

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SAVUNMA SANAYİSİNDE
CMT UYGULAMALARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur ERSOY

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Salim ASLANLAR

Ocak 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ


**SAVUNMA SANAYİSİNDE
CMT UYGULAMALARININ İNCELENMESİ**

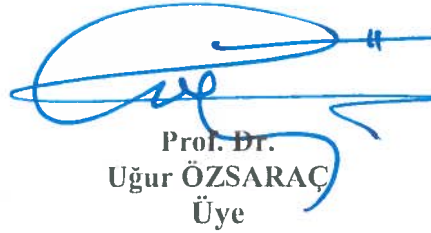
YÜKSEK LİSANS TEZİ

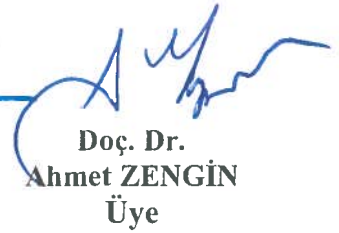
Uğur ERSOY

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 24.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Uğur ÖZSARAÇ
Üye


Doç. Dr.
Ahmet ZENGİN
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.

Uğur ERSOY

27.10.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden ve aynı titizlikle beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Malzeme, kaynak işlemleri, CMM ölçümü, basınç testi, VT ve PT işlemleri konusunda yardımlarını esirgemeyen MEG Gemi Mak. San. Tic. Ltd. Şti. firmasına ve kalite kontrol sorumlusu İsmail SÜNER'e teşekkür ederim.

CMT robotik kaynak çalışmalarında yardımcı olan Fronius firmasına ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Laboratuvar olanakları konusunda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen İmkosan firması laboratuvar müdürü Dr. İnan GEÇMEN ve laboratuvar teknisyeni Ali GİTMEZ'e teşekkür ederim.

Bu uzun ve zorlu süreçte desteklerini esirgemeyen, yanımda olan eşim Büşra ERSOY, kızım İnci ERSOY'a ve aileme sonsuz minnetlerimi sunar, tez çalışmamın bilim dünyası ve sanayi çalışmalarına faydalı olmasını dilerim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
SAVUNMA SANAYİ	4
BÖLÜM 3.	
SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT) YÖNTEMİ	8
3.1. Could Metal Transfer (Soğuk Metal Transferi) Yöntemi	8
3.2. CMT Yönteminin Genel Üstünlükleri	12
3.3. Kaynak Bağlantılarında CMT Yönteminin Üstünlükleri	13
3.3.1. Çelik malzemede CMT uygulaması	13
3.3.2. Alüminyum malzemede CMT uygulaması	16
3.4. Yöntemin Türevleri	18
3.5. Alüminyum Malzemelerde MIG Kaynağı Uygulama Kriterleri	20

BÖLÜM 4.

KULLANILAN MALZEMELER	22
4.1. Ana Malzemenin Özellikleri	22
4.2. Dolgu Telinin Özellikleri	23
4.3. Koruyucu Gazın Özellikleri	24
4.4. Kullanılan Test Cihazları	24
4.4.1. Spektrometre cihazı	24
4.4.2. Çekme ve eğme cihazı	25
4.4.3. CMM ölçüm cihazı	26
4.4.4. Makro / Mikro görüntü cihazı	28
4.4.5. Sertlik ölçüm cihazı	29
4.4.6. Basınç testi cihazı	29
4.5. Kullanılan Kaynak Makinaları	30
4.5.1. Fronius robotik CMT makinası	30
4.5.2. Kemppi MIG kaynak makinası	31

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
5.1. Ana Malzeme Kimyasal Analizi	34
5.2. Kaynak Öncesi Ön Hazırlık	34
5.3. Kaynak İşlemi	34
5.4. Numune Parçaların Hazırlanması	39
5.5. Deneylerin Yapılışları	43
5.5.1. Çekme ve eğme deneyi	43
5.5.2. Makro/mikro görüntüleme	47
5.5.3. Vickers sertlik ölçümü	56
5.5.4. Penetrant testi uygulaması	59
5.5.5. Basınç testi uygulaması	60
5.5.6. CMM ölçümü	61
5.5.6.1. Kaynak öncesi CMM ölçümü	62
5.5.6.2. Kaynak sonrası CMM ölçümü.....	67

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	73
6.1. Görsel İnceleme Sonuçları	73
6.2. Penetrant Testi Sonuçları	74
6.3. Basınç Testi Sonuçları	74
6.4. CMM Ölçüm Sonuçları	75
6.5. Çekme Deneyi Sonuçları	79
6.6. Eğme Deneyi Sonuçları	79
6.7. Vickers Sertlik Sonuçları	80
6.8. Makro / Mikro Yapı Görüntü Sonuçları	80

BÖLÜM 7.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	81
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	84

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AA	: Alüminyum Alaşımı
CMM	: Coordinat Measurement Machines (Koordinat Ölçüm Cihazı)
CMT	: Could Metal Transfer (Soğuk Metal Transferi)
EM	: Esas Metal
IEB	: Isı etkisi altındaki bölge
KM	: Kaynak Metali
M1	: CMT- MIG alın kaynağı makro-mikro ve sertlik numunesi
M2	: Geleneksel MIG alın kaynağı makro-mikro ve sertlik numunesi
M3	: CMT- MIG köşe kaynağı makro-mikro ve sertlik numunesi
M4	:Geleneksel MIG köşe kaynağı makro-mikro ve sertlik numunesi
MIG	: Metal Inert Gas
N	: Ana malzeme çekme numunesi
N1	: CMT-MIG kaynak numunesi
N2	: Geleneksel MIG kaynak numunesi
N3	: CMT-MIG alın kaynağı numunesi
N3-1	: CMT-MIG çekme numunesi-1
N3-2	: CMT-MIG çekme numunesi-2
N3-3	: CMT-MIG yüzey eğme numunesi-1
N3-4	: CMT-MIG yüzey eğme numunesi-2
N3-5	: CMT-MIG kök eğme numunesi-1
N3-6	: CMT-MIG kök eğme numunesi-2
N4	: Geleneksel MIG alın kaynağı numunesi
N4-1	: Geleneksel MIG çekme numunesi-1
N4-2	: Geleneksel MIG çekme numunesi-2
N4-3	: Geleneksel MIG yüzey eğme numunesi-1
N4-4	: Geleneksel MIG yüzey eğme numunesi-2

- N4-5 : Geleneksel MIG kök eğme numunesi-1
N4-6 : Geleneksel MIG kök eğme numunesi-2
PT : Penetrant Testi
VT : Visual Test (Gözle Muayene)



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. CMT yönteminin aşamaları (a-d)	9
Şekil 3.2. CMT yönteminin milisaniye zaman diliminde akışı	9
Şekil 3.3. CMT yönteminde akım ve voltajın zamanla ilişkisi	10
Şekil 3.4. Robotik CMT sistem konfigürasyonu	11
Şekil 3.5. Manuel CMT sistem konfigürasyonu	11
Şekil 3.6. Kısa devre arkı I:185 A, U:17,6 V ve CMT I:200 A, U:16,2 V	13
Şekil 3.7. Kısa devre arkı ve CMT yönteminin kaynak hızının zamana göre grafiği	14
Şekil 3.8. 1m kaynak dikişi uzunluğunda oluşan çapak miktarı g/m	14
Şekil 3.9. 1m kaynak dikişi uzunluğunda oluşan çapak miktarının görsel fotoğrafı	15
Şekil 3.10. 1mm Çelik kaynağında kısa ark ile CMT yöntemi ısı girdileri karşılaştırılması	15
Şekil 3.11. 1mm çelik kaynağında kaynak dikişi görüntüleri	16
Şekil 3.12. 0,3 mm Alüminyum levhanın kaynağı	16
Şekil 3.13. 3 mm Alüminyum levhanın kaynağı	16
Şekil 3.14. Isı girdisi ve kaynak hızlarının karşılaştırılması	17
Şekil 3.15. 2mm kalınlığındaki levhanın bindirme kaynağında boşluk doldurma kabiliyeti	17
Şekil 3.16. CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon	18
Şekil 3.17. Negatif CMT ve pozitif CMT' nin kombinasyonu	19
Şekil 3.18. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon	19
Şekil 3.19. Farklı CMT uygulamalarının diğer yöntemler ile karşılaştırılması	19
Şekil 4.1. Oxford Instruments PMI MASTER PRO spektrometre cihazı	25
Şekil 4.2. Instron 5989 Premium Grade 600 KN çekme ve eğme cihazı	26
Şekil 4.3. Faro Edge kollu CMM ölçüm cihazı	27

Şekil 4.4. Epson Perfection V500 Photo makro görüntü cihazı	28
Şekil 4.5. Nikon Eclipse MA 100N mikro görüntü cihazı	28
Şekil 4.6. HIGHWOOD HWDV- X3S sertlik ölçüm cihazı	29
Şekil 4.7. Basınç test cihazı	30
Şekil 4.8. Robotik CMT – MIG kaynak sistemi	31
Şekil 4.9. Geleneksel MIG kaynak makinası - Kemppi	31
Şekil 5.1. Numune deney parçası kesit görünüşü (N1 ve N2)	32
Şekil 5.2. Çekme ve eğme deneyi için numune parça kesiti (N3 ve N4)	33
Şekil 5.3. N1 numunesi CMT-MIG robotik kaynağı ile yapılışının gösterimi	35
Şekil 5.4. N2 numunesi geleneksel MIG kaynağının yapılışının gösterimi	36
Şekil 5.5. N3 numunesi CMT-MIG robotik kaynağı ile yapılışının gösterimi	37
Şekil 5.6. N4 numunesi geleneksel MIG kaynağının yapılışının gösterimi	38
Şekil 5.7. Deney numunelerinin çıkarılma yerleri	39
Şekil 5.8. EN ISO 4136:2012 Çekme numunesi standart boyutları	40
Şekil 5.9. Çekme ve eğme numunelerinin freze tezgahında işleme görseli.....	41
Şekil 5.10. Çekme numunelerinin işlendikten sonraki toplu görseli	41
Şekil 5.11. EN ISO 5173 Eğme numunesi standart boyutları	42
Şekil 5.12. Eğme numunelerinin işlendikten sonraki toplu görseli	42
Şekil 5.13. Metalografi numunelerinin işlendikten sonraki toplu görseli	43
Şekil 5.14. Çekme testi yapılırken çekilmiş görsel	44
Şekil 5.15. Çekme testi uygulanmış numunelerin toplu görünüşü	45
Şekil 5.16. Çekme testi sonuçları	45
Şekil 5.17. Eğme testinin yapılması	46
Şekil 5.18. N3 serisi eğme testinin sonuçları	47
Şekil 5.19. N4 serisi eğme testinin sonuçları	47
Şekil 5.20. M1 ve M2 numuneleri nüfuziyet görseli	48
Şekil 5.21. M3 ve M4 numuneleri nüfuziyet görseli	49
Şekil 5.22. M1 numunesi makro görüntüsü	50
Şekil 5.23. M1 EM mikro görüntüsü 50x büyütme	50
Şekil 5.24. M1 IEB mikro görüntüsü 50x büyütme	50
Şekil 5.25. M1 KM mikro görüntüsü 50x büyütme	50
Şekil 5.26. M1 EM mikro görüntüsü 100x büyütme	50

Şekil 5.27. M1 IEB mikro görüntüsü 100x büyütme	50
Şekil 5.28. M1 KM mikro görüntüsü 100x büyütme	51
Şekil 5.29. M1 EM mikro görüntüsü 200x büyütme	51
Şekil 5.30. M1 IEB mikro görüntüsü 200x büyütme	51
Şekil 5.31. M1 KM mikro görüntüsü 200x büyütme	51
Şekil 5.32. M2 numunesi makro görüntüsü	51
Şekil 5.33. M2 EM mikro görüntüsü 50x büyütme	51
Şekil 5.34. M2 IEB mikro görüntüsü 50x büyütme	52
Şekil 5.35. M2 KM mikro görüntüsü 50x büyütme	52
Şekil 5.36. M2 EM mikro görüntüsü 100x büyütme	52
Şekil 5.37. M2 IEB mikro görüntüsü 100x büyütme	52
Şekil 5.38. M2 KM mikro görüntüsü 100x büyütme	52
Şekil 5.39. M2 EM mikro görüntüsü 200x büyütme	52
Şekil 5.40. M2 IEB mikro görüntüsü 200x büyütme	53
Şekil 5.41. M2 KM mikro görüntüsü 200x büyütme	53
Şekil 5.42. M3 numunesi makro görüntüsü	53
Şekil 5.43. M3 EM mikro görüntüsü 50x büyütme	53
Şekil 5.44. M3 IEB mikro görüntüsü 50x büyütme	53
Şekil 5.45. M3 KM mikro görüntüsü 50x büyütme	53
Şekil 5.46. M3 EM mikro görüntüsü 100x büyütme	54
Şekil 5.47. M3 IEB mikro görüntüsü 100x büyütme	54
Şekil 5.48. M3 KM mikro görüntüsü 100x büyütme	54
Şekil 5.49. M3 EM mikro görüntüsü 200x büyütme	54
Şekil 5.50. M3 IEB mikro görüntüsü 200x büyütme	54
Şekil 5.51. M3 KM mikro görüntüsü 200x büyütme	54
Şekil 5.52. M4 numunesi makro görüntüsü	55
Şekil 5.53. M4 EM mikro görüntüsü 50x büyütme	55
Şekil 5.54. M4 IEB mikro görüntüsü 50x büyütme	55
Şekil 5.55. M4 KM mikro görüntüsü 50x büyütme	55
Şekil 5.56. M4 EM mikro görüntüsü 100x büyütme	55
Şekil 5.57. M4 IEB mikro görüntüsü 100x büyütme	55
Şekil 5.58. M4 KM mikro görüntüsü 100x büyütme	56

Şekil 5.59. M4 EM mikro görüntüsü 200x büyütme	56
Şekil 5.60. M4 IEB mikro görüntüsü 200x büyütme	56
Şekil 5.61. M4 KM mikro görüntüsü 200x büyütme	56
Şekil 5.62. Sertlik ölçümü sonrası elde edilen görüntü	57
Şekil 5.63. M1 ve M2 numuneleri sertlik değerleri ölçümü	57
Şekil 5.64. M3 ve M4 numuneleri sertlik değerleri ölçümü	57
Şekil 5.65. N1 numune parçasının penetrant testi sonrası görseli	60
Şekil 5.66. N2 numune parçasının penetrant testi sonrası görseli	60
Şekil 5.67. N1 numune parçasının basınç testinin yapılışı	61
Şekil 5.68. N2 numune parçasının basınç testinin yapılışı	61
Şekil 5.69. CMM ölçümü için referans noktalarının gösterimi	62
Şekil 5.70. Kaynak öncesi CMM ölçüm işleminin yapılışı	62
Şekil 5.71. N2 yüzey tanımlaması – 1	63
Şekil 5.72. N2-A1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri	63
Şekil 5.73. N2-B1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri	63
Şekil 5.74. N2-C1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri	64
Şekil 5.75. N2 yüzey tanımlaması – 2	64
Şekil 5.76. N2-A2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri	64
Şekil 5.77. N2-B2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri	64
Şekil 5.78. N2-C2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri	65
Şekil 5.79. N3 yüzey tanımlaması – 1	65
Şekil 5.80. N3-A1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri	65
Şekil 5.81. N3-B1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri	66
Şekil 5.82. N3-C1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve	

diklik değerleri	66
Şekil 5.83. N3 yüzey tanımlaması – 2	66
Şekil 5.84. N3-A2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre diklik değerleri	67
Şekil 5.85. N3-B2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre diklik değerleri	67
Şekil 5.86. N3-C2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre diklik değerleri	67
Şekil 5.87. Kaynak sonrası CMM ölçüm işleminin yapılışı	68
Şekil 5.88. Kaynak sonrası N2 yüzey tanımlaması – 1	68
Şekil 5.89. Kaynak sonrası N2-A1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre paralellik ve diklik değerleri	69
Şekil 5.90. Kaynak sonrası N2-B1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre paralellik ve diklik değerleri	69
Şekil 5.91. Kaynak sonrası N2-C1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre paralellik ve diklik değerleri	69
Şekil 5.92. Kaynak sonrası N2 yüzey tanımlaması – 2	69
Şekil 5.93. Kaynak sonrası N2-A2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre diklik değerleri	70
Şekil 5.94. Kaynak sonrası N2-B2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre diklik değerleri	70
Şekil 5.95. Kaynak sonrası N2-C2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre diklik değerleri	70
Şekil 5.96. Kaynak sonrası N3 yüzey tanımlaması – 1	70
Şekil 5.97. Kaynak sonrası N3-A1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre paralellik ve diklik değerleri	71
Şekil 5.98. Kaynak sonrası N3-B1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre paralellik ve diklik değerleri	71
Şekil 5.99. Kaynak sonrası N3-C1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre paralellik ve diklik değerleri	71
Şekil 5.100. Kaynak sonrası N3 yüzey tanımlaması – 2	72
Şekil 5.101. Kaynak sonrası N3-A2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere	

göre diklik değerleri	72
Şekil 5.102. Kaynak sonrası N3-B2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre diklik değerleri	72
Şekil 5.103. Kaynak sonrası N3-C2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeyelere göre diklik değerleri	72
Şekil 6.1. N1 ve N2 numuneleri kaynak sonrası görselleri	73
Şekil 6.2. N3 ve N4 numuneleri kaynak sonrası görselleri	74



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Yıllara göre toplam savunma ve havacılık cirosu	4
Tablo 2.2. Yıllara göre savunma ve havacılık ihracatı	5
Tablo 2.3 Yıllara göre savunma projeleri toplam sayısı	5
Tablo 2.4 Yıllara göre savunma projeleri toplam sözleşme bedelleri	6
Tablo 4.1. EN AW 5083 H321 üretici firma kimyasal kompozisyonu	22
Tablo 4.2. EN AW 5083 H321 kimyasal analiz sonucu değerler	22
Tablo 4.3. EN AW 5083 H321 üretici firma mekanik özellikleri	23
Tablo 4.4. EN AW 5083 H321 çekme testi mekanik özellikleri	23
Tablo 4.5. ER 5183 Dolgu teli kimyasal kompozisyonu	23
Tablo 4.6. ER 5183 Dolgu teli mekanik özellikleri	24
Tablo 5.1. EN AW 5083 H321 Kimyasal kompozisyon değerleri	34
Tablo 5.2. N1 ve N2 kaynak işlemine ait parametreler	36
Tablo 5.3. N1 ve N2 kaynak işlemine ait ölçülen sıcaklık değerleri	36
Tablo 5.4. N1 ve N2 kaynak işlemine ait parametreler	38
Tablo 5.5. N3 ve N4 kaynak işlemine ait ölçülen sıcaklık değerleri	38
Tablo 5.6. Çekme testi sonuçları	44
Tablo 5.7. Eğme testi sonuçları	47
Tablo 5.8. M1 ve M2 kaynak nüfuziyet verisi	48
Tablo 5.9. M1 ve M2 kaynak kusur tablosu	48
Tablo 5.10. M3 ve M4 kaynak nüfuziyet verisi	49
Tablo 5.11. M3 ve M4 kaynak kusur tablosu	49
Tablo 5.12. M1, M2, M3 ve M4 numuneleri sertlik değerleri	58
Tablo 6.1. N1 – A1 yüzeyinin karşılaştırılması	75
Tablo 6.2. N2 – A1 yüzeyinin karşılaştırılması	76
Tablo 6.3. N1 – B1 yüzeyinin karşılaştırılması	76

Tablo 6.4. N2 – B2 yüzeyinin karşılaştırılması	76
Tablo 6.5. N1 – C1 yüzeyinin karşılaştırılması	77
Tablo 6.6. N2 – C2 yüzeyinin karşılaştırılması	77
Tablo 6.7. N1 – A2 yüzeyinin karşılaştırılması	77
Tablo 6.8. N2 – A2 yüzeyinin karşılaştırılması	78
Tablo 6.9. N1 – B2 yüzeyinin karşılaştırılması	78
Tablo 6.10. N2 – B2 yüzeyinin karşılaştırılması	78
Tablo 6.11. N1 – C2 yüzeyinin karşılaştırılması	79
Tablo 6.12. N2 – C2 yüzeyinin karşılaştırılması	79



ÖZET

Anahtar kelimeler: Savunma sanayi, CMT-MIG Robotik, basınç testi, CMM

Bu çalışmada, savunma sanayisinde kullanılmaya başlanan CMT- MIG Robotik yöntemi, geleneksel MIG yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için iki farklı numune hazırlanmıştır. Numune malzemeleri EN AW 5083 H321 olarak seçilmiştir. Hazırlanan numune parçalar geleneksel MIG ve CMT-MIG Robotik yöntemiyle, kaynaklı birleştirmesi yapılmıştır. Birinci numune, savunma sanayinde basınç altında çalışan bir parçanın gizlilikten dolayı tasarımını değiştirilerek talaşlı imalatta üretimi yapılmıştır. Talaşlı imalatı yapılan parçanın kaynak öncesi CMM ölçümü, kaynak sonrası CMM ölçümü yapılarak deformasyon miktarları kıyaslanmıştır. Ölçüm sonrası 30 Bar basınç ile test edilmiştir. İkinci numune parça ise 6 mm kalınlığında, 150 x 300 mm boyutlarında iki parçaya Y kaynak ağı açılmıştır ve paslanmaz altlık kullanılarak alın altına kaynağı yapılmıştır.

Bütün numune parçalara, kaynak sonrası görsel muayene ve penetrant testi yapılmıştır. Kaynaklı bölgelerden numuneler çıkarılarak çekme, eğme, makro, mikro ve mikro sertlik taraması yapılmıştır.

Bu çalışma sonucunda CMT-MIG Robotik yönteminin, geleneksel MIG yöntemiyle aynı basınç, mekanik özellik ve metalografik inceleme sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Isı girdisinin düşük ve kaynaklı mukavemetinin yüksek olması istenen yerlerde bu yöntemin kullanılmasının uygulanacağı sonucuna varılmıştır.

THE INVESTIGATION OF CMT APPLICATIONS IN DEFENSE INDUSTRY

SUMMARY

Keywords: Grape seed extract, drying, antioxidant, antimicrobial activity

In this study, CMT-MIG Robotic method which starting to be used in defense industry is compared with conventional MIG method. Two different sample are prepared for this study. EN AW 5083 H321 is chosen as sample materials. Prepared sample materials are welded by conventional MIG and CMT MIG methods. The first sample was produced in the production of machining by changing the design of a working part under the pressure in the defense industry due to confidentiality. CMM measurement of welded parts and pre-welded CMM measurements were made and deformations were compared. Tested at 30 bar pressure after measurement. The second sample which made of two pieces of 6 mm thickness and 150 x 150 mm dimensions prepared for Y welding groove and welded to the forehead by using stainless steel weld backing.

Visual test (VT) and penetrant test (PT) were performed on all sample parts after welding. Tensile bending, macro, micro tests and micro hardness screening were performed on preparing samples from welded areas.

As a result of this study, it was found that CMT MIG Robotic Method gave the same pressure, mechanical property and metallographic examination results as the conventional MIG method. It is concluded that this method is appropriate to use in places where need low heat input and high welded strength is desired.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkemiz stratejik konumundan dolayı önemli bir noktada yer almaktadır. Bulunduğu konumdan dolayı geçmişten günümüze kadar süre gelen, iç ve dış tehditlere maruz kalmıştır. Bu tehditleri en aza indirebilmek için savunma sanayimizin güçlü ve sürekli olarak kendisini geliştiriyor olması gerekmektedir [1-3].

Savunma sanayisine yönelik çalışan özel şirketler, vakıf şirketleri ve devlet kurumları özellikle son 10 yıl içerisinde AR-GE çalışmalarını hızla artırarak, kendi yerli ve milli ürünlerini üretir duruma gelmiştir. Yerli ve milli ürünler ne kadar çok üretilirse yabancı ülkere bağımlığımız o kadar azalmaktadır. Aynı zamanda savunma sanayisinde üretilen ürünler, ihtiyacı olan ülkere satışı yapılarak, milli gelirimizin gün geçtikçe artarak devam ettiğini göstermektedir [4].

Savunma sanayisinde şuanda üretimi devam etmekte olan birçok proje bulunmaktadır. Bu projelerin üretim süreçlerinden bir tanesi olan kaynaklı birleştirme işlemi, bu alanlarda doğrudan ya da dolaylı olarak genellikle bir şekilde kullanılmaktadır. Kaynaklı birleştirme işlemi sırasında birden fazla kaynak yöntemi malzeme türüne, kalınlığına, kaynak edilebilirliğine ve pozisyonuna göre tercih edilmektedir. Özellikle savunma sanayisinde hassas olarak üretilmekte olan parçalarda örneğin; radar sistemleri, elektronik birimlerin soğutma sistemleri ve manifold sistemleri gibi parçaların birleştirme işlemi çok pahalı ve zaman almaktadır.

Şuanda kullanılan genel üretim mantığı parçaların hassas olarak talaşlı imalat yöntemiyle üretilmesi ve daha sonra özel fikstür ve soğutma plakaları yardımıyla

malzemenin düşük ısı girdisini sağlayarak, hem deformasyonu hem de mukavemet değerlerini korumayı amaçlamaktadır. Başka bir üretim yöntemi ise parçaların dış hatlarının kaba olarak talaşlı imalatta işlenmesi ve daha sonra fikstür yardımıyla kaynağının yapılmasıdır. Kaynak işlemi sırasında yüksek ısı girdisi ile parça deformasyona uğramaktadır. Deformasyona uğrayan parçanın dışında pay bırakıldığı için tekrardan nihai ölçülerine getirilmesi için talaşlı imalatta işlenmesi gerekmektedir. Bu tür hassas ve pahalı parçaların üretimini kolaylaştırmak, maliyetini azaltmak, mukavemet değerlerini korumak ve kaynak kalitesinin sürekliliğini sağlamak için yeni bir teknoloji olan Soğuk Metal Transferi (CMT) yöntemi ile ilgili çalışma yapılacaktır [5,6].

Bu konuda yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda savunma sanayisinde kullanılan alüminyum alaşımlarından (AA) üretilen soğutma plakaları ve manifold gibi hassas ve pahalı sistemlerinin geleneksel MIG kaynağı ve vakum sert lehimleme yöntemlerinin mekanik ve mikro yapısal özelliklerin incelendiği görülmüştür. Fakat CMT kaynak yönteminin savunma sanayisinde kullanımına AR-GE olarak çalışmalara başlandığı görülmüştür. CMT teknolojisi nispeten yeni bir teknoloji olduğundan bu malzemelerin kaynağına gerçek ürünler üzerinde herhangi bir çalışmanın varlığı saptanamamıştır. Dolayısıyla literatürdeki ve gerçek uygulamalardaki boşluğu doldurmak amacıyla yapılan bu çalışmada, savunma sanayisinde ısı girdisi ve deformasyon miktarının az olması istenen parçaların yapımında yoğun olarak kullanılan EN AW 5083-H321 alüminyum alaşımlarının geleneksel MIG kaynağı ve soğuk metal transferi (CMT) tekniğine sahip robotik MIG uygulaması ile savunma sanayisinde kullanılan bir manifold parçasını iki farklı kaynaklı birleştirme yöntemiyle birleştirerek aşağıda belirtilen inceleme işlemleri yapılmıştır.

