok özellik açısından geleneksel malzemelerin yerini almaya başlamıştır.

Alüminyum ve alaşımlarının birleştirme yöntemlerinde cıvata, perçin, lehim ve yapıştırmaya göre kaynak yöntemiyle birleştirmek daha zordur. Alüminyumun kaynak yöntemiyle birleştirmek için alüminyum ve alaşımlarının fiziksel, kimyasal ve metalurjik açıdan iyi tanımak; metalin özelliklerine ve göstereceği davranışlara göre önlemlerini almak gereklidir [4, 5].

Alüminyumun ve alaşımlarının kaynak çalışmalarındaki en önemli zorluk alüminyum ve alaşımlarının sahip olduğu düşük ergime sıcaklığıdır. Alüminyum 660 °C ergiyen bir metaldir, alüminyum metalinin yüzeyini kaplayan Al_2O_3 tabakası ise 2200 °C erir. Alüminyum kaynağında öncelikle sahip olduğu oksit tabakasının eritilmesi gereklidir. Bu yüzden geleneksel kaynak yöntemlerinde 2000 °C'lerin üstüne çıkan sıcaklık gereklidir ama bu yüksek sıcaklık ve ısı girdisi 600 °C'de eriyen alüminyum yapısını olumsuz olarak etkilemektedir [6]. Ayrıca alüminyumun oksijene olan ilgisinin yüksek oluşu kaynak anında bir takım zararlara sebep olmaktadır [7].

Kaynak anında malzeme kalınlığı da önemli bir parametredir, malzeme kalınlığı arttıkça ısı girdisi artacaktır. Alüminyum ve alaşımları içinde bu parametre geçerlidir. Zor bir kaynak türü olan alüminyum ve alaşımlarının kaynağı malzeme kalınlığı azaldıkça daha da zorlaşmıştır. Sanayide tasarruf amaçlı olarak daha ince malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Bu sebepten ötürü ince levhaların kaynağı bil hassa alüminyumda yüksek ısı girdisinden dolayı yapılması zorlamıştır [8].

Bu yüzden son yıllarda yeni geliştirilen Soğuk Metal Transferi CMT yöntemi bilhassa ince kesitli alüminyum levhaların kaynağında bu sorunu çözmede önemli bir yöntem olmuştur. Soğuk metal transferi yönteminde geleneksel kaynak yöntemlerine göre en önemli yenilik tel hareketidir, telin ileri geri hareketi ısı girdisini düşürür buda malzemedeki hataların önüne geçmiştir.

Yaptığımız bu çalışmada 6XXX serisi 1mm. Kalınlığa sahip alüminyum levhalar soğuk metal transferi CMT kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak işleminde 1mm kalınlığına sahip AlMg5 ve AlSi5 alüminyum telleri kullanılmıştır. Kaynak işleminde koruyucu gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. Kaynak işlemi sonrasında yapılan çekme test, sertlik testi yapılmıştır. Yapılan testlere ait parçalardan mikro yapı ve makro yapı örnekleri alınıp bunların SEM ve EDX 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 avantajları ve dezavantajlarına dahil bilgiler elde edilmek istenmiştir.

BÖLÜM 2. ENDÜSTRİDE ALÜMİNYUM

2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri

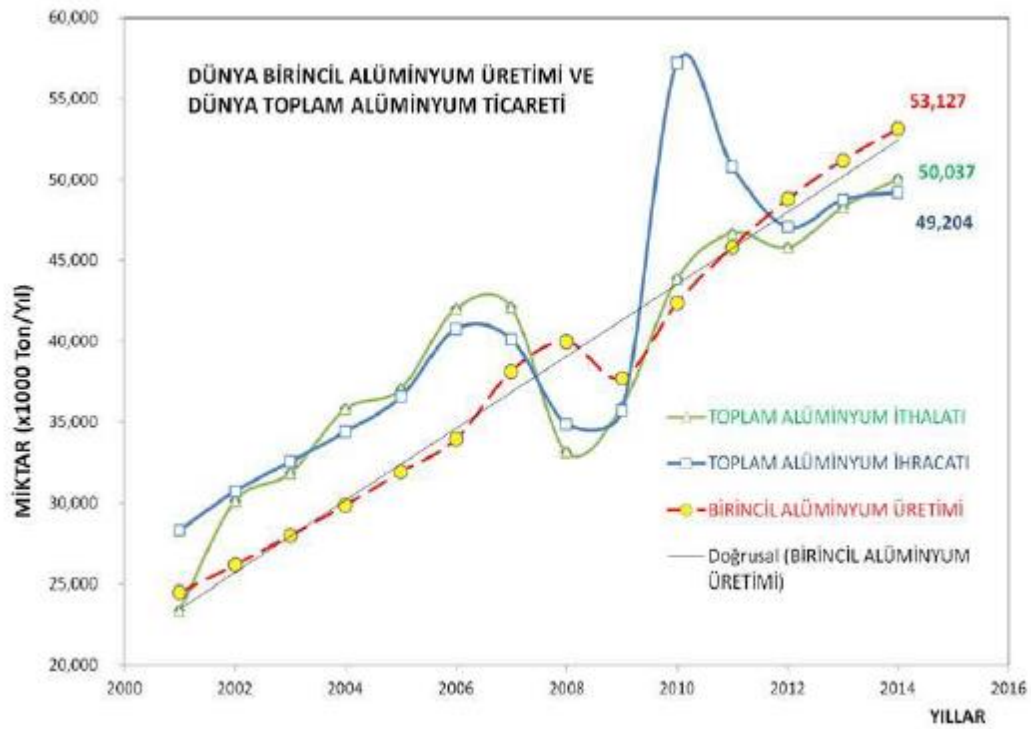
Çelikten sonra en çok kullanılan metal malzemelerden biri olan alüminyum ve alaşımları endüstriyel malzemeler içerisinde kullanımı son derece hızlı yayılan malzemelerden biri olmuştur. Bu yayılmasında kullanıldığı alanlar otomotiv, savunma ve havacılık sanayileri etkin bir şekilde rol almıştır [5].

Alüminyum simgesi “Al” olup gümüş beyaz bir renktedir, elementin özgül ağırlığı “ $2,70\text{gr/cm}^3$ ” yoğunlukta olmasıyla özgül ağırlıkları “ $7,83\text{gr/cm}^3$ ” çelikten, “ $8,93\text{gr/cm}^3$ ” bakırdan ve “ $8,53\text{gr/cm}^3$ ” pirinçten oldukça hafif bir malzemedir [9, 10]. Alüminyum yer kabuğunda yüksek oranda bulunan bir metaldir ama içerisinde bulunan minerallerin kompleks ve kararlı olmasından dolayı elde edilmesi yüksek enerji ve yüksek sıcaklık gerektirir. Alüminyumun üretiminde çoğunlukla %55-%65 içeren ve boksit ismi verilmiş cevher kullanılmaktadır [5].

Alüminyum iletkenlik bakımından bakırın sahip olduğu iletkenliği %60’ı oranına sahiptir. Bu oran alaşım yapılarak düşürülür. İletkenlik düşük olmasına rağmen düşük yoğunluktan dolayı enerji hatlarında tercih edilir [11, 12]. Alüminyum atmosfer ile teması sonucu üstünde ince, yoğun ve refrakter karakterli bir oksit tabaka oluşur. Bu tabaka havanın ve çeşitli maddelerin kimyasal etkileri sonucu oluşan korozyon etkilerine karşı direnç kazanır [8, 13]. Alüminyumun bir diğer tercih sebebidir metalin sahip olduğu yüzey merkezli kübik kafes yapısı sayesinde yüksek oranda şekillendirilebilme özelliğidir [14].

2.2. Dünyada Alüminyum

2014 yılı itibari ile dünya genelinde 53.127 milyon ton birincil alüminyum üretilmiştir. Birincil alüminyum üretimi dünyada alüminyum ticaretiyle paralel olarak değişmektedir. Ekonomik krizler birincil alüminyum üretimine üretimde azalma olarak ve ticaret açısından ithalat ve ihracat dengelerini değiştirmiştir. 2014 yılında en büyük birincil alüminyum üreticisi Çin olmuştur. Toplamda 27.5 milyon ton ile dünya genelinde %52 sini Çin gerçekleştirmiştir. Avrupa ve Amerika kıtalarında birincil alüminyum üretimi azalırken Çin son 20 yılda sürekli artış göstererek birincil alüminyum üretimi lideri konumundadır. Dünya genelinde son 14 yıl içinde sektör her yıl ortalama %6 oranında büyüme göstermiştir. Aşağıdaki şekilde alüminyum üretimi ve ticareti gösterilmiştir [3].



Şekil 2.1. Dünyada alüminyum üretimi ve ticareti [3].

2.3. Türkiyede Alüminyum

2001 yılı ve 2015 yılı arasında; 2015 yılı da dahil olmak üzere Türkiye 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 ithalat 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 11. Sırada yer almaktadır. Türkiye alüminyum sektöründe dünya genelinde kendini bil hassa ara-mamul ürünlerde gösterebilmiş ve bu yönde geliştirmiştir.

Türkiye'de kullanım halindeki alüminyum ülke içinde toplanan alüminyum ve geçmişten günümüze kadar kullanılan alüminyum miktarlarına ait verilerden değerlendirebiliriz. Buna göre %30 oranında binalar, %50 oranında taşımacılık ve %20 makine, elektrik, elektronik ve ambalaj ürünleridir. Taşımacılık sektöründe kara, hava ve deniz olarak ayırırsak kara araçlarının yarısından fazlasını otomobil ve geri kalan kısmı motorsiklet, kamyonet, kamyon ve otobüs olarak diyebiliriz. Otomobillerde ortalama 120 kg diğer ticari araçlarda 200 kg çıkan oranlarda alüminyum kullanılmaktadır. Son olarak 2013 yılının son çeyreği ve 2014 yılından itibaren alüminyum kullanımı giderek artmaktadır [3].

2.4. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum ve alaşımları, alaşım elementlerinin farklı etkilerinden dolayı, birbirlerinden farklı özelliklere sahip olurlar, ayrıca ekonomiklik ve estetiklik bu durumu etkileyen faktörlerdir. Alüminyum alaşımları döküm ve dövme alaşımları olmak üzere iki gruba ayrılırlar [4, 5].

2.4.1. Alüminyum dövme alaşımları

Alüminyum sahip olduğu birçok iyi özelliklerle beraber “hafiflik, korozyon dayanımı ve kolay şekil verme vb.” döküm ve mekanik özellikleri iyi değildir [15]. Alüminyumun bu özelliklerini iyileştirme için bazı elementler ilave edilir [6]. Bu

elementler bakır, manganez, magnezyum, çinko, silisyum, nikel ve diğer elementlerdir. Bu alüminyum alaşımları sürekli döküm yolu ile kütle halinde üretilip, homojenleştirme tavlama yapırlar. [6, 16, 17]. Alüminyum dövme alaşımları ısı işlem yapılabilen ve ısı işlem yapılamayan dövme alaşımları olarak iki alt gruba ayrılırlar. Isıl işlem yapılabilen alaşımlar yaşlandırma işlemi yoluyla sertleştirilebilirlerken, ısı işlem yapılamayan grup ise katı eriyik sertleşmesi, pekleşme ve dağılım(dispersiyon) sertleşmesi ile mukavemet kazanırlar [18].

Sayısal bir sınıflandırma birimine sahip olan Alüminyum alaşımları ilk olarak 1954 yılında Alüminyum birliği tarafından sınıflandırılmıştır [5]. Bu sistem 1’den 9’a kadar numaralanmaktadır. İlk rakam alaşımın temel elementini ifade etmektedir. İkinci rakam özel olarak istenen elementi ifade eder. Son iki rakam ise %99.00 nokta değerinden sonraki rakamları belirtir [19]. Bu sınıflandırmaya uymayan alaşım serisi 6xxx serisidir, bu seride magnezyum ve silisyum elementleri beraber bulunur ve iki element birleşerek Mg_2Si oluşturur [20]. Tablo 2.1.’de Alüminyum alaşımlarının alaşım elementlerinin gösterimi verilmiştir.

Tablo 2.1. Alüminyum alaşımlarının ilave edilen ana metale göre gösterimi

Alüminyum>%99,00	1XXX	Yaşlandırılmaz
Bakır	2XXX	Yaşlandırılabilir
Mangan	3XXX	Yaşlandırılmaz
Silis	4XXX	Mg varsa yaşlandırılabilir
Magnezyum	5XXX	Yaşlandırılmaz
Magnezyum-Silis	6XXX	Yaşlandırılabilir
Çinko	7XXX	Yaşlandırılabilir
Diğer elementler Lityum vb.	8XXX	
Sınıflandırılmamış Seri	9XXX	

2.4.2. Alüminyum döküm alaşımları

Döküm alaşımları genellikle kum döküm, pres döküm ve sabit kalıp yöntemleriyle üretilirler. Bu alaşımlar yüksek fiziksel özellik, işleme kolaylığı ve kaynak edilebilirlik gösterirler. Hepsinde olmamakla beraber bir kısım döküm alaşımlarında da ısı işlem uygulanabilir [5].

BÖLÜM 3. LEHİMLEME

3.1. Lehimleme

Genel olarak iki veya daha fazla malzemenin ilave metal kullanılarak ana metalin ergime sıcaklığının altında ilave metalin ergime sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta yapılan birleştirme işlemlerine lehimleme denir. Bu ifadeye göre yöntemde ilave metalin eriyip katılaşması, ana metalle arasında birleşme bağı oluşturmastır. Birleştirilen malzemenin ergitme kaynak yöntemlerinde olduğu gibi erimesi durumu yoktur [21, 22].

Lehimleme işleminde ilave dolgu metali 450°C 'nin altında erirse lehimleme yumuşak lehimleme olarak adlandırılır, eğer 450°C 'nin üstünde erirse lehimleme sert lehimleme olarak adlandırılır. Sert lehimleme yumuşak lehimleme işlemine göre daha yüksek sıcaklıklarda yapılmaktadır; ancak her iki lehimleme işleminin de temelleri aynıdır. Bunlarla beraber birleştirilen malzemeler, ısıtma yöntemi, birleşme bölgesinin ön hazırlıkları, kullanılacak ilave metaller ve dekapanlar iki yöntemde birbirlerinden ayrılırlar.

Lehimleme işlemi, lehimlenecek yerin tasarımına bağlı olarak kapiler lehimleme ve lehim kaynağı olarak ikiye ayrılır. Kapiler lehimlemede birleştirilecek yüzeyler arasında 0,03-0,2 mm arasında bir boşluk bırakılır, sıvı dolgu metali bu aralıkta kapiler kuvvet etkisiyle yayılarak boşluğu doldurur. Lehim kaynağındaysa birleştirilecek parçalara kaynak ağzı açılır, ergitilmiş ilave dolgu metaliyle burası doldurulur, birleştirme işlemi ergitme kaynak yöntemleri tekniğine benzediği için lehim kaynağı ismi verilmiştir. Lehimleme işlemlerinin tümünde ilave dolgu metali ergir. Ama ana malzemede herhangi bir ergime oluşmaz. Birleştirme uygun bir lehimleme sıcaklığında gerçekleşir.

Lehimleme işlemi ile birleştirilecek parçaların kullanılacağı servis ortam sıcaklığı, dolgu metalinin ergime sıcaklığından düşük olması gerekmektedir. Sert ve yumuşak lehimleme elektronik, uzay ve havacılık endüstrilerinde günlük tesisat uygulamalarında ve birçok alanda kullanılmaktadır [22, 23].

3.2. Yumuşak Lehimleme

Lehimleme işleminde ilave metalin ergime sıcaklığının 450°C 'nin altında olduğu yöntem yumuşak lehimleme olarak adlandırılır. Diğer lehimleme yöntemlerinde ana malzemeler arasındaki bağlantı, birleştirilecek parçaların birleşme yüzeylerinin, ergimiş lehim malzemesi tarafından ısıtılması ve bu durumda katılaşana kadar soğutulmasıyla sağlanmaktadır. Yumuşak lehimleme işlemi; kaynatılması ekonomik ve pratik olmayan metallerin birleştirilmesinde, kaynaklı birleştirmenin mümkün olmadığı yerlerde, farklı birleştirme yöntemlerinin kullanılamayacağı kadar küçük oranda olan parçaların birleştirilmesinde, elektrik-elektronik sanayinde, motorlu araçlarda soğutma sistemlerinin birleştirilmesi ve tamir işlemlerinde çatı oluklarının birleştirilmesinde sık olarak kullanılmaktadır [23].

3.3. Sert Lehimleme

Ana metali, ergimiş sıvı haldeki ilave dolgu metalinin ısıtması, dolgu metalinin lehimleme aralığında yayılması ve ana metal ve dolgu metal arasında metalürjik bir bağ oluşması sonucu meydana gelen birleştirmeye sert lehimleme adı verilir. Buradaki birleştirme bir difüzyon olayı olup, ana metaldeki bazı elementlerin atomları lehim alaşımına ve lehim alaşımındaki bazı elementlerin atomları da ana metale geçmektedir. Ana metal ile dolgu metali arasındaki ısıtma kabiliyetini artırmak amacı ile çeşitli dekaplar kullanılır. Sert lehimlemede birleşme bölgesinin mekanik dayanımı yüksektir. Birleştirme bölgesi iyi tasarlandığından ve işlem uygun olarak yapıldığından oluşan intermetalik bağlantı; ana metallerinkine eşit, hatta daha fazla olabilen mekanik dayanıma sahip olmaktadır. Katılaşmış lehim yüzeyleri doğal olarak çok düzgün şekilli ve köşesizdir. Lehim malzemesinin iş parçası köşeleri ve birleşme bölgelerinde oluşturduğu bu bükey form yorulmaya karşı da iyi bir direnç

sağlamaktadır. Bununla birlikte ötektik tip ilave metaller kullanıldığından, katılaşmış lehim malzemesi yüksek miktarda kırılğan intermetalik bileşen içerir ve dolayısıyla lehim bölgesinde çatlak başlangıcı oluşma riski vardır.

İlave dolgu metali, birleştirilecek parçaların yüzeyine ulaştığı için, kenarlarda gerilim azalması olacağından dolayı mekanik özellikler artar. Bu yöntemle genellikle darbe titreşimlere karşı dayanıklı bir birleştirme elde etmek mümkündür. Dolgu metali ile birleştirilecek parçalar arasında, reaksiyon sonucu gevrek metaller arası fazlar meydana gelebilir. Bu gevrek fazların miktarına bağlı olarak, birleştirme mukavemeti azalabilir [24]. Bu yöntemin en önemli avantajı benzer olmayan farklı özelliklerdeki malzemelerin birleştirilmesi yapılabilmektedir. Farklı kalınlıktaki parçaların, lehimleme tekniği ile birleştirilmesi mümkündür. Sert lehimleme, ana metalin mevcut özelliklerini değiştirecek aşırı bir ısınma olmaz. Lehimleme işlemi sonucunda yüksek oranda parça çarpılması olmaz [24, 25].

3.4. MIG Lehimleme

MIG lehimleme tamamen yüzeysel amaçlar dolgulu bağlantılar ve dikişler olarak yıllarca uygulandıktan sonra birleştirme çeşidi olan MIG kaynağının yerini almaktadır. MIG kaynağında ana metal ergir ve ilave metalde yaklaşık olarak 1650°C’de eriyerek ana metal ve ilave metal arasında bir birleşme sağlar. MIG lehimleme tekniğinde ise kaynak sıcaklığı oldukça düşüktür, yaklaşık 960-1000°C civarındadır. Bu sebepten dolayı sadece ilave dolgu metali erir. Kaynak bölgesindeki ana metalde herhangi bir ergime olmaz. Kaynak metali ana metal üzerinde yığılır ve bu sıcaklıklarda ana metalde çok fazla ergime olmaz [23, 25].

BÖLÜM 4. ALÜMİNYUMDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

4.1. 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 kullanılırsa buna “ilave metal” adı verilir [4, 26]. Tanımdan da anlaşılacağı gibi kaynaklı birleştirme işlemi aynı veya farklı metallerin birbirleri ile birleştirilmesini sağlar. Bu metallerden biride olan alüminyum kaynaklı üretim işleminde çelikten sonra en çok kullanılan metaldir.

Alüminyum kaynakla birleştirilebilen farklı metallerden özellikle çeliklerden farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından kaynak kabiliyeti daha hassas ve etkili bir metaldir. Bu özellikler

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

Alüminyum elementi pasif olmayan bir metaldir yani 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 [4]. 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 meteline geçerek gözenek oluşturabilir.

Alüminyumun içeriğindeki alaşım elementine göre ısı iletimi değişmektedir bu değer çelikten daha fazladır. Bunun içinde alüminyum ergitirken 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 katılaşır ve her pozisyonda kaynak imkanı sağlar [4, 6]. Alüminyum ısıl genişmesi çeliğe göre daha fazladır. Ergimiş halden katılaşmayla kaynak metalinin çekmesi %6 civarındadır. Buda boyutlarda değişime, çarpılmaya ve çatlamaya neden olur. Kaynak ağzı ve kaynak hızı ve kaynak metalinin çok iyi bağlanması bu gibi durumları önleyebilir [6]. Alüminyum kaynağında farklı kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemleri iki başlıkta toplayabiliriz bunlar;

1. Ergitme kaynak yöntemleri
2. Katı hal kaynak yöntemleri

4.1.1. 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

4.1.2. 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 sıcaklıklarda ki birleştirmelerle mümkündür. Bu durum ancak düşük sıcaklıklarda birleştirme sağlayan katı hal kaynak teknikleri ile mümkündür. Bunlar;

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

Gibi çeşitli kaynak teknikleri ile sağlanmaktadır [27].

BÖLÜM 5. SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT)

Soğuk metal transferi (CMT) MIG kaynağının geliştirilmesiyle oluşmuş bir kaynak yöntemidir [8].

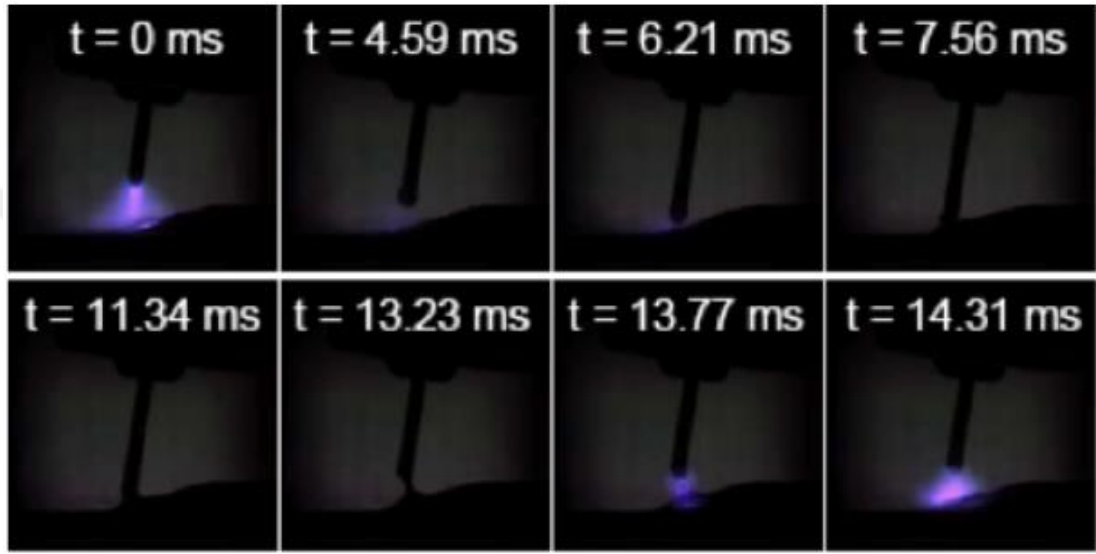
5.1. CMT Tanımı ve Özellikleri

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 [8].

Bazı metal ve uygulamalarında sürekli ısı girdisi kaynak banyosunun çukurlaşması, sıçranti olması ve kaynak bağlantılarının dayanım düşüklüğü oluşturmaktadır. Bu gibi durumları azaltmak için düşük ısı girdisi gereklidir. Bu gibi olumsuzlukları CMT yöntemi ile gidermek mümkündür [28, 29]. CMT, soğuk metal transferi anlamına gelmektedir. Kaynak uygulamaları açısından “soğuk” kavramı farklılık göstermektedir. Fakat geleneksel kaynak uygulamalarıyla karşılaştırıldığında CMT uygulamasında oluşan sıcaklık daha düşüktür. Buda daha düşük ısı girdisi, düşük distorsiyon ve yüksek hassasiyet avantajlarını sağlamaktadır [8, 30].

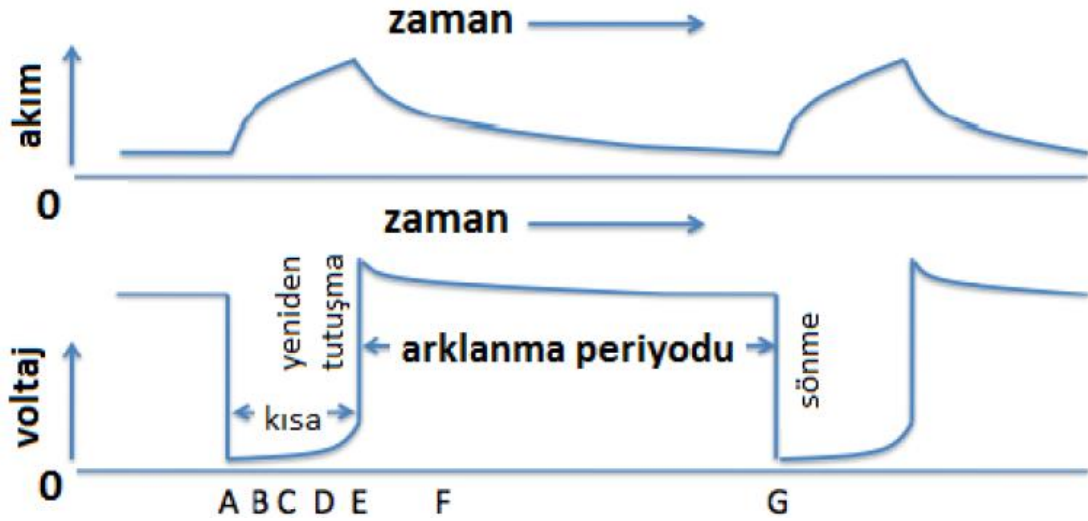
CMT ısı girdisinin çok düşük olduğu çapaksız bir kaynak dikişinin elde edildiği tam digital, mikro-işlemci kontrollü bir inventer gazaltı kaynak yöntemi olarak tanımlanabilir [24]. Bu yöntemde, kısa devreyi algılayan ve ergiyen elektrot damlasının elektrottan ayrılma prensibi yeni bir teknolojidir [28, 31].

Geleneksel kaynak yöntemlerinde tel, kısa devre oluşturuluncaya 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 tel beslemesi yapılır ve tel iş parçasına itilir ve geri çekilir [28, 34]. Şekil 5.1.'de yöntem milisaniyedeki akışı görülmektedir.



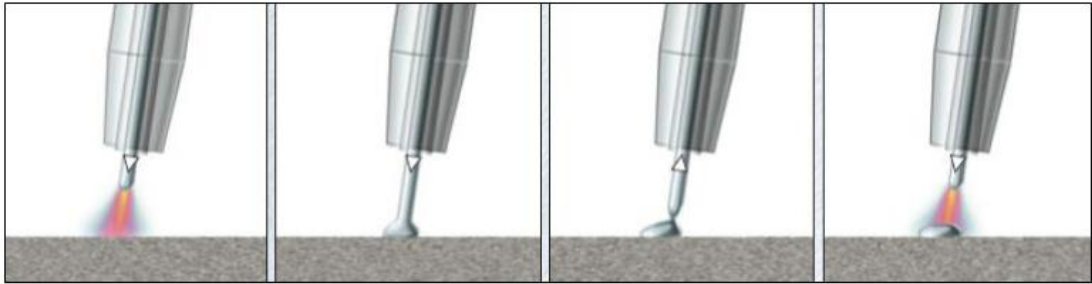
Şekil 5.1. CMT çevriminin gerçek zamanlı hızlı fotoğraflanmış görüntüsü [30].

Tipik bir kısa devre transferi için metal aktarımında meydana gelen olayların sırası akım ve voltaja göre verilmiştir [11, 29]. Tel, kaynak metaline temasında akım artar (şekil(A), (B), (C), (D) noktaları). 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 [11, 31].



Şekil 5.2. Kısa devre metal transferinin akım-voltaj değerine bağlı olarak şematik gösterimi [30].

Soğuk metal transferi, geleneksel MIG kaynağına 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 [11]. Dolgu malzemesinin kaynak banyosuna temasıyla ark söner ve kaynak akımı azalır [8, 31]. Telin geriye hareketi (saniyenin 90'da biri gibi sürede), kısa devre sırasında (kısa devre akımı düşük seviyededir) damlacık transferi olur [11, 29]. Telin hareketi tersine çevrilir, geri çekilir ve yöneme tekrar başlanır [29].



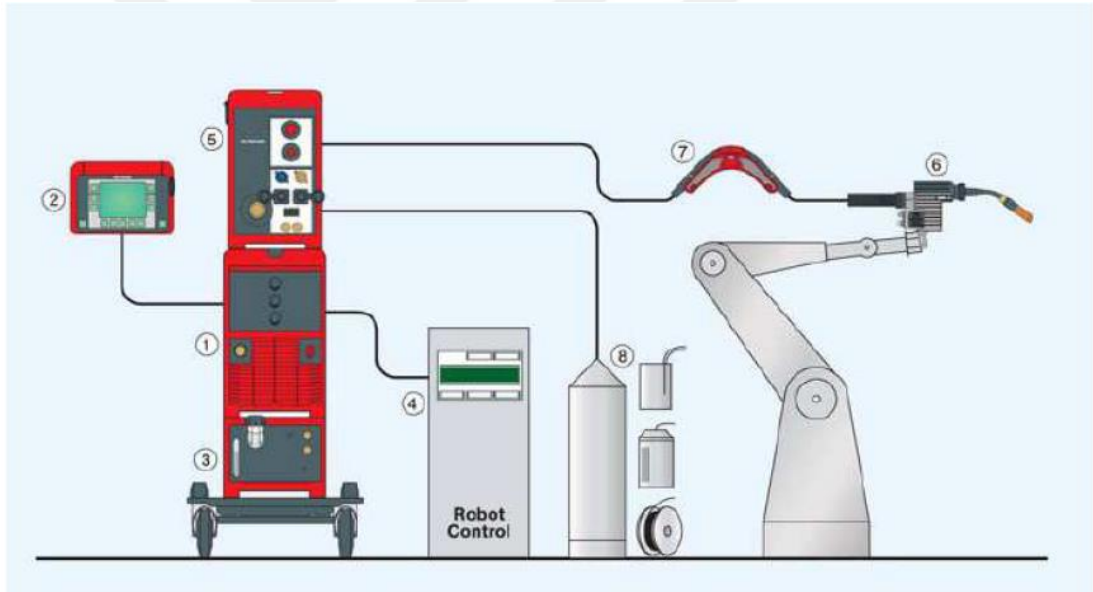
Şekil 5.3. CMT yönteminin aşamaları [32].

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 işlemde önce belirlenen zaman aralıklarına göre değişir. CMT işleminde ise tel besleme hızı ve yönü kısa devre oluşumuna bağlı ve açık hale gelmesi ile yönetilir. Yani kaynak banyosu ile telin hareketi arasında direk bir etkileşim vardır. Bunun için ortalama bir hızla beraber osilasyon frekansı deyimini

de yer almıştır ve bu değer de kısa devreye bağlı olduğundan “ortalama” ifadesi kullanılır yaklaşık 70 Hz civarındadır [28].

CMT yönteminde ikinci kendi yapısal özelliği ise, bilinen kaynak yöntemlerinde metal geçişi akıma bağlı iken bu yöntemde neredeyse akımdan bağımsız olmasıdır. CMT yönteminde akımın, kısa devreyi açık hale getirmekle bir ilgisi yoktur. Telin geriye hareketi ve kaynak banyosunun yüzey gerilimi metal geçişinin olmasını sağlar. Bu sebepten kısa devre akımı düşük tutulur ve böylelikle daha düşük ısı girdisi sağlanır.

En son olarak, tel hareketi metal transferini Şekil 5.4.’te gösterildiği gibi CMT işleminin kendine has özelliğidir [11, 28].



Şekil 5.4. Robotik uygulamada CMT sistem konfigürasyonu [28].

5.2. CMT Yönteminin Diğer Kaynak Yöntemlerine Göre Sağladığı Üstünlükler

5.2.1. Digital proses regülasyonu

Tel hareketi doğrudan işlem düzenlemesine bağlanmıştır. Digital işlem düzeni olası bir kısa devreyi algılamakta ve geri çekilme yoluyla damlacık aktarımını

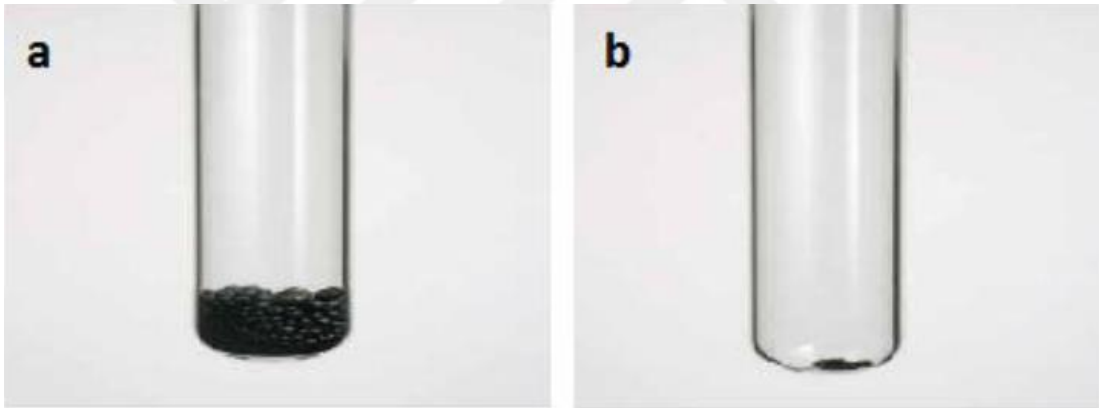
gerçekleştirmektedir. Tüm işlem digital olarak yönetilmesi, diğer kaynak yöntemlerine göre önemli bir farktır [32].

