

**RAMOR ZIRH ÇELİĞİ İLE AISI 304 PASLANMAZ
ÇELİK ÇİFTLERİNİN PLAZMA TRANSFERLİ ARK
KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necmettin YİĞİTTÜRK

**Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Programı: Malzeme**

Danışman: Doç. Dr. Ali Kaya GÜR

OCAK-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RAMOR ZİRH ÇELİĞİ İLE AISI 304 PASLANMAZ ÇELİK ÇİFTLERİNİN
PLAZMA TRANSFERLİ ARK KAYNAK YÖNTEMİ İLE
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necmettin YİĞİTTÜRK

(121130110)

Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı: Malzeme

Danışman: Doç. Dr. Ali Kaya GÜR

OCAK-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RAMOR ZIRH ÇELİĞİ İLE AISI 304 PASLANMAZ ÇELİK ÇİFTLERİNİN
PLAZMA TRANSFERLİ ARK KAYNAK YÖNTEMİ İLE
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necmettin YİĞİTTÜRK

(121130110)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 21.01.2016

Tezin Savunulduğu Tarih: 07.03.2016

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali Kaya GÜR 

Diğer Jüri Üyeleri: Doç.Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ (Jüri Başkanı) 
Yrd.Doç.Dr. Yakup SAY 

OCAK-2016

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmamın hazırlanmasında her konuda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ali Kaya GÜR' e ve bu seviyeye gelmemde emeği geçen tüm hocalarıma saygılarımı sunarım. Ayrıca 2015 yılı içerisinde kaybettiğimiz Sayın Prof. Dr. Nuri ORHAN hocama Allah'tan rahmet dilerim. Çalışmalarımız esnasında malzeme temrini ve bilgi paylaşımı konusunda desteğini aldığımız SSAB firmasından Sn. Özgür YALÇIN Bey'e, laboratuvarlarını bize açıp çalışma imkanı sağlayan UĞUR SOĞUTMA şirketine ve destek ve teşvikleri konusunda yardımlarını esirgemeyen UĞUR SOĞUTMA bünyesinde görev yapan AR-GE müdürümüz Sn. Çağrı ERGÖNENÇ'e, Kalite Laboratuvar sorumlusu Mustafa KILIÇLAR'a ve İnovasyon Sorumlusu Sn. Burak Emre DERVİŞOĞLU'na teşekkürleri borç bilirim.

Bununla beraber, Yüksek Lisans eğitimine başlamamda ve eğitim sürecinde her türlü imkanı sunan Anne ve Babam'a, çalışmalarım esnasında desteğini benden esirgemeyen eşime ve tüm arkadaşlarıma, özellikle çalışmalarımı birlikte yürüttüğüm yol arkadaşım Fevzi Ataman BİLEN'e en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

Necmettin YİĞİTTÜRK

ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMANIN LİTARATÜRDEKİ YERİ VE ÖNEMİ.....	3
3. ZIRH ÇELİKLERİ	7
3.1. Zırh Teknolojisi.....	8
3.2. Zırh Uygulamaları	9
3.3. Zırh Çeliklerinin Özellikleri.....	12
3.4. Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalurjisi	14
3.4.1. Zırh Çeliklerinde Alaşımlama.....	14
3.4.2. Zırh Çeliklerine Uygulanan Isıl İşlemler	15
4. PLAZMA TRANSFER ARK KAYNAĞI.....	18
4.1. Plazma Ark Kaynağında Kullanılan Teller.....	19
4.2. Plazma Ark Kaynak Torçları	19
4.3. Gaz Nozulu	20
4.4. PTA Kaynağında Plazmanın Oluşumu	20
4.5. PTA Kaynağında Arkın Oluşturulması	22
4.5.1. Pilot Ark.....	23
4.5.2. Transfer Olmuş Ark.....	24
4.6. Plazma Arkı İle Kaynak.....	25
4.7. Yüksek Frekans Dalga Ünitesi ve Donanımları.....	25
4.8. Uygulama Özellikleri	26
4.8.1 Ergitme Tekniği.....	27
4.8.2 Anahtar Deliği Tekniği	27
5. PASLANMAZ ÇELİKLER	29
5.1. Paslanmaz Çelik Türleri.....	29
5.1.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	30

5.1.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler	30
5.1.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	33
5.1.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler	33
5.1.5. Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler	33
5.2. Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği.....	34
6. TAHRİBATSIZ MUAYENE	36
6.1. Tahribatsız Muayene Yöntemleri.....	38
6.1.1. Radyografik Muayene	40
6.1.1.1. X ışınları	42
6.1.1.2. Gama Işınları.....	43
6.1.2. Ultrasonik Muayene	43
6.1.3. Manyetik Parçacık Muayenesi.....	44
6.1.4. Sıvı Penetrant Muayenesi	45
6.1.4.1. Sıvı Penetrant Muayenesinin Aşamaları.....	46
6.1.4.1.1. Yüzey Hazırlama	46
6.1.4.1.2. Penetrant Uygulama.....	47
6.1.4.1.3. Ara Temizlik	47
6.1.4.1.4. Developer (Geliştirici) Uygulaması	48
6.1.4.1.5. Kontrol.....	48
6.1.5. Girdap Akımları ile Muayene	49
6.1.6. Gözle Muayene	49
6.1.6.1. Boroskop ile Kontrol	50
6.1.6.2. Optik Mikroskop İle Kontrol	50
6.1.7. Sızdırmazlık Testi.....	50
6.1.8. Replika Testi	51
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	52
7.1. Malzeme ve Metot.....	52
7.2. Numunelerin Hazırlanması	53
7.3. Plazma Transfer Ark (PTA) Kaynağı ile Birleştirme.....	53
7.4. Kaynak Yapılmış Numunelerin Radyografik Muayeneleri	56
7.5. Kaynak Yapılmış Numunelerin Sıvı Penetrant Muayenesi	57
7.6. Tel Erezyonda Çekme Testi Numunesi ve Mikroyapı Numunesinin Kesilmesi	59
7.7. Çekme Testi	60
7.8. Mikroyapı İncelemeleri.....	61

7.9.	Mikrosertlik Ölçümleri	62
8.	DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	64
8.1.	Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Testlerinin İncelenmesi	64
8.2.	Kaynaklı Birleştirmelerin Sıvı Penetrant Testlerinin İncelenmesi.....	67
8.3.	Kaynaklı Birleştirmelerin Mikrosertliklerinin İncelenmesi.....	69
8.4.	Kaynaklı Birleştirmelerin Çekme Dayanımlarının İncelenmesi	72
8.5.	Kaynaklı Birleştirmelerin Mikroyapılarının İncelenmesi.....	85
8.5.1.	AISI 304 – AISI 304 Çelik Çiftlerinin Mikroyapılarının İncelenmesi.....	87
8.5.2.	Ramor 500 – Ramor 500 Çelik Çiftlerinin Mikroyapılarının İncelenmesi.....	91
8.5.3.	Ramor 500 – AISI 304 Çelik Çiftlerinin Mikroyapılarının İncelenmesi.....	95
9.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	101
9.1.	Öneriler	103
	KAYNAKLAR.....	104
	ÖZGEÇMİŞ.....	108

ÖZET

Bu çalışmanın amacı Ramor 500 Zırh Çeliği ile AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Plazma Transfer Ark Kaynağı yöntemi ile ilave tel kullanılmadan birleştirilebilirliği, mekanik özellikler ve mikroyapıları değişiklikler incelenmiştir. Çalışmada plazma transfer ark kaynağı sonrasında numunelerin radyografik incelemesi, sıvı penetrant testi, mekanik özellikleri ve mikroyapıları; çekme testi, optik mikroskopi ve SEM ile incelenmiş, kaynak bölgesinde Vickers sertlik skalası ile sertlik dağılımı belirlenmiştir. Numunelerin kaynak bölgesinde özellik gösteren yapılar için SEM-EDS analizleri yapılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin çekme testi uygulanan numunelerinden kırık yüzeyleri SEM ile incelenerek kırılma tipi belirlenmiştir.

Yapmış olduğumuz çalışmada Ramor 500 Zırh Çeliği ile AISI 304 Paslanmaz Çeliğin plazma transfer ark kaynağı işlem parametrelerinin, birleşme kalitesi ve nüfuziyet derinliği üzerinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Birbirinden farklı kimyasal bileşime sahip Ramor 500 Zırh Çeliği ile AISI 304 Paslanmaz çelik çiftinin plazma transfer ark kaynağı yöntemi ile birleştirilmesinde, uygun akım şiddeti, plazma gaz debisi ve kaynak ilerleme hızı kombinasyonlarında kaynak kalitesini artırmak mümkün olabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ramor 500, AISI 304, Plazma Transfer Ark Kaynağı, Isıl İletkenlik

SUMMARY

Ramor Armor Steels of AISI 304 Stainless Steel With Double Transfer of Plasma Arc Welding Method And Investigation In Joining

The purpose of this study, Ramor 500 Armor Steel and AISI 304 Stainless Steel materials are combined by Plasma Arc Welding process without additional material so investigate mechanical properties and differences of microstructure. In this study, after plasma arc welding process determined mechanical properties and microstructures of specimens by using liquid penetrant test methods, tensile test methods, optic microscopy and SEM methods. Also strength distribution on welding zone was determined by Vickers Hardness Test Methods. Microstructure of welding zone of specimens were analyzed by using SEM-EDX. Also, analyzed that specimen which is applying tensile test determined crack type by SEM.

In this study show that Plasma Transfer Arc Welding parameters effect that quality of Ramor 500 Armor Steel and AISI 304 Stainless Steel welding process and penetration. Also if we change current value, plasma gas flow and welding speed we can change welding quality of Ramor 500 Armor Steel and AISI 304 Stainless Steel which are different type of chemical properties.

Key Words: Ramor 500 Armor Steel, AISI 304 Stainless Steel, Plasma Transfer Arc Welding, Thermal Conductivity

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1. Bir tank üzerinde a) yan koruyucu panel ve b) mayına karşı taban sacı olarak zırh çeliği kullanımı.....	10
Şekil 2. Çelik ile zırhlandırılmış Fırtına obüsü	10
Şekil 3. Balistik koruma grupları.....	11
Şekil 4. Karbür yapıcı elementlerin oluşturduğu karbürlerin temperleme karakteristikleri	16
Şekil 5. Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü	19
Şekil 6. Plazma ark kaynak nozulu.....	20
Şekil 7. Maddenin plazma haline geçişi	21
Şekil 8. Plazma transfer ark alevi	21
Şekil 9. PTA plazmasının ısı dağılımı	22
Şekil 10. PTA kaynağında nozul ve elektrod.....	22
Şekil 11. PTA kaynak torcunda gaz akış yolları	23
Şekil 12. PTA kaynağında pilot ark (Transfer olmamış ark).....	24
Şekil 13. PTA kaynağında transfer olmuş ark	24
Şekil 14. Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü	25
Şekil 15. PTA kaynak makinesi ve donanımları	26
Şekil 16. Değişik paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları	29
Şekil 17. Östenitik paslanmaz çelik mikro yapısı	33
Şekil 18. Çeşitli paslanmaz çelik ürünler.....	34
Şekil 19. Radyografik Muayenede Pozlama	41
Şekil 20. X Işınları Üretimi ve Malzeme Kontrolü	42
Şekil 21. Gama ısıını ile radyografi çalışmasının sematik gösterimi	43
Şekil 22. Ultrasonik Muayene Yönteminin Çalışma Prensibi	44
Şekil 23. Manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri.....	45
Şekil 24. Penetrant uygulanması	46
Şekil 25. Farklı süreksizlik izleri.....	48
Şekil 26. Girdap akımları kontrolünde oluşan manyetik alan ve akımlar	49
Şekil 27. Boloskop Çeşidi.....	50

Şekil 28. PTA kaynak uygulamasının ve kaynak torcunun şematik resmi.....	54
Şekil 29. Thermal Dynamic/Arc PTA kaynak makinesi koruyucu gaz tüp bağlantıları ve kontrol paneli	54
Şekil 30. Numune çiftlerinin PTA kaynağı sırasındaki resimleri.	55
Şekil 31. Kontrol paneli, Güç kaynağı ve Işınım cihazı	56
Şekil 32. Röntgen çekimi için hazırlanan numuneler.....	56
Şekil 33. Işık cihazında filmlerin incelenmesi.	57
Şekil 34. Püskürtme yöntemi ile penetrant uygulanması.....	57
Şekil 35. Fazla penetrantın Cleiner ile yüzeyden uzaklaştırılması.....	58
Şekil 36. Developer(geliştirici) uygulanan numuneler.....	58
Şekil 37. Sıvı penetrant muayenesinde kullanılan spreyleyler	58
Şekil 38. Telerezyon tezgahı.....	59
Şekil 39. Telerezyon kesim esnasında ve sonrasındaki numuneler.....	59
Şekil 40. Telerezyonda kesilen numuneler	60
Şekil 41. Çekme test cihazı	60
Şekil 42. Çekme test numunesi ölçüleri ve resimleri	61
Şekil 43. Mikroyapı numunesi ve ölçüleri.....	61
Şekil 44. Mikrosertlik numunesi ölçüleri.....	62
Şekil 45. Mikrosertlik numunesinden sertlik alınan bölgeler	63
Şekil 46. Kullanılan mikrosertlik cihazı	63
Şekil 47. Mikrosertlik testi örnekleri.	63
Şekil 48. Kaynaklı birleştirmelerin röntgen resimleri	66
Şekil 49. Sıvı penetrant muayenesi yapılmış numunelerin resimleri	68
Şekil 50. AISI 304-AISI 304 çelik çiftlerinin mikrosertlik grafikleri.....	70
Şekil 51. Ramor 500 – Ramor 500 çelik çiftlerinin mikrosertlik grafikleri.....	71
Şekil 52. Ramor 500 - AISI 304 çelik çiftlerinin mikrosertlik grafikleri	71
Şekil 53. Çekme testi öncesi ve çekme testi sonrası numune resimleri.....	72
Şekil 54. AISI 304 – AISI 304 çiftinin kopma yüzeyinin kırık SEM-EDS analizi.....	74
Şekil 55. Ramor 500 – Ramor 500 çiftinin kopma yüzeyinin kırık SEM-EDS analizi.....	75
Şekil 56. Ramor 500 - AISI 304 çiftinin Ramor 500 tarafı kopma yüzeyinin kırık SEM-EDS analizi.....	76

Şekil 57. Ramor 500 - AISI 304 çiftinin AISI 304 tarafı kopma yüzeyinin kırık SEM-EDS analizi.....	77
Şekil 58. Fe/Cr/C/Ni elementlerinin üçlü faz diyagramı kombinizasyonları.....	78
Şekil 59. Çekme testisonrası numunelerin makro görüntüsü.....	79
Şekil 60. 80 A kaynak gücünde birleştirilmiş AISI 304 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği.....	82
Şekil 61. 100 A kaynak gücünde birleştirilmiş AISI 304 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği.....	82
Şekil 62. 120 A kaynak gücünde birleştirilmiş AISI 304 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği.....	82
Şekil 63. 140 A kaynak gücünde birleştirilmiş AISI 304 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği.....	82
Şekil 64. 80 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – Ramor 500 çelik çifti çekme test grafiği.....	83
Şekil 65. 100 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – Ramor 500 çelik çifti çekme test grafiği.....	83
Şekil 66. 120 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – Ramor 500 çelik çifti çekme test grafiği.....	83
Şekil 67. 140 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – Ramor 500 çelik çifti çekme test grafiği.....	83
Şekil 68. 80 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği.....	84
Şekil 69. 100 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği.....	84
Şekil 70. 120 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği.....	84
Şekil 71. 140 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği.....	84
Şekil 72. AISI304-AISI 304 ve Ramor 500-Ramor 500 çelik çiftlerinin optik görüntü bölgelerinin şematik gösterimi.	85
Şekil 73. Ramor 500-AISI304 çelik çiftlerinin optik görüntü bölgelerinin şematik gösterimi.	85

Şekil 74.	KaynakDikişlerinin makro görüntüsü.....	86
Şekil 75.	80 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen gerilim giderme tavlaması yapılmamış N1 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	87
Şekil 76.	100 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N3 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	88
Şekil 77.	120 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N5 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	88
Şekil 78.	140 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N7 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	89
Şekil 79.	N7 Numunesi SEM-EDS Analizi	90
Şekil 80.	80 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N2 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	92
Şekil 81.	100 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N4 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	92
Şekil 82.	120 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N6 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	93
Şekil 83.	140 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N8 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	93
Şekil 84.	N8 Numunesi SEM-EDS Analizi	94
Şekil 85.	80 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N9 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	95
Şekil 86.	100 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N10 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	96
Şekil 87.	120 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N11 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	96
Şekil 88.	N11 Numunesi Ramor 500 tarafı SEM-EDS Analizi	97
Şekil 89.	N11 Numunesi AISI 304 Tarafı SEM-EDS Analizi.....	99
Şekil 90.	140 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N12 nolu numuneye ait optik görüntüler.....	100

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1. 14.5 ve 7.62mm zırh delici mermilere karşı zırh çelikleri	7
Tablo 2. 7.62 ve 14.5 mm AP mermilerine karşı zırh malzemelerinin özellikleri.....	9
Tablo 3. Zırh çeliklerinde imalat işlemleri doğrultusunda istenen özellikler	13
Tablo 4. Zırh çeliklerinin kıyaslanması, sac kalınlığı; 25.4 mm.....	13
Tablo 5. Zırh çeliklerinin kimyasal bileşimleri	14
Tablo 6. Tablo 5’te verilen zırh çeliklerinin mekanik özellikleri	14
Tablo 7. AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çelikler	31
Tablo 8. Östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri.....	32
Tablo 9. Karom karbür çökelmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağılılığı.....	35
Tablo 10. Tahribatsız muayene testlerinin üretim endüstrisinde uygulama alanları.....	36
Tablo 11. Tahribatsız muayene yöntemleri ve kısaltmaları.....	39
Tablo 12. X-Işınları şiddetine göre nüfuziyetler	42
Tablo 13. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal analizi	53
Tablo 14. Deneyde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri	53
Tablo 15. PTA kaynağında kaynak parametreleri.....	53
Tablo 16. Plazma transfer ark kaynak parametreleri.....	55
Tablo 17. Metalografik incelemede kullanılan dağılayıcılar ve dağılama süreleri.....	62
Tablo 18. Radyografik muayene parametreleri.....	64
Tablo 19. Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesinde görülen hatalar ve tanımlar	65
Tablo 20. Sıvı penetrant muayene parametreleri.....	67
Tablo 21. Grafiklerdeki kodlamaların karşılıkları.....	69
Tablo 22. Çekme testi yapılan numunelerin çekme gerilmesi (Mpa)	81
Tablo 23. Deneyde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri	100

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlık kendini korumaya ihtiyaç duymuştur. Bunun için çeşitli silahlar geliştirmiştir. İnsanların silahlanmasına karşın, yine insanlar kendini korumaya çalışmıştır. Kendini korumak için kalkan ve zırhlar geliştirilmiştir. Savaşmak için sert cisimler kullanan insanlar, yine sert cisimleri korunmak için kullanmıştır. Barut ve ateşli silahların kullanımı ile savaşlar ve silahlar yepyeni boyutlar kazanmıştır. Silahların menzilleri ve hasar güçleri artarken boyutları ve ağırlıkları küçülmüştür. Buna paralel olarak bina, araç ve özellikle personel zırhında yüksek dayanım ve düşük yoğunluk ihtiyacı kaçınılmaz olmuştur. [1]

Kaynak endüstride çok yaygın olarak kullanılan bir imalat yönteminin yanısıra, tamir amaçlı bir yöntem olarak çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerek imalat, gerekse onarım işlemlerinde birleştirilen malzemelerin sahip oldukları mekanik özelliklerin, yapılan kaynak nedeniyle, değişikliğe uğramaması veya uğradığı değişikliğin kabul edilebilir sınırlar içinde olması istenir. % 0,20'ye kadar karbon ihtiva eden alaşımsız düşük karbonlu çeliklerde kaynak esnasında ve sonrasında bir problemle karşılaşılmaz, yani kaynak sonrasında parçanın kalitesi ve kullanma emniyeti kabul edilebilir sınırlar içerisinde değişir. Fakat, alaşımsız yüksek karbonlu çelikler ile az alaşımlı çeliklerde aynı durum sözkonusu değildir. Bunun en büyük nedeni çelik içerisindeki yüksek karbon miktarı ve diğer alaşım elementleridir.

Kullanım amacı olarak bir zırh çeliği patlayıcı ve delicilere karşı dirençli olması gerekir. Bu özelliği karşılayabilmesi için mukavemet ve sertlik değerlerinin yüksek olması istenir. HV 600 değerinin üzerindeki sertlik değerleri çeliğe kırılmalık özelliği kazandıracağından, zırh çeliği üzerine gelen darbelere karşı kırılmalık davranış gösterecektir. Zırh çeliklerinde kimya kompozisyonu, su verme, temperleme ve östenitleştirme gibi ısı işlemleri çok büyük önem arz etmektedir[2].

Paslanmaz elikler bileşimlerinde en az %11 krom içeren korozyona karşı dayanıklı bir elik türüdür. Korozyona karşı üstün dirençli olduklarından endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı paslanmaz elik türlerinde krom miktarı %30'a varan oranları bulmaktadır. Karbon ve krom dışında çeliğin özelliklerini geliştirmek amacıyla alaşım elementi olarak kullanılan birçok element vardır. Nikel, molibden, bakır, mangan, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, vanadyum, kükürt ve selenyum kullanılan bu alaşım elementlerinden birkaçıdır. [3]

Plazma ark kaynağı (PAK) , bir tungsten elektrod ile iş parçası arasında oluşturulan ark ısısı ile birleştirildiği gaz korumalı bir ark kaynağı yöntemidir. Oluşturulan ark,bakır alaşımından imal edilmiş bir nozul ile çok yüksek düzeyde yoğunlaştırılarak bir sütün haline getirilmektedir. Plazma, plazma gazının bir kısmının iyonlaştırılması ile oluşturulmaktadır. Birleştirme işlemi, ilave metal kullanarak yada sadece ana metal ergitilerek yapılabilmektedir. [4]

Bu alışmada Ramor 500 Zırh eliği ve AISI 304 stenitik Paslanmaz eliğin Plazma Ark Transfer Kaynağı ile birleştirilebilirliği incelenecektir.

2. ÇALIŞMANIN LİTARATÜRDEKİ YERİ VE ÖNEMİ

Gelişen teknoloji ile birlikte son yıllarda hem dünyada hemde ülkemizde zırh çelikleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. İlerleyen teknoloji hasar gücü yüksek silahların geliştirilmesine imkan tanımakla birlikte, korunma ihtiyacına karşın zırh çeliklerinde gelişmesini sağlamaktadır. Zırh çeliklerinin üretim aşamasından sonraki önemli konuda bu çeliklerin işlenebilirlik ve kullanılabilirliğidir. Özellikle değişik kaynak yöntemleri ile bu çeliklerin diğer çelikler ile kaynak edilebilirliği önemlidir. Zırh çeliklerinin birleştirilmesinde modern kaynak yöntemlerinin önemi büyüktür.

Gelişen teknoloji üretimi yöntemlerini kolaylaştırmış ve artık üretimden çok kalite kontrolün önemini ön plana çıkartmıştır. Kalite kontrolün en önemli aşamalarından olan tahribatsız muayene sanaayide hemen her alanda kullanılmakta olup, imal edilen ürünlerdeki hataların tesbitini max. düzeye taşımıştır.

Aşağıda ülkemizde ve dünyada zırh çelikleri, PTA kaynak yöntemi, paslanmaz çelikler üzerine yapılan, hem imalat hemde birleştirme çalışmalarından bazılarını, kaynak yöntemleri üzerine yapılan bazı çalışmaları ve tahribatsız muayeneler ile ilgili yapılan çalışma ve sonuçlarını göreceğiz.

Martikainen (1995), yapı çeliklerinin plazma ark anahtar deliği kaynağında yüksek kaliteli kaynak için şartları incelemiştir. Bu çalışmada yapı çeliklerinin ve yüksek mukavemetli çeliklerin dikey ve yatay pozisyonda I-oluk ile alın kaynağı ve kalın parçalar için kök birleştirmeler yapılarak kaynak kabiliyetinin iyi olduğu şartları incelenmiştir. Anahtar deliği plazma ark kaynağının basınçlı kaplar, tanklar, büyük çaplı borular ve geniş plakalarda lazer ışın kaynağı ve elektron ışın kaynağı kadar başarı bir şekilde kullanılabileceğini tespit etmiştir. [5]

Urena vd., (2007), plazma ark kaynağı kullanılarak 2205 duplex paslanmaz çeliğin kaynak edilebilirliğini incelemişlerdir. 2205 duplex paslanmaz çeliğinin plazma ark kaynağında metalurjik olarak kaynağa elverişliliği ve uygun işlem için minimum net enerjiyi tespit etmek amacı ile iki farklı yöntemi (anahtar deliği plazma ark kaynak yöntemi ve ergitme plazma ark kaynak yöntemi) kullanarak optimum kaynak şartlarını belirlemeye çalışmışlar; kaynak sonrasında anahtar deliği plazma ark kaynak tekniğinde 2500-3000 J/cm oranlarında uygulanan enerji ile bu malzemenin kaynağının başarılabildiğini, daha yüksek nüfuziyet ve kaynak genişliğine ulaşıldığını tespit etmişlerdir. [6]

Dey ve akadaşları [19], yapı elikleri, Weldom 460E, Weldom 700E ve Weldom 900E eliklerinin dayanımlarının balistik başarımı etkisini 150-350m.s-1 hızda mermi gönderebilen bir gaz tabancası kullanarak incelemişlerdir. Balistik sınır hızının, kt uçlu mermiler karşısında dayanım arttıa azaldığı belirlenirken konik ve yumru mermiler karşısında dayanım arttıa arttığını tesbit etmişlerdir. [7]

Atapek ř. bor katkılı bir zırh çeliğinin fiziksel metalurjik esaslar doğrultusunda geliştirilmesi ve balistik performansının değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Isıl işlem koşullarına bağlı olarak, geliştirilen zırh çeliğinin sertlik, mukavemet, tokluk, aşınma gibi mekanik özelliklerinin ve korozyon direncinin dışında V50 balistik limiti ve yüksek çarpma hızlarındaki performansı araştırmıştır. Araştırmaları sonucunda zırh çeliklerinin alaşım tasarımı üzerine daha farklı çalışmalar yapılması gerektiği kanısına varmıştır. Hızlı su verme ile çeliklerde martenzitik/beynitik dönüşüm gözlemlemiş olup, martenzit/bennit başlangıç sıcaklığının oda sıcaklığının çok üzerinde bir değer olduğunu görmüştür. Aşınma davranışlarını incelediğinde yüksek sertlikteki zırh çeliklerinin düşük sertlikteki zırh çeliklerine göre daha düşük aşınma dayanımı gösterdiğini gözlemlemiştir. Yapılan balistik testler sonucunda geliştirilen zırh çeliğinin daha yüksek V50 balistik limitlere sahip olduğunu gözlemlemiştir. [8]

Ayrıca, Maweja ve Stumpf, hasar mekanizmalarını ve hem darbe bölgesinde hem de darbe bölgesine dik kesitte meydana gelen faz dönüşümlerini incelemek için çeşitli koşullardaki zırh çeliklerini 5,56 mm'lik zırh delici mermilerle balistik olarak incelemişlerdir. Zırh malzemesinin içyapısının balistik başarımı doğrudan etkilediğini belirlemişlerdir. [9]

Atapek ř.(y.lisans) zırh çeliklerinin fiziksel ve metalurjik esaslar doğrultusunda geliştirilmesi ve karakterizasyonu üzerine yaptığı çalışmada, Orta karbon ve alaşım elementi ile birlikte bor katkılı yeni tür bir alaşımlandırma dizaynının yapılması ve uygulanan çeşitli ısıl işlemlerle zırhın performansını belirleyecek olan optimum mekanik özelliklerin balistik karakteristiğe uygun bir aralık içinde elde edilmesi hedeflemiştir. Değişen kompozisyon ve ısıl işleme paralel olarak elde edilen mikroyapıların performansı belirleyen mekanik özellikler üzerine olan etkileri araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar zırh çeliklerinin bor katkılı veri bir kompozisyondan yola çıkılarak sadece ısıl işlemlerle istenen mekanik özelliklerin sağlanabileceğini göstermiştir. Hedeflediği mekanik özellikleri değişen ısıl işlemler ile elde etmiştir. [10]

Manganello ve Abbot [8], elik zırhların düşük hız darbe dayanımlarına elik özelliklerinin etkisini incelemişlerdir. Bu alışma, balistik başarımı en çok etkileyen özelliğın sertlik olduğunu ortaya koymuştur. [11]

Zangin E.(y. Lisans) Armour 500 zırh çeliğine aynı kaynak yöntemi ve elektrodu ile dört farklı ön tav sıcaklığında kaynaklı birleştirme uygulanmış ve birleştirme bölgesinin mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yaptığı deneyler sonucunda, kaynaklı birleştirilen numunelerin hepsinde akma ve çekme dayanımlarının artan n tav sıcaklığıyla birlikte azaldığı, snekliğının arttığı sonucuna varmıştır. [2]

Demir T. AISI (1050, AISI 4140, AISI 4340, 100Cr6) alüminyum alaşımları (AA) (AA 5083 ve AA 7075) ile katmanlı kompozitleri 7,62 mm'lik zırh delici mermiler karşısında balistik olarak incelenmiştir. elik numuneler AISI 1050 hariç dört farklı ısıl işlem, alüminyum alaşımlarından AA 7075 te üç farklı ısıl işlem koşulunda denemiştir. Dört farklı sertlik değeri temel alınarak ısıl işlem uygulanan çeliklerde 40, 50, 55 ve 60 HRC sertlikler elde edilmeye çalışmıştır. Alüminyum alaşımı 7075'te ise tavlama (T0), yaşlandırma (T651) ve aşırı yaşlandırma (T7351) ısıl işlemleri uygulanmıştır. Tüm numunelere balistik deneylerden önce mekanik deneyler uygulamıştır. Kalınlığın balistik başarımına etkisini gösterebilmek için numunelerini 5 farklı kalınlıkta hazırlamıştır. Her bir atış beş kez tekrarlanarak toplamda 525 atış yapmıştır. Ardından en yüksek dayanımı gösteren ~53 HRC sertlikteki AISI 4340 numunesin önüne seramik koyarak katmanlı şekilde denemiştir. Yaptığı çalışmada en yüksek balistik başarımı katmanlı kompozitler sergilerken, bütüncül zırh malzemeleri içinde en iyi başarımı ~53 HRC sertlikteki AISI 4340 numunesi göstermiştir. [1]

Kılıç M.(Y.Lisans) AISI 1040 elik ile AISI 304 paslanmaz eliğı iki grup numune hazırlayarak incelemiştir. Amper değerlerini(100,110,120,130,140), setbek ayarını (0,8mm), koruyucu gaz debisini(25lt/dk) sabit tutup, plazma gazı ve ilerleme hızlarını değişken alarak deneylerini gerçekleştirmiştir. 1. Grup numunede 0,8lt/dk plazma gazı ve 0,1mm/dk ilerleme hızını, 2. Grup numunelerde 1,2lt/dk plazma gazı ve 0,03mm/dk ilerleme hızını kullanmıştır. Her iki grup numunelerdede mikro ve makro çatlaklara rastlamamış ayrıca gaz debisinin kaynak nufuziyetini artırdığını gözlemlemiştir. Artan nufuziyet mukavemet değerlerini iyileştirmekle birlikte çentik darbe dayanımının amper değeri ve gaz debisi ile doğru orantılı olarak arttığını gözlemlemiştir. [4]

Zhang vd., (2002), Tanju farklı kalınlıklardaki 304 kalite paslanmaz elik plakaları çift taraflı anahtar deliği tekniğiyle değişken parametreler kullanarak birleştirerek, derin bir nüfuziyet sağlamak için optimum şartları belirlemeye çalışmışlardır. Çift taraflı anahtar deliği tekniğiyle; 304 kalite 9.5 mm ve 12.7 mm kalınlıktaki plakaları 70 amperden daha küçük amperajlarda (67-69 A) ve düşük kaynak ilerleme hızlarında (1 mm/s- 0.69 mm/s) birleştirerek, derin bir nüfuziyet elde edilebileceğini tespit etmişlerdir. [6]

Seçim C. (y. Lisans.) Tahribatsız muayene ve uygulama alanları ile yaptığı çalışmada řu sonuçlara varmıştır. Malzeme kalınlığının 40mm'den az olduğu durumlarda radyografik muayenede çok iyi sonuçlar alınabilmektedir. Röntgen ile yapılan tahribatsız test, küt alın kaynak yöntemine müsait bir yöntem olup, bindirme kaynakları için olumlu sonuç veremeyebilen bir yöntem olduğu sonucuna varmıştır. Ultrasonik muayene 8mm kalınlıktan başlayarak çok kalın malzemelerin iç kısımlardaki süreksizliklerini belirlemede iyi bir yöntem olduğu sonucuna varmıştır. Ultrasonik muayenede hataların görüntüsü elde edilememekte fakat hatanın derinliği tesbit edilebilmekte olup, daha çok düzlemsel parçaların muayenesinde uygun olduğu sonucuna varmıştır. [13]

3. ZIRH ÇELİKLERİ

Gelişmekte olan ülkeler savunma sanayisine yönelik araştırma geliştirme faaliyetlerini her geçen gün arttırmaktadır. Buna paralel olarak bu çalışmalar için ayrılan mali kaynaktan artmaktadır. Teknolojik gelişmeler gelişmiş ateşli silahların modernleşmesini hızlandırmakta ve buna ek olarak koruyucu malzemelerin üretilebilirliğini artırmaktadır [10]

Tablo 1’de askeri ve sivil platformlarda modern silahların oluşturduğu tehditlere karşı kullanılan balistik koruma malzemeleri verilmiştir. [14] Koruyucu malzeme seçimi ateşli silahlardan çıkan merminin, penetratörün ya da ateşli parçacığın türü, geometrisi ve penetrasyon kinetiğine göre yapılır. Belirtilen malzemeler arasında homojen olarak haddelenmiş zırh çelikleri (RHA, Rolled Homogeneous Armor) askeri platformlarda çok çeşitli, personel ve mühimmat taşıyan araçlarda koruyucu malzeme olarak kullanılmalıdır. [15]

Tablo 1. 14.5 ve 7.62mm zırh delici mermilere karşı zırh çelikleri [15]

Zırh Malzemeleri	
Çelik -RHA (HB 380) -Yüksek sertlik (HB 550) -İlk defa sertleştirilmiş (HB 440-600)	Cam Takviyeli -E cam -S cam
Alüminyum -5083 alaşımı -7039 alaşımı -2519 alaşımı	Seramik -Alüminyum oksit -Alüminyum oksit + Al -Bor karbür -Bor karbür + Al -Titanyum diborür
Kompozit(seramik yüzeyli çok katmanlı) - Al + RHA - Çelik + RHA - E cam + RHA	

3.1. Zırh Teknolojisi

Bir ana savunma hattının en önemli unsuru ‘zırh’ korumasıdır. En mükemmel zırh malzemesinin sertlik değeri çok yüksek ve kırılabilirliği az malzemelerdir. Zırhlı tasarımlarda, yenilikçi, her uygulamada ‘modüler’ kullanım ön plana çıkmaktadır. Buna paralel olarak da seramik içeren kompozit zırhların giderek yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Kullanılan malzemelerin yanı sıra zırh teknolojilerinin ana unsurları aşağıda verilmiştir. Tüm bu unsurlar ve zırh malzemesinin bir bütünlük içerisinde ele alınması zırh teknolojileri için büyük önem taşımaktadır.

- Dökümantasyon ve kapsamlı bilgi
- Modelleme, benzetim unsurları ve tasarım
- Test unsurları ve sonuçları
- Entegrasyon ve atışlı denemeler.

