

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİ VE 1040 ÇELİK
ÇİFTİ'NİN PLAZMA KAYNAK YÖNTEMİYLE
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Musa KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ ANA BİLİM DALI

ELAZIĞ, 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİ VE 1040 ÇELİK
ÇİFTİ’NİN PLAZMA KAYNAK YÖNTEMİYLE
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Musa KILIÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ ANA BİLİM DALI**

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman:

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin hazırlanması esnasında, yardım ve desteklerini esirgemeyen Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Halis ÇELİK'e, danışman hocam Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi kaynak A.B.D başkanı Sayın Prof. Dr. Nuri ORHAN'a ve Ailesine , Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Arş.Gör.Dr. Bülent KURT'a, Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Yrd.Doç.Dr. İlyas SOMUNKIRAN'a, Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç.Dr. Hüseyin TURHAN'a, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Öğretim üyesi Sayın Yrd.Doç.Dr. Ahmet ORHAN'a , Metal Eğitimi Bölümündeki bütün Araştırma Görevlilerine, Adıyaman Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA'ya, Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Yrd.Doç. Dr. Erol KILIÇKAP'a, Sayın Yrd.Doç. Dr. Orhan Çakır'a , Sayın Arş.Gör.Dr. Haluk KEJANLI'ya, Sayın Arş.Gör.Gurbet ÖRÇEN'e ve Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü tüm öğretim görevlilerine, maddi açıdan bana destek veren Müsiad Elazığ Şube Başkanı Sayın Metin BULUT'a , maddi ve manevi açıdan her zaman varlığını yanımda hissettiğim aileme,Babam Ramazan KILIÇ'a, Annem Hüsniye KILIÇ'a , Abim Aziz KILIÇ ve Ailesine, Şengül DÖNMEZ'e ve Ailesine , Veysi KILIÇ'a ve Ailesine, çalışmalarımda hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan Betül KARA'ya ve ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Musa KILIÇ

TEŞEKKÜR

İçindekiler	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	X
GRAFİKLER LİSTESİ	XI
ÖZET	XII
ABSTRACT	XIII
GİRİŞ.....	1
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Paslanmaz Çelikler	2
2.1.1 Giriş	3
2.1.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler	4
2.1.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	5
2.1.4 Ostenitik Paslanmaz Çelikler	8
2.1.5 Dupleks Paslanmaz Çelikler	12
2.1.6 Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler	13
2.1.7 Sade Karbonlu Çelik	14
2.2 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği.....	15
2.2.1 Giriş	15
2.2.2 Ferritik Paslanmaz çeliklerin Kaynak Edilebilirliği	15
2.2.3 Martenzitik Paslanmaz çeliklerin Kaynak Edilebilirliği	16
2.2.4 Ostenitik Paslanmaz çeliklerin Kaynak Edilebilirliği	17
2.2.5 Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği.....	18
2.2.6 Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği.....	19
2.2.7 Paslanmaz Çeliklerle Benzer Olmayan Metallerin Kaynağı	20
2.3 Paslanmaz Çeliklerde Faz Dönüşümleri.....	21
PLAZMA KAYNAĞI	23
3.1. Giriş	23
3.2. Plazma Kaynağının Prensibi	24
3.3. Plazma Kaynağında Kullanılan Gazlar	26

3.4. Plazma Kaynağı Kullanım Alanları	26
3.5 Plazma Ark Kaynağı Uygulama Teknikleri	28
3.5.1. Eğritme Tekniği	29
3.5.2 Anahtar Deliği Konumu	29
3.6. Plazma Ark Kaynağına Etki Eden Parametreler	30
3.6.1. Akım	31
3.6.2 Setbek Ayarı	34
3.6.3 Malzeme Cinsi ve Boyutları	34
3.6.4 Koruyucu Gaz Cinsi ve Debisi	35
3.6.5 Kullanılan Elektrodlar	36
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	38
4.1. Giriş	38
4.2 Deney Çalışmasında Kullanılacak Malzemeler	38
4.3 Plazma Kaynak Yönteminde Kullanılan Makine ve Ekipman Özellikleri	38
4.3.1 Ana Makina	38
4.3.2 DC Güç Kaynağı	39
4.3.3. Soğutma Sistemi	39
4.3.4 Uzaktan Kumanda Ünitesi	40
4.3.5 Plazma Kaynak Torcu	40
4.4. Kaynak Parametreleri ve Kaynak İşlemleri	40
4.5. Numunelerin Metalografik İncelenmesi	41
4.5.1 Mikroyapılarda Belirlenmiş Olan Tane Boyutlarının Hesaplanması	42
4.6. Numunelerin Çentik Darbe Testi	43
4.7. Mikrosertlik Analizi	43
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR	44
5.1 Deneylerde Kullanılan Malzemelerin mikroyapıları	44
5.1.1 AISI 1040 ın mikroyapısı	44
5.1.2 Paslanmaz Çeliğin Mikroyapısı	45
5.1.3 Numunelerin Makroskopik İncelenmesi	45
5.2 Numunelerin Mikroyapı İncelenmesi	47
5.2.1 Kaynak Metali (Dikiş).....	47
5.2.2 Dikişin Paslanmaz Çelik Tarafı	48
5.2.3 Dikişin AISI 1040 tarafı	48
5.2.4 Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları	49
5.3. Numunelerin EDX Analiz Sonuçları	78

5.4. AISI 304 EDX Analizi	80
5.4. Deney Numunelerinin Mikrosertlik Sonuçları	81
5.5. Numunelerin Darbe Testi Sonuçları	91
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
7.KAYNAKLAR	96

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Schaffer diagramı (Cr ve Ni eşdeğerlikleri).

Şekil 2.2 Fe-Cr-Ni üçlü sisteminin sabit bir Fe (% 68 Fe) oranındaki ikili denge diyagramı.

Şekil 3.1 Plazma ark kaynağı prensip şeması

Şekil 3.2 TIG Kaynak Yöntemi ve Plazma Kaynak Ağız Şekilleri

Şekil 3.3 Sürekli ve kesintili akım anahtar deliği konumunda kaynak akımı ve gaz debisindeki değişime karşı gösterilen tolerans. Sınırlar özel kusurların meydana gelme ihtimali olan kaynak parametreleri kombinasyonlarını göstermektedir. Kaynak parametreleri: nozul çapı 2.36 mm, elektrod çapı 4.8 mm'dir.

Şekil 3.4 Bir anahtar deliğini başlatmak yada kapatmak isterken, uygulanan tipik bir eğim kontrol örneği(Örnek 9.5 mm kalınlığında bir çelik levhanın kaynağı için verilmiştir).

Şekil 3.5 Plazma Kaynağında kullanılan Setbek ayarları

Şekil 3.6 Malzeme kalınlığına bağlı olarak akım şiddetinin belirlenmesi

Şekil 4.1 Plazma Kaynak Makinesi Genel Görünümü ve Donanımı.

Şekil 4.2 Kaynak ana makinesi ve kaynak konsolunun görünüşü

Şekil 4.3 DC Güç Kaynağı

Şekil 4.4 Soğutma Sistemi

Şekil 4.5 Uzaktan Kumanda Ünitesi

Şekil 4.6 Plazma kaynak torcu

Şekil 4.7 İri taneli bölgede (Kaynakta ITAB) tane boyutunu hesaplamak için kullanılabilecek doğrular.

Şekil 5.1 AISI 1040' ın mikroyapı fotoğrafı

Şekil 5.2 Paslanmaz çeliğin mikroyapısı

Şekil 5.3 Sırasıyla 100, 110, 120, 130 ve 140 A'lik akım değerleri ve 0.8 l/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunelerin makro fotoğrafları.

Şekil 5.4 Sırasıyla 100, 110, 120, 130 ve 140 A'lik akım değerleri ve 1.2 l/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunelerin makro fotoğrafı

Şekil 5.5 Dikişin faz yapısını veren Schaffler diyagramı

Şekil 5.6 AISI 1040 Tarafında Isının Tesiri Altındaki Bölge (Genel)

Şekil 5.7 100 A'lik akım değerleri ve 0.8 l/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin kaynak dikişine ait mikroyapı fotoğrafı.

Şekil 5.8 100 A'lik akım değerleri ve 0.8 l/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin (a) AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi ve dikiş yanı mikroyapısı.

Şekil 5.9 0.8 l/dak ve 110 amper ile kaynak edilen numunede kaynak dikişi

Şekil 5.10 0.8 l/dak ve 110 amper ile kaynak edilen numunede AISI 1040 tarafı kaynak bölgesi

Şekil 5.11 0.8 l/dak ve 110 amper ile kaynak edilen numunede AISI 1040 tarafı Dikiş kenarı ve mikroyapısı

Şekil 5.12 0.8 lt/dak ve 110 amperde birleştirilen numunede AISI 304 tarafında kaynak bölgesi

Şekil 5.13 120 A'lık akım değerleri ve 0.8 l/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin kaynak dikişi mikroyapı fotoğrafı

Şekil 5.14 0.8 l/dak ve 120 amper ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı iri taneli bölgede mikroyapı

Şekil 5.15 0.8 l/dak ve 130 amper ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı iri taneli bölgede mikroyapı

Şekil 5.16 0.8 l/dak ve 130 amper ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı küçük taneli bölgede mikroyapı

Şekil 5.17 120 A'lık akım değerleri ve 0.8 l/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin AISI 304 tarafı mikroyapı fotoğrafları

Şekil 5.18 130 A'lık akım değerleri ve 0.8 l/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin kaynak dikişi

Şekil 5.19 130 amper ve 0.8 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin AISI 1040 tarafı.

Şekil 5.20 130 A'lık akım değerleri ve 0.8 l/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin AISI 304 tarafı mikroyapı fotoğrafları şekil (a) ve şekil (b)

Şekil 5.21 130 A'lık akım değerleri ve 0.8 l/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin Kaynak Metali tarafı mikroyapı fotoğrafları

Şekil 5.22 140 amper ve 0.8 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin AISI 1040 tarafı.

Şekil 5.23 140 amper ve 0.8 l/dak ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı iri taneli bölgede mikroyapı

Şekil 5.24 100 amper ve 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin AISI 1040 tarafı.

Şekil 5.25 100 amper ve 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin AISI 304 tarafı.

Şekil 5.26 100 amper ve 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin Kaynak Metali tarafı.

Şekil 5.27 1.2 lt/dak ve 100 amper ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı iri taneli bölgede mikroyapı

Şekil 5.28 Küçük Taneli Bölge Perlit ve ferrit parçalanarak (A1 ve A3 sıcaklıkları arasında) küçülmüştür. Beyaz kısımlar ferrit koyu kısımlar perlittir.

Şekil 5.29 110 amper ve 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin AISI 1040 tarafı.

Şekil 5.30 1.2 lt/dak ve 110 amper ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı iri taneli bölgede mikroyapı

Şekil 5.31 Küçük Taneli ve Yeniden Kristalleşmiş Bölge. Tanelerin oldukça küçüldüğü görülmektedir.

Şekil 5.32 110 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroyapı fotoğrafları

Şekil 5.33 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ve 120 amper ile birleştirilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında Kaynak Bölgesi

Şekil 5.34 İri taneli bölgede, çapı 200 µm dan daha büyük taneler oluşmuştur. Erime sınırında yoğun asiküler ferrit görülmektedir. İnce taneli bölgede tane boyutu 10µm ile 20 µm arasındadır.

Şekil 5.35 120 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroyapı fotoğrafları: (a),(b),(c),(d)

Şekil 5.36 120 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunede AISI 304 tarafı optik mikroyapı fotoğrafları: (a),(b)

Şekil 5.37 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ve 130 amper ile birleştirilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında Kaynak Bölgesi

Şekil 5.38 130 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroyapı fotoğrafları

Şekil 5.39 140 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroyapı fotoğrafları: (a) AISI 304 kısmı (b) Kaynak Metali kısmı

Şekil 5.40 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ve 140 amper ile birleştirilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında Kaynak Bölgesi

Şekil 5.41 140 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroyapı fotoğrafları: (a),(b),(c)

Şekil 5.42 Deneylerde kullanılan AISI 1040 orta karbonlu çelik ve AISI 304 ostenitik paslanmaz çeliğin orijinal optik mikroyapı fotoğrafları

Şekil 5.43 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX sonuçları görülmektedir

Şekil 5.44 Kaynak metalinin AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik tarafından alınan EDX sonuçları toplu olarak görülmektedir.

Şekil 5.45 Plazma Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilmiş Numunelerin Çekme Deneyi Sonrası Yüzeylerinde Oluşan Kırıkların Makro Görünüşleri

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1 I. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler

Tablo 2.2 II. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler

Tablo 2.3 III. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler

Tablo 2.4 Standart tip martenzitik paslanmaz çelikler

Tablo 2.5 Martenzitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığı mekanik özellikleri

Tablo 2.6 Süpermartenzitik paslanmaz çelik tipleri

Tablo 2.7 AISI 200 ve 300 serisi austenitik paslanmaz çelikler

Tablo 2.8 Austenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Tablo 2.9 Krom karbür çökmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağlılığı

Tablo 2.10 Ticari olarak kullanılan duplex paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik Özellikleri

Tablo 3.1 Malzeme kalınlığına bağlı olarak Parametrelerin değişimi

Tablo 3.2 Plazma Kaynağı Çalışma Bölgesi

Tablo 3.3 Plazma ve koruyucu gaz bileşimleri

Tablo 3.4 Elektrod çapı, verteks açısı, nozul iç çapına göre maksimum akım değerleri.

Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan malzemelerin spektral analiz sonuçları

Tablo 4.2 Kaynak parametreleri

Tablo 5.1 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 0 noktasının C'lu sonuçları

Tablo 5.2 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 0 noktasının C'suz sonuçları görülmektedir

Tablo 5.3 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 1 noktasının C'lu sonuçları

Tablo 5.4 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 1 noktasının C'suz sonuçları

Tablo 5.5 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 2 noktasının C'lu sonuçları

Tablo 5.6 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 2 noktasının C'suz sonuçları

Tablo 5.7 Kaynak Edilmiş Numunelerin Çentik Darbe Deney Sonuçları

GRAFİKLER

Grafik 5.1 100 amper ve 0.8 lt/dak gaz debisi ile birleştirilen numunede sertlik dağılımı

Grafik 5.2 0.8 lt/dak gaz debisi ve 110 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

Grafik 5.3 0.8 lt/dak gaz debisi ve 120 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı.

Grafik 5.4 0.8 lt/dak gaz debisi ve 130 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı.

Grafik 5.5 0.8 lt/dak gaz debisi ve 140 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı.

Grafik 5.6 0.8 lt/dak lık plazma gaz debisi ile kaynak edilen numunelerde toplu sertlik dağılımı.

Grafik 5.7 1.2 lt/dak gaz debisi ve 100 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

Grafik 5.8 1.2 lt/dak gaz debisi ve 110 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

Grafik 5.9 1.2 lt/dak gaz debisi ve 120 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

Grafik 5.10 1.2 lt/dak gaz debisi ve 130 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

Grafik 5.11 1.2 lt/dak gaz debisi ve 140 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

Grafik 5.12 1.2 lt/dak gaz debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde toplu sertlik dağılımı

Grafik 5.13 Bütün sertlik değerleri topluca gösterilmektedir

Grafik 5.14 Çentik Darbe Dayanımları Grafiği

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİ VE 1040 ORTA KARBONLU ÇELİK ÇİFTİ'NİN PLAZMA KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Musa KILIÇ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

2008

Plazma ark kaynağı, lazer ve elektron-ışın kaynağında olduğu gibi çok güçlü bir plazma ışıını meydana getirerek birleştirilecek malzemelerde tam nüfuziyetin elde edildiği bir kaynak yöntemidir. Kaynak esnasında ergiyik metal, malzemenin kesiti boyunca anahtar deliği şeklinde bir boşluk oluşturarak ilerler. Bu yöntemle 10 mm. kadar olan parçalar tek pasoda kaynak edilebilir.

Yapılan araştırmalar sonucunda plazma ark kaynağı konusunda ülkemizde birkaç bilimsel çalışma yapılmamış olup, yurt dışında ise plazma ark kaynağı konusunda birçok çalışma bulunmakla birlikte, benzer olmayan malzeme çiftlerinin birleştirilebilirliği konusunda çalışmaya rastlanılmamıştır. Lazer ve elektron-ışın kaynak yöntemi kullanılarak benzer ve benzer olmayan malzeme çiftlerinin birleştirilebilirliği konusunda birçok çalışmanın yapılmış olması ve ayrıca bu kaynak yöntemlerinin sınırlılıkları düşünüldüğünde plazma ark kaynağının kullanım ve parçanın kaynağa kolay hazırlanması, bu konuda yapılacak çalışmaları önemli kılacaktır.

Kaynak metali mikroyapı analizi için optik mikroskop, SEM, EDX ile incelendi. Bileşimlerin mekanik özellikleri çentik darbe deneyi ve mikrosertlik metodlarıyla Fırat Üniversitesinde test edildi.

Anahtar kelimeler: Plazma ark kaynağı, Paslanmaz çelik, Düşük karbonlu çelik, Keyhole plazma

ABSTRACT

PhD Thesis

THE INVESTIGATION OF WELDABILITY OF AISI 304 STAINLESS STEEL AND AISI 1040 MEDIUM CARBON STEEL BY PTA PROCESS

Musa KILIÇ

Firat University

Technical Education Faculty

Metal Department

2008, Page

Plasma arc welding is a welding method in which an exact penetration is obtained by a very strong plasma beam just as in laser and electron beam welding. In an operation mode, plasma arc forms a keyhole throughout the depth of the material by melting all material. With this mode the parts up to 10 mm in thickness can be welded in one pass.

There is a few study performed on plasma arc welding within the country up to now. The studies abroad mainly focused on welding of similar or same material couples. Electron beam welding methods have been used in welding of dissimilar materials, however the limitations in use make plasma welding an attractive alternative in welding dissimilar materials with respect to the ease of preparation of the parts for welding. The aim of the study is to investigate plasma arc welding of a dissimilar steel couple (a stainless steel and a low carbon steel). The study will lead the future studies.

The weldments were examined by optical microscope, SEM and EDX for the microstructural analysis. The mechanical properties of the joints were tested by Charpy and microhardness at Firat University.

Keywords: Plasma arc welding, Stainless steel, Low carbon steel, Keyhole plasma

1. GİRİŞ

Sürekli gelişmekte ve ilerlemekte olan günümüz teknolojisi, her alanda olduğu gibi imalat sektöründe de yeni imalat yöntemlerini beraberinde getirmektedir. Bu yöntemler, bilinen kaynak yöntemleriyle çok zor imal edilen ve önemli tesislerde kullanılan iş parçalarının daha kaliteli, daha güvenli, daha ekonomik ve daha kısa zamanda üretilmesine büyük destek sağlamaktadır.

Plazma ark kaynağı (PAK) , metallerin bir tungsten elektrod ile iş parçası arasında oluşturulan ark ısısı ile birleştirildiği gaz korumalı bir ark kaynağı yöntemidir. Oluşturulan ark, bakır alaşımından bir nozul ile oldukça yoğunlaştırılarak bir sütun haline getirilmektedir. Plazma, plazma gazının bir kısmının iyonlaştırılması ile oluşturulmaktadır. Birleştirme işlemi, ilave metal kullanarak ya da kullanılmaksızın yapılabilir. (**ASM Handbook**).

Plazma ark yönteminde ark sütununun kalınlığı sınırlandırılabilir ve dolayısıyla ark enerjisi daha yoğun olduğundan TIG yöntemine göre daha dar kaynak dikişi elde edilir. Anahtar deliği tekniği kullanılarak 1,6 ila 9,5 mm arası kalınlıklardaki parçaların birleştirilebildiği bu teknik ile tek pasoda kaynak dikişi elde edilebilir. Bütün onarım endüstrisinde, kötü kullanım ya da aşınma sonucu çentikler ya da çukurcuklar oluşmuş çeşitli elemanları yeniden kullanmak isteyen şirketlere yardımcı olan endüstridir.

Plazma ark kaynağı, bu endüstride mikro ark, düşük gerilim ve hassas çalışma ile kullanıcılara eşsiz bir birleştirme onarım ve ısıl işlem yöntemi sunar. Plazma ark kaynağı takım, kalıp ve döküm kalıplarının tamiratında da kullanılır. Üstelik bu kaynak yöntemiyle, parçaların dış kısımları kaynak edilirken kaynakçının çok eğitilmiş olması gerekmez. Yalnız iç kısımların kaynağı için TIG kaynağı daha uygundur, çünkü elektrod ucu dışarıdadır.

İnce levhaların plazma kaynağında plazma arkının iş parçasına uygun bir şekilde transferi sayesinde parça uçlarının ergimeden kaynak edilebilmesi mümkündür. Otomatik kaynak işlemlerinde uzun kaynaklarda ark mesafesinin kontrol edilmesine gerek yoktur ve torç elemanlarının bakım ihtiyacı da daha azdır (**Harris,1993**).

Plazma ark kaynak yöntemi, üretim kaynağı olarak uzay endüstrisi, havacılık ve nükleer endüstrilerde çok yaygın kullanıma girmiştir. Özellikle dikiş kalitesi ve güvenilirliği ve ekonomiklik açısından kabul edilen bir yöntemdir. Plazma ark keyhole yöntemiyle yapı çelikleri birleştirilmiş ve yüksek kalitede kaynak dikişleri elde edilmiştir. (**Martikainen, 2000**).

TIG yöntemi ile kaynak edilebilen tüm metal ve alaşımları plazma ark kaynak yöntemiyle de güvenilir bir biçimde kaynak edilirler(**Kaluç,1996**).

Bu çalışmada, AISI 304 ve 1040 Orta Karbonlu Çelik çiftinin Plazma kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğini inceleyerek endüstride kullanılabilirliğini araştırmak amacını taşımaktadır; Bu amaçla plazma kaynak mekanizması, kaynağı etkileyen faktörler, kaynak

sonrası numunelerin muayenesi, plazma kaynağı yapılabilen malzemeler, kaynak uygulamaları ve bu parametrelere bağılı olarak kaynak sonrası çıkan sonuçlar incelenmiştir.

2. LİTARETÜR ARAŞTIRMASI

2.1. PASLANMAZ ÇELİKLER

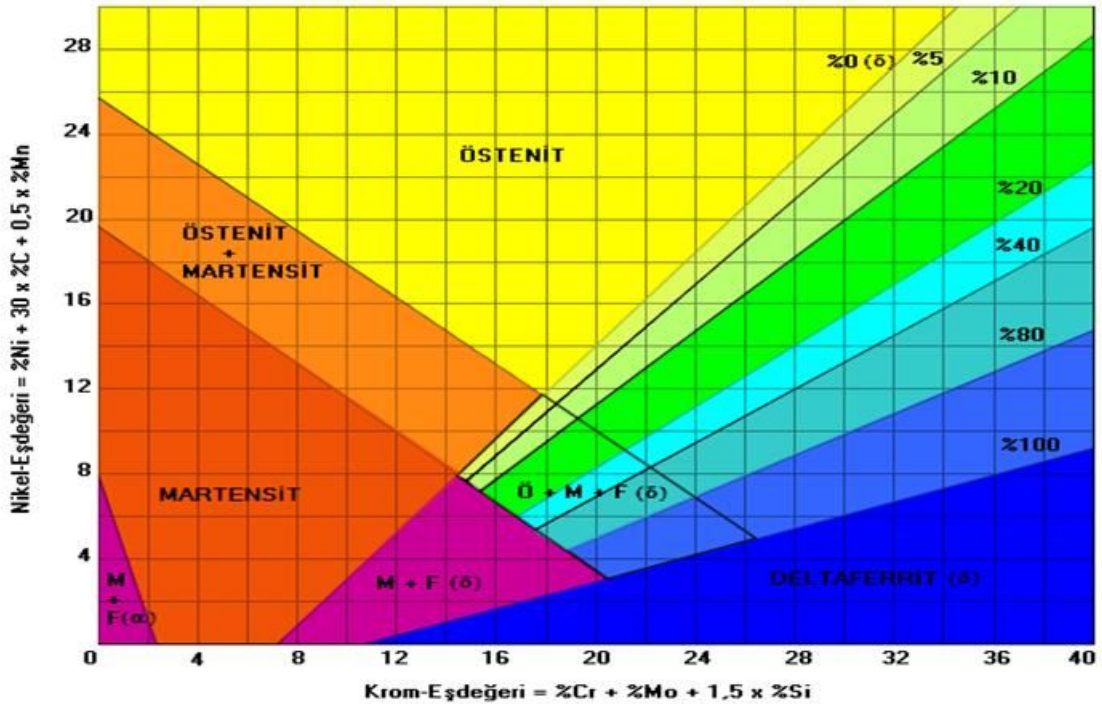
2.1.1 Giriş

Paslanmaz çelikler, esas olarak Fe-Cr, Fe-Cr-C ve Fe-Cr-Ni ikili veya üçlü faz denge sistemlerine sahiptirler. Fakat mikroyapı ve özelliklerini etkileyebilen birçok alaşım elementi de içerebilirler. Bu alaşımlarda "paslanmazlık özelliği" öncelikle, % 12' den daha yüksek Cr içeriğinde meydana gelir. Bu oranlarda malzemenin yüzeyinde Cr'ca zengin oksit tabakası meydana gelerek, malzemenin ortam şartlarının etkisinden korunmasını sağlar (Lippold, 1993).

Korozyona karşı direnç bünyede yeter derecede Cr mevcut olduğunda çeliğin yüzeyinde Cr-oksit filmi oluşmasıyla gelişir. Ergime derecesi yüksek olan bu oksit filminin oluşması için yüzeyin mutlaka oksijenle teması gerekmektedir (Anık,1981).

Paslanmaz çeliklerin istenilen mikroyapı ve diğer özelliklerinin elde edilebilmesi için Mn, Si, Mo, Ni, Ti ve N gibi alaşım elementleri kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin mikroyapısı üzerine bileşimin etkisini ayrıntılı olarak tanımlamak amacıyla Cr ve Ni eşdeğerliği kavramı geliştirilmiştir.

Şekil 2.1'de Cr ve Ni eşdeğerliklerinin karşılıklı olarak verildiği Schaffler diyagramı, paslanmaz çeliklerin kaynağında mikroyapı ve bileşim arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Schaffler diyagramı, paslanmaz çeliklerin yol haritası olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 2.1. Schaffer diagramı (Cr ve Ni eşdeğerlikleri).

2.1.2 Ferritik paslanmaz çelikler

Tablo 2.1 I. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler (Krysiak, 1993)

Tipi	% Bileşim			
	C	Cr	Mo	Diğer
429	0.12	14.0–16,0	-	-
430	0.12	16.0–18,0	-	-
430 F	0.12	16.0–18,0	0.6	0.06 P
430 f Se	0.12	16.0–18,0	-	-
434	0.12	16.0–18,0	0.75–1.25	0.6 Nb + Ta
436	0.12	16.0–18,0	0.75–1.25	-
442	0.20	18.0–23,0	-	-
446	0.20	23.0–27,0	-	-

- I. Grup ferritik paslanmaz çelikler kaynak edilebilirliği düzeltmek ve diğer özelliklerin geliştirilebilmesi için standart tip ferritik paslanmaz çeliklerin biraz değiştirilmiş halidir. Bu gruptaki ferritik paslanmaz çelikler daha düşük oranda C ve Cr içerir.
- II. Grup bu alaşımlar, yüksek sıcaklık uygulamaları ve aynı zamanda tarımsal ilaçlama tankları ve otomotiv sanayinde kullanılmaktadırlar. **Tablo 2.2** 'de II. grup standart tip ferritik paslanmaz çelikler görülmektedir.

Tablo 2.2. II. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler (**Krysiak, 1993**)

Tipi	% Bileşim				
	C	Cr	Mo	Ni	Diğer
405	0.08	11.5–34,5	-	-	0.1–0,3 Al
409	0.08	10.5–11,5	-	0.5	0.48–0.75 Ti
409 C	0.02	12.5	-	0.2	0.4 Nb
441	0.02	18.5	-	0.3	0.7 Nb, 0,3 Ti
AL 433	0.02	19.0	-	0.3	0.4 Nb, 0,5 Ti
AL 446	0.01	11.5	-	0.2	0.2 Nb, 0,1 Ti
AL 468	0.01	18.2	-	0.2	0.2 Nb, 0,1 Ti
YUS436S	0.01	17.4	1.2	-	0.2 Ti
439	0.07	17.0–19,0	-	0.5	0.5–1.0 Ti
18 SR	0,04	18.0	-	-	2 Al, 0,4 Ti
406	0.06	12.0–14,0	-	0.5	2.75–4.25 Al, 0.6 Ti

III. grup ferritik paslanmaz çelikler yüksek Cr ve Mo içerikli ferritik paslanmaz çeliklerdir ve genel korozyon, oyuklaşma (pitting) korozyonu ve gerilmeli korozyon kırılmasına karşı dayanıma sahiptirler. Bu alaşımlar, kaynak işlemi sonrası korozyona dayanıklı, tok ve sünekliğe sahip olabilmesi için, hem vakum ortamında elektron ışınlı veya vakum ortamında indüksiyonla ergitme, hem de vakum ortamında oksijen ile dekarbürize edilerek üretilmelidir (Krysiak, 1993).

İçerisinde 150 ppm'den daha az arayer elementi (C+N) bulunan III. grup paslanmaz çelikler ultra yüksek saflığa sahip ferritik paslanmaz çelikler olarak adlandırılır. Bu alaşımlarda saflık, yüksek Cr içeriğinden dolayı tokluk ve kaynak edilebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Alaşıma az miktarda Nb katılarak kaynaklı malzemelerde korozyon direnci düzeltilebilir (Krysiak, 1993). **Tablo 2.3'te** standart tip III. grup ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri görülmektedir.

Tablo 2. 3. III. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler (Krysiak, 1993)

TİPİ	% BİLEŞİM						
	C	N	Cr	Mo	Ni	Nb	Diger
E-Brite 26-1	0,01	0,15	25- 27	0,75	0,30	0,05– 0,20	0,04Mn
AL 29-4- 2	0,01	0,20	28- 30	3,52- 4	2-2,5	-	-
AL 29-4	0,01	0,20	28- 30	3,52- 4	0,15	-	0,3Mn
SHOMAC 30-2	0,003	0,007	30	2	0,4	-	0,3Mn
YUS190L	0,004	0,0085	18	2	0,4	-	-

2.1.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, kübik hacim merkezli (KHM) veya sertleştirilmiş halde tetragonal kristal kafes sistemine sahip Cr-C alaşımlarıdır. Ferromanyetikler ve ısıl işlemle sertleştirilebilirler. Martenzitik paslanmaz çelikler genellikle atmosferik korozyona karşı dirençlidirler.

Cr İçerikleri genellikle % 1–1,8 C içeriği ise % 1,2'ye kadar çıkabilir. Cr ve C oranları sertleştirme sonrası martenzitik bir yapı elde etmek için dengelenmiştir. **Tablo 2.4'de** standart tip martenzitik paslanmaz çelikler verilmiştir (Davis, 1993).

Tablo 2.4 Standart tip martenzitik paslanmaz çelikler (Davis, 1993).

Tipi	% Bileşim							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
403	0.15	1.0	0.5	11.5-13.0	-	0.04	0.03	-
410	0.15	1.0	1.0	11.5-13.0	-	0.04	0.03	-
414	0.15	1.0	1.0	11.5-13.0	1.25-2.25	0.04	0.03	-
416	0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.15	0.6 Mo
416 Se	0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.03	0.15 Se
420	Min0.15	1.0	1.0	12.0-14.0	-	0.04	0.03	-
420 F	Min0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.15	0.6 Mo
422	0.20-0.25	1.0	0.75	11.5-13.0	0.5-1.0	0.04	0.03	0.75-1.25 Mo
431	0.20	1.0	1.0	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	0.15-0.3 V
440 A	0.60-0.75	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo
440 B	0.75-0.95	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo
440 C	0.95-1.20	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo

En yaygın olarak kullanılan 410 tipi martenzitik paslanmaz çelik, % 12 Cr içeriği ile yüksek mukavemet özelliğine sahiptir. Molibden, 422 tipi paslanmaz çeliklere mekanik özellikleri ve tane sınırı korozyonuna karşı korozyon direncini artırmak için katılmıştır. Nikel, 414 ve 431 tipi paslanmaz çeliklere yine aynı nedenlerle katılmaktadır. Martenzitik paslanmaz çeliklerde korozyon dayanımını artırmak için daha yüksek Cr miktarları da kullanılmıştır (Davis, 1993).

