



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**DP VE PASLANMAZ ÇELİKLERİN FARKLI AKIM TÜRLERİNDE
NOKTA MİG/MAG KAYNAĞININ MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

MUSTAFA BAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERKAN APAY**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DP VE PASLANMAZ ÇELİKLERİN FARKLI AKIM TÜRLERİNDE
NOKTA MİG/MAG KAYNAĞININ MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Mustafa BAL tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Volkan ONAR

Pamukkale Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 15/06/2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

15 Haziran 2022

Mustafa BAL



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımından dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Özellikle tez çalışmam boyunca ve hayatımın her alanında değerli katkılarını, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen annem Menevőe BAL ile babam Őakir BAL'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2021.06.05.1258 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

15 Haziran 2022

Mustafa BAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	1
2. GELİŞTİRİLMİŞ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER.....	4
2.1. GELİŞTİRİLMİŞ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK ÇEŞİTLERİ.....	6
2.1.1. Çift Fazlı Çelikler.....	6
2.1.2. Çok Fazlı Çelikler.....	8
2.1.3. Ferritik-Beynitik Çelikler.....	9
2.1.4. Martenzitik Çelikler.....	10
2.1.5. TRIP Çelikleri.....	11
2.1.6. Sıcak Şekillendirilmiş Çelikleri.....	12
2.1.7. TWIP Çelikleri.....	13
3. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	14
3.1. PASLANMAZ ÇELİK ÇEŞİTLERİ.....	16
3.1.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	16
3.1.2. Martensitik Paslanmaz Çelikler.....	18
3.1.3. Dupleks Paslanmaz Çelikler.....	19
3.1.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	19
3.1.5. Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler.....	20
4. KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	21
4.1. MIG-MAG KAYNAĞI / GAS METAL ARC WELDING (GMAW).....	21
4.1.1. GMAW Kaynağının Çalışma Prensibi.....	22
4.1.2. GMAW Kaynak Parametreleri.....	22
4.1.2.1. Voltaj.....	22
4.1.2.2. Akım.....	23
4.1.2.3. Elektrot Uzaklığı.....	23
4.1.2.4. Korumucu Gaz.....	23
4.1.2.5. Elektrot Ölçüsü/Çapı.....	23
4.1.2.6. Kaynak Hızı.....	24
4.2. TIG KAYNAĞI.....	24
4.3. ÖZLÜ TELLE ARK KAYNAĞI / FLUX-CORED ARC WELDING (FCAW).....	25
4.4. KORUMALI METAL ARK KAYNAĞI.....	25
4.5. LAZER IŞIN KAYNAĞI.....	26

4.6. ELEKTRON DEMETİ KAYNAĞI	26
4.7. PLAZMA ARK KAYNAĞI	27
4.8. SÜRTÜNME KAYNAĞI	27
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
5.1. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER	29
5.1.1. Ana Parçalar	29
5.1.2. Kaynak Teli ve Koruyucu Gaz.....	30
5.2. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN CİHAZLAR.....	31
5.2.1. Kaynak Makinesi	31
5.2.2. Metalografik Numune Kesme Cihazı.....	31
5.2.3. Bakalitleme Cihazı	32
5.2.4. Zımparalama ve Parlatma Cihazı	33
5.2.5. Elektrolit ile Dağlama Cihazı.....	33
5.2.6. Optik Mikroskop ve SEM Mikroskopu	34
5.2.7. Mikrosertlik Ölçüm Cihazı	35
5.2.8. UTEST Çekme Testi Cihazı	36
5.2.9. XRD Analiz Cihazı.....	37
5.2.10. EBSD Analiz Cihazı	38
5.3. DENEYSEL ÇALIŞMA YÖNTEMİ.....	39
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
6.1. OPTİK MİKROSKOP SONUÇLARI.....	44
6.1.1. Normal Akım	44
6.1.2. Pulse Akım	49
6.1.3. Double Pulse Akım	54
6.2. SEM MİKROSKOBU VE EDS SONUÇLARI	59
6.2.1. Normal Akım	59
6.2.2. Pulse Akım	66
6.2.3. Double Pulse Akım	73
6.3. XRD ANALİZİ SONUÇLARI	78
6.4. EBSD ANALİZİ SONUÇLARI	80
6.5. MİKRO SERTLİK SONUÇLARI.....	82
6.5.1. Normal Akım	82
6.5.2. Pulse Akım	84
6.5.3. Double Pulse Akım	86
6.6. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI	89
6.6.1. Normal Akım	89
6.6.2. Pulse Akım	90
6.6.3. Double Pulse Akım	93
6.6.4. Kopma Yüzeyleri SEM Görüntüleri	96
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	100
8. KAYNAKLAR	102
ÖZGEÇMİŞ	106

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelik Türleri ve Oranları [15].	5
Şekil 2.2. AHSS Çelikleri Uzama-Gerilme Direnci Tablosu [18].	5
Şekil 2.3. Ferrit ve Martensit İçeren Çift Fazlı Çeliğin Mikroyapısı [19].	6
Şekil 2.4. DP Çeliği ile HSLA Çeliğinin Gerilme-Gerinim Kıyaslaması [23].	7
Şekil 4.1. GMAW Kaynağı.	22
Şekil 5.1. DP800 Parçası.	29
Şekil 5.2. Magmaweld IDS 320MM Pulse Kaynak Makinesi.	31
Şekil 5.3. Metkon Metacut 251 Abrasif Metalografik Numune Kesme Cihazı.	32
Şekil 5.4. Metkon Ecopress 50 Bakalitleme Cihazı.	32
Şekil 5.5. Metkon Forcİpol 1V Zımparalama/Parlatma Cihazı.	33
Şekil 5.6. Elektrolit Dağlama Cihazı.	34
Şekil 5.7. Nikon Eclipse MA100 Optik Mikroskop.	34
Şekil 5.8. Quanta FEG 250 SEM Taramalı Elektron Mikroskobu.	35
Şekil 5.9. Metkon Duroline-M Mikrosertlik Test Cihazı.	36
Şekil 5.10. UTEST Çekme Testi Cihazı.	37
Şekil 5.11. Rigaku X-Ray Diffactometre (XRD) Cihazı.	38
Şekil 5.12. EBSD Analiz Cihazı, a) Quanta FEG450 Taramalı Elektron Mikroskobu, b) EBSD Sensörü.	38
Şekil 5.13. Çelik Levhalar.	39
Şekil 5.14. Kaynaklanmış Parçalar.	40
Şekil 5.15. Etanol ve Nitrik Asit.	41
Şekil 5.16. Oksalik Asit.	42
Şekil 5.17. Dağlanmış Parçalar.	42
Şekil 5.18. Çekme Testi Numuneleri.	43
Şekil 6.1. Normal Akım DP800-AISI304 Optik Mikroskop Görüntüsü, a) 10X Büyütme, b) 20X Büyütme.	44
Şekil 6.2. Normal Akım DP800-AISI430 Optik Mikroskop Görüntüsü, a) 10X Büyütme, b) 20X Büyütme.	45
Şekil 6.3. AISI304 Ana Malzeme Görüntüsü, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme.	46
Şekil 6.4. Kaynak Metali Mikroyapı Görüntüsü, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme.	47
Şekil 6.5. Normal Akım DP800 Kaynak Dikişi Mikroyapı Görüntüleri, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c)20X Büyütme, d)50X Büyütme.	48
Şekil 6.6. Normal Akım AISI304/430 Kaynak Dikişi Mikroyapı Görselleri, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c)20X Büyütme, d)50X Büyütme.	49
Şekil 6.7. Pulse Akım DP800-AISI304 Optik Mikroskop Görüntüsü, a) 10X Büyütme, b) 20X Büyütme.	50
Şekil 6.8. Pulse Akım DP800-AISI430 Optik Mikroskop Görüntüsü, a) 10X Büyütme, b) 20X Büyütme.	51
Şekil 6.9. Pulse Akım AISI304/430 Kaynak Dikişi Mikroyapı Görselleri, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c)20X Büyütme, d)50X Büyütme.	52
Şekil 6.10. Pulse Akım DP800 Kaynak Dikişi Mikroyapı Görselleri, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c)20X Büyütme, d)50X Büyütme.	53
Şekil 6.11. Pulse Akım Kaynak Dikişi Mikroyapı Görseli, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme.	54
Şekil 6.12. Double Pulse Akım DP800-AISI430/304 Optik Mikroskop Görüntüsü, a) 10X Büyütme, b) 10X Büyütme, c) 20X Büyütme.	55

Şekil 6.13. Double Pulse Akım AISI304/430 Kaynak Dikişi Mikroyapı GörSELLERİ a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c) 20X Büyütme, d) 50X Büyütme.....	56
Şekil 6.14. Double Pulse Akım DP800 Kaynak Dikişi Mikroyapı GörSELLERİ, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c) 20X Büyütme, d) 50X Büyütme.....	57
Şekil 6.15. Double Pulse Akım Kaynak Dikişi Mikro Yapı GörSELLERİ, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c) 100X Büyütme.....	58
Şekil 6.16. Double Pulse Akım DP800-AISI430-AISI304 Malzemeleri Mikroyapı GörSELLERİ, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c) 20X Büyütme, d) 50X Büyütme.	59
Şekil 6.17. Normal Akım AISI430-AISI304 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) AISI304 Makro Görüntü, b) "A" noktası SEM Görüntüsü, c) AISI430 Makro Görüntü, d) "B" Noktası SEM Görüntüsü.....	60
Şekil 6.18. AISI304 SEM Görüntüleri, a) AISI304 Metali SEM Görüntüsü, b) AISI304 ITAB Bölgesi SEM Görüntüsü.	61
Şekil 6.19. Normal Akım DP800 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) DP800 Makro Görüntü, b) "A" noktası SEM Görüntüsü, c) DP800 Makro Görüntü, d) "B" Noktası SEM Görüntüsü.	62
Şekil 6.20. Normal Akım DP800, Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) X4000 Büyütme Kaynak Metali SEM Görüntüsü, b) DP800 X10000 Büyütme SEM Görüntüsü, c) X4000 Büyütme Kaynak Metali SEM Görüntüsü, d) X10000 Büyütme Kaynak Metali SEM Görüntüsü.	63
Şekil 6.21. Normal Akım AISI304, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI304 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI304 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli.	64
Şekil 6.22. Normal Akım AISI430, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI430 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI430 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli.	65
Şekil 6.23. Normal Akım EDAX Analizi, a) AISI304 EDAX, b) AISI430 EDAX.....	66
Şekil 6.24. Pulse Akım AISI430-AISI304 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) AISI304 Makro Görüntü, b) "A" noktası SEM Görüntüsü, c) AISI430 Makro Görüntü, d) "B" Noktası SEM Görüntüsü.....	67
Şekil 6.25. Pulse Akım DP800 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) DP800 Makro Görüntü, b) "A" noktası SEM Görüntüsü, c) DP800 Makro Görüntü, d) "B" Noktası SEM Görüntüsü.	68
Şekil 6.26. Pulse Akım DP800, AISI430 ve Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) DP800 X13000 Büyütme SEM Görüntüsü, b) AISI430 SEM Görüntüsü, c) Kaynak Metali SEM Görüntüsü, d) Kaynak Metali SEM Görüntüsü.....	69
Şekil 6.27. Pulse Akım AISI430 ITAB Geçiş SEM Görüntüsü.	70
Şekil 6.28. Pulse Akım AISI304, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI304 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI304 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli.	71
Şekil 6.29. Pulse Akım AISI430, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI430 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI430 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli.	72
Şekil 6.30. Pulse Akım EDAX Analizi, a) AISI304 EDAX, b) AISI430 EDAX.	73
Şekil 6.31. Double Pulse Akım AISI430-AISI304 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) AISI304 Makro Görüntü, b) "A" noktası SEM Görüntüsü, c) AISI430 Makro Görüntü, d) "B" Noktası SEM Görüntüsü.....	74
Şekil 6.32. Double Pulse Akım DP800 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) DP800 Makro Görüntü, b) "A" noktası SEM Görüntüsü, c) DP800 Makro	

Görüntü, d) “B” Noktası SEM Görüntüsü.	75
Şekil 6.33. Double Pulse Akım Kaynak Metali SEM Görüntüleri, a) X800 Büyütme, b) X1200 Büyütme.	76
Şekil 6.34. Double Pulse Akım AISI304, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI304 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI304 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli. ..	77
Şekil 6.35. Double Pulse Akım AISI430, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI430 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI430 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli. ..	78
Şekil 6.36. Double Pulse Akım DP800-AISI304 XRD Analiz Sonucu.	79
Şekil 6.37. Pulse Akım DP800-AISI304 XRD Analiz Sonucu.	79
Şekil 6.38. Pulse Akım DP800-AISI430 XRD Analiz Sonucu.	80
Şekil 6.39. Pulse Akım DP800-AISI304 EBSD Faz Haritası Sonucu.....	81
Şekil 6.40. Pulse Akım DP800-AISI304 Ferrit İçin Ters Kutup Figürleri Haritalaması.	81
Şekil 6.41. Pulse Akım DP800-AISI304 Martensite İçin Ters Kutup Figürleri Haritalaması.	82
Şekil 6.42. Normal Akım AISI304/AISI430-DP800 Mikrosertlik Ölçüm Noktaları.....	83
Şekil 6.43. Pulse Akım AISI304/AISI430-DP800 Mikrosertlik Ölçüm Noktaları.	84
Şekil 6.44. Double Pulse Akım AISI304/AISI430-DP800 Mikrosertlik Ölçüm Noktaları.....	86
Şekil 6.45. Mikrosertlik Sonuçları Grafiği.	88
Şekil 6.46. Normal Akım DP800-AISI304 Gerilme-Gerinim Grafiği.	89
Şekil 6.47. Normal Akım DP800-AISI430 Gerilme-Gerinim Grafiği.	90
Şekil 6.48. Pulse Akım DP800-AISI304 Gerilme-Gerinim Grafiği.	91
Şekil 6.49. Pulse Akım DP800-AISI430 Gerilme-Gerinim Grafiği.	92
Şekil 6.50. Double Pulse Akım DP800-AISI304 Gerilme-Gerinim Grafiği.	93
Şekil 6.51. Double Pulse Akım DP800-AISI430 Gerilme-Gerinim Grafiği.	94
Şekil 6.52. Çekme Dayanımı Sonuçları Grafiği.	95
Şekil 6.53. Kopma Uzaması Sonuçları Grafiği.....	96
Şekil 6.54. Çekme Testi Numunesi Kırık Yüzey SEM Görüntüsü, a) Pulse 430 Kırılma Yüzeyi, b) 1 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü, c) 2 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü.	97
Şekil 6.55. Çekme Testi Numunesi Kırık Yüzey SEM Görüntüsü, a) Pulse 430 Kırılma Yüzeyi, b) 1 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü, c) 2 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü.	98
Şekil 6.56. Çekme Testi Numunesi Kaynak Kırık Yüzey SEM Görüntüsü, a) Pulse 430 Kırılma Yüzeyi, b) 1 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü, c) 2 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü.	99

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. DP Çeliğinin Kimyasal Bileşenleri [20].	6
Çizelge 2.2. DP1000 Çeliğinin Mekanik Özellikleri [20].	6
Çizelge 2.3. DP Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [23].	8
Çizelge 2.4. CP800 Çeliğinin Kimyasal Bileşenleri [25].	9
Çizelge 2.5. CP800 Çeliğinin Mekanik Özellikleri [26].	9
Çizelge 2.6. CP Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [24].	9
Çizelge 2.7. GA 590 FB Çeliğinin Kimyasal Bileşeni [28].	10
Çizelge 2.8. GA 590 FB Çeliğinin Mekanik Özellikleri [28].	10
Çizelge 2.9. FB Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [29].	10
Çizelge 2.10. MS1500 Çeliğinin Kimyasal Bileşeni [31].	11
Çizelge 2.11. MS1500 Çeliğinin Mekanik Özellikleri [31].	11
Çizelge 2.12. MS Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [30].	11
Çizelge 2.13. Tipik TRIP Çeliğinin Kimyasal Bileşeni (%) [32].	12
Çizelge 2.14. TRIP 800 Çeliğinin Mekanik Özellikleri [32].	12
Çizelge 2.15. TRIP Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [34].	12
Çizelge 2.16. HF Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [35].	13
Çizelge 2.17. TWIP1000 Çeliğinin Mekanik Özellikleri [32].	13
Çizelge 2.18. TWIP Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [36].	13
Çizelge 3.1. Paslanmaz Çeliklere Eklenen Alaşım Elementleri ve Amaçları [39].	15
Çizelge 3.2. Paslanmaz Çelikler Sınıflarının Metalojik Özellikleri [39].	16
Çizelge 3.3. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşeni (%) [41].	17
Çizelge 3.4. Martensitik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşeni (%) [43].	18
Çizelge 3.5. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşeni (%) [44].	19
Çizelge 3.6. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşeni (%) [45].	20
Çizelge 3.7. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşeni (%) [46].	20
.....	20
Çizelge 4.1. Kaynak Elektrodu Seçimini Etkileyen Faktörler [52].	26
Çizelge 5.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Bileşenleri (%).	30
Çizelge 5.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri.	30
Çizelge 5.3. MI 308LSi Kaynak Teli Kimyasal Bileşimi.	30
Çizelge 5.4. MI 308LSi Teli Kullanılmasında Kaynak Metalinin Tipik Özellikleri.	30
Çizelge 5.5. Koruyucu Gaz Karışım Oranı.	31
Çizelge 5.6. MIG kaynak Yönteminde Kullanılan Parametreler.	40
Çizelge 6.1. Normal Akım AISI304-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.	83
Çizelge 6.2. Normal Akım AISI430-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.	84
Çizelge 6.3. Pulse Akım AISI304-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.	85
Çizelge 6.4. Pulse Akım AISI430-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.	85
Çizelge 6.5. Double Pulse Akım AISI304-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.	87
Çizelge 6.6. Double Pulse Akım AISI430-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.	87
Çizelge 6.7. Normal Akım Yöntemiyle Birleştirilen Malzemler İçin Yapılan Çekme Testi Sonuçları.	90
Çizelge 6.8. Pulse Akım Yöntemiyle Birleştirilen Malzemler İçin Yapılan Çekme Testi Sonuçları.	92
Çizelge 6.9. Double Pulse Akım Yöntemiyle Birleştirilen Malzemler İçin Yapılan Çekme Testi Sonuçları.	94

KISALTMALAR

AHSS	Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler
CMT	Soğuk Metal Transferi
CP	Çok Fazlı
DIY	Kendin Yap
DP	Çift Fazlı
EDAX	Enerji Dağıtıcı X Işını Spektroskopisi
EDS	Enerji Dispersiv Spektrum
FB	Ferritik-Beynetik
FCAW	Özlü Ark Kaynağı
GMAW	Gaz Metal Ark Kaynağı
HF	Sıcak Şekillendirmeli
HSLA	Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşım
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MIG-MAG	Metal İnerj Gaz-Metal Aktif Gaz
MS	Martenzitik
PH	Çökeltme Sertleştirmeli
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopu
SMAW	Korunmalı Metal Ark Kaynağı
TIG	Tungsten Asal Gaz
XRD	X Işını Kristalografisi

SİMGELER

Al	Alüminyum
Ar	Argon
B	Bor
C	Karbon
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
Nb	Niyobyum
Ni	Nikel
P	Fosfor
S	Kükürt
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
V	Vanadyum
W	Tungsten
%	Yüzde

ÖZET

DP VE PASLANMAZ ÇELİKLERİN FARKLI AKIM TÜRLERİNDE NOKTA MİG/MAG KAYNAĞININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Mustafa BAL
Düzce Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY
Haziran 2022, 105 sayfa

DP800 ve AISI304/430 çelikleri başta otomotiv endüstrisi olmak üzere korozyon direnci ve kullanım alanına göre sertlik ağırlık dengesinin uygun olması sebebiyle geniş kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmamızda DP800 malzemesi 30x100mm olarak kesilmiştir. Önceden belirlenmiş ve işaretlenmiş noktaya Ø7'lik delik açılmıştır. Burada yapılan literatür taramaları ve yapılan ön çalışmalar sonucunda delik çapının Ø7 olarak seçilmesine karar verilmiştir. AISI304/430 parçalarında 30x100mm ölçülerinde kesilmiştir ve herhangi bir işlem uygulanmamıştır. DP800 malzemesi ile ASIS 304/430 parçaları DP800 malzemesi üst kısımda olacak şekilde sabitlenerek normal, pulse, double pulse yöntemleri kullanılarak farklı akım ve tel besleme hızlarında MİG yöntemiyle kaynaklama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda numuneler kaynak dikişlerinden kesilmişlerdir. Kesme işleminden sonra bakalitleme ve mikroyapı inceleme için hazır hale getirilmiştir. Mikroyapı inceleme için hazır hale getirilen numuneler mikroyapı görüntüleme, SEM görüntüleme, XRD analizi, EBSD analizi ve mikro sertlik testi uygulanmıştır. Kalan numuneler üzerinde çekme testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar görseller ve bilimsel veriler kullanılarak tezin içeriğinde açıklanmıştır.

Anahtar sözcükler: AISI304, AISI430, DP800, Plug kaynağı.

ABSTRACT

EFFECT OF POINT MIG/MAG WELDING ON MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES IN DIFFERENT CURRENT TYPES OF DP AND STAINLESS STEELS

Mustafa BAL

Düzce University

Institute of Graduate Studies, Department of Manufacturing Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan APAY

June 2022, 105 pages

DP800 and AISI304/430 sheets of steel have a wide usage area, especially in the automotive industry, due to their corrosion resistance and the appropriate hardness-weight balance according to the usage area. In this study, DP800 material was cut as 30x100mm. A Ø7 hole is drilled at the predetermined and marked point. As a result of the literature reviews and preliminary studies, it was decided to choose the hole diameter as Ø7. It was cut in 30x100mm dimensions in AISI304/430 parts, and no processing was applied. The DP800 material and ASIS 304/430 parts were fixed with the DP800 material on the upper part. The MIG method was welded using normal, pulse, and double pulse methods at different current and wire feeding speeds. As a result of this process, the samples were cut from the Welding seams. After the cutting process, it is ready for bakelite and microstructure examination. Microstructure imaging, SEM imaging, XRD analysis, EBSD analysis, and microhardness test were applied to the samples prepared for microstructure examination. Tensile tests were performed on the remaining samples. The results obtained are explained in the content of the thesis using visuals and scientific data.

Keywords: AISI304, AISI430, DP800, Plug welding.

1. GİRİŞ

DP800 ve AISI304/430 çelikleri başta otomotiv endüstrisi olmak üzere korozyon direnci ve kullanım alanına göre sertlik ağırlık dengesinin uygun olması sebebiyle geniş kullanım alanına sahiptir. Gelişen teknoloji ve endüstri ile çeşitli sanayi alanlarında yeni yöntemlerle birlikte farklı malzemeleri birbirleriyle kombinasyon yaparak yeni denemeler yapılmaktadır. Kaynaklı birleştirme işlemleri ile malzemeler arasında genellikle sökülmeyen bir birleştirme elde etmenin yanında malzemeler arasında korozyon, aşınma dirençleri, malzemelerin çalışma ömürlerini arttırmak mekanik hasara uğramamış malzemelerin tekrardan kullanılabilir hale getirilmesi için de tercih edilir.

Bu çalışmada 1mm kalınlığındaki DP800 çelik levha ile 1mm kalınlığındaki AISI304 ve AISI430 paslanmaz çelik levhaları MIG plug kaynağı ile birleştirilmiştir. Bu kaynaklı birleştirme işleminde farklı parametrelerin mikroyapıya ve mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir.

1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

R. Cao ve çalışma arkadaşları 1mm kalınlığındaki AA6061-T6 malzemesi ile 1mm kalınlığındaki Q235 malzemesini CMT (cold metal transfer) nokta plug kaynağı yöntemiyle alüminyum 4043 tel kullanarak %100 argon koruyucu gazı altında birleştirme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra bu çalışmada kaynak bölgesinin mikro yapısı ve element dağılımını X-Ray spektrumlu elektron mikroskobu ile incelemişlerdir. Tel besleme hızı uygun ayarlanırsa sağlam bir bağlantının elde edildiğini, iş parçalarının arasında sert lehimleme adı verilen brazing ara yüzü oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Kaynak dikişinin sağlamlığının bu ara yüzün gücü ile yüzey alanına bağlı olduğunu belirlemişlerdir [1].

HaiYang Lei ve çalışma arkadaşları 2 adet 1mm kalınlığındaki AA6061-T6 malzemesi ile bu malzemeleri kaynaklamak için ER4043 kaynak teli kullanmışlardır. Bu çalışmalarında 4 farklı kaynak modu ve çeşitli parametreler kullanmışlardır. Kaynaklama işlemi gerçekleştirilen parçaları makro ve mikro metalografik inceleme, mekanik özelliklerini ve mikro sertlik incelemelerini yapmışlardır. Sonuçlarda CMT Ark

modülüyle en az hata ve en güçlü kaynak dikişini elde edildiğini gözlemlemişlerdir [2].

R. Cao, J.H. Chang ve çalışma arkadaşları 3mm kalınlığındaki Mg-AZ31 ile 1mm kalınlığındaki galvanizli çeliği CMT plug kaynağı yöntemiyle farklı tel çeşitleri kullanarak kaynaklama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan tel çeşitlerinin kaynak dikişlerine etkileri mekanik olarak incelenmiştir bunun yanında SEM, EDS ve mikro sertlik analizleri yapmışlardır. Kullanılan bütün kaynak tellerinde parçalar arasında kaliteli birleşme gözlemlemişlerdir. Galvanizli çelik ve Mg AZ31'in CMT plug kaynağı ile birleştirilmesinde Mg AZ61 tel kullanılması tavsiye etmişlerdir [3].

M.R. Islam, M.Ishak ve çalışma arkadaşları araştırmalarında 75x70x2mm ölçülerinde AZ31B ve A7075-T651 malzemelerini kullanarak CMT plug kaynağı yönteminin kullanarak yapılan kaynaklı birleştirmenin mekanik ve metalürjik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Kaynak işleminde 98 % Ar+ 2 % O₂ gaz karışımını ve kaynak işlemi sırasında farklı parametreler kullanmışlardır. CMT plug kaynağı yönteminin magnezyum ve alüminyum alaşımlarının farklı kaynağı için daha iyi mekanik özelliklere izin verebileceği sonucuna varmışlardır [4].

C. Rajarajan ve çalışma arkadaşları DP800 çeliklerinin nokta direnç kaynağı yöntemiyle kaynaklanmasında elektrot kuvvetinin metalürjik ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında elektrot kuvvetini 3,75-4,75MPa arasında beş seviyede olacak şekilde seçmişlerdir. Elektrot kuvvetinin belirli bir sınıra kadar artmasıyla çekme kesme dayanımının arttığı ve bu sınır aşıldıktan sonra azaldığını tespit etmişlerdir [5].

Yasin ŞEN yüksek lisans çalışmasında 1mm kalınlığındaki DP800 ve DP600 çelikleri ile 1,5mm kalınlığındaki MS1200, MS1400 çeliklerinin CMT kaynak yöntemi kullanılarak kaynatılmasını incelemiştir. Yaptığı çalışmada farklı kaynak telleri ve değişik kaynak parametreleri kullanmıştır. Elde edilen kaynaklı numunelere çekme testi ve mikro sertlik testleri uygulamıştır. Bunların yanında mikroyapı ve SEM görüntülerini almıştır. Parçalarda kopmalar kaynak dikişine yakın olan ITAB (Isı tesiri altındaki bölge) bölgelerinde gerçekleşmiştir. Isı girdisi tane yapısında değişikliklere yol açmıştır ve kaynak hızı arttıkça mukavemette artış gözlemlemiştir [6].

İbrahim ACAR yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında 1mm kalınlığında galvaniz kaplı iki adet DP800 çelik sac levhayı CuA18 ilave tel kullanarak CMT lehimleme yöntemiyle birleştirmiştir. Bu işlemde 5 farklı parametre kullanmıştır. Elde ettikleri iş parçaları

üzerinde mukavemet özellikleri birleşim noktalarının sertlik ölçümlerinin yanında mikro ve makroyapı incelemeleri ve noktasal element analizi yöntemlerini uygulamışlardır [7]. Cem Kadir OVALI yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında lazer kaynak yöntemi kullanarak DP600/DP800/TRIP800 çeliklerinin dissimilar kaynaklı bağlantılarını incelemiştir. Farklı parametreler kullanarak birleştirdiği parçaların kaynak bölgesinin mikroyapılarını ve mikrosertlik değerlerini incelemiştir. Çekme testi uygulanmıştır ve kopma yaşanan yüzeylerin SEM görüntülemesini yapmıştır. Yaptığı çalışmada en sert noktanın kaynak bölgesi olduğunu gözlemlemiştir [8].

Hamed JAMSHIDI AVAL ve Altino LOUREIRO yaptıkları çalışmada AISI304 ile AA7075 parçasını geleneksel sürtünme karıştırma kaynağı ve ters çift dönüşlü sürtünme karıştırma kaynağı işlemleri kullanılarak sonuçları gözlemlemiştirler. Yaptıkları kaynak işleminde ısı girdisini azaltmak için daha düşük dönüş hızına sahip çift dönüşlü bir alet kullanmışlardır. Yaptıkları kaynakların incelenmesi sonucunda her iki kaynak yönteminin de mükemmel görünümde ve iç yapı kusurlarından arınmış olduğunu gözlemlemiştirler. Elde ettikleri sonuçlarını yaptıkları çalışmada belirtmişlerdir [9].

K.V. Durga Rajesh ve çalışma arkadaşları bu araştırmalarında plazma ark kaynağı yöntemi kullanarak AISI304 ile AISI 316 paslanmaz çeliklerini aynı ve farklı kombinasyonların kaynak bağlantısının mikroyapılarını karakterize etmek için yapmışlardır. Kaynak kombinasyonlarını elektron mikroskopu kullanarak karakterize etmişlerdir. Yapılan kaynak işlemi sonrasında malzemelerin element birleşimini belirlemek için EDAX (enerji dağıtıcı x ışını analizi) yöntemini kullanmışlardır [10].

D. Jeraldnavinsavio ve çalışma arkadaşları AISI316L ile AISI430 malzemelerini ER310/ER2594 kaynak tellerini kullanarak TIG kaynağı yöntemiyle kaynak özelliklerini belirlemişlerdir. Kaynak dikişinin ve ısıdan etkilenen bölgenin (ITAB) mikroyapısal analizini optik mikroskop yardımıyla yapmışlardır. Elde edilen iş parçalarına çekme ve darbe testleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçlarla farklı kaynak tellerinin kaynak dikişine yapısal ve mikroyapısal etkilerini incelemiştirler [11].

Jagesvar Verma ve çalışma arkadaşları UNS s32205 ile AISI 430 paslanmaz çeliklerini Mo bazlı östenitik ve dubleks elektrotlar yardımıyla ark kaynağı yöntemiyle birleştirme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda elde ettikleri verileri çalışmalarında paylaşmışlardır [12].

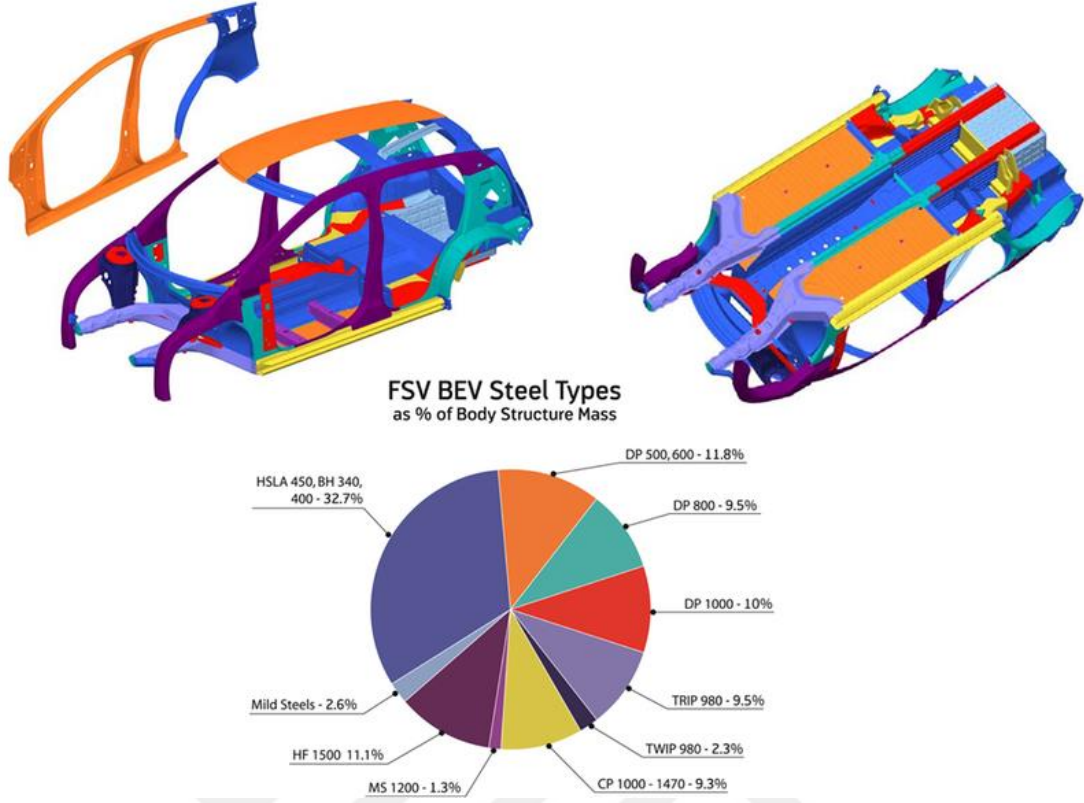
2. GELİŞTİRİLMİŞ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER

Teknolojinin gelişmesi, artan nüfus, fosil yakıtların azalması gibi nedenlerden her geçen gün otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemeler teknolojiye paralel olarak gelişmektedir. Günümüzde otomotiv üreticileri araçların ağırlıklarını azaltarak yakıt tasarrufu ve çevreye salınan karbondioksit ve diğer zararlı gazların miktarlarını minimuma çekmeyi hedeflemektedirler. Ama araçların ağırlıklarının azaltırken aynı zamanda sürüş emniyeti, olası kaza durumlarında minimum hasarı ve maksimum can güvenliğini hedeflemektedirler. Bu yüzden kullanılan sac malzemelerin kalınlıkları gittikçe azalmasına rağmen sürüş güvenliğini sağlayabilmek için mukavemeti ve sertliği yüksek malzemeler tercih edilmektedir. Bu nedenle özellikle son yıllarda Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelik Saclar (Advanced High Strength Steel-AHSS) otomobillerde ve diğer araçlarda giderek daha yoğun oranda tercih edilmeye başlanmıştır [13].

Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler (AHSS), titizlikle seçilmiş kimyasal bileşimlerden oluşan ve hassas bir şekilde kontrol edilen ısıtma-soğutma işlemlerinden kaynaklanan çok fazlı mikro yapılara sahip karmaşık, sofistike malzemelerdir. Bir dizi güç, süneklik, tokluk ve yorulma özellikleri elde etmek için çeşitli güçlendirme yöntemleri kullanılmıştır. Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler şu şekilde sınıflandırılabilirler [14].

- Çift Fazlı Çelikler
- Çok Fazlı/Kompleks Çelikler
- Ferritik-Beynitik Çelikler
- Martensitik Çelikler
- TRIP Çelikleri
- TWIP Çelikleri

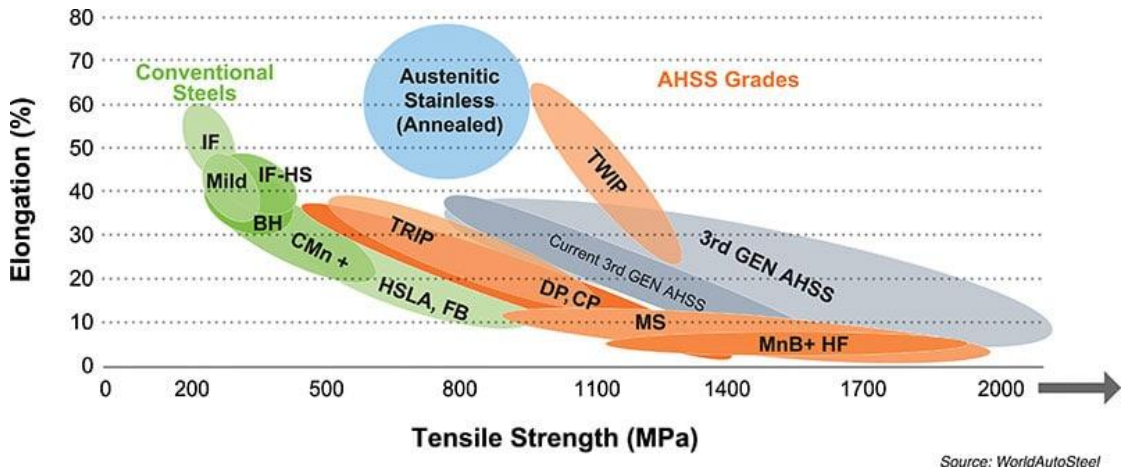
Otomotiv sektörü içerisinde çeşitli ürünler üretmek için kullanılan çelik türleri ve oranları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelik Türleri ve Oranları [15].

Şekil 2.2 bize birinci nesil AHSS'nin çok sınırlı şekillendirme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. İkinci neslin şekillendirilme kapasitesinin birinci nesilden önemli ölçüde daha yüksektir, ancak alaşım elementlerinin yüksek maliyeti nedeniyle çok pahalıdır [16].

Bu nedenle, üçüncü nesil AHSS şu anda geliştirme aşamasındadır. Bu çeliklerin geliştirilmiş mukavemet-süneklik oranlarına sahip olması amaçlanmıştır ve yapısal ağırlık azalmasında %35'in üzerinde bir başarı elde etmesi beklenmektedir [17].

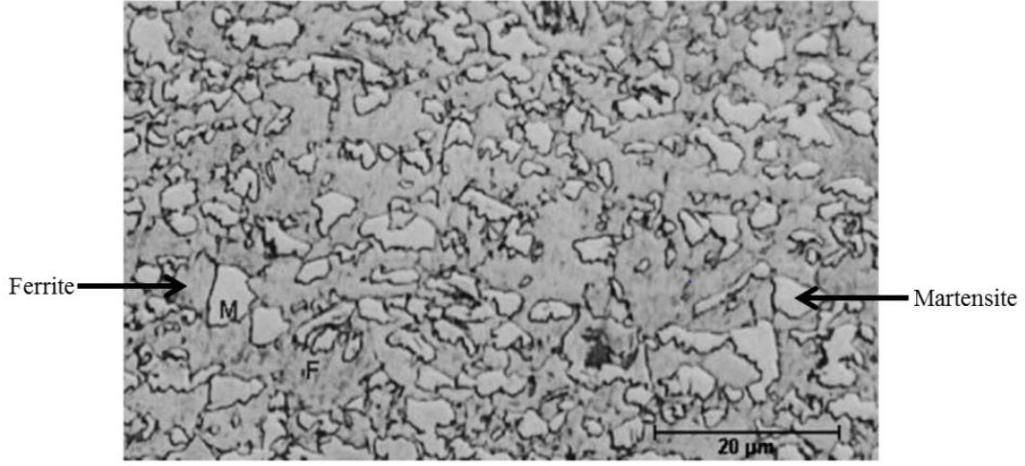


Şekil 2.2. AHSS Çelikleri Uzama-Gerilme Direnci Tablosu [18].

2.1. GELİŞTİRİLMİŞ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK ÇEŞİTLERİ

2.1.1. Çift Fazlı Çelikler

Çift Fazlı (DP) çeliklerin hem mukavemet hem de şekillendirme kolaylığının iyi kombinasyonu, otomotiv endüstrisinde yaygın kullanımlarına yol açmıştır. Çift faz çelik alaşımları, yumuşak bir ferritik matris boyunca dağılmış sert martensitik adalardan oluşan düşük karbonlu çeliklerdir. Şekil 2.3’de çift fazlı çeliğin mikroyapısı görülmektedir [19].



Şekil 2.3. Ferrit ve Martensit İçeren Çift Fazlı Çeliğin Mikroyapısı [19].