- Kaynak öncesi boyutsal ölçüm (CMM ölçümü)
- Kaynak sonrası görsel ve yüzey hata kontrolleri (VT ve PT)
- Kaynak sonrası boyutsal ölçüm (CMM ölçümü)
- Fonksiyon testi (Basınç uygulaması)
- Mekanik özelliklerinin (çekme, eğme,)

- Mikroyapısal özelliklerinin (makro, mikro ve sıralı sertlik)

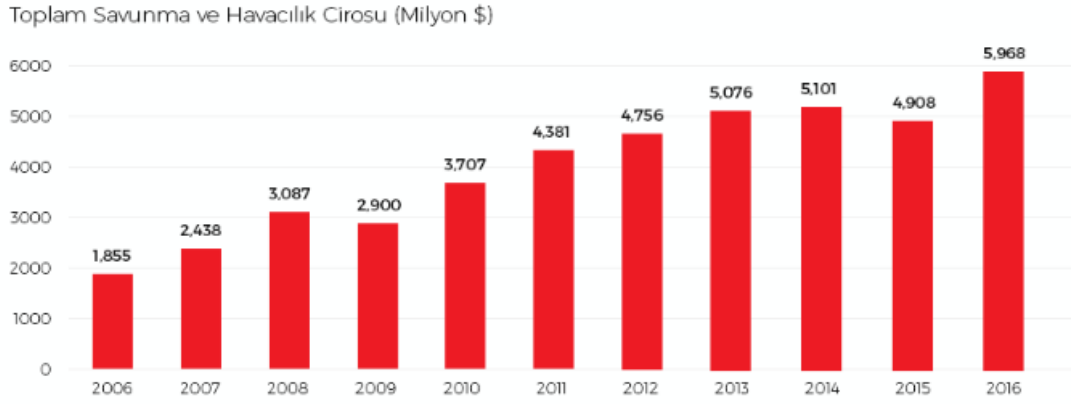
Yapılan incelemeler ve bulunan sonuçlar ülke ve dünya endüstrisine aktarılması esas alınmıştır. EN AW5083-H321 alüminyum alaşımı 6 mm kalınlığında aynı ölçülerde CMT-Puls tekniğinin robotik MIG uygulaması ile geleneksel MIG kaynaklı numune parçaları alın ve köşe birleştirmesine göre oluşturulmuştur. Daha sonra savunma sanayisinde kullanılan bir parçanın tasarımı gizlilikten dolayı kaynak isterlerini değiştirmeden, ana yapısı değiştirilerek talaşlı imalatta işlenmiştir. Bu işlem daha sonra her iki yöntemle kaynaklı birleştirmesi yapılmıştır. Alın ve köşe kaynaklarının testleri için kaynaklı bağlantılardan çıkarılan numunelere çekme ve eğme deneyleri uygulanmıştır. Bağlantıların kaynak bölgelerinden alınan numuneler mikroskobik ve makroskobik olarak incelenmiştir. Ayrıca kaynak bölgesinin Vickers sertlik taraması yapılmıştır. Talaşlı imalatta üretilen ve kaynağı yapılan parçalara da kaynak öncesi CMM ölçümü ve ısı girdisinden sonraki deformasyonu belirleyebilmek için kaynak sonrası CMM ölçümü yapılarak deformasyon miktarı karşılaştırılmıştır. Parçaların fonksiyon testi için güvenlik katsayısı 3 alınarak, 30 bar ile hidrolik güç ünitesinde basınç testi uygulaması yapılmış ve testler sonucunda elde edilen veriler ile değerlendirmesi yapılmıştır [7-9].

BÖLÜM 2. SAVUNMA SANAYİ

Savunma Sanayimiz gün geçtikçe kendisini geliştirerek hızlı ve güvenilir adımlarla büyümesini sürdürmektedir. Bu büyüme ile öncelikli olarak ülke savunmasının gelişimi daha sonrada başka ülkelere ihracatı yapılmaktadır.

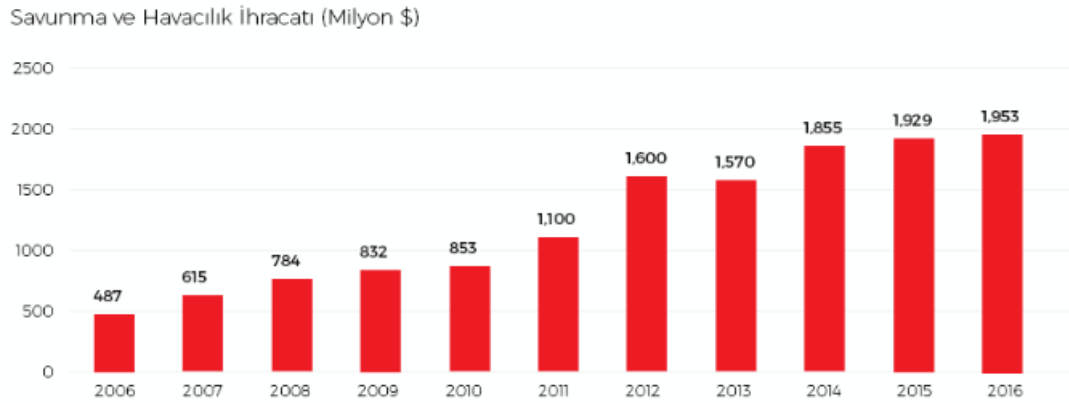
2016 yılı sonu itibariyle, savunma firmalarımızın tüm savunma ve havacılık satışlarını içeren ve sektörün büyüklüğünü gösteren Toplam Savunma ve Havacılık Sektör Ciro su 5,968 milyar \$'a ulaşmıştır (Bknz: tablo 2.1) [10].

Tablo 2.1. Yıllara göre toplam savunma ve havacılık ciro su [10]



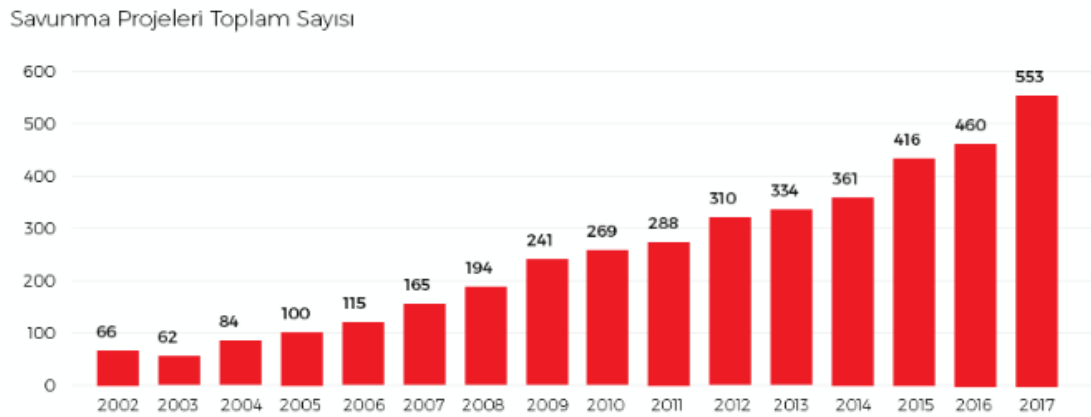
Geçmişte yalnızca 248 milyon \$ olan savunma ve havacılık ihracatı, 2016 yılında yaklaşık 8 kat büyüerek 1,953 milyar \$'a ulaşmıştır (Bknz: tablo 2.2) [10].

Tablo 2.2. Yıllara göre savunma ve havacılık ihracatı [10]



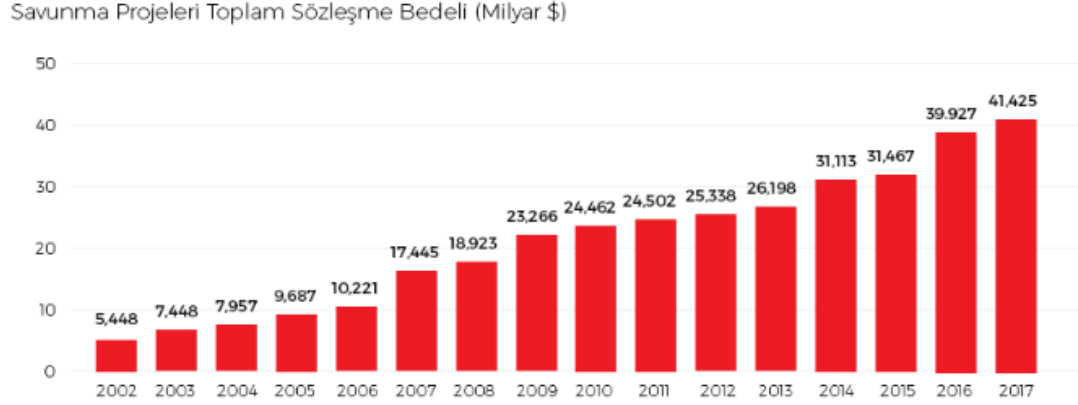
2002 yılında yalnızca 66 savunma projesini yaklaşık %80 dışa bağımlılık oranı ile yürütürken; geldiğimiz noktada %65 in üzerinde yerlilik oranı ile proje sayımız yaklaşık 9 kat artarak 553'e ulaşmıştır (Bknz: tablo 2.3) [10].

Tablo 2.3 Yıllara göre savunma projeleri toplam sayısı [10]



2002 yılında yaklaşık 5,5 milyar \$ bütçeli savunma projeleri yürütülürken geldiğimiz noktada yaklaşık 8 katlık bir artış ile 41,4 milyar \$'lık proje hacmine ulaşılmıştır. İhale süreci devam eden projeler de göz önüne alındığında, bu miktarın 60 milyar \$'ın üzerinde olacağı öngörülmektedir (Bknz: tablo 2.4) [10].

Tablo 2.4 Yıllara göre savunma projeleri toplam sözleşme bedelleri [1]



Savunma sanayimizde şuanda tamamlanan ve devam etmekte olan büyük projelerden bazıları aşağıda belirtilmiştir.

Kara Araçları:

ALTAY, KİRPİ, COBRA II, EJDER YALÇIN, KORKUT, HİSAR

Deniz Araçları:

- MİLGEM (Milli Gemi)
- LHD(Çok Maksatlı Amfibi Hücüm Gemisi)
- LST(Amfibi Gemi)
- MOSHIP(Denizaltı Kurtarma Ana Gemisi)
- YTKB (Yeni Tıp Karakol Botu)
- SAHİL GÜVENLİK ARAMA KURTARMA GEMİSİ

Havacılık ve Uzay:

HÜRKUŞ, ANKA, ATAK, BAYRAKTAR,GÖKTÜRK

Hava Savunma ve Silah Sistemleri:

- STAMP (Sahil Güvenlik Botları Silah ve Silah Sistemi Modernizasyonu)
- MPT-76 (Milli Piyade Tüfeği)
- UMTAS (Uzun Menzilli Tanksavar Füze Sistemi)
- OMTAS (Orta Menzilli Tanksavar Füze Sistemi)
- CİRİT (Lazer Güdümlü Füze)

Siber Güvenlik ve Elektronik Harp:

- HAVA SOJ(Hava Platformunda Uzaktan Elektronik Destek/ Elektronik Taaruz Kabiliyeti)
- KARA SOJ(Kara Konuşlu Uzaktan Elektronik Destek/ Elektronik Taaruz)
- SİSAMER (TSK Siber Savunma Merkezi)
- KAYI (Sınır Güvenlik Sistemi) [10]

Yapılan çalışmalar gün geçtikçe hızını artırarak devam etmektedir. Bu çalışmalar sonucunda Türkiye Cumhuriyeti olarak bulunduğu coğrafyada kendi savunma sanayi araç gereçlerini üreten ve başka ülkelere bağımlı olmadan hareket edebilmek asıl amaçtır.

BÖLÜM 3. SOĞUK METAL TRANSFERİ (CMT) YÖNTEMİ

3.1. Could Metal Transfer (Soğuk Metal Transferi) Yöntemi

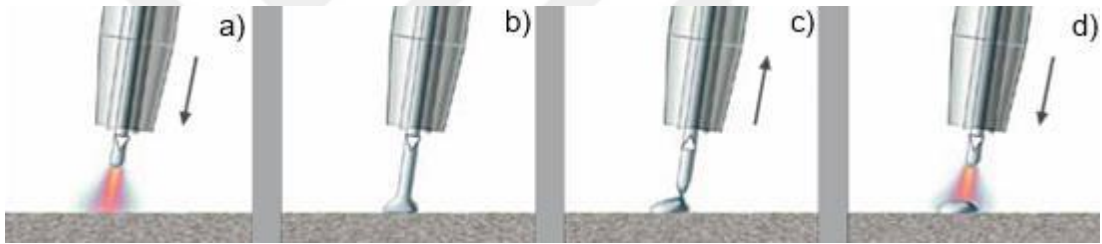
Soğuk kaynak prosesi (CMT) 2004 yılında Fronius tarafından geliştirilen ve kaynak ekipmanı ve uygulaması anlamında kaynak teknolojisine yenilik getiren bir uygulamadır. Geleneksel MIG/MAG kaynağına göre soğuk olan proses ile düşük ısı girdisi sayesinde diğer yöntemler ile kaynak edilmesi zor olan demir dışı metallerin kaynağı mümkün olmaktadır. CMT prosesi bugüne kadar bilinmeyen ve tamamıyla yeni bir yöntem olmamak ile birlikte gaz tungsten ark kaynağı (GMAW)'nın limitlerini genişleten yeni bir uygulama alanı doğurmuştur. Alüminyumun çeliğe ark kaynağı ile birleştirilmesinde ilk defa tekrar edilebilir bir tutum kazandırmıştır.

Bazı metallerin kaynağında uygulamada sürekli bir ısı girdisine karşı kaynak banyosunda çukurlaşma, sıçrıntı ve yetersiz kaynak bağlantısı gibi hatalardan kaçınmak için düşük sıcaklıklar gerekmektedir. Buna karşın CMT yönteminin düşük ısı girdisi sağlaması ile bu tür sorunlardan kaçınmak mümkündür. MIG/MAG yöntemi ile karşılaştırıldığında yöntem halen soğuk bir yöntemdir [11].

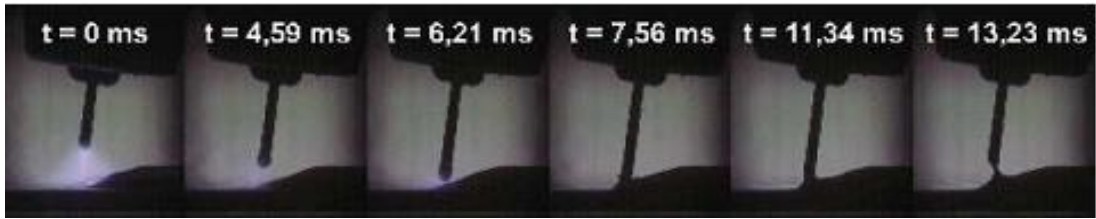
CMT yöntemi ısı girdisinin çok düşük olduğu bir gazaltı kaynak yöntemi olarak tanımlanabilir. CMT kaynağı ile enerji girdisi %30 oranında azaltılmıştır. Bu da kaynakta düşük çarpılma ve yüksek hassasiyet kazandırır. Geleneksel yöntemlerde tel, kısa devre oluşturuncaya kadar ileri yönde hareket ettirilir, bu esnada kaynak akımı yükselir ve ark oluşumu için kısa devrenin tekrar açık devre olmasını sağlar. CMT yönteminde ise ergiyen elektrot damlasının elektrottan ayrılma prensibi tamamen yeni bir teknolojidir. Bu yöntemde 70 hertz lik bir osilasyon ile tel beslemesi yapılır ve bu şekilde tel iş parçasına doğru itilir ve geri çekilirken bir dizi sıcak-soğuk-sıcak-soğuk çevrim oluşur. Bu hareket sayesinde geleneksel

yöntemlerde daha yüksek akım çekilmesi ve sürekli tel besleme sonucu oluşan yüksek ısı girdisi ve sıçrantı CMT yönteminde elimine edilmiştir [11,12].

CMT yöntemi geleneksel MIG/MAG kaynağına göre daha kararlı ark sağlar ve eksiksiz proses regülasyonu sunar. Sıcak ve soğukun sürekli değişimi prensibi ile uygulanan bu teknikte ark yanma fazında dolgu malzemesi kaynak banyosuna hareket ettirilir (şekil 3.1.a, sıcak yöntem). Dolgu malzemesinin kaynak banyosuna daldırılması ile ark söner ve kaynak akımı azalır (şekil 3.1.b, soğuk yöntem). Telin saniyenin doksanda biri süresinde geriye doğru hareketi, kısa devre esnasında damlacık transferine yardımcı olur. (şekil 3.1.c, soğuk yöntem). Telin hareket yönü tersine çevrilir ve yonteme yeniden başlanır (şekil 3.1.d, sıcak yöntem). Şekil 3.2.'de ise yöntemin akışı milisaniye zaman diliminde görülmektedir.



Şekil 3.1. CMT yönteminin aşamaları (a-d) [11]



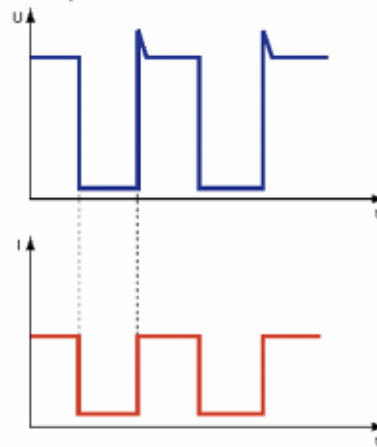
Şekil 3.2. CMT yönteminin milisaniye zaman diliminde akışı [11]

Geleneksel MIG/MAG yöntemi ile CMT yöntemini birbirinden ayıran üç temel özellik vardır. Bunlardan ilki, entegre tel hareketidir yani tel beslemesi doğrudan kaynak yönteminin içindedir. Dijital proses regülasyonu bir kısa devre algılar ve teli saniyede 90 defaya kadar geri çekerek damlacık transferine yardımcı olur. Geleneksel yöntemlerde tel besleme hızı sabittir ya da önceden belirlenen zaman cetveline göre değişmektedir. CMT yönteminde ise tel besleme hızı ve yönü kısa

devrenin oluşumu ve açık hale gelmesi ile kontrol edilir. Tel hareketi için önceden ayarlanmış bir zaman çizelgesi bulunmamaktadır. Bu yöntemde tel hareketi ile kaynak havuzu arasında doğrudan bir etkileşim olduğu görülmektedir. Bundan dolayı tel hareketi tam olarak kısa devrenin oluşumuna bağlı olduğu için telin ortalama osilasyon frekansı üzerinde durulmaktadır. Yaklaşık olarak bu değer 70 Hertz civarındadır.

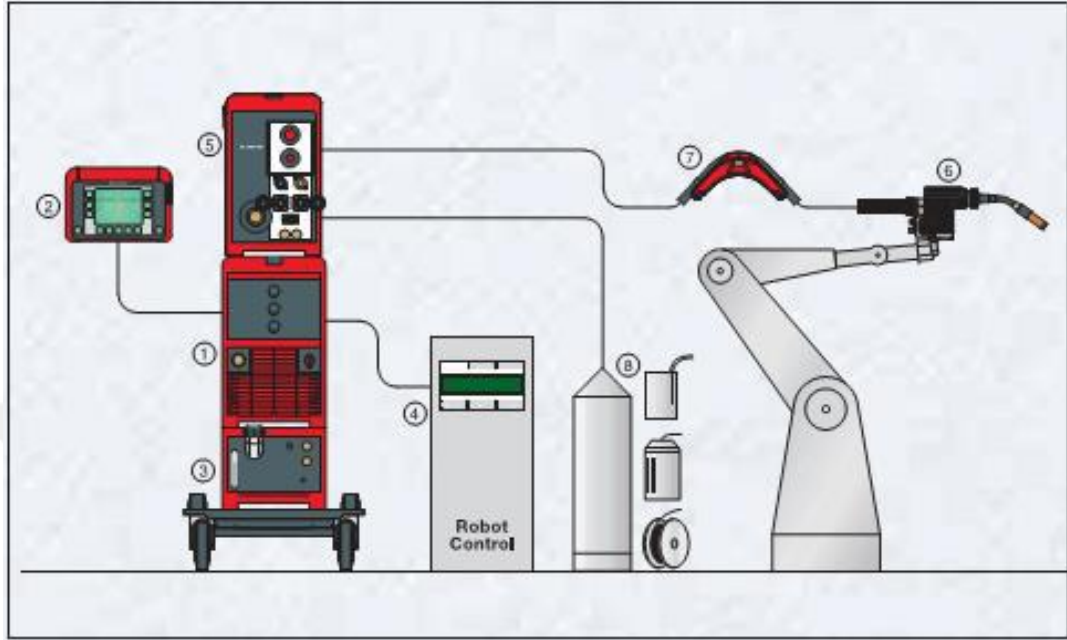
CMT yönteminin ikinci karakteristik özelliği ise, metal transferinin akımdan bağımsız olmasıdır. Bu durum geleneksel yöntemlerde akıma bağlıdır. CMT yönteminde akımın kısa devreyi açık hale getirmekle herhangi bir ilgisi bulunmamaktadır. Metal transferinin oluşması telin geri çekilmesi ve kaynak banyosunun yüzey gerilim ile gerçekleşir. Bundan dolayı kısa devre akımı çok düşük tutulur ve bunun beraberinde metale daha düşük ısı girdisi sağlanır. Son olarak tel hareketi metal transferini yukarıda anlatıldığı Şekilde destekleyen CMT yönteminin karakteristik özelliğidir.

Ark boylarının algılanması ve ayarlanması mekanik olarak gerçekleştiğinden ark, iş parçasının yüzey kalitesinden ya da hangi hızda kaynak yapmak istediğinizden bağımsız olarak daima kararlı kalır. Bu sayede CMT her yerde ve her konumda uygulanabilir. Telin geriye doğru hareketin kısa devre esnasında damlacık transferine yardımcı olur. Kısa devre kontrol edilir ve akım düşük seviyede tutulur. Bunun sonucunda ise çapaksız metal geçişi gerçekleşir [11-14].



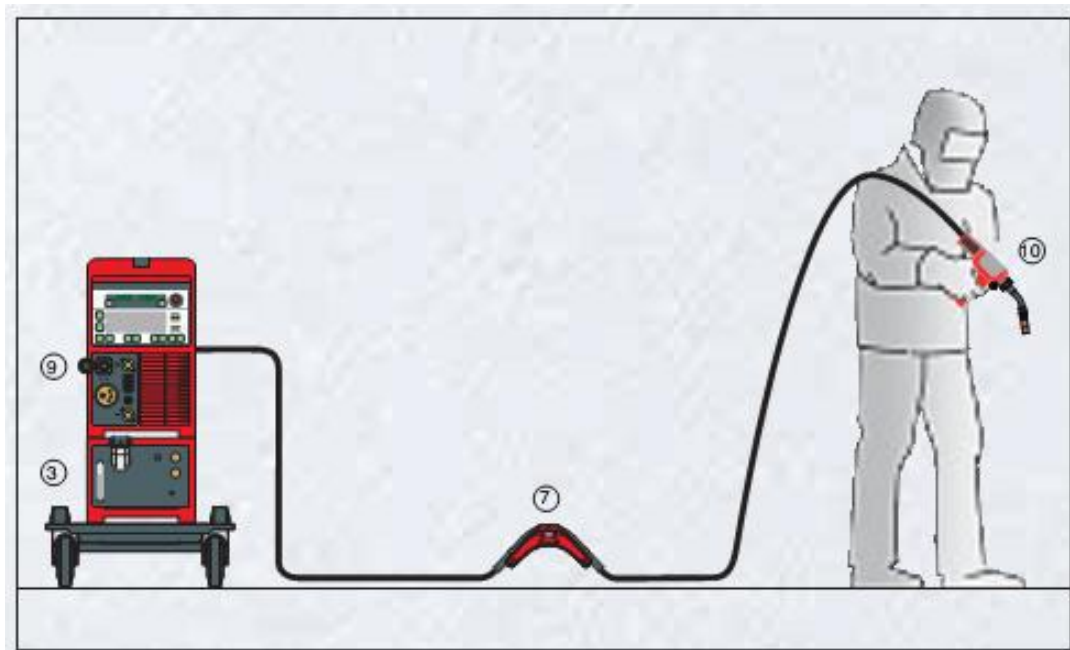
Şekil 3.3. CMT yönteminde akım ve voltajın zamanla ilişkisi [11]

Şekil 3.4’de robotik CMT sistem konfigürasyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Robotik CMT sistem konfigürasyonu [13]

Şekil 3.5’de manuel CMT sistem konfigürasyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Manuel CMT sistem konfigürasyonu [13]

Robotik ve manuel uygulamada CMT sistem konfigürasyonu:

- 1) TPS 3200 / 4000 / 5000 CMT güç kaynağı
- 2) RCU 5000'i uzaktan kumanda ünitesi,
- 3) FK 4000 soğutma ünitesi,
- 4) Robot arayüzü,
- 5) VR 7000 CMT Tel besleyici,
- 6) Robot,
- 7) Tel tamponu,
- 8) Tel desteği,
- 9) TransPuls sinerjik 2700 CMT güç kaynağı,
- 10) Su soğutmalı CMT uygulaması için geliştirilmiş torç [13-19]

3.2. CMT Yönteminin Genel Üstünlükleri

- Entegre tel hareketi

Dijital proses regülasyonu bir kısa devre algılar ve teli saniyede 90 defaya kadar geri çeker damlacık transferine yardımcı olur [13-19].

- Çapaksız kaynak

Telin geriye doğru hareketi sonucu oluşan kısa devre esnasında bu geriye hareket damlacık transferine yardımcı olur. Kısa devre kontrol edilir ve akım düşük seviyede tutulur. Bu şekilde çapaksız bir metal transferi sağlanır [13-19].

- Düşük ısı girdisi

Kaynak işlemi sırasında tel ileri doğru hareket ettiğinde kısa devre oluşur, kısa devre oluşur oluşmaz tel tekrar geriye doğru çekilir böylece yanma fazında ark çok kısa bir süre için ısı verir [13-19].

- Kararlı ark

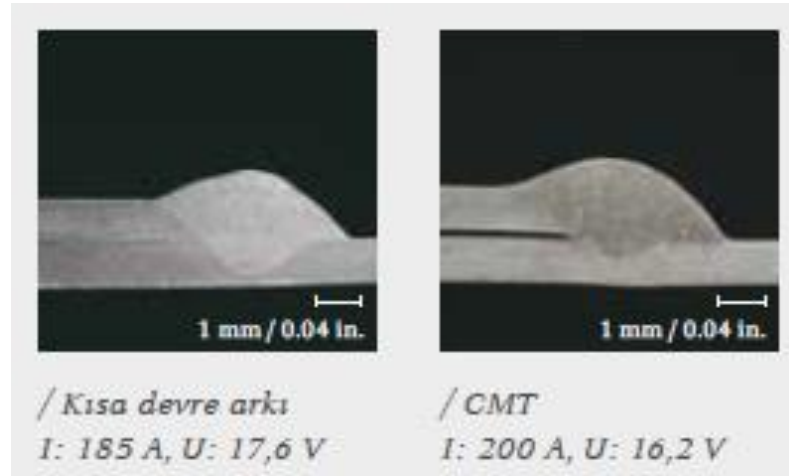
Ark boylarının algılanması ve ayarlanması mekanik olarak gerçekleşir. Ark iş parçasının yüzey kalitesinden ya da hangi hızda kaynak yapmak istediğinizden bağımsız olarak daima kararlı kalır. Bu sayede CMT her yerde ve her konumda uygulanabilir [13-19].

3.3. Kaynak Bağlantılarında CMT Yönteminin Üstünlükleri

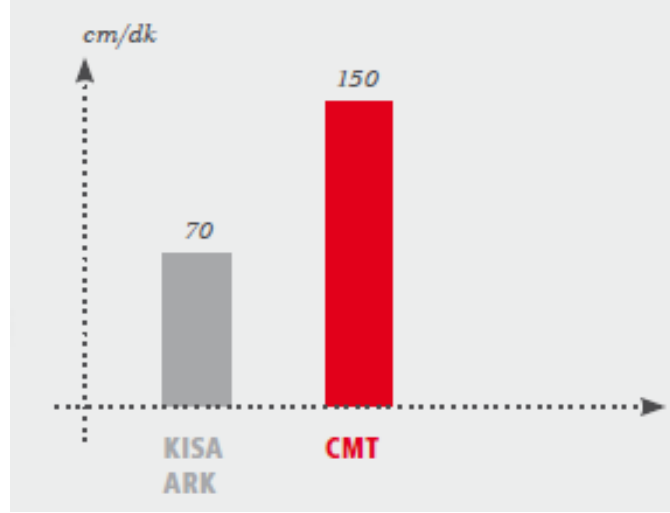
3.3.1. Çelik malzemede CMT uygulaması

- Yüksek kaynak hızı

CMT yöntemi ile çelik malzemelerin kaynaklı birleştirilmesinde şekil 3.6'e bakıldığında CMT yöntemi kısa devre ark yöntemine göre daha hızlı olduğu görülmektedir. Şekil 3.7 de ise grafikte görüldüğü gibi kaynak hızının %50 den daha fazla hızlı olduğu görülmektedir.