Martenzitik paslanmaz çelikler, normal şartlarda 275 MPa'lık bir akma dayanımına sahiptirler. Bununla birlikte, C içeriğine bağlı olarak sertleştirme ve temperleme sonrası 1900 MPa'lık bir akma dayanımı seviyesi elde edilebilir. Bu alaşımlar aynı zamanda, İyi süneklik ve tokluk Özelliğine de sahiptirler. Uygulanan ısıl İşleme bağlı olarak sertlik değerleri 150 HB'den 600 HB'ye kadar değişebilir. Martenzitik paslanmaz çeliklerin temel oda sıcaklığı özellikleri **Tablo.2.5'te** görülmektedir.

Tablo 2.5 Martenzitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığı mekanik özellikleri (Davis, 1993).

Tipi	Uygulanan işlem	ÇekmeDayanımı(MPa)	AkmaDayanımı(MPa)	Uzama(%)	Sertlik
403	Sertleştirilmiş	485	275	20	88HRB
410	Sertleştirilmiş	485	205	20	95 HRB
410 S	Sertleştirilmiş	415	205	22	88 HRB
414	Temperlenmiş	795	620	15	-
416	Temperlenmiş	485	275	20	-
418	Temperlenmiş	965	760	15	-
420	Temperlenmiş	720	1480	20	52HRC
422	Temperlenmiş	825	585	17	-
431	Sertleştirilmiş	795	620	15	-
440	Sertleştirilmiş	725	415	20	95HRB
440	Temperlenmiş	1790	1650	5	51 HRC

410 tipi martenzitik paslanmaz çelikler, buhar tribünleri, jet motorları ve gaz tribünlerinde kullanılmaktadır. Daha yüksek C içeriğine sahip 440 tipi paslanmaz çelik, çatal-bıçak takımı, cerrahi dişçilik aletleri, makaslar, yaylar, valfler, dişliler, şaftlar, kamlar ve bilyeli yataklarda kullanılmaktadır (Davis, 1993).

% 13 Cr ve düşük karbon içerikli çelikler süpermartenzitik paslanmaz çelikler olarak adlandırılır. Bu çelikler özellikle yağ ve gaz endüstrisinde kullanılmaktadır. Süpermartenzitik paslanmaz çelikler, kaynak edilebilir martenzitik paslanmaz çelikler veya süper 13 Cr çelikleri olarak adlandırılırlar. **Tablo 2.6’da süpermartenzitik** paslanmaz çelik tipleri görülmektedir (www.stainless-steel-world.net, 2003).

Tablo 2.6. Süpermartenzitik paslanmaz çelik tipleri (Davis, 1993).

Tipi	% Bileşim								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Diğer
X80İlCr-2Ni	<0.015	<2	0.15	11	2	<K51	0.4	<0.012	-
HP \3 Cr	<0.03	0.4	<0.3	13	4	1	-	0.05	-
D 13.5.2N	0.02	0.7	0.3	13.3	4.8	1.6	0.1	0.08	-
X80 12Cr-4.5Ni	<0.015	<2	0.15	12	4.5	1.5	0.4	0.012	-
CRS	0.02	0.5	0.3	12.5	4.5	1.5	1.5	0.05	-
Süper 13 Cr	0.02	0.5	0.2	12.2	5.5	2	0.2	0.02	0.2V
Süper 13 C	0.02	0.4	0.2	12.5	5	2	-	<0.08	-
Süper 13 Cr-6-2.5-Ti	<0.01	0.4	0.3	12	6.2	2.5		<0.01	0.07 Ti
X80 12 Cr-6.5Ni-2.5Mo		<2	0.15	12	6.5	2.5	0.4	<0.012	-

Bu yeni kaynak edilebilir martenzitik çelik tipleri, yüksek dayanım, tatlı ve ekşi ortamlarda iyi korozyon direnci ve - 40 °C'nin altında uygun kırılma tokluğu gibi özelliklerin tamamına sahiptir.

Mikroyapısı, yüksek dayanım ve tokluğa sahip düşük karbonlu temperlenmiş martenzitten meydana gelir. Çekme dayanımları, 780–1000 MPa arasındadır (www.stainless-steel-world.net, 2003).

2.1.4. Ostenitik Paslanmaz Çelikler

Ostenitik paslanmaz çelikler, geniş bir sıcaklık aralığında (oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar) tek fazlı KYM bir kristal kafes sistemine sahiptir. Bu yüzden, yalnızca katı eriyikli alaşımlama ve dövmeyle dayanımları artırılabilir (**Brooks, 1993**).

Tablo:2.7- AISI 200 ve 300 serisi ostenitik paslanmaz çelikler

Tipi	% Bileşim							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
201	0.15	5.5-7.5	1.0	16-18	3.5-5.5	0.06	0.03	0.25 N
202	0.15	7.5-10.0	1.0	17-19	4-6	0.06	0.03	0.25 N
205	0.12-0.2	14.0-15.5	1.0	16.5-18	1-1.75	0.06	0.03	0.32-0.4 N
301	0.15	2.0	1.0	16-18	6-8	0.045	0.03	-
302	0.15	2.0	1.0	17-19	8-10	0.045	0.03	-
302 B	0.15	2.0	2.0-3.0	17-19	8-10	0.045	0.03	-
303	0.15	2.0	1.0	17-19	8-10	0.2	0.15	0.6 Mo
303 Se	0.15	2.0	1.0	17-19	8-10	0.2	0.06	0.15 Se
304	0.08	2.0	1.0	18-20	8-10.5	0.045	0.03	-
304 H	0.04-0.1	2.0	1.0	18-20	8-10.5	0.045	0.03	-
304 L	0.03	2.0	1.0	18-20	8-12	0.045	0.03	-

304 LN	0.03	2.0	1.0	18-20	8-12	0.045	0.03	0.1-0.16N
304 Cu	0.08	2.0	1.0	17-19	8-10	0.045	0.03	3-4 Cu
304 N	0.08	2.0	1.0	18-20	8-10.5	0.045	0.03	0.1-0.16N
305	0.12	2.0	1.0	17-19	10.5-13	0.045	0.03	-
308	0.080.20	2.0	1.0	19-21	10-12	0.045	0.03	-
309	0.08	2.0	1.0	22-24	12-15	0.045	0.03	-
309 S	0.25	2.0	1.0	22-24	12-15	0.045	0.03	-
310	0.08	2.0	1.0	21-26	19-22	0.045	0.03	-
310 S	0.25	2.0	1.5	24-26	19-22	0.045	0.03	-
314	0.08	2.0	1.5-3.0	23-26	19-22	0.045	0.03	
316	0.08	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo
316F	0.04-0.1	2.0	1.0	16-18	10-14	0.2	0.03	1.75-2.25 Mo
316H	0.03	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.1	2-3 Mo
316L	0.03	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3- Mo
316 LN	0.03	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo.0.1 N
316N	0.08	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3Mo,0.1N
317	0.08	2.0	1.0	18-20	11-15	0.045	0.03	3-4 Mo
317L	0.03	2.0	1.0	18-20	11-15	0.045	0.03	3-4 Mo
321	0.08	2.0	1.0	17-19	9-12	0.045	0.03	0.4 Ti
321 H	0.04-1.0	2.0	1.0	17-19	9-12	0.045	0.03	0.4 Ti
330	0.08	2.0	0.75-1.5	17-19	34-37	0.045	0.03	-
347	0.08	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.8 Mo
347 H	0.04-0.1	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.47-1 Nb
348	0.08	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.2 Co, 0.8 Nb, 0.1 Ta
348 H	0.04-0.1	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.2 Co, 0.8-1 Nb.O.1Ta
384	0.08	2.0	1.0	15-17	17-19	0.045	0.03	-

Ostenitik paslanmaz çelikler, orta dereceli ve şiddetli korozif ortamlar için geliştirilmiştir. Aynı zamanda kriyojenik (dondurucu) sıcaklıklardan 600 °C'ye kadar yüksek tokluğa sahiptir. Bu çelikler, manyetik olmadıkları için manyetik malzemelerin kullanılmadığı uygulamalarda da kullanılırlar (**Brooks, 1993**).

Ostenitik paslanmaz çelikler içerisinde kullanılan en yaygın tipler AISI 200 ve 300 seri alaşımlardır.

Ayrıca, alaşım katkıları ve özel alaşım bileşimi, kaynak edilebilirlik ve kaynak bölgesinin mikroyapısı üzerine büyük bir etkiye sahiptir. Bu alaşımlardan AISI 300 serisi, genellikle % 8–20 Ni ve % 16-25 Cr içerir. Düşük oranlardaki alaşım katkılarında % 1 Sİ dezoksidasyon için, % 0.02–0.08 C ostenitin kararlılığı için ve % 1,5 Mn ise hem ostenitin kararlılığı hem de sülfür ve Si ile bileşik oluşturması açısından katılmaktadır. **Tablo 2.7'de** AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çelikler görülmektedir (**Brooks, 1993**).

Ostenitik paslanmaz çeliklerin en önemli alaşımı X12CrNi8.8'dir. Bu alaşımın yapısı normal ısıtım işlemlerden sonra 1050 °C den suya çekilir veya havada bırakılırsa ince ostenit tanelerinden meydana gelir. Oda sıcaklığında kararlı olan bu yapı, yüksek sıcaklıklarda kararlılığını yitirir. Oda sıcaklığında çeliğin mikroyapısı ostenit + (S)-ferrit ve (Cr,Fe)₄C karbürlerinden oluşur. Bunun dışında α -fazı da yapıda görülebilir (Yıldırım, 1984).

Tablo-2. 8. Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

AISI	Oda Sıcaklığı				Çalışma Sıcaklığı F°	
	Çekme Kuvveti (1000 PSI)	Akma Kuvveti 0.2 % (1000 PSI)	Uzama2" (%)	Sertlik (Rockwell B')	Devamlı	Kesintili
201	115	55	55	90	1550	1450
202	105	55	55	90	1550	1450
301	110	40	60	85	1650	1500
302	90	40	50	85	1650	1500
302 B	95	40	55	85	1750	1600
304	84	42	55	80	1650	1550
304 L	81	39	55	79	1650	1550
305	85	38	50	80	1650	
308	85	35	50	80	1700	1550
309	90	45	45	85	1950	1850
310	95	45	45	85	2050	1900
314	100	50	40	85		
316	84	42	50	79	1650	1550
316 L	81	42	50	79	1650	1550
317	90	40	45	85	1700	1600
321	90	35	45	80	1650	1550
347	95	40	45	85	1650	1550
Bu değerler sadece çubuklar içindir. Plaka ve lamalar için biraz değişir. 1 PSI: 0,0714 Kg/cm ²						

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında eriyen bölge çok kısa bir zamanda katılaşır ve hızla soğuduğundan ve elektrot olarak kullanılan alaşımların karbon içeriği de düşük olduğundan kaynak metal, yani kaynak dikişi için karbür çökme tehlikesi yoktur. Bana karşın ısıtımın tesiri altında kalan bölge (ITAB), kaynak süresi boyunca, 500 – 900 °C sıcaklık aralığında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda da burası esas metal olduğundan, karbon içeriğinin yüksek olması halinde ostenit tane sınırlarında taneler arası korozyona neden olacak karbür çökmesi olayı ortaya çıkmaktadır. Belli bir karbon içeriği için karbür çökmesi olayının şiddeti, sıcaklık ve zamana bağlıdır. Çökme başlamadan önce sıcaklık ve değişen bir kuluçka periyodu vardır. Sıcaklık ve çeliğin karbon içeriğine göre en kısa sürede çökmenin

başladığı bir sıcaklık vardır ki buna kritik sıcaklık adı verilir. Aşağıda **Tablo 2.9'da** Krom karbür çökmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağlılığı verilmiştir.

Tablo 2.9: Krom karbür çökmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağlılığı.

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

Tek paso ile yapılan ark kaynağında ITAB, 650 – 750 °C arasındaki sıcaklığa bir dakikadan az bir süre maruz kalır. Buna karşın çok pasolu kaynak halinde, bu süre üç dakikanın üzerine çıkar ve dolayısıyla karbür çökme tehlikesi kendini gösterir. Karbür çökmesinin oluşabilmesi için, çeliğin karbon içeriğinin belirli bir miktarın üzerinde olması gerekir. **Tablo 2.9'da** görüldüğü üzere karbon içeriğini azalması, kuluçka periyodunu uzattığından bu tehlike ortadan kalkacaktır. Bu bakımdan, kaynak ile birleştirilmesi gereken ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin, karbon içeriğin en çok %0,06, optimum %0,03 civarında olması gerekmektedir. Bu amaçla, ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin özel olarak üretilen bazı türlerinde (X2CrNi 19 11, X2CrNiMo 17 13 2), karbon miktarı düşürülerek korozyon direncinin artırılması amaçlanmıştır.

Taneler arası korozyonun oluşturulmasını önlemek amacı ile uygulanan bir başka yöntem de çeliğin stabilizasyonu olarak adlandırılır; bu durumda karbonun kroma karışı olan ilgisinden daha yüksek bir ilgiye sahip bir elementin çeliğin bileşimine katılması ile gerçekleştirilir. Bu şekilde çeliğin bileşimindeki karbon ile bu yeni element karbür oluşturur ve dolayısıyla içyapının bazı bölgelerinde ortaya çıkan krom azalması olayı oluşmaz. Stabilizasyon için ilave edilen elementler titanyum, niobyum ve tantalumdur. Bu elementlerin karbürleri, tane sınırları boyunca değil, ostenit taneler içerisinde, ince zerreler halinde dağılmış olduklarından, çeliğin mekanik özelliklerinde de bir değişiklik oluşturmaz. Stabilizasyonun gerçekleşebilesi için ilave edilen titanyum karbonun dört katı, niobyumun sekiz-on katı, tantalumun onaltı katı olması gereklidir.

Çeliklerde maliyet açısından titanyum, elektrotlarda titanyumun arktaki fazla kaybından dolayı niobyum tercih edilir.

2.1.5. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks paslanmaz çelikler; Fe, Cr, Ni sistemine dayalı İki fazlı alaşımlardır. Bu alaşımlar, mikroyapıda eşit oranda KHM ferrit ve KYM ostenit bulundurur. Dupleks paslanmaz çelikler düşük karbon içeriği ($\% < 0.03$) ve Mo, N, W ve Cu katkılarıyla bilinirler. Genellikle $\% 20-30$ Cr ve $\% 5-10$ Ni içerirler. Dupleks paslanmaz çeliklerin geleneksel 300 serisi paslanmaz çeliklerden üstün özellikleri; gerilmeli korozyon kırılma dayanımı, mukavemet ve oyuklaşma (pitting) korozyonu dayanımıdır. Bu malzemeler asitler ve sudan kaynaklanan kloro karşı direncin gerektiği orta dereceli sıcaklık (-60 ile $+300$ °C) alanlarında kullanılırlar. Ticari olarak kullanılan dupleks paslanmaz çelik tipleri **Tablo 2.10.'da** görülmektedir (Noble, 1993).

Dupleks paslanmaz çeliklerin alaşım katkıları hem ostenit hem de ferrit oluşturmalarıdır. Dupleks paslanmaz çeliklerde kullanılan ana alaşım elementleri İçerisinde Cr ve¹ Mo ferrit oluşturmaları, Ni, C, N ve Cu ostenit oluşturmalarıdır. Ostenit ve ferrit oluşturmaları alaşım elementlerinin dengesi malzeme mikroyapısını oluşturmaktadır. Ticari olarak kullanılan dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri **Tablo 2.10'da** görülmektedir.

Dupleks paslanmaz çeliklerin sahip olduğu yüksek alaşım içeriği ve ferritik bir matris gevrekleşmesine karşı hassasiyeti ve mekanik özellik kaybını ve özellikle de tokluğu düzeltir. Bu çelikler daha çok yağ, gaz, petrokimya ve kâğıt endüstrisi gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Noble, 1993).

Tablo 2.10. Ticari olarak kullanılan dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik Özellikleri (Noble, 1993).

Tipi	% Bileşim								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)
S31200	0.03	2.0	1.0	24-26	5.5-6.5	1.2-2.0	0.14-0.20	690	450
S31500	0.03	1.2-2	1.4-2	18-19	4.25-5.25	2.5-3.0	0.05-0.1	630	440
S31803	0.03	2.0	1.0	21-29	4.5-6.5	2.5-3.5	0.08-0.2	620	450
S32304	0.03	2.5	1.0	21-24	3.0-5.5	0.05-0.6	0.05-0.2	600	400
S32550	0.03	1.5	1.0	24-27	4.5-6.5	2.9-3.9	0.1-0.2	760	550
S32750	0.03	1.2	1.0	24-26	6.0-8.0	3.0-5.0	0.24-0.32	800	500
S32760	0.03	1.0	1.0	24-26	6.0-8.0	3.0-4.0	0.3	750	550

S32900	0.03	1.0	0.75	23-28	2.5-5.0	1.0-2.0	-	620	485
S32950	0.03	2.0	0.60	26-29	3.5-5.2	1.0-2.5	0.15-0.35	690	480

2.1.6 Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, 585-795 MPa akma gerilmesi ve sertleşebilir 400 seri paslanmaz çeliklerden daha üstün korozyon direncine sahip Fe-Cr-Ni alaşımıdır. Bu alaşımlar, Cu, Al, Ti, Nb ve Mo gibi elementlerin biri veya birkaçı kullanılarak çökelme sertleşmeli martenzitik ve ostenitik hale gelirler. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, martenzit başlama ve bitiş sıcaklıklarına dayanarak martenzitik, yarı ostenitik ve ostenitik olmak üzere üç ayrı isimde gruplandırılabilir.

17-4 PH gibi martenzitik PH çelikler, yüksek normalizasyon sıcaklığından havada soğutmayla tamamen martenzite dönüşebilmektedir. Bunlar oda sıcaklığının hemen üzerinde bulunan bir Mf sıcaklığına sahiptirler. Bu yüzden oda sıcaklığında martenzitiklerdir. Sertleşme, 680-620 °C'de 1-4 h süreyle yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilir (**Pollard, 1993**).

17-7 PH alaşımı gibi yarı ostenitik çökelme sertleşmeli çelikler, Ms sıcaklığının oda sıcaklığından oldukça düşük olduğu dengeli bileşim oranlarına sahiptirler. Bu yüzden, ısıtma işlemi sıcaklığından soğutulduklarında sünek, aynı zamanda rahatlıkla şekillendirilebilen bir yapıya sahip olurlar. Şekillendirme işlemi sonrasında martenzite dönüşüm, uygun bir ısıtma işlemi C ve diğer alaşım elementlerinin çökmesi sonucu Ms ve Mf sıcaklıklarının artmasıyla elde edilir.

Eğer düşük bir ısıtma işlem sıcaklığı (730-760 °C) kullanılırsa, Mf sıcaklığı oda sıcaklığı civarına yükselir ve martenzit dönüşümü soğutmayla elde edilir. Eğer yüksek bir ısıtma işlem sıcaklığı (930-955 °C) kullanılırsa bu durumda daha az karbon çöker ve Mf sıcaklığı sıfırın altında kalır. Bu durumda martenzit dönüşümü elde etmek için soğutmak gerekir. Martenzitik dönüşüm aynı zamanda soğuk dövmeyle de elde edilebilir. Tüm bu durumlarda martenzitik yapı 455-565 °C'lik bir sıcaklık alanında yaşlanmayla sertleştirilebilir (**Pollard, 1993**).

Ostenitik PH çelikler; (A-286 gibi) martenzite dönüştürülemediklerinden düşük Ms sıcaklığına sahiptirler. Bu tip çeliklerde sertleştirme ostenitik bir martenzite intermetalik bileşiklerin çökmesiyle elde edilir. Herhangi bir alaşım için geniş bir özellik alanı uygulanan değişik ısıtma işlemleriyle elde edilebilir. Bununla beraber uygun mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için belirli standart ısıtma işlemleri kullanılır (**Pollard, 1993**).

2.1.7. Sade Karbonlu Çelikler

Bunlar yapılarında az miktarda % 1mangan ve silisyum oksijen azot ve kükürt gibi çelik üretim yöntemlerinden gelen elementler bulunduran demir karbon alaşımlarıdır. Sade karbonlu çelikler suya çekilmek suretiyle sertleştirilirler. Sertleştirilen çeliklerde Rokckwell –C sertliği cinsinden $R_C = 60 - 65$ sertliklere ulaşır.

Soğutmada önemli olan sürekli soğutma sırasında kritik soğuma hızını aşarak ostenitin perlite dönüşümünü engellemek ve bunun yerine ostenitin martenzite dönüşümünü olanaklı kılmaktır. İlke olarak ötektoid altı sade karbonlu çelikler Ac_3 (GOS) çizgisinin ötektoid üstü çeliklerde Ac_1 (SK) çizgisinin $30-50^\circ C$ üzerinde tavlanaarak perlit oluşumunu önleyecek şekilde çok hızlı soğutulurlar. Bu çelikte elde edilen martenzitik yapı çok sert ve ince iğnelidir, “ hardenit “ adı altındadır. Daha yüksek seçilecek bir tavlama sıcaklığından yapılacak sertleştirmede martenzit iğneleri irileşir. Sonuçta malzeme aşırı gevrek olur. Bu nedenle kalın martenzit iğneleri oluşumundan kaçınılmalıdır. Aşırı ısıtmanın başka bir sakıncasıda kalıntı (dönüşmemiş) ostenit miktarının fazlalığıdır ki buda sertliğin hissedilir derecede düşmesine neden olur.

Sade karbonlu çelikler ucuz ve kolay şekillendirilebilirler. Mekanik özellikleri yapılarında bulunan karbon oranına bağlı olarak değişir. Bu gün için demir çelik endüstrisinde üretilen çeliklerin 10 da 9 una yakını sade karbonlu çeliklerdir sertleşme yetenekleri azdır, sertleştirme işlemlerinden sonra parçada çatlama ve çarpılmalar meydana gelir. Kalın kesitli parçalar ise istenilen düzeyde sertleştirilemezler. Korozyonik ortamlara dayanıksızdırlar ancak alevle ve indüksiyonla yüzey serleştirilme yapılabilir. [Yıldırım,2001]

Yapılarındaki karbon oranlarına göre sade karbonlu çelikler 3 kısma ayrılırlar.

- 1) Düşük karbonlu çelikler : %0,05 - 0,3 karbon içerir.
- 2) Orta karbonlu çelikler : %0,3 – 0,8 karbon içerir .
- 3) Yüksek karbonlu çelikler : % 0,8 - 1,7 karbon içerir.

Yine aynı çelikler Ötektoid altı çelikler %0,05 – 0,8 ötektoid üstü çelikler % 0,8 – 1,7 olarak ta adlandırılmaktadırlar. Ayrıca karbon içeriklerine bağlı olarak C60,C45E,C50R şeklinde gösterilirler.

2.2 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

2.2.1 Giriş

"Kaynak edilebilir" terimi, bir malzemenin iş ortamındaki performansının İyi olması ve sağlıklı kaynakların yapılabilmesi anlamına gelir. Bu sebepten kaynak edilebilirlik, dayanım, süneklik ve çentik darbe dayanımı gibi mekanik özellikler ve kırılma, gerilme korozyon kırılması, genel korozyon dayanımı ve korozyonik özellikleri kapsar (**Pollard, 1993**).

Genellikle paslanmaz çeliklerin ısı iletkenliği alaşımlı ve sade karbonlu çeliklerin yaklaşık olarak yarısı kadardır. Genleşmeleri ise % 50 daha fazladır. Bu nedenle ısı kaynak bölgesinden hızlı bir şekilde dağılmaz. Kaynak yapılırken kaynak hızının düşük ve pasoların kısa seçilmesi gerekir (**Korkut, 1997**).

Plazma ark kaynağı, azot eklenerek mukavemetleri artırılmış östenitik paslanmaz çeliklerin (örn. 316LN) kaynağında da TIG yöntemine karşın tercih edilir. Zira, bu yöntemde nüfuziyet ve genişlik oranları sınırlanmış olmakla birlikte gözenek oluşumu ve dikişin gaz kapması en az düzeydedir (**Kaluç., Taban, 2004**).

2.2.2 Ferritik Paslanmaz çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Ferritik paslanmaz çelikler, gaz tungsten ark kaynağı (TIG), gaz metal ark kaynağı (MİG), elektrik ark kaynağı, plazma ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ışın kaynağı, lazer ışın kaynağı ve tozaltı kaynak yöntemleri kullanılarak kaynak edilebilir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı yönteminde doğru akım düz kutuplama (DADK) kullanılır. Elektrot olarak % 2 Th'lu W, koruyucu gaz olarak ise Ar, He ve bunların karışımı olan gazlar kullanılır.

Ar ve He gazlarına N katkı olarak, ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında asla kullanılmaz. Çünkü şiddetli gevreklik ve korozyon dayanımının düşmesine neden olur (**Pollard, 1993**).

Mohandas ve arkadaşları (1999), AISI 430 tipi bir ferritik paslanmaz çeliğin kaynak bölgesi çekme özellikleri üzerine koruyucu gaz ve tane küçültücü elementlerin etkisini araştırmıştır. TIG kaynağı yapılan bu malzemelerin tane yapısının MIG kaynağıyla kıyaslandığında daha üstün çekme ve akma dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda TIG kaynak yöntemiyle yapılan kaynakların çekme uzamalarının MIG kaynak yöntemiyle yapılan kaynaklardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ti ve Cu katkısının kaynak metalinin dayanımını artırdığı da belirtilmiştir.

(**Elsawy, 2001**), süper ferritik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında kaynak metalinin ergime karakteristiğini incelemiştir. Bu çeliğin östenitik dolgu metali kullanılarak yapılan çok

pasolu kaynağında, kaynaklı malzemenin zayıf mekanik özelliğe sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan korozyon deneyleri sonucunda, ana metale kıyasla sonuçların memnun edici olmadığı görülmüştür. Kaynak bölgesinin metalurjik muayenesi sonucunda, ergime sınırının gevrek bir yapıya sahip olduğu ve yapılan EDS analizlerinden, bu yapının ostenit ve sigma fazından oluştuğu tespit edilmiştir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında en büyük problem olan tane büyümesi, yüksek kaynak hızlarının kullanılmasıyla ve bazı durumlarda ise ostenitik bir dolgu metali kullanılarak iki fazlı tane yapısının oluşturulmasıyla ortadan kaldırılabılır (**Pollard, 1993**).

Ferritik paslanmaz çeliklerin elektrik ark kaynağında doğru akım ters kutuplama (DATK) kullanılır. Elektrik ark kaynağı, kaynak bölgesinin saflığının bozulmasından dolayı TIG ve MIG kaynağı kadar sağlıklı değildir (**Pollard, 1993**).

Ferritik paslanmaz çeliklerin plazma ark kaynağı, TIG kaynağıyla benzerlik gösterir. Plazma ark kaynağında, TIG kaynağına kıyasla daha yüksek yoğunluklu bir ark, daha dar bir ITAB ve derin nüfuziyet elde edilir (**Pollard, 1993**).

Ferritik paslanmaz çeliklerin direnç kaynağı, tokluk kaybını önlediğinden dolayı kullanılabilir. Dikişteki oksidasyonu minimuma indirmek için ise argon gazı kullanılabilir.

Ferritik paslanmaz çelikler, yüksek vakumlu elektron ışını kullanılarak hızlı bir şekilde birleştirilebilir. Bu çeliklerin aynı zamanda sürtünme ve lazer kaynağı da mümkündür. Tozaltı kaynağı, ferritik paslanmaz çeliklerin bazı tiplerinin kaynağında kullanılabilir. Bununla birlikte, yüksek ısı girdisi, ITAB'da istenmeyen tane büyümesine yol açabilir (**Pollard, 1993**).

2.2.3. Martenzitik Paslanmaz çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Martenzitik paslanmaz çelikler, işlem görmemiş, sertleştirilmiş ve sertleştirme sonrası ısıtılarak işlem görmüş durumda kaynak edilebilirler. Malzemenin, kaynak işlemi öncesi durumu ne olursa olsun, kaynak işlemi sonrası ITAB'da martenzitik bir yapı meydana gelir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında ostenit sıcaklığına kadar ısıya maruz kalan ITAB, oda sıcaklığına soğutulduğunda kırılğan bir martenzite dönüşür. Malzeme bu haliyle kullanıma hazır değildir. Malzemenin sertliğini azaltmak ve tokluğunu artırmak amacıyla ısıtılarak işlem uygulanmalıdır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerde yüksek C içeriği ITAB'da daha yüksek sertliğe ve kaynak bölgesinde çatlakların oluşumuna yol açacağından kaynak işleminin gerektiği uygulamalar için tercih edilmezler.

Birçok ticari çelikte, hidrojenin sebep olduğu soğuk çatlaklardan kaçınmak kaynak işlemi esnasında hidrojenin kontrolüne bağlıdır.

Kaynak metalinin hidrojen potansiyeli aynı zamanda TIG ve MIG kaynak yöntemleri kullanılarak azaltılabilir. Bununla birlikte, ön ısıtma işlemi soğutma hızını düşürmek için uygulanabilir. Kaynak metalinin soğuma hızının düşmesiyle hidrojenin kaynak metalinden dışarıya difüzyonu gerçekleşebilir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında TIG, MIG ve tozaltı kaynak yöntemleri yaygın bir şekilde kullanılmakla birlikte, lazer, elektron ışın, direnç kaynağı ve sürtünme kaynağı gibi diğer kaynak yöntemleri de kullanılabilir (**Poillard, 1993**).

Kurt, Orhan ve diğerleri, keyhole plazma tekniğiyle kaynak ağzı açmaksızın yaklaşık 8 mm'lik nüfuziyet ve kullanılan ostenitik ara tabakanın çentik darbe dayanımını artırdığı ortaya çıkmıştır (**Kurt, Orhan ve Diğerleri, 2007**).

Kaçar ve Baylan, martenzitik paslanmaz çelik ve ostenitik paslanmaz çiftini elektrik ark kaynağıyla çok pasolu olarak birleştirmişler ve sağlıklı sonuçlar elde etmişler (**Kaçar ve Baylan, 2004**).

Buhar türbin kanatlarının TIG kaynağıyla tamir işleminde ilave malzeme olarak 410 tipi martenzitik paslanmaz çelik ve 316 L tipi ostenitik paslanmaz çelik kullanılmış olup, kaynaklı malzemeye uygulanan çekme testleri sonucunda sağlıklı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Aynı zamanda yapılan çalışma sonucunda 316 L dolgu telinin kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır (**Bahaduri, 2001**).

(**Lippold, 1981**), %12 Cr-1Mo-0.3V (HT9) İçeriğine sahip bir martenzitik paslanmaz çeliği TIG ve lazer kaynak yöntemleri kullanarak birleştirmiş, kaynak bölgesinin mikroyapısı ve sertliği üzerinde çalışmıştır. Kaynak işlemi sonrası ergiyen bölgenin mikroyapısının temperlenmemiş martenzit ve metastabil 5-feritten meydana geldiği, sertliğinin ise Rc= 48–55 arasında gerçekleştiği sonucu ortaya çıkmıştır.

2.2.4. Ostenitik Paslanmaz çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Ostenitik paslanmaz çelikler, genellikle paslanmaz çeliklerin en İyi kaynak edilebileni olarak düşünülür. Fiziksel özellikleri ve kaynak davranışlarından dolayı ferritik, martenzitik ve dupleks alaşımlardan oldukça farklıdır. Örneğin, ostenitik paslanmaz çeliklerin ısı iletkenliği ferritik paslanmaz çeliklerin yalnızca yarısı kadardır. Bu yüzden aynı nüfuziyet için daha az ısı girdisi gerekir.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliği ve kaynak işlemi sonrası performansı direkt olarak kaynak mikroyapısıyla ilgilidir. Mikroyapı üzerine ise kimyasal bileşimin çok büyük etkisi vardır. N katkısı, alaşımın oyuklaşma korozyon direncini ve dayanımını önemli derecede düzeltir.