Çizelge 2.1’de DP1000 çeliği için kimyasal bileşimi gösterilmektedir. Çizelge 2.2’de DP1000 çeliğinin mekanik özellikleri mevcuttur. Üretim esansında kullanılan malzeme çeşidine ve oranına göre kimyasal bileşenlerinde ve mekanik özelliklerde farklılıklar görülebilmektedir.

Çizelge 2.1. DP Çeliğinin Kimyasal Bileşenleri [20].

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Nb
0,123	0,484	1,44	0,0102	0,0016	0,0122	<0.005	0,0275	0,0433	0,0156

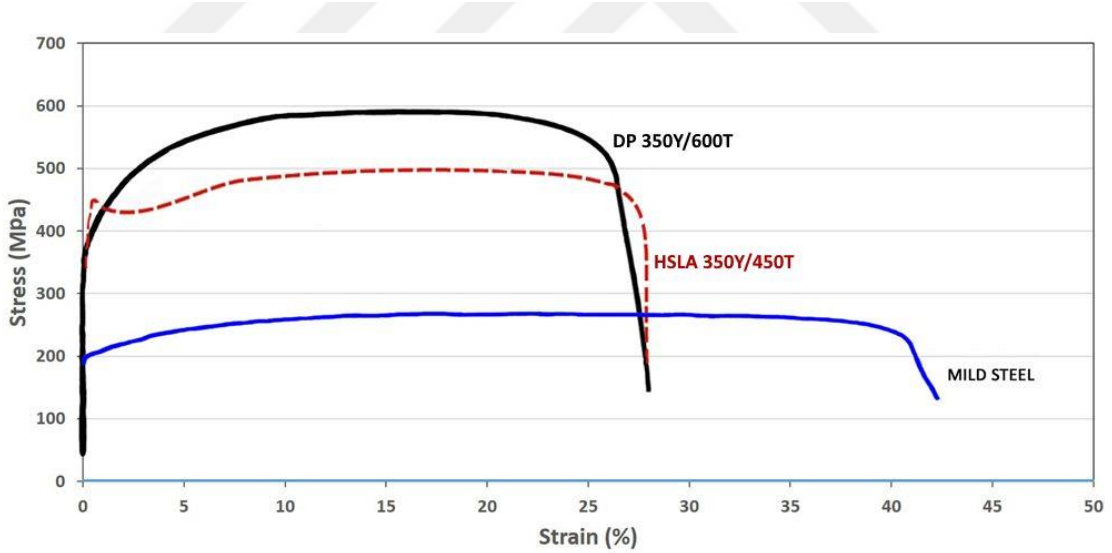
Çizelge 2.2. DP1000 Çeliğinin Mekanik Özellikleri [20].

Gerilme Direnci (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HV0.5)
802	1099	5	325

Bir çift fazlı çelik, düşük karbonlu mikro alaşımlı bir çeliğin içine ısıtılmasıyla oluşturulur. A1 ve A3 sıcaklıkları arasındaki Fe-C(Demir-Karbon) faz diyagramının kritik bölgesi, östenit oluşacak şekilde ısıtılan daha sonra yavaşça söndürme sıcaklığına soğutulur ve sonra östeniti martensite dönüştürmek için hızla soğutulmaktadır. Söndürme üzerine, östenit çoğunlukla martensite dönüştürülür, ancak aynı zamanda soğutma hızı yeterince yüksek değilse kısmen ferrite dönüştürülür [21].

Çift fazlı çeliklerin önemli bir özelliği %0,2 ofset akma dayanımıdır. Martensit içeriği arttıkça artmaktadır, ancak karbon içeriğinden etkilenmez akma dayanımındaki artışın artıktan kaynaklandığını görülmektedir. Çift fazlı çeliklerin bir diğer özelliği de sürekli akma göstermeleridir. Bu, düşük karbonlu çelikler için alışılmadık bir durumdur; çoğu uzatılmış bir akma noktası gösterir ve ardından zorlanma sertleşmesi. Bunun nedeni, çift faz çeliklerinde daha yüksek bir dislokasyon yoğunluğu olmasıdır [22].

Şekil 2.4'de yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliği için mühendislik gerilme-gerinim eğrisini benzer akma dayanımına sahip bir çift faz çelik eğrisiyle karşılaştırmaktadır.



Şekil 2.4. DP Çeliği ile HSLA Çeliğinin Gerilme-Gerinim Kıyaslaması [23].

Çift faz çeliği, benzer bir akma mukavemeti HSLA çeliğine göre daha yüksek ilk iş sertleştirme oranı, daha yüksek nihai gerilme mukavemeti ve daha yüksek gerilme direnci/akma dayanımı oranı sergilemektedir. Çift faz ve AHSS çelikleri ayrıca, geleneksel yüksek mukavemetli çeliklere kıyasla fırında sertleştirilebilme gibi önemli bir avantaja sahiptir. Fırında sertleştirme, ön gerdirmeden sonra (presleme veya diğer imalat işlemleri sırasında oluşan deformasyon nedeniyle iş sertleşmesi) yüksek sıcaklık

yaşlanmasından (fırın boya fırınlarının kütleme sıcaklığı tarafından oluşturulan) kaynaklanan akma dayanımındaki artıştır. Tek tek veya kombinasyon halinde eklenen manganez, krom, molibden, vanadyum ve nikel de malzemenin sertliğinin artmasında yardımcı olmaktadır. Bu eklemeler, yalnızca benzersiz mekanik özellikler üretmek için değil, aynı zamanda genel olarak iyi dirençli kaynak kapasitesini korumak için dikkatlice seçilmelidir. Çift faz çeliklerin mevcut üretim kaliteleri ve örnek otomotiv uygulamaları Çizelge 2.3’de gösterilmektedir [23].

Çizelge 2.3. DP Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [23].

DP 210/440	-
DP 300/500	Çatı-Gövde-Kapı Dış Kısımları, Taban Paneli, Bagaj Parçası
DP 350/600	Zemin Paneli, Dış Kaput, Yan Gövde, Kaporta, Zemin
DP 500/800	Köşe Paneli-Gövde İç Kısımları, Gövde Rayları, Şok Emiciler
DP 600/980	Güvenlik Kafesi Bileşenleri (B Sütunu, Zemin Paneli Tüneli, Motor Beşiği, Ön Alt Şasi Paketi Tepsisi vs.)
DP 700/1000	Tavan Rayları
DP 750/980	
DP 800/1180	Gövde Destek Sütunları
DP 1150/1270	

2.1.2. Çok Fazlı Çelikler

Kompleks faz çelikleri, son derece ince tane boyutu ve küçük miktarlarda martensit, perlit ve ferrit-beynit matrisine gömülü tutulmuş östenit içeren mikro yapıya sahip çeliklerdir. Yüksek tane inceltme, Nb, Ti veya V gibi mikro alaşım elementlerini sayesinde geciktirilmiş yeniden kristalleşmesi veya çökmesi ile aşırı bir tane inceltme sağlanmaktadır. Kompleks faz çeliği hem sıcak haddelenmiş hem de soğuk haddelenmiş olarak üretilebilir ve korozyon koruması için sıcak daldırma işlemiyle galvanizlenebilir. Çok fazlı çelikler (CP) çeliklerinin kimyası ve mikro yapısı, çökme güçlendirme etkisine neden olmak için belirli miktarlarda Nb, Ti ve veya V eklenmesi dışında TRIP çeliklerine benzemektedir [24].

Çizelge 2.4’de CP800 malzemesinin kimyasal özellikleri, Çizelge 2.5’de CP800 malzemesinin mekanik özellikleri gösterilmiştir. Kimyasal ve mekanik özellikleri üretim yöntemi ve kullanılan kimyasal bileşenlere göre farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 2.4. CP800 Çeliğinin Kimyasal Bileşenleri [25].

%C	%Mn	%Cr	%Si	%P	%S	%Al	%Mo	%N	%Nb	%Ti
0,08	1,72	0,34	0,56	0,01	0,003	0,29	0,01	0,002	0,005	0,125

Çizelge 2.5. CP800 Çeliğinin Mekanik Özellikleri [26].

Elastisite Modülü (MPa)	Gerilme Direnci (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
200000	881.47	819,96	18,33

Çok fazlı çeliklerin bir çarpışma sırasında yüksek enerji emme kapasitesi sayesinde, otomobillerde soğuk şekillendirilmiş çarpışma ile ilgili parçaların ağırlıktan tasarruf ettirilmesi için özellikle uygundur. Gövde yapısı, süspansiyon ve şasi bileşenlerinde çeşitli otomotiv uygulamaları vardır. Çizelge 2.6'de çok fazlı çeliklerin otomotiv sektöründe bazı kullanım alanlarına örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.6. CP Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [24].

CP 600/900	Çerçeve Rayları, B Sütunu Takviyeleri, Tünel Takviyesi
CP 680/780	Çerçeve Rayları, Şasi Bileşenleri, Traversler
CP 800/1000	Süspansiyon Parçaları, Çamurluk Kirşleri
CP 1000/1200	Çerçeve Ray Takviyeleri, Marşpiyel Destekleri
CP 1050/1470	Tampon Kirişleri, Yan Eşikler

2.1.3. Ferritik-Beynitik Çelikler

Ferritik-Beynitik çelikleri aynı zamanda Ferritik-Beynitik (FB) çelikleri olarak bilmektedirler. Bu çelikler, otomotiv uygulamaları için geliştirilmiş gelişmiş yüksek mukavemetli çelik türlerinden biridir. Bu çelikler iki faza sahip olduklarından, bu çelikler de bir tür çift fazlı çelik sayılabilmektedir. FB çelikleri çoğunlukla sıcak haddelenmiş olarak üretilmektedir. Yüksek mukavemetli FB çelikleri, otomobillerin ağırlık azaltma gereksinimlerini karşılamak için geliştirilmiştir. FB çeliklerinde tane inceltme için Al (alüminyum), B (bor), Nb (niyobyum) ve Ti (titanyum) gibi malzemeler eklenebilmektedir. Bu öğeler tek tek veya kombinasyon halinde eklenebilir. Nitrojen (N) bağlanması da kullanılmaktadır. FB çelikleri yumuşak ferrit ve sert beynitten oluşmaktadır. Mikro yapıları, tipik çift faz çeliğinden daha incedir [27]. GA590 FB

çeliğinin kimyasal bileşenleri Çizelge 2.7’de, mekanik özellikleri Çizelge 2.8’de gösterilmiştir. Kimyasal ve mekanik özellikleri üretim yöntemi ve kullanılan kimyasal bileşenlere göre farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 2.7. GA 590 FB Çeliğinin Kimyasal Bileşeni [28].

%C	%Si	%Mn	%S	%P	%Fe
0,07	0,14	1,440	0,002	0,013	Kalan

Çizelge 2.8. GA 590 FB Çeliğinin Mekanik Özellikleri [28].

Akma Dayanımı (MPa)	Gerilme Direnci (MPa)	Uzama (%)
583	610	25

FB çelikleri iyi kaynaklanma kabiliyetine sahiptirler. Bu çelikler ayrıca hem iyi çarpışma performansları hem de iyi yorulma özellikleri ile karakterize edilmektedir. Çizelge 2.9’de FB Çelikleri için otomotiv sektöründe bazı kullanım alanlarına örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.9. FB Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [29].

FB 330/450	Jant, Fren Pedalı Kolu, Koltuk Traversi, Süspansiyon Parçaları
FB 450/600	Jant, Tampon Kirişi, Şasi Parçaları, Arka Bükümlü Kiriş

2.1.4. Martenzitik Çelikler

Martenzitik çelikleri (MS) oluşturmak için, sıcak haddeleme veya tavlama sırasında var olan östeniti, boşaltma tablasında veya sürekli tavlama hattının soğutma bölümünde söndürme sırasında neredeyse tamamen martensite dönüştürülür. Martenzitik çelikleri, az miktarda ferrit ve / veya beynit içeren martensitik bir matris ile karakterize edilir. Çok fazlı çelikler grubu içinde, martenzitik çelikleri en yüksek çekme dayanımı seviyesini gösterir. Bu yapı aynı zamanda şekillendirme sonrası ısıl işlemle de geliştirilebilir. Martenzitik çelikleri, 2000 MPa ‘ya kadar nihai gerilme mukavemeti ile en yüksek mukavemetleri sağlar. Martenzitik çelikleri, sünekliği artırmak için genellikle su verme sonrası temperlemeye tabi tutulur ve son derece yüksek mukavemetlerde bile yeterli şekillendirme kabiliyeti sağlayabilir. Martenzitik çeliklerine karbon eklemek sertleştirilme kabiliyetini artırır ve martensiti güçlendirir. Manganez, silikon, krom, molibden, bor, vanadyum ve nikel de sertleşebilirliği artırmak için çeşitli

kombinasyonlarda kullanılır. Martenzitik çelikleri, östenitin çoğunu martensite dönüştürmek için hızlı su verme ile östenit fazından üretilir [30].

MS1500 çeliğinin kimyasal bileşenleri Çizelge 2.10'da ve mekanik özellikleri Çizelge 2.11'de gösterilmektedir. Kimyasal ve mekanik özellikleri üretim yöntemi ve kullanılan kimyasal bileşenlere göre farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 2.10. MS1500 Çeliğinin Kimyasal Bileşeni [31].

%C	%Si	%Mn	%S	%P	%Al	%Nb	%Ti	%Cr	Martensit	Ferrit
0,19	0,36	1,51	0,01	0,01	0,04	0,02	0,03	0,02	%92	%8

Çizelge 2.11. MS1500 Çeliğinin Mekanik Özellikleri [31].

Akma Dayanımı (MPa)	Gerilme Direnci (MPa)	Uzama (%)
1326	1512	2.4

Martenzitik çeliklerine karbon eklemek sertleşebilirliği artırır ve martenziti güçlendirir. Manganez, silikon, krom, molibden, bor, vanadyum ve nikel de sertleşebilirliği artırmak için çeşitli kombinasyonlarda kullanılmaktadır. Çizelge 2.12'de MS çelikleri için otomotiv sektöründe bazı kullanım alanlarına örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.12. MS Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [30].

MS 950/1200	Çapraz Elemanlar, Yan Kirişler, Tampon Kirişleri, Tampon Takviyeleri
MS1150/1400	Yan Alt Paneller, Tampon Takviye Parçaları, Kirişler
MS1250/1500	Yan Giriş Kirişleri, Tampon Kirişleri, Tampon Takviyeleri

2.1.5. TRIP Çelikleri

TRIP çelikleri, çift fazlı çeliklere benzer şekilde üretilmektedir. Her ikisi de sürekli tavlama hatları gerektirir. TRIP çeliklerinin biraz daha yavaş bir soğutma hızı ve bir izotermal olarak gerektirdiği kritik sıcaklığın altındaki bir sıcaklıkta tutulmalıdır. TRIP çeliklerinin mikro yapısı, birincil bir ferrit matrisine gömülü olarak tutulan östenitten oluşmaktadır. Tutulan östenitin hacimce en az yüzde beşine ek olarak, martensit ve beynit gibi sert fazlar çeşitli miktarlarda mevcuttur. TRIP çeliklerinin daha yüksek silikon ve karbon içeriği, nihai mikroyapıda tutulan östenitin önemli hacim fraksiyonlarına (bölüm, kısım, parça) da neden olur [32].

TRIP çelikleri, karmaşık AHSS parçalarının üretimi için mükemmel şekillendirme sağlamak veya çarpışma deformasyonu sırasında mükemmel çarpışma enerji emilimi için yüksek iş sertleşmesi sergilemek üzere tasarlanabilir/uyarlanabilirlerdir [33]. Tipik TRIP çeliğinin kimyasal bileşenleri Çizelge 2.13’de gösterilmiştir. TRIP800 çeliği için mekanik özellikler Çizelge 2.14’de görülmektedir. Kimyasal ve mekanik özellikleri üretim yöntemi ve kullanılan kimyasal bileşenlere göre farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 2.13. Tipik TRIP Çeliğinin Kimyasal Bileşeni (%) [32].

C	Si	Mn	Ni	P	Al	N	Ti	Cr
0,18	0,05	1,5	0,002	0,01	2	0,003	0,003	0,02

Çizelge 2.14. TRIP 800 Çeliğinin Mekanik Özellikleri [32].

Akma Dayanımı (MPa)	Gerilme Direnci (MPa)	Uzama (%)
831	503	27.6

Çizelge 2.15’de TRIP Çelikleri için otomotiv sektöründe bazı kullanım alanlarına örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.15. TRIP Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [34].

TRIP 350/600	Çerçeve Rayları, Ray Takviyeleri
TRIP 400/700	Yan Raylar, Çarpışma Kutuları
TRIP 450/800	Gösterge Panelleri, Tavan Rayları
TRIP 600/980	Tavan Rayı, Motor Kızağı, Ön ve Arka Raylar, Koltuk Çerçevesi
TRIP 750/980	-

2.1.6. Sıcak Şekillendirilmiş Çelikleri

Prete sertleştirme uygulamalarının uygulanması ve sertleştirilebilir çeliklerin kullanılması, karmaşık şekillere sahip ve geri esneme sorunları olmayan optimize edilmiş parça geometrileri için umut verici alternatiflerdir. Bor bazlı sıcak şekillendirme çelikleri (%0,001 ile %0,005 arasında bor), gövde yapısı için 1990'lardan beri kullanılmaktadır. İstenilen mekanik özelliklerin elde edilmesini sağlamak için biçimlendirme işlemi (östenitleştirme) sırasında tipik minimum 850 ° C sıcaklık ısıtılmalı ve ardından saniyede 50 ° C daha yüksek bir soğutma hızı ile soğutulmalıdır. Şu anda doğrudan sıcak şekillendirme ve dolaylı sıcak şekillendirme olmak üzere iki tür presle sertleştirme/sıcak

şekillendirme uygulaması mevcuttur. Sıcak şekillendirilmiş (HF) çeliğin son mikro yapısı martensite benzer. Soğutma sonrası gerilme-uzama eğrileri martenzitik çeliklerine benzemektedir [35]. Çizelge 2.16’da HF çeliklerinin için otomotiv sektöründe bazı kullanım alanlarına örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.16. HF Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [35].

HF 340/480	Demiryolu Rayları
HF 1050/1500	A Sütunu, B Sütunu, Çapraz Kiriş
HF 1200/1900	Zirai Teçhizatlar, Otomotiv Parçaları

2.1.7. TWIP Çelikleri

TWIP çelikleri, birinci nesil çift faz çeliklerinden sonra geliştirildiklerinden AHSS çeliklerinin ikinci nesli olarak kabul edilmektedir. Bu çelikler çok yüksek gerilme mukavemetleri ve olandan çok daha yüksek olağanüstü süneklik kombinasyonu sağlamak için tasarlanmıştır. İlk nesil AHSS çeliklerini karakterize eden ferrit bazlı yapının aksine ikinci nesil çelikler (TWIP vb.) yüz merkezli bir östeniti oda sıcaklığında stabilize etmek için çok yüksek seviyelerde manganez kullanılarak elde edilen kübik östenit yapıya sahip çeliklerdir [32]. Çizelge 2.17’de TWIP1000 çeliğinin mekanik özellikleri görülmektedir. Çizelge 2.18’de TWIP çeliklerinin otomotiv sektöründe bazı uygulama alanları gösterilmiştir. Kimyasal ve mekanik özellikleri üretim yöntemi ve kullanılan kimyasal bileşenlere göre farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 2.17. TWIP1000 Çeliğinin Mekanik Özellikleri [32].

Akma Dayanımı (MPa)	Gerilme Direnci (MPa)	Uzama (%)
464	1009	>50

Çizelge 2.18. TWIP Çeliklerinin Otomotiv Sektöründe Uygulama Alanları [36].

TWIP 500/900	A Sütunu, Tekerlek Yuvası, Ön Yan Destek Elemanları
TWIP 500/980	Tekerlek, Alt Kontrol Kolu, Ön ve Arka Tampon Kirişleri, B Sütunu, Tekerlek Jantı
TWIP 600/900	Zemin Traversi, Tekerlek Yuvası
TWIP 750/1000	Kapı Darbe Kirişi
TWIP 950/1200	Kapı Darbe Kirişi

3. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelik, modern metalürjinin dikkate değer bir başarısıdır 19.yüzyılda kromun bir element olarak tanımlanması başladığında keşfedilmiştir ve paslanmaz kelimesinin sadece yüz yıl sonra akademik ve endüstriyel dünyanın bir parçası oldu. Paslanmaz çelik, nikel, molibden ve manganez gibi başka alaşım elementlerine de sahip olabilen minimum ağırlıkça % 10,5 krom içeren demir bazlı bir alaşımdır. Alaşım ne kadar çok krom içerirse, korozyon direnci o kadar iyi olur. Bununla birlikte, demirin tutabileceği krom miktarının bir üst sınırı vardır. Bu nedenle, belirli ortamlara korozyon direnci geliştirmek için ek alaşım elementleri gereklidir [37]–[39].

Krom %10,5'i aştığında, korozyon bariyeri aktif bir filmde pasif bir filme dönüşür. Aktif film, baz metal tüketilene kadar aşındırıcı solüsyonda zamanla büyümeye devam ederken, pasif film oluşacak ve büyümeyi durduracaktır. Krom ayrıca paslanmaz çelik için en önemli elementtir ama klorür iyonu paslanmaz çeliklerin başlıca düşmanıdır. Klorür iyonu pasif tabakada krom ile birleşir daha sonra çözünerek krom klorür oluşturmaktadır. Krom çözüldükçe, demir yüzeyde oksijene maruz kalır ve ortamla reaksiyona girerek pas oluşmasına yol açmaktadır. Alaşımlama işlemiyle molibden gibi elementlerin eklenmesiyle bu reaksiyonu en aza indirilmektedir [39].

Özel durumlar için paslanmaz çelik malzemenin içeriğine Çizelge 3.1'de gösterilen diğer alaşım elementleri eklenebilir. Bu alaşım elementlerinin amaçları şunlardır: yüksek sıcaklıkta oksidasyon direnci, sülfürik asit direnci, daha fazla süneklik, yüksek sıcaklık sürtünme direnci, aşınma direnci veya yüksek mukavemet. Tüm bu elementlerden sadece krom, paslanmaz çeliğin paslanmaz olması için gerekmektedir [39].

Çizelge 3.1. Paslanmaz Çeliklere Eklenen Alaşım Elementleri ve Amaçları [39].

Krom	Oksidasyon Direnci
Nikel	Östenit Oluşturucu- Mineral Asitlere Karşı Direnci Arttırır
Molibden	Klorürlere Karşı Direnci Arttırır
Bakır	Sülfürik Asit Çökeltme Sertleştiricisine Karşı Direnç Sağlar
Manganez	Östenit Oluşturucu- Kükürt ile Birleşir, Azot Çözünürlüğü Arttırır
Sülfür	Östenit Oluşturucu- Klorürlere Karşı Direnci Arttırır. Belirli Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklanma Kabiliyetini ve Belirli Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilme Kabiliyetini Arttırır
Titanyum	Krom Karbür Oluşumunu Önlemek İçin Karbürleri Stabilize Eder
Niyobyum	Karbür Stabilizatör- Çökeltme Sertleştirici
Alüminyum	Deoxidizer (Oksijen İçeriğinin Giderilmesi)- Çökeltme Sertleştirici
Karbon	Karbür Oluşturucu ve Güçlendirici

Beş paslanmaz çelik sınıfı vardır bunlar:

- Ferritik Paslanmaz Çelikler
- Martensitik Paslanmaz Çelikler
- Dupleks Paslanmaz Çelikler
- Östenitik Paslanmaz Çelikler
- Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler

Bu paslanmaz çelik sınıflarının özellikleri farklıdır, ancak aynı sınıf içinde esasen özellikleri aynıdır. Her bir paslanmaz çelik sınıfının metalürjik özelliklerini Çizelge 3.2’de listelenmektedir.

Çizelge 3.2.Paslanmaz Çelikler Sınıflarının Metalojik Özellikleri [39].

Östenitik	<ul style="list-style-type: none"> • Manyetik Değildir • Isıl İşleme Sertleştirilemez • Kaynaklanması Çok Kolay
Ferritik	<ul style="list-style-type: none"> • Manyetiktir • Isıl İşleme Sertleştirilemez • Kristalografik Formu- Gövde Merkezli Kübiktir • Düşük Karbonlu Sınıflar Kolay Kaynaklanabilir
Dubleks	<ul style="list-style-type: none"> • Manyetiktir • Isıl İşleme Sertleştirilemez • İçeriğinde Östenit ve Ferrit Bulunur • Kaynaklanması Kolaydır
Martensitik	<ul style="list-style-type: none"> • Manyetiktir • Yüksek Sertlik Seviyelerinde Isıl İşlem Görebilir • Kristalografik Formu- Bozuk Tetragonal • Kaynaklanması Zordur
Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler	<ul style="list-style-type: none"> • Manyetiktir • Yüksek Mukavemet Seviyelerine Kadar Isıl İşlem Görebilir • Kristalografik Formu- Mikro Çökeltilemlerle Martensitik • Kaynaklanabilir

3.1. PASLANMAZ ÇELİK ÇEŞİTLERİ

3.1.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, esas alaşım elementi olarak Krom (ağırlıkça % 11-19) içerir, bu alaşım elementinin yanında çok az veya hiç Nikel alaşımı da bulunabilir. Kullanılan hammaddelere bağlı maliyetin istikrarlı ve düşük olması sağlanmaktadır. Mikroyapıları ferritiktir ve bu nedenle bu tip paslanmaz çelikler manyetiklik özelliği sergilemektedir. Ferrit stabilizatörleri olarak, Nb ve/veya Ti alaşım elementleri eklenebilir. Aynı zamanda bu alaşım elementleri martensit oluşumunu önlemek için de kullanılabilir [37], [38].

Ferritik paslanmaz çelikler diğer paslanmaz çelik formlarından iki kritik açıdan farklılık gösterir: moleküler tanecik yapısı ve kimyasal bileşimi. Ferritik paslanmaz çelik, aslında %10,5 ile %30 arasında değişen krom içeriğine ve %0,20'den daha az karbon içeriğine sahip, düz krom, sertleştirilemeyen paslanmaz alaşımlar sınıfı olarak tanımlanmaktadır. Ferritik paslanmaz çelikler ısı ile sertleştirilemez ve yalnızca soğuk haddeleme yöntemi kullanılarak çok az sertleştirilebilir. Ferritik paslanmaz çelikler, tipik olarak diğer paslanmaz çelik formlarından daha yüksek miktarlarda krom içermeleri bakımından benzersizdir. Bununla birlikte, tüm ferritik paslanmaz çelik türleri yüksek miktarda krom içermez; bazı durumlarda östenitik eşdeğerlerinden daha az oranda krom miktarına sahiptirler [40].

Tavlanmış paslanmaz çelikler, tavlanmış düşük karbonlu çeliklere göre çok daha sağlamdır ve korozyon direnci martensitik paslanmaz çeliklere göre çok daha yüksektir. Çizelge 3.3'de bazı ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşeni (%) [41] .

Çelik Türü	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
405	0,08	1	1	11,5–14,5	-	0,04	0,03
430	0,12	1	1	10,5–11,75	-	0,04	0,03
434	0,12	1	1	16	-	0,04	0,03
444	0,12	1	1	17,5–19,5	-	0,04	0,03
446	0,12	1	1	23-27	-	0,04	0,03

Ferritik paslanmaz çelikler ayrıca beş farklı gruba ayrılabilir. Bu gruplar, içerdikleri farklı metallerin kesin miktarları ve özel performans özellikleri açısından farklılık gösterir [40]. Bunlar;

- 1.Gruptaki ferritik çelikler, en ucuz paslanmaz çelik türleri arasındadır. Son derece düşük krom seviyelerine sahiptirler, bu da zamanla bir lokalize yüzey pas tabakası toplama eğiliminde oldukları anlamına gelir.
- 2.Gruptaki ferritik çelikleri en yaygın kullanılan türdür. Daha yüksek krom seviyeleri nedeniyle, bu çelikler daha fazla korozyon direncine sahiptir. Grup2 ferritik çelikler genellikle bina özellikleri ve iç mekân gereçlerinde kullanılır.
- 3.Gruptaki ferritik çelikler, şekillendirme ve kaynaklama kolaylıkları ile

tanınırlar, yani geniş bir uygulama yelpazesi için uygundur.

- 4.Gruptaki ferritik paslanmaz çelikler daha yüksek miktarlarda molibden içerir ve bu da korozyon direncini daha da artırır. Bu tip çelik genellikle egzoz sistemleri ve sıcak su tankları gibi yüksek nemli uygulamalar için kullanılır.
- 5.Gruptaki ferritik çelikler, en yüksek krom seviyelerine sahiptir ve içeriğindeki alaşım elementleri sayesinde eşsiz bir korozyon direnci derecesi verir.

3.1.2. Martensitik Paslanmaz Çelikler

Martensitik paslanmaz çelikler esasen krom (ağırlıkça %10,5- 18) ve karbon (ağırlıkça %0,1- 1,2) içeren alaşımlardır ve tipik olarak sertliklerinden dolayı çatal bıçak takımlarında ve bıçak uygulamalarında kullanılmaktadır. Martensitik paslanmaz çelikler özellikle oksitleyici ortamlarda, diğer paslanmaz çelik kalitelerine kıyasla genellikle daha düşük korozyon direnci gösterir. Martensitik paslanmaz çelikler, ferritik paslanmaz çeliklere benzer miktarda Cr içerir, ancak ısıl işlem için gerekli olan yüksek sıcaklıkta östenit stabilitesini sağlamak için, ilave Ni, N veya C gereklidir. Martensitik paslanmaz çelikler manyetikdir ve ısıl işlem görebilmektedir [37], [38].

Martensitik çelik, onu diğer paslanmaz çelik türlerinden ayıran birçok özelliğe (mukavemetinin yanı sıra) sahiptir. Çok çeşitli uygulamaları kapsayan martensitik paslanmaz çelikler, nispeten hafif korozyon oluşturabilecek koşullarla mücadele etmek veya soğuk şekillendirilmiş parçalar için maksimum sertlik ve mukavemet oluşturmak için kullanılır [42].

Çizelge 3.4’de bazı petrol ve gaz üretim borularında kullanılan martensitik paslanmaz çelik türlerinin kimyasal bileşenleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Martensitik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşeni (%) [43].

USN Numarası	C	Fe	Cr	Ni	Mo	Cu	Diğerleri
L80–13Cr	0,15-0,22	Kalan	12-14	Max.0,5	-	-	Mn: 0,25–1
S42400	0,06	Kalan	12-14	3,5-4,5	0,3–0,7	-	Mn: 0,5–1,0
S41426	0,03	Kalan	11,5– 13,5	4,5-6,5	1,5-3	-	Ti: 0,01–0,5/ V: Max0,5
S17400	0,07	Kalan	15,0– 17,5	3-5	-	3-5	Nb:0,15–0,45

3.1.3. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks paslanmaz çelik kaliteleri, tipik olarak ferritik-östenitik olan çok fazlı bir mikroyapıya sahiptir. Ana alaşım elementleri olarak krom (ağırlıkça %20-25) ve nikel (ağırlıkça %1,5-7) içermektedir. Mo ve N gibi diğer ortak alaşım elementleri, mukavemeti, korozyon direncini iyileştirmek için kullanılmaktadırlar [37], [38].

Dupleks paslanmaz çeliklerin daha iyi gerilme korozyon çatlama direnci, daha iyi çukurlaşma direnci elde etmek ve kaynak yapılabirlikleri nispeten kolay. Olumsuz tarafı, benzer seviyelerde krom ve molibden içeren ferritik veya östenitik kalitelere göre çatlak korozyonuna karşı direnci zayıftır. Daha yüksek performanslı yüksek kromlu kalitedeki çeliklere süper dupleks paslanmaz çelik adı verilmektedir. Dupleks ve süper dupleks paslanmaz çelikler, oldukça zorlu koşullarda petrol, gaz, kâğıt ve petrokimya endüstrilerinde ve daha birçok geleneksel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Çizelge 3.5’de bazı dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri gösterilmiştir [44].

Çizelge 3.5. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşeni (%) [44].

EN	C	Cr	Ni	Mo	Diğerleri
1.4362	0,03x	22	4	0,4	0,4 Cu
1.4410	0,03x	24	6	3	-
1.4460	0,05x	25	5	1,5	-
1.4462	0,03x	22	5	3	-
1.4501	0,03x	24	6	3	0,5 W
1.4507	0,03x	24	6	3	1,0 Cu

3.1.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, gelişmiş yüzey kalitesi, şekillendirilme kabiliyeti, artırılmış korozyon ve aşınma direnci için %16-30 krom ve %2-20 nikel içermektedirler. Östenitik paslanmaz çelikler ısı ile sertleştirilemez. Bu çelikler, mükemmel şekillendirilme kabiliyeti ve korozyon direncinden dolayı üretilen en popüler paslanmaz çelik kaliteleridir. Tüm östenitik çelikler tavllanmış durumda manyetik değildir. İçeriğinde kullanılan alaşım elementlerine bağlı olarak, bazı östenitik maddeler soğuk işlendiğinde biraz manyetik hale gelir. Östenitik paslanmaz çelikler, otomotiv trim, tencere, yiyecek ve içecek ekipmanları, işleme ekipmanları ve çeşitli endüstriyel uygulamalar için

kullanılmaktadırlar [45].

Çizelge 3.6’da bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşeni (%) [45].

Çelik Türü	C	N	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Diğerleri
201	0,08	0,07	16,3	4,5	0,2	7,1	0,45	0,001 S/ 0,03 P/ 0,2 Cu
304	0,05	0,05	18,3	8,1	0,3	1,8	0,45	0,001 S/ 0,03 P/ 0,3 Cu
305	0,05	0,02	18,8	12,1	0,2	0,8	0,60	0,001 S/ 0,02 P/ 0,2 Cu
321	0,05	0,01	17,7	9,1	0,03	1,0	0,45	0,001 S/ 0,03 P/ 0,4 Ti
316L	0,02	0,0	16,4	10,5	2,1	1,8	0,5	0,010 S/ 0,03 P/ 0,4 Cu

3.1.5. Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler

Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler oldukça özel bir sınıftır. Çökeltme sertleştirmeli (PH) paslanmaz çelikler, bazıları 850MPa ila 1700MPa arasında gerilme mukavemeti ve 520MPa ila 1500MPa üzerinde akma mukavemeti sağlamak için ısı işlem uygulanabilen korozyona dayanıklı alaşım ailesidir. Yüksek mukavemet, korozyon direnci ve genel olarak düşük ancak kabul edilebilir bir sertlik derecesinin bir kombinasyonunun gerekli olduğu petrol ve gaz, nükleer ve havacılık endüstrilerinde kullanılırlar. Çökeltme sertleşmesi, bakır, molibden, alüminyum ve titanyumun tek başına veya kombinasyon halinde eklenmesiyle elde edilir. Çizelge 3.7’de bazı çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri gösterilmiştir [46].

Çizelge 3.7. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşeni (%) [46].

Çelik Türü	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Ti	Diğerleri
17/4PH	0,05	0,75	16,5	4,25	-	4,25	-	-	Nb 0,3
FV 520	0,05	0,6	14,5	4,75	1,4	1,7	-	-	Nb 0,3
17/7PH	0,06	0,7	17,25	7,25	-	-	1,25	-	-
PH 15/7 Mo	0,06	0,7	15,5	7,25	2,6	-	1,3	-	-
JBK 75	0,01	0,04	14,75	30,5	1,25	-	0,30	2,15	V 0,25 / B 0,0017
17/10P	0,07	0,75	17,2	10,8	-	-	-	-	P 0,28

4. KAYNAK YÖNTEMLERİ

4.1. MIG-MAG KAYNAĞI / GAS METAL ARC WELDING (GMAW)

GMAW, metalleri (iş parçalarını) elektrik arkı sayesinde ısıtarak onları elektrot (tel) gibi bir sarf malzemesi kullanarak bir araya getiren bir işlemdir. GMAW kaynağı bazen alt türleri olan MIG/MAG kaynağı olarak anılır. Öncelikle yüksek akım/yoğunluk için geliştirildi ama kaynak yapılan malzemelerin yelpazeleri genişletildiğinde demir içeren ve içermeyen metaller için, düzgün metal transferi elde etmek için argonun yanına %1-2 oksijen ilavesi yapılması gerekli bulundu. İlerleyen zamanlarda koruyucu gaz olarak %100 karbondioksit veya argon-karbondioksit karışımı kullanarak yumuşak çeliğin kaynak yapılabileceği tespit edildi [47].

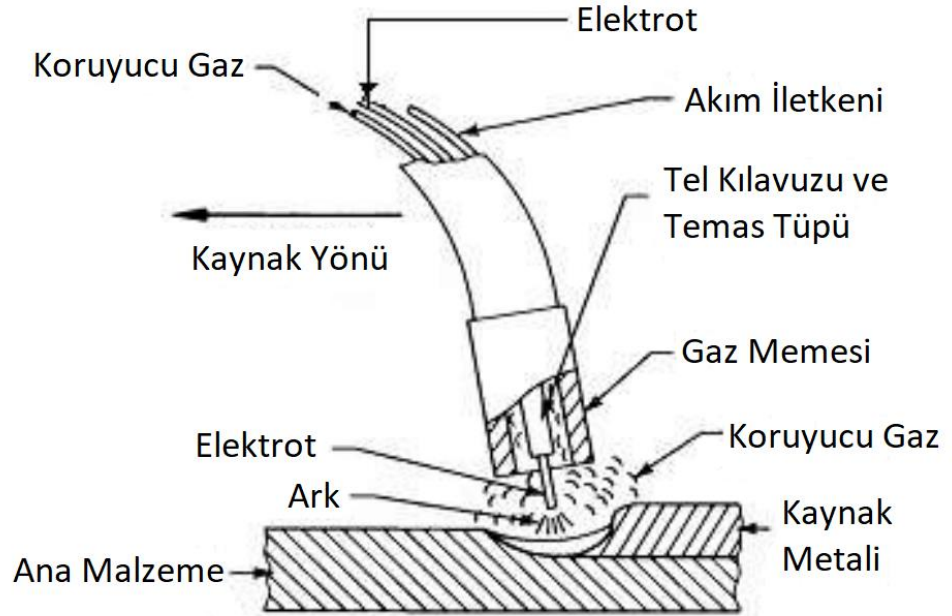
Dolgu metalinin çubuktan beslenmesini içeren hızlı bir işlemdir ve gaz onu dış elemanlardan korumak için etrafından dışarı atılır. Bu, dış mekân kullanımı için harika olmadığı anlamına gelir. Yine de çok yönlü bir işlemdir ve farklı kalınlıklarda birçok farklı metal türünü kaynaklamak için kullanılabilir. Dolgu metali, bir makaradan beslenen bir sarf malzemesidir ve aynı zamanda elektrot görevi görür. Ark, telin ucundan ana metale doğru oluşturulduğunda, tel erir, dolgu metali haline gelir ve kaynağı oluşturur. Tel sürekli olarak çubuktan beslenir ve tercih ettiğiniz hızı aramanıza olanak tanır. Doğru yapıldığında, MIG kaynağı görsel olarak çekici olan pürüzsüz ve sıkı bir kaynak oluşturur [48].

GMAW üç farklı şekilde yapılabilir [47]:

1. Yarı Otomatik Kaynak: Ekipmanlar sadece elektrotun/kaynak telinin besleme hızını ayarlar. Kaynak tabancası el ile tutulur ve kontrol edilir.
2. Makine Kaynağı: Manipülatöre bağlı bir tabanca kullanır (elde taşınan değil). Bir operatörün manipülatörü hareket ettiren kontrolleri sürekli olarak ayarlaması gerekir.
3. Otomatik Kaynak: Kaynak işlemi yapan ekipmanın sürekli olarak ayarlanmasına gerek kalmadan yapılır. Bazı ekipmanlarda otomatik algılama cihazları bulunur ve kaynakta doğru tabanca hizalamasını kontrol eder.

4.1.1. GMAW Kaynağının Çalışma Prensibi

Bu işlem, metalleri eritmek ve birleştirmek için ısı kaynağı olarak bir elektrik arkı kullanır. Ark, plazma olarak bilinen elektriksel olarak iletken iyonize gaz yoluyla iki elektrot arasında oluşan elektriksel boşalımdır. Şekil 4.1’de GMAW kaynağının şekilsel anlatımı ve elemanların isimleri belirtilmiştir [47].



Şekil 4.1. GMAW Kaynağı.

