

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**OPTİM 700 MC – St 37 ÇELİK MALZEMELERİN PLAZMA
TRANSFER ARK YÖNTEMİ İLE KAYNAK
EDİLEBİLİRLİĞİ**

Mahmut GÖKDAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

ELAZIĞ-2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OPTİM 700 MC – St 37 ÇELİK MALZEMELERİN PLAZMA TRANSFER
ARK YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mahmut GÖKDAŞ
(161140101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07.05.2018
Tezin Savunulduğu Tarih : 20.06.2018

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Ali Kaya GÜR (F.Ü.)

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI (D.Ü.)



HAZİRAN-2018

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmamın hazırlanması sırasında benden hiçbir yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ' ne sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma sürecinde, bana bilgi ve fikirleriyle destek olan Dr.Öğr. Üyesi Mustafa TÜRKMEN 'e ve Sayın Arş. Gör. Dr. Nida KATI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşim Fatma Hilal GÖKDAŞ' a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) yönetim birimine (Proje No: TEKF.17.23) desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Mahmut GÖKDAŞ

ELAZIĞ-2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ.....	2
3. KAYNAK TEKNOLOJİSİ	7
3.1. Kaynak Kabiliyeti	7
3.2. Katı Hal Kaynak Yöntemleri	10
3.3. Ergitme Kaynak Yöntemleri.....	10
4. PLAZMA TRANSFER ARK (PTA) KAYNAĞI.....	12
4.1. Plazma Transfer Ark Kaynağında Kullanılan Teller	13
4.2. Plazma Ark Kaynak Torçları	13
4.3. Plazma Transfer Ark Kaynağında kullanılan gaz nozulu	14
4.4. PTA Kaynağında Plazmanın Oluşumu	14
4.5. PTA Kaynağında Arkın Oluşturulması	16
4.5.1. Pilot Ark.....	17
4.5.2. Transfer Olmuş Ark	18
4.6. Plazma Arkı İle Kaynak.....	19
4.7. Yüksek Frekans Dalga Ünitesi ve Donanımları	19
4.8. Uygulama Özellikleri.....	20
4.8.1. Ergitme Tekniği	21
4.8.2. Anahtar Deliği Tekniği (KEYHOLE).....	21
4.9. Plazma Transfer Ark Kaynağının Avantajları	22
4.10. Plazma Ark Kaynağının Dezavantajları	22
5. YAPI ÇELİKLERİ (St).....	24
5.1. St 37 Çeliği	26
5.2. OPTİM 700 MC Çeliği	28

5.2.1. OPTİM 700 MC çeliğinin Kimyasal Bileşimi	29
5.2.2. Toleranslar	29
5.2.3. OPTİM 700 MC çeliğine ait mekanik test değerleri:	29
5.2.4. OPTİM 700 MC Çeliğine Kaynak edilebilirliği;	29
5.2.5. OPTİM 700 MC Çeliğine Kesme İşlemi	30
5.2.6. OPTİM 700 MC Çeliğinin Uygulama Alanları	30
6. RADYOGRAFİK MUAYENE	31
6.1. X Işınları	33
6.2. Gama Işınları	34
7. SIVI PENETRANT MUAYENE	35
7.1. Sıvı Penetrant Muayenesinin Aşamaları	36
7.1.1. Yüzey Hazırlama	36
7.1.2. Penetrant Uygulama	36
7.1.3. Ara Temizlik	37
7.1.4. Developer (Geliştirici) Uygulaması	37
7.1.5. Kontrol	38
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
8.1. Çalışmanın Amacı	39
8.2. Malzeme ve Metot	40
8.3. Numunelerin Hazırlanması	40
8.4. Plazma Transfer Ark (PTA) Kaynağı ile Birleştirme	41
8.5. Kaynak Yapılmış Numunelerin Radyografik Muayeneleri	43
8.6. PTA ile Kaynak Yapılmış Numunelerin Sıvı Penetrant Muayenesi	44
8.7. Tel erezyonu işlemi ile çekme testi numunesi ve mikroyapı numunesinin çıkarma işlemi	46
8.8. Çekme Testi	48
8.9. Mikroyapı İncelemeleri	49
8.10. Mikrosertlik Ölçümleri	50
9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI	52
9.1. Kaynaklı Birleştirmeler sonrası Sıvı Penetrant Testlerinin İncelenmesi	52
9.2. Kaynaklı Birleştirme Sonrası Mikroyapının İncelenmesi	54
9.4. Kaynaklı Birleştirmelerin Çekme Dayanımlarının İncelenmesi	77

9.5.	Kaynaklı Birleştirmelerde SEM - EDS Analizi ve Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi	80
9.6.	Kaynaklı birleştirmede XRD Sonuçlarının Analizi	84
9.7.	Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Testlerinin İncelenmesi.....	86
10.	GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	89
10.1.	Öneriler	91
	KAYNAKLAR	92
	ÖZGEÇMİŞ	97



ÖZET

Kaynak, imalat sektörünün büyük bir kısmı tarafından önemi kabul edilmiş, pek çok sayıda tekniği kapsayan bir teknolojidir. Birçok araştırma makalesi ve tez de bilimsel bir çalışma olarak yerini almıştır. Kaynaklı birleştirmelerin dayanıklı ve kolay uygulanabilir olmasından dolayı hayatımızın her alanında vazgeçilmez bir birleştirme yöntemi olarak görmek mümkündür.

Günümüzde otomobil parçalarının kaynaklarında kullanılan gazaltı, (MIG-MAG) kaynakları her ne kadar otomasyona uygun olsa da kaynak sonrası ilave metal artıkları kalabilmekte ve son temizleme işlemine gereksinim duyulabilmektedir. Bu dezavantajı minimize etmek amacıyla bu çalışmada Plazma Transfer Ark kaynağı kullanılmıştır.

Üretimde yoğun bir çalışma alanına sahip malzeme çiftlerinden St 37 ve OPTİM 700 MC malzemelerin bir ergitme kaynak yöntemi olan Plazma Transfer Ark kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan araştırma da St 37 - St 37 çelik çiftleri içinde 110 A, St 37 - OPTİM 700 MC çelik çiftleri için, 120A ve OPTİM 700 MC-OPTİM 700 MC çelik çiftleri için 110A' de birleştirilen numunelerde başarılı sonuçlar alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: St37, OPTİM 700 MC, plazma transfer ark kaynak yöntemi, kaynak kabiliyeti, malzeme muayene.

SUMMARY

The Weldability of OPTIM 700 MC – St 37 Steel Materials with Plasma Transfer Arc Method

Welding, the importance of which has been accepted by a great part of the manufacturing sector, is a technology including numerous techniques. It takes its place as a scientific study in many research articles and dissertations. Since welded joints are durable and easy-to-apply, it is possible to see them as an essential joining method in every area of our life.

Even though the gas metal arc welding (MIG-MAG), used for welding of automotive parts today, is appropriate for automation, additional metal residuals may remain after welding and it requires a final cleaning process. In order to minimize this disadvantage, the Plasma Transferred Arc welding was used in this study.

The weldability of the materials St 37 and OPTIM 700 MC, which are among the material couples having an intensive working area in the production, by using the Plasma Transferred Arc welding method, a fusion welding method, was investigated. In the study, successful results were obtained in the samples welded at 110A for St37- St37 steel couples, 120 A for St 37 - OPTIM 700 MC steel couples, and 110A for OPTIM 700 MC- OPTIM 700 MC steel couples.

Key Words: St37, OPTIM 700 MC, plasma transferred arc welding method, welding capability, material inspection.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Kaynak kabiliyetinin, malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığının gösterilmesi	8
Şekil 4.1. Plazma transfer ark kaynağının şematik görünümü	13
Şekil 4.2. Plazma Transfer ark kaynak nozulu	14
Şekil 4.3. Maddenin plazma haline geçişi	15
Şekil 4.4. Plazma transfer ark alevi	15
Şekil 4.5. PTA plazmasının ısı dağılımı	16
Şekil 4.6. PTA kaynağında nozul ve elektrot	16
Şekil 4.7. PTA kaynak torcunda gaz akış yolları	17
Şekil 4.8. PTA kaynağında pilot ark (Transfer olmamış ark)	18
Şekil 4.9. PTA kaynağında transfer olmuş ark	18
Şekil 4.10. Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü	19
Şekil 4.11. Plazma Transfer Ark kaynak makinesi ve donanımları	20
Şekil 6.1. Radyografik Muayenede Pozlama	32
Şekil 6.2. X Işınları Üretimi ve Malzeme Kontrolü	33
Şekil 6.3. Gama ısı ile radyografi çalışmasının şematik gösterimi	34
Şekil 7.1. Penetrant uygulanması	35
Şekil 7.2. Farklı süreksizlik izleri	38
Şekil 8.1. PTA kaynak uygulamasının ve kaynak torcunun şematik resmi	41
Şekil 8.2. Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Thermal Dynamic/Arc PTA kaynak makinesi	42
Şekil 8.3. Plazma Transfer Ark Kaynak sonrası malzeme çiftlerinin görünümü	43
Şekil 8.4. Radyografik muayenede kullanılan Kontrol paneli, Güç kaynağı ve Işınım cihazı	43
Şekil 8.5. Radyografi işlemi sonrası numune çiftleri.	44
Şekil 8.6. Püskürtme yöntemi ile penetrant uygulanması.	45
Şekil 8.7. Fazla penetrantın yüzeyden uzaklaştırılması	45
Şekil 8.8. Developer(geliştirici) uygulanan numuneler	46
Şekil 8.9. Sıvı penetrant muayenesinde kullanılan sprey çeşitleri	46
Şekil 8.10. Telerezyon tezgâhı	47

Şekil 8.11. Telerezyon kesim sonrasındaki numune boşlukları.	47
Şekil 8.12. Çekme test cihazı	48
Şekil 8.13. Çekme test numunesi ölçüleri ve çekme numunesi(TSE 138 EN 10002-1)....	48
Şekil 8.14. Mikroyapı numunesi kesim ölçüleri.....	49
Şekil 8.15. Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numuneler	49
Şekil 8.16. Mikrosertlik numunesi ölçüleri	51
Şekil 8.17. Mikrosertlik numunesinden sertlik alınan 11 bölge.....	51
Şekil 9.1. Sıvı penetrant işlemi sonrası numune çiftleri.....	53
Şekil 9.2. 1 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı görüntüleri (90 A)	55
Şekil 9.3. 2 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı görüntüleri (100 A)	56
Şekil 9.4. 3 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı (110 A).....	57
Şekil 9.5. 4 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı (120 A).....	58
Şekil 9.6. 5 Nolu numune St 37 - OPTİM 700 MC mikroyapı (90 A)	60
Şekil 9.7. 6 Nolu numune St 37 - OPTİM 700 MC mikroyapı (100 A)	61
Şekil 9.8. 7 Nolu numune St 37 – OPTİM 700 MC mikroyapı (110 A).....	63
Şekil 9.9. 8 Nolu numune St 37 - OPTİM 700 MC mikroyapı (120 A)	65
Şekil 9.10. 9 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (90 A)	67
Şekil 9.11. 10 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (100 A)	69
Şekil 9.12. 11 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (110 A)	71
Şekil 9.13. 12 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (120 A)	73
Şekil 9.14. St 37- St 37 numuneleri mikrosertlik grafiği	75
Şekil 9.15. St 37- OPTİM 700 MC numuneleri mikrosertlik grafiği	76
Şekil 9.16. St 37- OPTİM 700 MC numuneleri mikrosertlik grafiği	76
Şekil 9.17. 1-2-3-4 nolu numunelerin çekme deneyi sonra.....	78
Şekil 9.18. 5-6-7-8 nolu numunelerin çekme deneyi sonra.....	78
Şekil 9.19. 9-10-11-12 nolu numunelerin çekme deneyi sonra.....	78
Şekil 9.20. 1-2-3-4 Nolu numunelerin çekme grafikleri	79
Şekil 9.21. 5-6-7-8 Nolu numunelerin çekme grafikleri	79
Şekil 9.22. 9-10-11 Nolu numunelerin çekme grafikleri.....	79
Şekil 9.23. 3 nolu numunenin (St 37-St 37) a) SEM görüntüsü b) EDS grafiği c) Kırık yüzey görüntü (110A).....	81
Şekil 9.24. 8 nolu numunenin (St 37-OPTİM 700 MC) a) SEM görüntü b) EDS grafiği c) Kırık yüzey görüntüsü (120A)82	

Şekil 9.25. 11 nolu numunenin (OPTİM 700 MC-OPTİM 700 MC) a) SEM görüntü b) EDS grafiği c) Kırılma yüzey görüntüsü (110A)	83
Şekil 9.26. 3 Nolu numune (St 37- St 37) XRD analizinin sonucu.....	85
Şekil 9.27. 8 Nolu numune (St 37-OPTİM 700 MC) XRD analizinin sonucu	85
Şekil 9.27. 11 Nolu numune (OPTİM 700 MC -OPTİM 700 MC) XRD analizinin sonucu.....	85
Şekil 9.28. Kaynaklı birleştirmelerin röntgen işlemi sonrası görüntüleri	88



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Karbon eşdeğerinden faydalanılarak yapı çeliği için gerekli ön tavlama sıcaklığı.....	10
Tablo 5.1. ASTM Standartlarında Tanımlanmış Yapı Çelikleri.....	25
Tablo 5.2. DIN 17100 Uyarınca Yapı Çeliklerinin Kimyasal Bileşimi.....	25
Tablo 5.3. St Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu	28
Tablo 5.4. St 37 Çeliğinin Mekanik Özellikleri.....	28
Tablo 5.5. OPTİM 700 MC Çeliğinin Kimyasal Bileşimi.....	29
Tablo 5.6. OPTİM 700 MC çeliğinin mekanik özellikler.....	29
Tablo 6.1. X-Işınları Şiddetine göre Nüfuziyetler	34
Tablo 8.1. Deneyde kullanılan St 37 kimyasal analizi.....	40
Tablo 8.2. Deneyde kullanılan St 37 mekanik analizi	40
Tablo 8.3. Deneyde kullanılan OPTİM 700 MC kimyasal analizi	40
Tablo 8.4. Deneyde kullanılan OPTİM 700 MC mekanik analizi.....	40
Tablo 8.5. PTA kaynağında kullanılan sabit kaynak parametreleri.....	41
Tablo 8.6. Çelik çiftlerine uygulanan amper ve ilerleme hızı.....	42
Tablo 8.7. Metalografik incelemede kullanılan dağlayıcılar ve dağlama süreler	50
Tablo 9.1. Sıvı penentran muayene parametreleri	52
Tablo 9.2. Grafiklerdeki kodlamaların karşılıkları	74
Tablo 9.3. St 37- St 37 numuneleri mikrosertlik değerleri	75
Tablo 9.4. St 37- OPTİM 700 MC numuneleri mikrosertlik değerleri.....	75
Tablo 9.5. OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC numuneleri mikrosertlik değerleri	76
Tablo 9.6. Kaynaklı numunelerin çekme testinde oluşan sayısal değerler	80
Tablo 9.7. EDS analiz sonuçları	84
Tablo 9.8. Radyografik muayene parametreleri	86
Tablo 9.9. Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesinde görülen hatalar ve tanımlar	87

1. GİRİŞ

Günümüzde malzeme çeşitliliğinin artması ile malzemelerin bir arada kullanma gereksinimi önem arz etmiştir. Üretim ve tasarım aşamasında metalürjik ve mekanik olarak değişik türdeki malzemelerin birleştirilebilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu tür malzemelerin gerek ekonomiklik gerekse aynı anda kullanılma ihtiyacı kaynak yöntemlerini vazgeçilmez kılmıştır.

Kaynaklı birleştirmeler; günümüz sanayisinde önem kazanmış birçok gelişmiş tekniği içinde barındıran temel birleştirme yöntemidir. Birçok bilimsel çalışma ve incelemelerde araştırma konusu olmuştur. . Çünkü yaşamımızın her alanında kaynaklı birleştirmeleri görmek mümkündür. Bununla birlikte artan özelliklerde yeni malzemelerin ve bu yeni malzeme türlerine paralel uygun ileri kaynak teknikleri de gelişmektedir. Kaynağın bu yoğun kullanım alanı düşünüldüğünde, kaynak bağlantılarının da iyi incelenmesi ve analiz edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Günümüzde katı hal, ergitme ve bunların kapsadığı birçok kaynak tekniği mevcuttur [1].

Bu çalışmanın amacı, piyasada kullanım alanına sahip St 37 çeliği ile ye OPTİM 700 MC çeliğinin farklı kaynak parametrelerinde Plazma Transfer Ark (PTA) Kaynak yöntemleriyle birleştirmektir Otomobil imalatında ortalama 400 adet talaş kaldırılarak işlenmiş parça 700 adet pres işlemi görmüş, kesim yapılmış, kıvrırma, cıvata, lehimleme, perçin, yapıştırma ve yoğun olarak da kaynak tekniklerinden bir tanesi ile birleştirilmektedir [2].

Günümüzde Plazma Transfer Ark kaynağı (PTA) ile düşük karbonlu, alaşımlı çelikler, yapı çelikleri, paslanmaz çelikler, nikel, alüminyum, bakır ve alaşımları ve bazı reaktif metallerin kaynakları birçok pozisyonda başarı bir şekilde yapılabilir. Bu birleştirme yönteminin önde gelen tercih sebepleri; ekonomikliği, güvenilirliği ve dikiş kalitesidir.

Birleştirmeler sonrasında ara kesitte oluşan yapıların metalografik değerlendirilmesi yapılacak ve mekanik testlerle kaynak kalitesi tespit edilecektir. Yapılan çalışmalar sonucunda; seçilen malzeme çiftleri için en uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ

Son yıllarda plazma ark kaynağı özellikle gelişmiş ülkelerde ülkemize nazaran daha çok kullanılmaktadır. Ekonomikliği, hızlı olması, kaliteli dikişler oluşturulması, , daha az kaynak ağız açma işlemi, ısı girdisinin az olması nedeni ile daha düşük açılmalarda, daha derin nüfuziyet ve tek paso ile ilave metal kullanmadan kaynak yapabilme gibi nedenlerden ötürü MIG-MAG ve TIG kaynaklarına göre daha çok kullanılır konuma gelmiştir. Ancak bu üstünlüklerine rağmen yapılan araştırma sayısı çok azdır. St 37 ve OPTİM 700 MC çeliklerinin plazma ark kaynağı ile birleştirilmesi ile ilgili yapılan araştırma ise yok denecek kadar azdır. Konu ile ilgili seçilen bazı önemli araştırmalar aşağıda özetlenmiştir.

Martikainen 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, çapları büyük borular ve geniş plakalarda ışın, lazer, elektron ışın kaynakları gibi mükemmel bir şekilde sonuç verdiği tespit etmiştir [3].

U. Çok ve arkadaşları, Ti6Al4V tüplerin mikro yapı ve çekme özelliklerine kaynağın etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada 0,4 cm kalınlığındaki Ti6Al4V tüplerini akış işlemi gördükten sonra PTA kaynağı ile kaynak etmişlerdir. Numuneleri, metalografi, çekme ve yorulma testlerine tabi tutarak; elde edilen akma gerilmesi, çekme gerilmesi, % uzama değerlerinin kaynak işlemine etkisini incelemişlerdir. Bu malzeme çifti için PTA kaynak yönteminin başarı bir şekilde uygulanabildiğini, ana malzeme ile kaynaklı malzemenin değerleri kıyaslandığında; ana malzemeye ait değerlerin daha yüksek çıktığını, bunun nedeninin ise kaynak öncesi tüplere uygulanan akış işleminden kaynaklandığını tespit etmişlerdir [4].

Correa ve arkadaşları, darbeli plazma ark kaynak tekniği ile demir esaslı toz metal malzemelerin keyhole darbeli plazma ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğini incelemişlerdir. Bu çalışmada üç farklı demir esaslı (saf demir, Fe-Ni ve Fe-P-Ni) toz metal alaşımlar kullanmışlardır. Darbeli akım kaynak parametrelerinin kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı ve mekanikse özellikleri üzerine kaynak parametrelerinin

etkisini incelemişler; Fe ve Fe-Ni alaşımları için açıklanan mikroyapı incelemelerine göre kaynak ergime bölgesinde gözenek ve çatlakların var olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca 7 mm kalınlığındaki ve % 0.25 yüksek seviyedeki P içerikli Fe-Ni-P toz metal alaşımlı numunede, yüksek ergiyen metal hacmi ve hızlı soğutma etkisinden dolayı, yüksek çekme gerilimine bağlı olarak, başarısız bir geçiş ve katılma çatlaklarının oluştuğunu, bu problemin numunenin kalınlığını 4 mm'ye azaltarak giderilebileceğini ifade etmişlerdir. Bu alaşımlarla kaynatılan numunelerin kaynaklı numunelerden daha yüksek bir çekme dayanımına sahip olduğunu, bu nedenle demir esaslı toz metal alaşımların ilave metallsiz plazma ark kaynak yöntemi ile başarılı bir şekilde birleştirilebileceğini tespit [5].

S. Özel ve arkadaşları, Plazma Transfer Ark kaynağı ile paslanmaz çelik yüzeyine NiTi kaplamasının mikroyapısal karakteristiğini incelemişlerdir. Bu çalışmada AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik yüzeyine NiTi tozları Ar atmosferinde 80-90-100 A akımda plazma transfer ark (PTA) kaynağı kullanılarak yüzey kaplama yapılmıştır. Kaplama tabakasını ve ara yüzeyi SEM, EDX, XRD ve mikro sertlik analizleri ile incelemişlerdir. Kaplama tabakasının kalınlığının artan akım yoğunluğuna bağlı olarak arttığını (1-1.2-1.4 mm) tespit etmişlerdir. Ara yüzeyde herhangi bir çatlak ve poroziteye rastlamamışlardır. Kaplama tabakasında Cr₂Fe₇Ni ve Ni₃Ti gibi ara fazlar tespit etmişlerdir. Yüksek akım yoğunluğunda kaplama tabakasındaki NiTi oranının ve sertlik miktarının azaldığını tespit etmişlerdir [6].

B.Kurt ve arkadaşları, anahtar deliği PTA kaynağı işlemi ile birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısına ostenitik ara yüzey tabakanın etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada 10 mm kalınlığındaki AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik malzeme çifti ile 2 mm kalınlığındaki ostenitik paslanmaz çelik ara tabakayı anahtar deliği PTA kaynağını kullanarak birleştirmişlerdir. Çalışmada anahtar deliği PTA kaynağının ve ara tabakanın derin nüfuziyet, mikroyapı, mekanik özelliklere etkilerini incelemişlerdir. Kaynak sonrası mikroyapı analizi, metalografik inceleme ve çentik darbe dayanımı testlerini yapmışlardır. Plazma Transfer Ark Kaynağında, anahtar deliği (KEYHOL) tekniğinde kaynak ağzı açmaksızın yaklaşık 7-8 mm'lik nüfuziyet sağlandığını ve kullanılan ostenitik ara tabakanın da çentik darbe dayanımını artırdığını, kaynak dikişlerinde herhangi bir makro ve mikro çatlak meydana gelmediğini tespit etmişlerdir [7].

Kahraman ve arkadaşları, saf titanyumun plazma ark kaynağında kaynak akımının etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada 1,5 mm kalınlığındaki saf titanyumun plazma ark

kaynağında kaynak akımının etkisini araştırmışlardır. Yapılan çekme testi, çentik darbe deneyi, sertlik deneyi ve optik mikroskop incelemelerinde; en iyi birleştirmenin 65 A değerindeki kaynak akımında elde edildiğini tespit etmişlerdir. Bütün kaynak parametrelerinde sertlik değerlerinin ana metalinkinden daha yüksek çıktığını ve kaynaklı birleştirmelerin mikroyapılarında asiküler α ile birlikte ikiz görüntülerini de tespit etmişlerdir. En yüksek çentik darbe enerjisini 14,7 J olarak 55 A kaynak akımı uygulanan numunede elde etmişlerdir [8].

Gür ve arkadaşları Ti6Al4V Alaşım çiftlerinin PTA kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğini incelemişler ve Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak yöntemiyle Ti6Al4V alaşım çiftinin başarılı bir şekilde kaynak edilebilirliğini tespit etmişlerdir. Ti6Al4V çifti kaynak metalinde herhangi bir makro ya da mikro çatlğa rastlandığını ifade etmişlerdir [9].

D. Oliveira ve arkadaşları darbe akımlı sert dolgu transferli plazma arkını incelemişlerdir. Bu çalışmada darbeli akım kullanılarak düşük karbonlu ve paslanmaz çelik yüzeyine yüksek C-Co alaşımını PTA kaynak yöntemi ile sert dolgu yapmışlardır. Yapılan incelemeler sonucunda; daha iyi bir mikroyapı, daha yüksek bir sertlik ve düşük genleşme tespit etmişlerdir. Ayrıca akım yoğunluğunun, altlık malzemesinin kimyasal bileşimi ile etkileşiminde önemli bir yere sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Akım yoğunluğunun artışına paralel olarak yüksek genleşme ve düşük sertlik elde etmişlerdir [10].

U. Çalığölü ve arkadaşları AISI 430/304 paslanmaz Çelik Çiftinin Plazma Transfer Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliği” incelemişlerdir. Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak yöntemiyle AISI 430/304 çelik çiftinin kaynağında deneyler sabit ilerleme hızı ve farklı amperlerde Ar atmosferinde yapılmışlardır. Kaynak işlemleri sonrasında, birleştirme bölgesi makroskobik ve mikroskobik olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda, kaynak dikişinde makro ya da mikro çatlğa rastlanmadığını ifade etmişlerdir [11].

A. Urena ve arkadaşları plazma ark kaynağı kullanılarak 2205 duplex paslanmaz çeliğin kaynak edilebilirliğini incelemişlerdir. 2205 duplex paslanmaz çeliğinin Plazma Transfer Ark Kaynağında metalurjik olarak kaynağa elverişliliği ve uygun işlem için minimum net enerjiyi belirlemek amacı ile birbirinden farklı iki yöntem (anahtar deliği plazma ark kaynak yöntemi ve ergitme plazma ark kaynak yöntemi) kullanarak en verimli kaynak şartlarını belirlemeye çalışmışlar; kaynak sonrasında anahtar deliği Plazma Transfer Ark Kaynak tekniği ile 2500-3000 J/cm oranlarında uygulanan enerji ile bu malzemenin

kaynağının başarılılabildiğini, kaynak genişliğine ve daha yüksek nüfuziyete ulaşıldığı tespit etmişlerdir [12].

A. Orhan ve arkadaşları AISI 304/1010 alaşım çifti PTA kaynağıyla Ar atmosferinde sıvı faz kaynağıyla birleştirilmesini incelemişlerdir. Yaptıkları işlem sonucunda kaynak dikişinde mikro yada makro çatlğa rastlamamışlardır. Nb serisi numunelerde kaynak hızının yükselmesinden dolayı birleşme olmasına rağmen, iyi bir birleşme olduğu ifade etmişlerdir [13].

T. Teker ve N. Özdemir in yapmış olduğu çalışma da, 10 mm kalınlığında AISI 1040 çelik çifti Plazma Transfer Ark Kaynak yönteminde anahtar deliğı tekniğı ile alın pozisyonunda, kaynak ağzı açmadan, birleştirmişlerdir. Kaynak işlemi sonrası, numunelerin birleştirme ara yüzeylerinde oluşan yapısal değışiklik optik mikroskop yardımı ile incelenmiş ve mikrosertlikleri alınmıştır Kaynaklı birleştirmenin bağlanma mukavemetini tespit etmek amacı ile çentik darbe testi uygulanmıştır. Netice olarak, nüfuziyet derinliğinin gaz debisi artışıyla arttığını ifade etmişlerdir [14].

U. Çalıgölü ve arkadaşları, Ti6Al4V alaşım çiftinin Plazma Transfer Ark (PTA) yöntemiyle, birleşmeye kaynak gücünün etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında PTA kaynakları, argon koruyucu gaz atmosferinde, 1400–1600–1800 W kaynak güçlerinde ve 0,5 m/dk. sabit kaynak hızında yapmışlar. Sabit ilerleme hızında, 1800 W’lık kaynak gücü uygulanarak yapılan Plazma Transfer Ark (PTA) kaynağının, metalürjik olarak en yüksek kaynak kalitesi olduğunu ifade etmişlerdir [15].

H. Dikbaş ve arkadaşları Ni ara tabakalı Ti6Al4v çiftin plazma Transfer Ark kaynağında, kaynak gücünün etkisini incelemişler ve bu çalışmada; PTA kaynakları, argon koruyucu gazı atmosferinde, 1400-1600-1800 W kaynak güçlerinde ve 0,5 m/dk kaynak hızında yapmışlardır. Sabit ilerleme hızında, 1800 W’lık kaynak gücü uygulanarak yapılan PTA kaynağının, metalürjik açıdan kaynak kalitesi en yüksek birleştirme olduğunu ifade etmişlerdir [16].

T. Teker otomotiv sektöründe kullanılan kaporta saçının Plazma Ark Kaynağı ile birleştirilmesini incelemiş yapmış olduğu çalışmada yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı (YDDA) galvanizli sac malzemeler, Plazma Transfer Ark Kaynak (PTA) yöntemiyle birleştirilmiştir. Çalışmada, sabit ilerleme hızı, plazma ve koruyucu gaz debisi şartlarında, akım şiddetinin bağlantıların kaynak nüfuziyeti Ti üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Birleştirilmiş numunelerin ara yüzeylerinde meydana gelen yapısal değışimler, optik mikroskop ile incelenmiş ve mikro sertlik değıerleri ölçülmüştür. Sonuç

olarak, PTA yöntemi ile tam nüfuziyet elde edilmiş ve akım şiddetinin mikro sertlik değerlerini artırdığı tespit edilmiştir [17].

H. Dikbaş ve arkadaşları, Ti6Al4V alaşım çiftinin plazma ark kaynağında (PTA) ilerleme hızının mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisi incelenmiştir ve bu çalışmada PTA kaynakları, argon koruyucu gaz atmosferinde, 0,5–0,75–1 m/dk. Kaynak hızlarında ve 1600 W sabit kaynak gücünde yapılmıştır. Kaynak sonrası birleşme ara yüzeyinde ve ITAB' (Isı tesiri altında kalan bölge)da oluşan mikro yapı farklılıkları optik mikroskop, XRD ve EDS analizleri ile incelenmiştir. Birleşme dayanımını belirlemek amacı ile çekme deneyi yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri Vickers skalasında 50 gr'lık yük altında yapılmıştır. Malzemede yapılan detaylı incelemeler sonucunda tüm kaynaklarda, artan ilerleme hızına paralel olarak kaynakta mekanik özelliklerinin kötüleştiği ve kaynak bölgesinin genişliğinin azaldığı gözlenmiştir. Çekme test sonuçları da bu bulguyu doğrulamaktadır. Sabit kaynak gücünde, 0,5 m/dk'lık ilerleme hızı uygulanarak yapılan Plazma Transfer Ark kaynağının, metalürjik olarak kaynak kalitesi en iyi birleştirme olduğunu ifade etmişlerdir [18].