Bu tip alaşımlar diğerlerine nazaran daha yüksek Mn içeriğine sahiptirler. Çünkü Mn, ostenitik matriste N'un ergiyebilirliğini artırır.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin elektron ışın ve lazer kaynağı gibi yüksek yoğunluklu kaynak yöntemleriyle yapılan kaynakların mikroyapısının MIG ve TIG gibi daha geleneksel kaynak yöntemleriyle yapılan kaynakların mikroyapılan ve katılma davranışları arası farklılıklar mevcuttur. Bu farklılıklar yüksek enerji yoğunluklu kaynakların hızlı katılma ve soğumasından kaynaklanır.

Ostenitik paslanmaz çelikler, soğuma esnasında martenzitik dönüşüme maruz kalmayacağından ön ısıtma kullanılması veya çok pasolu kaynaklarda pasolar arası sıcaklık kontrolü fayda sağlamaz. Gerçekte bu ısıtma işlemleri azalan soğuma hızı ve karbür çökmesi için daha fazla zaman tanıyarak hassasiyeti artırır. Ön ısıtma ve pasolar arası ısıtma aynı zamanda çarpılma ve çatlak oluşumunu artırabilir.

Kaynak sonrası ısıtma işlemi Özellikle kalın kesitli parçalarda ostenitik kaynak metalindeki kalıntı gerilmeleri gidermek için gereklidir. Gerilme giderme işlemi 650 °C de her 25 mm kalınlık için 1–4 h arasında olmalıdır (Brooks, 1993).

Cox ve arkadaşları (2002), 304 tipi paslanmaz çeliğin difüzyon kaynağı tekniğiyle birleştirilmesinde yüzey pürüzlülüğünün etkisini araştırmışlardır. En sağlıklı bağlantının 0,5 nm RMS pürüzlülüğünde, 1000 °C'de, 3.5 MPa basınç altında 1 h'lik sürede elde edildiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca üç kaynak problemi ile karşılaşılır. Bunlar. Sırası ile;

- (1) Isının etkisi altında kalan bölgede "Krom. Karbür" oluşması sonucu meydana gelen hassasiyet
- (2) Kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu
- (3) yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "Sigma Fazı" oluşumu riskleridir.

2.2.5. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Dupleks paslanmaz çelikler genellikle iyi kaynak edilebilirliğe sahiptirler. Dupleks paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük C (% 0,03) içeriği taneler arası korozyon riskini ortadan kaldırır. Ancak meydana gelebilecek katılma çatlak ve H kırılganlığı için bazı ön tedbirler almak gereklidir.

Ön ısıtma, yüksek alaşımlı dupleks paslanmaz çeliklerde korozyon dayanımı ve mekanik Özellikleri olumsuz yönde etkilediğinden tavsiye edilmez. Kaynak sonrası ısıtma işlemleri ise dolgu metali kullanılmadan yapılan kaynaklar veya ana malzemeyle benzer bileşime sahip dolgu metaliyle yapılan kaynaklar dışında kullanılmaz.

Kaynak sonrası ısıtıl işlem, özellikle nikelce zengin dolgu metali kullanıldığında uygulanır. İşlem sıcaklığı malzeme tipi ve malzemeye uygulanan diğer işlemlere bağlı olarak yaklaşık 1050–1100 °C arasında değişir.

Dupleks paslanmaz çeliklerin kaynağında elektron ışın ve lazer kaynağı hariç diğer kaynak yöntemlerinin hemen hemen tamamı kullanılabilir. Boru kaynaklarında kök paso, korozyon direncinin iyi olması açısından çoğunlukla TIG kaynağı yöntemi kullanılarak yapılır. Sonuç olarak, dupleks paslanmaz çelikler başlıca ergitme kaynağı yöntemleriyle başarılı bir şekilde kaynak edilebilir.

Dupleks paslanmaz çeliklerin katı hal kaynak karakteristikleri üzerine birkaç çalışma yapılmıştır. Patlamalı kaynak yöntemi, boru ve benzeri parçaların kaynağında kullanılmıştır. Bu kaynak yöntemlerinde korozyon ve mekanik özelliklerin ana malzemeyle benzer olduğu tahmin edilmektedir. Sürtünme kaynağı üzerine yapılan çalışmada, kaynak bölgesi korozyon direncinin, ark kaynağıyla yapılan kaynaklardan daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Katı hal kaynak yöntemlerinin ergitme kaynağına kıyasla Önemli avantajlarının olup olmadığı yönünde halen çalışmalar devam etmektedir (Nobe, 1993).

Katı hal kaynak yöntemlerinde özellikle ergimenin olmaması lokal segregasyon etkilerinin ortadan kaldırılması açısından önem kazanmaktadır.

2.2.6. Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde çoğunlukla TIG, MIG ve elektrik ark kaynak yöntemi kullanılmıştır. Ark kaynak yöntemleri içerisinde TIG kaynağı, en yüksek kaliteye sahiptir. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin elektron ışın kaynağı, maksimum dayanım ve minimum çarpılmanın gerektiği sağlıklı kaynaklar istenildiğinde kullanılır. Elektron ışın kaynağının en önemli karakteristiği ark kaynağına kıyasla yaklaşık % 20'si kadar olan toplam ısı girdisidir. Sonuç olarak ITAB çok dardır ve kaynak metali daha ince taneli ve daha az bir ferrit içeriğine sahiptir (Nobe, 1993).

Çökelme sertleşmeli martenzitik paslanmaz çelikler düşük karbon içeriklerine sahip olduklarından ostenitik paslanmaz çeliklerden daha üstün kaynak edilebilirliğe sahiptirler. Ayrıca, 100 m'm'e kadar olan kaynaklarda ön ısıtma gerekmez. Yüksek dayanımlı kaynaklar istenildiğinde ana malzemeye benzer bileşime sahip dolgu malzemesi kullanılmalıdır. Kaynak işleminde ana malzeme ve ITAB' in yüksek sıcaklığa maruz kalan bölgeleri temperlenmemiş martenzit ve az miktarda da ferritten oluşmaktadır. Bu alaşımın kaynak işlemi sonrası mutlaka ısıtıl işleme tabi tutulması gereklidir.

Yarı ostenitik çökelme sertleşmeli çelikler esasen a-ferrit katılaşma moduna sahiptir ve soğumayla a-ferrit kısmen ostenite dönüşür. Bu yüzden ergimiş bölgenin yapısı bir ferrit matrisi içerisinde dağılmış ostenitten meydana gelir.

Kaynak sonrası uygulanan ısıtma işlemleri, osteniti kararsız hale getirdiğinden oda sıcaklığı veya sıfırın altındaki sıcaklıklarda martenzite dönüşür. Böylece kaynaklı malzemenin son ergimiş bölge mikroyapısı temperlenmiş bir martenzitik matrisle kalıntı ferrit alanından meydana gelir.

Yarı ostenitik 17-7 PH alaşımının ilave malzeme kullanılmadan yapılan kaynağında kaynak metali tamamen ostenitik değildir.

Kaynak metali yaklaşık % 25 a-ferrit içeriğine sahiptir. Kaynak metalinin o-ferrit içeriğinin fazla olması kaynak metalini sıcak çatlamaya karşı hassas yapar ve kaynak metalinin sünekliğini azaltır.

Kaynak metalinin c-ferrit içeriği uygun bir ilave metal kullanımıyla azaltılabilir. Bu alaşımlar genellikle TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilirler. Ön ısıtma ve kaynak sonrası ısıtma işlemi gerek yoktur.

Koruyucu gaz olarak helyum tercih edilir. Çünkü kaynak havuzunun yüzeyinde alüminyum oksit filmi oluşumunu minimuma indirir. MIG kaynağı, 17-7 PH ve PH 15-7 Mo alaşımlarında kaim kesitli parçaların kaynağında kullanılır. Koruyucu gaz olarak 75He-25Ar karışımı kullanımı uygundur.

Ostenitik A 286 tipi paslanmaz çelikler yüksek alaşımlıdır ve kaynak metali tamamen ostenit olarak katılaşır. Bu alaşım, hem ergime bölgesi hem de ITAB'da sıcak çatlamaya karşı hassasiyet gösterir. Katılaşma esnasında Ti ve diğer ergiyiklerin segregasyonu ile tane sınırlarında meydana gelen ötektik bir levs fazı katılaşma çatlağına sebep olur. Bu faz, Ti, Ni, Si ve Mo'ce zengin, Fe ve Cr'ca fakir bir fazdır.

Bu faz aynı zamanda ITAB'da çatlaklara da sebep olur. Ostenitik A 286 PH alaşımı zor kaynak edilebilen malzemeler sınıfındadır. Bu alaşım, doğru işlem parametreleri kullanıldığında TIG, elektron ışın ve direnç kaynağıyla başarılı bir şekilde birleştirilebilir.

Ostenitik JBK-75 PH alaşımı, düşük C, Mn, Si ve B içerikli A-286 alaşımının daha yüksek nikel içerikli halidir. Yüksek Ni içeriği, katılaşma esnasındaki çekmeleri minimuma indirir. Sıcak çatlamaya karşı A-286'dan daha büyük bir dirence sahiptir ve kalın parçalar, TIG kaynak yöntemiyle çatlaksız bir şekilde kaynak edilebilir.

2.2.7. Paslanmaz Çeliklerle Benzer Olmayan Metallerin Kaynağı

Uygun kaynak yöntemleri ve dolgu metalleri kullanıldığında ostenitik, ferritik ve çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, karbonlu çelikler ve düşük alaşımlı çelikleri de içine alan kaynak edilebilir çeliklerle başarılı bir şekilde birleştirilebilirler.

Genel bir kural olarak, kaynak metalinin dayanımı ve korozyon özellikleri bağlantıdaki en zayıf bileşene göre en azından eşit olmalıdır.

Buna ilave olarak birleşme bölgesinde kaynak metalinin Özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek infermetalik bileşikler ve diğer fazlar bulunmamalıdır. Ayrıca mikroyapı çatlamlara karşı dirençli olmalıdır.

Ostenitik paslanmaz çeliği karbon ve düşük alaşımlı çeliklerle birleştirmek, 370 °C'yi aşmayacak uygulamalarda oldukça iyi sonuçlar verir. Kaynak metalinde martenzit oluşumunu engellemek için, yeteri kadar yüksek oranda alaşım içeriğine sahip bir paslanmaz çelik dolgu metalinin kullanılması uygundur.

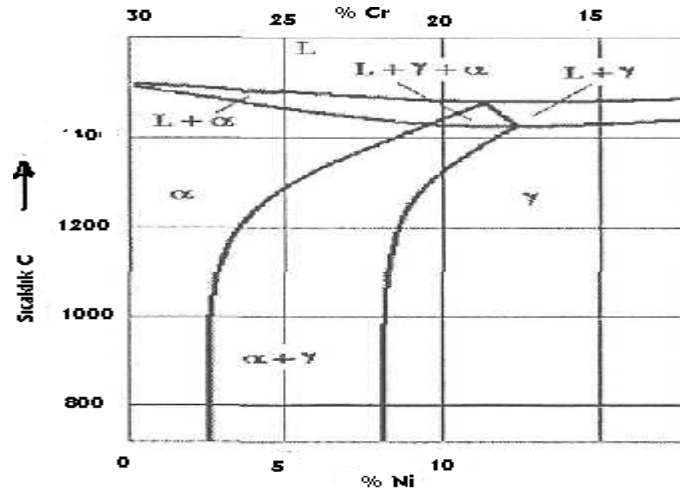
Ferritik veya martenzitik paslanmaz çelikler, karbon veya düşük alaşımlı çeliklerle genel uygulamalar için (yüksek sıcaklık uygulamaları hariç) ostenitik paslanmaz çelik veya Ni esaslı bir dolgu metali kullanılarak birleştirilebilir.

Dolgu malzemesi seçiminde göz önünde bulundurulması gereken en önemli unsur, dolgu metalinin ıslatma etkisinin her iki malzemeye de uygun olmasıdır.

Ostenitik paslanmaz çelik kaplanmış karbon ve düşük alaşımlı çelikler istenilen özellikler korunarak kaynak edilebilir. Bu malzemelerin kaynağında dolgu metali olarak yüksek alaşımlı paslanmaz çelikler kullanılmalıdır (Nobel, 1993).

2.3. Paslanmaz Çeliklerde Faz Dönüşümleri

Dupleks paslanmaz çelikler, mikroyapısında eşit miktarda KHM'li ferrit ve KYM'li ostenit fazlarını içerir. Denge diyagramından (Şekil 2.2), dupleks bir paslanmaz çelikte ergime sıcaklığından oda sıcaklığına kadar sıvı $\rightarrow$ sıvı + $\alpha \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha + \gamma$ faz dönüşümlerinin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil : 2.2 Fe-Cr-Ni üçlü sisteminin sabit bir Fe (% 68 Fe) oranındaki ikili denge diyagramı.

Dupleks paslanmaz çeliklerde M_7C_3 , a-fazı, Cr_2N , %, y_2 , $M_{23}C_6$, R-fazı, % ve s fazları görülebilir. Bu fazların oluşumları alaşım elementi içeriği, soğuma hızı ve sıcaklığa bağlıdır. (Noble, 1993; Kaplan,1997).

Ferritik paslanmaz çelikler ergime sıcaklığından oda sıcaklığına kadar ferrit olarak bilinen kkm kristal kafes sistemine sahiptir. Bu alaşımların birçoğu belirli sıcaklık aralığında istenmeyen intermetalik fazların çökmesine maruz kalırlar.

Yüksek Cr içerikli alaşımlar tetragonal a-fazının çökmesiyle gevrekleşebilirler. Sigma fazı, yaklaşık 440 °C gibi düşük bir sıcaklıkta oluşur.

Ultra yüksek saflık ferritik paslanmaz çeliklerde artan Cr ve Mo içeriği a-fazının çözünme sıcaklığını yaklaşık 1000 °C'ye yükseltir. Mo, aynı zamanda $Fe_{36}Cr_{12}Mo_{10}$ bileşimine sahip kübik % (çi) fazının oluşumuna yardımcı olur.

% 12'den daha yüksek Cr içeriğine sahip ferritik paslanmaz çelikler 370 - 550 °C'leri arasında bir sıcaklığa maruz kaldığında Fe-Cr ferrit fazının, Fe açısından zengin a ve Cr'ca zengin a' fazlarına ayrışmasıyla gevrekleşme meydana gelir. Bu gevrekleşme yaklaşık 475 °C'de çok hızlıdır ve 475 °C gevrekliği olarak ifade edilir. Bu sıcaklıktaki gevrekleşme hızı artan Cr ve Mo miktarına bağlı olarak artar (Krysiak, 1993; Kaplan 1997).

3.PLAZMA KAYNAĞI

3.1. Giriş

Plazma ark kaynağı (PAK) , metallerin bir tungsten elektrod ile iş parçası arasında oluşturulan ark ısısı ile birleştirildiği gaz korumalı bir ark kaynağı yöntemidir. Oluşturulan ark, bakır alaşımından bir nozul ile oldukça yoğunlaştırılarak bir sütun haline getirilmektedir. Plazma, plazma gazının bir kısmının iyonlaştırılması ile oluşturulmaktadır. Birleştirme işlemi, ilave metal kullanarak ya da kullanılmaksızın yapılabilmektedir (**ASM Handbook**).

Plazma transfer ark kaynağı,bir nozul sayesinde plazma arkının daraltıldığı ve bu sayede daha yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuyla kaynak yapmanın mümkün olduğu,TIG kaynak yönteminin geliştirilmiş bir halidir.Daha yüksek enerji yoğunluğu 13mm kalınlığa kadar parçaların alın birleştirmelerinde oluşturduğu anahtar deliği sayesinde daha büyük bir nüfuziyet kapasitesine sahiptir (**Baerlack,1993**).

Plazma ark yönteminde ark sütununun kalınlığı sınırlandırılabilirdiği ve dolayısıyla ark enerjisi daha yoğun olduğundan TIG yöntemine göre daha dar kaynak dikişi elde edilir. Anahtar deliği tekniği kullanılarak, 1.6 ila 9.5 mm arası kalınlıklardaki parçaların birleştirilebildiği bu teknik ile tek pasoda kaynak dikişi elde edilebilir.

Bütün onarım endüstrisinde, kötü kullanım ya da aşınma sonucu çentikler ya da çukurcuklar oluşmuş çeşitli elemanları yeniden kullanmak isteyen şirketlere yardımcı olan endüstridir. Plazma ark kaynağı, bu endüstride mikro ark, düşük gerilim ve hassas çalışma ile kullanıcılara eşsiz bir birleştirme onarım ve ısıl işlem yöntemi sunar. Plazma ark kaynağı takım, kalıp ve döküm kalıplarının tamiratında da kullanılır.

Üstelik bu kaynak yöntemiyle, parçaların dış kısımları kaynak edilirken kaynakçının çok eğitilmide olması gerekmez. Yalnız iç kısımların kaynağı için TIG kaynağı daha uygundur, çünkü elektrod ucu dışarıdadır.

İnce levhaların plazma kaynağında plazma arkının iş parçasına uygun bir şekilde transferi sayesinde parça uçlarının ergimeden kaynak edilebilmesi mümkündür. Otomatik kaynak işlemlerinde uzun kaynaklarda ark mesafesinin kontrol edilmesine gerek yoktur ve torç elemanlarının bakım ihtiyacı da daha azdır (**Harris,1993**).

Plazma ark kaynak yöntemi, üretim kaynağı olarak uzay endüstrisi, havacılık ve nükleer endüstrilerde çok yaygın kullanıma girmiştir. Özellikle dikiş kalitesi ve güvenilirliği ve ekonomiklik açısından kabul edilen bir yöntemdir.

TIG yöntemi ile kaynak edilebilen tüm metal ve alaşımları plazma ark kaynak yöntemiyle de güvenilir bir biçimde kaynak edilirler (**Kaluç,1996**).

Plazma ark keyhole yöntemiyle yapı çelikleri birleştirilmiş ve yüksek kalitede kaynak

dikişleri elde edilmiştir (Martikainen, 2000).

Paslanmaz çeliklerin plazma ark kaynağında, ince saclar kıvrık alın veya I-alın türü ağızlar ile birleştirilir. Kıvrık alın ağızların kaynağında kıvrık kısmın yüksekliğini çok iyi ayarlamak gereklidir. Bu değer, sac kalınlığının en az iki katı olmalıdır. Kalın saclar halinde ise, TIG kaynak yönteminde önerilen ağızlara nazaran ağız açısının daha küçük ve kök alın kısmının da daha yüksek olması yani Y- alın kaynak ağızı kullanılmalıdır. Plazma arkının gücüne bağlı olmasına karşın kökün birbirini öpmesi daha iyi sonuçlar vermektedir.

Plazma ark kaynağı, azot eklenerek mukavemetleri artırılmış östenitik paslanmaz çeliklerin (örn. 316LN) kaynağında da TIG yöntemine karşın tercih edilir. Zira, bu yöntemde nüfuziyet ve genişlik oranları sınırlanmış olmakla birlikte gözenek oluşumu ve dikişin gaz kapması en az düzeydedir (Kaluç., Taban, 2004).

3.2. Plazma Kaynağının Prensibi

Plazma arkı, serbetçe yanan bir arkıtan farklı olarak, çok iyi bir şekilde su ile soğutulan bir bakır memenin içinde daralan bir arktır. Ark genellikle erimeyen bir elektrot ile parça arasında yanar. Plazma mermisi akımsızdır. Meme deliğinin içinden, ark içinde yüksek sıcaklığa erişen, soy bir gaz (genellikle argon) akar. Plazma memesinin şekli ve plazma miktarı sayesinde ark, değişik kaynak işleri için geniş sınırlar içinde optimize edilebilir

Ekipman ayarlanıp, kaynağa başlayınca koruyucu gazlar akmaya başlar. Daha sonra, tungsten elektrod ile torç içindeki bakır alaşımı nozul arasında, ekseriya yüksek frekanslı bir açık devre gerilimi uygulanarak bir pilot ark oluşturulur (aktarılmayan ark konumu).

Torç iş parçasına yaklaştırıldığında veya ayarlanan kaynak akımı başlatıldığında, ark, bakır alaşımı nozul içerisinden elektrodan iş parçasına transfer edilir (aktarılan ark konumu). Bu noktada bir kaynak banyosu oluşur.

Plazma kaynağı TIG kaynağının bir uzantısı olarak kabul edilebilir. Ancak, elektrodun torçtaki konumu ve arkın iletim mekanizması açısından farklılık göstermektedir. Plazma ark yöntemi daraltılmış gaz nozülünden çıkan ark plazması sayesinde daha yüksek gaz hızı ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu yöntemde kullanılan torç merkezde tungsten elektrot, küçük bir çıkışı olan daraltılmış bir nozül ve daha dışta koruma gazının sağlandığı diğer gaz nozülünden oluşur.

İç nozülünden gelen gaz ark tarafından ısıtılır ve genişleyerek yüksek hızla dışarı çıkar. Bu gazın debisi 0.25 ile 5 lt/dak arasında tutulur. Bu değer üzerinde kaynak bölgesinde türbülansa sebep olabilir. Bu gaz kaynak bölgesini atmosferden korumak için yeterli değildir. Bunun için dış nozülünden 10 ile 30 lt/dak arasında debi ile koruma gazı sağlanır.

Plazma arkı, memeden dışarı çıktığında, biraz daha küçük parlak bir nüveye sahiptir. Nüvenin etrafı, daha az parlak kılıfa sarılmıştır. Nüve uzunluğu, 2-3 mm den 40-50 mm ye kadar değişir. Bu değişim, meme ve tünelin boyutlarına, plazma oluşturan gazın bileşim ve debisine, akım şiddetine, ark uzunluğuna bağlıdır.

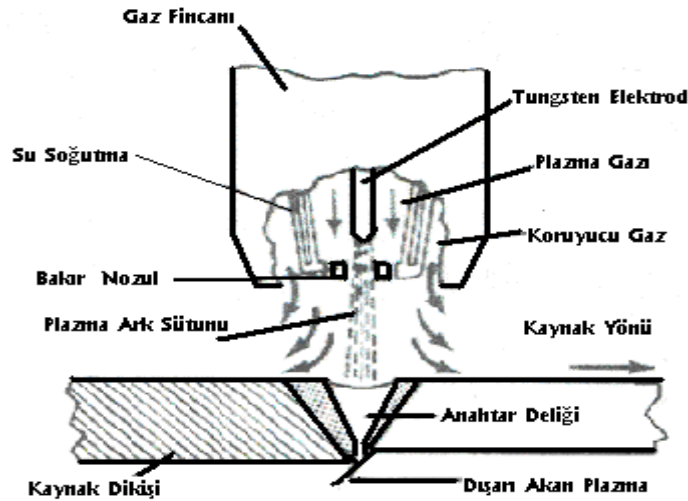
İş parçası üzerindeki mekanik ve ısı yükü dağılımı için uygun şekilde biçimlendirilmiş memeler kullanılarak, plazma arkı şekillendirilebilir. Bu yöntemdeki temel değişkenler:

Plazma akımı, iç nozul çapı ve şekli, plazma gazının çeşidi ve plazma gazının debisi. Plazma gazının debisi arttırıldığında türbülans oluşur ve erimiş metal ortamdan uzaklaştırılır. Erimiş metalin uzaklaştırılmaması için kaynak işleminde düşük debi gereklidir. Bu yöntemde doğru akımla elektrod eksi kutupta kaynak yapılır. Çelik, paslanmaz çelik, nikel alaşımları ve titanyum alaşımları bu şekilde kaynaklanabilir.

Doğru akımla elektrod artı kutupta kaynak işlemi alüminyum ve magnezyum alaşımlarında uygulanır. Bu tarz kutuplama ile arkın temizleme etkisinden faydalanılarak yüzeydeki oksit tabakası kırılır. Ancak bu şekilde elektrot çok ısınacağından akım 100 amperle sınırlanır.

Sinüs dalgasına sahip AC de alüminyum ve magnezyum alaşımları için kullanılabilir. Pozitif AC kısmında arkın temizleme etkisinden faydalanılabilir. Akım miktarı burada da 100 amp ile sınırlıdır.

Bu yöntemde ark enerjisi daha yoğun olduğundan TIG yöntemine göre daha dar kaynak dikişi elde edilir. Anahtar deliği tekniği uygulanabilen bu yöntemde 1.6 il 9.5 mm arası kalınlıklarda uygulanabilen bu teknik ile tek pasoda kaynak dikişi elde edilebilir.



Şekil 3.1: Plazma ark kaynağı prensip şeması

3.3. Plazma Kaynağında Kullanılan Gazlar

Plazma, maddenin yüksek sıcaklıklarda karşılaşılan dördüncü halidir. Yüksek sıcaklığa kadar ısıtılan gazlar önce atomlarına ayrılır, sonra da atomdan dış yörünge atomlarının kopması sonucu pozitif yüklü iyon oluşur. Oluşan iyonların yanı sıra, gaz içerisinde atomlar ve moleküller de bulunur. İşte atom, molekül, serbest elektron ve iyonlardan oluşan bu karışıma plazma adı verilir. Plazma elektrik açısından nötr'dür fakat iletkenidir. Plazma yüksek sıcaklıkta oluştuğu gibi, yüksek basınç altında da oluşur.

Yüksek basınçta, atomların elektron kabukları çöker. Serbest elektronlar ve çekirdekten oluşan plazma meydana gelir. Laboratuvar ortamında bu basınca ulaşamaz.

Yüksek sıcaklık ve basınçla elde edilen plazmanın yanında, kibrit alevi, flüorosan lambadaki ışıltı gibi düşük sıcaklık ve basınç şartlarında da plazma ile karşılaşılır. Gazlardaki iyonlaşma oranı, sıcaklık arttıkça artar.

Gazların iyonlaşma oranlarına göre iki tür plazma vardır:

- 1 Tam ya da yarı tam iyonlaşmış plazmalar
2. Kısmi iyonlaşmış plazmalar.

1. Tam ya da yarı tam iyonlaşmış plazmalar: Yıldızlar ve güneşteki plazma bu tür plazmaya örnektir. Döteryum gibi hafif çekirdeklerin helyum çekirdeği vermek üzere kaynaştıkları termonükleer (ısıl-çekirdek) sıcaklıkta karşılaşılır. Sıcaklık değeri birkaç milyon derecedir.

2. Kısmi iyonlaşmış plazmalar: iyonlaşma oranının % 50 yi nadiren aştığı plazmalardır. Plazma sıcaklığı 2000 ila 10000 O°C arasındadır. Sanayide kullanılan plazmalar bu tür plazmalardır.

3.4. Plazma Kaynağının Kullanım Alanları:

Plazma ark kaynağı malzemeler içinde en çok farklı kalınlıktaki paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılır. Bu kaynak yöntemi sayesinde, sade karbonlu ve alaşımlı çelikler, alüminyum alaşımları, titanyum alaşımları, bakır ve nikel alaşımları, zirkonyum, tantal gibi özel malzemelerin kaynağında yapılabilir.

Tek bir pasoda birleştirilebilecek parça kalınlığı 0,025 mm ila 12,5 mm aralığında yer alır. Çoğu malzemelerde doğru akım konumunu kullanmak mümkündür. PAK yöntemi, çoğunlukla otojen konumda, yani ilave tel kullanmaksızın uygulanır.

Eğer kaynak edilecek parçalarda pah kırılmışsa yani kaynak ağzı açılmışsa, dolgu teli gerekebilir. Yüksek hızlı anahtar deliği yönteminde de yanma oluşu oluşmaması için ilave tel kullanılabilir. Kullanılacak olan telin bileşimi birleştirilecek malzemenin bileşimi ile uyumlu olmalıdır.

PAK'ı kullanan sanayiler mikrop plazma ya da orta kaynak akımlarını kullanarak ince kesitli levhaları kaynak edenler ile anahtar deliği konumunu kullananlar olarak ikiye ayrılabilir. PAK ile ince paslanmaz çelik levhalardan, körük montajı, fittingleri de içeren birçok düzenek ve montajlar mikrop plazma konumunda birleştirilirler. Elde edilen dar kaynak dikişi, metal levha ürünlere hoş bir görünüm verirler. Ayrıca ulaşılan yüksek kaynak hızları, arkın sütunsu yapısından kaynaklanan ark boyu değişimlerini iyi tolere edebilme ile birleşince, yöntemi seri üretim için cazip hale getirir.

Mikrop plazma ve orta akım plazma konumları klavuz teller, filamentler ve keza çok sayıda tekrarlı otojen kaynak gerektiren benzer uygulamalarda nokta kaynağı olarak kullanılabilir.

Bu tip uygulama bir kaynakçının TIG kaynağında gerek duyulan yüksek frekanslı ark oluşturma sayısını sınırlamasına izin verir.

Anahtar deliği plazma kaynağı, paslanmaz çeliklerin boru ve depoların kaynağında çok kullanılır. Yöntem, gıda ve kimyasal işleme sanayilerinde tek pasoda paslanmaz çelikten kanalların imalinde kullanılır. Paslanmaz çelikten kanal ve boruların imalinde anahtar deliği konumunda 3 mm kalınlıktaki levhalar uygundur.

Kalınlığı 5 ila 6 mm olan levhalarda anahtar deliği konumu kök paso için kullanılır.

Malzemelerin cins ve kalınlığına bağlı olarak, erime konumu PAK, TIG, MIG/MAG veya Tozaltı Kaynak Tekniği bağlantıyı tamamlamak üzere kullanılır. Yüksek alaşımlı borularda benzer şekilde üretilir.

PAK kaynak işlemi alüminyum alaşımından yapılan geniş uzay mekiği orbiter kısımlarının, özellikle de harici yakıt tankının kaynağı için çok verimli olmuştur. Elektrod pozitif iken akımın katodik temizleme etkisi alüminyum üzerindeki inatçı oksit tabakasını parçalar.

Yöntem kare kaynak ağzı açılmış 12,5 mm kalınlığındaki parçaların kaynağında da kullanılabilir. Bu yöntem modüler uzay istasyonlarının alüminyum alaşımından yapılarının kaynağında çok miktarda kullanılmıştır.

Plazma işlemi ile tellerin ucunda ya da çok küçük elemanlar üzerinde de ark oluşturmak ve kısa süreli kaynak yapmak mümkündür. Bu özellikle iğne, tel, ampul flamenti, termokupllar (ısı çiftleri) , probalar ve bazı cerrahi cihazlar gibi elemanların kaynağında yararlı olmaktadır.

Kaynakla sızdırmazlık sağlanan tıbbi ve elektronik elemanlarda, plazma ark kaynağı;

1. Parçaya ısı girişini azaltır.
2. Hassas izolasyon keçelerinin kaynağını mümkün kılar;
3. Elektrikli girişlere zarar veren yüksek frekans elektrik kirlenmesine, yüksek frekans

kullanmadan ark oluşturarak engel olur.

Bütün bir onarım endüstrisi, kötü kullanım ya da aşınma sonucu çentikler ya da çukurcuklar oluşmuş çeşitli elemanları yeniden kullanmak isteyen şirketlere yardımcı olan endüstridir.

Plazma ark kaynağı, bu endüstride mikro ark, düşük gerilim ve hassas çalışma ile kullanıcılara eşsiz bir birleştirme onarım ve ısıtma işlemi sunar. Plazma ark kaynağı takım, kalıp ve döküm kalıplarının tamiratında da kullanılır. Üstelik bu kaynak yöntemiyle, parçaların dış kısımları kaynak edilirken kaynakçının çok eğitilmiş olması da gerekmez.

Yalnız iç kısımların kaynağı için TIG kaynağı daha uygundur, çünkü elektrod ucu dışarıdadır.

İnce levhaların kaynağında plazma işlemi arkın iş parçasına uygun bir şekilde transferini ve parça uçlarının da erimeden kaynak edilmesini sağlar. Otomatik kaynak işlemlerinde uzun kaynaklarda ark mesafesinin kontrol edilmesine gerek yoktur ve torç elemanlarının bakım ihtiyacı da daha azdır[Harris].

Plazma ark kaynak yöntemi, üretim kaynağı olarak uzay endüstrisi , havacılık ve nükleer endüstrilerde çok yaygın kullanıma girmiştir. Özellikle dikiş kalitesi ve güvenilirliği ve ekonomiklik açısından kabul edilen bir yöntemdir. TIG yöntemi ile kaynak edilebilen tüm metal ve alaşımları plazma ark kaynağı ile de güvenilir bir biçimde kaynak edilirler[Kaluç., Taban, 2004].

Genel olarak bakıldığında plazma ark kaynak tekniği; havacılık , uzay , nükleer , elektronik ve gemi yapım endüstrileri gibi birçok üretim endüstride kullanılmakta olan bir kaynak yöntemidir.