Kaynak tabancası içinden beslenen tel elektrot sayesinde birleştirilecek iş parçaları arasında elektrik arkı oluşturulur. Ark sayesinde oluşan ısı ana metalin ve elektrotun uç kısmını eritir. Bu sayede koruyucu gaz altındaki bölgede dolgu metali oluşmasını sağlar. Kaynak bölgesinin, atmosfer tarafından kirlenmesini engellemek için kaynak tabancası içinden argon-argon, helyum veya argon-helyum karışımı gibi inert veya karbondioksit, argon-karbondioksit gibi aktif karışım gazlar ile koruyucu gaz bölgesi oluşturulur. Bu sayede kaynak dikişinin daha temiz ve sağlam olması sağlanır [47].

4.1.2. GMAW Kaynak Parametreleri

4.1.2.1. Voltaj

Standart bir GMAW kaynak makinesinde, genellikle birbirlerinin yerine voltaj ve ark uzunluğu kullanılmaktadır ancak temelde farklıdırlar. Belirli bir kaynak işleminde voltaj ve ark uzunluğu doğru orantılı olarak artmaktadır. Bununla birlikte, verilen voltaj

değeri için ark uzunluğu ile koruyucu gaz, akım ve elektrot beslemesi değerlerinde değişiklik göstermektedir. Diğer tüm değişkenlerin sabit kalması durumunda, voltaj ayarının artırılması ark uzunluğunun artmasına sebep olacaktır [49].

4.1.2.2. Akım

GMAW kaynağı sırasında akım kabaca tel besleme hızıyla orantılıdır. Lorentz kuvvetlerinin (arkadaki sıvı akışının itici gücü) büyüklüğü akım yoğunluğu için ana girdilerden biridir ve üzerinde büyük bir etkisi vardır. Elektrot uzantısının dirençli ısınması akım da önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır [49].

4.1.2.3. Elektrot Uzaklığı

Elektrot uzaklığı (genellikle tabanca temas ucu veya tüp) ile elektrotun ucu arasındaki mesafeye verilen isimdir. Bu uzantının miktarındaki bir artış, elektrik direncinde bir artışa neden olur. Bu da elektrotta ek ısı üretir ve bu da daha yüksek elektrot erime oranlarına katkıda bulunur. Optimum elektrot uzatması genellikle kısa devre aktarımı için 6,4 ila 13 mm ve sprej ve küresel aktarımlar için 13 ila 25 mm arasındadır [49], [50].

4.1.2.4. Koruyucu Gaz

Kaynakta kullanılan koruyucu gazın kaynak dikişi üzerinde önemli bir etkisi vardır. GMAW kaynak işleminde kullanılmak üzere çeşitli gazlar mevcuttur. Kullanılan gaz türüne göre inert veya aktif olarak sınıflandırılmaktadırlar. Argon ve Helyum sıvı metal ile reaksiyona girerler, bunlar inert gaz sınıfındadırlar. Karbondioksit, Oksijen, Hidrojen ve Azot, çok atomlu moleküllerdir yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında ayrışarak ark ve metal ile reaksiyona girebilir. Çoğu zaman yapılması planlanan kaynak işlemine uygun bir gaz karışımı kullanılır. Kullanılan gaz elektrotun plazmadan metal yüzeyine akışı üzerinde etkisi olması yanında gaz bileşimi metalin yüzey gerilimini de etkilemektedir [49].

4.1.2.5. Elektrot Ölçüsü/Çapı

Elektrot çapı, GMAW kaynağında önemli bir parametredir çünkü biriktirme oranı ve kaynak akımı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Genellikle elektrotun(telin) çapı iş parçasının kalınlığına göre tercih edilir. Daha büyük elektrotları eritme için daha fazla akım gerektirir ve daha kalın bölümlerde kullanılır. Elektrottan çok fazla akım geçtiğinde "yanma" veya "patlama" olarak bilinen bir durum oluşur ve iş parçasının yüzeyinde erimeye yol açar. Bu sorunun çözümü kaynak akımını azaltmak veya daha küçük çaplı

bir elektrot kullanmaktır. Çünkü kaynak akımı ve elektrot çapı birbirleriyle orantılı kaynak parametreleridir. Daha büyük çaplı elektrotlar daha yüksek akım miktarları gerektirir [49].

4.1.2.6. Kaynak Hızı

Bir kaynakçının kaynak yapmak için elektrotu (kaynak torcunu) eklem boyunca hareket ettirme hızıdır. Teknik olarak arkın kaynak bağlantısı boyunca hareket ettiği doğrusal hızdır. Kaynak penetrasyonu diğer tüm koşullar sabit olduğunda ara ilerleme hızında her zaman maksimumdur. Düşük ilerleme hızı kullanılırsa, penetrasyon verimliliğini etkileyecektir. Hareket hızında büyük artış, ana metalde daha az termal enerji ile sonuçlanacaktır. Hareket hızı daha da artırılırsa, ark tarafından eriyen yolda dolgu metalinin yetersiz birikmesi nedeniyle kaynak bölgesinin kenarları boyunca alttan kesme meydana gelebilir [50].

4.2. TIG KAYNAĞI

TIG kaynağı, baz metali dikkate almak ve erimiş bir metal birikintisi oluşturmak için sarf malzemesi olmadan veya duruma göre sarf malzemesi mevcut olarak tungsten elektrot kullanan bir kaynak işlemidir. Tıpkı MIG kaynağında olduğu gibi, harici bir gaz kaynağını kullanılır ve bunların ortak olanlarından bazıları argon ve argon / helyum karışımlarıdır. TIG kaynağı genellikle boru sistemleri, havacılık kaynağı, motosiklet, bisiklet ve otomotiv sektöründe kullanılır. TIG kaynak tekniğinin ana avantajları arasında çok ince malzemeleri kaynaklama yeteneği, yüksek kaliteli kaynak dikişleri ve son derece estetik kaynak dikişleri sayılabilir. Bu teknikle çok çeşitli alaşımları kaynaklamak mümkündür [51].

Öte yandan, TIG kaynağının bazı dezavantajları arasında ekipmanın yüksek maliyeti ve daha düşük biriktirme oranları bulunmaktadır. Dahası, istenen sonuçları elde etmek için harici koruma gazına ve oldukça yüksek bir operatör becerisine ihtiyaç vardır. TIG kaynağı genellikle günümüzde kullanılan en popüler kaynak tekniği olarak kabul edilmekte ve bunun nedeni temiz bir kaynak ve diğer kaynak yöntemleriyle elde edilmesi neredeyse imkânsız olan yüksek derecede saflık sunmasıdır. Yöntem, alüminyum, magnezyum, bakır ve nikel gibi diğer metaller için de uygun bir seçim olmasına rağmen, en yaygın olarak paslanmaz çeliğin kaynağı için kullanılır [51].

4.3. ÖZLÜ TELLE ARK KAYNAĞI / FLUX-CORED ARC WELDING (FCAW)

Bu tür kaynak, MIG kaynağına benzer. Aslında, MIG kaynakçıları bir FCAW kaynakçı olarak sıklıkla çift görevi de yerine getirebilirler. Tıpkı MIG kaynağında olduğu gibi, elektrot görevi gören bir tel ve dolgu metali, çubuğunuzdan beslenir. FCAW için, tel, kaynak çevresinde bir gaz kalkanı oluşturan bir akı çekirdeğine sahiptir. Bu, harici bir gaz kaynağı ihtiyacını ortadan kaldırır [48].

Bu tekniğin ana avantajları, diğer kaynak yöntemlerinden daha az atık oluşması daha yüksek elektrot verimliliğinin yanı sıra daha düşük ısı girdileridir. Özlü ark kaynağı ile harici koruma gazına gerek yoktur ve kaynak için kullanılan metal ne olursa olsun daha az kaynak dumanı elde edilir. Bu aynı zamanda oldukça temiz bir kaynak türüdür çünkü çok fazla döküntü ile uğraşmak zorunda kalınmaz. Bu kaynak yönteminin dezavantajları söz konusu olduğunda, en yaygın olanlarından bazıları çok fazla duman oluşması ve ekipmanın yüksek maliyetidir. Bu kaynak yöntemi ince malzemeler için tavsiye edilmez ve cüruf oluşturabilir [51].

4.4. KORUMALI METAL ARK KAYNAĞI

Manuel Metal Ark kaynağı (MMA) genellikle Korumalı Metal Ark Kaynağı (SMAW) veya örtülü elektrot kaynağı olarak adlandırılır. Bu, eritme kaynağı yöntemi 1980'lerin başında en yaygın kaynak yöntemi idi. Bir tel çekirdekten oluşan ve mineraller, demir gibi maddelerin karışımlarını içeren dış kaplamaya sahip elektrot çubuklarını kullanır. Her elektrot çapı belirli bir akım değerine uygun olarak üretilir. Kaynak işlemi yapılırken iş parçası ile elektrot arasında temas ile ark oluşur burada oluşan arkın ısısı sayesinde elektrotun etrafındaki kaplamayı eriterek koruyucu bir cüruf tabakası oluşturur. Kaynak dikişi üstündeki cüruf tabakası kaynak işlemi bittikten sonra temizlenmesi gerekmektedir. Elektrotlar, kimyasal bileşime bağlı olarak asit, rutil ve bazik olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Çizelge 4.1'de kaynak elektrotu seçimini etkileyen faktörler ve elektrot üzerindeki etkileri gösterilmiştir [52].

Çizelge 4.1. Kaynak Elektrodu Seçimini Etkileyen Faktörler [52].

ETKEN	Rutil Elektrot	Asit Elektrotlar	Bazik Elektrolar
Ark Kararlılığı	++	+	-
Kaynak Dikişinin Görünümü	+	++	-
Ark Başlatmak İçin Çarpma	++	+	-
Kaynak Gücü	-	-	++
Değişik Kaynak Pozisyonları	+	--	++
Cüruf Kapanım Riski	-	-	++
Korozyon Direnci	+	+	-
Duman Oluşumu	++	+	-
Cüruf Giderme	+	++	-
Kaynak Metalindeki Hidrojen İçeriği	-	-	++

4.5. LAZER IŞIN KAYNAĞI

Lazer ışını sayesinde iki iş parçasının bir araya getirildiği kaynak işlemine lazer ışın kaynağı adı verilir. Lazer ışını birleştirilecek olan iki parça arasındaki boşluğa odaklanan konsantre bir ısı kaynağı sağlar. Lazer kaynağının ana avantajı yüksek enerji yoğunluğu sayesinde kaynak yapılacak parçada geniş bir bölgeye değil sadece kaynak dikiş bölgesine etki etmesidir. Lazer kaynağı, yüksek güç yoğunluğuna sahip füzyon kaynak işlemidir. Diğer kaynaklardan farklı olarak daha düşük ısı girdisine sahiptir. Lazer ışını, matris kompozitli metalleri birleştirmek için en yüksek potansiyel ısı kaynaklarından biridir. Odaklanabilen yüksek yoğunluklu ısı kaynağı nedeniyle, birçok sektörde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Kıyasla konvansiyonel ark kaynağı tekniklerinin yanında lazer kaynağı dar füzyon bölgesi sayesinde daha az bölge ısıdan etkilenir ve malzemelerde çarpımalara ve mekanik özellik azalmalarına neden olmaz. Lazer kaynakları genellikle yüksek hacimli otomasyonlarda, otomotiv endüstrisinde ve havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır [53].

4.6. ELEKTRON DEMETİ KAYNAĞI

Elektron demeti kaynağı, kaynak gerektiren malzemelere yüksek hızlı elektron ışını ateşlemeyi işlemiyle gerçekleştirilir. Bu kaynak yönteminde, kaynak malzemelerini eritmek için elektronlardan gelen enerjiyi tabakalara dönüştürür ve bunlar daha sonra

birleşip kaynaşabilir. Bu tür kaynak, tam otomatik otomotiv sıralı parça üretiminden yüksek maliyetli uçak motoru endüstrisine kadar çok sayıda endüstride kullanılmaktadır. Elektron ışını kaynağı ile oluşturulan bazı ürün örnekleri arasında havacılık bileşenleri, transmisyon tertibatları ve bimetal testere bıçakları bulunur. Bu kaynak tekniği önceden vakum ile muhafazaları boşaltılmış ve sızdırmazlığı sağlanmış bir ortamda gerçekleştirilir. Elektron demeti kaynağı yöntemi diğer kaynak yöntemleriyle birleştirilmesi zor olan farklı termal iletkenlik ve erime noktalarına sahip metallerin birleştirilmesine olanak verir. Bu yöntem aynı zamanda kalın bir malzemeyi ince bir malzemeye kaynak yapmak için de iyi bir tekniktir [51].

4.7. PLAZMA ARK KAYNAĞI

Plazma ark kaynağı temelde TIG kaynağına benzer, ancak daha küçük bir ark kullanır ve bu da kaynağın hassasiyetini artırır. Bu yöntemde aynı zamanda çok daha yüksek sıcaklıklara ulaşan farklı bir torç kullanır. Gaz çubuğun içinde basınçlandırılarak plazma oluşturulur. Plazma daha sonra iyonize edilerek elektriksel olarak iletken hale getirilir. Bu, baz metalleri eritebilen inanılmaz derecede yüksek sıcaklıklar üreterek arkın oluşturulmasına izin verir. Plazma ark kaynağının dolgu metali olmadan yapılmasına olanak verir, bu yönden TIG kaynağına benzerdir. Bu tür bir kaynak, dar kaynak dikişlerinde daha derin kaynak penetrasyonuna izin vererek, estetik açıdan hoş kaynakların yanı sıra yüksek mukavemetli kaynak dikişleri sağlar. Üstelik yüksek kaynak hızlarında bunu yapabilmek mümkündür. Bu kaynak yöntemi genellikle uçak imalat endüstrisinde kullanılır ve nadirde olsa DIY (Kendin Yap) meraklıları kaynakçılar için kullanım alanları mevcuttur [48], [51].

4.8. SÜRTÜNME KAYNAĞI

Sürtünme kaynağı benzer veya farklı metalleri birbirine bağlamak için kullanılan çevre dostu bir metal birleştirme işlemidir. Bu işlem, geleneksel kaynak gibi dolgu metalleri, akıllar veya koruyucu gazlar kullanılmadan gerçekleştirilir. Sürtünme karıştırma kaynağı, sürtünme karıştırma nokta kaynağı, doğrusal sürtünmeli kaynak ve döner sürtünmeli kaynak olmak üzere 4 çeşit sürtünme kaynağı yöntemi vardır. Ayrıca enerji tüketimi en aza indirilmiştir ve duman, gaz veya atık üretmez. Başlangıçta, sürtünme kaynaklı birleştirme yapılacak malzemeler dairesel geometriye sahiptirler. Günümüz

teknolojileriyle, birleştirilebilecek uygulamalar, bileşenler, malzeme türleri, boyutları ve şekilleri neredeyse sonsuzdur. Yaygın olarak döndürme kaynağı olarak bilinen sürtünme kaynağı, benzer veya bi-metal malzeme kombinasyonlarını birleştirmek için kontrollü bir işleme sürecidir. Uygun malzemelerin sečilmesi durumunda sürtünme kaynağı sonucunda kaynak bölgesinin mukavemet bakımından gücü ana malzemeninkine eřit hatta daha dayanıklı olmaktadır. Bu işlem, yüksek mukavemetli, düşük gerilimli, gözenekli yapı içermeyen küçük bir ısıdan etkilenen bölge (ITAB) kaynağı sağlar ve çođu durumda, maliyetli ön işleme gibi çeşitli ihtiyaçları ortadan kaldırır [54], [55].



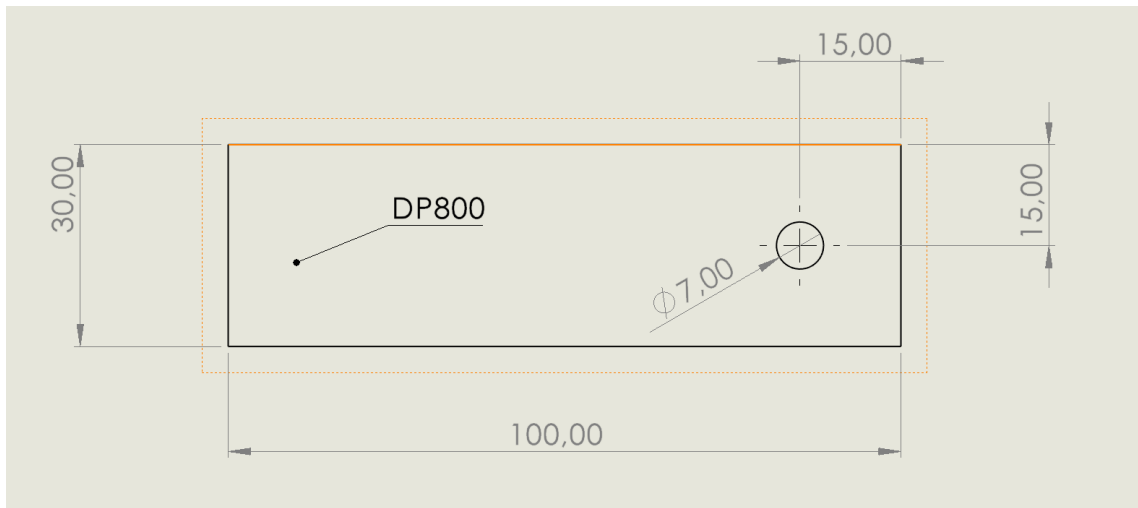
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan DP800 çeliği ile çeşitli sektörlerde geniş kullanım alanına sahip AISI304 ve AISI430 çeliklerinin farklı akım türlerinden MİG/MAG nokta kaynağı (Plug Kaynağı) yöntemiyle birleştirilebilirliği, bu kaynaklı birleştirme işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir.

5.1. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER

5.1.1. Ana Parçalar

Yapılan deneysel çalışmada ana malzemeler olarak DP800, AISI430 ve AISI304 malzemeleri kullanılmıştır. DP800 malzemesi 30x100mm olacak şekilde kesilmiştir. Aynı şekilde AISI430 ve AISI304 malzemeleride 30x100mm olacak şekilde kesilmiştir. DP800 levhaları Şekil 5.1'de görüldüğü gibi çap 7mm olacak şekilde bir köşesinden 15x15mm'lik merkez noktasından delinmiştir. AISI430 ve AISI304 malzemelerine herhangi bir işlem uygulanmamıştır.



Şekil 5.1. DP800 Parçası.

DP800, AISI430 ve AISI304 malzemelerinin kimyasal özellikleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Bileşenleri (%).

Malzeme	Al	C	Fe	Mn	Nb	P	Si	S	Cr	Ni
DP800	0,040	0,12	98	1,5	0,015	0,015	0,20	0,0020	-	-
AISI430	-	≤ 0,12	79- 87	≤ 1,0	-	≤ 0,040	≤ 1,0	≤ 0,030	14- 18	-
AISI304	-	≤ 0,080	66,345- 74	≤ 2,0	-	≤ 0,045	≤ 1,0	≤ 0,030	18- 20	8,0- 10,5

Yapılan çalışmada kullanılan DP800, AISI430 ve AISI304 malzemelerini mekanik özellikleri Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri.

Malzeme	Gerilme Direnci (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)
DP800	800-900	≥ 650 MPa	≥ 8
AISI430	517	276	30
AISI304	505	215	70

5.1.2. Kaynak Teli ve Koruyucu Gaz

Deneysel çalışmada malzemeleri birleştirmek için Magmaweld MI 308LSi kaynak teli kullanılmıştır. Magmaweld MI 308LSi kaynak telinin kimyasal bileşimi Çizelge 5.3’de gösterilmiştir. MI 308LSi kaynak teli kullanılması durumunda üretici firma tarafından öngörülen kaynak metalinin tipik mekanik özellikleri Çizelge 5.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. MI 308LSi Kaynak Teli Kimyasal Bileşimi.

Element	C	Si	Mn	Cr	Ni
	0,01	0,70	1,90	20,00	9,50

Çizelge 5.4. MI 308LSi Teli Kullanılmasında Kaynak Metalinin Tipik Özellikleri.

	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
Kaynak Sonrası	450	570	38

Deneysel çalışmada yapılan MIG nokta kaynağı (Plug Kaynağı) esnasında kaynak dikişini çevresel etmenlerden korumak için kullanılan koruyucu gaz karışımının oranı Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Koruyucu Gaz Karışım Oranı.

Element	Ar	CO ₂
% Oranı	97,5	2,5

5.2. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN CİHAZLAR

5.2.1. Kaynak Makinesi

Deneysel çalışmada Şekil 5.2’de görseli bulunan Magmaweld IDS 320MM Pulse kaynak makinesi kullanılmıştır. Bu kaynak makinesinde normal akım, pulse akım ve double pulse akım olmak üzere üç farklı yöntem ile farklı parametreler kullanılarak akımı ileten telin koruyucu gaz katmanı altında sürekli beslenerek telin erimesi ile metallerin birleşimi sağlanmıştır.



Şekil 5.2. Magmaweld IDS 320MM Pulse Kaynak Makinesi.

5.2.2. Metalografik Numune Kesme Cihazı

Ana malzemelerin kaynaklı birleştirme işleminden sonra ileride yapılacak olan kaynak dikişinin mikroyapı incelemeleri için Şekil 5.3’de görseli bulunan Metacut 251 abrasif metalografik numune kesme cihazı ile malzemeler kaynak dikişinden düzgün bir şekilde

kesilmiştir. Daha sonra bu malzemelerin bakalitleme işlemine uygun ölçüye getirmek için kaynak dikişinden 10-20mm yan kısmından ikinci bir kesme işlemi daha gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.3. Metkon Metacut 251 Abrasif Metalografik Numune Kesme Cihazı.

5.2.3. Bakalitleme Cihazı

Kesme işlemi sonucu küçültülen numuneler hem zımpara/parlatma hem de analizler ve mikroyapı incelemelerinde kolaylık sağlaması amacıyla Şekil 5.4’de görseli bulunan bakalitleme cihazı ile bakalite alınmıştır.



Şekil 5.4. Metkon Ecopress 50 Bakalitleme Cihazı.

5.2.4. Zımparalama ve Parlatma Cihazı

Bakalitleme işlemi gerçekleştirilen parçaları analizlere ve incelemelere hazırlamak için Şekil 5.5’de görseli bulunan Metkon forcipol 1V zımparalama/parlatma cihazı ile zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işleminde sırasıyla 400-600-800-1000-1200’lük kalınlık numaralarına sahip zımpara çeşitleri kullanılmıştır. Zımparalama işlemleri tamamlanana numuneler parlatma keçesi ve sırasıyla 6-3-1 mikronluk solüsyonlar kullanılarak yüzeyleri zımparalama işleminden kalan çiziklerden arındırılıp parlatılmıştır.



Şekil 5.5. Metkon Forcipol 1V Zımparalama/Parlatma Cihazı.

5.2.5. Elektrolit ile Dağlama Cihazı

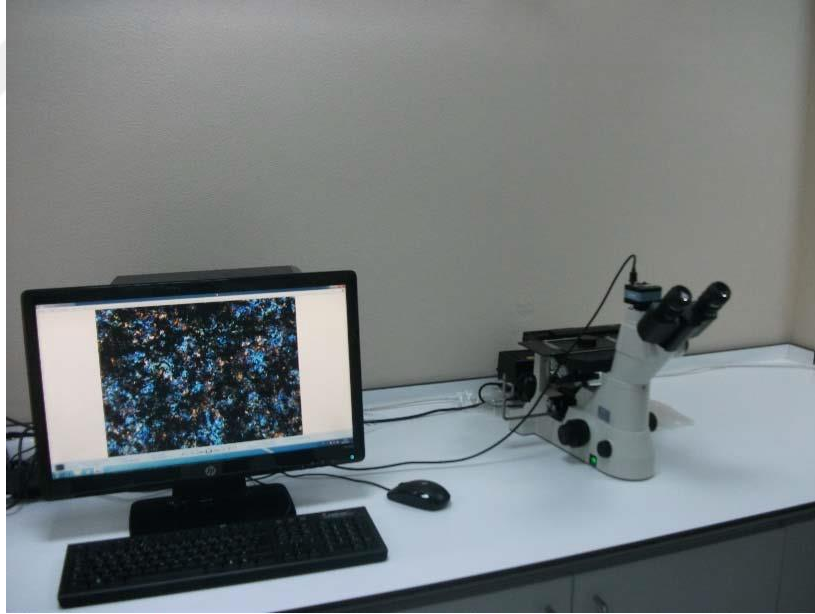
Parlatma işleminden sonra parçaların yüzeyleri optik mikroskop ve SEM için uygun olmadığı için (parlama nedeniyle) parçaların yüzeylerinin net bir görüntü alabilmek için dağlanmaya ihtiyacı vardır. Şekil 5.6’de görseli bulunan elektrolit dağlama cihazı ile parçaların paslanmaz çelik olan kısımları dağlanmıştır.



Şekil 5.6. Elektrolit Dağlama Cihazı.

5.2.6. Optik Mikroskop ve SEM Mikroskopu

Dağlama işlemleri gerçekleştirilen parçalar kaynak dikişi kesit yüzeylerine zarar vermeden temizlendikten sonra mikroyapı görüntüleri Şekil 5.7'deki Nikon Eclipse MA100 ters metal optik mikroskobu ile çekilmiştir.



Şekil 5.7. Nikon Eclipse MA100 Optik Mikroskop.

Optik mikroskop incelemeleri tamamlanan malzemeler daha sonrasında Şekil 5.8'de görseli bulunan Quanta FEG 250 SEM model taramalı elektron mikroskobu ile daha yüksek büyütme miktarlarıyla mikroyapı ve kopma yüzeylerinin görüntüleri çekilmiştir.



Şekil 5.8. Quanta FEG 250 SEM Taramalı Elektron Mikroskobu.

5.2.7. Mikrosertlik Ölçüm Cihazı

Mikrosertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak 500gr yük altında 19 saniye bekleme süresi olacak şekilde, Şekil 5.9'da görseli bulunan Metkon Duroline-M Mikrosertlik Test Cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 5.9. Metkon Duroline-M Mikrosertlik Test Cihazı.

5.2.8. UTEST Çekme Testi Cihazı

Kaynaklı birleştirme işlemi yapılmış olan parçalar üniversite atölyesinde mevcut bulunan Şekil 5.10'da görseli bulunan çekme testi cihazında çekme testi parametrelerine uyularak yapılmıştır.



Şekil 5.10. UTEST Çekme Testi Cihazı.

5.2.9. XRD Analiz Cihazı

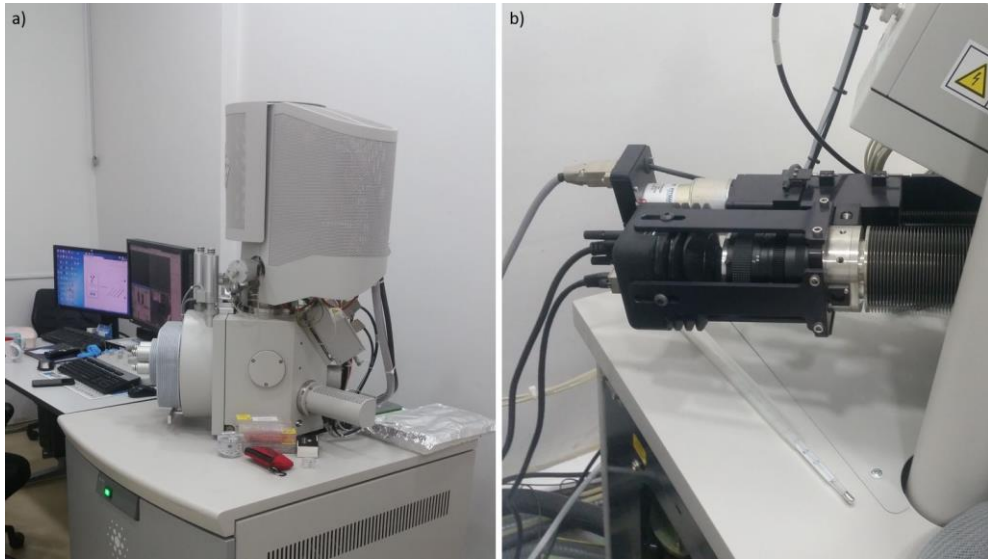
Mikroyapı incelenmesi tamamlanan parçalar daha sonrasında bakalitleri kırılarak yüzeyine zarar vermeden bakalitten çıkartılmışlardır. Bu parçalar Şekil 5.11’de görseli bulunan Rigaku marka XRD analiz cihazında analizleri yapılmıştır. Daha sonrasında elde edilen veriler MDI Jade 7 programı kullanılarak çözümlene işlemleri yapılmıştır.



Şekil 5.11. Rigaku X-Ray Diffractometre (XRD) Cihazı.

5.2.10. EBSD Analiz Cihazı

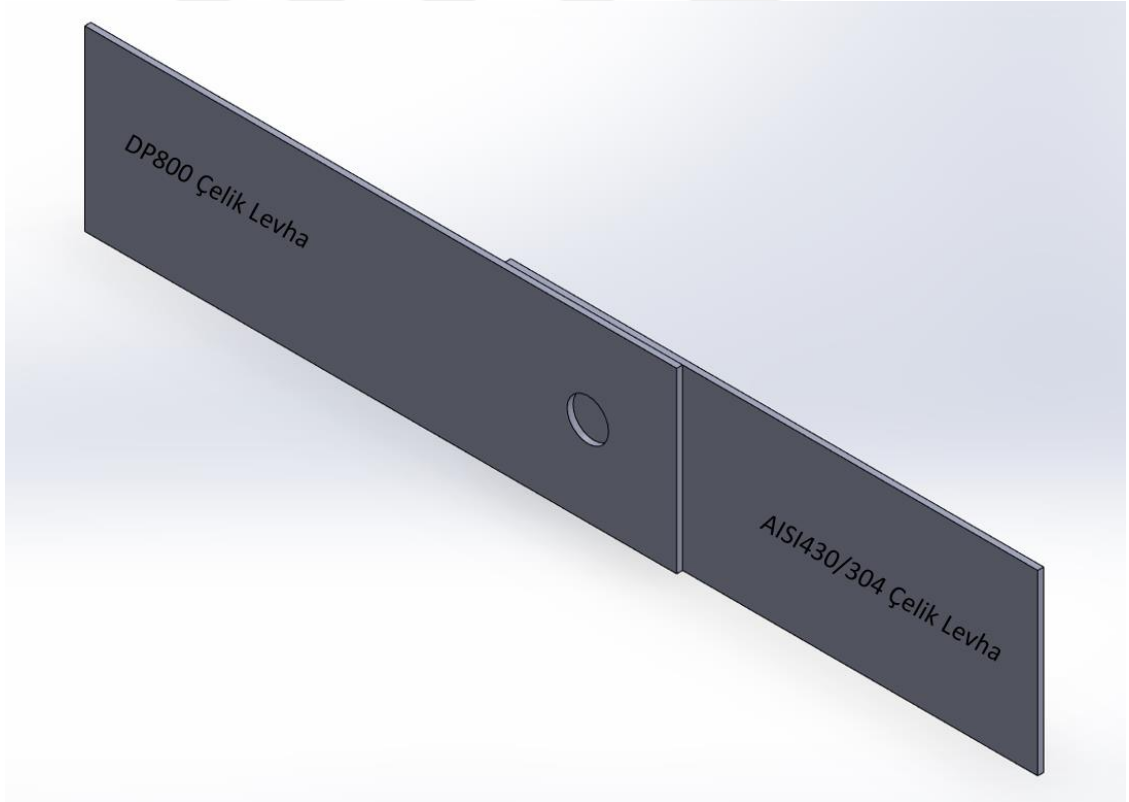
Yüzeylerinde zımparalama ve parlatma işlemi uygulanan parçalar daha sonrasında Şekil 5.12’de görseli bulunan taramalı elektron mikroskobu ve EBSD analizi için olan ek sensörü aracılığıyla istenilen bölgenin analizi yapılmıştır. Elde edilen ham veriler TSL OIM Data Collection 7 programı kullanılarak çözümlenmiştir.



Şekil 5.12. EBSD Analiz Cihazı, a) Quanta FEG450 Taramalı Elektron Mikroskobu, b) EBSD Sensörü.

5.3. DENEYSEL ÇALIŞMA YÖNTEMİ

1mm kalınlığındaki DP800 sac malzemeleri temin edilmesinden sonra bu sac levha 30x100mm ölçülerinde endüstriyel hidrolik bir kesici yardımıyla belirtilen ölçülerde kesilmiştir. Aynı şekilde 1mm kalınlığında sac levha olarak temin edilen AISI430 ve AISI304 paslanmaz çelik levhalarda 30x100mm ölçülerinde kesilmiştir. Daha sonrasında DP800 malzemelerinin üst yüzeyinde bir köşesinden yatay ve dikey de olmak üzere 15mm'lik uzaklıkta merkezi bulunan 7mm çapında bir delik açılmıştır. Bu deliğin çapının 7mm olarak belirlenmesinde literatür taraması ve daha ufak çaplarda yapılan deneysel çalışmaların önemli etkisi olmuştur. Paslanmaz çelik levhalara herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Daha sonrasında DP800 parçasının delinmesi sonucu oluşan çapaklar temizlenmiştir ve parçaların birbirleri ile temas eden yüzeyleri ince taneli bir zımpara yardımıyla temizlenip daha iyi bir temas yüzeyi elde edilmiştir. Bu malzemeler Şekil 5.13'deki pozisyonda olacak şekilde aparatlar yardımıyla sabitlenmiştir.



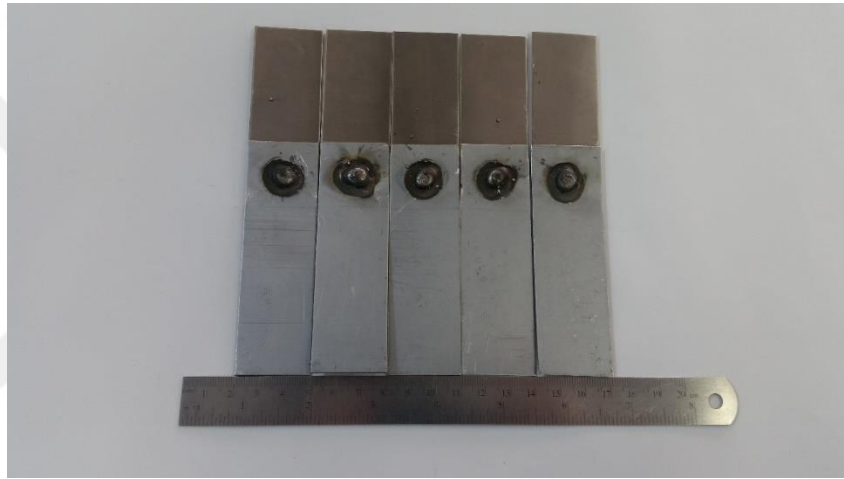
Şekil 5.13. Çelik Levhalar.

Sabitlenen parçalar Şekil 5.2'de görseli bulunan Magmaweld IDS 320MM pulse kaynak makinesi ile normal akım, pulse akım ve double pulse yöntemlerinde kaynaklı birleştirme işlemi yapılmıştır. MIG kaynak yönteminde kullanılan parametreler Çizelge 5.6'de, bu

parametreler kullanılarak yapılan 5 adet normal, 5 adet pulse ve 5 adet double pulse kaynaklı birleştirme uygulanmış parçalara ait görsellerden birkaçı ise Şekil 5.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. MIG kaynak Yönteminde Kullanılan Parametreler.

	Normal	Pulse	Double Pulse
Amper (A)	95	65	60
Tel Sürme Hızı	4,5	3,5	3,0



Şekil 5.14. Kaynaklanmış Parçalar.

MIG nokta kaynağı yöntemiyle yapılan birleştirme işleminde amper değerleri için normal akım 95A, pulse akım 65A ve double pulse akım da 60A değerleri kullanılmıştır. Tel sürme hızı olarak 4,5 normal akım, pulse akım 3,5 ve double pulse akım da 3,0 değerleri kullanılmıştır.

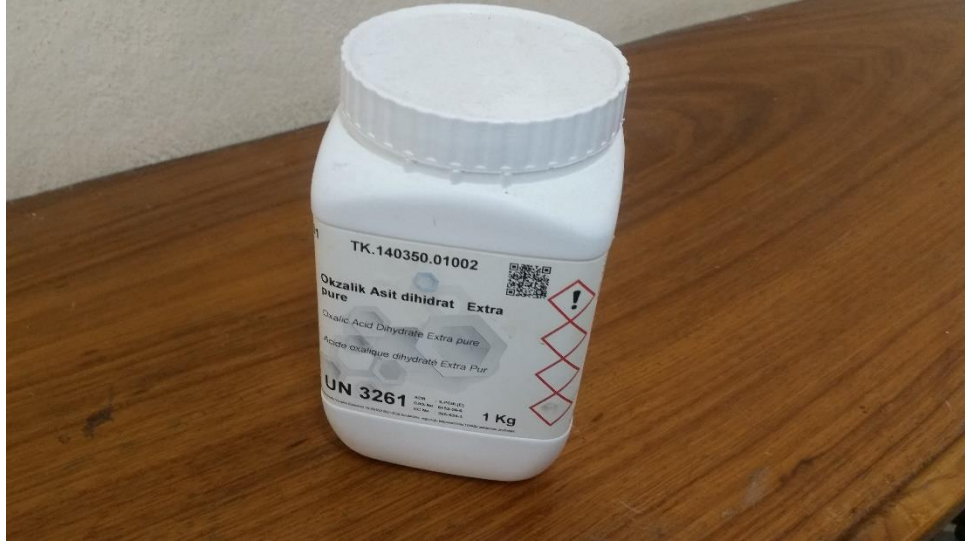
Plug kaynağı kaynak yöntemiyle birleştirilen malzemeler daha sonra metalografik inceleme için hazır hale getirebilmek için çeşitli işlemler uygulanmıştır. Öncelikle parçalar Şekil 5.3'de görseli bulunan Metacut 251 abrasif metalografik numune kesme cihazı ile kaynak dikişinden ve kaynak dikişinin yan kısmından düzgün bir şekilde kesilmiştir. Kesilen malzemelerin kaynak dikişi kesit yüzeyleri görülecek şekilde Şekil 5.4'de görseli bulunan bakalitleme cihazında bakalite alınmıştır. Daha sonra bu parçalar Şekil 5.5'deki zımparalama makinesinde kaynak dikişi kesiti kısmına zımparalama ve parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma işlemi sonrasında DP800 çeliklerinin dağlanması

için Şekil 5.15’de bulunan nitrik asit ve etanol sıvılarından 95ml etanol, 5ml nitrik asit olacak şekilde bir çözelti hazırlanmıştır. Daha sonrasında bu çözeltide DP800 çelikleri 8 saniye dağlanmıştır.



Şekil 5.15. Etanol ve Nitrik Asit.

Bu dağlama işleminden bakalitte bulunan AISI430 ve AISI304 paslanmaz çelikleri etkilenmemiştir. Bu malzemeleri dağlamak içinde Şekil 5.16’deki görseli bulunan oksalik asitten 10g, saf sudan 100ml olacak miktarda bir çözelti hazırlanmıştır. Şekil 5.6’de görseli bulunan elektrolit dağlama cihazı kullanılarak hazırlanan çözelti içinde bakalitte bulunan paslanmaz çelikler dağlanmıştır. Dağlanma işlemi gerçekleştirilen bakalitten bulunan parçaların görselleri Şekil 5.17’de gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Oksalik Asit.



Şekil 5.17. Dağlanmış Parçalar.

Dağlanan numunelere Nikon Eclipse MA100, Quanta FEG 250 SEM Taramalı Elektron Mikroskobu, XRD ve EBSD makineleri kullanılarak görsel çekimleri ve analiz işlemleri yapılmıştır.

Mikro ve makroyapı incelemeleri haricinde normal akımda DP800-AISI430 ve DP800-AISI304, pulse akımda ve double pulse akımda aynı şekilde olacak türde malzeme gruplarında 3'er adetten toplam 18 adet numuneye 2mm/dak ilerleme hızı parametresinde çekme testi uygulanmıştır. Kullanılan çekme testi cihazı Şekil 5.10'de görseli bulunmaktadır ve çekme testi uygulanan parçaların bazılarının görselleri Şekil 5.18'de görülmektedir.



Şekil 5.18. Çekme Testi Numuneleri.