5.2.2. Düşük ısı girdisi

Kaynak esnasında tel öne doğru ilerler ve kısa devre oluştuğunda tekrar geri çekilir. Yanma fazında ark çok kısa bir süre için ısı verir [32].

5.2.3. Çapaksız kaynak

Telin geri hareketi, kısa devre sırasında damlacık geçişine yardımcı olur. Kısa devre kontrol edilir ve akım düşük seviyede tutulur. Bu şekilde çapaksız bir metal geçişi sağlanmış olur [32].



Şekil 5.5. MIG kısa devre ark yöntemi(a) ve CMT yöntemi (b) ile oluşan çapak miktarının kıyaslanması [33].

5.2.4. Kararlı ark

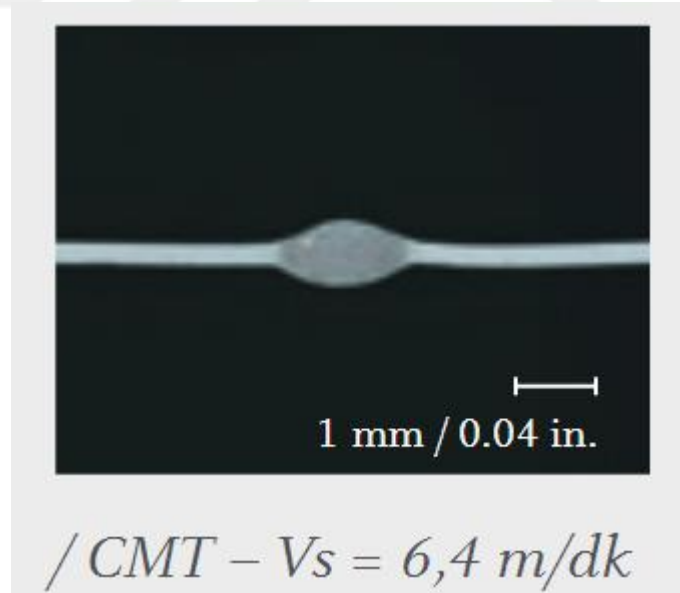
Ark boylarının algılanması ve ayarlanması mekanik olarak gerçekleşir. Ark, iş parçasının yüzey kalitesinden ya da hangi hızda kaynak yapmak istediğinizden daima kararlı kalır. Bu sayede CMT her yerde ve her konumda uygulanabilir [32].

5.2.5. Entegre tel hareketi

Bu yeni nesil proses için yeni sistem bileşenleri de geliştirilmiştir. Sistemde iki tel sürücü bulunmaktadır. Digital proses regülasyonu bir kısa devre algılar, arkadaki sürücü teli iter ve öndeki sürücü teli saniyede 90 defaya kadar geri çekerek damlacık transferine yardımcı olur. Öndeki sürücü dinamik AC servo motora sahiptir. Bu sürücü doğru 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].

5.3. CMT Yönteminin Alüminyum Kaynağındaki Avantajları

Diğer kaynak yöntemlerinin çoğunda kaynak yapılamayan ince alüminyum ve alaşımlarının kaynağı yapılabilmektedir. Şekilde 0,3 mm kalınlığında alüminyum levhanın kaynak kesiti görülmektedir.

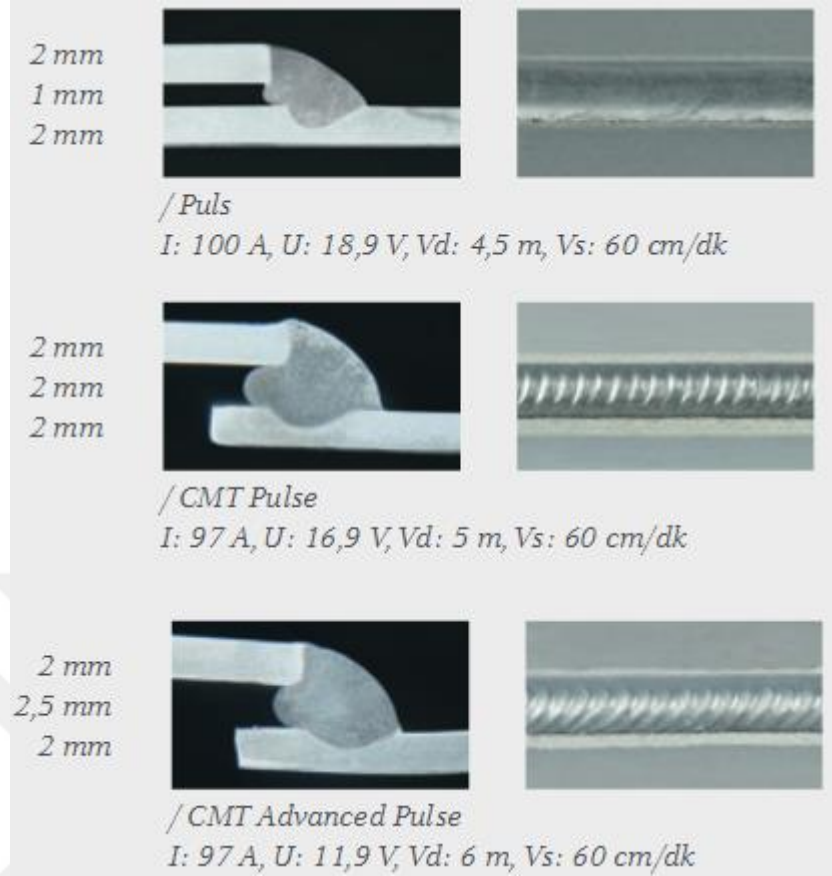


Şekil 5.6. 0,3 mm Alüminyum levhanın kaynağı [33].

Farklı kaynak yöntemlerine göre %90 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 kabiliyeti sağlar [32].



Şekil 5.7. Isı girdisi ve kaynak hızlarının mukayesesi [33].

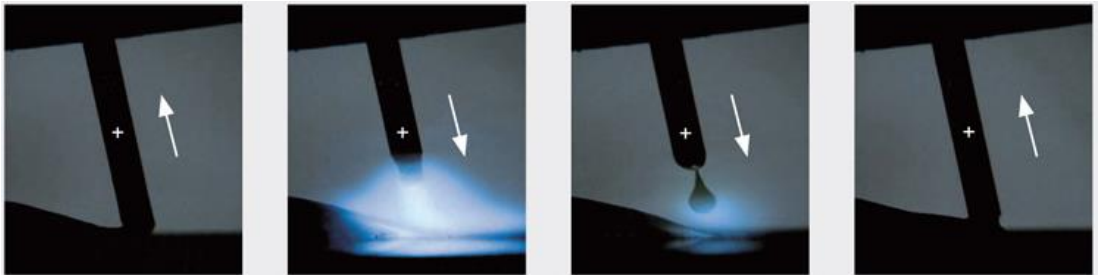


Şekil 5.8. 2 mm kalınlığındaki levhanın bindirme kaynağında boşluk doldurma kabiliyeti [33].

5.4. CMT Yönteminin Türleri

5.4.1. CMT pulse

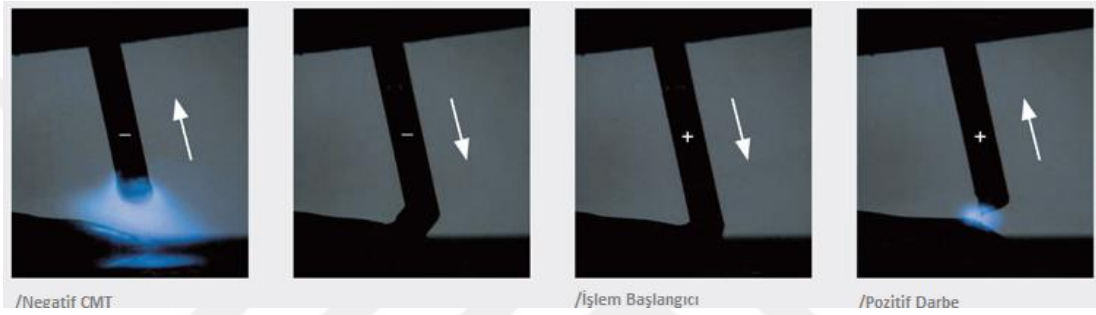
Bu yöntem bir darbe döngüsünü, bir CMT döngüsü ile birleştirir ve bu nedenle daha yüksek ısı verir. İstenilen ayarlanabilir değişken darbe ilavesi ile çok büyük bir güç aralığı ve esneklik sağlar [32].



Şekil 5.9. CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [32].

5.4.2. CMT advanced

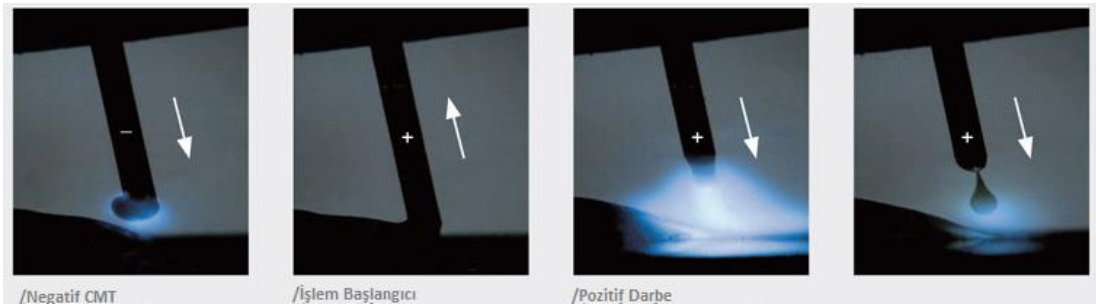
Bu CMT türünde daha da soğuk bir uygulamaya ulaşılmıştır. Kayna akımının polaritesi işlem regülasyonuna entegredir. Polarite değişimi kısa devre fazında gerçekleşir; böylelikle kanıtlanmış CMT işlem kararlılığı kısa devre fazında emniyete alınmıştır. Sonuç olarak hedeflenen ısı girdisi, çok yüksek boşluk doldurma kapasitesi ve %60'a kadar daha yüksek erime gücüne ulaşılır [32].



Şekil 5.10. Negatif CMT ve pozitif CMT'nin kombinasyonu [32].

5.4.3. CMT advanced plus

Negatif kutuplu CMT döngüleri ve pozitif kutuplu darbe döngüleri kombinasyonu ile arkın kesin doğruluğu ve arka yüksek düzeyde hakimiyet hedeflenmektedir [32].



Şekil 5.11. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [32].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Genel

Bu çalışmada otomotiv, uçak, yapı endüstrisinde kullanılan alüminyum çeşitlerinden 6XXX serisi alüminyum alaşımı olan 6082 Alüminyum levhanın CMT yöntemi ile birleştirilebilirliği ve karakterizasyonu incelenmesi amaçlanmaktadır. Diğer birleştirme yöntemlerinden farklı olan CMT yönteminde, 6XXX alüminyum levhanın daha iyi hangi akım şiddetinde, koruyucu gaz debisinde, torç açısında kaynak hızında ve tel türünde birleştirilebileceğini belirlemek için her parametre kendi içerisinde incelenmiştir.

6XXX Alüminyum levhalarında üstünde oksit tabakası metali atmosferin etkisinden koruyucu bir tabaka sağlamaktadır. Diğer birleştirme yöntemlerinde bu tabakayı geçmek için yüksek sıcaklıklara karşı bir çözüm olarak uygulanmaktadır. CMT uygulaması koruyucu gaz altında düşük sıcaklıkta digital proses uygulanarak yapılan bir kaynak işlemidir. Bu işlemde düşük sıcaklıklar uygulanarak yapılan soğuk metal transferinde ısı girdisinin azaltılması, alüminyum metalinin birleştirilebilirliğinin sağlanması ve mekanik özelliklerinin korunması sağlanmaktadır.

Bu bölümde, kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilmiştir. Birleştirilen numunelerin uygulanan mikroyapı, mikrosertlik, çekme ve SEM-EDS deneysel çalışmalarının nasıl yapıldığı ve hangi numunelerin kullanıldığı hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

6.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan levhalar, endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan 1 mm kalınlığındaki 6XXX serisi Alüminyum levhalardır. Orta derece mukavemet ve yüksek şekillendirilme kabiliyeti nedeniyle endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan 6082 alüminyum alaşımının spektrometrik analizi Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. 6082 Alüminyum kimyasal bileşimi

6082 Alüminyum 1mm	Elementler (ağ%)				
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
	0,88	0,43	0,08	0,47	0,71
	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
	0,03	0,01	0,04	0,04	97,32

6082 Alüminyum levhanın çekme ve sertlik sonucu elde edilen mekanik özellikleri Tablo 6.2.'de verilmiştir.

Tablo 6.2. 6082 Alüminyum mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama(%)	Sertlik(HV)
298	338	13	115

6.3. Uygulanan CMT İşlemleri

6082 Alüminyum numunelerine 1mm çapındaki AlMg5 magnezyum alaşımlı ve AlSi5 silisyum alaşımlı MIG kaynak teliyle CMT işlemi uygulanmıştır. Çalışmada %100 argon koruyucu gaz olarak kullanılmıştır.

AlMg5, magnezyum-alüminyum MIG kaynak telidir, içeriğinde %5 magnezyum ihtiva eder. Deniz suyuna karşı korozyon etkilerine karşı direnci yüksektir. Telin kimyasal kompozisyonu Tablo 6.3.'de verilmiştir.

Tablo 6.3. AlMg5 MIG telinin kimyasal bileşimi

AlMg5 teli	Elementler (ağ%)				
	Mg	Mn	Cr	Ti	Al
	4.50-5.50	0.05-0.20	0.05-0.20	0.06-0.15	Kalan

AlMg5, MIG kaynak teli TS 6204 EN ISO 18273 normuna göre S Al 5356 olarak kodlanmıştır. Telin mekanik özellikleri Tablo 6.4.'de verilmiştir.

Tablo 6.4. AlMg5 MIG telinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama(%)
>110	>235	>17

AlSi5, MIG kaynak teli alüminyum silisyum MIG kaynak telidir, içeriğinde %5 silisyum ihtiva eder. %7'den az silisyum ihtiva eden dökme alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılır. Telin kimyasal kompozisyonu Tablo 6.5.'de verilmiştir.

Tablo 6.5. AlSi5 MIG telinin kimyasal içeriği

AlSi5 teli	Elementler (ağ%)	
	Si	Al
	4.50-6.00	Kalan

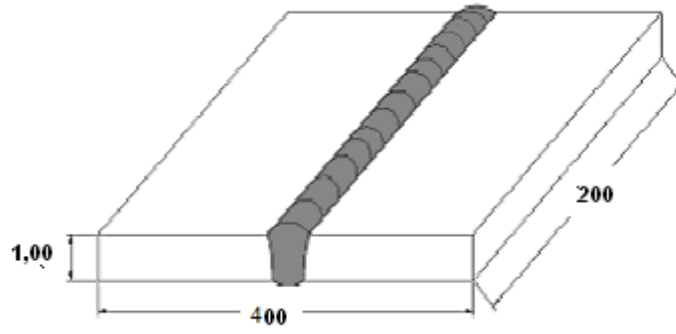
AlSi5, MIG kaynak teli TS 6204 EN ISO 18273 normuna göre S Al 4043 olarak kodlanmıştır. Telin mekanik özellikleri Tablo 6.6.'da verilmiştir.

Tablo 6.6. AlSi5 MIG telinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (N/mm)	Çekme Dayanımı (N/mm)	Uzama(%)
>40	>120	>8

6.3.1. Numune hazırlama

CMT işlemi öncesi 1.00 mm kalınlığında Alüminyum 6082 levhalar 200x200x1.00 mm ölçülerinde kesilerek aseton ile temizlenerek yağ ve kirden arındırılmıştır.



Şekil 6.1. 6082 Alüminyum levhanın numune ebatları

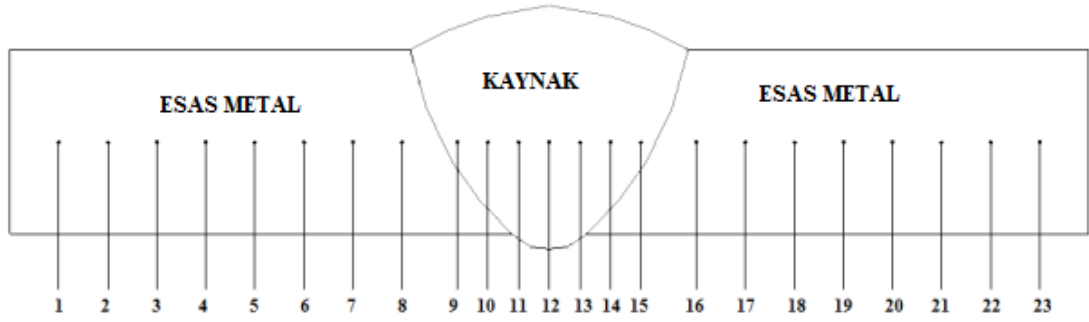
6.3.2. CMT işlemi

CMT işlemi Fronius A-4600 CMT kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma hassasiyetinden ötürü bir kaynak robotu kullanılmıştır. Birleştirmeler alın altına şeklinde uygulanmıştır. Numunelerde oluşabilecek çarpılma olayını azaltmak için vidalı kalıp sistemi yapılmış, numuneler bu kalıba bağlanarak CMT işlemi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalardaki kaynak ilerleme hızının sabit olması için kaynak robotu kullanılmıştır. Kaynak uygulamaları, farklı akım şiddetleri, ilerleme hızları, gaz debileri, torç açıları ve farklı kaynak telleri olmak üzere uygulanmıştır.

6.4. Sertlik Ölçümleri ve Isı Girdileri

CMT işlemi uygulanan numunelerin, esas metalden kaynak uygulanmış bölgeye kadar değişik özellikler gösteren yerlerinden mikro sertlik ölçümleri alınmış ve bunlar grafik olarak gösterilmiştir. Ölçümler 0,5 mm aralıklarla alınmıştır. Sertlik ölçümleri Şekil 6.2.'de gösterilen biçimde sıra-sertlik alımı şeklinde yapılmıştır.



Şekil 6.2. Alın birleştirme numunelerinde sertlik alınan noktalar.

Laboratuvar ortamında yapılmış olup bütün mikro sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmış, 100 gr yük ve piramit batıcı uç kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Wolpert-Wilson marka cihaz ile yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda CMT ile kaynak işlemi yapılan Alüminyum 6082 levhaların ısı girdisi hesaplarında kullanılan ısı girdisi formülleri aşağıda verilmiştir. Denklem 1.1 lineer ısı girdisi formülü ve denklem 1.2 normalize ısı girdisi formülüdür. Belirtilen denklemlerde yapılan işlemlerle lineer ve normalize ısı girdisi değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Isı Girdisi}_{\text{lineer}} = \frac{(60 \times A \times V) \times \eta}{\dot{I}.H. \times 1000} \quad (1.1)$$

A=Akım şiddeti (Amper), V= Gerilim (Voltaj), η = Kaynak akım verim katsayısı (MIG için 0,7), $\dot{I}.H.$ = İlerleme hızı(m/dk)

$$\text{Isı Girdisi}_{\text{normalize}} = \frac{\text{Isı girdisi}_{\text{lineer}}}{e} \quad (1.2)$$

e= Parça kalınlığı

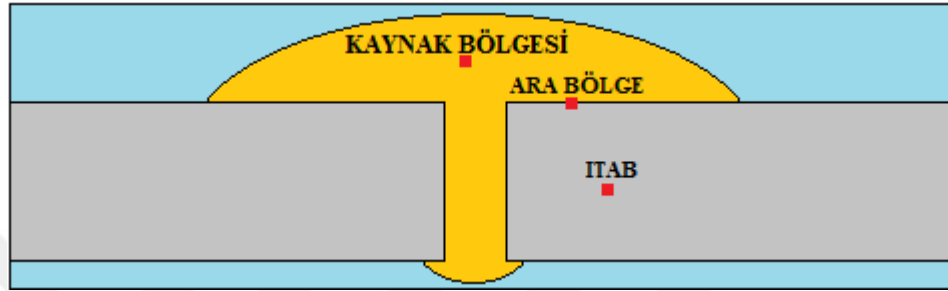
Şekil 6.3. Denklem 1.1 Lineer ısı girdisi, Denklem 1.2 Normalize ısı girdisi

6.5. Mikroyapı

6.5.1. Optik mikroskop mikroyapı incelemeleri

Yapılan çalışmada CMT ile kaynağı yapılmış Alüminyum 6082 levhalarının numuneler çıkartılmış ve metalografik işlemler sonucu optik mikroskopta mikroyapı

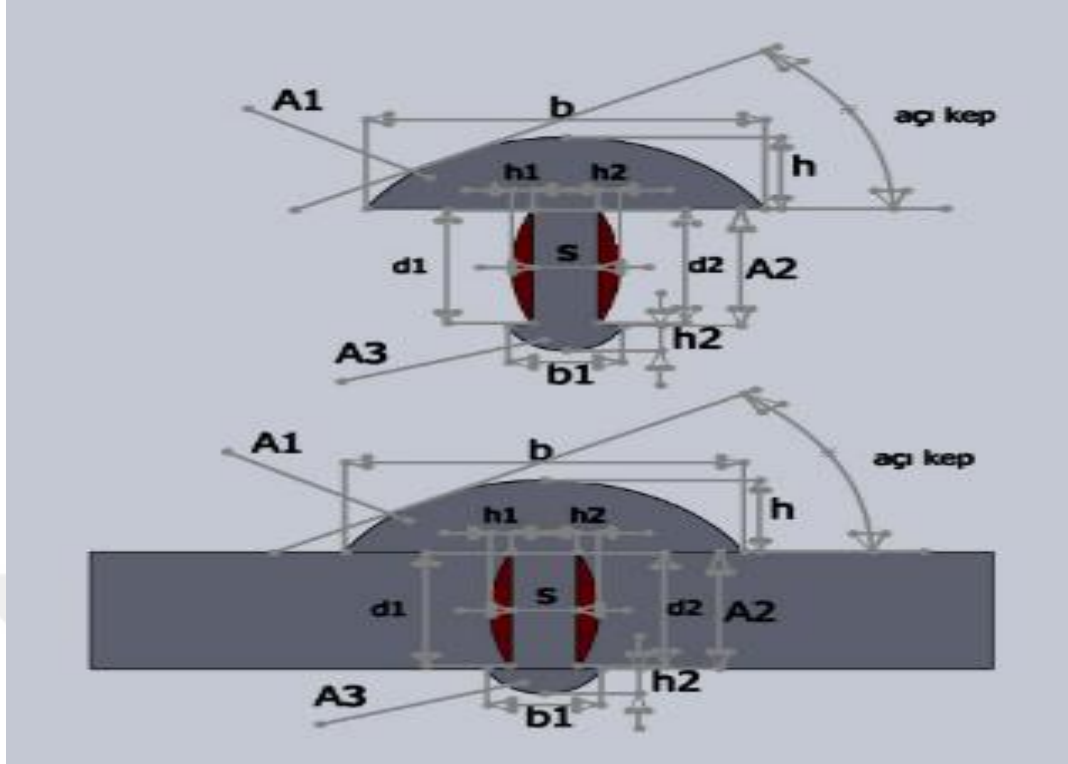
incelemeleri yapılmıştır. Numuneler sırasıyla 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 numaralı zımparalarda zımparalandıktan sonra $0,3 \mu\text{m}$ (Al_2O_3) alümina solüsyonu ile parlatılmış daha sonra (%3 HNO_3 , %2 HCL , %1 HF , %94 H_2O) içeren Keller dağlayıcısıyla 15sn dağlanmıştır. Hem düşük hem yüksek büyütmelerde çalışılmıştır. Mikroyapı çalışmaları Nikon marka optik mikroskopta yapılmıştır. Mikroyapı alınan noktalar Şekil 6.4.'de verilmiştir.



Şekil 6.4. Mikroyapı inceleme noktaları

6.5.2. Makroyapı

CMT kaynağıyla yapılan numunelerin makroyapı incelemeleri, CMT kaynağının CMT dikiş genişliği, kaynak dikiş yüksekliğinin ve kaynak ısılatma açılarının ölçülmesi, optimum kaynak parametrelerinin belirlenebilmesi için yapılmıştır. Makroyapı fotoğraflarında ölçümlerin alındığı bölgeler Şekil 6.5.'de alın alına birleştirme için verilmiştir.



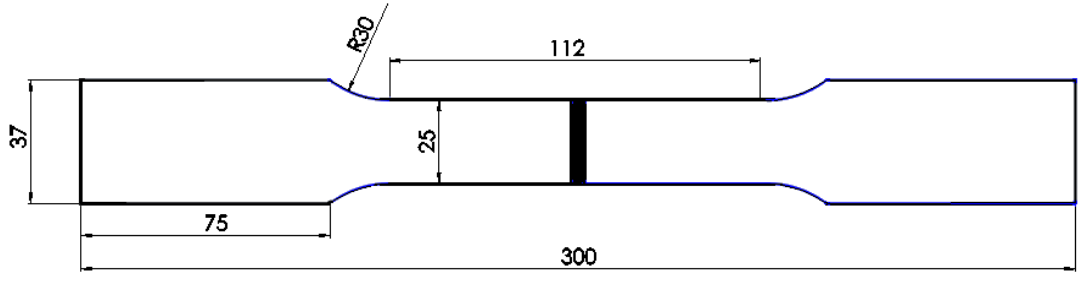
Şekil 6.5. Alın altına birleştirme numunelerinde ölçüm alınan noktalar [26].

6.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

CMT kaynak yöntemi uygulanan parçalardan hazırlanan numuneler taramalı elektron mikroskobunda ana malzeme, kaynak ve ITAB bölgeleri olmak üzere SEM görüntüleri çekilmiş ve aynı bölgelerden EDS (elektron kırınım spektroskopisi) analizleri alınmıştır. Bunun için VEGA TESCAN marka SEM cihazı kullanılmıştır.

6.6. Çekme Deneyi

CMT kaynağı ile birleştirilen Alüminyum 6082 levhanın mekanik özelliklerini belirlemek için 5 ton kapasiteli Shimadzu marka cihazla çekme testleri yapılmıştır. Çekme deney numuneleri EN 895 normu standardına göre hazırlanmıştır. Çekme deneylerinde kullanılan numune boyutları Şekil 6.6.'da verilmiştir. Çekme hızı 10mm/dk olarak sabit tutulmuştur. Deney esnasında, gerilme ve yüzde uzama değerleri bilgisayara numune çevresindeki problemler ile aktarılmıştır.



Şekil 6.6. Çekme deneyi numune boyutları



BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. 6082 Alüminyum Levhanın AlMg5 İlave Metali Kullanılarak CMT Kaynak Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri

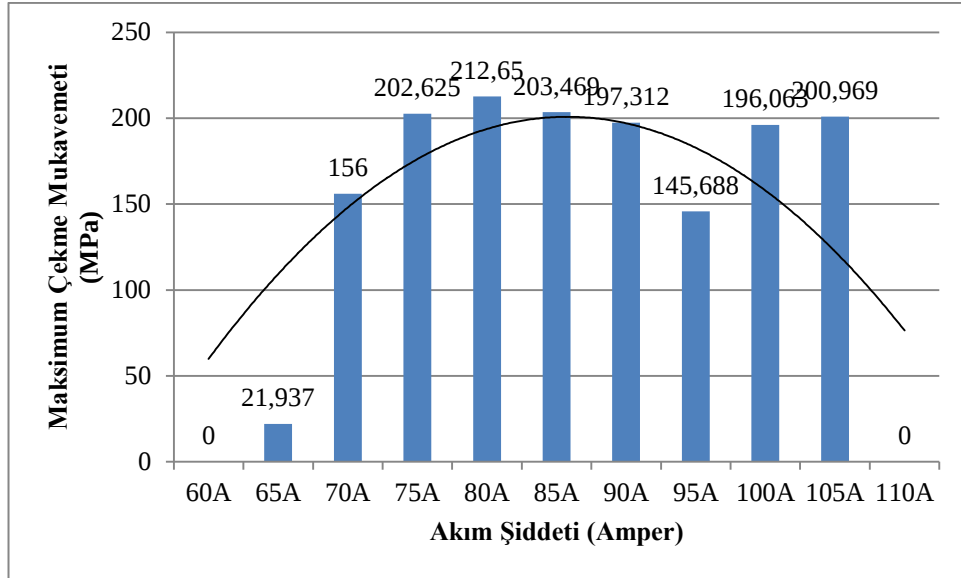
7.1.1. Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

7.1.1.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

6082 Alüminyum levhanın CMT kaynağında uygulanan farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemeti incelemek için akım parametreleri Tablo 7.1.'de verilmiştir. Akım şiddetleri 65 amperden başlayıp 110 amperde dahil olmak üzere çıkmıştır. 110 amperde akım şiddetine bağlı levhada erime ve delinmeler gözlenmiştir.

Tablo 7.1. Farklı akım şiddetlerinde kaynak parametrelerinin ve mekanik özelliklerine etkisi

ALÜMİNYUM 6082 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi[V]	Gaz debisi [L/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı[cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[Mpa]
60	3,7	6,8	12	Argon	20	0	0
65	4,3	7,1	12	Argon	20	0	21,937
70	4,8	7,4	12	Argon	20	0	156
75	5,4	7,7	12	Argon	20	0	202,625
80	6	8	12	Argon	20	0	212,65
85	6,5	8,4	12	Argon	20	0	203,469
90	7	8,8	12	Argon	20	0	197,312
95	7,5	9,1	12	Argon	20	0	144,594
100	8	9,5	12	Argon	20	0	196,063
105	8,3	9,6	12	Argon	20	0	200,969
110	8,6	9,7	12	Argon	20	0	0



Şekil 7.1. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği

Şekil 7.1.'de görüldüğü üzere akım şiddetine bağlı olarak çekme mukavemetlerinde değişim gözlenmiştir. 60 amperde kaynak tutmamış, 65 amperde en düşük çekme mukavemetine sahiptir 80 amperden itibaren çekme mukavemetinde düşme gözlenmiş ve ana malzemeden koptukları gözlenmiştir.

Bu nedenle çekme geriliminde kritik eşik 75 amper olarak görülebilmektedir. 80 ampere kadar artan mukavemet değeri daha sonra 85, 90 ve 95 amperlerde düşmüştür 95 amperde en düşük değer gözlenen çekme mukavemet değeri 100 ve 105 amperde yeniden artmıştır. 95 amperde görülen ani düşmenin kaynak hatası yada boşluktan olabileceği düşünülmektedir. Malzemedeki değişen mukavemet değerlerinin akım şiddetine bağlı ısı girdisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle alüminyum 6082 levhada uygulanabilecek optimum değer 75-80 A olduğu görülmektedir.

7.1.1.2. Kaynak hızının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

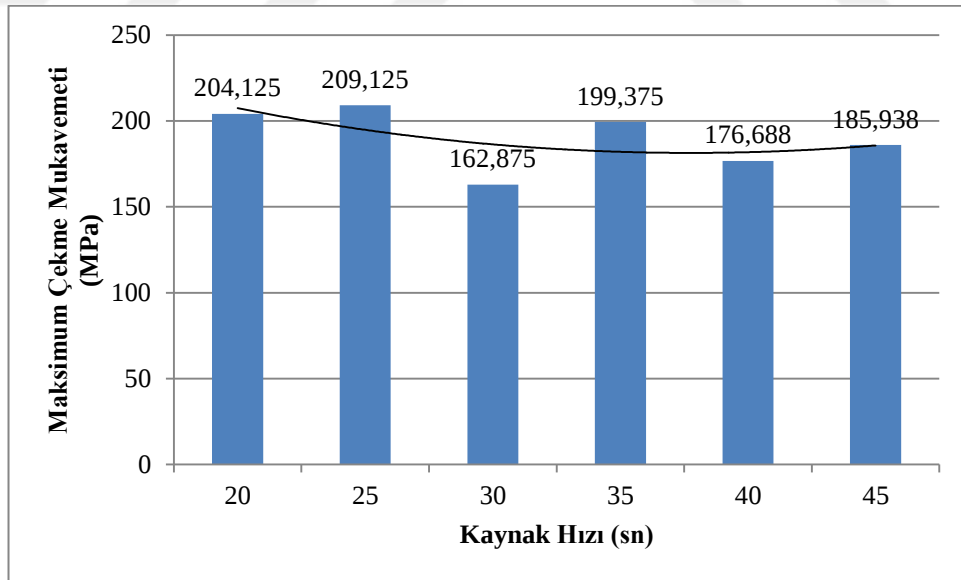
Alüminyum 6082 malzemesinin optimum akım şiddeti 75A olarak ve kaynak gerilimi 7,7V olarak belirlenmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak farklı kaynak hızlarındaki çekme mukavemeti değerlerini incelemek amacıyla Tablo 7.2.'de uygulanan kaynak hızları, kaynak akım şiddetleri, gaz debisi ve kullanılan gaz

verilmiştir. Kaynak hızının sabitlemek için kaynak robotu kullanılmıştır. Kaynak hızları 20 sn ile 45 sn aralığında uygulanmıştır.

Tablo 7.2. Farklı kaynak hızlarının kaynak parametreleri ve mekanik özelliklere etkisi

ALÜMİNYUM 6082 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi[V]	Gaz debisi [L/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı[cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[Mpa]
75	5,4	7,7	12	Argon	20	0	204,125
75	5,4	7,7	12	Argon	25	0	209,125
75	5,4	7,7	12	Argon	30	0	162,875
75	5,4	7,7	12	Argon	35	0	199,375
75	5,4	7,7	12	Argon	40	0	176,688
75	5,4	7,7	12	Argon	45	0	185,938

Farklı kaynak hızlarının çekme mukavemetleri Şekil 7.2.'de incelenmiştir. İncelenen malzemeler ana malzemedan koptuğu görülmüştür. Tablodaki verilere bakıldığında en yüksek çekme mukavemeti değerine 25 sn de ulaşılmıştır. Bu sebepten optimum kaynak hızı 25 sn olarak belirlenmiştir. Kaynak süresini arttıkça ısı girdisi artmıştır.