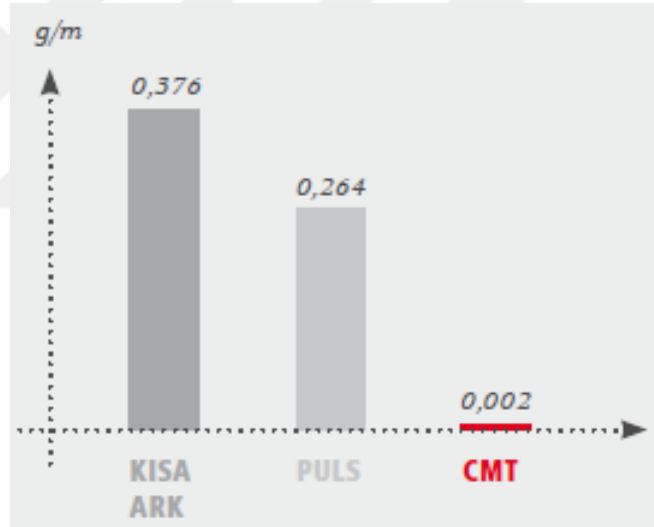


Şekil 3.6. Kısa devre arkı I:185 A, U:17,6 V ve CMT I:200 A, U:16,2 V [13]

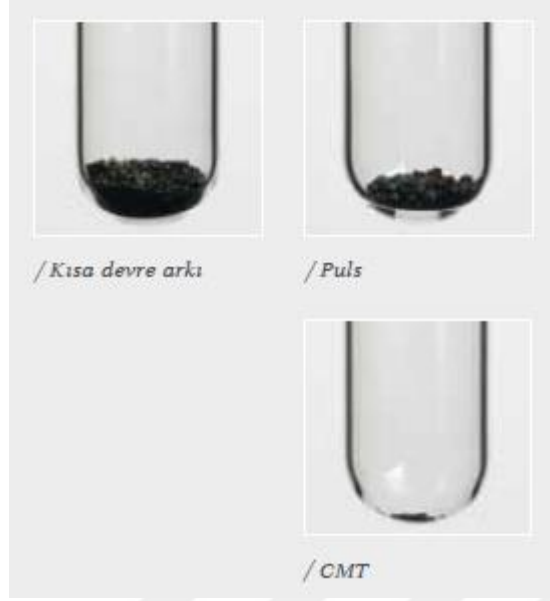


Şekil 3.7. Kısa devre arkı ve CMT yönteminin kaynak hızının zamana göre grafiği [13]

- Az çapak oluşumu



Şekil 3.8 1m kaynak dikişi uzunluğunda oluşan çapak miktarı g/m [13]

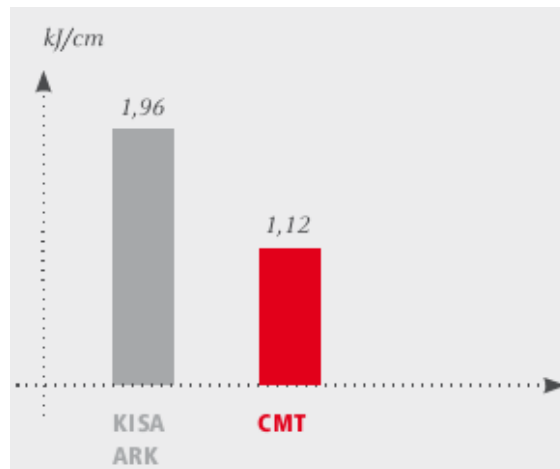


Şekil 3.9 1m kaynak dikişi uzunluğunda oluşan çapak miktarının görsel fotoğrafı [13]

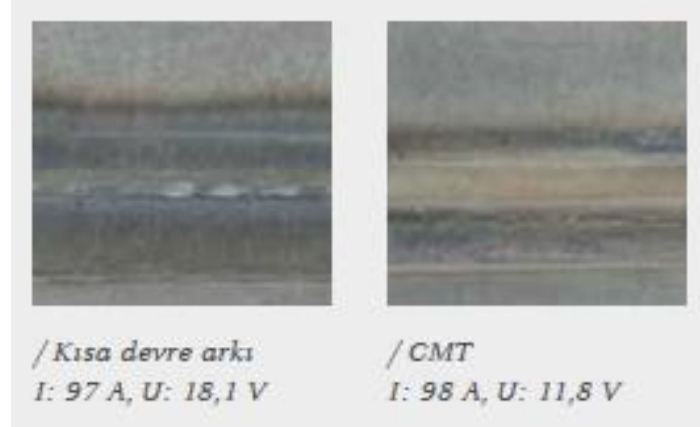
Şekil 3.8 ve şekil 3.9’de görüldüğü üzere verilen bilgi doğrultusunda CMT kaynak yönteminde çapak %99 daha az olduğu görülmektedir.

- Düşük ısı girdisi

1 mm’lik çelik malzeme M21 karışım gazı kullanılarak kaynağı yapılmıştır. Kaynak sonrası elde edilen ısı girdisi verileri şekil 3.10 ve şekil 3.11’de gösterilmiştir. CMT yöntemi ile yapılan kaynakta yaklaşık %50 daha az ısı girdisi olduğu tespit edilmiştir.



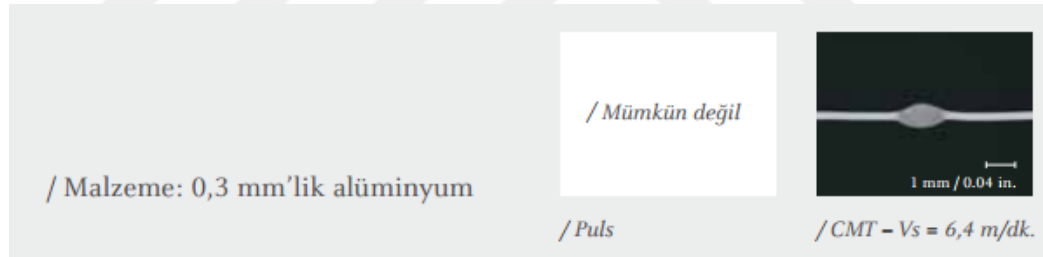
Şekil 3.10. 1mm Çelik kaynağında kısa ark ile CMT yöntemi ısı girdileri karşılaştırılması [13]



Şekil 3.11. 1mm çelik kaynağında kaynak dikişi görüntüleri [13]

3.3.2. Alüminyum malzemede CMT uygulaması

Şekil 3.12 de gösterilen görüntüde 0,3 mm kalınlığında malzemenin kaynak edilebilme durumları karşılaştırılmıştır. CMT yöntemiyle yüksek hızda tam nüfuziyet sağlanmıştır.



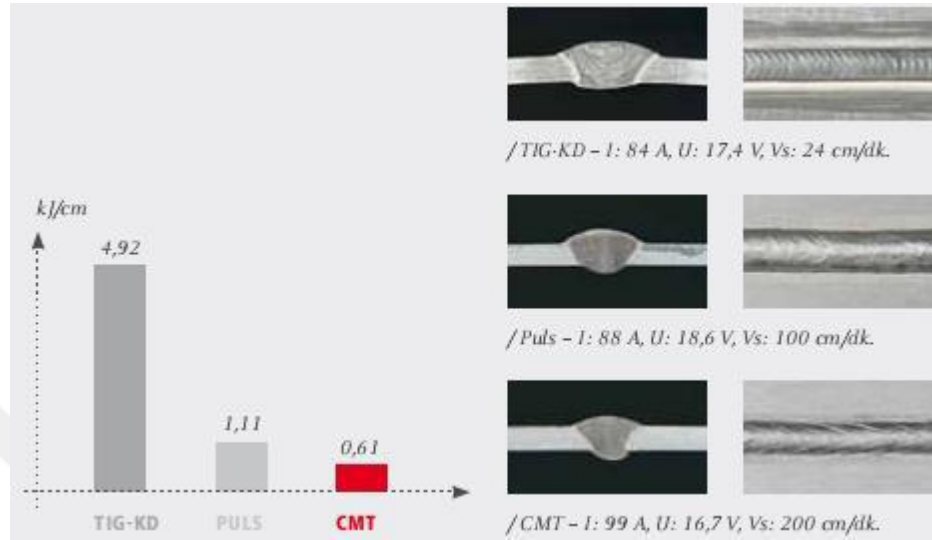
Şekil 3.12. 0,3 mm Alüminyum levhanın kaynağı [13]

Şekil 3.13 de gösterilen görüntüde 3 mm kalınlığında malzemenin kaynak edilebilme durumları karşılaştırılmıştır. CMT yöntemi diğer yöntemlere göre yüksek hızda ve tam nüfuziyet sağlanmıştır.

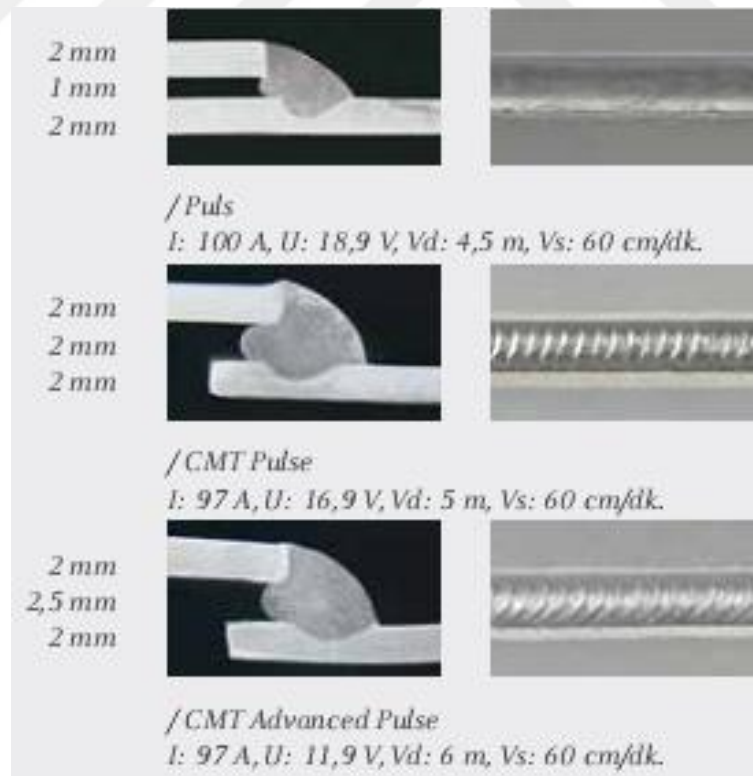


Şekil 3.13. 3 mm Alüminyum levhanın kaynağı [13]

Diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında %90'a kadar daha düşük ısı girdisi ve 10 kata kadar yüksek kaynak hızı elde edilebilir (Şekil 3.14.). Bunların yanında yöntem çok iyi boşluk doldurma kabiliyeti sağlar (Şekil 3.15.).



Şekil 3.14. Isı girdisi ve kaynak hızlarının karşılaştırılması [13,20]



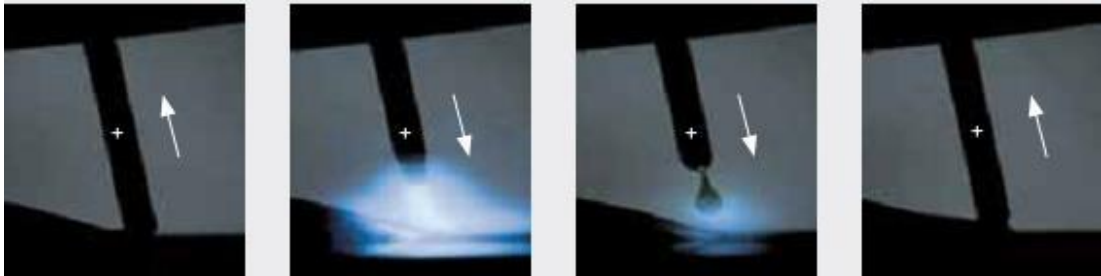
Şekil 3.15. 2mm kalınlığındaki levhanın bindirme kaynağında boşluk doldurma kabiliyeti [13,20]

MIG kaynak yöntemi her kalınlıktaki alüminyum ve alüminyum alaşımları için uygulanabilir olmasına karşın ergime gücü ve kaynak hızı yüksek olduğundan geleneksel MIG kaynağı, genellikle 3 mm'den daha ince parçaların kaynağında tercih edilmez. Çok ince levhalar 0.8 mm'ye kadar darbeli akım yöntemi ile kaynak edilebilirken, CMT yöntemi sayesinde bu kalınlık 0,3 mm'ye kadar inebilmektedir [21,22].

3.4. Yöntemin Türevleri

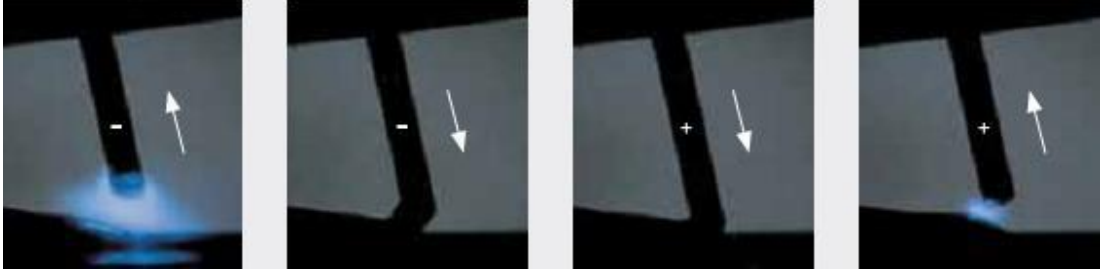
Bu yöntem uygulamada düz CMT olarak uygulanabildiği gibi CMT Pulse, CMT Advanced ve CMT Advanced Pulse olarak da uygulanabilmektedir.

Bu proses bir darbe döngüsünü bir CMT döngüsü ile birleştirir ve bu nedenle daha yüksek ısı verir. Hedeflenen ayarlanabilir değişken darbe ilavesi çok büyük bir güç aralığı ve esneklik sağlar (şekil 3.16.).



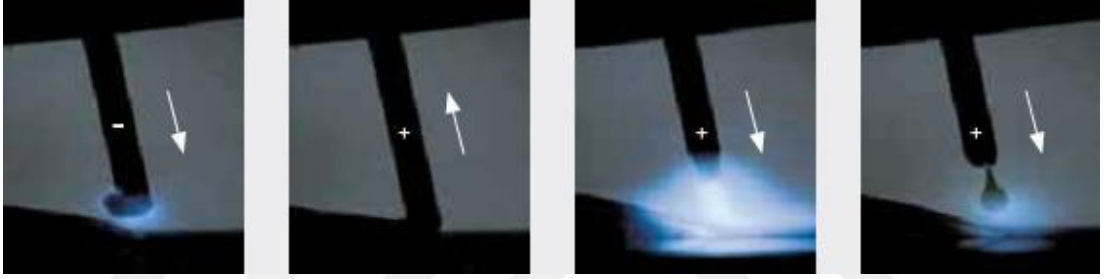
Şekil 3.16. CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [13,22]

CMT advanced ile düz CMT yönteminden daha da soğuk bir uygulamaya ulaşılmıştır. Polarite değişimi kısa devre fazında gerçekleşir ve kaynak akımının polaritesi yöntem regülasyonuna entegredir. Böylelikle kanıtlanmış CMT yöntem kararlılığı kısa devre fazında emniyete alınmıştır. Bunun sonucunda hedeflenen ısı girdisi, çok yüksek boşluk doldurma kapasitesi ve %60'a kadar daha yüksek ergime gücüne ulaşılır. Negatif CMT ve pozitif CMT'nin kombinasyonu olarak adlandırılabilir (Şekil 3.17).

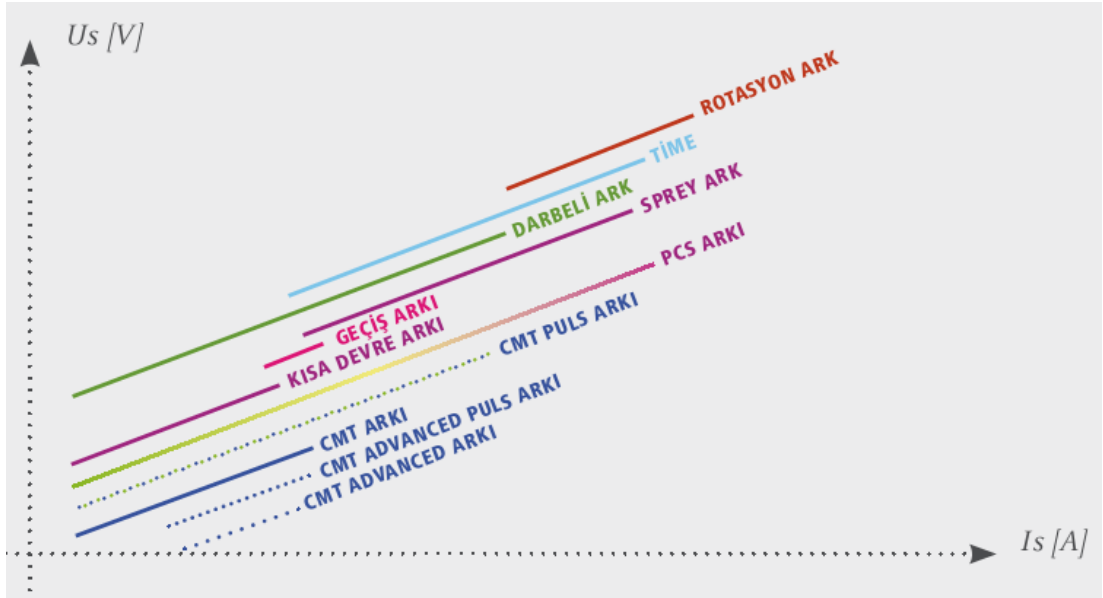


Şekil 3.17. Negatif CMT ve pozitif CMT'nin kombinasyonu [13,22]

Negatif kutuplu CMT döngüleri ve pozitif kutuplu darbe döngüleri kombinasyonu ile arkın kesin doğruluğu ve yüksek düzeyde ark hâkimiyeti hedeflenmiştir (şekil 3.18.). CMT ark teknolojilerinin karşılaştırılması ise şekil 3.19.' da gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Negatif CMT ve darbe döngülerinden oluşan kombinasyon [13,22]



Şekil 3.19. Farklı CMT uygulamalarının diğer yöntemler ile karşılaştırılması [13]

3.5. Alüminyum Malzemelerde MIG Kaynağı Uygulama Kriterleri

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağını çelikten farklı kılan ve kaynak uygulamasında dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdadır.

- Alüminyum alaşımları 550-660 °C arasındaki sıcaklık aralığında ergimelerine rağmen ısı iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeniyle kaynak için gerekli ısı girdisi eş kalınlıktaki çelin kaynağından daha fazla olmak zorundadır.
- Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısı genleşme katsayılarının büyük olması, kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma sonucu oluşan sıcaklık farkları şiddetli iç gerilmeler ve büyük çaplı çarpılmaların oluşmasına neden olur. Bu durum CMT uygulamasında ortadan kaldırılmıştır.
- Alüminyum üzerinde hava ile teması sonucunda oluşan refrakter alüminyum oksit tabakası, alüminyum alaşımlarının kaynağını büyük çapta güçleştirir. Doğru akım ters kutuplama (doğru akım elektrod pozitif) ile yapılan kaynakta, banyo üzerinde yüzen oksit tabakası parçalanır ve ancak bu kutuplama ile kaynak gerçekleştirilebilir.

Kaynaktan önce, kaynak ağızları daha önce belirtilen metotlardan biriyle iyice temizlenerek oksit tabakası olabildiği kadar uzaklaştırılmalıdır.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında, malzemenin kalınlığına bakılmaksızın genellikle sprej ark ile kaynak yapılması tercih edilir. Sprej arkın yüksek ısı girdisine karşın alüminyumun yüksek ısı iletkenliği dolayısıyla kaynak banyosu oldukça çabuk katılaştığından, her pozisyonda kaynak yapmak olanağı vardır.

Burada oksit tabakasının temizlenmesi için sürekli olarak sola kaynak yöntemi uygulanmalı ve dik kaynak durumunda ise aşağıdan yukarıya doğru çalışılmalıdır.

Bu şekilde hem kaynak ağızlarının oksit tabakası temizlenmiş olur hem de ağızların iyi bir şekilde ergiyerek kaynağın sağlıklı bir biçimde yapılması sağlanmış olur. Sağa

kaynak yöntemi uygulandığında ve dik pozisyonlarda yukardan aşağıya doğru çalışıldığı durumlarda gözenekli, kötü görünüşlü ve ağızların gerektiği gibi ergimemiş olması nedeni ile de soğuk bölgeler içeren kaynak dikişleri elde edilir.

Kaynak dikişi düz olarak ya da dar zigzaglar ile oluşturulmalıdır. Geniş zigzaglar kaynak dikişinin aşırı oksitlenmesine neden olduğu için kullanılmamalıdır.

El ile yapılan yarı otomatik MIG yöntemi ile mekanize durumda da ince parçaların kaynağında genellikle saf argon gazı kullanılır, kalın parçaların otomatik kaynağında ise daha sıcak bir kaynak banyosu ve daha iyi bir nüfuziyet elde etmek için Helyum veya Helyum-Argon karışımları tercih edilir.

Alüminyum ve alüminyum alaşımların ısı iletkenliğinin yüksek olması özellikle kalın parçalarda, kaynak bölgesinin şiddetli soğumasına neden olur, bu bakımdan kalın ve özellikle döküm alüminyum parçalara kaynak öncesi tav vermek gereklidir, genellikle 15 mm'den daha kalın parçalara uygulanan bu tavin sıcaklığı 200 °C'yi aşmamalıdır. Dövme alüminyum alaşımlarda genel olarak ön tav yerine daha yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi ile daha yüksek ısı girdisi sağlayarak çalışma tercih edilir.

Soğuk şekil verme veya ısı iletkenliği ile sertleştirilmiş alüminyum parçaların kaynak bölgesinde, sonradan kazanılmış olan bu sertlikte bir azalma görülür. Bu nedenle ısı iletkenliği ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarına kaynak öncesi bir çözeltiye alma tavi uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısı iletkenliği uygulanarak sertleşme sağlanır [21].

BÖLÜM 4. KULLANILAN MALZEMELER

4.1. Ana Malzemenin Özellikleri

Bu çalışmada 6 mm kalınlığında EN AW 5083 H321 alüminyum alaşımı malzeme kullanılmıştır. Üretici firmanın malzemeye ait kimyasal kompozisyonu Tablo 4.1’de, kimyasal analiz sonucunda oluşan değerler tablo 4.2’de gösterilmiştir. Üretici firmanın malzemeye ait mekanik özellikleri Tablo 4.3’de ve yapılan çekme testi sonucunda oluşan değerler tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. EN AW 5083 H321 üretici firma kimyasal kompozisyonu

EN 573-3:2009’a göre Kimyasal Kompozisyon (% ağırlıkça)									
Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
EN AW 5083 H321	0.00 -	0.00 -	0.00 -	0.40 -	4.00 -	0.05 -	0.0 -	0.0 -	Kalan Kısım
	0.40	0.40	0.10	1.00	4.90	0.25	0.25	0.15	

Tablo 4.2. EN AW 5083 H321 kimyasal analiz sonucu değerler

		%Ağırlıkça / Mass							
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	
Ort	94.4	0.125	0.361	0.0356	0.640	4.28	< 0.0150	0.0785	
		Ni	Ti	Be	Ca	Pb	Sn	Sr	V
Ort	< 0.0050	0.0188	< 0.0010	0.0100	< 0.0050	0.0261	< 0.0010	0.0108	
		Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co	Ag	In
Ort	< 0.0100	< 0.0020	< 0.0010	0.0048	< 0.0030	0.0021	< 0.0010	< 0.0050	
		Ce	Hg	La	Mo	Sc			
Ort	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0020	< 0.0010				

Tablo 4.3. EN AW 5083 H321 üretici firma mekanik özellikleri

EN 755-2'ye göre Mekanik Özellikleri				
Malzeme	Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Sertlik Değeri (HB)	Uzama Miktarı (%)
EN AW 5083 H321	Min. 215	305 -380	89	17

Tablo 4.4. EN AW 5083 H321 çekme testi mekanik özellikleri

EN 755-2'ye göre Mekanik Özellikleri				
Malzeme	Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Sertlik Değeri (HB)	Uzama Miktarı (%)
EN AW 5083 H321	220	333	92	18,8

4.2. Dolgu Telinin Özellikleri

Bu çalışmada Robotik CMT-MIG ve geleneksel MIG yönteminde, 1.2 mm çapında ER 5183 dolgu teli kullanılmıştır. Dolgu telinin kimyasal kompozisyonu Tablo 4.3'de ve mekanik özellikleri ise Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. ER 5183 dolgu teli kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Kompozisyon (% ağırlıkça)									
Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
ER 5183	< 0.4	< 0.4	< 0.1	0.5	4.3	0.05	< 0.25	< 0.15	Kalan Kısım
				1.0	5.2	0.25			

Tablo 4.6. ER 5183 dolgu teli mekanik özellikleri

Mekanik Özellikleri			
Malzeme	Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Uzama Miktarı (%)
ER 5183	125	275	17

4.3. Koruyucu Gazın Özellikleri

Robotik MIG kaynağı ve geleneksel MIG kaynağı uygulamasında koruyucu gaz olarak % 99.99 ticari saflıkta olan Argon gazı kullanılmıştır.

4.4. Kullanılan Test Cihazları

Tez çalışmasında malzemelerin kimyasal analizi için spektrometre cihazı, malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme ve eğme cihazları, malzemelerin boyutsal ve geometriksel ölçümleri için CMM cihazı, metalografik incelemeler için makro/mikro ve sertlik ölçüm cihazları ve üretilen parçaların basınçla kontrolleri için basınç test ünitesi kullanılmıştır.

4.4.1. Spektrometre cihazı

Ana malzemenin kimyasal yapısında bulunan Al, Fe, Cu, Ni ve Cr gibi elementlerin hangi oranlarda olduğunu belirlemek için kullanılan cihazdır. Bu çalışmamızda İmkosan firmasının test laboratuvarlarında bulunan Oxford Instruments PMI MASTER PRO spektrometre cihazı kullanılmıştır. Spektrometre cihazına ait görsel şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Oxford instruments PMI MASTER PRO spektrometre cihazı

4.4.2. Çekme ve eğme cihazı

Çekme testinde, alt sabit çene ve üst hareketli çene arasına numune parçanın koyulması ile malzemeye statik yük uygulanarak malzemenin mukavemet değerlerini belirleyen cihazdır. Bu test yöntemi ile malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma dayanımı ve yüzde uzama miktarı belirlenebilmektedir.

İki desteğe serbest olarak oturtulan, genellikle daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının, yön değiştirmeksizin ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değişmesidir. Eğme deneyi malzemenin mukavemeti hakkında tasarım bilgilerini belirlemek ve malzemenin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini tespit etmek amacı ile yapılır.

Bu çalışmamızda İmkosan firmasının test laboratuvarlarında bulunan Instron 5989 serisi PREMIUM GRADE 600 KN çekme ve eğme cihazı kullanılmıştır. Aynı zamanda cihazın ağız apartları değiştirilerek eğme işlemleride bu cihazla yapılmaktadır ve şekil 4.2’de cihaz gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Instron 5989 premium grade 600 KN çekme ve eğme cihazı

4.4.3. CMM ölçüm cihazı

Üç boyutlu ölçüm metrolojisi, endüstrinin hemen hemen her kesiminde uygulama alanına sahiptir. Özellikle üretim teknolojilerinde üretilen parçaların son kontrollerinin yapılmasında son derece önemli bir yer tutar. Üç boyutlu ölçümleri gerçekleştiren en pratik ve bilinen cihazlar “koordinat ölçme cihazı” anlamına gelen, İngilizce “Coordinate Measurement Machines” başlığının ilk harfleri ile oluşturulan kısaca “CMM” olarak adlandırılmaktadır. CMM cihazları X,Y,Z koordinat eksenlerinde çalışarak, parça boyutlarını bu kordinatlar ile eşleştirilerek, diğer bir deyişle karşılaştırılarak ölçümlerini gerçekleştirir. En önemli özelliği ise, elde edilen ölçüm bilgileri ile ölçümü yapılan bir parçanın tüm katı modelinin çıkarılıp, olması

gereken ölçüm değerleri ile kontrolünün yapılabilmesidir. Özellikle tersine mühendislik (reverse engineering) uygulamaları için son derece başarılıdır. Ülkemizde, otomotiv sanayi başta olmak üzere birçok uygulama alanlarında binlerce CMM cihazı kullanılmaktadır [23].