Önceden de belirtildiği gibi bir savunma platformunun en önemli unsuru ‘zırh’ korumasıdır. Savunma platformu çeşitli yüzeyleri (motorun, gövde altının, mürettebatın, gövde geri bölmesi, cephe ve kulenin) korunması amacı ile her tür kinetik enerjili/kimyasal enerjili ve diğer mühimmatlara karşı en yüksek koruma sağlanması büyük önem taşımaktadır. İyi bir zırh malzemesinin sertliği yüksek ve kırılabilirliği düşük olmalıdır. Bununla birlikte ağırlıkta en önemli etkenlerden birisidir. Sürekli artan farklı tehditlerden dolayı zırh koruması özellikle araçlarda % 15-20’lik ilave ağırlık gerektirmiştir. Örnek olarak M1 Abrams tankları 54 tondan 64 ton ağırlığa çıkmıştır. Ağırlığın bu artışı yönde artması araçların manevra kabiliyetlerini zayıflatmakta, sevkiyatlarını zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı zırh malzemeleri üzerindeki çalışmalarda, hafifletme üzerine yapılan çalışmalar özel bir önem taşımaktadır. Gelişmiş zırh malzemeleri dört ana bölüme ayrılırlar :

- (a) İleri metalik zırhlar,
- (b) İleri seramik kompozit zırhlar,
- (c) Polimer kompozit zırhlar,
- (d) Fabrikler (bez)

Zırhlı tasarımlarda modüler kullanıma uygun olan seramik içeren kompozit zırhlar popüler konumdadır. Zırh çeliği olarak bilinen Cr, Mn, Ni, Mo içeren düşük alaşımlı ve kompleks termomekanik işlemlerden sonra özel ısıtma işlemi görmüş çeliklerin (MIL-A-

12560-Rolled Homogeneous Armor, RHA, haddelenmiş homojen zırh çeliği) yanı sıra zırh malzemeleri çok çeşitli kapsamlarda incelenebilirler. Tablo 2’de 7.62 ve 14.5 mm mermilere karşı çeşitli zırh malzemelerin yoğunluk ve kütle verim değerleri gösterilmiştir. [16]

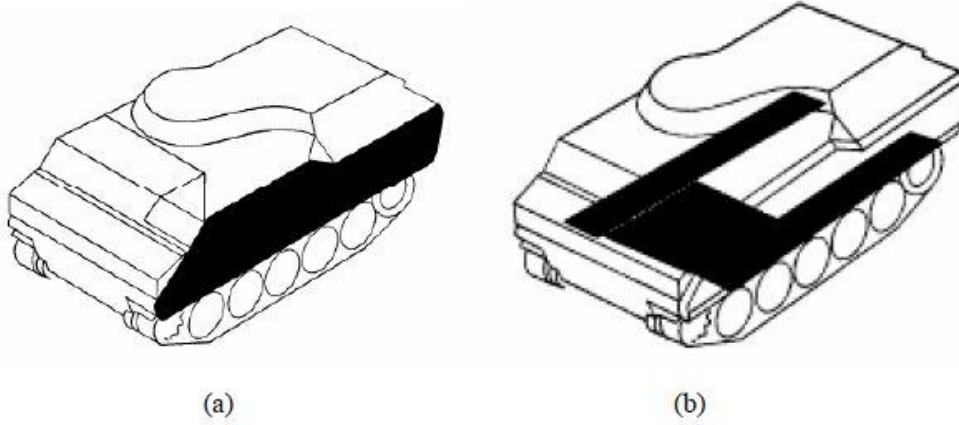
Tablo 2. 7.62 ve 14.5 mm AP mermilerine karşı zırh malzemelerinin özellikleri [16]

Zırh Malzemesi	Yoğunluk, g/cm ³	Alansal yoğunluk, kg/m ²	Kütle Verimi, Em
Çelik *			
- RHA (Sertlik 380 BHN)	7.86	114	1.00
- Yüksek sertlik (550 BHN)	7.88	98	1.16
- İki defa sertleştirilmiş (440-600 BHN)	7.88	64	1.78
Alüminyum			
- 5083 alaşım	2.70	128	1.0-1.2
- 7039 alaşım	2.78	106	1.08
- 2519 alaşım	2.80	100	1.14
Cam Takviyeli *			
- E cam	2.08	115	0.74
- S cam	2.05	93	1.23
Seramik *			
- Alümina	3.56	-	-
- Alümina + Al	3.20	42	2.75
- Bor karbür	2.45	-	-
- Bor karbür + Al	2.56	35	3.26
- Titanyum diborür	4.45	-	-
Kompozit (seramik, katmanlı)			
- Al + RHA	-	137	2.63
- Çelik + RHA	-	131	2.75
- E cam + RHA	-	125	2.88

3.2. Zırh Uygulamaları

Haddelenmiş zırh çeliklerinin uygulama alanları: tank, obüs ve zırhlı muharebe araçlarıdır. Bu çelikler mermi, parçacık, anti tank mayınları ve tahrip amaçlı el bombalarına karşı korunma oluşturmaktadır. Kara savaşlarında en önemli muharebe aracı olan tankların sağlamlık özelliğinin sürdürülmesine yönelik olarak, zırh ile

kaplanmasındaki temel hedef, aracın ve mürettebatın tehditlere karşı olumsuz etkilerden korunmasının sağlanmasıdır. Şekil 1.'de gösterildiği gibi, zırh çeliği tank üzerinde yan panel (Şekil 1.a) ve mayına karşı taban sacı (Şekil 1.b) olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. Bir tank üzerinde a) yan koruyucu panel ve b) mayına karşı taban sacı olarak zırh çeliği kullanımı [17]

Kundağa motorlu obüsleri zırh çeliklerinin kullanıldığı bir başka askeri araçtır. Türk Silahlı Kuvvetlerinin bünyesinde bulunan Fırtına Obüslerinde kule veya gövde oluşturacak biçimde kaynaklı olarak zırh çeliği uygulaması sözkonusudur. Şekil 2'de zırh ile korunmuş bir Fırtına Obüsü görülmektedir.

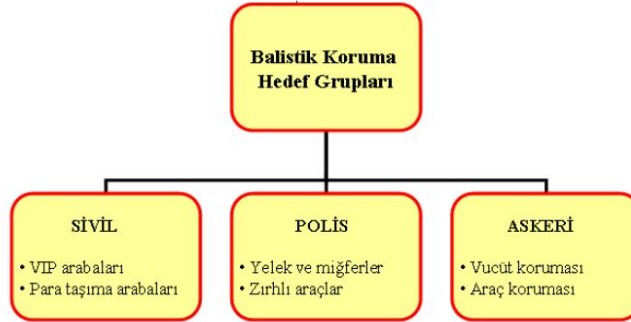
Zırh çeliklerinin kullanıldığı araçlara örnek olarak zırhlı muharebe aracı (ZMA), zırhlı taktik aracı, personel taşıyıcılar, Tow aracı, zırhlı havan aracı, istihkam manga aracı ve komuta kontrol aracı verilebilir. [17]



Şekil 2. Çelik ile zırhlandırılmış Fırtına obüsü [17]

Koruma amaçlı zırh malzemeleri, sivil ve savunma sanayii amaçlı birçok kara, hava, deniz ve uzay aracında kullanılmaktadır (Şekil 3). Günümüzde sivil ve askeri platformda en yüksek tehdidi ateşli silahlardan çıkan, kinetik enerjili mermiler oluşturmaktadır. Bu

silahlardan çıkan mermiler geometrik, mekanik ve kinematik özellikleri açısından çeşitlilikler göstermektedir. Bütün bunların yanı sıra tank gibi savunma ve saldırı araçları için tasarlanan, hasar türü kinetik enerjili mermilerinden çok farklı olan mermilerde göz önünde bulundurulmalıdır. Merminin hedefte patlamasıyla başlayan nüfuziyetin fiziki davranışı, saldırı ve savunma aracına bağlı özellikler kombinasyonuna bağlı, değişkenlik gösterir. [18]



Şekil 3. Balistik koruma grupları. [18]

Bahsi geçen mermilere karşı zırh malzemesi olarak alüminyum malzemeler ve alaşımları, çelik, seramik, cam ve elyaf takviyeli kompozit malzemeler kullanılır. [19-20] Günümüzde özellikle askeri alanda kullanılan tank ve benzeri savunma ve saldırı amaçlı olarak en yaygın kullanılan zırh malzemesidir, çelik. Çelik kullanılmasının başlıca nedeni çeliklerde yüksek dayanım özellikleri görülmesi, yeterli tokluk, yüksek kaynak kabiliyeti gibi malzeme özellikleri ve diğer zırh malzemelerine göre daha düşük olan üretim maliyetleridir.

Zırhlı savaş araçları, kinetik penetratörler, yüksek derecede patlayıcı ve parçalayıcı savaş başlıkları gibi değişik karakterli mermilerin darbesine karşı çatlamaya, parçacıkların kopmasına ve kırılmaya karşı direnç göstermek oldukça önemlidir. Bu tehditlere karşı kapladığı alanı koruyacak olan yapısal zırh çelikleri yüksek kalitede homojen bir mikroyapıya sahip olmalıdır. Zırh çelikleri alaşımlı çelikler olup kimyasal kompozisyon özellikleri olarak kendileri gibi östenitleştirme ve su verme kademesini içerisine alan sertleştirme ile temperleme aşamasından geçen ıslah çelikleri ile benzer bir kompozisyon gösterirler. Son işlemlerinden sonra bu çelikler yüksek temperlenmiş, çökelti sertleşmesi gösteren martenzitik bir mikroyapı gösterirler. Burada haddeleme ile elde edilen zırh çeliğinde sertleştirme ve temperleme sonrasında yüksek mukavemet ve tokluk gibi

özellikler göstermesi beklenmektedir. Homojen zırh çelikleri olarak üretilen bu çeliklerin kalınlıkları boyunca aynı sertlik ve mukavemete sahip olması gerekmektedir. [21-22]

3.3. Zırh Çeliklerinin Özellikleri

Koruma amaçlı kullanılan araçların kaplanması uygulanan zırh çeliklerinin aşağıda verilen özelliklerde olması istenir. [22] Mermi ve patlayıcı darbelerine karşı yüksek dayanım, imalatı kolaylık, uzun süreli kullanım istenir. Balistik darbeye dayanım, dayanım yüksek tokluk ile sağlanmaktadır. Zırh çeliklerinin darbe tokluğu özelliğinin iyi olması istenir.[23] Zırh çeliklerinin araca kaplanması üretim zorluklarını en alt düzeye indirmek için, gerekli metalurjik özellikler sağlanması gerekir. Tablo 3’de değişik üretim basamakları için metalurjik koşullar verilmiştir.[22] Mukavemet ve sertlik koşulları orta karbonlu çeliklerin tercihiyle sağlanır. Yapılan tercihte C, iyi kaynak edilebilirlik için sınırlandırılmıştır. Son işlem olarak uygulanan sertleştirme ve temperleme işlemiyle mukavemet ve tokluk dengelenmiş olur.

Zırh uygulamalarının yapıldığı ağır ve hafif taşıtların değişik ve çetin arazilerdeki hareketlerinden, mermi mukavemetlerine karşı kaynak bölgelerinin yorulma direncinin yüksek olması gereklidir. Gerilmeli krozyon sorunu sert zırh çeliklerinde (> 500 HB) ortaya çıkabilir. Gerilmeli bölgeler korozyon bir ortamla karşılaştığında korozyon oluşumu artar. Zırh çeliğinde yapılan çalışmalar sonucu 500-600 HB sertliğe erişilmiştir. Yükselen mukavemete ve sertliğe eşdeğer olarak toklukta azalmalar görülmeye başlanmıştır. Azalan tokluğu yükseltmek amacıyla ikinci metalurjik işlemler uygulanarak kükürt ve fosfor düşük seviyelere indirilmiştir. [24-25] Termomekanik işleme ve hammadde kontrolü yöntemlerinin uygulanması ile üretimde mekanik özellikler iyileştirilmiştir. [24-25-26]

Tablo 3. Zırh çeliklerinde imalat işlemleri doğrultusunda istenen özellikler [22]

	İmalat İşlemleri			
	Isıl kesme	Kaynak	Talaşlı İşlem	Şekillendirme
Gerekli Metalurjik Özellikler	-Düşük karbon eşdeğeri -Sınırlı segregasyon -Çok düşük hidrojen miktarı -Düşük kalıntı gerilmesi	-Düşük karbon eşdeğeri -Düşük hidrojen miktarı -Düşük kalıntı gerilmeleri	-Yüksek olmayan sertik	-Yüksek süneklik

Tablo 4’te bazı zırh çeliklerinin balistik performansları ile mekanik özellikleri verilmiştir. [10] Tabloda verilen zırh çelikleri temperlenmiş ve su verilmiş düşük alaşımlı çeliklerdir. Sınıf I tipi çelikler çoğu araç uygulamalarında kullanılan standart zırh çelikleridir. Sınıf II tipi çelikler Sınıf I’e benzer bir kimyasal kompozisyona sahiptirler. Ancak nufuziyetten çok şok darbelerinin etkili olduğu işlemler için daha yüksek seviyede temperlenir. Yüksek sertliğe sahip çelikler genellikle ağırlık azaltma ve nufuziyet direncinin önemli olduğu durumlarda kullanılır. Karmaşık şekle sahip parçalarda ise döküm mazlemeler kullanılır. Düşük sertlikli(standart) zırh çeliği ile karşılaştırmalarda yüksek sertliğe sahip zırh çeliklerinin balistik performansı % 20 daha yüksek çıkarken, döküm malzemenin ise % 13 daha düşüktür. [18]

Tablo 4. Zırh çeliklerinin kıyaslanması, sac kalınlığı; 25.4 mm [10]

Zırh çeliği türü	Sertlik (HRC)	Tokluk	Balistik Performans	Alaşım Kimyası	Karbon Eşdeğeri
Sınıf I (MIL-A-12560)	34-40	21,6	1,00	Mn-Mo-B	0,64
Sınıf II (MIL-A-12560)	29-34	28	Şok direnç	Mn-Mo-B	0,64
Yüksek Sertlikte Plaka (MIL-A-46100)	50-53	13,5	1,20	Cr-Ni-Mo	0,85
Döküm (MIL-A-113596)	32-38	16,3	0,87	Cr-Ni-Mo	0,78

3.4. Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalurjisi

3.4.1. Zırh Çeliklerinde Alaşımlama

Tablo 5’ te bazı zırh çeliklerinin kimyasal bileşimleri gösterilmiştir. [27-28] Tablo 5’ deki çeliklerin özellikleri de Tablo 6’da gösterilmiştir.[27-28] Bir çok uygulamada MIL-A-12560 çeliği kullanılmakta olan standart zırh çeliğidir. Yüksek sertlik özelliklerine sahip MIL-A-46100 çeliği ise balistik korumanın MIL-A-12560’a göre % 20 daha etkili olduğu (14.5 mm AP) zırh çeliğidir. Tablo 5’te verilen alaşım elementlerinin beraberinde bu çelikler, alüminyum, titanyum, niobyum, vanadyum, bor elementleri gibi mikroalaşım elementleri de içerebilir.

Tablo 5. Zırh çeliklerinin kimyasal bileşimleri [27-28]

Kimyasal Bileşim (%)	MIL-A 12560 (Mars 190)	MIL-A 46100 (Mars 240)	MIL-A 46173 (Mars 270)	Mars 300	XH 129	Armox 440 T
Karbon	< 0.30	< 0.30	0.37 maks.	0.45-0.55	0.26-0.32	0.21
Mangan	1.20	0.95	0.90	0.3-0.7	0.1-0.4	1.2
Kükürt	0.005	0.005	0.005	0.005	≥0.01	0.01
Fosfor	0.012	0.012	0.012	0.012	≥0.015	0.01
Silisyum	0.2-0.4	0.2-0.4	0.2-0.4	0.6-1.0	0.1-0.4	0.1-0.5
Nikel	1.80 maks.	1.85 maks.	3.00 min	4.5 maks.	-	2.5
Krom	1.00	1.6	1.90 maks.	0.4 maks.	1.0-1.5	1.00
Molibden	0.3-0.5	0.5	0.3-0.5	0.3-0.5	0.1-0.5	0.7

Tablo 6. Tablo 5’te verilen zırh çeliklerinin mekanik özellikleri [27-28]

Özellik	MIL A 12560 (Mars 190)	MIL A 46100 (Mars 240)	MIL 46173 (Mars 270)	Mars 300	XH129*		Armox 440 T
Sertlik (HB)	277-388	477-534	477-601	578-655	400-450	480-530	420-480
Çy (MPa)	1150	1100	≥1100	≥1300	1200	1300	≥1100
ÇT (MPa)	1250	1600	≥1700	≥2000	1375	1600	1300-1500
Uzama (%)	≥10	≥9	≥8	≥6	10	9	≥10
Tokluk	20-30	30 - 40	30	15	16	14	30

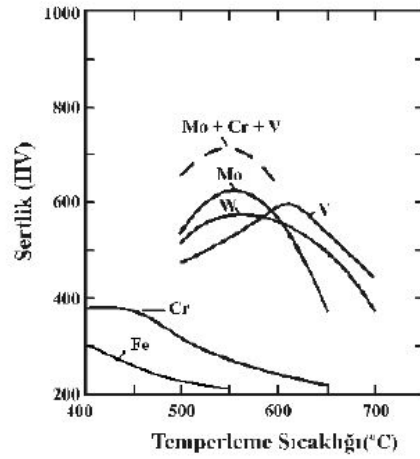
Tablo 6’da gösterilen zırh çeliklerinden ilk üç sıradaki düşük karbonlu çeliklerdir. Tablodaki çeliklerin kimyasal bileşiminde maksimum karbon miktarı % 0.3’tür, daha düşük seviyelerdeki karbon miktarı, kaynaklanabilirlik, tokluk yönünden tercih edilir.

Darbe dayanımı açısından zırh çeliklerinin düşük karbonlu olması çok önemlidir. Çelik içindeki alaşım elementlerinden karbonun miktarı kaynaklanabilirliği önemli düzeyde etkiler. Kaynak bölgesindeki çatlak oluşumu artan karbon miktarı ile çoğalır. Kaynak bölgesinde oluşan çatlak ve boşluklar zırhın performansını eksi yönde etkilediğinden, kaynak sonrasında yapılan bazı işlemlerle bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Tokluk ve kaynaklanabilirlik özellikleri açısından, karbon değerinin düşük olması önem arz etmektedir. Bahsedilen özellikler zırh çeliklerinin kullanımında belirleyici özelliklerdir. Gerek yüksek akma dayanımı, gerekse yüksek sertlik değeri sebebiyle, düşük karbonlu çelik türleri dışında kimyasal bileşimdeki karbon miktarı, daha yüksek (% 0.37-0.55) çelik türleri de, örn. MIL-A-46173 (Mars 270) ve Mars 300, zırhlı araçlarda kullanım alanı bulmaktadır. [29]

3.4.2. Zırh Çeliklerine Uygulanan Isıl İşlemler

Zırh çelikleri martenzitik karakterde olduklarından tokluk kombinasyonu ve optimum mukavemet, özellikleri su verme, östenitleme sonrasında uygulanan temper işlemi ile elde ederler. Düşük C’lu çelikleri temperlemede su verme sonrasında martenzit içinde oluşan C, demir ile bir araya gelerek sementit (Fe_3C) çökmesine yol açar ve böylece martenzitin ferrite dönüşmesiyle sertlik değeri düşer. Fakat çelik kompozisyonunda bulunan karbür yapıcı elementler C ile yüksek temperleme ısılarında bir araya gelerek değişik tipte karbür (MC, M_2C , M_7C_3 vs.) çökeltilerine sebep olurlar. Bu çökelti sonucunda yükselen sertliğe ikincil sertlik denir. Karmaşık oluşan çökelti sertleşmesi ile sertlik artışı olur.[29]

Mo, Cr ve V içeren çeliklerde yüksek temperleme sıcaklıklarında oluşan kararlı karbürler matrikslerinin başlangıç sertliğini daha da arttırabilmektedir. Şekildeki diyagram incelendiğinde zırh çeliklerine katılan elementlerden neden öncelikli olarak krom ve molibdenin tercih edildiği açık olarak görülmektedir.



Şekil 4. Karbür yapıcı elementlerin oluşturduğu karbürlerin temperleme karakteristikleri [29]

Sertleştirme işleminde, zırh çeliklerine 900-950°C sıcaklıklarda uygulanan östenitleştirme ile matriksin karbon ve karbür oluşturu elementlerle doyumu sağlanır ve su verilmiş olur. Oluşan lata tip martenzit, standart bileşimde 600 °C’de temperlenir. Direk sertleşme süresinde ikincil sertlik östenitin, karbon-alaşım elementleriyle doyum seviyesine bağlı bir değerdir. Martenzitik matriksin tipide biraz diğer alaşım elementleri ile çözünen karbon miktarı ile belirlenir. Zırh çeliğinin matriksi su verme sonrası %0,2-0,3 karbon içeriğine sahiptir ve yüksek oranda dislokasyon bulunduran lata tipi martenzitten oluşur.[30] Zırh çeliğinin darbe direncini ve mermilere karşı davranışını belirleyen temperleme mekanizmasının açıklanması için öncelikle dengeden uzak olarak çökelen ve çok ince olan ikincil sertlik çökeltilerinin tipi, şekli, boyutu, dağılımı ve miktarının bilinmesi gereklidir. Yüksek sıcaklıkta yumuşamaya ve ikincil sertliğe sebep olan reaksiyonların kimyalarının belirlenmesi için çökelti karakteristigi, matriks ve çökelti kompozisyonları 550-650°C’lik sıcaklıklar arasında bilinmelidir. Geçirimli elektron mikroskopisi (TEM) ile çökelti boyutu, şekli ve dağılımı belirlenir. Karbürlerin yeterince kabalaşmasıyla karbür bileşimleri enerji dağılım spektrometresi ataçmanlı taramalı geçirimli elektron mikroskobu (STEM/EDS) ile belirlenebilir.

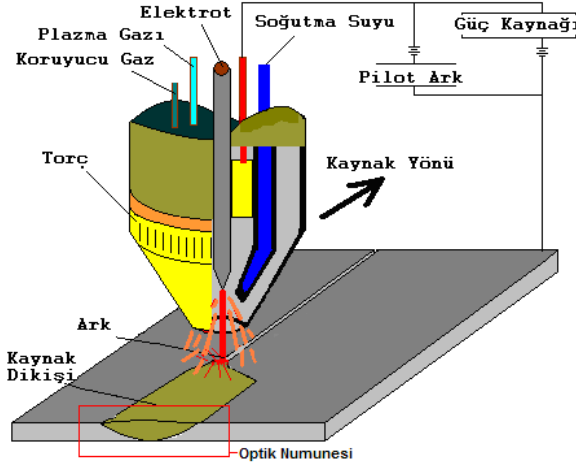
Fakat maksimum sertlik, ikincil sertlik noktasında bu cihazlar yeterli olmamaktadır. Kompozisyonel saptamalar günümüz teknolojinde kullanılmakta olan mikroanaliz yöntemlerinin içinde, ayırma gücü en yüksek olan atom prob alan iyon mikroskobu (APFIM) ile gerçekleştirilir [31-33]

İkincil sertlik görünen tipik martenzitik çelikden değişik görüntüleme ve analitik kompozisyon belirleme örnekleri bu bölümde verilmiştir. Örnek olarak verilen yüksek hız çeliğine su verme esnasında matriks C miktarı % 0.6 seviyelerindedir, bu sebeple basit yaklaşımları sunabilmek için kıyaslama amacı ile kullanılabilir. Lata tip bir martenzit matriste ikincil sertlik çökeltileri lata sınırlarında ve dislokasyonlarda oluşur. İkincil sertlik 540-560°C'lik sıcaklıklarda elde edilir ve 1-2 nm çapında, 5-10 nm boyutlarında çubuk şeklinde yarı kohelent çökelen M_2C tip karbürle 3-5nm çaplarında ve 1-2nm kalınlıklarında disk olarak yine yarı kohelent çökelen MC tip karbür ile elde edilir. Karbür stokiometrilinde C miktarlarının düşük çıktığı görülür. Hacım temperleme sonrasında % 3 - 3.5 oranında ikincil sertlik karbürleri çökeltme esnasında matris iç kısmı yüksek oranda C ve karbür oluşturu elementler katı ergiyik içinde bulunurlar. Görüldüğü gibi varolan doğrusal ilişki sebebiyle, kullanılmakta olan zırh çeliklerindeki potansiyel rahatça belirlenir. [32-33]

4. PLAZMA TRANSFER ARK KAYNAĞI

Plazma moleküllerden, atomlardan ve elektrotlardan oluşan kızdırılmış gazdan oluşur. Plazmada iki tane ark düzeni kullanılır. Taşıyıcı olmayan ark, ergimeyen tungsten elektrot ve su ile soğuyan bakır meme arasında oluşur. Bakır meme, arkı odaklar, güç yoğunluğunu arttırır ve buna bağlı olarak plazma demetinin sıcaklığını yükselten bir etki yapar. Bakır meme pozitif, tungsten elektrot negatif kutuplanmıştır. Bu şekildeki mekanizma plazma ile yapılan püskürtme işlemlerinde kullanılır. Bununla beraber karşılık arklı sistemde, memenin anot, tungsten elektrodun katot olarak bağlandığı, toryum oksitle alaşımlandırılmış tungsten elektrot ile ışın demetini odaklayan ve suyla soğutulan bakır memenin içerisinden geçerek iş parçası arasında oluşur. Plazma gazı elektrotla meme arasındaki silindir içerisinden püskürtülür. Bu sistem birleştirme işlemlerinde ve plazma kesmede kullanılır. Taşıyıcı ark, yüksek frekans ile yüklenen yardımcı ark ilk elektrot ve meme arasında yakılır. Taşıyıcı ark tutuştuğunda yardımcı ark sönmüş olur. Yalnız mikro plazma kaynağında, yardımcı ark muhafaza edilir. Yardımcı ark üzerinden akan akımın değeri bir direnç vasıtasıyla sınırlanır. Plazma kaynağında, plazma gazına ek olarak, kaynak banyosunu atmosfere karşı koruyan ikinci bir gaz (% 99,95 argon) kullanılır. Plazma kaynağı cihazlarının büyük bir kısmında üçüncü bir gaz akımı, plazma demetini odaklayıcı meme dışında daraltma için odaklayıcı gaz { Argon (Ar) + Helyum (He), Argon (Ar)+Hidrojen (H₂), Argon (Ar)+ Azot (N₂) } olarak kullanılmaktadır. 3 mm'den daha kalın sacların plazma birleştirme kaynağında plazma demeti iş parçasına nüfuz edip, bir anahtar deliği oluşturur. Kaynak işlemi süresince bu delik birleştirilecek sacların kaynak alınları boyunca hareket eder. Kaynak banyosunun ve delikteki buhar basıncının yüzey gerilimi nedeni ile erimiş malzeme deliğin hemen ardından birleşerek kaynak dikişi oluşur. Meme ve iş parçası pozitif, elektrot negatif olarak kutuplanmıştır. Yüksek frekans üzerinde taşıyıcı olmayan ark tutuşturulur ve tungsten elektrot ile iş parçası arasındaki taşıyıcı arkı iletir. İki arkta kaynak işlemi süresince yanar. Nüfuziyet miktarı ve taşıyıcı arkın ayarı onunla birlikte esas malzeme vasıtasıyla doldurma bölgesinin bileşim etkilenir. Genel olarak toz halindeki dolgu malzemesi bir gaz akımı (% 99,95 Argon) üzerinden kaynak cihazına iletilir, plazma demetinde eritilir ve taşıyıcı arkla esas malzemeye dolgu yapılır.

Üçüncü bir gaz akımı da (%99,95 Argon) kaynak banyosunu atmosferin olumsuz etkilerinden korur. Plazma arkının şematik olarak görünüşü Şekil 5’ de görülmektedir. [34]



Şekil 5. Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü [35]

4.1. Plazma Ark Kaynağında Kullanılan Teller

İnce sacların kaynağının dışında, plazma ark kaynağında TIG yönteminde olduğu gibi ek kaynak metali olarak dolu tel elektrotlar kullanılabilir ve el ile kaynakta kaynak bölgesine kaynakçı tarafından veya otomatik kaynakta bir kangaldan tel sürme tertibatı yardımı ile kaynak bölgesine beslenir.

Tel seçimi TIG kaynağında yapıldığı gibi esas metalin bileşimine ve uygulanacak işlemin amacına göre değişir.[36]

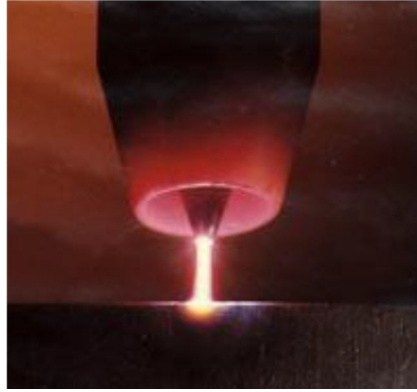
4.2. Plazma Ark Kaynak Torçları

PTA kaynağında elde tutularak kullanılmakta olan kaynak torçları, TIG kaynağında kullanılan torçlara göre daha karışık yapıya sahip olduklarından daha ağırdırlar. Ayrıca, mekanize plazma ark kaynağı için kullanılmak üzere makine torçları da geliştirilmiştir. Mekanize kaynak uygulamaları için üretilen plazma ark kaynak torçları, 50 ile 500A akım şiddetlerinde kullanılacak şekilde hem doğru akım ters kutuplama hem de doğru akım doğru kutuplama veya kare dalgalı değişen kutuplamalı alternatif akımda kullanıma uygun olarak üretilirler.

Torçların soğutulması önemli bir konudur, zira oluşan ark çok yüksek sıcaklığa sahip olduğundan iyi bir soğutma, hem tungsten elektrotun hem de meme ve koruyucu gaz nozulu için önemlidir.

4.3. Gaz Nozulu

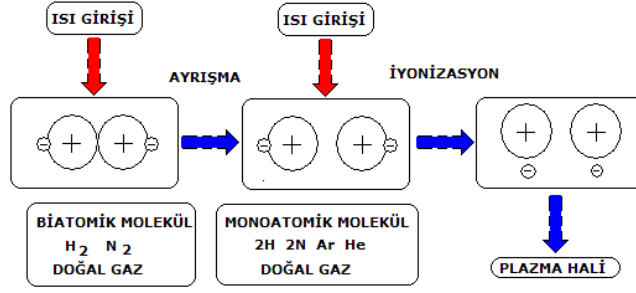
Plazma ark kaynağı nozulu bakır malzemelerden üretilmiştir. Ömrü başlangıçta ark oluşum sayısı ile etkilenmesinin yanısıra elektrod ucunun merkezlenmesiyle de sınırlıdır. Nozul deliginin çapına bağlı olarak akımın doğru kullanılması da çok önemlidir (tersi durumda çift ark oluşacak ve nozulun hasarına neden olacaktır). Soğutma işlemi de nozul ömrü üzerinde etkilidir. [37]



Şekil 6. Plazma ark kaynak nozulu [39]

4.4. PTA Kaynağında Plazmanın Oluşumu

Her madde gaz fazında bulunduğunda yeteri kadar ısıtılınca, moleküllerindeki hareketlenme nedeni ile atomlar dış kabuk elektronlarını yitirerek pozitif yüklü iyonlara dönüşürler. Sıcaklık yükseldikçe, iyonlaşma derecesi artar, sıcaklık birkaç 10000 °C gibi bir değerden sonra, ortamda yalnız pozitif yüklü iyonlar ve negatif yüklü serbest elektronlardan oluşmuş bir karışım bulunur. Elektriksel açıdan nötr yüklü parçacıklardan meydana gelmesi nedeniyle iletken olan bu karışıma plazma denir. Şekil 7’de maddenin plazma haline geçişi verilmiştir.



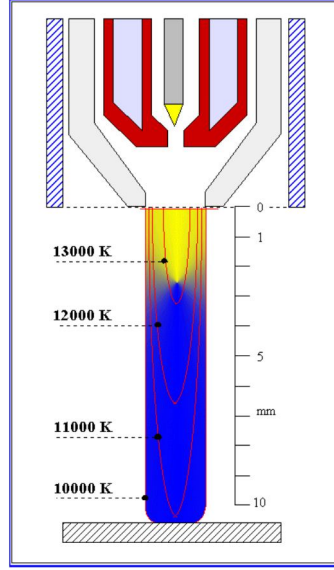
Şekil 7. Maddenin plazma haline geçişi

Kaynakta yapılırken oluşturulan plazmada gaz, elektrik arkı yardımıyla ısıtılarak iyonize olmaktadır. Buna göre ark kaynağı yöntemlerinde elektrik arkı bir plazma oluşturmaktadır.



Şekil 8. Plazma transfer ark alevi

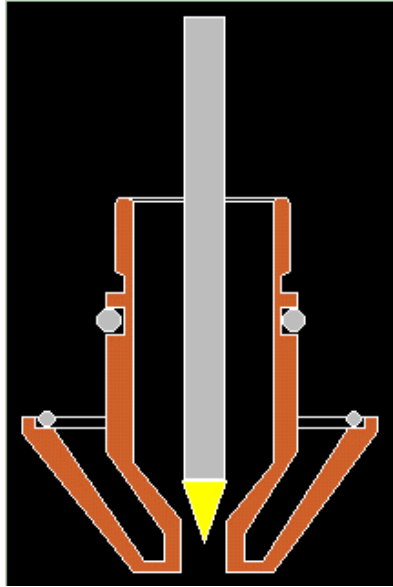
Plazma arkının sıcaklığı, çeliği, asbest çimentosunu, kristali (yaklaşık 2323 K) ve karbonu (yaklaşık 2473 K) eritmeye yetecek sıcaklığa ulaşabilir. Metallerin kesme, tavlama, yüzey hazırlık, kaynak ağzı açma, metal püskürtmeyle yüzey doldurmada ve kaynak işlemlerinde, çok iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 9. PTA plazmasının ısı dağılımı

4.5. PTA Kaynağında Arkın Oluşturulması

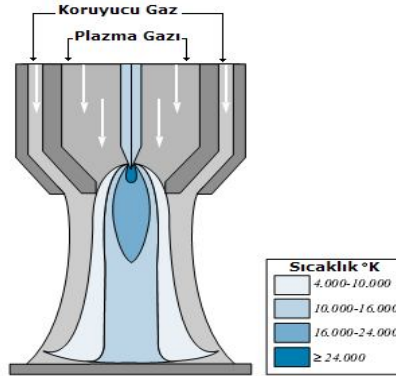
Standart bir plazma ark torcunu oluşturan elemanlar, uç kısmında ufak bir delik bulunduran meme ve memenin merkezindeki tungsten bir elektrottur. İç içe geçmiş dairesel meme ile elektrot arasından plazma gazı dışarı çıkar.



Şekil 10. PTA kaynağında nozul ve elektrod

Dış yüzeyi soğuyan ark stunu oluşturur, dolayısıyla içe doğru büzülme olur. Büzülmüş sütunun içinde sıcaklık 10.000–30.000K sıcaklığına çıkar. Dairesel olan

bölümden geçen gaz, yüksek iyonlaşma düzeyine ve göreceli olarak değişen yüksek enerjiye ulaşır, kaynak ve diğer ısı işlemlerde iş parçasının tavlanması için kullanılır.

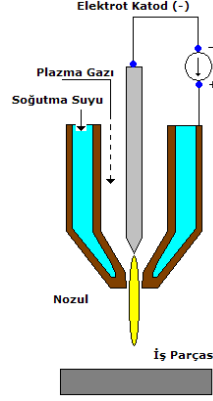


Şekil 11. PTA kaynak torcunda gaz akış yolları

Plazma birleştirme kaynağı donanımı, hortum grubu, akım membaı, ateşleme cihazı, kumanda cihazı ve çeşitli gazlar için basınçlı gaz tüplerinden oluşur. Plazma doldurma kaynağında kaynak cihazı, ateşleme ve kumanda birbirlerinin yanında olmak üzere iki tane doğru akım membaı kullanılır. Kaynak cihazları 10 ilâ 15 kW güç çekerler. Plazma birleştirme kaynağı kalın sacların kalınlığında, malzemelerin (I) küt alın birleştirmesinde ilave metal kullanılmadan uygulanır. Ostenitik çeliklerde alın kaynağı 8 ilâ 10 mm kalınlığında saclara yapılabilir. Burada kaynak hızı TIG kaynak yöntemine nazaran % 100 kadar fazladır.[38] Plazma arkı aşağıdaki şekillerde oluşturulur.

4.5.1. Pilot Ark

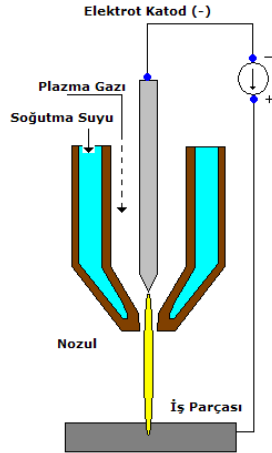
Meme ve tungsten elektrod arasında elektrik akımı tamamlanırsa, elektrodla su ile soğutulan bakır meme arasında ark yanarak, memeden bir gaz akımıyla zorlanarak dışarı sürülür. Pilot ark olarak adlandırılan bu düzenlemede, iş parçası ark devresi içinde değildir. (Şekil 12)



Şekil 12. PTA kaynağında pilot ark (Transfer olmamış ark)

4.5.2. Transfer Olmuş Ark

Elektrik devresi tungsten elektrot ile iş parçası arasında tamamlanır, ark iş parçası üzerinden akar. Bu transfer olmuş ark(direkt ark) olarak adlandırılır. (Şekil 13)

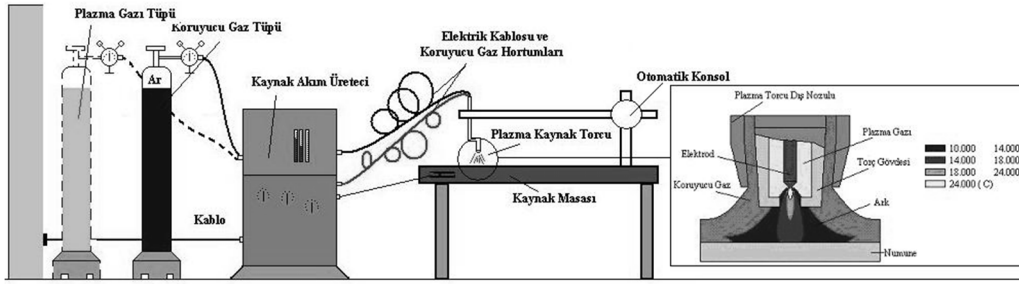


Şekil 13. PTA kaynağında transfer olmuş ark

Gösterilen iki arkın özelliklerini kullanan başka bir yöntemde vardır. Metal tozu püskürtmede kullanılan yöntemdir. Memeden dışarı çıkan plazma arkı daha küçük ve parlak nüveye sahiptir. Daha az parlak kılıfa sarılmış nüve etrafı uzunluğu, 2–3 mm' den 40–50 mm ye kadar değişir. Bu değişim plazma oluşturan gazın bileşim ve debisine, akım şiddetine ve ark uzunluğuna bağlıdır. İş parçası üzerindeki oluşan yükün dağılımı için uygun şekilde biçimlendirilmiş memeler kullanılarak, plazma arkı şekillendirilir.