Şekil 7.2. Farklı kaynak hızlarında çekme mukavemeti grafiği

Farklı kaynak süreleri malzemenin koptuğu noktayı da etkilemiştir. Numuneler malzemedan kopmuştur fakat kopma mesafeleri farklıdır. İncelenen numunelerin kopma mesafeleri 5 mm ile 8 mm arasında değişmektedir.

7.1.1.3. Kaynak gaz debisinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

6082 Alüminyumun kaynağında optimum akım şiddeti 75A, kaynak gerilimi 7,7V ve kaynak hızı 25sn olarak belirlenmiştir. Bu verilen değerler sabit tutularak yapılan kaynak işlemlerinde farklı gaz debileri kullanılmıştır. Yapılan işlemlerde farklı gaz debileri kullanılarak optimum gaz debisi ve bu parametrenin mukavemete etkileri incelenmiştir.

Gaz debisi argon tüpü manometresinden ölçüldüğü gibi gaz kaçaklarının oluşması ihtimalide sayılarak, kaynak torcu ucundan gaz debileri ölçülerek kaynak işlemleri yapılmıştır.

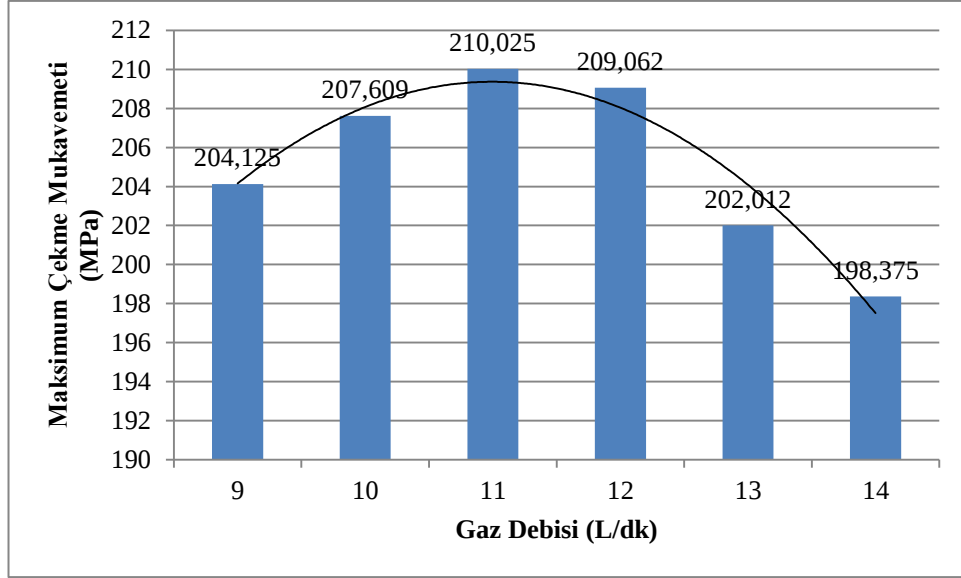
Tablo 7.3.'de 6082 alüminyumun farklı gaz debilerinde kaynak parametreleri ve çekme mukavemet değerleri verilmiştir.

Tablo 7.3. Farklı kaynak gaz debilerinde kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkisi

ALÜMİNYUM 6082 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi[V]	Gaz debisi [L/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı[cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk.[Mpa]
75	5,4	7,7	9	Argon	25	0	204,125
75	5,4	7,7	10	Argon	25	0	207,609
75	5,4	7,7	11	Argon	25	0	210,025
75	5,4	7,7	12	Argon	25	0	209,062
75	5,4	7,7	13	Argon	25	0	202,012
75	5,4	7,7	14	Argon	25	0	198,375

Tablo 7.3.'de görüldüğü üzere farklı gaz debileri ve çekme mukavemetleri incelendiğinde, kaynak gaz debisi değerlerinde, 11 L/dk ve 12 L/dk değerleri en yüksek çekme mukavemeti değerleri olarak gözlenmiştir.

Şekil 7.3.'de farklı gaz debilerinde maksimum çekme mukavemetleri grafiği bulunmaktadır.



Şekil 7.3. Farklı gaz debilerinde maksimum çekme mukavemetleri grafiği

Şekil 7.3.'deki grafik incelendiğinde 11 L/dk ve 12 L/dk gaz debilerinde en yüksek çekme mukavemet değerleri görülmüştür. Deney parçaları incelendiğın en yüksek çekme mukavemetine sahip iki numuneninde ana metalden koptuğu gözlenmiştir. Bu sebeple 6082 alüminyuma CMT kaynağı işleminde uygulanabilir optimum koruyucu gaz debisi 11 L/dk ve 12 L/dk olabileceğı düşünölmektedir.

7.1.1.4. Kaynak torç açısının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

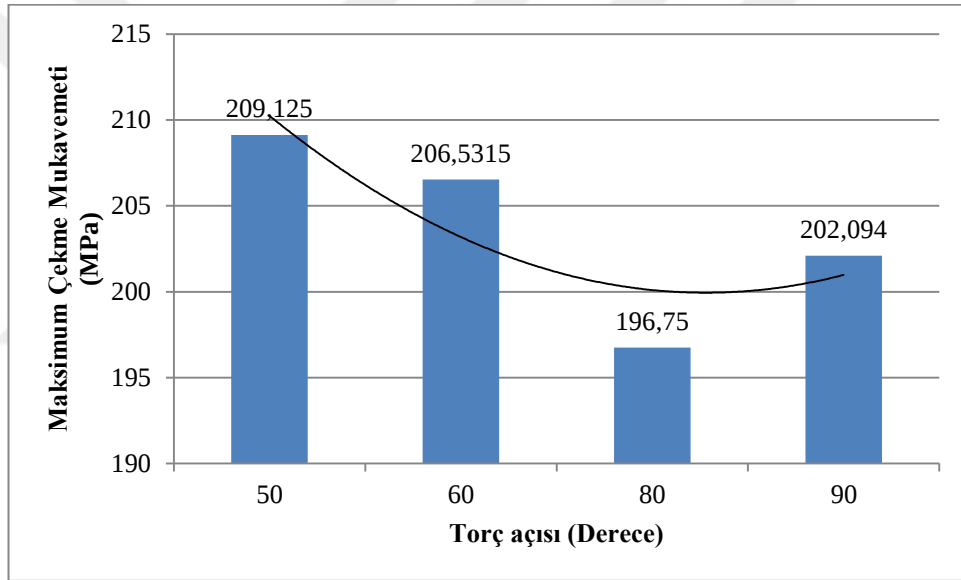
6082 Alüminyumun optimum akım şiddet 75A ve kaynak gerilimi 7,7V, kaynak hızı 25 sn ve gaz debisi 12 L/dk olarak belirlenmiştir. 6082 alüminyumun bu değerler sabitinde farklı torç açılarında mekanik değerlere etkisini ve optimum torç açısını belirlemek için farklı parametrelerde CMT kaynak uygulaması yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada kaynak esnasında torç açısında değışiklik olmaması için, CMT kaynak makinesinin torcunu sekatöre sabitlemek için sabitleyici aparatlar kullanılmıştır ve farklı torç açılarında kaynak işlemi yapılmıştır. Tablo 7.4.'de 6082 alüminyumun farklı torç açılarında kaynak parametreleri ve belirlenen çekme mukavemeti değerleri verilmiştir.

Tablo 7.4. Farklı kaynak torç açılarındaki kaynak parametreleri ve mekanik özelliklerine etkileri

ALÜMİNYUM 6082 CMT ALIN BİRLEŞTİRME								
Kaynak akım şiddeti [A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi[V]	Gaz debisi [L/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı [cm/dk]	Kaynak aralığı [mm]	Torç açısı [derece]	Max. Çekme Muk. [Mpa]
75	5,4	7,7	12	Argon	25	0	50	209,125
75	5,4	7,7	12	Argon	25	0	60	206,5315
75	5,4	7,7	12	Argon	25	0	80	196,75
75	5,4	7,7	12	Argon	25	0	90	202,094

Şekil 7.4.'de farklı kaynak torç açılarındaki maksimum çekme mukavemeti değerleri verilmiştir.



Şekil 7.4. Farklı kaynak torç açılarındaki çekme mukavemeti grafiği

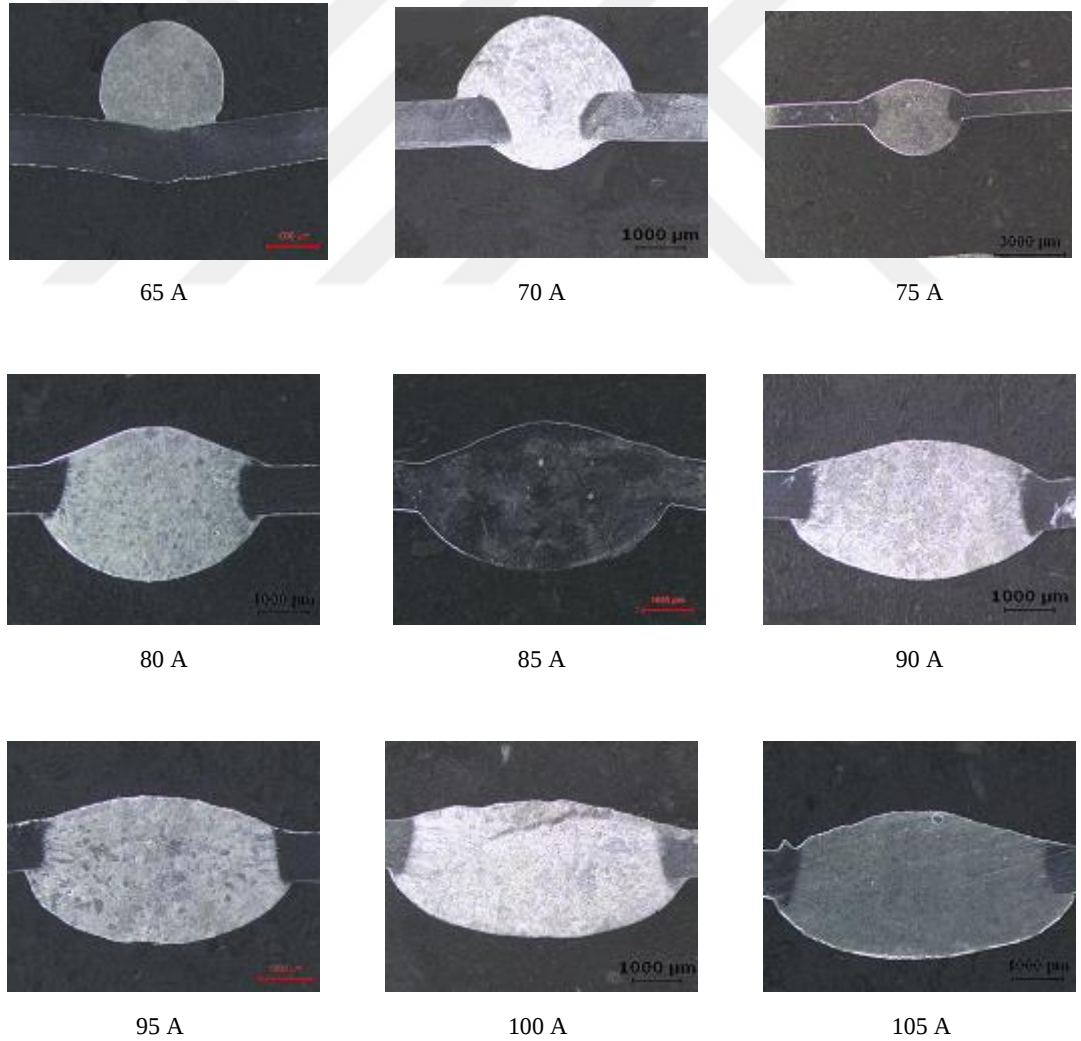
Elde edilen çekme mukavemet değerleri incelendiğinde, kaynak torç açısı değeri 50°'de 209,125 MPa değeri ile en yüksek çekme mukavemeti olarak belirlenmiştir. En düşük çekme mukavemeti değeri 80° torç açısında 196,75 MPa ile ölçülmüştür. Elde edilen çekme değeri 50° torç açısına göre çekme mukavemeti değeri %5,92 azalmıştır. Elde edilen çekme mukavemet değerleri incelendiğinde en uygun kaynak torç açısı değerinin 50° olması düşünülmüştür.

7.1.2. Kaynak parametrelerinin kaynak geometrisine etkisi

7.1.2.1. Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisi

CMT kaynağı ile birleştirilmiş olan 6082 alüminyumun farklı kaynak akım şiddetlerinin kaynak geometrisine olan etkisini incelemek için kaynak yapılmış parçalardan alınmış numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiş, makro ölçümler yapılmış ve ulaşılan bilgilerden grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerde 6082 alüminyum için en uygun akım şiddeti bulunmaya çalışılmıştır.

Şekil 7.5.'de farklı akımlarda CMT kaynak numunelerinin makro yapıları verilmiştir.

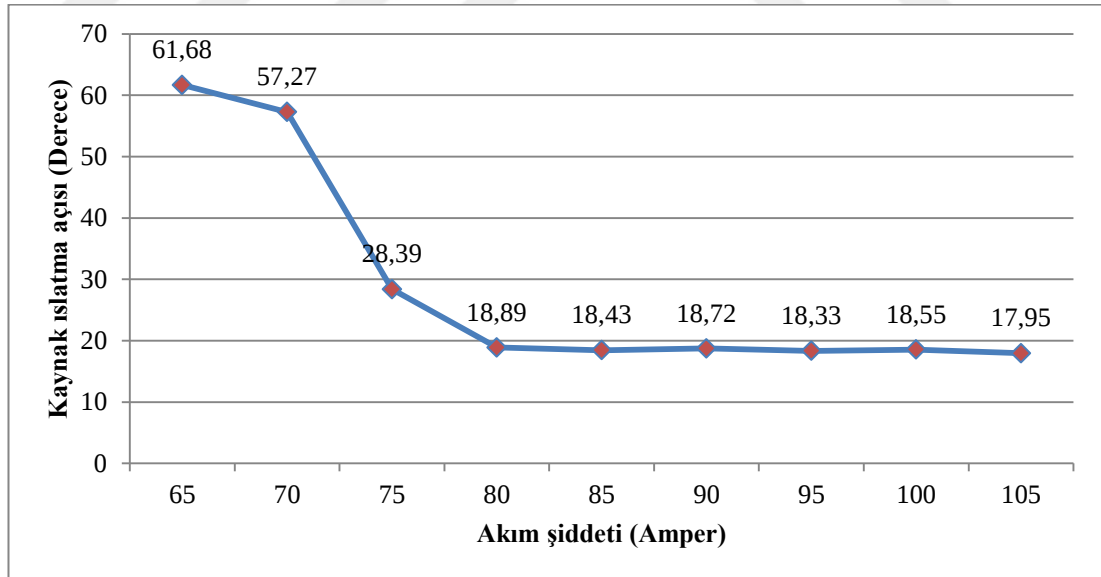


Şekil 7.5. Farklı akım şiddetlerindeki geometriler

Yukarıda Şekil 7.5.'de görüntüleri verilen numuneleri incelediğimizde 65A akım şiddeti değerinde kaynak ilave metalinin ana metalin üstünde damlacık şeklinde toplandığını ana metale sadece yapıştığını ve hiçbir şekilde nüfuz etmediğini görebiliyoruz. 70A akım şiddetinden itibaren ıslatma kabiliyetinde artmış olduğunu ve özelliğin iyileşmeye başladığını görebiliriz. 75A ve 80A akım şiddeti değerlerinde ıslatma kabiliyetini kabul edilebilir bir düzeyde olduğu görülmektedir. 85A akım şiddeti değerinden itibaren ise ıslatmanın arttığını ilave metalin ana metal üzerine doğru yayıldığı ve kökte aşırı nüfuziyete doğru ilerlediği görülmektedir.

Farklı akım şiddetlerinde incelenen 6082 alüminyum malzemenin kaynaklanmış bağlantılarının makro görüntülerinden ıslatma açısı, kaynak kep genişliği ve kaynak kep yükseklikleri grafikler üzerinden gösterilerek mukavemet ile olan bağlantıları incelenmiştir.

6082 Alüminyumun CMT kaynağı ile yapılan 65A akım şiddeti ile 105A akım şiddeti arasında olan ıslatma açısı grafiği Şekil 7.6.'da verilmiştir.

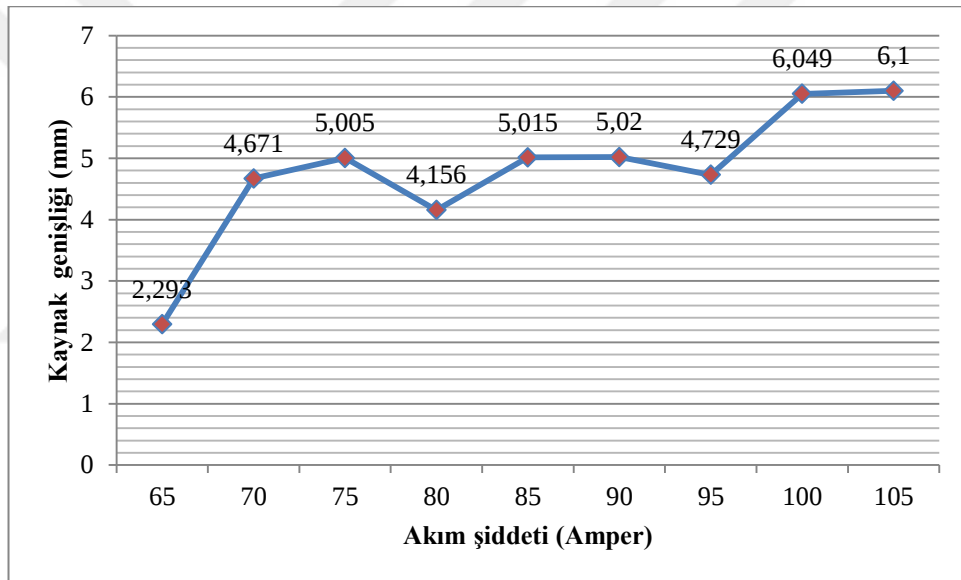


Şekil 7.6. Farklı akım şiddetlerinde kaynak ıslatma açısı grafiği

Grafikteki eğim çizgisinden görüldüğü üzere akım şiddeti arttıkça ıslatma açısı azalmaktadır. Grafikteki akım şiddeti ve ıslatma açısı arasındaki bağı incelediğimizde 65A ve 70A akım şiddetlerinde CMT kaynağı ile birleştirilen

parçaların ısılatma açıları 30° den büyük oldukları belirlenmiştir. Bu sebeple değerler arasında kullanılan akım şiddetlerinde ısılatma açısı değerleri uygun olmadığı görülmüştür. 75A akım şiddeti değeri ve üstündeki akım şiddeti değerleri 30° ısılatma açısından küçük oldukları tespit edilmiştir. Bu nedenden dolayı 75A akım şiddeti ve üstündeki değerlerde ısılatma açısı verilerinin uygun oldukları görülmektedir. Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmaktadır ve artan ısı girdisine bağlı olarak ısılatma açısının düştüğü düşünülmektedir.

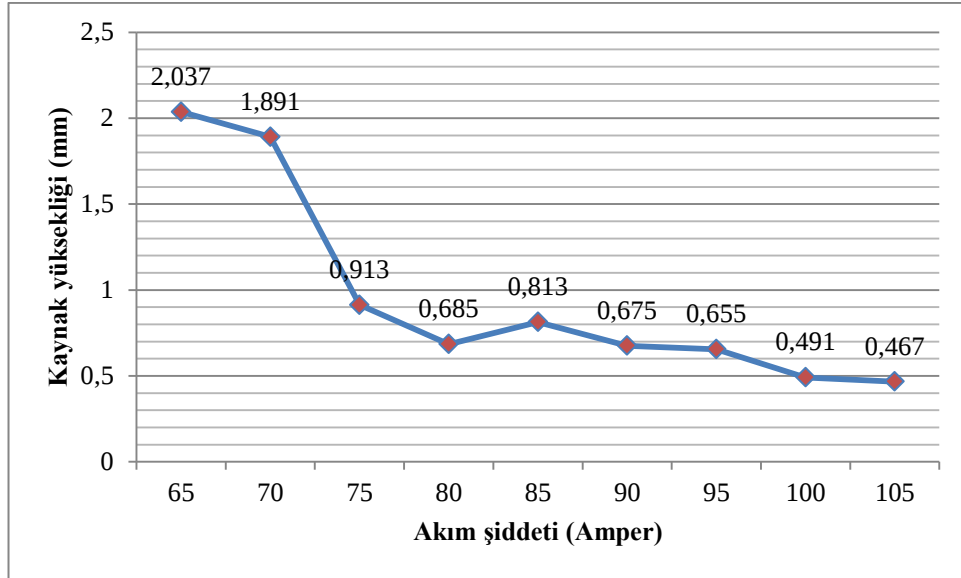
6082 Alüminyumun değişen akım şiddetlerine bağlı olarak kaynak kepi genişliği Şekil 7.7.'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7.7. Farklı akım şiddetlerinde kaynak genişliği grafiği

Şekil 7.7.'deki grafik incelendiğinde kaynak akım şiddeti attıkça kaynak genişliğinde arttığını görülmüştür. 65A akım şiddetinde kaynak genişliği 2 mm iken 105A akım şiddetinde 6 mm görülmüştür.

Şekil 7.8.'de ise akım şiddeti ve kaynak yüksekliği arasındaki bağlantıyı gösteren grafik verilmiştir.



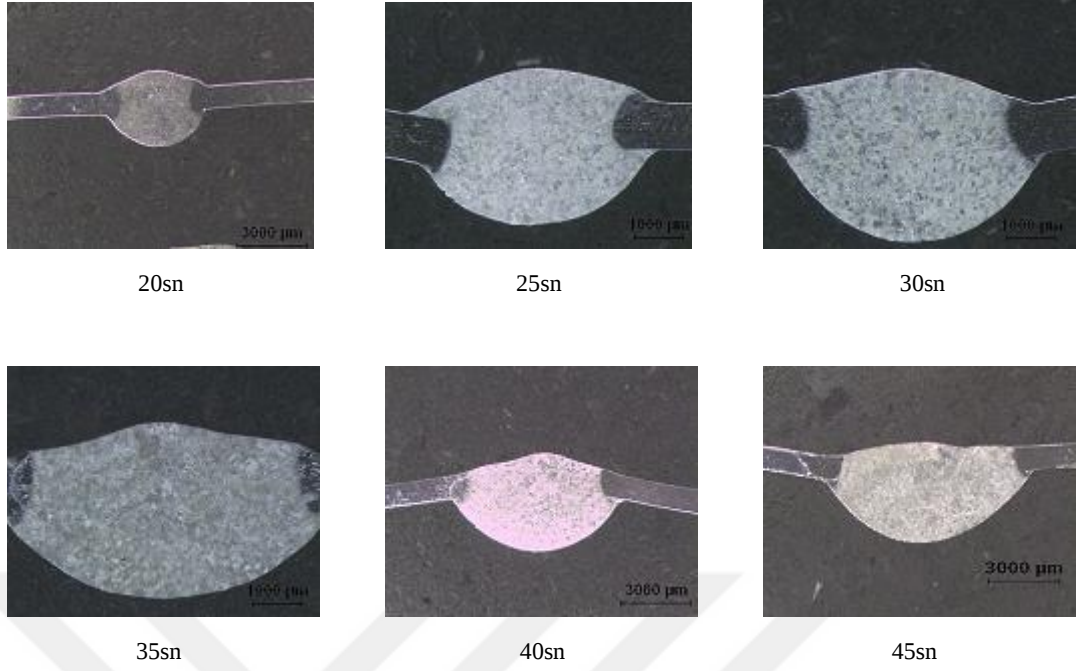
Şekil 7.8. Farklı akım şiddetlerinde kaynak yüksekliği grafiği

Şekil 7.8.'deki grafik incelendiğinde kaynak akım şiddeti arttıkça kaynak yükseklik değerinin azaldığı görülmektedir. Artan akım şiddeti kaynak telinin ısı girdisini artırmaktadır bu durumda ısılatma özelliği artırdığı ve bağlı olarak kaynak yüksekliği azalmasını sağladığı düşünülmektedir.

7.1.2.2. Kaynak hızının kaynak geometrisine etkisi

Kaynak geometrisine kaynak hızının etkisini araştırmak için AlMg5 ilave metali kullanılarak farklı kaynak hızları uygulanan 6082 alüminyum numunelere ait makro resimler çekilmiş, makro ölçümler yapılmış ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiş 6082 alüminyum için en uygun kaynak hızı belirlenmeye çalışılmıştır.

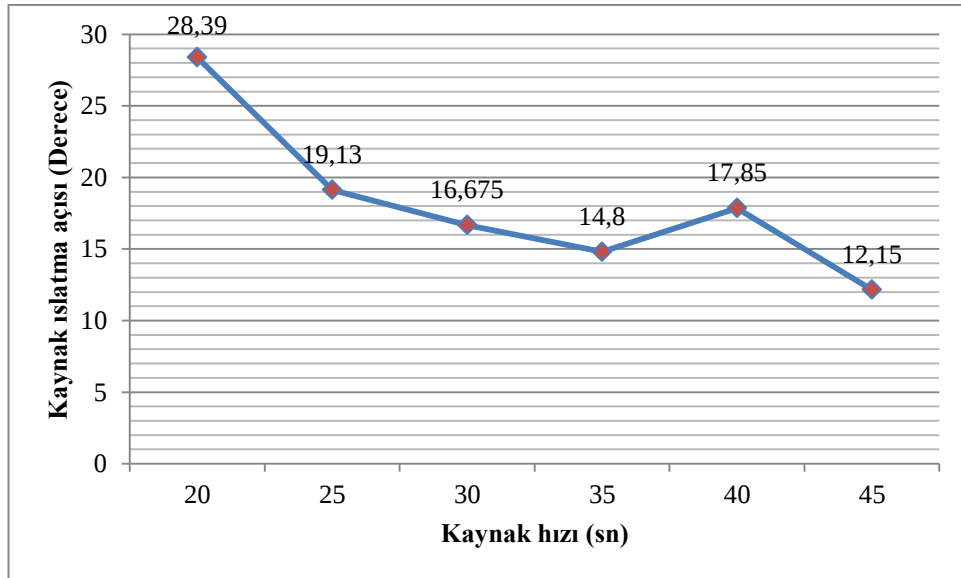
Şekil 7.9.'da kaynak akım hızı parametrelerine göre CMT kaynak numunelerin makroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.9. Farklı kaynak hızlarında makro görüntüleri

İncelenen tüm değerlerde ıslatma kabiliyetinin iyi olduğu görülmekte ilave metalin fazla miktarda olması ana metalin altına nüfuziyet artmakta ve sakal oluşturmaktadır. 25sn ilerleme hızının optimum olduğu düşünülmektedir.

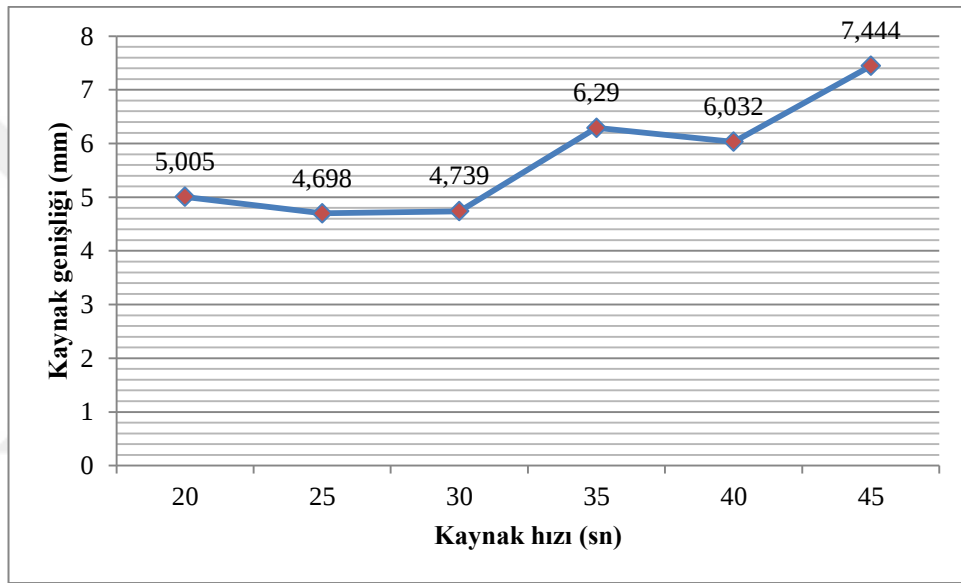
Şekil 7.10.'da farklı kaynak hızlarında ıslatma açısı grafiği görülmektedir.



Şekil 7.10. Farklı kaynak hızlarında ıslatma açısı grafiği

Grafik incelendiğinde tüm ıslatma açılarının ıslatma kabiliyeti 30° altında görülmüştür. Kaynak hızı arttıkça veya kaynak süresi arttıkça ıslatma açılarında azalma görülmektedir. Islatma açıları kıyaslandığında 25sn kaynak hızının optimum kaynak hızı parametresi olarak düşünülmektedir. Kaynak hızı arttıkça veya kaynak süresi arttıkça ilave telde ısı girdisi artmıştır ve kaynak köküne doğru nüfuziyet fazlalaşmıştır.

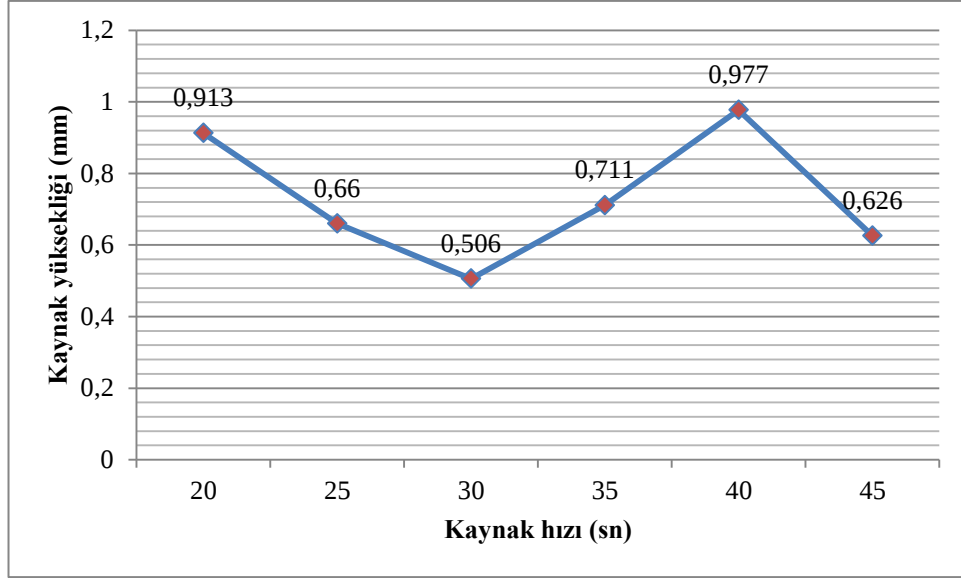
Şekil 7.11.'de Farklı kaynak hızlarında kaynak genişliği görülmektedir.



Şekil 7.11. Farklı kaynak hızlarında kaynak genişliği grafiği

Grafik incelendiğinde kaynak hızı veya kaynak süresi arttıkça kaynak genişliği arttığını görüyoruz. Bunun sebebi hızdaki veya süredeki değişimin ilerlemeyi etkilediği yavaşlayan ilerlemenin daha çok ilave teli artan ısı girdisiyle yaydığını düşünüyoruz. Bu aynı zaman nüfuziyeti de etkileyen bir durum ve kaynak kökünde sakalı arttırdığını görebiliyoruz.

Şekil 7.12.'de kaynak hızı ve kaynak yüksekliği arasındaki ilişkiyi inceleyen grafik görülmektedir.



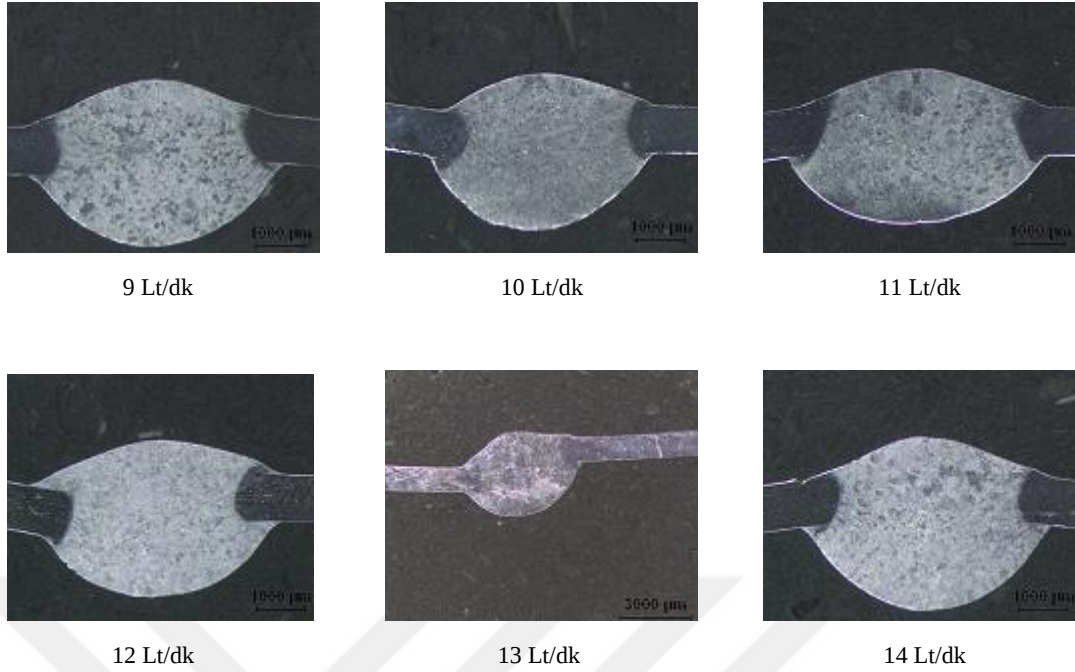
Şekil 7.12. Farklı kaynak hızlarında kaynak yüksekliği grafiği

Şekil 7.12.'de grafik incelendiğinde kaynak hızı değişiminde 30sn kaynak hızına kadar kaynak yüksekliği düştüğü görülmüştür. 35sn ve 40sn sürelerde kaynak yüksekliği arttığı dikkat çekmiştir. Bunun sebebi olarak artan ısı girdisi numunede çarpılmaya sebep olmuş olabilir ve kaynak yüksekliğini etkilemiş olabilir nitekim 45 sn kaynak hızında tekrardan kaynak yüksekliğinin düştüğü görülmektedir.