T. Gürgeç ve C. Özel yapmış oldukları çalışmada, düşük karbonlu AISI 1020 çeliğinin yüzeyi Cr-W-C-B-Fe kompozit kaplamasıyla plazma transfer ark (PTA) kaynak yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Cr-W-C-B-Fe ile AISI 1020 çeliğinin yüzeyini Plazma Transfer Ark yöntemi kullanılarak problemsiz bir şekilde kaplandığı tespit edilmiştirler. Cr-W-C-B-Fe ile yüzeyi kaplanmış AISI 1020' nin aşınma direncinin ve sertliğinin kaplanmamış AISI 1020' ye oranla daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir [19].

A. K. Gür ve arkadaşları AISI 304-Ramor çelik çiftlerinin Plazma Transfer Ark kaynak yöntemi ile birleştirme özellikleri incelenmişlerdir. Çalışma sabit kaynak hızı ve sabit bir amper değerinde, ilave tel kullanılmadan yapmış oldukları birleştirme işleminde PTA yöntemi ile üstün bir birleştirme elde ettiklerini ifade etmişlerdir [20].

3. KAYNAK TEKNOLOJİSİ

Kaynak, metal malzemelerin basınç veya ısı veya her ikisini birden kullanarak, aynı türden ve ergime sıcaklıkları aynı veya yakın ilave bir malzeme ekleyerek veya eklemeden yapılan birleştirme, metal kaynağı olarak adlandırılır [21].

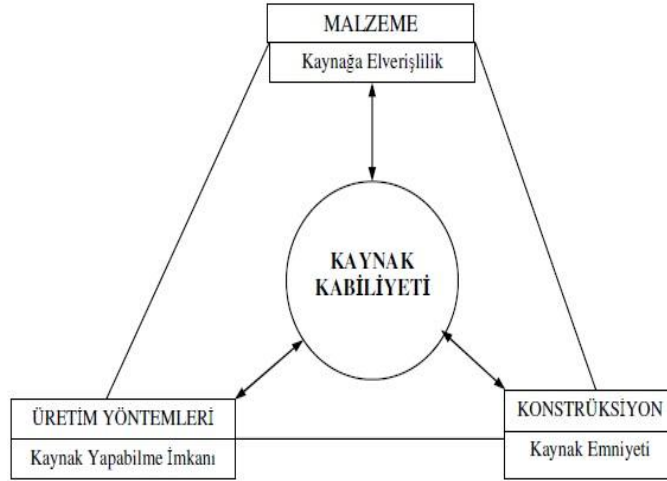
Ülkemizde ilk kaynak çalışması Gölcük ve İstinye tersanelerinde yapılmıştır. Bu alanda ilk kaynakçılar İbrahim PEKİN ve çırağı Ziya ALTINIŞIK ustalardır.

Ülkemizde kaynak konusunda ilk, programlı ve detaylı çalışmalar 1937 yıllarında Devlet demiryollarında yapılmıştır [21].

3.1. Kaynak Kabiliyeti

Kaynak kabiliyeti tam olarak bir ifadesi olmayan bir terimdir. Çoğunlukla malzemelerin tercih edilen yöntem ile birleşebilme kabiliyetidir. İmalat işleminde amaç, yalnız malzemelerin kaynaklı birleştirme olmayıp birleştirilen parçaların çalışma ortamında bozulmaması ve çalışma şartlarını yerine getirebilmesidir. Kaynaklı bağlantıların bazı şartları yerine getirmesi gerekir. Kaynaklı birleştirmenin gerekli şartları yerine getirme derecesine ‘kaynak kabiliyeti’ olarak tanımlanabilir.

Malzemenin kaynak kabiliyeti sadece malzemeye bağlı bir kavram değildir. Bununla birlikte kaynak yöntemine ve kaynak konstrüksiyonu ile de alakalıdır. Kullanılan malzeme uygulanan metot ile iyi bir kaynak kabiliyetine sahipken diğer bir metot ile zayıf bir kaynak kabiliyetine gösterebilir [22].



Şekil 3.1. Kaynak kabiliyetinin, malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığının gösterilmesi

Kaynak kabiliyeti terimi, kaynak emniyeti, kaynağa elverişlilik ve kaynak yapabilme imkanları da kapsar. Kaynak kabiliyet verimi için şu iki şartın gerçekleşmesi gerekir;

1. Birleştirilecek parçalar için belli bir kaynak yöntemi olmalı. (kaynağa elverişlilik).
2. Kaynaklı birleştirilen malzemeler, kaynak esnasında olan ısılara ve maruz kalacağı gerilmelere dayanmalıdır (kaynak emniyeti) [22].

Kaynak kabiliyetinin tanımlanması için iyi kaynak edilebilir ve şartlı olarak kaynaklı birleştirilebilir edilebilir deyimleri kullanılır. Bu deyimlerin anlamı çelik malzeme için şöyle ifade edilebilir.

- ✓ **Kaynak edilebilir:** Kaynak yapılacak malzemenin kalınlığı fazlaştıkça bir ön tavlama gerekir. Bu çeşit malzeme için, kaynak edilebilir deyimini kullanılır.
- ✓ **İyi kaynak edilebilir:** Malzemenin hiçbir ön ve nihai tavlamaya ihtiyaç olmadan kaynak edilebileceğini ifade eder.
- ✓ **Şartlı olarak kaynak edilebilir:** Bu tür malzemelerde ya karbon (C) oranı yüksektir veya bileşiminde çeşitli alaşım elemanları mevcuttur. Kaynaklı bağlantının geçiş bölgesinde çatlama ve sertleşme tehlikeleri nedeniyle, özel önlemler alınması gerekir. Ön tavlama uygulanmalı ve soğuma kontrolü olmalıdır [23].

Kaynakta çeliğin maruz kaldığı ısıнын etkisi sonucu malzemede çoğu zaman sürekli değişimler meydana gelir. Bir çelik, geniş önlemler almayı gerektirmeden ve bu

değişmeler kaynaklı konstrüksiyonda problem olmadan kaynak edilebilirse bu çelik iyi kaynak kabiliyeti var demektir. Buna karşılık normal bir kaynak işlemi malzemedede, konstrüksiyonda beklenenleri tehlikeye sokacak şekilde değişmelere yol açar veya kaynak işlemi sırasında veya bu işlemten hemen sonra, çatlaklar gibi malzeme kusurları meydana getirirse özel önlemlerin alınması veya bazı kaynak öncesi ve/veya kaynak sonrası işlemleri gerektirir. Böyle çeliklere de sınırlı kaynak kabiliyetli çelikler denir. Aslında kaynaklanamaz çelik diye bir malzeme yoktur. Doğru metalürjik koşulların yerine getirilmesi şartıyla her çelik kaynaklanabilir. Ancak bu koşullar bazen o kadar çapraşık olabilir ki bunların pratikte uygulanması rasyonel olmaz.

- **Yüksek Kaynak Kabiliyeti:** Geniş bir kaynak aralığında hiç bir tedbire gerek kalmadan tatminkâr bir kaynak kalitesi elde edilebilmesidir.

- **Düşük Kaynak Kabiliyeti:** Tatminkâr bir netice için özel tedbirler ile dar limitler arasında çalışmayı ifade eder.

Yapı çeliklerinin kaynağında, kaynağın neticesine tesir eden en önemli faktör esas metalin bileşimidir. Bilhassa bileşimindeki karbon ve manganez oranı kaynak kabiliyeti bakımından çok önemli olup, maksimum miktarları sınırlandırılmıştır. Mesela; gazı alınmış çelikler için İsveç'te maksimum karbon oranı % 0.25 olarak tavsiye edilmiştir. A.B.D.' leri bu sınırı % 0.30'a çıkarmış ve daima bir ön tavlama önermiştir. Manganez ve diğer alaşım elemanlarının kaynak kabiliyeti üzerindeki tesirleri, karbon cinsinden ifade edilmiştir. Milletler arası Kaynak Cemiyetinin karbon eşdeğeri aşağıdaki ifadeyle verilmektedir;

$$\% C_{eş} = \% C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Karbon eşdeğerinden kullanılarak yapı çeliği için gerekli ön tavlama sıcaklığı aşağıdaki tablo değerler belirtilmiştir [22].

Tablo 3.1. Karbon eşdeğerinden faydalanılarak yapı çeliği için gerekli ön tavlama sıcaklığı

Karbon Eşdeğeri	Ön tavlama Sıcaklığı (°C)
0.45'e kadar	Gerek yok
0.45 - 0.60 arası	100 – 200
0.60'dan daha fazla	200 – 350

3.2. Katı Hal Kaynak Yöntemleri

Katı hal kaynak yöntemi; malzemelerin ergime derecesi altında, basınç oluşturarak, koruyucu bir ortamda veya koruyucu ortam olmadan aynı veya farklı iki malzeme arasında bağ oluşturularak yapılan birleştirme yöntemine denir.

Katı hal kaynak çeşitleri;

- Ultrasonik Kaynak
- Sürtünme Kaynağı
- Patlamalı Kaynak
- Difüzyon Kaynağı
- Sürtünme Karıştırma Kaynağı
- Soğuk Basınç Kaynağı [24].

3.3. Ergitme Kaynak Yöntemleri

Ergitme kaynağı, malzemeleri sadece ısı etkisi ile lokal olarak eriterek, ilave bir metal ekleyerek veya eklemeyen yapılan birleştirmelerdir [24].

- Termik Kaynağı
- Plazma Transfer Ark (PTA) Kaynağı
- Oksi -Asetilen Kaynağı
- Elektro Cüruf Kaynağı
- Lazer Kaynağı
- Direnç Kaynağı
- MIG-MAG Kaynağı

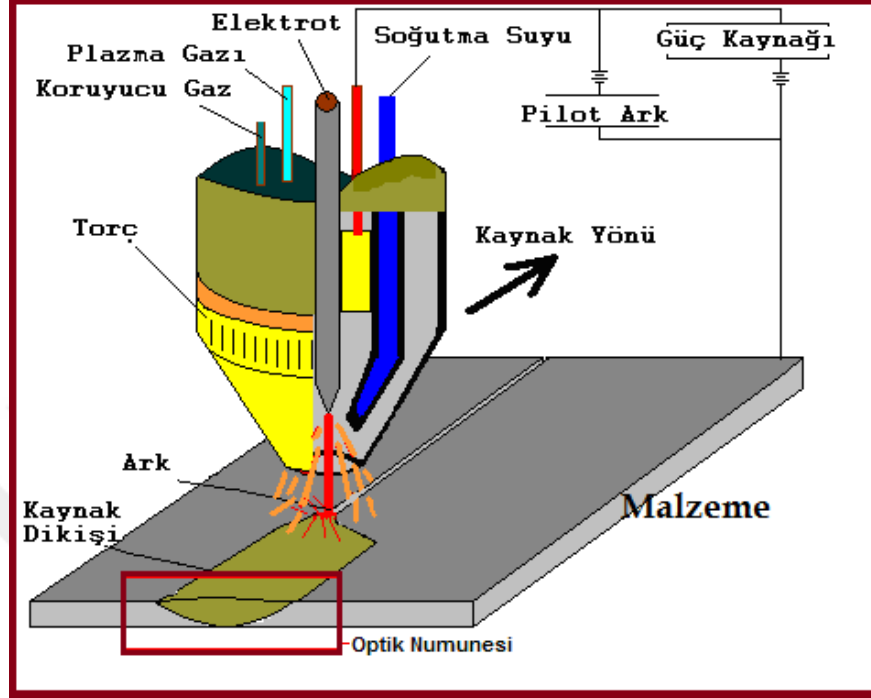
- Elektrik Ark Kaynağı
- Tozaltı Kaynağı
- Elektron Işın Kaynağı
- TIG Kaynağı



4. PLAZMA TRANSFER ARK (PTA) KAYNAĞI

Plazma moleküllerden, atomlardan ve elektrotlardan oluşan kızdırılmış gazdan oluşur. Plazmada iki tane ark düzeneği kullanılır. Taşıyıcı olmayan ark, su ile soğuyan bakır meme ve ergimeyen tungsten elektrot arasında oluşur. Bakır meme, arkı odaklar, güç yoğunluğunu artırır ve buna bağlı olarak plazma demetinin sıcaklığını yükselten bir tesir yapar. Bakır meme pozitif, tungsten elektrot negatif kutuplanmıştır. Bu şekildeki mekanizma plazma ile yapılan püskürtme işlemlerinde kullanılır. Bununla beraber karşı 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 4.1.' de görülmektedir [25,26].



Şekil 4.1. Plazma transfer ark kaynağının şematik görünümü [27].

4.1. Plazma Transfer Ark Kaynağında Kullanılan Teller

Plazma transfer Ark kaynağında kullanılan teller TIG kaynak yönteminde olduğu gibi kaynak metaline yakın veya aynı özelliğe sahip ilave metaller kullanılmaktadır. İlave metaller kaynak esasında kaynakçı tarafından kaynak bölgesine ilave edilebileceği gibi otomatik olarak da kaynak bölgesine ilave edilir.

Kaynak teli tercihi TIG kaynağında yapıldığı gibi uygulanan işlem amacına ve metalin bileşimine göre değişebilir [28].

4.2. Plazma Ark Kaynak Torçları

PTA kaynağında elde tutularak kullanılmakta olan kaynak torçları, TIG yönteminde kullanılan torçlara kıyasla daha karmaşık yapılarından ötürü daha ağırdır. Plazma Ark Kaynak yönteminde otomasyona uygun torçlarda üretilmiştir. Otomasyona uygun kaynak uygulamaları için geliştirilen Plazma Transfer ark kaynak torçları, 50 - 500A akım

şiddetinde kullanılacak biçimde hem doğru akım doğru kutuplama hem de doğru akım ters kutuplama veya kare dalgalı değişken kutuplamalı alternatif akımda kullanıma göre üretilmektedir.

Kaynak torçlarının ısınmaya karşı soğutulması önemlidir, çünkü gerçekleşen ark çok yüksek sıcaklığa sahip olduğundan iyi bir soğutma, hem nozul içerisindeki memenin hem tungsten elektrotun n hem de koruyucu gaz nozulu için önemlidir.

4.3. Plazma Transfer Ark Kaynağında kullanılan gaz nozulu

Plazma Transfer ark kaynak nozulu bakır malzemelerden üretilir. Kullanım süresi ark oluşum sayısı ile orantılı olması yanı sıra elektrod ucunun merkezlenmesiyle de sınırlıdır. Nozulun delik çapına bağlı olarak kullanılan akımın doğru kullanılması önem arz eder. Torç içerisinde soğutma işlemi nozul kullanım verimi üzerinde etkilidir [29]. Şekil 4.2.'de Plazma ark Kaynak nozulu görülmektedir.

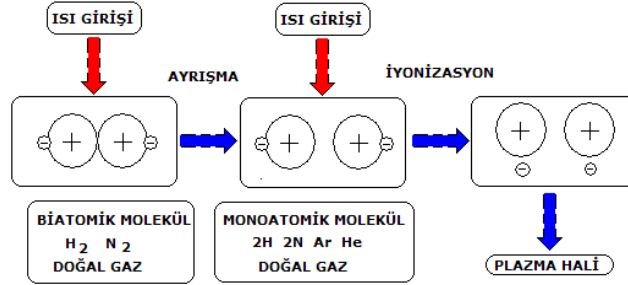


Şekil 4.2. Plazma Transfer ark kaynak nozulu [25-30]

4.4. PTA Kaynağında Plazmanın Oluşumu

Her madde gaz fazında bulunduğu yeteri derecede ısıtılınca, moleküllerindeki hareketlilik sebebi ile atomlar dış kabukta bulunan elektronlarını yitirerek pozitif(+) yüklü iyonlara dönüşür. Isı artıkça, iyonlaşma derecesi artar, sıcaklık birkaç 10000°C gibi bir ısıdan sonra, ortamda sadece pozitif yüklü iyonlar ve negatif yüklü serbest elektronlardan oluşan bir karışım belirir. Elektriksel olarak nötr yüklü parçacıklardan meydana gelmesi

nedeniyle iletken olan bu karışıma plazma denir. Şekil 4,3’de maddenin plazma haline geçişi verilmiştir.



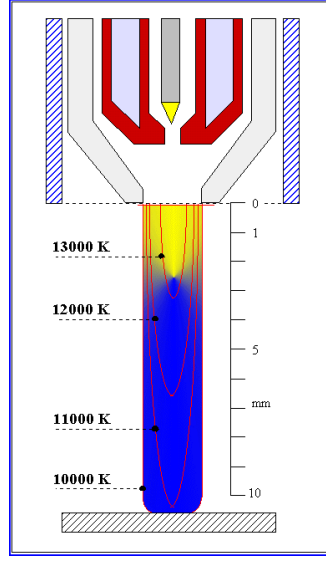
Şekil 4.3. Maddenin plazma haline geçişi

Kaynakta esnasında oluşan plazma gazı, elektrik arkı etkisi ile ısınarak iyonize olmaktadır. Bu şekilde ark kaynağı sistemlerinde elektrik arkı bir plazma oluşturur.



Şekil 4.4. Plazma transfer ark alevi

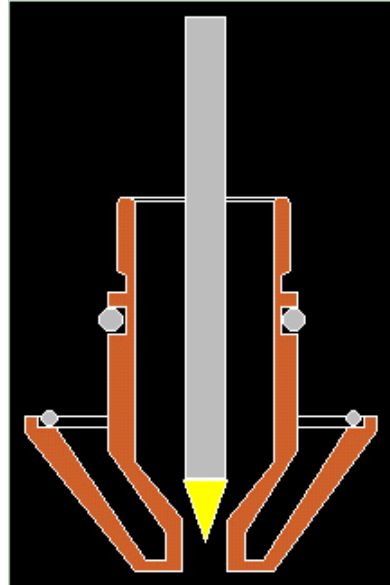
Plazma arkının sıcaklığı, çeliği, asbest çimentosunu, kristali (yaklaşık 232 K) ve karbonu (yaklaşık 247 K) eritmeye yetecek sıcaklığa ulaşabilir. Metallerin tavlama, kesme, yüzey hazırlık, kaynak ağzı açma, metal püskürtmeyle yüzey doldurmada ve kaynaklarda, çok olumlu neticeler vermektedir.



Şekil 4.5. PTA plazmasının ısı dağılımı

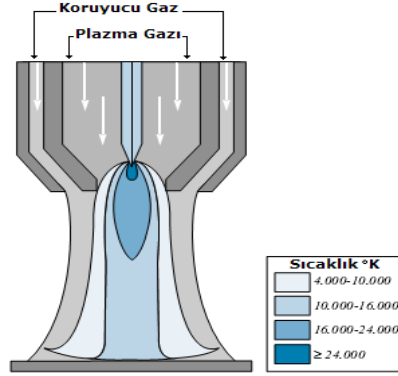
4.5. PTA Kaynağında Arkın Oluşturulması

Standart bir plazma ark torcunu oluşturan elemanlar, uç kısmında ufak bir delik bulunduran meme ve memenin merkezindeki tungsten bir elektrottur. Birbiri içerisine geçmiş meme ile elektrod arasında plazma gazı açığa çıkar.



Şekil 4.6. PTA kaynağında nozul ve elektrot

Dış yüzeyi soğumayan ark sütunu oluşturur, dolayısıyla içe doğru büzülme oluşur. Büzölmüş sütunun içinde sıcaklık 10.000–30.000K sıcaklığına çıkar. Dairesel olan bölümden ilerleyen gaz, yüksek iyonlaşma seviyesine ve göreceli bir şekilde değişen yüksek enerjiye ulaşır, kaynak ve iş parçasının tavlanması amacı ile kullanılır.

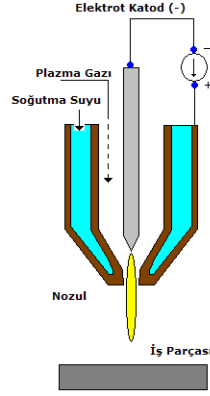


Şekil 4.7. PTA kaynak torcunda gaz akış yolları

Plazma Transfer Ark Kaynağında kaynak ekipmanları şunlardır: ateşleme cihazı hortum grubu, akım kaynağı, , çeşitli gazlar tüpleri ve kumanda cihazından oluşmaktadır. Plazma Transfer dolgu kaynak cihazı, kumanda ve ateşleme birbirlerinin yanında olmak üzere iki adet doğru akım kaynağı kullanılmaktadır. Kaynak cihazı 10 ilâ 15 kW güç çekerler. Plazma Transfer birleştirme kaynağı kalın sacların kalınlığında, malzemelerin (I) küt alın kaynağında ilave metal eklenmeden uygulama yapılır. Ostenitik çeliklerin alın kaynağında 8 ilâ 10 mm kalınlığında sacları rahatlıkla uygulanabilir. Burada ki kaynak ilerleme hızı TIG kaynak yöntemine nazaran % 100 den fazladır.[30] Plazma arkı aşağıdaki şekillerde oluşturulur.

4.5.1. Pilot Ark

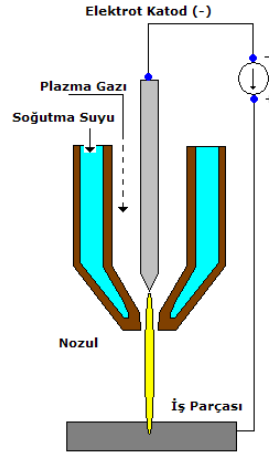
Tungsten elektrod ve meme arasında elektrik akımı gerçekleşirse, su ile soğutulan bakır meme ile elektrot arasında ark oluşarak memeden zorlanan gaz dışarı çıkar. Pilot ark olarak tanımlanan bu düzenek, ark devresini kapsamaz.. (Şekil 4.8.)



Şekil 4.8. PTA kaynağında pilot ark (Transfer olmamış ark)

4.5.2. Transfer Olmuş Ark

Elektrik devresi iş parçası tungsten ile elektrot arasında tamamlanır, ark iş parçasının üzerinde akar. Bu transfer olmuş ark ya da direkt ark olarak tanımlanır (Şekil 4.9.).

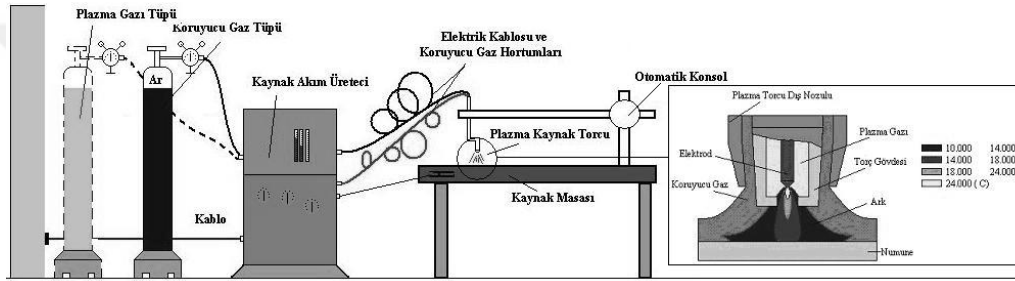


Şekil 4.9. PTA kaynağında transfer olmuş ark

Gösterilen iki arkın özelliklerini kullanan başka bir metot vardır. Metal tozu püskürtmede kullanılan yöntemdir. Memeden dışarı çıkan plazma arkı daha ufak ve parlak bir çekirdeğe sahiptir. Kısmen parlak kılıfa sarılmış çekirdeğin etrafı uzunluğu, 2–3 mm' den 40–50 mm ye kadar değişmektedir. Bu değişim plazma gazının bileşimine, akım şiddetine, debisine ve ark boyu uzunluğuna da bağlıdır. İş parçası üzerindeki oluşan yükün dağılımı için uygun şekillendirilmiş memeler tercih edilerek, plazma arkı şekillendirilir.

4.6. Plazma Arkı İle Kaynak

Plazma arkı; metal 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 meme ve elektrot arasında yanar. Transfer olmuş ark tutuştuğunda yardımcı ark sönmüş olur. Mikro plazma kaynaklarında, kaynak işlemi sırasında yardımcı ark sönmez. Akan akımın değeri bir direnç vasıtasıyla sınırlanır. Plazma arkının şematik olarak görünüşü Şekil 4.10'da görülmektedir [31].

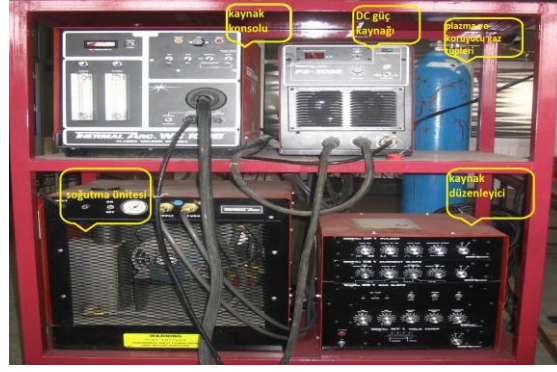


Şekil 4.10. Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü [25]

4.7. Yüksek Frekans Dalga Ünitesi ve Donanımları

Pilot arkı ve transfer olmuş arkı ateşlemek-tutuşturmak için kullanılan, doğrudan katot tungsten elektroda ve anot 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 4.11. Plazma Transfer Ark kaynak makinesi ve donanımları

4.8. Uygulama Özellikleri

Kaynak cihazları su soğutmalıdır. Plazma kaynak cihaz tertibatı; akım üretici, ateşleme cihazı, hortum grubu, kumanda cihazı ve farklı 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, yüksek ve düşük 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 değerleriyle yapılan kaynak işleminde plazma ve koruyucu gaz birbirinin aynısı olmalıdır; çünkü farklı iki gaz kullanılırsa arkın kararlılığını güçleştirir. Amerikan endüstrisinde çoğunlukla helyum kullanılırken ülkemizde tedariki zordur bundan dolayı yoğun olarak argon kullanılır. Düşük akım şiddeti ile yapılan plazma kaynağında, hidrojen oranı en çok % 5'tir. Saf argon, yüksek mukavemetli çelikler, karbonlu çelikler ve titanyum, tantal, zirkonyum alaşımları gibi reaktif metalleri, kaynak yapmak için kullanılır. Gaz içerisinde az miktarda hidrojenin bulunması süngerleşmeye ve çatlama gibi olumsuzluklara yol açar

Plazma transfer ark kaynağında iki yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlar anahtar deliği tekniği (keyhole)ve ergitme tekniği (melt-in mode) dir.

4.8.1. Ergitme Tekniği

Plazma transfer ark kaynağında akım değeri 50-400 A aralığında genellikle ergitme yöntemi kullanılır. TIG kaynak tekniğinde oluşan kaynak dikişine benzer bir dikiş oluşmaktadır. Genellikle otomatik uygulamalarda, TIG yöntemine göre daha çok tercih edilebilir. Ark kararlılığı ve yüksek akım şiddeti daha nüfuziyetli kaynak dikişleri oluşturulur ve kullanım esnasında arkı kontrol etmek daha kolaydır, aynı zamanda kaynak süresini de kısaltan bir yöntemdir. İlave kaynak metalinin kullanımı, malzeme boyut ve kalınlığına göre belirlenir [32].

4.8.2. Anahtar Deliği Tekniği (KEYHOLE)

Plazma Transfer arkı kaynağında metalden metale değişen bir kalınlık aralığında, kullanılan, akım şiddeti, gaz akımı 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 imkânları sağlanarak bazı metal kalınlıklarında da her pozisyonda kaynak yapılabilmektedir. Bu üstün özelliği gösterebilen tek yöntem plazma transfer arkı ile kaynak yöntemidir.

Anahtar deliği yönteminde, anahtar deliği oluşturmak plazma arkı için parçanın içlerine 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 bulundukları yerde katılaşır. Anahtar deliği tekniğinin üstün kılan özellik, kaynağın tek pasoda gerçekteşmesidir.

Anahtar deliğinin yönteminde kaynak esnasında açığa çıkan gazlar ergiyik havuzu içinde katılaşarak malzeme yüzeyine doğru ilerler. 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/dakikadan daha yüksek gaz debileri tavsiye edilmez, oldukça düşük bir değerdir [25].

4.9. Plazma Transfer Ark Kaynağının Avantajları

Plazma ark kaynağının avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

-PTA kaynağı GTA' ya göre birkaç avantaja sahiptir. En büyük avantaj, anahtar deliği konumunda birleşmenin sağlanmasıdır. Böylece, kalın parçalarda tek pasoda bütün kesit boyunca nüfuziyet sağlamak mümkündür. Bu ise kaynak ağzı açılma ihtiyacını büyük oranda azaltır.

-Anahtar deliği konumunda, 12 mm kalınlığa kadar tek pasoda kaynak yapmak mümkündür. Bunu, diğer gaz altı kaynak yöntemleri ile yapmak mümkün değildir.

-Kaynakta paso sayısı azaltılırken, içyapı değişimleri, iş belli bir alanda yoğunlaştırıldığı için fazla olmamaktadır.

-Arkın sütunsu şekli, MIG-MAG kaynağındaki konik şekilli ark ile karşılaştırıldığında, torç ile iş parçası arasındaki mesafenin daha esnek kullanılabilmesini sağlamaktadır.

-GTA' da kısa ark uzunluğu, tungstenli kaynak elektrotunu kirletir ve elektod ucuyla kaynak havuzuna kaynakçının istemeyerek dokunmasına sebep olabilir. PTA' da elektod nozul içine yerleştirildiğinden bu problem yoktur. Torçda ki nozulun dar olması nedeniyle, TIG elektrodu kirlenmeden korunmaktadır.

-Ark boyu uzun tutulabildiği için, özellikle el ile yapılan arkta, dikiş kaynakçı tarafından daha rahat izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir.

-GTA da olduğu gibi kaynakçının çok fazla becerili olması gerekmez [33].

4.10. Plazma Ark Kaynağının Dezavantajları

Plazma ark kaynağının dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- MIG-MAG kaynağına göre, makine ve ekipmanı çok daha pahalıdır.
- Ark dar ve sütunsu olduğu için, ağızdaki yerleştirme ve toleranslara karşı daha duyarlıdır.
- Daha fazla bakım ve daha dikkatli kullanım gerektirir.