Testlerde kullandığımız CMM ölçüm cihazı, kollu CMM ölçüm cihazı olarak geçmektedir. Ölçüm işlemi, mafsallı bir kol üzerinde bulunan prob ile gerçekleştirilmektedir. Ölçümü yapılacak olan parça üzerinden birden fazla noktadan ölçüm alınır. Alınan ölçümler bilgisayarda bulunan katı modelle eşleştirilerek, ölçülen parçanın geometrik toleranslar içerisinde olup olmadığı kontrol edilir. Şekil 4.3’de kullanılan Faro Edge CMM cihazına ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 4.3. Faro edge kollu CMM ölçüm cihazı

4.4.4. Makro / mikro görüntü cihazı

Yapılan kaynaklı numune çalışmaları sonucunda malzeme içyapısında oluşan değişimleri incelemek ve kıyaslamak için, İmkosan firmasının laboratuvarlarında bulunan Epson marka, PERFECTION V500 PHOTO model makro görüntüleme cihazı şekil 4.4'de ve Nikon marka, ECLIPSE MA100N modeli mikro görüntüleme cihazı şekil 4.5'de gösterilmiştir. Belirtilen cihazlarla metalografik çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 4.4. Epson perfection V500 photo makro görüntü cihazı



Şekil 4.5. Nikon eclipse MA 100N mikro görüntü cihazı

4.4.5. Sertlik ölçüm cihazı

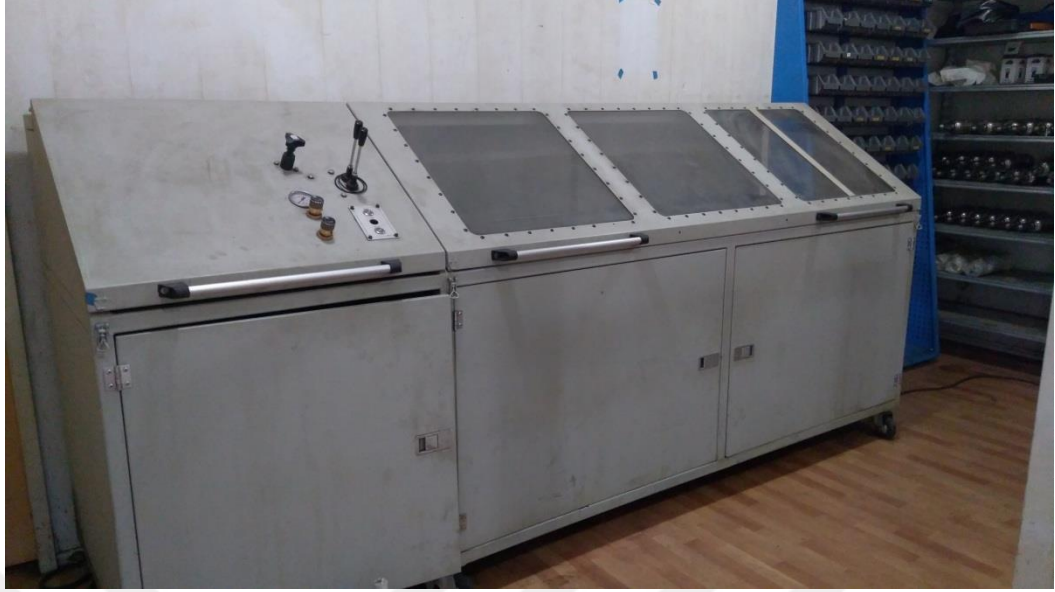
Metalografik inceleme için alınan numune parçalar daha sonra sertlik ölçümlerinin yapılabilmesi İmkosan firmasında bulunan HIGHWOOD HWDV-X3s sertlik ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.6'da sertlik ölçüm cihazına ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 4.6. HIGHWOOD HWDV-X3s sertlik ölçüm cihazı

4.4.6. Basınç testi cihazı

Basınç ile yapılacak olan testlerin, güvenli bir şekilde yapılabilmesi için oluşturulmuş kapalı bir düzenektir. Test yapılacak malzeme sisteme bağlanır ve istenen basınç değeri ayarlanarak sistemin kapağı kapatılır. Şeffaf camdan test edilecek malzeme kontrol edilerek test işlemi başlatılır. Sistem 0 – 400 Bar aralığında çalışmaktadır. Şekil 4.7 de sistemin görseli bulunmaktadır.



Şekil 4.7. Basınç test cihazı

4.5. Kullanılan Kaynak Makinaları

Tez çalışmasında, geleneksel MIG kaynak yönteminde Kemppi MIG Fast 350 kaynak makinası ve CMT-MIG kaynak yönteminde, Fronius TPS 500i kaynak makinası ve entegre robot sistemi olarak ABB robotik sistem kullanılmıştır.

4.5.1. Fronius robotik CMT makinası

Şekil 4.8’de Fronius kaynak makinası TPS 500i ve ABB marka kaynak robotu gösterilmiştir. Kaynak ile birleştirilecek malzemeler el kumanda paneli ile robotun uç kısmından çıkan kaynak telini prob olarak kullanmaktadır. Prob yardımıyla kaynak yapılacak olan parçanın üzerinde kaynak yolunu belirleyecek şekilde uç kısmı değiştirerek kaynağın yapılacağı yolu belirler. İşlem tamamlandıktan sonra ayarlanan kaynak parameterleri ile robot belirlemiş olduğumuz yolu takip ederek kaynak işlemini tamamlar.



Şekil 4.8. Robotik CMT-MIG kaynak sistemi

4.5.2. Kemppi MIG kaynak makinası

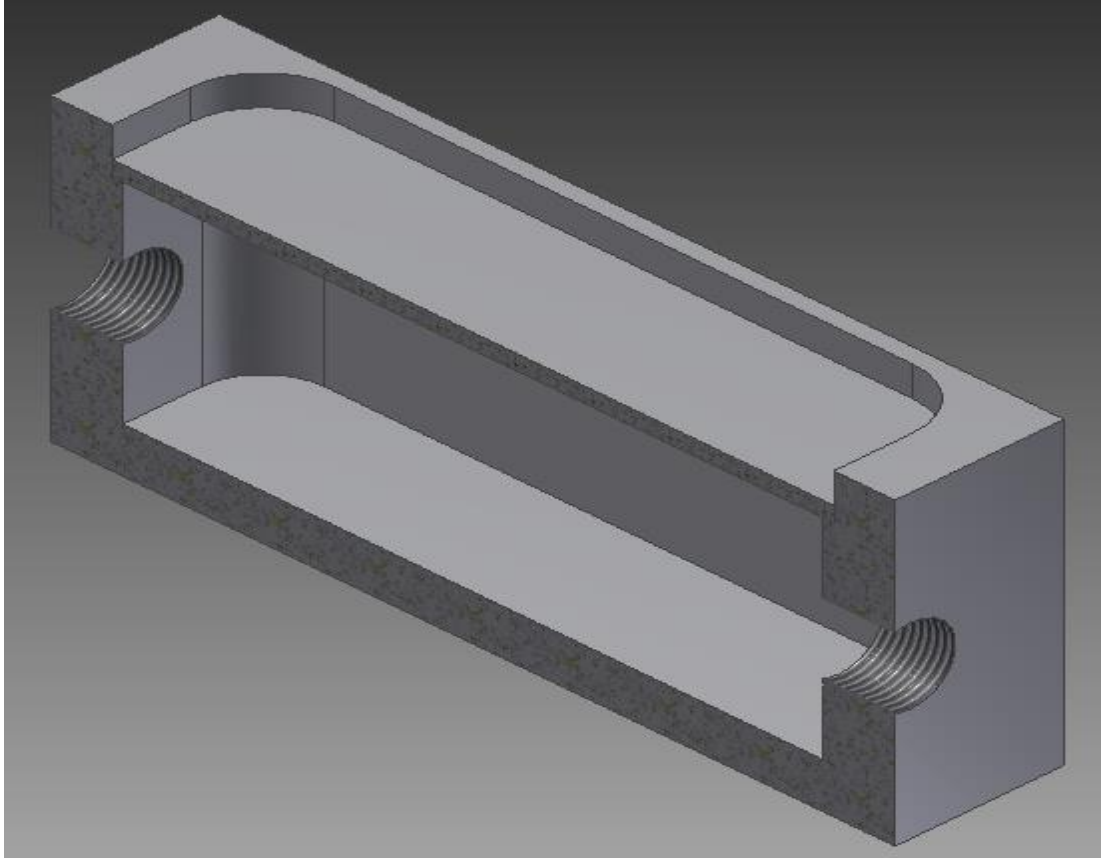
Geleneksel gazaltı MIG kaynak işleminde Kemppi marka FastMIG MXF 65 serisi kaynak makinası kullanılmıştır. Kaynak makinasına ait görsel şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Geleneksel MIG kaynak makinası - Kemppi

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada EN AW 5083 H321 serisi alüminyum alaşımı malzeme kullanılmıştır. Belirtilen malzeme ile savunma sanayisinde kullanılan bir manifold parçasının tasarımını gizlilikten dolayı değiştirilerek 2 adet olarak talaşlı imalatta üretilmiştir ve kaynak yapılacak kapak parçaları, lazer kesim ile kestirilmiştir. Şekil 5.1' de parçanın kesit detayı gösterilmiştir.

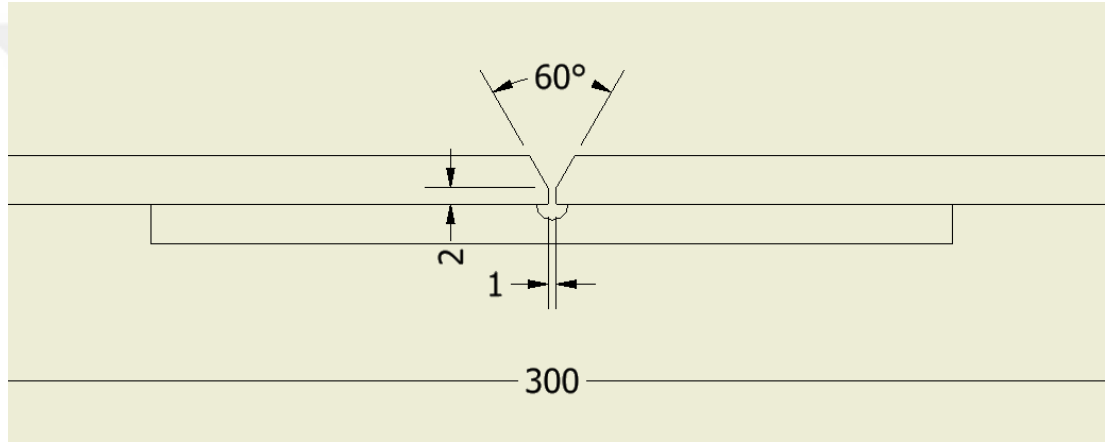


Şekil 5.1. Numune deney parçası kesit görünüşü (N1 ve N2)

Üretilen parçalar kaynak öncesi CMM ölçüm cihazıyla ölçümü yapılmıştır ve daha sonra Robotik CMT-MIG kaynağı ve geleneksel MIG kaynak yöntemleriyle kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynak işlemleri tamamlanan parçalara görsel muayene, penetrant

testi, CMM ölçümü ve basınç testi yapılmıştır. Daha sonra numune parçalar kesilerek köşe kaynaklarının makro, mikro ve sıralı sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Eğme ve çekme deneyleri uluslararası standartlara göre iki kaynak yöntemiyle birleştirilen parçalara uygulanmıştır. Çekme, eğme, makro, mikro ve sıralı sertlik testleri için hazırlanan plakara şekil 5.2’de gösterildiği gibi her parçaya 30° kaynak ağızı açılarak Y kaynak ağızı elde edilmiştir. Parçalar arasında 1 mm boşluk bırakılarak ve paslanmaz altlık kullanılarak tek paso kaynakla birleştirme işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.2. Çekme ve eğme deneyi için numune parça kesiti (N3 ve N4)

Yapılan deneysel çalışmalarda numune parçaların kaynaklı parçalarının tanımlaması şu şekilde yapılmıştır;

- N1: CMT-MIG kaynak numunesi
- N2: Geleneksel MIG kaynak numunesi
- N3: CMT-MIG alın kaynağı numunesi
- N4: Geleneksel MIG alın kaynağı numunesi

5.1. Ana Malzeme Kimyasal Analizi

Ana malzemeye kaynak işlemine başlamadan önce İMKOSAN firmasında bulunan, Oxford marka spektrometre cihazıyla analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda Tablo 5.1’de belirtilen değerler elde edilmiştir ve firma teknik özellikleri ile uyumlu olduğu tespit edilerek kaynaklı ve talaşlı imalat işlemlerine başlanmıştır.

Tablo 5.1. EN AW 5083 H321 kimyasal kompozisyon değerleri

		%Ağırlıkça / Mass							
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	
Ort	94.4	0.125	0.361	0.0356	0.640	4.28	< 0.0150	0.0785	
	Ni	Ti	Be	Ca	Pb	Sn	Sr	V	
Ort	< 0.0050	0.0188	< 0.0010	0.0100	< 0.0050	0.0261	< 0.0010	0.0108	
	Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co	Ag	In	
Ort	< 0.0100	< 0.0020	< 0.0010	0.0048	< 0.0030	0.0021	< 0.0010	< 0.0050	
	Ce	Hg	La	Mo	Sc				
Ort	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0020	< 0.0010				

5.2. Kaynak Öncesi Ön Hazırlık

Alüminyum alaşımı malzemeler yüzeyde oksit tabakası, yağ ve kir istenmez. Bu yüzden kaynak işlemine başlamadan önce paslanmaz tel fırça ile kaynak yapılacak olan parçalar temizlenmiştir ve daha sonra tiner ile silinmiştir.

5.3. Kaynak İşlemi

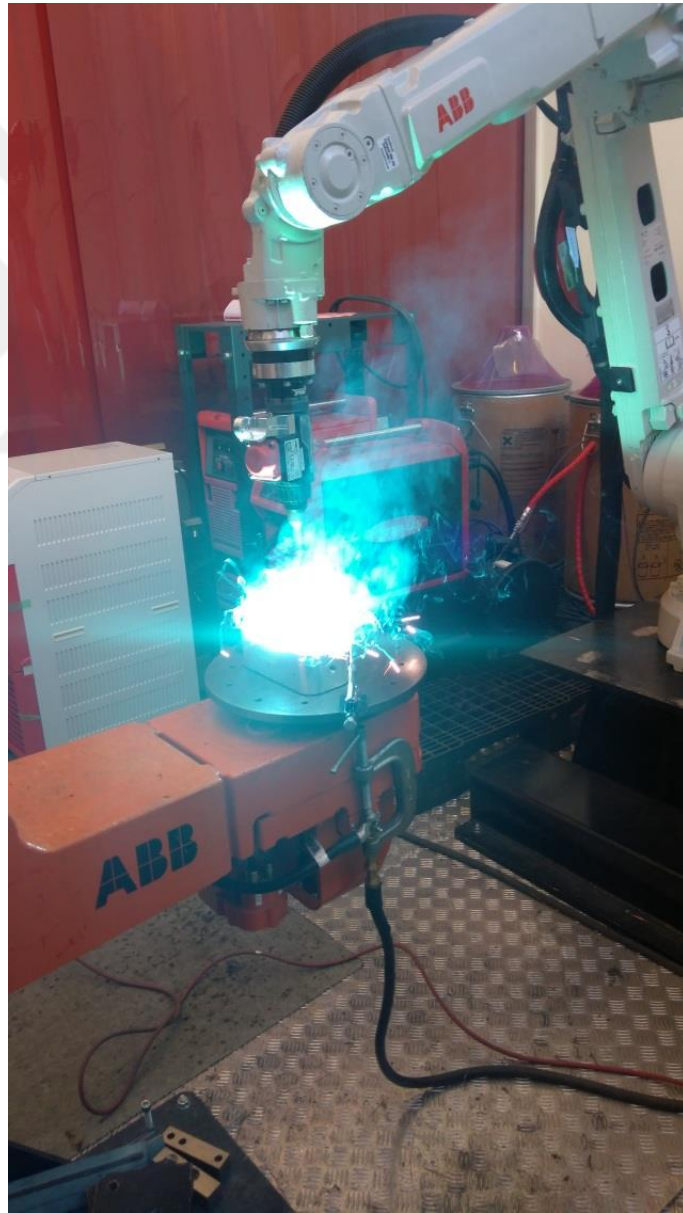
Bu çalışmada iki farklı kaynak yöntemiyle ve iki farklı kaynak pozisyonunda kaynaklı birleştirme işlemi yapılmıştır. Birleştirme işlemi sırasında %99,9 oranında ticari saflıkta saf Argon gazı 15 L/dk olarak kullanılmıştır. Tüm kaynaklar Safra marka 1.2 mm çapında ER 5183 kaynak teli yapılmıştır.

Kaynak işlemi sırasında, ısı oluşumu meydana gelmektedir ve meydana gelen ısı girdisi aşağıda belirtilen eşitlik kullanılarak (Denklem 5.1) hesaplanmıştır.

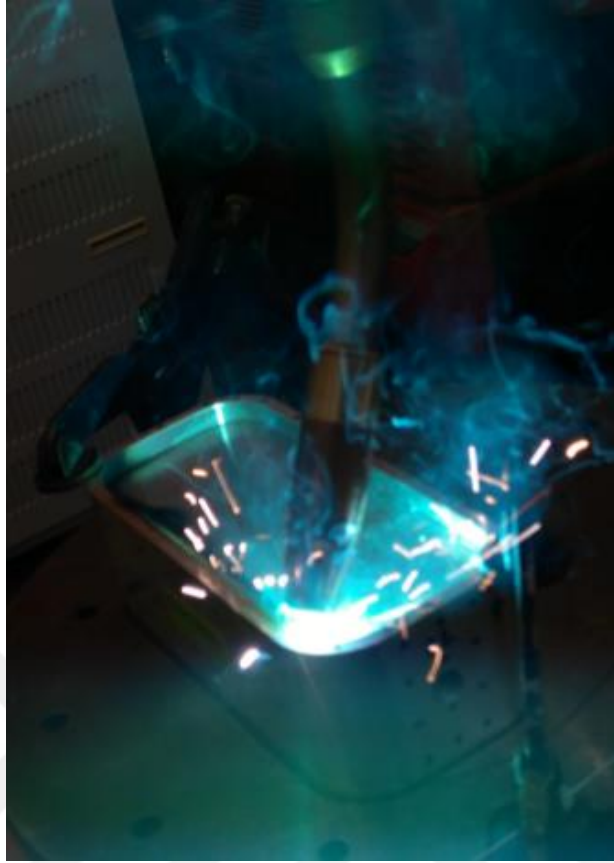
$$Q\left(\frac{J}{mm}\right) = \frac{I(A) \times U(V) \times 60}{V\left(\frac{mm}{dak}\right)} \quad (5.1)$$

Burada Q ısı giridisini, I akımı, U voltajı ve V ise kaynak hızını ifade etmektedir.

Şekil 5.3’de N1 numune parçasının kaynağı CMT-MIG kaynak yöntemiyle ve şekil 5.4’de N2 numune parçasının kaynağı geleneksel MIG kaynak yöntemiyle yapılmıştır. N1 ve N2 kaynak işlemine ait parametreler tablo 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. N1 numunesi CMT-MIG robotik kaynağı ile yapılışının gösterimi



Şekil 5.4. N2 numunesi geleneksel MIG kaynağının yapılışının gösterimi

Tablo 5.2. N1 ve N2 kaynak işlemine ait parametreler

Numune No	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Voltajı (V)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Kaynak Hızı (mm/dak)	Kaynak Isı girdisi (J/mm)
N1	185	20.4	10.6	648	349
N2	180	20.4	9	583	377

N1 ve N2 parçalarının kaynak işleminden sonra oluşan ısı miktarı dijital termometre ile ölçülmüştür ve tablo 5.3’de ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

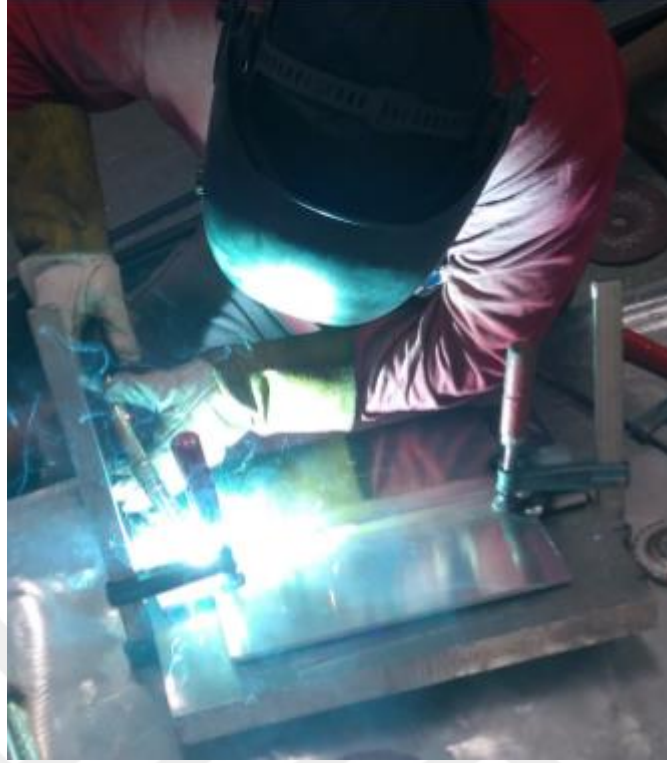
Tablo 5.3 N1 ve N2 kaynak işlemine ait ölçülen sıcaklık değerleri

Numune No	Sıcaklık Değeri (°C)
N1	118
N2	150

Şekil 5.5’de N3 numune parçasının kaynağı CMT-MIG kaynak yöntemiyle ve şekil 5.6’de N4 numune parçasının kaynağı geleneksel MIG kaynak yöntemiyle yapılmıştır. N3 ve N4 kaynak işlemine ait parametreler tablo 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. N3 numunesi CMT-MIG robotik kaynağı ile yapılışının gösterimi



Şekil 5.6. N4 numunesi geleneksel MIG kaynağının yapılışının gösterimi

Tablo 5.4 N1 ve N2 kaynak işlemine ait parametreler

Numune No	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Voltajı (V)	Tel Besleme Hızı (m/dak)	Kaynak Hızı (mm/dak)	Kaynak Isı girdisi (J/mm)
N3	215	20.4	12,5	600	438
N4	215	26.3	9	600	565

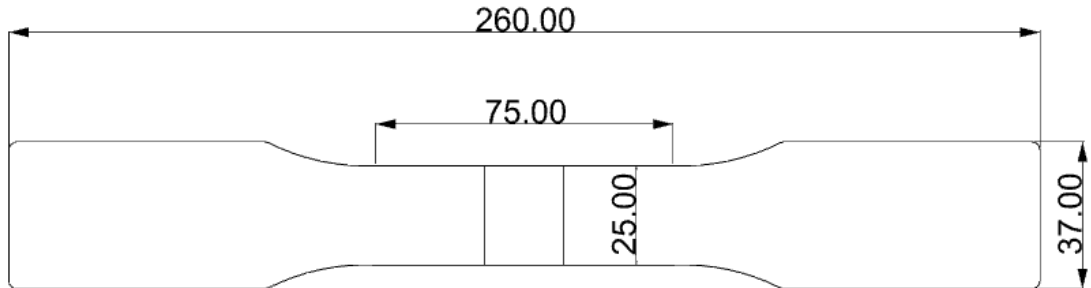
N3 ve N4 parçalarının kaynak işleminden sonra oluşan ısı miktarı dijital termometre ile ölçülmüştür ve tablo 5.5’de ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5.5 N3 ve N4 kaynak işlemine ait ölçülen sıcaklık değerleri

Numune No	Sıcaklık Değeri (°C)
N3	95
N4	116

- 1 Bölge için: Hurda Kısım 25 mm
- 2 Bölge için: Kaynak Yönü
- 3 Bölge için: 1 çekme deney numunesi – Eğme deney numunleri veya kırma deney numuneleri
- 4 Bölge için: Gerekliğinde ilave deney numunesi
- 5 Bölge için: 1 çekme deney numunesi – Eğme deney numunleri veya kırma deney numuneleri
- 6 Bölge için: 1 makro deney numunesi - 1 mikro deney numunesi [24]

Başlangıç ve bitiş noktalarında kaynak hataları oluşumu riskine karşın test parçaları hazırlanırken Şekil 5.7’de 1.Bölge ile gösterilen 25 mm’lik kısım kesilerek atılmıştır. EN ISO 4136:2012 standartına göre çekme numune ölçüleri şekil 5.8’e göre freze tezgahında işlenmiştir. Şekil 5.9’da freze tezgahında işlenirken çekilen görsel bulunmaktadır. İşlenen parçalarda bulunan kaynak dikişi taşkınları talaşlı imalat yöntemiyle temizlenmiştir. Çekme numuneleri işlendikten sonraki toplu görseli şekil 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.8. EN ISO 4136:2012 çekme numunesi standart boyutları

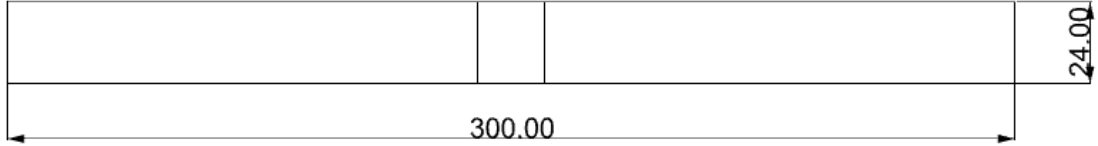


Şekil 5.9. Çekme ve eğme numunlerinin freze tezgahında işleme görseli

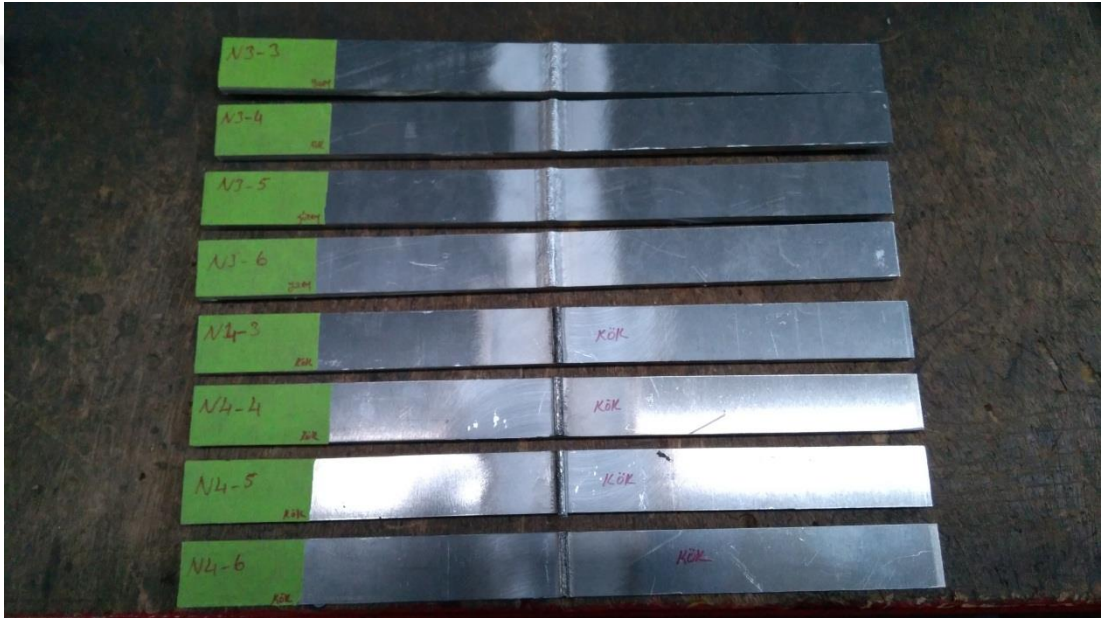


Şekil 5.10. Çekme numunelerinin işlendikten sonraki toplu görseli

EN ISO 5173 standartına göre eğme numunleri şekil 5.11'e göre freze tezgahında işlenmiştir. İşlenen parçalarda bulunan kaynak dikişi taşkınları talaşlı imalat yöntemiyle temizlenmiştir. İşlenen eğme numunelerinin toplu görseli şekil 5.12'de gösterilmiştir.