7.1.2.3. Kaynak gaz debisinin kaynak geometrisine etkisi

Kaynak akım şiddetleri ve kaynak gerilimlerine göre belirlenen parametrelerden 6082 alüminyum parçalara en uygun akım şiddeti 75A, kaynak gerilimi 7,7V, kaynak hızı 25sn olarak belirlenerek, diğer bir parametre olan kaynak gaz debisi parametreleri uygulanarak makro görüntüleri incelenmiştir.

6082 Alüminyum için kaynak gaz debisi parametrelerine göre CMT kaynak numunelerinin makroyapı görüntüleri Şekil 7.13.'de verilmiştir.

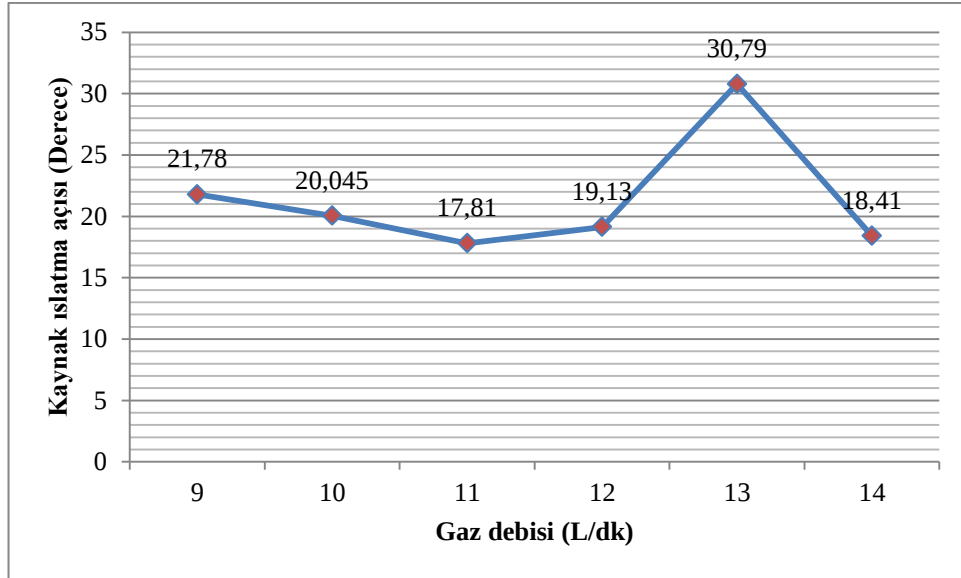


Şekil 7.13. Farklı kaynak gaz debilerinde makro görüntüleri

Şekil 7.13.'de makro görüntüler incelendiğinde genel olarak ısılatma özelliklerinin iyi oldukları gözükmemektedir. 12 L/dk itibaren gaz debisi malzemede hafif bir çarpılma yapmış ve 13 L/dk gaz debisinde malzeme çarpılması net bir şekilde gözükmemektedir. 14 L/dk gaz debisinin tekrardan bir düzelme gözükmemektedir ve aynı gaz debisinde aşırı nüfuziyet gözükmemektedir. 11 Lt/dk ve 12 Lt/dk gaz debilerinde ısılatma kabul edilebilir gözükmemektedir. Ama genel olarak bütün gaz debilerinde kaynak kökünde aşırı nüfuziyet gözükmemektedir.

Kaynak gaz debisi farklarına göre 6082 Alüminyum malzemelerin ısılatma açısı, kaynak kep genişliği ve kaynak kep yükseklikleri grafikler üzerinden gösterilerek incelenmiştir.

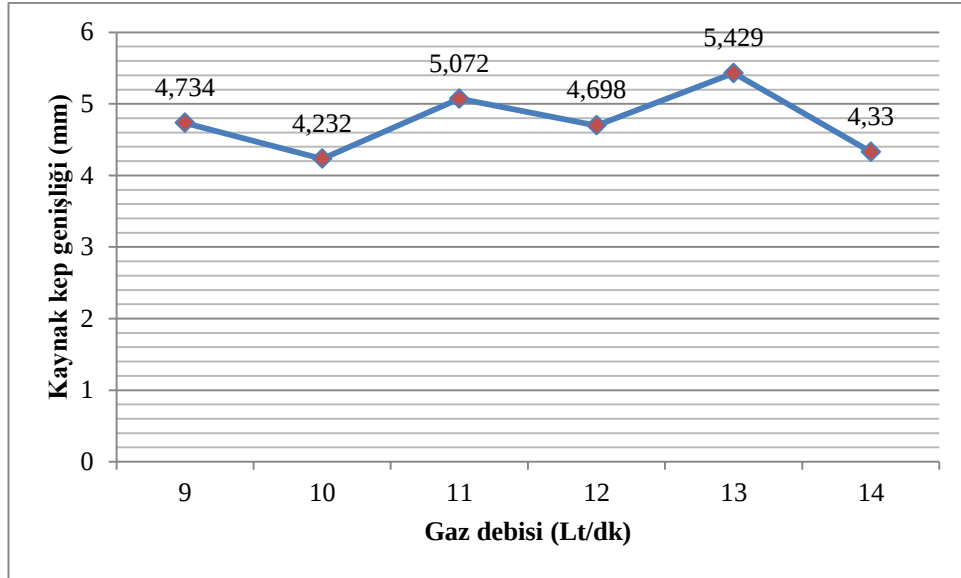
Şekil 7.14.'de CMT kaynak uygulanmış 6082 Alüminyum için kaynak gaz debisine bağlı kaynak kepi ısılatma açısı gaz debisi grafiği verilmiştir.



Şekil 7.14. Farklı gaz debilerinde ıslatma açısı grafiği

Şekil 7.14.'deki grafik incelendiğinde genel olarak ıslatma açılarının 20° açlarına yakın veya altında gözükmektedir sadece 13 L/dk gaz debisinde ıslatma açısı 30° üstünde gözükmektedir. Fakat ıslatma açılarının bulunduğu bu değerler ıslatma özellikleri için uygun olduğunu düşündürmektedir. Bu sebeple uygulanan kaynak akım şiddeti, kaynak gerilimi ve kaynak hızı değerleri uygun görülen ıslatma açısına yakınlık gösterdiğini düşündürmektedir.

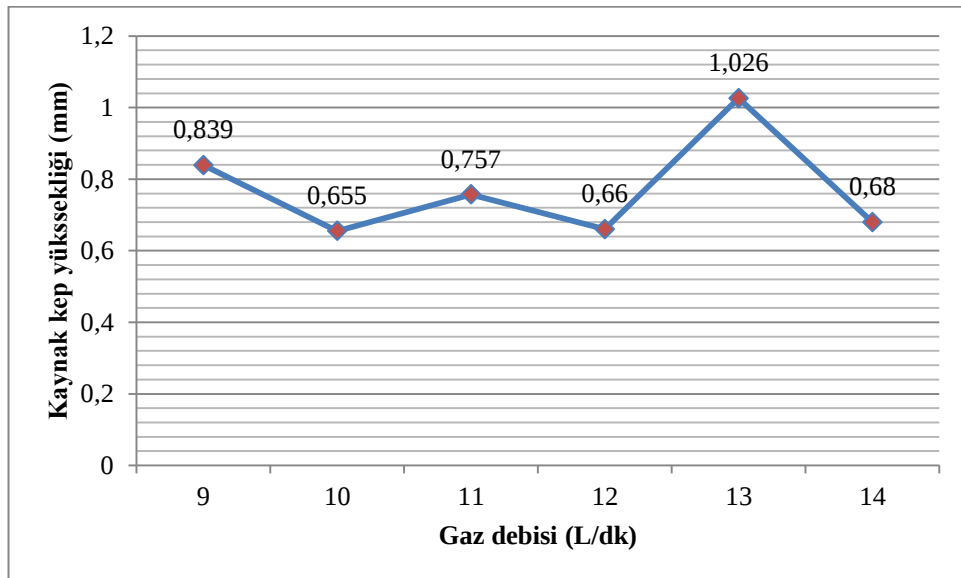
Şekil 7.15.'de 6082 Alüminyumun CMT kaynağı ile yapılan farklı gaz debilerine bağlı kaynak kepi genişliği grafiği verilmiştir.



Şekil 7.15. Farklı gaz debilerin kaynak kep genişliği grafiği

Grafik incelendiğinde gaz debisine bağlı olarak kaynak genişliğinin 4 mm ile 5,5 mm arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 7.15.'de mukavemet değerleri incelendiğinde en yüksek mukavemetin 12 L/dk'daki mukavemet değeri gözükmemektedir. Burada kaynak aralığı 4,5 mm ve 4,7 mm aralığındadır.

Şekil 7.16.'da farklı kaynak gaz debisi kaynak yüksekliği grafiği görülmektedir.



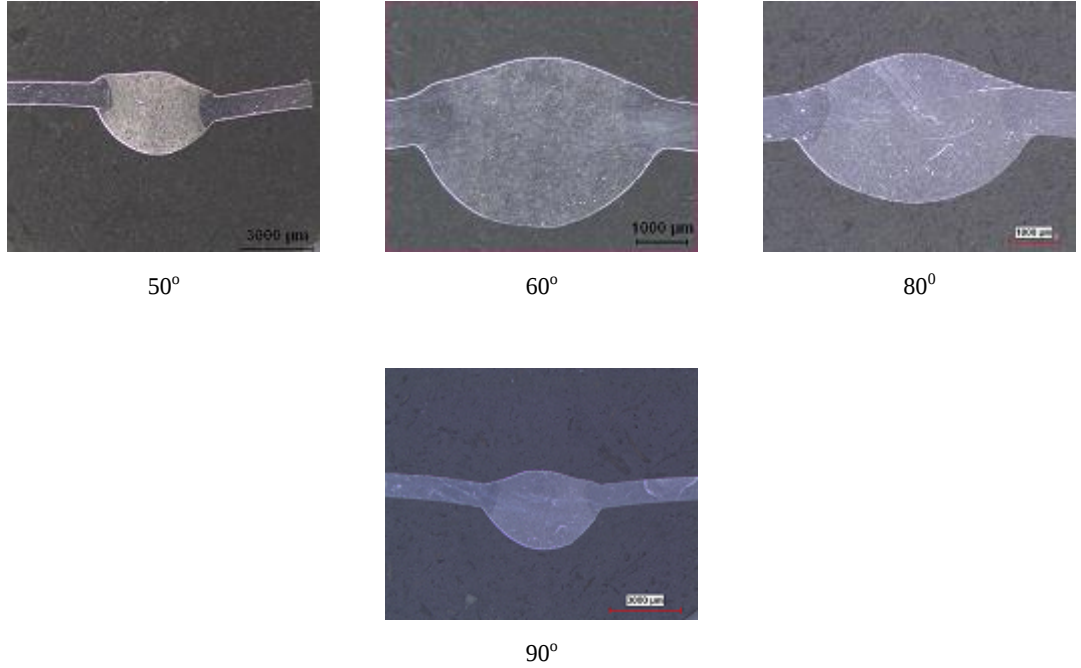
Şekil 7.16. Farklı gaz debilerinde kaynak kep yüksekliği

Şekil 7.16.'da grafik incelendiğinde kaynak yüksekliği en yüksek 13 L/dk gaz debisinde, en düşük 10 Lt/dk gaz debisinde gözükmemektedir. Kaynak kökünde aşırı nüfuziyet Şekil 7.16.'daki makro görüntülerden anlaşılmaktadır. 10 L/dk'dan itibaren gaz debisindeki artış kaynak kepi yüksekliğinde bir baskı etkisi yaptığı düşünülebilir, bu etkide kaynak genişliğini ve kaynak ıslatma açısını etkilemiş olabileceği düşünülmektedir.

7.1.2.4. Kaynak torç açılarının kaynak geometrisine etkisi

6082 alüminyum için belirlenen en uygun kaynak akım şiddeti 75A, kaynak gerilimi 7,7V, kaynak hızı 25sn, kaynak gaz debisi 12 L/dk belirlenerek, bir diğer parametre olan kaynak torç açısı parametreleri uygulanarak 6082 Alüminyum malzemelerin makro görüntüleri incelenmiştir. Makro görüntülerinden ıslatma açısı, kaynak kep genişliği ve kaynak kep yüksekliği grafikler üzerinden gösterilmiştir.

Kaynak torç açısı parametrelerine göre CMT kaynak numunelerinin makroyapı görüntüleri Şekil 7.17.'de verilmiştir.

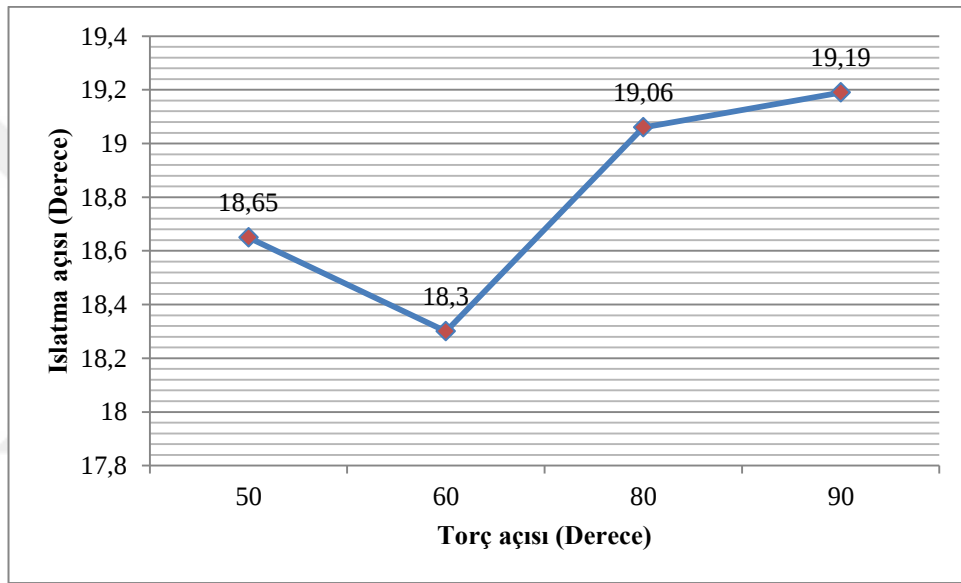


Şekil 7.17. Farklı kaynak torç açılarında makro görüntüleri

Şekil 7.17.'de makro yapıları verilen 6082 alüminyum malzemelerin görüntüleri incelendiğinde farklı torç açılarında kaynaklanan numunelerin tüm parametrelerde kayna geometrilerinin birbirine benzediğin görülmektedir.

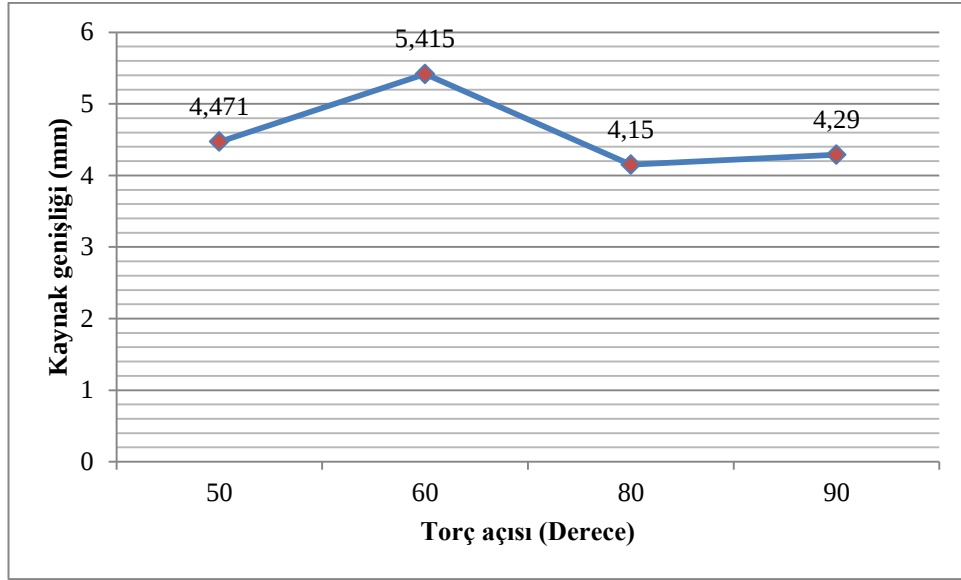
Farklı kaynak torç açılarına göre kaynağı yapılan 6082 Alüminyum malzemenin ıslatma açısı, kaynak kep genişliği ve kaynak kep yüksekliği incelenmiştir.

Şekil 7.18. farklı kaynak torç açılarına göre ıslatma açısı grafiği görülmektedir.



Şekil 7.18. Farklı kaynak torç açılarında ıslatma açısı grafiği

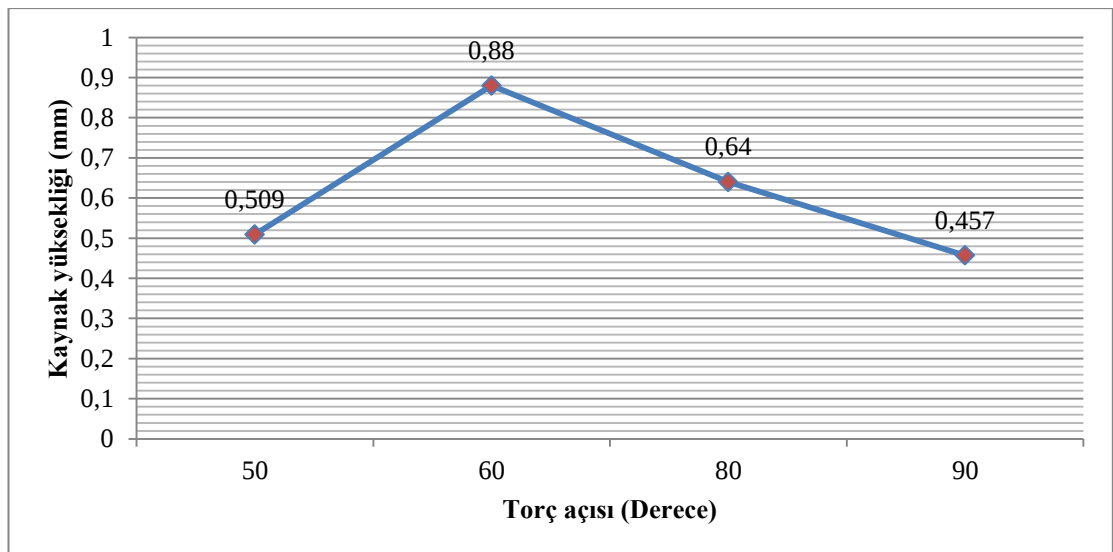
Şekil 7.18.'de CMT kaynağı yapılmış olan 6082 Alüminyum malzemenin değişen torç açılarına bağlı kaynak ıslatma açısı grafiği verilmiştir. 50°, 60°, 80° ve 90° torç açıları uygulanan malzemelerin kaynak ıslatma açıları 18° ile 20° arasında olduğu görülmektedir. Şekil 7.19. Kaynak torç açısı ve kaynak genişliği grafiği verilmektedir.



Şekil 7.19. Farklı kaynak torç açılarında kaynak genişliği

Grafikte görüldüğü üzere kaynak torç açısındaki değişime göre kaynak genişliği 60° torç açısında artmış daha sonra 80° ve 90° torç açılarında 50° torç açısına göre çok az oranda azalmaktadır. Grafikteki kaynak genişliği 4,5 – 5,5 mm aralığında olduğu gözlenmiştir. Bu değer aralıkları diğer parametrelerdeki değerlere de uygunluk göstermiştir.

Şekil 7.20.'de kaynak torç açısı ve kaynak yüksekliği arasındaki ilişkiyi inceleyen grafik gösterilmektedir.



Şekil 7.20. Farklı torç açılarında kaynak yüksekliği grafiği

Şekil 7.20.'deki grafik incelendiğinde kaynak yüksekliğinde 60° torç açısında bir artış gözükmüş arında 80° ve 90° torç açılarında, 50° torç açısına yaklaşımıştır bunun sebebi olarak kaynak torç açısında malzemeye göre atan torç açısına bağlı kaynak nüfuziyeti olduğu düşünülmektedir.

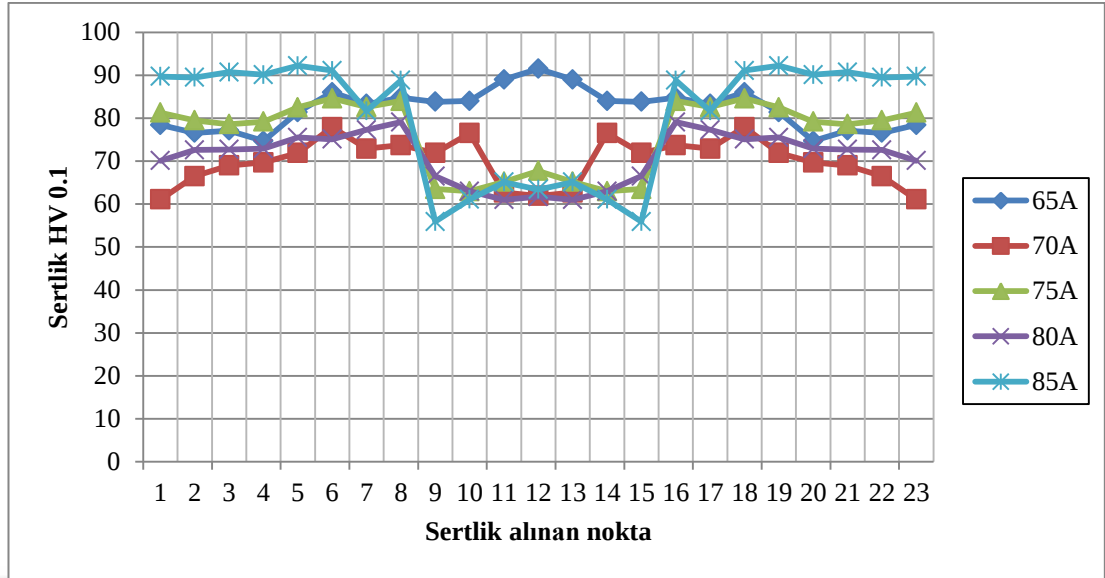
Sonuç olarak; kaynak torç açısının ısılatma açısına, kaynak genişliği, kaynak yüksekliğinin kaynak geometrileri üzerindeki etkisi akım şiddeti, kaynak süresi, gaz debisine göre daha az olduğu görülmektedir.

7.1.3. Kaynak parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi

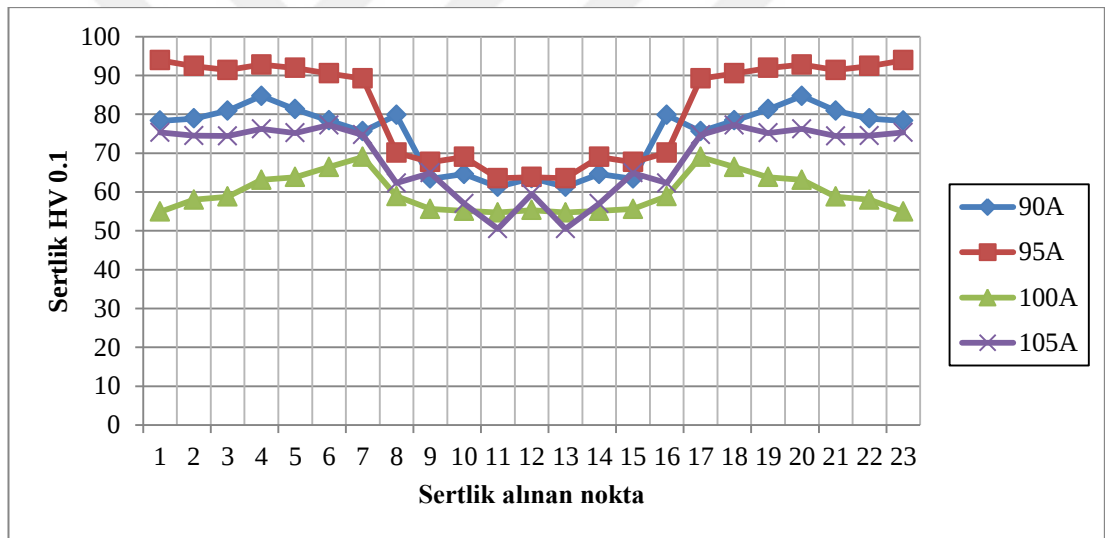
7.1.3.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı akım şiddetlerinde elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 7.21. ve Şekil 7.22.'de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olarak üç bölümden oluşmaktadır. Grafikler incelendiğinde sertlik değerlerinin kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru değiştiğini görmekteyiz. Sertlik değerlerinin düşük olduğu bölgeler AlMg5 ilave teli ile kaynak olan bölge daha sonra ana malzeme en son olarakda ITAB bölgesi diyebiliriz.

Şekil 7.21. ve Şekil 7.22.'deki grafikleri incelediğimizde 65, 70, 75, 80 ve 85A değerlerinde akım şiddetlerine bağlı sertlik bölgelerinde farklılıklar olmaktadır. ITAB bölgelerinde sertlikler akım şiddeti ile beraber artmaktadır. Kaynak bölgesindeki sertlik değerleri ana malzemedan düşük kalmaktadır. 65A değeri bu değerlendirmeye uymamaktadır. Bu değerde kaynak damlacık halde ana malzeme üstünde toplandığı için sertlik değeri ana malzemedan yüksek çıkmaktadır. 70A akım şiddetinde sertlikler birbirine yakın çıkmaktadır. 75A ve 80A akım şiddeti değerlerinde kaynak metalinin sertlik değeri ana metalin sertlik değerlerinden düşük çıkmıştır. Akım şiddeti arttıkça sertlik artışını 85A değerinde de görebiliriz.



Şekil 7.21. 65A, 70A, 75A, 80A, 85A kaynak akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları



Şekil 7.22. 90A, 95A, 100A, 105A kaynak akım şiddetlerinde mikrosertlik noktaları

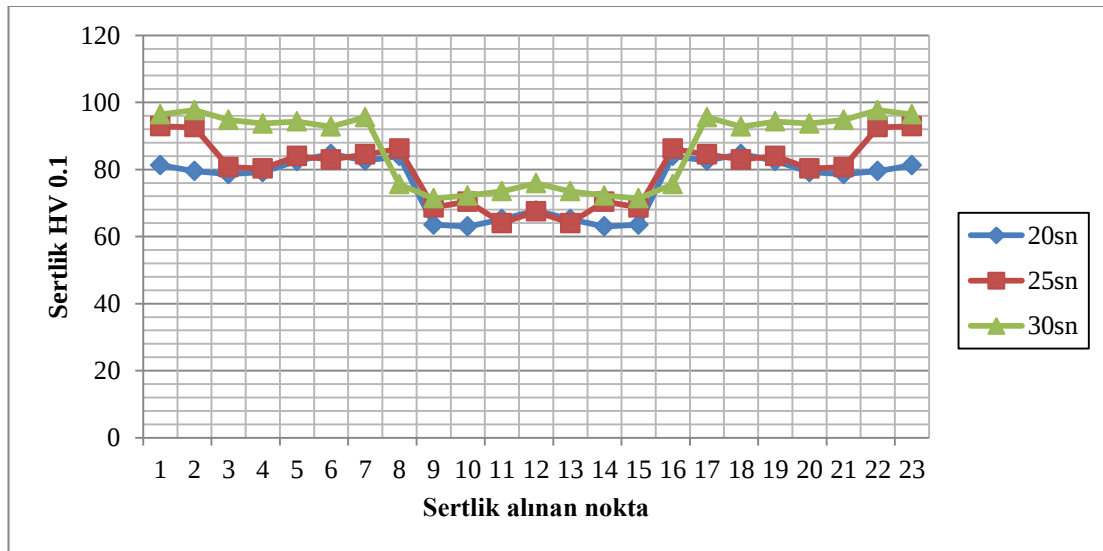
90A, 95A, 100A ve 105A akım şiddeti değerlerinde genel olarak akım şiddetiyle sertlik oranının arttığını görebiliriz. ITAB bölgelerindeki sertlik değerleri kaynak bölgesi ve ana metalin sertlik değerlerine göre daha yüksek çıkmaktadır. 95A akım şiddeti değerinde sertlik değerlerinin en üst noktaya çıktığını görebiliriz. 105A akım şiddeti değerinde artan ısı girdisine bağlı olarak ana metal sertlik değerinin kaynak metali ve ITAB bölgesine göre daha yüksek olduğuda görülmektedir.

Genel olarak tüm akım şiddeti değerlerinde kaynak bölgesinin sertlik değerleri ITAB bölgesinin sertlik değerlerinden düşük çıktığı grafiklerde gözükmemektedir.

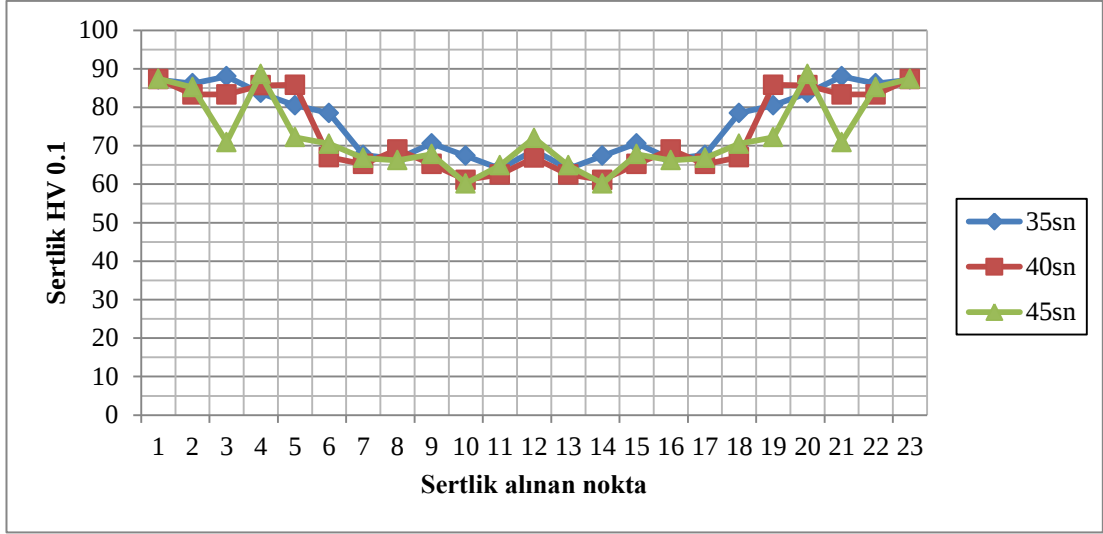
İlave dolgu teli AlMg5 bölgesinden alınan sertlik değerlerinde akım şiddetine bağlı olarak sertlik değerleri de artmaktadır. Akım şiddetine bağlı olarak ısı girdisi artar ısı girdisine bağlı olarak ana malzemedeki alaşım elementlerinin kaynak bölgesine hareketide farklılaşır.

7.1.3.2. Kaynak hızının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı kaynak hızlarında elde edilen mikrosertlik ölçümlerinin değerleri Şekil 7.23. ve Şekil 7.24.'de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Farklı kaynak hızlarında, sertliğin düşük olduğu nokta AlMg5 ilave telinin olduğu kaynak yapılmış bölgelerdir. Bu bölgelerden ITAB noktasına geçilen değerlerde 20sn, 25sn ve 30sn değerlerinde belirgin bir artış fakat 35sn, 40sn ve 45sn değerlerinde biraz daha kaynak bölgesi sertlik değerlerine yakın bir geçiş görülmektedir. Ana malzemeye doğru aynı bir şekilde devam etmektedir.



Şekil 7.23. 20sn, 25sn, 30sn kaynak hızlarında mikrosertlik noktaları



Şekil 7.24. 35sn, 40sn, 45sn kaynak hızlarında mikrosertlik noktaları

Şekil 7.23. ve Şekil 7.24.'deki grafikler incelendiğinde kaynak hızındaki değişikliklerle beraber sertlik bölgelerinde farklılıklar meydana gelmektedir. ITAB bölgesindeki sertlik noktaları kaynak hızının süresi arttıkça artmaktadır. 20 sn, 25 sn ve 30 sn kaynak hızlarında kaynak bölgesi sertliği, ana malzeme sertlik değerlerinden düşüktür. 35 sn, 40 sn, 45sn kaynak hızlarında kaynak bölgesinin sertlik değerlerinin, ana malzemenin sertlik değerlerinden düşük olduğu grafikten anlaşılmaktadır. 25 sn ve 30 sn kaynak hızlarında ITAB bölgesindeki sertlik değerleri 64HV – 92HV mikrosertlik değerlerine çıktığı görülmektedir.