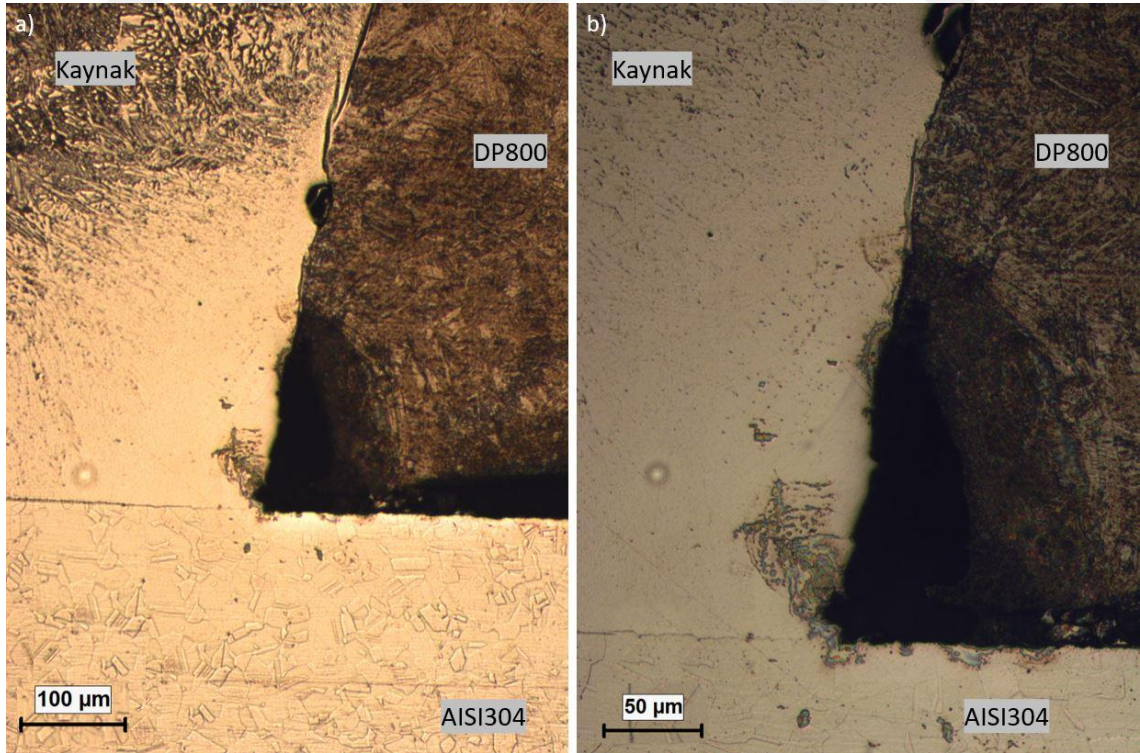
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. OPTİK MİKROSKOP SONUÇLARI

Farklı yöntemler ve parametreler kullanılarak yapılan birleştirme işlemindeki ana metaller, kaynak dikişleri, ısı tesiri altındaki bölgelerin mikroyapı görüntüleri 10X, 20X, 50X, 100X büyütme kullanılarak optik mikroskop yardımıyla mikroyapı görüntüleri çekilmiştir. Ana malzemeler olarak DP800, AISI430, AISI304 metallerinin yanı sıra kaynak işlemi için MI 308LSi kaynak teli kullanılmıştır.

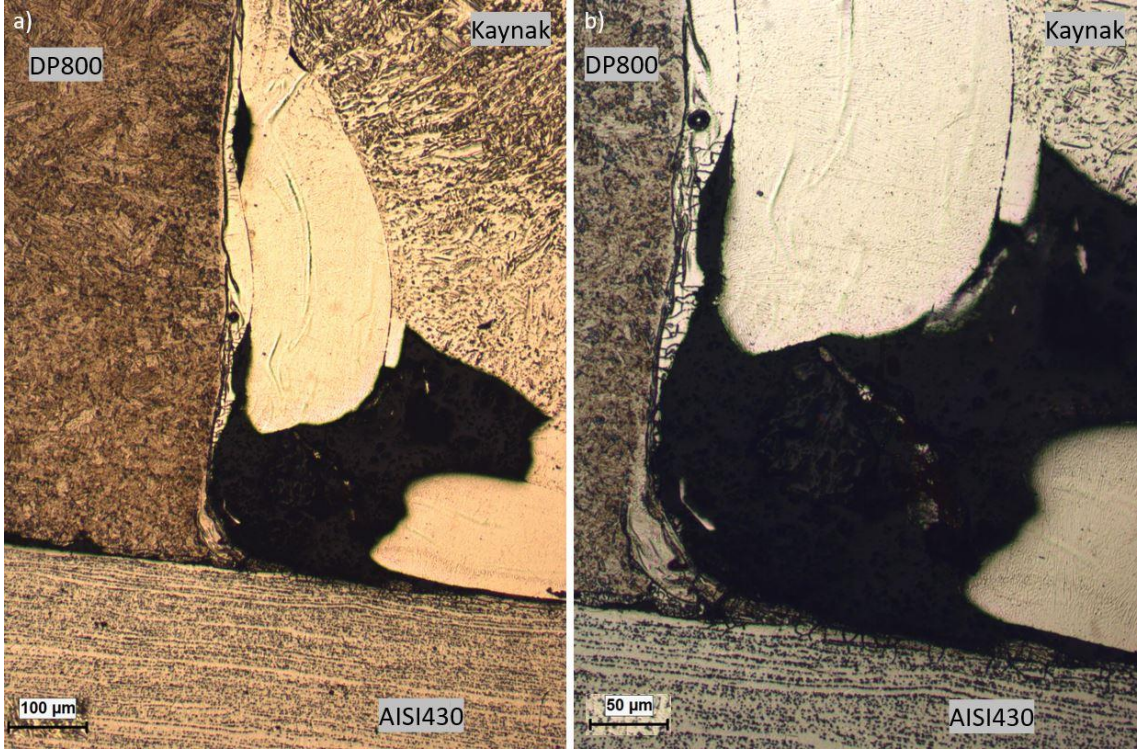
6.1.1. Normal Akım

Şekil 6.1’de DP800 ile AISI304 malzemelerini kaynaklı birleştirme işleminin optik mikroskop kullanılarak 10X ve 20X büyütme görüntüleri çekilmiştir. Bu görüntüde görüldüğü üzere malzemeler ile kaynak bölgesi arasında boşluk olduğu ergimiş metalin o bölgeyi dolduramadığı görülmüştür. Bunun yanı sıra AISI304 malzemesi için ITAB bölgesine yaklaştıkça tane yapılarında irileşme gözlemlenmiştir.



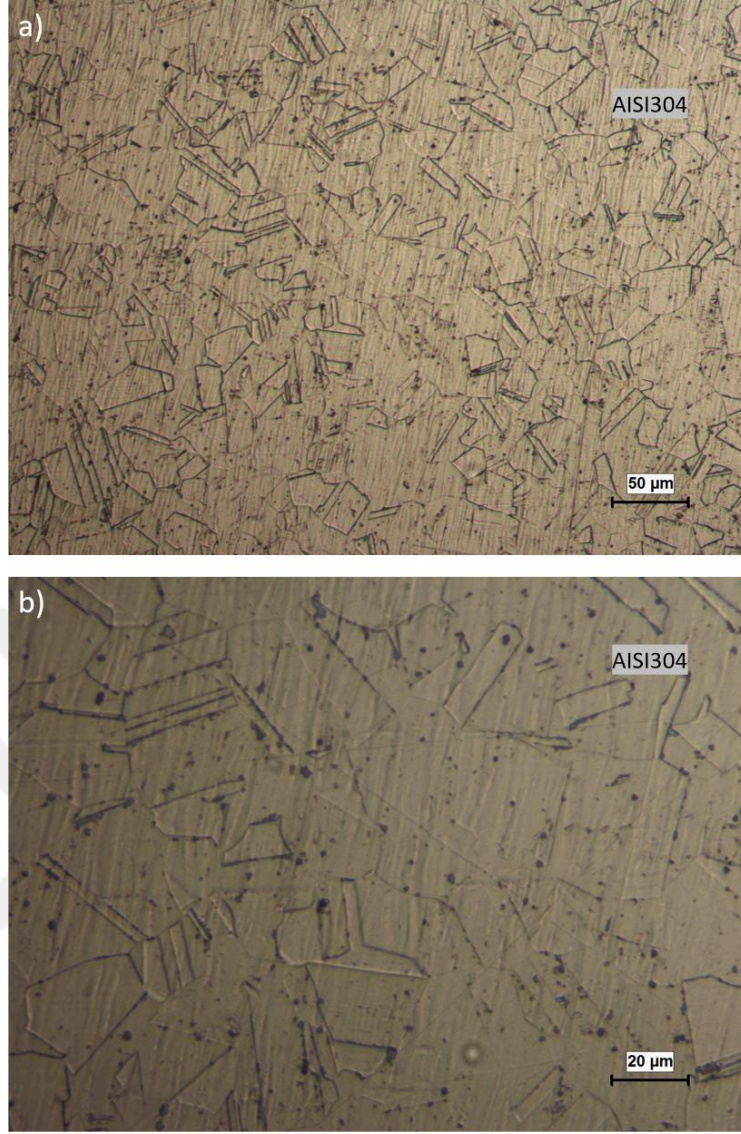
Şekil 6.1. Normal Akım DP800-AISI304 Optik Mikroskop Görüntüsü, a) 10X Büyütme, b) 20X Büyütme.

Şekil 6.2’de görüldüğü üzere DP800-AISI304 kaynaklı birleştirmesine benzer olarak malzemeler ve kaynak bölgesi arasında boşluk oluşumu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra geçiş bölgeleri ve ana metalden kaynak metaline yaklaştıkça Şekil 6.1’dekine benzer bir şekilde tane yapılarında irileşmeler görülmektedir. Isı tesiri altındaki bölgede oluşan tane irileşmesi için literatür çalışmalarına bakıldığında genel olarak aynı sonuçlar gözlemlenmiştir.



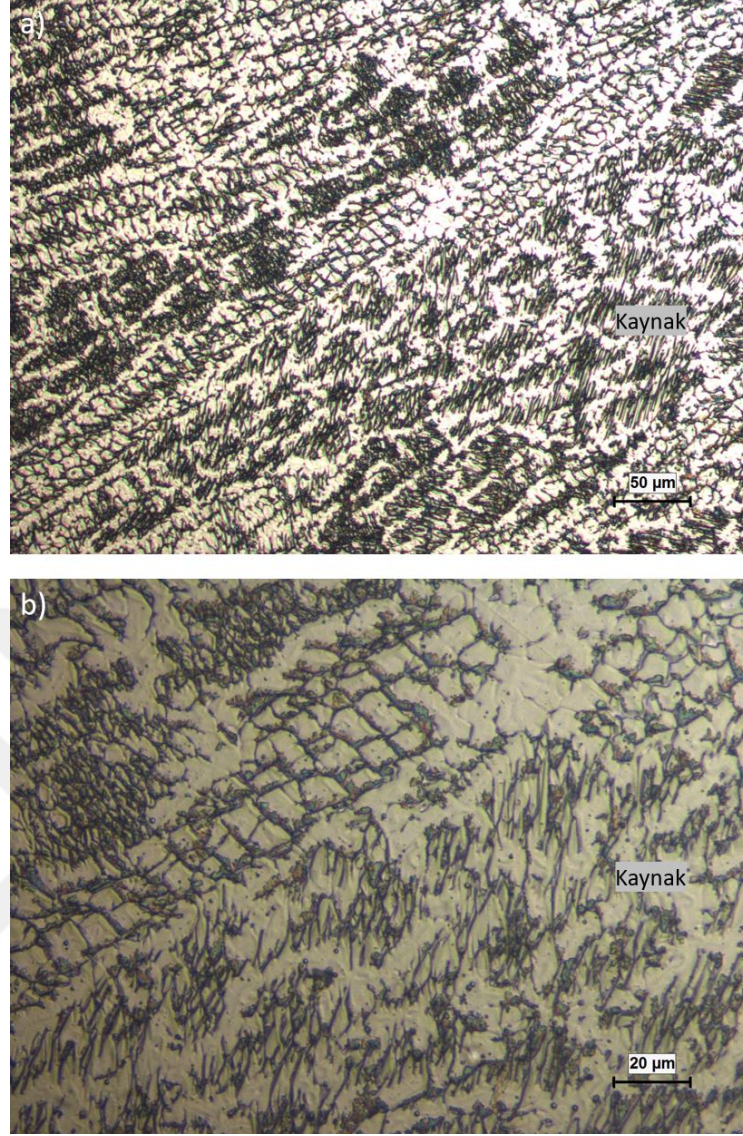
Şekil 6.2. Normal Akım DP800-AISI430 Optik Mikroskop Görüntüsü, a) 10X Büyütme, b) 20X Büyütme.

Şekil 6.3’te AISI304 ana malzemesi için optik mikroskop kullanılarak 20X büyütme ve 50X büyütmede elde edilen görseller kullanılmıştır. Mikroskop ile çekilen görselde östenitik yapılar görülmektedir. Bunun yanında östenitik yapıda serpilmiş karbür kalıntıları da gözlemlenmektedir. Elde edilen mikroyapı görselleri literatürdeki 304 paslanmaz çeliklerin mikroyapı görüntüleri ile yüksek oranda benzerdir.



Şekil 6.3. AISI304 Ana Malzeme Görüntüsü, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme.

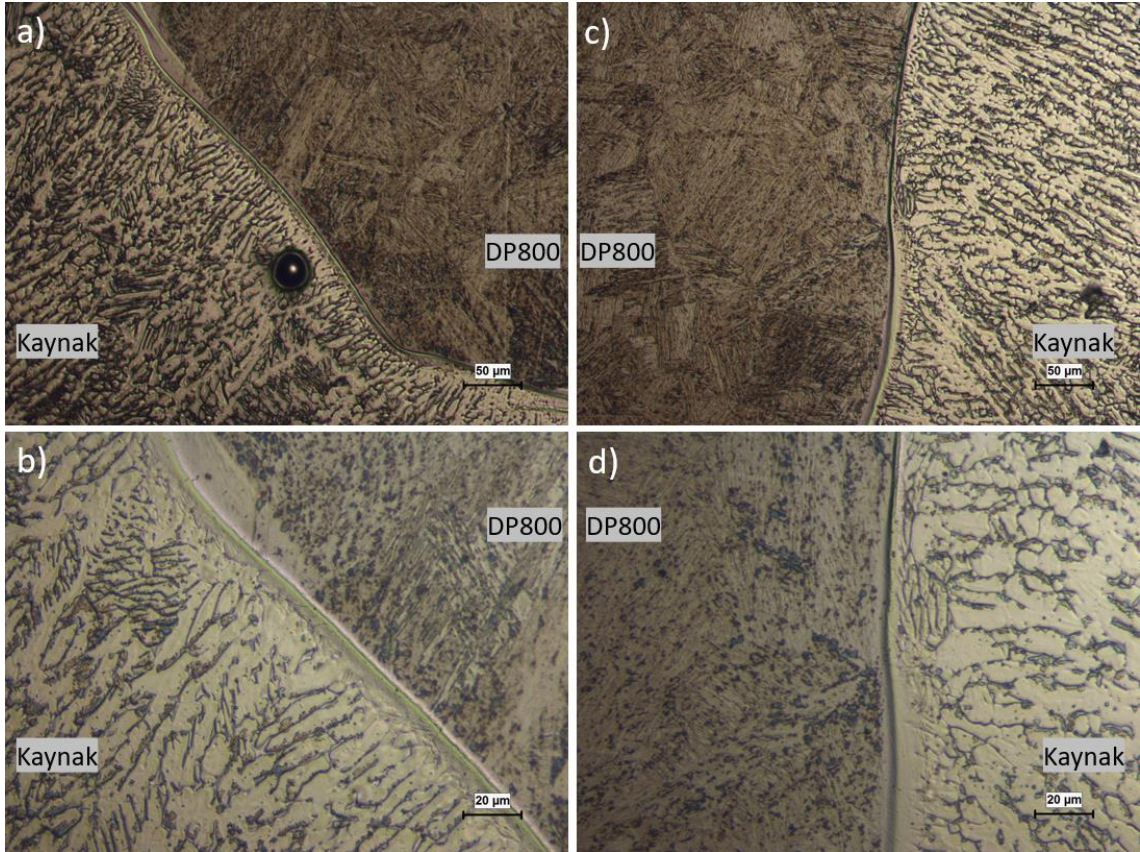
Şekil 6.4’de MI 308LSi kaynak telinin malzemeleri kaynaklı birleştirme sonrasında merkez noktasına yakın bir bölgeden çekilmiş olan mikroyapı görüntüsü mevcuttur.



Şekil 6.4. Kaynak Metali Mikroyapı Görüntüsü, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme.

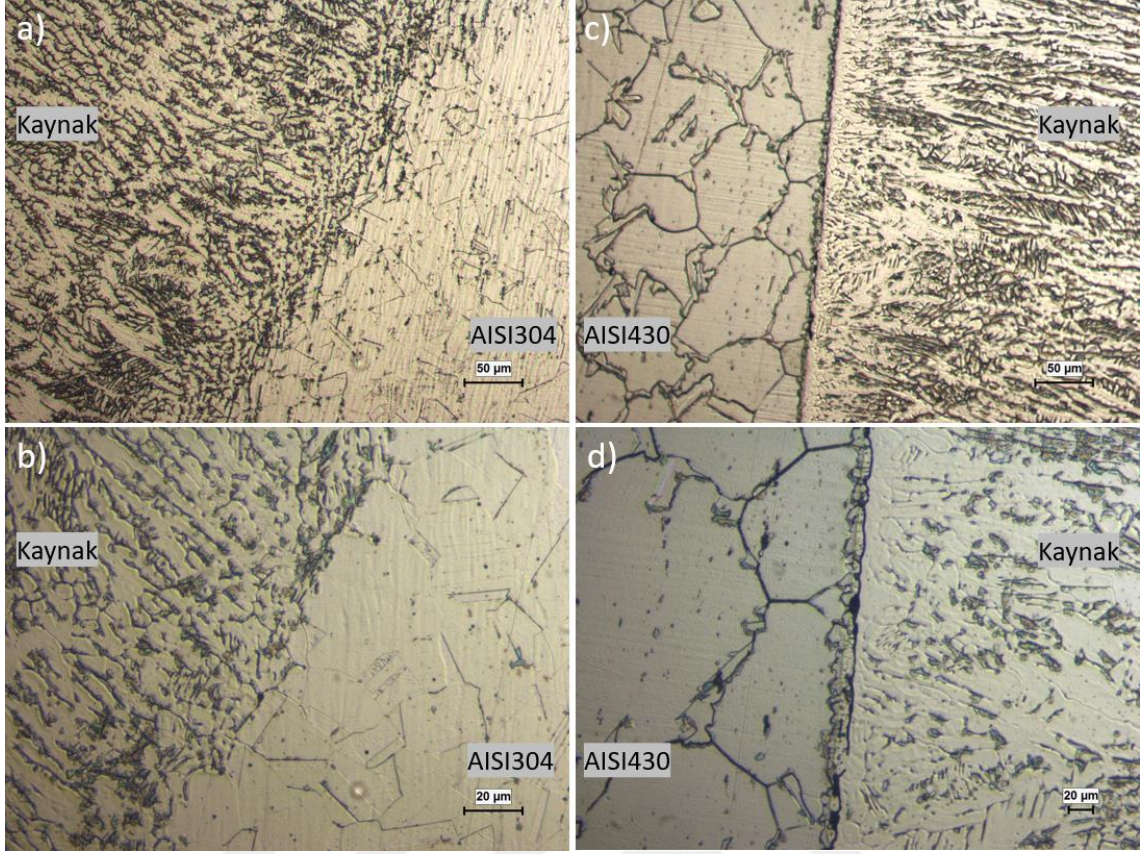
Şekil 6.5’de DP800 malzemesinin kaynak metali ile kaynak dikişi bölgelerinin mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir. Farklı metal türleri olduklarının yanı sıra ısı girdisi sonucunda tane yapılarında irileşme olduğundan kaynak dikişi çok daha net bir şekilde gözlemlenmektedir. Şekil 6.5.a görselinde görüldüğü üzere kaynak dikişine yakın bir bölgede kaynak boşluğu gözlenmemiştir. Yalnız diğer mikroyapı incelemelerinde benzeri bir duruma rastlanmamıştır. Oluşan kaynak boşluğunun sebebi olarak kullanılan koruyucu gazda oluşan dalgalanma sonucu kaynak dikişi bölgesindeki gaz tabakasında incelme sonucunda oluştuğu düşünülmektedir. DP800 kaynak dikişi incelendiğinde yapı düşük oranda perlit fazından ve büyük oranda ferrit fazından oluşmaktadır. ITAB bölgesinde bu yapılar tane irileşmesi sayesinde daha net görülmektedir ve soğumanın

tesiri ile martensit yapılar meydana gelmiştir. Yasin ŞEN “DP600, DP800, MS1200, MS1400 tipi yüksek mukavemetli sacların CMT kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve mekanik/mikroyapı özelliklerinin incelenmesi” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında malzemelerin kaynak dikişi bölgesine (ITAB bölgesine) yaklaştıkça tane büyüklüklerinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Tane boyutlarındaki farklılıklar haricinde mikroyapılarının birbirine benzediği söylenmiştir. Isı girdisini artması sonucunda tane yapılarında büyümeye neden olduğu söylenmiştir [6].



Şekil 6.5. Normal Akım DP800 Kaynak Dikişi Mikroyapı Görüntüleri, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c)20X Büyütme, d)50X Büyütme.

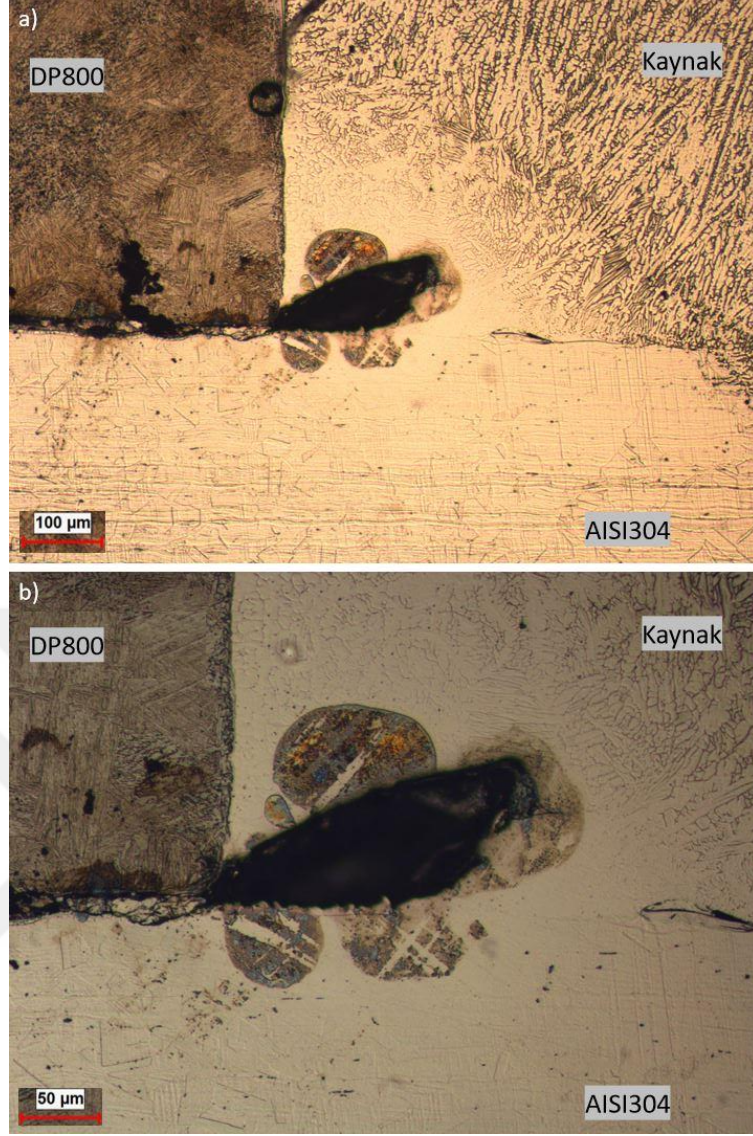
Şekil 6.6’da normal akım yönteminde 304 ve 430 paslanmaz çeliklerinin kaynak metali ile birleşim bölgelerinin görselleri mevcuttur. Kaynak dikişlerinde düzgün bir birleşme gözlemlenmiştir. Ana malzemedan kaynak dikişi bölgesine yaklaştıkça kaynaklı birleştirme işlemi esnasında oluşan ısı girdisi sebebiyle (ITAB) tane yapılarında belirli bir irileşme gözlemlenmiştir.



Şekil 6.6. Normal Akım AISI304/430 Kaynak Dikişi Mikroyapı Görselleri, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c)20X Büyütme, d)50X Büyütme.

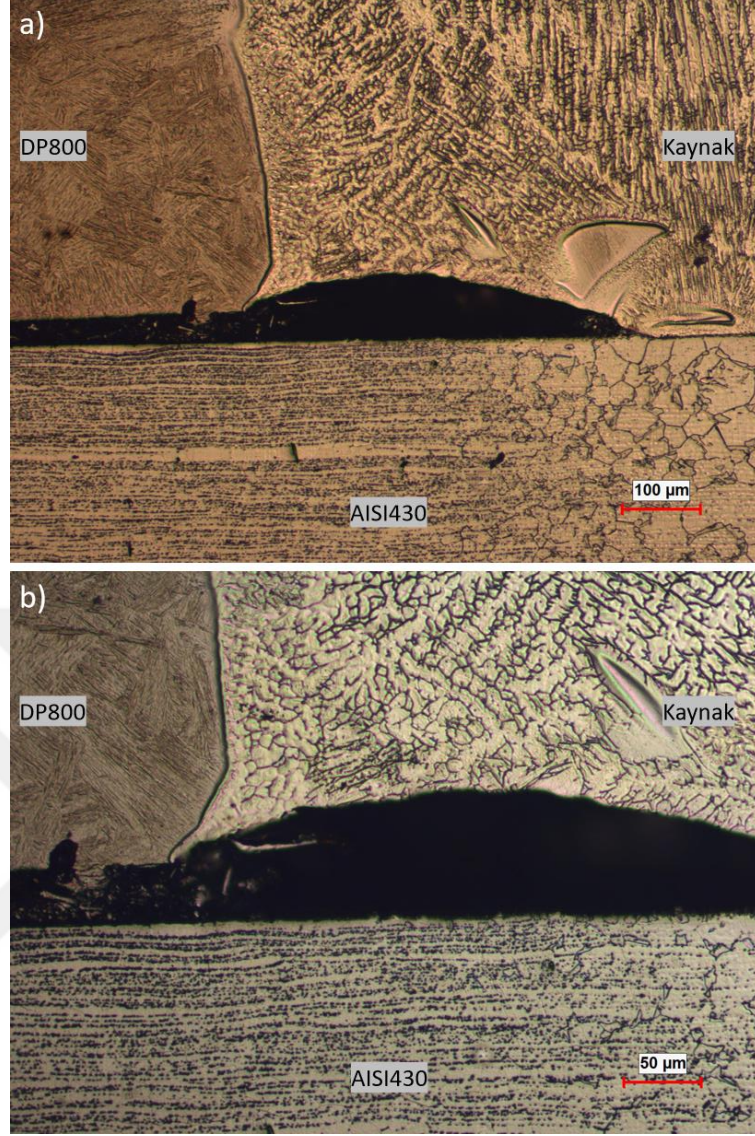
6.1.2. Pulse Akım

Şekil 6.7’de DP800 ile AISI304 malzemelerini pulse akım yöntemiyle kaynaklı birleştirme işleminin optik mikroskop kullanılarak 10X ve 20X büyütmelerde görüntüleri çekilmiştir. Normal akımda yapılan kaynaklı birleştirme işlemine benzer olarak parçalar ile kaynak dikiş arasında boşluk gözlemlenmiştir. Ama pulse akım yönteminde normal akım yöntemine göre bu boşluğun boyutu daha ufaktır. Bunun yanı sıra DP800, AISI304 ve kaynak metali için ITAB bölgesine yaklaştıkça tane yapılarında değişimler gözlemlenmiştir.



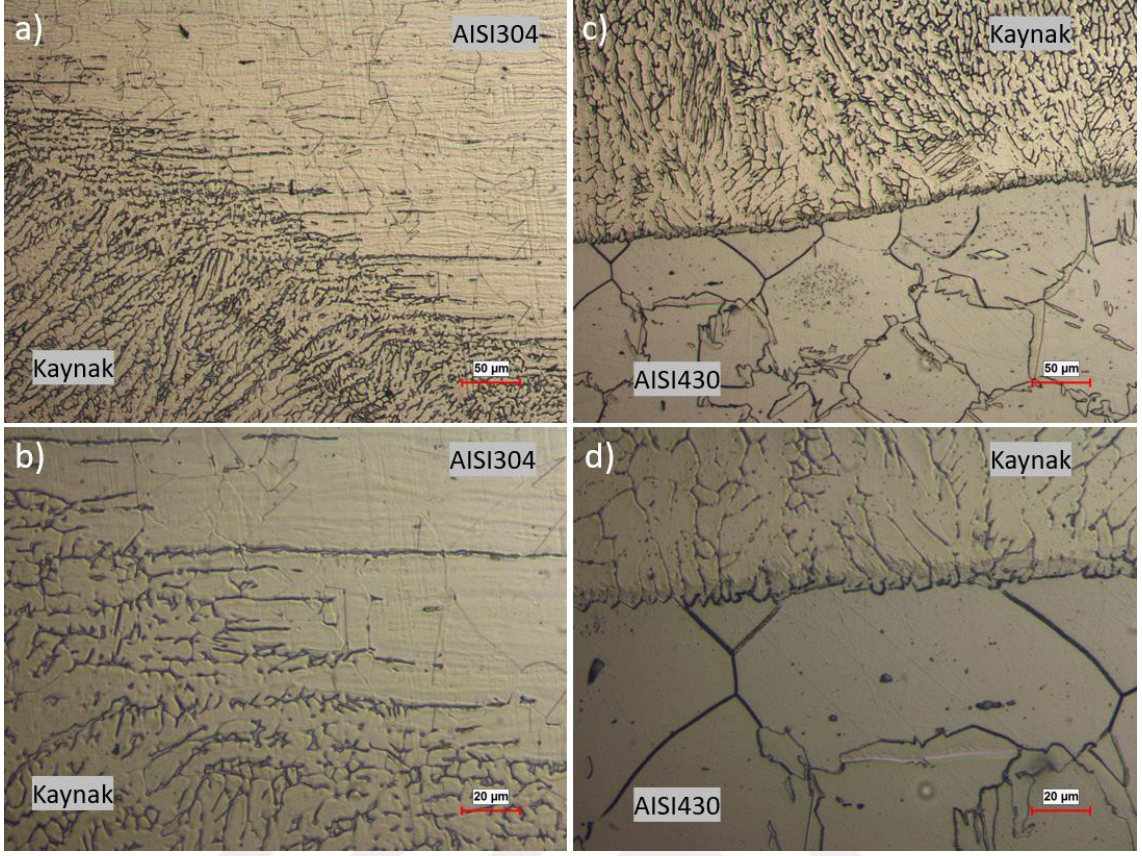
Şekil 6.7. Pulse Akım DP800-AISI304 Optik Mikroskop Görüntüsü, a) 10X Büyütme, b) 20X Büyütme.

Şekil 6.8’de DP800 ile AISI304 malzemelerini pulse akım yöntemi ile kaynaklı birleştirme işleminin optik mikroskop kullanılarak 10X ve 20X büyütmelerde görüntüleri çekilmiştir. Şekil 6.8.a görselinde görüldüğü üzere DP800 ile AISI430 malzemesi arasında boşluk mevcuttur. Malzemeleri kaynak işlemi için aparatlar yardımıyla sabitlerken bu boşluğun oluştuğu düşünülmektedir. Daha önceki kaynak işlemlerinde olduğu gibi kaynak dikişine yaklaştıkça net bir şekilde tane yapılarında değişiklikler gözlemlenmektedir.



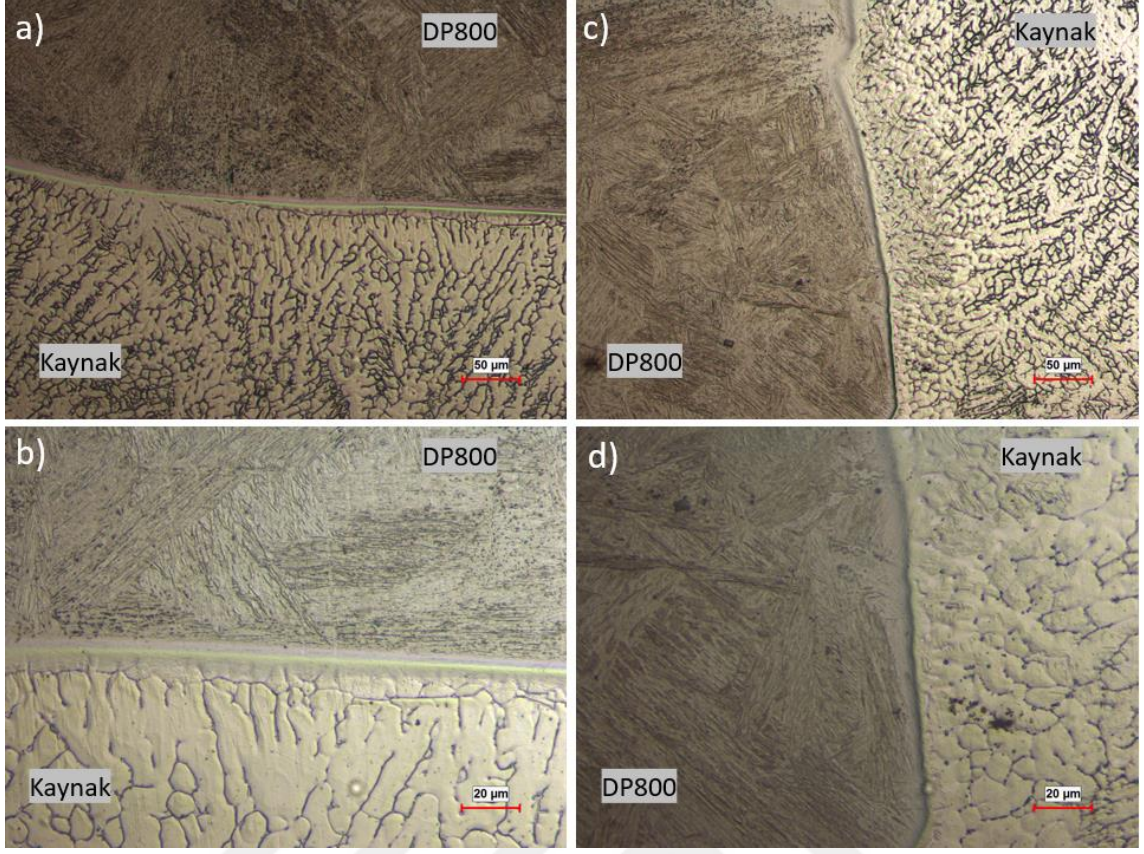
Şekil 6.8. Pulse Akım DP800-AISI430 Optik Mikroskop Görüntüsü, a) 10X Büyütme, b) 20X Büyütme.

Şekil 6.9’da pulse akım yöntemiyle AISI304 ve AISI430 malzemelerini kaynak metali ile birleşim bölgelerinin mikroyapı görselleri mevcuttur. Şekil 6.9.a ve b görsellerinde 304 paslanmaz çeliği için östenitik yapılar görülmektedir. Bunun yanı sıra Şekil 6.9.c ve d görsellerinde 430 paslanmaz çelik için ferritik yapılar ve ITAB ye yaklaşıldıkça tane irileşmeleri gözlemlenmektedir.



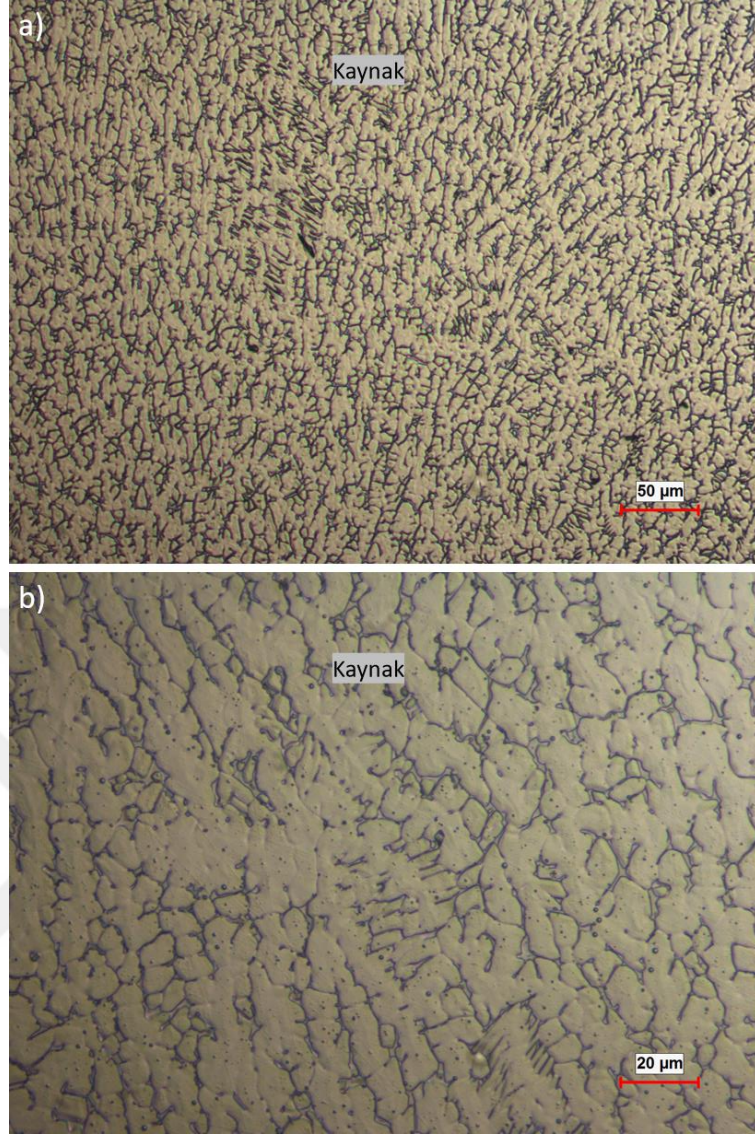
Şekil 6.9. Pulse Akım AISI304/430 Kaynak Dikişi Mikroyapı GörSELLERİ, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c)20X Büyütme, d)50X Büyütme.

Şekil 6.10'da DP800 malzemesinin kaynak metali ile kaynak dikişi bölgelerinin mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir. Farklı metal türleri olduklarının yanı sıra ısı girdisi sonucunda tane yapılarında irileşme olduğundan kaynak dikişi çok daha net bir şekilde gözlemlenmektedir.



Şekil 6.10. Pulse Akım DP800 Kaynak Dikişi Mikroyapı GörSELLERİ, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c)20X Büyütme, d)50X Büyütme.

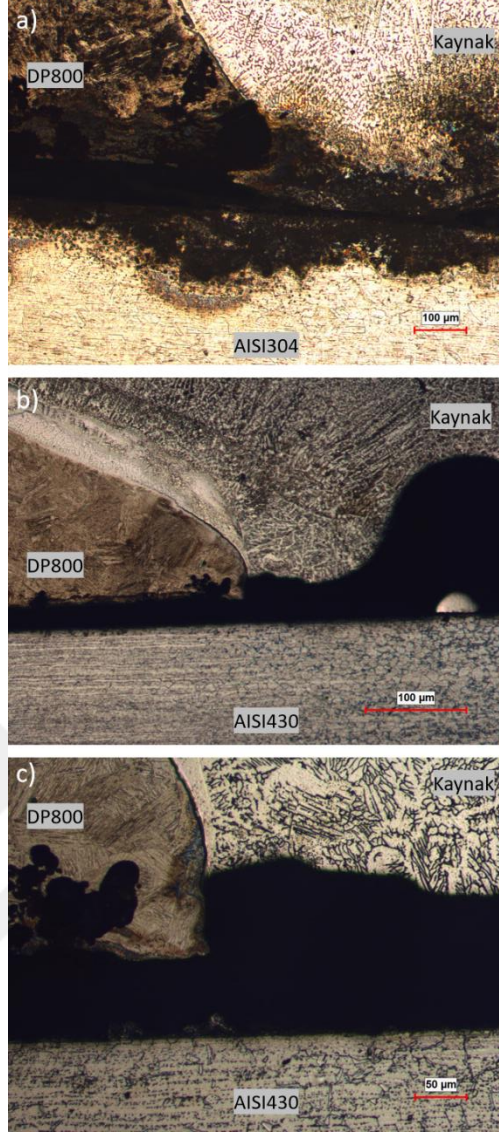
Şekil 6.11’de pulse akım yönteminde MI 308LSi kaynak teli kullanılarak yapılan kaynak işlemindeki kaynak metalinin merkez bölgelerine yakın bir noktadan çekilmiş olan mikroyapı görseli mevcuttur.