- Elektrodun nozul içine sabitlenmesi için torçun bütün olarak sökülmesi gerekmektedir.
- Plazma Transfer kaynak torçu kaynak torcu, daha karışıktır ve hem nozul çapı, hem koruyucu gaz akış oranının ayarlanması ve uygulanması için nozul çapının seçimi, pozisyonu ve uygun elektrod ucu gerektirir [33].



5. YAPI ÇELİKLERİ (St)

Demir oranı, içerdği diğer elementlerinden daha fazla olan, çoğunlukla % 2'den daha az karbon içeren alaşımlara çelik denir. Çeliğin içyapısı ve içerdği elementlerin kimyasal bileşimi çeliğe farklı mekanik özellikler kazandırır ki bu elementlere alaşım elementleri denir. Alaşım elementleri çeliğe değişik oranlarda katılarak farklı özellikte çelikler elde edilebilir veya çeşitli işlemler (normalizasyon tavlama, ıslah etme uygulama vs.) ile içyapı kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde çelikler üretilebilir [34].

Çeliğin içindeki diğer elemanlar;

- Oksitler: Çelikte ayrıca demiroksit (FeO), manganoksit (MnO), silis (SiO₂) ve alümin (Al₂O₃) gibi oksitler vardır. Bu maddeler çelikte zararlıdır ve çeliğin zayıf noktalarını oluşturdıklarından çatlama ve kırılmalara sebep olur.
- Silisyum: Karbonlu çeliklerde %0,01'den %0,30'a kadar Si içerir. Çeliğin imali esnasında içinde meydana gelen gaz boşluklarını engellemek ve çeliği deokside etmek için kullanılır.
- Fosfor: İyi çeliklerde iz halinden %0,05'e kadar fosfor bulunur. Fosfor çeliğin tane boyutunun büyümesine sebep olur. Bundan dolayı fazlası çeliğin kırılma olmasına sebep olur.
- Manganez: Normal çeliklerde %0,30 - %0,80 Mn bulunur. Manganez çelikte kükürtle birleşerek MnS oluşur ve böylece kükürdün demirle birleşmesini önler. Manganezin fazlası karbonla birleşerek Mn₂C (mangankarbürü) oluşturur ve çeliğin sertliğini, mukavemetini artırır, plastikliğini oranını azalmasına sebep olur.
- Kükürt: Normal çeliklerde %0,05'den az kükürt bulunur. Çeliğin içindeki bütün kükürdün manganezle birleşmesi istenir [35].

Yapı çelikleri 1980 ve 1990'lı yıllarda çelik yapılar kompozit kiriş ve döşemelerinin imalatında etkili bir şekilde kullanımı ile birlikte Batı Avrupa ülkelerinde ve özellikle İngiltere'de daha çok kullanılan bir malzeme haline gelmiştir. Ülkemizde henüz yeterli derecede kullanılmayan yapı çelikleri özellikle 1999 Marmara depremi sonrasında inşaat sektöründe adından sıkça söz edilen bir yapı malzemesi olmuştur [36].

Günümüzde kullanılan yapı çelikleri, ASTM (American Standard for Testing Materials) Normu' na göre Tablo 5.1.'de bazı önemli özellikleriyle birlikte verilmiştir [37].

Tablo 5.1. ASTM Standartlarında Tanımlanmış Yapı Çelikleri

ASTM*)	Mekanik Özellikler		Kimyasal Bileşenler***) (%)					
	Çekme Mukavemeti	Akma Sınır Gerilmesi	C	Mn	P	S	Si	Cu
LEVHA ve PROFİLLER	t/cm ²	t/cm ²						
A36	4,24 – 5.62	2.53 (min)	0.26-0.29	0.80-1.20	0.04	0.05	0.15-0.40	0.20 (min)
A242 HSLA	4.92 (min)	2.95; 3.23; 3.52	0.15	1.00	0.15	0.05		0.20
A441	4.22 - 4.92	2.81; 2.95; 3.23; 3.52	0.22	0.85-1.25	0.04	0.05	0.40	0.20
A514	7.03 – 9.14	6.33–7.03	0.10-0.21	0.45-1.50	0.035	0.04	0.20-0.80	0.50'ye kadar
A572	4.22 – 5.62	2.95; 3.52; 4.22; 4.57	0.21-0.26	1.35	0.04	0.05	0.15-0.40	
A588	4.43 – 4.92	2.95; 3.23; 3.52	0.10-0.19	0.50-1.35	0.04	0.05	0.15-0.90	0.20-0.50
A709	4.08 – 5.62 6.33 – 7.03 7.73 – 9.14	2.53–3.52 4.92-6.33	0.10-0.25	0.40-1.50	0.035	0.04	0.15-0.80	0-0.50

Tablo 5.2. DIN 17100 Uyarınca Yapı Çeliklerinin Kimyasal Bileşimi

ÇELİK CİNSİ	Deok- sidasyon Şekli ¹⁾	Kimyasal Bileşim (kütleel ağırlık %)						Azotu bağlayan elemanların katkısı	
		C				P	S		N ²⁾
		mm cinsinden mamül et kalınlığı							
		≤16	>16 ≤100	>40 ≤100	>100				
St 37-2	4)	0.17	0.20	0.20		0.05	0.05	0.009	-
USt 37-2	U	0.17	0.20	0.20		0.05	0.05	0.007	-
RSt 37-2	R	0.17	0.17	0.20	*)	0.05	0.05	0.009	-
St 37-3	RR	0.17	0.17	0.17		0.04	0.04	-	evet
St 44-2	R	0.21	0.21	0.22	*)	0.05	0.05	0.009	-
St 44-3	RR	0.20	0.20	0.20		0.04	0.04	-	evet
St 52-3 ⁵⁾	RR	0.20	0.22 ⁶⁾	0.22	*)	0.04	0.04	-	evet

U: gazı giderilmemiş (dinlendirilmemiş)

R: gazı giderilmiş (dinlendirilmiş)

RR: tam gaz tam giderilmiş (tam dinlendirilmiş)

Her % 0.001 N için verilen en fazla fosfor miktarının altında % 0.005 kadar bir P tutulabildiği takdirde, verilen maksimum değerin aşılmasına izin verilir. Azot miktarı kesinlikle % 0.012'yi aşmamalıdır [37].

Yapı çelikleri içerisine eklenen elementler mukavemet ve kaynak kabiliyetlerini artırır. Yapı içerisinde C artması çeliğin sertleşmesine neden olur. Sünekliğinin azalması ve kaynaklanma yeteneğinin azalması karbon oranının artması ile doğrudan orantılıdır. Magnezyum çeliğe sertlik katar. Krom (Cr), Molibden (Mo), vanadyum (V) ve kolombiyum) az miktarda kullanıldığında çeliğe atmosferik korozyon direnci ve tokluk kazandıran katkılardır. Yapı çeliğinin sertliği mukavemetiyle ilişkili olmasının yanı sıra, kaynaklanabilirlik özelliğinin de göstergesi olması nedeniyle önemlidir [37].

5.1. St 37 Çeliği

St37 çelikleri, çelik konstrüksiyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılan DIN 17100 standardına göre belirlenmiş çekme dayancı 37 kgf/mm² olan yapı çeliği bir türüdür. Başındaki "St" ifadesi Almanca çelik anlamındaki "stahl" kelimesinden kısaltılmıştır [38-24].

İçerisinde önemsiz miktarda Mn, Si, P, N ve O gibi, çelik üretim yöntemlerinden gelen elementler bulunduran demir karbon alaşımlarıdır.

Sade karbonlu çelikler ucuz ve kolay şekillendirilebilirler. Mekanik özellikleri yapılarında bulunan karbon oranı ve üretim sırasında gösterilen özene bağlı olarak değişir ve sınırlıdır. Günümüzde demir-çelik endüstrisinde üretilen çeliklerin onda dokuzuna yakını sade karbonlu çeliklerdir. Sertleşme yetenekleri zayıftır. Sertleştirme işlemlerinden sonra parçalarda çatlama, çarpılma ve iç gerilmelere görülebilir.

Kalın kesitli parçalar ise, istenilen düzeyde sertleştirilemezler. Korozyif ortamlara dayanıksızdırlar. Alevle ve indüksiyonla yüzey sertleştirmeye yatkındırlar. Yapılarındaki karbon oranına göre; sade karbonlu çelikler,

- Düşük karbonlu çelikler (% 0,05-0,3 C),
- Orta karbonlu çelikler (% 0,3-0,8 C)
- Yüksek karbonlu çelikler (% 0,8-1,7 C) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar.

Yine aynı çelikler,

- Ötektoid altı çelikler (% 0,05-0,83 C) ve
- Ötektoid üstü çelikler (% 0,83-1,7 C) olarak da gruplandırılmaktadırlar.

Az karbonlu çelikler sertleştirilemezler, bunların uygun yöntemlerle yüzeylerinin sertleştirilmesi elbette mümkündür. Orta karbonlu çelikler ısıtıl işlemlere oldukça yatkındırlar. Dayanımları, az karbonlu çeliklere oranla daha iyidir. Sünekliği az karbonlu

eliklere yakın ve onlara oranla daha az olup, normal soğutmalarda yapıda oluşan perlit nedeniyle az karbonlu çeliklere göre sert ve mukavemetlidirler [38].

Kullanım alanları sanayi sektöründe, kutu profil, çubuk yapımı ve sıcak haddelenmiş sanayi profili olarak tasarlanarak endüstriyel binalarda, köprü ve demiryollarında, geçici ve kalıcı zemin altyapı projelerinde, denizde yapılan dalgakıranlarda, gemi yapımında, şehirlerarası elektrik kabloları taşıyan direklerde çok amaçlı sosyal tesisler, ticari yapılar, binaya yük bindirmeyen çatı katları gibi alanlarında kullanılmaktadır. Bu elikler genellikle sıcak haddelenmiş veya normalize edilmiş halde tüketicilere satılır [39-40]. elik kontrüksiyonlarda St37 levha parçalarının birbirlerine ve diğerk elik parçalara birleştirilmesi cıvata veya kaynak ile yapılmaktadır. Kaynaklı birleştirmeler radyografik veya ultrasonik tahribatsız muayene yöntemi ile kontrol edilmektedir. Levha kalınlığı, kaynak yöntemi, kaynak parametreleri ve kaynağın soğuma koşullarına bağılı olarak kaynak bölgesinde çok farklı mikroyapılar oluşabilmektedir [39].

Yapı eliklerinin birleştirilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılan MIG/MAG kaynağının kullanımının artması ile bu yöntemde kullanılan koruyucu gazların geliştirilmesi, çeşitli gaz karışımları ile yapılan kaynak bağlantılarında dikiş özelliklerinin incelenmesi yolunda araştırmalar yapılmaktadır [45]. Fakat MIG/MAG kaynağına kıyasla PTA kaynak yöntemi, tam otomatik olarak yapılabilmesi nedeniyle daha derin nüfuziyet ve daha kusursuz kaynak elde edilmesini sağlar.

St 37 elik malzemelerine ait kimyasal ve mekanik özellikler aşağıda gösterilmiştir (Tablo 5.3, Tablo 5.4).

Tablo 5.3. St Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu

Malzeme	Malzeme No	Kimyasal Kompozisyon Ağırlık olarak (%) olarak					
		C	Si	Mn (en çok)	P(en çok)	S (en çok)	N(en çok)
St 37,00	1,0254	0,17	-	-	0,40	0,40	0,009 -0,0014
St 44,0	1,0256	0,21	-	-	0,40	0,40	0,009-0,0014
St 52,00	1,0421	0,22	0,60	1,70	0,40	0,35	0,009-0,0014

Tablo 5.4. St 37 Çeliğinin Mekanik Özellikleri

Malzeme	Malzeme No	Çekme Dayanımı [Mpa]	Akma Dayanımı [Mpa] (en az)	Uzama [%] (en az)
St 37,0	1,0254	350,0 - 480,0	235,0	25,0
St 44,0	1,0256	420,0 - 550,0	275,0	21,0
St 52,0	1,0421	500,0 - 650,0	355,0	21,0

5.2. OPTİM 700 MC Çeliği

OPTİM 700 MC, EN standartlarını aşan sıcak olarak haddelenmiş (M), soğuk şekillendirilebilir (C) çeliktir. OPTİM 700 MC'nin yüksek mukavemetli çelik kalitesi, mükemmel bükülebilirlik, kaynaklanabilirlik ve kesme özellikleri sahip bir çeliktir. Hafif yapılar, makine ve teçhizat için artan yükleri ve taşıtlarda düşük yakıt tüketimi, gibi avantajlara sahiptir. Çevreye duyarlı ve geri dönüşüme kazandırılır. Yüzey kalitesi ve boyutu, geometrik olarak şekillendirilme özelliğine sahip çeliktir [41].

5.2.1. OPTİM 700 MC çeliğinin Kimyasal Bileşimi

Tablo 5.5. OPTİM 700 MC Çeliğinin Kimyasal Bileşimi

Si	C	Al	S	P	Mn	Ceş
0,20	0,10	0,015	0,010	0,020	2,10	0,37 ile 0,41

5.2.2. Toleranslar

Boyut ve şekil toleransları:

Boyut ve şekil toleransları, EN 10051 gerekliliklerine uygundur ve kısmen de geçerlidir. Kesme uzunlukları için garanti edilmiş düzgünlük 3 mm / m'dir. OPTİM 700 MC kesim uzunlukları ölü yassılık garantisiyle birlikte verilir [41-42-43].

5.2.3. OPTİM 700 MC çeliğine ait mekanik test değerleri:

Tablo 5.6. OPTİM 700 MC çeliğinin mekanik özellikler

Plaka kalınlığı mm	Akma dayanımı MPa min	Gerilme direnci MPa	Gerilme direnci Mpa	Darbe mukavemeti t°C
3.0 -10.0	700 ²	700 – 930	15	-20 ³) 40 ³)

5.2.4. OPTİM 700 MC Çeliğine Kaynak edilebilirliği;

OPTİM 700 MC çeliğinin kaynak edilebilirliği mükemmeldir. Tüm ergitme ve katı hal kaynak yöntemlerinde üstün bir birleşme sağlar. Normal koşullar altında ön ısıtmaya gerek yoktur. Oluşan ITAB daha dardır ve yüksek bağlanma mukavemeti sağlar. Kaynak çizgisinin hemen bitişiğinde yumuşama eğilimi gereksiz yere yüksek ısı girdilerinden kaçınarak sınırlandırılabilir. Kaynak sırasında. Yüksek ısı girdisinin gerekli olduğu durumlara da daha düşük gerilmeler görülür. Böylece, kaynakların yapı üzerindeki etkisi en aza indirilir. Birleşen kaynak malzemelerinde yüksek mukavemete ihtiyaç duyulduğunda OPTİM 700 MC önerilir.

5.2.5. OPTİM 700 MC Çeliğine Kesme İşlemi

OPTİM 700 MC çeliği alev, plazma ve lazerle kesme gibi termal yöntemlerle kolaylıkla kesilebilir. Mekanik kesme işlemi de rahatlıkla uygulanabilir, ancak ekipmanın sertliği, kesici durumu önemlidir. İşlem sonrası malzemedeki son temizleme ve çapak temizleme işlemi yapılmalıdır.

5.2.6. OPTİM 700 MC Çeliğinin Uygulama Alanları

- Mobil ekipmanlar ve kaldırma araçları
- Nakil ekipmanları ve araçlar
- Makine ve teçhizatlarının imalatı
- Çelik yapılar [42-43].

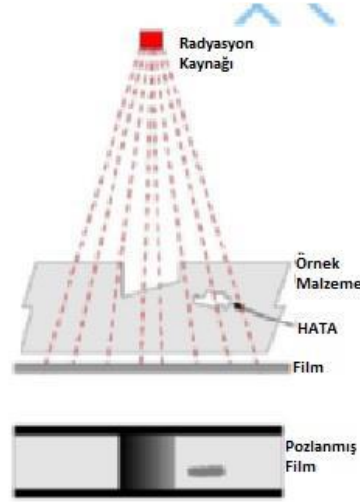
Otomobil koltuk ve iç iskeletleri çoğunlukla metal malzemeler kullanılmaktadır. Otomotiv imalatında; araç karoserleri tamamen çelik aksamalardan oluşmaktadır. Otomotiv sektöründe en önemli etkenlerden biride yakıt tasarrufu sağlamaktır. Bundan dolayı kullanılan parçanın üretim ekonomisi ve servis güvencesi açısından, yumuşak çelik saclardan üretilmesi önemli bir etkindir [44].

Dolayısıyla, karoseri imalatında kullanılan çelik sacların kaynaklanmasında, otomasyona uyumlu olmaları nedeniyle çoğunlukla direnç nokta, elektrik ark, gaz altı (MIG-MAG) kaynak çeşitleri tercih edilmektedir [45-46].

6. RADYOGRAFİK MUAYENE

Radyografik ışınlar malzemeler de deformasyon oluşturmada içyapılarını 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, detektör 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 6.1. Radyografik Muayenede Pozlama

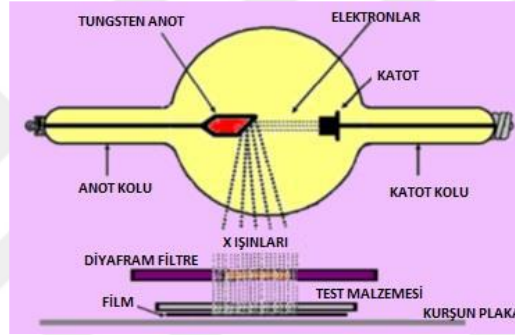
Birçok radyografik kaynak muayenesi olmasına rağmen, pratikte radyografi için uygun kaynak çok azdır. Kaynak seçimine, kaynak boyutu, radyografi cihazının büyüklüğü, radyografi yapılacak cismin taşınabilirliği ve kaynak enerjisi etkilidir. X ve Gama ışınlarının üretimi dışındaki bütün özellikleri aynı 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 Gama ve X Işınları;

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

X-Işınları bir elektrik kaynağı aracılığıyla X-Işını tüpleri içerisinde oluşturulur, gama ışınları ise radyoaktif bozunum esnasında oluşur [47].

6.1. X Işınları

Elektronların yüksek hızda bombardımanı sonucu oluşan X-ışınları X-ışını tüpünde üretilirler. Şekil 6.2.'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 [48].



Şekil 6.2. X Işınları Üretimi ve Malzeme Kontrolü [48]

Çelik malzemelerin nüfuziyet derinlikleri tablo 1’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 [48-25].

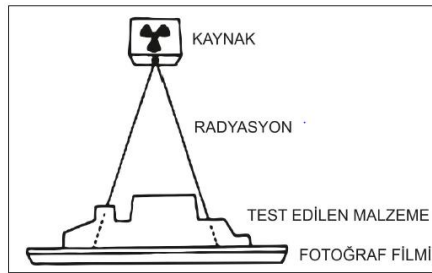
Tablo 6.1. X-Işımları Şiddetine göre Nüfuziyetler [48]

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

6.2. Gama Işımları

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 [49].

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 [40]. Şekil 6.3.'de Gama ısını ile radyografi çalışmasının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 6.3. Gama ısını ile radyografi çalışmasının şematik gösterimi [50]

7. SIVI PENETRANT MUAYENE

Sıvı penetrant muayene yöntemi, malzemenin cinsine bağlı olmaksızın, yüzeyde olan çatlak, boşluk, gözenek vb. malzeme süreksizliklerinin belirlemek için kullanılmaktadır. Malzeme yüzeyi, mekanik veya kimyasal olarak temizlendikten sonra kurutulur ve penetrant yüzeye uygulanır. Penetrantın yüzeye açık olan süreksizliklere nüfuz edebilmesi için belli bir süre beklendikten sonra yüzeydeki penetrant temizlenerek kurutulur ve süreksizlikler içindeki penetrantı emerek yüzeye yayar ve beyaz rengi sayesinde kontrast sağlayarak oluşan hatayı gözle veya büyüteçle görülebilir hale getirir [54-25].

Bu yöntem iki şart ile uygulanabilir:

- 1- Süreksizlik (Hata) yüzeyde olmalı ve hata açıklığı penetrant sıvının etkisi ile aralığa girebilmeli. Süreksizliğin içinde pas, boya, yağ gibi yüzeyi kaplamış yabancı maddelerin olması hakkında doğru bilgi vermez.
- 2- Penetrant sıvısı kullanılan malzemeye zarar verecek yapıda olmamalı korozyon bir oluşum gerçekleşmemeli.

Belirlenen bu iki şartı yanı sıra porozların varlığı muayene yöntemini kısmen sınırlar. Sıvı penetrant muayene yöntemi genel yüzey hataları olarak tanımlanabilecek çatlakların, porozların, birleşme hatalarının veya katlanmaların belirlenmesi için uygundur. Ancak sıvı penetrant yöntemi özellikle manyetik dışı ostenitik çeliklerin, titanyum malzemelerin kontrolünde özel anlam taşır, taşıdığı bu özel önem manyetik parçacık yönteminin bu tip malzemelerde kullanılamamasıdır.



Şekil 7.1. Penetrant uygulanması [47]

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 ufak çatlakları açığa çıkarmakta kullanılan bir yöntemdir.

Penetrant ile yalnız yüzeyde olan yani yüzeye açık hatalar belirlenebilir. Bu sebeple penetrantın süreksizliğe nüfus etmesi gereklidir. Kontrol işleminin aşamalarının dikkatle yapılması gerekmektedir.

7.1. Sıvı Penetrant Muayenesinin Aşamaları

7.1.1. Yüzey Hazırlama

Öncelikle penetrant testi uygulanacak yüzeyde, pas, sıvanma, kaynak sıçraması, asitler, kromatlar vb. yabancı maddelerden temizlenmesi gereklidir. Su bir kirletici unsur olup birinci basamakta test yüzeyinden temizlenmesi gerekmektedir. Boya ve metal kaplamalar penetrantın çatlağa nüfuziyetine engel olacağı için parça yüzeyinden sökülmelidir ve süreksizlik içinde temizleme maddesinin kalmaması gerekmektedir [47].

7.1.2. Penetrant Uygulama

Muayene için kullanılacak penetrantın amacına uygun özelliklere sahip olması gerekmektedir. Yüzey uygulanan penetrant sadece kendi başına süreksizlik içerisine nüfuz etmez, ayrıca yer çekiminden bağımsız çalışan kapiler hareket ile süreksizlik içerisine nüfuz eder. Sıvı penetrant muayenelerinde 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 penentranttır. Sarı-yeşil renkte parlaklığa sahiptir. Kullanımı için özel teçhizatlar gerekir, ancak hassasiyete sahip olan penentranttır.

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 gerektirmediğinden en basit penentrant 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 [47].

7.1.3. 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 [55].

7.1.4. Developer (Geliştirici) Uygulaması

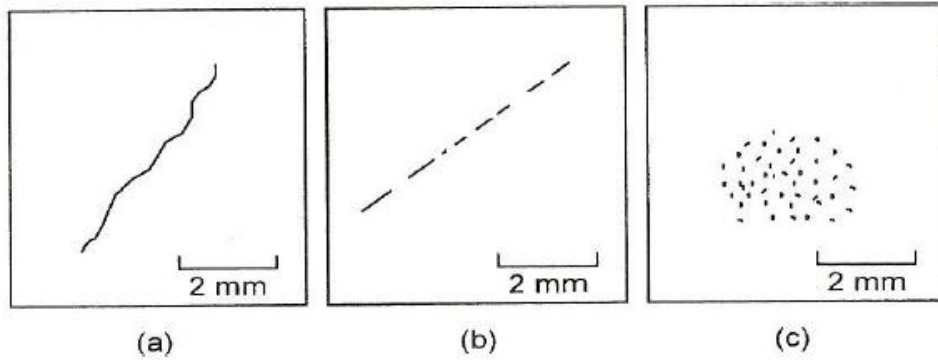
Developer (geliştirici), emici özelliği arttırılmış kimyasallardır. Developer uygulamanın amacı, hataların içerisine giren az miktardaki penetrantın, yüzeye çekilerek görünür şekle getirilmesidir. Developer yüzeye sıvı uygulandığında bir kap içerisine daldırılır veya yüzeye püskürtülür, kuru yüzeye toz halde uygulanır. Penetrantın yeterli seviyede emilebilmesi için belirli bir bekleme süresi vardır [47].

7.1.5. 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 [47].

Malzemenin yapısında bulunan hatanın (süreksizliğin) mekanizmasına ve oluşma şekline 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 7.2 'de a, b ve c' de, değişik hata (süreksizlik) türleri için oluşabilecek izler görülmektedir. Şekil 7.2. (a)' da görülen hata sürekli şerit şeklinde izler. Şekil 7.2. (b)'de verilen kesik hat şeklindeki izler. Şekil 7.2. (c)'de verilen küçük delikler ise, yüzey pürüzlülüğü izleridir [50-25].



Şekil 7.2. Farklı süreksizlik izleri [47]

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1. Çalışmanın Amacı

Bu araştırma; malzeme bilimi, kaynak bilimi ve üretim alanlarında literatüre önemli katkılar sağlamak özellikle otomotiv üretim sektöründe kullanılan OPTİM 700 MC ve St 37 çelik çiftlerinin Plazma Transfer Ark kaynağı sonucu davranışları incelenerek yeni literatür bilgileri sağlamayı hedeflemektedir. Piyasadan temin edilen malzemeler 60x120 ebatlarında tel erezyonda kesilerek 12 adet St 37 ve 12 adet OPTİM 700 MC gerekli yüzey temizleme işlemleri yapılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler deneysel işlemler için uygun biçimde numaralandırılmıştır. Değişken 4 parametrede 3 adet farklı kaynaklı birleştirme elde edilmiştir.

Bu çalışmada St 37 ve OPTİM 700 MC çeliklerinin Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak yöntemi ile farklı amperlerde, sabit kaynak hızında ve argon atmosferinde kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Birleştirilen numunelerden çekme numunesi standartlarına uygun olarak; tel erozyon tezgâhında çekme testi numunesi ile mikroyapı ve mikrosertlik hazırlanmıştır. Birleştirilen St 37 ve OPTİM 700 MC çeliklerine aşağıdaki deneysel çalışmaların yapılması öngörülmüştür.

- Kaynaklı birleştirmelerin sıvı penetrant muayenesi ile incelenmesi,
- Kaynaklı birleştirmelerin mikro yapılarının incelenmesi,
- Kaynaklı birleştirmeler SEM, XRD, EDS incelenmesi,
- Kaynaklı birleştirmelerin mikrosertliklerinin incelenmesi,
- Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi,
- Kaynaklı birleştirmelerin çekme testi,

St 37 çeliği ile ye OPTİM 700 MC çeliğinin 4 adet farklı kaynak parametrelerinde Plazma Transfer Ark Kaynak yönteminin seçilmesinin nedeni ise; bu kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göre daha yeni olması, derin nüfuziyetli, dar kaynak dikişinin olması, uygulamalarda otomatik tezgâhların kullanılması, kaynak sonrası ilave metal artık probleminin azlığı ve dolayısıyla elde edilen sonuçların diğer gazaltı kaynak yöntemlerine göre daha olumlu olmasıdır.

8.2. Malzeme ve Metot

PTA kaynağı deneylerinde Tablo 8.1, Tablo 8.3.de kimyasal analizleri, Tablo 8.2.' Tablo 8.4.de mekanik ve fiziksel özellikleri verilmiş olan St37 ve OPTİM 700 MC çelik malzemeler kullanılmıştır. St 37 yapı çeliği ve OPTİM 700 MC çeliği ise piyasadan temin edilmiştir.

Tablo 8.1. Deneyde kullanılan St 37 kimyasal analizi

Malzeme	Malzeme No	Kimyasal Kompozisyon (% olarak)					
		C	Si	Mn (en çok)	P(en çok)	S (en çok)	N(en çok)
St 37,00	1,0254	0,17	-	-	0,40	0,40	0,009 -0,0014

Tablo 8.2. Deneyde kullanılan St 37 mekanik analizi

Malzeme	Malzeme No	Çekme Dayanımı [MPa]	Akma Dayanımı [MPa] (en az)	Uzama [%] (en az)
St 37,0	1,0254	350,0 - 480,0	235,0	25,0

Tablo 8.3. Deneyde kullanılan OPTİM 700 MC kimyasal analizi [41-42-43]

C	Si	Mn	P	S	Al	Ceş
0,10	0,20	2,10	0,020	0,010	0,015	0,37 ile 0,41

Tablo 8.4. Deneyde kullanılan OPTİM 700 MC mekanik analizi [41-42-43]

Plaka kalınlığı Mm	Akma dayanımı MPa	Gerilme direnci MPa	Gerilme direnci MPa	Darbe mukavemeti °C
3.0 -10.0	700 ²	750 – 930	15	-20 ³) 40 ³)

8.3. Numunelerin Hazırlanması

Plazma Transfer Ark kaynağı ile birleştirilecek 3 mm kalınlığındaki St 37 ve OPTİM 700 MC çeliklerine 60x55 mm ölçülerinde Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında parça üzerinde gerekli hassasiyette ölçülendirmeler yapılarak kesilmiştir. Yüzeyler dik ve düzgün olduğundan; kaynaklı

birleştirme öncesinde yüzeylerde çok az miktarda taşlama işlemleri yapılmış ve numuneler kaynaklı bileştirmeye hazır hale getirilmiştir.

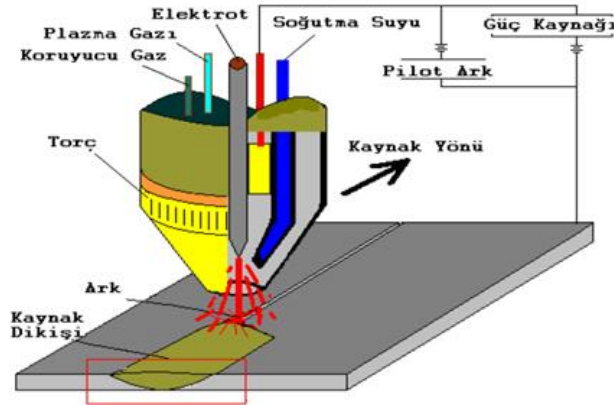
8.4. Plazma Transfer Ark (PTA) Kaynağı ile Birleştirme

PTA kaynak yöntemi ile yapılacak kaynaklı birleştirmeler için kaynak parametreleri, standart kaynak literatüründe oluşan değerler dikkate alınarak Tablo 8.5.'de verilmiştir. Bu değerler esas alınarak kaynak işlemi başlatılmıştır. Birleştirme işleminde, kaynak gücü ve malzeme çiftlerinin birleşmeye etkisi incelendiğinden bu parametreler değiştirilmiş, diğer parametreler ise sabit tutulmuştur.