3.5. Plazma ark kaynağı uygulama teknikleri

Plazma ark kaynak yöntemi, üretim kaynağı olarak uzay endüstrisi, havacılık ve nükleer endüstrilerde çok yaygın kullanıma girmiştir. Özellikle dikiş kalitesi ve güvenilirliği ve ekonomiklik açısından kabul edilen bir yöntemdir. TIG yöntemi ile kaynak edilebilen tüm metal ve alaşımları plazma ark kaynağı ile de güvenilir bir biçimde kaynak edilirler.

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

3.5.1.Ergitme tekniği

Yüksek akım şiddetleri (50-400A) kullanılan kaynak işlemlerinde daha yaygın olarak ergitme tekniği kullanılır. Bu uygulama ile TIG yöntemine benzer bir kaynak dikişi oluşturulur. Özellikle, aynı kaynak kalitesini sağlamak için mekanize uygulamalarda, TIG yöntemine tercih edilebilir. Ark kararlılığı ve akım şiddeti yüksek olduğundan daha nufuziyetli kaynak dikişleri oluşturulur ve kullanım sırasında ark rahat kontrol altında tutulabilir, aynı zamanda kaynak süresi de azaltılır. Ek kaynak metali, malzeme kalınlığına bağlı olarak kullanılır veya kullanılmayabilir. Uygulamalar, laminasyon paketlerinin kaynağı, boru kaynağı, kaplı çelik sacların ve anahtar deliği tekniği ile oluşturulmuş kaynak dikişlerinin kapak pasolarının gerçekleştirilmesi biçiminde karşımıza gelmektedir. [Kaluç. Taban, 2004].

3.5.2.Anahtar deliği tekniği

Metallerin plazma arkı ile kaynağında metalden metale değişen bir kalınlık aralığında kullanılan gaz akımı, akım şiddeti ve kaynak hızının uygun ayarlanması ile malzemeyi derinliğine kateden bir delik ile çok küçük bir kaynak banyosu oluşturulabilir. Anahtar deliği tekniği genel olarak **yatay pozisyonda 1.5–10 mm kalınlık aralığındaki malzemelere uygulanır**. Bununla beraber, uygun kaynak koşulları sağlanarak bazı metal kalınlıklarında da her pozisyonda kaynak yapılabilir. Gazaltı kaynak yöntemleri arasında bu özeliği gösteren tek yöntem plazma arkı ile kaynak yöntemidir. **Şekil:3.2’de** TIG Kaynak yöntemi ve Plazma Kaynak ağız şekilleri gösterilmiştir.



Şekil:3.2 de TIG Kaynak Yöntemi ve Plazma Kaynak Ağız Şekilleri

Anahtar deliği tekniğinde, plazma arkı anahtar deliği oluşturmak için parçanın derinliğine doğru girdiğinden, ergiyen metal parçanın yüzeyine doğru çıkar. Plazma ark torcu, kaynak bağlantısı doğrultusunda hareket ettiğinde arkın ön kısmında bulunan ergimiş metal plazma arkının kenarlarından dolaşarak arkaya doğru hareket eder ve orada katılaşır. Anahtar deliği tekniğinin en önemli üstünlüğü, kaynağın tek pasoda yapılabilmesidir.

Anahtar deliğinin iç kısmında bulunan ergimiş metal filmi içindeki kalıntılar ve gazlar parçanın yüzeyine doğru hareket eder. Banyonun maksimum hacmi ve kökteki dikiş profili, büyük ölçüde ergimiş kaynak metalinin yüzey gerilimi, plazma arkının akım şiddeti ve iyonize olmuş plazma gazının hızı tarafından belirlenir. Yüksek akım şiddetli anahtar deliği tekniği, kaynakta kesme koşullarının hemen altındaki değerlerde gerçekleştirilebilir. Kesmede plazma gazının hızı, sadece ergiyen metali o bölgeden uzaklaştıracak derecede yüksektir.

Kaynakta plazma gaz hızının düşük olması sonucu, yüzey gerilimi, ergimiş metali kaynak ağzında tutar. Dolayısı ile, burada plazma gaz hızı kritik büyüklüktür ve sıkı bir şekilde kontrol altında tutulmak zorundadır. 0.12 l/dak'dan daha yüksek gaz debileri önerilmez ve bu da oldukça düşük bir değerdir (Kaluç., Taban, 2004)

Plazma ark kaynağı, otomatik olarak özellikle silindirik depolama tanklarının boyuna dikişlerinde TIG kaynak torcu ile kombine edilerek oldukça yaygın uygulanır. 4- 7 mm'lik saclar halinde aynı dikiş ekseninde önde plazma ark torcu, arkasında TIG torcu ilerleyerek

Tablo: 3.1. Malzeme kalınlığına bağlı olarak Parametrelerin değişimi

Kalınlık mm	Kaynak Hızı mm/sn	Akım Elektrod (-) A	Ark Gerilimi V	Gaz Debisi		Açıklama
				Plazma lt/dk	Koruyucu lt/dk	
2,4	10	115	30	3	17	Anahtar Deligi Tekniği 1 Alın
3,2	13	145	32	5	17	
4,8	7	165	36	6	21	
6,4	6	240	38	8	24	

Kaynak gerçekleştirilir. Burada, nüfuziyet plazma arkı ile sağlanırken dikişin yüzeyinin düz olması TIG ile elde edilir. Böylece, çok az bir talaşlı işlem ile yüzey düzgün duruma gelir, bazı durumlarda böyle bir işleme gerek kalmaz. Kalın saclar durumunda ise de, kızgın tel TIG tekniği+ plazma ark kaynağı beraber uygulanır (Kaluç., Taban, 2004). **Tablo: 3.1.** Malzeme kalınlığına bağlı olarak parametrelerin değişimi tablo halinde verilmiştir.

3.6. Plazma ark kaynağına etki eden başlıca parametreler şunlardır.

1. Akım
2. Setbek ayarı
3. Malzeme cinsi ve boyutları
4. Koruyucu gaz cinsi ve boyutları
5. Kullanılan elektrodlar

3.6.1 Akım

Plazma kaynağında akım şiddetine göre ayarlanan üç akım konumu kullanılır.

- **Mikroplazma: 0,1 – 15 A.**

Mikroplazma arkı, çok düşük kaynak akımlarında (0,1 – 15 A) yapılabilir. Ark sütunu ancak 20 mm'ye kadar olan ark uzunluğunda kararlıdır. Mikroplazma, 0,1 mm'ye kadar olan malzemelerin kaynağında kullanılır.

- Orta akım: 15 – 200 A.

Daha yüksek bir akım değerlerinde (15 – 200) plazma arkının gerçekleştirildiği konumdur. Bu plazma konumu TIG kaynağıyla benzerlik gösterir, fakat plazma kaynağında ark daraltılmıştır. Plazma gazı akış hızıyla kaynak havuzunun nüfuziyeti artırılabilir.

- **Anahtar deliği plazma: 100 A üzeri**

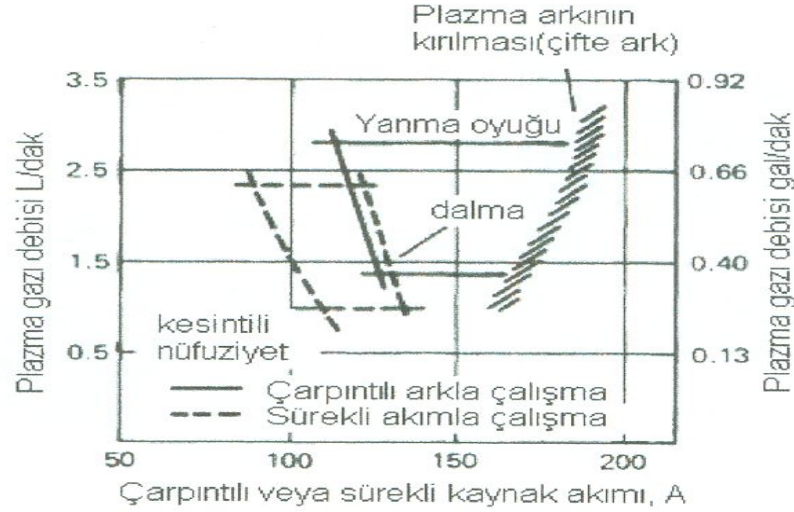
Akım değeri, 100 A'in üzerindedir. Artan kaynak akımı ve plazma gaz akışıyla, bir malzemede tam nüfuziyet elde etmek için, lazer ve elektron-ışın kaynağında olduğu gibi çok güçlü bir plazma ışını meydana getirilir. Kaynak esnasında ergiyik metal malzemenin kesiti boyunca anahtar deliği şeklinde bir boşluk oluşturarak ilerler. Bu yöntemle 10 mm. kadar olan parçalar tek pasonda kaynak edilebilir.

Yalnız parça kalınlığına göre bu akım değerlerinde çakışmalar olabilir.

Sözgelimi, 2 mm kalınlığında bir parçada anahtar deliği konumuna 70 amperde ulaşılabilir. 500 Ampere kadar akım veren plazma kaynak makineleri var ise de tipik bir makine maksimum 300 Amper verir. Mikroplazma ve orta akım durumları maksimum 3 mm kalınlığa kadar olan malzemelerde kullanılırken, anahtar deliği daha kalın parçalar ve yüksek kaynak hızlarında kullanılır.

Plazma ark kaynağı sürekli doğru akım elektrod negatif (DCEN) konumunda çalışma yanında DCEN çarpıntılı ark Değişken kutuplama ile de çalışmak mümkündür. (DCEP-DCEN) Çarpıntılı akım konumu (hem DCEN ve DCEN/DCEP de) en çok anahtar deliği plazma kaynağında (akım 100 A in üzerinde iken) kullanılır. Akımı çarpıntılı yapmak kaynak

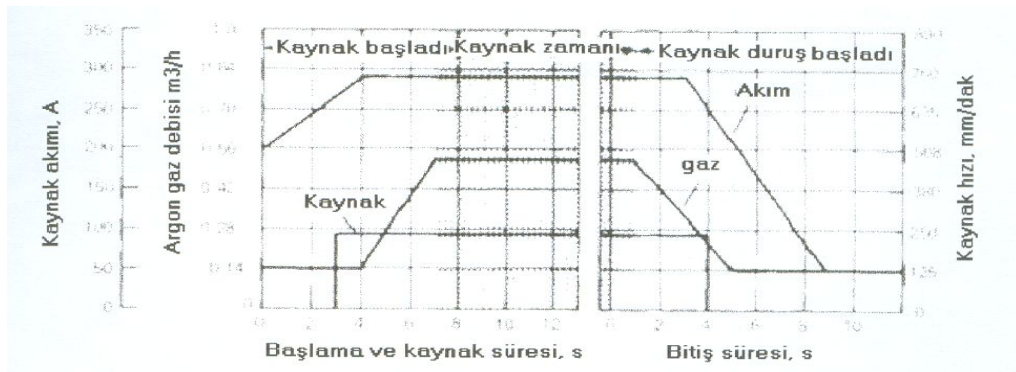
parametrelerinin kabul edilme bölgesini, anahtar deliğinin başta oluşumunu kararlı kılarak genişletir (Haris.D.İan,1993).



Şekil.3.3 Sürekli ve kesintili akım anahtar deliği konumunda kaynak akımı ve gaz debisindeki değişime karşı gösterilen tolerans. Sınırlar özel kusurların meydana gelme ihtimali olan kaynak parametreleri kombinasyonlarını göstermektedir. Kaynak parametreleri: nozul çapı 2.36 mm, elektrod çapı 4,8 mm'dir.

Kaynak akımı, ark gerilimi, kaynak hızı (mekanize/otomatik çalıştırma) ve plazma ve koruyucu gaz debileri gibi kaynak parametreleri işleme göre ayarlanır ve kaynakçı tarafından uygulanır. Torç parametreleri, doğru elektrod verteks açısı ve dayanma mesafesi ve kaynak akımı için doğru orifis çapını içerir.

Kaynak banyosu ya da anahtar deliği oluştuğundan sonra torç, önceden ayarlanan kaynak hızı ile iş parçası boyunca ilerletilir. Anahtar deliği kaynağı bitirilecek yada anahtar deliği kapatılacaksa, kaynak işlemi kaynak akımı ve aynı anda da plazma gaz debisi yavaş yavaş azaltılarak bitirilir. Anahtar deliği için azaltma (eğim) kontrolü Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil. 3.4. Bir anahtar deliğini başlatmak yada kapatmak isterken, uygulanan tipik bir eğim kontrol örneği(Örnek 9.5 mm kalınlığında bir çelik levhanın kaynağı için verilmiştir).

Plazma kaynakları iş parçasını torç pozisyonuna getirme ve kaynak parametrelerini ayarlama dışında kaynakçı müdahalesi gerektirmeyen mekanize yada otomatik olarak yapılır. Akım nabızı ve anahtar deliği kapanması gerekiyorsa, birçok parametrelerinin ayarlanması zorunludur.

Bu da detaylara sıkı sıkıya bağlı kalma, parçaların hassas bir şekilde bağlanması ve torçun dikişe göre dikkatlice bağlanmasını gerektirir.

Değişken kutuplu plazma arkının elektrod pozitif hali alüminyum alaşımlarının kaynağında inatçı oksit filmlerinin katod dağlanması artırır ve kırar dolayısıyla daha iyi akış karakteristikleri ve daha tutarlı bir dikiş şekli oluşmasını sağlar.

Ayrıca alüminyum ve alaşımlarının kaynağı yapıldığı gibi magnezyum ve alaşımlarına da uygulanır. Çarpıntı süreleri elektrodun negatif olduğu durum için 20 milisaniye, elektrodun pozitif olduğu durum için 3 milisaniyedir. Ancak bu şekilde elektrot çok ısınacağından akım 100 amperle sınırlandırılır.

Sinüs dalgasına sahip AC de alüminyum ve magnezyum alaşımları için kullanılabilir. Pozitif AC kısmında arkın temizleme etkisinden faydalanılabilir. Akım miktarı burada da 100 amp ile sınırlıdır. Değişken kutuplu plazma arkı özel havacılık uygulamalarında çok etkin olarak kullanılmaktadır.

PAK yöntemi kaynağa paso sayısını azaltmak ve böylece kaynak süresini kısaltmak için anahtar deliği konumunda kullanılabilir. Öte yandan mikrop plazma konumu da çok ince parçaların kaynağında (0,0025 'ila 1 mm) rahatlıkla kullanılabilir.

Çoğu uygulamada elektrod negatif (katod) kutba bağlanır. Bu durumda parça pozitifdir tıpkı TIG / WIG ' deki gibi. Bir TIG/WIG arkının tutuşması, ya elektrodun parçaya temas etmesiyle veya hatta daha iyi olarak, yüksek gerilim impulsları yardımıyla temassız olarak gerçekleştirilir.

Plazma üflecindeki elektrod meme ile örtülü olduğundan elektrod ile parça arasındaki esas arkın tutuşturulmasında emniyet altına alacak yardımcı bir ark'a gerek vardır. Yardımcı ark (pilot ark) yüksek frekans impulsları sayesinde, elektrod ve meme arasında tutuşur (akım şiddeti 10 A).

Bu yardımcı ark, memeden çıkan plazma gazının sıcaklığını yükseltir ve iyonize eder. Kaynak akımının devreye girmesiyle bu ark, elektroddan parça üzerine sıçrar.

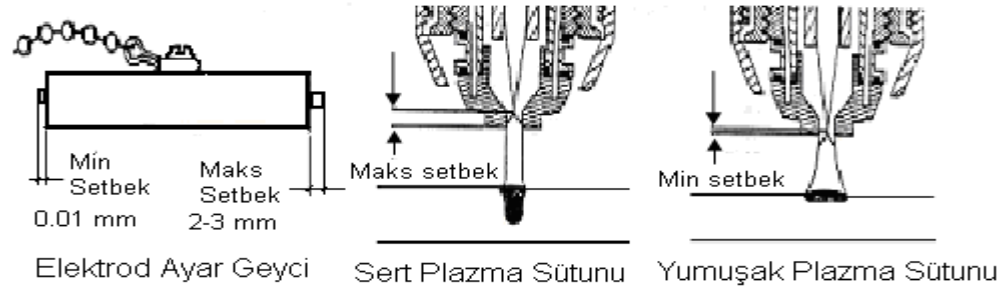
Çelik, paslanmaz çelik, nikel alaşımları ve titanyum alaşımları bu şekilde kaynaklanabilir.

Bu yöntemde ark enerjisi daha yoğun olduğundan TIG yöntemine göre daha dar kaynak dikişi elde edilir. Anahtar deliği tekniği uygulanabilen bu yöntemde 1,6 il 9,5 mm arası kalınlıklarda uygulanabilen bu teknik ile tek pasoda kaynak dikişi elde edilebilir.

Kaynağa başlamadan önce mutlaka gerekli parametrelerin kontrol edilip, gerekli ayarlar yapılmalıdır. Bunun için elektrodun nozulun uç kısmıyla arasındaki mesafesi, malzeme kalınlığına göre akım şiddeti (A) , akım şiddetine göre kaynak hızı, akım şiddetine göre plazma gazı akış hızı gibi parametrelerin ayarlanması gerekir.

3.6.2. Setbek ayarı:

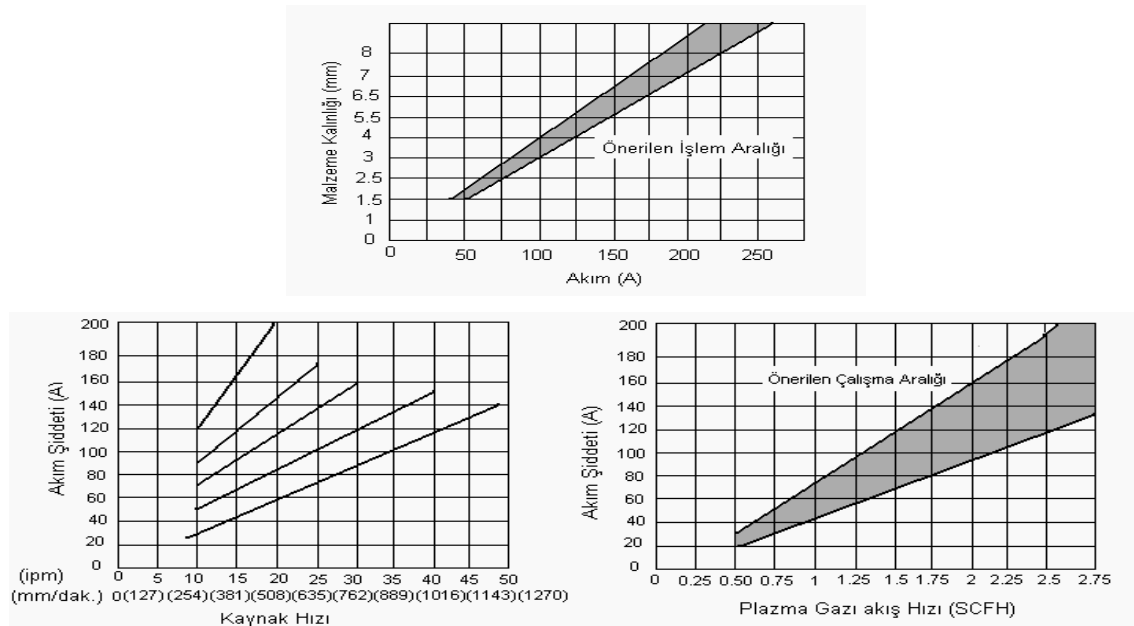
Elektrodun uç kısmının nozula göre ayarlanması kaynak formu açısından önemlidir. Bunun için elektrod ayar geyci kullanılarak minimum ve maksimum olmak üzere iki ayar konumu mevcuttur. Sert plazma sütunu veya derin nüfuziyet için maks. setbek, yumuşak plazma sütunu veya yayvan kaynak için min. setbek ayarı kullanılır.



Şekil 3.5. Plazma Kaynağında kullanılan Setbek ayarları

3.6.3 Malzeme cinsi ve boyutları:

Malzeme kalınlığına bağlı olarak akım şiddeti, akım şiddetine göre kaynak hızı ve akım şiddetine göre plazma gazı akış hızı gibi parametreler Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Malzeme kalınlığına bağlı olarak akım şiddetinin belirlenmesi

Plazma ile birleştirme oynanışında başlıca kaynak parametreleri **Tablo 3.2'** de verilmiştir.

Tablo 3.2. Plazma Kaynağı Çalışma Bölgesi

	Birleştirme	
Akım şiddetleri A	Mikroplazma kaynağı	Plazma kaynağı ve Plazma Akış Delikli kaynak
0,1 ...10	Folyeler 0,05 ... 0,2 mm	----
1 ... 20	İnce saclar 0,2 ... 0,5 mm	----
5 ... 4C	İnce saclar 0,5 ... 1 mm	----
40 .. 100	İnce saclar 1 2 mm	Plazma kaynağı 0,5 ... 1,5 mm
100... 200		Plazma kaynağı 1,5 ... 3 mm
100....350		Plazma Akış delikli kaynak
		3... 10 mm

3.6.4. Koruyucu gaz cinsi ve debisi:

Plazma gazında arkı oluşturmak için, koruyucu gaz ise katılaşp soğurken kaynak banyosunu atmosferik kirlenmeden korumak için kullanılır. Plazma gazı daima argondur. Gaz özellikleri hem dikiş şeklini hem de kalitesini etkiler.

Gazların debisi ve özellikle de plazma gazının debisi önemlidir. Çünkü plazmanın büzülmesini etkilerler. Debi, mikroplazma için 0.1 dak'dan anahtar deliği konumu için 10 L/dak ya kadar olan bir aralıkta değişebilir. Eğer anahtar deliğinin kapanması gerekirse gaz debisinin ayarında çok büyük dikkat gerekir. Çünkü debinin yaklaşık olarak 1 saniyede, 1 ya da 2 dak azaltılması icap eder. Gaz kontrolü en iyi bir şekilde, elektronik olarak yapılır.

Kaynak torçlarının tasarımı ve kullanılacakları akımlar plazma gazına göre yapılmıştır. Argon havadan ağır olduğu için etkili bir koruma sağlar ve helyumdan da daha ucuzdur. Koruyucu gaz seçimi ana metalin cinsine bağlıdır (**Tablo 3.3**)

Tablo 3.3 Plazma ve koruyucu gaz bileşimleri

Malzeme	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz
Yumuşak Çelik	Argon	Argon Argon – 2- 5%H ₂
Düşük Alaşımlı Çelik	Argon	Argon
Austenitik Paslanmaz Çelik	Argon	Argon – 2- 5%H ₂
Nikel ve nikel alaşımları	Argon	Argon – 2- 5%H ₂
Titanyum	Argon	Argon 75He – 25Ar
Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	Argon	Argon Helium
Bakır ve Bakır Alaşımları	Argon	Argon 75He – 25Ar

Helyum ve argon-helyum karışımları gazın ısı iletkenliğini ve böylece kaynak havuzu üzerindeki ısıtma etkisini artırmak için koruyucu gaz olarak kullanılabilirler.

Helyum kullanıldığında kaynak banyosunun genişliği argon kullanıldığı halden daha fazla olur. Çünkü daha yüksek bir ark voltajı üretir. Argon koruyucu gazına hidrojen katılması, arkı büzerek biraz daha dar ve temiz görünümlü bir kaynak banyosu ve dikişi oluşturur. Çünkü hidrojen redükleyici bir gazdır.

He ve H₂ gazları argona birlikte karıştırılıp daha yüksek bir ısı girdisi sağlanabilir daha yüksek ısı veren gazların kullanımı torcun aşırı ısınmasına ve muhtemelen hasar görmesine yol açabilir.

3.6.5. Kullanılan elektrodlar:

Plazma Ark Kaynağında % 2 toryum oksit içeren tungsten elektrodlar kullanılır. Elektrod standartları AWS A5.12–92 de verilmiştir. Elektrod çapı kullanılacak akım seviyesine göre seçilir. Elektrodun uç açısı seçilen akıma bağlı olarak taşlanarak, uç sivriltilir. Elektrod boyutları ve akıma göre uç açıları **Tablo 3.4** te verilmiştir.

Plazma ark kaynağında, toryum oksit yerine nadir toprak elementlerin oksitlerini içeren tungsten elektrodlar da kullanılabilir. Bu cins elektrodların uç ömürleri daha uzundur. Yalnız, bu elektrodlar pahalıdır ve kaynak esnasında ucu n çok iyi korunması gerektiği için kullanımı sınırlıdır. Düşük akımlı plazma kaynağı uygulamalarında, bu elektrodların daha iyi olan emisyonları, ark transferini kolaylaştırır ve toplam performansı artırır.

Eğer daha ince bir tel gerekirse, boşluğa uysun yada yanma oluşu oluşmasın diye, TIG kaynak elektrodları da kullanılabilir. Bu durumda uygun elektrod serisi AWS AS.XX.'tir.

Tablo 3. 4 Elektrod çapı, verteks açısı, nozul iç çapına göre maksimum akım değerleri.

Maksimum akım, A	Elektrod çapı		Vorteks açısı, derece	Plazma ^(a)				Koruma ^(b)			
				Nozul iç çapı		Debi		Seramik çapı		Debi	
	mm	in.		mm	in.	L/dak	gal/dak	mm	in.	L/dak	gal/dak
Mikroplazma											
Torç akım aralığı, 20 A											
5	1.0	0.04	15	0.8	0.03	0.2	0.05	8	0.32	4-7	1-1.8
10				0.8	0.03	0.3	0.08				
20				1.0	0.04	0.5	0.13				
Orta Akım											
Torç akım aralığı, 100 A											
30	2.4	0.10	30	0.79	0.03	0.47	0.12	1 2	0.48	4-7	1-1.8
50				1.17	0.05	0.71	0.19				
75				1.57	0.06	0.94	0.25				
100				2.06	0.08	1.18	0.31				
Torç oranı, 200 A											
50	4.8	0.19	30	1.17	0.05	0.71	0.19	1 7	0.68	4-12	1-3.2
100				1.57	0.06	0.94	0.25				
160				2.36	0.09	1.42	0.38				
200				3.20	0.13	1.65	0.44				
Torç oranı, 400 A											
180	3.2	0.13	60 ^(c)	2.82	0.11	2.4	0.63	1 8	0.72	20-35	5.3-9.2
200				2.82 ^(c)	0.11 ^(c)	2.5	0.66				
Yüksek Akım											
Torç akım aralığı, 400 A											
250	4.8	0.19	60 ^(c)	3.45 ^(d)	0.14	3.0	0.79	.. .	...	20-35	5.3-9.2
300				3.45 ^(d)	0.14 ^(d)	3.5	0.92				
350				3.96 ^(d)	0.16 ^(d)	4.1	1.08				

(a)Argon plazma gazı. (b)Argon ve Ar-5H₂ koruyucu gaz. (c)Elektrod ucu 1mm çapında köreltilir. (d) Çok ağızlı nozul

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Giriş

Bu çalışmada, AISI 304 Paslanmaz ve 1040 Orta Karbonlu çelik çifti Plazma Ark Kaynak (PAK) yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirilen numunelerin, kaynak bölgesini mikroyapıları; optik mikroskop, SEM, EDX ile incelenerek belirlendi. Kaynaklı bağlantının mekanik özellikleri ise sertlik ölçümü ve çentik darbe testleri uygulanarak belirlenmiştir.

4.2. Deney Çalışmasında Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada AISI 304 tipi ostenitik paslanmaz çelik ve AISI 1040 tipi orta karbonlu çelik plazma ark kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimlerini veren spektral analiz sonuçları Tablo 4.1’de görülmektedir.

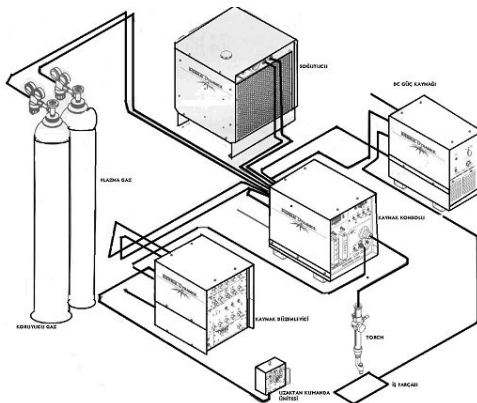
Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan malzemelerin spektral analiz sonuçları

Malzeme	C	Si	Mn	S	Cr	Mo	Ni	Fe
AISI 304	0.0353	0.343	1.68	0.0196	18.15	0.516	8.77	70.07
AISI 1040	0.321	0.182	0.875	0.0179	0.0719	-	0.0589	98.23

4.3. Deneylerde Kullanılan Plazma Ark Kaynak Makinesi ve Ekipman Özellikleri

Plazma kaynak makinesi düzeneği altı temel kısımda oluşur. Bunlar aşağıda şekillerle gösterilmektedir.

4.3.1 Ana makine



Şekil. 4.1. (a) Plazma Kaynak Makinesi Genel Görünümü ve Donanımı, (b) Kaynak ana makinesi ve kaynak konsolunun görünüşü.

4.3.2 DC Güç Kaynağı:

Kaynak yapılabilmesi için gerekli enerjiyi (DC; doğru akım) sağlar. Cihazın genel görünüşü **Şekil 4.3'te** gösterilmiştir. Cihaz üzerindeki aparatların özellikleri aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 4.3 DC Güç Kaynağı

- 1- Amper ve volt göstergesi;
- 2- Volt / Amper Şalteri;
- 3- BASKA DÜĞME: Bu düğme, kısa aralıklarla basılarak, ekranda Amper / Volt gösterir;
- 4- Amper ve Volt ayar düğmesi;
- 5- Uzaktan kumanda ve Panel şalteri.

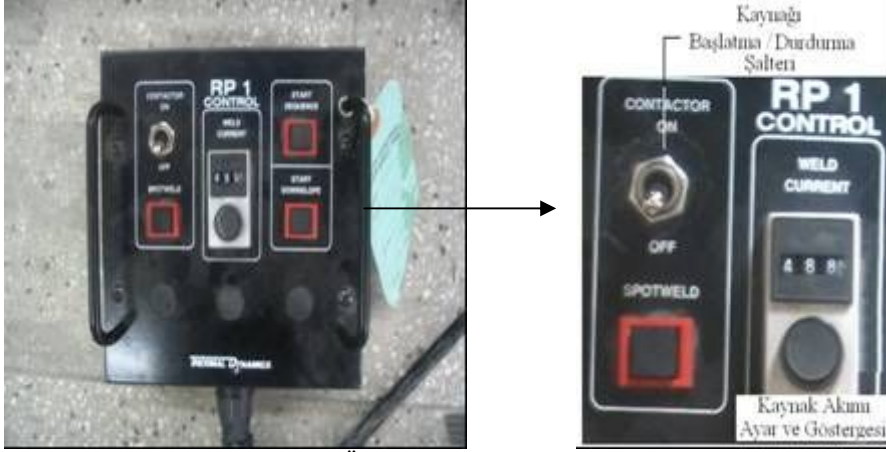
4.3.3 Soğutma Sistemi:



Şekil 4.4. Soğutma Sistemi



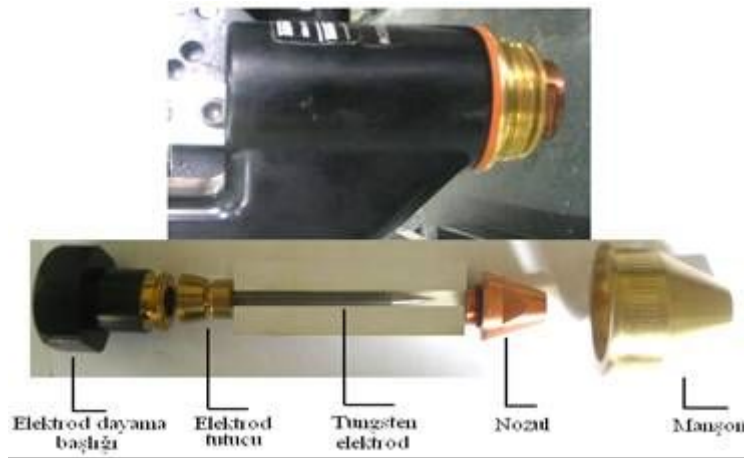
4.3.4 Uzaktan Kumanda Ünitesi :



Şekil : 4.5. Uzaktan Kumanda Ünitesi

4.3.5 Plazma Kaynak Torcu:

Aşağıda standart bir plazma kaynak torcu parçaları görülmektedir.