Şekil 6.11. Pulse Akım Kaynak Dikişi Mikroyapı Görself, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme.

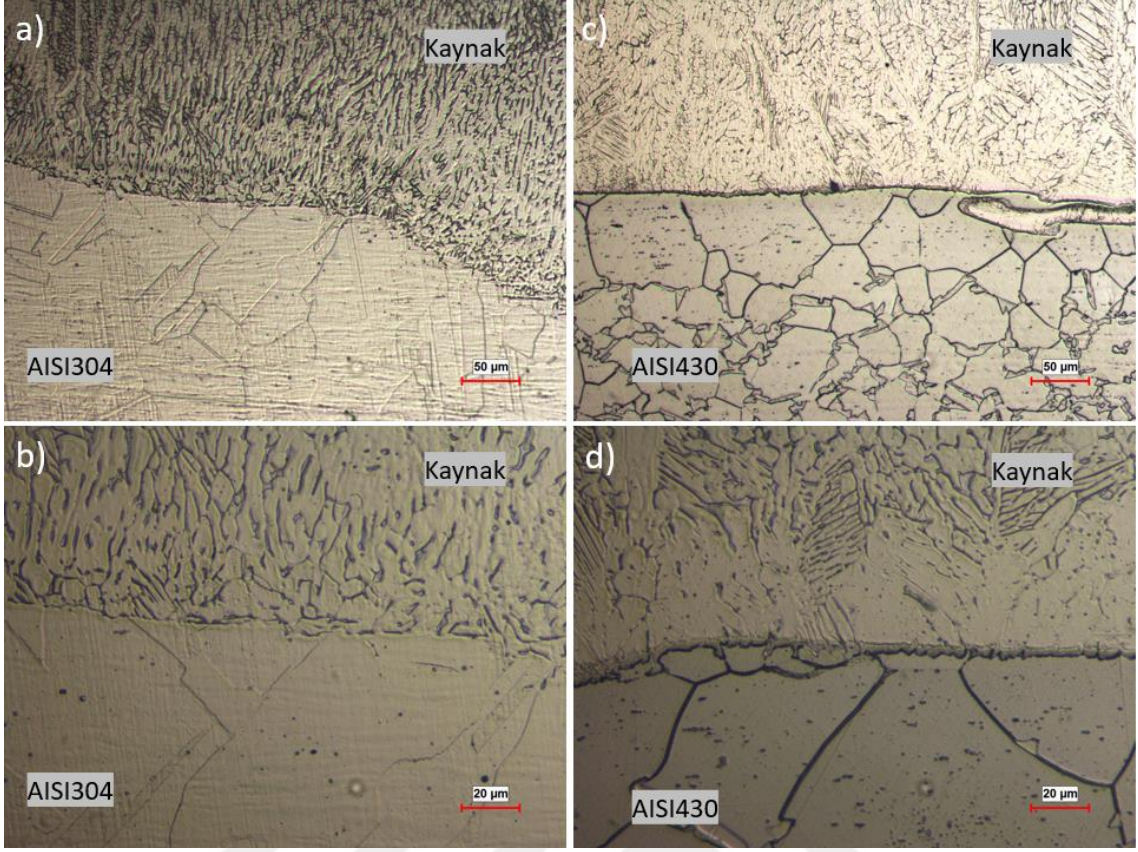
6.1.3. Double Pulse Akım

Şekil 6.12.a görsellerinde DP800 ile AISI304 malzemelerinin, Şekil 6.12.b ve c görselinde DP800 ile AISI430 malzemelerinin double pulse akım yöntemiyle kaynaklı birleştirme işleminin optik mikroskop kullanılarak 10X ve 20X büyütmelerde mikroyapı görselleri mevcuttur. Diğer kaynak yöntemlerine benzer bir şekilde malzemelerin birleşim noktalarında boşluklar gözlemlenmiştir.



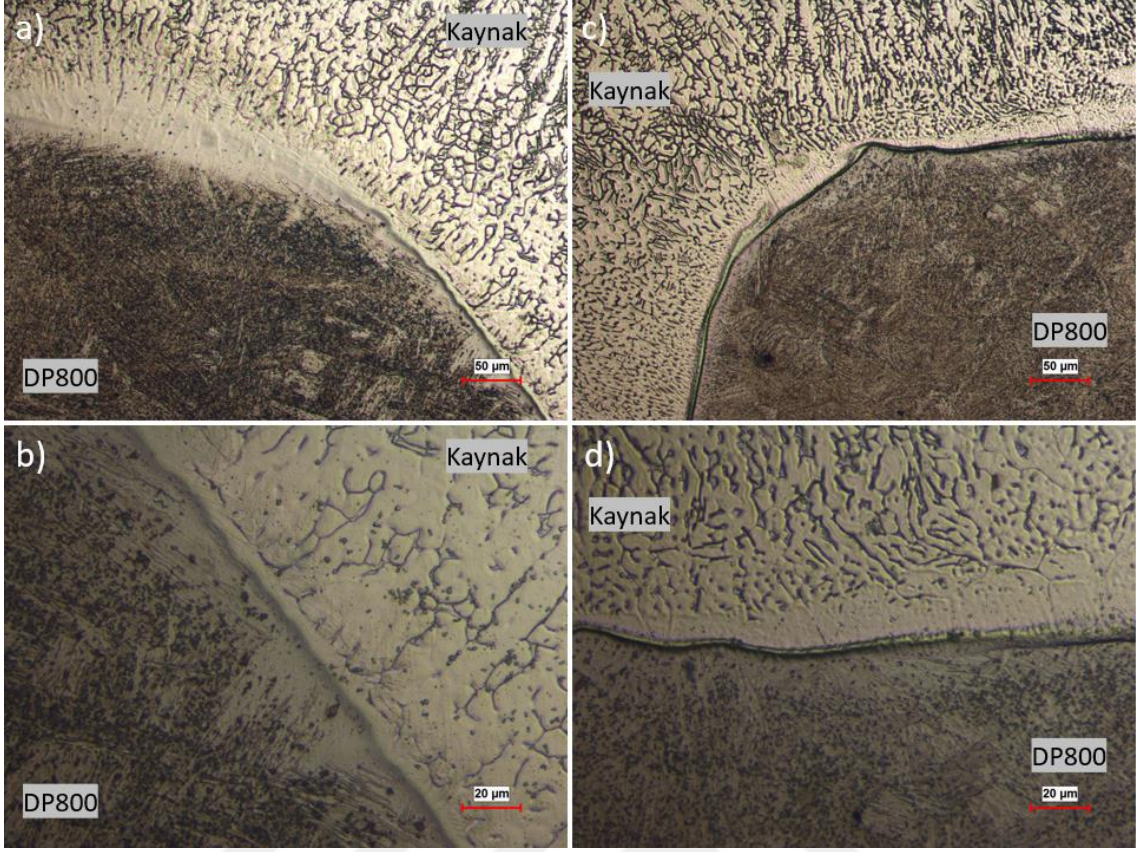
Şekil 6.12. Double Pulse Akım DP800-AISI430/304 Optik Mikroskop Görüntüsü, a) 10X Büyütme, b) 10X Büyütme, c) 20X Büyütme.

Şekil 6.13’de double pulse akım yöntemiyle AISI304 ve AISI430 malzemelerini kaynak metali ile birleşim bölgelerinin mikroyapı görselleri mevcuttur. Şekil 6.13.a ve b görsellerinde 304 paslanmaz çeliğinin kaynak metali ile birleşim bölgeleri, Şekil 6.13.c ve d görsellerinde 430 paslanmaz çeliğinin kaynak metali ile birleşim bölgelerinin mikroyapı görselleri mevcuttur. Daha önceki ve literatürde yapılmış olan çalışmalara benzer olarak ısı tesiri altındaki bölgeye/kaynak dikişine yaklaşıldıkça ısı girdisi sebebiyle tane irileşmeleri gözlemlenmektedir.



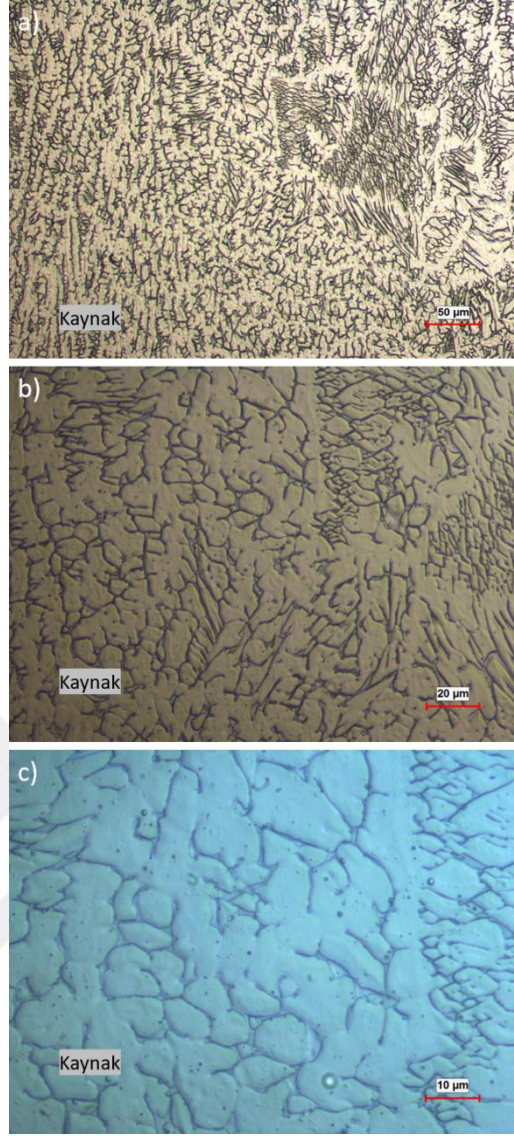
Şekil 6.13. Double Pulse Akım AISI304/430 Kaynak Dikişi Mikroyapı Görselleri a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c) 20X Büyütme, d) 50X Büyütme.

Şekil 6.14’de double pulse yöntemiyle DP800 ile kaynak metalinin birleşim noktalarının mikroyapı görselleri mevcuttur.



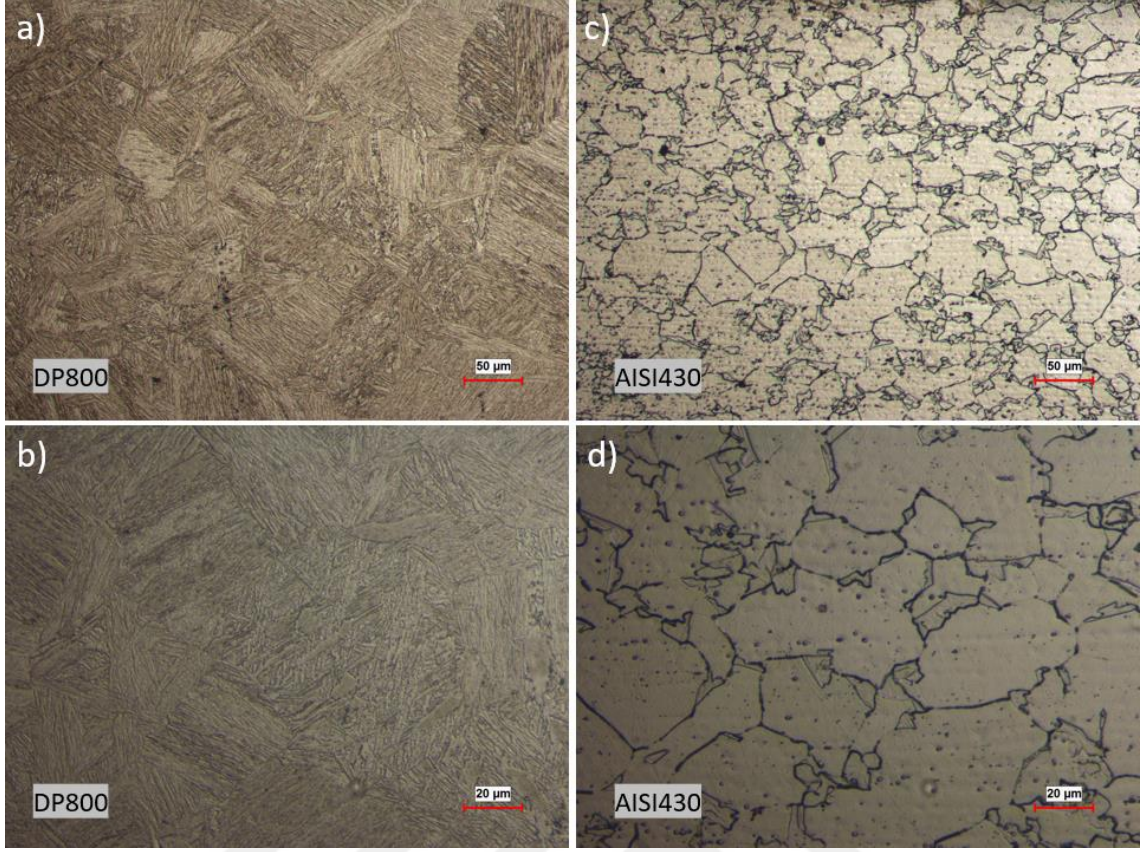
Şekil 6.14. Double Pulse Akım DP800 Kaynak Dikişi Mikroyapı Görselleri, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c) 20X Büyütme, d) 50X Büyütme.

Şekil 6.15’de MI 308LSi kaynak telinin double pulse yönteminde yapılan kaynaklı birleştirmede kaynak metalinin merkez bölgelerine yakın bir noktasından 20X, 50X ve 100X büyütmede çekilen mikroyapı görselleri mevcuttur.



Şekil 6.15. Double Pulse Akım Kaynak Dikişi Mikro Yapı Görselleri, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c) 100X Büyütme.

Şekil 6.16.a ve b görselinde double pulse yönteminde DP800 metallerinin, Şekil 6.16.c ve d görselinde AISI430 metallerinin mikroyapı görüntüleri mevcuttur.

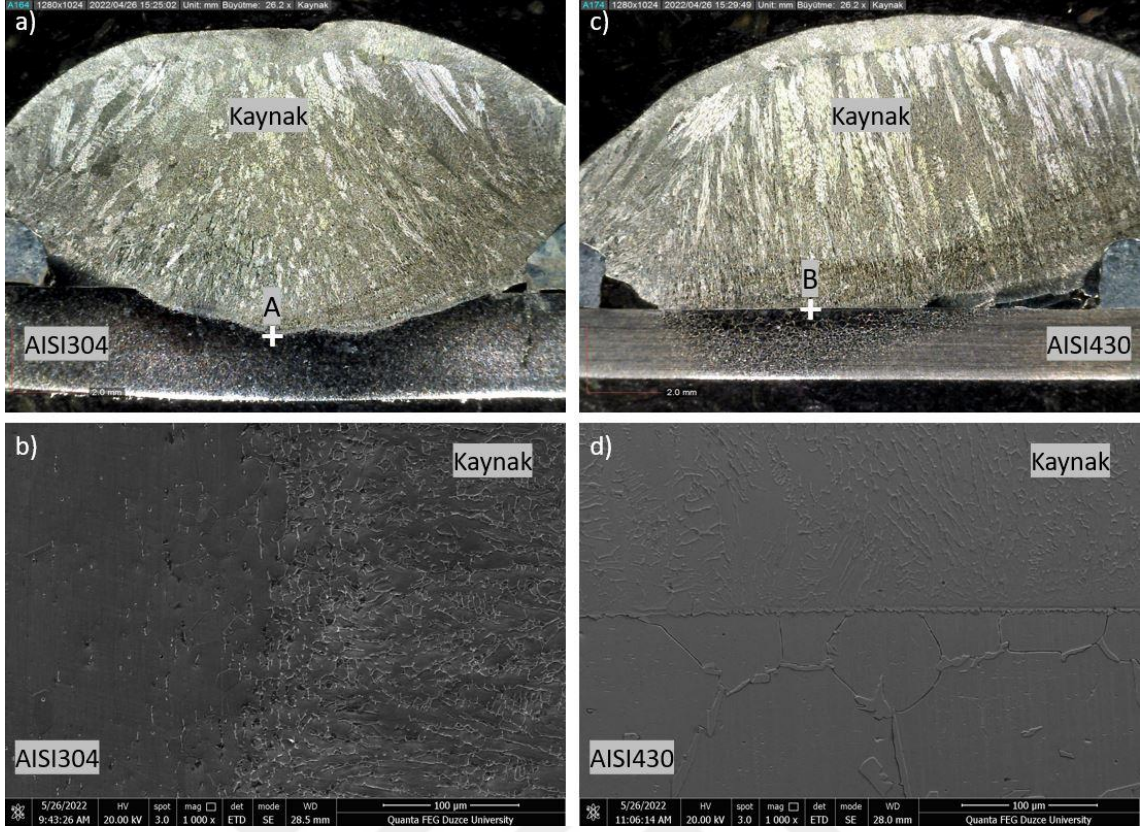


Şekil 6.16. Double Pulse Akım DP800-AISI430-AISI304 Malzemeleri Mikroyapı GörSELLERİ, a) 20X Büyütme, b) 50X Büyütme, c) 20X Büyütme, d) 50X Büyütme.

6.2. SEM MİKROSKOBU ve EDS SONUÇLARI

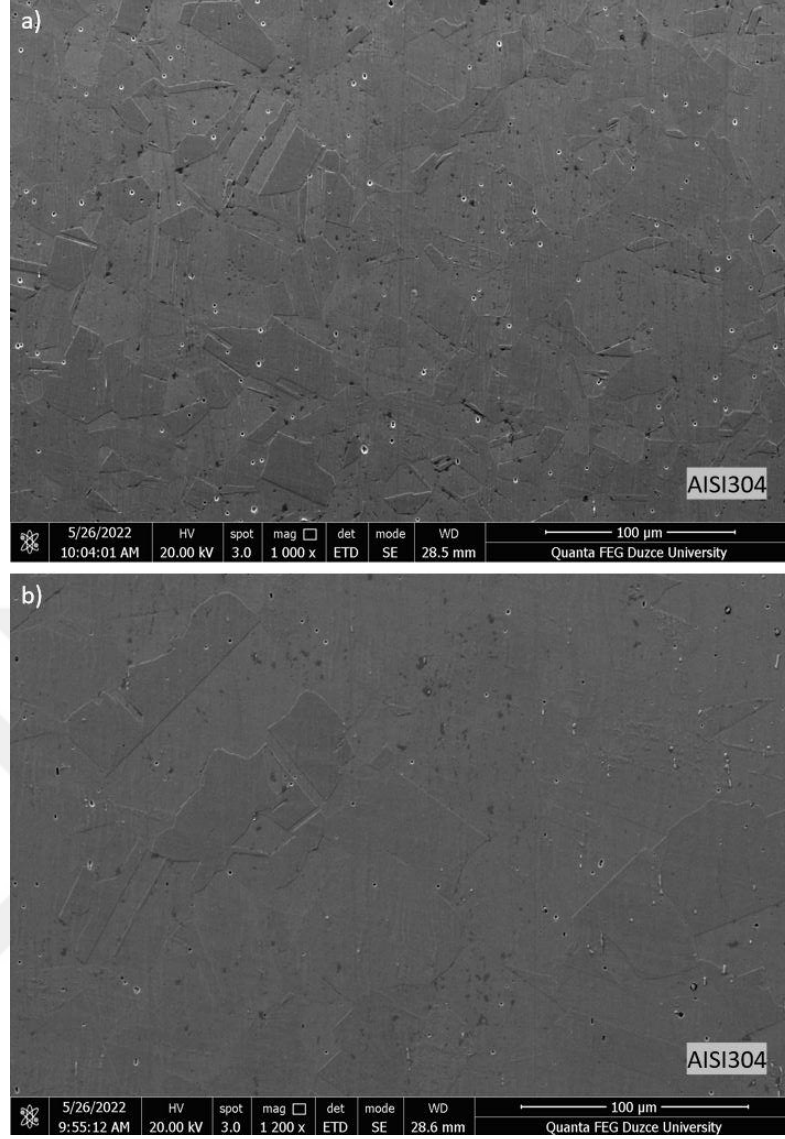
6.2.1. Normal Akım

Şekil 6.17'de kaynak teli olan MI 308LSi malzemesi ile AISI304 ve AISI430 malzemelerinin normal akım yönteminde X1000 büyütmede SEM görüntüleri çekilmiştir. Çekilen SEM görüntüleri incelendiğinde Şekil 6.17.b görselinde görüldüğü üzere güzel bir kaynak nüfuziyeti mevcuttur ve kaynak dikişine yaklaştıkça ısı girdisi sebebiyle tane boyutlarında irileşme görülmektedir. Şekil 6.17.d görselinde görüldüğü üzere AISI430 ile kaynak metali arasında normal akım yönteminde etkili bir kaynak nüfuziyeti mevcut değildir. Aynı şekilde kaynak dikişi bölgesine yaklaştıkça ısı girdisi sebebiyle tane boyutlarında irileşme görülmektedir.



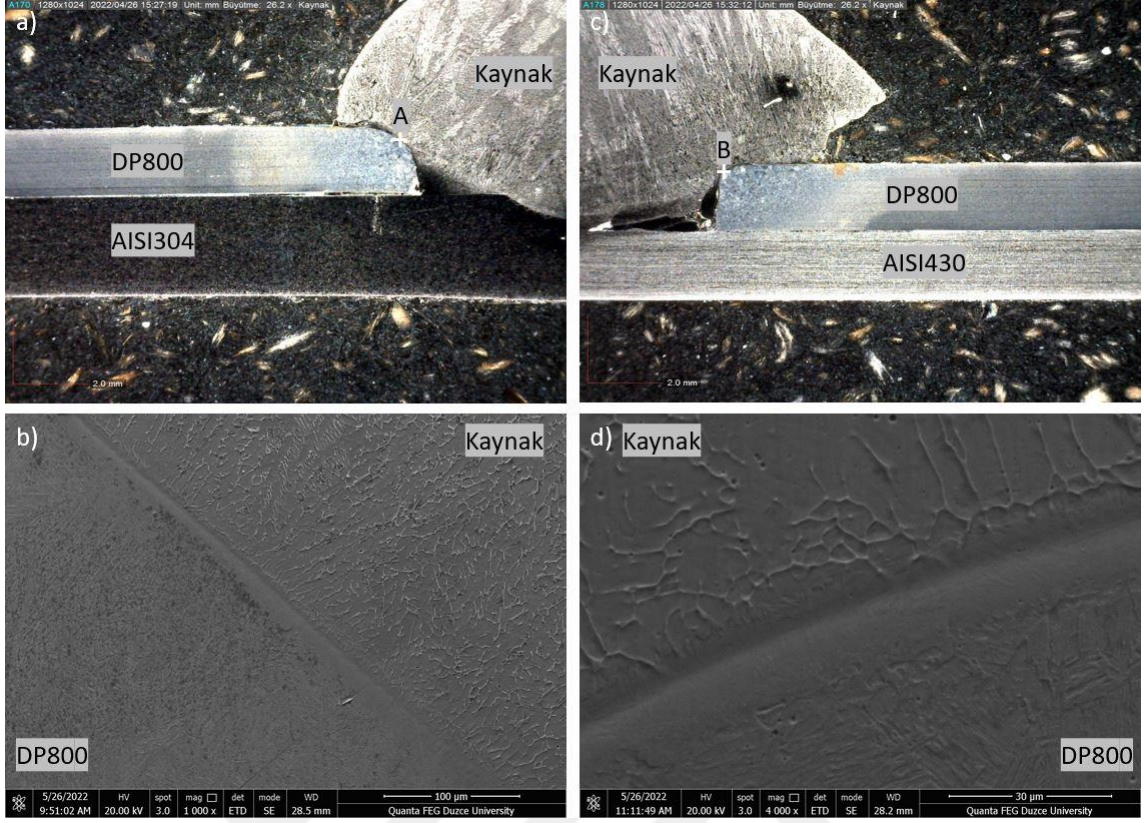
Şekil 6.17. Normal Akım AISI430-AISI304 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) AISI304 Makro Görüntü, b) “A” noktası SEM Görüntüsü, c) AISI430 Makro Görüntü, d) “B” Noktası SEM Görüntüsü.

Şekil 6.18’de AISI304 metaline ait SEM görüntüleri mevcuttur. Burada Şekil 6.18.a görselinde AISI304 malzemesinin normal mikroyapı görüntüsü mevcuttur. Bu görüntüde östenitik tane yapıları görülmektedir. Şekil 6.18.b görselinde ITAB bölgesine girildiğinde ve kaynak dikişine yaklaşıldıkça östenitik tane yapılarında irileşmeler gözlemlenmektedir.



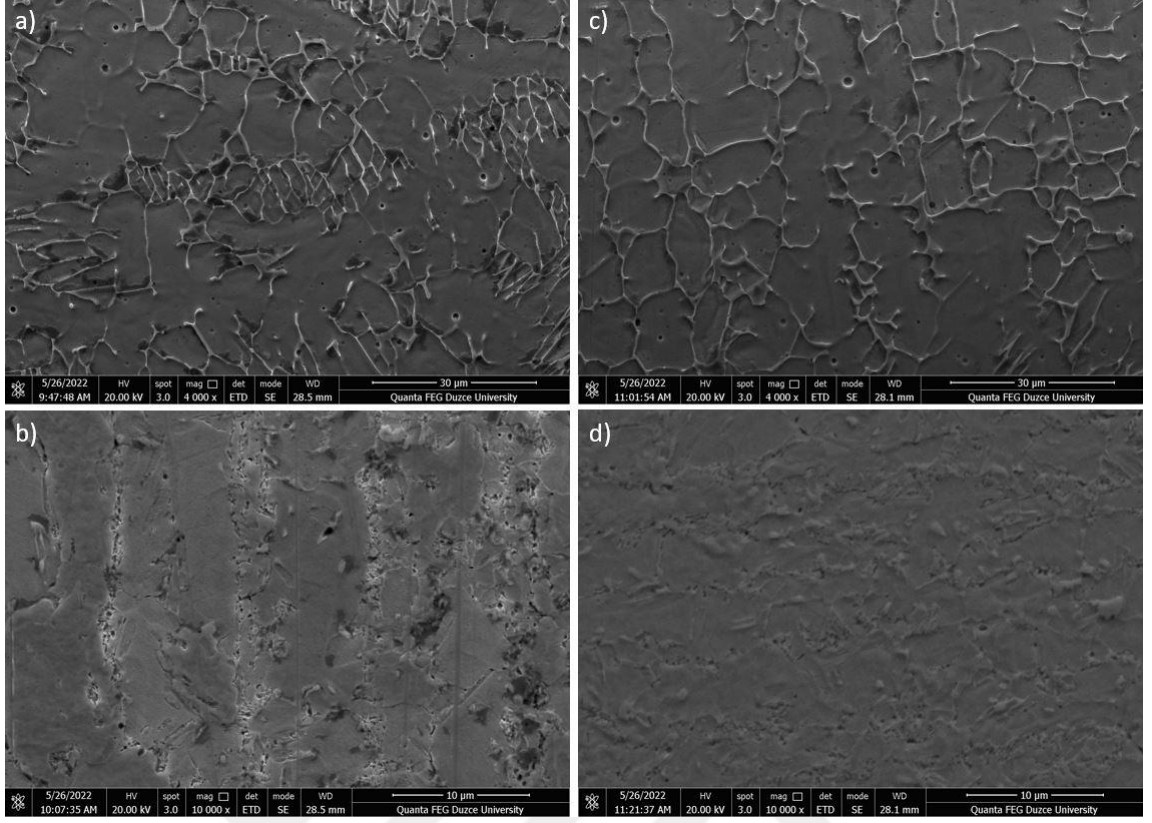
Şekil 6.18. AISI304 SEM Görüntüleri, a) AISI304 Metali SEM Görüntüsü, b) AISI304 ITAB Bölgesi SEM Görüntüsü.

Şekil 6.19’da normal akım yönteminde kaynaklı birleştirme işlemi uygulanan DP800 çeliklerinin SEM ile çekilmiş görüntüleri mevcuttur.



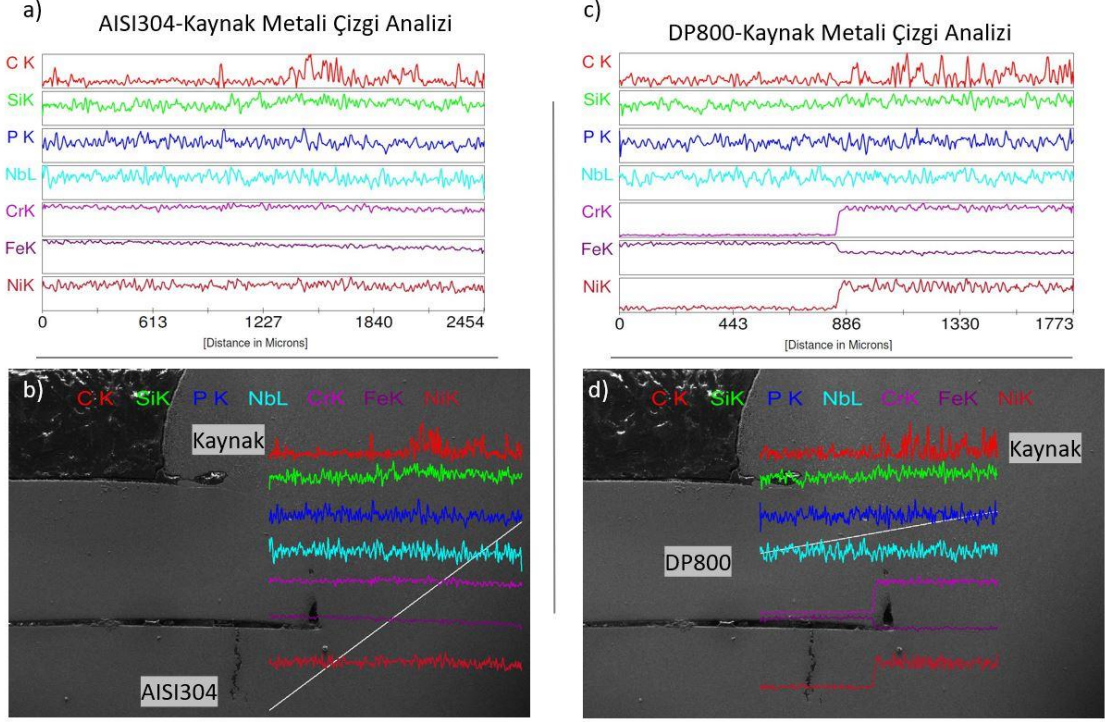
Şekil 6.19. Normal Akım DP800 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) DP800 Makro Görüntü, b) “A” noktası SEM Görüntüsü, c) DP800 Makro Görüntü, d) “B” Noktası SEM Görüntüsü.

Şekil 6.20.b görselinde DP800 ana malzemesinin SEM altında X10000 büyütme kullanılarak çekilen görüntüsü mevcuttur. Şekil 6.20.a, c ve d görsellerinde kaynak metali olan MI 308LSi kaynak telinin X4000 ve X10000 büyütmelerdeki SEM görüntüleri mevcuttur.



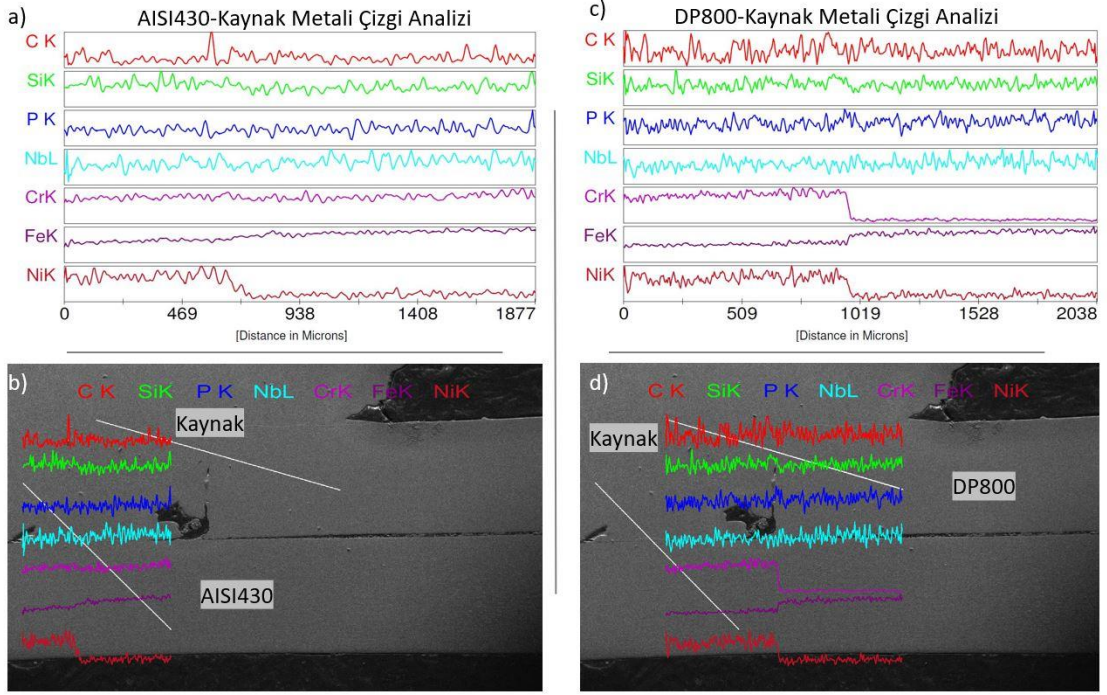
Şekil 6.20. Normal Akım DP800, Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) X4000 Büyütme Kaynak Metali SEM Görüntüsü, b) DP800 X10000 Büyütme SEM Görüntüsü, c) X4000 Büyütme Kaynak Metali SEM Görüntüsü, d) X10000 Büyütme Kaynak Metali SEM Görüntüsü.

Şekil 6.21 ve Şekil 6.22’de AISI304-Kaynak metali, AISI430-Kaynak metali malzemeleri için çizgi analizlerinin grafikleri ve görselleri mevcuttur. Şekil 6.21’de DP800 malzemesinden kaynak metali olan MI 308LSi metaline doğru ilerledikçe nikel, krom ve karbon oranlarında belirli bir artış, demir oranında kaynak metaline geçildiğinde bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. AISI304 ile MI 308LSi kaynak metali element içeriği olarak birbirlerine yakın oradadırlar.



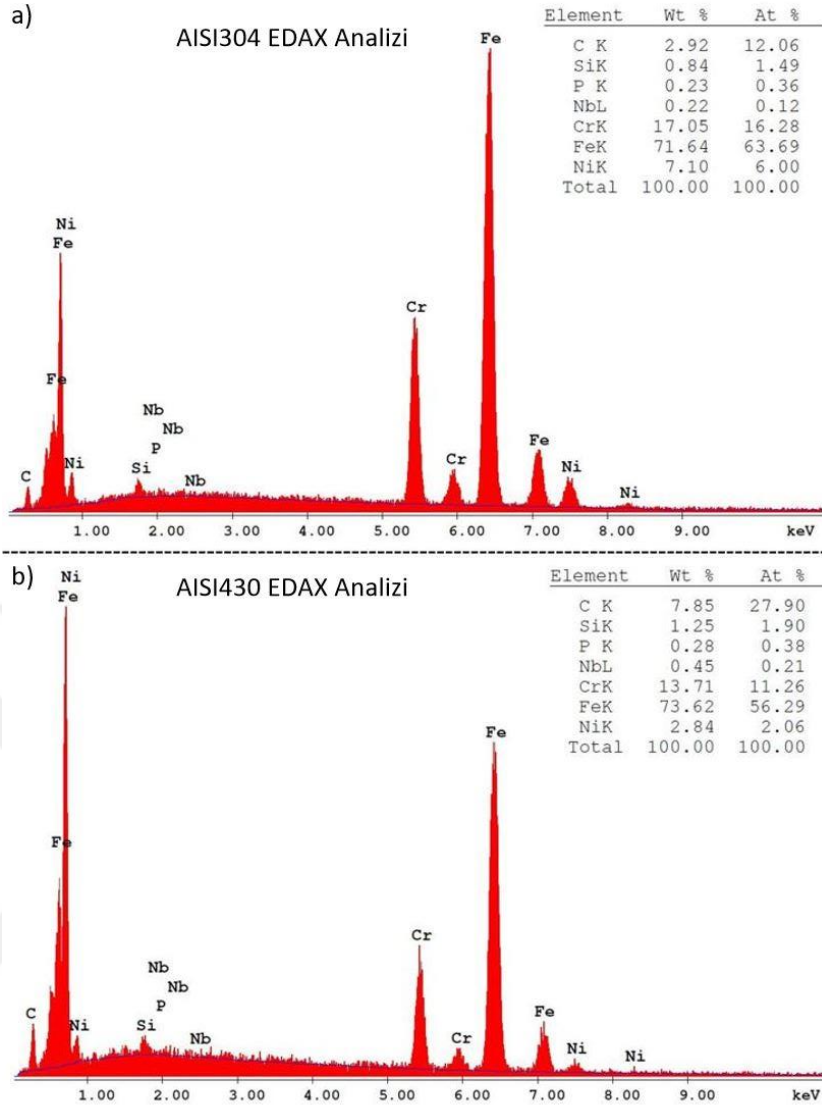
Şekil 6.21. Normal Akım AISI304, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI304 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI304 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli.

Şekil 6.22’de kaynak metali olan MI 308LSi malzemesinden AISI430 metaline geçişte nikel oranında düşüş ve demir oranında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Kaynak metalinden DP800 malzemesine geçişte nikel ve krom oranlarında düşüş, demir oranında artış gözlemlenmiştir.



Şekil 6.22. Normal Akım AISI430, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI430 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI430 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli.

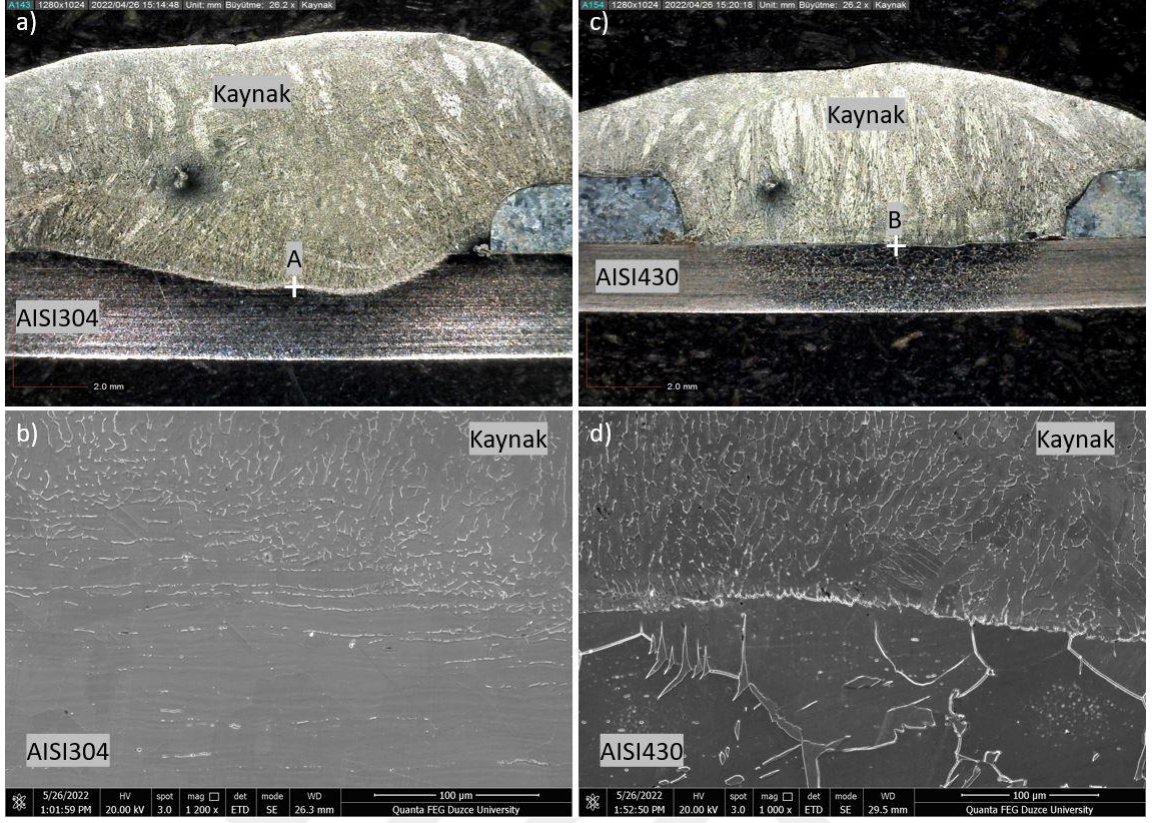
Şekil 6.23’de AISI304 ve AISI430 malzemeleri normal akımda plug kaynağı için EDAX analizinin sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.23. Normal Akım EDAX Analizi, a) AISI304 EDAX, b) AISI430 EDAX.