Tablo 8.5. PTA kaynağında kullanılan sabit kaynak parametreleri

Koruyucu Gaz Debisi (L/dk) Ar	8
Plazma Gazı Debisi (m ³ / h) Ar	0,5
Elektrot Çapı (mm)	4,7
Elektrot	% 2 toryumlu 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 gösterimi Şekil 8.1.'de verilmiştir.



Şekil 8.1. PTA kaynak uygulamasının ve kaynak torcunun şematik resmi [27]

Bu çalışmada kullanılan Plazma Transfer Kaynak Ünitesi Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü kaynak laboratuvarın da mevcut Thermal Dynamic/Arc marka Plazma Transfer Ark kaynak makinesi kullanılmıştır. (Şekil 8.2.)

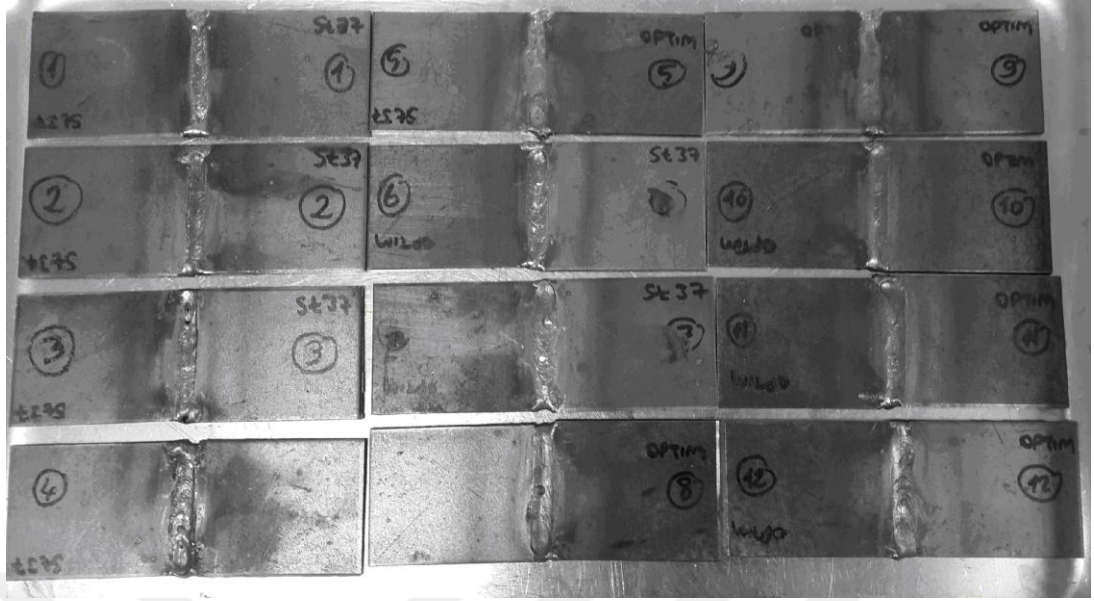


Şekil 8.2. Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Thermal Dynamic/Arc PTA kaynak makinesi

Plazma Transfer Ark kaynak yöntemi ile yapılacak kaynak işleminde uygulanan kaynak gücü değerleri ile kaynak hızları Tablo 8.6.'da verilmiştir. Deneylerde dört farklı kaynak güç parametresi kullanılmıştır. Tablo 8.6.'da verilmiş olan 1,2,3,4, numunelerinde St 37- St 37 çelik; 5,6,7,8, numunelerinde St 37 ile OPTİM 700 MC çelik çifti ve 9,10,11,12, numunelerinde de OPTİM 700 MC ile OPTİM 700 MC çiftleri seçilmiştir. Her bir numune çifti için ilerleme hızı sabit tutularak farklı kaynak amper değeri seçilerek kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 8.6. Çelik çiftlerine uygulanan amper ve ilerleme hızı

Numune Adı	Güç(Amper)	İlerleme Hızı (m/sn)	Çelik Çifti
1	90	0,15	St 37 - St 37
2	100		St 37 - St 37
3	110		St 37 - St 37
4	120		St 37 - St 37
5	90		OPTİM 700 MC - St 37
6	100		OPTİM 700 MC - St 37
7	110		OPTİM 700 MC- St 37
8	120		OPTİM 700 MC - St 37
9	90		OPTİM700MC-OPTİM 700MC
10	100		OPTİM700MC-OPTİM 700MC
11	110		OPTİM700MC-OPTİM 700MC
12	120		OPTİM700MC-OPTİM 700MC



Şekil 8.3. Plazma Transfer Ark Kaynak sonrası malzeme çiftlerinin görünümü

8.5. Kaynak Yapılmış Numunelerin Radyografik Muayeneleri

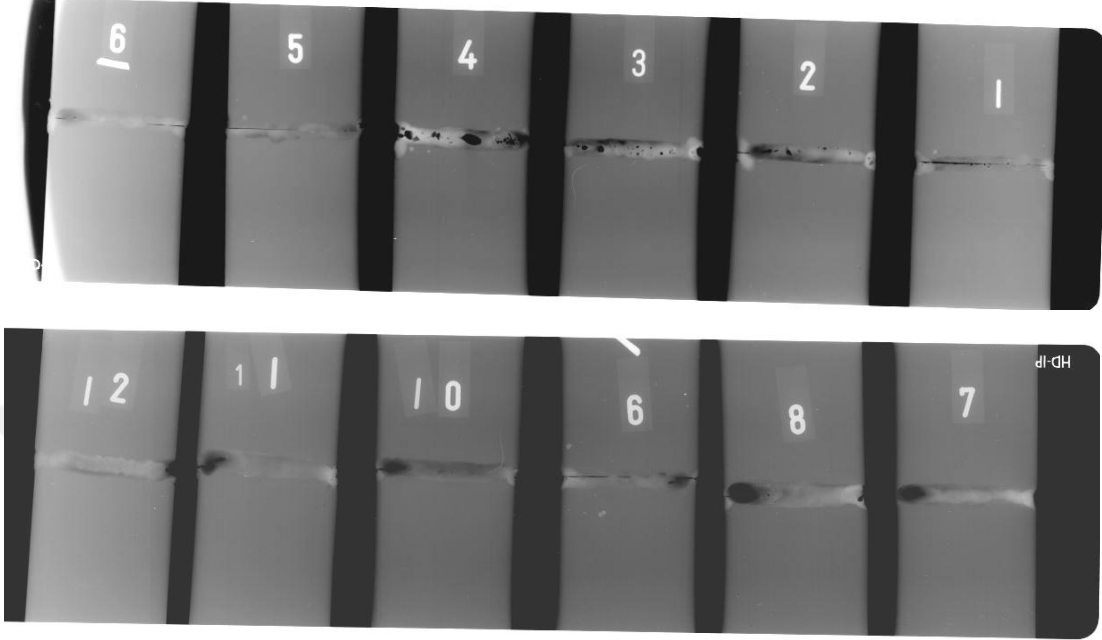
Plazma Transfer kaynak yöntemi ile kaynakları yapılan numunelere, kaynak dikişinde oluşan iç hataların görülmesi için tahribatsız muayene yöntemlerinden bir tanesi olan Radyografik Muayene yöntemi kullanılmıştır. Şekil 8.4.'de gösterilen BaltoSpot Röntgen cihazı kullanılmıştır.



Şekil 8.4. Radyografik muayenede kullanılan Kontrol paneli, Güç kaynağı ve Işınım cihazı

Yöntemde numuneler sıra ile numaralandırılarak, içerisine film yerleştirilmiş kartuşlar üzerine dizilir. Her numunenin üzerine kendi numarasını gösteren kurşun rakamlar yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu kurşun rakamlardan X ışınları geçemeyeceği için film üzerindeki yanma etkisi sınırlı olacaktır ve rakamlar işlem sonrası numune üzerinde görülecektir. Film kartuşları ve numuneler uygun bir şekilde yerleştirilerek ışınlama işlemi yapıldı. Zararlı ışınların insan üzerindeki etkisini azaltmak amacı ile işlemler kurşun

levhalar ile koruması güçlendirilmiş odalarda ışınlama işlemi yapılmıştır. Şekil 8.5. 'de Röntgen çekimi sonrası numuneler görünmektedir.



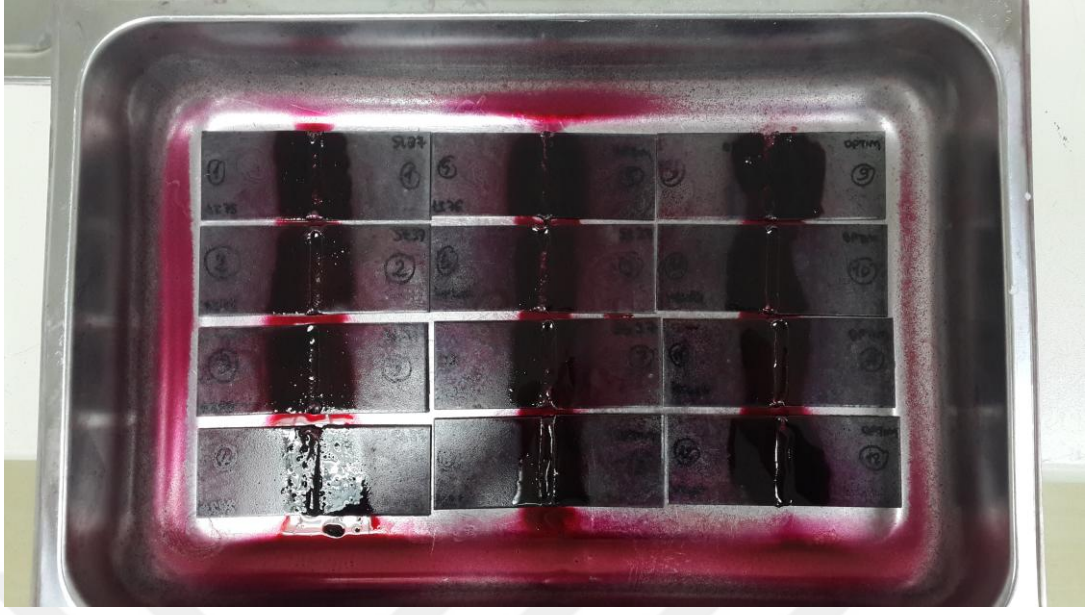
Şekil 8.5. Radyografi işlemi sonrası numune çiftleri.

İşinlama sonrası filmlere gün ışığı etkisinde bırakmadan banyo odalarına alınarak filmler banyo edilmiştir. Banyo edilen numune filmlerinin ışık cihazında kontrolleri yapılmış ve raporu çıkarılmıştır.

8.6. PTA ile 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.

Numunelerin kaynak dikişlerine PFINDER 860 penentran püskürtme yöntemi ile uygulandı. Penetrant uygulamasından önce PFINDER 890 Cleiner ile kaynak dikişleri yabancı maddelerden arındırıldı. Yapılan penetrantın boşluklara nüfuziyetinin iyi olması için 15 dakika kadar beklendi. Şekil 8.6.'dea penetrant uygulaması görülmektedir.



Şekil 8.6. Püskürtme yöntemi ile penetrant uygulanması.

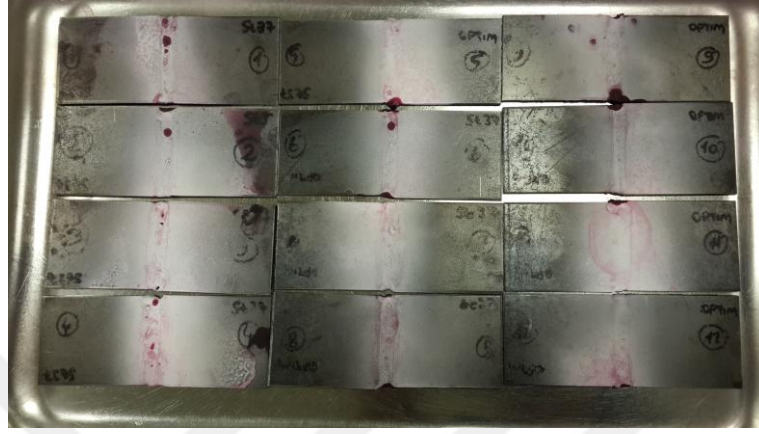
Uygun süre beklendikten sonra fazla penetrantın yüzeyden temizlenmesi için PFINDER 890 Cleiner ile yüzey temizleme işlemi yapıldı. Cleiner bir beze bol miktarda sıkılarak daha önceden uygulanan penetrant üzerine bastırılarak (silme işlemi yapılmadan) fazla penetrant numune üzerinden uzaklaştırıldı.



Şekil 8.7. Fazla penetrantın yüzeyden uzaklaştırılması

Fazla penetranttan temizlenen numunelere PFINDER 871 Developer(geliştirici) uygulaması yapıldı. Şekil 8.8.'de 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 8.9.'da muayene işleminde kullanılan penetrant, cleiner (temizleyici), developer (geliştirici) görülmektedir.



Şekil 8.8. Developer(geliştirici) uygulanan numuneler



Şekil 8.9. Sıvı penetrant muayenesinde kullanılan spreylere çeşitleri

8.7. Tel erezyonu işlemi ile çekme testi numunesi ve mikroyapı numunesinin çıkarma işlemi

Plazma Transfer Ark Kaynağı ile kaynatılmış çelik çiftleri üzerinden mikroyapı ve çekme testi numunelerinin çıkarılması için Gaziantep' de faaliyet gösteren Bayraklı Makine Kalıp firmasında bulunan tel erezyon tezgâhı kullanılmıştır (Şekil 8.10.).



Şekil 8.10. Telerezyon tezgâhı

Tel erezyon tezgâhında bulunan alüminyum bir blok üzerine numunelere uygun ölçülerde boşluk açılır, numuneler bu boşluk üzerine yerleştirildikten sonra sıkıca bağlanarak kesme işlemi yapılmıştır. Şekil 8.11’de kesim esnasında ve kesim sonrasındaki numune boşlukları görünmektedir. Kesme işleminde 1 adet çekme numunesi ve arada çıkan parçalardan da mikrosertlik ve mikroyapı numuneleri Şekil 8.13. ’de kesilen numunelerin ölçüleri gösterilmektedir.



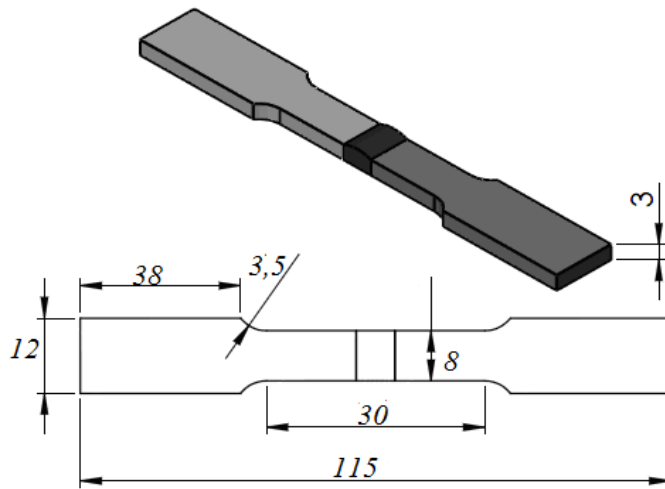
Şekil 8.11. Telerezyon kesim sonrasındaki numune boşlukları.

8.8. Çekme Testi

Kullandığımız çelik çiftlerinin yüklenme esnasında şekil değiştirme ve yük taşıma kabiliyeti gibi davranışları (mekanik özelliklerini) tespit amacı için çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme deneyi testi Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme mühendisliği bölümü laboratuvarların da 50 kN yük kapasitesine sınırlı çekme cihazında (Şekil 8.12.) 1 mm/dk çekme hızında ve TSE 138 EN 10002-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Malzeme çiftlerinin çekme deneyinde kullanılan kaynaklı numune ölçüleri çekme test çubuğu Şekil 8.13’de gösterilmiştir.



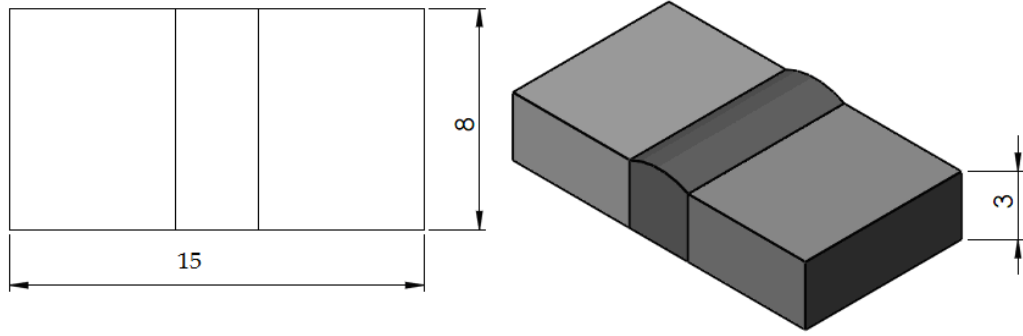
Şekil 8.12. Çekme test cihazı



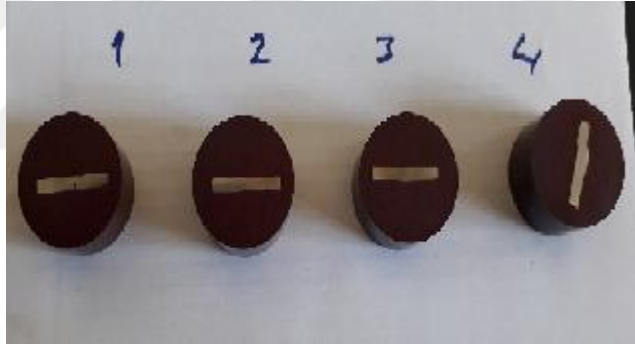
Şekil 8.13. Çekme test numunesi ölçüleri ve çekme numunesi(TSE 138 EN 10002-1).

8.9. Mikroyapı İncelemeleri

Mikroyapı inceleme çalışmaları Fırat Üniversitesi Prof. Dr Nuri ORHAN Metalografi laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 8.14. Mikroyapı numunesi kesim ölçüleri



Şekil 8.15. Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numuneler

Struers marka hassas kesme makinasında XRD, SEM ve mikroyapı numuneleri uygun ölçülere getirilmiştir Zımparalama işleminde numunelerin rahatlıkla tutulabilmesi açısından parçalar sıcak bakalite alınmıştır. Metalografik incelemeler için numunelerin yüzeyleri sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200, 2000 mesh'lik zımparalarda temizlendikten sonra, numuneler 1 μm 'lik elmas pasta ile parlatılmıştır. İşlem sonrası numuneler kimyasal dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Metalografik çalışmada kullanılan dağlayıcı çözeltileri ve süreleri Tablo 8.7.'de verilmiştir.

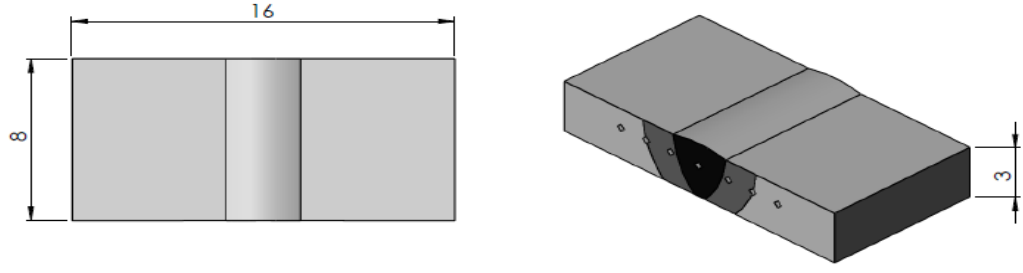
Tablo 8.7. Metalografik incelemede kullanılan dağlayıcılar ve dağlama süreler

Dağlanacak Malzeme	Dağlayıcı adı ve bileşimi	Dağlama süresi
St 37- St 37 numuneler	Nital (%2 NHO3 + %98 Etil alkol)	3 sn
OPTİM 700 MC-St 37 numuneler	Nital (%2 NHO3 + %98 Etil alkol)	3 sn
OPTİM 700 MC – OPTİM 700 MC numuneler	Nital (%2 NHO3 + %98 Etil alkol)	3 sn

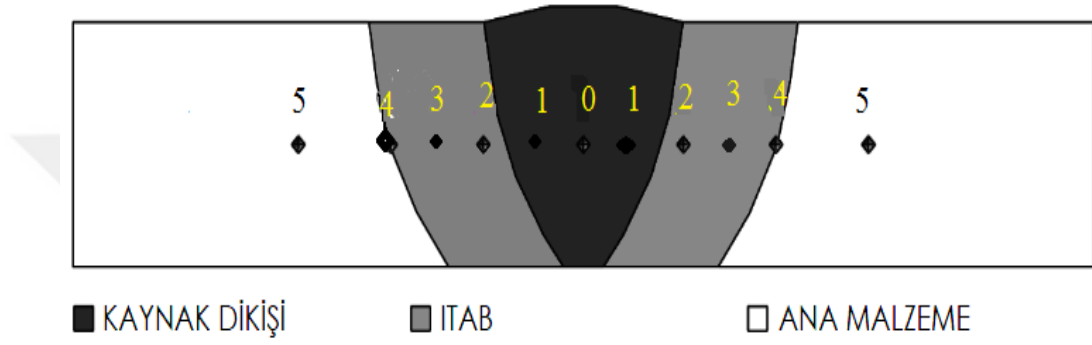
Optik mikroskop incelemeleri Fırat Üniversitesi Prof.Dr Nuri ORHAN Metalografi laboratuvarında bulunan Nikon Eclipse MA 150 optik mikroskopta yapılmıştır. Kaynak, ITAB ve ana malzemeden olmak üzere farklı noktalardan 50 ,100 ,200 ,500 kat büyütme ile mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Numune çelik çiftleri ve çekme işlemi sonrası kırık yüzeyler SEM, EDS, XRD ile incelenmiştir.

8.10. Mikrosertlik Ölçümleri

Plazma transfer ark (PTA) kaynak yöntemi ile birleştirilmiş St 37- St 37, OPTİM 700 MC-St 37, OPTİM 700 MC - OPTİM 700 MC numuneler çelik çiftlerinden mikrosertlik için alınan numuneler Şekil 8.16 'de görülen ölçülerde kesilmiştir. Mikrosertlik için hazırlanan numunelerin yüzey işlemleri yapıldıktan sonra mikrosertlik ölçümleri Şekil 8.17'da görünen noktalardan, Fırat Üniversitesi Prof. Dr Nuri ORHAN Metalografi Laboratuvarında mevcut Duraschan 20 mikrosertlik cihazında uygulanmıştır. Mikrosertlik ölçümleri Vickers (HV)sertlik skalası ile 500 gr'lık yük altında uygulanmıştır Mikrosertlik işlemi kaynak dikişinden bir noktadan alındıktan sonra sağa ve sola gidilerek, ITAB bölgelerinden ve ana ile birlikte, bir numunede toplam 11 adet ölçüm alınmıştır.



Şekil 8.16. Mikrosertlik numunesi ölçüleri



Şekil 8.17. Mikrosertlik numunesinden sertlik alınan 11 bölge

9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI

9.1. Kaynaklı Birleştirmeler sonrası Sıvı Penetrant Testlerinin İncelenmesi

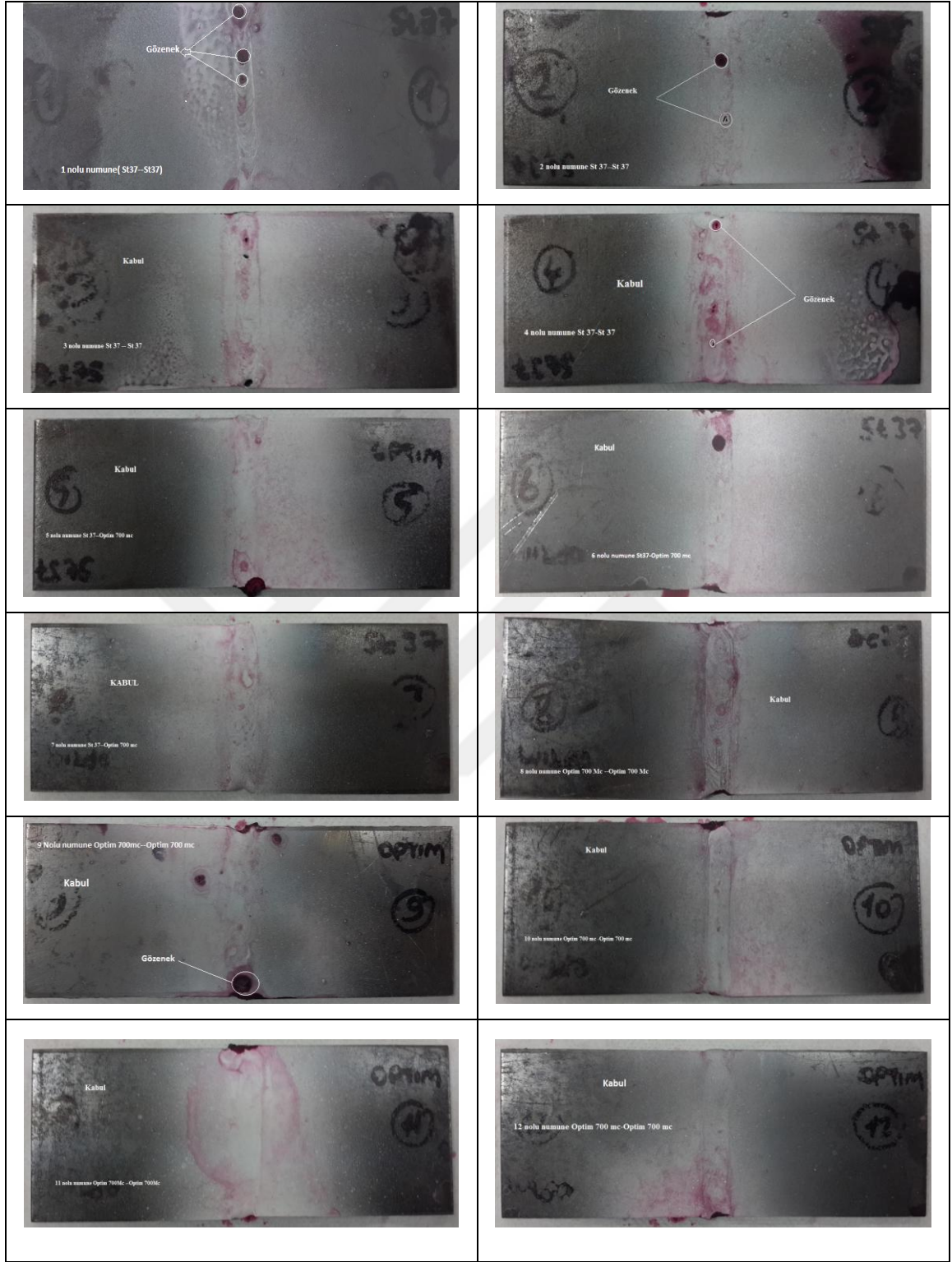
PTA kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin; sıvı penetrant yöntemine ait parametreler Tablo 9.1.'de verilmiştir. Tabloda belirlenen veriler ISO standartlarına göre belirlenmiş verilerdir.

Tablo 9.1. Sıvı penetrant muayene parametreleri

	Test Standartı	Uygulanan Test Materyali	Uygulama Yöntemi	Bekleme Süresi	Görünür Işık Şiddeti
Penetrant	TS EN ISO 3452-1	PFINDER 860	Püskürterek	15 min./dk	600 Lux
Cleiner	TS EN ISO 3452-1	PFINDER 871	Püskürterek	5 min./dk	600 Lux
Developer	TS EN ISO 3452-1	PFINDER 871	Püskürterek	15 min./dk	600 Lux

Plazma Transfer Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen kaynaklarda; farklı amper değerleri uygulanmış ve ilerleme hızı sabit tutularak birleştirilmiştir. 1-5-9 nolu numuneler 90A'da, 2-6-10 nolu numuneler 100 A'da, 3-7-11 nolu numuneler 110A'da, 4-8-12 nolu numuneler 120 A'de kaynak edilmiştir. Sıvı penetrant testinde kaynak başlama ve bitiş noktalarındaki 10'ar mm'lik kısımlar muayeneye dahil edilmez. Bunun sebebi kaynak başlangıcında ve bitişinde oluşabilecek ark hataları, kaynak öncesi yapılan puntalar ve özellikle kaynak başlangıç noktasında koruyucu gazın istenilen seviyede gelmemesinden dolayı bu bölgelerde kaynak hataları oluşma olasılığı yüksektir. Bu hatalardan ötürü bu bölgelerde oluşan hatalar göz ardı edilir. Ayrıca kaynak dikişi de görülebilecek 1mm çapından küçük hatalar da göz ardı edilir. Çelik çiftlerinin sıvı penetrant resimleri ve hataları Şekil 9.1.'de gösterilmiştir.

Plazma Transfer Ark ile yapılan kaynaklarda 1-9-2 nolu numunede 1mm çapından büyük boşluklar gözlenirken, 3-5-6-7-8-10-11-12 numaralı numunelerde yüzeysel bir hata gözlemlenmemiştir. 4 nolu numunelerde ise 1mm den daha küçük boşluklar gözlemlenmiştir ve bu hatalar olumsuzluk olarak değerlendirilmemiştir.