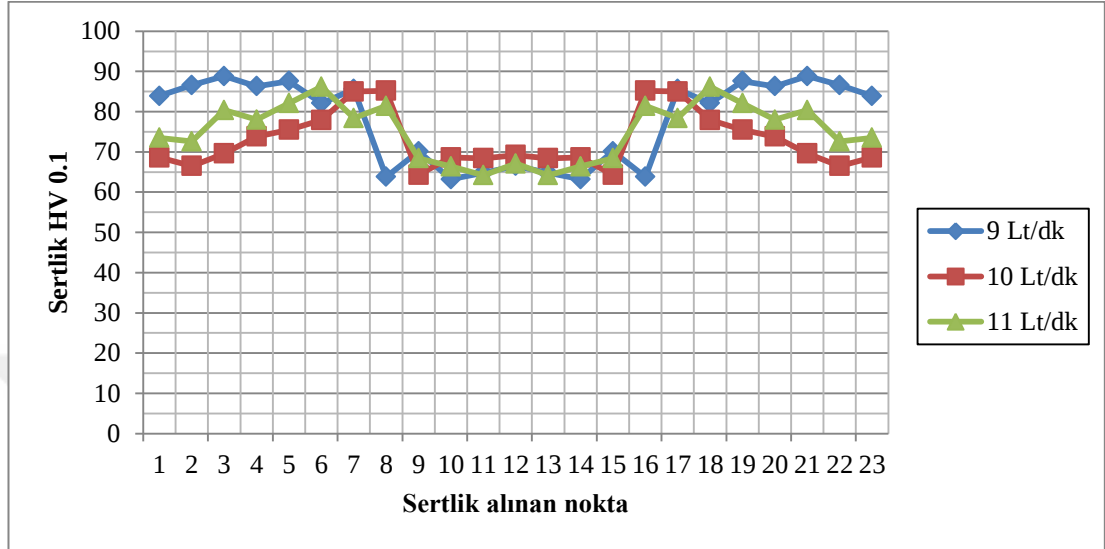
Burada dikkat çekilen noktalarda biriside kaynak hızı arttıkça kaynak bölgesindeki artan ısı kaynak alanını genişletmektedir.

İlave kaynak teli AlMg5 bölgesinden alınan mikrosertlik değerlerinde kaynak süresine bağlı olarak sertlik artışı görülmüştür.

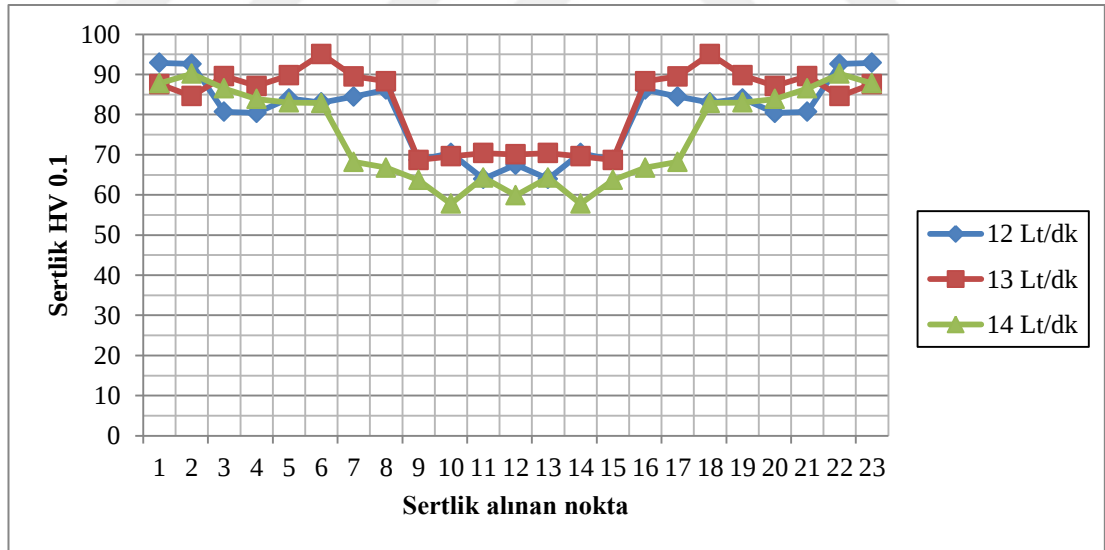
7.1.3.3. Kaynak gaz debisinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı kaynak gaz debilerinde elde edilen bağlantının mikrosertlik ölçümleri Şekil 7.25. ve Şekil 7.26.'da verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden

oluşmaktadır. Şekil 7.25. ve Şekil 7.26.'da anlaşılabacağı üzere AlMg5 ilave telinin bulunduğu bölgeler farklı gaz debilerinde sertliğin en düşük olduğu noktalardır. Daha sonra ana malzeme ve sertliğin yüksek olduğu bölge ITAB bölgesidir.



Şekil 7.25. 9 Lt/dk, 10 Lt/dk, 11 Lt/dk gaz debilerinde mikrosertlik noktaları

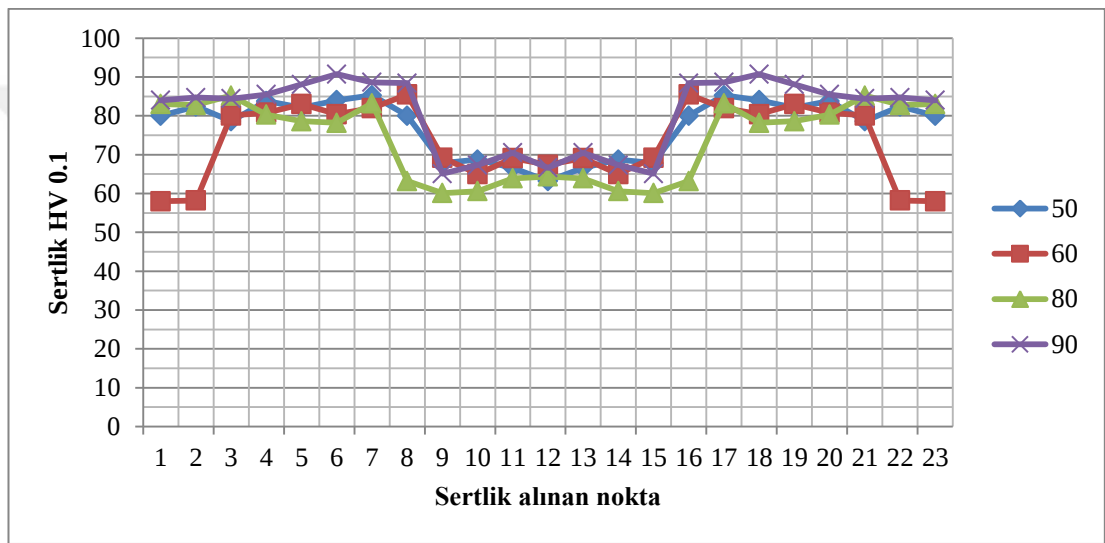


Şekil 7.26. 12 Lt/dk, 13 Lt/dk, 14 Lt/dk gaz debilerinde mikrosertlik noktaları

İlave kaynak teli AlMg5 bölgesinden alınan tüm mikrosertlik değerlerinde, kaynak gaz debisi 9 Lt/dk, 10 Lt/dk, 11 Lt/dk, 12 Lt/dk, 13 Lt/dk gaz debisinde mikrosertlik değerleri kaynak bölgesi sertlik değeri 60 HV üzerinde iken 14 Lt/dk gaz debisinde 60 HV altındadır.

7.1.3.4. Kaynak torç açısının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı kaynak torç açılarında elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 7.27.'de verilmektedir. Mikrosertlik ölçüm dağılımları kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olarak üç bölümden oluşmaktadır. Grafikten anlaşılacağı üzere farklı torç açılarında sertliğin en düşük olduğu bölüm AlMg5 kaynak telinin olduğu kaynaklanmış olan bölgedir. ITAB ve ana malzeme sertlik değerleri birbirine yakın çıkmaktadır.



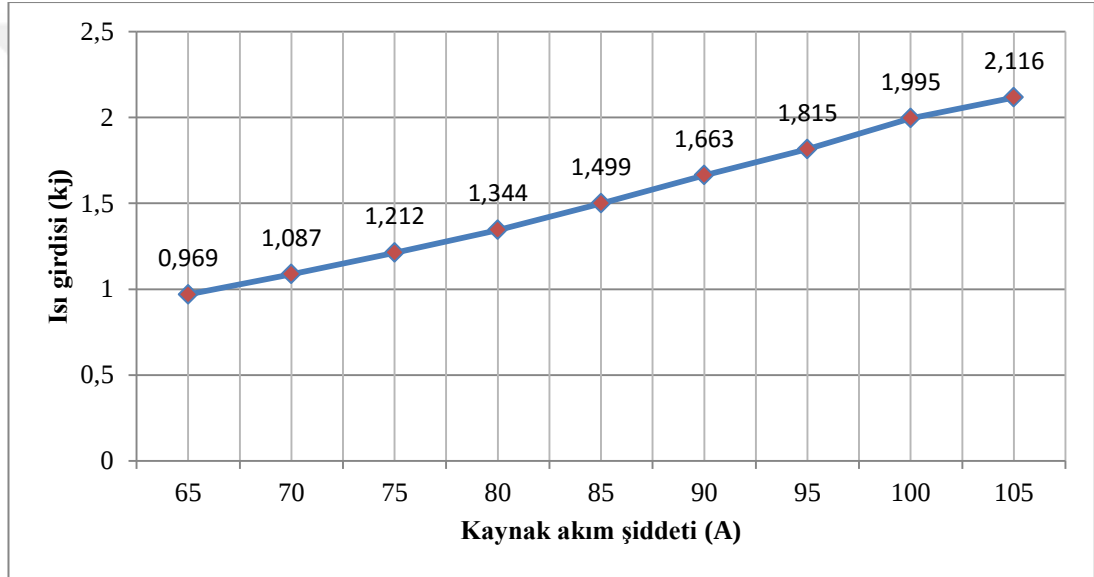
Şekil 7.27. 50°, 60°, 80°, 90° torç açılarında mikrosertlik noktaları

Şekil 7.27.'de grafik incelendiğinde ilave dolgu teli AlMg5 bölgesinden alınan tüm ortalama mikro sertlik değerlerinde, kaynak torç açısı 50° de 66HV, 60° da 67HV, 70° de 62HV, 80° 68HV değerlerini aldığı saptanmıştır. Burada açı değeri yükseldikçe ısı girdisi ana malzemeye dik konum gelmekte ve mikrosertlik değerlerinin bazı değerlerde arttığı görülmektedir.

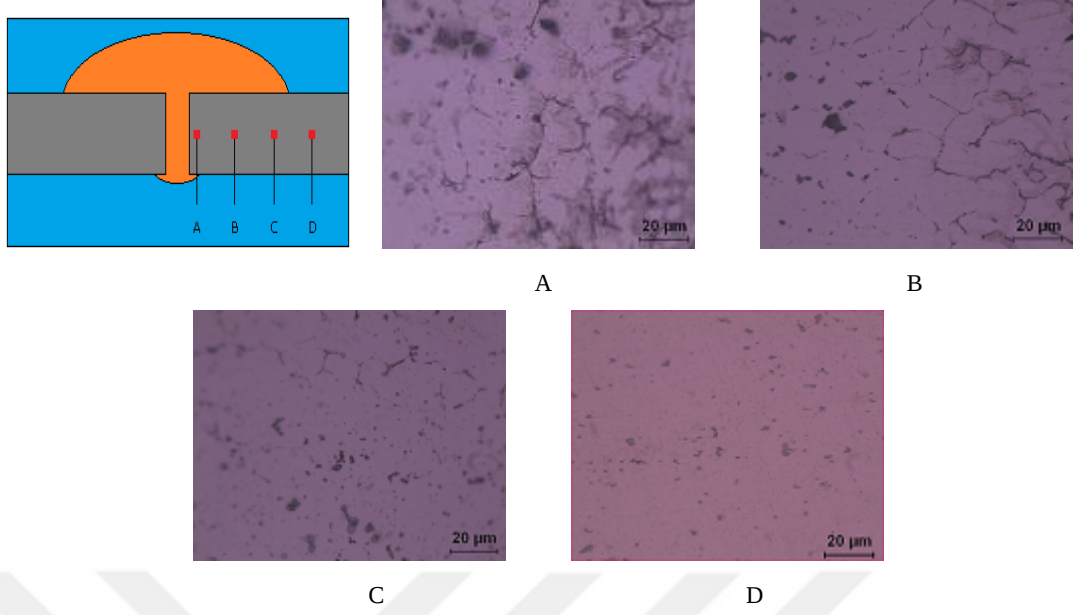
7.1.4. Kaynak parametrelerinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

7.1.4.1. Kaynak akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak işlemleri gerçekleştirilen 6082 Alüminyum malzemenin ısı girdileri grafiği Şekil 7.28.'de verilmektedir. Grafikte anlaşılaçağı gibi akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. Mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz 75 ve 80A akım şiddetinde ısı girdileri 1,212 ve 1,344 kj olmuştur.



Şekil 7.28. Farklı akım şiddetlerinde ısı girdileri grafiği

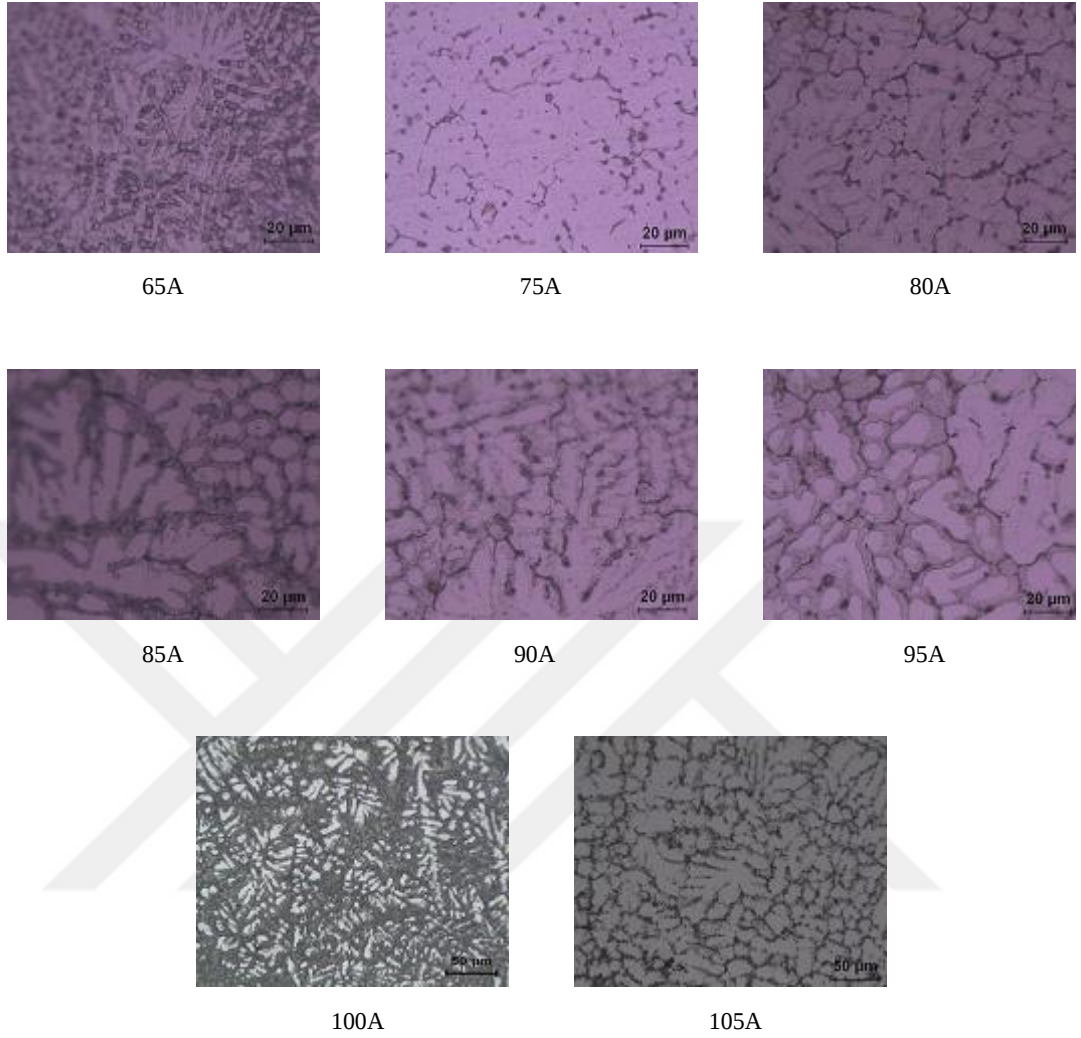


Şekil 7.29. 80A akım şiddetinde mikro yapı görüntüleri

Şekil 7.29.'da 80A akım şiddetinde kaynağı yapılmış ana malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. İlk olarak 80A akım şiddetinde kaynağı yapılmış numune incelenmiştir bu değer optimum değer olarak seçilebilecek değerlerden biri olduğu uygun görülmüştür. 80A akım şiddetinde kaynağı yapılmış numunenin mikroyapısı incelendiğinde A noktası ve B noktasında sertliğin arttığı gözlenmiştir. A noktasında kaynak bölgesi ve ITAB kesiştiği noktayı görebilmekteyiz sertlik bu noktada yüksek çıkmaktadır tanelerde farklılıklar ve boyut değişiklikleri göze çarpmaktadır. B noktasında ITAB ve ana malzeme arasında kesişim noktasındadır burada tane büyümlerine ve yönlenmelerine bakabiliriz. C noktası ana malzemenin ITAB tarafına doğru tane büyümlerinin kısmen dönüşüme başladığı bölgeleri görebiliriz. D noktası ana metal olarak gösterilmiştir.

Şekil 7.29.'da mikroyapı görüntüleri incelendiğinde kaynak bölgesinin, kaynak bölgesine yakın ITAB noktalarının ve ana metalin bunlara bağlı kesişim bölgelerinin sertlik farklılıkları oldukları görülmektedir.

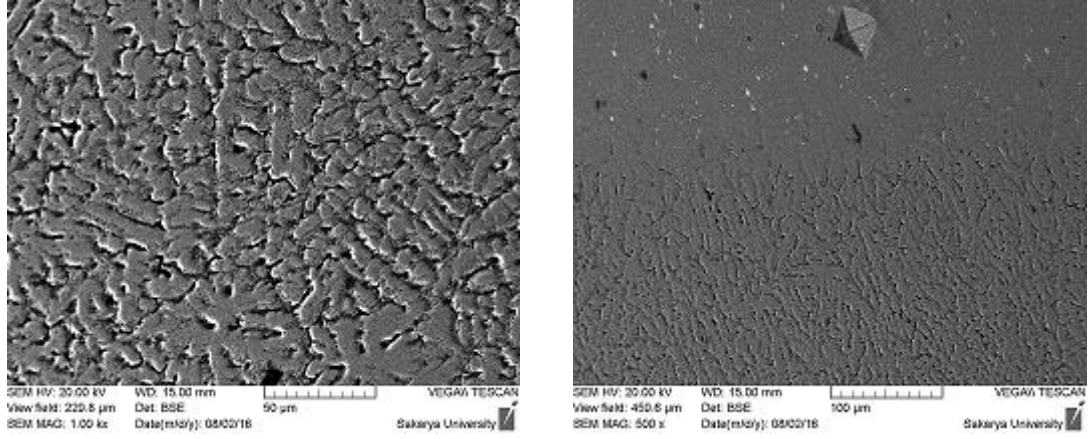
Şekil 7.30. farklı akım şiddetlerinde AlMg5 teli ile yapılmış CMT kaynak işlemine ait numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.30. Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri

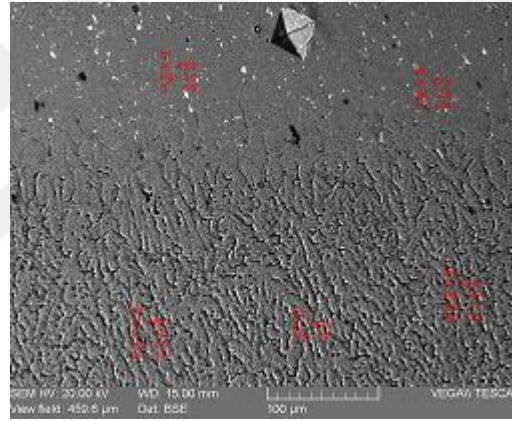
65A mikroyapı eş eksenli taneler görebiliriz burada kaynak metalinin ana malzemeye nüfuziyetinin azlığı olabilir. 75A akım şiddetinden itibaren dendritlerin oluşmaya başladığı çok az olduğu görülmektedir. 80A akım şiddetinden itibaren akım şiddetinin artışı dendrit oluşumunu hızlandırmaktadır.

80A akım şiddetinde kaynak bölgesinin SEM görüntüleri Şekil 7.31.'de verilmiştir.



Şekil 7.31. 80A akım şiddetinde SEM görüntüleri

Kaynak ve kesişim bölgesinden alınan EDS analizi Şekil 7.32.'de verilmiştir.

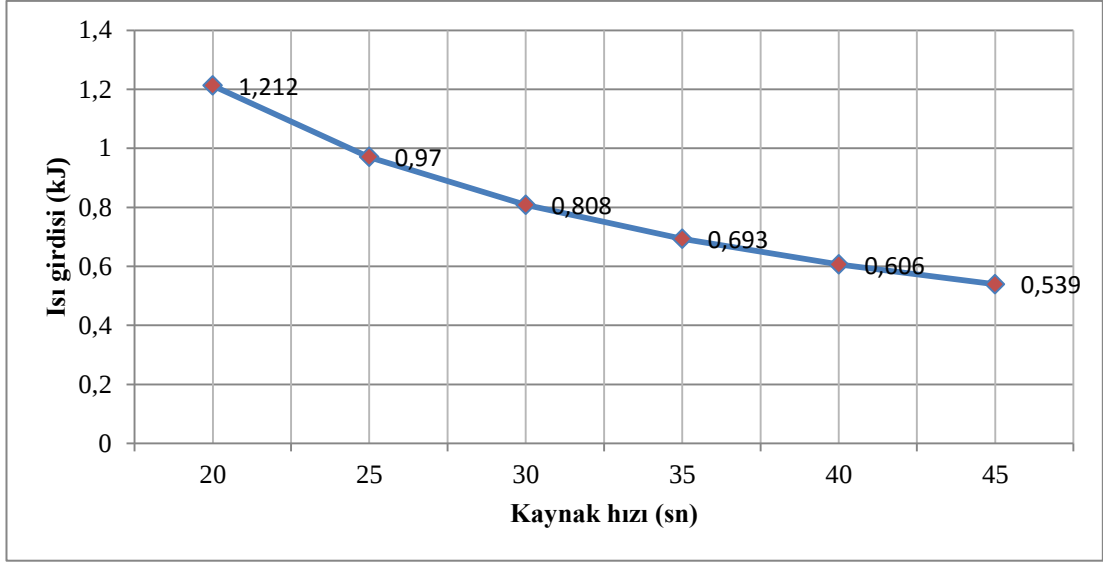


Alınan Nokta	Element Ağırlıkça (%)					
	Al	Mg	Si	O	Mn	Ag
1	95,8	3,4	0,9	0	0	0
2	96	4	0	0	0	0
3	86	4,9	0,8	8,3	0	0
4	94,2	4	0	0	1,1	0,6
5	97,2	2,2	0,6	0	0	0

Şekil 7.32. 80A akım şiddetinde EDS analizi

7.1.4.2. Kaynak hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

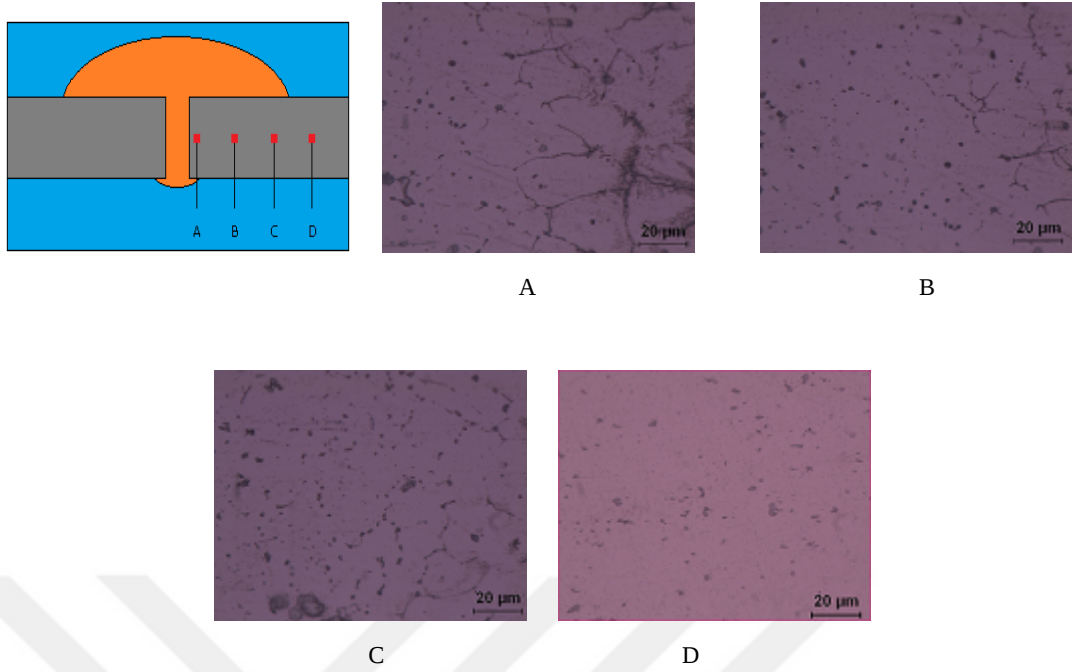
Farklı kaynak hızlarında kaynak işlemleri yapılan 6082 Alüminyum malzemenin ısı girdileri grafiği Şekil 7.33.'de gösterilmektedir.



Şekil 7.33. Farklı kaynak hızlarında ısı girdisi grafiği

Şekil 7.33. grafikte gösterildiği gibi kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azaldığı görülmektedir. En düşük ısı girdisi 0,539 kj olurken, mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 20 sn ve 25 sn kaynak hızlarında ısı girdileri 1,212 ve 0,912 kj olmaktadır.

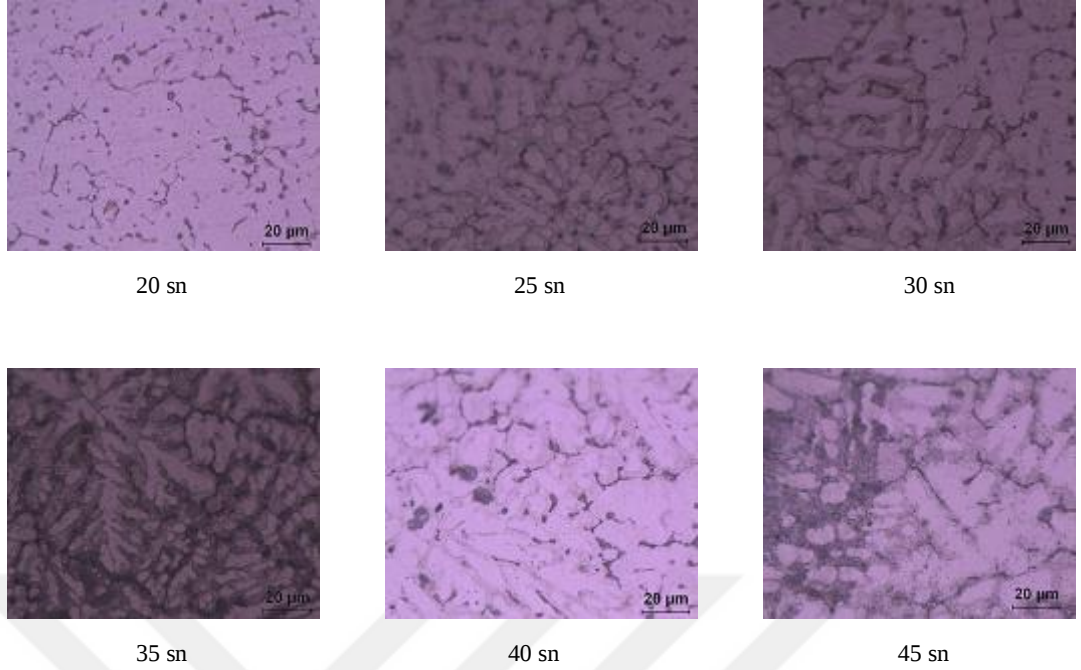
Kaynak hızı 30 sn olarak belirlenmiş ana malzemenin AlMg5 teli kaynağı yapılmış bölgeye ait olan mikroyapı görüntüleri Şekil 7.34.'de verilmiştir.



Şekil 7.34. 30 sn kaynak hızı mikroyapı görüntüleri

Şekil 7.34.'de 30 sn kaynak hızında kaynağı yapılmış malzemenin mikroyapı görüntüleri görünmektedir. Kaynak yapılmış bölgenin komşu bölgelerinde sertlik değişimlerinin ve mikroyapıdaki bu farklılıkların burada bir ITAB olduğu düşünülebilir. A ve B bölgesindeki sertlik değerleri yüksek çıkmıştır buralarda yönlenmeyi ve tane irileşmesini görebiliriz aynı zamanda A bölgesinde kaynak ve ITAB kesişimini görebilmekteyiz. C bölgesinde tane irileşmesini eş boyutlu taneleri görebiliriz, D bölgesi ana metal olarak gösterilmiştir.

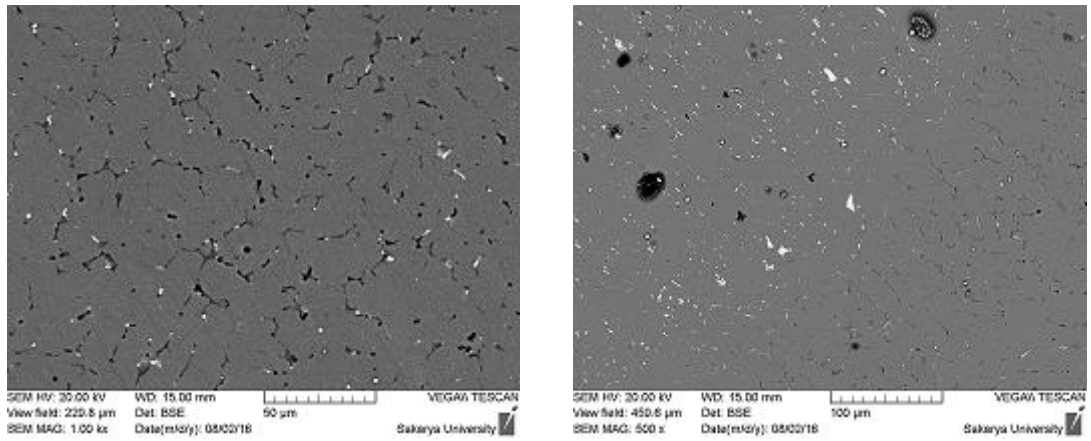
Şekil 7.35. farklı kaynak hızlarında yapılmış kaynakların mikroyapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 7.35. Farklı kaynak hızlarında kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri

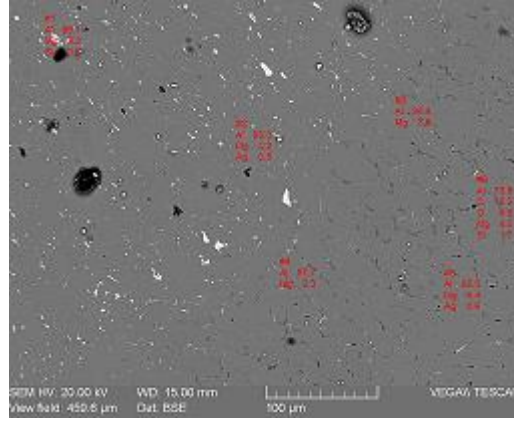
Şekil 7.35. mikroyapı görüntülerinden iri taneli ve çökelti dağılımları olduğu gözükmemektedir.

Şekil 7.36.'da 30 sn kaynak hızı, kaynak bölgesi SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.36. 30 sn kaynak hızında SEM görüntüleri

Kaynak metalinin ısı girdisiyle dağılımının çökelti oluşumlarının başlangıcını ITAB bölgesi kaynak bölgesine doğru tane yapısının uzaması görülebilir. Geçiş bölgesinin EDS analizi Şekil 7.37.'de verilmiştir.

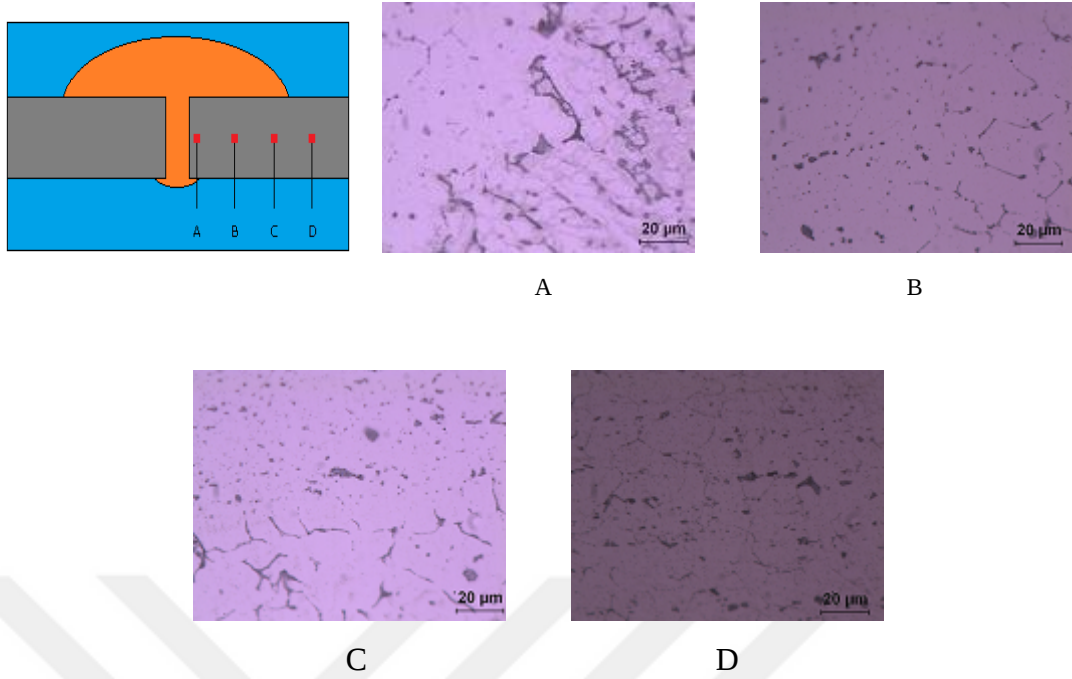


Alınan Nokta	Element Ağırlıkça (%)					
	Al	Mg	Si	O	C	Ag
1	96,1	3,3	0,6	0	0	0
2	95,3	4,2	0	0	0	0,5
3	96,4	3,6	0	0	0	0
4	97,7	2,3	0	0	0	0
5	95	4,4	0	0	0	0,6
6	73,9	4,5	1,7	4,6	15,2	0

Şekil 7.37. 30 sn kaynak hızı EDS analizi

7.1.4.3. Kaynak gaz debisinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı gaz debilerinde elde edilen bağlantıların ısı girdileri teorik olarak 0,970 kJ olarak hesaplanmıştır.