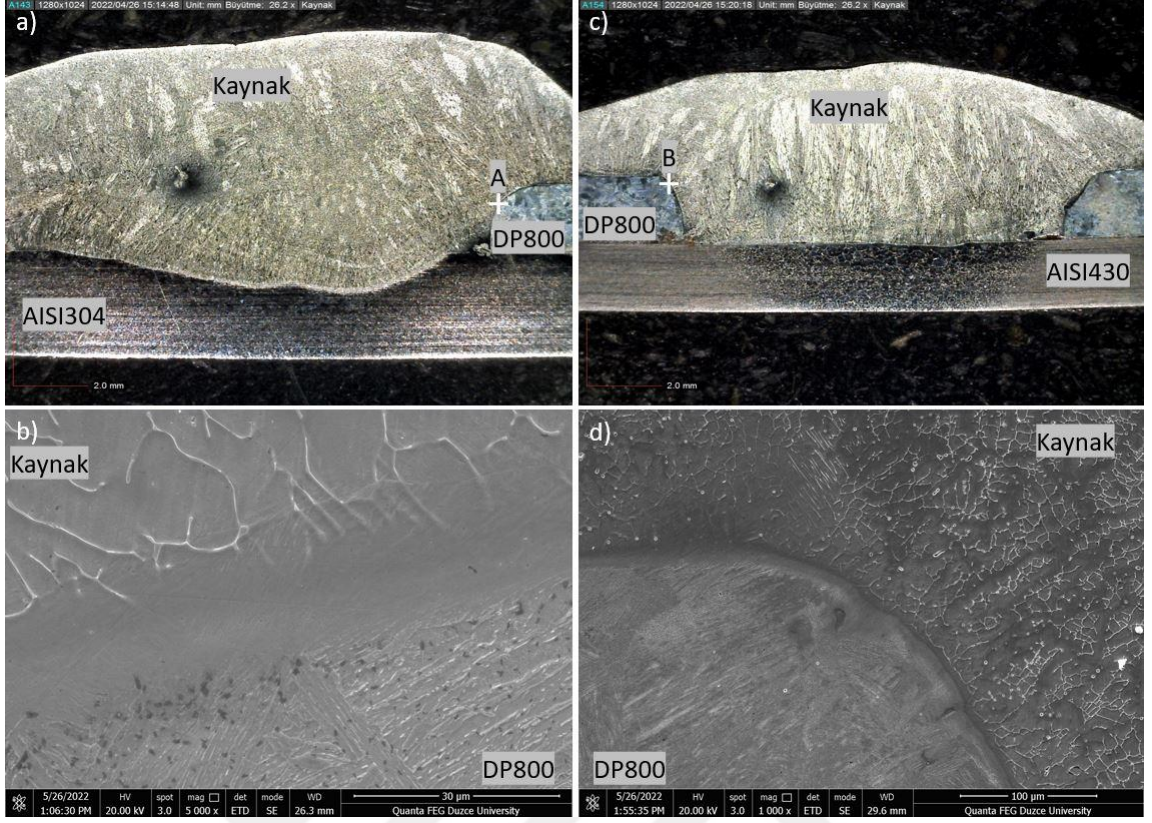
6.2.2. Pulse Akım

Şekil 6.24’de pulse akım yöntemi kullanılarak yapılan MIG plug kaynağının AISI304 ve AISI430 malzemesi ile kaynak metali olan MI 308LSi malzemesi arasındaki kaynak dikişinin SEM görüntüleri mevcuttur.



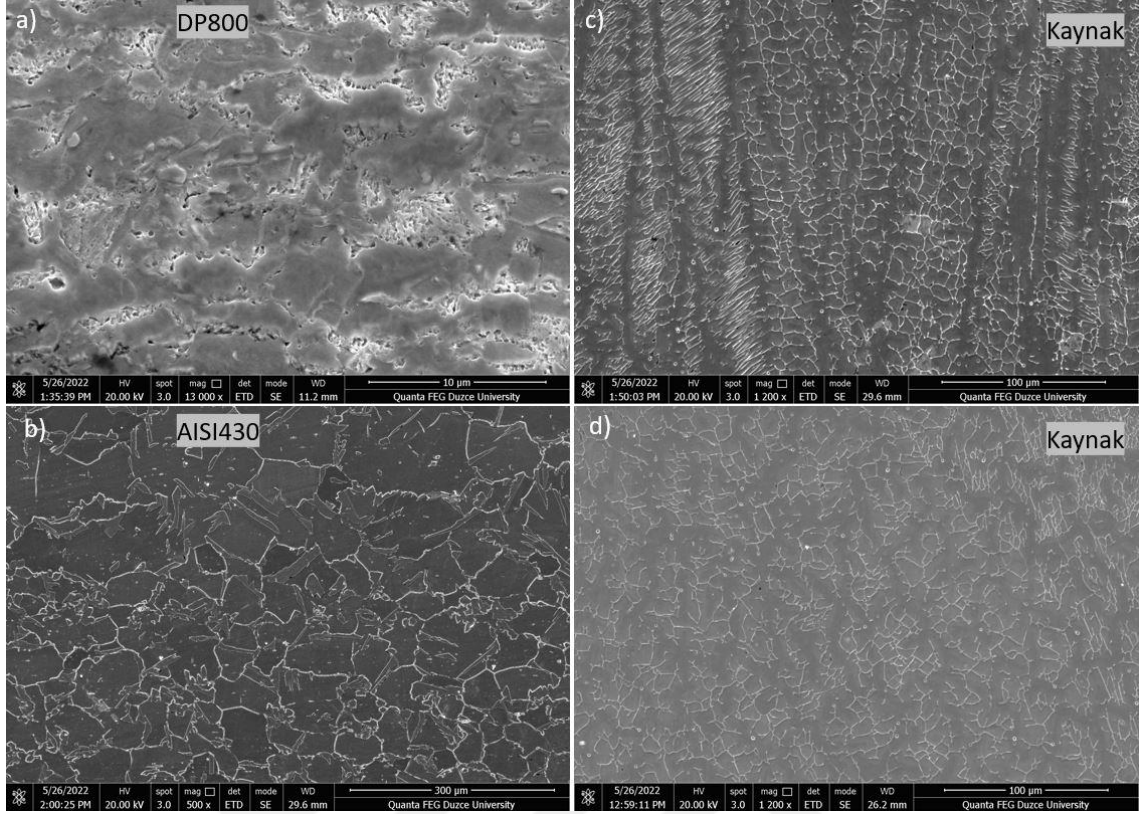
Şekil 6.24. Pulse Akım AISI430-AISI304 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) AISI304 Makro Görüntü, b) “A” noktası SEM Görüntüsü, c) AISI430 Makro Görüntü, d) “B” Noktası SEM Görüntüsü.

Şekil 6.25’de pulse akım yönteminde DP800 malzemesi ile kaynak metali arasındaki kaynak dikişinin X1000 ve X5000 büyütmelerdeki SEM görselleri mevcuttur.



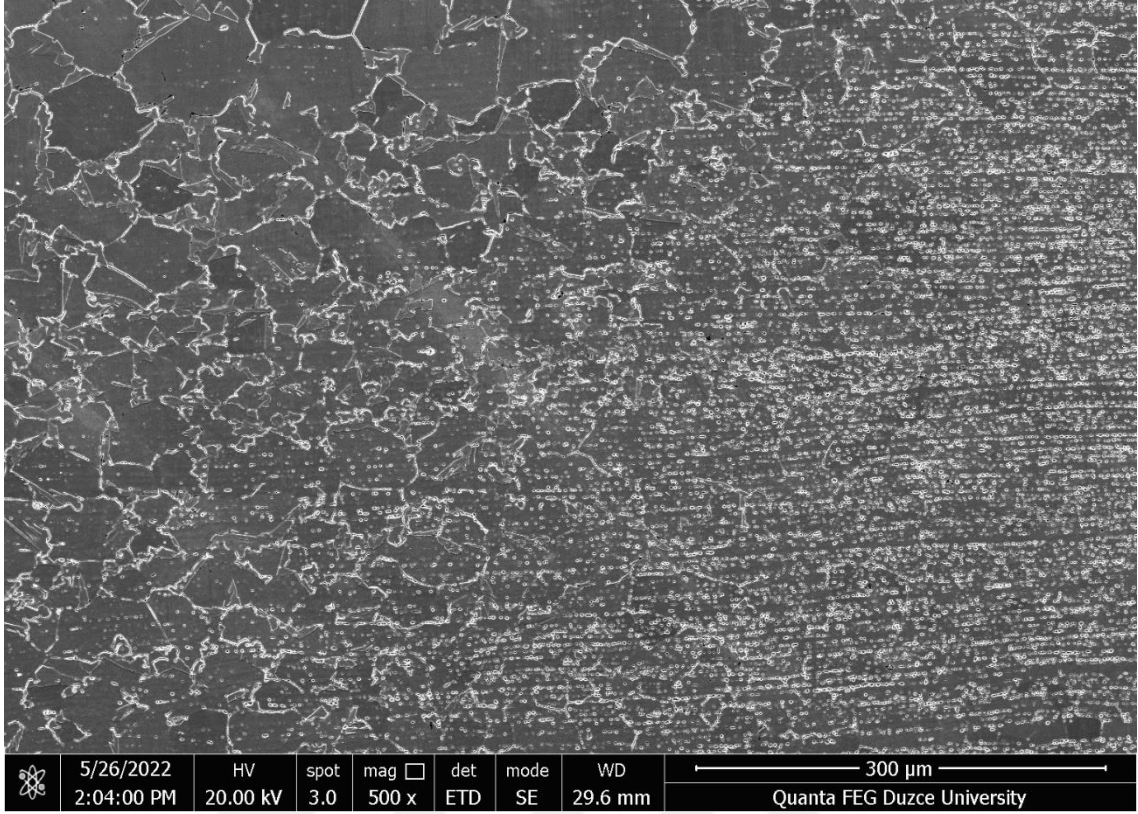
Şekil 6.25. Pulse Akım DP800 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) DP800 Makro Görüntü, b) “A” noktası SEM Görüntüsü, c) DP800 Makro Görüntü, d) “B” Noktası SEM Görüntüsü.

Şekil 6.26.a’da DP800 görselinin X13000 büyütmede SEM görüntüsü, Şekil 6.26.b görselinde AISI430 metalinin SEM görüntüsü, Şekil 6.26.c ve d görselinde kaynak metali olan MI 308LSi malzemesinin X1200 büyütmede SEM görüntüleri mevcuttur.



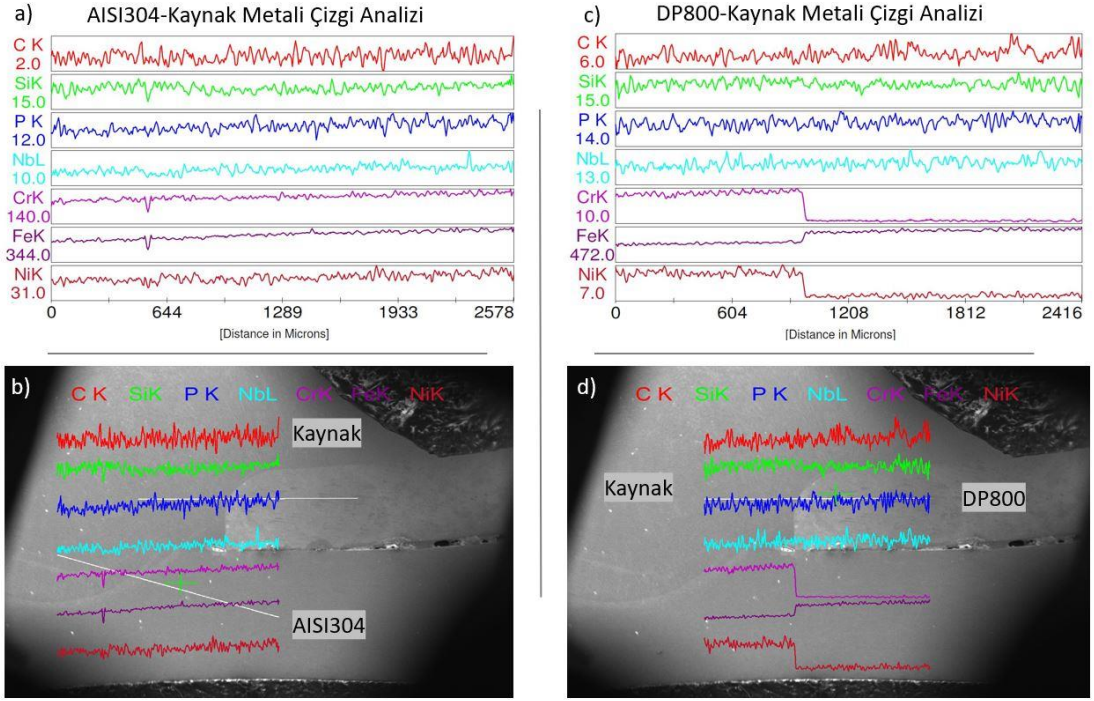
Şekil 6.26. Pulse Akım DP800, AISI430 ve Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) DP800 X13000 Büyütme SEM Görüntüsü, b) AISI430 SEM Görüntüsü, c) Kaynak Metali SEM Görüntüsü, d) Kaynak Metali SEM Görüntüsü.

Şekil 6.27’de pulse akım yönteminde AISI430 metalinin ana malzemedan ısı tesiri altındaki bölgeye geçişinin ve tane yapılarının SEM görüntüsü mevcuttur. Net olarak görüldüğü üzere kaynak dikişine yaklaştıkça ısı girdisi nedeniyle tane boyutlarında irileşmeler görülmektedir.



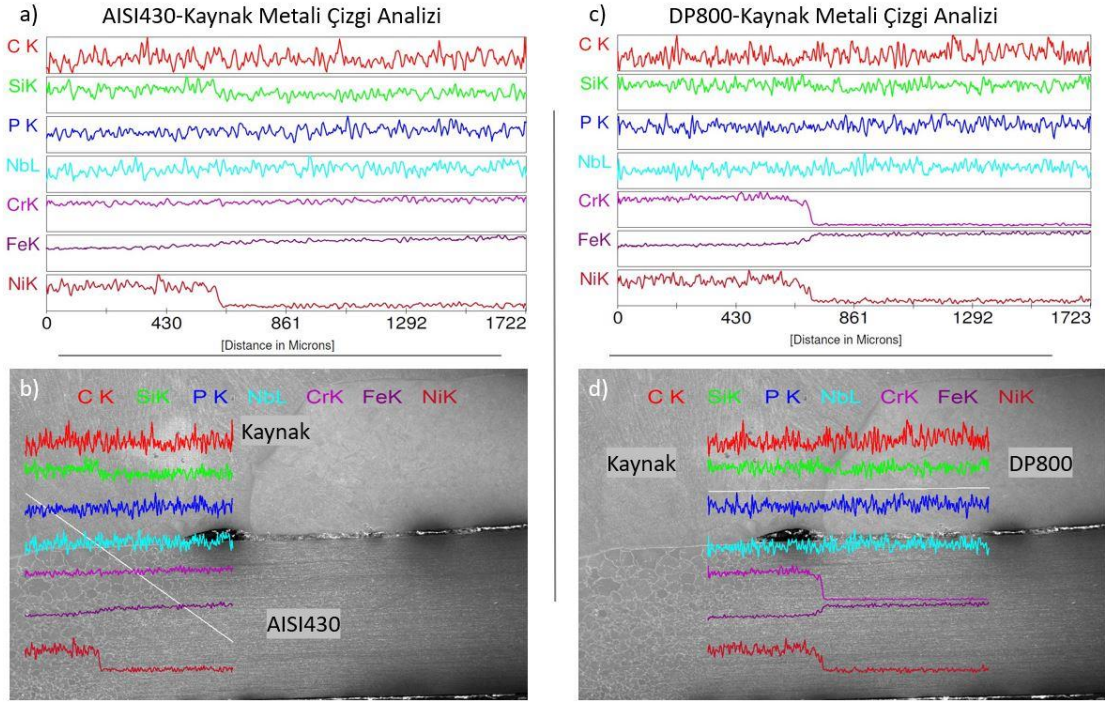
Şekil 6.27. Pulse Akım AISI430 ITAB Geçışı SEM Görüntüsü.

Şekil 6.28 ve Şekil 6.29'da AISI304-Kaynak metali, AISI430-Kaynak metali malzemeleri için çizgi analizlerinin grafikleri ve görselleri mevcuttur. Şekil 6.28'de kaynak metali olan MI 308LSi malzemesinden AISI304 malzemesine geçişte demir ve krom oranların az bir miktar artış gözlemlenmiştir. Kaynak metalinden DP800 malzemesine geçişte krom ve nikel oranında düşüş ve demir oranında artışlar gözlemlenmiştir.



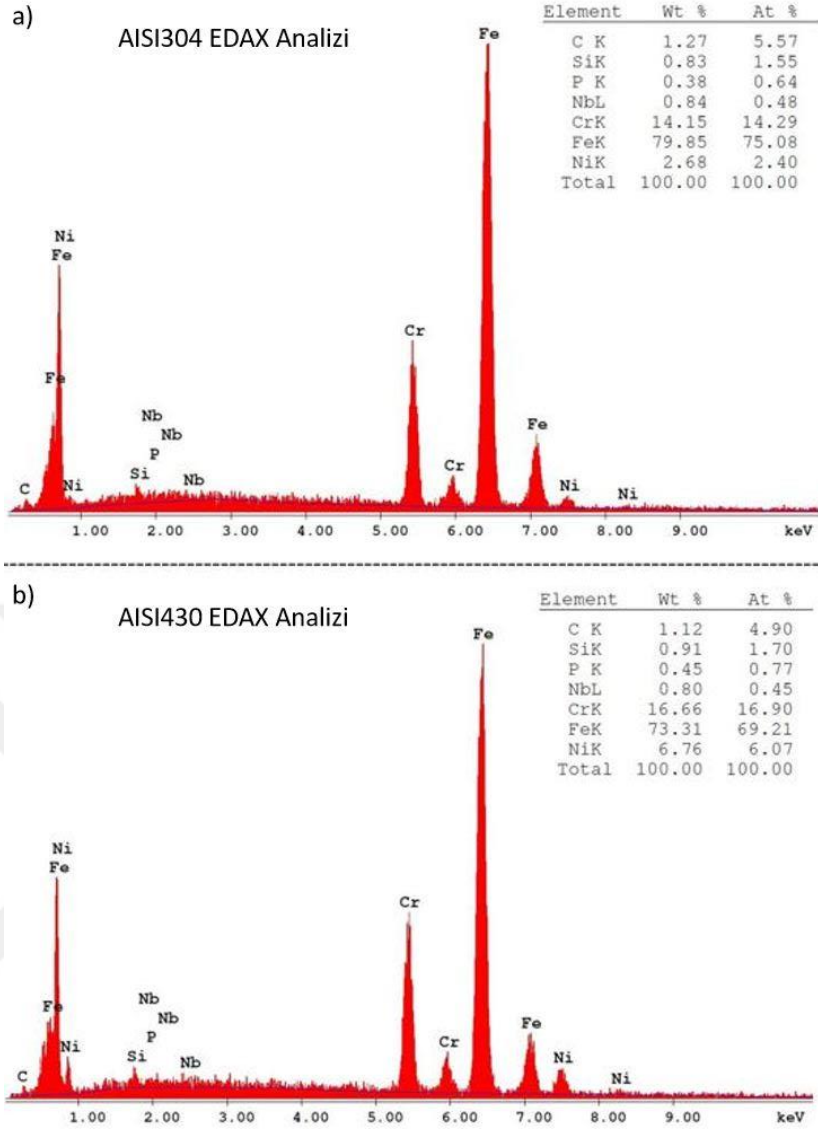
Şekil 6.28. Pulse Akım AISI304, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI304 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI304 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli.

Şekil 6.29’da kaynak metali MI 308LSi malzemesinden AISI430 metaline geçişte nikel oranında düşüş, demir oranında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Kaynak metalinden DP800 malzemesine geçişte önceki analizlerdeki gibi krom ve nikel oranında düşüş ve demir oranında bir miktar artış gözlemlenmiştir.



Şekil 6.29. Pulse Akım AISI430, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI430 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI430 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli.

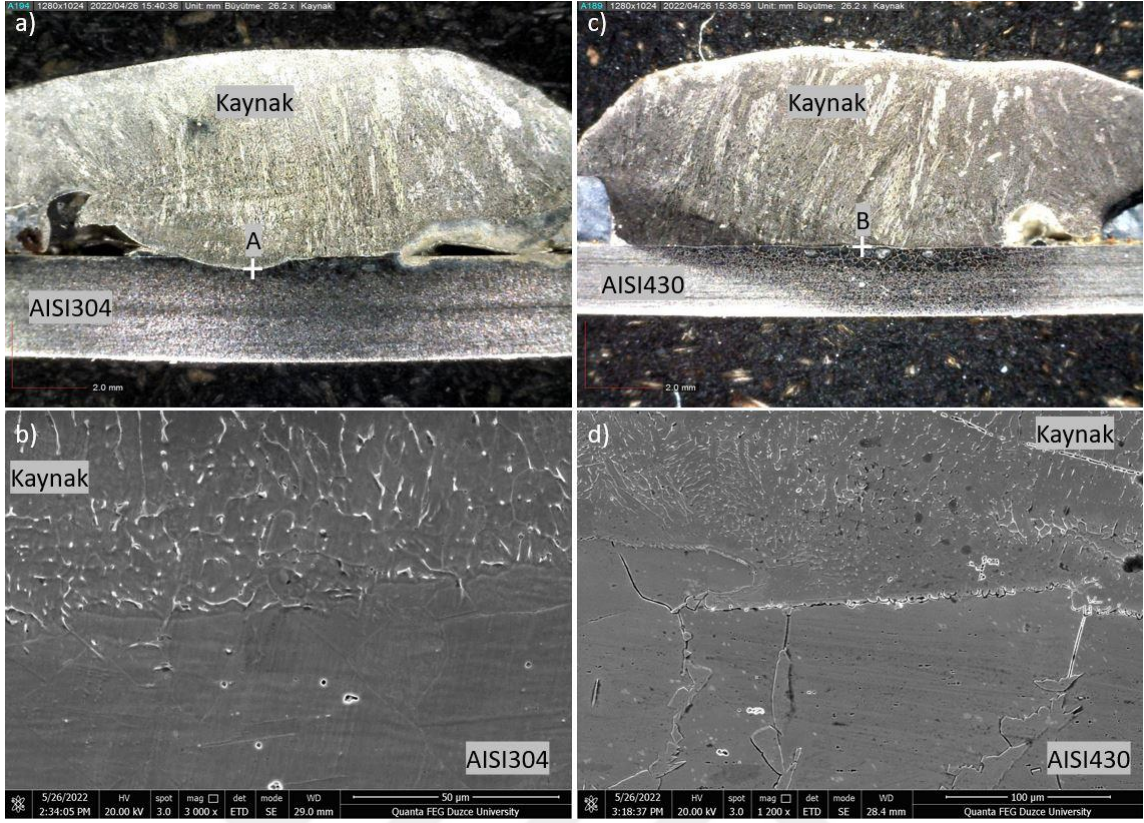
Şekil 6.30 AISI304 ve AISI430 malzemeleri pulse akımda plug kaynağı için EDAX analizinin sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.30.Pulse Akım EDAX Analizi, a) AISI304 EDAX, b) AISI430 EDAX.

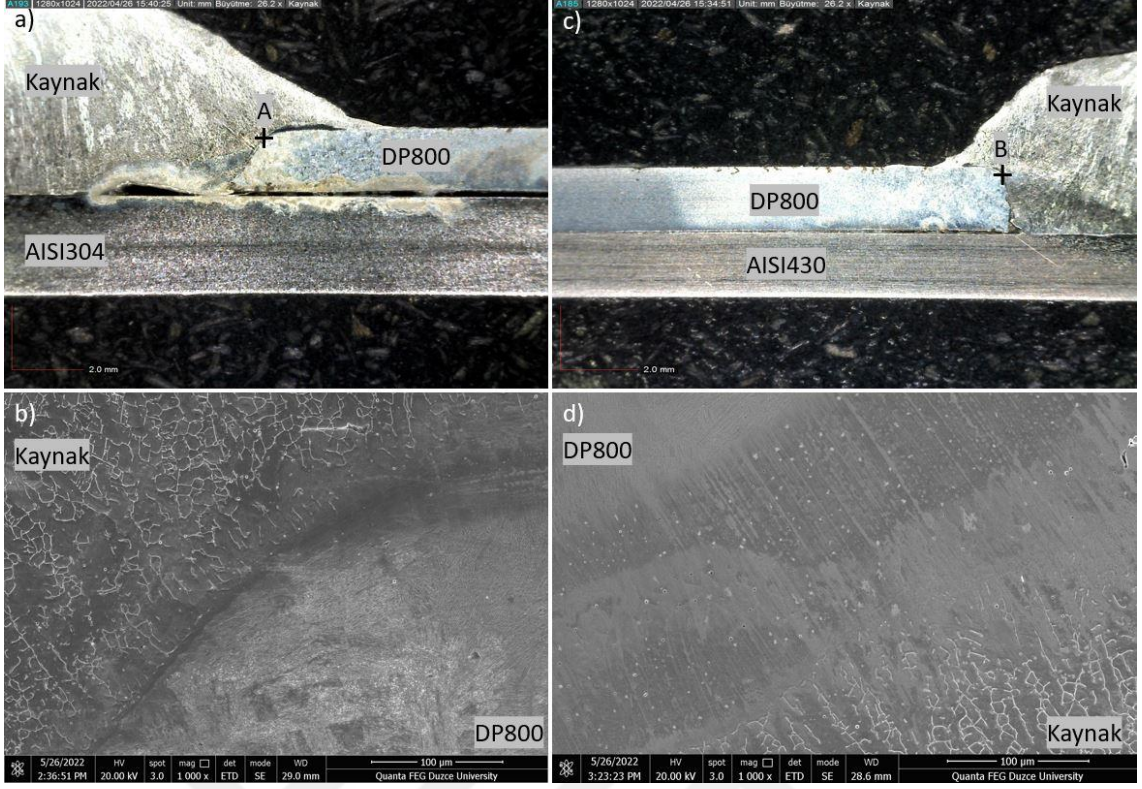
6.2.3. Double Pulse Akım

Şekil 6.31’de double pulse akım yöntemi kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmenin AISI430 ve AISI304 metalleri ile kaynak metalı olan MI 308LSi metalinin kaynak dikişi bölgesinin SEM görüntüleri mevcuttur.



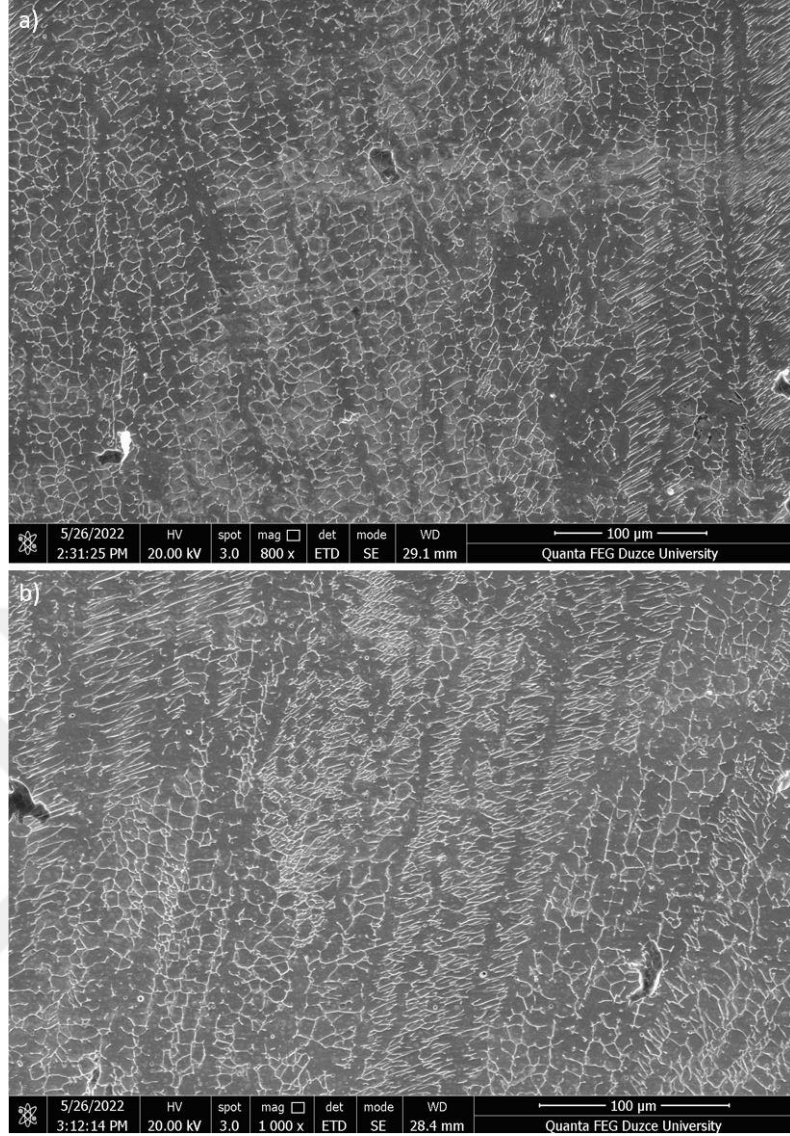
Şekil 6.31. Double Pulse Akım AISI430-AISI304 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) AISI304 Makro Görüntü, b) “A” noktası SEM Görüntüsü, c) AISI430 Makro Görüntü, d) “B” Noktası SEM Görüntüsü.

Şekil 6.32’de double pulse akım yöntemiyle yapılan DP800 ile MI 308LSi metallerinin kaynak dişinin SEM görüntüsü mevcuttur.



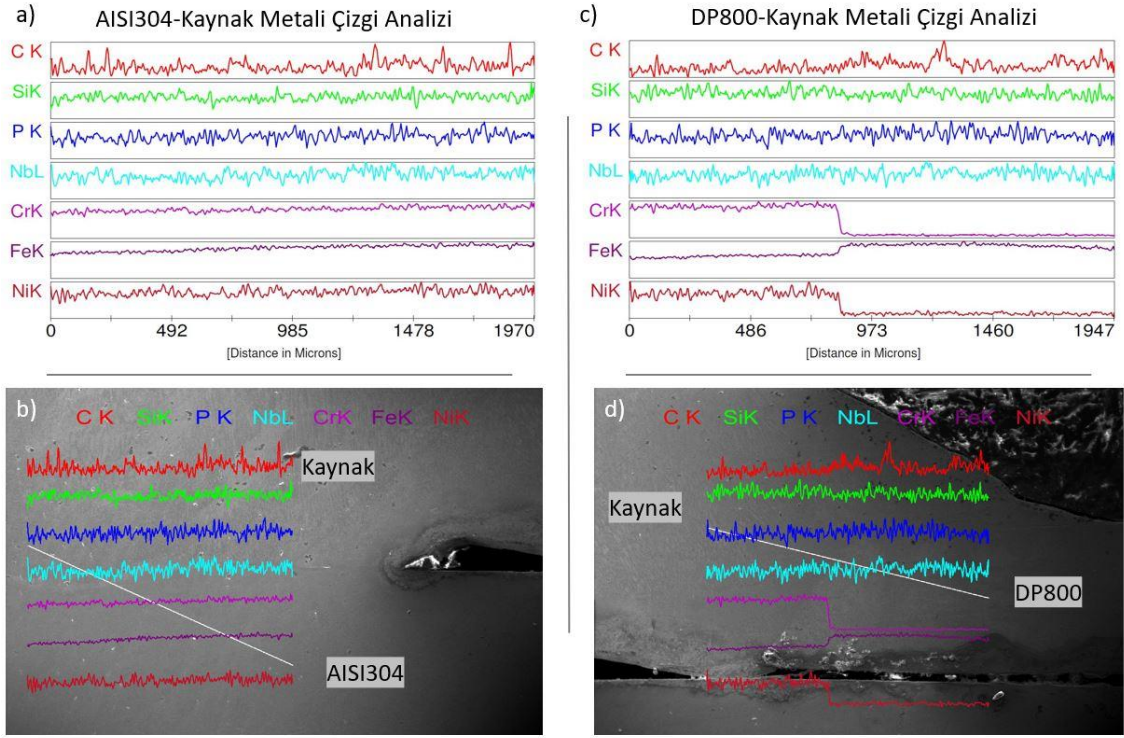
Şekil 6.32. Double Pulse Akım DP800 Kaynak Dikişi SEM Görüntüleri, a) DP800 Makro Görüntü, b) “A” noktası SEM Görüntüsü, c) DP800 Makro Görüntü, d) “B” Noktası SEM Görüntüsü.

Şekil 6.33’de double pulse akım yönteminde kaynak metali olan MI 308LSi malzemesinin kaynaklı birleştirme işlemi sonrasında mikroyapısının X800 ve X1000 büyütmelerde SEM görüntüleri mevcuttur.



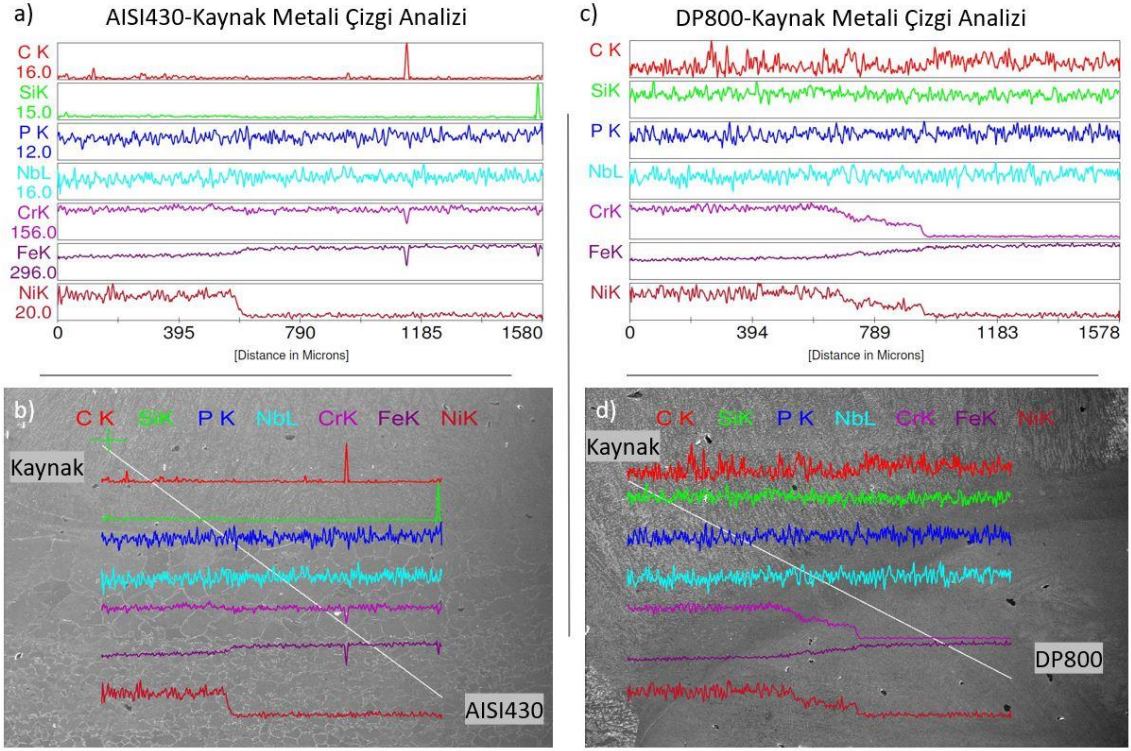
Şekil 6.33. Double Pulse Akım Kaynak Metali SEM Görüntüleri, a) X800 Büyütme, b) X1200 Büyütme.

Şekil 6.34 ve Şekil 6.35’de AISI304-Kaynak metali, AISI430-Kaynak metali malzemeleri için çizgi analizlerinin grafikleri ve görselleri mevcuttur. Şekil 6.34’de kaynak metalinden AISI304 malzemesine geçişte demir ve krom oranında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Kaynak metalinden DP800 malzemesine geçişte demir oranında artış, krom ve nikel oranında düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 6.34. Double Pulse Akım AISI304, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI304 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI304 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli.

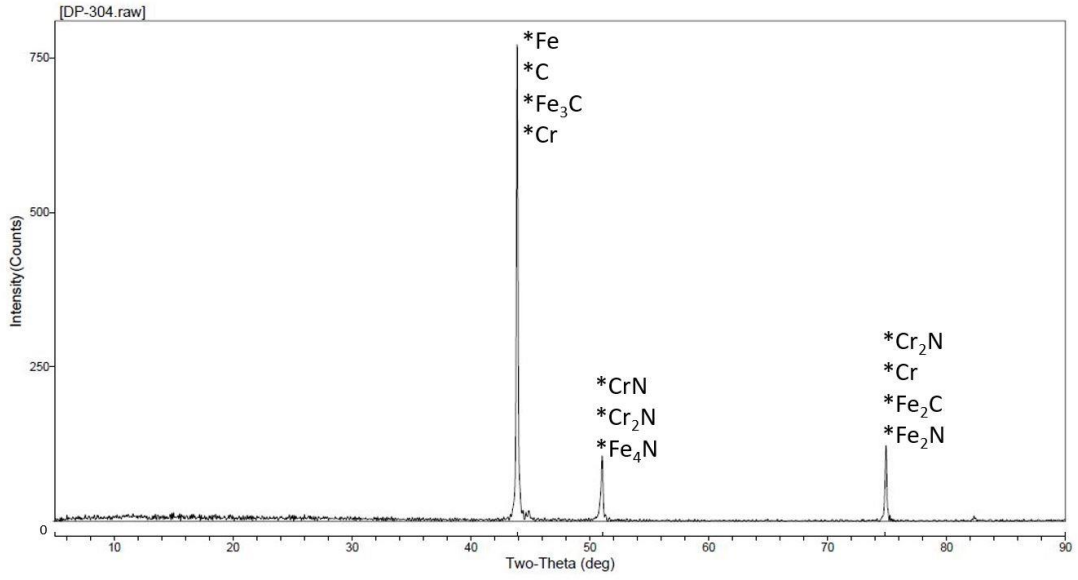
Şekil 6.35’de kaynak metali olan MI 308LSi malzemesinden AISI430 metaline geçişte demir oranında ufak oranlarda artış ve nikel oranında bariz bir düşüş gözlemlenmiştir. Grafiğin karbon ve silisyum bölümlerindeki ani piklerin sebebi olarak bakalit ve zımpara kalıntıları olduğu düşünülmüştür. Kaynak metalinden DP800 metaline geçişte krom ve nikel oranlarında düşüş, demir oranlarında az bir miktar artış gözlemlenmiştir.