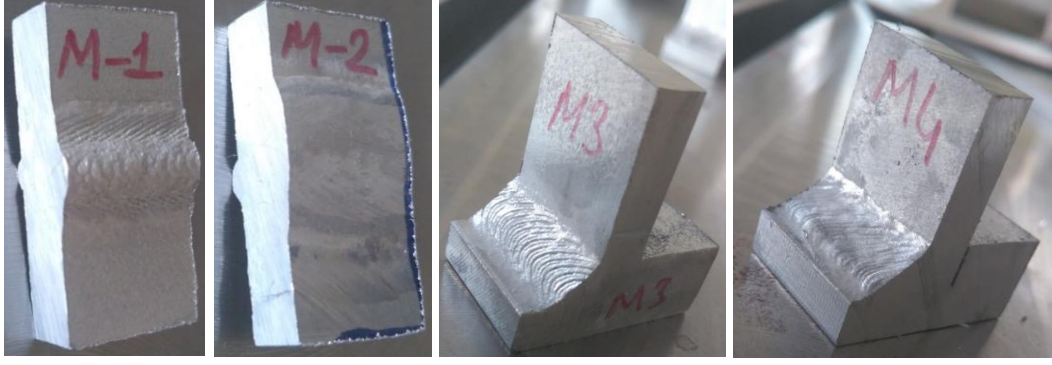


Şekil 5.11. EN ISO 5173 Eğme numunesi standart boyutları



Şekil 5.12. Eğme numunelerinin işlendikten sonraki toplu görseli

Metalografik incelemeler ve sertlik ölçümleri için kaynaklı plakada gösterilen bölgeden 15 x 30 mm ölçülerinde parça mekanik olarak kesilerek alınmıştır. Metalografik incelemeler yapıldıktan sonra aynı numune parçaya Vickers sertlik ölçümü yapılmıştır. Kesilen numune parçalar M1 – M2 – M3 ve M4 şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Metalografi numunelerinin işlendikten sonraki toplu görseli

5.5. Deneylerin Yapılışları

Numune parçaların kaynak işlemine başlamadan ilk olarak parçaların CMM cihazıyla düzlemsellik, paralellik ve diklik ölçümleri yapılmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra iki farklı kaynak yöntemiyle parçaların kaynakları tamamlandıktan sonra sırasıyla kaynak sonrası CMM ölçümü, görsel muayene, penetrant testi ve basınç testi yapılmıştır. Numune parçalardan her yöntemden birer tanesi enine kesilmiştir. Kesildikten sonra kaynak noktası ve çevresinden, makro – mikro görüntü ve sıralı sertlik metalografik incelemeleri yapılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerini karşılamak için, 150 x 300 mm uzunluğunda plakaları iki yöntemle, tek paso kaynak ile alın kaynağı yapılmıştır. Kaynak işlemlerinden sonra çekme, eğme, makro, mikro ve sıralı sertlik testleri yapılmıştır.

5.5.1. Çekme ve eğme deneyi

Kaynak sonrası N, N3-1, N3-2, N4-1 ve N4-2 numaraları parçalara çekme testi İmkosan firmasının laboratuvarlarında bulunan Instron 5989 serisi PREMIUM GRADE 600 KN test cihazıyla yapılmıştır. Çekme testlerine ait bilgiler bilgisayar ortamına kaydedilmiştir ve Tablo 5.6'da elde edilen verilen gösterilmiştir. Testin uygulanmasına ait görsel şekil 5.14'te gösterilmiştir.

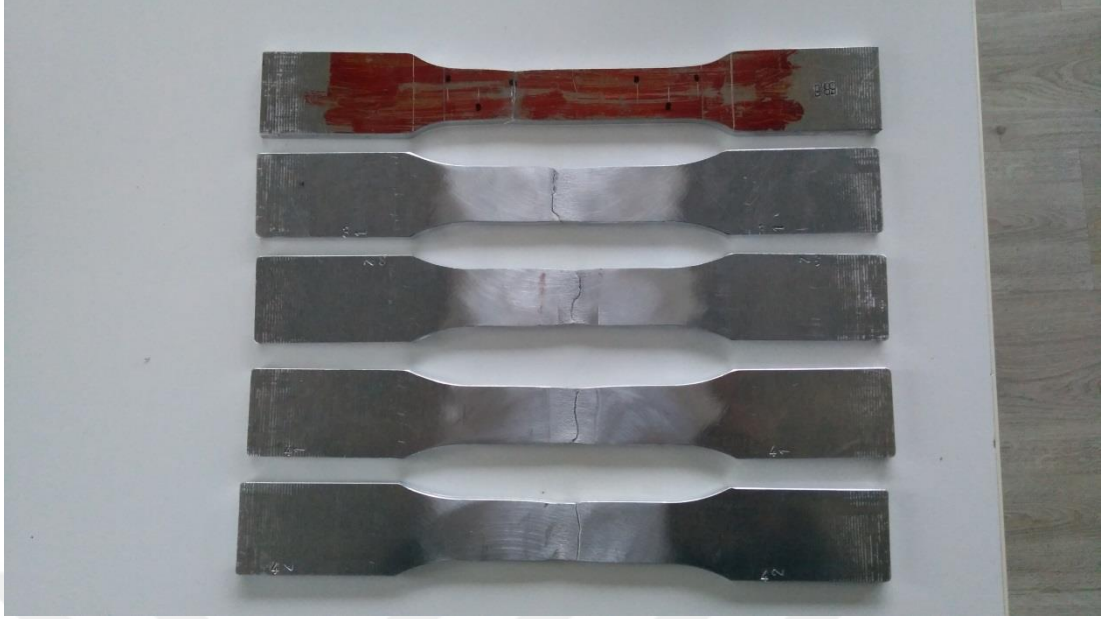
Tablo 5.6 Çekme testi sonuçları

Numune No	Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Uzama Miktarı (%)	Kopma Bölgesi
N	220	333	18,8	
N3-1	215,9	283,9	19,6	ITAB
N3-2	218	280	20,8	KAYNAK
N3 Ortalam	216,95	281,95		
N4-1	210,1	294,1	21,2	KAYNAK
N4-2	217,2	287,6	17,3	ITAB
N4 Ortalama	213,65	290,85		

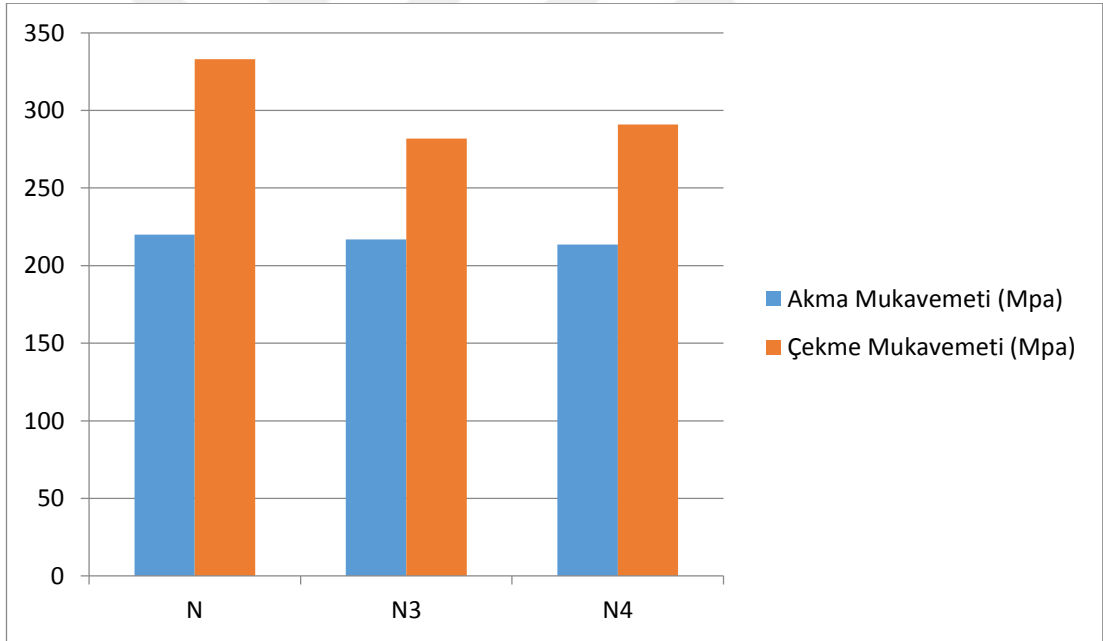


Şekil 5.14. Çekme testi yapılırken çekilmiş görsel

Çekme testi uygulanan numune parçaların toplu görünüşü şekil 5.15’te gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda şekil 5.16’da gösterilen grafik hazırlanmıştır.



Şekil 5.15. Çekme testi uygulanmış numunelerin toplu görünüşü



Şekil 5.16. Çekme testi sonuçları

N3-3, N3-4, N3-5, N3-6, N4-3, N4-4, N4-5 ve N3-6 numaraları parçalara eğme testi İmkosan firmasının laboratuvarlarında bulunan Instron 5989 serisi PREMIUM GRADE 600 KN test cihazının eğme aparatı takılarak yapılmıştır. Testin uygulanmasına ait görsel şekil 5.17'de gösterilmiştir. Numunelere ait özet, tablo

5.7’de gösterilmiştir. Şekil 5.18’de N3 numunelerine ait ve şekil 5.19’da ise N4 numuneleri ait eğme testinin sonuçları mevcuttur.



Şekil 5.17. Eğme testinin yapılması

Tablo 5.7 Eğme testi sonuçları

Numune No	Durum
N3-3	Kırılma ve çatlama görülmedi
N3-4	Kırılma ve çatlama görülmedi
N3-5	Kırılma ve çatlama görülmedi
N3-6	Kırılma ve çatlama görülmedi
N4-3	Kırılma ve çatlama görülmedi
N4-4	Kırılma ve çatlama görülmedi
N4-5	Kırılma ve çatlama görülmedi
N4-6	Kırılma ve çatlama görülmedi



Şekil 5.18. N3 serisi eğme testinin sonuçları



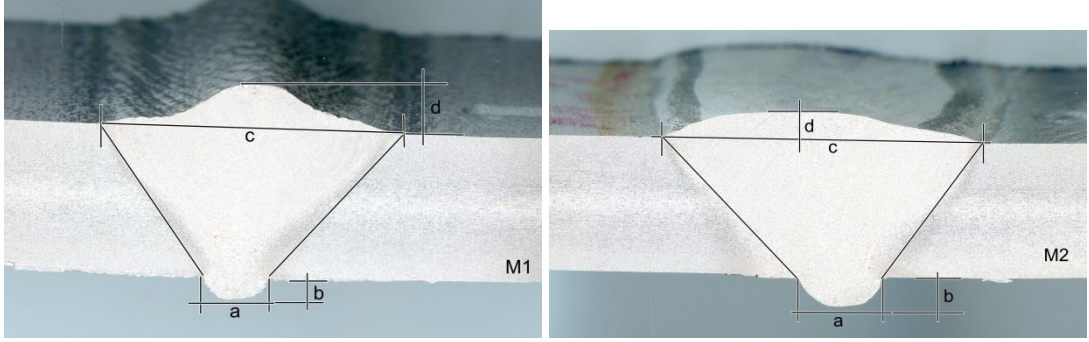
Şekil 5.19. N4 serisi eğme testinin yapılması

5.5.2. Makro / mikro görüntüleme

Tüm kaynaklı numune parçalardan en gerçekçi sonuçları almak amacı ile metalografik deney numuneleri genel yapıyı temsil edebilecek şekilde seçilmiştir. Seçilen numuneler freze tezgahında düzgün bir şekilde işlenmiştir. İşlenen parçalar İmkosan firmasının laboratuvarlarında kademeli olarak zımparalama ve parlatma işlemi uygulanmış ve Keller ayracı ile 40 saniye süre ile dağlanmıştır. Dağlama işlemi tamamlanan parçaların metalografik ölçümleri ve kaynak nüfuziyet hesapları yapılmıştır.

Çıkarılan metalografik numunelerden kaynak metalinin ana metale nüfuziyeti ölçüm yapılarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.20’de M1 ve M2 numunelerine ait nüfuziyet görselleri, tablo 5.8’te şekil 5.20’ye ait veriler, şekil 5.21’de ise M3 ve M4

numunelerine ait nüfuziyet görselleri ve tablo 5.9'da şekil 5.21'e ait veriler gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda kaynak nüfuziyeti TS EN ISO 10042:2005 standartına göre değerlendirilmiştir.



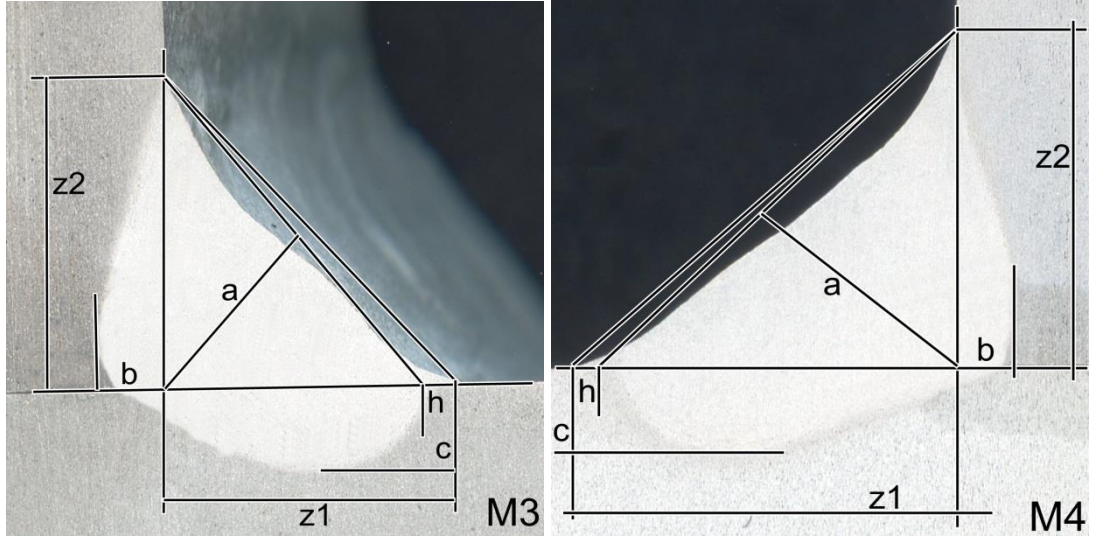
Şekil 5.20. M1 ve M2 numuneleri nüfuziyet görseli

Tablo 5.8 M1 ve M2 kaynak nüfuziyet verisi

Numune Adı	a değeri	b değeri	c değeri	d değeri	Kaynak Alanı
M1	2,5 mm	1 mm	12 mm	2,2 mm	~53 mm ²
M2	3,6 mm	1,2 mm	14 mm	1,4 mm	~76 mm ²

Tablo 5.9 M1 ve M2 kaynak kusur tablosu

Referans No:	Kusur Tanımı	M1 Numunesi için kalite seviyesi	M2 Numunesi için kalite seviyesi
6520-1: 1998			
502	Aşırı Kaynak Metali	B	B
504	Aşırı Nüfuziyet	B	B



Şekil 5.21. M3 ve M4 numuneleri nüfuziyet görseli

Tablo 5.10. M3 ve M4 kaynak nüfuziyet verisi

Numune Adı	a değeri	b değeri	c değeri	h değeri	z1 değeri	z2 değeri	Kaynak Alanı
M3	4,8 mm	1,5 mm	2,3 mm	1 mm	6,8 mm	5,8 mm	~35 mm ²
M4	5 mm	0,8 mm	1,1 mm	0,5 mm	7,3 mm	6,8 mm	~36 mm ²

Tablo 5.11 M3 ve M4 kaynak kusur tablosu

Referans No:	Kusur Tanımı	M3 Numunesi için kalite seviyesi	M4 Numunesi için kalite seviyesi
6520-1: 1998			
512	İç köşe kaynağının aşırı asimetrikliği	B	B
503	Aşırı dış bükeylik	B	B



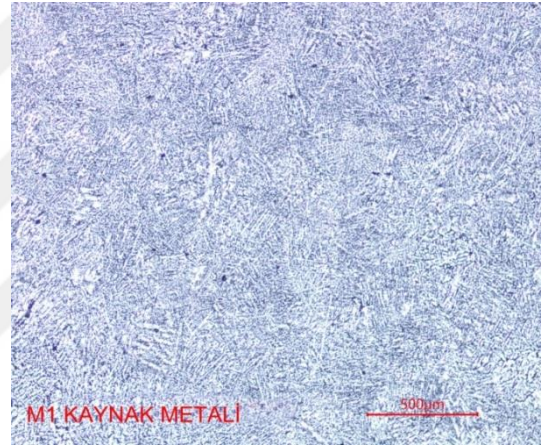
Şekil 5.22. M1 numunesi makro görüntüsü



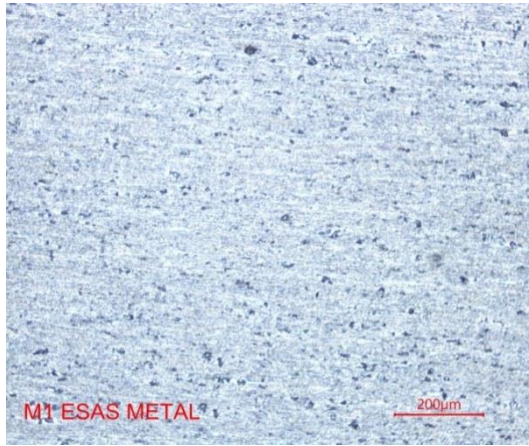
Şekil 5.23. M1 EM mikro görüntüsü 50x büyütme



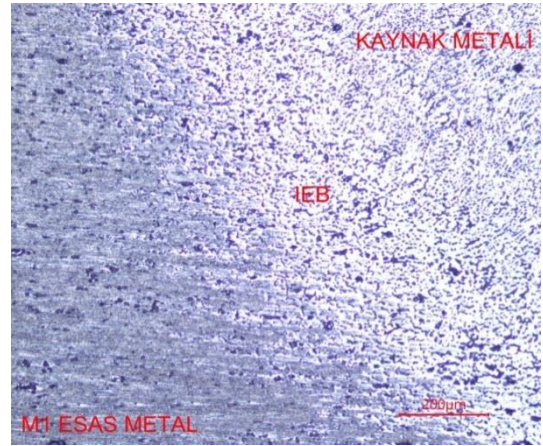
Şekil 5.24. M1 IEB mikro görüntüsü 50x büyütme



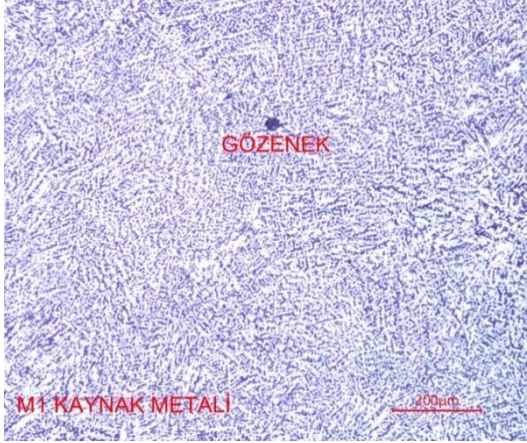
Şekil 5.25. M1 KM mikro görüntüsü 50x büyütme



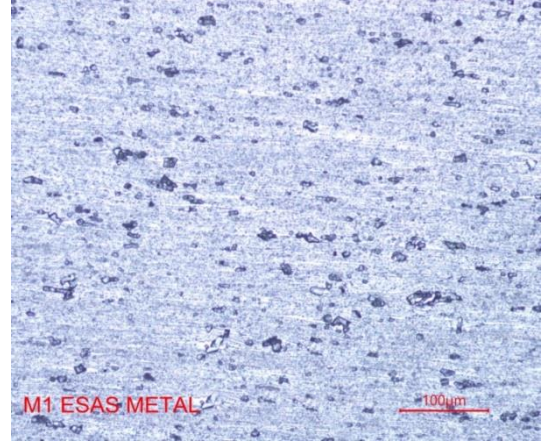
Şekil 5.26. M1 EM mikro görüntüsü 100x büyütme



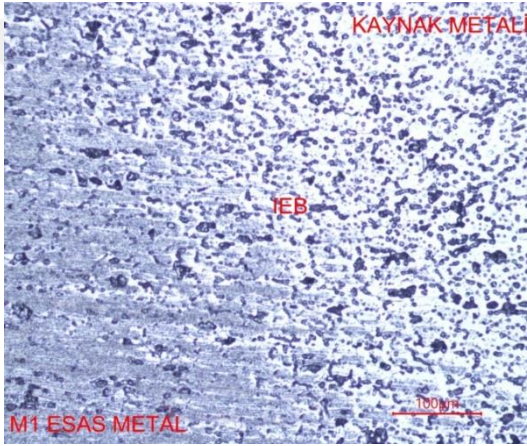
Şekil 5.27. M1 IEB mikro görüntüsü 100x büyütme



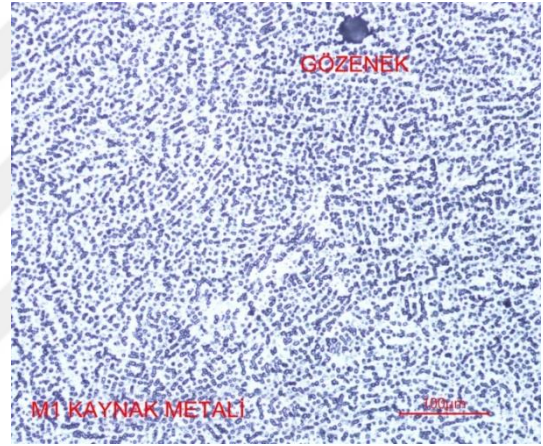
Şekil 5.28. M1 KM mikro görüntüsü 100x büyütme



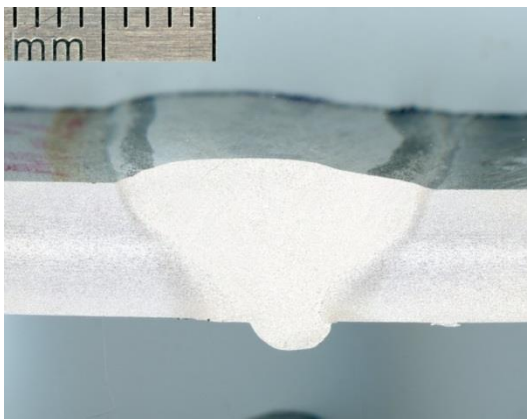
Şekil 5.29. M1 EM mikro görüntüsü 200x büyütme



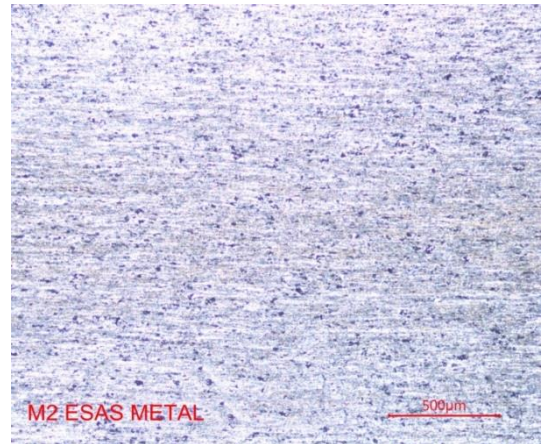
Şekil 5.30. M1 IEB mikro görüntüsü 200x büyütme



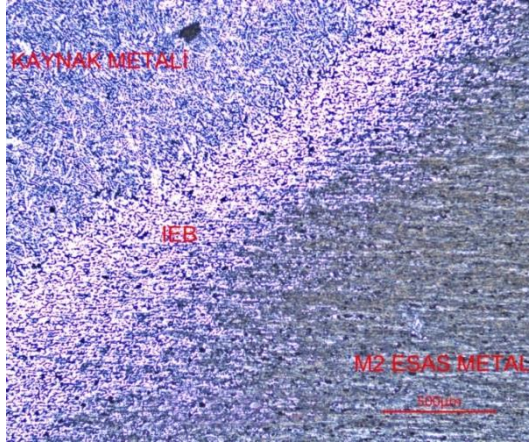
Şekil 5.31. M1 KM mikro görüntüsü 200x büyütme



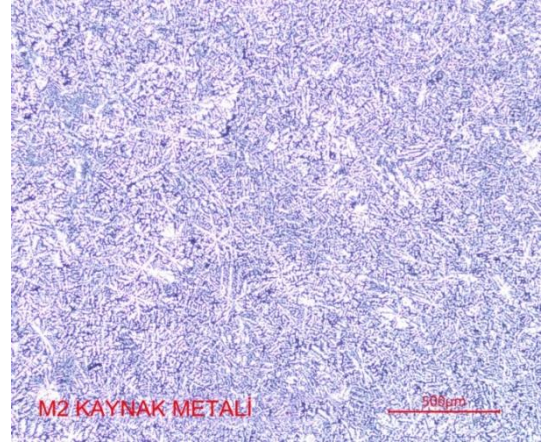
Şekil 5.32. M2 numunesi makro görüntüsü



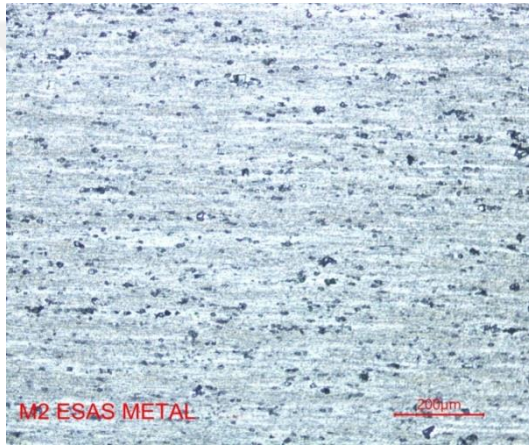
Şekil 5.33. M1 EM mikro görüntüsü 50x büyütme



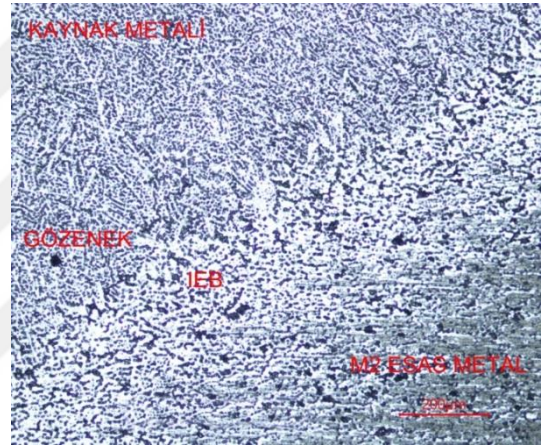
Şekil 5.34. M2 IEB mikro görüntüsü 50x büyütme



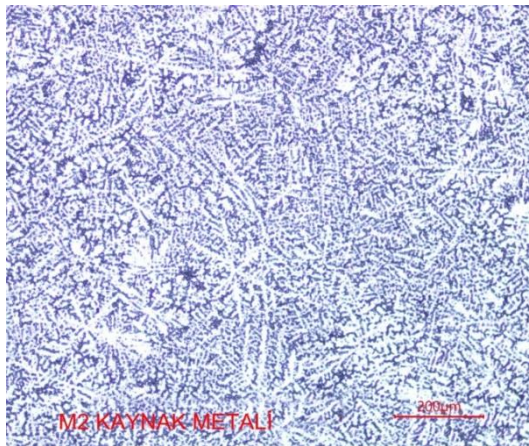
Şekil 5.35. M2 KM mikro görüntüsü 50x büyütme



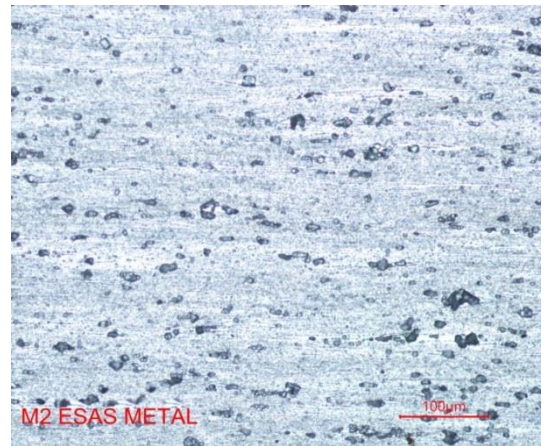
Şekil 5.36. M2 EM mikro görüntüsü 100x büyütme