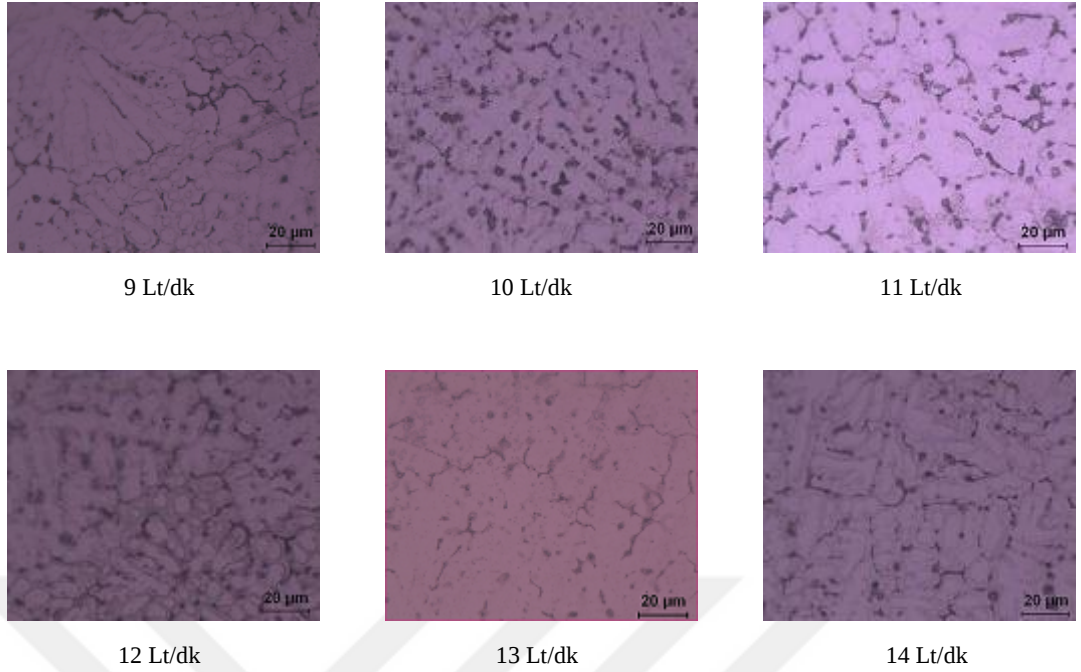


Şekil 7.38. 11 L/dk gaz debisine ait mikro yapı görüntüleri

11 Lt/dk gaz debisinde kaynağı yapılmış ana malzemenin, ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. İncelenmiş olan kaynaklı bölgenin komşu bölgelerindeki sert değeri farklılığı ve mikroyapı değişimindeki farklılıklar burada bir ITAB olduğunu göstermektedir. A noktasında kaynak bölgesi ve ITAB kesişimini görmekteyiz, kaynak metalinin başlangıcı ve ITAB arası net şekilde ayrılmış durumdadır yapıdaki tane uzamaları ve çökelmeler gözükmemektedir.

B ve C noktalarında ITAB ve ana metale arasındaki bölgeyi görmekteyiz tanelerin irileştiği ve ısı tesiri ile uzadığı görülmektedir, tanelerde dallanmalar gözükmemektedir. D noktası esas metaldir.

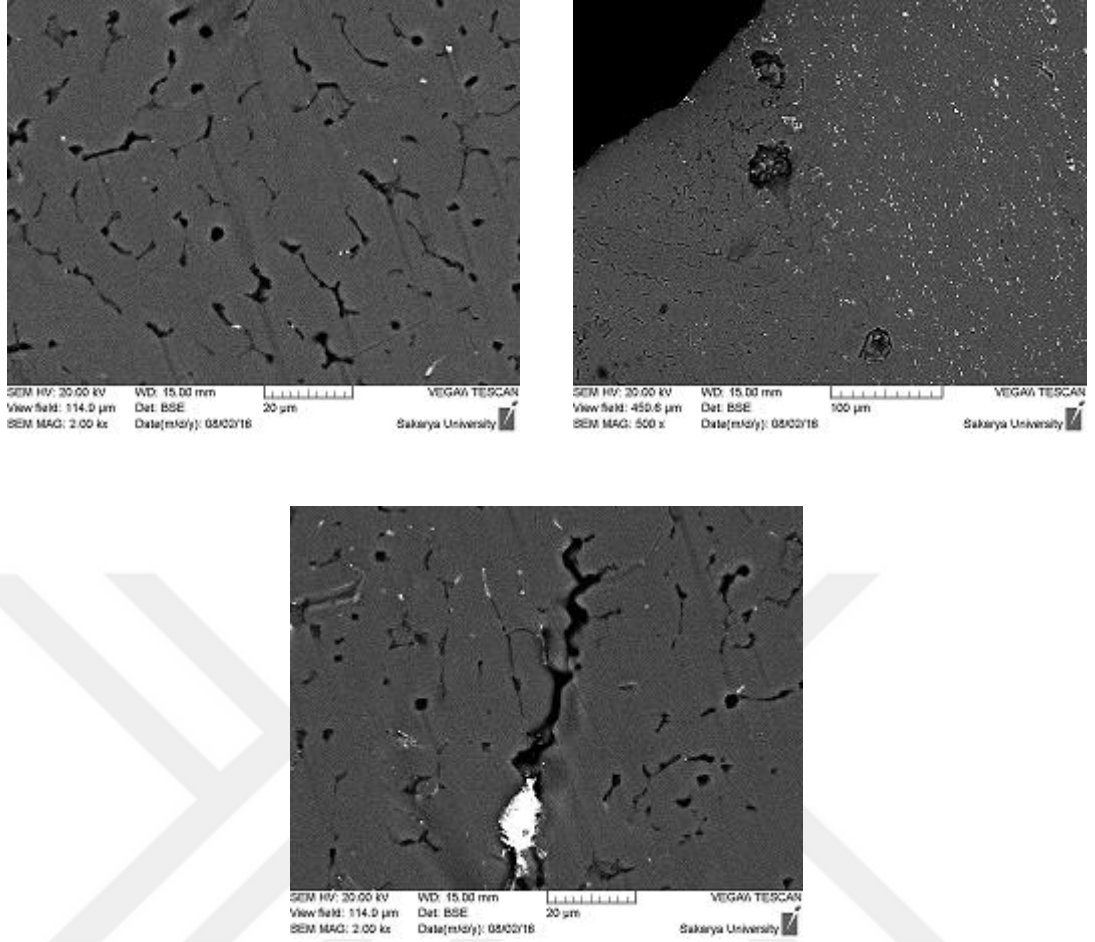
Şekil 7.39.'da farklı kaynak gaz debilerinde AlMg5 teli ile kaynağı yapılmış malzemelerin kaynak bölgelerine ait mikroyapı resimleri verilmiştir.



Şekil 7.39. Farklı gaz kaynak debilerinde kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri

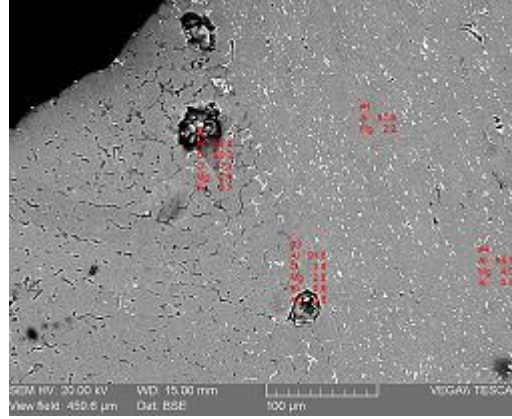
Şekil 7.39. verilen farklı gaz debilerine ait kaynak görüntüleri incelendiğinde tanelerin uzayana tanelerin gaz debisi arttıkça yuvarlak tanelere dönüştüğü, artan gaz debisiyle tekrardan uzayan tane yapıları ve eş tanelerin beraber gözüktüğü gözlenmiştir. 12 Lt/dk gaz debisin tane yoğunluğunun artışı görülmektedir. Burada belirlenen 75A akım şiddeti, 25 sn kaynak hızı ve 7,7 V kaynak gerilimi olduğu için yoğunlaşma vardır.

11 Lt/dk kaynak gaz debisine ait SEM görüntüleri Şekil 7.40.'da verilmiştir.



Şekil 7.40. 11 Lt/dk gaz debisine ait SEM görüntüleri

Şekil 7.41.'de kesişim bölgesine ait ITAB ve kaynak yerlerinden alınan EDS analizleri verilmiştir.



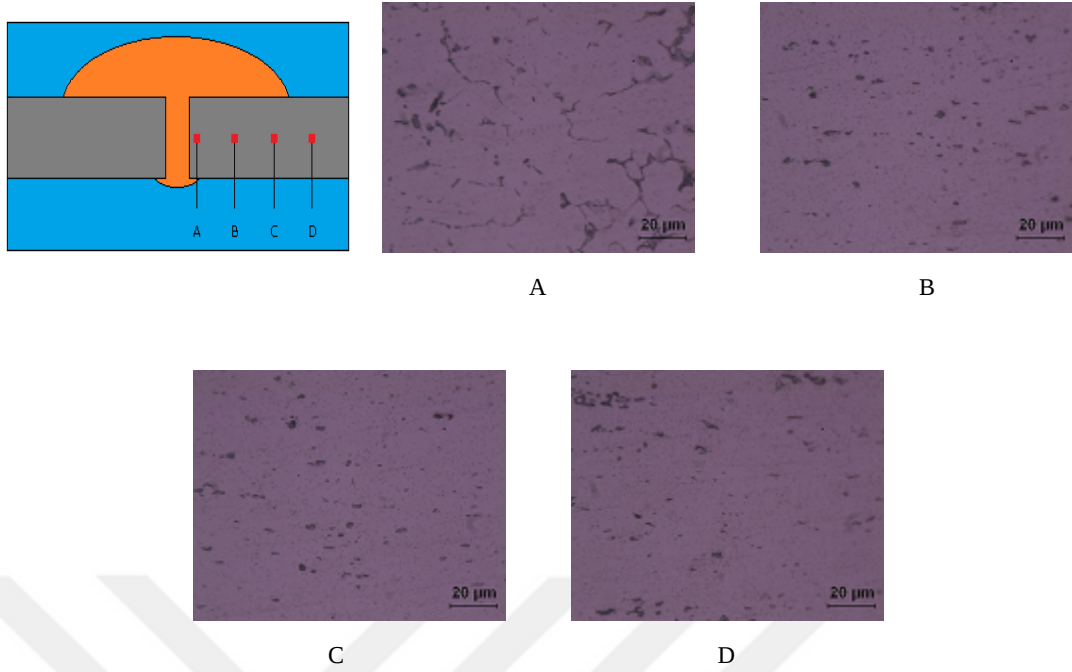
Alınan Nokta	Element Ağırlıkça (%)					
	Al	Mg	Si	O	C	Ag
1	97,8	2,2	0	0	0	0
2	56,4	2,4	0,7	11,3	29,2	0
3	91,6	2,8	0,9	3,8	0	0,8
4	95,5	4	0,5	0	0	0

Şekil 7.41. 11 Lt/dk gaz debisi EDS analizi

7.1.4.4. Kaynak torç açısının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı torç açılarında elde edilen bağlantıların ısı girdileri teorik olarak 0,970 kJ olarak hesaplanmıştır. Isı girdisinde değişiklik olmayan numunelerin sertlik dağılımları ve mukavemet değerleri incelendiğinde açı farklarındaki değişiklik ısı girdisi dağılımını değiştirdiği düşünülmektedir.

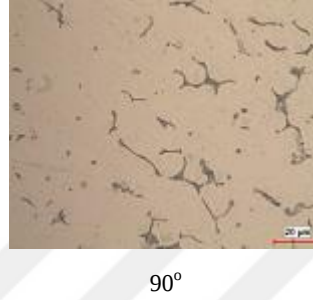
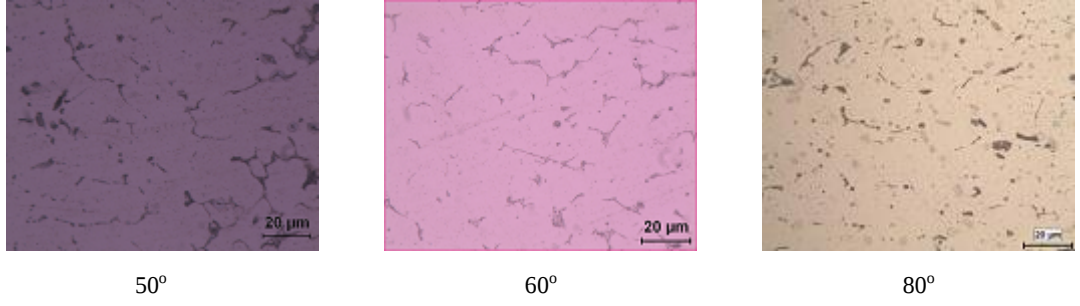
50° kaynak torç açısında kaynağı yapılmış malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesindeki mikroyapı görüntüleri Şekil 7.42.'de verilmiştir.



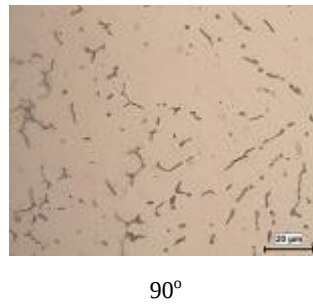
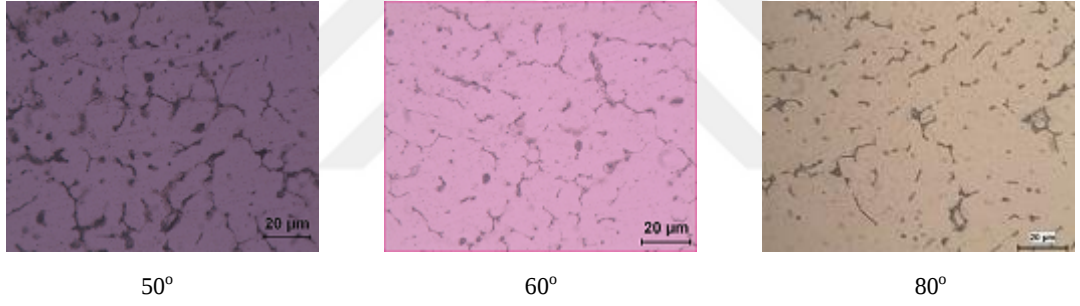
Şekil 7.42. 50° kaynak torç açısında mikroyapı görüntüleri

Şekil 7.42.'de verilen 50° torç açısı görüntülerinde sertlik değerlerinde çıkan farklılıkların ITAB ve kaynak bölgesindeki farklılıklardan oluştuğu görülmektedir. A noktası kaynak bölgesi ve ITAB arasında kesişimi gözükmemektedir, tanelerin uzadığı ve çökelmelerin oluştuğu, B noktasında eş tanelerin uzamaya başladığı, C noktasın tanelerin D noktasına göre büyüdüğü görülmektedir, D noktası esas malzemedir.

Şekil 7.43. ve Şekil 7.44.'de farklı kaynak torç açılarında AlMg5 ilave metali ile kaynaklanan malzemelerin ITAB-kaynak bölgesi kesişimine ait mikroyapı görüntüleri ve kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



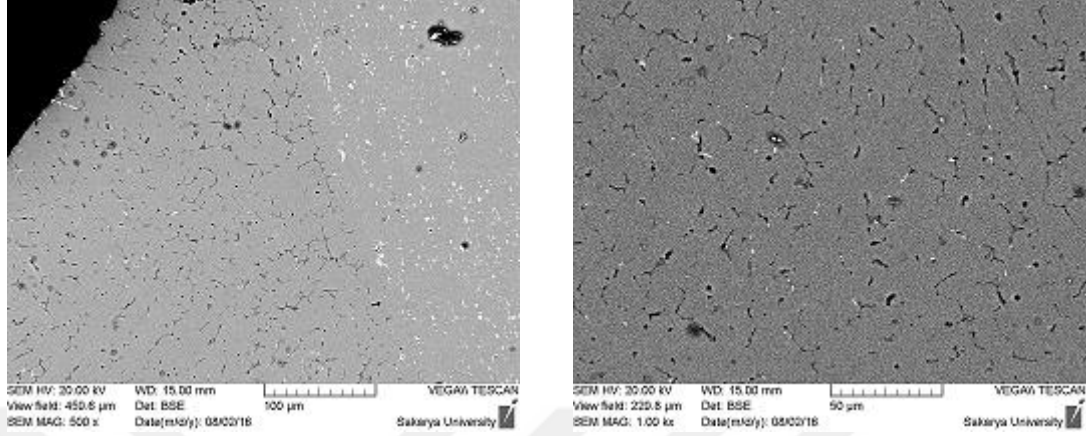
Şekil 7.43. Farklı kaynak torç açılarında ITAB-kaynak bölgesi kesişim mikroyapı görüntüleri



Şekil 7.44. Farklı kaynak torç açılarında kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri

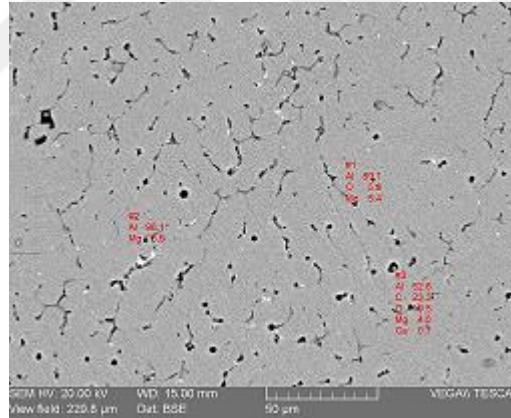
Şekil 7.43. ve Şekil 7.44.'de farklı torç açılarında tane dağılımları görülmektedir. Isı girdisi aynı olsada torç açılarındaki farklılık tane dağılımlarını etkilemektedir.

Şekil 7.45.'de 50° kaynak torç açısı, kaynak bölgesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Kaynak bölgesi ve ITAB arası geçiş görülmektedir.



Şekil 7.45. 50° torç açısı SEM görüntüleri

Şekil 7.46.'da kaynak bölgesinin EDS analizi verilmiştir. (1,2) Kaynak bölgesinden ve (3) oluşan eş eksenli taneden elementel analizler alınmıştır.



Alınan Nokta	Element Ağırlıkça (%)				
	Al	Mg	O	C	Ca
1	89,1	5,4	5,6	0	0
2	96,1	3,9	0	0	0
3	52,6	4	19,5	23,3	0,7

Şekil 7.46. 50° torç açısında kaynak bölgesi EDS analizi

7.2. 6082 Alüminyum Levhanın AlSi5 İlave Metali Kullanılarak CMT Kaynak Yöntemi İle Alın Birleştirmeleri

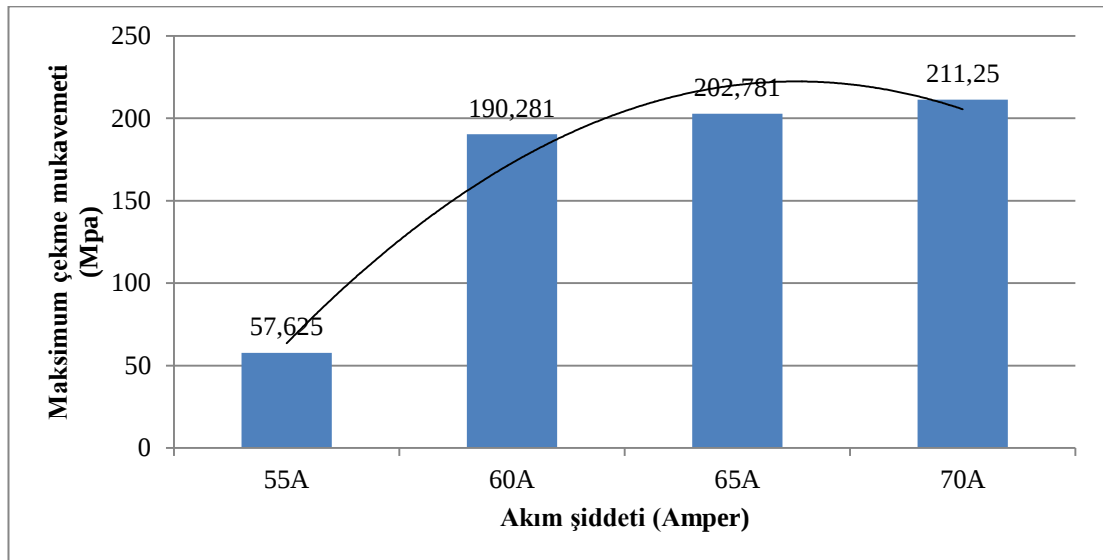
7.2.1. Kaynak parametrelerinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

7.2.1.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının mekanik özelliklerine etkisi

6082 Alüminyum levhanın CMT kaynağında uygulanan farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemeti incelemek için akım parametreleri Tablo 7.5.'de verilmiştir. Akım şiddetleri 55 amperden başlayıp 70 amperde dahil olmak üzere çıkılmıştır.

Tablo 7.5. Farklı akım şiddetlerinde kaynak parametrelerinin ve mekanik özelliklerine etkisi

ALÜMİNYUM 6082 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi[V]	Gaz debisi [L/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı[sn]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [Mpa]
55	3,1	6,6	12	Argon	25	0	57,625
60	3,7	6,8	12	Argon	25	0	190,281
65	3,9	7,5	12	Argon	25	0	202,781
70	4,8	7,4	12	Argon	25	0	211,25



Şekil 7.47. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği

Şekil 7.47.'de görüldüğü üzere akım şiddetine bağlı olarak çekme mukavemetlerinde değişim gözlenmiştir. 55 amperde en düşük çekme mukavemetine ve 70 amper değerinde en yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Malzemedeki değişen mukavemet değerlerinin akım şiddetine bağlı ısı girdisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

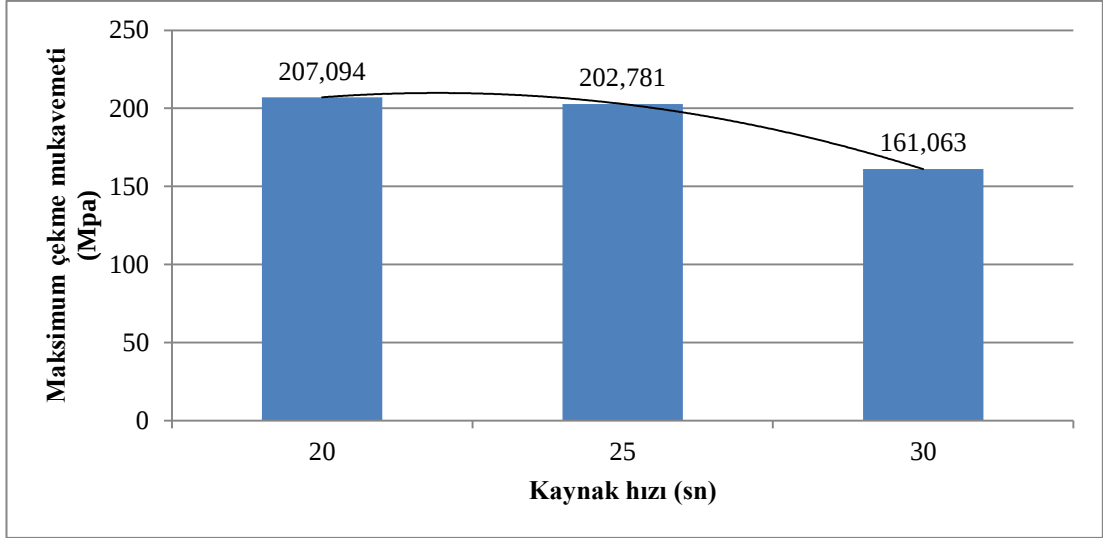
Akım şiddeti arttıkça çekme mukavemet değeri artmıştır. Malzemede akım şiddeti arttıkça ısı girdisi arttığı bu yüzden çekme mukavemeti değeri arttığı düşünülmektedir. Bu nedenle 6082 Alüminyum levhada AlSi5 teli ile uygulanabilecek optimum değer 65A olabileceği düşünülmektedir.

7.2.1.2. Kaynak hızının bağlantının mekanik değerleri üzerine etkisi

Alüminyum 6082 malzemesinin optimum akım şiddeti 65A olarak ve kaynak gerilimi 7,5V olarak belirlenmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak farklı kaynak hızlarındaki çekme mukavemeti değerlerini incelemek amacıyla Tablo 7.6.'da uygulanan kaynak hızları, kaynak akım şiddetleri, gaz debisi ve kullanılan gaz verilmiştir. Kaynak hızının sabitlemek için kaynak robotu kullanılmıştır. Kaynak hızları 20 sn ile 30 sn aralığında uygulanmıştır.

Tablo 7.6. farklı kaynak hızlarının kaynak parametrelerine ve mekanik özelliklerine etkisi

ALÜMİNYUM 6082 CMT ALIN BİRLEŞTİRME							
Kaynak akım şiddeti[A]	Kaynak tel hızı [m/dk]	Kaynak gerilimi[V]	Gaz debisi [L/dk]	Kullanılan gaz	Kaynak hızı[sn]	Kaynak aralığı [mm]	Max. Çekme Muk. [Mpa]
65	3,9	7,5	12	Argon	20	0	207,094
65	3,9	7,5	12	Argon	25	0	202,781
65	3,9	7,5	12	Argon	30	0	161,063



Şekil 7.48. Farklı kaynak hızlarının çekme mukavemetleri grafiği

Şekil 7.48.'deki grafik incelendiğinde 20 sn kaynak hızında maksimum çekme mukavemeti değeri 207,094 MPa bulunmuştur. Grafikteki maksimum çekme mukavemetleri incelendiğinde kaynak hızı 20 sn olan en yüksek değer olarak gözlemlendiği için optimum kaynak hızı 20 sn olarak belirlenmiştir.

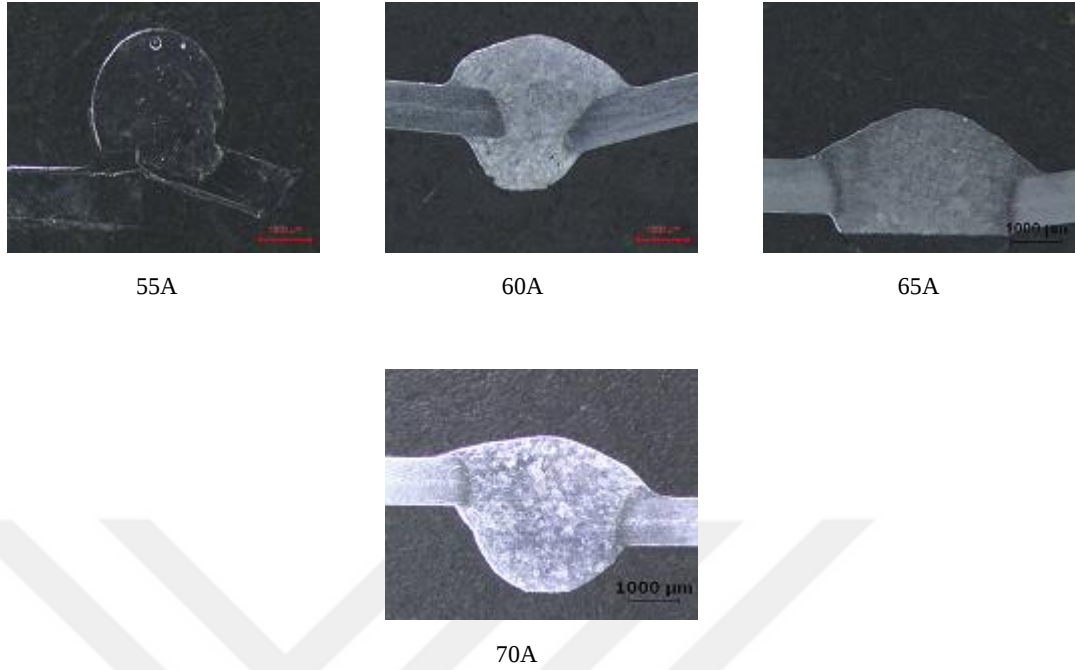
Hazırlanan numunelerin ana malzemedeki koptukları tespit edilmiştir. Malzemelerin süreye bağlı olarak koptuğu mesafelerin değiştiği gözlemlenmiştir.

7.2.2. Kaynak parametrelerinin kaynak geometrisine etkisi

7.2.2.1. Kaynak akım şiddetinin kaynak geometrisine etkisi

CMT kaynağı ile birleştirilmiş olan 6082 alüminyumun farklı kaynak akım şiddetlerinin kaynak geometrisine olan etkisini incelemek için kaynak yapılmış parçalardan alınmış numunelere ait makro fotoğraflar çekilmiş, makro ölçümler yapılmış ve ulaşılan bilgilerden grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerde 6082 alüminyum için en uygun akım şiddeti bulunmaya çalışılmıştır.

Şekil 7.49.'da farklı akım şiddetlerinde CMT kaynağı numunelerinin makro yapı görüntüleri verilmiştir.

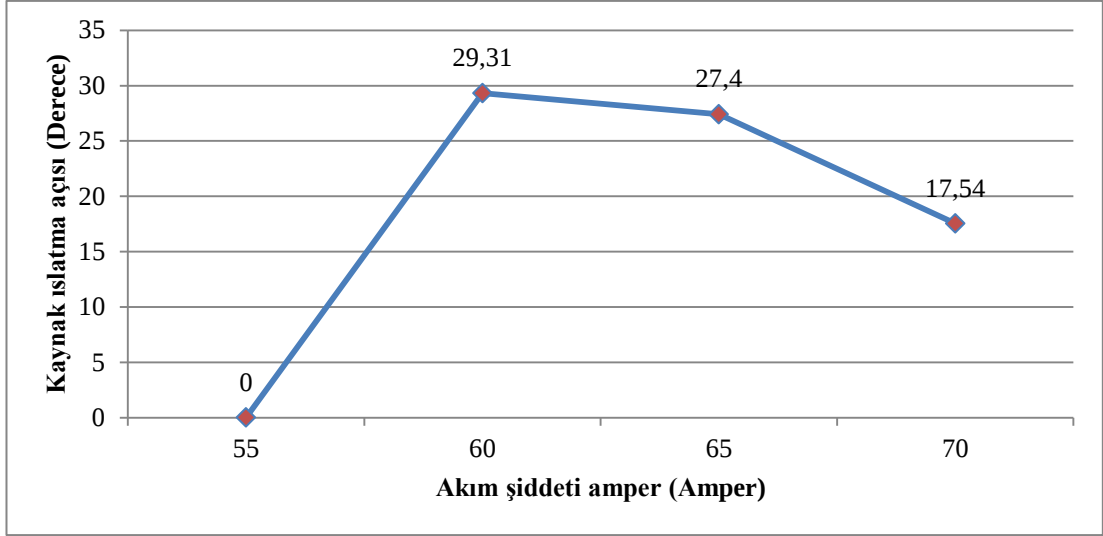


Şekil 7.49. Farklı kaynak hızlarında makroyapı görüntüleri

Şekil 7.49. farklı kaynak hızlarında makroyapı görüntüleri incelendiğinde 55 amper akım şiddetinde kaynak metalinin sadece ana malzemeye yapıştığı ve nüfuz etmediği görülmüştür ve malzemenin kaynak dolgu metalinden koptuğu gözükmemektedir. 60 amper akım şiddetinden itibaren nüfuziyet arttığı gözükmemektedir. 65 amper akım şiddetinde parçanın kök kısmı bakalit içinde kalmıştır. 60 amper üstündeki akım şiddetlerinde malzeme ana metalden kopmuştur.

Farklı akım şiddetlerinde incelenen 6082 alüminyum malzemenin kaynaklanmış bağlantılarının makro görüntülerinden ıslatma açısı, kaynak kep genişliği, ve kaynak kep yükseklikleri grafikler üzerinden gösterilerek mukavemet ile olan bağlantıları incelenmiştir.