4.6. Plazma Arkı İle Kaynak

Plazma arkı; metallerin ve metal olmayan malzemelerin birleştirme ve doldurma kaynağında kullanılır. Transfer olmuş ark yöntemi ile plazma kaynağı yapılır. Transfer olmuş ark, yüksek frekans üstünden geçirilen yardımcı ark ile elektrot ve meme arasında yanar. Transfer olmuş ark tutuştuğunda yardımcı ark sönmüş olur. Mikroplazma kaynağında, kaynak esnasında yardımcı ark sönmez. Akımın değeri bir direnç vasıtasıyla sınırlanır. Plazma arkının şematik olarak görünüşü Şekil 14’de görülmektedir. [38]

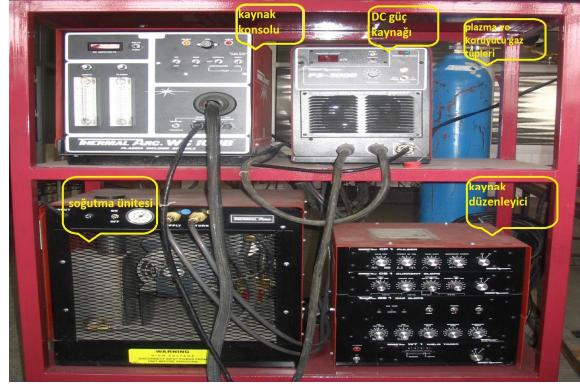


Şekil 14. Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü [27]

4.7. Yüksek Frekans Dalga Ünitesi ve Donanımları

Pilot arkı ve transfer olmuş arkı ateşlemek-tutuşturmak için kullanılan, doğrudan katot tungsten elektroda ve anod nozula bağlı olan, sisteme yüksek frekansta dalgalar yollayan parçadır. Diğer Elemanlar :

- İki kademeli DC güç kaynağı,
- Su soğutma sistemi, anodik nozul gibi kritik parçalarda kullanılmak üzere, argon tüpleri Tungsten elektrotlar koruyucu aletler vb.



Şekil 15. PTA kaynak makinesi ve donanımları

4.8. Uygulama Özellikleri

Kaynak cihazları su soğutmalıdır. Plazma kaynak cihazı donanımı; hortum grubu, akım üretici, ateşleme cihazı, kumanda cihazı ve çeşitli gazlar için basınçlı tüplerden oluşur. Plazma doldurma kaynağında; kaynak cihazı, ateşleme ve kumanda birbirleri yanında olmak üzere iki tane de doğru akım üretici vardır. Ayrıca, doldurma için, toz depolu bir toz sevk ünitesi de bulunur. Plazma ark kaynağı ile nikel ve nikel alaşımları, alaşımsız, hafif ve yüksek alaşımlı çelikler, zirkonyum, bakır ve bakır alaşımları, alüminyum ve alüminyum alaşımları birleştirilebilir. Ostenitik paslanmaz çeliklerde, alın kaynağı 8-10 mm lik kalınlıklara kadar uygulanır. Kaynak bağlantıları, mekanik özellikler açısından iyi sonuçlar verir ve gözenek oluşmaz. Plazma ark kaynağında kaynak edilecek metallere göre gaz seçimi yapılır. Yüksek akım şiddeti ile kaynak işlemlerinde, plazma gazıyla koruyucu gaz aynı seçilir; zira iki farklı gaz kullanılırsa arkın kararlılığını zorlaştırır. Çeşitli metallerin yüksek akım şiddeti ile kaynağında; genellikle kullanılan gazlar, karbonlu ve az alaşımlı çelikler için saf argon, diğerlerinde % 7,5' a kadar hidrojen karıştırılmış argondur. Amerikan endüstrisinde yaygın olarak kullanılan helyum gazının ülkemizde tedarik edilmesi mümkün değildir. Düşük akım şiddeti ile yapılan plazma kaynağında, hidrojen oranı en çok % 5'tir. Saf argon, karbonlu çelikler, yüksek mukavemetli çelikler ve titanyum, tantal, zirkonyum alaşımları gibi reaktif metalleri, kaynak yapmak için kullanılır. Bu metallerin kaynağında kullanılan gazda, çok düşük miktarda bile hidrojen bulunması süngerleşme, çatlama veya mekanik özelliklerde azalma meydana getirir.

PTA kaynağı; uzay, nükleer, elektronik, gemi inşaatı ve birçok endüstri alanında kullanılan bir yöntemdir. Yöntem ekonomik olmasının yanı sıra, yüksek kalite ve

güvenilirliğe sahiptir. Düşük akım şiddetli plazma ark kaynağı ile, ince tel elekler, ince tellerin uç uca kaynağı, röle kutusu imali, ince cidarlı basınçlı kaplar, vakum tüpü elemanları, yüksek akım şiddetli kaynaklarda ise; paslanmaz ve titanyum borular, roket yakıt tankları, türbin motor elemanları yüksek güvenlik ile kaynak edilmektedir. Plazma doldurma kaynağı ile sert metaller, demir, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar püskürtülür. Böylece yapılan kaplama ile yüzeyin aşınma mukavemetini ve korozyon dayanımını iyileştirmek mümkün olmaktadır. Doldurma tabakası kalınlığı 0,25-6 mm. arasında değişebilir ve bu teknikle toz halindeki doldurma malzemesi saatte 5 kg. kadar yığılabılır.

Plazma arkı ile kaynakta sık kullanılan iki teknik, ergitme tekniği (melt-in mode) ve anahtar deliği tekniği (key hole mode) olmaktadır.

4.8.1 Ergitme Tekniği

Akım şiddetleri 50-400A aralığında olan kaynak işlemlerinde yaygın olarak ergitme tekniği kullanılır. TIG yöntemine benzer bir kaynak dikişi oluşturulur. Özellikle, mekanize uygulamalarda, TIG yöntemine tercih edilebilir. Ark kararlılığı ve yüksek akım şiddeti daha nüfuziyetli kaynak dikişleri oluşturulur ve kullanım sırasında arkı kontrol etmek daha kolaydır, aynı zamanda kaynak süresini de kısaltan bir yöntemdir. Ek kaynak metalinin kullanımı, malzeme kalınlığına bağlı olarak belirlenir. [37]

4.8.2 Anahtar Deliği Tekniği

Plazma arkı kaynağında metalden metale değişen bir kalınlık aralığında, kullanılan gaz akımı, akım şiddeti ve kaynak hızının uygun ayarlanması ile malzemeyi derinliğine kat eden bir delik ile çok küçük bir kaynak banyosu oluşturulabilir. Anahtar deliği tekniği yatay pozisyonda 1.5-10 mm kalınlık aralığındaki malzemelere de kullanılır. Uygun kaynak koşulları sağlanarak bazı metal kalınlıklarında da her pozisyonda kaynak yapılabilir. Bu özelliği gösteren tek yöntem plazma arkı ile kaynak yöntemidir.

Anahtar deliği tekniğinde, anahtar deliği oluşturmak plazma arkı için parçanın derinliğine doğru girdiğinden, ergiyen metal parçanın yüzeyine doğru hareket eder. Torç, kaynak dikişi doğrultusunda hareket ettiğinde arkın ön kısmında bulunan ergimiş metal plazma arkının kenarlarından dolaşarak arkaya doğru hareket eder ve orada katılır. Anahtar deliği tekniğinin üstünlüğü, kaynağın tek pasoda yapılabilmesidir.

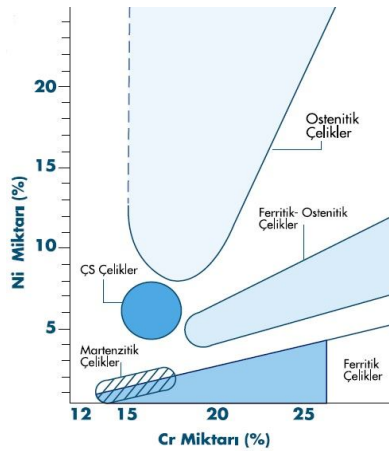
Anahtar deliğinin içinde bulunan ergimiş metal filmi içindeki kalıntılar ve gazlar parçanın yüzeyine doğru hareket eder. Banyonun en yüksek hacmi ve kökteki dikiş profili, büyük ölçüde ergimiş kaynak metalinin yüzey gerilimi, plazma arkının akım şiddeti ve iyonize olmuş plazma gazının hızı tarafından belirlenir. Kesmede plazma gazının debisi, sadece ergiyen metali o bölgeden uzaklaştıracak derecede yüksektir. Kaynakta plazma gaz hızının düşük olması, yüzey gerilimi, ergimiş metali kaynak ağzında tutar. Dolayısıyla burada plazma gaz hızı kritik değerdir ve iyi bir şekilde kontrol altında tutulmak zorundadır. 0.12 l/dak' dan daha yüksek gaz debileri önerilmez ve bu da oldukça düşük bir değerdir.

5. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler; içeriğinde min. % 12 Cr bulunduran, paslanmazlık özellikli malzemelerdir. Genel anlamda bu malzemeleri incelediğimizde Fe-Cr, Fe-Cr-C ve Fe-Cr-Ni denge sistemlerine sahip olduklarını görülmektedir. Bu çeliklerde yüksek korozyon dayanımını, yüzeye kuvvetle tutunmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakası sağlar. İnce olan bu tabaka sayesinde paslanmaz çelikler kimyasal reaksiyonlara karşı(korozyona karşı) dayanım kazanırlar.

5.1. PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ

Kimyasal bileşimler değiştirilerek paslanmaz çeliklerde farklı özelliklerde alaşımlar elde edilebilir. C'lu çelikler, yapılarında Mn, Si, P, O, N gibi elementler bulunduran demir karbon alaşımlarıdır. Bu malzemeler, kolay şekillendirilebilen malzemeler olup, sertleşme yetenekleri çok azdır. Ayrıca korozyon dayanımları düşük olduğu için, bu malzemelerin korozyona maruz kalan kısımlarının paslanmaz çeliklerle birleştirilmesi önemlidir [37]. Cr miktarı yükseltilerek veya Ni ve Mo gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında Cu, Ti, Al, Si, Nb, N, S, Se gibi bazı elementlerle alaşımlama ile olumlu etkiler sağlanabilir. Paslanmaz çeliklerde iç yapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre Cr, Ni, Mo, ve Mn dır. Bunlardan Cr ve Ni iç yapının ferritik veya östenitik olmasını belirler. Genel olarak bu malzemeler incelendiğinde Fe-Cr, Fe-Cr-C ve Fe-Cr-Ni denge sistemlerine sahip olduklarını görürüz.



Şekil 16. Değişik paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları

Paslanmaz çelikler, mikroyapılarına göre;

- a) Ferritik,
 - b) Östenitik,
 - c) Martenzitik,
 - d) Dupleks,
 - e) Çökelme sertleşmesi yapabilen çelikler
- olmak üzere beş grupta incelenir[40].

5.1.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler ergime sıcaklığından oda sıcaklığına kadar ferritik olarak bilinen hacim merkezli kübik (KHM) kristal kafes sistemine sahip olup, genellikle % 11–28 arasında Cr içerirler. Orta ile iyi derecede olan korozyon dayanımı Cr miktarının artırılması ile yükselir. Ferritik paslanmaz çeliklerde ısıtılma işlemi dayanım arttırmaz. Aynı zamanda manyetik olan bu çelik türünün kaynak kabiliyeti ve şekillendirilme kabiliyetleri düşüktür [41].

5.1.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, geniş sıcaklık aralığında (oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar) KYM bir kristal kafes sistemine sahiptir. Bu alaşımlardan AISI 300 serisi, % 8-20 Ni ve % 16-25 Cr içerir. Yalnızca katı eriyikli alaşımlama ve dövmeyle dayanımları artırılabilir [42]. Tablo 7’de östenitik paslanmaz çelik türleri verilmiştir.

Tablo 7. AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çelikler [4]

Tipi	% Bileşim							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
201	0,15	5,5-7,5	1,0	16-18	3,5-5,5	0,06	0,03	0,25 N
202	0,15	7,5-10	1,0	17-19	4-6	0,06	0,03	0,25 N
205	0,12-0,2	14-15,5	1,0	16,5-18	1-1,75	0,06	0,03	0,32-0,4 N
301	0,15	2,0	1,0	16-18	6-8	0,045	0,03	-
302	0,15	2,0	1,0	17-19	8-10	0,045	0,03	-
302 B	0,15	2,0	2,0-3,0	17-19	8-10	0,045	0,03	-
303	0,15	2,0	1,0	17-19	8-10	0,2	0,03	0,6 Mo
303 Se	0,15	2,0	1,0	17-19	8-10	0,2	0,03	0,15 Se
304	0,08	2,0	1,0	18-20	8-10,5	0,045	0,03	-
304 H	0,04-0,1	2,0	1,0	18-20	8-10,5	0,045	0,03	-
304 L	0,03	2,0	1,0	18-20	8-12	0,045	0,03	-
304 LN	0,03	2,0	1,0	18-20	8-12	0,045	0,03	0,1-0,16 N
304 Cu	0,08	2,0	1,0	17-19	8-10	0,045	0,03	3-4 Cu
304 N	0,08	2,0	1,0	18-20	8-10,5	0,045	0,03	0,1-0,16 N
305	0,12	2,0	1,0	17-19	10,5-13	0,045	0,03	-
308	0,08-2	2,0	1,0	19-21	10-12	0,045	0,03	-
309	0,08	2,0	1,0	22-24	12-15	0,045	0,03	-
309 S	0,025	2,0	1,0	22-24	12-15	0,045	0,03	-
310	0,08	2,0	1,0	21-26	19-22	0,045	0,03	-
310 S	0,025	2,0	1,5	24-26	19-22	0,045	0,03	-
314	0,08	2,0	1,5-3	23-26	19-22	0,045	0,03	-
316	0,08	2,0	1,0	16-18	10-14	0,045	0,03	2-3 Mo
316 F	0,04-0,1	2,0	1,0	16-18	10-14	0,2	0,03	1,75-2,25 Mo
316 H	0,03	2,0	1,0	16-18	10-14	0,045	0,1	2-3 Mo
316 L	0,03	2,0	1,0	16-18	10-14	0,045	0,03	2-3 Mo
316 LN	0,03	2,0	1,0	16-18	10-14	0,045	0,03	2-3 Mo,0,1 N
316 N	0,08	2,0	1,0	16-18	10-14	0,045	0,03	2-3 Mo,0,1 N
317	0,08	2,0	1,0	18-20	11-15	0,045	0,03	3-4 Mo
317 L	0,03	2,0	1,0	18-20	11-15	0,045	0,03	3-4 Mo
321	0,08	2,0	1,0	17-19	9-12	0,045	0,03	0,4 Ti
321 H	0,04-1	2,0	1,0	17-19	9-12	0,045	0,03	0,4 Ti
330	0,08	2,0	0,75-	17-19	34-37	0,045	0,03	-
347	0,08	2,0	1,0	17-19	9-13	0,045	0,03	0,8 Mo
347 H	0,04-0,1	2,0	1,0	17-19	9-13	0,045	0,03	0,47-1 Nb
348	0,08	2,0	1,0	17-19	9-13	0,045	0,03	0,2 Co, 0,8 Nb, 0,1 Ta
348 H	0,04-0,1	2,0	1,0	17-19	9-13	0,045	0,03	0,2 Co, 0,8-1 Nb, 0,1 Ta
384	0,08	2,0	1,0	15-17	17-19	0,045	0,03	-

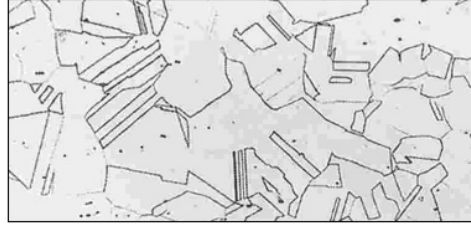
Östenitik paslanmaz çelikler, yüksek korozyif ortamlar için geliştirilmiştir. Aynı zamanda 0'ın altındaki sıcaklıklardan 600 °C'ye kadar yüksek tokluk özelliği gösterirler. Bu çelikler, manyetik değildirler. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde AISI 200 ve 300 seri alaşımlar yaygın olarak kullanılır.

Ayrıca, alaşım katkıları, kaynak edilebilirlik ve kaynak bölgesinin mikroyapısı üzerine önemli bir etkiye sahiptir. AISI 300 serisi, genellikle % 8– 20 Ni ve % 16-25 Cr içerir. Düşük oranlardaki alaşım katkılarında % 1 Si dezoksidasyon için, % 0.02–0.08 C östenitin kararlılığı için ve % 1,5 Mn ise hem östenitin kararlılığı hem de sülfür ve Si ile bileşik oluşturması açısından katılmaktadır. [4] Tablo 8'de östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 8. Östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri [4]

AISI	Oda Sıcaklığı				Çalışma Sıcaklığı F°	
	Çekme Kuvveti (1000 Psi)	Akma Kuvveti 0,2% (1000 Psi)	Uzama ^{2''} (%)	Sertlik (Rockwell B')	Devamlı	Kesintili
201	115	55	55	90	1550	1450
202	105	55	55	90	1550	1450
301	110	40	60	85	1650	1500
302	90	40	50	85	1650	1500
302 B	95	40	55	85	1750	1600
304	84	42	55	80	1650	1550
304 L	81	39	55	79	1650	1550
305	85	38	50	80	1650	
308	85	35	50	80	1700	1550
309	90	45	45	85	1950	1850
310	95	45	45	85	2050	1900
314	100	50	40	85		
316	84	42	50	79	1650	1550
316 L	81	42	50	79	1650	1550
317	90	40	45	85	1700	1600
321	90	35	45	80	1650	1550
347	95	40	45	85	1650	1550

Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde östenitik paslanmaz çeliklerin üretim oranı % 70'tir. Östenitik paslanmaz çeliklerin içinde 304 serisi paslanmaz çelikler en çok kullanılanlarıdır. Korozyon dayanımları ve kaynak kabiliyetleri mükemmeldir. Kolay şekillendirilebilirler, hijyeniktirler, temizliği ve bakımı kolaydır. Yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri iyidir. Mekanik özellikleri düşük sıcaklıklarda mükemmeldir.



Şekil 17. Östenitik paslanmaz çelik mikro yapısı

5.1.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, kübik hacim merkezlidir(KHM). Sertleştirilmiş halde tetragonal kristal kafes sistemine sahiptirler. Atmosferik korozyona dayanıklı martenzitik paslanmaz çeliklerin, Cr içerikleri genellikle % 11-18, C içeriği ise % 1,2'ye kadar çıkmaktadır. Martenzitik paslanmaz çelikler orta derecede korozyon dayanımına sahip olup, ısıtılabilir. Böylece yüksek dayanım ve sertlikler elde edilebilirken, kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür [43].

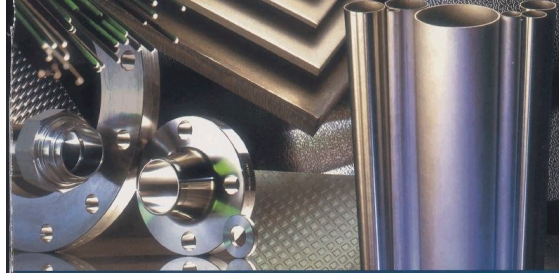
5.1.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks paslanmaz çelikler; Fe, Cr, Ni sistemine dayalı iki fazlı alaşımlardır. Mikroyapıda eşit oranda KHM ferrit ve KYM ostenit bulundurulur. Dupleks paslanmaz çelikler düşük karbon içeriği ($\% < 0.03$) ve Mo, N, W ve Cu katkılarıyla bilinirler. % 20-30 Cr ve % 5-10 Ni içerirler. Dupleks paslanmaz çeliklerin alaşım katkıları hem ostenit hem de ferrit oluşturmalarıdır. Bu malzemelerde kullanılan ana alaşım elementleri içerisinde Cr ve Mo ferrit oluşturmaları, Ni, C, N ve Cu ostenit oluşturmalarıdır [44].

5.1.5. Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler üstün korozyon direncine sahiptirler. Fe-Cr-Ni alaşımlarıdır. Cu, Al, Ti, Nb ve Mo gibi elementlerin biri veya birkaçı kullanılarak çökelme sertleşmeli martenzitik ve Östenitik hale gelirler [45]. Çökelme sertleşmeli

paslanmaz çeliklerde Ni, C, Mn ve N gibi elementler ostenit oluşturuu, Cr, Si, Mo, ve Nb gibi elementler ise ferrit oluşturuu elementler olarak kullanılırlar [38].



Şekil 18. Çeşitli paslanmaz çelik ürünler

5.2. Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Paslanmaz çelikler, bütün ergitme ve katı hal kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler. Ergitme kaynak yöntemleri içerisinde; Elektrik-Ark, Tozaltı, MIG, TIG, Plazma, Elektron Işın, Direnç kaynağı ve Lazer kaynak yöntemleri kullanılır. Bu kaynak yöntemleri arasında lazer kaynağı, yeni veya özellikleri geliştirilmiş malzemelerin mevcut ergitme kaynak yöntemleri ile kaynak edilmesinden doğan problemleri ortadan kaldırdığı için son yıllarda geniş bir uygulama alanı bulmuş bir yöntemdir. Ergitme kaynağında viskozitenin yüksek olması, ergime esnasında kaynak bölgesinde akıcılığın düşük olması ve istenmeyen reaksiyonların olması gibi faktörler kaynağın mukavemetini düşüren bir özelliktir [47]

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında eriyen bölge çok kısa bir zamanda katılaşp hızlı soğuduğundan ve elektrot olarak kullanılan alaşımların karbon içeriği de düşük olduğundan kaynak metali, yani kaynak dikişi için karbür çökme tehlikesi olmaz. Bana karşın ITAB’da, kaynak süresi boyunca, 500 – 900 °C sıcaklık aralığında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda da burası esas metal olduğundan, karbon içeriğinin yüksek olması halinde ostenit tane sınırlarında taneler arası korozyona neden olacak karbür çökmesi ortaya çıkmaktadır. Belli bir karbon içeriği için karbür çökmesinin şiddeti, sıcaklığa ve zamana bağlıdır. Çökme başlamadan önce sıcaklık ile değişen bir kuluçka periyodu olur. Kritik sıcaklık, sıcaklık ve çeliğin karbon içeriğine göre en kısa sürede çökmenin başladığı bir sıcaklık değeridir. Aşağıda Tablo 9’da Krom karbür çökmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağlı olarak verilmiştir. [4]

Tablo 9. Karom karbür çökelmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağılılığı [4]

Karbon İçeriği (%)	Kuluçka Periyodu (dk)	Kritik Sıcaklık (°C)
0,03	11	650
0,05	7	650
0,06	2,5	670
0,08	0,3	750

6. TAHRİBATSIZ MUAYENE

Kalite kontrolde en önemli bölümlerinden biri tahribatsız muayenedir. İncelenen malzemelere de deformasyon oluşturmada muayene edilerek, dinamik ve statik yapıları hakkında bilgi edinilen muayene yöntemlerinin denir. Tahribatsız muayene, imalat esnasında veya belli bir süre kullandıktan sonra ortaya çıkan, süreksizlik(içyapı da meydana gelen boşluk), kesit daralması gibi kusurların belirlenmesinde kullanılır. Tahribatsız muayene işlemlerinde, malzemeden numune almak gerekmemektedir. Tahribatsız muayeneler direk iş parçası üzerine uygulanır, parçaların %100 kontrolü gerçekleştirilmiş olur. Tahribatsız muayene testlerinin üretim endüstrisinde uygulama alanları Tablo 10’da verilmiştir.[48]

Tablo 10. Tahribatsız muayene testlerinin üretim endüstrisinde uygulama alanları [48]

Uygulama Alanı	İşlevi	Uygulama Örnekleri
Araştırma ve Geliştirme	Malzemelerin yapısal değerlendirilmesi, üretim ve montaj yöntemlerinin Karşılaştırılması ve bulguların değerlendirilmesi	Metallerin iç yapılarının ve yorulma belirtilerinin incelenmesi, kaynak dikişlerinde çatlakların tespiti
Üretim Yöntemi Kontrolü	Üretim yöntemi değişkenlerinin belirlenmesi ve kontrolünün sağlanması	Radyografik ve ultrasonik yöntemle kalınlık ölçme ve imalat parametrelerinin tespiti.
Kalite Kontrolü	Kusurlu parçaların ve anormalliklerin tespiti, Üretim montaj kusurlarının, yerlerinin ve yönteminin değerlendirilmesi.	Zayıf yapışma, kaynaklarda çatlama, metallerde homojen olmayan gözenekler ve malzeme hatalarının belirlenmesi.
Servis Süresince Değerlendirme	Kullanım süresince aşınma ve normalliklerin erken belirlenmesi.	Depolarda ve borularda korozyonun ve yerinin tespiti, Çeşitli araçlarda erken uyarı sistemleri.

Dünya’da Tahribatsız Muayenenin Gelişimi

Tahribatsız muayene metotlarından olan radyografinin(röntgen) başlangıcı 1895’li yıllarda, x-ışınlarının Wilhelm Conrad Roentgen tarafından keşfedilmesiyle başlar. Radyografi 1930 senesinde ilk olarak, Amerikan donanması kaynak dikişlerinin kontrolünde kullanmıştır. İkinci dünya savaşından hemen sonra gama ışınlarının ve yaklaşık olarak 1960’lı yıllardan sonra da nötronların kullanılmaya başlanmasıyla endüstriyel radyografi kullanım alanları genişlemiştir.

Ultrasonik dalgaları malzemenin iç hatalarının belirlenmesinde kullanılması 1931 senesinde Alman patenti ile başlamıştır. Ticari anlamda ilk cihazlar 1940’lı yıllarda endüstri de kullanılmaya başlamıştır. Şimdilerde tahribatsız testlerin temel unsurlarından biri haline gelmiştir.

Girdap akımları ile muayene yönteminin temelleri Michael Faraday’ın 1831’de öne sürdüğü elektromanyetik kuramına dayanır. Ancak temel prensip olarak 1879 yılında Huhges’e dayanmaktadır. Yöntemin tahribatsız muayene metodu olarak kullanılması için ilk teşebbüsler, 2. dünya savaşı öncesinde nükleer ve uçak sanayinin gelişmesiyle başlamıştır. Endüstriyel muayene yöntemi olarak 1950’li yılların sonlarında başlamıştır.

Manyetizma, iletken maddelerin bazı iletken maddeleri kendine çekebilme özelliğidir. 1920’lerin başlarında William Hoke metallerin üzerinde ve yüzeye yakın yerlerindeki çatlakları, renkli manyetik parçacıklarla tespit edebileceğini keşfetmiştir.

Sıvı penentran muayenesi tahribatsız muayene tesleri içerisinde kullanılan en eski yöntemdir. Dökümde ve kaynak dikişlerinde göz ile görülemeyen çatlakların, yağ veya sulandırılmış kireç yardımıyla ıslatılarak gözle görünür hale getirilmesi geçtiğimiz asırdan beri bilinmekte yöntemdir. Gelişen teknoloji ve geliştirilen yeni malzemelerle yöntem bu günkü haline gelmiştir.

Ülkemizde Tahribatsız Muayenenin Gelişimi

Ülkemizde tahribatsız muayenelerin kullanılması adına ilk olarak eğitim faaliyetleri başlamıştır. Bu faaliyetler 1960'larda ve 1970'lerde kaynak dikişlerini muayene alanında faaliyet gösteren SEGEM, Oerlikon gibi kurumlarda seminerler olarak başlamıştır. Ülkemizde, tahribatsız muayene alanında uzun soluklu ve düzenli eğitim faaliyetleri 1980'lerin ikinci yarısından itibaren başlamıştır. Bu alandaki boşluğu gören TMMOB Şubat 1987'de, Tahribatsız Muayene Komisyonu'nu kurmuştur. Aynı yıl çeşitli kuruluşlara gönderilen anket formlarıyla bu alandaki eğitim ve cihaz durumu tespiti yapılmış ve eğitim faaliyetleri başlatılmıştır. 1988'de Alman ve Türk hükümetleri arasındaki proje anlaşmasına bağlı olarak ODTÜ'de bir Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma Merkezi kurulması ile operatör eğitimi ve sertifika verme çalışmalarına başlanmıştır.

Bu zaman diliminden sonra Tahribatsız Muayene Komisyonu ve ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Merkezi, Alman Tahribatsız Muayene Cemiyeti (DGZfP) ve Alman Federal Malzeme Araştırma ve Test Enstitüsü (BAM) ile işbirliği yapılarak, tahribatsız muayene yöntemlerinde eğitim, vasıflandırma ölçmeleri ve sertifika kazandırma faaliyetleri sistemli olarak uzun vadeli bir program içerisinde başlamıştır. Aynı sene, bu faaliyetlerden farklı olarak, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nda (TAEK) ve iki yıl sonra da İTÜ-Nükleer Enerji Enstitüsü'nde (NEE) tahribatsız muayene testlerinin eğitimleri başlatılmıştır. 1990 – 1995 yıllarında Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme Başkanlığı (KOSGEB) teknisyenler için değişik eğitim seminerleri vermiştir.[49]

6.1. Tahribatsız Muayene Yöntemleri

Bir malzemenin yapısal bütünlüğünün bozulmasının nedeni süreksizliklerdir. Tabakalaşmalar, çatlaklar, dövme katlanmaları, dikişler, yabancı madde kalıntıları ve gözenekler bunlardan bazılarıdır. Malzemede bulunan süreksizliklerin belirlenmesi, parçanın ömrü ve güvenli çalışması için çok önemlidir. Tahribatsız muayene en yüksek güvenilirliği sağlamak için üretimin değişik safhalarında, üründe herhangi bir hasara yol açmadan test edilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Tahribatsız Muayene (Non Destructive Testing - NDT) yöntemleri, malzemenin yapısal bütünlüğüne zarar vermeden yapılan test ve kontrollerdir. Parçanın yapısına herhangi bir zarar verilmeden, incelenecek parçayı tahrip etmeden, gerek yüzeyde, gerekse içyapıda ki süreksizliklerin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. İmalat esnasında, imalat sonrasında, ürünün kullanımı esnasında ve araştırma geliştirme faaliyetlerinde kullanılmaktadır. [50]

Tahribatsız muayene ile parçanın benzeri değil, kendisi muayene edilir. Böylece daha güvenilir sonuçlar elde edilir. Tahribatlı muayenedeki numune alma problemi ve alınan numunenin bütün kütleyi temsil etme derecesi tereddüttü ortadan kalkar. [51]

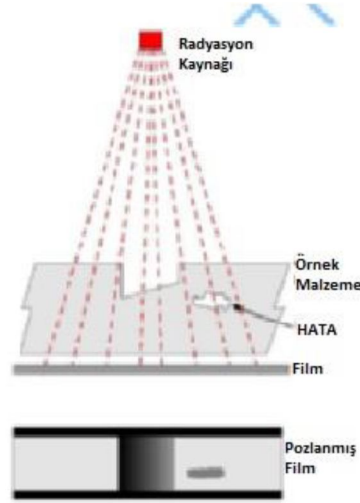
Tahribatsız muayene yöntemleri iki temel unsur üzerinde oturmakta olup, bu iki unsurdan biri nüfuziyet diğeri ise algılamadır. Algılama, nüfuz edicinin verdiği bilgileri operatörünün anlayabileceği bilgiler haline getirmek, nüfuziyet ise nüfuz edici unsurların test malzemesi içinde ilerlemesi ve fiziksel süreksizliği algılama elemanına aktarmasıdır. Radyografi yönteminde algılayıcı film, nüfuz edici ise radyasyondur. Bu fil bazı kimyasal işlemlerden sonra ortaya çıkan belirtilerin test operatörünün anlayacağı şekilde(gözle görülür) belirtiler oluşturur. Tahribatsız test yöntemleri sekiz daldan oluşur. [52]

Tablo 11. Tahribatsız muayene yöntemleri ve kısaltmaları [48]

	Muayene Adı	Kısaltma
1	Radyografik(röntgen) Muayene	RT
2	Ultrasonik(ses dalgaları) Muayene	UT
3	Manyetik Parçacık Muayenesi	MT
4	Sıvı Penetrant Muayenesi	PT
5	Girdap Akımları ile Muayene	ET
6	Gözle Muayene	VT
7	Sızdırmazlık Testi	LT
8	Replika Testi	Rep T

6.1.1. Radyografik Muayene

Radyografik ışınlar malzemeler de deformasyon oluşturmada iç yapılarını inceleme olanağı sağladığından, tahribatsız muayenede yaygın olarak kullanılmaktadırlar. X ya da gama ışınları yardımıyla, malzemelerdeki kalınlık değişimleri, yapısal değişiklikler, içteki hatalar, montaj detayları tespit edilebilmektedir. Elektriksel olarak üretilen X ışınları ve radyoaktif izotoplardan yayılan gama ışınları, içerisinden geçtikleri malzeme tarafından emilirler. Kalınlığın artmasıyla beraber emilen ışın miktarı da artar. Dolayısıyla, yoğun malzemelerde daha fazla radyasyon absorbe edilir. X ve gama ışınları, ışık ile aynı özelliklere sahip olup, gümüş kristallerini film üzerinde metalik gümüşe çevirirler ve filme ulaşan radyasyon yoğunluğu oranına göre film yüzeyini yakarlar. Endüstriyel radyografide en temel kural, malzemenin bir tarafında ışın kaynağının, diğer tarafında ise bir filmin bulunmasıdır. Radyasyon kaynağı olarak X ya da gama ışın kaynağı, dedektör olarak da film ya da özel flat ekranlar kullanılmaktadır. Radyasyon kaynağının gücü malzeme cinsi ve kalınlığına göre belirlenir. Enerjinin nüfuziyet etkisini belirleyen dalga boyudur. Dalga boyu küçüldükçe nüfuziyet gücü artar. X ışınlarının penetrasyon gücü, X ışını tüpüne uygulanan voltaj ile ayarlanır. Çelik malzemeler için her inç kalınlığa yaklaşık olarak 1000 volt yüklenir. Gama radyografisinde nüfuziyet gücünü izotop belirler ve her izotop için değiştirilmesi olanaksızdır. Malzemeyi delerek karşı tarafa geçen ışınları algılayan film, genellikle ışık geçirmeyen bir zarf içerisine konularak test edilen malzemenin arka tarafına yerleştirilir. X ışınlarının film üzerinde oluşturduğu görüntü, normal bir ışık kaynağının oluşturduğu gölgeye benzer. Gölgeden farklı olarak malzemenin kalınlığına ve yoğunluğuna bağlı olarak film üzerinde oluşan gölgenin yoğunluğu da değişmektedir. Görüntünün netliği, radyasyon kaynağının odak büyüklüğüne bağlıdır. Parçanın içinden geçen X veya Gama ışınlarının bir kısmı parça içerisinde emilir. Bu emilme parça yoğunluğuna, parça kalınlığına ve parçanın içindeki süreksizliklere bağlıdır. İnce kısımlardan ve süreksizliklerden geçen radyasyon daha fazla olduğu için filmin bu kısımlarındaki görüntü daha koyu renkli görünür. Film test parçasının arkasına yerleştirildikten sonra X veya gama ışınları ile belli bir süre pozlanır. Pozlanmış film, banyo edildikten sonra kararma miktarı kontrol edilir, filmin kararması yoğunluk olarak adlandırılır. Filmde farklı yoğunlukların olması, test edilen parçada farklı yapıların olduğunu gösterir, filmin fazla radyasyon alan bölgeleri daha fazla kararır. Bunun anlamı, bu bölgede film yoğunluğu yüksek oluşudur.