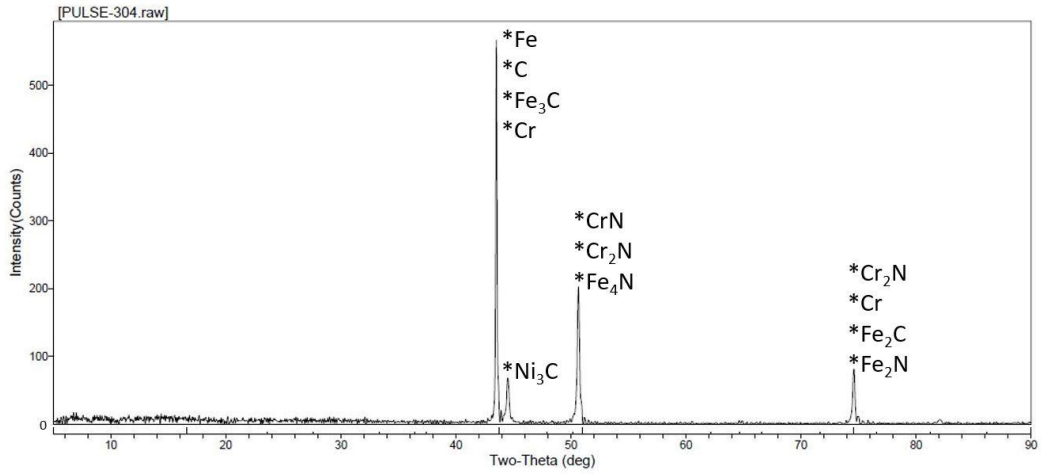
Şekil 6.35. Double Pulse Akım AISI430, DP800 ve Kaynak Metali EDS Çizgi Analizi, a) AISI430 Çizgi Analizi Grafiği, b) AISI430 Çizgi Analizi Görseli, c) DP800 Çizgi Analizi Grafiği, d) DP800 Çizgi Analizi Görseli.

6.3. XRD ANALİZİ SONUÇLARI

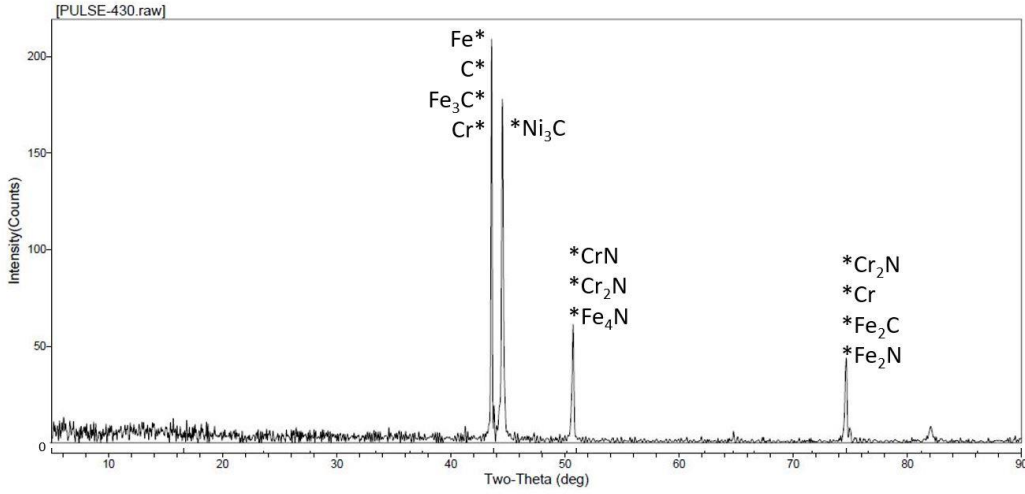
XRD analizleri Şekil 5.11'de görseli bulunan Rigaku marka XRD analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen veriler MDI Jade 7 programı kullanılarak çözümlenmiştir. Elde edilen veriler double pulse akım DP800-AISI304 malzemeleri için Şekil 6.36'da pulse akım DP800-AISI304 için Şekil 6.37'de, pulse akım DP800-AISI430 malzemeleri içinde Şekil 6.38'de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 6.36. Double Pulse Akım DP800-AISI304 XRD Analiz Sonucu.



Şekil 6.37. Pulse Akım DP800-AISI304 XRD Analiz Sonucu.

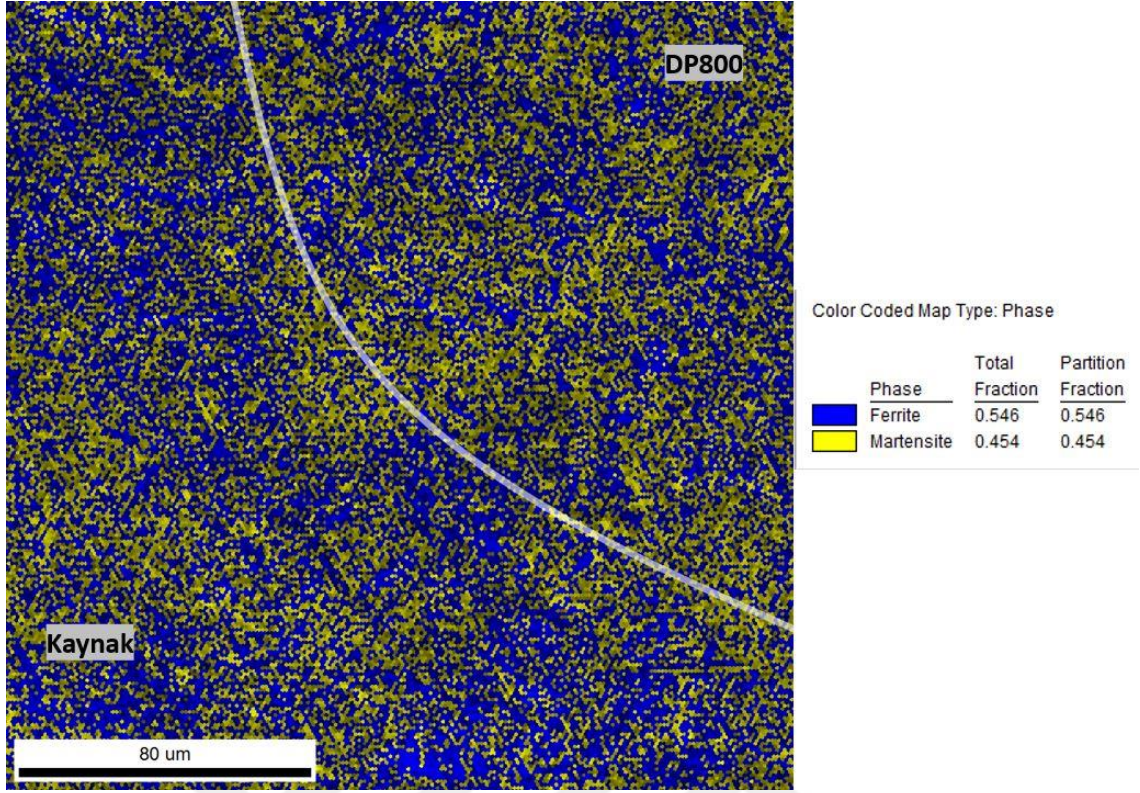


Şekil 6.38. Pulse Akım DP800-AISI430 XRD Analiz Sonucu.

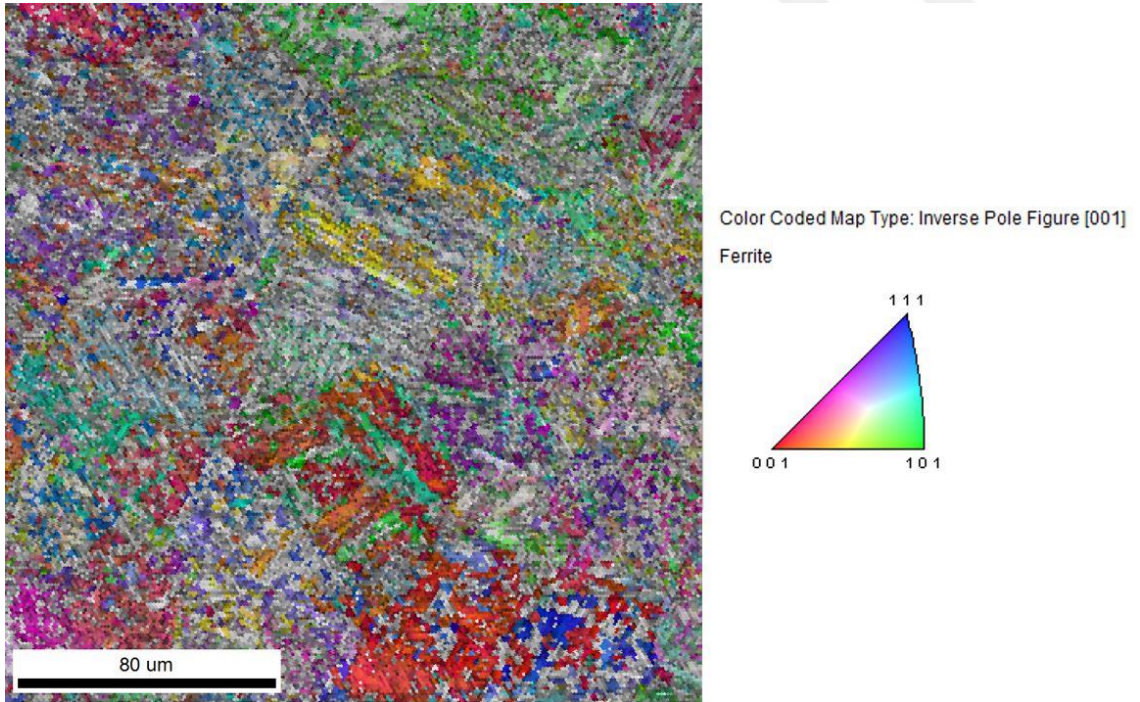
Yukarıdaki analiz sonuçlarında görüldüğü gibi malzemelerin içeriklerinde bulunan elementlerden farklı bir elemente rastlanmamıştır. Bu veriler EDAX analizleri ile doğrulanmıştır. Burada pulse akım ve double pulse akım yöntemlerinde bütün malzeme çiftlerinde Fe₃C (Demir Karbür) oluşumları olduğu gözlemlenmiştir. Pulse akım yönteminde Ni₃C (Nikel Karbür) oluşumları gözlemlenirken double pulse akım yönteminde bu oluşum eser miktarda olduğu görülmüştür.

6.4. EBSD ANALİZİ SONUÇLARI

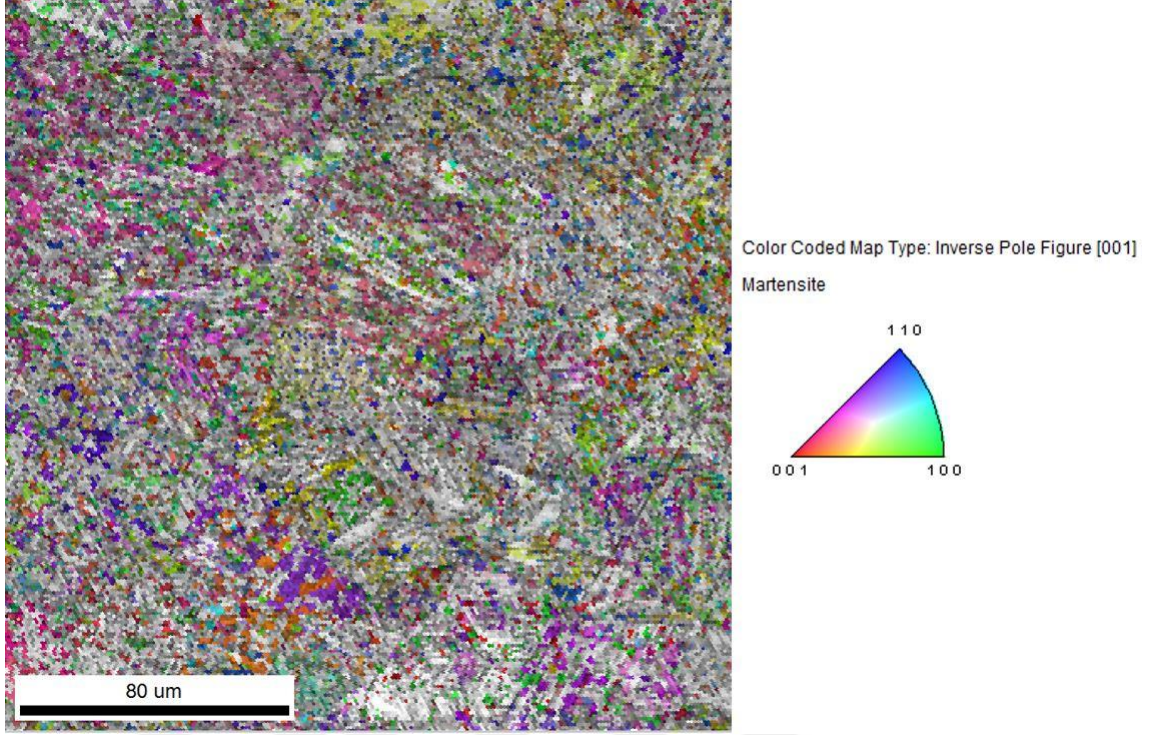
EBSD analizleri Şekil 5.12’de görseli bulunan Quanta marka SEM cihazı ve sensörü kullanılarak yapılmıştır. Analiz işlemi için kaynak dikişi bölgesi ayarlanmıştır ve analizde belirlenmek istenilen faz çeşitleri seçilmiştir. Daha sonrasında taranacak bölgede farklı noktalarda bu fazlar için uygun örüntü oluşup oluşmadığı kontrol edilmiştir. Örüntü elde edildikten sonra belirlenen bölge taranmaya başlanmıştır. Tarana sonucu elde edilen veriler TSL OIM Data Collection 7 programı kullanılarak çözümlenmiştir. Pulse akım DP800-AISI304 malzemesi için elde edilen faz haritası Şekil 6.39’da gösterilmiştir.



Şekil 6.39. Pulse Akım DP800-AISI304 EBSD Faz Haritası Sonucu.



Şekil 6.40. Pulse Akım DP800-AISI304 Ferrit İçin Ters Kutup Figürleri Haritalaması.



Şekil 6.41. Pulse Akım DP800-AISI304 Martensite İçin Ters Kutup Figürleri Haritalaması.

Şekil 6.40'da pulse akım yöntemiyle birleştirilmiş DP800-AISI304 malzeme çiftinin kaynak dikişi bölgesinde ferritik yapıların $\langle 001 \rangle$ - $\langle 101 \rangle$ - $\langle 111 \rangle$ düzlemleri olmak üzere üç düzleme içinde yer yer keskin yönelimler olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6.41'de aynı bölgenin martensitik yapıları için ters kutup figürleri haritalaması sonucunda ağırlıklı olarak $\langle 110 \rangle$ - $\langle 100 \rangle$ düzlemlerine ve bu iki düzlemin ortasına doğru yönelmeler olduğu gözlemlenmiştir.

6.5. MİKRO SERTLİK SONUÇLARI

Mikrosertlik ölçümleri Şekil 5.9'da görseli bulunan Metkon duroline-M mikrosertlik test cihazı ile yapılmıştır. Ölçümler Vickers yönteminde 500gr yük ve 19 saniye parametreleri kullanılarak yapılmıştır.

6.5.1. Normal Akım

Şekil 6.42'de AISI304/AISI430-DP800 malzeme çiftinin MI308LSi kaynak teli ile normal akım MIG plug kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş parçanın numaralandırılmış mikrosertlik ölçümü noktaları mevcuttur.



Şekil 6.42.Normal Akım AISI304/AISI430-DP800 Mikrosertlik Ölçüm Noktaları.

Vickers yöntemiyle 500gr ağırlık ve 19 saniye bekleme süresi kullanılarak normal akım AISI304-DP800 malzemelerine yapılan test sonucunda elde edilen değerler Çizelge 6.1’de tablo halinde verilmiştir. Aynı parametrelerde normal akım AISI430-DP800 malzemelerine yapılan mikrosertlik ölçümlerinin sonuçları Çizelge 6.2’de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.1. Normal Akım AISI304-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.

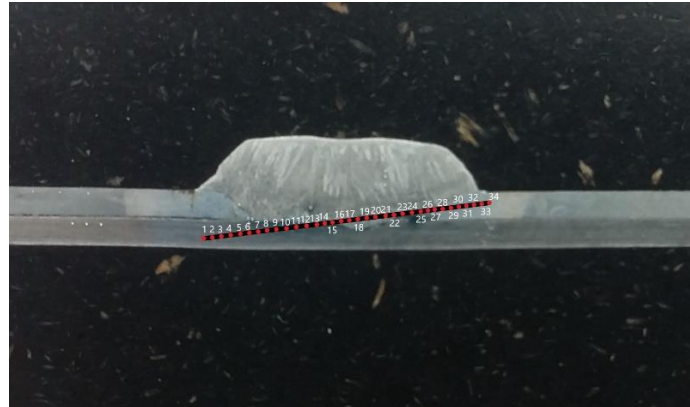
Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)
1	274,4	10	176,6	19	182,6
2	267,6	11	179,5	20	192,0
3	252,0	12	181,4	21	192,1
4	311,4	13	180,2	22	195,4
5	374,9	14	189,8	23	198,7
6	196,4	15	193,5	24	199,5
7	193,7	16	198,7	25	204,8
8	185,7	17	184,1	26	205,6
9	183,2	18	182,2	27	209,9

Çizelge 6.2. Normal Akım AISI430-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.

Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)
1	245,4	10	172,7	19	209,7
2	251,3	11	186,0	20	204,8
3	253,3	12	183,7	21	200,3
4	373,3	13	185,6	22	192,7
5	384,1	14	189,4	23	185,4
6	210,7	15	195,3	24	170,4
7	209,8	16	210,7	25	160,4
8	201,7	17	212,7	26	156,1
9	195,4	18	211,7	27	150,8

6.5.2. Pulse Akım

Şekil 6.43’de AISI304/AISI430-DP800 malzeme çiftinin MI308LSi kaynak teli ile pulse akım MIG plug kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş parçanın numaralandırılmış mikrosertlik ölçümü noktaları mevcuttur.



Şekil 6.43.Pulse Akım AISI304/AISI430-DP800 Mikrosertlik Ölçüm Noktaları.

Vickers yöntemiyle 500gr ağırlık ve 19 saniye bekleme süresi kullanılarak pulse akım AISI304-DP800 malzemelerine yapılan test sonucunda elde edilen değerler Çizelge 6.3’de tablo halinde verilmiştir. Aynı test parametreleri kullanılarak pulse akım AISI430-DP800 malzemelerine yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucunda elde edilen değerler Çizelge 6.4’de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.3. Pulse Akım AISI304-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.

Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)
1	188,5	13	216,8	25	197,8
2	185,0	14	218,6	26	207,8
3	183,4	15	213,6	27	212,9
4	187,8	16	210,5	28	373,4
5	191,5	17	197,9	29	352,6
6	189,4	18	192,5	30	316,6
7	193,6	19	189,7	31	300,5
8	196,7	20	179,9	32	284,5
9	201,5	21	186,6	33	267,9
10	208,6	22	185,9	34	251,3
11	212,5	23	187,9		
12	217,7	24	188,7		

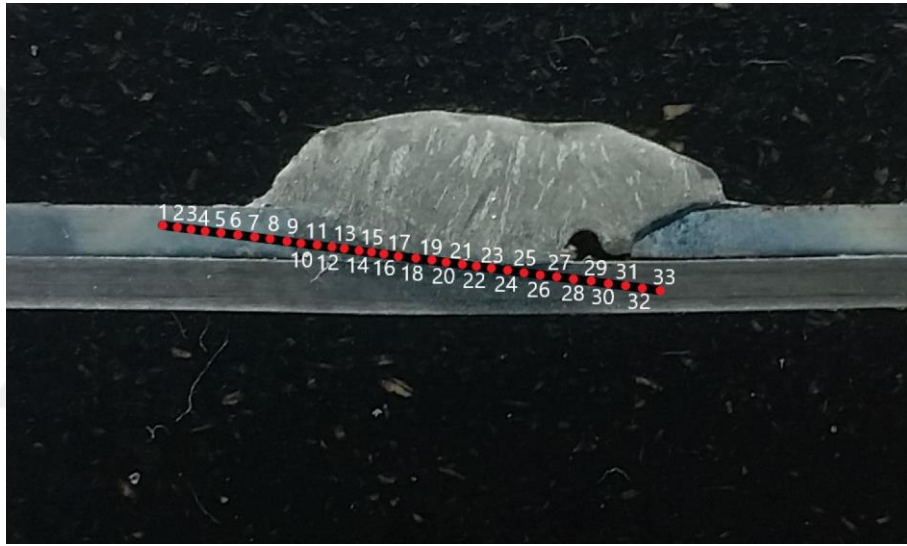
Çizelge 6.4. Pulse Akım AISI430-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.

Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)
1	150,7	13	207,7	25	211,7
2	153,8	14	208,4	26	236,6
3	155,4	15	249,8	27	246,7
4	162,9	16	220,4	28	356,6
5	164,5	17	214,8	29	312,9
6	160,4	18	206,4	30	308,9
7	172,6	19	195,6	31	287,7
8	168,9	20	188,2	32	270,8
9	182,7	21	181,4	33	251,4
10	186,5	22	188,0	34	251,3
11	189,8	23	200,7		
12	204,8	24	199,3		

Yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucunda ana malzeme sertlikleri kaynak dikişine doğru yakınlıklaştıkça ısı girdisi sebebiyle tane yapılarının irileşmesine bağlı olarak sertlik değerlerinde yaklaşık %50 oranına bir artış gözlemlenmiştir. Bunun haricinde normal akım yönteminde pulse akım yöntemine göre kaynak dikişi bölgelerinde daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.

6.5.3. Double Pulse Akım

Şekil 6.44’de AISI304/AISI430-DP800 malzeme çiftinin MI308LSi kaynak teli ile double pulse akım MIG plug kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş parçanın numaralandırılmış mikrosertlik ölçümü noktaları mevcuttur.



Şekil 6.44. Double Pulse Akım AISI304/AISI430-DP800 Mikrosertlik Ölçüm Noktaları.

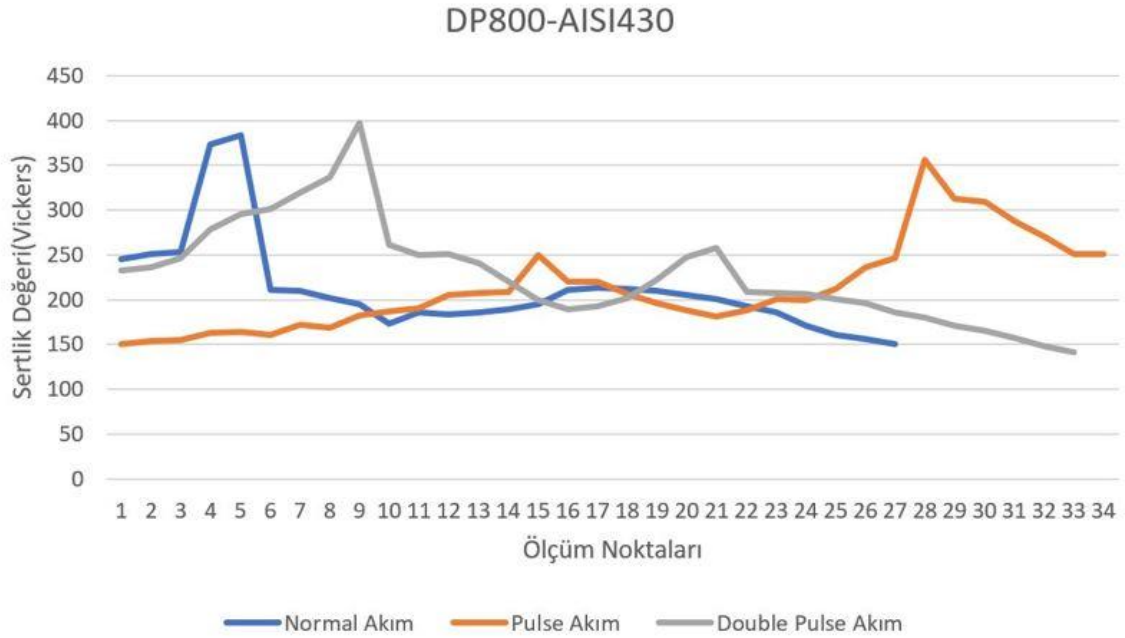
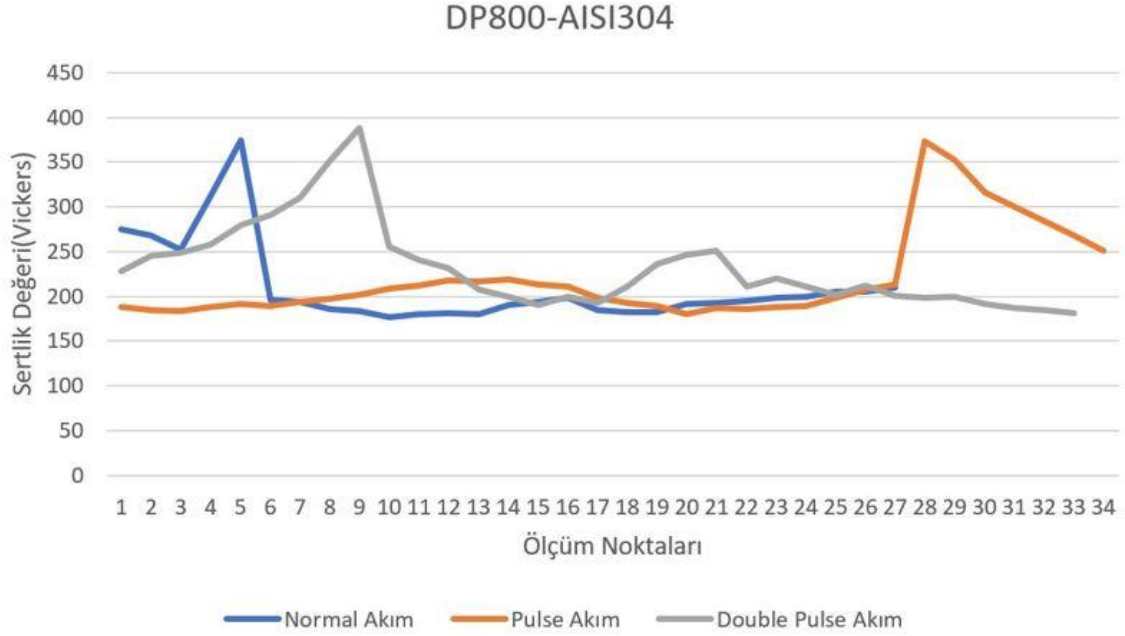
Vickers yöntemiyle 500gr ağırlık ve 19 saniye bekleme süresi kullanılarak double pulse akım AISI304-DP800 malzemelerine yapılan test sonucunda elde edilen değerler Çizelge 6.5’de tablo halinde verilmiştir. Aynı test parametreleri kullanılarak double pulse akım AISI430-DP800 malzemelerine yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucunda elde edilen değerler Çizelge 6.6’da tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.5. Double Pulse Akım AISI304-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.

Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)
1	227,8	12	231,9	23	219,7
2	245,0	13	207,4	24	211,4
3	248,7	14	199,7	25	201,9
4	258,1	15	190,1	26	212,5
5	279,0	16	199,8	27	200,1
6	290,6	17	192,5	28	198,4
7	310,8	18	210,5	29	199,3
8	351,7	19	235,7	30	192,0
9	388,3	20	246,9	31	187,4
10	255,7	21	250,9	32	185,2
11	240,8	22	210,7	33	181,6

Çizelge 6.6. Double Pulse Akım AISI430-DP800 Mikrosertlik Test Sonuçları.

Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)	Ölçüm Noktası Numarası	Sertlik Değeri (Vickers)
1	232,1	12	251,0	23	207,8
2	235,9	13	240,8	24	205,9
3	246,6	14	220,2	25	200,7
4	278,7	15	199,4	26	195,6
5	295,6	16	189,7	27	185,4
6	301,5	17	192,8	28	179,9
7	320,0	18	201,7	29	170,4
8	336,2	19	222,6	30	165,7
9	397,6	20	247,9	31	157,6
10	260,9	21	257,5	32	148,4
11	249,9	22	208,4	33	140,7



Şekil 6.45. Mikrosertlik Sonuçları Grafiği.

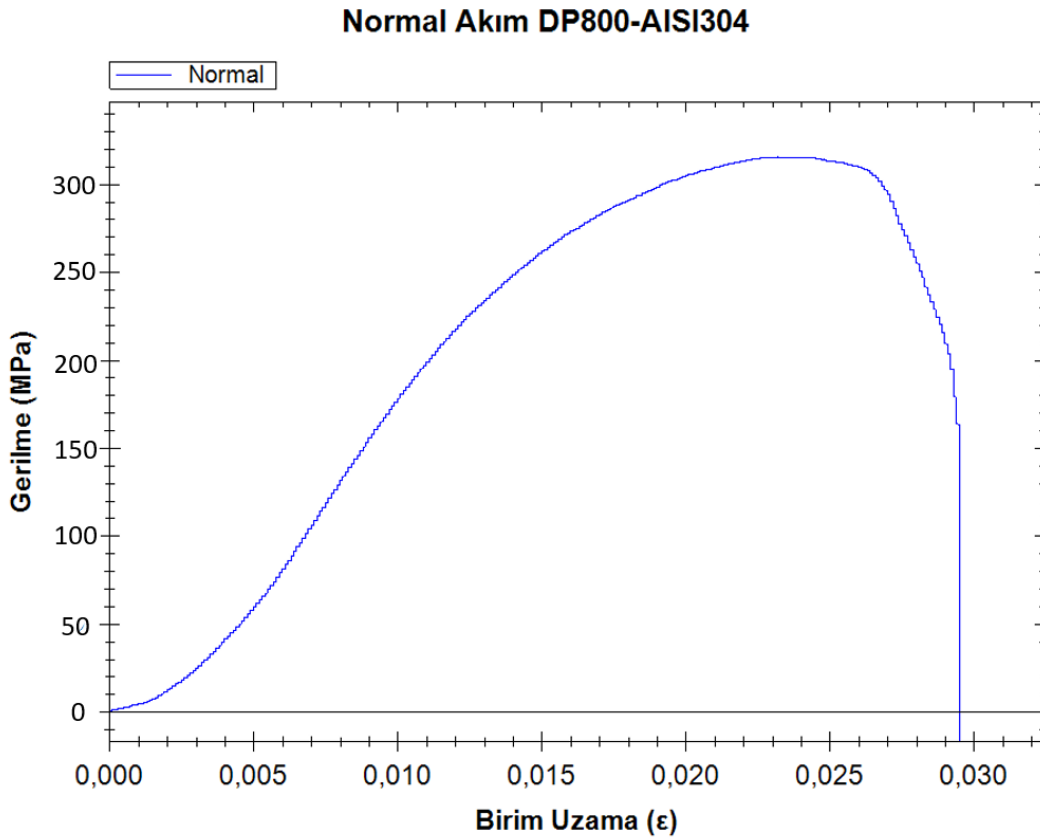
Şekil 6.45’de elde edilen mikrosertlik sonuçlarının grafiğe aktarılmış hali mevcuttur. Burada DP800-AISI304 ile DP800-AISI430 malzeme çiftlerinin birbirlerine yakın mikrosertlik değerlerine sahip oldukları gözlemlenmiştir. Bunun yanında sertlik değerleri olarak iki malzeme çifti içinde en yüksek sertlik değerleri sırasıyla double pulse akım, normal akım, pulse akım olarak elde edilmiştir.

6.6. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

Yapılan çalışmada DP800, AISI430 ve AISI304 malzemelerini MI 308LSi kaynak teli kullanılarak farklı parametrelerde birleştirilen malzemelerden elde edilen numunelere her biri farklı parametre için 3'er adet olacak şekilde çekme testi uygulanmıştır ve elde edilen sonuçların ortalaması alınıp alt başlıklarda detaylı olarak paylaşılmıştır.

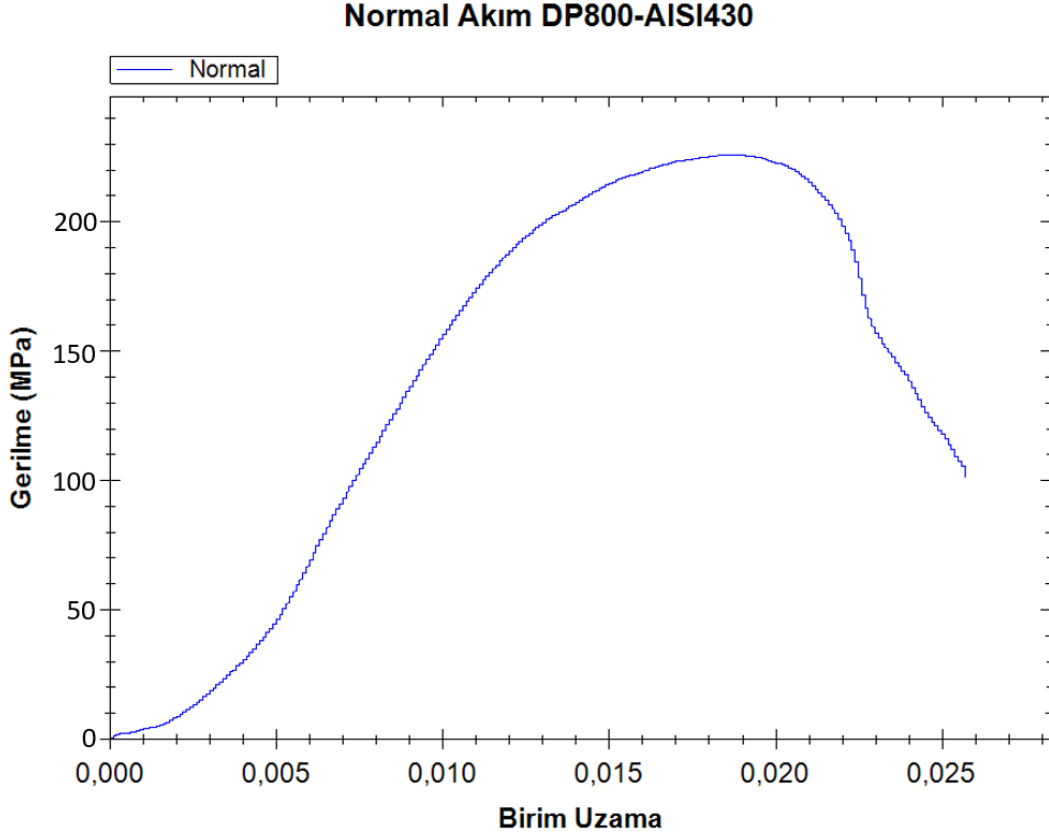
6.6.1. Normal Akım

Normal akım yönteminde kaynaklı birleştirme uygulanan DP800 ile AISI304 malzemelerden birine ait gerilme-birim uzama eğrisi Şekil 6.46'de verilmiştir. Diğer iki çekme testi numunesi içinde benzer grafik elde edilmiştir.



Şekil 6.46. Normal Akım DP800-AISI304 Gerilme-Gerinim Grafiği.

Şekil 6.47'de normal akım yöntemiyle birleştirilen DP800 ile AISI430 malzemelerinden birine ait çekme testi numunesinin gerilme-birim uzama eğrisi verilmiştir.



Şekil 6.47. Normal Akım DP800-AISI430 Gerilme-Gerinim Grafiği.

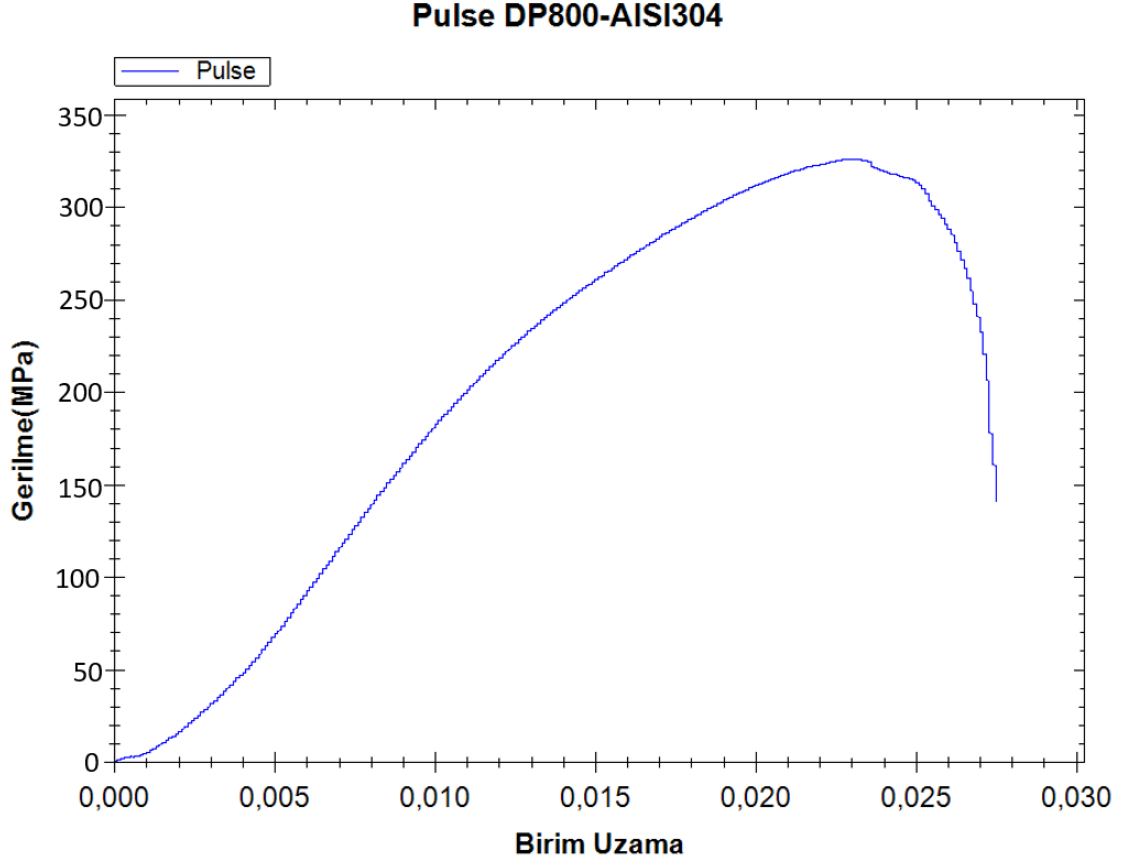
Çizelge 6.7’de normal akım yöntemiyle kaynatılan malzemelerinden 3’er adet olacak şekilde yapılan çekme testi için elde edilen sonuçların ortalamasının çizelgeye aktarılmış hali mevcuttur.

Çizelge 6.7. Normal Akım Yöntemiyle Birleştirilen Malzemler İçin Yapılan Çekme Testi Sonuçları.