Şekil : 4.6. Plazma kaynak torcu

4.4. Kaynak Parametreleri ve Kaynak İşlemleri

Plazma kaynak işlemleri için kullanılan AISI 304 ostenitik paslanmaz ve 1040 Orta karbonlu çelikler 50X10 mm'lik lama halinde piyasadan temin edildi. Kaynak işlemi öncesi malzemeler, 50X30X10 mm boyutlarında hidrolik testere ile kesildi ve aralarında 0,8 mm boşluk kalacak şekilde bir tarafı AISI 304 paslanmaz diğer tarafı ise AISI 1040 orta karbonlu çelik olmak üzere puntalandı. Kaynak işlemi Tablo 4.2'deki parametreler kullanılarak gerçekleştirildi. Böylece kaynak akımı ve plazma gaz debisinin nüfuziyet, mikroyapı ve çentik darbe dayanımı üzerindeki etkileri araştırıldı.

Tablo 4.2. Kaynak parametreleri

sıra	Setbek ayarı mm	Nozul Çapı mm	İlerleme hızı m/dk	Akım A	Koruyucu Gaz lt/dk	Plazma Gazı lt/dk	Kullanılan dağlayıcı
Numune-1	0,8	2,4	0,1	100	25	0,8	Paslanmaz çelik : %50 su - % 50 NOH Orta karbonlu için :% 98 NOH-% 2 Alkol
Numune-2	0,8	2,4	0,1	110	25	0,8	
Numune-3	0,8	2,4	0,1	120	25	0,8	
Numune-4	0,8	2,4	0,1	130	25	0,8	
Numune-5	0,8	2,4	0,1	140	25	0,8	
Numune-6	0,8	2,4	0,03	100	25	1.2	
Numune-7	0,8	2,4	0,03	110	25	1.2	
Numune-8	0,8	2,4	0,03	120	25	1.2	
Numune-9	0,8	2,4	0,03	130	25	1.2	
Numune-10	0,8	2,4	0,03	140	25	1.2	

4.5. Numunelerin Metalografik Muayenesi

PAK tekniği ile birleştirilen numuneler 50x10x10 mm'lik ölçülerde kesildi ve incelenecek yüzeyleri sırasıyla 220, 800, 1000 ve 1200 mesh' lik zımparalarla ve daha sonra 3 µm'luk elmas pasta kullanılarak parlatıldı. Parlatılan numuneler, aseton banyosunda ultrasonik olarak temizlendikten sonra alkolle yıkanarak kurutuldu ve farklı dağlama solüsyonları kullanılarak dağlandı. Bunun için numunelerin orta karbonlu çelik kısmı, %98 NOH-%2 alkol'den oluşan solüsyonu ile yaklaşık 10 saniye süreyle kimyasal, paslanmaz çelik kısmı ise %50 H₂O ve % 60 NOH solüsyonunda (George F Van der Voort, **Metallography Principle and Practice,ASM, 1999**) yaklaşık 5 saniye süreyle 3 volt akım uygulanarak elektrolitik olarak dağlandı.

Numuneler Nikon marka optik mikroskopta ve LEON marka SEM da metalografik olarak incelendi. Numunelerin kaynak öncesi ve sonrası tane boyutları ASTM EN12 standardına göre lineal intercept (Heyn Kesişim Yöntemi) ile belirlendi.

4.5.1 Mikroyapılarda Belirlenmiş Olan Tane Boyutlarının Hesaplanması

Deneylerde tane boyutları ASTM Grain Size Measurement EN 112 standardına göre hesaplanmıştır.

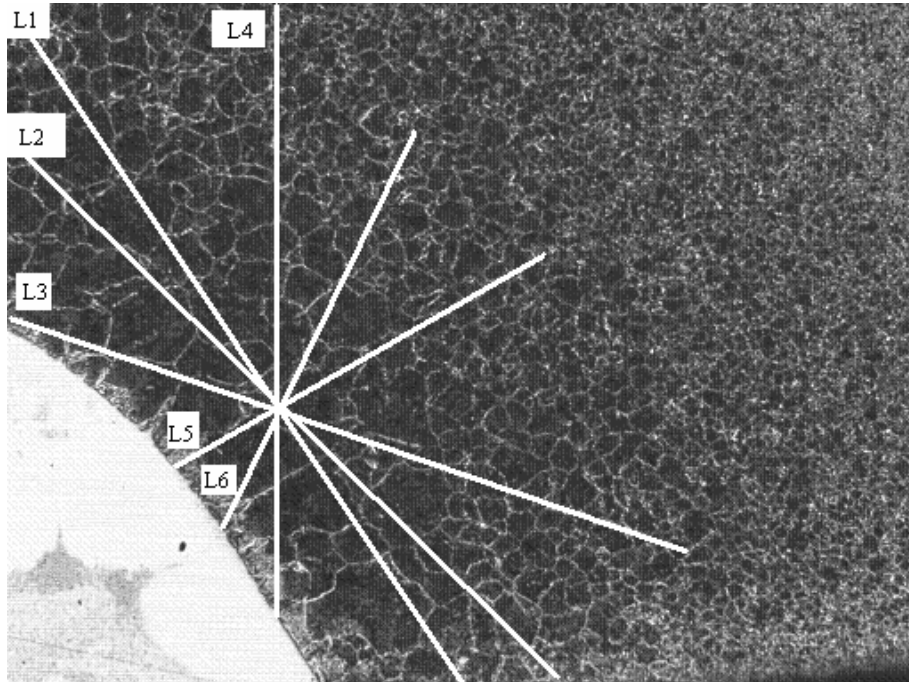
Bu yöntemle göre toplam 500 mm'lik toplam ölçme uzunluğunda (LL) tane sınırı kesişim sayısı (NL) ölçülmüş bulunan kesişim sayısı

$$NA = NL/LL/M$$

Formülünde yerine yazılarak ortalama kesişim sayısı bulunmuştur. Burada M optik mikroskoptaki büyütmedir. Daha sonra ortalama kesişim uzunluğu $L3 = 1/NA$ Formülü yardımı ile tane boyut numarası G hesaplanmıştır.

$$G = (-6,5754 (\log L3) - 3,298)$$

Bulunan G değeri de kullanılarak tablodan tane boyutu bulunmuştur.



Şekil 4.7 İri taneli bölgede (Kaynakta ITAB) tane boyutunu hesaplamak için kullanılabilecek doğrular. Doğrular gelişigüzel seçilmiştir.

Beyaz çizgilerin toplamı da dairelerin çevre uzunluklarının toplamı da LL'dir.

$$LL: L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6$$

Burada NL: Kesişim sayısı, M: Optik Mikroskoptaki Büyütme Oranı

Ortalama Kesişim uzunluğu L3

4.6. Numunelerin Çentik Darbe Testi

Deneylerde kullanılan numunelerin çentik darbe dayanımını belirlemek amacıyla 55X10X10 mm ölçülerinde üçer adet numune hazırlandı. Deneyler Instron 8503 marka çentik darbe test cihazında 300 joule enerji ile yapıldı.

4.7. Mikrosertlik Analizi

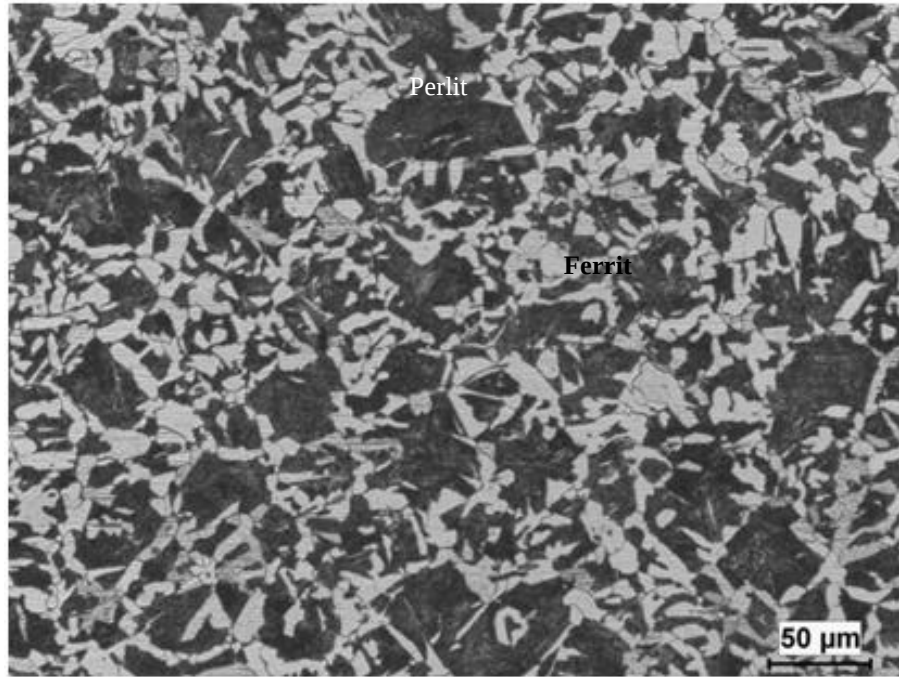
Bir malzemenin sertliği, kendisinden daha sert bir malzemeye karşı gösterdiği dirençle tanımlanır ve malzemenin deformasyon davranışının bir ölçümüdür. Bu çalışmada, plazma kaynağı ile birleştirildi ve aynı zamanda optik mikroskop için hazırlanan numunelerin ara yüzeylerinin her iki tarafında mikrosertlik ölçümleri yapıldı. Mikrosertlik değerler Future -Tech marka mikrosertlik cihazında 100 gr/kuv. lik yük kullanılarak HV cinsinden ölçüldü.

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR

5.1 Deneylerde Kullanılan Malzemelerin mikroyapıları

5.1.1 AISI 1040 ın mikroyapısı

Deneylerde kullanılan AISI 1040 ın orijinal mikroyapsını gösteren optik mikroskop fotoğrafı Şekil5.1’de verilmiştir. Yapıda % 48 perlit ve %52 ferrit vardır. Taneler eş yönelenmiştir. ASTM Tane boyut numarası 5,06 ve ortalama tane boyutu 65 µm olarak belirlendi.



Şekil 5.1 AISI 1040’ ın mikroyapı fotoğrafı

AISI 1040 ‘ın sertleşme eğilimi karbon eşdeğeri formülü ile belirlendi. Buna göre

$$C_{eş} = \% C + \% Mn/6 + \% Si/24 + \% Ni/40 + \% Cr/5 + \% Mo/4$$

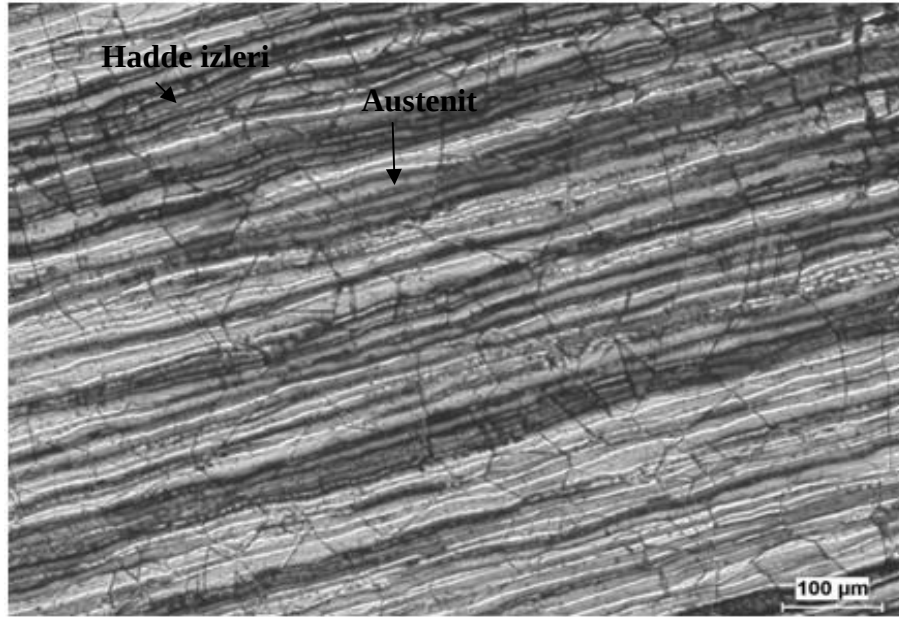
$$C_{eş} = 0,321 + 0,875/6 + 0,182/24 + 0,0719/5$$

$C_{eş} = 0,485$ olarak bulundu.

Bu değer ($C_{eş} > 0,40$) AISI 1040 çeliğinin kaynak esnasında sertleşme ve çatlama eğiliminde olduğunu ya da martenzit oluşma olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir.

5.1.2 Paslanmaz Çeliğin Mikroyapısı

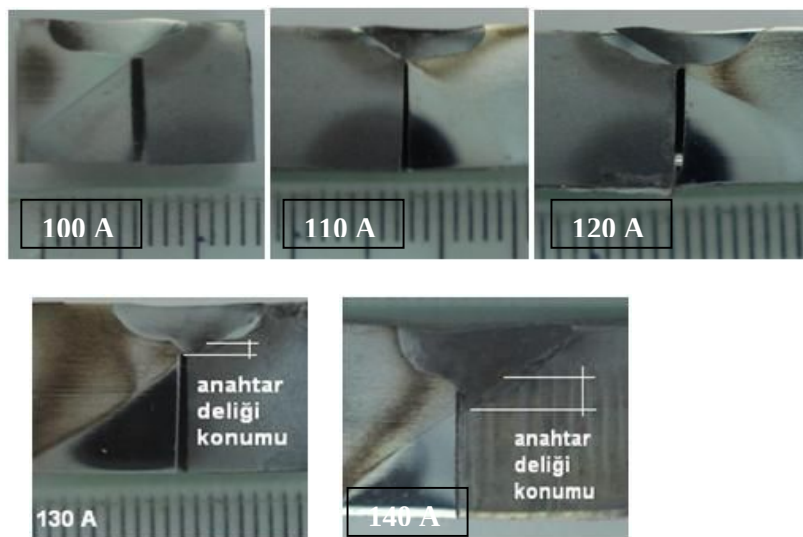
Paslanmaz çelik, austenitik bir yapıya sahiptir (Şekil 5.2). Mikroyapı fotoğrafından hadde izleri açıkça görülmektedir. Ortalama tane çapı 60 μm civarındadır.



Şekil 5.2 Paslanmaz çeliğin mikroyapısı

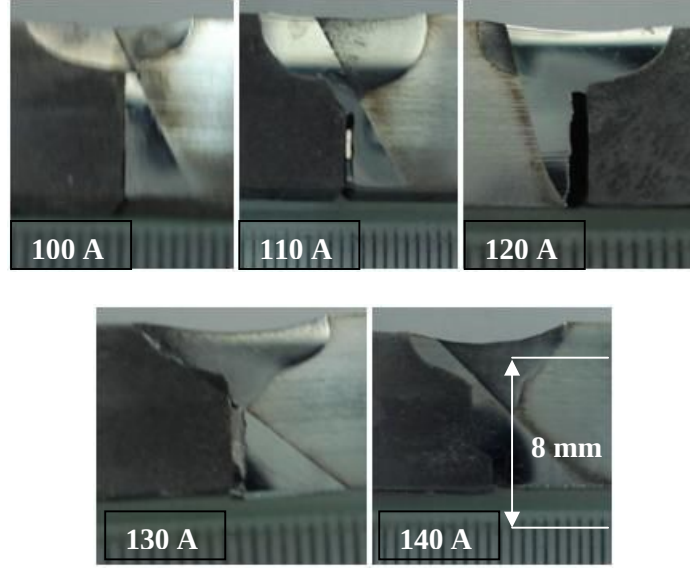
5.1.3 Numunelerin Makroskopik İncelenmesi

1.Grup numune: 100, 110, 120, 130 ve 140 A'lık akım değerleri ve 0.8 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunelerin metalografik muayene için hazırlanan örneklerinden alınan makro fotoğrafları Şekil 5.3'de verilmiştir. Makroyapı fotoğraflarından nüfuziyet 100,110,120 ve 130 A'de 3 mm iken 140 A'de 4.2 mm olarak tespit edildi. 130 ve 140 amperle yapılan kaynaklarda az da olsa keyhole oluşumu görüldü.



Şekil 5.3. Sırasıyla 100, 110, 120, 130 ve 140 A'lık akım değerleri ve 0.8 l/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunelerin makro fotoğrafları.

2.Grup numune : 100, 110, 120, 130 ve 140 A’lik akım değerleri ve 1.2 lt/dak’lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunelerin metalografik muayene için hazırlanan örneklerinden alınan makro fotoğrafları şekil 5.4’de görülmektedir. Makroyapı fotoğraflarından nüfuziyet 100 A’de 3 mm iken 140 A’de 8 mm olarak elde edilmiştir.

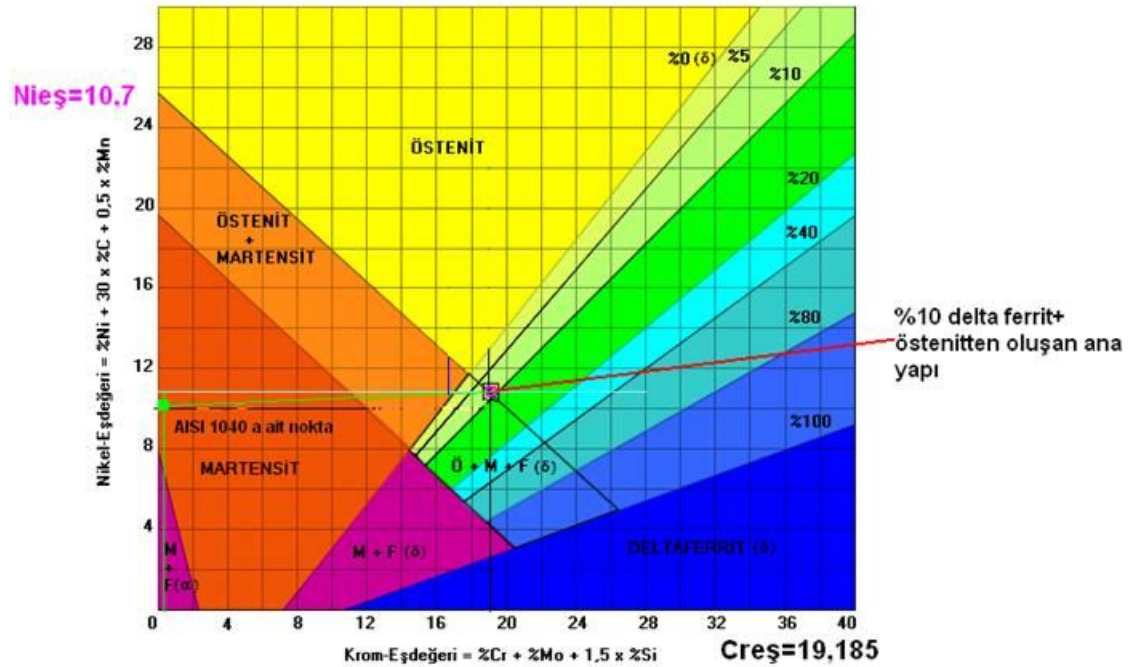


şekil 5.4. Sırasıyla 100, 110, 120, 130 ve 140 A’lik akım değerleri ve 1.2 lt/dak’lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunelerin makro fotoğrafı

5.2. Numunelerin Mikroyapı İncelemesi

5.2.1 Kaynak Metali (Dikiş)

Austenitik paslanmaz çeliklerde kaynak dikişi austenitik kübik yüzey merkezli (KYM) bir ana faz ile değişen oranlarda kübik hacim merkezli (KHM) δ ferrit içerirler. %10 un üzerindeki δ ferrit miktarı dikişin sünekliğini, tokluğunu ve korozyon direncini azaltırken, % 5 ve altındaki δ ferrit miktarları katılaşma çatlamaına yol açabilir (Kou, S., John Wile and Sons, Welding Metallurgy, 2. Basım, ABD, 2003). Çalışmamızda, AISI 1040 tarafından dikişe geçen karbonun δ ferrit miktarını % 5 ila % 10 arasında tutması beklenir. Bu durum Schaffler diyagramı kullanılarak gösterilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.5. Dikişin faz yapısını veren Schaffler diyagramı

Diyagrama göre, dikişte austenit yanında % 10 kadar da delta ferrit bulunması gerekir. Yalnız, dikişe AISI 1040 tarafından karbon geçişi olduğu da düşünüldüğünde bu oranın daha az olması beklenir. Öte yandan, AISI 1040 ile karıştığı zaman dikişte bir miktar martenzit oluşması da muhtemeldir.

Delong diyagramı kullanılarak yapılan analiz de yaklaşık %10 kadar bir δ ferrit miktarını ön gördüğü için burada verilmeye gerek duyulmamıştır.

Dikişte katılaşma dendritik olarak gerçekleşmiştir. Kaynak metallerindeki katılaşma yer yer levhalı ferrit ve yer yer de Widmanstaetten östenitli ferritik bir yapı göstermektedir. (Can Odabaş, Paslanmaz çeliklerin kaynağı, As Kaynak, İstanbul, 2007)

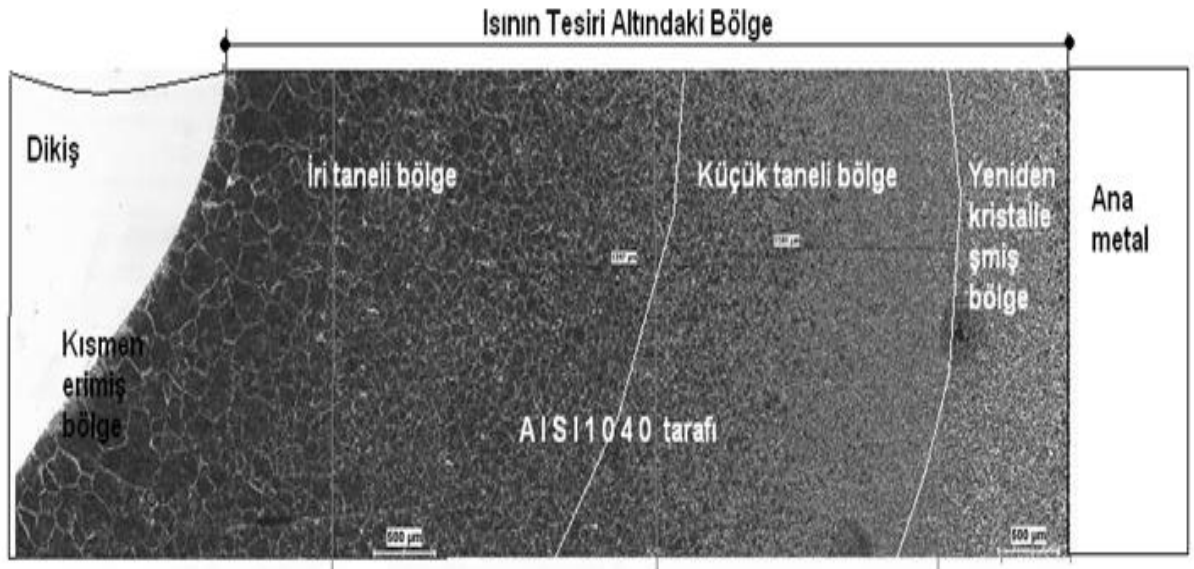
5.2.2 Dikişin Paslanmaz Çelik Tarafı

Bütün numunelerde, dikişin hemen yanında AISI 304 tarafında karbür yoğun bir bölgenin oluştuğu görülmektedir. Bu karbürler tane sınırı karbürleri olup Cr_xC_y formülüne göre oluşan karbürlerdir. Karbür yoğun bölgenin hemen yanında austenit taneleri bir miktar irileşmiştir.

5.2.3 Dikişin AISI 1040 tarafı

Kaynağın AISI 1040 tarafında esas itibariyle 5 farklı bölge meydana geldiği görülmektedir. Bu bölgeler, çeliklerin ergitme kaynağında meydana gelen tipik bölgelerdir. Isının Tesiri Altındaki 4 bölge ve ana metal bu bölgeleri oluşturmaktadır:

Dikişin hemen yanında kısmen erimiş bölge,
İri taneli bölge
İnce taneli bölge
Kısmen dönüşmüş (yeniden kristalleşmiş) bölge
Ana metal dir.



Şekil 5.6 AISI 1040 Tarafında Isının Tesiri Altındaki Bölge (Genel)

Bölgeler ayrı ayrı incelendiğinde:

Kısmen erimiş bölge:

Bütün numunelerde dikişin yanında ana metalin içine doğru uzanan kısmen erimiş dar bir bölge görülmektedir. Bölgenin hemen yanında bol miktarda asiküler ferrit adacıkları yer almaktadır. Asiküler ferritler daha çok ergime sınırında ve malzemenin serbest yüzeylerinde, yani soğuma hızının yüksek olduğu kısımlarda oluşmuştur.

Asiküler ferritin hem soğuma hızına hem de yapıdaki inklüzyonlara bağlı olduğu ve inklüzyonlardan başladığı bilinmektedir (Kou,S., John Wiley & Sons, Inc., Publication , Welding Metallurgy New Jersey. 2003).

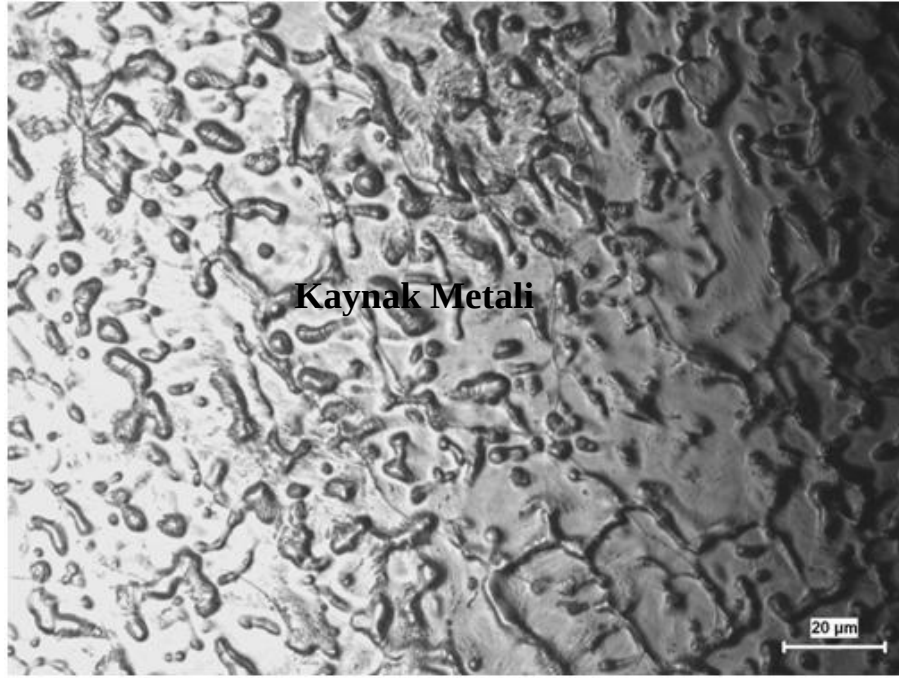
İri taneli bölgede tane sınırlarından başlayan çok sayıda Widmanstaetten ferrit mevcuttur.

İri taneli bölgeden başlayarak küçülen taneler ince taneli bölgede 10 ila 20 um luk bir tane boyutuna kadar küçülmüşlerdir.

Küçük taneli bölgenin yanında, bütün numunelerde, nispeten dar bir aralıkta yeniden kristalleşmiş bölge yer almakta ve bu bölgeyi ana metal izlemektedir.

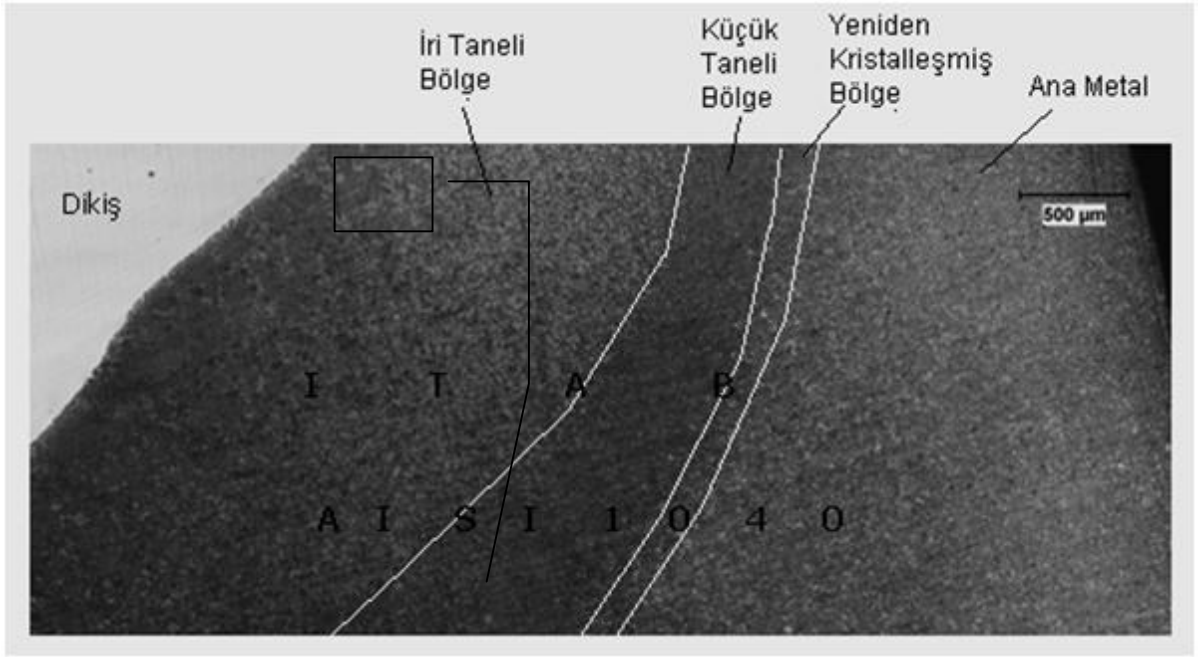
100, 110, 120, 130 ve 140 A'lık akım değerleri ve 0.8 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunelerin optik mikroyapı fotoğrafları sırasıyla **Şekil 5.7- 5.23'te** görülmektedir.

5.2.4 Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları

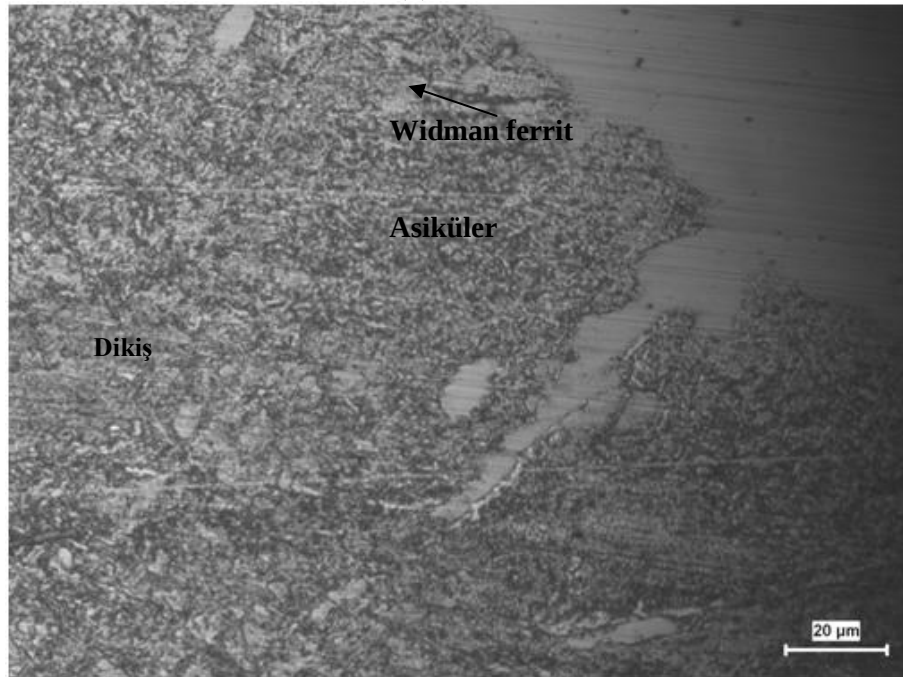


Şekil 5.7. 100 A'lık akım değerleri ve 0.8 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin kaynak dikişine ait mikroyapı fotoğrafı.