Şekil 19. Radyografik Muayenede Pozlama

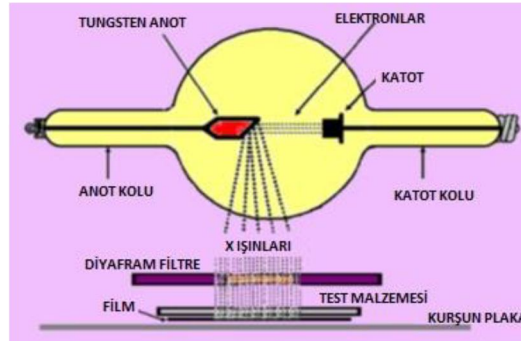
Birçok radyografik kaynak olmasına rağmen, pratikte radyografi için uygun kaynak çok azdır. Kaynak seçimine, kaynak boyutu, radyografi cihazının büyüklüğü, radyografi yapılacak cismin taşınabilirliği ve kaynak enerjisi etkilidir. X ve Gama ışınlarının üretimi dışındaki bütün özellikleri aynı olup, X ve Gama ışınları elektromanyetik radyasyondur. Elektromanyetik radyasyonlar tanecik ve dalga yapısına sahiptir. X ve Gama ışınları dalga boyları kısadır. Dalga boyu giricilik güçlerini tayin eder. Dalga boyu ile giricilik ters orantılıdır, dalga boyu arttıkça, giricilik azalır ve dalga boyu küçüldükçe giricilik gücü artar. Genel olarak X ve Gama Işınları;

- Gözle görülemezler
- Hareket hızları ışık hızındadır
- Fotoğraf filmine etki eder
- Bazı malzemelerde floresans ve fosfloresans meydana getirir
- Elektrik veya manyetik alandan etkilenmez
- Doğrusal olarak hareket ederler
- Canlı dokulara zarar verebilir
- Bazen dalga bazende tanecik karakterinde görünebilirler.

X-Işınları bir elektrik kaynağı aracılığıyla X-Işını tüplerinde oluşturulur, gama ışınları ise radyoaktif bozunum esnasında meydana gelirler. [50]

6.1.1.1. X ışınları

Elektronların yüksek hızda bombardımanı sonucu oluşan X-ışınları X-ışını tüpünde üretilirler. Şekil 20’de X-ışınlarının X-ışın tüplerinde meydana geldiği kısımları görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi odaklama kabı Tungsten anot, telden Katot çıkan elektronları aşağı doğru yönlendirir. Buradaki çarpışma ile yüksek X-ışınları ve yüksek ısı ortaya çıkar. Yüksek ısı, yağ, su ve hava ile soğutulur. X-ışınları diyaframdan geçerek test malzemesi üzerine yönlendirilir. Işınlar radyografik film üzerine yansır ve oluşturduğu resim ile test malzemesi hakkında bilgi verir. Film üzerinden geçen X-ışınları kurşun plakalar tarafından emilir.[53]



Şekil 20. X Işınları Üretimi ve Malzeme Kontrolü [53]

Çelik malzemelerin nüfuziyet derinlikleri tablo 12’de verilmiştir, uygulanan voltaja göre girinim artmaktadır. X-ray yönteminde test edilecek parçanın röntgeninin çekilmesi için Amper Saat, Kilovolt değerleri ile süre hesaplanarak cihaz üzerinden ayarlamaları yapılır. Penetrametre denilen kurşun şeritler çekimin netliğini kontrol etmek için kullanılır. Pozlama süresinin hesaplanması için, uygulanacak volt değeri, çekim yapılacak filmin yoğunluğu, test parçasının kalınlığı, koruyucu tabakalar varsa kalınlığı ve tipi ve film ile kaynak arasındaki uzaklık bilgileri ile belirlenir. Poz diyagramlarından yararlanılarak bu değerler bulunur ve pozlama süresi hesaplanır. [53]

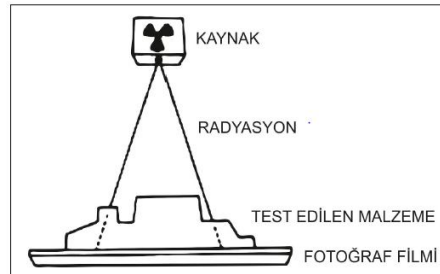
Tablo 12. X-Işınları şiddetine göre nüfuziyetler [53]

U (kV)	Çelik (mm)	Kurşun (mm)	Beton (mm)
150	15	0,3	22,9
250	37,5	0,81	27,9
400	62,5	2,21	33

6.1.1.2. Gama Işınları

Gama ısınımı yayınımlı radyoaktivite ile açıklanır. Radyoaktif bir maddede, atomik kararsızlığa neden olan fazla enerjinin ısınım enerjisi olarak açığa çıktığı süre giden bir bozunma olayı meydana gelir. Bozunum türüne göre, Alfa, Beta ya da Gama ısınları veya bunların karışımları ortaya çıkar. Radyografik muayene için çoğunlukla gama ısınları kullanılır. [54]

Doğal olarak izotop halinde bulunan maddelerden gama ısınımı yayınır. Nötronlarla bombardıman edilen atom çekirdeğinde yapay olarak oluşturulmuş aşırı enerji, doğal haliyle ısınım yaymayan bir maddeyi ısınım yayar hale getirir. Bu işlem, bir nükleer reaktörde olduğu gibi, kararlı haldeki bir atom çekirdeğinin nötron bombardımanına tutularak kararsız hale getirilmesiyle yapılabilir. Bu işlem sonunda atomun çekirdeğindeki nötron ve protonların toplamı olan Atom Kütle Numarası değişir. Bu tip aşırı yüklü ve kararsız çekirdek radyoizotop olarak adlandırılır. Ir 192, Co 60, Tm-170, Yb-169 ve Se-75 piyasada en çok kullanılan radyoizotoplardır [55]. Şekil 21’de Gama ısını ile radyografi çalışmasının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 21. Gama ısını ile radyografi çalışmasının şematik gösterimi [55]

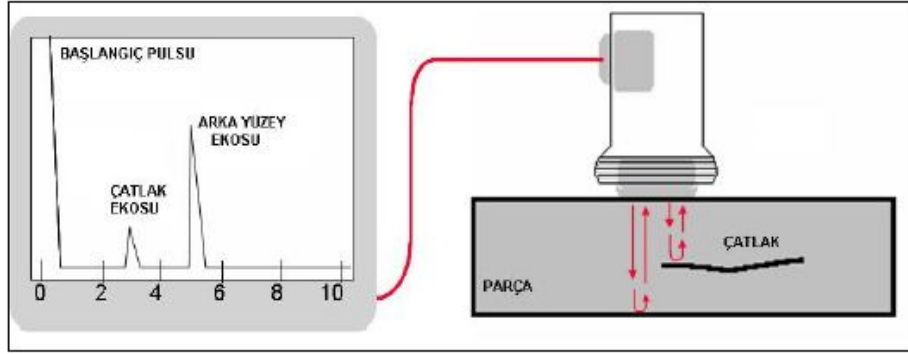
6.1.2. Ultrasonik Muayene

Ultrasonik muayenede ses dalgalarının malzeme iç hatalarının belirlenmesinde kullanılmaya başlanması ilk olarak 1931 yılında çıkarılan Alman patentiyle başlamıştır. Endüstride ticari cihazların kullanılması 1940’lı yıllarda başlamıştır. Teknoloji ile elektroniginde gelişimi ile yöntemin sıklıkla tercih edilen test yöntemlerinden biri haline gelmiştir. Günümüzde tahribatsız muayenenin en sık kullanılan metodlarından biridir. [56]

Hacimsel muayene yöntemlerinden biri olan ultrasonik muayenenin test prensibi, prob tarafından üretilen yüksek frekans ses dalgalarının test malzemesi hacminde

yayılması ve hacim içerisindeki süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansıması esasına dayanır. [57]

Ultrasonik ses dalgaları ($f = 0,14\text{--}10\text{ MHz}$) proba kısa darbeler şeklinde ters piezoelektrik ile üretilir ve malzemeye girişi sağlanır. Ses dalgaları malzemede bir arka duvar ile karşılaşınca geri dönerler. Yankı o anda pasif durumdaki proba ulaştığında tekrar elektrik sinyaline dönüşür ve ultrasonik muayene cihazına iletilir (Şekil 22). Aşağıdaki resimde arka duvar yankısı sağ taraftaki resimde görülmektedir. Ekranda arka duvardan beklenen yankı konumundan önce, yani bu yankının solunda kalan bir yankı görülmesi durumunda malzeme içinde bir süreksizlik olduğu anlaşılır. [56]



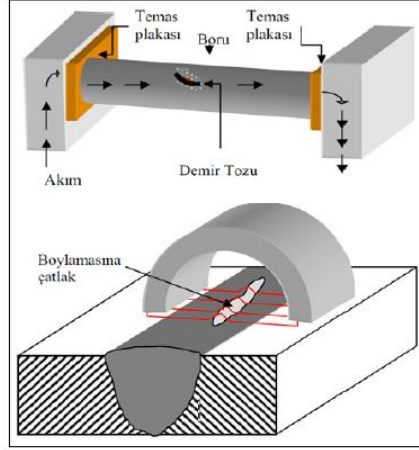
Şekil 22. Ultrasonik Muayene Yönteminin Çalışma Prensibi [56]

6.1.3. Manyetik Parçacık Muayenesi

Bu yöntem ferromanyetik malzemelerin manyetize edildiğinde manyetik akımın yüzeyde hareket etmesi ve karşılaştığı süreksizliklerde değişmesi veya kesilmesi esasına dayanır. [58]

Test parçası önce bir elektro-magnet veya bir sürekli mıknatıs ile hatta test parçasının içinden veya etrafından elektrik akımı geçirmek esasında magnetize edilir. Malzeme yüzeyinde manyetik kuvvet çizgileri oluşur. Bu çizgileri yüzeyde veya yüzeye yakın bir yerde kesen herhangi bir süreksizlik olması halinde, kuvvet çizgileri süreksizliğin üzerinden atlayarak ilerlemeye devam eder, süreksizlik üzerinde yoğun bir kaçak manyetik alan oluşur. Süreksizliğin göz ile görünür hale gelmesi için test yüzeyine ince demir tozları serpilir, bu tozlar renklide olabilir. Yoğun kaçak alan demir tozlarını etrafında toplayarak süreksizliğin görünür hale gelmesini sağlar. Böylece, süreksizliğin yeri, şekli ve boyutu

tespit edilmiş olur. Şekil 23’de manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri verilmiştir. [56]



Şekil 23. Manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri

6.1.4. Sıvı Penetrant Muayenesi

Sıvı penetrant muayene yöntemi, malzemenin cinsine bağlı olmaksızın, yüzeyde olan çatlak, gözenek vb. malzeme süreksizliklerinin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Malzeme yüzeyi, mekanik veya kimyasal olarak temizlendikten sonra kurutulur ve penetrant yüzeye uygulanır. Penetrantın yüzeye açık olan süreksizliklere nüfuz edebilmesi için bir süre beklendikten sonra yüzeydeki penetrant temizlenerek kurutulur ve süreksizlikler içindeki penetrantı emerek yüzeye yayar ve beyaz rengi sayesinde kontrast sağlayarak hatayı gözle veya büyüteçle görülebilir hale getirir. [59]

Ancak yöntemin kullanılabilmesi iki şarta bağlıdır.

1- Hata(süreksizlik) yüzeyde olmalı ve hatanın ağzı penetrant sıvının nüfuz edebileceği kadar açık olmalıdır. Süreksizliğin içinin dolu olması (pislik, boya v.b.) veya yüzey kaplama işlemleri uygulanmış (örneğin galvanizleme v.b.) olması hatalar hakkında doğru bilgiler vermez.

2- Muayene edilecek malzemenin kullanılacak muayene sıvısına dayanıklı olması, yani korozif bir oluşumun söz konusu olmaması gerekir.

Bu iki ön şartın yanı sıra muayene edilecek malzemenin poroz olması kısmen muayeneyi sınırlayıcıdır. Sıvı penetrant muayene yöntemi tipik yüzey hataları olarak sayılabilecek çatlakların, porozların, birleşme hatalarının veya katlanmaların belirlenmesi için uygundur. Ancak sıvı penetrant yöntemi özellikle manyetik olmayan ostenitik çeliklerin, alüminyum alaşımlarının ve titanyum malzemelerin kontrolünde özel anlam taşır, taşıdığı bu özel önem manyetik parçacık yönteminin bu tip malzemelerde kullanılamamasıdır.



Şekil 24. Penetrant uygulanması [50]

Sıvı Penetrant Yöntemi, aşırı derecede gözenekler içermeyen her metalik malzeme (alüminyum, magnezyum, titanyum, demir, bakır, pirinç, bronz vb.) ve metalik olmayan malzemelere (seramik, cam, plastik vb) uygulanan çok küçük kılcal çatlakları açığa çıkarmak için kullanılan bir yöntemdir.

Penetrant sıvı yöntemi ile sadece yüzeyde olan yani yüzeye açık süreksizlikler belirlenebilir. Bu sebeple penetrantın süreksizliğe nüfus etmesi gereklidir. Kontrol işleminin aşamalarının dikkatle yapılması gerekmektedir.

6.1.4.1. Sıvı Penetrant Muayenesinin Aşamaları

6.1.4.1.1. Yüzey Hazırlama

Öncelikle test edilecek parçanın yüzeyinin(dolayısıyla çatlakların içinin) temizlenip yağ, pas, sıvanma, kaynak sıçraması, asitler, kromatlar vb. yabancı maddelerden temizlenmesi gereklidir. Su bir kirleticisi unsur olup birinci basamakta test yüzeyinden temizlenmesi gerekmektedir. Boya ve metal kaplamalar penetrantın çatlaklara nüfuziyetine engel olacağı için parça yüzeyinden sökülmelidir ve süreksizlik içinde temizleme maddesinin kalmaması gerekmektedir. [50]

6.1.4.1.2. Penetrant Uygulama

Muayene için kullanılacak penetrantın amacına uygun özelliklere sahip olması gerekmektedir. Yüzey uygulanan penetrant sadece kendi başına süreksizlik içerisinde nüfuz etmez, ayrıca yer çekiminden bağımsız çalışan kapiler hareket ile süreksizlik içerisine nüfuz eder. Sıvı penetrant muyenelerinde kullanılan penetrantın doğru viskoziteye, iyi ıslatma kabiliyetine ve yüze gerilim özelliklerine sahip olması gereklidir. Ayrıca penetrant yüzeyden kolayca akmamalı, test yüzeyine yapışarak yerini muhafaza etmeli ve buharlaşarak yüzeyden ayrılmamalıdır.

Sıvı penetrant muayenesinde kullanılan penetrant tipleri, kendi içeriklerinde bulunan boyanın cinsine göre değişik isimlerle anılırlar.

Flüoresan Penetrant (Tip 1): 320-400 nanometre arasında dala boyuna sahip siyah ışık altında görülebilen penetranttır. Sarı-yeşil renkte parlaklığa sahiptir. Kullanımı için özel teçhizatlar gerekir, ancak hassasiyete sahip olan penetranttır.

Görünür Penetrant (Tip 2): Gün ışığında görülebilir boya içeren penetrant çeşididir. Gün ışığı veya aydınlatılmış bir ortamda görülebilen kırmızı renge sahiptir. Karanlık oda ve siyah ışık kaynağı gerektirmedikinden en basit penetrant türüdür.

Çift Duyarlı Penetrant (Tip 3): Flüoresan ve görünür penetrant karışımı ile elde edilen penetrant türüdür. Kontrol siyah ışık altında yapıldığı gibi aydınlatılmış ortamda veya gün ışığında da yapılabilir.

Penetrant sıvı malzeme yüzeyine , daldırma, püskürtme, dökme veya fırça ile uygulanabilir. Daldırma yönteminde, test parçası penetrant dolu bir tankın içerisine daldırılır bir süre beklenir ve çıkarılarak süzölmeye bırakılır. Püskürtme yönteminde, basınçlı bir kap veya püskürtme tabancası ile penetrant sıvısı muayene yüzeyine püskürtülür. Dökme yönteminde, penetrant sıvı test edilecek parça üzerine dökülür ve süzölmeye bırakılır. Fırça uygulamasında boya fırçaları veya lifsiz topak bezlerle penetrant yüzeye sürülerek uygulanır. [50]

6.1.4.1.3. Ara Temizlik

Süreksizlik belirlenecek yüzeyine uygulanan fazla penetrantın bir ara temizlik maddesiyle yüzeyden temizlenmesi işlemidir. Genelde ara temizleyici olarak, pütürlü

kaynak yüzeylerinde basınçsız su, düzgün(pürüzsüz) yüzeylerde ise çözücü ile ıslatılmış kâğıt-bez kullanılır. Çözücünün yüzeye doğrudan püskürtülmesine uygun değildir. Daha sonra yüzey silinerek, hava üflenerek veya max. 50 °C ısıtarak kurutulur. [49]

6.1.4.1.4. Developer (Geliştirici) Uygulaması

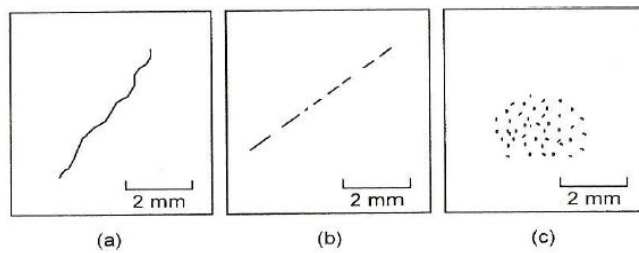
Developer(geliştirici), emici özelliği arttırılmış pudrayadır. Developer uygulamanın amacı, süreksizlik içine giren az miktardaki penetrantın, yüzeye çekilerek görünür hale getirilmesidir. Developer yüzeye kuru uygulamada toz halde, sıvı uygulamada ise bir tanka daldırma ile veya sprey şeklinde uygulanır. Penetrantın yeterli düzeyde emilebilmesi için belirli bir bekleme süresi vardır.[50]

6.1.4.1.5. Kontrol

Developer uygulaması ve beklemesi sonunda muayene yüzeyi incelenir. EN 571-1'e standardına göre olması gereken en düşük aydınlatma şiddeti, hassas görüntü alabilmek için 500 lx olmalıdır. Değerlendirme belirli kurallar çerçevesinde yapılır. [50]

Yapıda bulunan süreksizliğin türüne ve oluşum mekanizmasına göre, yüzeyde görünen penetrant izleri değişim göstermektedir. Süreksizlikler, sürekli çizgi, kesik kesik veya kırık çizgiler şeklinde oluşabilir. Küçük noktalar ve yuvarlak belirtiler genellikle gözenekleri ve hava boşluklarından kaynaklı delikleri gösterir. Belirtinin büyüklüğü ve ışığın kuvveti süreksizliğin derinliğinin bir göstergesi olarak kabaca ipucu verir. Küçük çatlak ve gözenekler zayıf belirtiler oluşturur, süreksizlik derin veya geniş olduğunda belirti parlak olur.

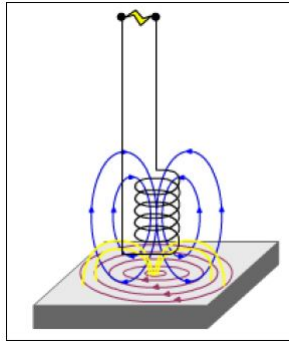
Şekil 25 a, b ve c'de, farklı süreksizlik türleri için elde edilen izler görülmektedir. Şekil 25 (a)'da verilen sürekli hat şeklinde izler. Şekil 25 (b)'de verilen kesik kesik hat şeklindeki izler. Şekil 25 (c)'de verilen küçük delikler ise, yüzey pürüzlülüğü izleridir. [50]



Şekil 25. Farklı süreksizlik izleri [50]

6.1.5. Girdap Akımları ile Muayene

Girdap akımı testi, elektrik dalgalarının malzemeye verilmesi ve malzemedeki homojensizliğinin bu akımların hareketinde herhangi bir değişikliğin üzerindeki bir probun içindeki bobin tarafından cihazdaki elektronik işlem ve prezentasyonla tespit edildiği elektromanyetik bir tahribatsız muayene metodu olarak tanımlanır. Girdap akımları teknikleri ayrıca malzemenin iletkenliği, tane boyutu, sertliği, kalınlığı ve farklı bilesimdeki malzemelerin mikro yapıları, manyetik geçirgenliği, ısıtım işlem ve kaplamaların kalınlığını etkilemeden farklı malzemelerin muayenesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Kaynaktaki değişen manyetik alan malzemede elektrik alan oluşturur. Prob içindeki test bobini veya bazı durumlarda ayrı hızlandırıcı bir bobin elektronik şekilde alan etkileşmesi içindeki değişimleri belirler. Kaynaktaki süreksizlikler girdap akımlarının manyetik alanını ve yönünü değiştirmekte olup bu sayede test sinyali ile süreksizliğin tespiti mümkün olmaktadır. Girdap akımları testi esas olarak ince cidarlı, alın kaynaklı bağlantılı borularda kullanılır (Şekil 26). Girdap akımları dairesel yönde ilerledikleri için, boyuna süreksizlikler girdap akımları akısındaki en belirgin değişime neden olurlar. [56]



Şekil 26. Girdap akımları kontrolünde oluşan manyetik alan ve akımlar [9]

6.1.6. Gözle Muayene

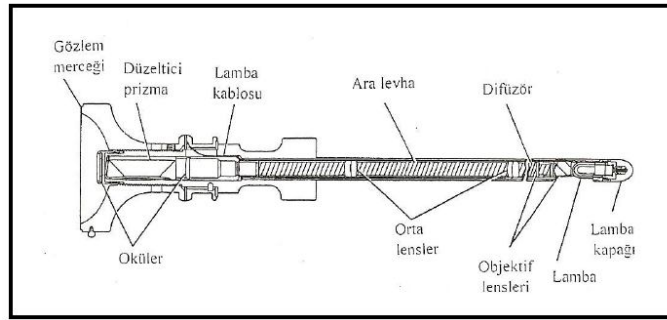
En eski ve en ekonomik muayene türüdür. Genel yapının, bir sistemin ve ya belirli bir parçanın muhtemel kusurunu, hasarını bulmak için kullanılır. Bu metot ile çatlak, korozyon, kalkmış boya, bozulmuş bağlama elemanı gibi gözle görünür olumsuzluklar saptanabilir. [60]

Gözle kontrolün sınırlı kaldığı yerlerde çeşitli optik cihazlar kullanılabilir. Optik cihazları kullanımı ile hataların büyütülmesi mümkündür. Boroskop ve optik mikroskoplardır en çok kullanılan gözle kontrol aracıdır.

6.1.6.1. Boroskop ile Kontrol

Bu optik kontrol cihazları ile normal şartlarda gözle görülemeyen küçüklikteki yüzeylerin incelenmesinde kullanılır. Dahili bir aydınlatmaya sahip ince uzun bir yapıdadır. Cihazlar, sert ve ya esnek olabileceği gibi, kullanım yerine göre farklı çap ve uzunlukta olabilirler. Kullanım alanlarına göre farklı tasarımları bulunmaktadır. Şekil 27’ de bir boloskop kesidi görülmektedir.

Direk gözle kontrolün haricinde, bir kamera ile ekrana aktarılan görüntünün incelenmesi avantajıdır. Ayrıca görüntüler kayıt altına alınabilir.



Şekil 27. Boloskop Çeşidi

6.1.6.2. Optik Mikroskop İle Kontrol

Optik Mikroskoplar mikro yapı incelemelerinde kullanılmalarının yanı sıra, tahribatsız kontrol analizlerinde yüksek büyütme aralığında kullanılmaktadır. Büyütme işlemi için yakınsak bir mercek içermektedirler. Optik Mikroskop ile kontrol işlemlerinde en uygun prosedür, öncelikle genel kontroller için düşük büyütme değeri kullanmak ve ardından sorunlu bölgeleri daha yüksek bir büyütme seçerek detaylı incelemektir. [50]

6.1.7. Sızdırmazlık Testi

Kaynak bağlantılarındaki sızdırmazlık testleri, sıvı veya gaz kaybıyla sonuçlanan bir durum olursa bunu belirlemek için yapılır. Bu testler kaynakların basınçla ve gözle muayenesi gibi basit işlemlerden elektronik ekipmanların kullanımıyla sızıntıların bulunmasını sağlayan karmaşık metotlara kadar uzanır. En basit sızdırmazlık muayenelerinden biri bir kabın veya boru sisteminin iç basıncını atmosfer basıncın üzerine çıkarmak ve kaynakların sızıntı yapan bölgelerini tesbit etmek için yapılır. Su, yağ, hava

veya yanıcı olmayan gazlar basınç arttırma işlemi için kullanılabilir. Sızdırmazlık testi uygulanmadan önce tüm kaynaklar ve yüzeyler son işlemleri bitmiş halde olmalıdır.

Su en çok kullanılan maddedir, düşük maliyete sahiptir ve hazır olarak bulunabilir. Çok küçük sızıntıların bulguları doldurma ve muayene öncesi suyun kabın dışını ıslatmasına bağlı olarak gözden kaçırılabilir. Muayene ortamına küçük miktarlarda suda çözünebilir flüoresans boyaların eklenmesiyle ve ultraviyole ışıkla kabın dış yüzeylerinin muayenesi genellikle metodun hassaslığını arttırmaktadır. Basınçlı kapların dizayn kodlarında hidrostatik basınç testinden sonra yapılması istenir ve basınç işletme basıncının 1,5 katı olan güvenlik katsayısı oranında seçilir. Hava veya asal gazlar kullanıldığı zaman, sızıntılar kabarcık olarak kabın dışında çıkacağından kabarcıkları tespit etmek amacıyla bir sıvı havuza daldırılması sonucu bulunurlar. Bu sırada da tüm kaynak dikişleri ve bağlantı noktaları kontrol edilebilir.

6.1.8. Replika Testi

Replika testi, basınçlı ekipmanların sürünmeye maruz kalmış yüksek sıcaklıklı bölgelerinin(gerilme yığılmasının ve sıcaklığın fazla olduğu yerler) muayenesinde kullanılır. Temel dokümanlar replika testinin tahribatsız olduğu kanısındadır ve replika tekniğinin uygulanmasındaki pratik deneyimlere uygulanmış dökümanter çalışmalardan destek almasıdır. Replika muayenesi sürünmeye maruz kalmış ekipmanların kalan ömürlerini değerlendiren bir tahribatsız muayene tekniğidir. Prensipde, replika tekniği taşınabilir taşlama ve parlatma cihazlarıyla yüzeyin mikroyapı kesiti olarak hazırlanmasını esas alır. Daha sonra yapılan yüzey dağlama işlemi ile metalografik yapıda taneleri, sınırları, karbürleri, aşınmaları ve oluşumlar arasındaki mikro yapısal farklılıkları belirginleştirilir. Detaylı bir laboratuvar analizi ve muayene için bir döküman hazırlamak, hazırlanan yüzeyden mikroyapısal bir çıktı yani replika almakla mümkündür [49]

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Ramor 500 zırh çeliği ile AISI 304 östenitik paslanmaz çiftleri ve Ramor 500 – Ramor 500 çiftleri, AISI 304 – AISI 304 çelik çiftleri Plazma Trasfer Ark (PTA) kaynak yöntemi ile farklı amperlerde, sabit kaynak hızında ve argon atmosferinde birleştirilmiştir.

Birleştirilen numunelerden tel erezyon tezgahında çekme test numunesi ile mikroyapı ve mikrosertlik numunesi alınmıştır. Birleştirilen çelik çiftlerine aşağıdaki deneyler uygulanmıştır.

- Kaynaklı birleştirmelerin mikroyapılarının (SEM, EDX) incelenmesi
- Kaynaklı birleştirmelerin mikrosertliklerinin incelenmesi
- Kaynaklı birleştirmelerin sıvı penetrant muayenesi
- Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi
- Kaynaklı birleştirmelerin çekme testi

PTA kaynak yönteminin seçilmesinin nedeni ise bu kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göre daha yeni olması, derin nüfuziyetli, dar kaynak dikişinin olması, uygulamalarda otomatik tezgahların kullanılması ve dolayısıyla elde edilen verilerin diğer gazaltı kaynak yöntemlerine göre daha güvenilir olmasıdır.

7.1. Malzeme ve Metot

PTA kaynağı deneylerinde Tablo 13’da kimyasal analizleri, Tablo 14’de mekanik özellikleri, Tablo 15’de fiziksel özellikleri verilmiş olan Ramor 500 ve AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemeleri kullanılmıştır. AISI 304 Kalite paslanmaz çelik piyasadan, Ramor 500 zırh çeliği ise **SSAB firmasından** temin edilmiştir.

Tablo 13.Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal analizi

	Kimyasal Birleşim (% Oran)									
Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	Fe
Ramor 500	0.32	0.70	1.50	0.015	0.005	1.00	2.00	0.70	0.005	Balans
AISI 304	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	18-20	8-10.5	-	-	Balans

Tablo 14.Deneyde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

	Mekanik Özellikler				
Malzeme	Akma değeri Rp 0,2 MPa	Çekme gücü Rm MPa	Uzama %5	Sertlik HB	Darbe Gücü Charpy V J
Ramor 500	1450	1700	7	480-560	20
AISI 304	200	500	>45	130-180	40

7.2. Numunelerin Hazırlanması

PTA kaynağı ile birleştirilecek 3 mm kalınlığındaki Ramor 500 zırh çeliği ve AISI 304 paslanmaz çelik numuneler 65x55 mm ölçülerinde, İzmir’de faaliyet göstermekte olan Simya Metal Firmasında kesilmiştir. Numunelerin kaynakla birleştirilecek yüzeyleri lazer kesme tezgahında kesilmiş, yüzeyler dik ve düzgün olduğundan kaynaklı birleştirme öncesinde yüzey taşlama işlemi uygulanmasına gerek görülmemiştir.

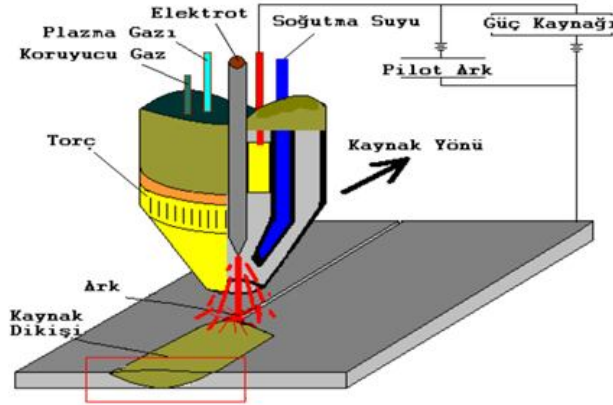
7.3. Plazma Transfer Ark (PTA) Kaynağı ile Birleştirme

PTA kaynak yöntemi ile yapılacak kaynaklı birleştirmeler için kaynak parametreleri, pilot çalışmalar ve literatür çalışmaları dikkate alınarak tespit edilmiş olup çalışmada kullanılan parametreler Tablo 15’de verilmiştir. Birleştirme işleminde, kaynak gücü ve çelik çiftlerinin birleşmeye etkisi incelendiğinden bu parametreler değiştirilmiş, diğer parametreler ise sabit tutulmuştur.

Tablo 15. PTA kaynağında kaynak parametreleri

Koruyucu Gaz Debisi (m3/h) Ar	30
Plazma Gazı Debisi (m3/ h) Ar	0,5
Elektrot Çapı (mm)	4,7
Elektrot	% 2 thoryumlu tungsten elektrot
Torç Malzeme Arası Mesafe (mm)	3≈4
Torç Uç Çapı (mm)	3,25
Set-Back (mm)	4

PTA kaynaklarının yapıldığı kaynak torcunun ve kaynak uygulamasının şematik resmi Şekil 28’de verilmiştir.



Şekil 28. PTA kaynak uygulamasının ve kaynak torcunun şematik resmi[Gür vd., 2009]

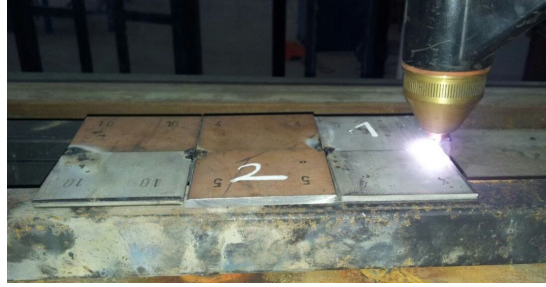
Bu çalışmada Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü atelyesinde bulunan Thermal Dynamic/Arc marka PTA kaynak makinesi kullanılmıştır. (Şekil 29)



Şekil 29. Thermal Dynamic/Arc PTA kaynak makinesi koruyucu gaz tüp bağlantıları ve kontrol paneli

PTA kaynak yöntemi ile yapılacak kaynak işleminde uygulanan kaynak gücü değerleri ile kaynak hızları Tablo 16’da verilmiştir. Deneylerde dört farklı kaynak gücü kullanılmıştır. Tablo’da verilmiş olan N1, N3, N5, N7 numunelerinde çelik çiftleri AISI 304 – AISI 304 paslanmaz çelik; N2, N4, N6, N8 numunelerinde çelik çiftleri Ramor 500 - Ramor 500, N9, N10, N11, N12 numunelerinde çelik çiftleri AISI 304 – Ramor 500 olarak seçilmiştir. Herbir numune için farklı kaynak güçleri seçilerek kaynak işlemi

yapılmıştır. Şekil 30'da numune çiftlerinin PTA kaynağı sırasındaki resimleri görülmektedir.



Şekil 30. Numune çiftlerinin PTA kaynağı sırasındaki resimleri.

Tablo 16. Plazma transfer ark kaynak parametreleri

Numune Adı	Güç(Amper)	İlerleme Hızı (m/sn)	Çelik Çifti
N1	80	0,15	AISI 304 - AISI 304
N3	100	0,15	AISI 304 - AISI 304
N5	120	0,15	AISI 304 - AISI 304
N7	140	0,15	AISI 304 - AISI 304
N2	80	0,15	Ramor500-Ramor500
N4	100	0,15	Ramor500-Ramor500
N6	120	0,15	Ramor500-Ramor500
N8	140	0,15	Ramor500-Ramor500
N9	80	0,15	AISI 304 – Ramor500
N10	100	0,15	AISI 304 – Ramor500
N11	120	0,15	AISI 304 - Ramor500
N12	140	0,15	AISI 304 - Ramor500

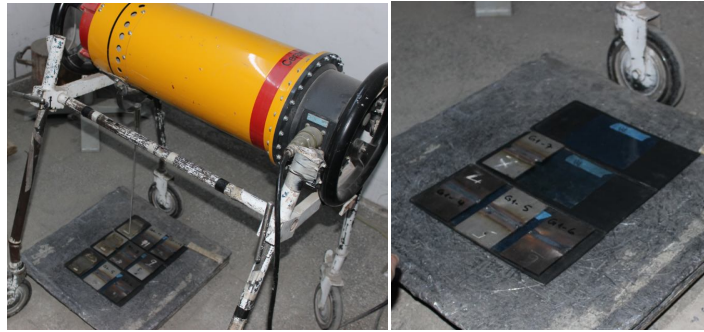
7.4. Kaynak Yapılmış Numunelerin Radyografik Muayeneleri

PTA yöntemi ile kaynakları yapılan numunelere, kaynak dikişindeki iç hataların görülmesi için tahribatsız muayene yöntemlerinden olan Radyografik Muayene uygulanmıştır. Radyografik muayene için İzmir’de faaliyet gösteren ERMA ENDÜSTRİYEL firmasında bulunan Şekil 31’de gösterilen BaltoSpot Röntgen cihazı kullanılmıştır.



Şekil 31. Kontrol paneli, Güç kaynağı ve Işınım cihazı

Yöntemde numuneler numaralandırılarak, içerisine film yerleştirilmiş kartuşlar üzerine dizilir. Her numunenin üzerine kendi numarasını gösteren kurşun numaralar yerleştirilir. Yerleştirilen bu kurşun numaralardan X ışınları geçemeyeceği için film üzerindeki yanma etkisi daha az olmakta ve numaralar numune üzerinde görülmektedir. Film kartuşları ve numuneler uygun bir biçimde yerleştirilerek ışınlama işlemi yapıldı. Kurşun levhalar ile koruması güçlendirilmiş odalarda ışınlama(röntgen çekme) işlemi yapılmaktadır. Şekil 32’de Röntgen çekimi için hazırlanmış numuneler görünmektedir.



Şekil 32. Röntgen çekimi için hazırlanan numuneler.

Işınlama işlemi bittikten sonra filmlere gün ışığı göstermeden banyo odalarında filmler banyo edilmiştir.

Banyo edilen filmlerin PICO - VIEW P-35 marka ışık cihazında kontrolleri yapılmış ve raporu çıkarılmıştır. Şekil 33’de ışık cihazında yapılan inceleme şekli görülmektedir.



Şekil 33. Işık cihazında filmlerin incelenmesi.