Malzeme Çifti	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
DP800-AISI304	319,6	2,6
DP800-AISI430	231,6	2,4

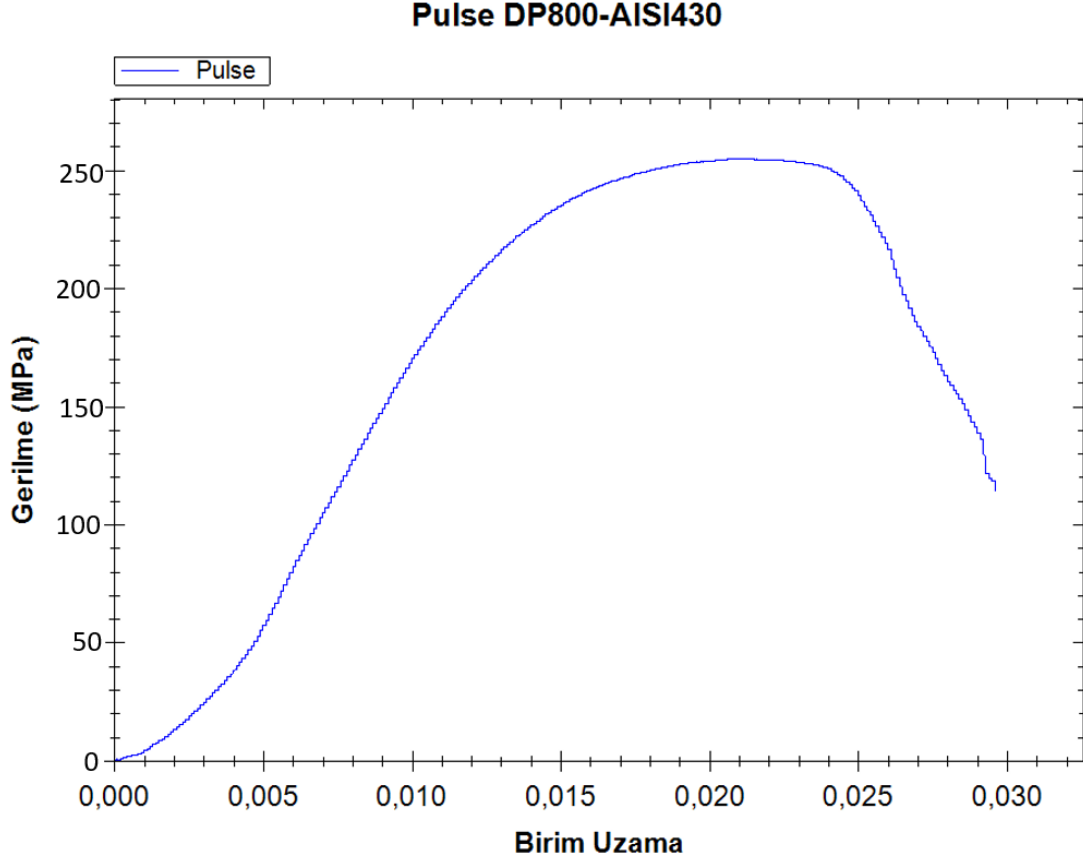
6.6.2. Pulse Akım

Pulse akım yöntemiyle kaynaklı birleştirme yapılan DP800 ile AISI304 malzemelerinden elde edilen numunelerden birine ait gerilme-birim uzama eğrisi Şekil 6.48’da verilmiştir. Diğer çekme testi yapılan iki numune içinde benzer eğriler elde edilmiştir.



Şekil 6.48. Pulse Akım DP800-AISI304 Gerilme-Gerinim Grafiği.

Şekil 6.49’de pulse akım yöntemiyle birleştirilen DP800 ile AISI430 malzemelerinden birine ait çekme testi numunesinin gerilme-birim uzama eğrisi verilmiştir. Diğer iki numune içinde benzer gerilme-birim uzama eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 6.49. Pulse Akım DP800-AISI430 Gerilme-Gerinim Grafiği.

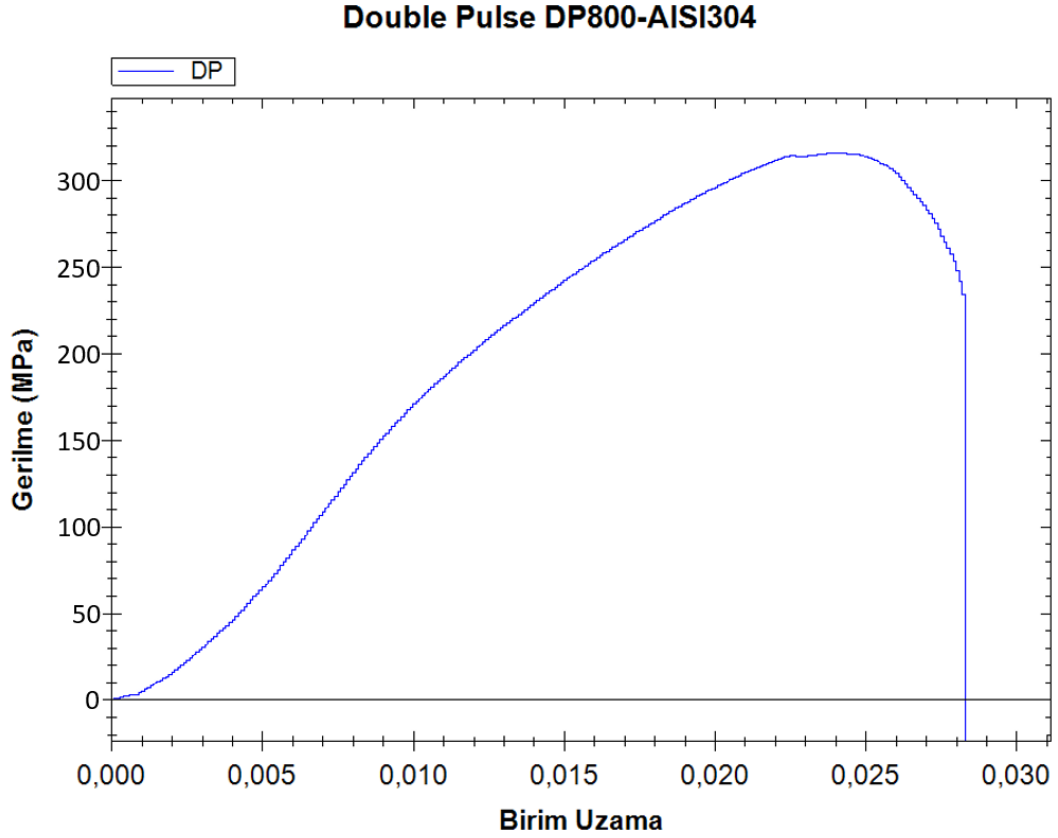
Çizelge 6.8’de pulse akım yöntemiyle kaynatılan malzemelerinden 3’er adet olacak şekilde yapılan çekme testi sonuçları için elde edilen sonuçların çizelgeye aktarılmış hali mevcuttur.

Çizelge 6.8. Pulse Akım Yöntemiyle Birleştirilen Malzemler İçin Yapılan Çekme Testi Sonuçları.

Malzeme Çifti	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
DP800-AISI304	318,3	3,1
DP800-AISI430	248,6	3,2

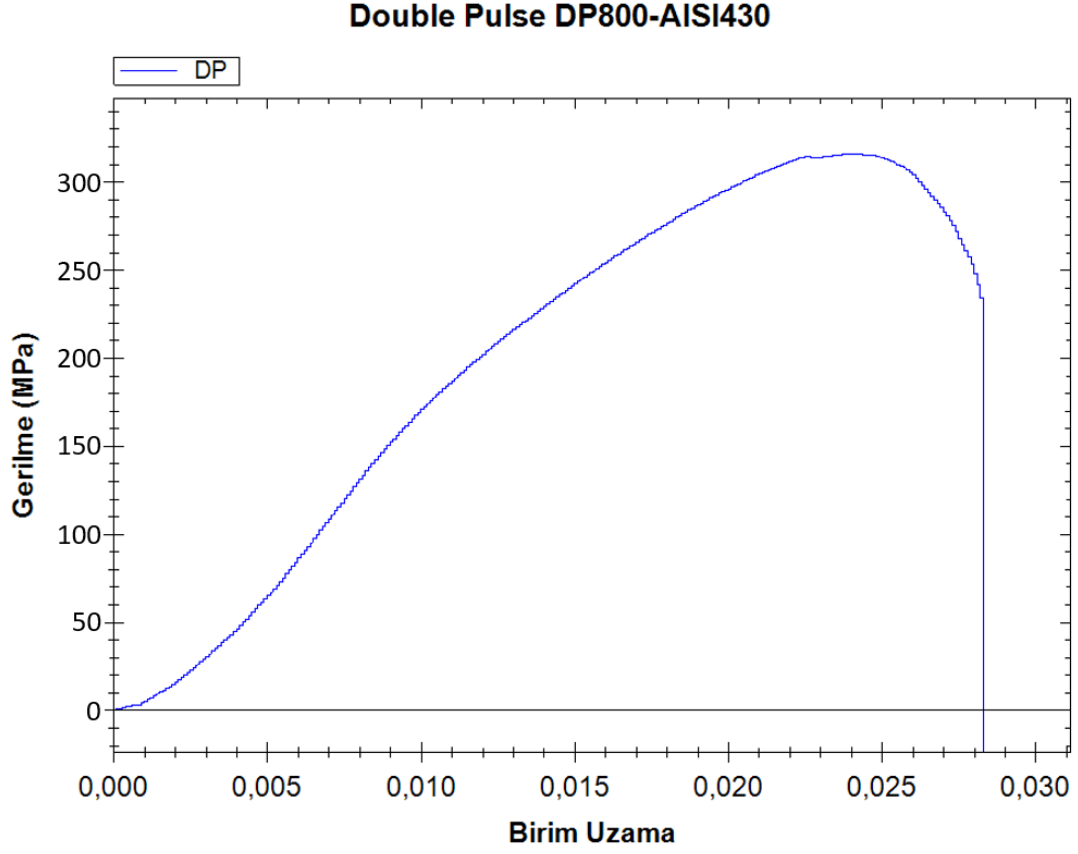
6.6.3. Double Pulse Akım

Double pulse akım yöntemiyle kaynaklı birleştirme yapılan DP800 ile AISI304 malzemelerinden elde edilen numunelerden birine ait gerilme-birim uzama eğrisi Şekil 6.50'de verilmiştir. Diğer çekme testi yapılan iki numune içinde benzer eğriler elde edilmiştir.



Şekil 6.50. Double Pulse Akım DP800-AISI304 Gerilme-Gerinim Grafiği.

Şekil 6.51'de double pulse akım yöntemiyle birleştirilen DP800 ile AISI430 malzemelerinden birine ait çekme testi numunesinin gerilme-birim uzama eğrisi verilmiştir. Diğer iki numune içinde benzer gerilme-birim uzama eğrileri elde edilmiştir.

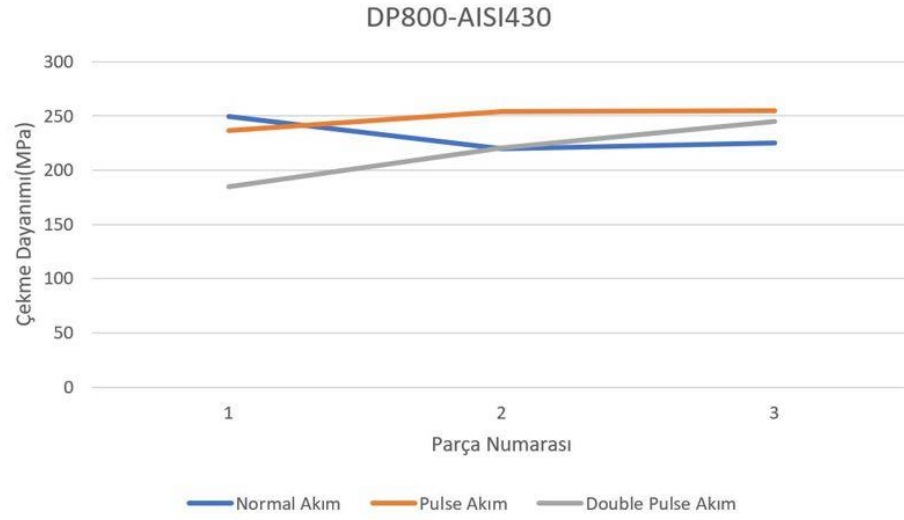
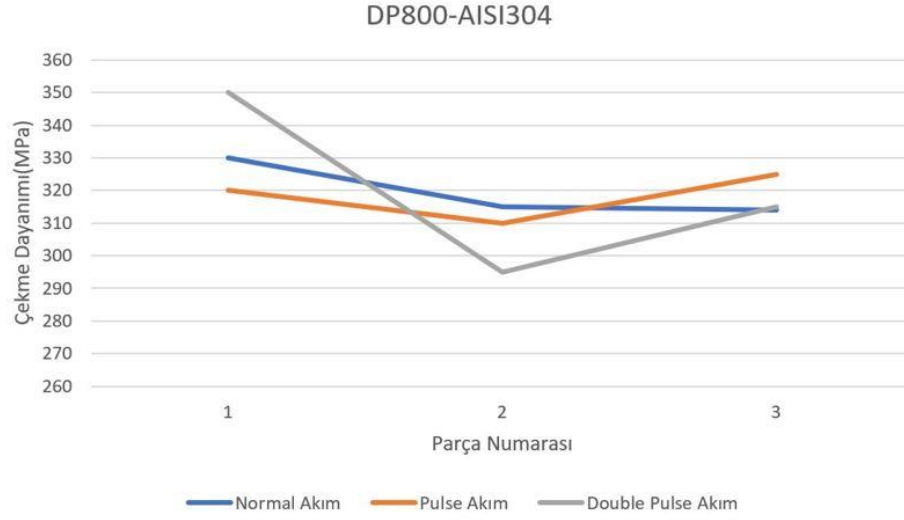


Şekil 6.51. Double Pulse Akım DP800-AISI430 Gerilme-Gerinim Grafiği.

Çizelge 6.9’de double pulse akım yöntemiyle kaynatılan malzemelerinden 3’er adet olacak şekilde yapılan çekme testi için elde edilen sonuçların ortalamasının çizelgeye aktarılmış hali mevcuttur.

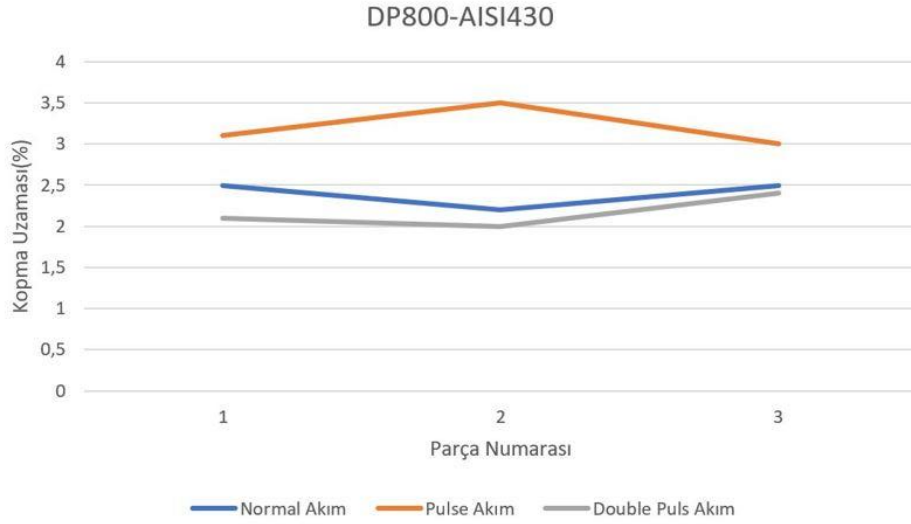
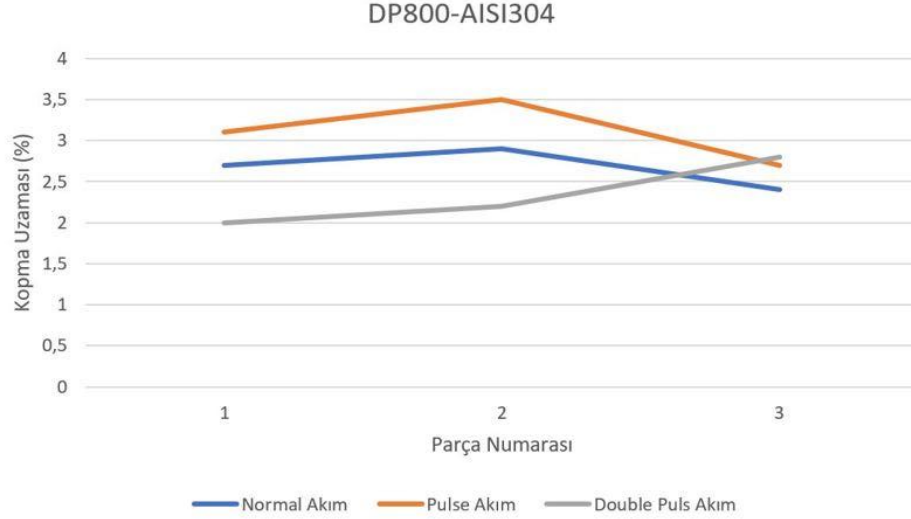
Çizelge 6.9. Double Pulse Akım Yöntemiyle Birleştirilen Malzemler İçin Yapılan Çekme Testi Sonuçları.

Malzeme Çifti	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
DP800-AISI304	276,6	2,3
DP800-AISI430	210,3	2,1



Şekil 6.52. Çekme Dayanımı Sonuçları Grafiği.

Şekil 6.52'da çekme testi sonucunda elde edilen verilerin grafiğe aktarılmış hali mevcuttur. Burada DP800-AISI304 malzeme çiftinin DP800-AISI430 malzeme çiftine göre daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



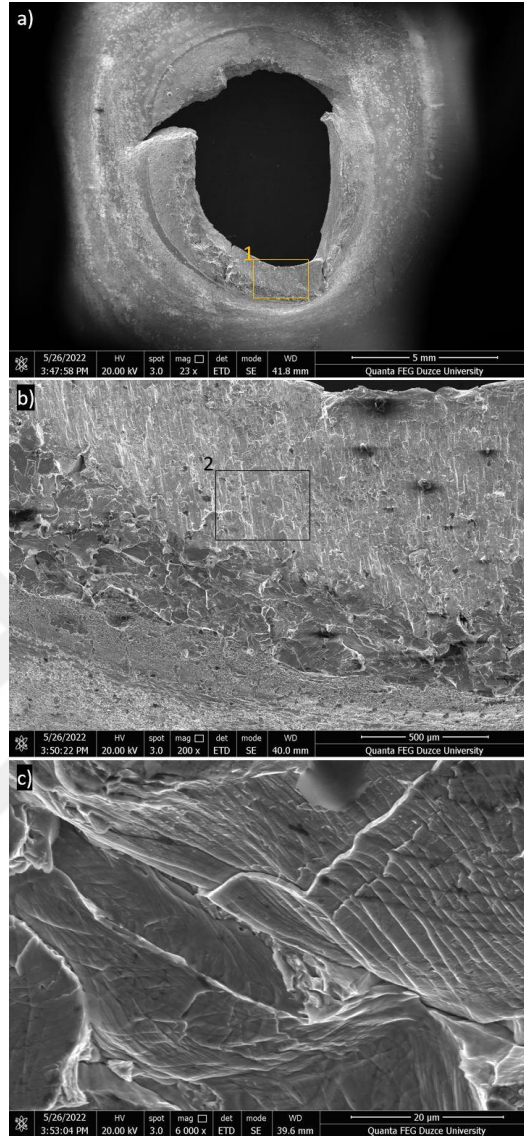
Şekil 6.53. Kopma Uzaması Sonuçları Grafiği.

Şekil 6.53’de çekme testi uygulanan numunelerin elde edilen kopma uzamalarının sonuçlarının grafiğe aktarılmış halleri mevcuttur. İki malzeme çifti içinde pulse akım yöntemiyle yapılan kaynaklı birleştirme sonucunda daha yüksek kopma uzamalarına sahip oldukları gözlemlenmiştir. Bunun haricinde iki malzeme çifti içinde kullanılan farklı parametrelerde yakın kopma uzaması değerleri elde edildiği görülmüştür.

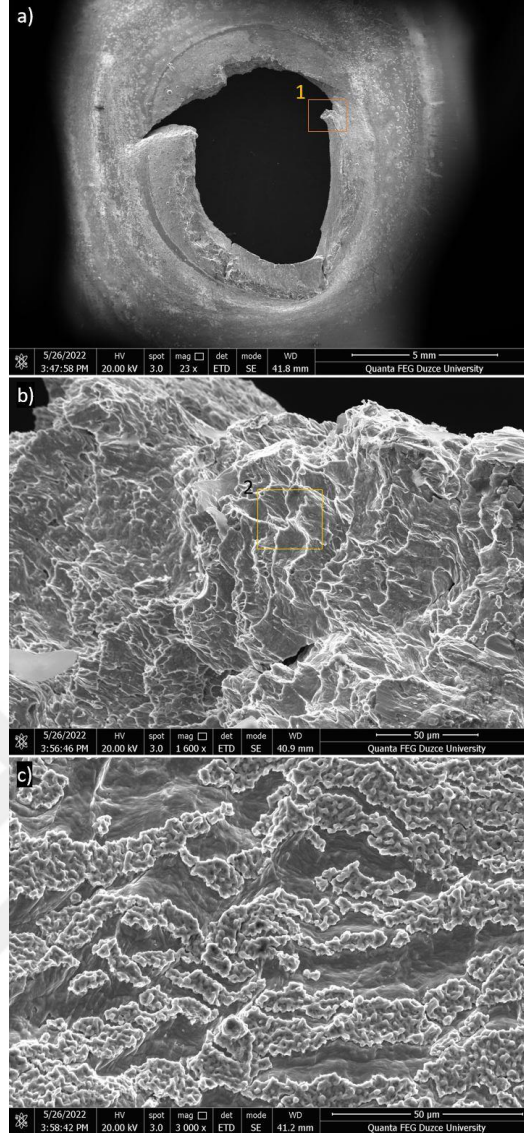
6.6.4. Kopma Yüzeyleri SEM Görüntüleri

Çekme testlerinde normal ve double pulse akım yöntemleriyle yapılan kaynak işlemlerinde numunelerde kaynak dikişlerinden kopmalar, pulse akım yöntemiyle yapılan kaynak işlemlerinde paslanmaz çelik olan (AISI304/430) taraftan yırtılmalar olarak kopmalar olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6.54’de ve Şekil 6.55’de pulse akım DP800-

AISI430 malzemesinin çekme sonucu AISI çelikleri tarafında oluşan kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri mevcuttur.

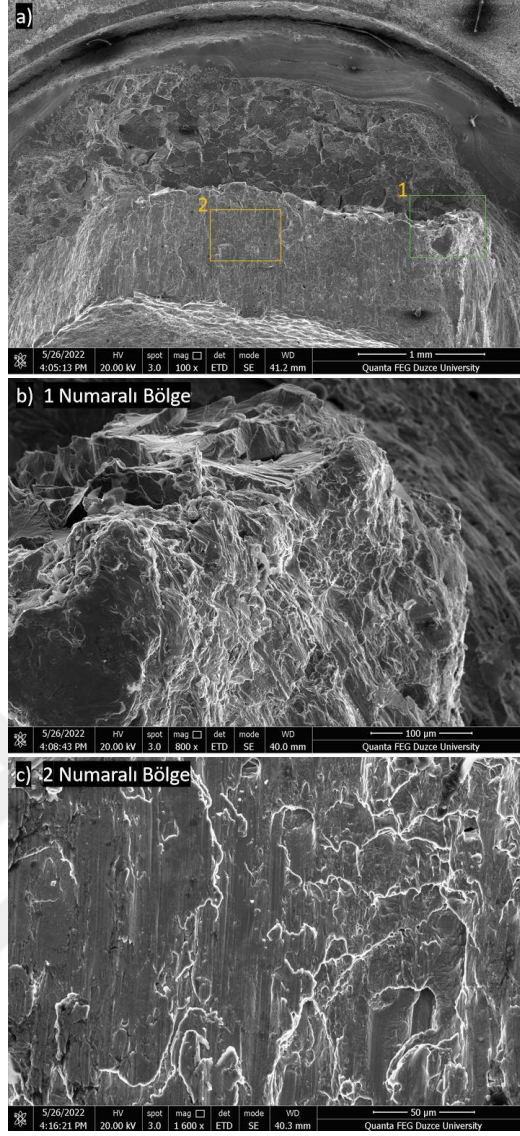


Şekil 6.54. Çekme Testi Numunesi Kırık Yüzey SEM Görüntüsü, a) Pulse 430 Kırılma Yüzeyi, b) 1 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü, c) 2 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü.



Şekil 6.55. Çekme Testi Numunesi Kırık Yüzey SEM Görüntüsü, a) Pulse 430 Kırılma Yüzeyi, b) 1 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü, c) 2 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü.

Şekil 6.56’de pulse akım DP800-AISI430 malzemesinin çekme testi sonucunda AISI çeliğinde oluşan kopmanın diğer tarafının SEM görüntüleri mevcuttur.



Şekil 6.56. Çekme Testi Numunesi Kaynak Kırık Yüzey SEM Görüntüsü, a) Pulse 430 Kırılma Yüzeyi, b) 1 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü, c) 2 Numaralı Alanın SEM Görüntüsü.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında DP800 malzemesi ile AISI304 ve AISI430 malzemeleri gruplandırılarak farklı parametrelerde MIG plug kaynağı yöntemiyle birleştirilmesinin mikroyapıya etkisi incelemiştir. Daha sonra numuneler üzerinde SEM görüntülemesi, çizgi analizi, EDAX analizi, XRD analizi, EBSD analizi yapılmış ve çekme testi ile mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda malzeme grupları normal, pulse, double pulse akım yöntemleri ile kaynatılırken kesişim noktalarında ergimiş metalin dolduramadığı boşluklar görülmüştür. Delik çapı ve kaynak süresi bu boşlukların oluşmasına sebep olmuştur.
2. Mikro ve makro yapıları incelendiğinde en iyi kaynak nüfuziyetinin pulse akım yönteminde DP800 ile AISI430 malzeme çiftinde olduğu görülmüştür
3. Optik mikroskop ve SEM mikroskobu ile yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda bütün numunelerde kullanılan tüm kaynak parametrelerinde benzer mikroyapıya rastlanmıştır. Aynı şekilde ana malzemedan kaynak dikişine doğru yakınlaştıkça ısı girdisi sebebiyle tane yapılarında irileşmeler gözlemlenmiştir. Bu tane yapılarının irileşmelerini en yoğun olduğu bölge AISI çeliklerinin kaynak metali ile ilk temas ettiği bölgeler olduğu gözlemlenmiştir.
4. Yapılan çizgi analizi sonucunda normal, pulse, double pulse yöntemlerinin hepsi için çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. AISI304 metalinden kaynak metali olan MI 308LSi malzemesine geçişte element içeriği olarak birbirlerine yakın değerler elde edilmiştir. Kaynak metali olan MI 308LSi malzemesinden AISI430 metaline geçişte nikel oranında düşüş ve demir oranında artışlar gözlemlenmiştir. DP800 malzemesinden kaynak metaline geçişte krom ve nikel oranlarında artışlar, demir oranında düşüş gözlemlenmiştir.
5. Yapılan EDAX analizi sonucunda DP800, AISI304/430 malzemelerinin sahip oldukları elementlerden farklı bir elemente rastlanmamıştır.

6. Numunelerde yapılan mikro sertlik ölçümleri sonuçlarında normal akım yöntemiyle yapılan kaynak işleminde pulse akım yöntemine göre daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Kullanılan tüm yöntemler için ana malzemedan kaynak dikişine doğru yaklaştıkça sertlik değerlerinde %50 oranında bir artış gözlemlenmiştir.
7. Normal, pulse, double pulse akım yöntemlerinde birleştirilen numunelere yapılan çekme testleri sonucunda DP800-AISI304 çiftinin DP800-AISI430 çiftine göre daha yüksek çekme dayanımı değerleri ve az miktarda daha yüksek uzama yüzdeleri gösterdiği gözlemlenmiştir. Normal, pulse, double pulse yöntemleri arasında en yüksek çekme dayanımı pulse akım yöntemiyle yapılan DP800-AISI304 malzeme çiftinde gözlemlenmiştir.

Araştırmacının önerileri olarak aşağıdaki maddeler sunulmaktadır.

1. Aynı malzeme kombinasyonlarında farklı kaynak parametrelerinin mikroyapı ve mekanik yapıya etkileri incelenebilir.
2. Kaynak teli ve koruyucu gaz karışımının farklı tercih edilmesi durumunda aynı malzeme kombinasyonlarında kaynak dikişine etkileri incelenebilir.
3. DP800 malzemesinde açılan deliğin çapını 7 mm'den daha büyük bir değer tercih edilmesi durumunda kaynak dikişine nasıl bir etki ettiği incelenebilir.
4. Aynı malzeme kombinasyonları kullanılarak MIG plug kaynağı yöntemiyle elde edilen değerler ile farklı kaynak yöntemlerinden (lazer, direnç nokta vs.) elde edilen değerler karşılaştırılabilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] R. Cao, Q. Huang, J. H. Chen, ve P. C. Wang, “Cold metal transfer spot plug welding of AA6061-T6-to-galvanized steel for automotive applications”, *Journal of Alloys and Compounds*, c. 585, ss. 622–632, 2014.
- [2] H. Y. Lei, Y. B. Li, ve B. E. Carlson, “Cold metal transfer spot welding of 1 mm thick AA6061-T6”, *Journal of Manufacturing Processes*, c. 28, ss. 209–219, 2017.
- [3] R. Cao vd., “Investigation of wire selection for CMT plug joining Mg AZ31-to-galvanized steel”, *Journal of Manufacturing Processes*, c. 32, ss. 65–76, 2018.
- [4] M. R. Islam, M. Ishak, L. H. Shah, S. R. A. Idris, ve C. Meriç, “Dissimilar welding of A7075-T651 and AZ31B alloys by gas metal arc plug welding method”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 88, sayı 9–12, ss. 2773–2783, 2017.
- [5] C. Rajarajan, P. Sivaraj, M. Seeman, ve V. Balasubramanian, “Influence of electrode force on metallurgical studies and mechanical properties of resistance spot welded dual phase (DP800) steel joints”, *Materials Today: Proceedings*, c. 22, sayı 3, ss. 614–618, 2020.
- [6] Y. Şen, "DP600, DP800, MS1200, MS1400 tipi yüksek mukavemetli sacların cmt kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve mekanik/mikroyapı özelliklerinin incelenmesi", Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [7] İ. Acar, "DP800 çelik sacların CMT lehimleme yöntemi ile birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerin incelenmesi ve analizi", Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2018.
- [8] C. K. Ovalı, “TRIP800 / DP800 / DP600 çeliklerinin lazer kaynak kabiliyetinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2014.
- [9] H. Jamshidi Aval ve A. Loureiro, “Effect of reverse dual rotation process on properties of friction stir welding of AA7075 to AISI304”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, c. 29, sayı 5, ss. 964–975, 2019.
- [10] K. V. Durga Rajesh, A. V. S. Ram Prasad, A. Munaf Shaik, ve T. Buddi, “SEM with EDAX analysis on plasma arc welded butt joints of AISI 304 and AISI 316 steels”, *Materials Today: Proceedings*, c. 44, ss. 1350–1355, 2021.
- [11] D. Jeraldnavinsavio, A. Mohamed Farid, E. V. V. Ramanamurthy, S. Porchilamban, ve S. Ravikumar, “Evaluation of mechanical properties and micro structural charecterization of dissimilar TIG welded AISI 316L and AISI 430 plates using ER310 and ER2594 filler”, *Materials Today: Proceedings*, c. 16, ss. 1212–1218, 2019.
- [12] J. Verma, R. V. Taiwade, R. Kataria, ve A. Kumar, “Welding and electrochemical

- behavior of ferritic AISI 430 and austeno-ferritic UNS 32205 dissimilar welds”, *Journal of Manufacturing Processes*, c. 34, sayı Haziran, ss. 292–302, 2018.
- [13] Anonim. (2022, 21 Mayıs). *Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik sacların (advanced high strength steel, AHSS) şekillendirilmesinde takım çeliklerinden beklenen özellikler.* [Online]. Erişim: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e9a7776c9ae8ab7_ek.pdf.
- [14] Anonim. (2022, 22 Mayıs). *Advanced high-strength steel (AHSS) definitions today's AHSS for automotive.* [Online]. Erişim: <https://www.worldautosteel.org/steel-basics/automotive-advanced-high-strength-steel-ahss-definitions/>.
- [15] Anonim. (2022, 22 Mayıs). [Online]. *DOE offers severstal a \$730M conditional loan commitment for project to manufacture automotive advanced high strength steel.* Erişim: <https://www.greencarcongress.com/2011/07/doe-offers-severstal-a-730m-conditional-loan-commitment-for-project-to-manufacture-automotive-advanc.html>.
- [16] C. M. Tamarelli. (2022, 23 Mayıs). *AHSS 101 - The evolving use of advanced high-strength steels for automotive applications.* [Online]. Erişim: <https://www.studocu.com/row/document/american-university-of-beirut/mechanics-of-materials/ahss-101-the-evolving-use-of-advanced-high-strength-steels-for-automotive-applications-lr/4911590>.
- [17] A. I. Taub ve A. A. Luo, “Advanced lightweight materials and manufacturing processes for automotive applications”, *MRS Bulletin*, c. 40, sayı 12, ss. 1045–1053, 2015.
- [18] Anonim. (2022, 23 Mayıs). *Steel your weight.* [Online]. Erişim: <https://www.worldautosteel.org/why-steel/steelyourweight/>.
- [19] M. T. Rahmaan, “Low to high strain rate characterization of DP600, TRIP780, AA5182-O”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Kanada, 2015.
- [20] I. Rocha, I. Machado, ve C. Mazzaferro, “Mechanical and metallurgical properties of DP 1000 steel square butt welded joints with GMAW”, *International Journal of Engineering & Technology*, c. 4, sayı 1, s. 26, 2014.
- [21] A. Chabok, E. van der Aa, J. T. M. De Hosson, ve Y. T. Pei, “Mechanical behavior and failure mechanism of resistance spot welded DP1000 dual phase steel”, *Materials and Design*, c. 124, ss. 171–182, 2017.
- [22] A. C. Thompson, “High strain rate characterization of advanced high strength steels”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Kanada, 2006.
- [23] Michael Davenport. (2022, 24 Mayıs). *Dual phase.* [Online]. Erişim: <https://ahssinsights.org/?s=dual+phase>.
- [24] Anonim. (2022, 25 Mayıs). *Complex phase steel: an introduction.* [Online]. Erişim: <https://www.nationalmaterial.com/complex-phase-steel/>.
- [25] R. Indhu, M. Tak, L. Vijayaraghavan, ve S. Soundarapandian, “Microstructural and mechanical properties of complex phase steel to aluminium alloy welded dissimilar joint”, *Procedia Manufacturing*, c. 48, ss. 267–272, 2020.

- [26] F. Pennec, W. Niamchaona, K. Tihay, M. Duchet, B. Weber, ve J. L. Robert, "Local stress gradient approach for multiaxial fatigue behaviour assessment of high strength steels in occurrence of defects", *Procedia Engineering*, c. 213, sayı 2017, ss. 662–673, 2018.
- [27] Satyendra. (2022, 25 Mayıs). *Ferritic bainitic steels*. [Online]. Erişim: [https://www.ispatguru.com/ferritic-bainitic-steels/#:~:text=Ferritic bainitic steels are also,dual phase \(DP\) steel](https://www.ispatguru.com/ferritic-bainitic-steels/#:~:text=Ferritic bainitic steels are also,dual phase (DP) steel).
- [28] I. Hwang, D. Y. Kim, G. Jeong, M. Kang, D. Kim, ve Y. M. Kim, "Effect of weld bead shape on the fatigue behavior of GMAW lap fillet joint in GA 590 MPa steel sheets", *Metals*, c. 7, sayı 10, ss. 1–12, 2017.
- [29] Anonim. (2022, 25 Mayıs). *Ferrite-bainite*. [Online]. Erişim: <https://ahssinsights.org/metallurgy/steel-grades/ferrite-bainite-steel/>.
- [30] Anonim. (2022, 26 Mayıs). *Metallurgy of martensitic steels*. [Online]. Erişim: <https://ahssinsights.org/metallurgy/steel-grades/1stgen-ahss/martensite/>.
- [31] J. Venezuela, Q. Zhou, Q. Liu, M. Zhang, ve A. Atrens, "Hydrogen trapping in some automotive martensitic advanced high-strength steels", *Advanced Engineering Materials*, c. 20, sayı 1, ss. 1–14, 2018.
- [32] C. D. Horvath, "Advanced steels for lightweight automotive structures", *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles*, sayı 2, ss. 39-95, 2021.
- [33] Anonim. (2022, 26 Mayıs). *Transformation induced plasticity (TRIP)*. [Online]. Erişim: <https://ahssinsights.org/?s=TRIP>.
- [34] Anonim. (2022, 27 Mayıs). *What are TRIP steels*. [Online]. Erişim: <https://www.nationalmaterial.com/what-are-trip-steels/>.
- [35] Anonim. (2022, 27 Mayıs). *Hot-rolled steel*. [Online]. Erişim: <https://www.nationalmaterial.com/?s=hot+formed+steel>.
- [36] Anonim. (2022, 27 Mayıs). *What are 3rd gen steels*. [Online]. Erişim: <https://ahssinsights.org/?s=TWIP>.
- [37] N. Mazinianian, "*Metal release and corrosion of strainless steel in simulated food contact*", Doktora tezi, Kimya Bilimi ve Mühendisliği, KTH Kraliyet Teknoloji Enstitüsü, Stockholm, İsveç, 2016.
- [38] G. Maistro, "Low-temperature ion nitriding of austenitic stainless steels", Doktora tezi, Endüstri ve Malzeme Bilimi Bölümü, Chalmers teknoloji üniversitesi, Gothenburg, İsveç, 2018.
- [39] T. H. Abood, "The influence of various parameters on pitting corrosion of 316L and 202 stainless steel", Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ministry of Higher Education And Scientific Research University, Gize, Mısır, 2008.
- [40] Anonim. (2022, 28 Mayıs). *What is ferritic stainless steel*. [Online]. Erişim: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19195>.
- [41] M. K. Banerjee, "Heat treatment of commercial steels for engineering applications", *Materials science and materials engineering*, 1. Baskı, Elsevier Ltd, 2017, böl. 2, ss. 180-213.
- [42] Anonim. (2022, 28 Mayıs). *What is martensitic steel*. [Online]. Erişim: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19192>.

- [43] T. Hara, H. Semba, ve H. Amaya, "Pipe and tube steels for oil and gas industry and thermal power plant", *Encyclopedia of materials: metals and alloys*, 1. baskı, Elsevier Ltd., 2022, böl. 2, ss. 140-152.
- [44] P. Lambert, "Sustainability of metals and alloys in construction", *Sustainability of construction materials*, 2. baskı, Woodhead Publishing Limited, 2016, ss. 105-128.
- [45] M. F. McGuire, "Austenitic stainless steels", *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, ss. 406–410, 2001.
- [46] Anonim. (2022, 28 Mayıs). *Precipitation hardening stainless steels*. [Online]. Erişim: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/precipitation-hardening-stainless-steels-102>.
- [47] T. Choudhary ve Chaudhary, "A study on effect of various process variables in gas metal arc welding", *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering*, c. 3, sayı 11, ss. 147–154, 2018.
- [48] Cameron Dekker. (2022, 29 Mayıs). *The 9 types of welding processes and their uses*. [Online]. Erişim: <https://waterwelders.com/types-of-welding-processes/>.
- [49] Erik James Soderstrom , "Gas metal arc-welding electrode heat-and-mass transfer mechanisms", Doktora tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Colorado Maden Okulu, Colorado, 2009.
- [50] Anonim. (2022, 28 Mayıs). *Gas metal arc welding*. [Online]. Erişim: <https://www.ukessays.com/essays/education/gas-metal-arc-welding.php>.
- [51] Anonim. (2022, 29 Mayıs). *Different types of welding processes*. [Online]. Erişim: <http://welderstation.com/different-types-of-welding-processes/#TIG-Gas-Tungsten-Arc-Welding-GTAW->.
- [52] K. Weman, "Manual metal arc (MMA) welding with coated electrodes", *Welding processes handbook*, 2. baskı, Woodhead Publishing Limited, 2012, böl. 9, ss. 99–103.
- [53] K. Kalaiselvan, I. Dinaharan, ve N. Murugan, "Routes for the joining of metal matrix composite materials", *Encyclopedia of materials: composites*, 1. baskı, Elsevier, 2020, böl. 2, ss. 652-670.
- [54] Anonim. (2022, 29 Mayıs). *What is friction welding*. [Online]. Erişim: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-friction-welding>.
- [55] Anonim. (2022, 30 Mayıs). *Friction welding*. [Online]. Erişim: <https://spinweld.com/friction-welding/>.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa BAL

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2022
Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lise	Sayısal	Sabancı 50.Yıl Anadolu Lisesi	2015

YAYINLAR

1. M. BAL ve Ö. ERKAN, “AA7075 Malzemenin geleneksel imalat yöntemleriyle işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, *IMASCON Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Güz Dönemi)*, 2019, ss. 745-753, Kocaeli.
2. M. BAL ve S. APAY “DP ve Paslanmaz Çeliklerin Farklı Akım Türlerinde Nokta MIG/MAG Kaynağının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, *ICAR Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi*, 2022, ss. 235-244, Bolu.