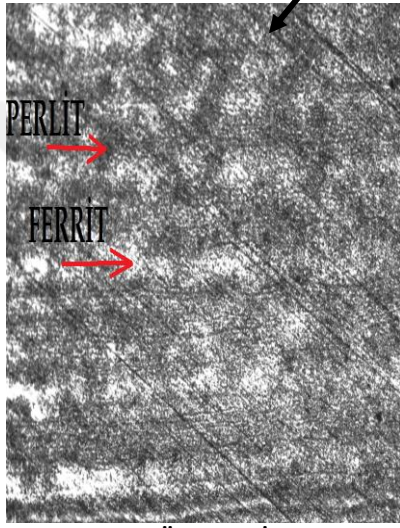
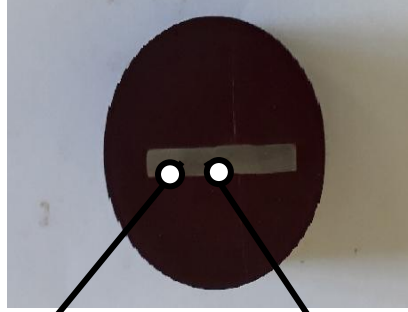


Şekil 9.1. Sıvı penetrant işlemi sonrası numune çiftleri

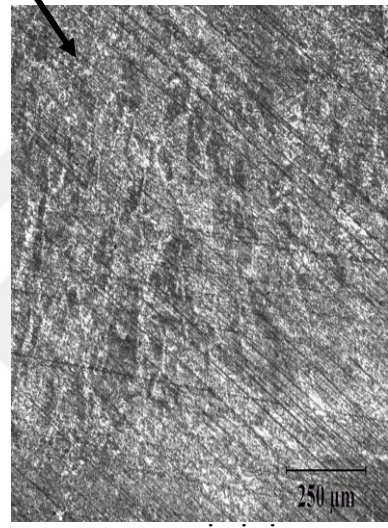
9.2. Kaynaklı Birleştirme Sonrası Mikroyapının İncelenmesi

Plazma Transfer Ark kaynak (PTA) yöntemi ile birleştirilen çelik çiftlerinin, birleşme bölgelerinde meydana gelen yapısal farklılıklar, bu numunelerden alınan kaynak bölgesi (ITAB) ile esas metal ve geçiş bölgelerinin mikroyapı görüntüleri incelenerek değerlendirildi. Bu çalışmada kullanılan OPTİM 700 MC ve St 37 çeliklerin mikroyapıları ferrit ve perlit fazları içermektedir. Çelik çiftlerine farklı kaynak gücünde yapılan birleştirmeler metalografik olarak incelendiğinde; kaynak dikişinin homojen bir yapıya sahip olduğu ve nufuziyetin, uygulanan kaynak gücüne bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. 90A den daha düşük değerlerde yapılan birleştirmelerin yetersiz olduğu görülmüştür. 120 A değerinden daha yüksek değerlerde yapılan birleştirmede ise malzemelerin deforme olduğu tespit edilmiştir. Yapılan birleştirmelerde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Kaynak bölgesinde çatlak oluşmaması, intermetalik fazların çatlama etkisi oluşturmadığı anlamına gelmektedir. Mikroyapı görüntülerinden görüldüğü gibi, katılaşma ana metalden başlayıp ve dikey olarak kaynak noktasına ilerlemiştir. Bu türde katılaşma türüne epitaksiyel katılaşma denilmektedir. Daha çok ısı girdisi olan ve tavlama etkisi altında kalan noktalarda daha iri tanelerin oluştuğu gözlenmiştir. Şekil 9.2. den Şekil 9.12 kadar çelik çiftlerinin kaynak dikişi ve ITAB bölgelerinden alınan 50X-100X-200X-500X Mikro büyütmeleri görülmektedir.

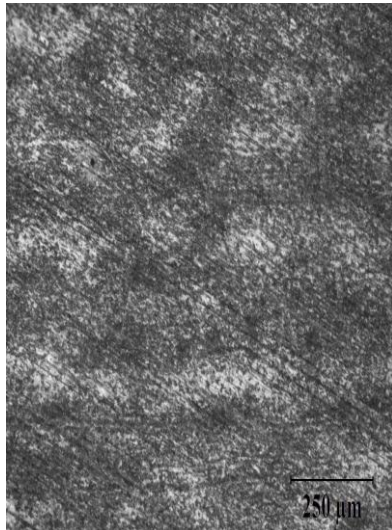
1 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı (90 A)



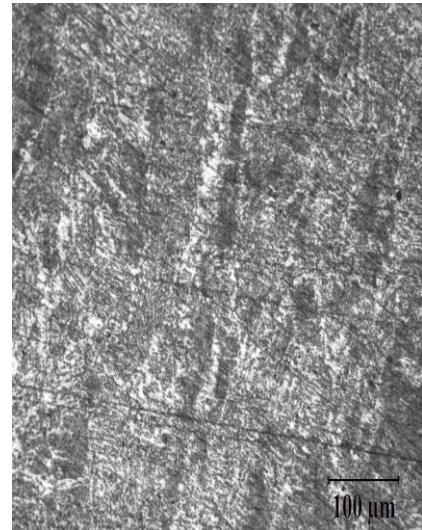
ITAB BÖLGESİ 100 X



KAYNAK DİKİŞİ 100 X

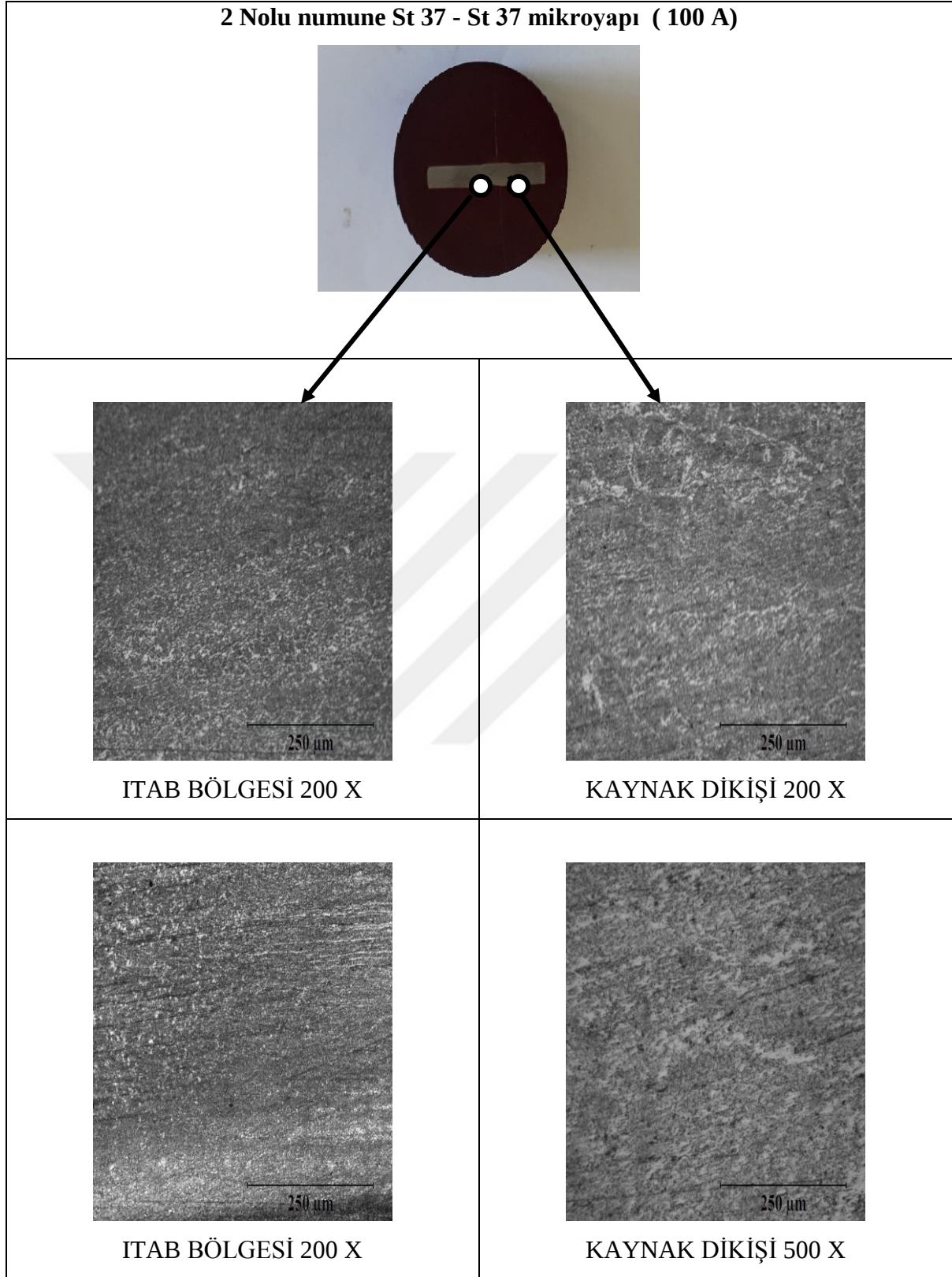


ITAB BÖLGESİ 200 X



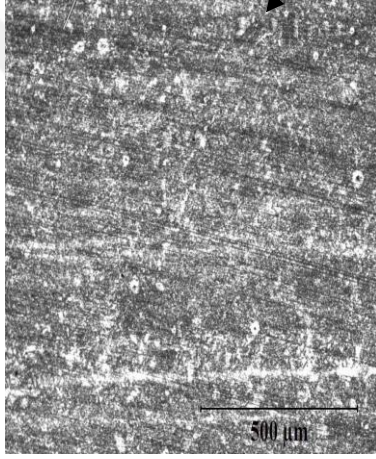
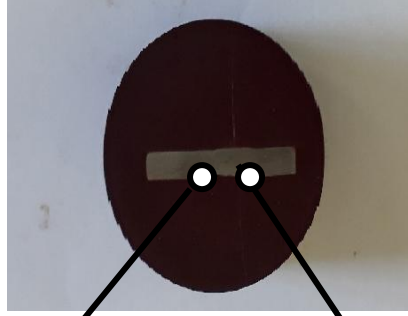
KAYNAK DİKİŞİ 200 X

Şekil 9.2. 1 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı görüntüleri (90 A)

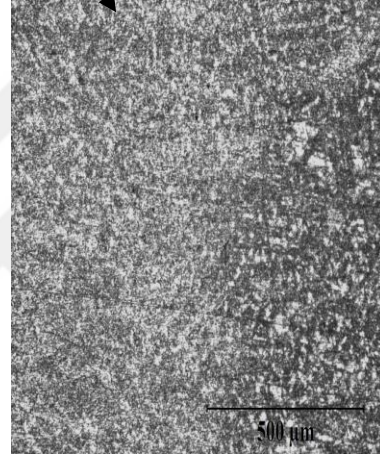


Şekil 9.3. 2 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı görüntüleri (100 A)

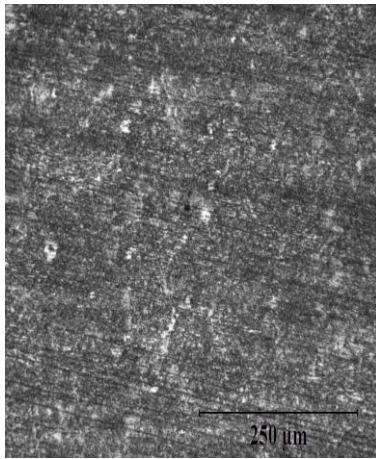
3 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı (110 A)



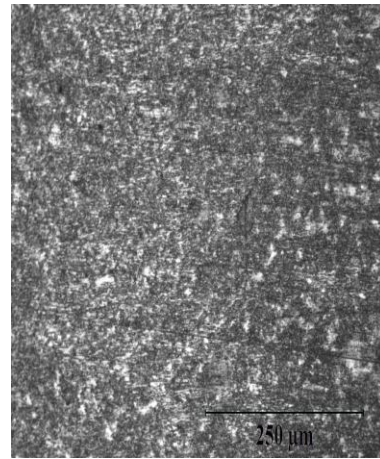
ITAB BÖLGESİ 100 X



KAYNAK DİKİŞİ 100 X



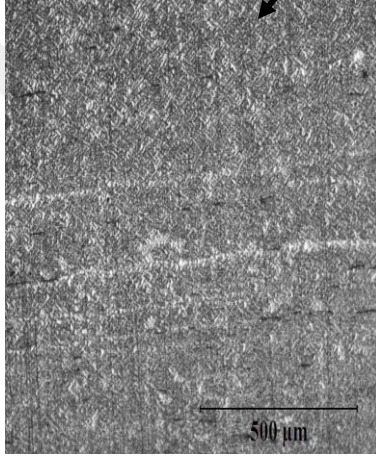
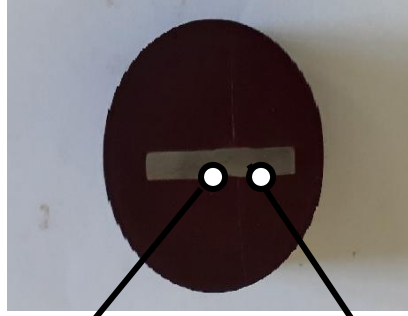
ITAB BÖLGESİ 200 X



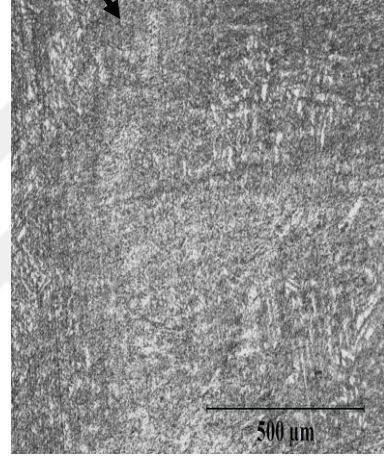
KAYNAK DİKİŞİ 200 X

Şekil 9.4. 3 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı (110 A)

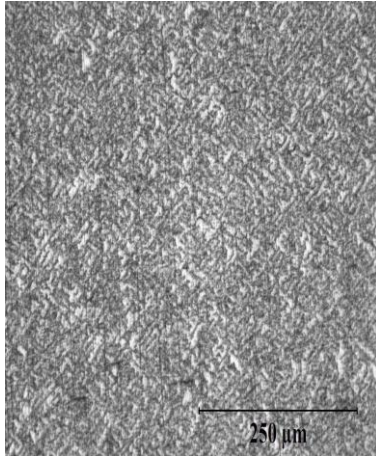
4 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı (120 A)



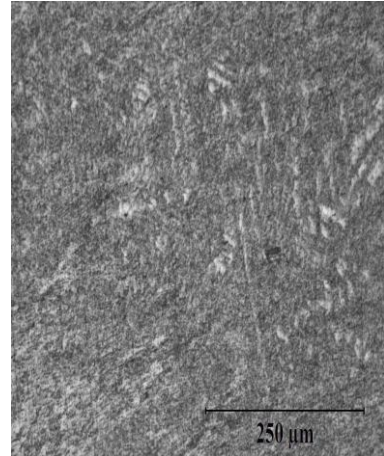
ITAB BÖLGESİ 100 X



KAYNAK DİKİŞİ 100 X



ITAB BÖLGESİ 200 X

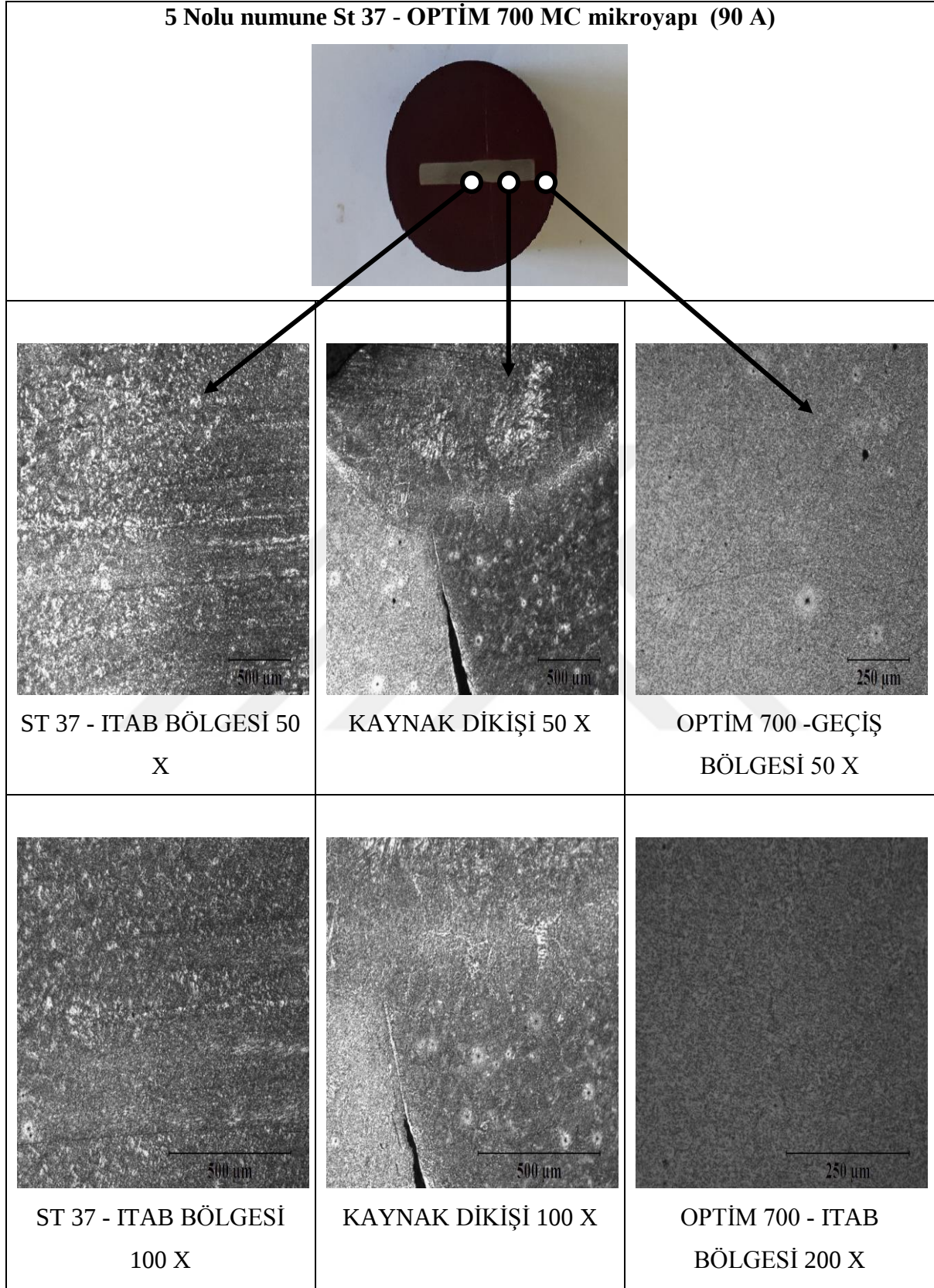


KAYNAK DİKİŞİ 200 X

Şekil 9.5. 4 Nolu numune St 37 - St 37 mikroyapı (120 A)

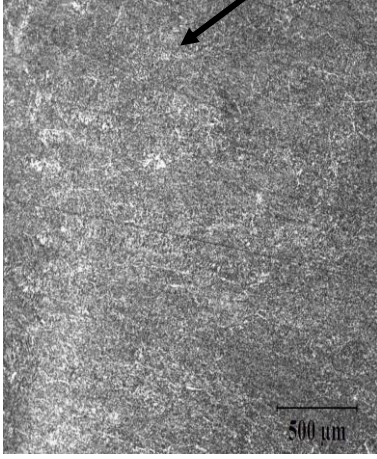
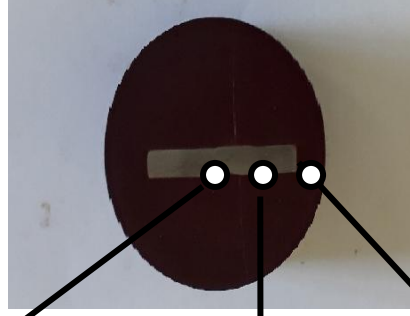
St 37-St 37 eliklerin 90A-100A-110A-120A'de yapılan birleştirmelerinde mikroyapıların ferrit ve perlit fazları içerdiği gözlemlenmiştir. elik çiftlerine farklı kaynak gücünde yapılan birleştirmelere metalografik açıdan baktığımızda, kaynak dikişinin homojen bir görünüme sahip olduğu görülmektedir. Yapılan kaynakta nufuziyetin, uygulanan kaynak amper değerinin artmasıyla bağlantının mukavemetinin de da arttığı görülmüştür. En iyi birleşmenin 110A'da yapılan 3 nolu numune olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan birleştirmede, geçiş bölgelerinde çatlak oluşumu gözlenmemiştir.



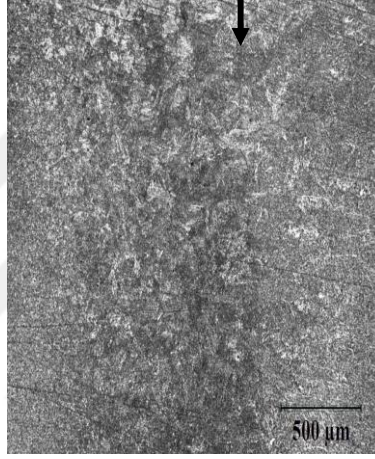


Şekil 9.6. 5 Nolu numune St 37 - OPTİM 700 MC mikroyapı (90 A)

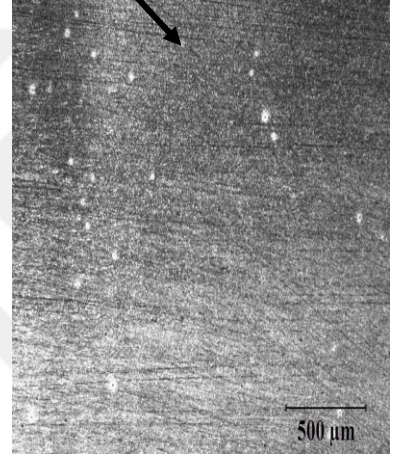
6 Nolu numune St 37 – OPTİM 700 MC mikroyapı (100 A)



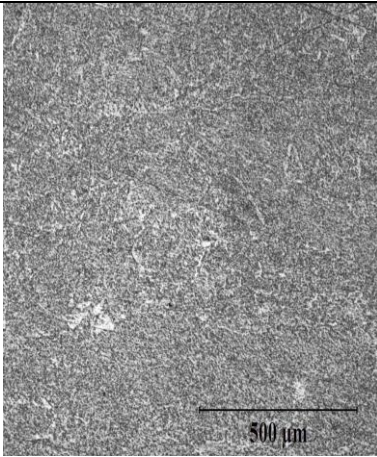
ST 37 - ITAB BÖLGESİ
50X



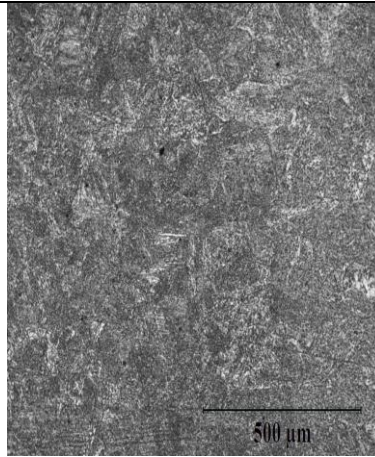
KAYNAK DİKİŞİ 50 X



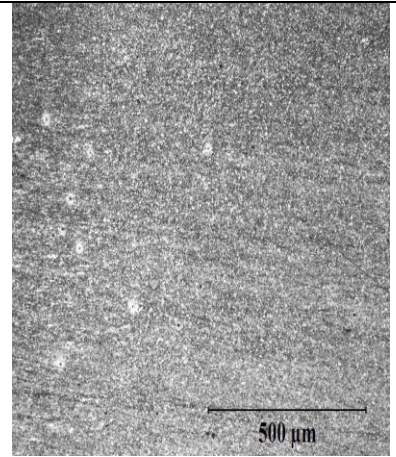
OPTİM 700 - ITAB
BÖLGESİ 50 X



ST 37 - ITAB BÖLGESİ
100 X



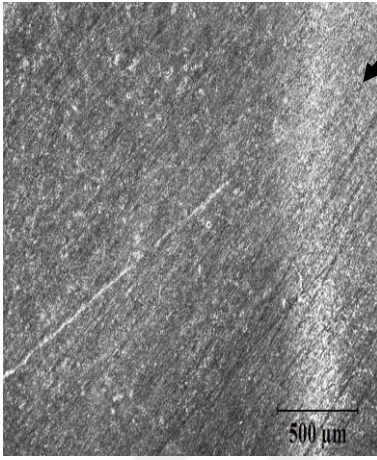
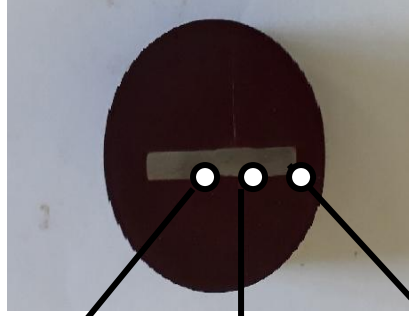
KAYNAK DİKİŞİ 100 X



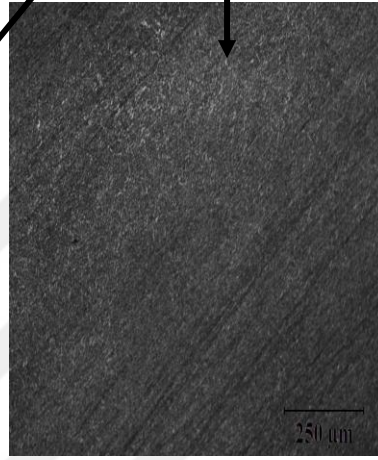
OPTİM 700 - ITAB
BÖLGESİ 100 X

Şekil 9.7. 6 Nolu numune St 37 - OPTİM 700 MC mikroyapı (100 A)

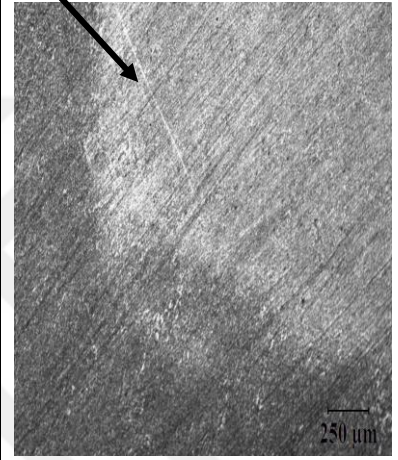
7 Nolu numune St 37 - OPTİM 700 MC mikroyapı (110 A)



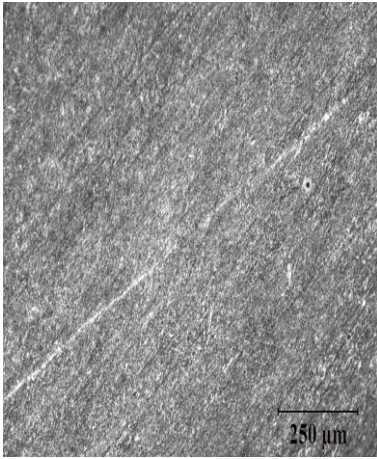
ST 37 - ITAB BÖLGESİ 50 X



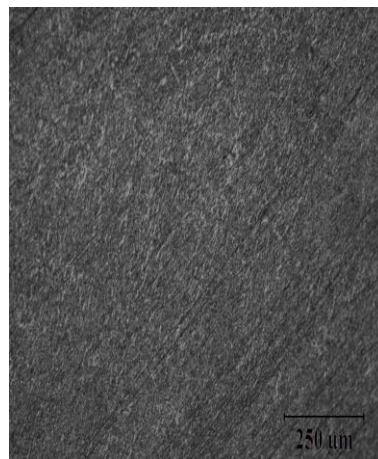
KAYNAK DİKİŞİ 50 X



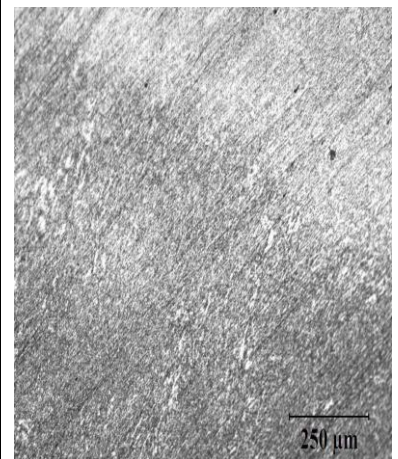
OPTİM 700 - ITAB BÖLGESİ 50



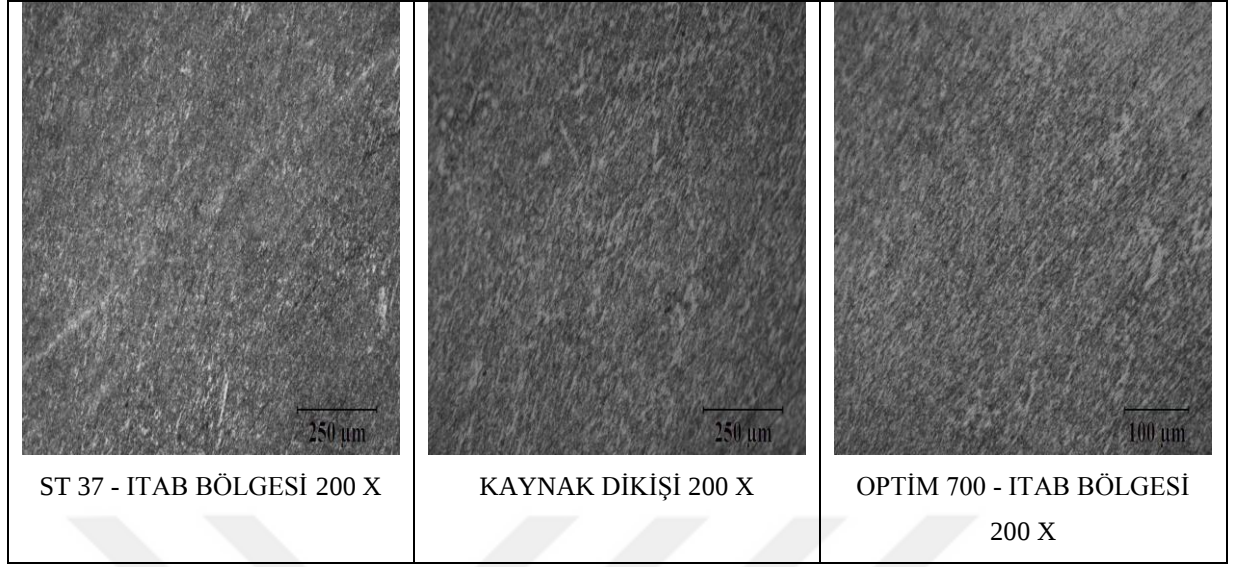
ST 37 - ITAB BÖLGESİ 100 X



KAYNAK DİKİŞİ 100 X

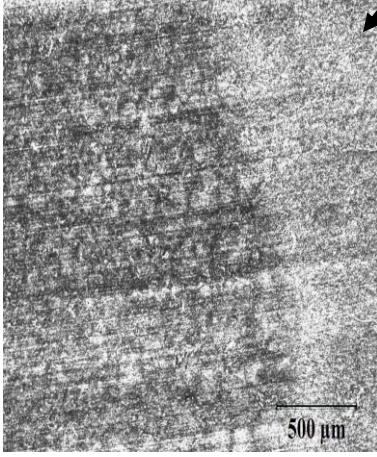
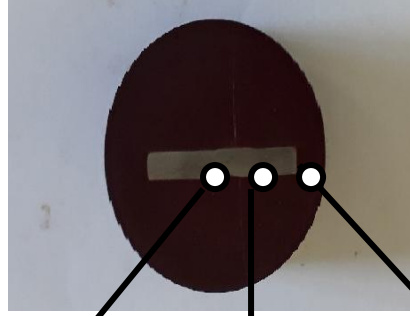