7.5. Kaynak Yapılmış Numunelerin Sıvı Penetrant Muayenesi

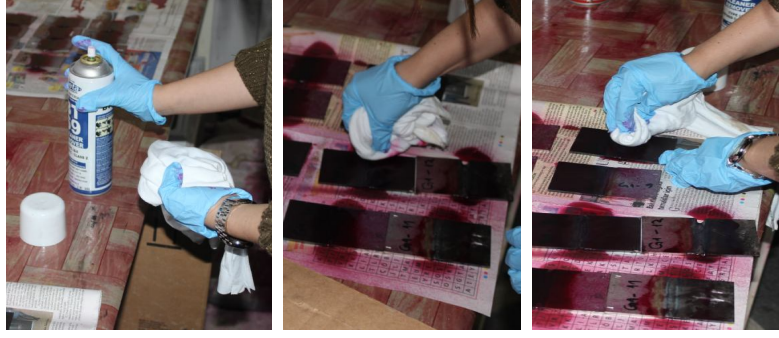
PTA kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin kaynak bölgesinde oluşan yüzey hatalarını (boşluk, çatlak) görebilmek için numunelere tahribatsız muayene yöntemlerinden olan sıvı penetrant muayenesi uygulandı. Sıvı penetrant muayenesi İzmir’de faaliyet gösteren ERMA ENDÜSTRİYEL firmasında yapılmıştır.

Numunelerin kaynak dikişlerine BT68 kodlu penentran püskürtme yöntemi ile uygulandı. Penetrant uygulamasından önce BT69 kodlu Cleiner ile kaynak dikişleri yabancı maddelerden arındırıldı. Uygulanan penetrantın boşluklara nüfuziyetinin iyi olması için 15 dakika kadar beklendi. Şekil 34’de penetrant uygulaması görülmektedir.



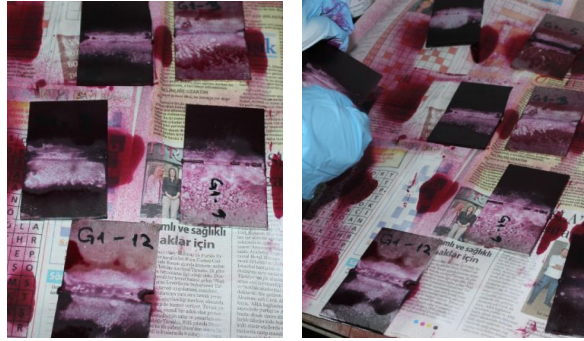
Şekil 34. Püskürtme yöntemi ile penetrant uygulanması.

Uygun süre beklendikten sonra fazla penetrantın yüzeyden temizlenmesi için BT69 kodlu Cleiner ile yüzey temizleme işlemi yapıldı. Cleiner bir beze bol miktarda sıkılarak daha önceden uygulanan penetrant üzerine bastırılarak (silme işlemi yapılmadan) fazla penentran numune üzerinden alındı (Şekil 35).



Şekil 35. Fazla penetrantın Cleiner ile yüzeyden uzaklaştırılması

Fazla penetranttan temizlenen numunelere BT70 kodlu Developer(geliştirici) uygulaması yapıldı. Şekil 36’da developer uygulanmış numuneler görünmektedir. Developer yüzeydeki penetrantın çatlaklara tam nüfuziyetini sağlamaktadır. Numune yüzeyine developer uygulandıktan sonra, penetrantın nüfuziyetin tam olması ve doğru gözlem yapılabilmesi için yine 15 dakika kadar beklenmiştir. Gözlemler gün ışığı altında yapılarak muayene raporu çıkarılmıştır. Şekil 37’da muayene esnasında kullanılan penetrant, cleiner(temizleyici), developer(geliştirici) görülmektedir.



Şekil 36. Developer(geliştirici) uygulanan numuneler



Şekil 37. Sıvı penetrant muayenesinde kullanılan spreyler

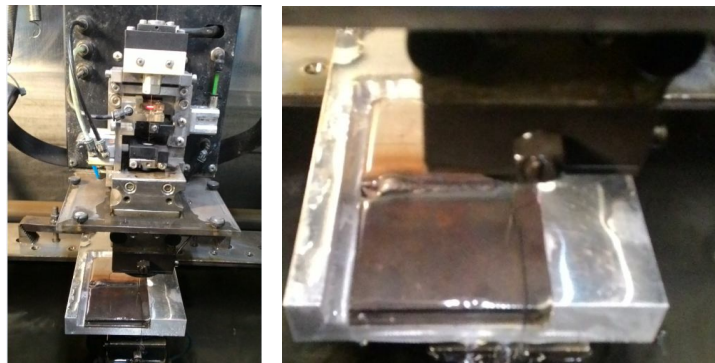
7.6. Tel Erezzyonda Çekme Testi Numunesi ve Mikroyapı Numunesinin Kesilmesi

Kaynak yapılmış çelik çiftleri üzerinden mikroyapı ve çekme test numunelerinin çıkarılması için çekme deneyi Aydın'da faaliyet gösteren Uğur Soğutma firmasında bulunan MAKINO MGW-R marka telerezyon tezgahı kullanılmıştır (Şekil 38).

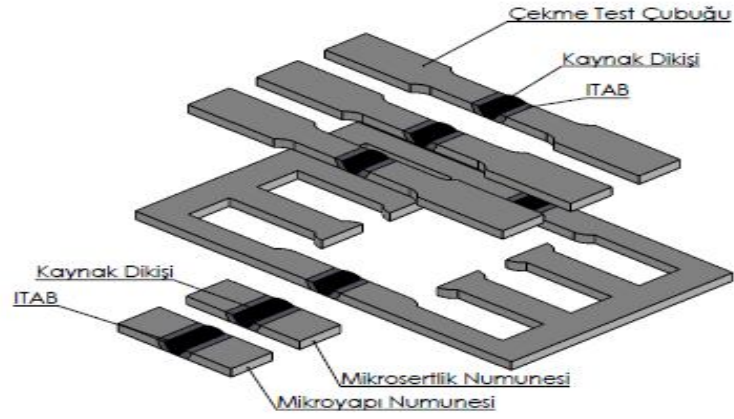


Şekil 38. Telerezyon tezgahı

Alüminyum bir kütük üzerine numunelere uygun ölçülerde boşluk açılarak numuneler bu boşluğa yerleştirilerek sıkıca sabitlenmiş ve tezgaha bu alüminyum kütük yardımı ile bağlanarak kesme işlemi yapılmıştır. Şekil 32'de kesim esnasında ve kesim sonrasındaki numuneler görünmektedir. Kesme işleminde 3 adet çekme numunesi ve arada çıkan parçalardanda mikrosertlik ve mikroyapı numuneleri alınmıştır(Şekil 39). Şekil 42'de kesilen numunelerin ölçüleri gösterilmektedir.



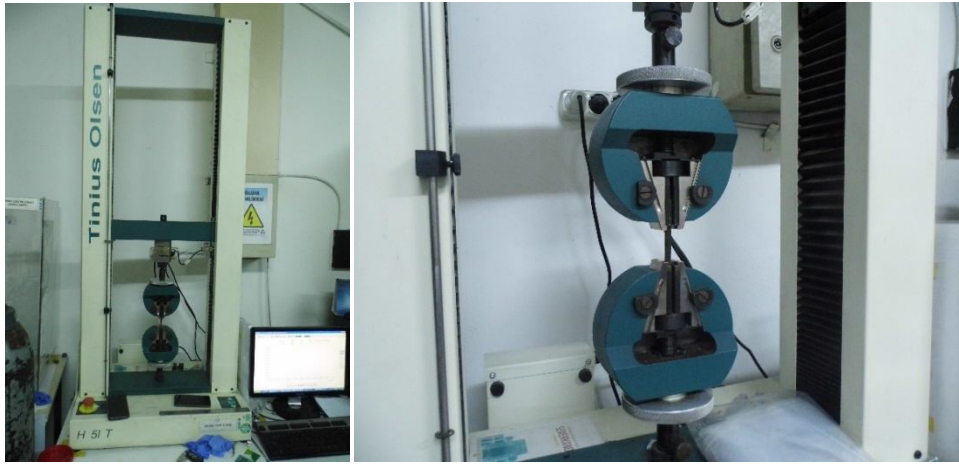
Şekil 39. Telerezyon kesim esnasında ve sonrasındaki numueller.



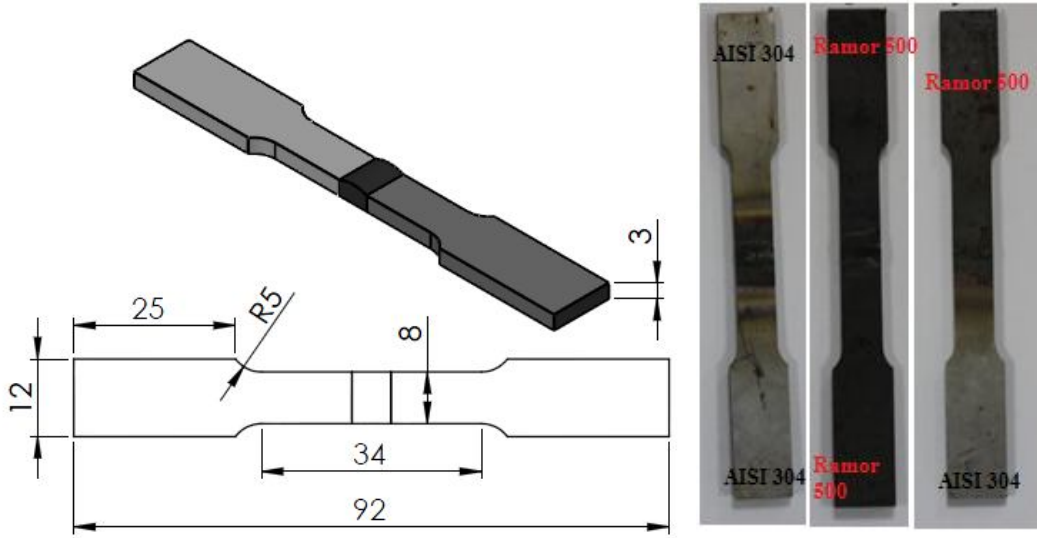
Şekil 40. Telerezyonda kesilen numuneler

7.7. Çekme Testi

Malzemenin yük taşıma yeteneği ile yükleme sırasındaki şekil değiştirme davranışını (mekanik özelliklerini) belirlemek için çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyi Aydın'da faaliyet gösteren Uğur Soğutma Firmasında Tinius Olsen 50 kN yük kapasitesine sahip çekme cihazında 1 mm/dk çekme hızında ve TSE 138 EN 10002-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Çekme deneyinde kullanılan kaynaklı numune ölçüleri çekme test çubuğu Şekil 35'de gösterilmiştir.



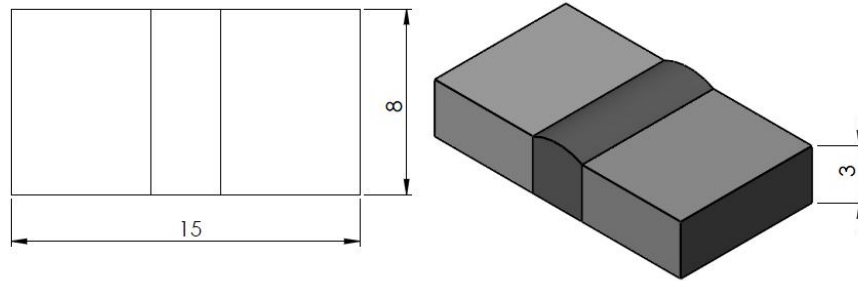
Şekil 41. Çekme test cihazı



Şekil 42. Çekme test numunesi ölçüleri ve resimleri

7.8. Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 36'daki telerezyon tezgahında kesilen mikroyapı numunelerine Fırat Üniversitesi Prof.Dr Nuri ORHAN Metalografi Laboratuvarında mikroyapı incelemesi yapılmıştır.



Şekil 43. Mikroyapı numunesi ve ölçüleri

Struers marka hassas kesme makinasında XRD ve mikroyapı numuneleri uygun ölçülere getirilmiştir (Şekil 37). Metalografik incelemeler için numunelerin yüzeyleri sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh'lik zımparalarda temizlendikten sonra, numuneler 1 μm 'lik elmas pasta ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler kimyasal dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Metalografik çalışmada kullanılan dağlayıcı çözeltileri ve süreleri Tablo 14'de verilmiştir.

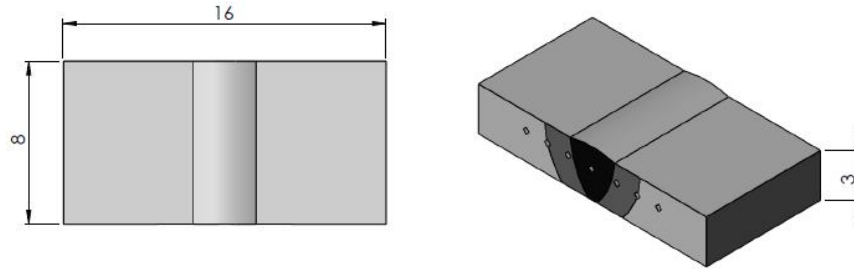
Tablo 17. Metalografik incelemede kullanılan dağlayıcılar ve dağlama süreleri

Dağlanacak Malzeme	Dağlayıcı adı ve bileşimi	Dağlama süresi
Ramor 500	Nital (%2 NHO ₃ + %98 Etil alkol)	7 sn
AISI 304	Kral Suyu (3 birim HCl + 1 birim NHO ₃)	20 sn

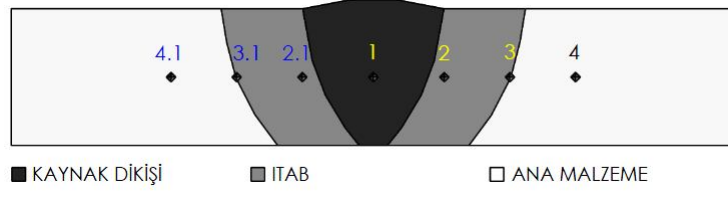
Optik mikroskop incelemeleri Nikon Eclipse MA 150 optik mikroskopta yapılmıştır. Kaynak, ITAB ana malzemedan olmak üzere farklı noktalardan 5, 10, 20, 50 kat büyütme ile mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Numuneler; SEM, EDS analizleriyle incelenmiş ve numunelerin kırılma yüzeylerinden SEM ve kırık yüzey görüntüleriyle kırık yüzey XRD analizi ile incelenmiştir.

7.9. Mikrosertlik Ölçümleri

Plazma transfer ark (PTA) kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AISI 304 – AISI 304, Ramor 500 – Ramor 500, AISI 304 – Ramor 500 çelik çiftlerinden mikrosertlik için alınan numuneler Şekil 38’de görüldüğü gibi uygun ölçülerde kesilmiştir. Kesilen numunelerin gerekli yüzey hazırlıkları yapıldıktan sonra mikrosertlik ölçümleri şekil 39’da görünen noktalardan, Fırat Üniversitesi Prof.Dr Nuri ORHAN Metalografi Laboratuvarında bulunan ve şekil 40’da gösterilen Duraschan 20 mikrosertlik cihazında yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri HV sertlik skalası ile 50 gr’lık yük altında gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri bir adet kaynak dikişinden alındıktan sağa ve sola 0,5mm gidilerek ITAB bölgelerinden ve ana malzemedan olmak üzere bir numunede toplam 7 adet ölçüm alınmıştır. Alınan ölçümlerin mikrosertlik cihazı ekranındaki görünümü şekil 41’de gösterilmiştir.



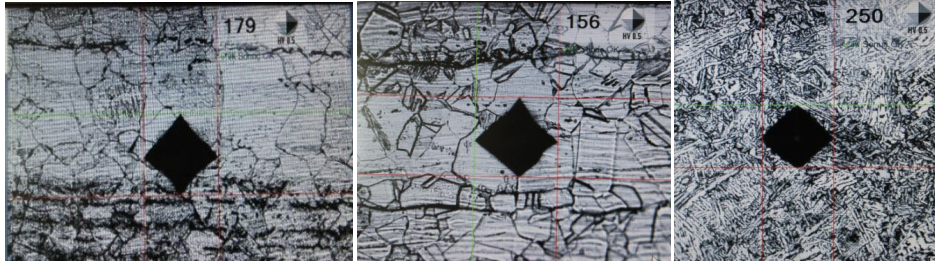
Şekil 44. Mikrosertlik numunesi ölçüleri



Şekil 45. Mikrosertlik numunesinden sertlik alınan bölgeler



Şekil 46. Kullanılan mikrosertlik cihazı



Şekil 47. Mikrosertlik testi örnekleri.

8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

8.1. Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Testlerinin İncelenmesi

PTA kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin radyografik muayene parametreleri Tablo 15’de verilmiştir. Tabloda verilen parametreler ISO standartlarına göre belirlenmiş parametrelerdir. Radyografik muayene testinde malzemenin veya kaynak dikişinin içine bakılır. İç kısımda oluşan hatalar(nufuziyet noksanlığı, gözenek vs.) görülür. Yüzeyde oluşan hatalar(çatlak vs.) radyografik muayene testinde tespit edilemez. Radyografik muayenelerde nufuziyet noksanlığı, gözenek, mekanik kalıntı, birleşme noksanlığı gibi hatalar görülsede yapmış olduğumuz çalışma tek yüzeyden yapılan bir kaynak işlemi olduğu için bu tip hatalar tarafımızca göz ardı edilmiştir. Çünkü yapılan kaynak işlemi 80 A’den başlamış 140 A’e kadar değişkenlik göstererek devam etmiştir. Böyle bir durumda radyografik inceleme sonucunda günümüz standartlarında test sonuçlarının olumsuz çıkmasına sebep olan bazı hataları olması normaldir. Zaten paslanmaz çeliklerin kaynağında bilinen bazı problemler vardır.

Tablo 18. Radyografik muayene parametreleri

Test Standartı	EN ISO 17636-1
Işın Kaynağı	X-RAY
Penetremetre	10 FE EN
Film Tipi	KODAK T200
Enerji	150Kv- 2,4 mA
Film Fokus Mesafesi	800mm
Poz Süresi	1min. 10 sec
Muyene Kapsamı	Kaynak, Itab
Banyo Metodu	Otomatik

PTA yöntemi ile birleştirilen kaynaklarda ilerleme hızı sabit seçilmiş ve çelik çiftleri farklı amperlerde birleştirilmiştir. N1-N2-N9 nolu numuneler 80A’de, N3-N4-N10 nolu numuneler 100 A’de, N5-N6-N11 nolu numuneler 120A’de, N7-N8-N12 nolu numuneler 140 A’de kaynak edilmiştir. Radyografik muayenede kaynak başlama ve bitiş

noktalarındaki 10’ar mm’lik kısımlar muayene kapsamına alınmaz. Kaynak başlangıcında ve bitişinde oluşabilecek ark hataları ve önceden atılmış puntalardan dolayı bu bölgelerde varsa oluşan hatalar göz ardı edilir. Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesinde oluşan hatalar ve hataların tanımları Tablo 19’da görülmektedir. Numunelerin röntgen resimleri ve hataları Şekil 48’de gösterilmiştir.

Tablo 19. Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesinde görülen hatalar ve tanımlar

Hata Kodu	Hata Tanımı	Hata Kodu	Hata Tanımı
Aa/2011	Gözenek	E/100	Çatlak
Ab/2016	Gözenek Kanalı	Fa/504	Kökte Aşırı Nufuziyet
Ac/2014	Gözenek Zinciri	Fb/602	Kaynak Yüzeyi Kötü
Ad/2013	Gözenek Topluluğu	Fc/501	Yanma Oluğu
Ba/3012	Curuf Kalıntısı	Ff	Film Hatası
Bb/3011	Curuf Hattı	H/304	Metalik Kalıntı
C/401	Birleşme Noksanlığı	K/202	Çekme Boşluğu
Da/515	Kökte Konkavlık	A	Kabul
Db/4013	Tek Taraflı Kök Hatası	R	Tamir
Dc/402	Nufuziyet Noksanlığı	RS	Çekim Hatası

Yapılan kaynaklarda N1-N2-N4-N9-N10 numunelerinde Dc (nufuziyet noksanlığı), N3 nolu numunede C (Birleşme noksanlığı), N6 nolu numunede Ac+C (Gözenek zinciri + Birleşme noksanlığı), N7 nolu numunede 140 (A) Dc+Fc+Da (Nufuziyet noksanlığı + Yanma oluşu), N11 nolu numunede Aa+C (Gözenek + Birleşme noksanlığı) hataları gözlemlenmiştir.

N5 numaralı 120A ile birleştirmesi yapılan AISI 304 – AISI 304 çelik çiftinin, N8 numaralı 140A ile birleştirilmesi yapılan Ramor 500 – Ramor 500 çelik çiftinin ve N12 nolu 140 A ile birleştirilmesi yapılan AISI 304 – Ramor 500 çelik çiftinin kaynağına yapılan radyografik muayene sonucuna göre bu üç kaynakta herhangi bir hata gözlemlenmemiştir.



Şekil 48. Kaynaklı birleştirmelerin röntgen resimleri

8.2. Kaynaklı Birleştirmelerin Sıvı Penetrant Testlerinin İncelenmesi

PTA kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin sıvı penetrant muayene parametreleri Tablo 20’de verilmiştir. Tabloda verilen parametreler ISO standartlarına göre belirlenmiş parametrelerdir.

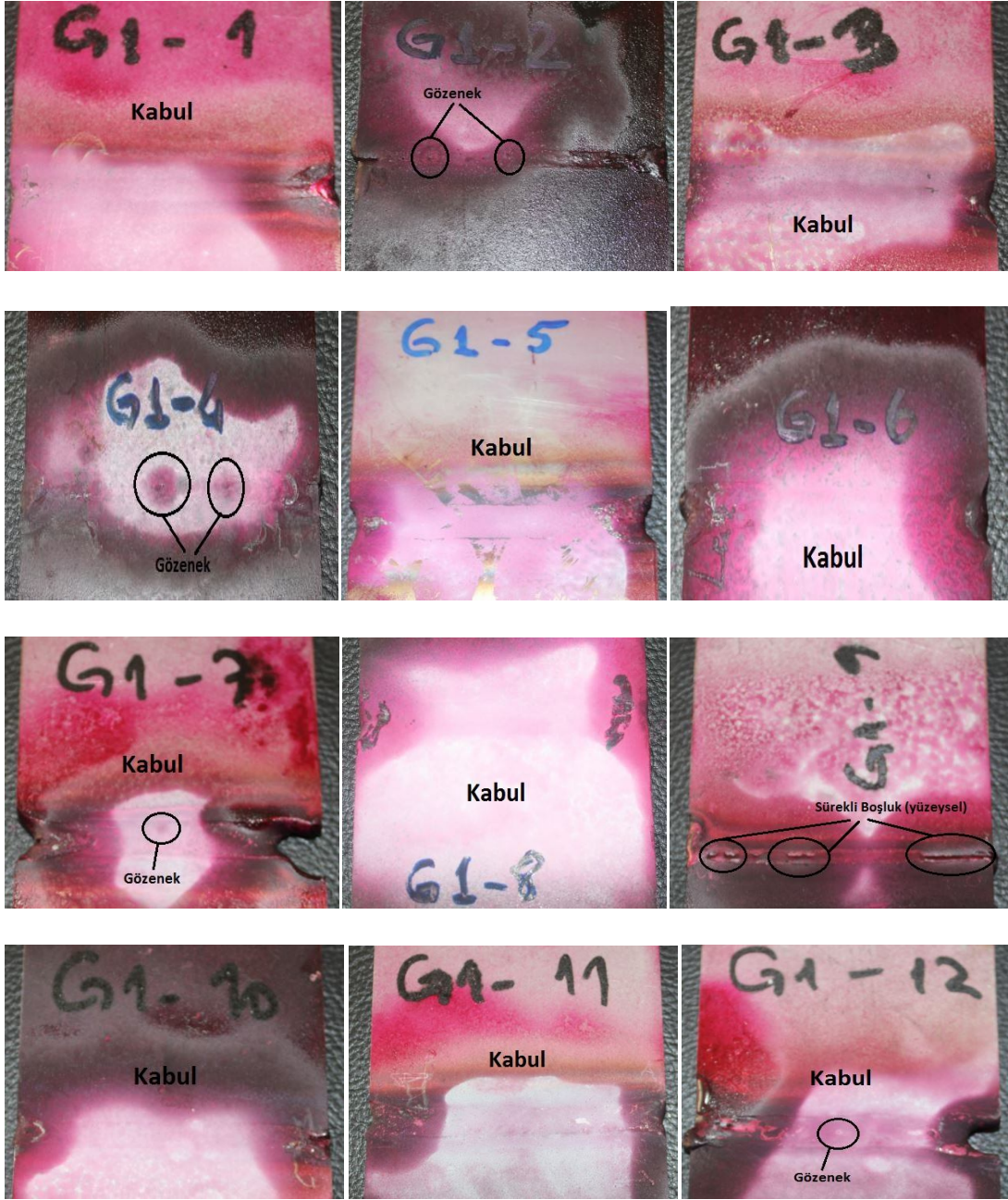
Tablo 20. Sıvı penetrant muayene parametreleri

	Test Standartı	Uygulanan Test Materyali	Uygulama Yöntemi	Bekleme Süresi	Görünür Işık Şiddeti
Penetrant	TS EN ISO 3452-1	Type II-C BT 68	Püskürterek	15 min./dk	600 Lux
Cleiner	TS EN ISO 3452-1	Method C BT 69	Püskürterek	0 min./dk	600 Lux
Developer	TS EN ISO 3452-1	Form d BT 70	Püskürterek	15 min./dk	600 Lux

PTA yöntemi ile birleştirilen kaynaklarda ilerleme hızı sabit seçilmiş ve çelik çiftleri farklı amperlerde birleştirilmiştir. N1-N2-N9 nolu numuneler 80A’de, N3-N4-N10 nolu numuneler 100 A’de, N5-N6-N11 nolu numuneler 120A’de, N7-N8-N12 nolu numuneler 140 A’de kaynak edilmiştir. Sıvı penetrant testinde kaynak başlama ve bitiş noktalarındaki 10’ar mm’lik kısımlar muayene kapsamına alınmaz. Çünkü kaynak başlangıcında ve bitişinde oluşabilecek ark hataları, önceden atılmış puntalar ve özellikle kaynak başlangıç noktasında koruyucu gazın yeterince gelmemesinden dolayı bu bölgelerde kaynak hataları oluşma olasılığı yüksektir. O sebepten bu bölgelerde oluşan hatalar göz ardı edilir. Ayrıca kaynak dikişi üzerinde gözlemlenen 1mm çapından küçük hatalarda göz ardı edilir. Numunelerin sıvı penetrant resimleri ve hataları şekil 49’da gösterilmiştir.

N2-N4 nolu numunede 1mm çapından büyük boşluklar, N9 nolu numunede sürekli boşluklar gözlemlenmiştir.

Yapılan kaynaklarda N1-N3-N5-N6-N8-10-11 numaralı numunelerde yüzeysel bir hata gözlemlenmemiştir. N7-N12 nolu numunelerde ise 1mm den daha küçük boşluklar gözlemlenip bu boşluklar muayene sonucunu olumsuz yönde etkilememektedir.



Şekil 49. Sıvı penetrant muayenesi yapılmış numunelerin resimleri

8.3. Kaynaklı Birleştirmelerin Mikrosertliklerinin İncelenmesi

Şekil 50’de AISI 304 – AISI 304, Şekil 50’de Ramor 500 – Ramor 500, Şekil 52’de Ramor 500 – AISI 304 çelik çiftlerinin 80A, 100A, 120A, 140A de birleştirilmiş numunelerden alınan mikrosertlik değerleri verilmiştir. Grafiklerdeki kodların tanımları Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. Grafiklerdeki kodlamaların karşılıkları

N1,...N12	1,2,3,...,12 nolu numune
K	Kaynak dikişi mikrosertlik değeri
PI	AISI 304 çeliğinin ITAB bölgesi mikrosertlik değeri
RI	Ramor500 çeliğinin ITAB bölgesi mikrosertlik değeri
P1	AISI 304 çeliğinin ITAB ile ana malzeme çizgisinden alınan mikrosertlik değeri
P2	AISI 304 çeliğinin ITAB ile ana malzeme çizgisinden alınan mikrosertlik değeri
R1	Ramor500 çeliğinin RI’den 0,5mm sonra alınan mikrosertlik değeri
R2	Ramor500 çeliğinin RI’den 0,5mm sonra alınan mikrosertlik değeri

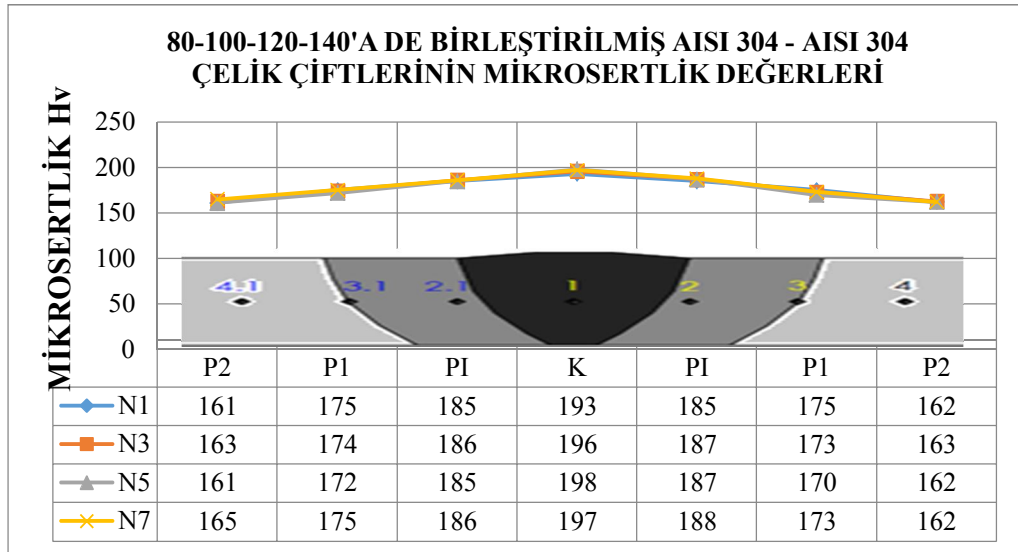
Yapılan mikrosertlik ölçümleri sonuçlarının tamamında ölçüm sonuçları numunelerden elde ettiğimiz sertlik eğrilerine göre incelendiğinde kaynak dikişlerinin sertliğinin ana malzemenin sertliğine göre değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. Kaynak bölgesinde değişiklik gösteren bu sonuçlar esas malzemeler AISI 304 ve Ramor 500 malzemelerde, bu çeliklerin ana sertlik değerlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Kaynak bölgesindeki yükselen sertlik değerleri hem AISI 304 - AISI 304 ve hemde AISI 304 – Ramor 500 çiftlerinde saptanmış ve bu durum benzer numunelerdeki sertlik değerleride incelendiğinde hepsinin grafiğinde aynı dağılımın ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Ancak Ramor 500 malzemesinin olduğu tarfata sertlikte özellikle ITAB’da önce düşme sonra kaynak dikişine doğru artma görülmektedir. Bu durum Ramor500 - Ramor 500 çiftlerinde açıklanmaktadır. Bu sertlik yükselmesinin sebebinin kaynak havuzunun max. sıcaklığa eriştiği anda paslanmaz çelikteki Cr’nin, Ramor 500 içindeki yüksek orandaki C ile oluşturduğu sert bileşiklerin yada Mn’in varlığından olduğu düşünülmektedir. Çünkü paslanmaz çeliklerin kaynağında bu durum Schaffler diyagramı esas alınarak yapılacak incelemelerde de martenzit oluşumunu mikrosertlik değerlerinin yüksek çıkmasında önemli bir etken olarak göze çarpmaktadır. PTA kaynağının doğasında var olan yüksek enerji(ısı) girdisi kaynak dikişlerinin mikroyapısında oluşan karbürlerin daha homojen bir şekilde dağılmasını sağlamakta ve oluşacak fazların katılaşma esnasında homojen bir şekilde katılaşması sebebiyle mikrosertlik dağılımlarında homojen eğriler elde

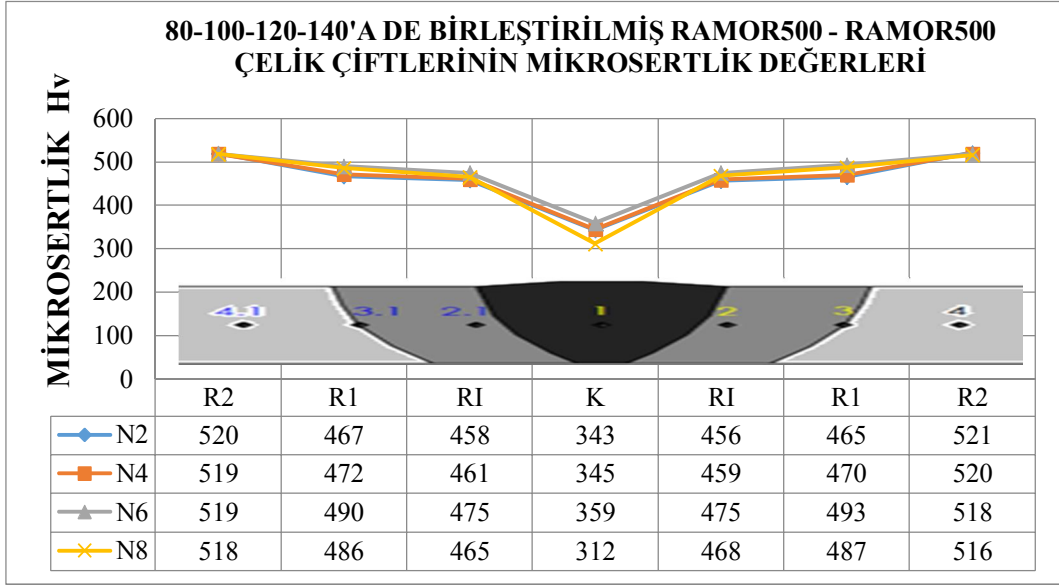
etmemizi sağlamaktadır. Bu sertlik grafikleri incelendiğinde sertliğin düşüşü malzemedeki ısı kaybı hızına bağlı olarak ısı tesiri altındaki bölgenin tane irileşmesine sebep olmakta ve AISI 304 - Ramor 500 malzemelerinin içindeki elementlerden kaynaklanan konsantrasyon farklılığından her iki malzemeninde birbirine doğru elementsel olarak difüzyona uğradıkları düşünülmektedir. Çünkü bu sertlik değerinin artması ileve ek metal kullanılmayan bu kaynak yönteminde başka bir şekilde ifade edilemez. Buna ek olarak kaynak bölgesi kırık yüzeylerinden alınan SEM analizlerindede her iki ana metale ait elementsel veriler elde edilmiştir. Kaynaklı malzemelerin mikrosertlik testleri incelendiğinde genellikle kaynak dikişi bölgelerinde mikrosertliğin yükseldiği görülmüştür. Bu durum kaynak dikişindeki sert fazların oluşmasından açıklanabilir.

Ancak Ramor 500 malzeme çiftlerinde bu durum tersini göstermektedir. Yani kaynak dikişinde sertlik değerleri tam tersi bir durum gözlenmektedir. Bu numunelerde ki sertlik düşüşü Ramor 500 malzemenin kendisinin sahip olduğu martenzitik yapının yüksek ısı girdili kaynak sonrasında yavaş soğuma ile bu yapının bozulmasına bağlamaktayız.