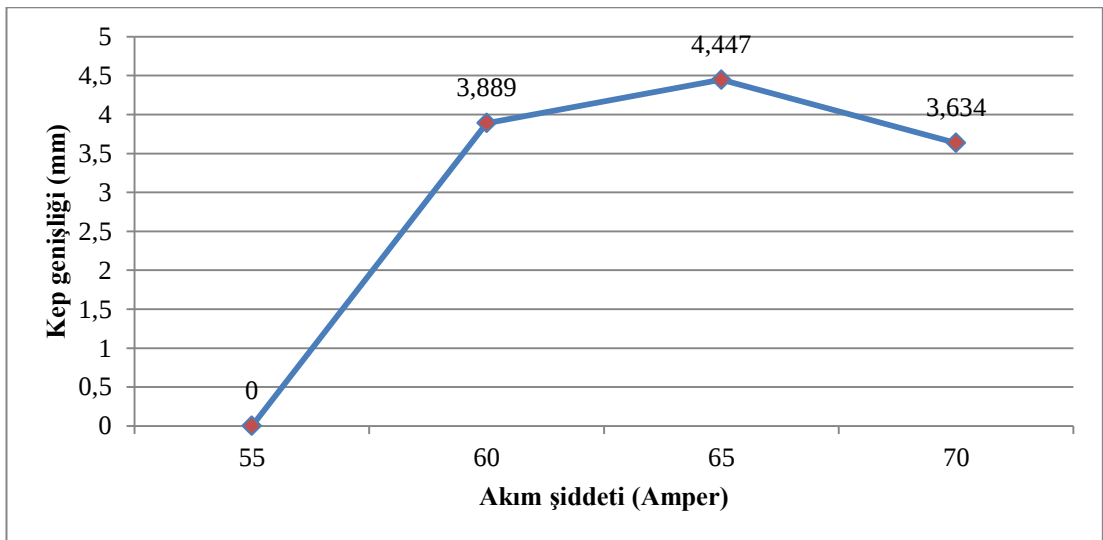
6082 Alüminyumun CMT kaynağı ile yapılan 55A akım şiddeti ile 70A akım şiddeti arasında olan ıslatma açısı grafiği Şekil 7.50.'de verilmiştir.



Şekil 7.50. Farklı akım şiddetlerinde kaynak ıslatma açısı grafiği

Şekil 7.50.'de grafikteki eğim çizgisinden görüldüğü üzere akım şiddeti arttıkça ıslatma açısı azalmaktadır. Grafikteki akım şiddeti ve ıslatma açısı arasındaki bağı incelediğimizde ıslatma açısı değerlerinin 30° ıslatma açısından küçük oldukları görülmüştür. 55A akım şiddetinde malzeme kaynak koptuğu için ıslatma açısı değeri ölçülememiştir. Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmaktadır ve artan ısı girdisine bağlı olarak ıslatma açısının düştüğü düşünülmektedir.

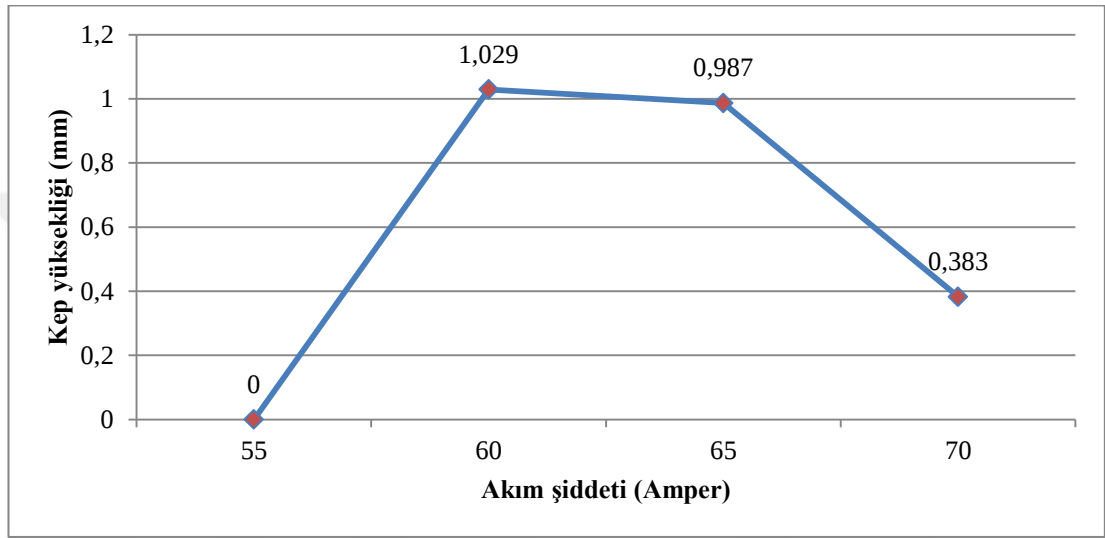
6082 Alüminyumun değişen akım şiddetlerine bağlı olarak kaynak kepi genişliği Şekil 7.51.'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7.51. Farklı akım şiddetlerinde kaynak kepi genişliği grafiği

Şekil 7.51. incelendiğinde kep genişliği 60A akım şiddeti değerinde 4 mm değerine yaklaşırken 70A akım şiddetinde 3,5 mm değerine yaklaşmıştır.

6082 Alüminyumun değişen akım şiddetlerine bağlı olarak kaynak kepi yüksekliği Şekil 7.52.'de grafik olarak verilmiştir.



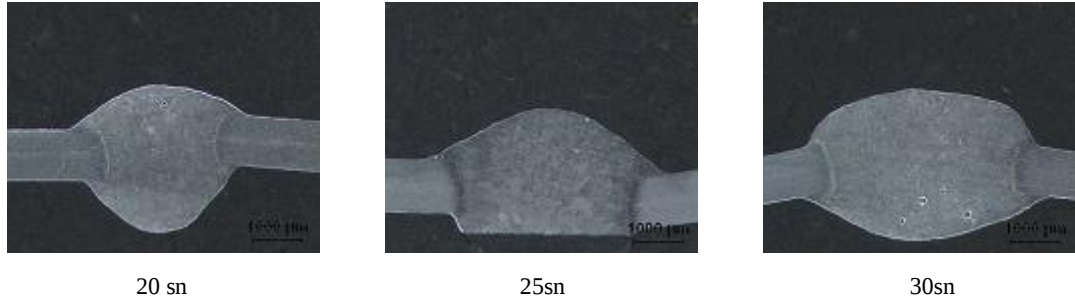
Şekil 7.52. Farklı akım şiddetlerinde kaynak kep yüksekliği grafiği

Şekil 7.50. grafik incelendiğinde akım şiddeti arttıkça ısı girdisi arttığı ısılatma açısı düştüğü ve buna bağlı Şekil 7.52. grafikte gösterildiği gibi kaynak kep yüksekliği azaldığı düşünülmektedir.

7.2.2.2. Kaynak hızının kaynak geometrisine etkisi

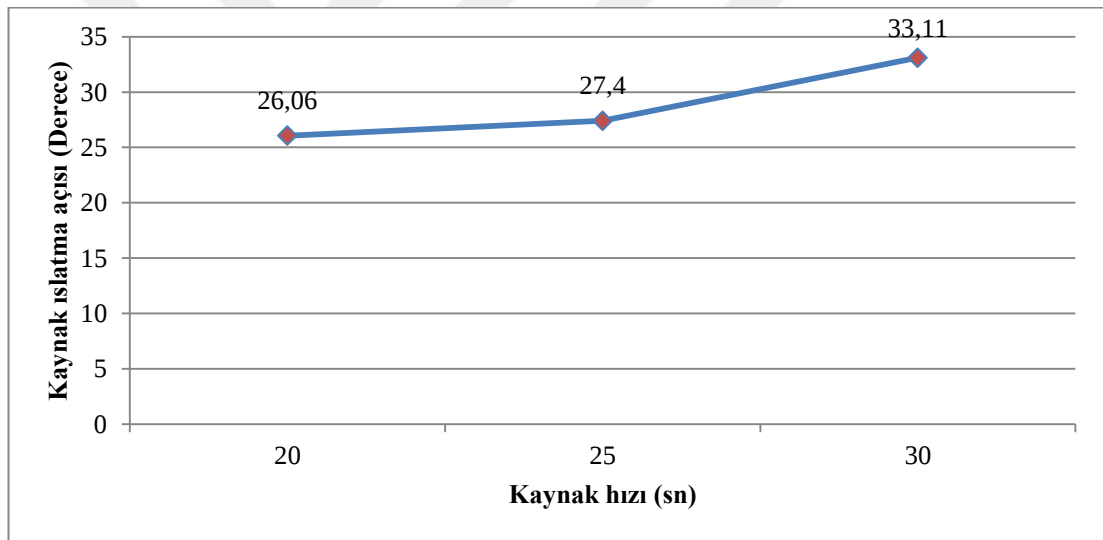
Kaynak geometrisine kaynak hızının etkisini araştırmak için AlSi5 ilave metali kullanılarak farklı kaynak hızları uygulanan 6082 alüminyum numunelere ait makro resimler çekilmiş, makro ölçümler yapılmış ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiş 6082 alüminyum için en uygun kaynak hızı belirlenmeye çalışılmıştır.

Şekil 7.53.'de kaynak hızı parametrelerine göre CMT kaynak numunelerin makroyapı görüntüleri verilmiştir.



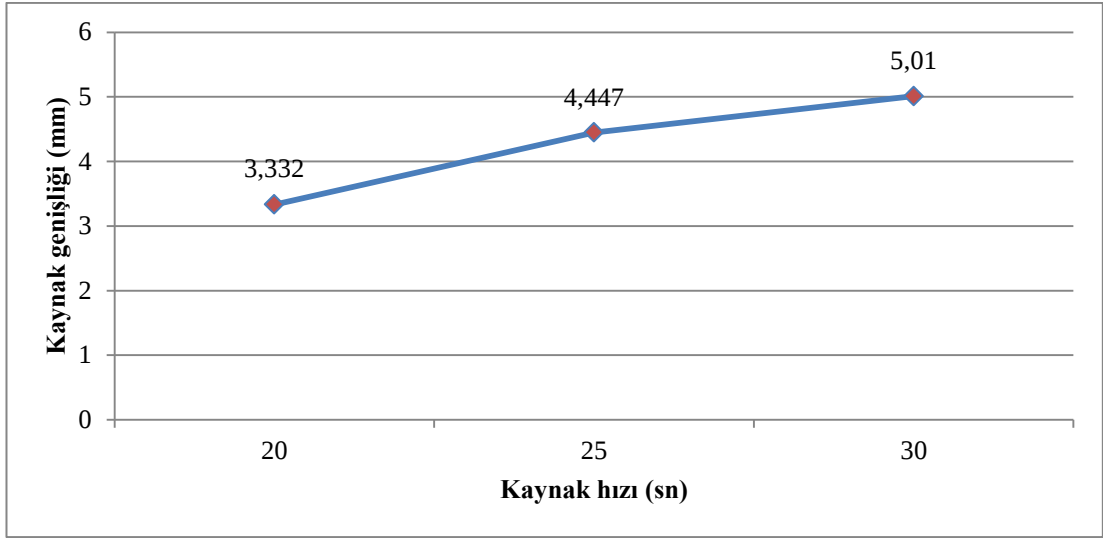
Şekil 7.53. Farklı kaynak hızlarında makroyapı görüntüleri

İncelenen tüm değerlerde ısılatma kabiliyetinin iyi olduğu görülmekte ilave metalin fazla miktarda olması ana metalin altına nüfuziyet artmaktadır. 20sn kaynak hızının optimum olduğu düşünülmektedir.



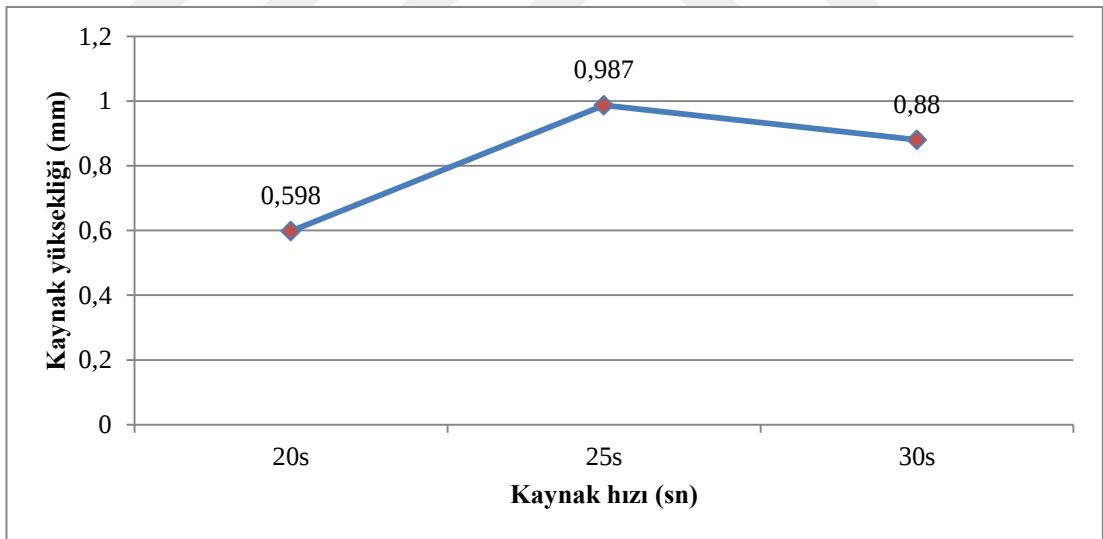
Şekil 7.54. Farklı kaynak hızlarında ısılatma açısı grafiği

Şekil 7.54.'de farklı kaynak hızlarında ısılatma açısı grafiği görülmektedir. Kaynak hızı arttıkça ısılatma açısı artmıştır. 20 ve 25 saniye değerlerinde 30° altında olan ısılatma açısı değeri 30 saniye değerinde 30° üstüne çıktığı gözlenmiştir.



Şekil 7.55. Farklı kaynak hızlarında kaynak genişliği grafiği

Şekil 7.55.'teki grafik incelendiğinde kaynak hızı arttıkça kaynak genişliği arttığı görülmektedir. Bunun sebebi kaynak hızındaki değişim kaynak ısı girdisini etkilediği için olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7.56. Farklı kaynak hızlarında kaynak yüksekliği grafiği

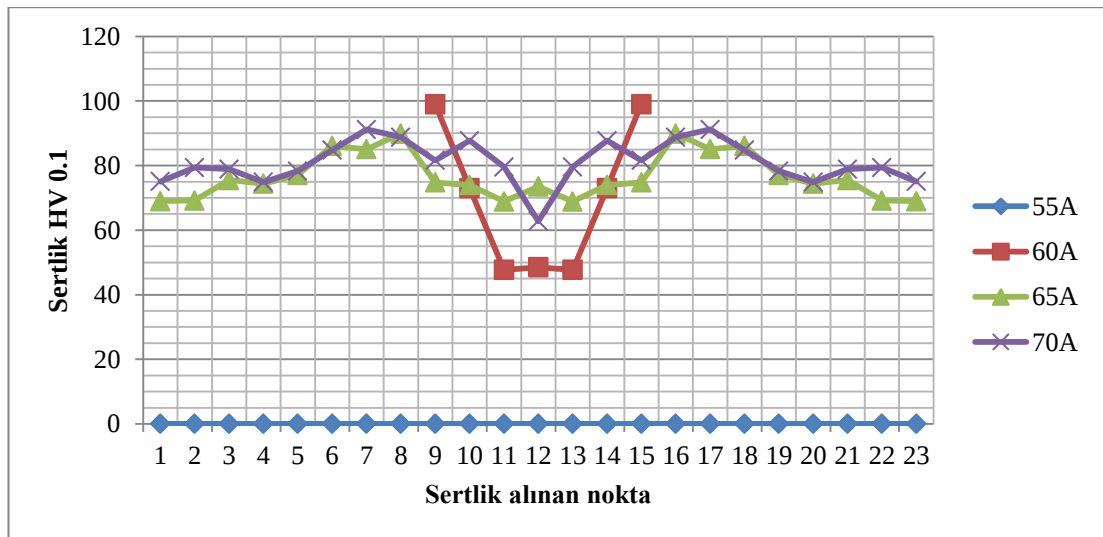
Şekil 7.56.'daki grafik incelendiğinde kaynak hızı arttıkça kep yüksekliği azal görülmektedir. Bunun sebebi ısılatma açısı ve ısı girdisi olabileceği düşünülmektedir.

7.2.3. Kaynak parametrelerinin bağlantının sertliğine etkisi

7.2.3.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantının sertliğine etkisi

Farklı akım şiddetlerinde elde edilen bağlantıların mikrosertlik ölçümleri Şekil 7.57.'de verilmektedir. Mikrosertlik dağılımları kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olarak üç bölümden oluşmaktadır. Grafikler incelendiğinde sertlik değerlerinin kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru değiştiğini görmekteyiz. Sertlik değerlerinin düşük olduğu bölgeler AlSi5 ilave teli ile kaynak olan bölge daha sonra ana malzeme en son olarakda ITAB bölgesi diyebiliriz.

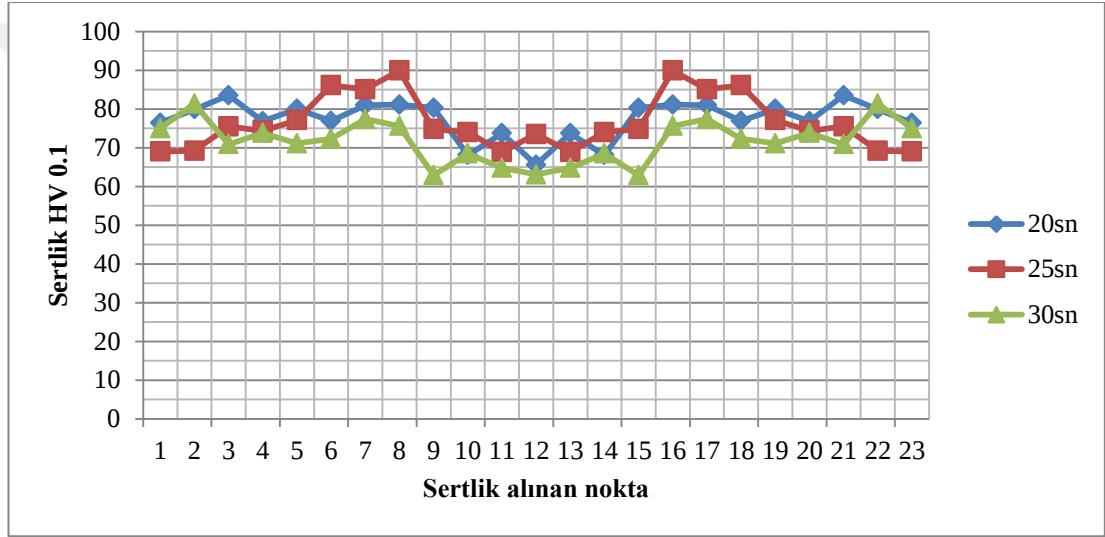
Şekil 7.57.'deki grafikleri incelediğimizde 55, 60, 65 ve 70 değerlerinde akım şiddetlerine bağlı sertlik bölgelerinde farklılıklar olmaktadır. ITAB bölgelerinde sertlikler akım şiddeti ile beraber artmaktadır. Tüm değerlerde kaynak bölgesindeki sertlik değerleri ana malzemeden düşük kalmaktadır. 60A akım şiddetinde kaynak bölgesi sertlik değeri en düşük çıkmaktadır. ITAB bölgelerinde sertlik değerleri kaynak bölgesi ve ana malzemeden yüksek çıkmaktadır. 55A malzeme değeri alınamamıştır.



Şekil 7.57. 55A, 60A, 65A ve 70A bölgelerinde mikrosertlik noktaları

7.2.3.2. Kaynak hızının bağlantının sertliğine etkisi

Farklı kaynak hızlarında elde edilen mikrosertlik ölçümlerinin değerleri Şekil 7.58.'de verilmiştir. Mikrosertlik dağılımları kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzeme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Farklı kaynak hızlarında, sertliğin düşük olduğu nokta AlSi5 ilave telinin olduğu kaynak yapılmış bölgelerdir. Bu bölgelerden ITAB noktasına geçilen değerlerde 20sn, 25sn ve 30sn artış görülmüştür. 25sn kaynak hızında artış belirgin olmuş ve ITAB sertliği birkaç noktada korunmuştur. Ana malzemeye doğru sertlikte düşüş olarak devam etmiştir.



Şekil 7.58. 20sn, 25sn ve 30sn kaynak hızlarında mikrosertlik noktaları

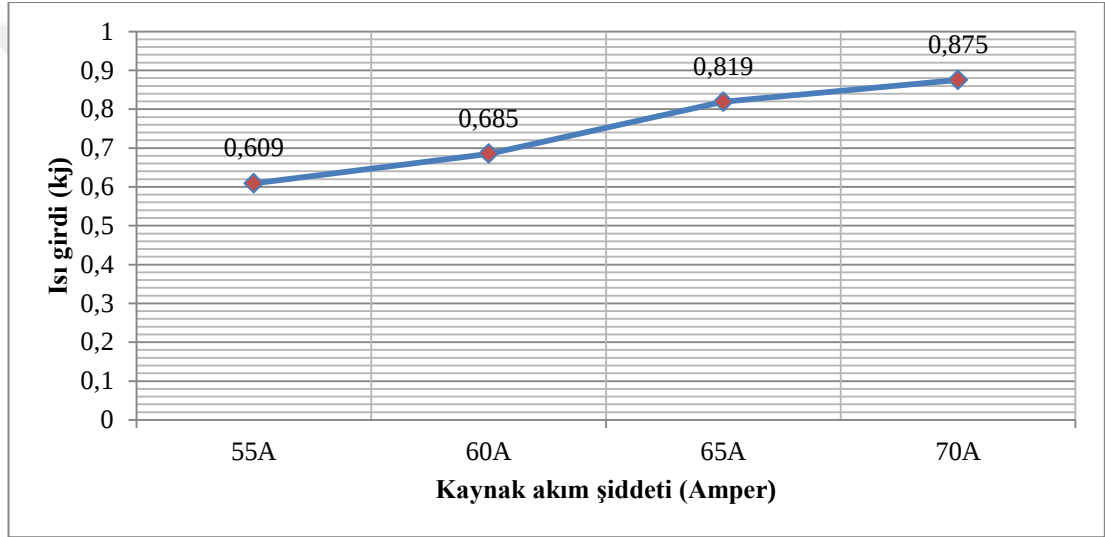
Genel olarak sertlik değerleri kaynak bölgesi sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerlerinden düşük çıkmıştır. ITAB bölgesi sertlik 72,3 ve 86,1 HV değerleri arasında çıkmıştır.

Dikkat edilen bir nokta AlSi5 kaynak teliyle yapılan kaynakta kaynak hızı artışına bağlı ısı girdisi değerleri değişmiş sertlik değerlerinde kaynak bölgesinde ve ITAB bölgesinde yayılma görülmüş ve değerler yükselmiştir.

7.2.4. Kaynak parametrelerini ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

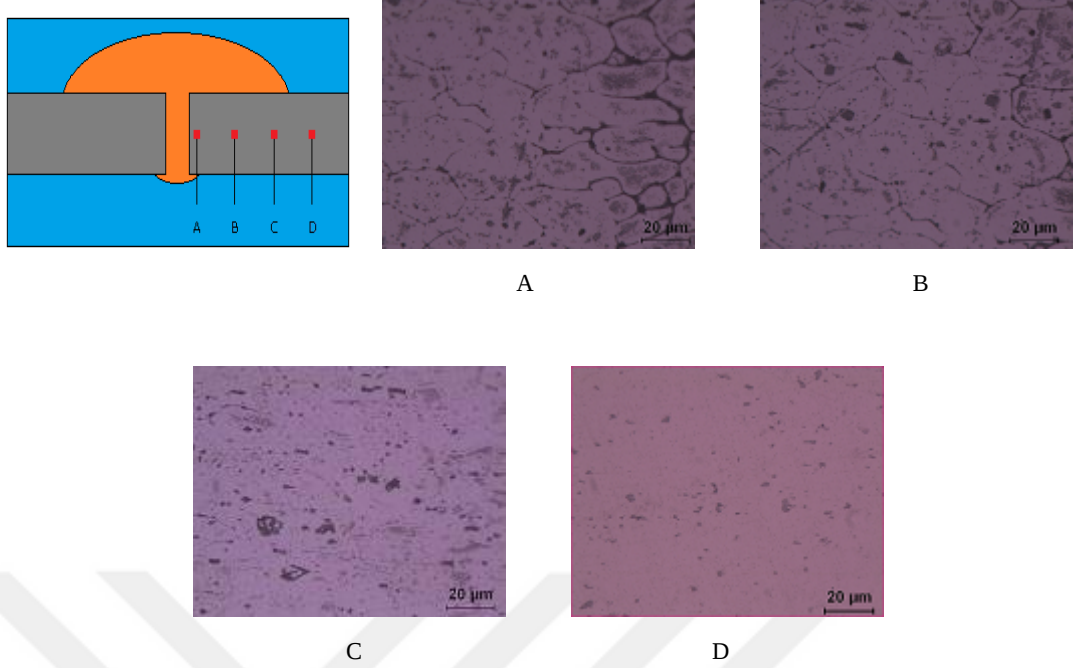
7.2.4.1. Kaynak akım şiddetinin ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Farklı kaynak akım şiddetlerinde AlSi5 ilave teli kullanılarak kaynak işlemleri gerçekleştirilen 6082 Alüminyum malzemenin ısı girdileri grafiği Şekil 7.59.'da verilmektedir. Grafikte anlaşılabacağı gibi akım şiddeti arttıkça ısı girdisinin arttığı görülmektedir. Mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz 65A akım şiddetinde ısı girdileri 0,819 kj olmuştur.



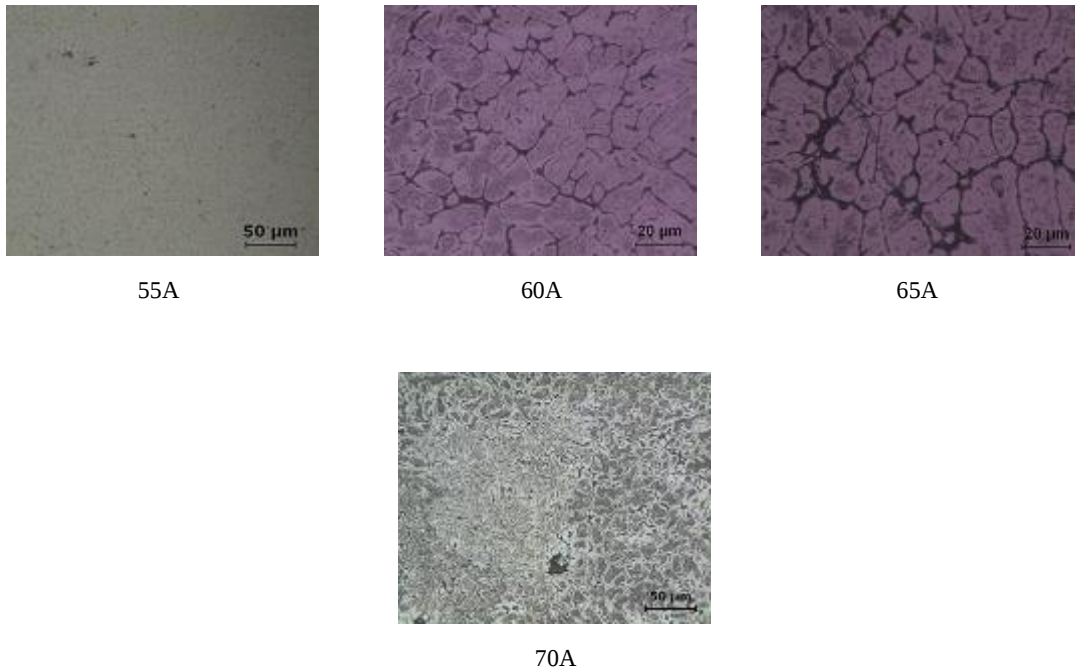
Şekil 7.59. Farklı akım şiddetlerinde ısı girdisi grafiği

Şekil 7.60.'da 65A akım şiddetinde numunenin kesişim noktası, ITAB ve ana malzeme bölgelerinden alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.60. 65A akım şiddetinde mikroyapı görüntüleri

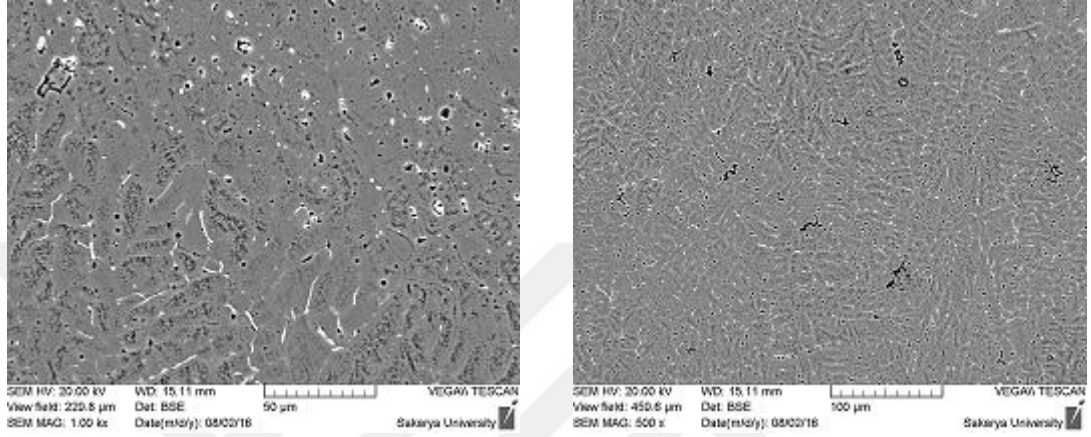
Şekil 7.60.'da verildiği üzere A noktası ve B noktası kaynak ITAB kesişimi ve ITAB bölgesidir kaynak bölgesinde çökelmeleri ve ITAB bölgesinde tane uzamalarını ve yayılmayı görebiliriz. C noktası tane büyümeleri eş eksenli tane oluşumları ITAB bölgesine yakın olduğu görebiliriz. D noktasında ana malzeme gözükmemektedir.



Şekil 7.61. Farklı kaynak akım şiddetlerin kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri

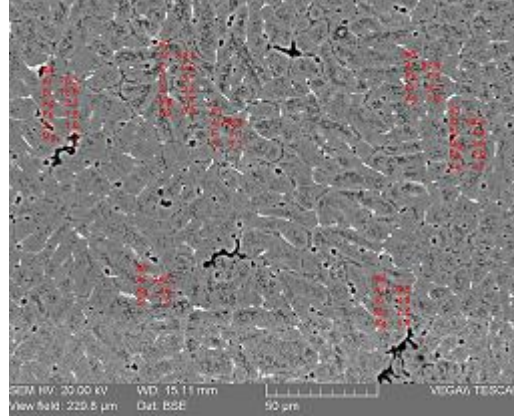
Şekil 7.61.'deki mikroyapılar incelendiğinde 55A kaynak metalinin mikroyapısı gözükmemektedir. 65A akım şiddetinde 60A akım şiddetine göre çökelmelerin arttığı ve tanelerin uzadığı gözükmemektedir.

Şekil 7.62.'de 60A akım şiddetinde kaynak bölgesi SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.62. 60A akım şiddetinde SEM görüntüleri

Kaynak bölgesinden alınan EDX analizi Şekil 7.63.'de verilmiştir.

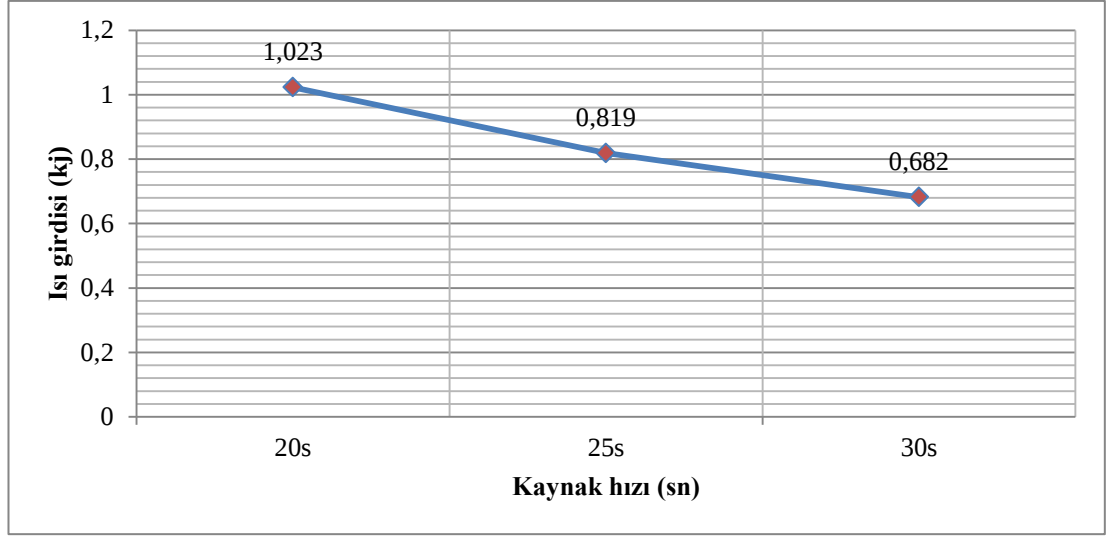


Alınan Nokta	Element Ağırlıkça (%)								
	Al	Mg	Si	F	Fe	Bi	O	Mn	Ag
1	96,8	0	1,2	3,1	0	0	0	0	0
2	90,8	2,6	4,8	0	0	0	0	0	1,8
3	88,5	3,6	4,4	0	2,9	0	0	0	0,7
4	76,3	1,2	1,6	0	1,8	15,9	0	0	3,1
5	94,5	3,5	1,9	0	0	0	0	0	0
6	83,9	0	6,4	0	7,8	0	0	0	1,9
7	84,3	2,7	3,2	3,7	0	0	5,2	0	0,8

Şekil 7.63. 60A akım şiddetinde EDS analizi

7.2.4.2. Kaynak hızının ısı girdisine ve mikroyapı özelliklerine etkisi

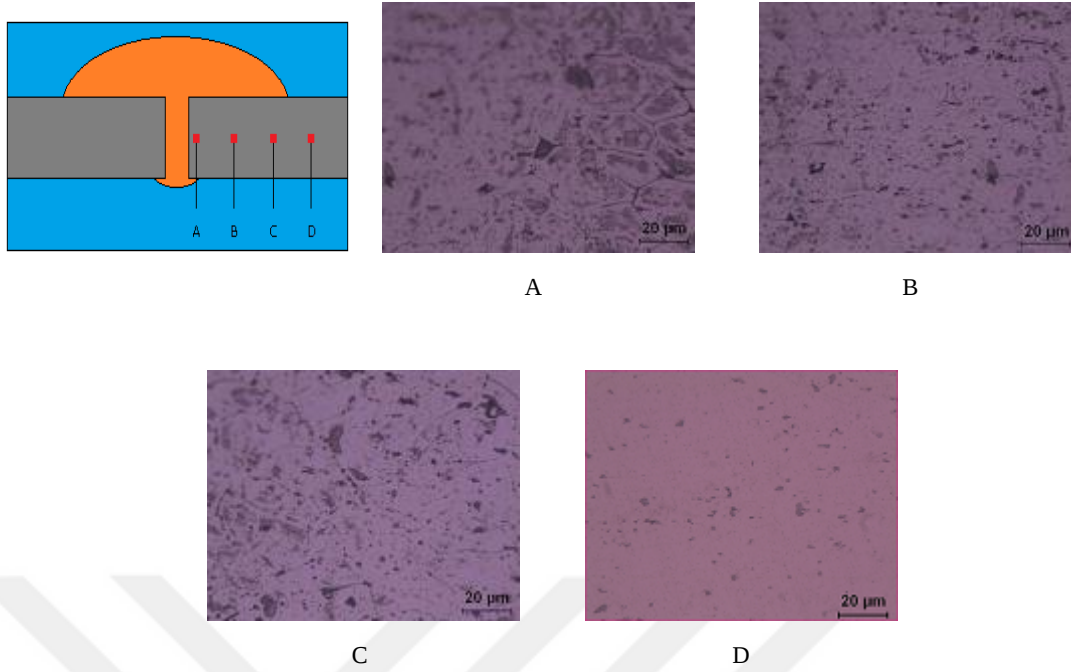
Farklı kaynak hızlarında kaynak işlemleri yapılan 6082 Alüminyum malzemenin ısı girdileri grafiği Şekil 7.64.'de gösterilmektedir.