OPTİM 700 - ITAB BÖLGESİ
100 X

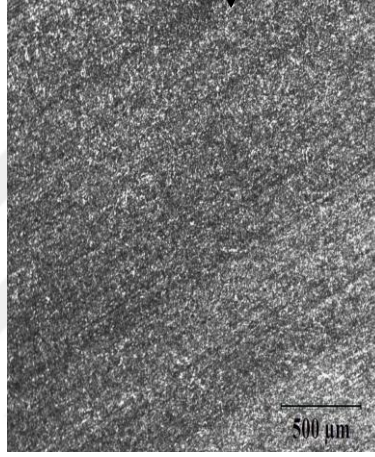


Şekil 9.8. 7 Nolu numune St 37 – OPTİM 700 MC mikroyapı (110 A)

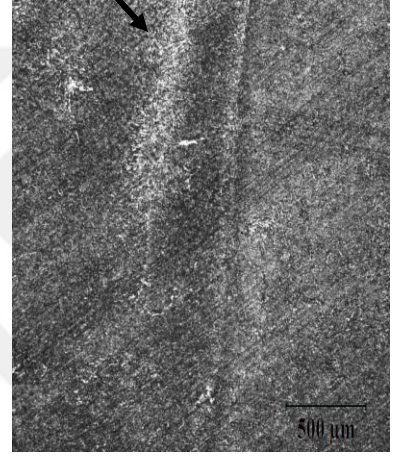
8 Nolu numune St 37 – OPTİM 700 MC mikroyapı (120 A)



ST 37 - ITAB BÖLGESİ 50 X



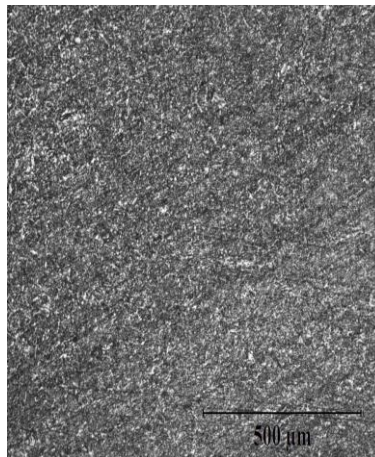
KAYNAK DİKİŞİ 50 X



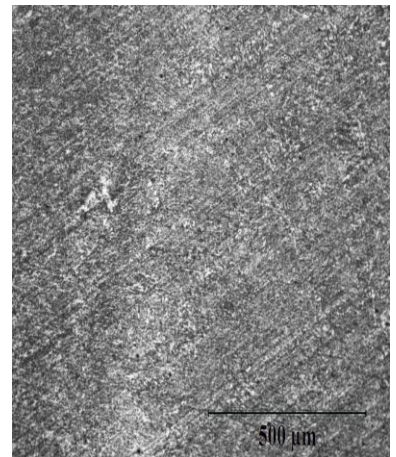
OPTİM 700 - ITAB BÖLGESİ
200 X



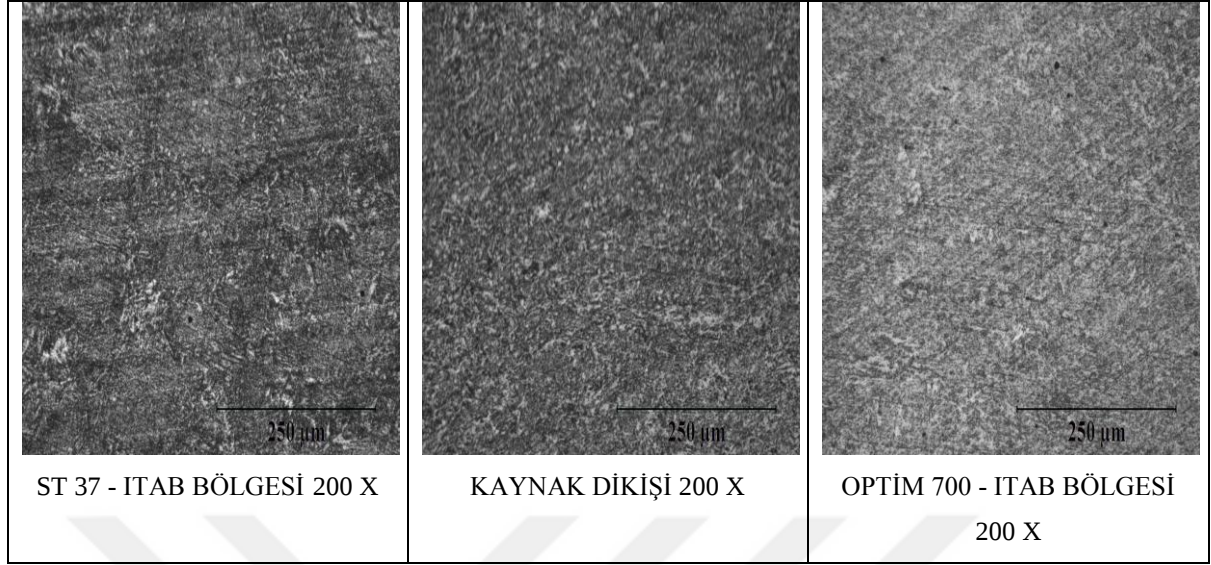
ST 37 - ITAB BÖLGESİ 100 X



KAYNAK DİKİŞİ 100 X



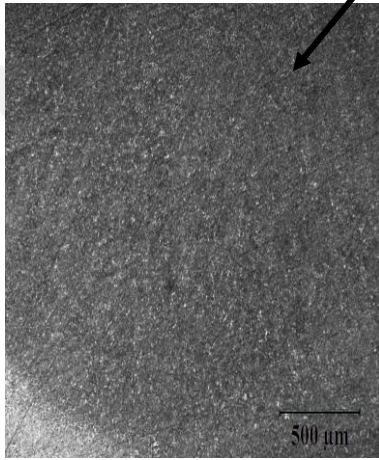
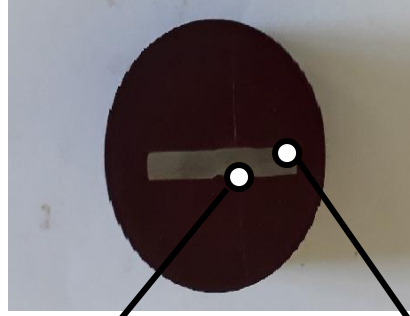
OPTİM 700 – ITAB BÖLGESİ
100X



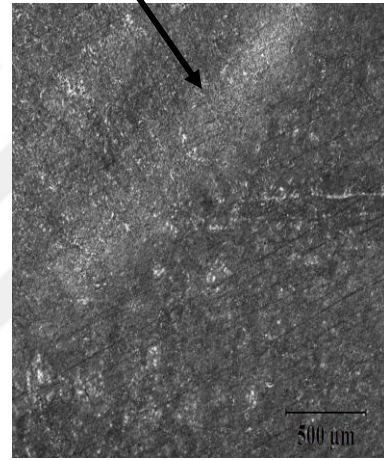
Şekil 9.9. 8 Nolu numune St 37 - OPTİM 700 MC mikroyapı (120 A)

OPTİM 700-St 37 çelikleri 90A-100A-110A-120A’de yapılan birleştirmelerin de mikroyapıların ferrit ve perlit fazları içerdiği gözlemlenmiştir. Çelik çiftlerine farklı kaynak gücünde yapılan birleştirmeleri metalografik olarak incelediğimizde kaynak bölgesi dikişinin homojen bir yapıda olduğu görülür. Yapılan kaynakta; nufuziyetin uygulanan kaynak gücüne bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. En iyi birleşmenin 120A’ da yapılan 8 nolu numune olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan birleştirmede çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

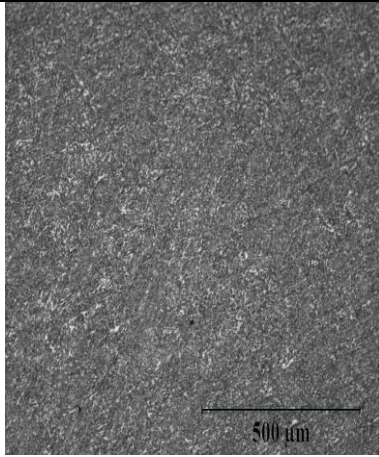
9 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (90 A)



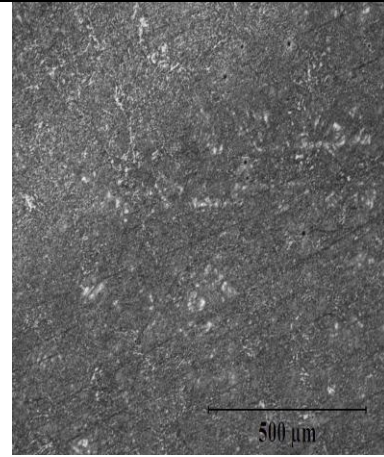
KAYNAK DİKİŞİ 50X



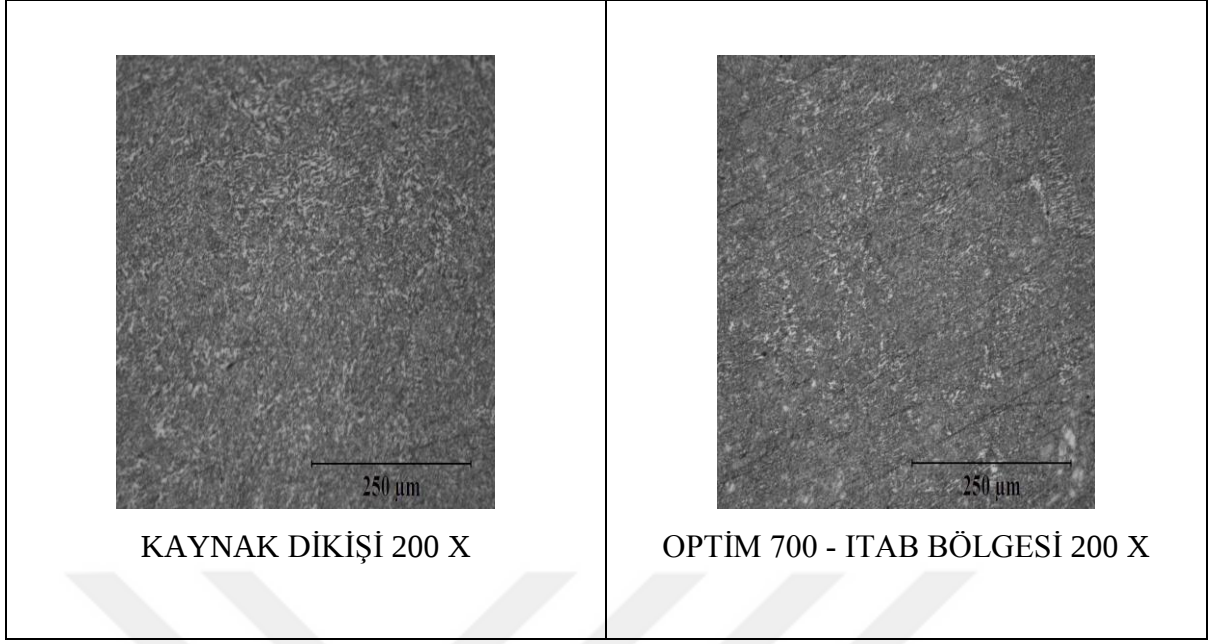
OPTİM 700 -ITAB BÖLGESİ 50 X



KAYNAK DİKİŞİ 100 X

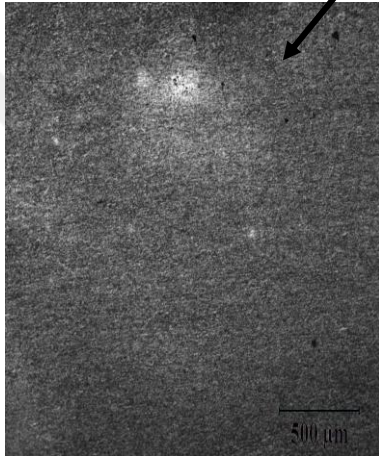
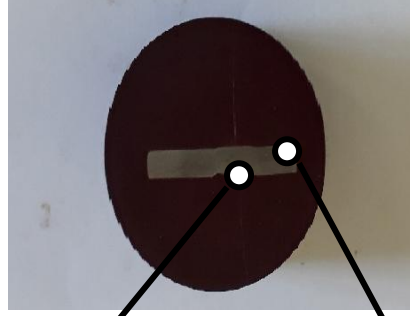


OPTİM 700 - ITAB BÖLGESİ 100 X

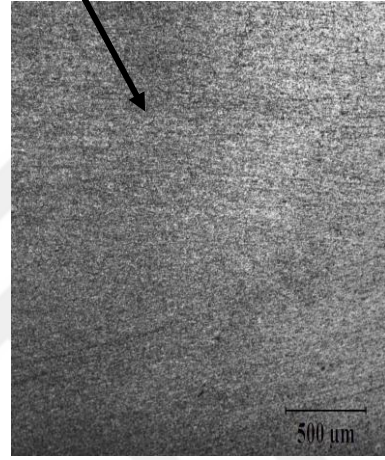


Şekil 9.10. 9 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (90 A)

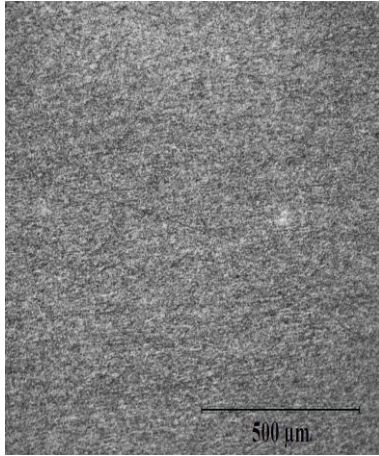
10 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (100 A)



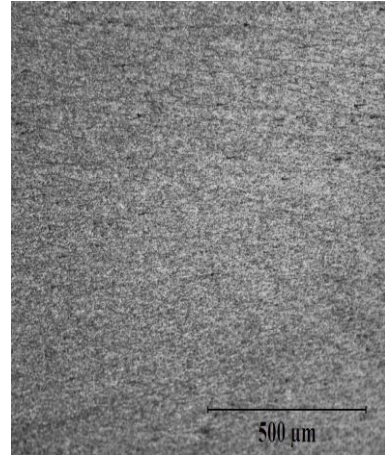
KAYNAK DİKİŞİ 50 X



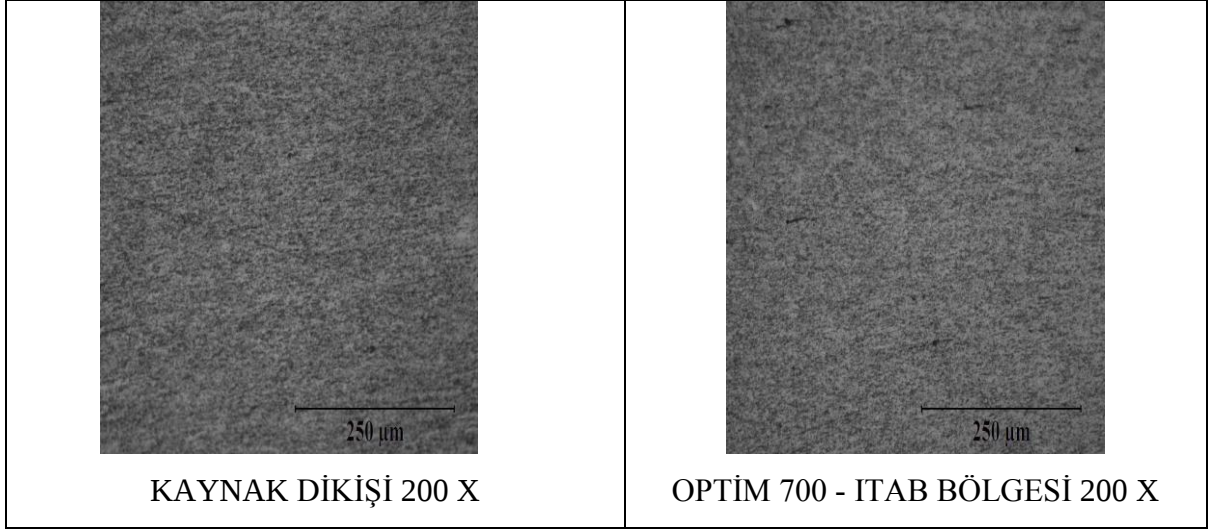
OPTİM 700 - ITAB BÖLGESİ 100 X



KAYNAK DİKİŞİ 100 X

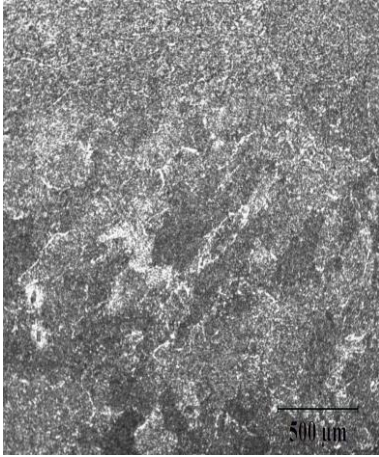
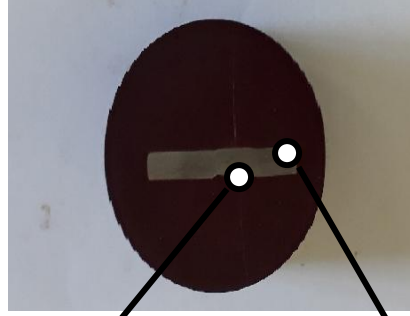


OPTİM 700 - ITAB BÖLGESİ 100 X

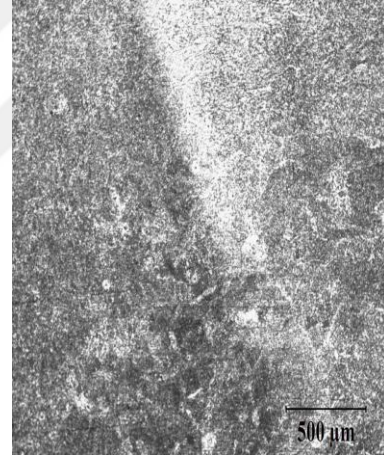


Şekil 9.11. 10 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (100 A)

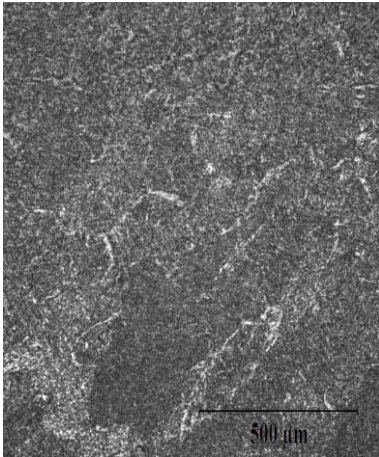
11 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (110 A)



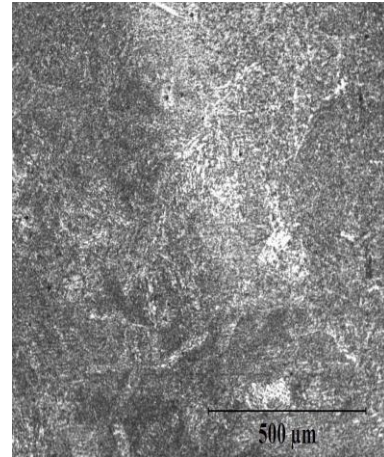
KAYNAK DİKİŞİ 50 X



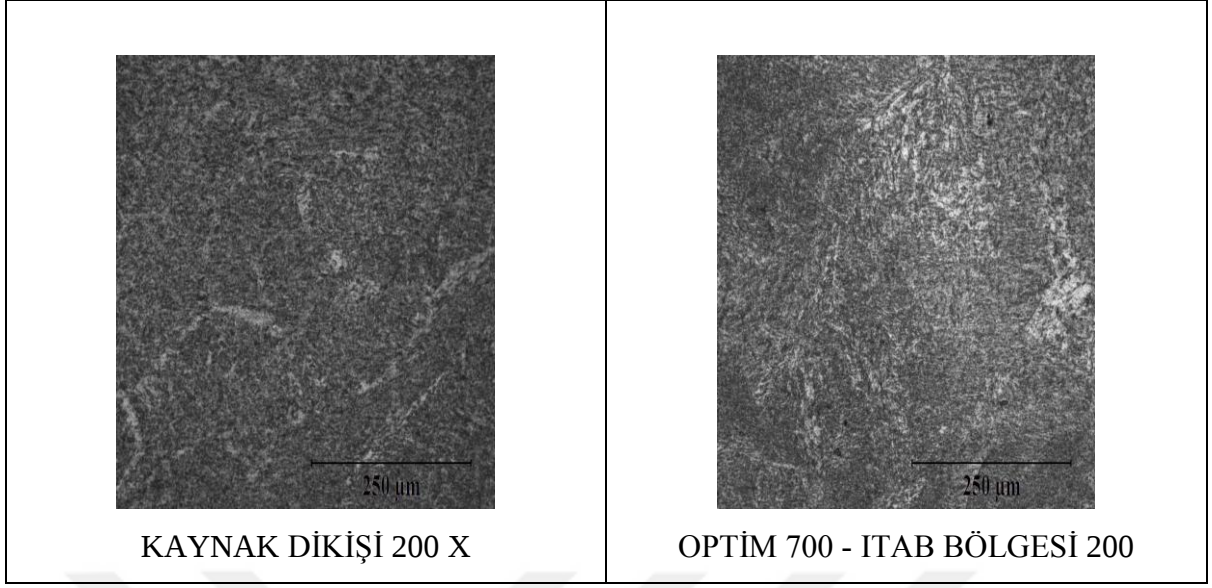
OPTİM 700 - ITAB BÖLGESİ 50X



KAYNAK DİKİŞİ 100 X

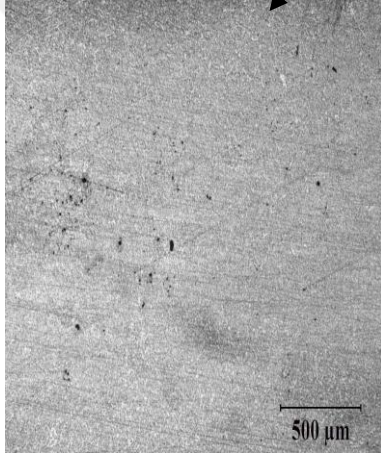
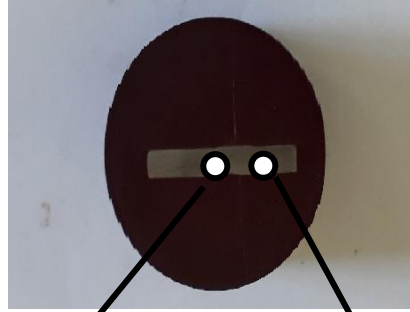


OPTİM 700 - ITAB BÖLGESİ 100

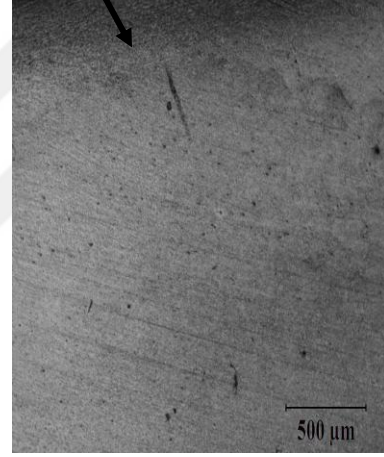


Şekil 9.12. 11 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (110 A)

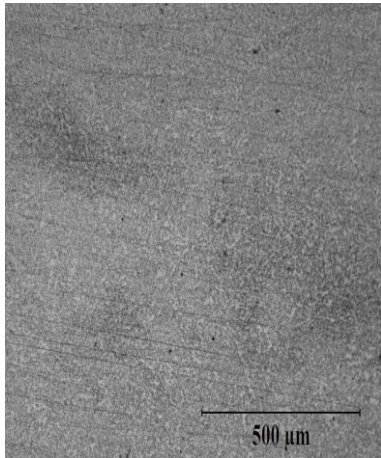
12 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (120 A)



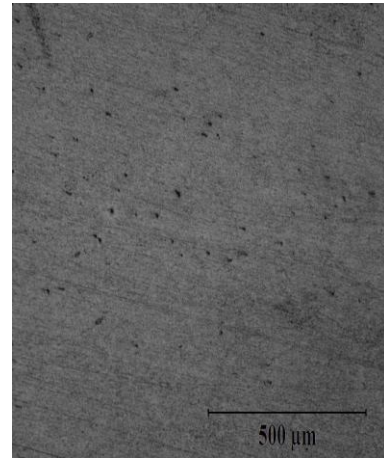
KAYNAK DİKİŞİ 50 X



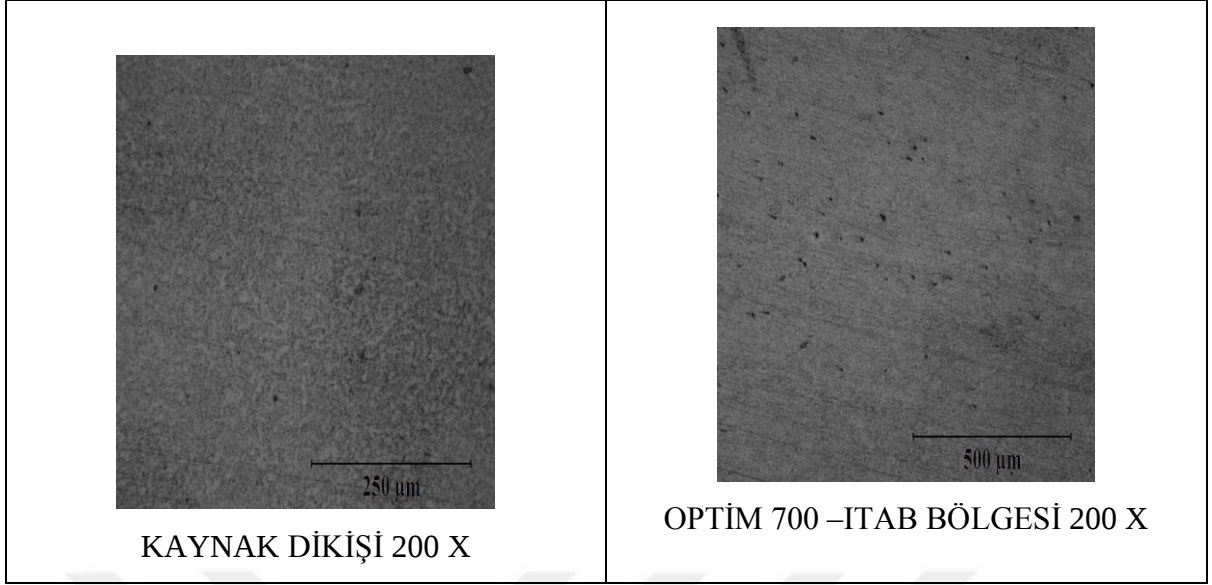
OPTİM 700 - ITAB BÖLGESİ 50 X



KAYNAK DİKİŞİ 100 X



OPTİM 700 - ITAB BÖLGESİ 100 X



Şekil 9.13. 12 Nolu numune OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC mikroyapı (120 A)

OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC çeliklerin 90A-100A-110A-120A’da yapılan birleştirmelerde mikroyapıların ferrit ve perlit fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Bu çelik grubu için farklı kaynak gücünde yapılan birleştirmeleri metalografik olarak incelendiğinde; kaynak dikişinin homojen bir yapıya sahip olduğu ve kaynak nufuziyetinin uygulanan kaynak gücüne bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. En iyi birleşmenin 110 A ‘de kaynaklanan 11 nolu numunede olduğu ve birleştirme işleminde çatlak ve benzer yapıya rastlanmamıştır.

9.3. Kaynaklı Birleştirmelerin Mikrosertlik Analizinin İncelenmesi

Şekil 9.14.' de St 37 ile St 37 çelik çiftinin, Şekil 9.15.'de St 37 ile OPTİM 700 MC çelik çiftinin, Şekil 9.16.'da ise OPTİM 700 MC ile OPTİM 700 MC çelik çiftlerinin 90A, 100A, 110A, 120A de birleştirilmiş numunelerinden alınan mikrosertlik değerleri görülmektedir. Mikrosertlikte kullanılan grafik kodlaması tanımları Tablo 9.2.'de verilmiştir.

Tablo 9.2. Grafiklerdeki kodlamaların karşılıkları

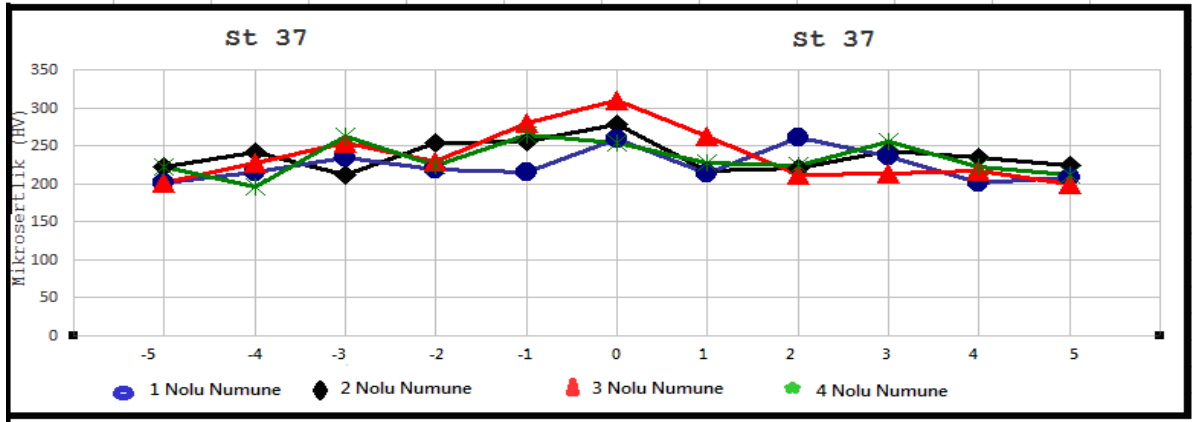
Numuneler	1,2,3,...,12 nolu numune
K0	Kaynak dikişi mikrosertlik değeri
SI	St 37 çeliğinin ITAB Orta bölgesi mikrosertlik değeri
S2	St 37 çeliğinin ITAB S1 den 1mm sonra alınan mikrosertlik değeri
S3	St 37 çeliğinin ITAB ile ana malzeme çizgisinden alınan mikrosertlik değeri
S4	St 37 ana malzeme çizgisinden alınan mikrosertlik değeri
S5	St 37 ana malzeme çizgisinden alınan mikrosertlik değeri
M1	OPTİM 700 MC çeliğinin ITAB Orta bölgesi mikrosertlik değeri
M2	OPTİM 700 MC çeliğinin ITAB ile ana malzeme çizgisinden alınan mikrosertlik değeri
M3	OPTİM 700 MC çeliğinin ITAB ile ana malzeme çizgisinden alınan mikrosertlik değeri
M4	OPTİM 700 MC çeliğinin ITAB S1 den 1mm sonrası mikrosertlik değeri
M5	OPTİM 700 MC ana malzeme çizgisinden alınan mikrosertlik değeri

Çelik çiftlerinde yapılan mikrosertlik ölçümleri sonuçlarının tümünde, ölçüm sonuçları incelendiğinde; ITAB 'da sertlik değerinin St 37 ve OPTİM 700 MC ana malzemelerin sertlik değerine göre arttığı gözlemlenmiştir.