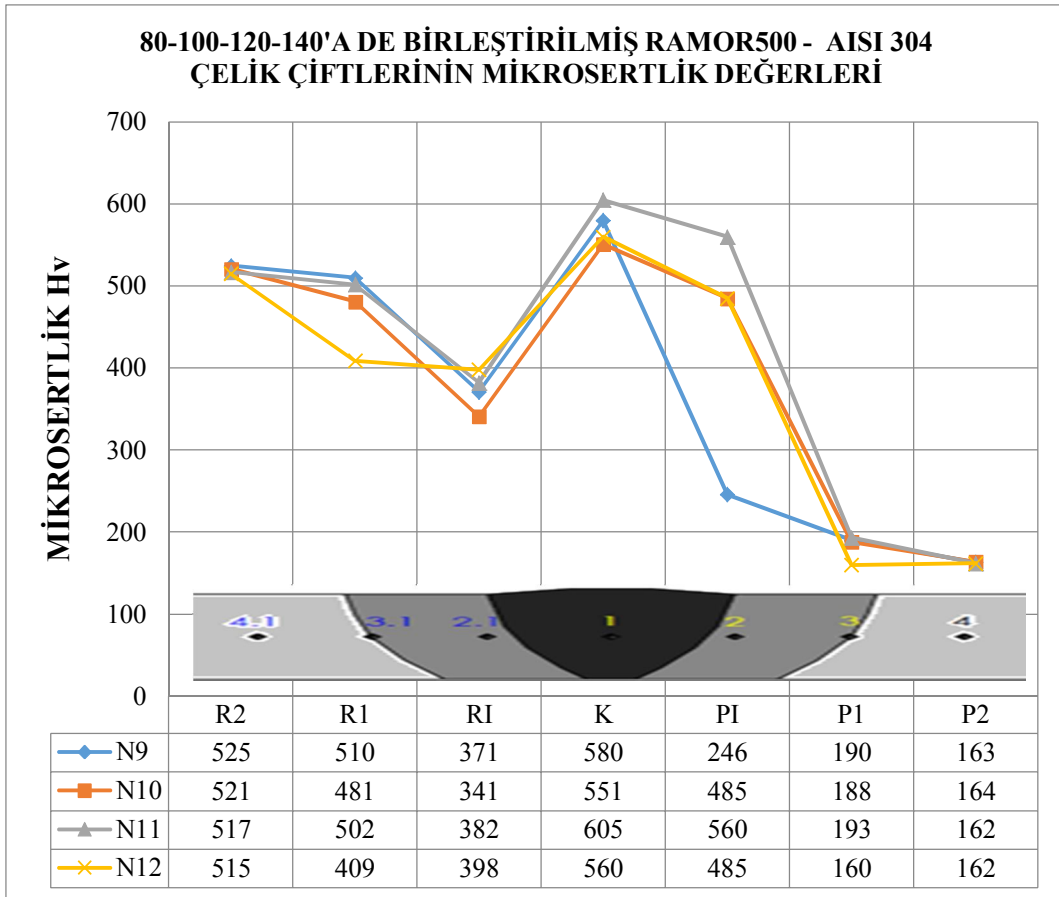
Bu çalışmada elde ettiğimiz mikrosertlik değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 50. AISI 304-AISI 304 çelik çiftlerinin mikrosertlik grafikleri



Şekil 51. Ramor 500 – Ramor 500 çelik çiftlerinin mikrosertlik grafikleri



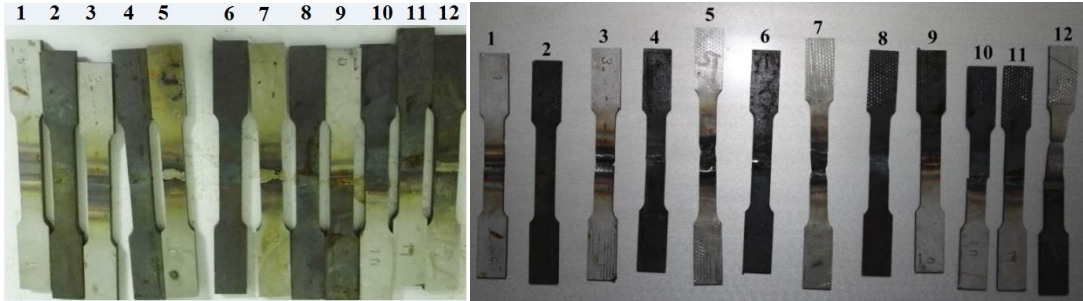
Şekil 52. Ramor 500 - AISI 304 çelik çiftlerinin mikrosertlik grafikleri

Yapılan çalışmada kaynaklı bağlantıların kaynak dikişi üzerinde alınan EDS analiz sonuçlarında iliki yada üçlü denge diyagramlarıyla karşılaştırıldığında MC, MxCy gibi tarzı karbürler saptanmıştır. PTA kaynağı yüksek enerji girdisi sağlayan ve mikroyapıda oluşan yoğun karbürlerin daha homojen bir şekilde dağılması ve bu sert fazların bulunması özellikle Ramor 500 – AISI 304 çelik çiftlerinin kaynağında sertliği olumlu yönde etkilemiştir. Ayrıca, kaynak içerisinde mikrosertlik değerlerinin yüksek çıkması; bu bölgede sertliği artırıcı ani soğuma sonucunda az oranda da olsa tamamlanmamış dendritik yapının ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır.

8.4. Kaynaklı Birleştirmelerin Çekme Dayanımlarının İncelenmesi

PTA yöntemiyle birleştirilmiş Ramor 500 – Ramor 500, AISI 304 – AISI 304 ve Ramor 500 – AISI 304 çiftlerinin kaynak dikişlerinin yük taşıma yeteneği ile yükleme sırasındaki şekil değiştirme davranışını belirlemek için çekme deneyi yapılmıştır. Çekme numuneleri kaynak dikişine dik doğrultuda imal edilmiştir.

Şekil 53’de çekme testi öncesi ve çekme testi sonrası numunelerin resimleri verilmiştir.

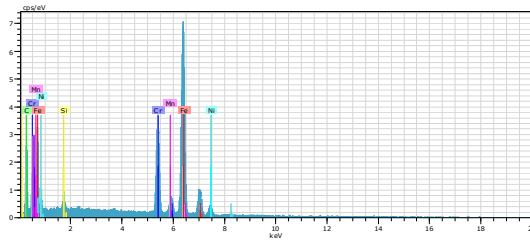
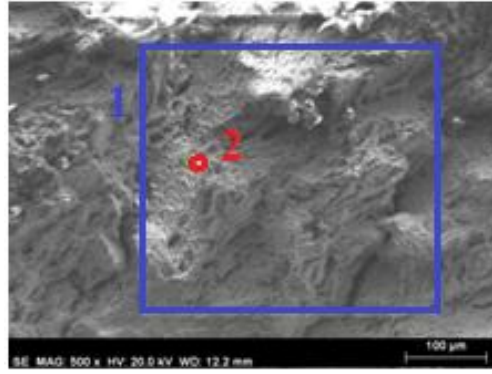


Şekil 53. Çekme testi öncesi ve çekme testi sonrası numune resimleri

Şekil 59 a’da PTA kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AISI 304 – AISI 304 çelik çiftlerinin, b’de Ramor 500 – Ramor 500 çelik çiftlerinin, c’de AISI 304 – Ramor 500 çelik çiftlerinin çekme deneyi sonrası resimleri verilmiştir.

Tez çalışmamızda Ramor500 - Ramor500 ve AISI 304 – AISI 304 çelik çiftlerine uygulanan çekme testi sonucunda kopan numunelerin boyun verme şekilleri incelendiğinde 80A ve 100A ile yapılan birleştirmede boyun vermeden kırılma, 120A ve 140A ile yapılan birleştirmede ise boyun vererek kırılma gözlemlenmiştir. Dolayısıyla mevcut haliyle de bu

malzeme çiftlerinin sünek kırılma mekanizmasıyla koptuklarını söyleyebiliriz. Çünkü sünek kırılma yüksek orandaki plastik deformasyon sonrasında meydana gelir ve malzeme kırık yüzeyinde koni çanak şeklinde bir kırık yüzey oluşumu kendini gösterir. Ancak bizim yapmış olduğumuz çalışmalarda kaynaklı malzemelerin kök pasolarında bulunan yapısal düzensizlikler (boşluk, gözenek ve birleşmeyen kaynak ağzı) çentik etkisi yaparak malzeme kopma yüzeylerinde koni çanak oluşumuna fırsat vermemişlerdir. Sünek kırılmayı Ramor 500 ve AISI 304 çelik çiftlerinin kopma yüzeylerinden aldığımız kırık yüzey sem görüntüleride incelendiğinde durum görülebilmektedir. Kırık yüzey süngerimsi pürüzlü yapıda sünek kırılma mekanizmasına uygun şekilde bir yapıya sahiptir. Kırık yüzeyler sürekli uygulanan gerilme altındayapısal düzensizliklerin kaynak dikişi merkezine doğru ilerlemesi yani uygulanan kuvvete dik doğrultuda çatlağın ilerlemesi mekanizmasıyla kopar.

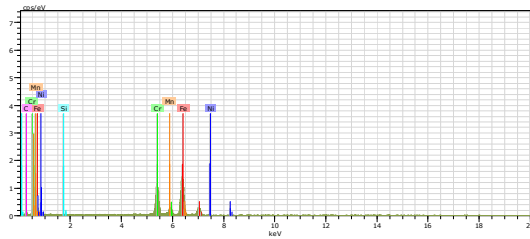


1. Numaralı Bölge

Date:11/12/2015 11:29:23

HV:20.0kV Puls th.:5.04kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	0.06	0.08	0.07	1.4
Si	14	K-series	1.20	1.16	1.71	0.1
Cr	24	K-series	17.23	17.79	18.75	0.5
Mn	25	K-series	1.83	1.43	1.78	0.2
Fe	26	K-series	72.77	69.95	68.99	1.8
Ni	28	K-series	9.89	9.69	8.71	0.3
Total:			102.98	100.00	100.00	



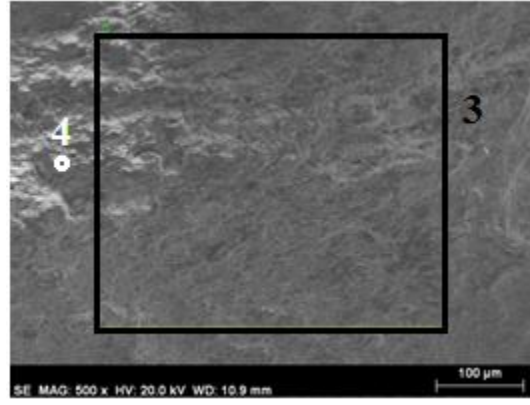
2. Numaralı Noktasal Analiz

Date:11/12/2015 11:29:59

HV:20.0kV Puls th.:1.63kcps

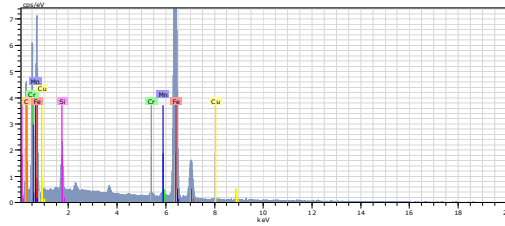
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	0.07	0.06	0.08	0.8
Si	14	K-series	1.63	1.56	2.76	0.2
Cr	24	K-series	18.62	18.92	18.71	0.9
Mn	25	K-series	2.11	1.84	1.81	0.4
Fe	26	K-series	73.93	68.52	66.72	1.9
Ni	28	K-series	8.12	9.08	9.91	0.2
Total:			104.49	100.00	100.00	

Şekil 54. AISI 304 – AISI 304 çiftinin kopma yüzeyinin kırık SEM-EDS analizi



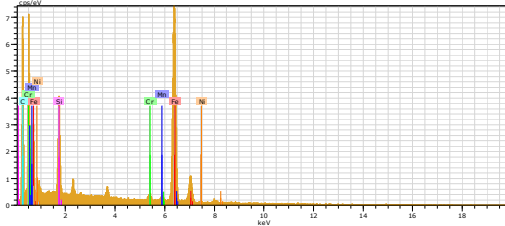
Date:11/12/2015 11:33:54
th.:7.23kcps

HV:20.0kV Puls



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	0.31	0.27	0.34	2.0
Si	14	K-series	1.99	2.21	2.77	0.1
Cr	24	K-series	0.75	0.84	0.57	0.1
Mn	25	K-series	1.25	1.38	1.89	0.1
Fe	26	K-series	84.63	94.13	92.80	1.9
Cu	29	K-series	1.05	1.17	1.65	0.1
Total:			89.98	100.00	100.00	

3.Numaralı Bölge



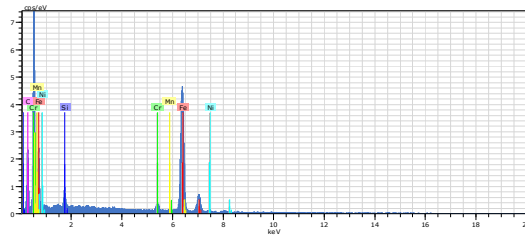
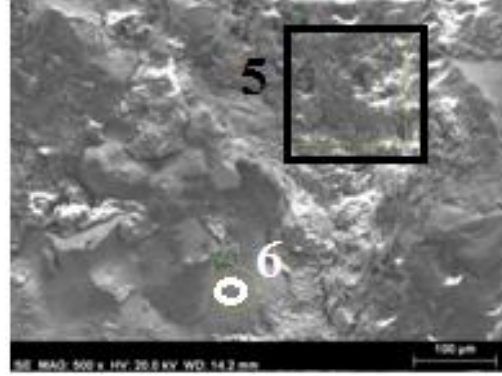
Date:11/12/2015 11:34:29
th.:6.23kcps

HV:20.0kV Puls

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	0.27	0.33	0.27	3.5
Si	14	K-series	3.96	4.83	4.13	0.2
Cr	24	K-series	0.95	1.16	0.56	0.1
Mn	25	K-series	0.94	1.15	0.53	0.1
Fe	26	K-series	74.71	91.09	93.79	1.3
Ni	28	K-series	1.18	1.44	0.62	0.1
Total:			82.01	100.00	100.00	

4.Numaralı Noktasal Analiz

Şekil 55. Ramor 500 – Ramor 500 çiftinin kopma yüzeyinin kırık SEM-EDS analizi

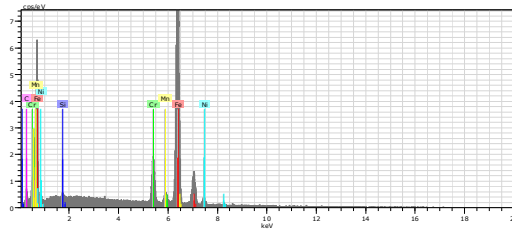


5. Numaralı Bölge

Date:11/12/2015 11:36:52

HV:20.0kV Puls th.:3.48kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	0.30	0.28	0.33	2.9
Si	14	K-series	1.35	1.72	1.81	0.1
Cr	24	K-series	1.76	2.23	2.27	0.1
Mn	25	K-series	1.67	1.85	1.46	0.1
Fe	26	K-series	69.60	89.93	89.82	1.5
Ni	28	K-series	3.96	3.99	4.30	0.1
Total:			78.64	100.00	100.00	



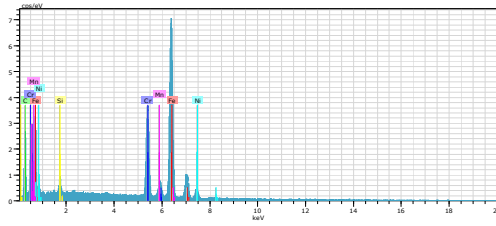
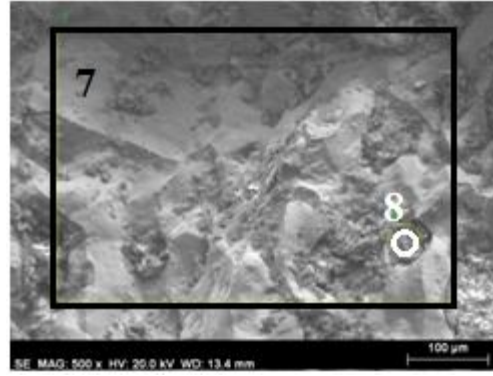
6. Numaralı Noktasal Analiz

Date:11/12/2015 11:37:27

HV:20.0kV Puls th.:5.17kcps

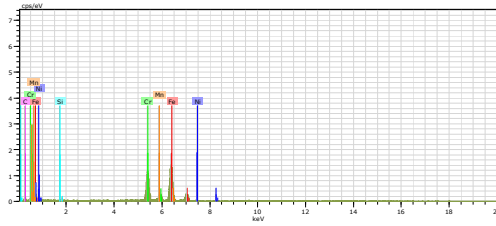
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	0.32	0.26	0.26	0.7
Si	14	K-series	0.38	0.43	0.75	0.1
Cr	24	K-series	7.33	8.30	7.78	0.2
Mn	25	K-series	2.08	2.36	2.09	0.1
Fe	26	K-series	75.29	85.42	86.45	2.0
Ni	28	K-series	2.84	3.22	2.67	0.1
Total:			88.25	100.00	100.00	

Şekil 56. Ramor 500 - AISI 304 çiftinin Ramor 500 tarafı kopma yüzeyinin kırık SEM-EDS analizi



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	0.09	0.12	0.09	2.1
Si	14	K-series	4.12	4.75	5.95	0.2
Cr	24	K-series	12.36	13.58	16.95	0.2
Mn	25	K-series	1.78	2.08	1.82	0.1
Fe	26	K-series	61.76	71.22	68.22	1.7
Ni	28	K-series	6.83	5.26	6.96	0.2
Total:			86.87	100.00	100.00	

7. Numaralı Bölge



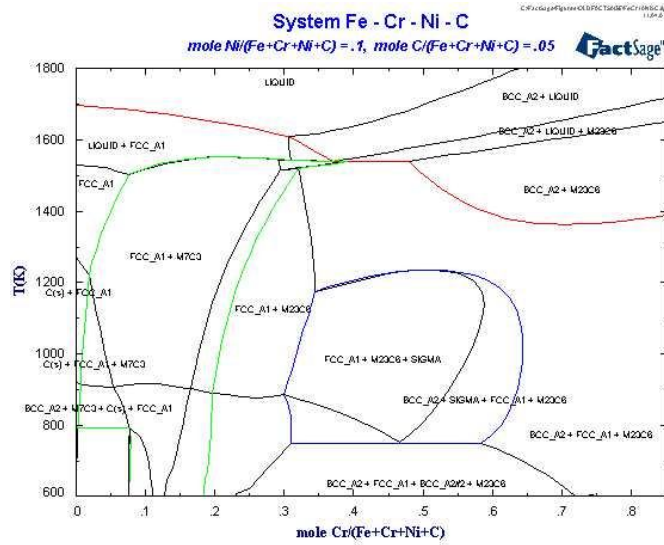
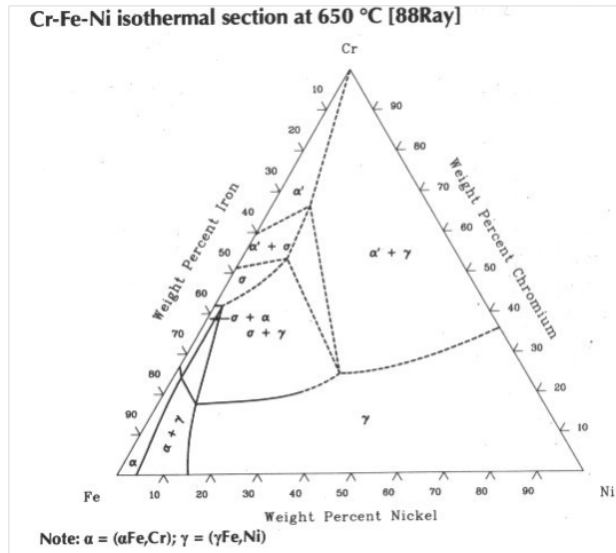
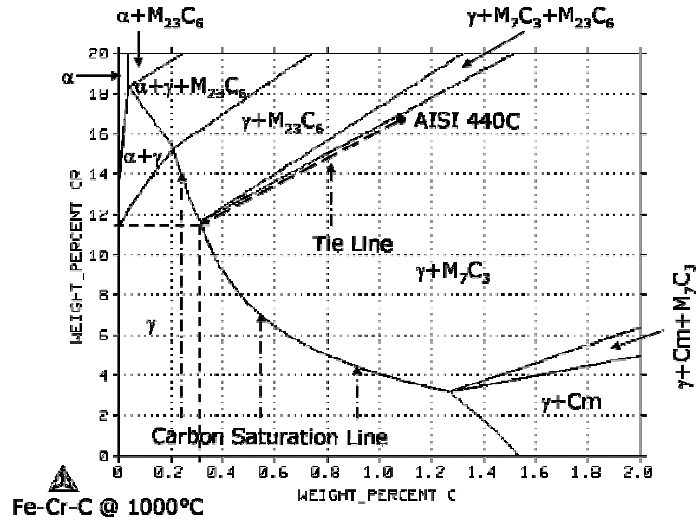
Date:11/12/2015 11:40:08 HV:20.0kV Puls th.:1.90kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	0.10	0.09	0.11	5.1
Si	14	K-series	3.20	3.13	2.37	0.7
Cr	24	K-series	16.32	15.21	14.22	0.1
Mn	25	K-series	1.64	1.54	1.87	0.1
Fe	26	K-series	41.88	72.11	74.79	0.6
Ni	28	K-series	7.37	7.93	6.64	0.1
Total:			70.96	100.00	100.00	

8. Numaralı Noktasal Analiz

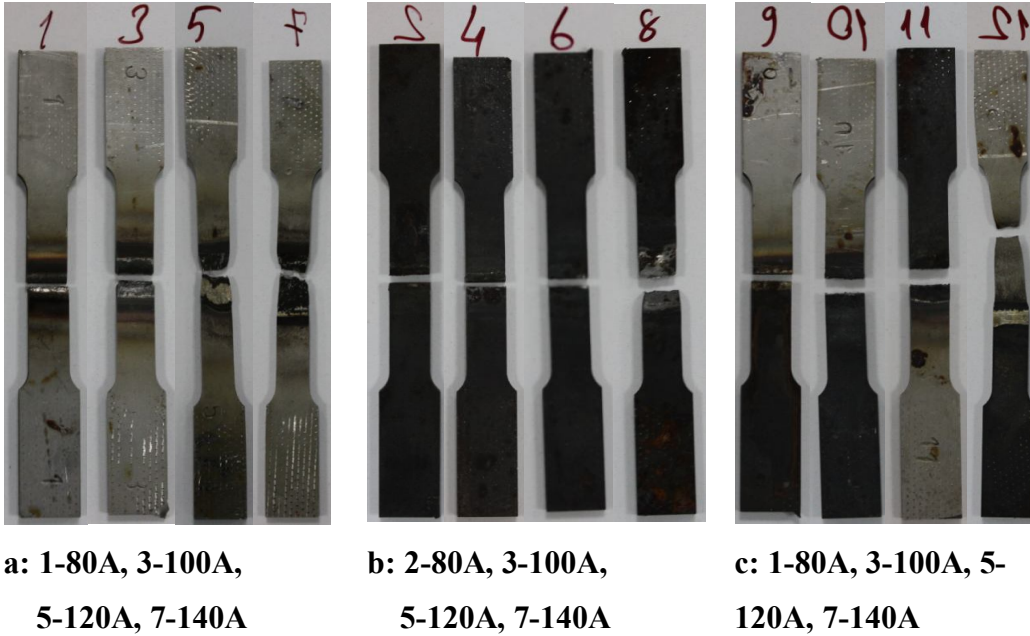
Şekil 57. Ramor 500 - AISI 304 çiftinin AISI 304 tarafı kopma yüzeyinin kırık SEM-EDS analizi

Kırık yüzeylerden hem noktasal ve hemde bölgesel analizler alınmıştır. Kaynak dikişi ara yüzeyinde oluşan fazları tesbit etmek için bölgesel EDS analizinin elementel oranına göre ikili veya üçlü denge diyagramlarından faydalanılmaktadır. Aşağıdaki diyagramlarda da görüleceği gibi % element oranına göre rahatlıkla yapıda oluşan fazları tesbit edebilmekteyiz. Arafaz veya metallerasası bileşik şeklinde görebilen bu fazların sertlik eğrilerinde kaynak dikişindeki oranın yüksek çıkmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Ancak Ramor500 - Ramor 500 çiftlerinde bu durum farklılık göstermektedir. Çünkü bu malzemeler imalattan kaynaklanan martenzitik ana faz yapısının bozulmasından dolayı kaynak dikişindeki setlik değerinin düşük görünmesine sebep olmuştur.



Şekil 58. Fe/Cr/C/Ni elementlerinin üçlü faz diyagramı kombinizasyonları.

N12'nolu AISI 304 – Ramor 500 çelik çifti numunesi hariç tüm numuneler kaynak yerinden kopmuştur. Bu numunede nufuziyet tam olarak sağlandığından kaynak kök pasosunda birleşmeyen kaynak ağzı bölgeleri bulunmadığı için çekme işlemi yapıldığında numune AISI 304 tarafından boyun vererek sünek kırılma şeklinde kopma gerçekleşmiştir. Bunun nedeni kaynak dikişinin eriştiği mukavemet değerinin AISI 304 paslanmaz çeliğinin mukavemet değerinden yüksek oluşundan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bu çelik çiftlerinin tek yönlü kaynağında argon atmosferinde, 140A, 0.15 m/sn ilerleme hızında ve ilave dolgu teli kullanılmadan yeterli mukavemeti sağlayan kaynak dikişi elde edilmiştir.



Şekil 59. Çekme testisonrası numunelerin makro görüntüsü

- a. AISI 304 - AISI 304 Çelik çiftlerinin çekme testi sonrası resimleri
- b. Ramor500-Ramor 500 Çelik çiftlerinin çekme testi sonrası resimleri
- c. AISI 304 -Ramor 500 Çelik çiftlerinin çekme testi sonrası resimleri

AISI 304 – Ramor 500 çelik çiftlerine uygulanan çekme testi sonucunda kopan numunelerin boyun verme şekilleri incelendiğinde 80A-100A-120A ile yapılan birleştirmelerde gevrek kırılma, 140A ile yapılan birleştirmede ise sünek kırılma gözlemlenmiş olup bu numune kaynak yerinden değil çelik çiftlerinden AISI 304 çelik çifti tarafından kopmuştur. Dolayısıyla bu durumda birleştirilmiş çelik çiftleri için yukarıda

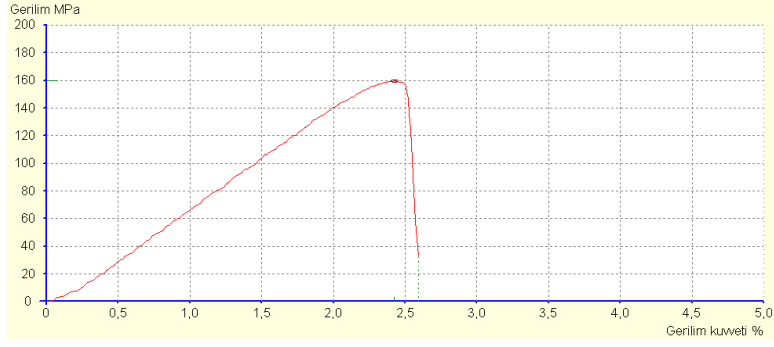
bahsettiğimiz durum söz konusu değildir. Bu numunelerde kırık yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde gevrek kırılma mekanizmasına uygun yapılar görülmektedir. Gevrek kırılma çekme doğrultusuna dik olacak şekilde kaynak dikişi bölgesinde numunelerimizde bulunan yapısal düzensizliklerin varlığından dolayı çatlağın hızlı bir şekilde ilerlemesi ile meydana gelmiştir. Çünkü kırık yüzey SEM resimleri incelendiğinde tabakalaşmış kayaç görüntüleri şeklinde yapılar görülmektedir. AISI 304-Ramor 500 çelik çiftlerinin kaynak işlemi sonrasında alaşım elementleri olan Cr ve C gibi karbürleşmeye meyilli olan, sert fazların oluşmasına elverişli sıcaklığa çıkıp kaynak sonrasında hızlı bir şekilde soğumasından dolayı kırık yüzey SEM resimlerinde yapı çerisinde mikro çatlaklar görülmektedir. Bu görüntü bile tek başına yapının gevrek kırılma mekanizması olduğunu göstermektedir.

Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında, Kromkarbür oluşumu; Kaynaklı malzemelerde ITAB bölgesinde (430-870°C) arasında yapıdaki Cr tane sınırlarına doğru yerleşir ve bu bölgesel alanlarda(ITAB) Cr zayıflayacağı için korozyon dayanımı düşer. Kaynak işleminde kükürt(S) ve fosfor(P) gibi elementlerin oluşturduğu, tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük ergime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bunlar, kaynak dikişi veya ITAB’da bulunursa tane sınırlarına doğru yönelirler ve kaynak dikişi soğurken çatlamaya neden olur. Sigma fazı oluşumu; Bu faz çok sert (700-800Hv) manyetik olmayan, gevrek yapıya sahip metaller arası bileşiktir. %52 Cr, %48 Fe’den oluşur. Ancak eser miktarda Mo görülebilir. Bu faz Cr’lu yada Cr-Ni esaslı ısıya dayanıklı paslanmaz çeliklerin kaynağında görülür.

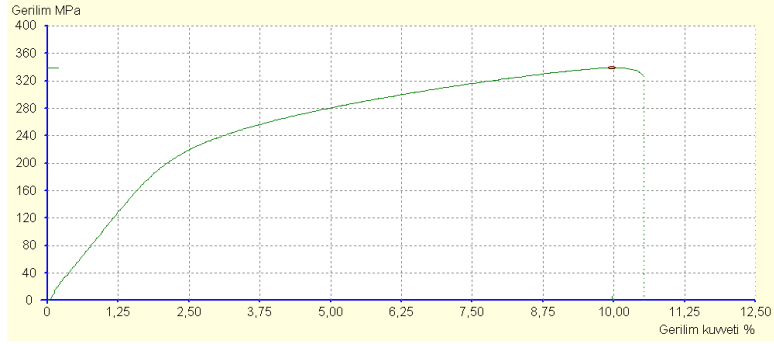
Tablo 22’de maksimum çekme gerilmeleri ve Şekil (60 - 71) arasındada çekme eğrileri verilmiştir.

Tablo 22. Çekme testi yapılan numunelerin çekme gerilmesi (Mpa)

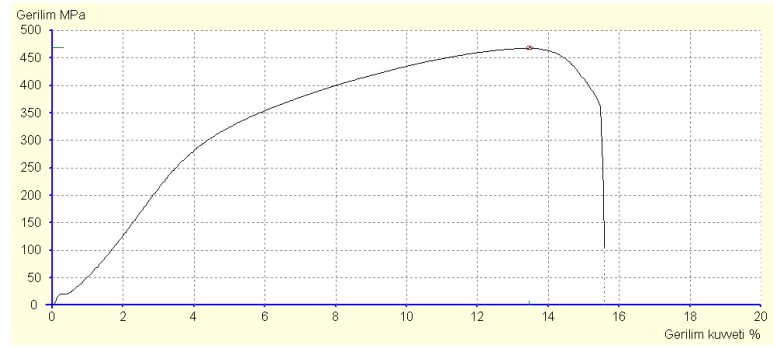
Numune No	Kaynak Gücü(W)	Çelik Çifti	İlerleme Hızı (m/dk)	Çekme Gerilmesi (MPa)
N1	80	AISI 304 – AISI 304	0,15	159.6
N3	100	AISI 304 – AISI 304	0,15	339.2
N5	120	AISI 304 – AISI 304	0,15	478
N7	140	AISI 304 – AISI 304	0,15	483.3
N2	80	Ramor 500 – Ramor 500	0,15	113.3
N4	100	Ramor 500 – Ramor 500	0,15	88.2
N6	120	Ramor 500 – Ramor 500	0,15	110.5
N8	140	Ramor 500 – Ramor 500	0,15	1007
N9	80	Ramor 500 – AISI 304	0,15	60.9
N10	100	Ramor 500 – AISI 304	0,15	218.5
N11	120	Ramor 500 – AISI 304	0,15	387,5
N12	140	Ramor 500 – AISI 304	0,15	635



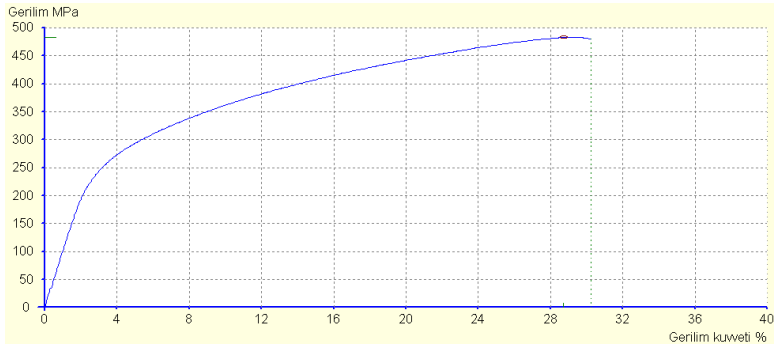
Şekil 60. 80 A kaynak gücünde birleştirilmiş AISI 304 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği



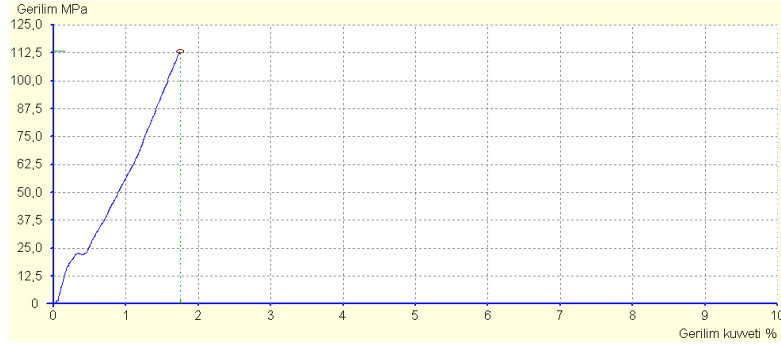
Şekil 61. 100 A kaynak gücünde birleştirilmiş AISI 304 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği



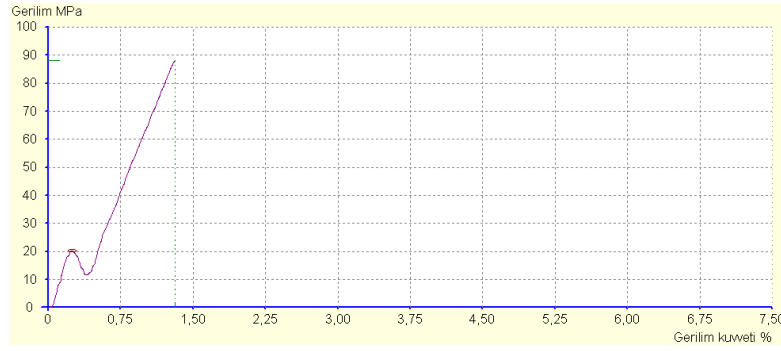
Şekil 62. 120 A kaynak gücünde birleştirilmiş AISI 304 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği



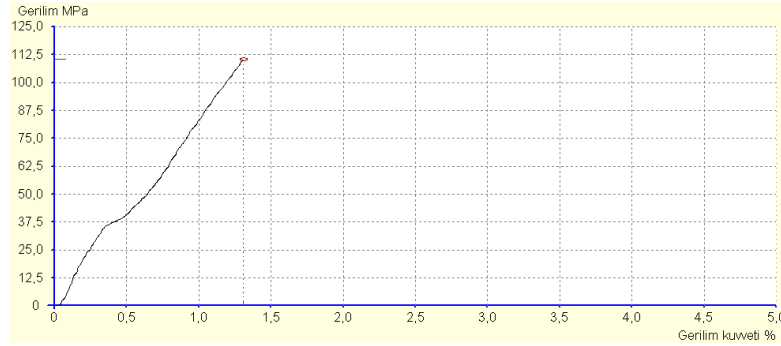
Şekil 63. 140 A kaynak gücünde birleştirilmiş AISI 304 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği



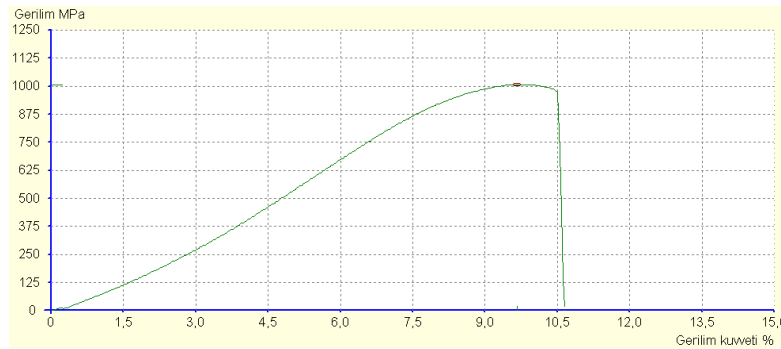
Şekil 64. 80 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – Ramor 500 çelik çifti çekme test grafiği



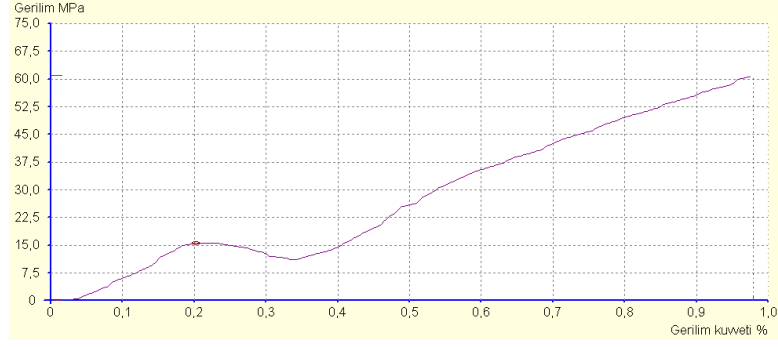
Şekil 65. 100 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – Ramor 500 çelik çifti çekme test grafiği



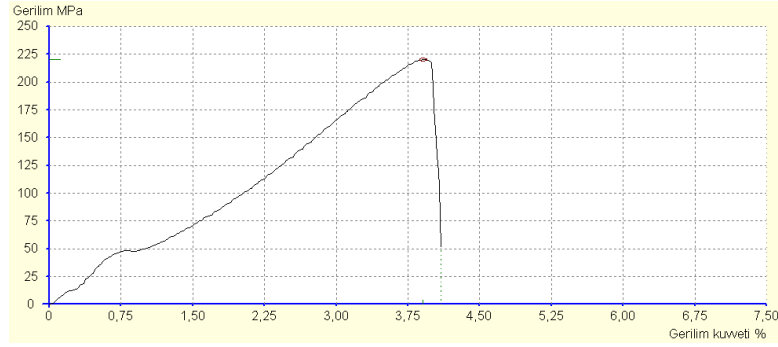
Şekil 66. 120 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – Ramor 500 çelik çifti çekme test grafiği



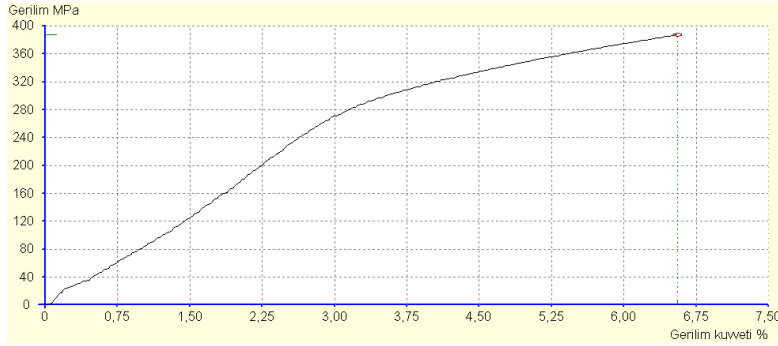
Şekil 67. 140 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – Ramor 500 çelik çifti çekme test grafiği



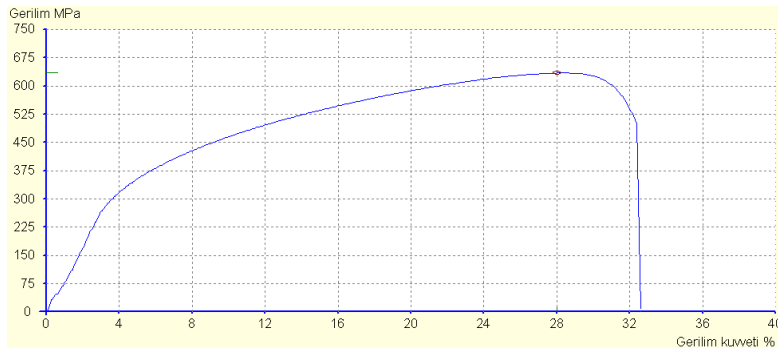
Şekil 68. 80 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği



Şekil 69. 100 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği



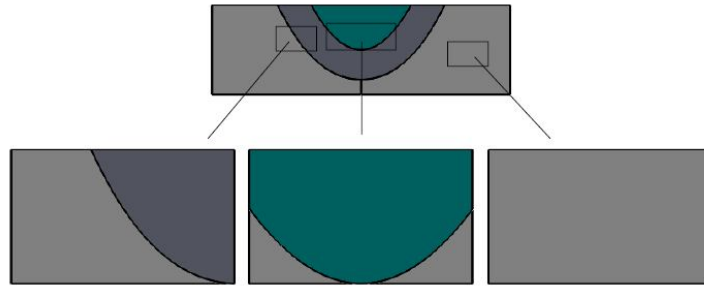
Şekil 70. 120 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği



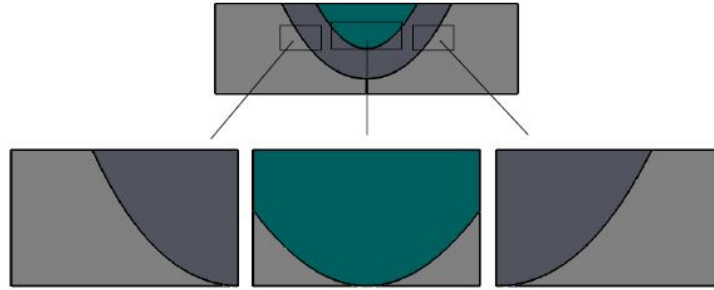
Şekil 71. 140 A kaynak gücünde birleştirilmiş Ramor 500 – AISI 304 çelik çifti çekme test grafiği

8.5. Kaynaklı Birleştirmelerin Mikroyapılarının İncelenmesi

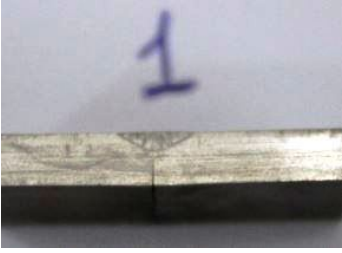
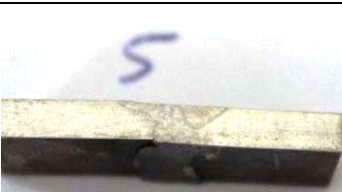
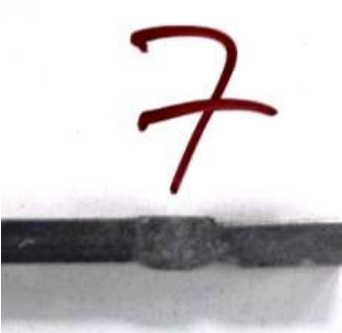
PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 – AISI 304, Ramor 500 – Ramor 500 ve Ramor 500 – AISI 304 çelik çiftlerinin optik görüntüleri verilmiştir. AISI 304 – AISI 304 ve Ramor 500 – Ramor 500 çelik çiftlerinin optik görüntülerinin şematik şekli şekil 72’ de belirtildiği gibi kaynak dikişi, ITAB ve ana malzeme olarak verilmiştir. Ramor 500 – AISI 304 çelik çiftlerinin optik görüntülerinin şematik şekli şekil 73’ de belirtildiği gibi kaynak dikişi, Ramor 500 ITAB’ı ve AISI 304 ITAB’ı olarak verilmiştir.