Şekil 7.64. Farklı kaynak hızlarında ısı girdisi grafiği

Şekil 7.64. grafikte gösterildiği gibi kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azaldığı görülmektedir. En düşük ısı girdisi 0,682 kJ olurken, mukavemet değerlerine göre belirlediğimiz optimum değerler 25 sn kaynak hızlarında ısı girdileri 0,819 kJ olmuştur.

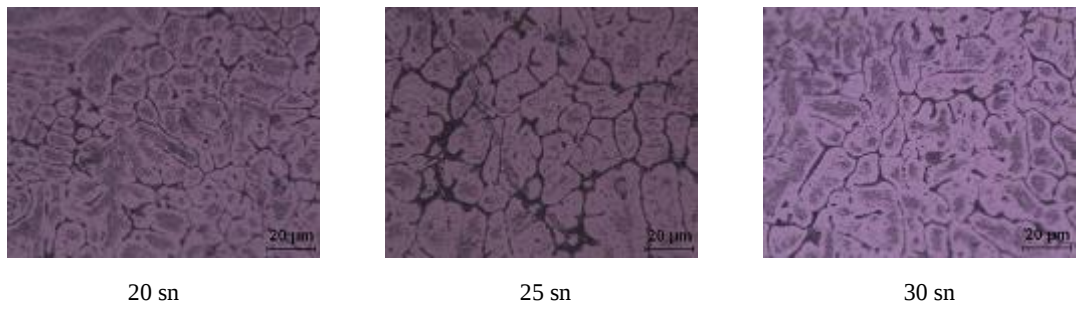
Kaynak hızı 20 sn olarak belirlenmiş ana malzemenin AlSi5 teli kaynağı yapılmış bölgeye ait olan mikroyapı görüntüleri Şekil 7.65.'de verilmiştir.



Şekil 7.65. 20sn kaynak hızı mikroyapı görüntüleri

Şekil 7.65. 20 sn mikro yapı görüntüleri verilmiştir. A noktasında kaynak bölgesi ve ITAB bölgesinde kesişimi gösteren mikroyapı görüntüsüdür, B ve C ITAB noktalarına ait mikroyapı görüntüsüdür ve D noktası esas metali göstermektedir.

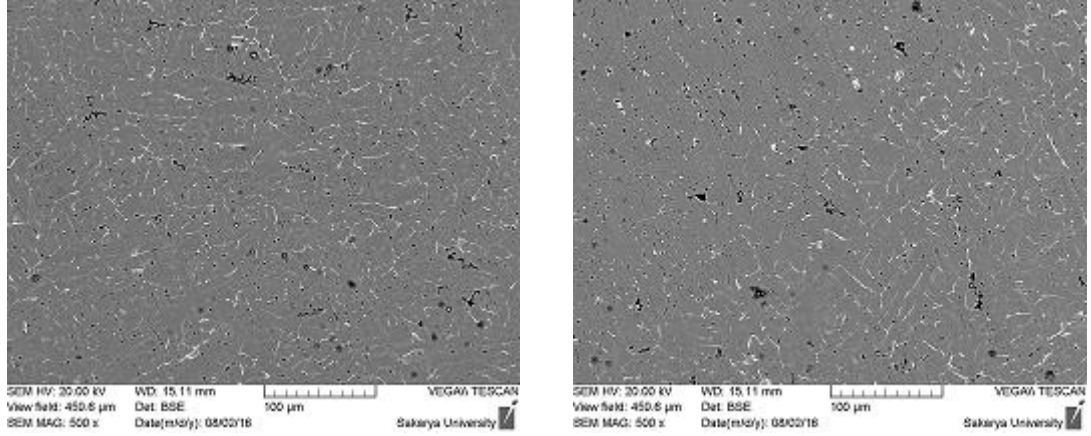
Şekil 7.66.'da farklı kaynak hızlarında yapılmış kaynakların mikroyapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 7.66. Farklı kaynak hızların kaynak bölgesi mikro yapı görüntüleri

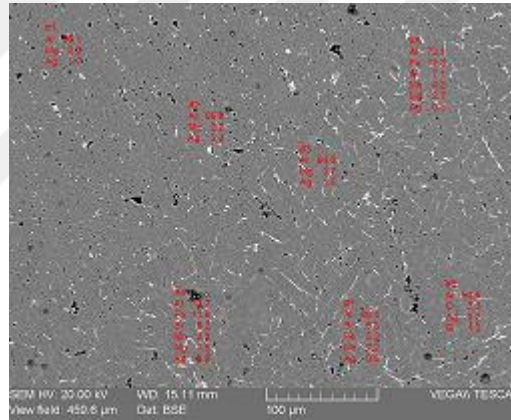
Şekil 7.66.'da verilen mikroyapı görüntülerinde tane yapılarının tane dağılımları ve çökelti farklılıkları gözükmemektedir.

Şekil 7.67.'de 20 sn kaynak hızına ait SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.67. 20 sn kaynak hızı SEM görüntüleri

Şekil 7.68.'de 20 sn kaynak hızı bileşim bölgesi EDS analizi verilmiştir.



Alınan Nokta	Element Ağırlıkça (%)						
	Al	Mg	Si	Fe	O	Mn	Ag
1	96,1	2,2	0	0	0	0	1,7
2	95,8	2,2	0	0	0	0	2
3	94,8	3,7	0	0	0	0	1,5
4	73,7	1,9	9,2	11,6	0	3	0,6
5	73,1	2,7	7,1	12,3	0	4,2	0,5
6	93,5	0	1	0	3,3	0	2,2
7	86,4	0	5,5	5,3	0	2,2	0,6

Şekil 7.68. 20 sn kaynak hızı EDS analizi

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada 1mm kalınlığa sahip 6082 alüminyum levhalar CMT-kaynak yöntemi kullanılarak magnezyum esaslı AlMg5 ve silisyum esaslı AlSi5 telleri ile birleştirilmiştir. Numuneler tek biçim alın bağlantılar olarak hazırlanmıştır. CMT-kaynak AlMg5 teli ile alın birleştirme için dört farklı parametrede, akım şiddeti, kaynak hızı, gaz debisi ve torç açısı olarak, AlSi5 teli ile alan birleştirme için iki farklı parametrede, akım şiddeti ve kaynak hızı olarak uygulanmış ve incelenmiştir. CMT kaynağı yapılmış malzemelerin mukavemet özellikleri ve bağlantı bölgesi arasındaki mikrosertlik dağılımları incelenmiştir. Makro ve mikroyapı incelemelerinde optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal element analiz cihazı EDS kullanıldı. Bu çalışmada akım şiddeti, kaynak hızı, gaz debisi, torç açısı ve kaynaklı bölge ile 6082 Alüminyum arasındaki geçiş bölgesinin mikroyapısı ve mikrosertliği üzerindeki dağılımları araştırılmıştır. Çalışmalarda kullanılan 1 mm kalınlığa sahip 6082 Alüminyum ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlardan çıkarılan öneriler aşağıda sunulmuştur.

1. 6082 alüminyum levhanın CMT kaynağında 110A akım şiddeti, 20sn kaynak hızı 9,7V kaynak geriliminde levhada ergime ve delinme görülmektedir. 60A akım şiddetinde yetersiz ısı girdisinden dolayı kaynak metali malzemeye birleşmemiştir 65A akım şiddetinde ısılatma açısı 90° üstündedir yetersiz ısılatma meydana gelmiştir Kumar ve ark. [35] yaptığı çalışmadaki görüntüye benzerdir. 70A akım şiddetinde nüfuziyet sağlanmaya başlamış, 75A akım şiddetinde maksimum çekme mukavemeti değerinde artış gözlenmiştir.

6082 Alüminyum 60A ve 65A akım şiddetlerinde kaynak metalinden, 70A ve 90A akım şiddetlerinde ITAB bölgesine yakınından 75, 80, 85, 95, 100 ve 105A akım şiddetlerinde ana malzemelerden kopmuştur.

Farklı kaynaklara göre ıslatma açısı 30° küçük olmalıdır. Yeterli bir nüfuziyet içinse açı 25° küçük olmalıdır [36]. 65 ve 70A akım şiddetlerinde kaynak ıslatma açıları 50° üstündedir. Bu pozisyon ıslatma açısı bakımından uygun olmadığını göstermiştir. 75A akım şiddetinde ıslatma açısı $28,39^\circ$ düzeyinde bir iyileşme göstermiştir, 80A akım şiddetinde $18,89^\circ$ ıslatma açısıyla makro görüntülerin istenilen veya kabul edilebilir bir seviyeye geldiği görülmüştür. 85A akım şiddetinden itibaren kaynak kökünde nüfuziyet artışı görülmüştür. Akım şiddeti arttıkça ıslatma açısı azalmakta ve kaynak başlığından genişliği arttıgıda görülmüştür.

65 ve 70A akım şiddetlerinde kaynak kep genişliği kaynak kep genişliği 5 mm'nin altında, kaynak yükseklikleri 2 mm ile 1,8 mm arasındadır. Kaynak kep genişliği 75A ve üzerindeki akım şiddetlerinde genel olarak 5 mm üstündedir ve kaynak yükseklikleride 1 mm altındadır. Bu değerler mukavemet sonuçlarıyla beraber incelendiğinde kaynak kepi genişliğinin 5 mm ve üstünde, kaynak yüksekliğinin 1 mm ve altında olması gerektiği düşünülebilir.

Farklı kaynak akım şiddetlerinde AlMg5 ilave metali ile yapılmış kaynağın sertlik değerleri incelendiğinde akım şiddetlerine bağlı farklılıklar olmuştur. ITAB bölgelerinde sertlik kaynak akım şiddeti ile beraber artmaktadır Liang ve ark. [34]. Kaynak bölgesi sertlik değerleri ana malzemedan düşük çıkmıştır. Bu değerler içinde sadece 65A akım şiddeti değeri bu değerlendirmeye uymamaktadır. 65A akım şiddeti üstündeki değerlerde kaynak metali genel olarak ana metal ve ITAB bölgesinden düşük çıkmıştır. 70A ve 85A akım şiddetlerinde kaynak bölgesi mikro sertlik değerleri 61,9 HV – 65,1 HV arası bir değer çıkmıştır, 90A ve 105A akım şiddetleri arası 55,3 HV – 89,2 HV arası çıkmıştır değerler Liang ve ark. [34]. Ani sertlik

değişimi olarak da kaynak metali ve ITAB arasında Mg_2Si katı çözelti erimesi ve aşırı doymamış katı çözelti oluşturmaları olabilir.

Farklı akım şiddetlerinde AlMg5 ilave metal ile kaynaklanan bölgenin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde 65A akım şiddetinde kaynak metali kendi yapısı görülmektedir. 75A akım şiddetinde α -Al ve Mg_2Si görülmektedir. 85A akım şiddeti ve 95A akım şiddeti birbirine benzer yapılar olarak görünmekte ama dendrit oluşumları sıklaşmış görülmektedir. 100A ve 105A akım şiddetlerinde dendrit biraz daha sık ve çökelmeleride görebilmekteyiz.

2. 6082 Alüminyum levhanın CMT yöntemiyle alın altına kaynağında, farklı kaynak hızları maksimum çekme dayanım değerleri incelendiğinde, kaynak yapılmış numunelerin ana malzemedan koptuğu belirlenmiştir.

Kaynak hızı veya süresi arttıkça ısı girdisi azalmıştır, bu durumda ısı tesiri altındaki bölge daralmıştır. Buradaki değerlere bakıldığında kaynak hızı 25 sn'de en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşılmıştır.

Kaynak hızlarının tüm değerlerinde ısılatma açıları 10° ile 30° arasında olduğu görülmektedir. Kaynak hızlarının sürelerine bakılarak ısılatma açıları makuldür yalnız mukavemet değerlerine bakılarak 25 sn üstündeki değerlerde düşme gözlenmiştir.

Kaynak hızı veya süresi arttıkça kaynak kep genişliği arttığı görülmüştür. Kaynak kep genişliği başlangıçta 20 sn kaynak hızında 5 mm iken, 25 sn kaynak hızında 4,7 mm değerine yakın, 45 sn kaynak hızında 7,44 mm olmuştur. Kaynak hızı veya süresi arttıkça ısı girdisi azalmıştır buna rağmen kaynak genişliği artmıştır buda ısı girişini süreyle beraber ısı girişinin kısa devre ve darbeler sayısı etkilediğini gösterebilir jie ve ark. [37]. Bu durum aynı zaman kaynak kep yüksekliğinin azalmasınıda sağlamaktadır Liang ve ark. [34].

Farklı kaynak hızlarında ısı girişinin farklı olmasından dolayı sertlik değerleride değişmektedir. 20 sn, 25 sn, ve 30 sn kaynak hızlarında ısı girişi yüksek olduğu ve bu kaynak metalinden ITAB bölgesine geçişte daha yüksek değerlerde geçtiği görülmektedir. 35 sn, 40 sn, 45 sn kaynak hızlarında ısı girişleri daha azdır buda sertlik geçişlerinde birbirine daha yakın ve değerlerin düzgün olduğu görülmüştür.

AlMg5 ilave metal ile farklı kaynak hızlarının kaynağı yapılan metalin kaynak bölgesinin mikroyapı görüntülerinden kaynak hızı veya süresi arttıkça dendrit oluşumunun arttığı gözlenmektedir. α -Al içerisindeki magnezyum çökeltileri ve metaller arası fazların çökeltilerinin yoğunlaştığı gözükmemektedir.

3. 6082 Alüminyumun alın altına CMT kaynağında, farklı kaynak gaz debisi maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, malzemelerin ana malzemeden kopmuş oldukları görülmektedir. 10 L/dk ve 12 L/dk gaz debisi ile kaynaklanan malzemeler kaynak bölgesine biraz daha yakındır. Kaynak gaz debisi 11 L/dk ve 12 L/dk da en yüksek çekme mukavemeti değerlerine sahiptir.

9, 10, 11, 12, 13 ve 14 L/dk gaz debisi uygulanan numunelerin makro görüntülerinden kaynak ısılatma açılarının 13 L/dk haricinde hepsi 17° ile 22° arasında olduğu görülmektedir. Bu değer aralıklarındaki ısılatma açıları uygunluğu, akım şiddeti ve kaynak hızı parametrelerinde uygun görülen ısılatma açılarına yakınlık göstermesi gaz debisi farkının, ısılatma açısını çok etkilemediğini gösterebilir.

6082 Alüminyumun değişen kaynak gaz debisine bağlı olarak kaynak kepinin en geniş olarak 13 L/dk gaz debisinde ölçülmüştür. Kep genişliği 9 L/dk gaz debisinde 4,7 iken 13 L/dk 5,4 mm olmuştur. Kaynak gaz debisi kaynak genişliği grafiği incelendiğinde ve mukavemet sonuçları incelendiğinde en

yüksek değerin 11 L/dk gaz debisi 5,07 mm kaynak genişliğinde görülmüştür. Kaynak gaz debisi ve kaynak yüksekliği değerlendirildiğinde, kaynak gaz debisinin artması ile kaynak kep üstündeki basınç artmıştır. Bu sebeplerden kaynak gaz debisi ıslatma açısını çok etkilemese de mukavemete etkisi olduğu düşünülmektedir.

İlave kaynak metali bölgesinden alınan mikrosertlik değerlerinde 9, 10, 11, 12, 13 L/dk'da mikrosertlik 60 HV ve üzerinde çıkmıştır 14 L/dk'da mikrosertlik 60 HV altında çıkmıştır. ITAB bölgesinde sertlik değerleri kaynak metalinden yüksektir. ITAB bölgesi ve kaynak metalinin kesiştiği noktalarda sertlik hızlı artmıştır buralarda tam bir ergime olmadığı geçiş noktalar ve dendritik yapılar mikro sertlik değerini arttırdığı düşünülmektedir.

Farklı kaynak gaz debilerinde AlMg5 ilave metali le kaynaklanan bölgenin mikroyapı görüntülerinden kaynak gaz debisi arttıkça eş eksenli tanelerden daha çok dendritik yapılara geçiş olduğu gözlenmiştir. Oluşan bu dendritik yapılarda gaz debisi arttıkça değişim oranı aynı kalmıştır. Kumar ve ark. [48] 18 L/dk yaptığı çalışmalar, Liang ve ark. [34] 10 L/dk ile 20 L/dk aralıklarındaki çalışmaları, cao ve ark. [8] 15 L/dk yaptığı çalışmalar, Yang ve ark. [11] 16 L/dk yaptığı çalışmalar, David ve ark. [38] 10 L/dk yaptığı çalışmalar, gibi çalışmalarda yüksek gaz debilerine rağmen benzer çökeltiler oluşan faz yapıları ve dendritik yapılar görülmüştür. Buda gaz debisinin çok fazla etki etmediğini göstermektedir.

4. 6082 Alüminyum alın altına CMT kaynağında, farklı kaynak torç açılarında maksimum çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, kaynak torç açısı değeri 50° de en yüksek çekme mukavemeti değeri olarak gözlenmiştir.

50, 60, 80 ve 90° torç açısı uygulanan numunelerin makro görüntülerinden kaynak ıslatma açısı 20° altındadır. Bu değerin altındaki ıslatma açısının uygunluğu, akım şiddeti, kaynak hızı ve kaynak gaz debisi parametrelerinde uygun görülen ıslatma açıları ile yakın değerler çıkmaktadır.

50, 60, 80 ve 90° torç açısı uygulanan numunelerin makro görüntülerinde kaynak torç açısı arttıkça kaynak kep genişliği önce artıp daha sonra azalmıştır. Kaynak genişliği 4,1-5,4 mm aralığındadır. Bu genişlik diğer bulgulardaki optimum değerlerle uygun çıkmaktadır. Kaynak torç açısı ve kaynak yüksekliği 1 mm'den küçük çıkmaktadır. Kaynak torç açısı kep yüksekliğini düşürmektedir.

İlave dolgu metali AlMg5 bölgesinden alınan ortalama mikrosertlik değerlerinde, kaynak torç açısı değeri arttıkça ısı girdisinin ana malzemeye dikey konumda etkisiyle mikrosertlik değerinin arttığı görülmüştür.

AlMg5 ilave metali ile farklı kaynak torç açılarında kaynaklanan bölgenin mikroyapı görüntülerinden, kaynak torç açısı arttıkça dendrit oluşumu arttığı fakat ısı girdisi dağılımından dendrit dağılımı da farklılaşmıştır. Farklı kaynak torç açıları mukavemet sonuçlarında 50° en yüksek değeri vermektedir. Fakat sertlik sonuçları değerlendirildiğinde 80° uygun görülmektedir.

5. AlMg5 ilave metali kullanılarak CMT kaynağı yapılan 1 mm 6082 Alüminyum levhanın alın altına birleştirme parametreleri değerlendirildiğinde, akım şiddeti 75A de 28° ısılatma açısındadır. Mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde, kaynak kepi genişliğinin 5 mm, kaynak yüksekliğinin 1 mm altında olması gerekmektedir Bu değerlendirmeden ile kaynak hızı 25 sn, kaynak gaz debisi 12 L/dk'dır. Torç açısı alın birleştirmede 50° en yüksek değeri vermiştir.

AlMg5 ilave metali ile CMT kaynağı yapılan 1 mm kalınlığında 6082 Alüminyum levhanın alın birleştirme parametrelerinde belirlenen optimum değerlerinde elde edilen sonuçlar Literatürdeki çalışmalara yakın değerler çıkmıştır.

6. 6082 Alüminyum levhanın AlSi5 ilave metali ile alın altına CMT kaynağında, 80A akım şiddeti, 25sn kaynak hızı, 8,0V kaynak geriliminde ergime ve delinme görülmektedir. 55A akım şiddetinde malzeme kaynaktan kopmuştur. 60A akım şiddetinde nüfuziyet sağlanmaya başlamış, 70A akım şiddetinde maksimum çekme mukavemeti gözlenmiştir.

6082 Alüminyum 55A akım şiddetinde kaynak metalinden, 60, 65 ve 70A akım şiddetinden ITAB bölgesi yakınından kopmuştur.

Islatma açıları bakımından 55A akım şiddetinde kaynaktan kırıldığı için ölçülememiştir. 60A ve 65A akım şiddetlerinde ıslatma açıları $29,31^\circ$ ve $27,4^\circ$ olarak ölçülmüştür. 70A akım şiddetinde $17,54^\circ$ ıslatma açısıyla makro görüntülerin istenilen ve kabul edilebilir bir seviyeye geldiği görülmüştür. Akım şiddeti artıkça ıslatma açısı azalmaktadır.

60, 65 ve 70A akım şiddetlerinde kaynak kep genişliği 3,8-4,4 mm aralığındadır ve kaynak yükseklikleride 60A akım şiddetinde 1,02 mm, 65A akım şiddetinde 0,98 mm ve 70A akım şiddetinde 0,38 mm değerindedir. Bu değerler AlSi5 ilave metali ile yapılan kaynağın mukavemet sonuçlarıyla beraber incelendiğinde kaynak kep genişliğinin 4,5 mm altında, kaynak kep yüksekliğinin 1 mm ve altında olması gerektiği düşünülebilir.

Farklı kaynak akım şiddetlerinde AlSi5 ilave metali ile yapılmış kaynağın sertlik değerleri incelendiğinde akım şiddetlerine bağlı farklılıklar olmuştur. ITAB bölgelerinde sertlik akım şiddeti ile beraber artmaktadır. Kaynak bölgesi sertlik değerleri ana malzemedan düşük çıkmıştır. Bu değerler içinde 55A akım şiddetinde kaynaktan kopmuştur, 65 ve 70A akım şiddetleri AlMg5 teli ile aynı akım şiddetlerinde yapılan kaynağa göre biraz daha yüksek çıkmıştır. 65 ve 70 A akım şiddetlerinde kaynak bölgesi mikro sertlik değerleri 62,8 HV-89,9 HV arası değerler çıkmıştır. Ani sertlik değişimi olarak kaynak metali ve ITAB arasında Mg_2Si Katı çözeltilisinin tam erimemesi ve aşırı doymamış katı çözeltili oluşturması olabilir.

Farklı akım şiddetlerinde AlSi5 ilave metali ile kaynaklanan bölgenin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde 55A akım şiddetinde sadece ilave metalin mikroyapısı görünmektedir, akım şiddeti arttıkça dendritik yapının arttığı ve yoğunlaştığı gözükmetedir. 65A akım şiddetinde 60A akım şiddetine göre daha fazla Mg_2Si yapısı görülmektedir $MgAl$ yapısının aralarında yayılmış şekilde ve Fe veya Mn olduğu düşünülen tanecikleri görebiliriz. 70A akım şiddetinde yoğunluk daha da artmıştır ve çökelmeleride görebiliriz.

7. 6082 Alüminyum levhanın AlSi5 ilave metali kullanılarak CMT yöntemiyle alın alına kaynağında, farklı kaynak hızları maksimum çekme dayanım değerleri incelendiğinde kaynak yapılmış numunelerin ana malzemeden koptuğu belirlenmiştir.

Kaynak hızı veya süresi arttıkça ısı girdisi azalmıştır, bu durumda ısı tesiri altındaki bölge daralmıştır. Buradaki değerlere bakıldığında kaynak hızı 20 sn'de en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşılmıştır.

Kaynak hızlarının süre arttıkça ısılatma açısı süreye bağlı artmıştır. Islatma açıları 26° ile 33° arasında olduğu görülmektedir. Kaynak hızlarının sürelerine bakılarak ısılatma açıları 30° altında olan 20 sn ve 25 sn değerleri makul sayılmaktadır.

Kaynak hızı veya süresi arttıkça kaynak kep genişliği arttığı görülmüştür. Kaynak kep genişliği başlangıçta 20 sn kaynak hızında 3,33 mm iken, 25 sn kaynak hızında 4,44 mm 30 sn kaynak hızın 5,01 mm olmuştur. Kaynak hızı veya süresi arttıkça ısı girdisi azalmıştır buna rağmen kayna genişliği artmıştır buda ısı girişinin süreyle beraber kısa devre ve darbeler sayısı etkilediğini gösterebilir. Bu durum kaynak kep yüksekliğinde etkilemektedir.

Farklı kaynak hızlarında ısı girişinin farklı olmasından dolayı sertlik değerleride değişmektedir. Sertlik değerlerinin ITAB bölgesine geçişte kaynak metaline göre daha yüksek geçtiği görülmektedir. Sertlik değerlerine birbirine yakın geçişler yaptıkları görülmüştür.

AlSi5 ilave metal ile farklı kaynak hızlarının kaynağı yapılan metalin kaynak bölgesi mikroyapı görüntülerinden kaynak hızı veya süresi arttıkça dendrit oluşumunun arttığı görülmüştür. Mg_2Si yapısı genişlediği görülmüştür, $\alpha-Al$ içerisindeki magnezyum çökeltileri ve metaller arası fazların çökeltilerinin yoğunlaştığı gözükmemektedir.

8.2. Öneriler

1. 6082 Alüminyumun CMT kaynağı ile bundan sonraki yapılacak çalışmalarda, soğuma süreleri, sıcaklık dağılımları ve gerilim etkileri incelenebilir.
2. 6082 Alüminyumun CMT kaynağında korozyon, darbe, yorulma ve eğme davranışları incelenebilir.
3. 6082 Alüminyumun CMT kaynağında kaynak aralıkları incelenebilir.
4. 6082 Alüminyumun CMT kaynağında bindirme şeklinde birleştirilmesi incelenebilir.
5. 6082 Alüminyumun CMT kaynağında AlSi5 ilave metali ile gaz debileri, torç açıları incelenebilir.
6. 6082 Alüminyumun CMT kaynağında farklı gaz karışımları ile ilgili çalışmaların yapılması düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Chawla, K. K., Composite Materials Science And Engineering, 164-211, Springer- Verlag, USA, 1998.
- [2] Tekin, R., AA 2014, AA6082 Alüminyum Alaşımlarının oksidasyonu ve mekaniksel özelliklerin incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [3] Yılmaz, M., 7.Alüminyum Sempozyumu, İstanbul, 2015.
- [4] Anık, S., 1000 soruda kaynak teknolojisi el kitabı Birsen Yayınevi, 395-396, 1993.
- [5] Taban, E., 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının TIG, MIG ve Sürtünen eleman ile birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2004.
- [6] Mathers, G., The welding of aluminium and its alloys, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK 22-23, 2007.
- [7] Bradley, G. R., James, M. N., “Geometry and microstructure of metal inert gas and friction stir welded aluminium alloy 5383-H321”, www.tech.plymouth.ac.uk/sme/UoA30/Weld_Microstructure.PDF, Erişim Tarihi: 19.04.2017.
- [8] Cao, R., Wen, B. F., Chen, J. H., Wan, Pei-Chung: Cold Metal Transfer joining of magnesium AZ31B-to-aluminum A6061-T6, Materials Science & Engineering, A 560, 256-266, 2013.
- [9] Davis, ASM Specialty handbook aluminum and aluminum alloys, ASM International, 3-59, 2002.

- [10] Askeland, çeviri: Erdoğan, M. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt1 Nobel Yayın Dağıtım, 265-269, 2002.
- [11] Shanglu Yang, jing Zhang, Jin Lian, Yongpin Lei: Welding of aluminum alloy to zinc coated steel by cold metal transfer, Material and Design, 49, pp. 602-612, 2013.
- [12] Avettand-Fenoel, M.-N., Racineux, G., Debeugny L., Taillar R. Microstructural characterization and mechanical performance of an AA2024 aluminium alloy-pure copper joint obtained by linear friction welding, Materials and Design, 98, 305-318, 2016.
- [13] Callister, W. D., Retwisch, D. G., çeviri: Genel, K malzeme bilimi ve mühendisliği sekizinci baskıdan çeviri, Nobel akademi yayıncılık, 2013.
- [14] Onaran, K., Malzeme bilimi, Bilim teknik yayın evi, 320-321, 2000.
- [15] http://www.oerlikon.com.tr/files/demir_disi_metallerin_kaynagina_giris.pdf, Erişim Tarihi: 27.03.2017.
- [16] Mondolfo, L. F., etallography of aluminum alloys, John wiley & Sons Inc., New York, 1943.
- [17] Sheppard, T., Extrusion of aluminium alloys Department of product design and manufacture, Bournemouth University, 1999.
- [18] Brady, G. S., Clauser, H. R., Vaccor, A. J., Hill, M. G., Aluminium Alloys, Materials Handbook, p.42-49, 1989.
- [19] Oğuz, B., Demir dışı metallerin kaynağı metalurji-uygulama, Oerlikon yayınları, İstanbul, 1990.
- [20] Sun, Y. F., Fujii, H., Tsuji, N., 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, 2013.
- [21] Karavolis, M., JHA, S., Forster, J., V6 ASM Handbook: Welding, Brazing, and Soldering, D.L. Olson, T.A. Siewert, S. Liu, and G.R. Edqards, eds., ASM International, Materials Park, OH, 1993.
- [22] Kaya, Ö., Lehimleme tekniğinde otomasyon ve işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

- [23] Varol, F., MIG lehimleme yöntemi ile dual fazlı çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [24] Uzun, H., Sert lehimleme teknikleri, Değişim Yayınları, Sakarya Üniversitesi, 2002.
- [25] Ferik, E., MIG lehimleme yöntemi ile TRIP 800 çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [26] Aslanlar, S., Ders notları, Sakarya Üniversitesi.
- [27] Kahraman, N., Gülenç, B., Modern Kaynak Teknolojisi Geliştirilmiş ve Genişletilmiş 2. Baskı, Epa-Mat Basın Yayın Ltd. Şti., 1-323,2013.
- [28] Güngör, B., AW5083-H111 ve Aw6082T-651 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma (FSW) ve robotik CMT-MIG kaynak yöntemleri ile kaynağında mekanik ve metalürjik özelliklerinin incelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [29] Jicai Feng, Hongtao Zhang, Peng He: The CMT short-circuiting metal transfer process and its use in thin aluminium sheets welding, Materials and Design, 30, pp. 1850-1852, 2009.
- [30] İrizalp, A. O., Kaynakla birleştirilmiş alüminyum alaşımı sacların mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [31] Peikin, C. G., Williams, S. W., Lunt, M., Characrterisation of the cold metal transfer (CMT) process and its application for low dilution cladding, Journal of Materials Processing Technology, 211, pp. 496-502, 2011.
- [32] http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-B3CCE53B-E1561288/fronius_istanbul/hs.xsl/35_9922.htm#.WPjA5mclHIV, Erişim Tarihi: 27.03.2017.
- [33] http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-03792BE3-CE174961/fronius_uk/TR_leaflet_CMT_113_www_109526_snapshot.pdf, Erişim Tarihi: 27.03.2017.

- [34] Liang, Y., Hu, S., Shen, J., Zhang, H., Wang, P., Geometrical and microstructural characteristics of the TIG-CMT hybrid welding in 6061 aluminum alloy cladding, *Journal of materials processing technology*, 239, 18-30, 2017.
- [35] Kumar, N. P., Venda, S. A., Shanmugaum, N. S., Investigations on the parametric effects of cold metal transfer process on the microstructural aspects in AA6061, *Journal of Alloys and Compounds*, 658, 255-264, 2016.
- [36] http://www.askaynak.com.tr/contents/34/20110704114231_gazalti-ark-kaynagi.pdf, Erişim Tarihi: 14.04.2017.
- [37] Pang, J., Hu, s., Shen, J., Wang, P., Liang, Y., Arc characteristics and metal transfer behavior of CMT+P welding process, *Journal of Materials Processing Technology*, 238, 212-217, 2016.
- [38] David, K. A., PSM Team, Study of metallurgic and mechanical properties of laser welded heterogeneous joints between DP600 galvanised steel and aluminium 6082, *Materials and Design*, 54, 184-195, 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Şafak IŞIK 1986 yılında Bolu’da doğdu. İlkokulu Bolu’nun Milli Egemenlik İlkokulunda Ortaokulu Atatürk İlköğretim okulunda tamamladı. 2003 yılında Bolu Atatürk Lisesi’ nde (Y.Dil) mezun oldu. 2005-2010 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi’ nde Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitime başladı, 2015-2016 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde Mühendislik tamamlama programıyla mühendislik lisans eğitimini tamamladı. Halen yüksek lisans eğitime devam etmektedir.