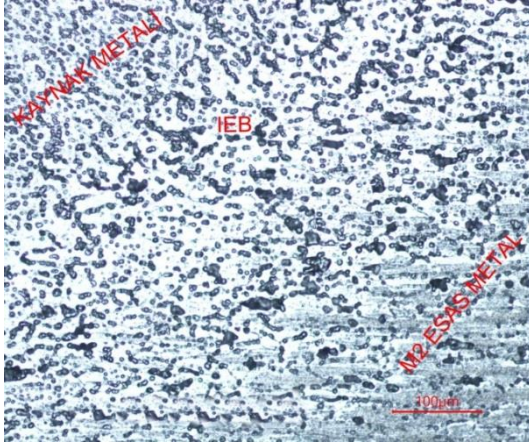
Şekil 5.37. M2 IEB mikro görüntüsü 100x büyütme



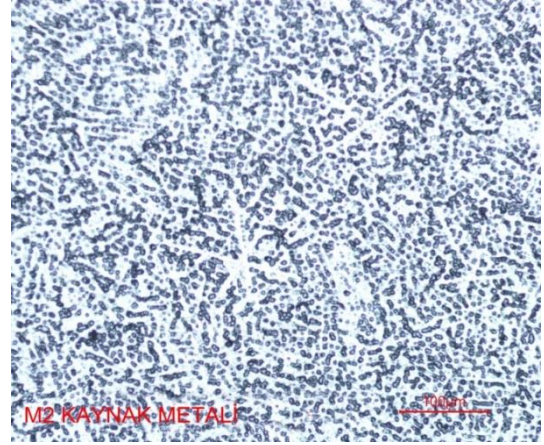
Şekil 5.38. M2 KM mikro görüntüsü 100x büyütme



Şekil 5.39. M2 EM mikro görüntüsü 200x büyütme



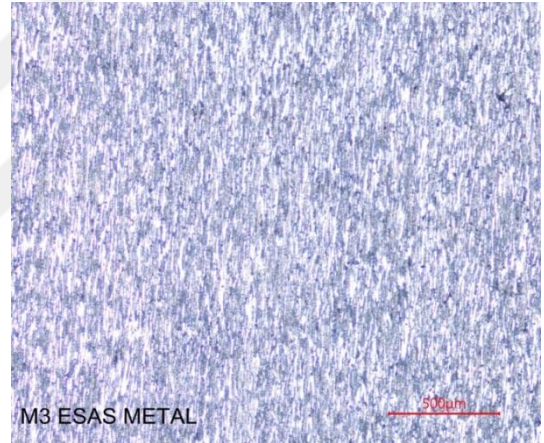
Şekil 5.40. M2 IEB mikro görüntüsü 200x büyütme



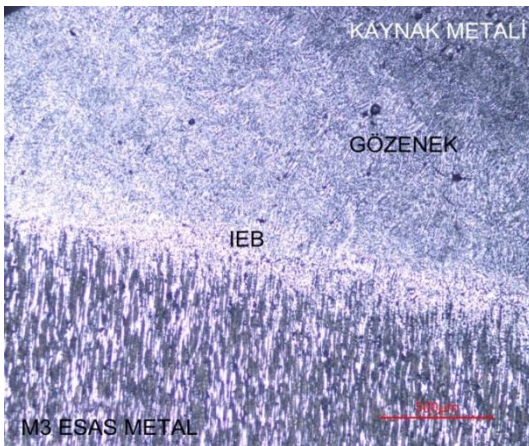
Şekil 5.41. M2 KM mikro görüntüsü 200x büyütme



Şekil 5.42. M3 numunesi makro görüntüsü



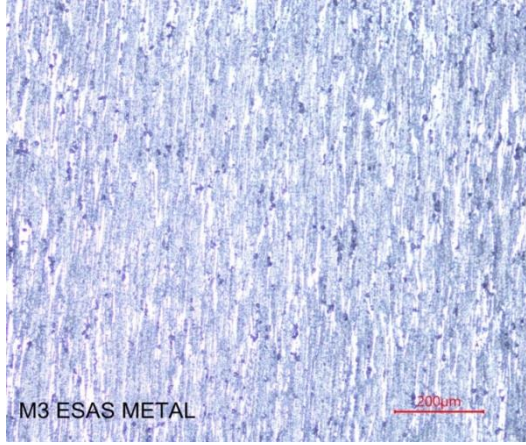
Şekil 5.43. M3 EM mikro görüntüsü 50x büyütme



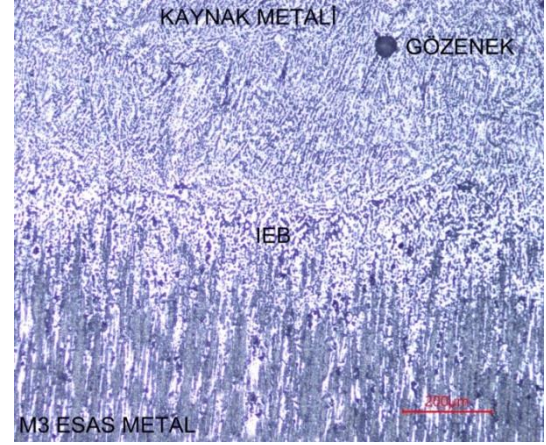
Şekil 5.44. M3 IEB mikro görüntüsü 50x büyütme



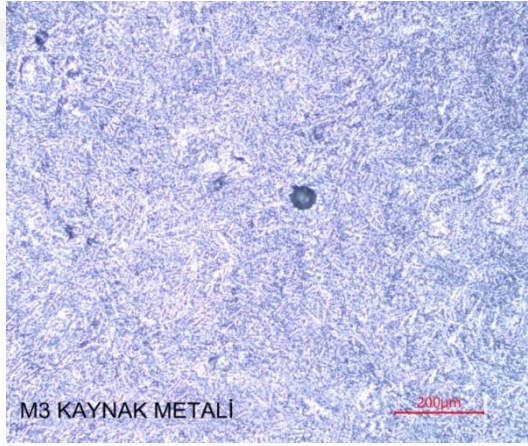
Şekil 5.45. M3 KM mikro görüntüsü 50x büyütme



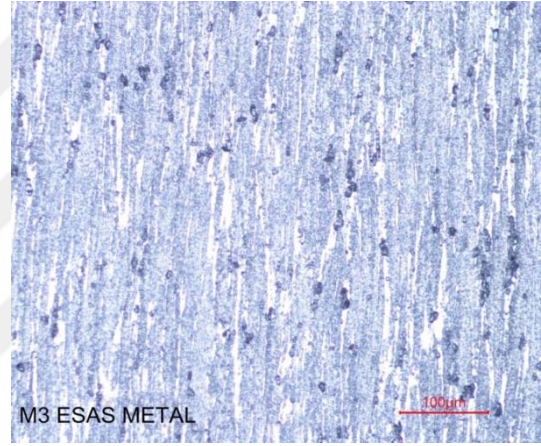
Şekil 5.46. M3 EM mikro görüntüsü 100x büyütme



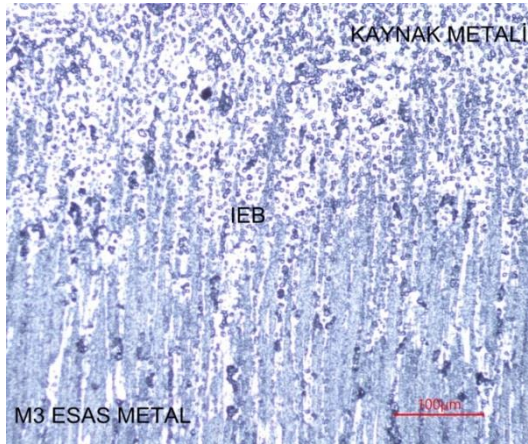
Şekil 5.47. M3 IEB mikro görüntüsü 100x büyütme



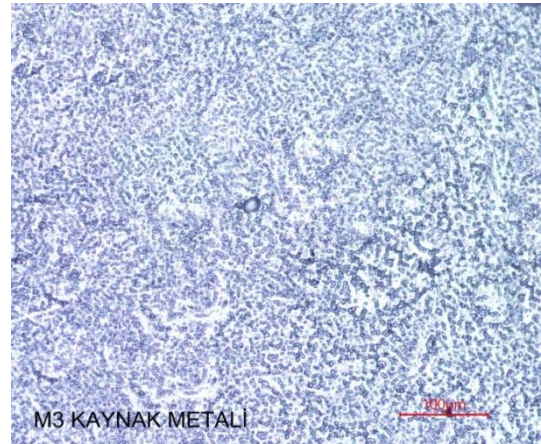
Şekil 5.48. M3 KM görüntüsü 100x büyütme



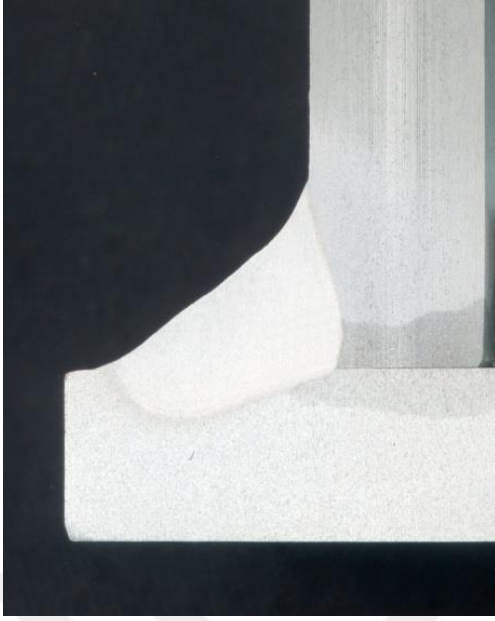
Şekil 5.49. M3 EM mikro görüntüsü 200x büyütme



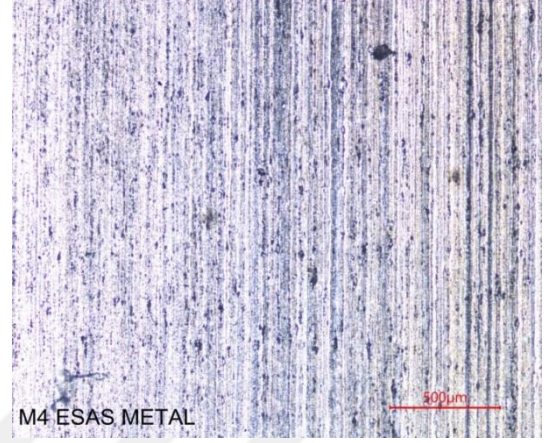
Şekil 5.50. M3 IEB mikro görüntüsü 200x büyütme



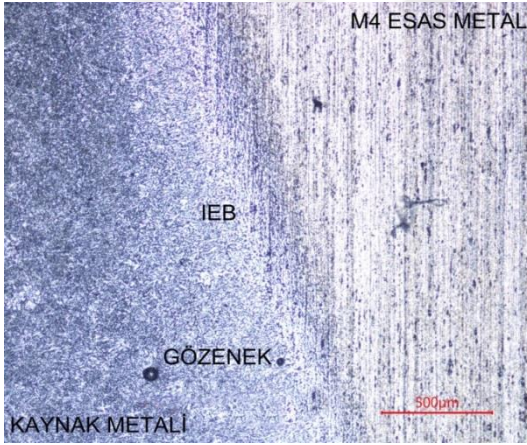
Şekil 5.51. M3 KM mikro görüntüsü 200x büyütme



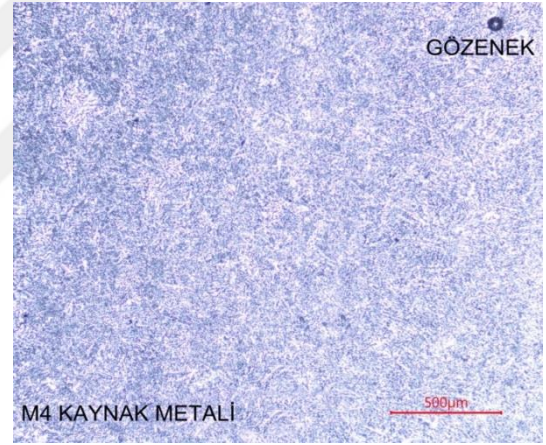
Şekil 5.52. M4 numunesi makro görüntüsü



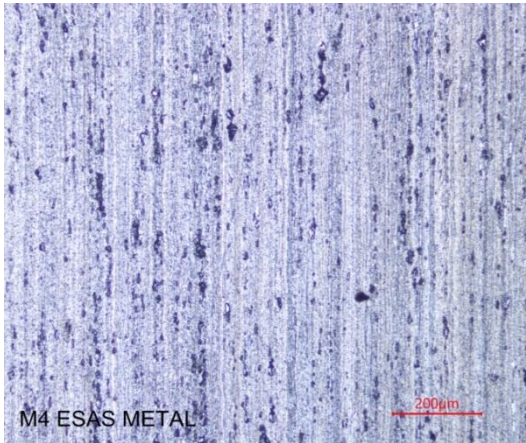
Şekil 5.53. M4 EM mikro görüntüsü 50x büyütme



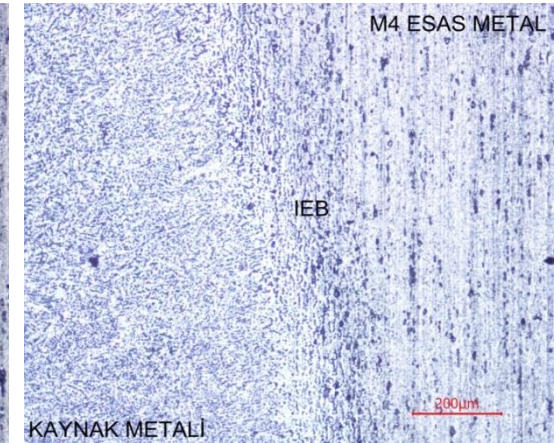
Şekil 5.54. M4 IEB mikro görüntüsü 50x büyütme



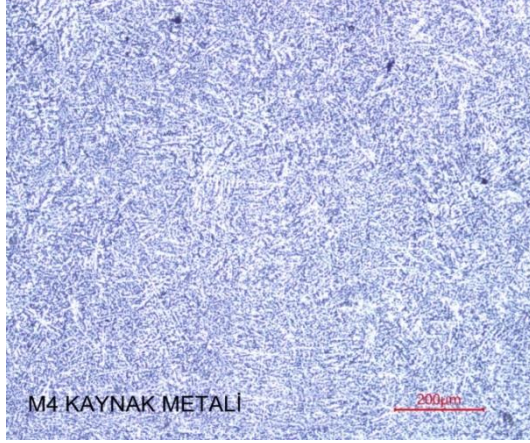
Şekil 5.55. M4 KM mikro görüntüsü 50x büyütme



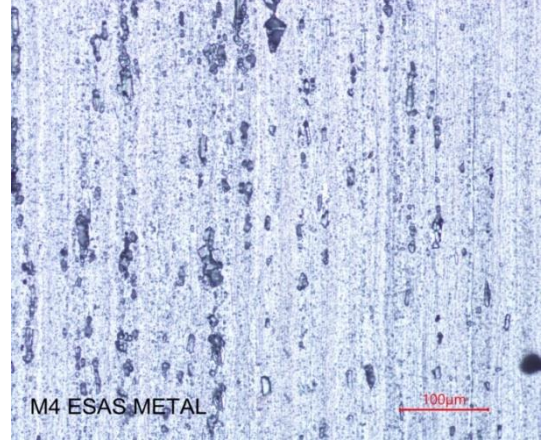
Şekil 5.56. M4 EM mikro görüntüsü 100x büyütme



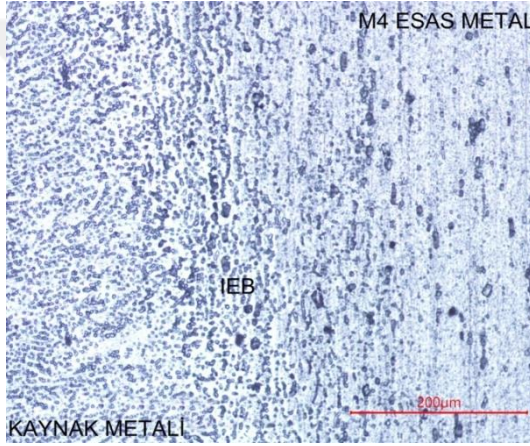
Şekil 5.57. M4 IEB mikro görüntüsü 100x büyütme



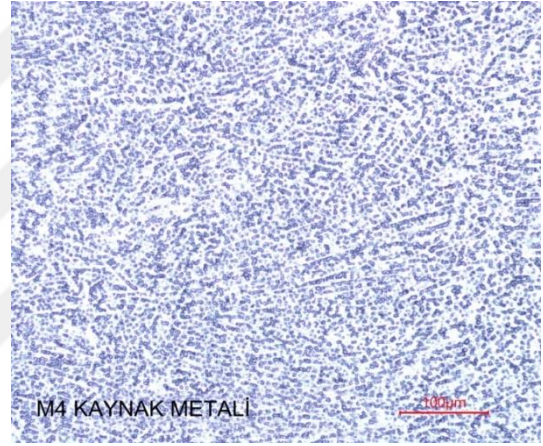
Şekil 5.58. M4 KM mikro görüntüsü 100x büyütme



Şekil 5.59. M4 EM mikro görüntüsü 200x büyütme



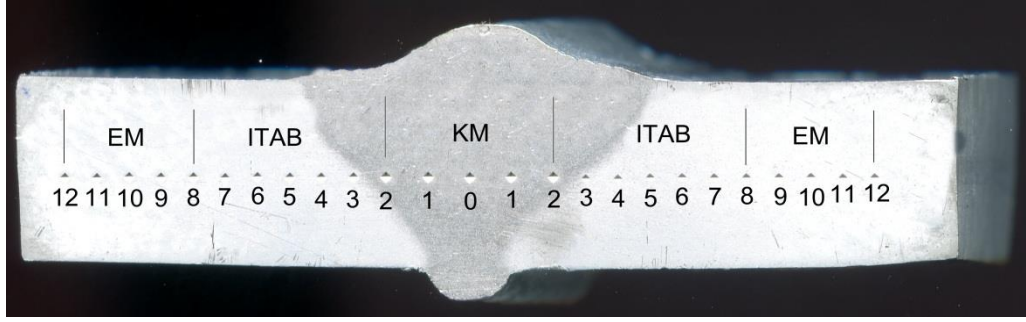
Şekil 5.60. M4 IEB mikro görüntüsü 200x büyütme



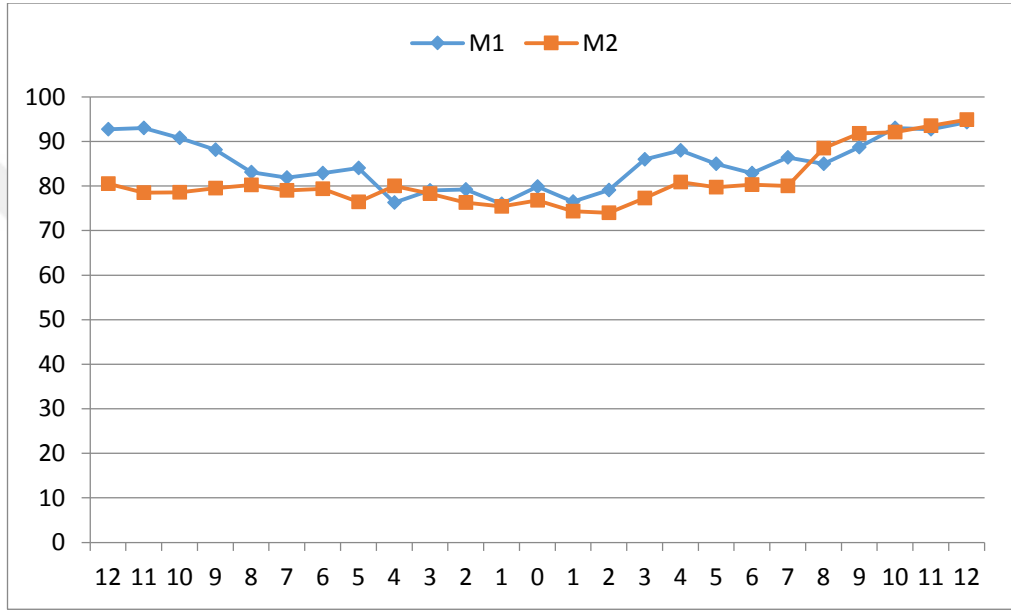
Şekil 5.61. M4 KM mikro görüntüsü 200x büyütme

5.5.3. Vickers sertlik ölçümü

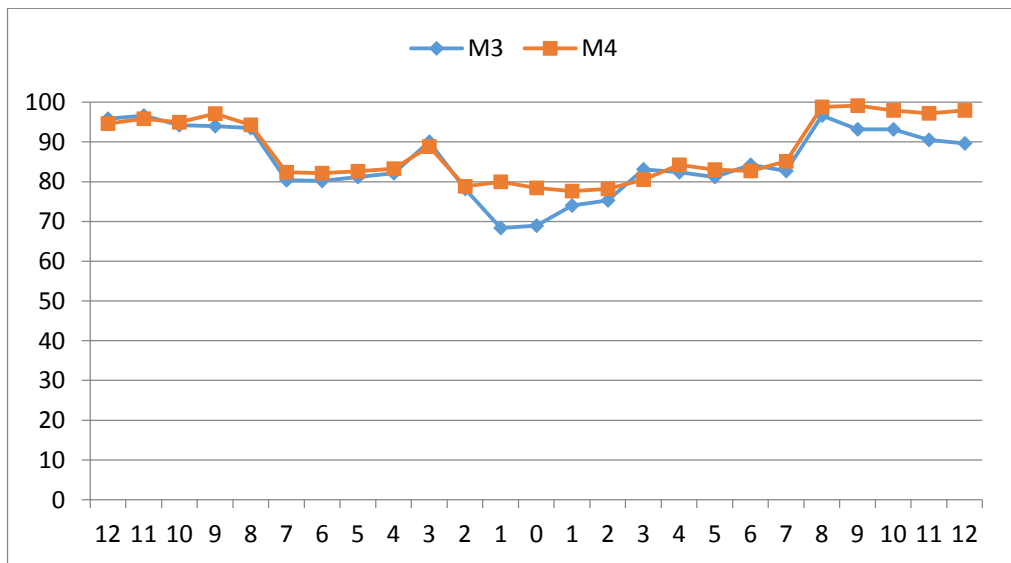
Tüm kaynaklı parçalardan alınan metalografik inceleme numuneleri İmkosan firması laboratuvarlarında mikrosertlik ölçüm cihazı kullanılarak, 5 kg / f yük altında 10 süre ile yaklaşık 1 mm aralıklar ile her bir numune üzerinden toplamda 25 noktadan sertlik taraması yapılmıştır. Sertlik taraması sonrası şekil 5.62’de gösterildiği gibi görüntü oluşmaktadır. Sertlik taraması sonrası elde edilen değerler alın ve köşe kaynağı numuneleri için ayrı ayrı grafik oluşturularak gösterilmiştir. M1 ve M2 numunelerine ait sertlik değerleri ile oluşturulan grafik şekil 5.63’de gösterilmiştir. M3 ve M4 numunelerine ait sertlik değerleri ile oluşturulan grafik şekil 5.64’de gösterilmiştir. Ölçüm değerlerinin toplu olarak tablo üzerinde gösterimi, tablo 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.62. Sertlik ölçümü sonrası elde edilen görüntü



Şekil 5.63. M1 ve M2 numuneleri sertlik değerleri ölçümü



Şekil 5.64. M3 ve M4 numuneleri sertlik değerleri ölçümü

Tablo 5.12 M1, M2, M3 ve M4 numuneleri sertlik değerleri

X	Numune Kodu			
	M1	M2	M3	M4
12	92,7	80,5	95,8	94,6
11	93	78,5	96,6	95,8
10	90,8	78,6	94,2	94,9
9	88,1	79,5	94	97,1
8	83,1	80,2	93,5	94,3
7	81,9	79	80,4	82,4
6	82,9	79,4	80,2	82,1
5	84	76,4	81,2	82,6
4	76,3	80	82,1	83,3
3	79	78,3	90	88,8
2	79,2	76,3	78,2	78,8
1	65,9	75,4	68,4	80
0	79,9	76,8	68,9	78,4
1	76,5	74,3	74	77,6
2	79,1	74	75,3	78,2
3	86	77,3	83,1	80,5
4	88	80,9	82,4	84,2
5	85	79,7	81,2	83
6	82,9	80,3	84,2	82,7
7	86,4	80	82,7	85,1
8	85	88,5	96,6	98,8
9	88,7	91,8	93,2	99,1
10	93	92,1	93,2	97,9
11	92,7	93,5	90,5	100,6
12	94,3	94,9	89,6	97,9

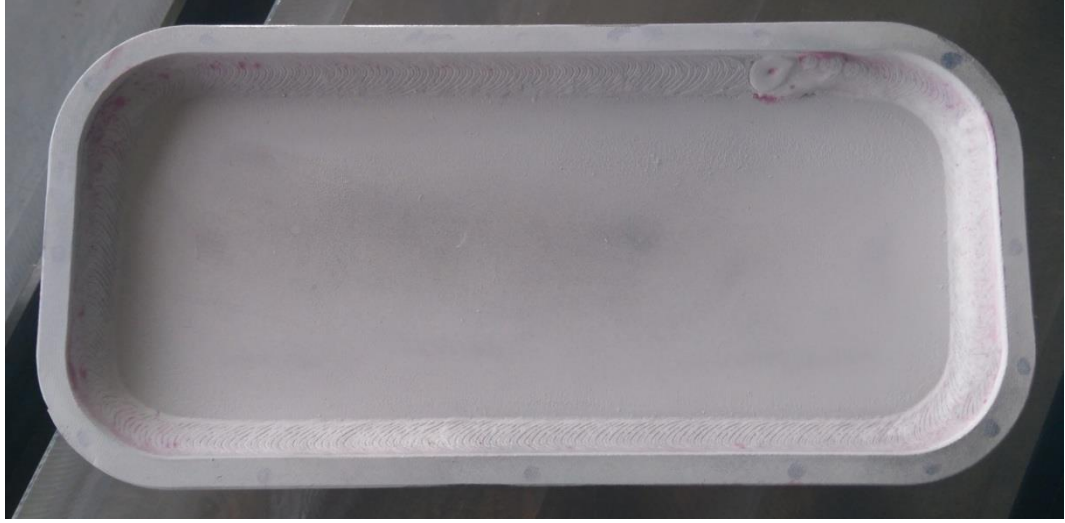
5.5.4. Penetrant testi uygulaması

Yüzey hatalarının tespiti için kullanılan bir muayene metodu olup, tespit edilmek istenilen hataların muayene işlemi uygulanan yüzeyine açık olması gerekir, bu nedenle yüzey altında kalan veya herhangi bir nedenle yüzeye bağlantısı kesilmiş bulunan hatalar bu metotla tespit edilemez. Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde aşırı gözenekli olmamaları koşulu ile beklenen yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir. Yöntemin uygulanacağı test malzemesinin yüzeyi düzgün ve temiz olmalıdır (yüzey temizliğinin uygun yapılmamış olması) aksi takdirde değerlendirmelerde yanılğıya düşülebilir. Muayene sonrasında ilave olarak bir son temizlik işlemi gerekebilir. Kimyasal maddelerin kullanımı özel bir özen gerektirmektedir [25].

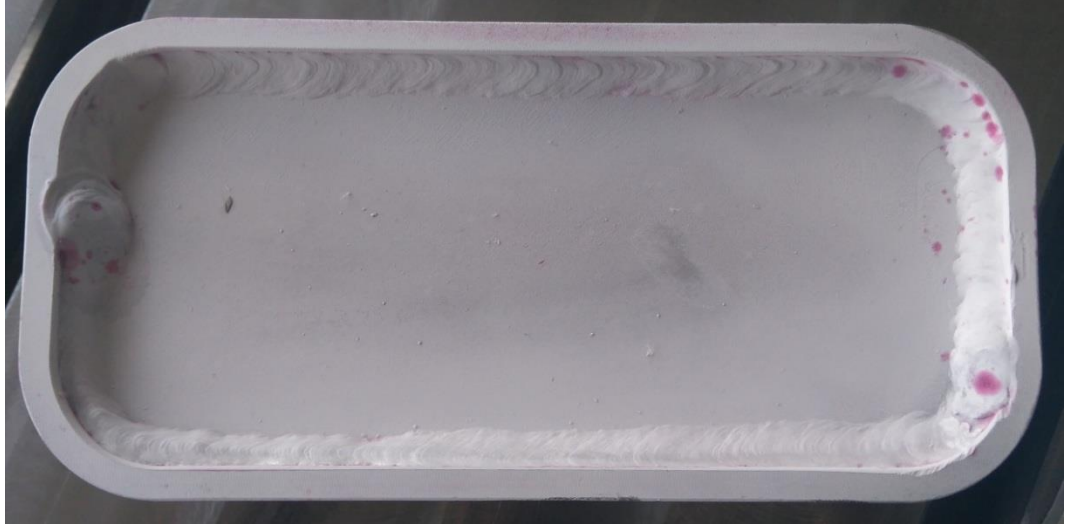
Penetrant muayene yönteminin uygulanma aşamaları

1. Muayene yüzeyinde ön-temizlik
2. Penetrantın uygulanması
3. Penetrasyon için bekleme
4. Ara-temizlik
5. Geliştirme
6. İnceleme
7. Değerlendirme ve rapor hazırlama
8. Son-temizlik [25]

Yukarıda anlatılan işlemler sırasıyla MEG Gemi Mak. San. Fabrikasında, kalite kontrol personeli tarafından N1 ve N2 numune parçalarına uygulanmıştır. Uygulama işlemlerine ait görseller şekil 5.65 ve şekil 5.66'da gösterilmiştir.