Dikişte dentritik katılaşma görülmektedir. Dentritler Delta ferritten oluşmaktadır.

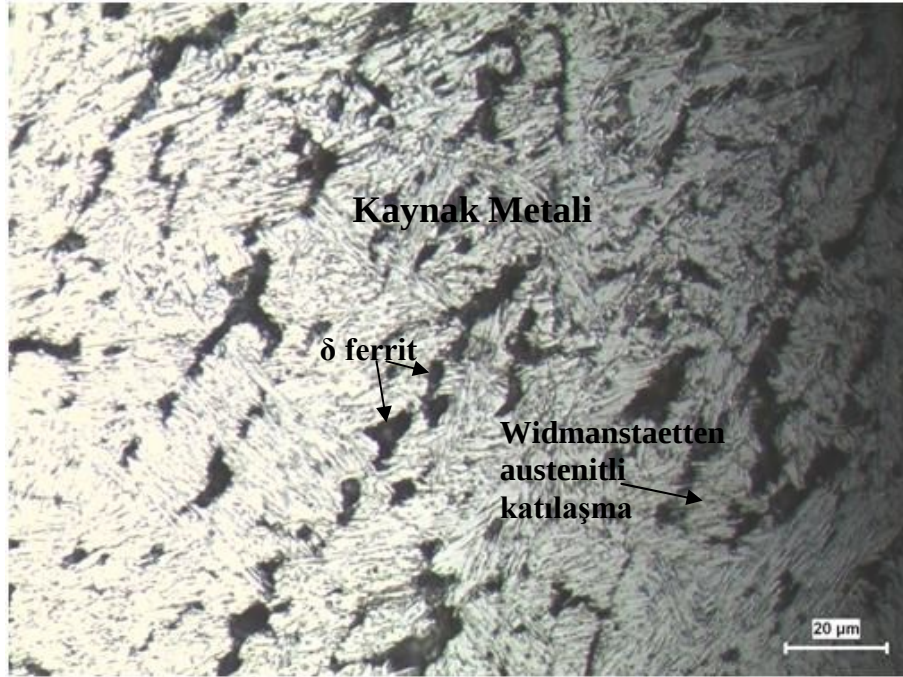


(b)



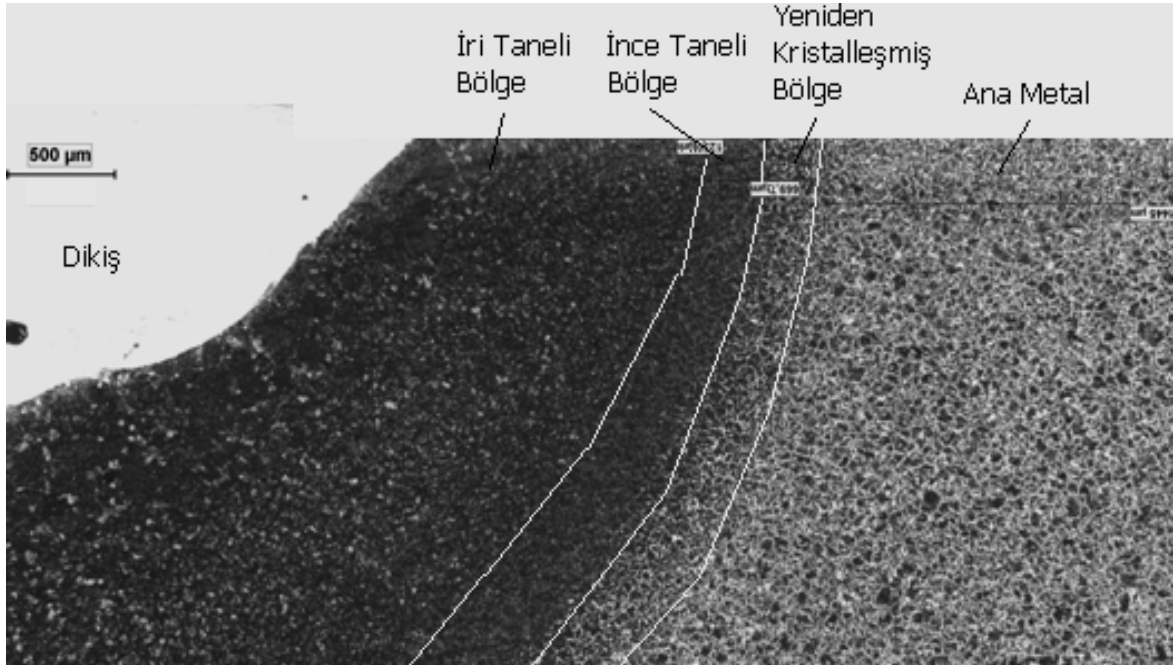
Şekil 5.8. 100 A'lık akım değerleri ve 0.8 l/tdak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin (a) AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi ve dikiş yanı mikroyapısı.

Dikişin hemen yanında taneler çok irileşmiştir. İri taneli bölge ile küçük taneli bölge arasında tedrici bir geçiş vardır; yani, taneler yavaş yavaş küçülmekte ve daha sonra tamamen küçülmüş tanelerden oluşan bölgeye geçilmektedir. Yeniden kristalleşmiş bölge burada nispeten dardır.



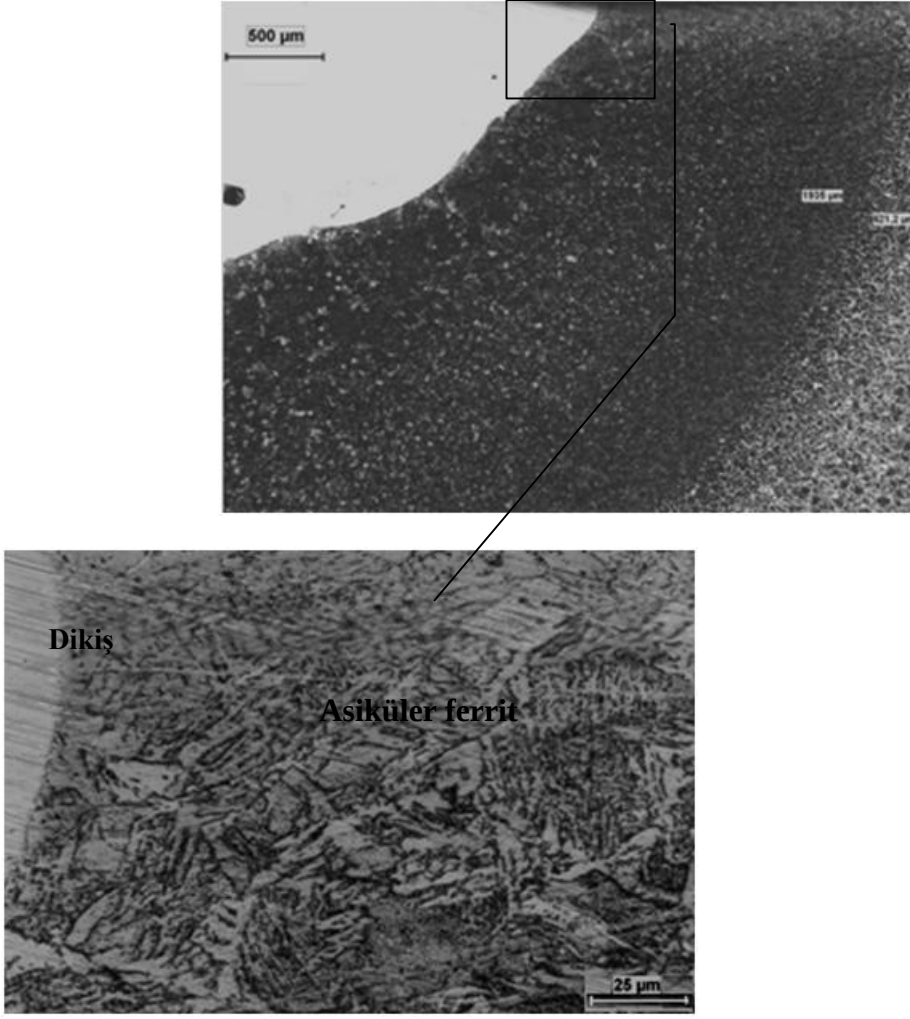
Şekil 5.9 0.8 lt/dak ve 110 amper ile kaynak edilen numunede kaynak dikişi

Bu numunede de katılaşma widmanstaetten austenitik katılaşma şeklinde gerçekleşmiştir. Karanlık bölgeler delta ferrittir.



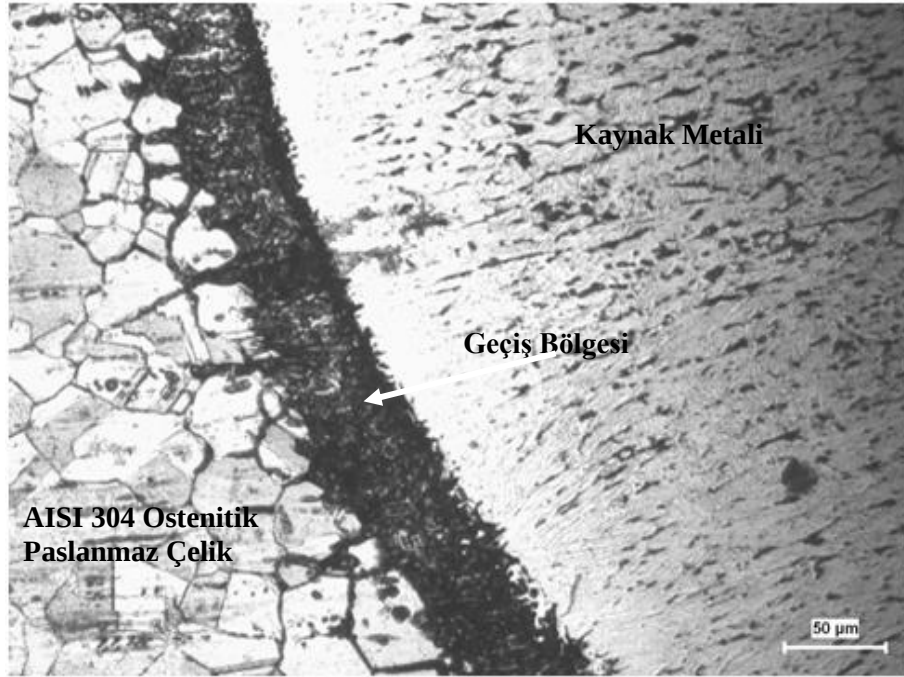
Şekil 5.10 0.8 lt/dak ve 110 amper ile kaynak edilen numunede AISI 1040 tarafı kaynak bölgesi

Bu numunede küçük taneli bölge ile yeniden kristalleşmiş bölge daha belirgindir ve yeniden kristalleşmiş bölge daha geniştir.



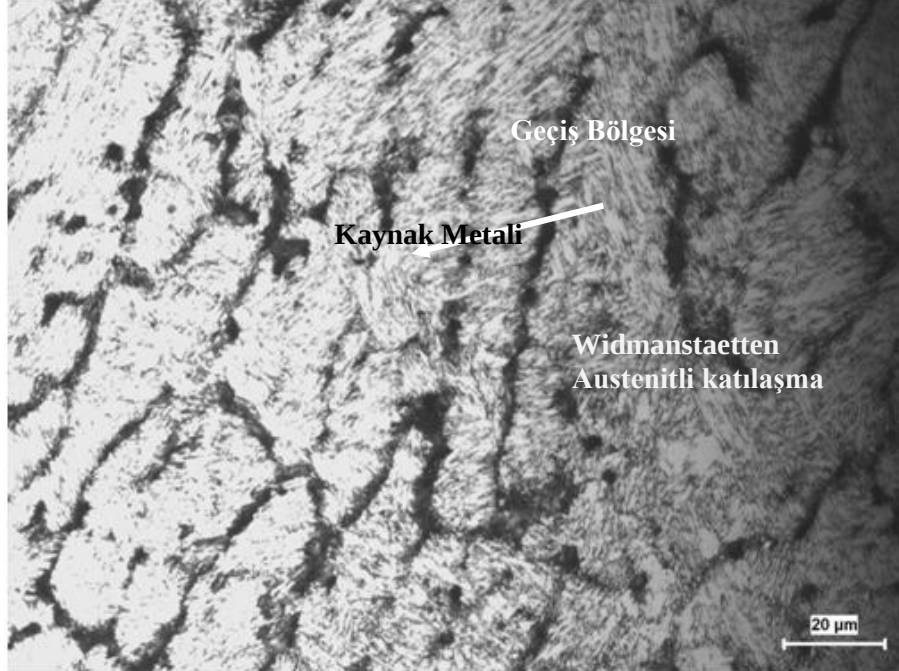
Şekil 5.11 0.8 lt/dak ve 110 amper ile kaynak edilen numune de AISI 1040 tarafı Dikiş kenarı ve mikroyapısı

Dikiş kenarında, erime sınırında bol miktarda asiküler ferrit bulunmaktadır.

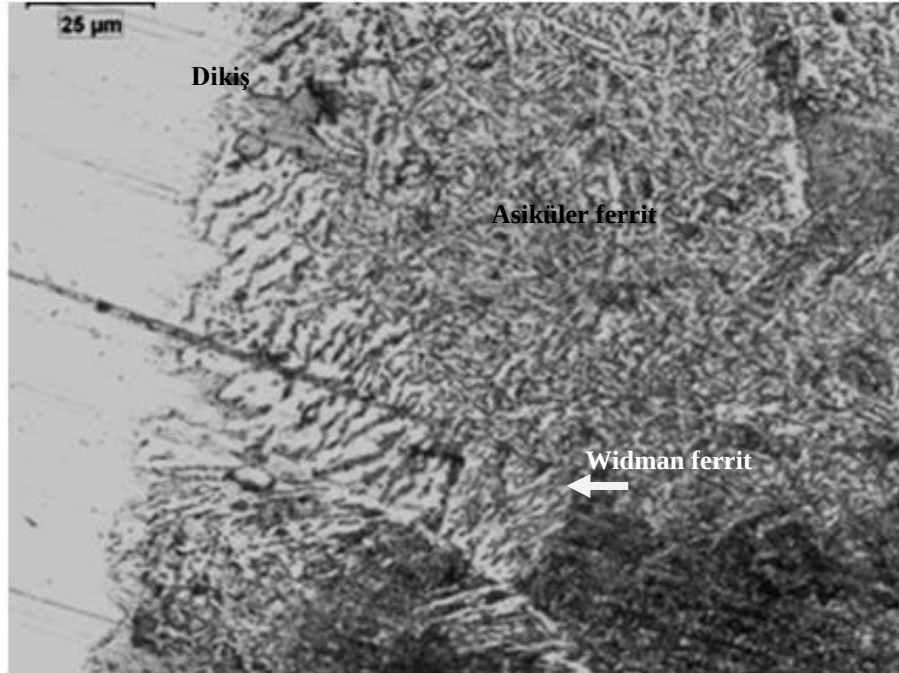
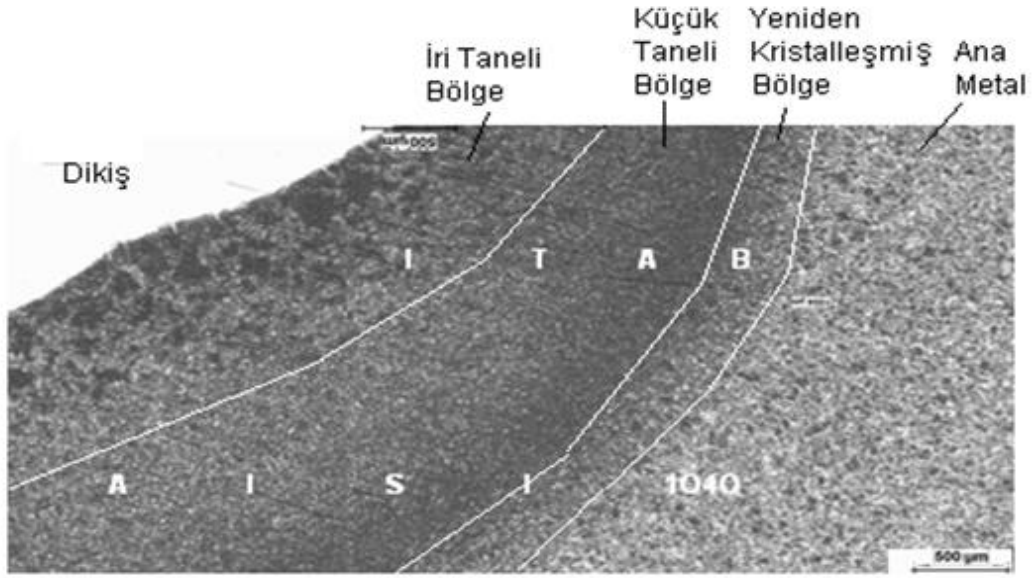


Şekil.5.12 0.8 lt/dak ve 110 amperde birleştirilen numunede AISI 304 tarafında kaynak bölgesi

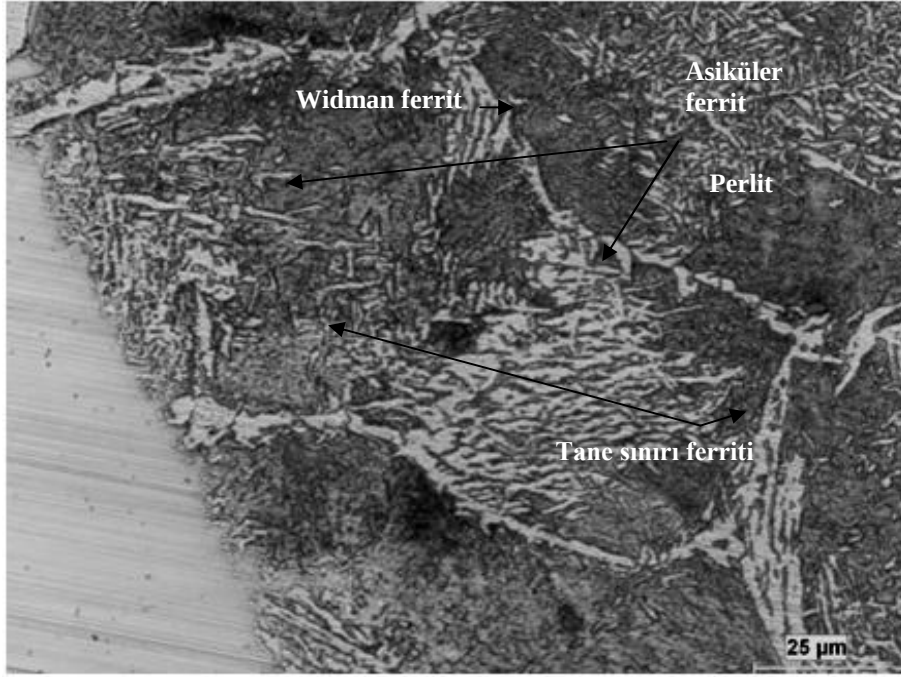
Şekil 5.12’den görüldüğü gibi, bu numunede, austenitik paslanmaz çelik tarafında kısmen erimiş bölgede yoğun bir karbür tabakası bulunmaktadır.



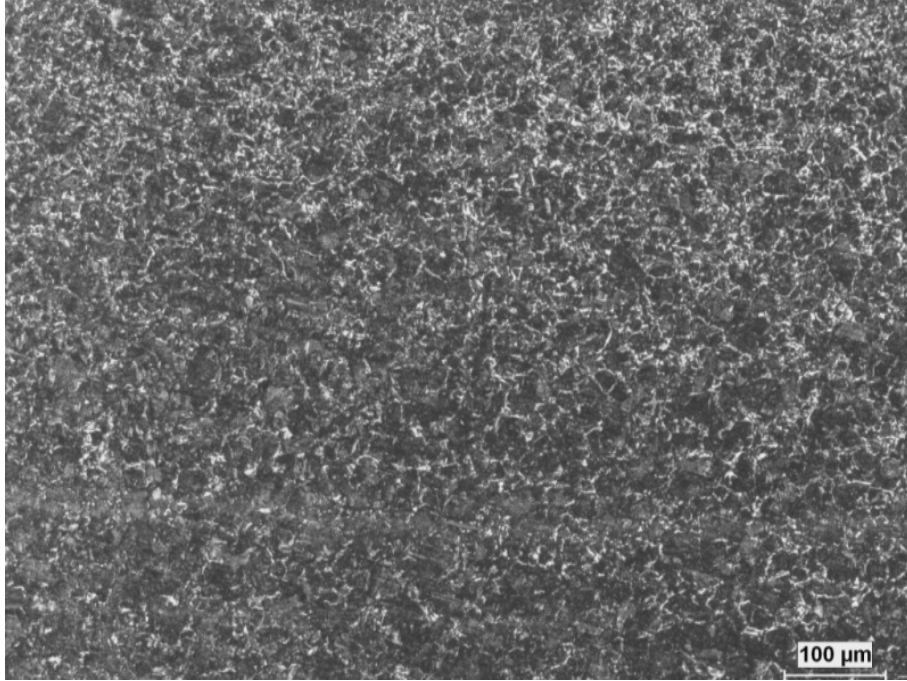
Şekil.5.13 120 A’lık akım değerleri ve 0.8 lt/dak’lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin kaynak dikişi mikroyapı fotoğrafı



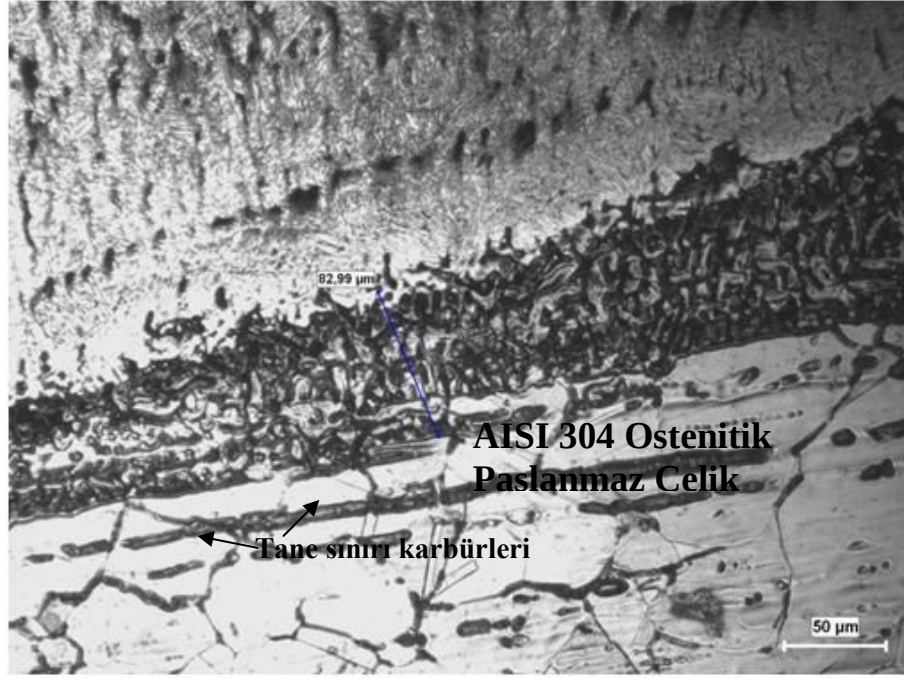
Şekil.5.14 0.8 lt/dak ve 120 amper ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı iri taneli bölgede mikroyapı (Dikişi hemen yanında yoğun ve yaygın asiküler ferrit dikkati çekmektedir)



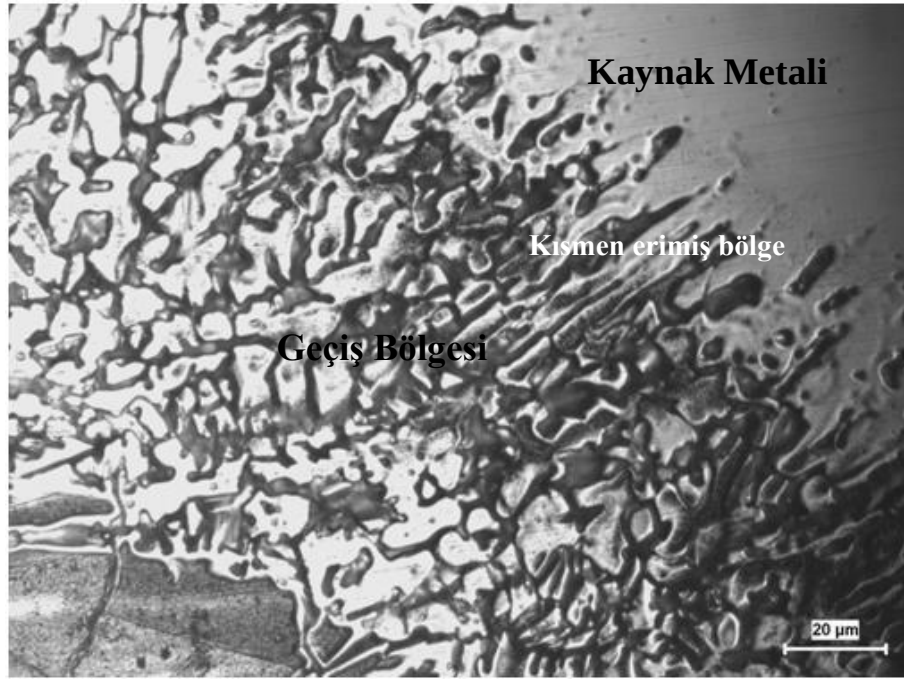
Şekil.5.15 0.8 lt/dak ve 130 amper ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı iri taneli bölgede mikroyapı (bu mikroyapı, özellikle bol miktardaki asiküler ve Widman ferrit nedeniyle bu bölgede sertlik düşük çıkmaktadır)



Şekil.5.16 0.8 lt/dak ve 130 amper ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı küçük taneli bölgede mikroyapı (perlit ve ferrit taneleri parçalanarak küçülmüştür).

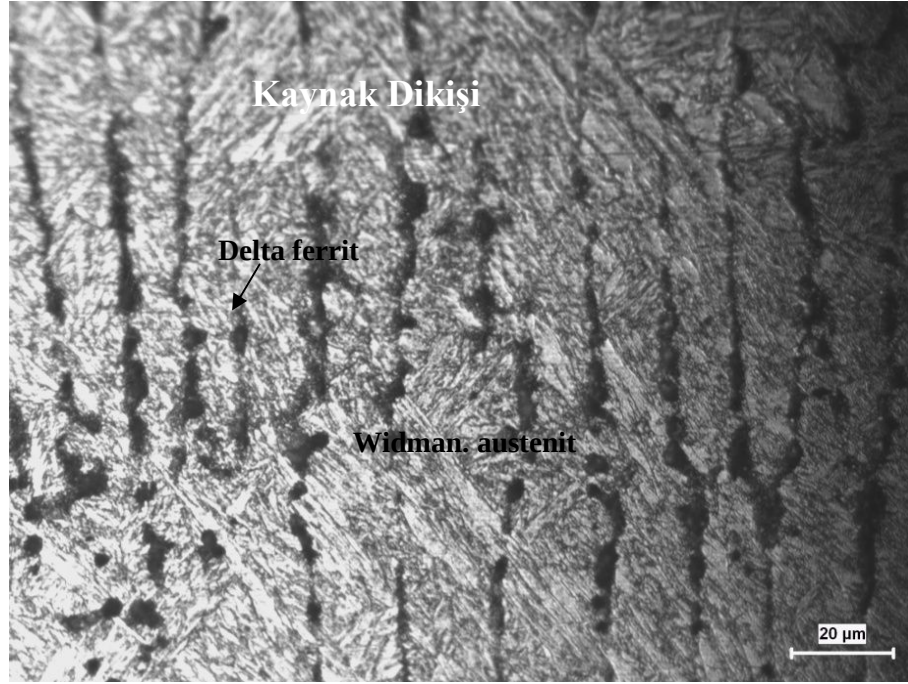


(a)



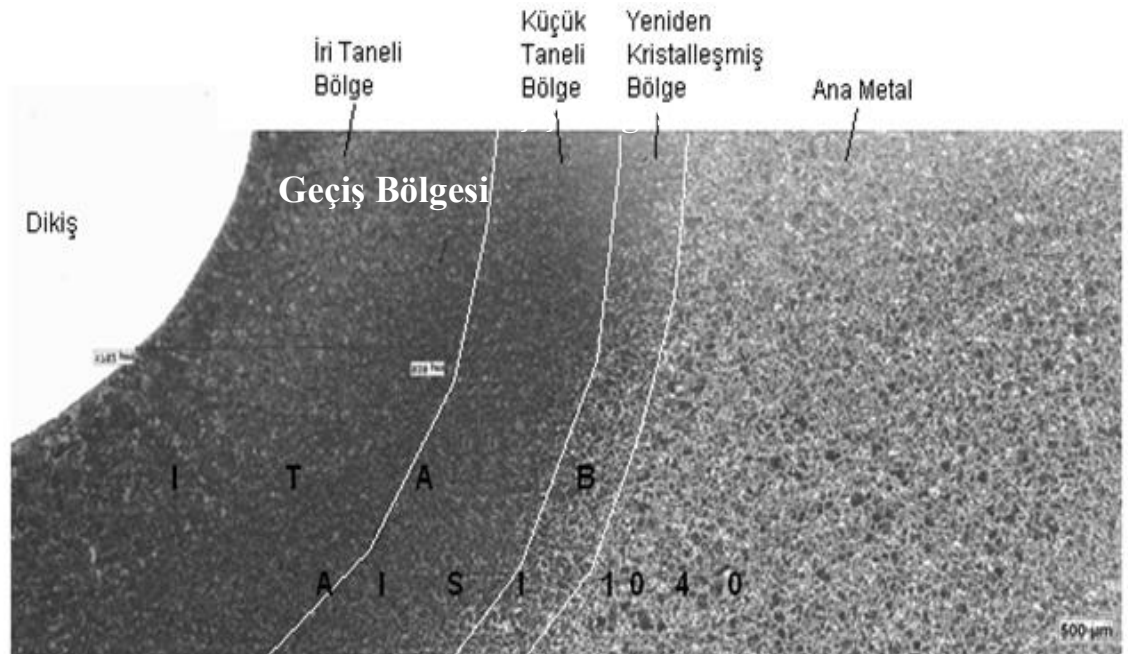
(b)

Şekil 5.17. 120 A'lık akım değerleri ve 0.8 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin AISI 304 tarafı mikroyapı fotoğrafları

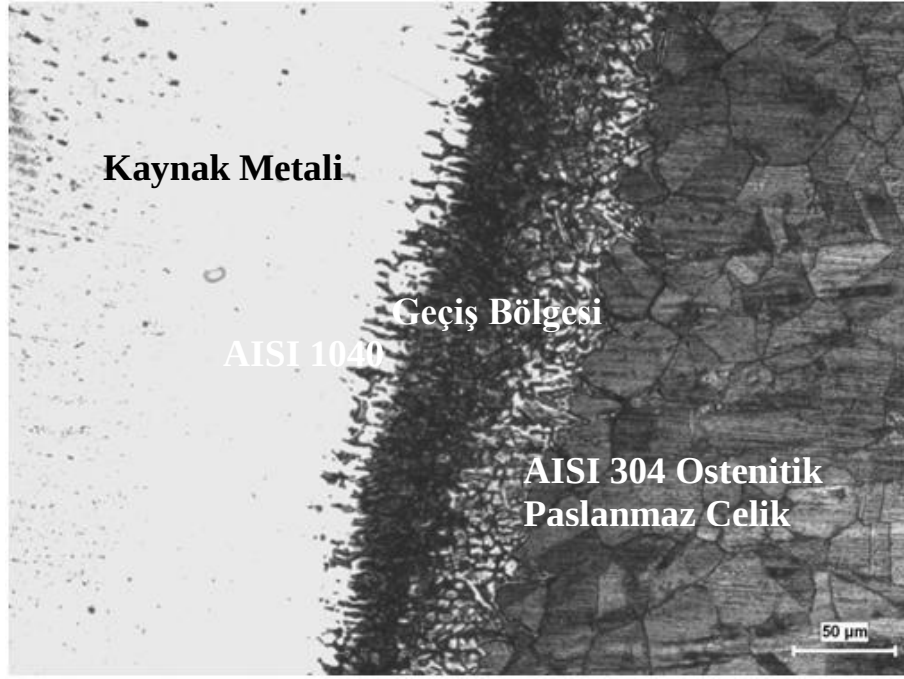


Şekil.5.18 130 A'lık akım değerleri ve 0.8 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin kaynak dikişi

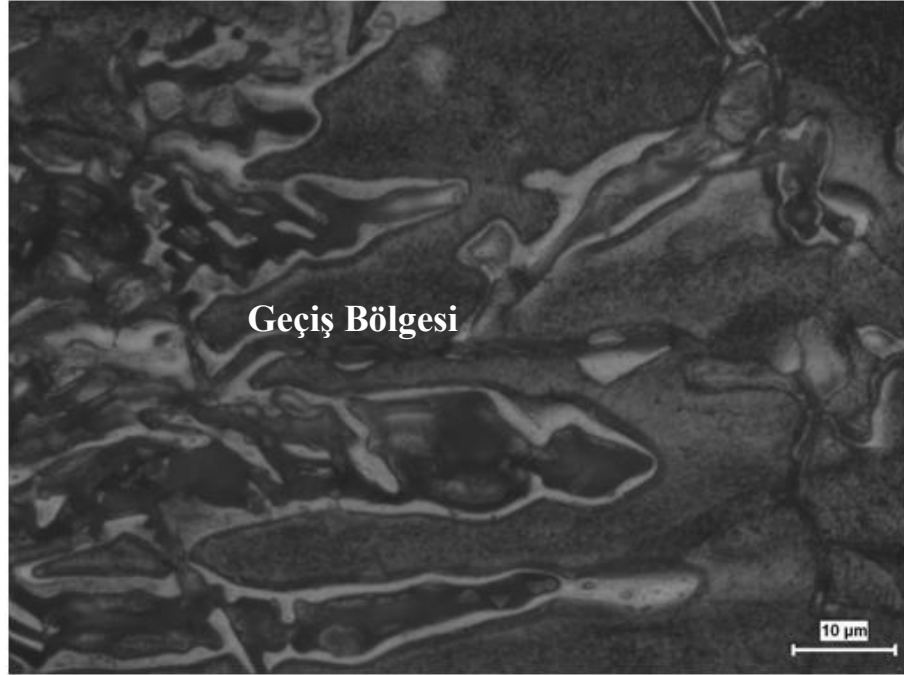
Bu numunede kaynak dikişinde hakim yapı Widman austenittir. Katılaşma yönünde delta ferritler de görülmektedir (Şekil.5.18)



Şekil.19 130 amper ve 0.8 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin AISI 1040 tarafı.