Bu duruma; St 37 - OPTİM 700 MC numunelerinin kaynak bölgesinde oluşan ısı dönüşümlere bağlı olarak meydana gelen fazların neden olduğu düşünülmektedir. Plazma Transfer Ark kaynağının mekanizmasında var olan yüksek ısı girdisi kaynak dikişlerinde, soğuma esnasında ani sertleşmelere neden olmaktadır. Isı girdisinde kontrollü bir soğuma olmaması ITAB 'da sertlik değerinin azda olsa yükselmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada elde ettiğimiz mikrosertlik değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

Tablo 9.3. St 37- St 37 numuneleri mikrosertlik değerleri

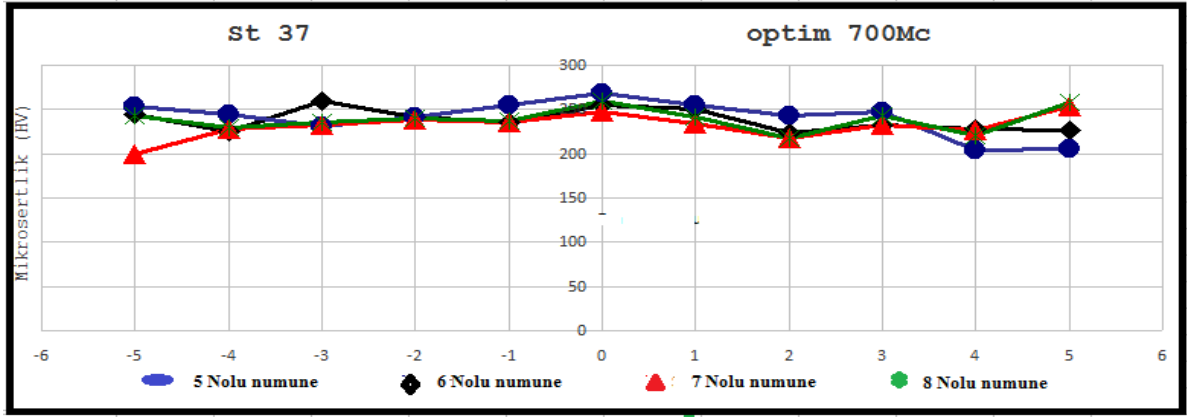
1-2-3-4 NOLU NUMUNELERİN (St 37 - St 37) ÇELİK ÇİFTLERİNİN MİKROSERTLİK DEğER VE GRAFİKLERİ											
Numuneler	S-5	S-4	S-3	S-2	S-1	K0	S1	S2	S3	S4	S5
1	198	216	234	259	216	220	213	261	236	201	208
2	222	242	212	278	255	249	217	220	244	234	224
3	202	227	253	229	309	280	262	211	213	217	199
4	223	196	263	224	264	254	227	224	255	222	211



Şekil 9.14. St 37- St 37 numuneleri mikrosertlik grafiği

Tablo 9.4. St 37- OPTİM 700 MC numuneleri mikrosertlik değerleri

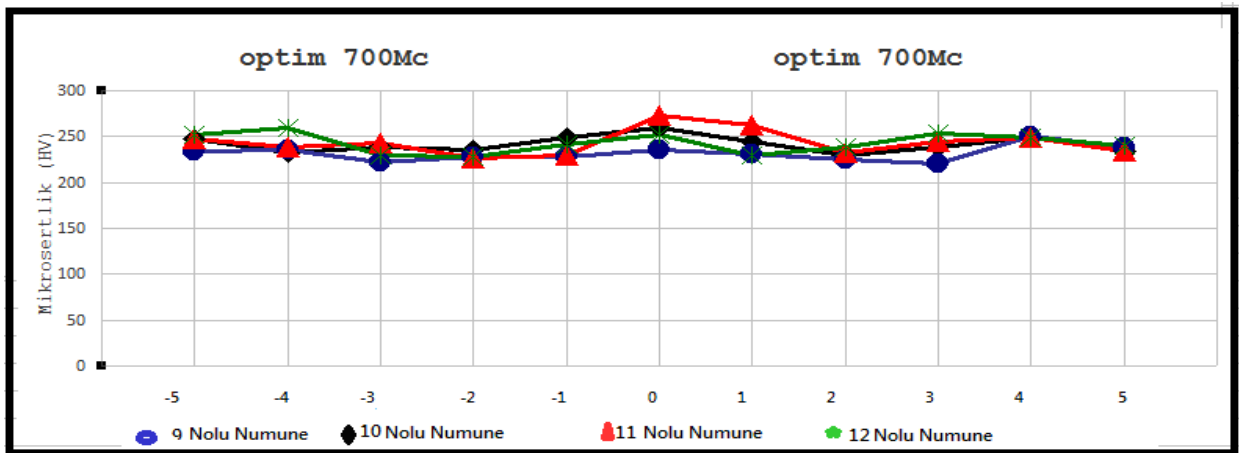
5-6-7-8 NOLU NUMUNELERİN (St 37 - OPTİM 700 MC) ÇELİK ÇİFTLERİNİN MİKROSERTLİK DEğERLERİ VE GRAFİKLERİ											
Numuneler	S5	S-4	S-3	S-2	S-1	K0	M1	M2	M3	M4	M5
5	287	307	231	241	255	269	255	243	247	204	206
6	245	225	259	242	235	242	250	224	232	228	226
7	199	228	233	238	236	241	234	218	232	226	253
8	243	230	235	240	237	244	241	218	243	221	258



Şekil 9.15. St 37- OPTİM 700 MC numuneleri mikrosertlik grafiği

Tablo 9.5. OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC numuneleri mikrosertlik değerleri

9-10-11-12 NOLU NUMUNELERİN (OPTİM 700 MC - OPTİM 700 MC) ÇELİK ÇİFTLERİNİN MİKROSERTLİK DEĞERLERİVE GRAFİKLERİ											
Numuneler	M-5	M-4	M-3	M-2	M-1	K0	M1	M2	M3	M4	M5
9	234	235	222	228	228	236	231	225	218	250	239
10	247	233	239	236	249	234	245	260	239	249	234
11	247	239	262	226	229	238	262	233	273	249	234
12	252	259	229	228	241	252	229	239	253	249	240



Şekil 9.16. St 37- OPTİM 700 MC numuneleri mikrosertlik grafiği

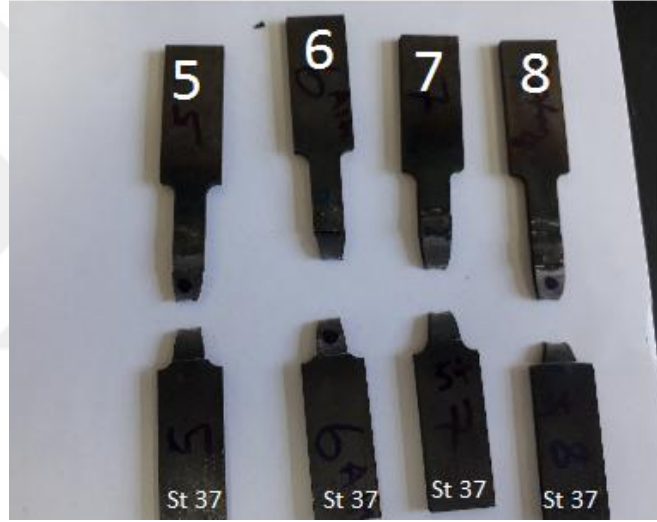
9.4. Kaynaklı Birleştirmelerin Çekme Dayanımlarının İncelenmesi

PTA yöntemiyle birleştirilmiş St 37 – St 37, St 37- OPTİM 700 MC, OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC çiftlerinin kaynak dikişlerinin yük taşıma kabiliyeti ile yükleme esnasında plastik deformasyonu tanımlamak için TSE 138 EN 10002-1 numune ölçüsünde çekme deneyi yapılmıştır. Çekme numuneleri kaynak dikişine dik doğrultuda imal edilmiştir. Şekil 9.17’de Plazma Transfer Ark kaynak yöntemiyle ile St 37 – St 37, Şekil 9.18 ’de St 37- O OPTİM 700 MC, Şekil 9.19 ’da OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC çiftlerinin çekme sonrası makro resimleri verilmiştir.

Bu çalışmamızda yapılan incelemede; St 37 - St 37 çelik çiftlerine uygulanan çekme testinde kopan 1 nolu (90A) ve 4 nolu (120A) kaynaklanan numunelerin boyun vermeden kopduğu incelenmiştir. Kopma şekilleri incelendiğinde 4 nolu numunenin kaynak içi boşluklardan ötürü tam bir birleşme gösteremediği tespit edilmiştir. 100A ve 110A ile yapılan birleştirmede kopma ise boyun vererek kopma şekli gözlemlenmiştir. Dolayısıyla mevcut haliyle de bu malzeme çiftlerinin sünek kırılma mekanizmasıyla koptukları söylenebilir. Çünkü sünek kırılma yüksek miktarda plastik deformasyon sonrasında meydana gelir ve malzeme kırık yüzeyinde koni bir çanak biçiminde görülür. Sünek kırılmayı; St37 ve OPTİM 700 MC çelik çiftlerinin kopma yüzeylerinden aldığımız kırık yüzey SEM görüntüleri de desteklemektedir. Kırık yüzey lifli (mikro boşluklu) pürüzlü yapıdadır. Bu da bize kopmada sünek kopma mekanizmasının oluştuğunu göstermektedir. Şekil 9.17, Şekil 9.18 ve Şekil 9.19’da çekme testi sonrası numunelerin resimleri verilmiştir.



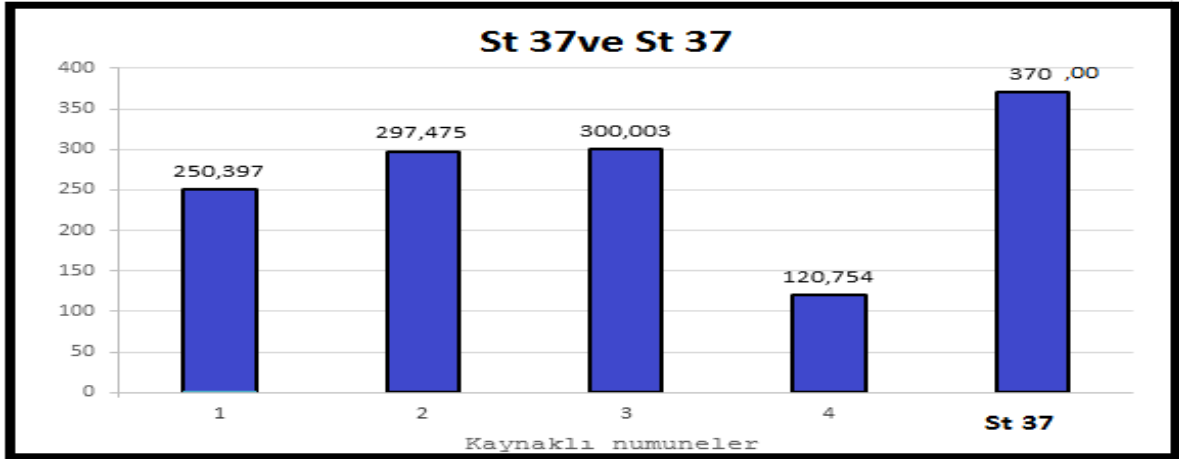
Şekil 9.17. 1-2-3-4 nolu numunelerin çekme deneyi sonra



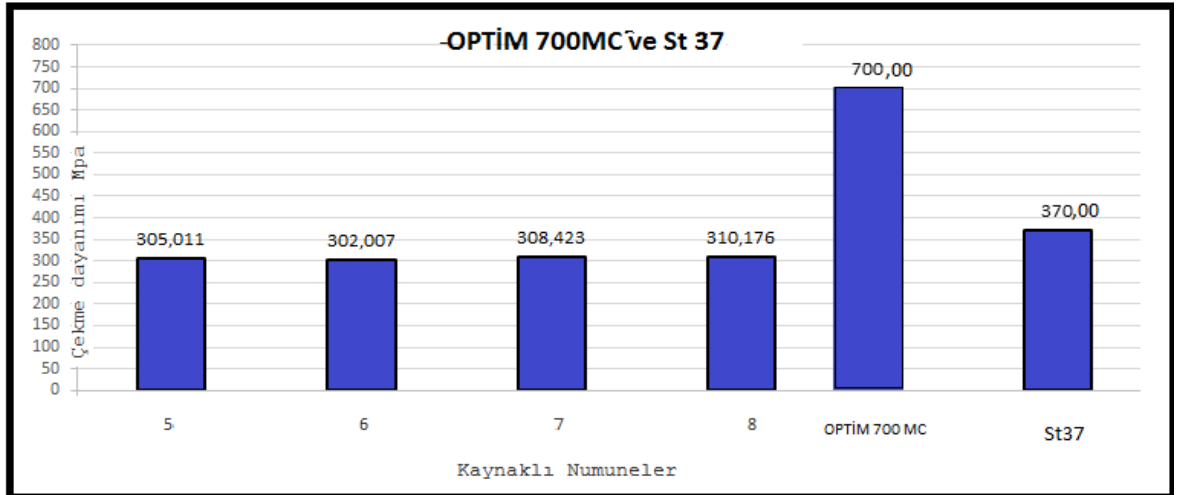
Şekil 9.18. 5-6-7-8 nolu numunelerin çekme deneyi sonra



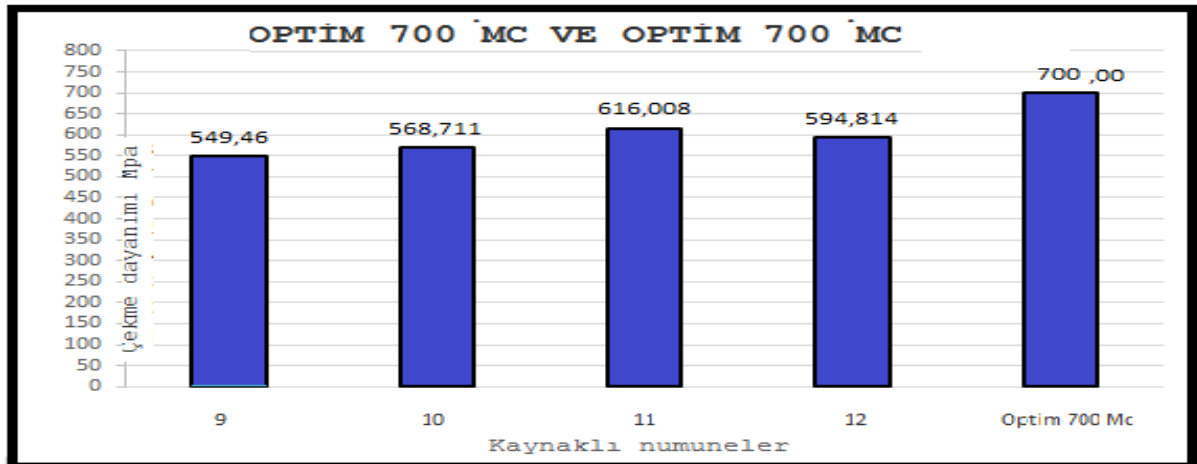
Şekil 9.19. 9-10-11-12 nolu numunelerin çekme deneyi sonra



Şekil 9.20. 1-2-3-4 Nolu numunelerin çekme grafikleri



Şekil 9.21. 5-6-7-8 Nolu numunelerin çekme grafikleri



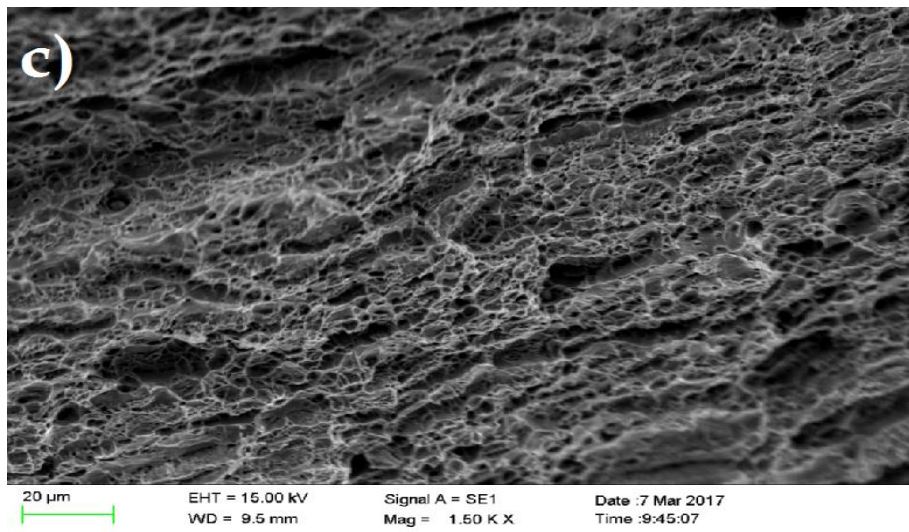
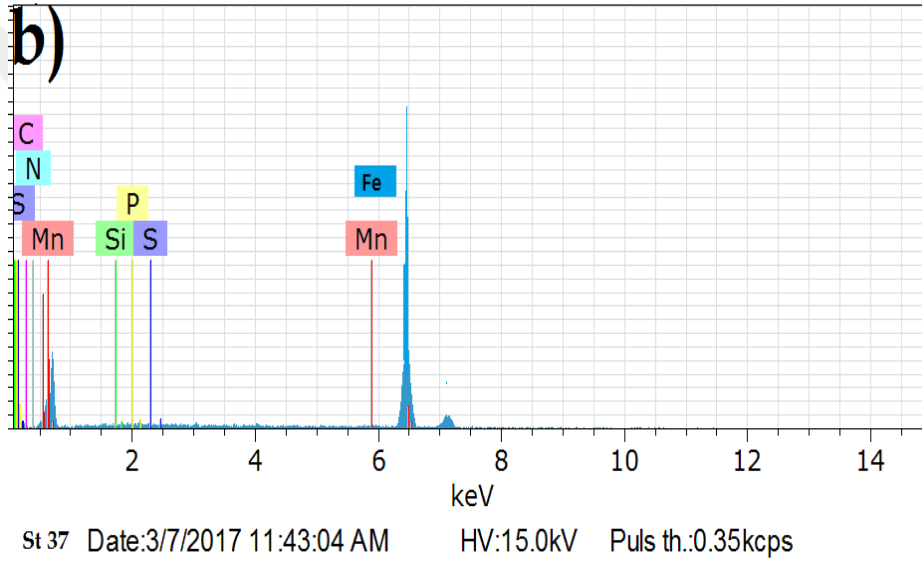
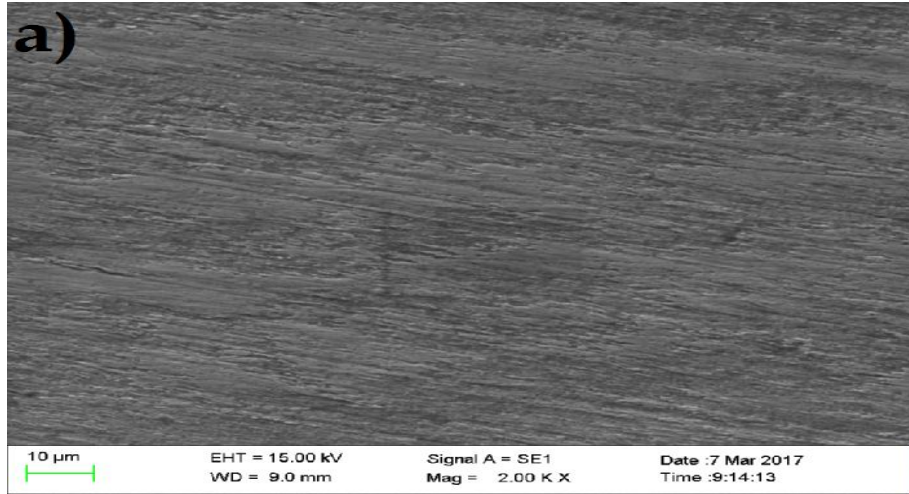
Şekil 9.22. 9-10-11 Nolu numunelerin çekme grafikleri

Tablo 9.6.Kaynaklı numunelerin çekme testinde oluşan sayısal değerler

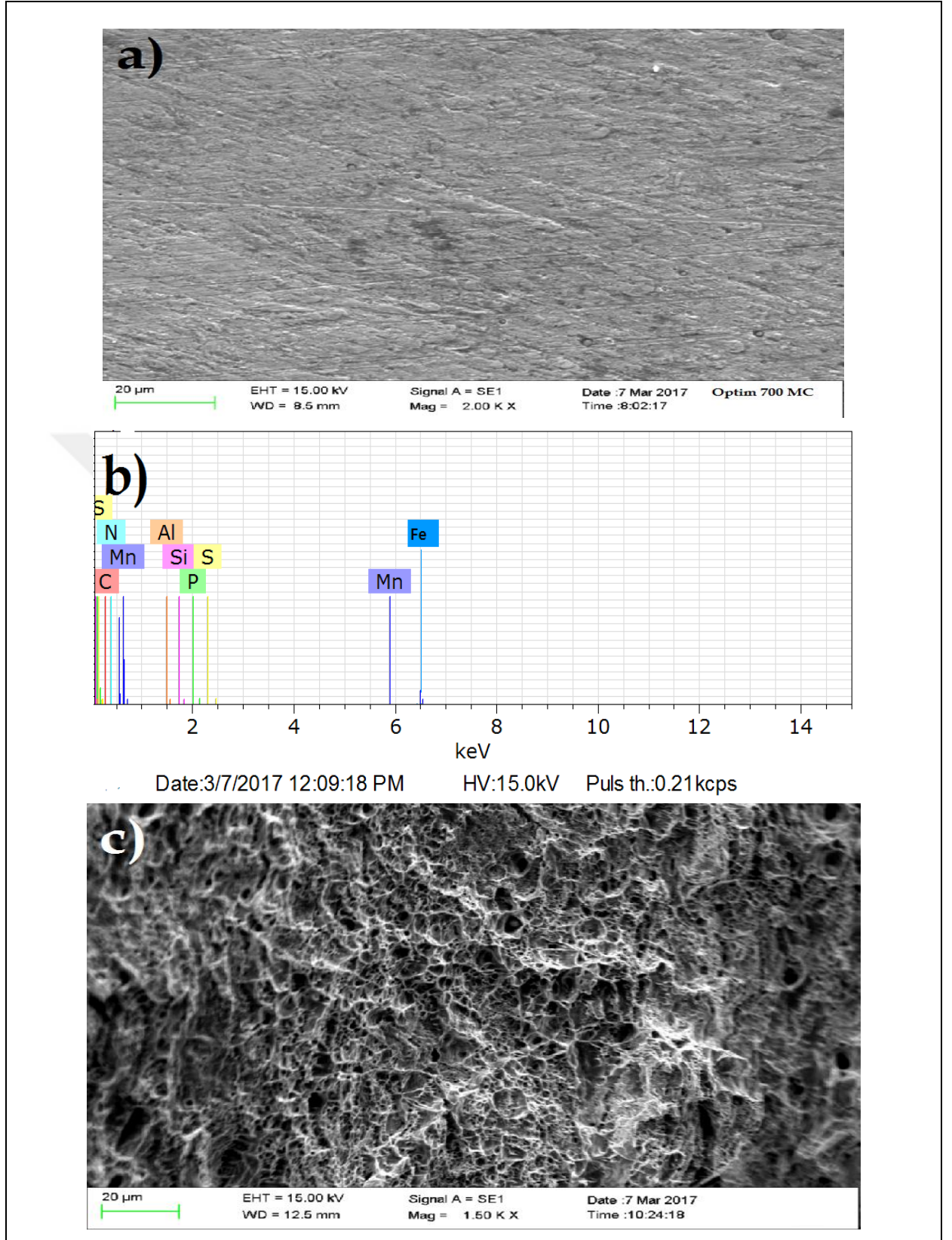
Çekme numuneleri değerleri			
Numuneler	Kaynak Gücü (W)	İlerleme Hızı (m/dk)	Maksimum Gerilme (MPa)
1	90	0,15	250,397
2	100		297,475
3	110		300,003
4	120		120,754
5	90		305,011
6	100		302,007
7	110		308,423
8	120		310,176
9	90		549,46
10	100		568,711
11	110		616,008
12	120		594,814

9.5. Kaynaklı Birleştirmelerde SEM - EDS Analizi ve Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi

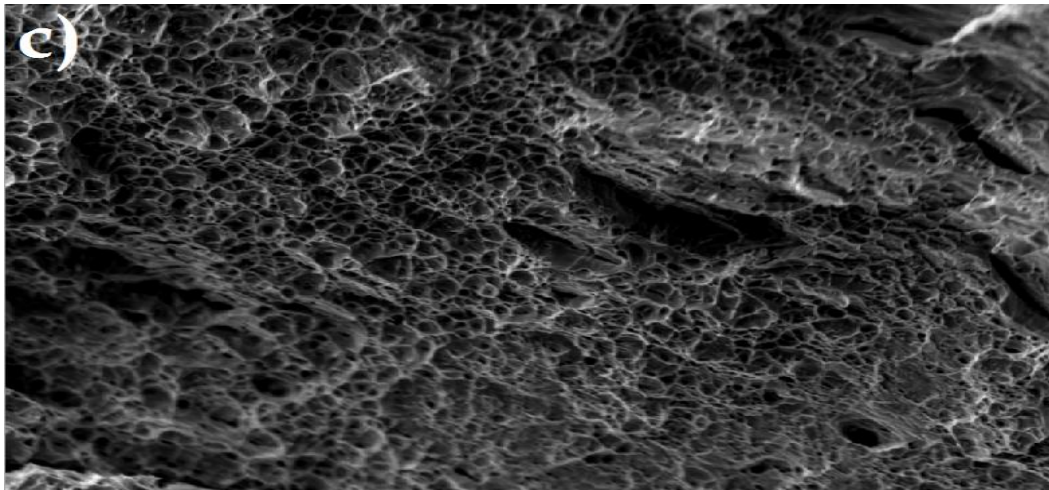
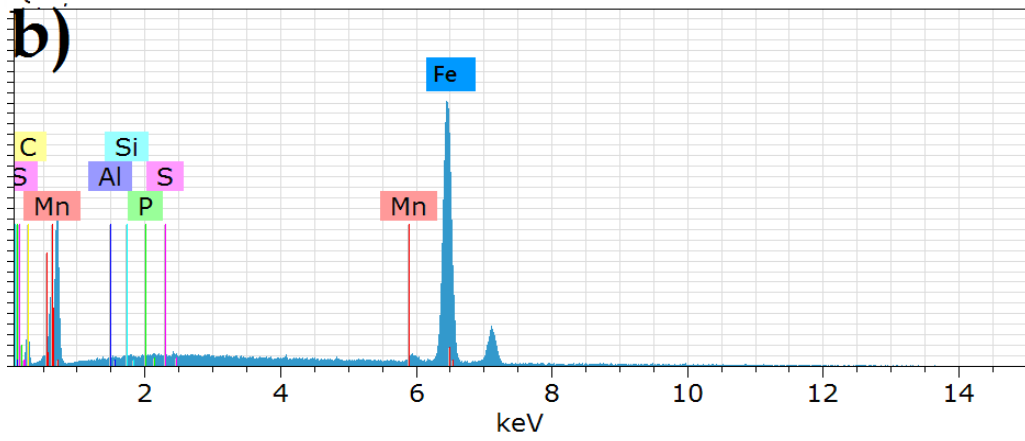
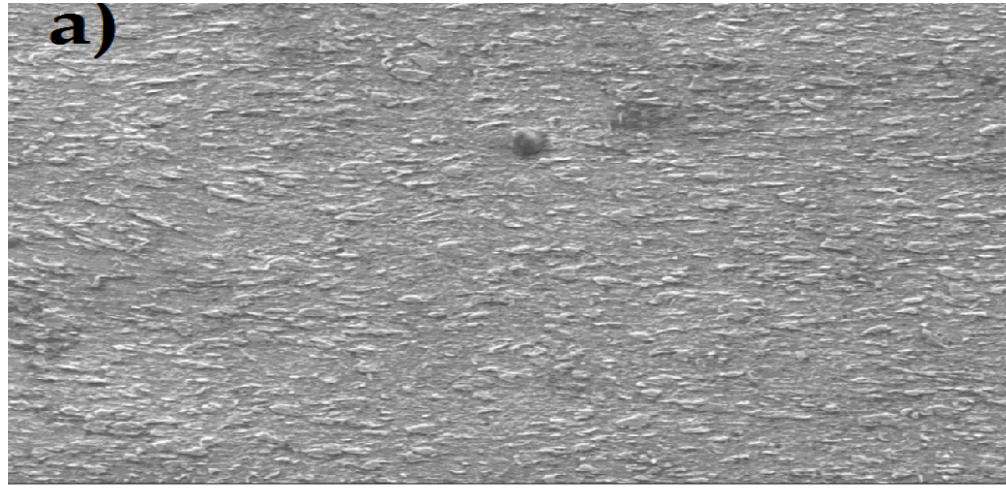
Yapılan çalışmada kullanılan St 37 ile OPTİM 700 MC malzemelerinin elemental geçişleri yüzeysel EDS analiz yöntemi ile belirlenmiştir. EDS analizi yüzeysel alan tarama ile alınmıştır. Yapılan analiz neticesinde C ile Fe elementlerinin en yüksek element değişiminin (%) olduğu tespit edilmiştir. Yapılan EDS analiz sonucu olarak, St37 çeliğinde; Fe elementi % 81.67 ve OPTİM 700 MC çeliklerinde % 77.12 iken, karbon (C) elementi St37 için % 17.05 ve OPTİM 700 MC çelikleri için (C) % 19.70 dir. OPTİM 700 MC çeliğindeki% 2.32 Mangan (Mn)'nın varlığı, çelik içerisinde kaynak edilebilirliği artırdığı gibi, mukavemetinde yükselmesine etki etmiştir. Yapılan EDS analiz işlemleri sonuçları, oluşan oran değerleri aşağıda verilmiştir. Çekme deneyi sonrası oluşan kırık yüzeyler ve SEM görüntüleri analiz edildiğinde, sünek kırılma mekanizması meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 9.23. 3 nolu numunenin (St 37-St 37) a) SEM görüntüsü b) EDS grafiği c) Kırık yüzey görüntü (110A)