Şekil 5.65. N1 numune parçasının penetrant testi sonrası görseli



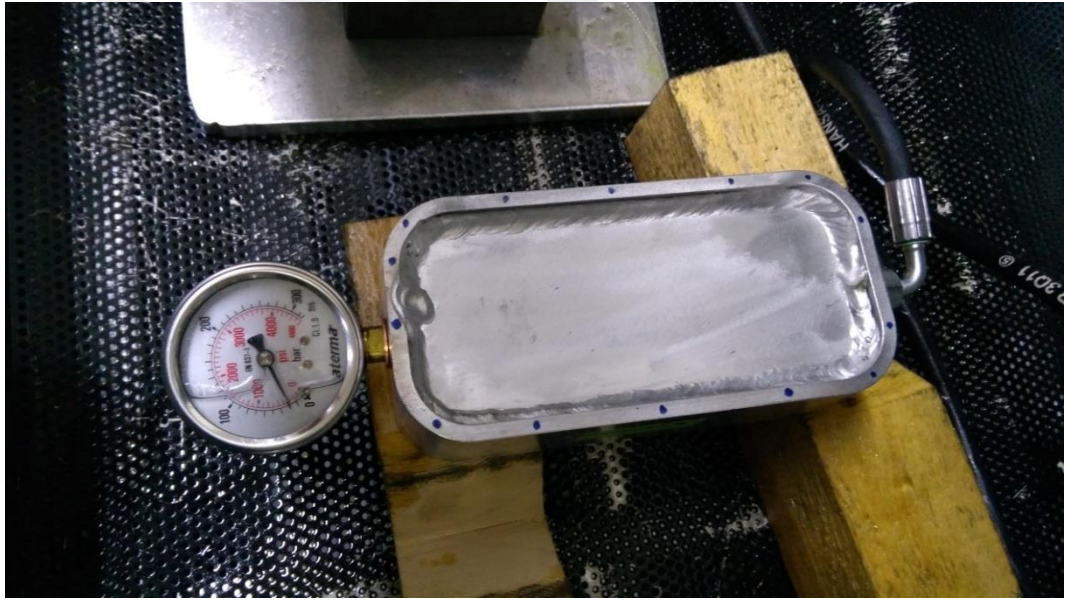
Şekil 5.66. N2 numune parçasının penetrant testi sonrası görseli

5.5.5. Basınç testi uygulaması

N1 ve N2 numune parçalarına sırasıyla şekil 5.67 ve 5.68'de görüldüğü gibi bir noktadan yağ girişi yapılmıştır ve diğer noktaya ise basınç ölçmek için manometre bağlanmıştır. Normal de sistemlerde istenen basınç değeri 15 bar olmasına rağmen parça bağlandıktan sonra 30 bar basınç, kontrollü bir şekilde verilmiştir ve yaklaşık 60 dakika süre ile basınç altında bırakılmıştır. 60 dakika sonunda basınç göstergesinde değişim olup olmadığı gözlemlenmiştir. Gözlemler sonucunda herhangi bir basınç değişimine rastlanmamıştır.



Şekil 5.67. N1 numune parçasının basınç testinin yapılışı



Şekil 5.68. N2 numune parçasının basınç testinin yapılışı

5.5.6. CMM ölçümü

CMM ölçümü için kaynak işlemine başlamadan önce tüm parçaların yüzeylerine şekil 5.69 da gösterildiği gibi mavi asetatlı kalemle nokta şeklinde işaretlemeler yapılmıştır. Bu işaretlemeler kaynak öncesi ve kaynak sonrası prop ucunun degeceği referans noktaları göstermektedir. Yüzeylerden alınan ölçümler bilgisayar ortamına aktarılarak yüzeylerin birbirine olan paralellik ve dikliklerini ölçmektedir.



Şekil 5.69. CMM ölçümü için referans noktalarının gösterimi

- Kaynak öncesi CMM ölçümü

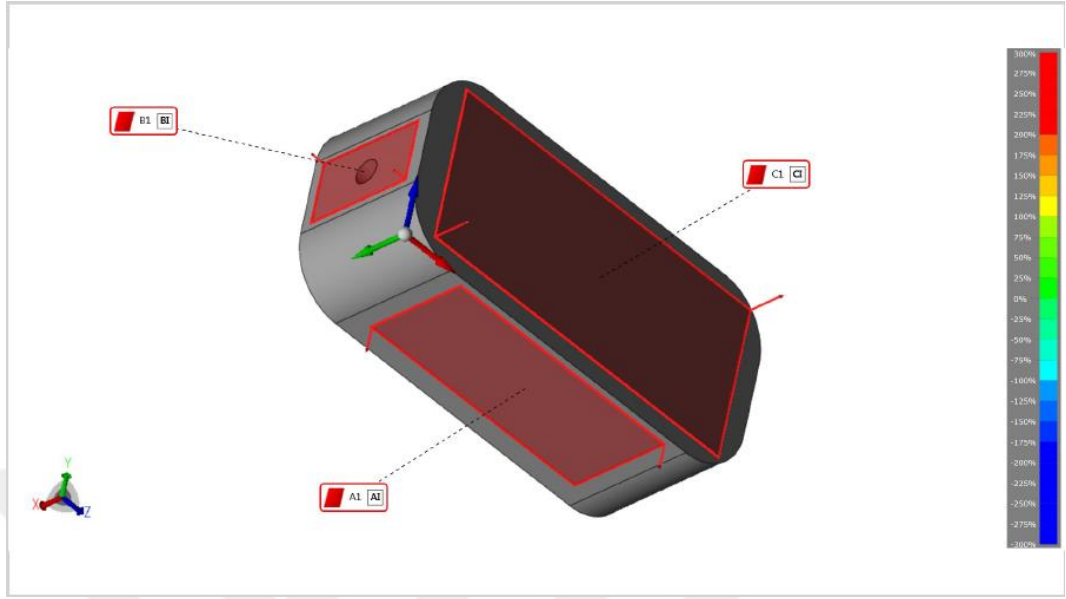
Kaynak öncesi CMM ölçümü CMT – MIG robotik yöntemiyle N1, geleneksel MIG yöntemiyle N2 numunesinin ölçümü yapılmıştır. Ölçüm işlemine ait görüntü şekil 5.70’de gösterilmiştir.



Şekil 5.70. Kaynak öncesi CMM ölçüm işleminin yapılışı

Ölçüm işlemlerine ait düzlemsellik, paralellik ve diklik değerleri N2 ve N3 için ayrı ayrı gösterilmiştir.

N2 için kaynak öncesi ölçüm sonuçları;



Şekil 5.71. N2 yüzey tanımlaması – 1

A1		Okunan Değerler:15.Referans: A1.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik	\square	0.043mm		0.043mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Paralellik AII	\parallel	0.057mm		0.057mm	0.000mm	0.000mm	0.057mm
Diklik CII	\perp	0.051mm		0.051mm	0.000mm	0.000mm	0.051mm
Diklik B1	\perp	0.045mm		0.045mm	0.000mm	0.000mm	0.045mm
Diklik C1	\perp	0.054mm		0.054mm	0.000mm	0.000mm	0.054mm
Diklik BII	\perp	0.086mm		0.086mm	0.000mm	0.000mm	0.086mm

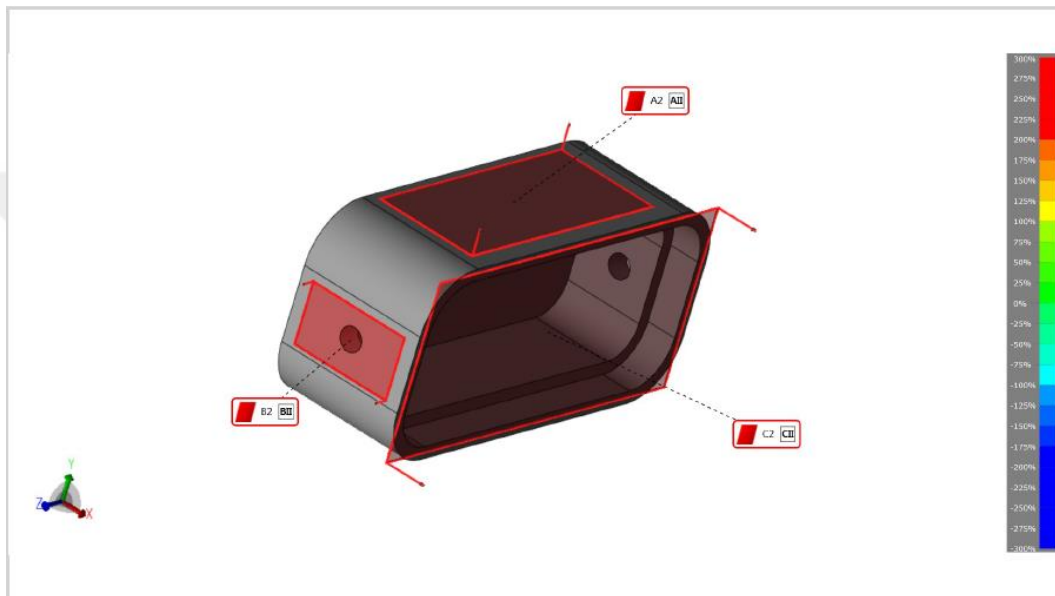
Şekil 5.72. N2-A1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri

B1		Okunan Değerler:12.Referans: B1.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik	\square	0.027mm		0.027mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Paralellik BII	\parallel	0.033mm		0.033mm	0.000mm	0.000mm	0.033mm
Diklik C1	\perp	0.034mm		0.034mm	0.000mm	0.000mm	0.034mm
Diklik CII	\perp	0.031mm		0.031mm	0.000mm	0.000mm	0.031mm
Diklik A1	\perp	0.027mm		0.027mm	0.000mm	0.000mm	0.027mm
Diklik AII	\perp	0.027mm		0.027mm	0.000mm	0.000mm	0.027mm

Şekil 5.73. N2-B1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri

C1		Okunan Değerler:21.Referans: Cl.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.041mm		0.041mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Paralellik CII		0.047mm		0.047mm	0.000mm	0.000mm	0.047mm
Diklik AI		0.053mm		0.053mm	0.000mm	0.000mm	0.053mm
Diklik AII		0.046mm		0.046mm	0.000mm	0.000mm	0.046mm
Diklik BI		0.065mm		0.065mm	0.000mm	0.000mm	0.065mm
Diklik BII		0.051mm		0.051mm	0.000mm	0.000mm	0.051mm

Şekil 5.74. N2-C1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri



Şekil 5.75. N2 yüzey tanımlaması – 2

A2		Okunan Değerler:15.Referans: AII.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.023mm		0.023mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Diklik BI		0.032mm		0.032mm	0.000mm	0.000mm	0.032mm
Diklik BII		0.065mm		0.065mm	0.000mm	0.000mm	0.065mm
Diklik CI		0.027mm		0.027mm	0.000mm	0.000mm	0.027mm
Diklik CII		0.030mm		0.030mm	0.000mm	0.000mm	0.030mm

Şekil 5.76. N2-A2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri

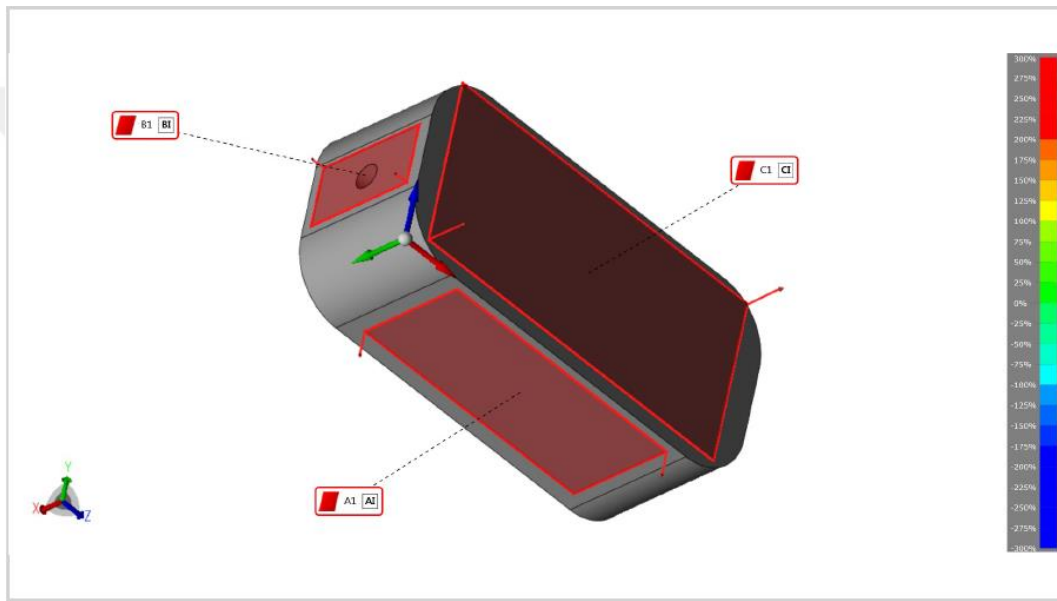
B2		Okunan Değerler:12.Referans: BII.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.024mm		0.024mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Diklik CI		0.028mm		0.028mm	0.000mm	0.000mm	0.028mm
Diklik CII		0.025mm		0.025mm	0.000mm	0.000mm	0.025mm
Diklik AI		0.034mm		0.034mm	0.000mm	0.000mm	0.034mm
Diklik AII		0.030mm		0.030mm	0.000mm	0.000mm	0.030mm

Şekil 5.77. N2-B2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri

C2		Okunan Değerler: 13.Referans: CII.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.015mm		0.015mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Diklik A1		0.035mm		0.035mm	0.000mm	0.000mm	0.035mm
Diklik AII		0.033mm		0.033mm	0.000mm	0.000mm	0.033mm
Diklik B1		0.050mm		0.050mm	0.000mm	0.000mm	0.050mm
Diklik BII		0.023mm		0.023mm	0.000mm	0.000mm	0.023mm

Şekil 5.78. N2-C2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri

N3 için kaynak öncesi ölçüm sonuçları



Şekil 5.79. N3 yüzey tanımlaması – 1

A1		Okunan Değerler: 15.Referans: AI.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.023mm		0.023mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Paralellik AII		0.036mm		0.036mm	0.000mm	0.000mm	0.036mm
Diklik CII		0.022mm		0.022mm	0.000mm	0.000mm	0.022mm
Diklik B1		0.056mm		0.056mm	0.000mm	0.000mm	0.056mm
Diklik C1		0.030mm		0.030mm	0.000mm	0.000mm	0.030mm
Diklik BII		0.102mm		0.102mm	0.000mm	0.000mm	0.102mm

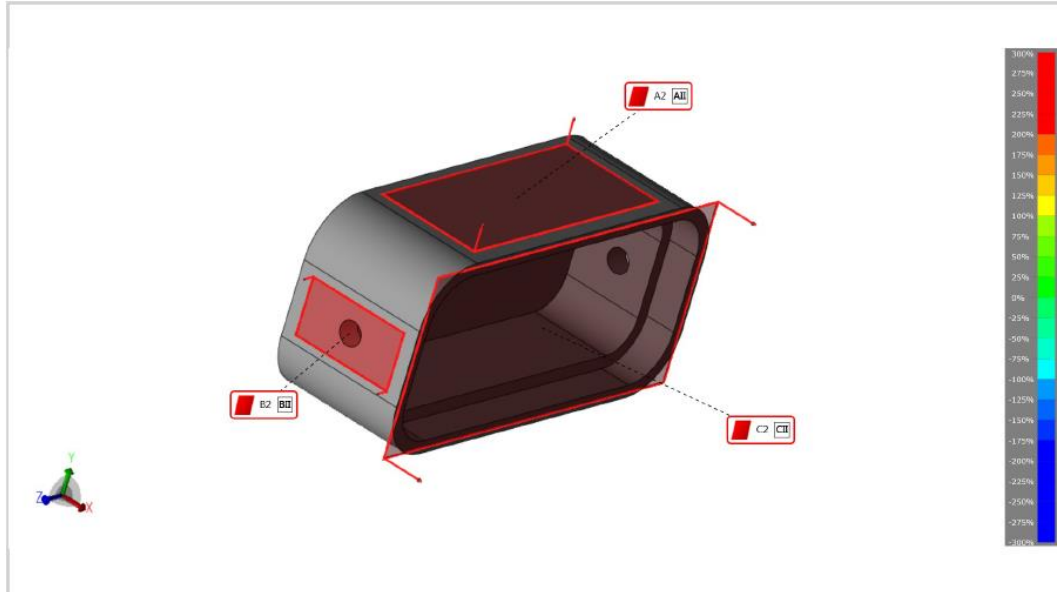
Şekil 5.80. N3-A1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri

B1		Okunan Değerler: 12. Referans: B1.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.043mm		0.043mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Paralellik BII		0.057mm		0.057mm	0.000mm	0.000mm	0.057mm
Diklik C1		0.041mm		0.041mm	0.000mm	0.000mm	0.041mm
Diklik CII		0.040mm		0.040mm	0.000mm	0.000mm	0.040mm
Diklik A1		0.041mm		0.041mm	0.000mm	0.000mm	0.041mm
Diklik AII		0.043mm		0.043mm	0.000mm	0.000mm	0.043mm






Şekil 5.81. N3-B1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri

C1		Okunan Değerler: 18. Referans: C1.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.076mm		0.076mm	0.000mm	0.050mm	0.026mm
Paralellik CII		0.093mm		0.093mm	0.000mm	0.000mm	0.093mm
Diklik A1		0.082mm		0.082mm	0.000mm	0.000mm	0.082mm
Diklik AII		0.093mm		0.093mm	0.000mm	0.000mm	0.093mm
Diklik B1		0.090mm		0.090mm	0.000mm	0.000mm	0.090mm
Diklik BII		0.076mm		0.076mm	0.000mm	0.000mm	0.076mm






Şekil 5.82. N3-C1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri








Şekil 5.83. N3 yüzey tanımlaması – 2

A2		Okunan Değerler: 15.Referans: AII.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.023mm		0.023mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Diklik BI		0.060mm		0.060mm	0.000mm	0.000mm	0.060mm
Diklik BII		0.091mm		0.091mm	0.000mm	0.000mm	0.091mm
Diklik CI		0.041mm		0.041mm	0.000mm	0.000mm	0.041mm
Diklik CII		0.026mm		0.026mm	0.000mm	0.000mm	0.026mm

Şekil 5.84. N3-A2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri

B2		Okunan Değerler: 12.Referans: BII.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.022mm		0.022mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Diklik CI		0.027mm		0.027mm	0.000mm	0.000mm	0.027mm
Diklik CII		0.033mm		0.033mm	0.000mm	0.000mm	0.033mm
Diklik AI		0.035mm		0.035mm	0.000mm	0.000mm	0.035mm
Diklik AII		0.032mm		0.032mm	0.000mm	0.000mm	0.032mm

Şekil 5.85. N3-B2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri

C2		Okunan Değerler: 13.Referans: CII.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.013mm		0.013mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Diklik AI		0.019mm		0.019mm	0.000mm	0.000mm	0.019mm
Diklik AII		0.022mm		0.022mm	0.000mm	0.000mm	0.022mm
Diklik BI		0.028mm		0.028mm	0.000mm	0.000mm	0.028mm
Diklik BII		0.045mm		0.045mm	0.000mm	0.000mm	0.045mm

Şekil 5.86. N3-C2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri

- Kaynak sonrası CMM ölçümü

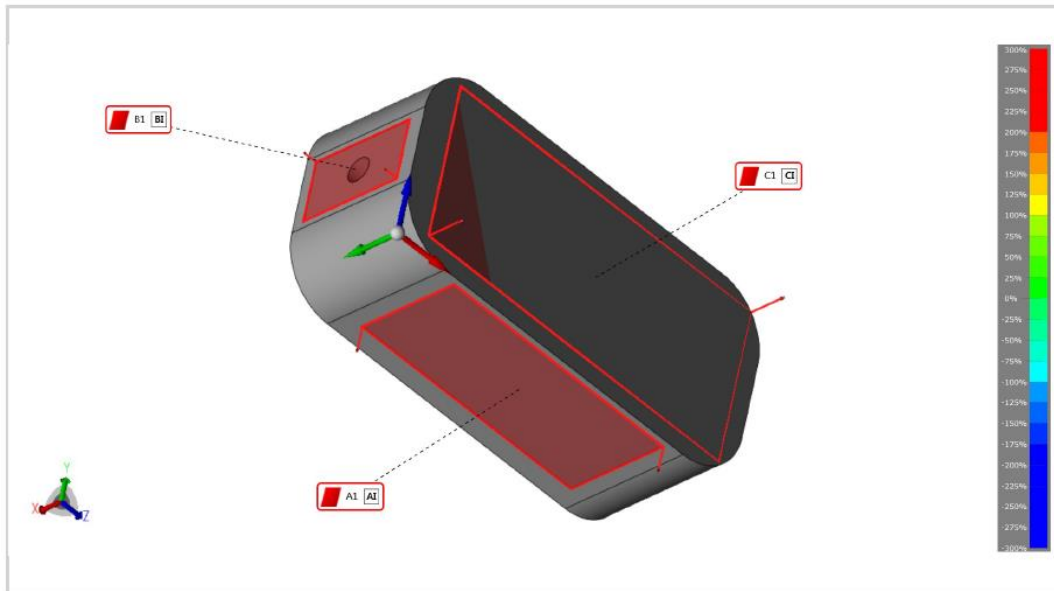
Kaynak işleminden sonra bir adet geleneksel MIG yöntemi için N3 parçası ve bir adet CMT-MIG robotik yöntemi için N2 parçasının ölçümü yapılmıştır. Ölçüm işlemi şekil 5.87’de gösterilmiştir.



Şekil 5.87. Kaynak sonrası CMM ölçüm işleminin yapılışı

Ölçüm işlemlerine ait düzlemsellik, paralellik ve diklik değerleri N1, N2, N3 ve N4 için ayrı ayrı gösterilmiştir.

N2 için kaynak sonrası ölçüm sonuçları



Şekil 5.88. Kaynak sonrası N2 yüzey tanımlaması – 1

A1		Okunan Değerler:15.Referans: A1.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.044mm		0.044mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Paralellik AII		0.204mm		0.204mm	0.000mm	0.000mm	0.204mm
Diklik CII		0.115mm		0.115mm	0.000mm	0.000mm	0.115mm
Diklik BII		0.144mm		0.144mm	0.000mm	0.000mm	0.144mm
Diklik CI		0.112mm		0.112mm	0.000mm	0.000mm	0.112mm
Diklik BII		0.057mm		0.057mm	0.000mm	0.000mm	0.057mm

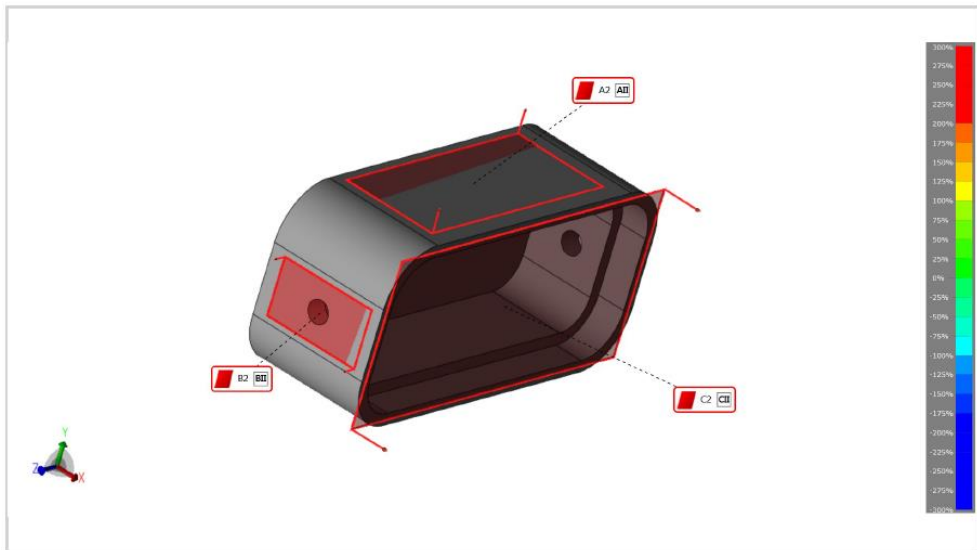
Şekil 5.89. Kaynak sonrası N2-A1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri

B1		Okunan Değerler:12.Referans: B1.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.043mm		0.043mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Paralellik BII		0.408mm		0.408mm	0.000mm	0.000mm	0.408mm
Diklik CI		0.223mm		0.223mm	0.000mm	0.000mm	0.223mm
Diklik CII		0.206mm		0.206mm	0.000mm	0.000mm	0.206mm
Diklik AI		0.065mm		0.065mm	0.000mm	0.000mm	0.065mm
Diklik AII		0.071mm		0.071mm	0.000mm	0.000mm	0.071mm

Şekil 5.90. Kaynak sonrası N2-B1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri

C1		Okunan Değerler:21.Referans: C1.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.157mm		0.157mm	0.000mm	0.050mm	0.107mm
Paralellik CII		0.184mm		0.184mm	0.000mm	0.000mm	0.184mm
Diklik AI		0.245mm		0.245mm	0.000mm	0.000mm	0.245mm
Diklik AII		0.266mm		0.266mm	0.000mm	0.000mm	0.266mm
Diklik BI		0.665mm		0.665mm	0.000mm	0.000mm	0.665mm
Diklik BII		0.581mm		0.581mm	0.000mm	0.000mm	0.581mm

Şekil 5.91. Kaynak sonrası N2-C1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri



Şekil 5.92. Kaynak sonrası N2 yüzey tanımlaması – 2

A2		Okunan Değerler:15.Referans: AII.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.029mm		0.029mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Diklik BI		0.154mm		0.154mm	0.000mm	0.000mm	0.154mm
Diklik BII		0.031mm		0.031mm	0.000mm	0.000mm	0.031mm
Diklik CI		0.115mm		0.115mm	0.000mm	0.000mm	0.115mm
Diklik CII		0.112mm		0.112mm	0.000mm	0.000mm	0.112mm

Şekil 5.93. Kaynak sonrası N2-A2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri

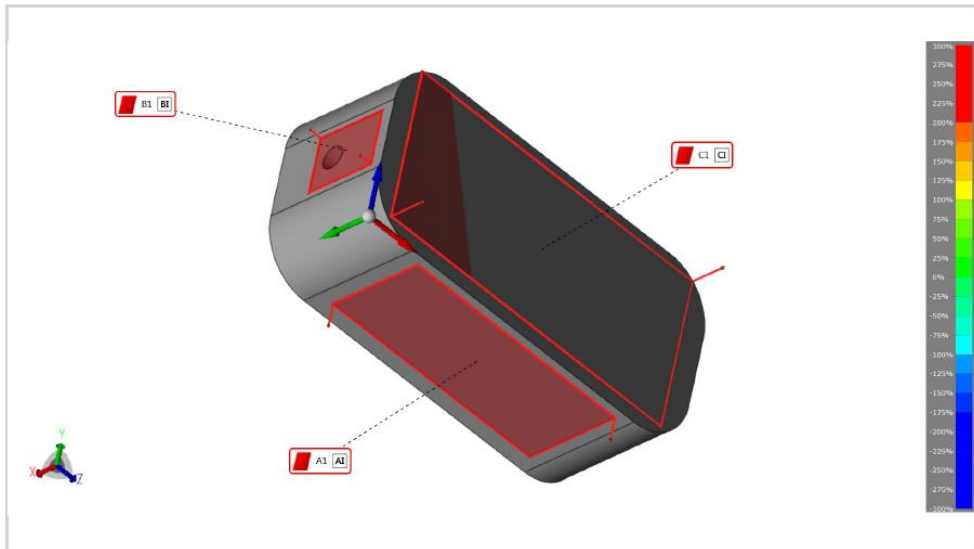
B2		Okunan Değerler:12.Referans: BII.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.029mm		0.029mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Diklik CI		0.190mm		0.190mm	0.000mm	0.000mm	0.190mm
Diklik CII		0.207mm		0.207mm	0.000mm	0.000mm	0.207mm
Diklik AI		0.027mm		0.027mm	0.000mm	0.000mm	0.027mm
Diklik AII		0.030mm		0.030mm	0.000mm	0.000mm	0.030mm