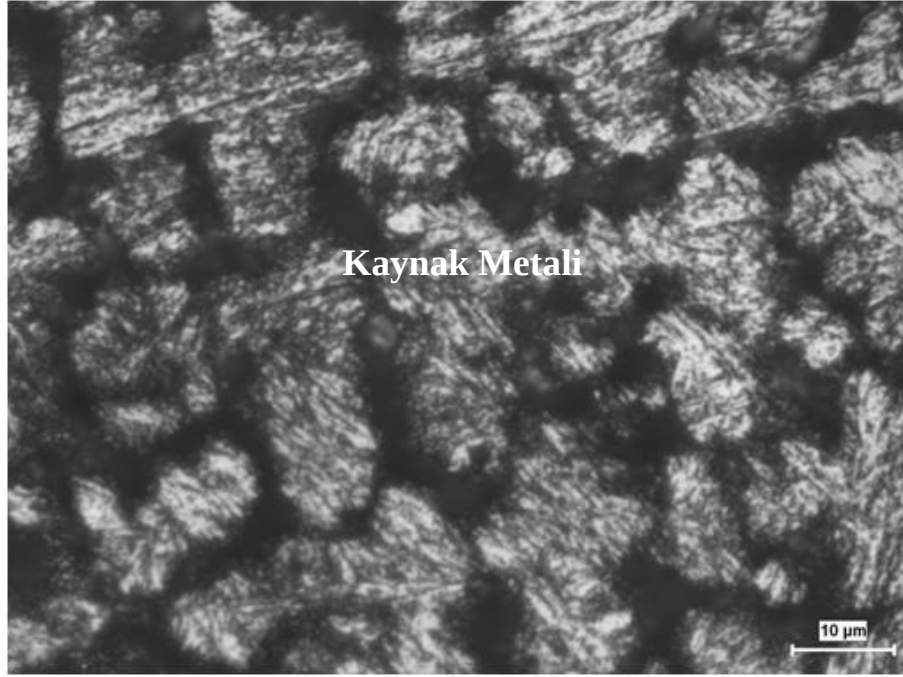


(a)

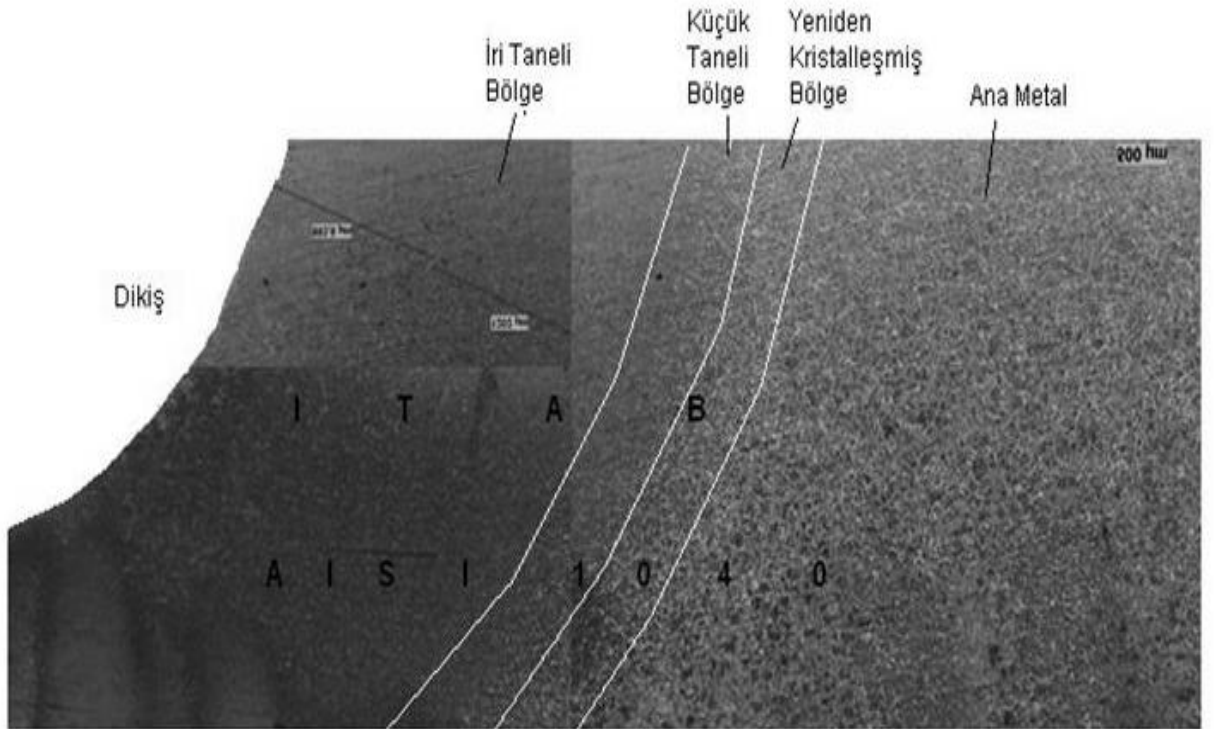


(b)

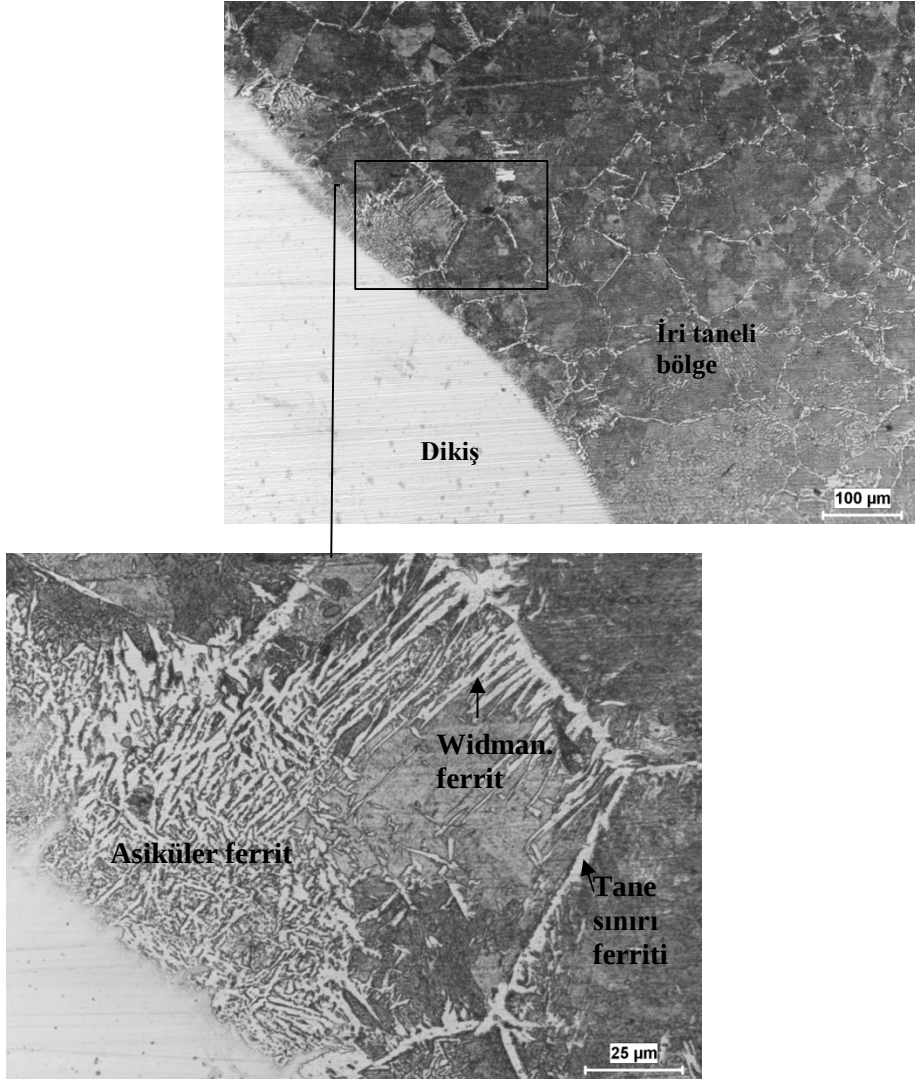
Şekil 5.20. 130 A'lık akım değerleri ve 0.8 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin AISI 304 tarafı mikroyapı fotoğrafları şekil (a) ve şekil (b)



Şekil 5.21. 130 A'lık akım değerleri ve 0.8 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin Kaynak Metali tarafı mikroyapı fotoğrafları

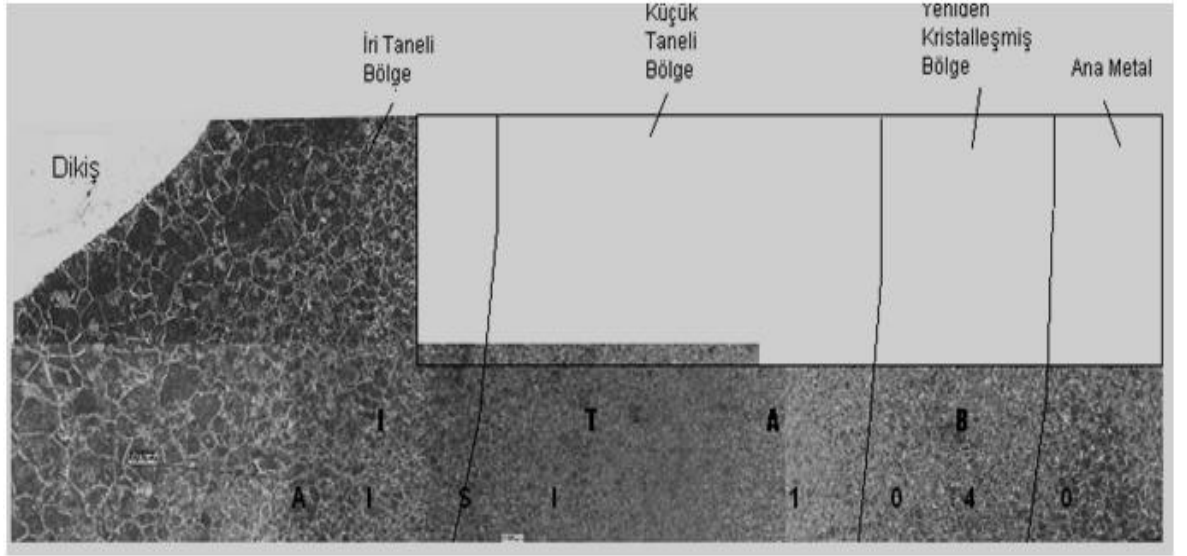


Şekil.5.22 140 amper ve 0.8 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin AISI 1040 tarafı.

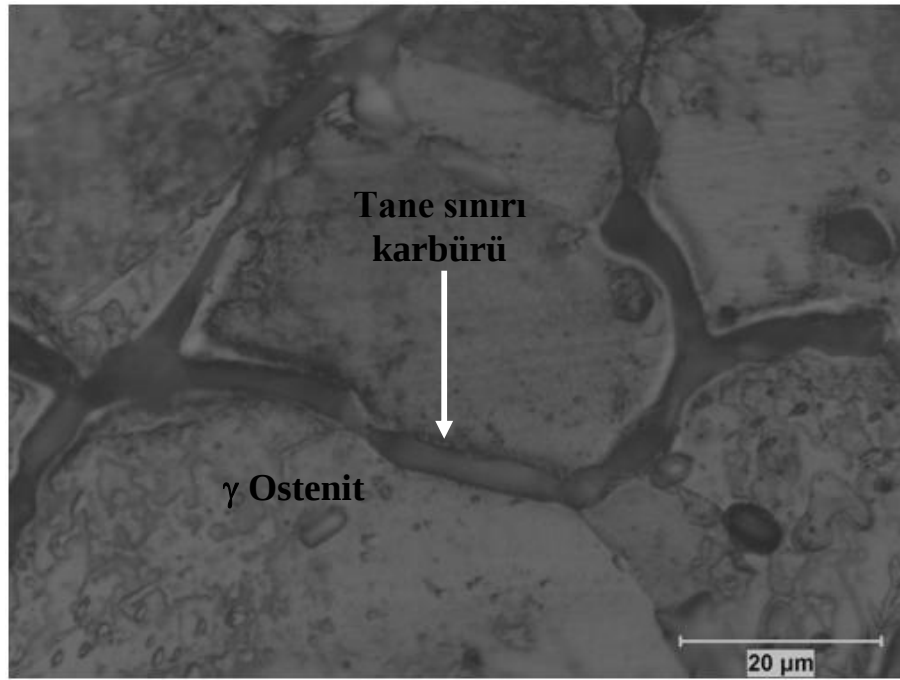


Şekil.5.23 140 amper ve 0.8 lt/dak ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı iri taneli bölgede mikroyapı (Dikişi hemen yanında asiküler ferrit, tane sınırı ferriti ve Widman ferrit bir arda görülmektedir)

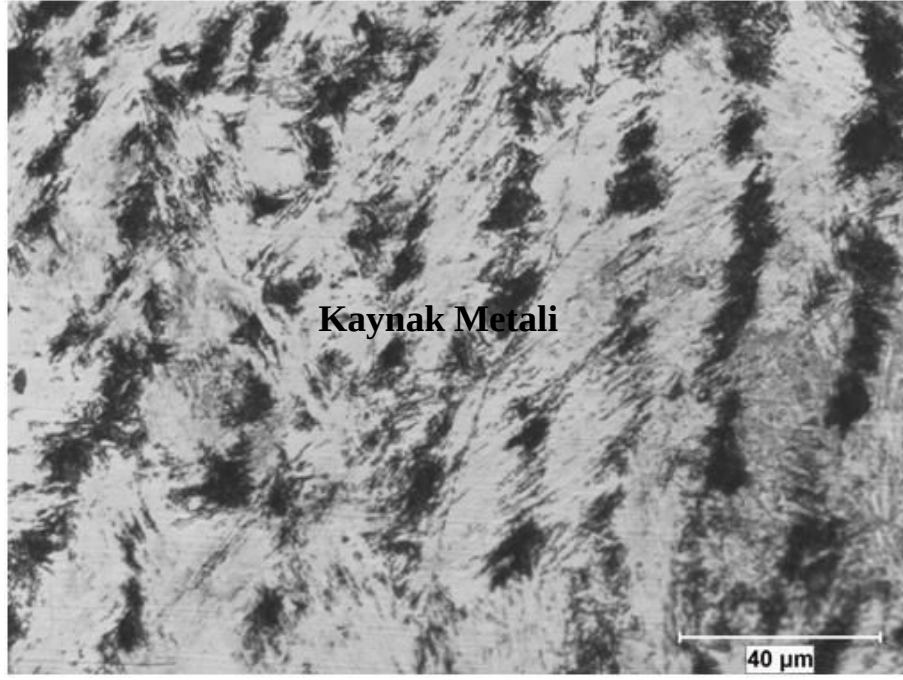
Keyhole plazma ark kaynak tekniği ile 100, 110, 120, 130 ve 140 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen 2. Grup numunelerin optik mikroyapı fotoğrafları sırasıyla **Şekil 5.24- 5.42'de** görülmektedir.



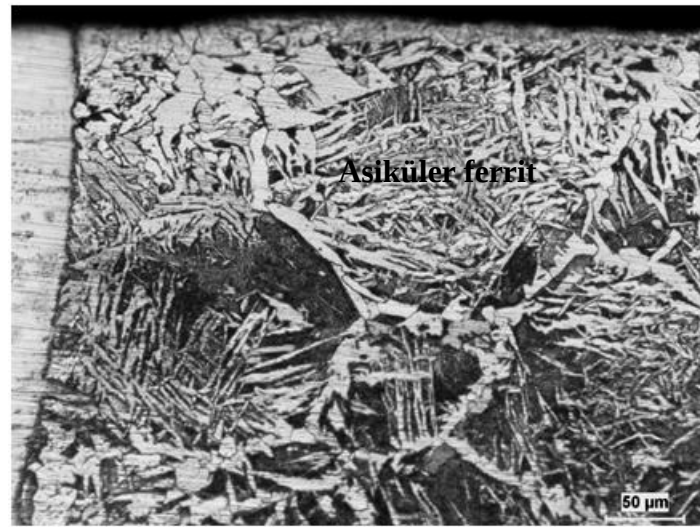
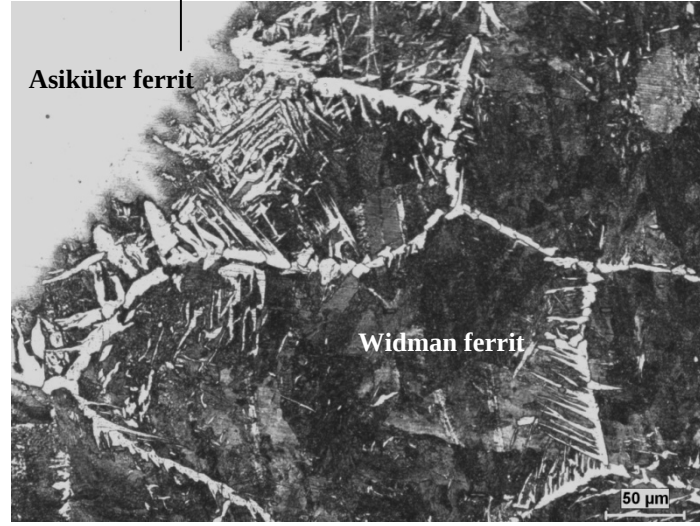
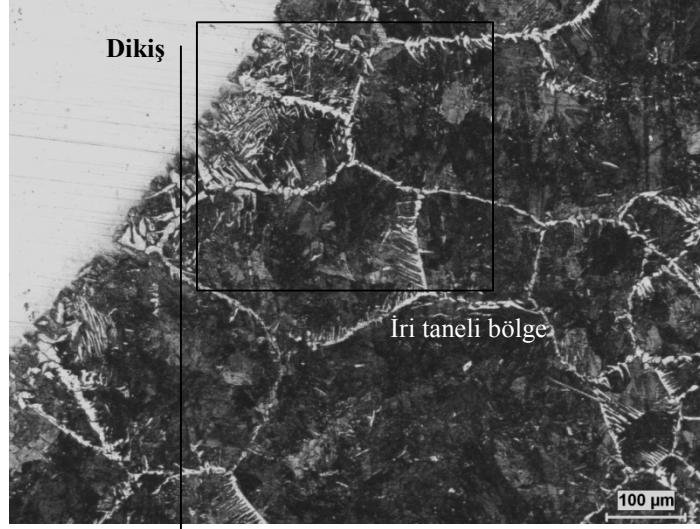
Şekil.5.24 100 amper ve 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin AISI 1040 tarafı.



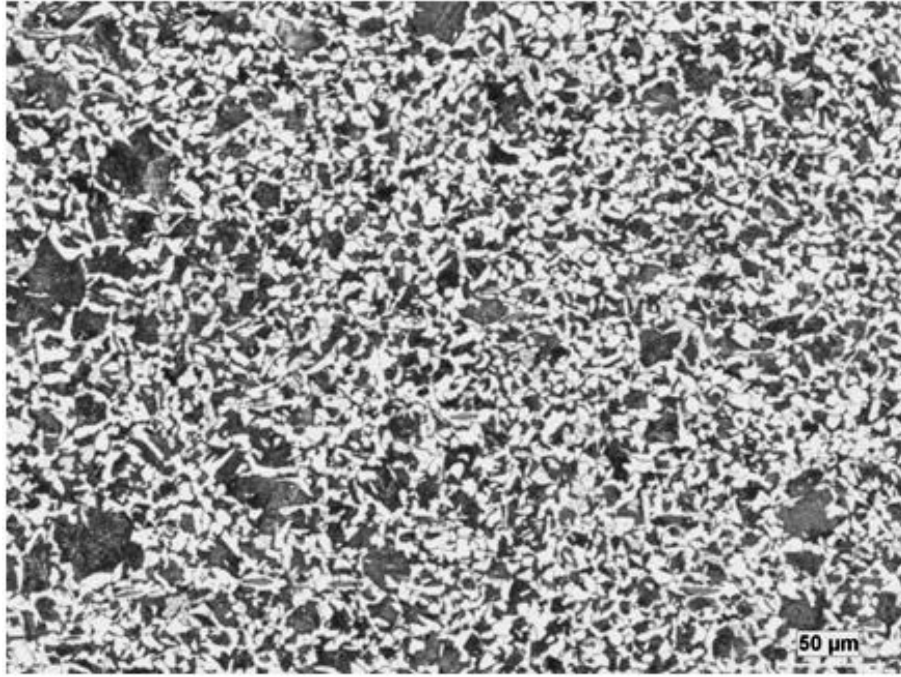
Şekil.5.25 100 amper ve 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin AISI 304 tarafı.



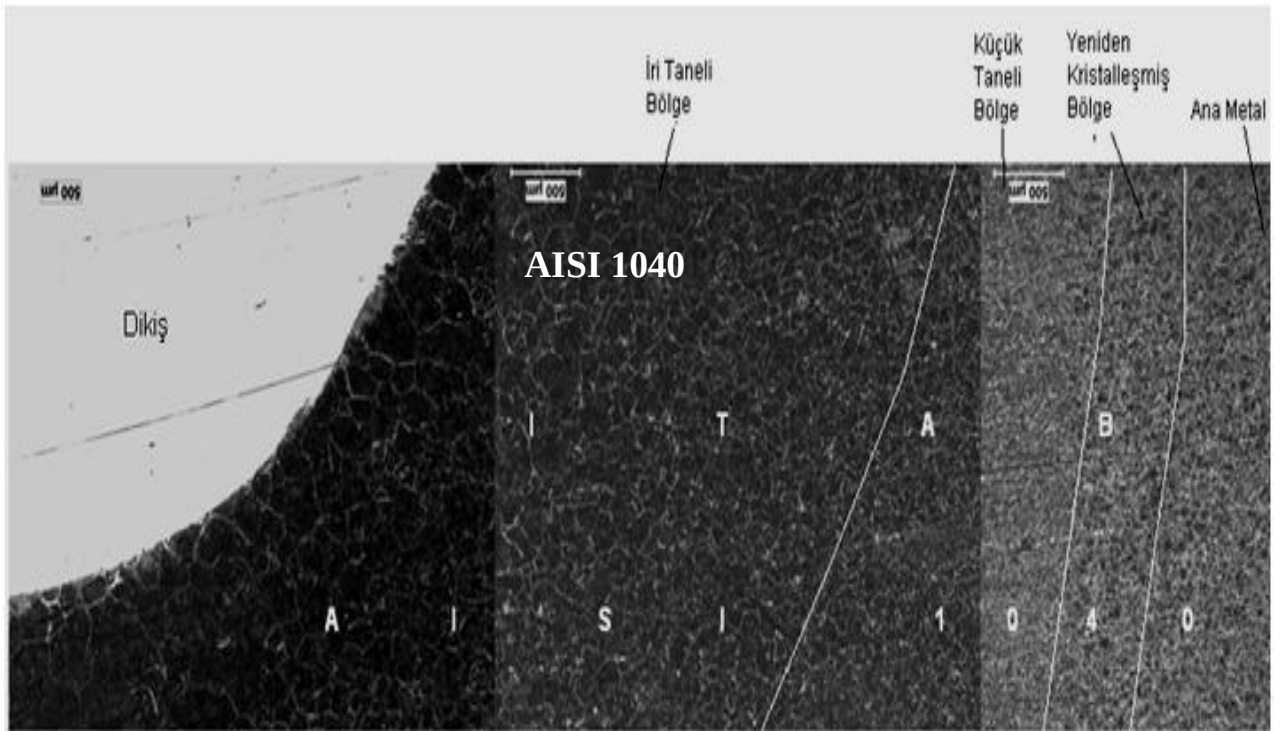
Şekil.5.26 100 amper ve 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin Kaynak Metali tarafı.



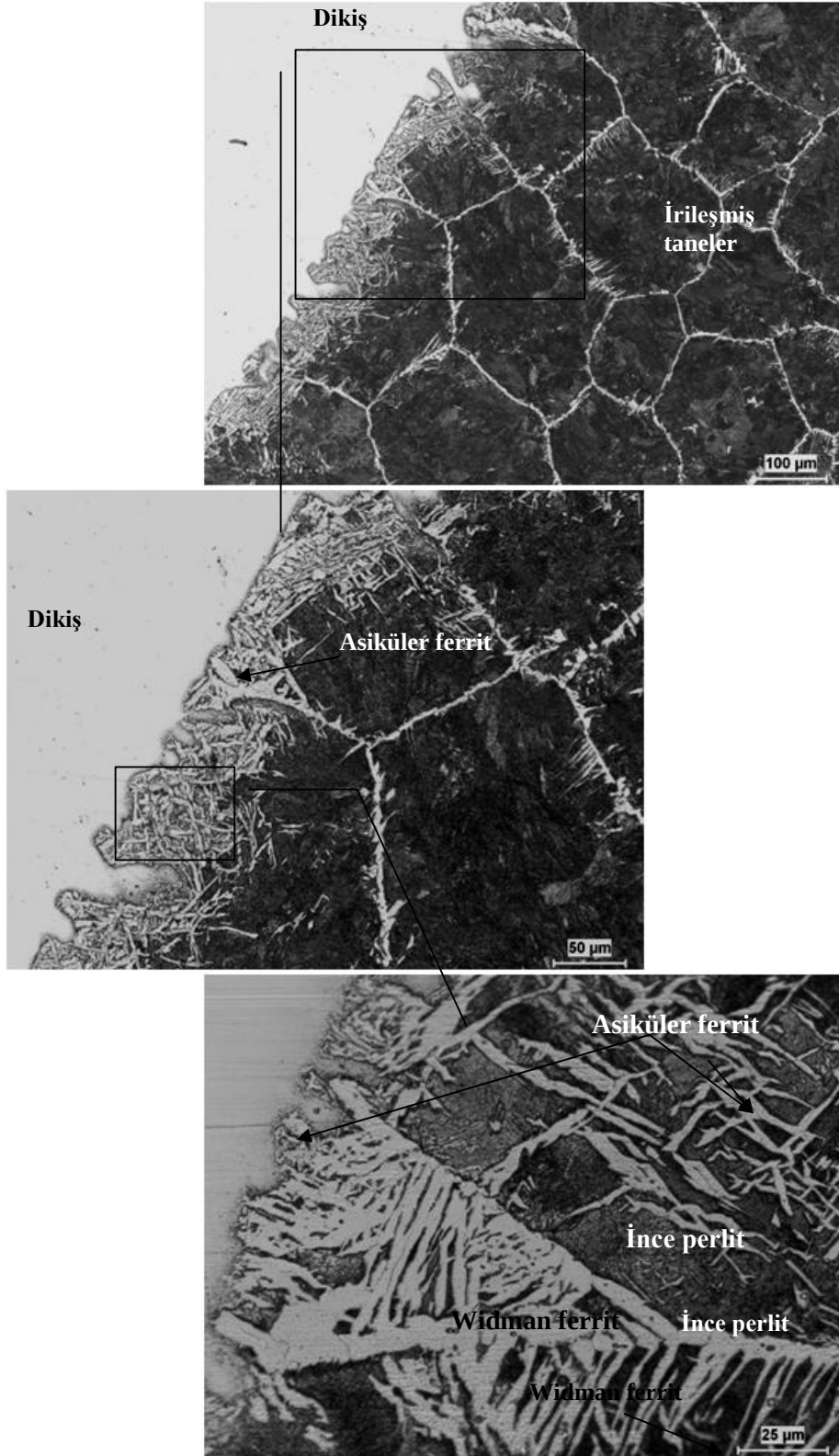
Şekil.5.27 1.2 l/dak ve 100 amper ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı iri taneli bölgede mikroyapı (Dikişi hemen yanında asiküler ferrit, tane sınırı ferriti ve Widman ferrit bir arda görülmektedir)



Şekil.5.28 Küçük Taneli Bölge Perlit ve ferrit parçalanarak (A1 ve A3 sıcaklıkları arasında) küçülmüştür. Beyaz kısımlar ferrit koyu kısımlar perlittir.

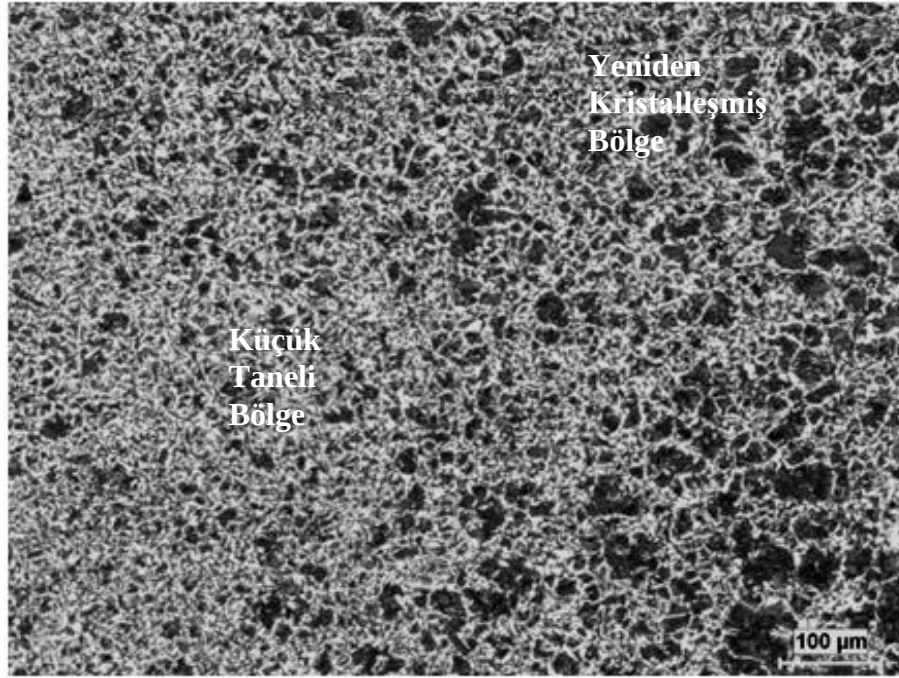


Şekil.5.29 110 amper ve 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde kaynak bölgesinin AISI 1040 tarafı.