şekil 72. AISI304-AISI 304 ve Ramor 500-Ramor 500 çelik çiftlerinin optik görüntü bölgelerinin şematik gösterimi.



şekil 73. Ramor 500-AISI304 çelik çiftlerinin optik görüntü bölgelerinin şematik gösterimi.

	AISI304-AISI304	Ramor500-Ramor500	Ramor500-AISI304
80 Amper			
100 Amper			
120 Amper			
140 Amper			

Şekil 74. KaynakDikişlerinin makro görüntüsü

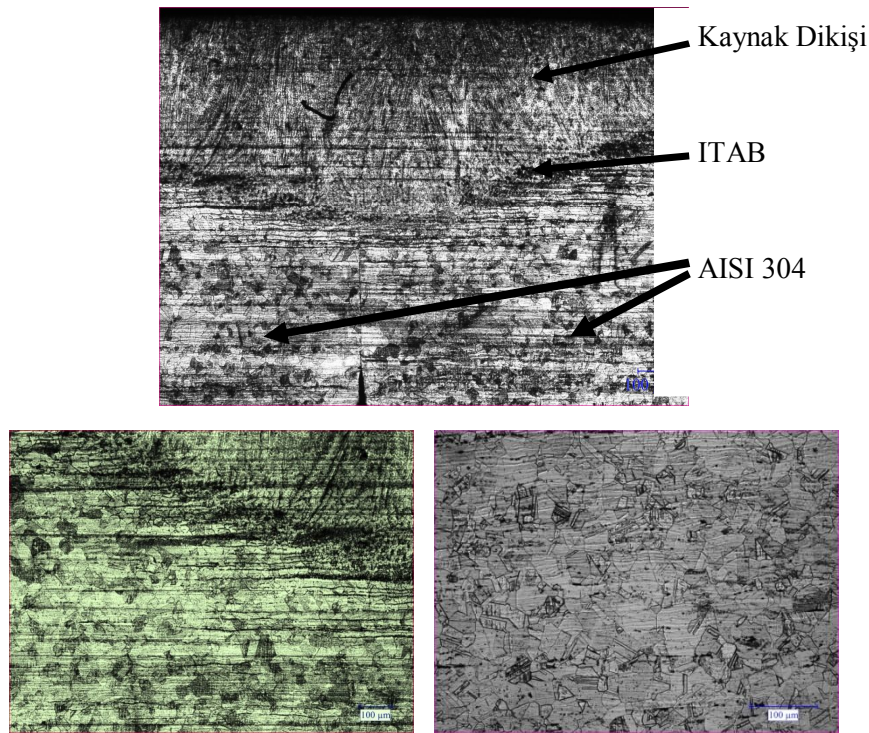
Şekil 75’de kaynak dikişlerinin makro görüntüsü görülmektedir. Bu resimler incelendiğinde kaynak dikişinin birleştirilen iki malzemenin birleşme ara yüzeyinde

olduğu görülmektedir. Artan amper değerine paralel kaynak dikişindeki nüfuziyet artışı görülebilmektedir. 140 A’de bütün numunelerde nüfuziyetin tam sağlandığı görülmektedir. Kaynak dikişi ve ITAB’da herhangi bir çatlakla rastlanmamıştır.

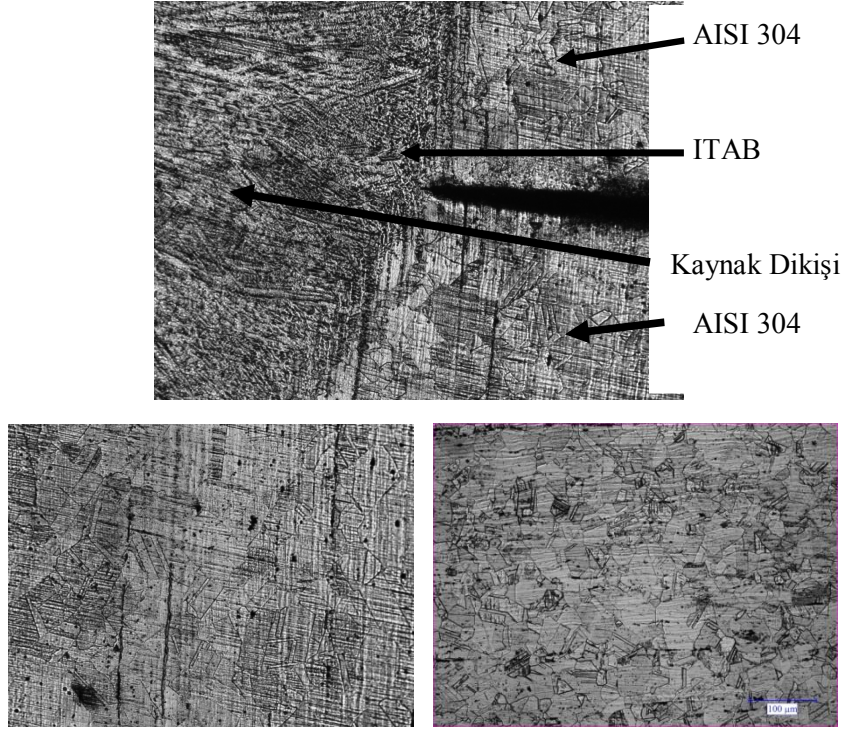
8.5.1. AISI 304 – AISI 304 Çelik Çiftlerinin Mikroyapılarının İncelenmesi

PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 – AISI 304 çelik çiftlerinin 0,15 m/dk ilerleme hızındaki kaynak işlemi N1 numunesine 80 A gücünde, N3 numunesine 100 A gücünde, N5 numunesine 120 A gücünde ve N7 numunesine 140 A gücünde uygulanmıştır.

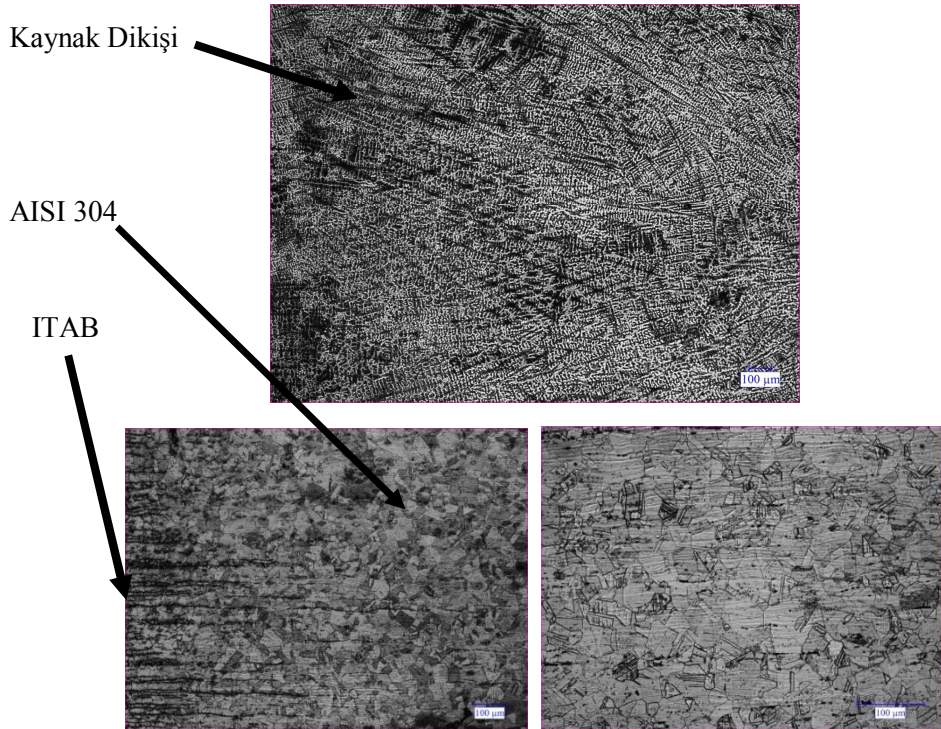
PTA kaynağı yapılan AISI 304 – AISI 304 çelik çiftlerine farklı kaynak gücünde yapılan birleştirmelere metalografik açıdan bakıldığında kaynak dikişinin homojen bir görünüme sahip olduğu ve nüfuziyetin uygulanan kaynak gücüne bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Daha çok ısı girdisi olan ve tavlama etkisi altında kalan noktalarda taneler daha iri olmuştur. Kaynak dikişi ve ITAB’da herhangi bir çatlakla rastlanmamıştır.



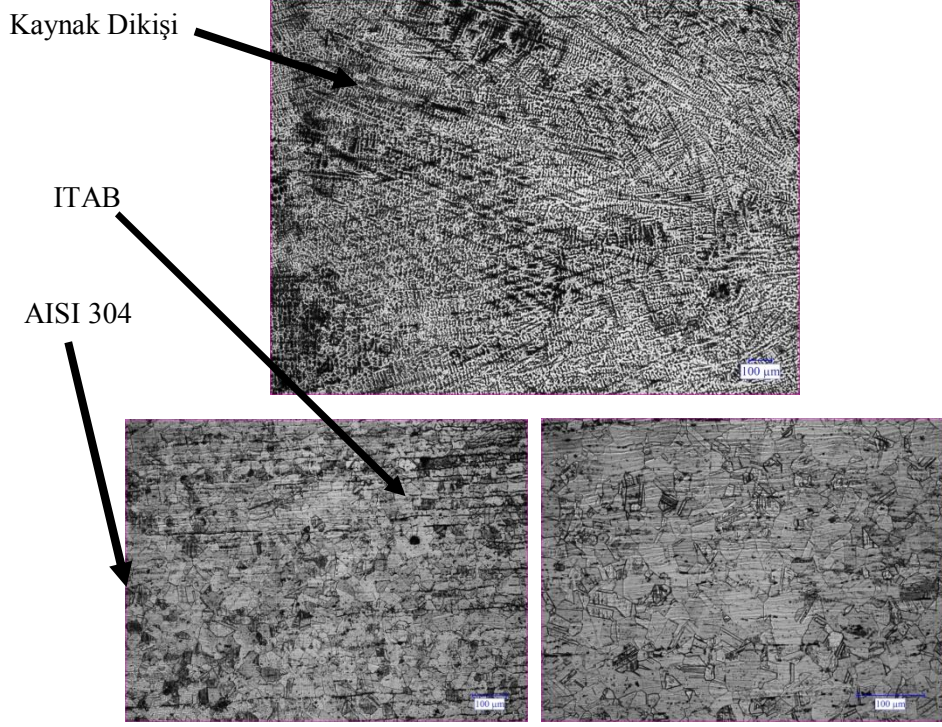
Şekil 75. 80 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen gerilim giderme tavlama yapılmamış N1 nolu numuneye ait optik görüntüler



Şekil 76. 100 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N3 nolu numuneye ait optik görüntüler.

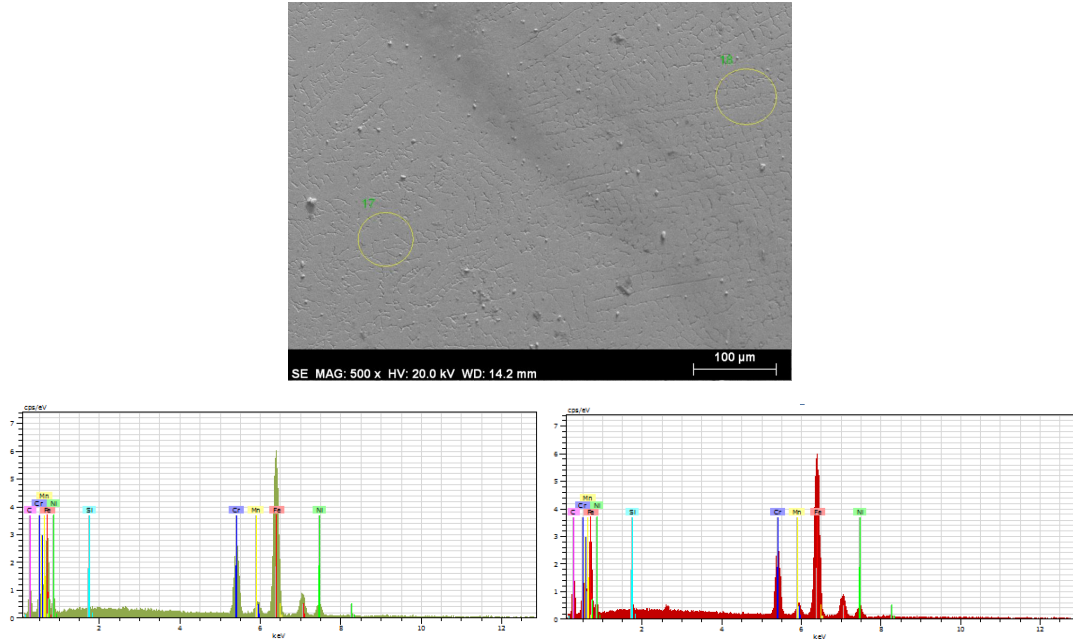


Şekil 77. 120 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N5 nolu numuneye ait optik görüntüler



Şekil 78. 140 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N7 nolu numuneye ait optik görüntüler

Şekil 79’de N7 numunesinde kaynak dikişinden ve ITAB bölgesinden alınan SEM-EDS analizi ve sonuçları verilmiştir. Kaynak dikişinden alınan EDS analizinde % 0.07 C, % 0.82 Si, % 16.18 Cr, % 2.06 Mn, % 71.58 Fe, % 9.29 Ni, ITAB bölgesinden alınan EDS analizinde % 0.08 C, % 0.55 Si, % 18.01 Cr, % 1.71 Mn, % 71.31 Fe, % 8.35 Ni oranları tespit edilmiştir.



E1	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [%]
C	6	K-series	0.06	0.07	0.09	1.2
Si	14	K-series	0.28	0.82	0.52	0.0
Cr	24	K-series	17.13	16.18	17.23	0.4
Mn	25	K-series	1.68	2.06	1.58	0.1
Fe	26	K-series	53.19	71.58	70.53	1.5
Ni	28	K-series	9.92	9.29	9.24	0.2
		Total	81.26	100.00	100.00	

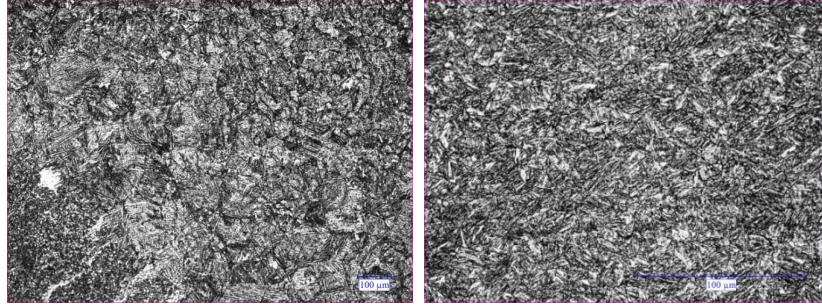
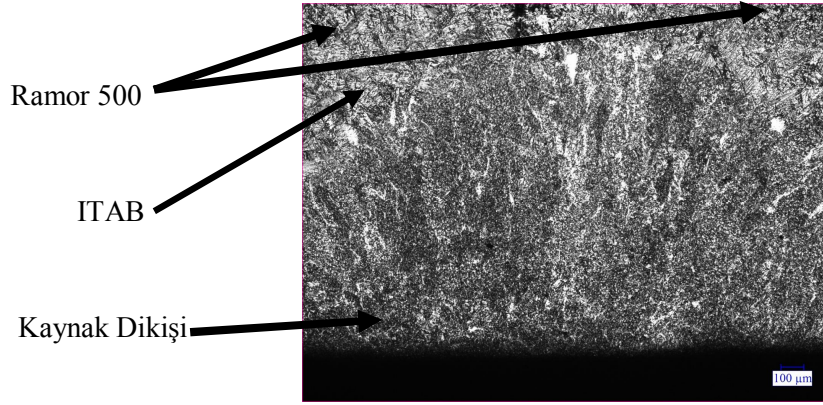
E1	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [%]
C	6	K-series	0.07	0.08	0.04	1.2
Si	14	K-series	0.44	0.55	0.54	0.0
Cr	24	K-series	17.79	18.01	17.79	0.4
Mn	25	K-series	1.67	1.71	1.66	0.1
Fe	26	K-series	70.27	71.31	70.75	1.5
Ni	28	K-series	8.22	8.35	9.22	0.2
		Total	98.46	100.00	100.00	

Şekil 79. N7 Numunesi SEM-EDS Analizi

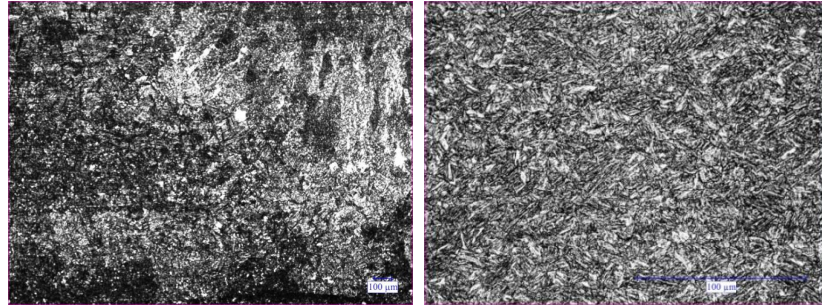
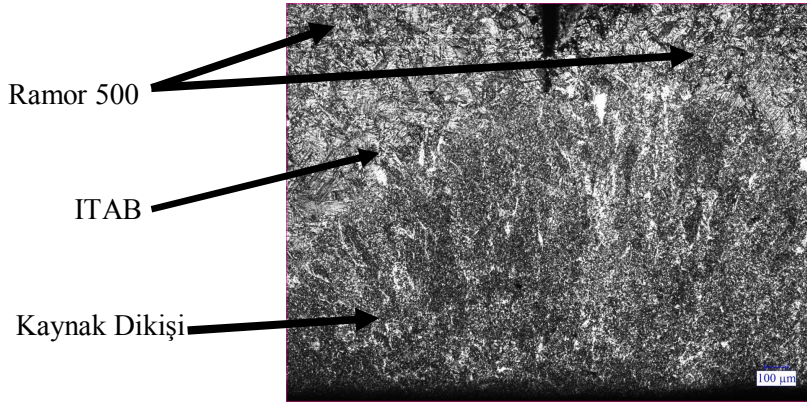
8.5.2. Ramor 500 – Ramor 500 Çelik Çiftlerinin Mikroyapılarının İncelenmesi

PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen Ramor 500 – Ramor 500 çelik çiftlerinin 0,15 m/dk ilerleme hızındaki kaynak işlemi N2, N4, N6 ve N8 numunelerine uygulanmıştır.

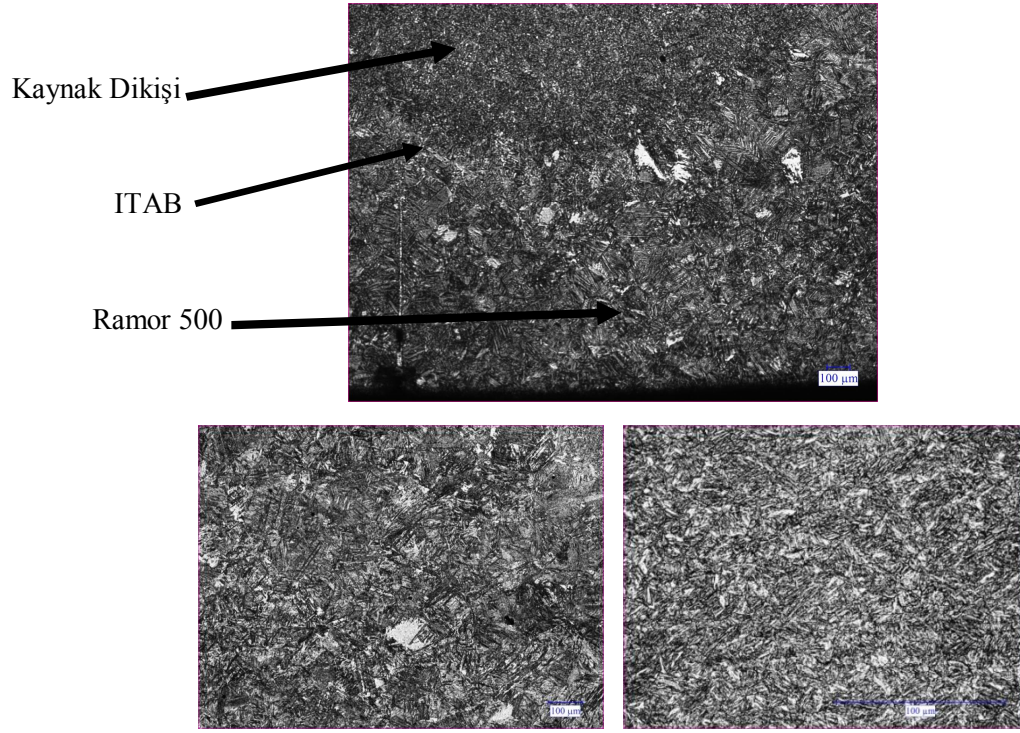
PTA kaynağı yapılan Ramor 500 – Ramor 500 çelik çiftlerine farklı kaynak gücünde yapılan birleştirmelere metalografik açıdan bakıldığında kaynak dikişinin homojen bir görünüme sahip olduğu ve nufuziyetin uygulanan kaynak gücüne bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. 80 A, 100 A ve 120 A ile birleştirilen N1, N3 ve N5 numunelerinde tam nufuziyet sağlanmadığı, 140 A ile birleştirilen N7 numunesinde nufuziyetin tam olduğu gözlemlenmiştir. Optik resimler incelendiğinde görüleceği üzere kaynak dikişinden ana malzemeye doğru iri taneli yapıdan daha küçük taneli yapıya doğru bir dağılım görülmektedir. Daha çok ısı girdisi olan ve tavlama etkisi altında kalan noktalarda taneler daha iri olmuştur. Kaynak dikişi ve ITAB’da herhangi bir çatlğa rastlanmamıştır. Numunlerin kaynak dikişi ve ITAB’ından alınan yapılar incelendiğinde Ramor 500 malzemesinin sahip C oranından dolayı ve PTA kaynağının ulaştığı ani yüksek sıcaklık ve hızlı soğuma ve katılaşması bu bölgelerde marteniztik yapıların mevcudiyetinin korunmasında esas teşkil etmiştir. Ancak Ramor 500’ün kendi öz mikroyapısı olan marteniztik yapısı kısmende olsa kaynak dikişi ve ITAB alanında değişmektedir. Bu durum mikrosertlik değerinde düşük çıkmasına sebep olmuştur. Yüksek ısı girdisi sonucu oluşan C difüzyon hareketleri bunun en önemli etkenidir. Çünkü en yüksek ısı girdisi plazma ark aleminin merkezi yani kaynak dikişinin merkezinde olacağından difüzyon hareketleri bu noktalara doğru hareket eder.



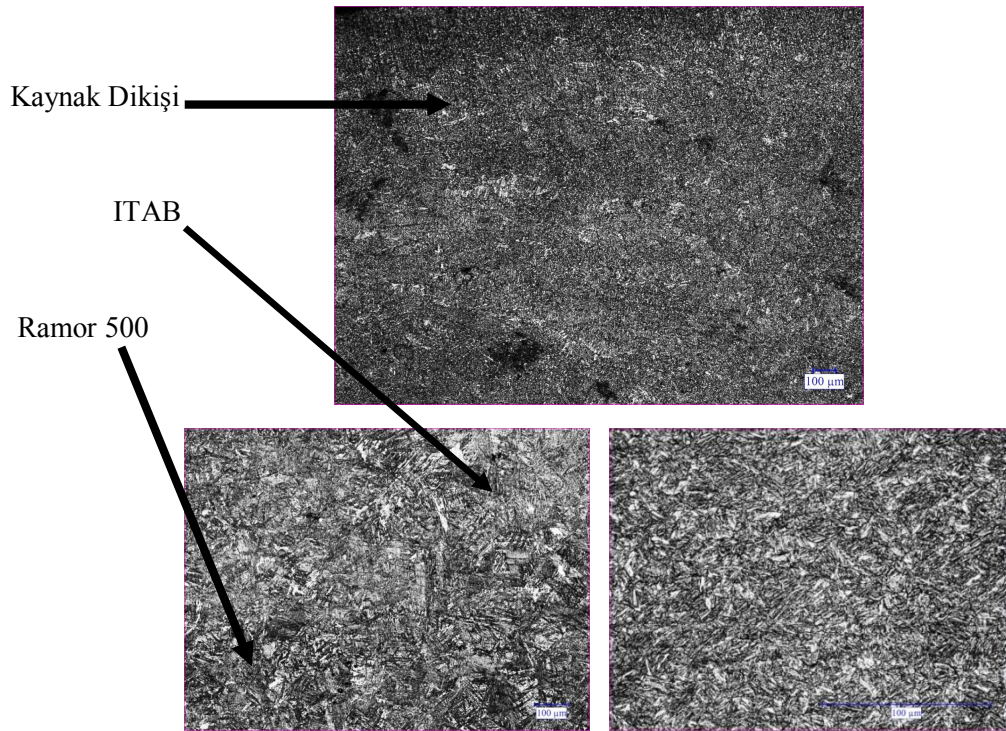
Şekil 80. 80 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N2 nolu numuneye ait optik görüntüler



Şekil 81. 100 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N4 nolu numuneye ait optik görüntüler

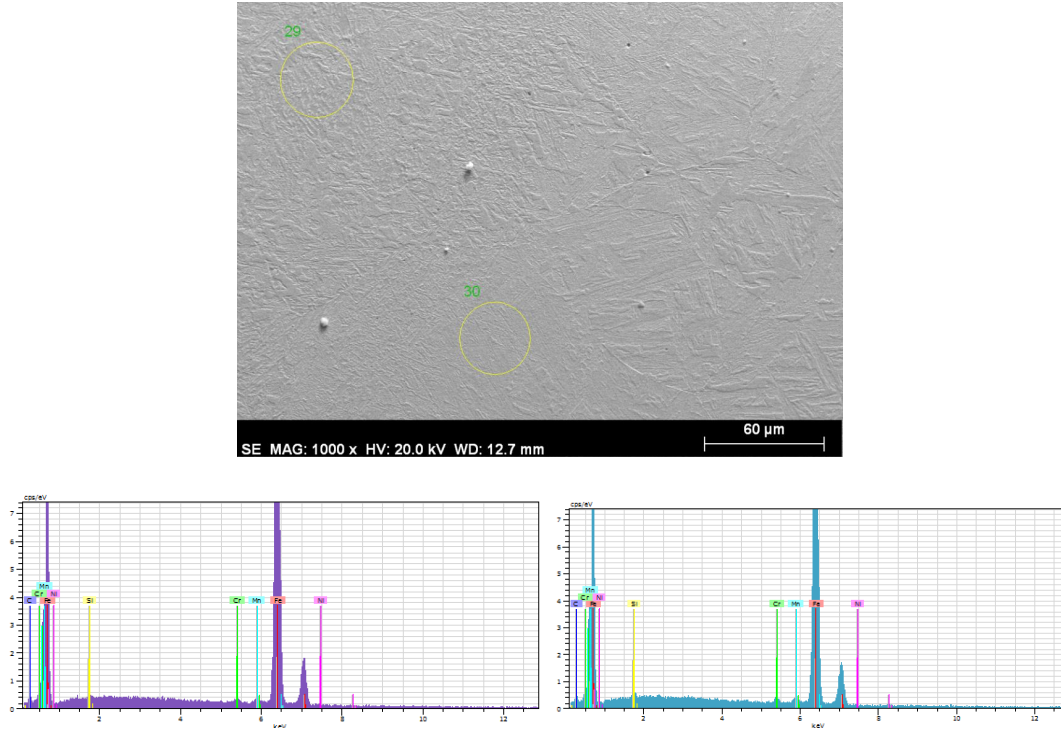


Şekil 82. 120 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N6 nolu numuneye ait optik görüntüler



Şekil 83. 140 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N8 nolu numuneye ait optik görüntüler

Şekil 84’de N8 numunesinde kaynak dikişinden ve ITAB bölgesinden alınan SEM-EDS analizi ve sonuçları verilmiştir. Kaynak dikişinden alınan EDS analizinde % 0.25 C, % 2.27 Si, % 0.93 Cr, % 1.74 Mn, % 93.99 Fe, % 0.83 Ni, ITAB bölgesinden alınan EDS analizinde % 0.24 C, % 2.37 Si, % 1.06 Cr, % 1.69 Mn, % 93.95 Fe, % 0.70 Ni oranları tespit edilmiştir.



E1	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [%]
C	6	K-series	0.33	0.25	0.82	0.5
Si	14	K-series	2.24	2.27	2.48	0.0
Cr	24	K-series	0.85	0.93	0.91	0.1
Mn	25	K-series	1.58	1.74	1.61	0.1
Fe	26	K-series	85.41	93.99	93.46	2.3
Ni	28	K-series	0.76	0.83	0.72	0.1
		Total	91.16	100.00	100.00	

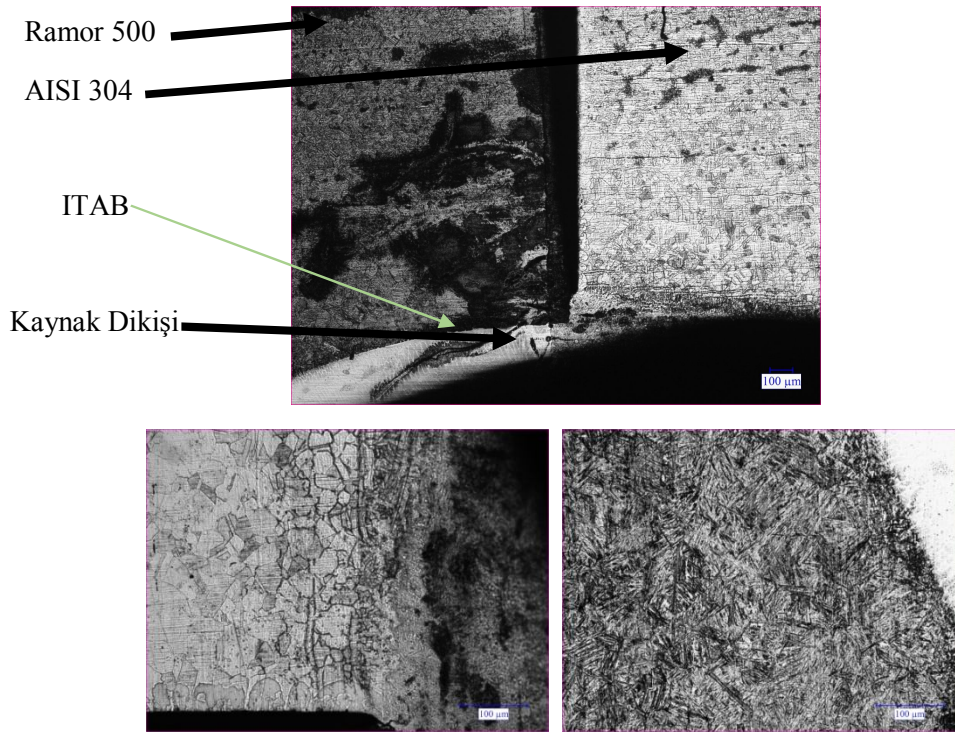
E1	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [%]
C	6	K-series	0.27	0.24	0.32	0.5
Si	14	K-series	2.33	2.37	2.66	0.0
Cr	24	K-series	0.95	1.06	1.03	0.1
Mn	25	K-series	1.52	1.69	1.55	0.1
Fe	26	K-series	84.60	93.95	93.83	2.3
Ni	28	K-series	0.63	0.70	0.60	0.1
		Total	90.10	100.00	100.00	

Şekil 84. N8 Numunesi SEM-EDS Analizi

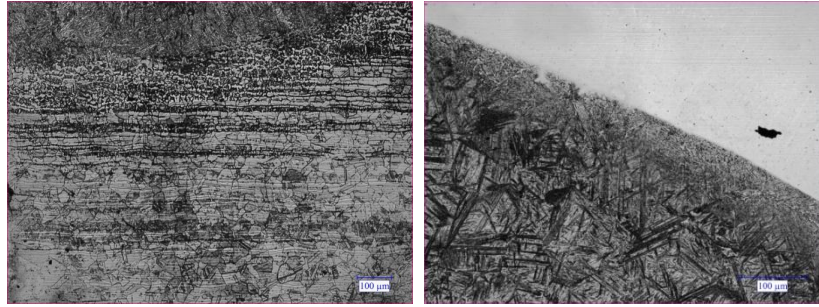
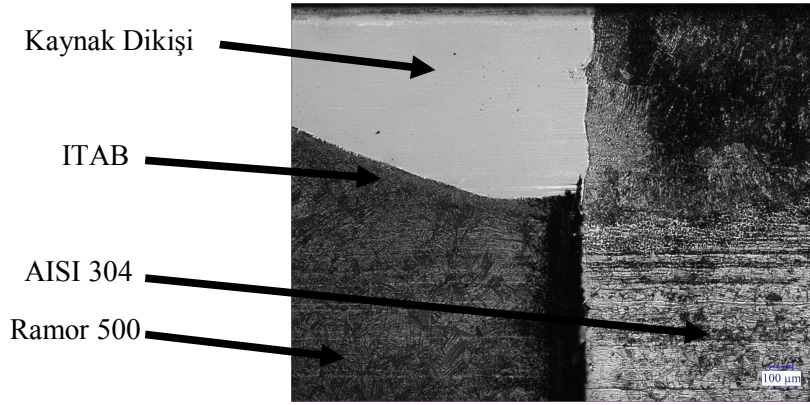
8.5.3. Ramor 500 – AISI 304 Çelik Çiftlerinin Mikroyapılarının İncelenmesi

PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen Ramor 500 – AISI 304 çelik çiftlerinin 0,15 m/dk ilerleme hızındaki kaynak işlemi N9, N10, N11 ve N12 numunelerine uygulanmıştır.