Şekil 5.94. Kaynak sonrası N2-B2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri







C2		Okunan Değerler:13.Referans: CII.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.172mm		0.172mm	0.000mm	0.050mm	0.122mm
Diklik AI		0.272mm		0.272mm	0.000mm	0.000mm	0.272mm
Diklik AII		0.290mm		0.290mm	0.000mm	0.000mm	0.290mm
Diklik BI		0.735mm		0.735mm	0.000mm	0.000mm	0.735mm
Diklik BII		0.747mm		0.747mm	0.000mm	0.000mm	0.747mm

Şekil 5.95. Kaynak sonrası N2-C2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri







N3 için kaynak sonrası ölçüm sonuçları;









Şekil 5.96. Kaynak sonrası N3 yüzey tanımlaması – 1

A1		Okunan Değerler:15.Referans: A1.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.047mm		0.047mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Paralellik AII		0.133mm		0.133mm	0.000mm	0.000mm	0.133mm
Diklik CII		0.088mm		0.088mm	0.000mm	0.000mm	0.088mm
Diklik BI		0.048mm		0.048mm	0.000mm	0.000mm	0.048mm
Diklik CI		0.072mm		0.072mm	0.000mm	0.000mm	0.072mm
Diklik BII		0.050mm		0.050mm	0.000mm	0.000mm	0.050mm

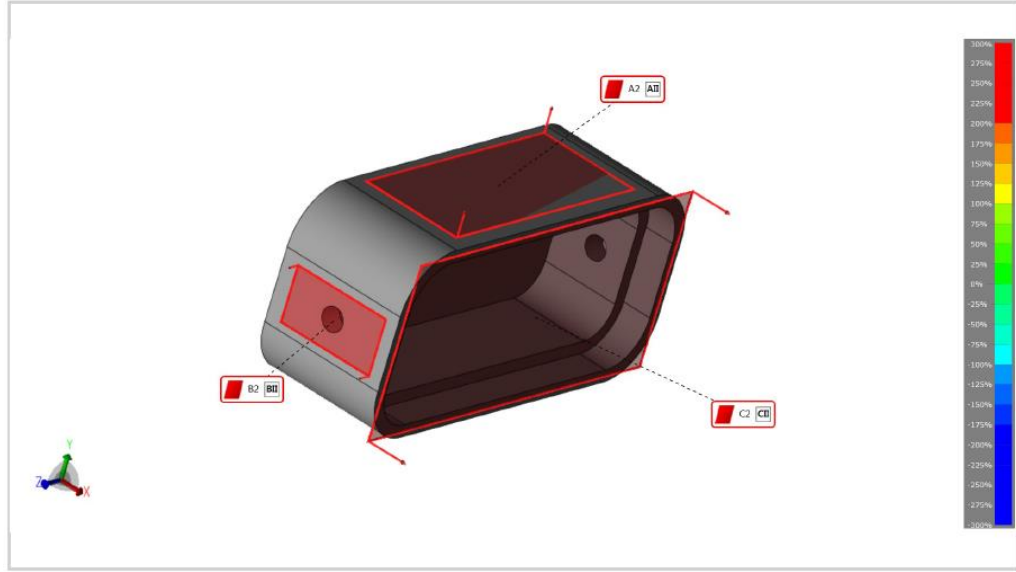
Şekil 5.97. Kaynak sonrası N3-A1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri

B1		Okunan Değerler:9.Referans: B1.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.026mm		0.026mm	0.000mm	0.050mm	0.000mm
Paralellik BII		0.279mm		0.279mm	0.000mm	0.000mm	0.279mm
Diklik CI		0.132mm		0.132mm	0.000mm	0.000mm	0.132mm
Diklik CII		0.117mm		0.117mm	0.000mm	0.000mm	0.117mm
Diklik AI		0.027mm		0.027mm	0.000mm	0.000mm	0.027mm
Diklik AII		0.026mm		0.026mm	0.000mm	0.000mm	0.026mm

Şekil 5.98. Kaynak sonrası N3-B1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri

C1		Okunan Değerler:18.Referans: C1.					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.160mm		0.160mm	0.000mm	0.050mm	0.110mm
Paralellik CII		0.206mm		0.206mm	0.000mm	0.000mm	0.206mm
Diklik AI		0.216mm		0.216mm	0.000mm	0.000mm	0.216mm
Diklik AII		0.227mm		0.227mm	0.000mm	0.000mm	0.227mm
Diklik BI		0.568mm		0.568mm	0.000mm	0.000mm	0.568mm
Diklik BII		0.700mm		0.700mm	0.000mm	0.000mm	0.700mm

Şekil 5.99. Kaynak sonrası N3-C1 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre paralellik ve diklik değerleri



Şekil 5.100. Kaynak sonrası N3 yüzey tanımlaması – 2

A2		<i>Okunan Değerler:15.Referans: All.</i>					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.051mm		0.051mm	0.000mm	0.050mm	0.001mm
Diklik B1		0.051mm		0.051mm	0.000mm	0.000mm	0.051mm
Diklik BII		0.051mm		0.051mm	0.000mm	0.000mm	0.051mm
Diklik C1		0.099mm		0.099mm	0.000mm	0.000mm	0.099mm
Diklik CII		0.081mm		0.081mm	0.000mm	0.000mm	0.081mm

Şekil 5.101. Kaynak sonrası N3-A2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri

B2		<i>Okunan Değerler:12.Referans: BII.</i>					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.060mm		0.060mm	0.000mm	0.050mm	0.010mm
Diklik C1		0.233mm		0.233mm	0.000mm	0.000mm	0.233mm
Diklik CII		0.254mm		0.254mm	0.000mm	0.000mm	0.254mm
Diklik A1		0.061mm		0.061mm	0.000mm	0.000mm	0.061mm
Diklik AII		0.060mm		0.060mm	0.000mm	0.000mm	0.060mm

Şekil 5.102. Kaynak sonrası N3-B2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri

C2		<i>Okunan Değerler:13.Referans: CII.</i>					
		gerçek	nominal	sapma	- tol	+tol	oot
Düzlemsellik		0.173mm		0.173mm	0.000mm	0.050mm	0.123mm
Diklik A1		0.249mm		0.249mm	0.000mm	0.000mm	0.249mm
Diklik AII		0.242mm		0.242mm	0.000mm	0.000mm	0.242mm
Diklik B1		0.562mm		0.562mm	0.000mm	0.000mm	0.562mm
Diklik BII		0.885mm		0.885mm	0.000mm	0.000mm	0.885mm

Şekil 5.103. Kaynak sonrası N3-C2 yüzeyinin düzlemselliği ve diğer yüzeylere göre diklik değerleri

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

6.1. Görsel İnceleme Sonuçları

Deneyleerde kullanılan numuneler, kaliteli kaynak bölgelerinden seçilmesini amaçlayan ve tüm kaynaklı levhalar üzerinde kaynak sonrası gerçekleştirilen görsel incelemelerde ANSI/AWS B1.11-88 (Guide for the Visual Inspection of Welds) ve TS EN 970 esas alınarak bu standartların öngördüğü sınırlarda kabuller yapılmıştır.

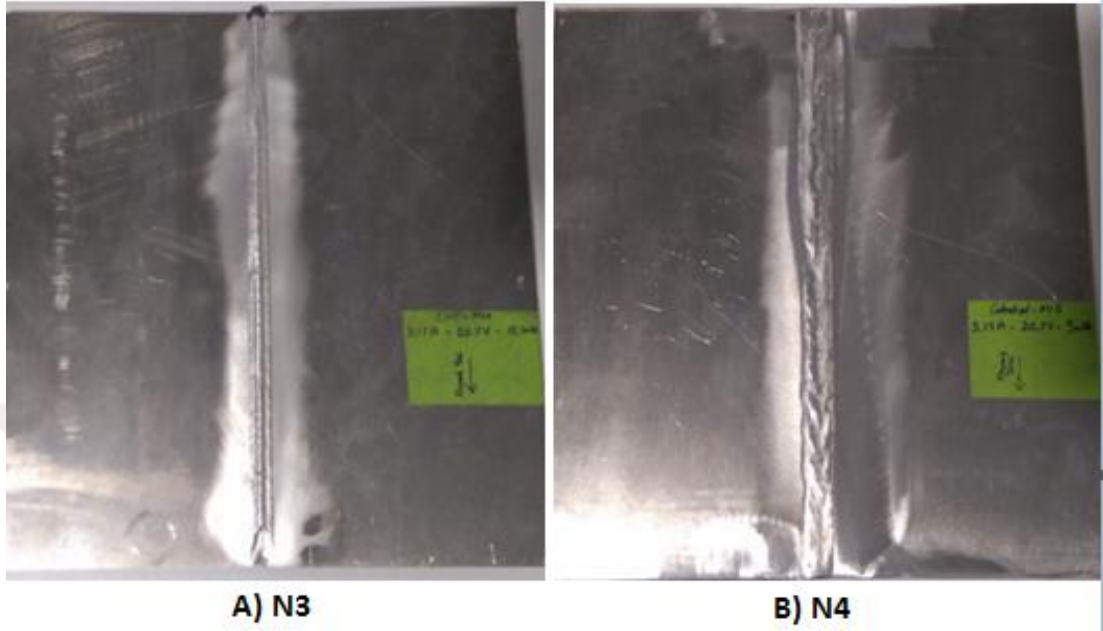
Yapılan kaynaklı bağlantıların hiç birinde yanma oluşu hatasıyla karşılaşılmamıştır. Sıçramalar her iki yöntemde de kabul sınırları içerisinde olduğu tespit edilmiştir ve daha sonra taşlanarak mekanik olarak temizlenmiştir. CMT-MIG yöntemi geleneksel MIG yöntemine kıyasla daha az sıçrantı yaptığı tespit edilmiştir. CMT-MIG yönteminde elde edilen kaynak dikişi haresi geleneksel MIG yöntemine kıyasla daha düzgün, kaliteli ve her noktada aynı görüntüyü sergiledi tespit edilmiştir. N1 ve N2 numunelerine ait kaynak sonrası görselleri şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. N1 ve N2 numuneleri kaynak sonrası görselleri

N3 ve N4 numunelerine ait kaynak görselleri şekil 6.2’de gösterilmiştir. CMT-MIG ile yapılan N3 numunesinde kaynak kep yüksekliği belli olurken N4 numunesinde yüksek akımdan dolayı kaynak kep yüksekliği yaklaşık olarak malzeme kalınlığı ile

eşit seviyede görünmektedir. N3 kaynak dikiş genişliği, N4 kaynak dikiş genişliğinden daha dar olduğu da tespit edilmiştir.



Şekil 6.2. N3 ve N4 numuneleri kaynak sonrası görselleri

6.2. Penetrant Testi Sonuçları

Yapılan penetrant testi TS EN ISO 10042 Class C'ye göre değerlendirildiğinde N1 numunesinde standartlara uymayan bir durum tespit edilmemiştir. N2 numunesi standartlara göre değerlendirildiğinde başlangıç ve bitiş noktalarında uygun olmayan görüntü elde edilmiştir. Aynı şekilde bir köşesinde sıralı gözenek tespit edilmiştir. Tamir işlemi ekstra ısı girdisine sebep olacağından tamir işlemi yapılmadan basınç testi yapılmıştır. Fakat gözenek olan noktalarda bir problemle karşılaşılmamıştır. Diğer testler yapılırken bu bölgeler dikkate alınmamıştır.

6.3. Basınç Testi Sonuçları

N1 ve N2 numunelerine yapılan basınç testi sonucunda her iki numune de 30 Bar basınca dayanmıştır. Bu durumda geleneksel MIG kaynak yönteminin oluşturmuş olduğu mukavemet değerini CMT-MIG kaynak teknolojisi de sağlamaktadır ve

basınç altında çalışacak olan sistemlerin, bu yöntemle kaynaklı birleştirilmesi yapılabilir.

6.4. CMM Ölçüm Sonuçları

N1 ve N2 numunesi için kaynak öncesi ve kaynak sonrası CMM ölçümlerinin karşılaştırılması aşağıda ki yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonrası N1 numunesi N2 numunesine göre daha az deformasyona uğradığı tespit edilmiştir. N3 ve N4 numunelerin deformasyonu değerlendirildiğinde N4 numunesi N3 numunesi göre daha fazla deformasyona uğradığı tespit edilmiştir.

Bu durumda N1 ve N2 numuneleri kutu formunda ve boyutları küçük olduğundan dolayı deformasyondan fazla etkilenmediği tespit edilmiştir. N3 ve N4 numuneleri düz plaka şeklinde olduğundan dolayı malzemenin daha fazla deformasyona uğradığı görülmüştür.

Savunma sanayisinde yapılan gerçek çalışmalarda üretilmesi istenen ürünlerin boyutları büyük olduğundan, geleneksel MIG yöntemiyle kaynaklı birleştirme yapıldığında ürünlerin deformasyona uğradığı fakat CMT-MIG yöntemiyle aynı büyüklükte bulunan parçalar kaynakla birleştirildiğinde deformasyon miktarının çok düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

Tablo 6.1.N1 – A1 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik A2	Diklik B1	Diklik C1	Diklik B2	Diklik C2
Kaynak Öncesi	0,043	0,057	0,045	0,054	0,086	0,051
Kaynak Sonrası	0,044	0,204	0,144	0,112	0,057	0,115
Değişim Miktarı	0,001	0,147	0,099	0,058	0,29	0,64

Tablo 6.2.N2 – A1 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik A2	Diklik B1	Diklik C1	Diklik B2	Diklik C2
Kaynak Öncesi	0,023	0,036	0,056	0,030	0,102	0,022
Kaynak Sonrası	0,047	0,133	0,048	0,072	0,050	0,088
Değişim Miktarı	0,024	0,097	0,008	0,042	0,052	0,066

Tablo 6.3.N1 – B1 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik B2	Diklik C1	Diklik A1	Diklik C2	Diklik A2
Kaynak Öncesi	0,027	0,033	0,034	0,027	0,031	0,027
Kaynak Sonrası	0,043	0,408	0,223	0,065	0,206	0,071
Değişim Miktarı	0,016	0,375	0,189	0,038	0,175	0,044

Tablo 6.4. N2 – B1 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik B2	Diklik A1	Diklik C1	Diklik A2	Diklik C2
Kaynak Öncesi	0,043	0,057	0,041	0,041	0,043	0,040
Kaynak Sonrası	0,026	0,279	0,027	0,132	0,026	0,117
Değişim Miktarı	0,017	0,222	0,014	0,091	0,017	0,077

Tablo 6.5. N1 – C1 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik C2	Diklik A1	Diklik B1	Diklik A2	Diklik B2
Kaynak Öncesi	0,041	0,047	0,053	0,065	0,046	0,051
Kaynak Sonrası	0,157	0,184	0,245	0,665	0,266	0,581
Değişim Miktarı	0,116	0,137	0,192	0,600	0,220	0,530

Tablo 6.6. N2 – C1 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik C2	Diklik A1	Diklik B1	Diklik A2	Diklik B2
Kaynak Öncesi	0,076	0,093	0,082	0,090	0,093	0,076
Kaynak Sonrası	0,160	0,206	0,216	0,568	0,227	0,700
Değişim Miktarı	0,084	0,113	0,134	0,478	0,134	0,624

Tablo 6.7. N1 – A2 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik A1	Diklik B1	Diklik C1	Diklik B2	Diklik C2
Kaynak Öncesi	0,023	0,057	0,032	0,027	0,065	0,030
Kaynak Sonrası	0,029	0,204	0,154	0,115	0,031	0,112
Değişim Miktarı	0,006	0,147	0,122	0,088	0,34	0,082

Tablo 6.8.N2 – A2 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik A1	Diklik B1	Diklik C1	Diklik B2	Diklik C2
Kaynak Öncesi	0,023	0,036	0,060	0,041	0,091	0,026
Kaynak Sonrası	0,051	0,133	0,051	0,099	0,051	0,081
Değişim Miktarı	0,028	0,097	0,009	0,058	0,040	0,055

Tablo 6.9. N1 – B2 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik B1	Diklik A1	Diklik C1	Diklik A2	Diklik C2
Kaynak Öncesi	0,024	0,033	0,034	0,028	0,030	0,025
Kaynak Sonrası	0,029	0,408	0,027	0,190	0,030	0,207
Değişim Miktarı	0,005	0,375	0,007	0,162	0	0,182

Tablo 6.10. N2 – B2 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik B1	Diklik A1	Diklik C1	Diklik A2	Diklik C2
Kaynak Öncesi	0,022	0,057	0,035	0,027	0,032	0,033
Kaynak Sonrası	0,060	0,279	0,061	0,233	0,060	0,254
Değişim Miktarı	0,038	0,222	0,026	0,206	0,028	0,221

Tablo 6.11. N1 – C2 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik C1	Diklik B1	Diklik A1	Diklik B2	Diklik A2
Kaynak Öncesi	0,015	0,047	0,050	0,035	0,023	0,033
Kaynak Sonrası	0,172	0,184	0,735	0,272	0,747	0,290
Değişim Miktarı	0,157	0,137	0,685	0,237	0,724	0,257

Tablo 6.12. N2 – C2 yüzeyinin karşılaştırılması

	Düzlemsellik	Paralellik C1	Diklik B1	Diklik A1	Diklik B2	Diklik A2
Kaynak Öncesi	0,013	0,093	0,028	0,019	0,045	0,022
Kaynak Sonrası	0,173	0,206	0,562	0,249	0,885	0,242
Değişim Miktarı	0,160	0,113	0,534	0,230	0,840	0,220

6.5. Çekme Deneyi Sonuçları

N3 ve N4 numunelerinin akma ve çekme mukavemet değerlerinin, birbirine ve N numunesine yakın olduğu tespit edilmiştir. Ortalama N3 numunesinin akma değeri, ortalama N4 numunesine göre daha yüksek olduğu ve N numunesinin akma değerine daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda ortalama N4 numunesinin çekme değeri, N3 numunesine göre daha yüksek olduğu ve N numunesinin çekme değerine daha yakın olduğu tespit edilmiştir.

6.6. Eğme Deneyi Sonuçları

CMT-MIG ve geleneksel MIG yöntemiyle birleştirilen parçaların kök ve yüz eğme deneyleri sonucunda numunelerde çatlama ve kırılmanın olmadığı gözlenmiştir.

6.7. Vickers Sertlik Sonuçları

Yapılan sertlik testleri sonucunda M1 numunesinde %5, M2 numunesinde %110, M3 numunesinde %4 ve M4 numunesinde %1'lik değişim gözlenmiştir. CMT-MIG alın kaynağındaki sertlik değişimi geleneksel MIG yöntemine kıyasla daha az olduğu gözlenmiştir. Geleneksel MIG köşe kaynağındaki sertlik değişimi, CMT-MIG yöntemine kıyasla daha az olduğu gözlenmiştir. Literatürde ise MIG kaynaklı birleştirmelerin sertlik değişiminin %10 olduğu belirtilmiştir[6]. Bu durumda her iki yöntemle yapılan kaynaklı birleştirmelerin sertlik sonuçlarının uygun olduğu görülmektedir.

6.8. Makro / Mikro Yapı Görüntü Sonuçları

Makroları alınan numunelerin kaynak nüfuziyetlerinin değerlendirilmesi TS EN ISO 10042:2005 standartına göre değerlendirildiğinde, her iki yöntemle yapılan alın ve köşe kaynak numuneleri B kalite sınıfına uygun olduğu görülmektedir. Alın kaynağında M1 ve M2 numuneleri değerlendirildiğinde M2 numunesinin M1 numunesine göre daha fazla kaynak alanına sahip olduğu buda daha fazla ısı girdisinin gerçekleştiğini göstermektedir. Köşe kaynaklarında M3 ve M4 numunelerinin kaynak alanlarının yaklaşık olarak aynı değerde olduğu görülmüştür. Yapılan mikroyapı incelemelerindeki görüntülerin bir birine yakın görüntü verdiği görülmektedir.

BÖLÜM 7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

1. Yapılan testler sonucunda CMT-MIG Robotik kaynak teknolojisi ile geleneksel MIG yönteminin ısı girdisi ve görsel muayene sonuçları hariç diğer parametrelerin yaklaşık olarak aynı olduğu gözlenmiştir.
2. CMT-MIG Robotik kaynağının, geleneksel MIG kaynağı ile aynı değerde basınca dayandığı gözlenmiştir. Özellikle savunma sanayisinde basınç altında kullanılan elektronik sistemlerde, CMT-MIG Robotik kaynağı geleneksel MIG yöntemine göre daha az ısı girdisinden dolayı uygulanabileceği gözlenmiştir.
3. CMT-MIG Robotik yöntemi, uzun metrajlı kaynaklarda veya düz plakalarda geleneksel MIG yöntemine göre daha az ısı girdisi olduğundan dolayı, üretilecek ürünün deformasyon miktarının daha düşük olduğu gözlenmiştir.
4. CMT-MIG Robotik yöntemi, geleneksel MIG yöntemine göre kaynak dikiş formunun daha düzgün, kaynak kalitesinin ve kaynak kesit alanının her noktada aynı olduğu gözlenmiştir.
5. CMT-MIG Robotik sisteminin ilk kurulum maliyeti geleneksel MIG yöntemine göre yüksek olduğu fakat kurulum sonrası; kaynak deformasyonlarının giderilmesi, her noktada kaynak nüfuziyetinin aynı olması, kaynak sonrası tamir işlemleri ve mekanik temizlik gibi unsurları göz önünde bulundurarak maliyet hesabı yapıldığında CMT-MIG Robotik sistemi daha ekonomik olduğu gözlenmiştir.
6. Geleneksel MIG yöntemi ile yapılan kaynak işlemi sonrası sıçrantının CMT-MIG Robotik sistemine göre yaklaşık olarak 10 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir. Geleneksel MIG yöntemi sonucunda oluşan sıçrantılar malzemenin yüzeyine derinlemesine nüfuz ettiği, CMT-MIG Robotik sisteminde ise oluşan sıçrantıların yüzeye yapıştığı ve kolayca koptuğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Gül, Ü., 1200 mm çeliğinin (cmt) kaynak yöntemi birleştirilmesinde mekanik ve metalürjik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, 2017.
- [2] Kaluç E., Metallerin Kaynak Kabiliyeti, Yüksek Lisans Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 1999
- [3] Taban E., Kaluç E., Microstructural and mechanical properties of double-sided MIG, TIG and friction stir welded 5083-H321 aluminium alloy, Kovove Mater., 2005, 44,25-33.
- [4] Aslanlar S., Öz Saraç U., Ferik E., Varol F., Ekici M. MIG-Lehimleme ile Birleştirilmiş Trip 800 Çelik Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, 14th International Materials Symposium (IMSP'2012), s.833-839, 2012, Denizli
- [5] Bruckner J., Cold Metal Transfer Has A Future Joining Steel to Aluminum, Welding Journal, 2005, 84, 38-40.
- [6] Anık S., Dikicioğlu A., Vural M., Koruyucu gaz altında kaynak ve alüminyum MIG kaynağı, Teknisyenler Matbaası, İstanbul, 1994.
- [7] Ünel E., Taban E., Alüminyum – Çelik CMT Kaynaklı Bağlantılarının Özellikleri ve Optimizasyonu, ALUS07 7. Alüminyum Sempozyumu, TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası, İstanbul, 7-8 Ekim 2015.
- [8] Zhang H. T., Feng J.C., He P., Zhang B. B., Chen J. M., Wang L., The arc characteristics and metal transfer behaviour of cold metal transfer and its use in joining aluminium to zinc-coated steel, Materials Science and Engineering A, 2009, 499, 111-113.
- [9] Cao R., Huang Q., Chen H., Wang P., Cold Metal Transfer Spot Plug Welding of AA6061-T6 to Galvanized Steel for Automotive Applications, Journal of Alloys and Compounds, 2014, 585, 622-632.
- [10] <https://www.ssm.gov.tr/WebSite/contentlist.aspx?PageID=48&LangID=1>
Erişim Tarihi: 02.03.2018.

- [11] Rosado T., Almeida P., Pires I., Miranda R., Quintino L., Innovations in Arc Welding, Congresso De Engenharia De Moçambique, Maputo, 2-4 September 2008.
- [12] http://www3.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-6F72238A-DEF5A15E/fronius_usa/22_cmt_the_new_revolution_in_digital_gma_welding_gb.pdf Erişim Tarihi: 18.03.2018.
- [13] http://www3.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-51778B3C-4B522B10/fronius_uk/40_0006_2418_TR_v01_2009_CMT_109526_snapshot.pdf Erişim Tarihi: 18.03.2018.
- [14] Muncut S., Culda L., Sima G., Mortoiu D., The CMT Braze-Welded Diffusion Layer Study on Galvanized Aluminum Sheets, Fascicle of Management and Technological Engineering, 2013, 1, 219-222.
- [15] Yang S., Zhang J., Lian J., Lei Y., Welding of Aluminum Alloy to Zinc Coated Steel by Cold Metal Transfer, Materials and Design, 2013, 49, 602-612.
- [16] Ünel E., Taban E., CMT (Soğuk Metal Transferi) kaynağı; Yöntemin üstünlükleri ve otomotiv sektöründeki yeri. Modern Kaynak Yöntemleri ve Endüstriyel Uygulamaları, İzmit Rotary Kulübü, Kocaeli, 8 Mayıs 2015.
- [17] Taban E., Kaluç E., Weldability of aluminium and aluminium alloys, Metal Dünyası 2005, 143, 143-154.
- [18] Kaluç E., Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt-1 Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri, Makine Mühendisleri Odası, Kocaeli, 2004
- [19] Taban E., Kaluç E., Comparison between microstructural characteristics and joint performance of 5086-H32 aluminium alloy welded by MIG, TIG and friction stir welding processes, Kovove Mater., 2007, 45,241-248.
- [20] Güngör B., Kaluç E., Taban E., Çık A., Mechanical and Microstructural Properties of Robotic Cold Metal Transfer (CMT) Welded 5083-H111 and 6082-T651 Aluminum Alloys, Materials And Design, 2014, 54, 207-211.
- [21] Taban E., 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının TIG, MIG ve sürtünen eleman ile birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2004,

- [22] Ünel E., CMT-MIG Kaynaklı alüminyum ve çelik bağlantılarının özellikleri ve optimizasyonu, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi,
- [23] Teke İ., Yandayan T., Karadayı R. 2013. Koordinat Ölçüm Metrolojisi, Üç Boyutlu Ölçüm Cihazı (CMM) Modernizasyonu, Kalibrasyonu, Verifikasyonu, Dünyada ve Ülkemizdeki Durum. VIII. Ulusal Ölçübilim Kongresi, Gebze-Kocaeli
- [24] TS EN ISO 15614-2 / MART-2007, Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması Kaynak Prosedürü Deneyi Bölüm 2: Alüminyum ve Alaşımlarının Ark Kaynağı
- [25] http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/14_03_00_aca05.pdf Erişim Tarihi:
09.06.2018

ÖZGEÇMİŞ

Uğur ERSOY, 27.04.1989'da İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2008 yılında başladığı Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümü zorunlu İngilizce hazırlık eğitimini, 2009 yılında bitirdi. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümüne başladı ve 2013 yılında bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2013 yılında savunma sanayisi üzerine çalışan özel bir şirkette üretim sorumlusu olarak çalışmaya başladı. 2015 yılında kısa dönem askerlik görevini yaptı. Halen 2013 yılında başladığı şirkette üretim sorumlusu olarak görev yapmaktadır.