Şekil 9.24. 8 nolu numunenin (St 37-OPTİM 700 MC) a) SEM görüntü b) EDS grafiği c) Kırık yüzey görüntüsü (120A)



Şekil 9.25. 11 nolu numunenin (OPTİM 700 MC-OPTİM 700 MC) a) SEM görüntü b) EDS grafiği c) Kırılma yüzey görüntüsü (110A)

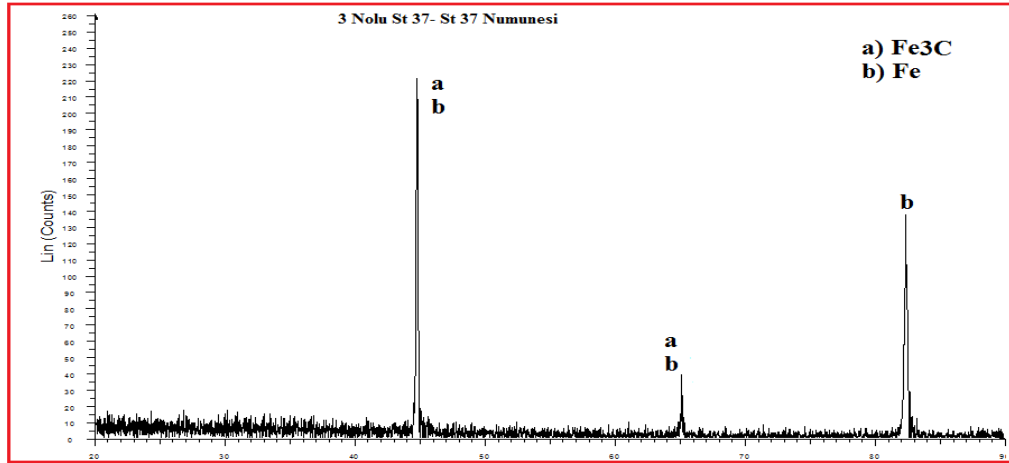
Tablo 9.7. EDS analiz sonuçları

Element	Ağırlık %		Atomik %	
	St 37	Optim 700 MC	St 37	Optim 700 MC
C	17.05	19.70	52.54	52.61
Si	0.21	0.28	0.25	0.26
Mn	0,18	2.32	0.08	0.69
Fe	81.67	77.12	46.14	46.41
P	0.12	0.28	0.53	0.16
S	0,45	0.12	0.24	0.11
N	0.32	-	0.22	-
Al	-	0.18	-	0.12
Toplam	100.00	100.00	100.00	100.00

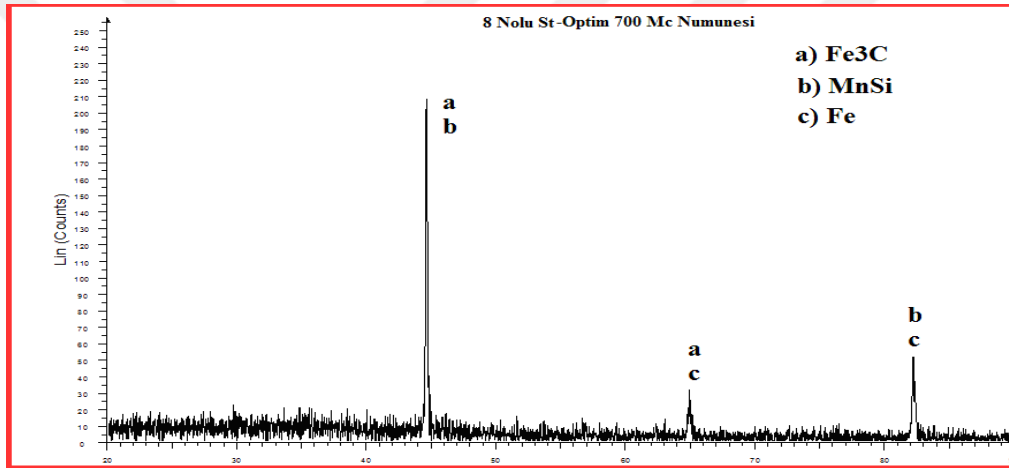
9.6. Kaynaklı birleştirmede XRD Sonuçlarının Analizi

Kaynaklı birleştirmelerin XRD analizi incelendiğinde; St37 ve OPTİM 700 MC çeliğinde perlit ve ferrit fazları tespit edilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin XRD analizi sonucunda Mn_5Si_2 , Mn Si, Fe_3C ve Fe'ce zengin fazları belirlenmiştir.

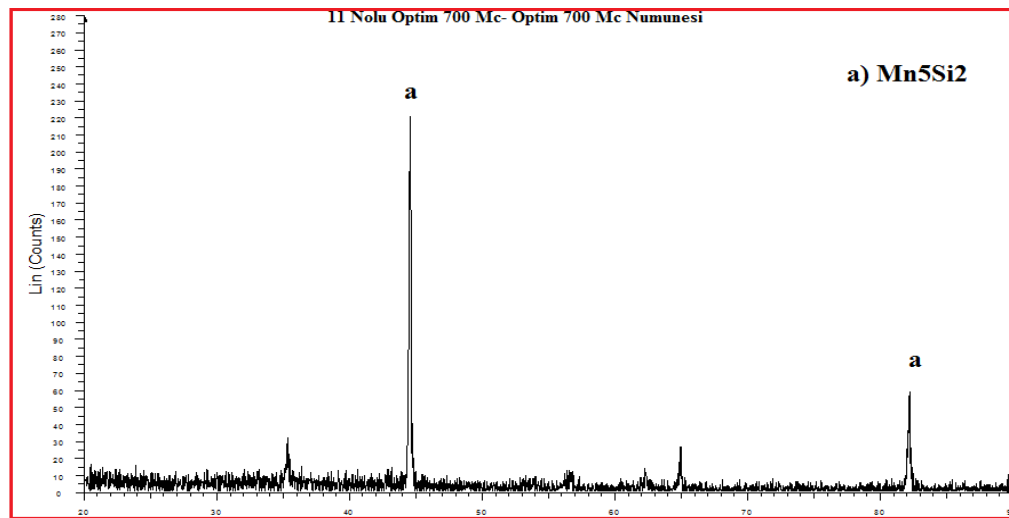
XRD işlemi sonucu olarak elde edilen fazlar, intermetalik fazlar olsa da kırılmaya sebep olacak nitelikte değildir. Çünkü kaynak geçiş bölgelerinde hiçbir bir çatlak oluşumu söz konusu olmayıp, sünek kırılma mekanizması meydana gelmesi de bu durumu desteklemektedir. 3-8-11 nolu numunelerin XRD analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.26. 3 Nolu numune (St 37- St 37) XRD analizinin sonucu



Şekil 9.27. 8 Nolu numune (St 37-OPTİM 700 MC) XRD analizinin sonucu



Şekil 9.27. 11 Nolu numune (OPTİM 700 MC -OPTİM 700 MC) XRD analizinin sonucu

9.7. Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Testlerinin İncelenmesi

Plazma Transfer Ark kaynak (PTA) birleştirilen çelik çiftlerine uygulanan radyografik test standart verileri Tablo 9.8. 'de belirtilmiştir. Tabloda mevcut olan veriler ISO standartlarından elde edilmiştir. Radyografik muayene yönteminde kaynak dikişinin ve kullanılan malzemenin içi görüntülenir. İç kısımda oluşabilecek hatalar, boşluklar (nufuziyet noksanlığı, gözenek, cüruf kalıntısı vs.) görüntülenir. Radyografik muayenelerde nufuziyet noksanlığı, gözenek, birleşme noksanlığı gibi hatalar görülse de yapmış olduğumuz çalışma tek yüzeyden yapılan bir kaynak işlemi olduğu için bu tip hataların bir kısmı göz ardı edilebilir. Çünkü yapılan kaynak işlemi 90 A'den başlamış 120 A'e kadar değişkenlik göstererek devam etmiştir. Böyle bir durumda radyografik inceleme sonucunda günümüz standartlarında test sonuçlarının olumsuz çıkmasına sebep olan bazı hataları olması kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 9.8. Radyografik muayene parametreleri

Test Standartları	EN ISO 17636-1
Filim çeşidi	KODAK T 200
Penetremetre	10 FE EN
Işın Kaynağı	X-RAY
Kullanılan enerji	150Kv- 2,4 mA
Film Fokus Mesafesi	800mm
Poz Süreci	1min. 10 sec
Muayene içerek Kapsamı	Kaynak, ITAB'ın yapısı
Banyo tekniği	Otomatik

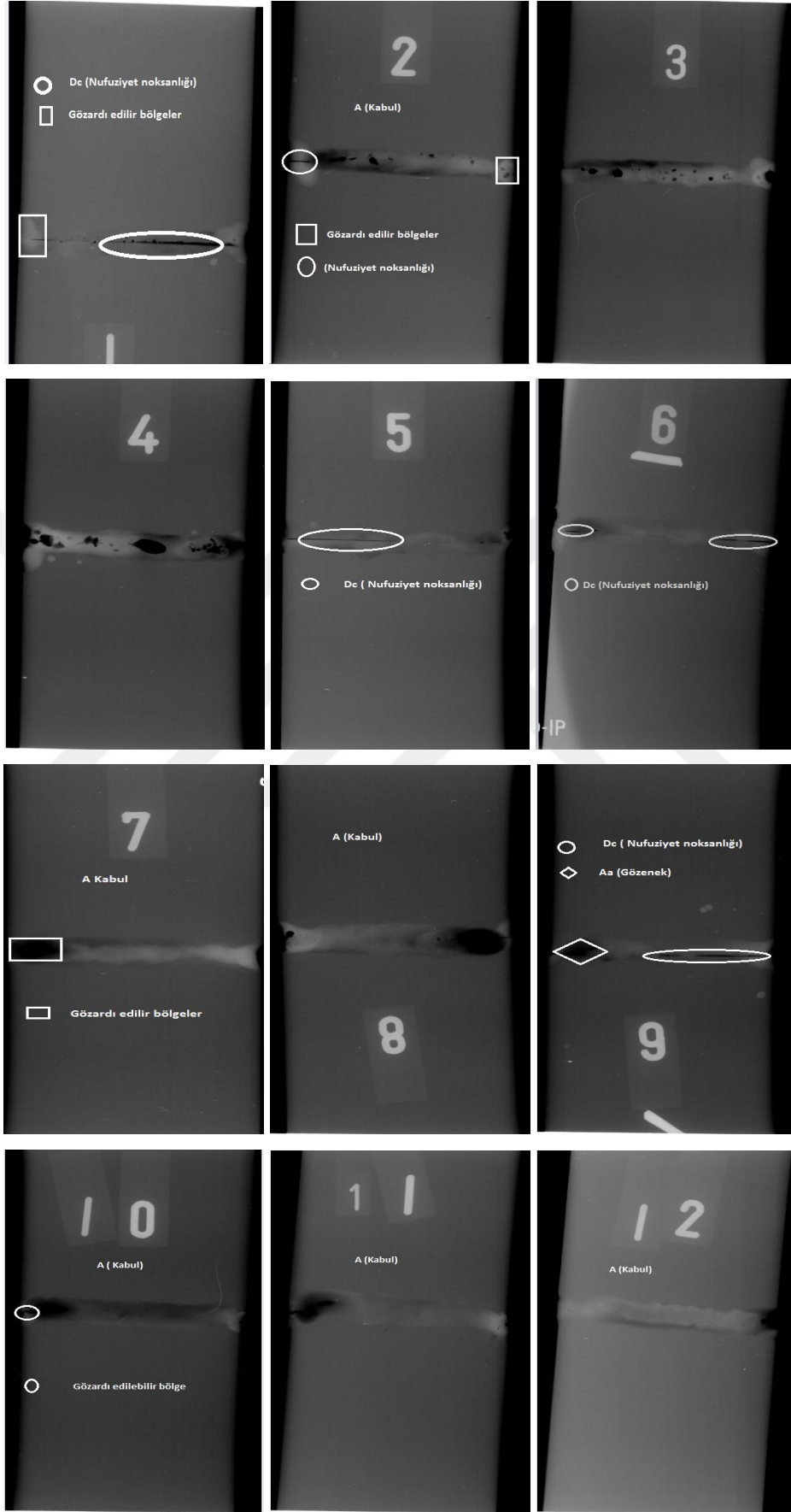
Plazma Transfer Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen kaynaklarda ilerleme hızı sabit tutulmuş ve çelik çiftleri farklı amperlerde birleştirilmiştir. 1-5-9 nolu numuneler 90A'de, 2-6-10 nolu numuneler 100 A'de, 3-7-11 nolu numuneler 110A'de, 4-8-12 nolu numuneler 120 A'de kaynak edilmiştir. Radyografik muayenede kaynak başlama ve bitiş noktalarındaki 1'er mm'lik kısımlar muayene kapsamına dahil edilmemiştir. Kaynak başlangıcında ve bitişinde oluşabilecek ark hatalarından dolayı bu bölgelerde varsa olabilecek hatalar göz ardı edilir. Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesinde

oluşan hatalar ve hataların tanımları Tablo 9.9’da görülmektedir. Numunelerin röntgen görüntüleri ve tespit edilen hataları Şekil 9.28.’de gösterilmiştir.

Tablo 9.9. 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

Plazma Transfer Ark ile yapılan kaynaklarda 1-5-6-9 numunelerinde Dc (nufuziyet noksanlığı), 9 nolu numunede Aa (Gözenek), 4 nolu numunede ise gözenek kanalı hataları gözlemlenmiştir. 1-2-7-9-10 numaralı birleştirmelerdeki hatalar göz ardı edilebilir. 3 nolu 110 A St37-St 37, St37-St 37, 8 nolu OPTİM 700 MC -St 37 110 A, 11 nolu OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC 110 A ve 12 nolu OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC 120 A çelik çiftinin kaynağına yapılan radyografik muayene sonucuna göre bu kaynaklarda herhangi bir hata gözlemlenmemiştir. Amper değerinin artışı ile birleşme noksanlığı ve kaynak hatalarının minimize olduğu tespit edilmiştir. 3, 8, 11, 12 nolu numunelerde herhangi bir görüntü hatası içermemesinin nedeni; amper değerinin artmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.



Şekil 9.28. Kaynaklı birleştirmelerin röntgen işlemi sonrası görüntüleri

10. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada St 37-St37 çelik çifti, St 37- OPTİM 700 MC ve OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC çelik çiftleri sabit kaynak hızında (0,15m/dk), değişken amper de (90A-100A-110A-120A) ve argon gazı atmosferinde Plazma Transfer Ark (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.

Kullanılan 3 mm kalınlığa sahip, St 37 - St37, St 37- OPTİM 700 MC ve OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC çelik çiftleri ilave kaynak ağzı açmadan ve ilave metal eklemeyen, tek pasoda Plazma Transfer Ark kaynak (PTA) yöntemi ile birleştirilebilmektedir. Değişken amper güçlerinde yapılan Plazma Transfer Ark kaynağı ile bağlantıların birleşme kesitlerinden alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, kaynak havuzuna bitişik her iki ITAB bölgesinde de çatlak, boşluk ve bağlantısız bölgelerin olmadığı; homojen bir kaynak dikişinin ve ITAB bölgesinin meydana geldiği görülmüştür.

- 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 St 37 - St 37 çelik çiftleri içinde 300,003 MPa ile 3 nolu numune 110 A, St37 - OPTİM 700 MC çelik çiftleri için 310,176 MPa ile 8 nolu numune, 120A ve OPTİM 700 MC- OPTİM 700 MC çelik çiftleri için 616,008 MPa ile 11 nolu numune, 110A olarak tespit edilmiştir.
- Mikrosertlik işlem verileri incelendiğinde; kaynak bölgesinde ve ITAB' da artan amper değerine bağlı olarak kısmen sertliğinde artış görülmüş, sonrasında oluşan sertlik grafiğinin ana metalde düşey eşit bir seviyede ilerlediği görülmüştür. Buda bize kaynak dikişinin, kaynak esnasında az da olsa ısı dönüşümlerin etkisinde kaldığı sonucunu vermektedir.
- Malzemelerin SEM ve kırık yüzey görüntüleri analiz edildiğinde oluşan kırılmanın sünek bir yapıda olduğu görülmüştür. İntermetalik fazların çatlak ve kırılmalara sebep olmadığı düşünülmüştür.
- Malzemelerin EDS analizi incelendiğinde St37 ve OPTİM 700 MC çeliğinde perlit ve ferrit fazları belirlenmiştir. XRD analizi neticesinde St 37 -St 37

çeliğinin yapısında Fe_3C , Fe OPTİM 700 MC çeliğinin yapısında ise Mn_5Si_2 , $MnSi$, Fe_3C , Fe' ce zengin fazları belirlenmiştir.

➤ **St 37-St37 çelik çifti;**

- Birleştirmelere nufuziyet yönünden bakıldığında, 3 nolu 110A yapılan birleştirmelerde tam nufuziyet sağlandığı görülmüştür.
- Radyografi testi sonuçlarına göre, 110A ile birleştirilen numunenin kaynak dikişinde herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiş olup, test standartları gereği en iyi birleştirmenin bu kaynak gücünde sağlandığı görülmüştür.
- Birleştirilen çelik çiftlerinin Sıvı Penetrant testi sonuçlarına göre, 90-100-110-120A yapılan birleştirmelerde kaynak dikişi yüzeylerinde herhangi bir büyük gözeneğe ve çatlığa rastlanmamıştır. 1-2-4 nolu numunelerde gözenek 1mm çapından küçük olduğu için, sıvı penetrant test standardına göre bu gözenek göz ardı 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, (%80) yapılan birleştirmelerde alınan 300,003 MPa çekme değerleri ile 110A ile birleştirilen numuneden alınmıştır.

➤ **St37 - OPTİM 700 MC çelik çiftleri;**

- Kaynaklı birleştirmelerde nufuziyet yönünden bakıldığında, 120A ile yapılan birleştirmelerde tam nufuziyet sağlandığı görülmüştür.
- Birleştirmelerin Sıvı Penetrant testi sonuçlarına göre, 120A ile birleştirilen numunenin kaynak dikişinde herhangi bir problem gözlenmemiştir.
- Birleştirmeler çekme test sonuçlarına göre incelendiğinde, en iyi birleştirme değeri çekme gerilmesi uygulanan numuneler 310,176 MPa çekme değerleri ile 120A ile birleştirilen numuneden alınmıştır.
- Birleştirmelerin Radyografi testi sonuçlarına göre, 120A ile birleştirilen numunenin kaynak dikişinde herhangi bir kaynak hatası gözlenmemiş olup, test standartları gereği en iyi birleştirmenin bu kaynak gücünde sağlandığı görülmüştür.

➤ **OPTİM 700 MC - OPTİM 700 MC çelik çiftleri;**

- Kaynaklı birleştirmelerde nufuziyet yönünden bakıldığında, 110A ile yapılan birleştirmelerde tam nufuziyet sağlandığı görülmüştür.

- Yapılan kaynaklı birleştirmelerin Radyografi testi sonuçlarına göre, 110A ile birleştirilen numunenin kaynak dikişinde herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiş olup, test standartları gereği en iyi birleştirmenin bu kaynak gücünde sağlandığı görülmüştür.
- Birleştirmeler ekme test sonuçlarına göre incelendiğinde, en iyi birleştirme değeri çekme gerilmesi uygulanan numuneler içinde 616,008 MPa ekme değerleri ile 110A ile birleştirilen numunede elde edilmiştir.

10.1. neriler

- 3 mm kalınlıktaki St37 - OPTİM 700 MC elik çiftleri modern kaynak yöntemlerinden olan Lazer kaynak yöntemi ile 90-100-110-120A, 0,15m/sn hızda, ilave tel kullanılmadan birleştirilebilirliği araştırılabilir.
- Birleştirilen elik çiftlerine farklı ısı ışlemler uygulanarak; kaynak sonrası oluşabilecek mikroyapı değişimleri analiz edilebilir.
- Kaynaklı bağlantılar farklı tahribatsız malzeme muayene yöntemleri ile kontrol edilebilir.
- Kaynaklı birleştirmelerin korozyon davranışları incelenebilir.
- Daha kalın parçalar için farklı tiplerde kaynak ağzı açılarak kaynak dikişi ve ITAB'daki değişiklikler araştırılabilir.
- Kaynaklı bağlantılar farklı mekanik testler uygulanarak sonuçlar değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Açık, M., (2014), AISI 1010-Bakır Malzeme Çiftinin Sürtünme Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] Baeslack, B., Welding brazing and soldering, ASM Metals Handbook, Vol.6, Materials Park, OH, 1993.
- [3] 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.)
- [4] Uçok, I., Lawrence S.K., Gungor, M.N., Wolfe, P., Dong, H., Tack, W.T., 2005. Effect of welding on microstructure and tensile properties of flowformed Ti-6Al-4V tubes, *Materials Science and Engineering A*, 410-411, 160-164.
- [5] Correa, E.O. , Costa, S.C. and Santos, J.N., 2008. Weldability of iron-based powder metal materials using pulsed plasma arc welding process, *Journal of Materials Processing Technology*, 198, 323-329
- [6] Ozel, S., Kurt, B., Somunkiran, İ. and Orhan, N., 2008. Microstructural characteristic of NiTi coating on stainless steel by plasma transferred arc process, *Surface & Coatings Technology*, 202, 3633-3637
- [7] Kurt, B., Orhan, N., Somunkiran, I. and Kaya, M., 2009. The effect of austenitic interface layer on microstructure of AISI 420 martensitic stainless steel joined by keyhole PTA welding process, *Materials and Design*, 30, 2009, 661-664
- [8] Kahraman, N., Taşkın, M., Gülenç, B. and Durgutlu, A., 2010. An investigation into the effect of welding current on the plasma arc welding of pure titanium, *Kovove Mater.*, 48, 179-184
- [9] Gür, A.K., Çalığülü, U., Dikbaş, H., Orhan, A., Taşkın, M. Ti6Al4V Alaşım çiftlerinin PTA ile kaynak edilebilirliğini 5. Uluslararası Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük/Türkiye
- [10] D'Oliveira, A.S.C.M., Parades, R.S.C. and Santos, R.L.C., 2006. Pulsed current plasma transferred arc hardfacing, *Journal of Materials Processing Technology*, 171, 167-174

- [11] Çalığülü, U. , Gür, A.K. , Dikbaş, H., Orhan, A., Taşkın, M., (2010), “AISI 430/304 Paslanmaz Çelik Çiftinin PTA Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliği” 13th International Materials Symposium (IMSP’2010), Pamukkale University, 13-15 October 2010, 73-79, Denizli/Türkiye.
- [12] 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.
- [13] Orhan, A , Çalığülü, U., Gür, A.K., Taşkın, M., Dikbaş, H.,, (2011), “PTA Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen AISI 304/1010 Çelik Çiftinin Birleşme Karakteristiklerinin İncelenmesi” 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Firat University, 16-18 May 2011, Vol. 8, 36-38, Elazığ/Türkiye
- [14] Teker T, Özdemir N. PTA yöntemi ile birleştirilen AISI 430/AISI 1040 kaynaklı bağlantılar da enerji girdisinin mekanik özellikler üzerine etkisi, 6. International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Selçuk Üniversitesi ISSN 1302/6178 Journal of Technical-Online Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Volume 11, Number:1-2012 Teknik-Online Dergi Cilt 11, Sayı:1-2012
- [15] Çalığülü, U., Dikbaş, H ..,Taşkın, M. Ti6Al4V alaşım çiftinin Plazma Transfer Ark (PTA) kaynağında kaynak gücünün birleşmeye etkisi . national Iron & Steel Symposium, 02-04 April 2012, Karabük, Türkiye
- [16] H. Dikbaş, U. Çalığülü, M. Taşkın, (2012), “Ni Aratabakalı Ti6Al4V Alaşım Çiftinin PTA Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kaynak Gücünün Etkisi” 2. International Conference on Welding Technologies, (ICWET’12), Gazi Üniversitesi, 23-24 Mayıs 2012, 287-296, Ankara/Türkiye.
- [17] T. Teker Selçuk Üniversitesi ISSN 1302/6178 Journal of Technical-Online Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Volume 9, Number:1-2010 Teknik-Online Dergi Cilt 9, Sayı:1-2010
- [18] Dikbaş H. , Çalığülü, U., Taşkın, M., Ti6Al4V alaşım çiftinin Plazma Transfer Ark (PTA) kaynağında ilerleme hızının mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi International Iron & Steel Symposium, 02-04 April 2012, Karabük, Türkiye
- [19] T. Gürgenc ve C. Özel Technological Applied Sciences Status: Original Study ISSN: 1308 7223 (NWSATAS) Received: July 2016 ID: 2016.11.4.2A0105 Accepted: October 2016

- [20] Gür, A.K, N. Yiğittürk, Çaligülü U., International Science Symposium Status: Proceeding Book ISS2016 (September 1-4, 2016 ID : 2016.2 A11PB
- [21] Anık, S., (1991), Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar, İstanbul, s. 12, 93,109,113-115,150-152, 208-213.
- [22] Çaligülü, U. Kaynak Metalurjisi Ders Notları, Fırat üniversitesi, s. 7-10.
- [23] Oğuz, B., (1985), Karbonlu Ve Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı, OERLIKON Yayını, s. 1.
- [24] Çaligülü, U. Kaynak Metalurjisi ve Teknolojisi Ders Notu, Fırat Üniversitesi, s. 4-7
- [25] Yiğittürk N. Ramor 500 Zırh Çeliği ile AISI 304 Paslanmaz Çeliğin plazma transfer ark kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen bilimleri i Enstitüsü 2016
- [26] Anık, S., 1991, Kaynak tekniği el kitabı, Gedik Holding Yayını, İstanbul.
- [27] 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.
- [28] 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
- [29] Kaluç, E., Taban, E. 2004, Plazma Arkı ile Kaynak ve Endüstriyel Uygulamaları MakinaTeknolojileri, Sayı 84.
- [30] URL, www.pro-fusiononline.com, 2009
- [31] Anık, S., Anık, E.S., Vural, M., 1993, 1000 Soruda kaynak teknolojisi el kitabı, Cilt: 1, Birsen Yayın evi, İstanbul.
- [32] Kaluç, E., Taban, E. 2004, Plazma Arkı ile Kaynak ve Endüstriyel Uygulamaları MakinaTeknolojileri, Sayı 84.
- [33] Kou, S., 2003. *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, Inc, Publication, ABD.
- [34] <http://muhserv.atauni.edu.tr/makine/akgun/Docs/malzeme/çelikler%20sınıflandırma%20ve%20standartlar.pdf>
- [35] <https://tr.scribd.com/doc/117658492/Celik-Uretim-Yontemleri>

- [36] Şık, A., (2007), Mıg/Mag Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen Çelik Malzemelerde İlave Tel Türleri Ve Koruyucu Gaz Karışımlarının Eğmeli Yorulma Ömürlerine Etkilerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 22, No 4, s. 769-777.
- [37] Piroğlu, F. , Uzgider, E., Vural, M., Çağlayan, Ö.B., (2003), Geçmişten Bugüne Yapı Çeliği Ve Önemli Yapısal Özellikleri, Tmh - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426 - 2003/4
- [38] Yıldırım, M. M., Pakdil, M., Doğantan, Z. S. ve Çakan, A., 2001, Mühendislik Malzemeleri I, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 9, 140-141.
- [39] Baeslack, B., Welding brazing and soldering, ASM Metals Handbook, Vol.6, Materials Park, OH, 1993.
- [40] Craig, E., The plasma arc welding a review, Welding Journal 1998; 67 (2): 19-25
- [41] <http://www.sezginsac.com.tr/index.php/sac-cesitlerimiz/esneme-celikleri/optim-700-mc/item/105-optim-nedir>.
- [42] <http://www.endustrimagazin.com/metalmakina/ruukki-yuksek-dayanimli-optim-çelik-l-urun-yelpazesini-gelistirdi-h588.html>
- [43] www.ajmarshall.com A.J. Marsall
- [44] Aichele, G., Leistungskennwerte für Schweissen und Schneiden, DVS-Verlag, 1993
- [45] Anık, S., Kaynak sempozyumu, İstanbul Tek. Üniv.,1997, İstanbul.
- [46] Erdemir ürün kataloğu, Ereğli Demir ve Çelik Fab., T.A.Ş., İstanbul, 2000.
- [47] Doğru A. Uçak Gövde ve Kanatlarında Oluşan Hasarların Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile Tespiti Y.Lisans, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa (2014)
- [48] Topuz A., Tahribatsız Muayeneler, YTÜ Yayınları, İstanbul, (1993)
- [49] Doyum, B., “Isınım üretimi”, Radyografik Muayene 1. Seviye Kurs Notları,ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Merkezi, Ankara, (2001).
- [50] Yasar, T., “Radyografi yöntemi ile kaynak dikislerinde hata tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 11-24 (2010).
- [51] 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.

- [52] Akay, A., 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).
- [53] Kaya, B., “Muayenede teknolojik gelişmeler”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 62-77 (1992).
- [54] Onursal, M., “Uçaklarda kullanılan metal malzemelere uygulanan tahribatsız muayeneler”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 42-55 (2010).
- [55] Seçim C. Tahribatsız Muayene Yöntemleri ve Uygulama Alanları Y. Lisans Tezi, M. Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, HATAY (2011)
- [56] Durmaz Ö., Uçak Bakım ve Onarımında Tahribatsız Muayeneler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak Mühendisliği Bölümü: 16-28, (1987)

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut GÖKDAŞ, 1977 Samsat/ADIYAMAN'da dünyaya geldi. Dumlupınar Üniversitesi Simav Meslek Yüksek Okulu Kaynak Teknolojisi bölümünü 1999 yılında bölüm birincisi olarak tamamladı. 2016 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden, bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2016 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri Anabilim dalında yüksek lisans eğitime başlamış olup, halen devam etmektedir. Aday evli ve Ahmet, Betül, Reyhan isimlerinde 3 çocuk babasıdır. Devlet memuru olarak kamuda çalışmaktadır. Yabancı dili İngilizce'dir.