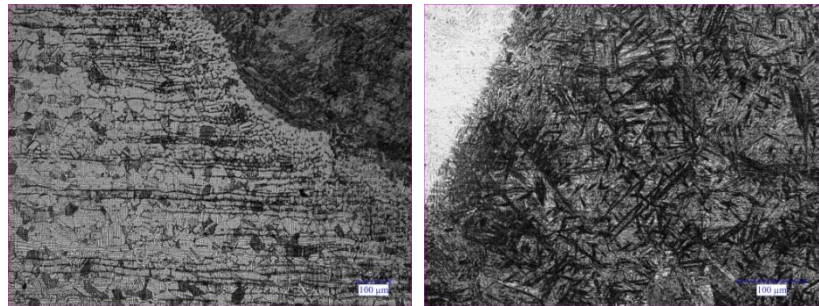
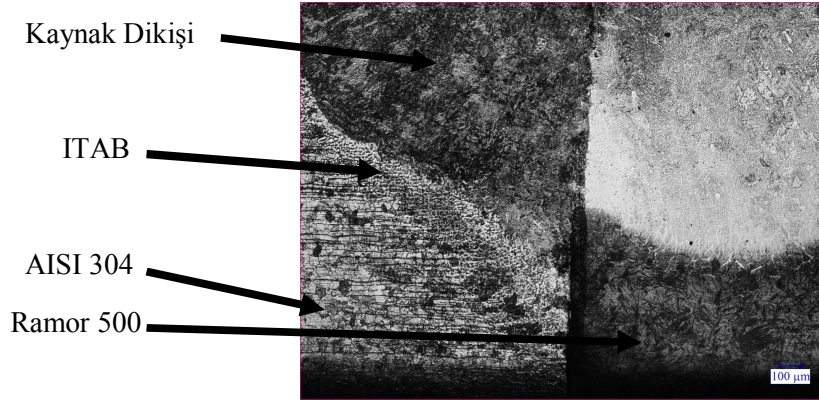
PTA kaynağı yapılan Ramor 500 – AISI 304 çelik çiftlerine farklı kaynak gücünde yapılan birleştirmelere metalografik açıdan bakıldığında, kaynak dikişinin homojen bir görünüme sahip olduğu ve nufuziyetin uygulanan kaynak gücüne bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. 80 A, 100 A ve 120 A ile birleştirilen N9, N10 ve N11 numunelerinde tam nufuziyet sağlanmadığı, 140 A ile birleştirilen N7 numunesinde nufuziyetin tam olduğu gözlemlenmiştir. Optik resimler incelendiğinde görüleceği üzere kaynak dikişinden ana malzemeye doğru iri taneli yapıdan daha küçük taneli yapıya doğru bir dağılım görülmektedir. Daha çok ısı girdisi olan ve tavlama etkisi altında kalan noktalarda taneler daha iri olmuştur. Kaynak dikişi ve ITAB'da herhangi bir çatlığa rastlanmamıştır.



Şekil 85. 80 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N9 nolu numuneye ait optik görüntüler

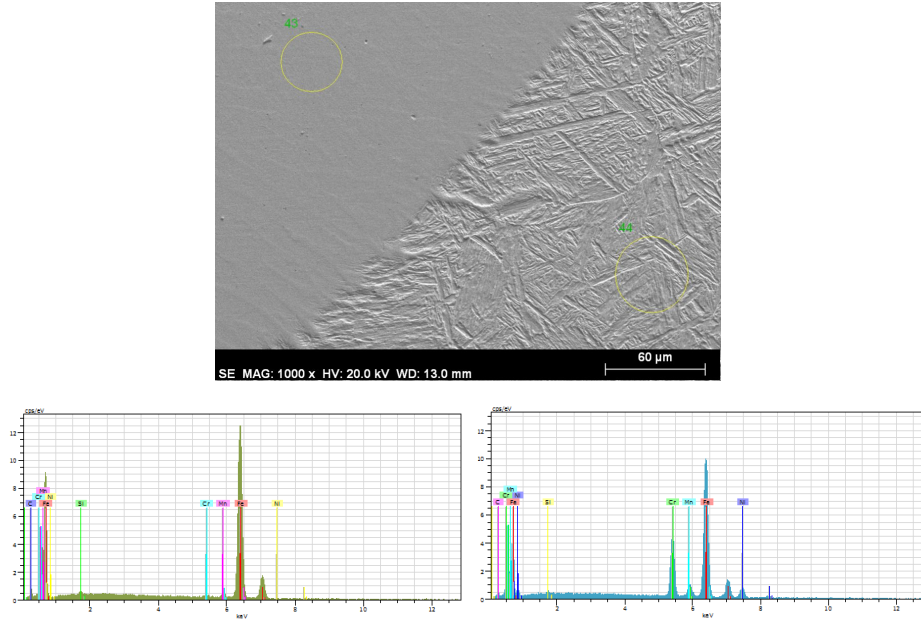


Şekil 86. 100 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N10 nolu numuneye ait optik görüntüler



Şekil 87. 120 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N11 nolu numuneye ait optik görüntüler

Şekil 88’de N11 numunesinde kaynak dikişinden ve Ramor 500 çeliğinin ITAB bölgesinden alınan SEM-EDS analizi ve sonuçları verilmiştir. Kaynak dikişinden alınan EDS analizinde % 0.25 C, % 1.27 Si, % 2.01 Cr, % 1.29 Mn, % 93.02 Fe, % 3.16 Ni, ve Ramor 500 çeliğinin ITAB bölgesinden alınan EDS analizinde % 0.25 C, % 2.39 Si, % 4.18 Cr, % 2.00 Mn, % 90.48 Fe, % 2.70 Ni oranları tespit edilmiştir.



E1	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [%]
C	6	K-series	0.31	0.25	0.22	0.5
Si	14	K-series	1.35	1.27	1.68	0.0
Cr	24	K-series	1.25	2.01	1.93	0.2
Mn	25	K-series	1.14	1.29	1.14	0.1
Fe	26	K-series	85.47	93.02	91.27	2.2
Ni	28	K-series	3.95	3.16	3.77	0.1
		Total	93.46	100.00	100.00	

E1	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [%]
C	6	K-series	0.26	0.25	0.34	0.6
Si	14	K-series	0.36	0.39	0.78	0.0
Cr	24	K-series	5.11	4.18	5.13	0.1
Mn	25	K-series	1.69	2.00	1.81	0.1
Fe	26	K-series	84.13	90.48	89.34	2.4
Ni	28	K-series	2.66	2.70	2.60	0.1
		Total	94.21	100.00	100.00	

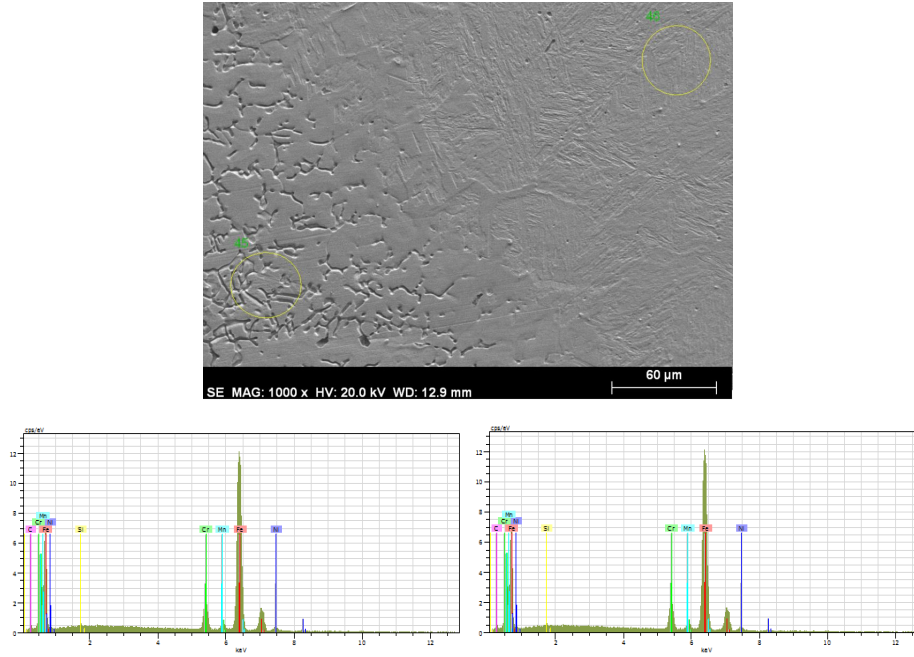
Şekil 88. N11 Numunesi Ramor 500 tarafı SEM-EDS Analizi

Şekil 84, 85, 86, 88' de 80 A, 100A, 120 A ve 140A' le birleştirilen numuneler kaynak dikişinden ITAB'a doğru ilerledikçe meydana gelen tane irileşmesinin belirgin olmakla birlikte, daha sonra yapının hızlı soğuma etkisi altında kalan kısmında ise küçük taneli homojen bölgelere dönüştüğü görülmektedir. Kaynak metalinde oluşan tane içi ve tane sınırı karbürleri; çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzey SEM incelemelerine göre, bu numunelerin gevrek kırılma mekanizması sergilemesine neden olmaktadır.

N11 no' lu kaynaklı bağlantılara ait EDS analiz sonuçları Şekil 87-88'de görülmektedir. Numuneler EDS analizleri açısından incelendiğinde artan akım şiddetine bağlı olarak Cr ve C difüzyonunda artma görülmüştür. Çünkü, kaynak akım şiddeti ve plazma gaz debisinin artışına bağlı olarak oluşan enerji ve kaynak ergime sıcaklığının artış göstermesi difüzyonu artırmaktadır.

Ramor 500 - AISI 304 çelik çiftlerinin N9-12 numunelerinde dikişin hemen yanında, ana metalin içine doğru uzanan kısmen ergimiş alanlar görülmektedir. Bu katılaşmanın başladığı alanın hemen yanında asiküler ferrit, Widmanstatten ferrit ile tane sınırına paralel oluşmuş dentriyik yapılar oluşmuştur. Özellikle paslanmaz çeliklerin kaynağında sıkça karşılaştığımız dikişte bir miktar martenzit oluştuğu ve ayrıca, tane içi ve tane sınırı karbürleri kaydedilmiştir. Çekme deneyleri sonucunda elde edilen kırık yüzeylerin SEM inceleme sonuçlarına göre, gevrek kırılma gösteren numunelerde karbür ve tane irileşmesi oluşumunun etkin olduğu görülmektedir.

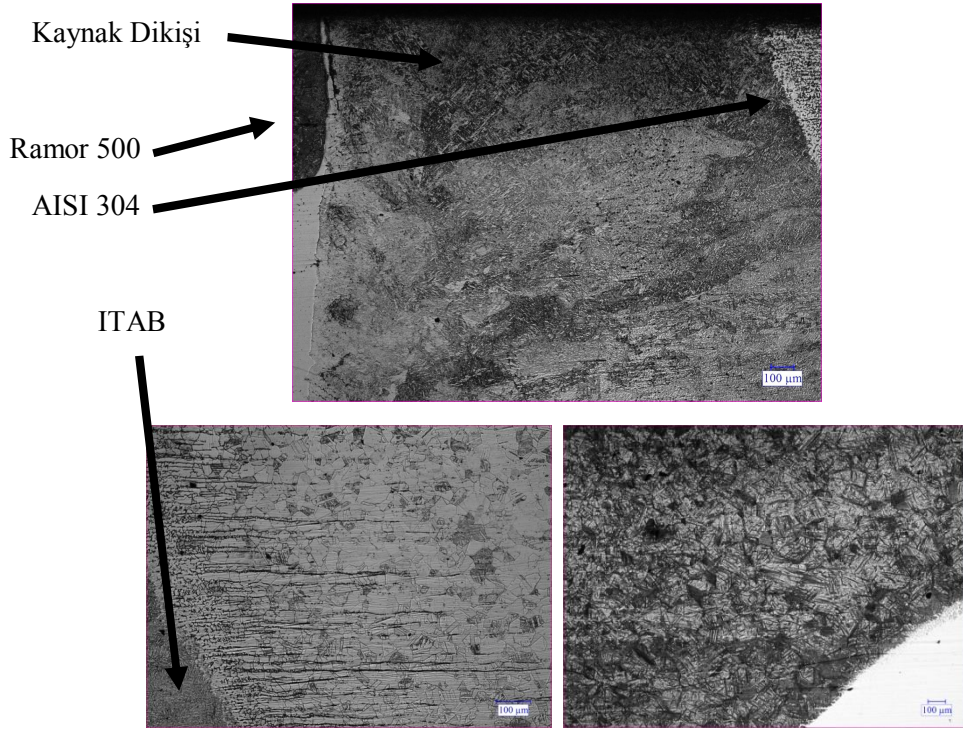
Şekil 89 'da N11 numunesinde kaynak dikişinden ve AISI 304 çeliğinin ITAB bölgesinden alınan SEM-EDS analizi ve sonuçları verilmiştir. Kaynak dikişinden alınan EDS analizinde % 0.18 C, % 0.47 Si, % 12.69 Cr, % 1.61 Mn, % 77.78 Fe, % 7.28 Ni, ve Ramor 500 çeliğinin ITAB bölgesinden alınan EDS analizinde % 0.21 C, % 0.35 Si, % 17.16 Cr, % 2.03 Mn, % 72.67 Fe, % 7.58 Ni oranları tespit edilmiştir.



E1	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [%]
C	6	K-series	0.15	0.18	0.12	0.4
Si	14	K-series	0.45	0.47	0.86	0.1
Cr	24	K-series	12.97	12.69	13.57	0.5
Mn	25	K-series	1.45	1.61	1.45	0.1
Fe	26	K-series	72.79	77.78	76.83	1.8
Ni	28	K-series	7.93	7.28	7.38	0.3
		Total	95.73	100.00	100.00	

E1	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [%]
C	6	K-series	0.18	0.21	0.90	0.4
Si	14	K-series	0.41	0.35	0.64	0.0
Cr	24	K-series	16.82	17.16	15.10	0.2
Mn	25	K-series	1.94	2.03	1.91	0.1
Fe	26	K-series	67.87	72.67	74.36	2.2
Ni	28	K-series	7.35	7.58	7.09	0.2
		Total	95.29	100.00	100.00	

Şekil 89. N11 Numunesi AISI 304 Tarafı SEM-EDS Analizi



Şekil 90. 140 A kaynak gücünde PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen N12 nolu numuneye ait optik görüntüler

Östenitik paslanmaz çeliğin ısı genleşme katsayısı Ramor 500 çelik malzemeden küçük ancak ısı iletkenlik katsayısı daha yüksektir. Dolayısıyla; bu malzeme çiftlerinin kaynağında yüksek enerji absorbe edilirken, ısı iletimim yavaş olmasından dolayı katılaşma sonrası kaynak dikişlerinde çatlamların oluşması muhtemeldir. Ancak bu çalışmada elde edilen veriler değerlendirildiğinde bu durum görülmemektedir. Kaynaklı birleştirmelerin her iki tarafında çatlak oluşumu deformasyon görülmemiştir. Çünkü PTA kaynağındaki aniden artabilen yüksek enerji girdisi ve hızlı kaynak kabiliyetinin oluşu nedeniyle, kaynak sonrası homojen katılaşma sağlanmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tablo 23’de her iki çelik malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 23. Deneyde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri [61-63]

Malzeme	Fiziksel Özellikler			
	Termal genleşme katsayısı ($\alpha \cdot 10^{-6}$)	Termal iletkenlik (λ , W/m. °K)	Spesifik direnç (Ω , nΩM)	Elastik modül (E, kN/mm ²)
Ramor 500	12	58	140-250	210000
AISI 304	20	15	700	200

9. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada AISI 304 – AISI 304 paslanmaz çelik çifti, Ramor500 – Ramor 500 çelik çifti, Ramor 500 – AISI 304 çelik çifti sabit kaynak hızında (0,15m/dk), değişken kaynak gücünde(80A-100A-120A-140A) ve argon gazı atmosferinde PTA kaynak yöntemi ile ilave tel kullanılmadan birleştirilmiştir. Birleştirilen numunelerin, birleşme bölgelerinin radyografik ve sıvı penetrant testleri yapılmış, mikroyapıları, mikrosertlikleri ve mekanik özellikleri incelenmiş olup, aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- ❖ 3 mm kalınlığa sahip AISI 304 – AISI 304, Ramor 500 – Ramor 500, Ramor 500 – AISI 304 çelik çiftleri ilave tel kullanmadan ve kaynak ağzı açmadan, tek pasoda PTA kaynak yöntemi ile birleştirilebilmektedir.
- ❖ Farklı amper güçlerinde yapılan PTA kaynaklı bağlantıların birleşme kesitlerinden alınan mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, kaynak havuzuna bitişik her iki ITAB bölgesinde de çatlak, boşluk ve bağlantısız bölgelerin olmadığı görülmektedir. Yüksek ısı girdisinin yapmış olduğu tavlama etkisiyle tane irileşmesinin olduğu ve bu tane irileşmelerinin artan amper gücü ile miktarının arttığı, daha sonra yapının hızlı soğuma etkisinde kalan kısmında ise küçük taneli homojen bölgeye dönüştüğü görülmektedir.
- ❖ Kaynaklı birleştirmelerin birleşme kesitinden alınan mikroyapı resimlerinin tamamında, dikişin hemen yanında kısmen erimiş bölge, iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen dönüşmüş bölge ve ana malzeme olarak beş farklı bölgenin varlığı belirlenmiştir.
- ❖ AISI 304 – AISI 304 paslanmaz çelik çiftleri;
 - Yapılan birleştirmelere nufuziyet yönünden bakıldığında, 120A – 140A ile yapılan birleştirmelerde tam nufuziyet sağlandığı görülmüştür.
 - Yapılan birleştirmelerin Radyografi testi sonuçlarına göre, 120A ile birleştirilen numunenin kaynak dikişinde herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiş olup, test standartları gereği en iyi birleştirmenin bu kaynak gücünde sağlandığı görülmüştür. 140A’de ise yüksek amper şiddetinden dolayı artan ısı girdisinin ısıl iletim katsayısı yüksek olan AISI 304 paslanmaz çelik çiftlerinin kök pasolarında yanmalara sebep olduğu, konkav etkisi gösterdiği görülmektedir.
 - Birleştirilen çelik çiftlerinin Sıvı Penetrant testi sonuçlarına göre, 80-100-120-140A yapılan birleştirmelerde kaynak dikişi yüzeylerinde herhangi bir gözenek ve çatlğa

rastlanmamıştır. 140A ile yapılan birleştirmede görülen gözenek 1mm çapından küçük olduğu için, sıvı penetrant test standardına göre bu gözenek gözardı edilmektedir.

➤ Yapılan birleştirmeler çekme test sonuçlarına göre incelendiğinde, en iyi birleştirme değeri çekme gerilmesi uygulanan numuneler içinde kaynaksız standart numuneye en yakın değerlere sahip olan numunedir ilkesi gereğince, yapılan birleştirmelerde alınan 478 Mpa – 483.3 Mpa  ekmedeğerleri ile 120-140A ile birleştirilen numunelerden alınmıştır.

❖ Ramor 500 – Ramor 500  elik çiftleri;

➤ Yapılan birleştirmelere nufuziyet yönünden bakıldığında, 140A ile yapılan birleştirmelerde tam nufuziyet sağlandığı görülmüştür.

➤ Yapılan birleştirmelerin Radyografi testi sonuçlarına göre, 140A ile birleştirilen numunenin kaynak dikişinde herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiş olup, test standartları gereği en iyi birleştirmenin bu kaynak gücünde sağlandığı görülmüştür.

➤ Birleştirilen  elik çiftlerinin Sıvı Penetrant testi sonuçlarına göre, 120-140A yapılan birleştirmelerde kaynak dikişi yüzeylerinde herhangi bir gözenek ve  atlağa rastlanmamıştır. 140A ile birleştirilen numunenin kaynak dikişi yüzeyinde görülen gözeneğin 1mm çapından küçük olduğu için, sıvı penetrant test standardına göre bu gözenek gözardı edilmektedir.

➤ Yapılan birleştirmeler çekme test sonuçlarına göre incelendiğinde, en iyi birleştirme değeri çekme gerilmesi uygulanan numuneler içinde kaynaksız standart numuneye en yakın değerlere sahip olan numunedir ilkesi gereğince, yapılan birleştirmelerde alınan 1007 Mpa  ekme değerleri ile 140A ile birleştirilen numuneden alınmıştır.

❖ Ramor 500 – AISI 304  elik çiftleri;

➤ Yapılan birleştirmelere nufuziyet yönünden bakıldığında, 140A ile yapılan birleştirmelerde tam nufuziyet sağlandığı görülmüştür.

➤ Yapılan birleştirmelerin Radyografi testi sonuçlarına göre, 140A ile birleştirilen numunenin kaynak dikişinde herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiş olup, test standartları gereği en iyi birleştirmenin bu kaynak gücünde sağlandığı görülmüştür.

➤ Birleştirilen  elik çiftlerinin Sıvı Penetrant testi sonuçlarına göre, 100-120-140A yapılan birleştirmelerde kaynak dikişi yüzeylerinde herhangi bir gözenek ve  atlağa

rastlanmamıştır. 140A ile birleştirilen numunenin kaynak dikişi yüzeyinde görülen gözenegin 1mm çapından küçük olduğu için, sıvı penetrant test standardına göre bu gözenek gözardı edilmektedir.

➤ Yapılan birleştirmeler çekme test sonuçlarına göre incelendiğinde, 140A ile yapılan birleştirmede kaynak dikişinin maksimum çekme değerinin AISI 304 paslanmaz çeliğin maksimum çekme değerinden yüksek çıktığı için, çekme test çubuğu AISI 304 paslanmaz çelik tarafından kopmuş olup. Ramor 500 – AISI 304 çelik çiftlerinde en iyi sonuç 140A ile yapılan birleştirmede alınmıştır.

9.1. Öneriler

- 3 mm kalınlıktaki AISI 304 ve Ramor 500 çelik çiftleri modern kaynak yöntemlerinden olan PTA kaynak yöntemi ile 140A, 0,15m/sn hızda, ilave tel kullanılmadan birleştirilebilir. Bununla birlikte Lazer kaynak yöntemiyle de birleştirilebilirliği araştırılabilir.
- Her ne kadar ısıtıl işlem Ramor 500 zırh çeliği için önerilmesede, kaynak sonrasında gerilim giderme tavlama yapılarak, tavlamanın kaynak dikişine etkisi incelenebilir.
- Yapılan birleştirme ergirme kaynak yöntemi ile değilde katı hal kaynak yöntemlerinden uygun olan ile yapılarak birleştirilebilirlik incelenebilir.
- Kaynaklı birleştirmelerin korozyon davranışları incelenebilir.
- Daha kalın parçalar için farklı tiplerde kaynak ağzı açılarak kaynak dikişi ve ITAB'daki değişiklikler araştırılabilir.

- [1] Demir T., "Metal ve katmanlı zırh malzemelerin 7,62 mm'lik zırh delici meriler karşısında balistik başarımlarının incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2008)
- [2] Zengin E., "Farklı ön tav sıcaklıklarında kaynaklı birleştirilen zırh çeliklerinin mekanik özelliklerinin araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2010)
- [3] Şen M., "AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerde soğuk şekillendirme miktarının korozyon üzerine etkisinin incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2010)
- [4] Kılıç M., "AISI 304 paslanmaz çeliği ve 1040 çelik çifti'nin plazma kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (2008)
- [5] Martikainen, J., 1995. Conditions for achieving high-quality welds in the plasma-arc keyhole welding of structural steels, Journal of Materials Processing Technology, 52, 68-75.
- [6] Urena, A., Otero, E., Utrilla, M.V. and Munnez, C.J., 2007. Weldability of a 2205 duplex stainless steel using plasma arc welding, Journal of Materials Processing Technology, 182, 624-631.
- [7] S. Dey, T. Borvik, O.S. Hopperstad, J.R. Leinum, M. Langseth, Int. J. Of Impact Eng. 30, 1005-1038, 2004.
- [8] Atapek H., 2011. "bor katkılı bgr zırh çelğğğğğğ fğzğksel metalurjğk esaslar doğrultusunda gelğğtğrglmesğ ve balğstğk performansının değerglendğrglmesğ" Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli(2011)
- [9] K. Maweja, W. Stumpf, Fracture and Ballistic induced phase transformation in tempered martensitic low-carbon armour steels, Materials Science and engineering A, 432, 158-169, 2006.
- [10] Atapek, Ş. H., "Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalurjik Esaslar Doğrultusunda Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmit, (2006).
- [11] Manganello J, Abbott KH. Metallurgical factors affecting the ballistic behavior of steel targets. J of Mater JMLSA, 17, 231-239, 1972.
- [12] Zhang, Y.M., Zhang, S.B., 2002, Process for deep narrow penetration, Approved By the National Science Foundation Under Grant DMI-9812981 And The Center For Robotics And Manufacturing Systems At The University Of Kentucky.
- [13] Seçim C., " Tahribatsız Muayene Yöntemleri ve Uygulama Alanları" Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay (2011)
- [14] Karagöz, Ş., Atapek, H., Yılmaz, A., "Su Verilmiş ve Temperlenmiş Çeliğin Alaşım ve Isıl İşlem Doğrultusunda Zırh Malzemesi Olarak Geliştirilmesi", IV. Demir-Çelik Kongresi, Bildiriler Kitabı, 63-68, Karabük-Türkiye, 1-3 Kasım (2007).
- [15] Karagöz, Ş., Atapek, Ş. H., Yılmaz, A., "Zırh Çeliklerinde Perforasyon ve Balistik Korumanın Anlaşılması Açısından Fraktografik Etüd", Metal Dünyası, 182, 102-107, (2008).

- [16] Baykara, T., ‘Zırh Teknolojileri : Genel Bir Bakış’, Zırh Teknolojileri Semineri, Milli Savunma Bakanlığı Ar-Ge & Teknoloji Daire Başkanlığı, Ankara, Mart, (2005).
- [17] Soykan, H. Ş., Aslanoğlu, Z., Karakaş, Y., ‘Zırh Çeliklerinin Metalurjisi Erdemir Semineri, (2005).
- [18] Karagöz, Ş., Yılmaz, A., Atapek, H., “Zırh Çelikleri ve Geliştirilmesi”, 3. Savunma Teknolojileri Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt : I, 501-511, ODTÜ, Ankara-Türkiye, 29-30 Haziran (2006).
- [19] Gillespie, J. W., “Aluminum Foam Integral Armor: A New Dimension in Armor Design”, Composite Structures, 52 (3-4), 381-395, (2001)
- [20] Naik, N. K., Shrirao, P., “Composite Structures Under Ballistic Impact” Composite Structures, 66, 579-590, (2004)
- [21] Lane, R., Craig, B., Babcock, W., “Materials for Blast and Penetration Resistance”, The AMPTIAC Quartely, 6 (4), 39-45, (2002).
- [22] Sangoy, L., Meunier, Y., Pont, G., “Steels for Ballistic Protection”, Israel Journal of Technology, 24, 319-326, (1988).
- [23] Gálvez, F., Cendón, D., García, N., Enfedaque, A., Sánchez-Gálvez, V. “Dynamic Fracture Toughness of a High Strength Armor Steel”, Engineering Failure Analysis, 16, 2567–2575, (2009).
- [24] Ade, F., “Ballistic Qualification of Armor Steel Weldments”, Welding Journal, 70, 53-58, (1991).
- [25] Jacobi, H., Batinmann, H. J., Gronsfeld, J., “New Method of Determining the Macrocleanness of Unconventionally Rolled Continuously Cast Steel”, Stahl Eisen, 108 (20), 54-66, (1988).
- [26] Matsubara, H., Osuka, T., Kozasu, I., Tsukada, K., “Optimization of Metallurgical Factors for Production of High Strength, High Toughness Steel Plate by Controlled Rolling”, Transactions ISIJ, 12, 435-443, (1972).
- [27] Manganello, S. J., Wilson, A. D., “Direct Quenching and its Effects on High-Strength Armor Plate”, Int. Symp. Low Carbon Steels for the 90’s, Ed. R. Asfahani, G. Tither, The Minerals, Metals & Materials Society, 235-241, (1993).
- [28] Alloy Steel, “HY80, HY100”, Specification.
- [29] Karagöz, Ş., Atapek, Ş. H., “Çökelti Sertleştirilmiş bir Sac Çeliğinde Mikroyapı-Kırılma Karakteristiği İlişkisi”, Deformasyon Sac İşleme, 11-12, 62-65, (2008).
- [30] Maweja, K., Stumpf, W., Van der Berg, N., “Characteristic of Martensite as a Function of the Ms Temperature in Low-Carbon Armour Steel Plates”, Materials Science and Engineering A, 519, 121-127, (2009).
- [31] Gingell, A. D. B., Bhadeshia, H. K. D. H., Jones, D. G., Mawella, K. J. A., “Carbide Precipitation in Some Secondary Hardened Steels”, J. Mater Sci. 32, 4815 - 4820, (1997).
- [32] Karagöz, Ş., Fischmeister, H. F., Andren, H. O., Guang-Jun, C., “Microstructural Changes During Overtempering of High Speed Steels”, Metall. Trans. A, 23, 1631-1640, (1992).
- [33] Thomson, R. C., “Characterization of Carbides in Steels Using Atom Probe Field-Ion Microscopy”, Materials Characterization, 44 (1-2), 219-233, (2000)
- [34] Anık, S., 1991, Kaynak tekniği el kitabı, Gedik Holding Yayını, İstanbul.

- [35] Gür, A. K., Orhan, A.(2007) ; “PTA Yöntemiyle AISI 1040 Çeliğinin Yüzey Modifikasyonu Sonrası Mikroyapıların İncelenmesi” Metal Makine Dergisi Sayı:164, 395-397. ISSN:1303-6378.
- [36] Gür A.K., Orhan A., Yıldız, T., “The Examination Of Microhardness And Microstructure Of FeCrC-B4C-Ti Layer” Electronic Journal of Machine Technologies, 2009, (6) 49-58
- [37] Kaluç, E., Taban, E. 2004, Plazma Arkı ile Kaynak ve Endüstriyel Uygulamaları MakinaTehnolojileri, Sayı 84.
- [38] Anık, S., Anık, E.S., Vural, M., 1993, 1000 Soruda kaynak teknolojisi el kitabı, Cilt: 1, Birsen Yayın evi, İstanbul.
- [39] URL, www.pro-fusiononline.com, 2009
- [40] Lippold, J. C., 1981, “Transformation and Tempering Behaviour of 12Cr-Mo-0.3V Martensitic Stainless Steel Weldments”, Journal of nuclear materials, V.104, 1127-1131.
- [41] Krysiak, K. F., Grubb, J. F., Campbell, R. D., 1993, “Selection of Wrought Ferritic Stainless Steel”, ASM Metal Handbook, V.6, 443-454.
- [42] Brooks, J. A., Lippold, J. C., 1993, “Selection of Wrought Austenitic Stainless Steel”, ASM Metal Handbook, V.6, 456-469.
- [43] Davis, J. R., 1993, “Selection of Wrought Martensitic Stainless Steel”, ASM Metal Handbook, V.6, 432-441.
- [44] Noble, D. N., 1993, “Selection of Wrought Duplex Stainless Steel”, ASM Metal Handbook, V.6, 471-479.
- [45] Polland, B., 1993, “Selection of Wrought Precipitation-Hardening Stainless Steel”, ASM Metal Handbook, V.6, 482-493.
- [46] Yıldırım, M. M., 1984, “Malzeme Bilgisi”, F.Ü. Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., Yayın No: 61.
- [47] Taşkın, M., Çay, V. ve Özdemir, N., 2005, “Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI 430/Ç1010 Çelik Çiftinin Ara yüzey Mikro yapı Değerlendirmesi”, Teknoloji Dergisi, 8, 1, 65-70.
- [48] Şahintürk, N. Tahribatsız muayene yöntemlerinin önemi, İstanbul (2010)
- [49] Seçim C. “ Tahribatsız Muayene Yöntemleri ve Uygulama Alanları” Y.Lisans Tezi, M.Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, HATAY (2011)
- [50] Doğru A. “Uçak Gövde ve Kanatlarında Oluşan Hasarların Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile Tesbiti” Y.Lisans, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa (2014)
- [51] Armatlı M., Uçak Bakımında Tahribatsız Kontrol Yöntemleri: 32-56, (2001)
- [52] Gür, H. Tahribatsız Muayenenin Önemi ve Yöntemleri, Ankara (2004)
- [53] Topuz A., Tahribatsız Muayeneler, YTÜ Yayınları, İstanbul, (1993)
- [54] Doyum, B., “Isınım üretimi”, Radyografik Muayene 1. Seviye Kurs Notları,ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Merkezi, Ankara, (2001).
- [55] Yasar, T., “Radyografi yöntemi ile kaynak dikislerinde hata tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 11-24 (2010).
- [56] A. Akay “ Farklı Özellikteki Malzemelerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Birleştirmelerin Tahribatlı ve Tahribatsız Muayenesi” Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Haziran (2012)

- [57] Korkmaz, Ö. E., “Uçaklarda kullanılan alüminyum malzemelerdeki korozyonun incelenmesi, önlenmesi ve tahribatsız muayene ile tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 55-72 (2010).
- [58] Kaya, B., “Muayenede teknolojik gelişmeler”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 62-77 (1992).
- [59] Onursal, M., “Uçaklarda kullanılan metal malzemelere uygulanan tahribatsız muayeneler”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 42-55 (2010)
- [60] Durmaz Ö., Uçak Bakım ve Onarımında Tahribatsız Muayeneler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak Mühendisliği Bölümü: 16-28, (1987)
- [61] <http://www.ruukki.com.tr/>
- [62] Mackwood, A.P. and Crafer, R.C. (2005), “Thermal modeling of laser welding and related processes: a literature review”, Optics and Laser Technology, Vol. 37, pp. 99-115.
- [63] Ugur Caligulu, Mustafa Taskin, Haluk Kejanli, Ayhan Orhan, “Interface characterization of CO2 laser welded austenitic stainless steel and low carbon steel couple”, Industrial Lubrication and Tribology, 64(4), 196–207, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

15.04.1985 tarihinde Sivas'ın Gürün İlçesi'nde dünyaya geldi. İlköğretimini Gürün Cumhuriyet İlkokulu'nda, Ortaöğretimini Gürün Ortaokulu'nda ve Lise Eğitimini İzmir Şirinyer Lisesi'nde tamamlamıştır. 2005 yılında kazandığı Gaziantep Üniversitesi Endüstriyel Kalıpçılık bölümünü 2007 yılında tamamlamış olup ardından DGS sınavı ile 2009 yılında kazandığı Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünü 2012 yılında tamamlamıştır. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamış ve hala devam etmektedir. Yabancı dili İngilizce'dir.

2014 yılında Uğur Şirketler Grubuna ait Uğur Soğutma Firmasında AR-GE Merkezinde Mekanik Tasarım Sorumlusu olarak çalışmaya başladığı işini Geliştirme ve İnovasyon Sorumlusu olarak devam ettirmektedir. Aynı zamanda 2015-2016 eğitim öğretim yılında başladığı, 9 Eylül Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Döküm Programı Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak görevine devam etmekte olup evlidir.