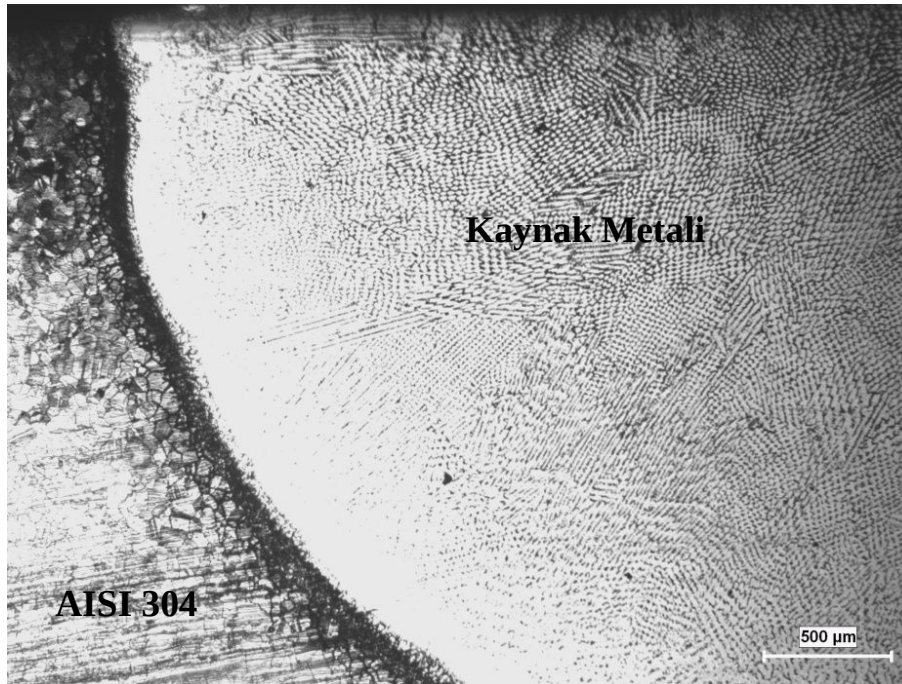


Şekil.5.30 1.2 lt/dak ve 110 amper ile kaynak edilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında kaynak bölgesi dikiş yanı iri taneli bölgede mikroyapı

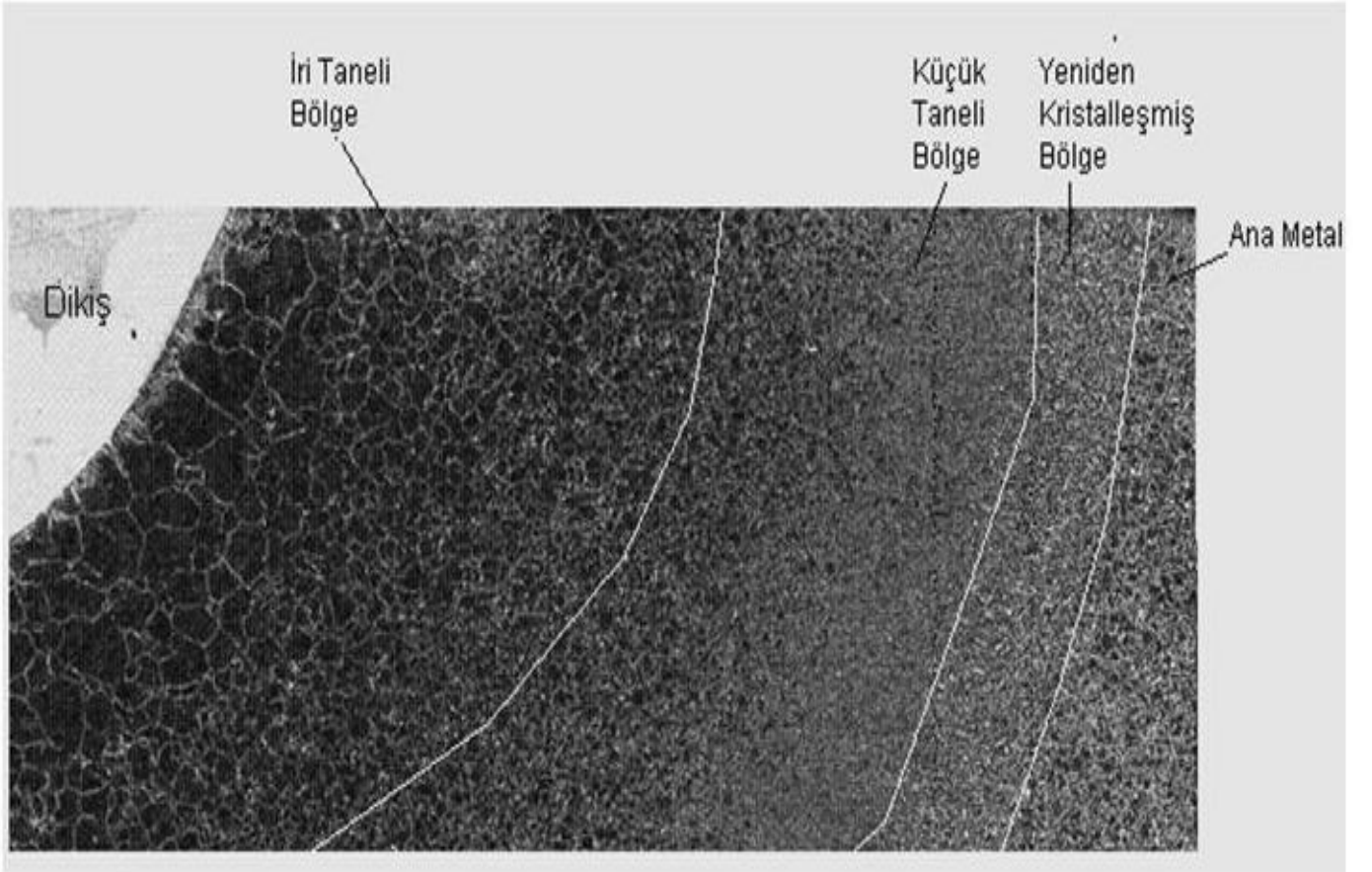
Dikişin hemen yanında asiküler ferrit, tane sınırı ferriti ve Widman ferrit bir arada görülmektedir Dikişin hemen yanında asiküler ferrit yoğun bir şekilde oluşmuştur. Bu bölgede perlit ince perlittir.



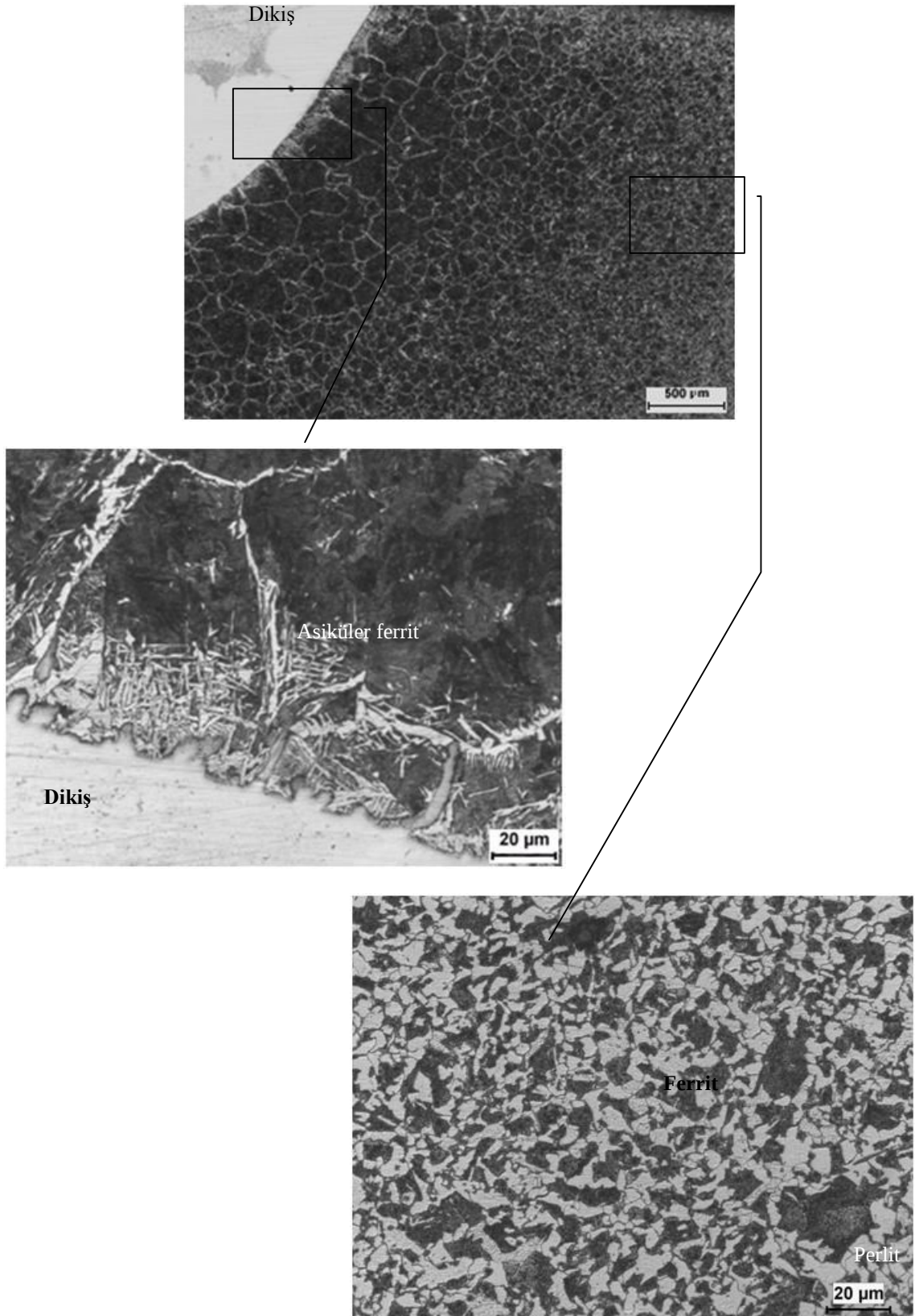
Şekil.5.31 Küçük Taneli ve Yeniden Kristalleşmiş Bölge. Tanelerin oldukça küçüldüğü görülmektedir.



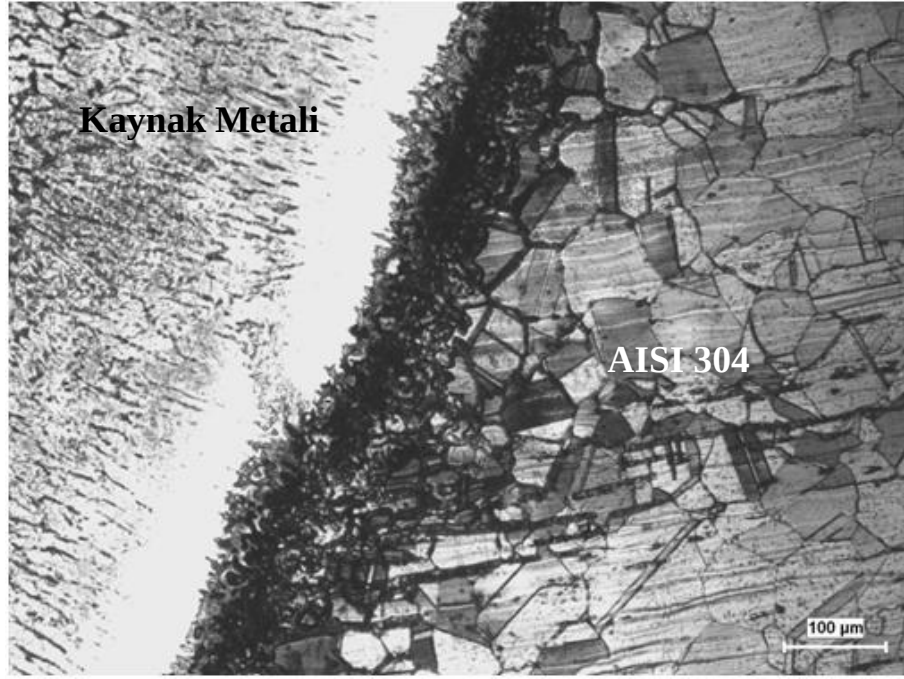
Şekil 5.32. 110 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroyapı fotoğrafları



Şekil 5.33 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ve 120 amper ile birleştirilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında Kaynak Bölgesi



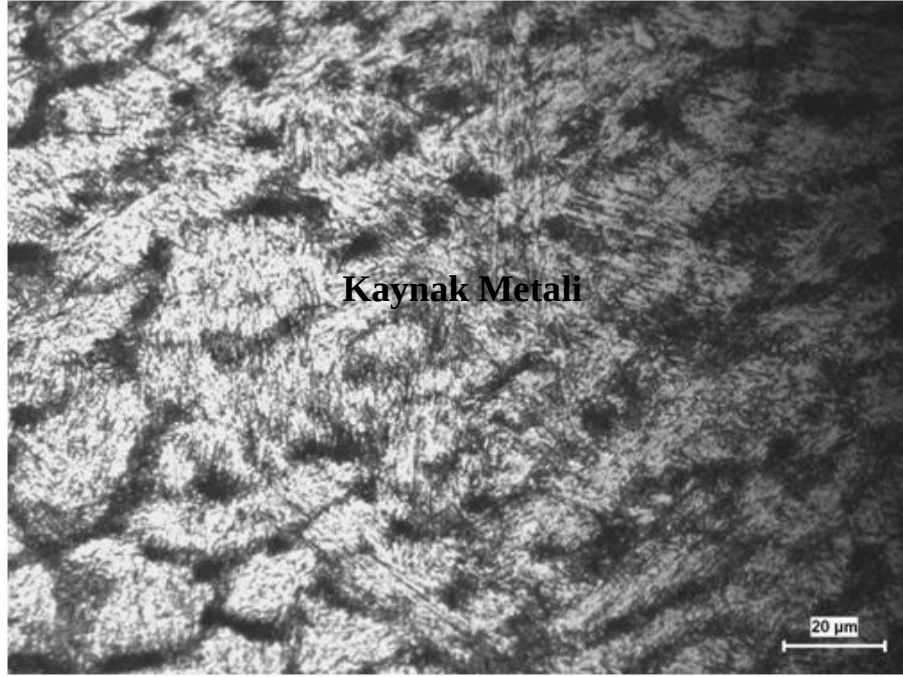
Şekil.5.34 İri taneli bölgede, çapı 200 µm dan daha büyük taneler oluşmuştur. Erime sınırında yoğun asiküler ferrit görülmektedir. İnce taneli bölgede tane boyutu 10 ila 20 µm arasındadır.



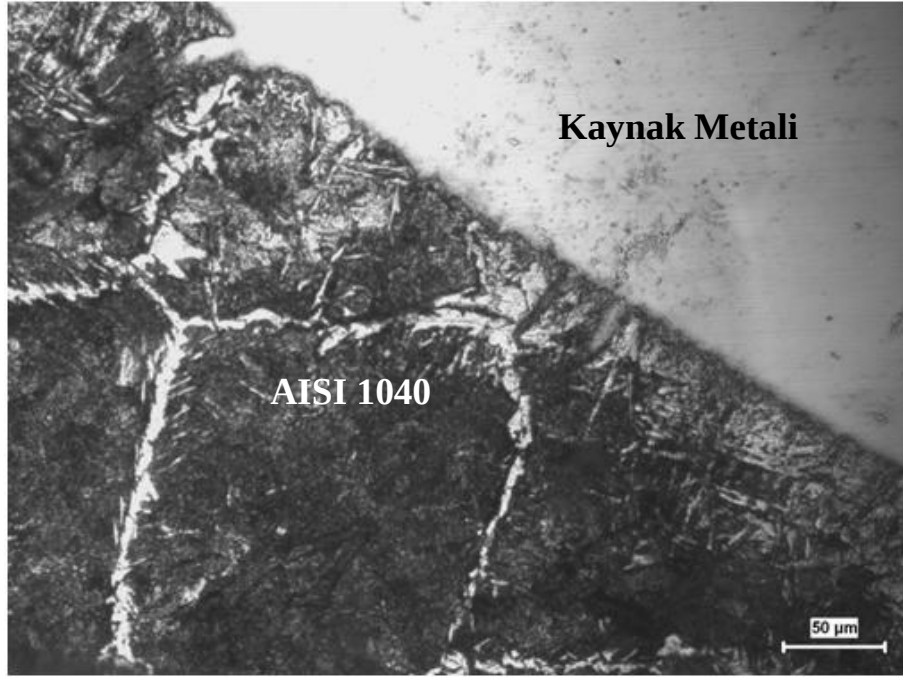
(a)



(b)

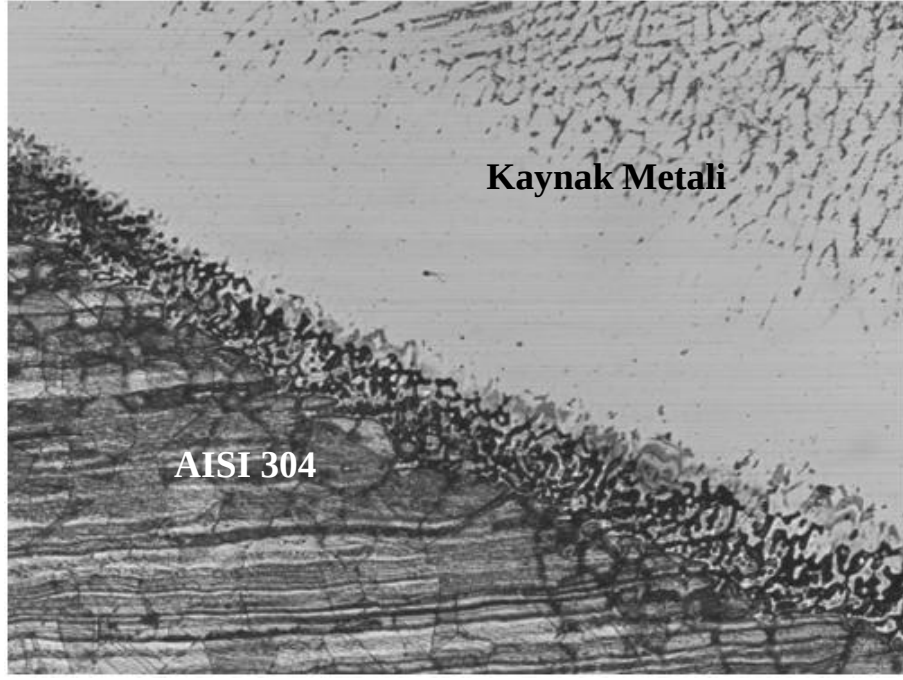


(c)

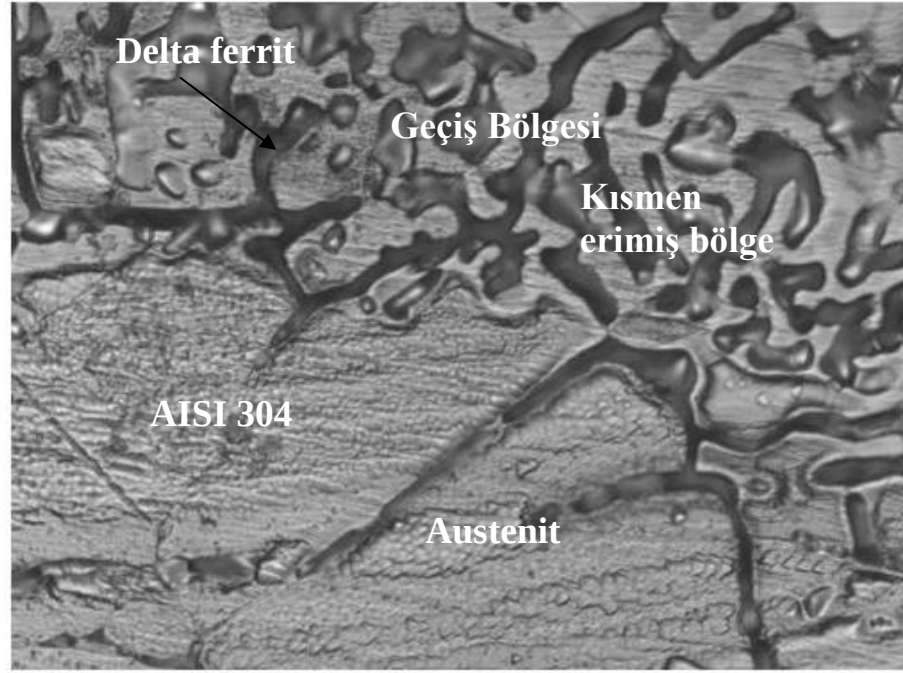


(d)

Şekil 5.35. 120 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroyapı fotoğrafları: (a),(b),(c),(d)



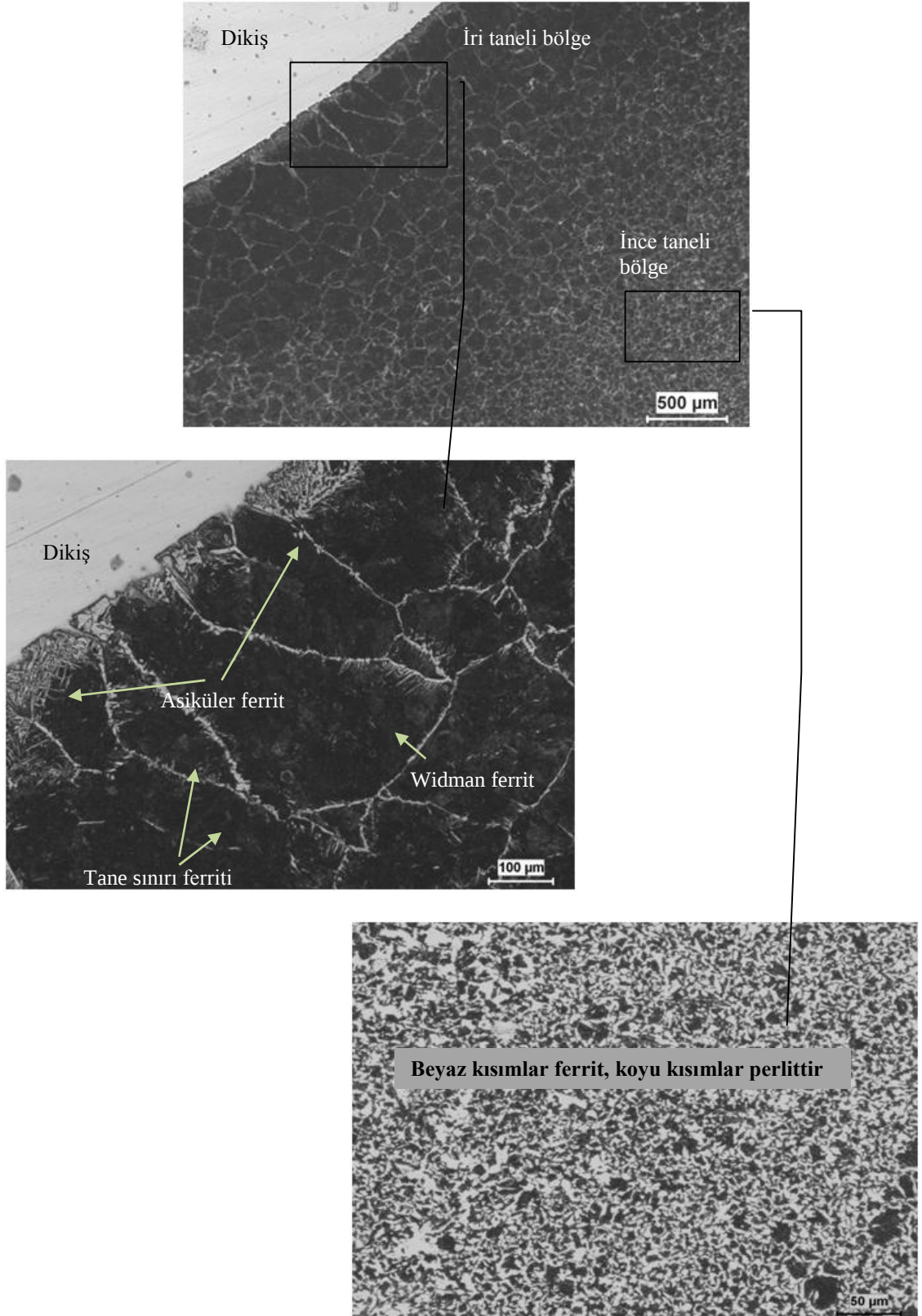
(a)



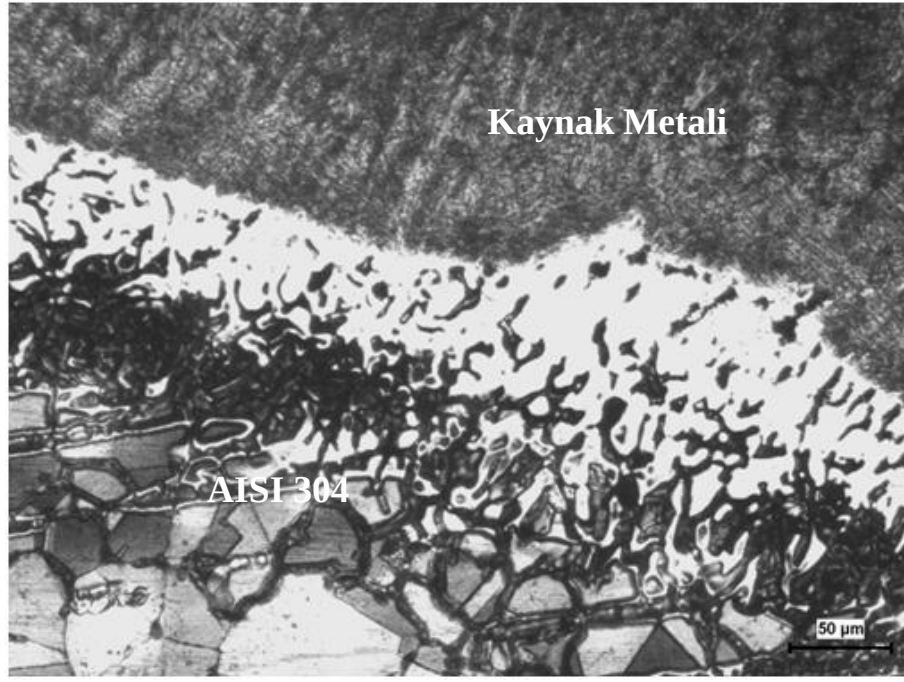
(a)

Şekil 5.36. 120 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunede AISI 304 tarafı optik mikroyapı fotoğrafları: (a),(b)

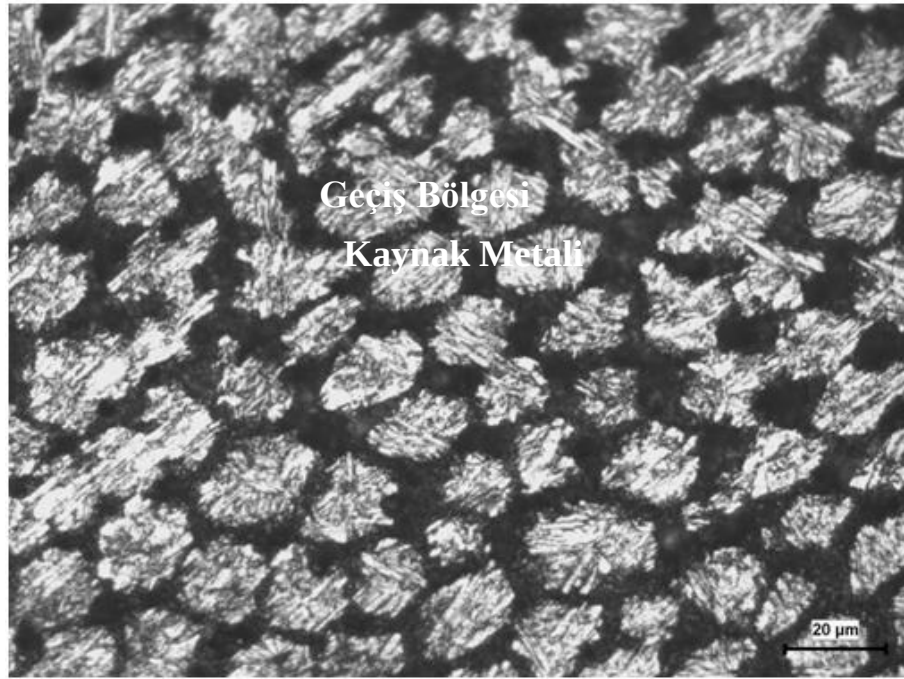
Bu numune çiftinin AISIO 304 tarafında da kısmen erimiş bölge hemen göze çarpmaktadır. Bu bölgede delta ferrit ve sekonder austenit görülmektedir.



Şekil 5.38. 130 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroyapı fotoğrafları

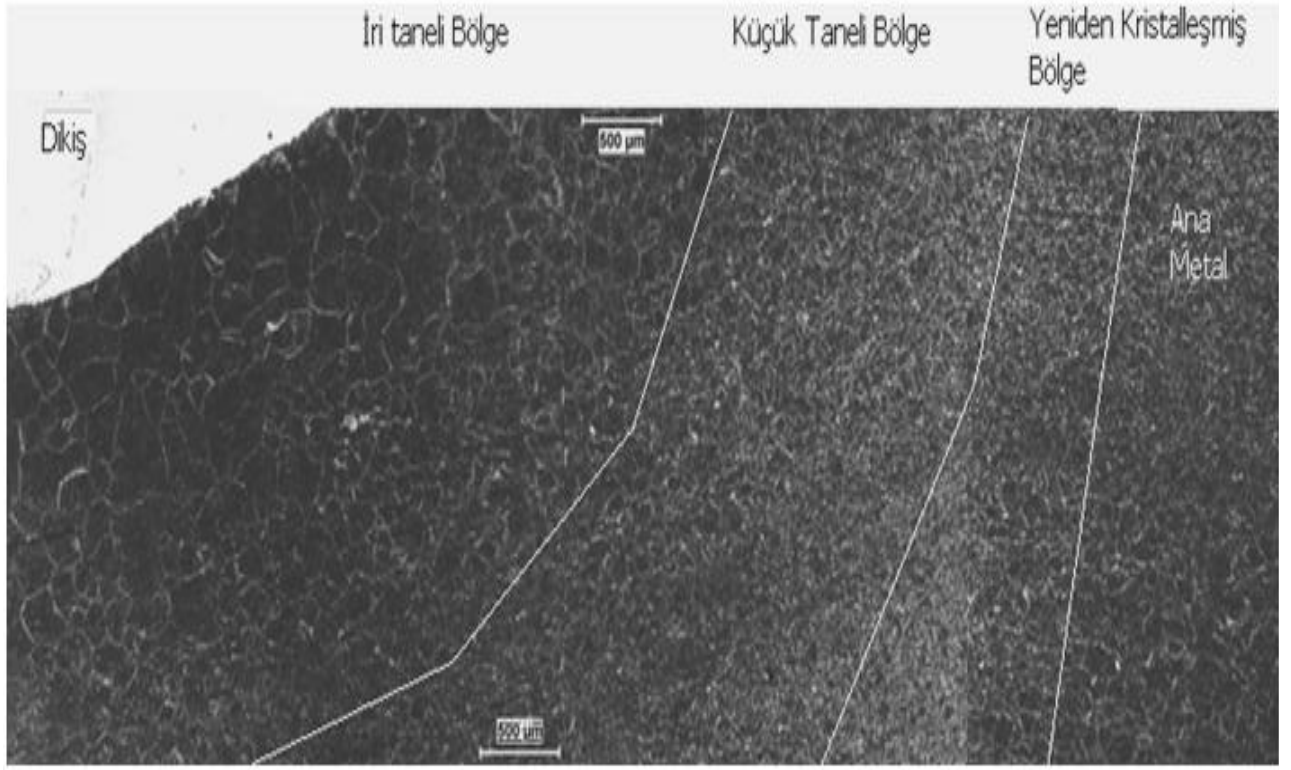


(a)

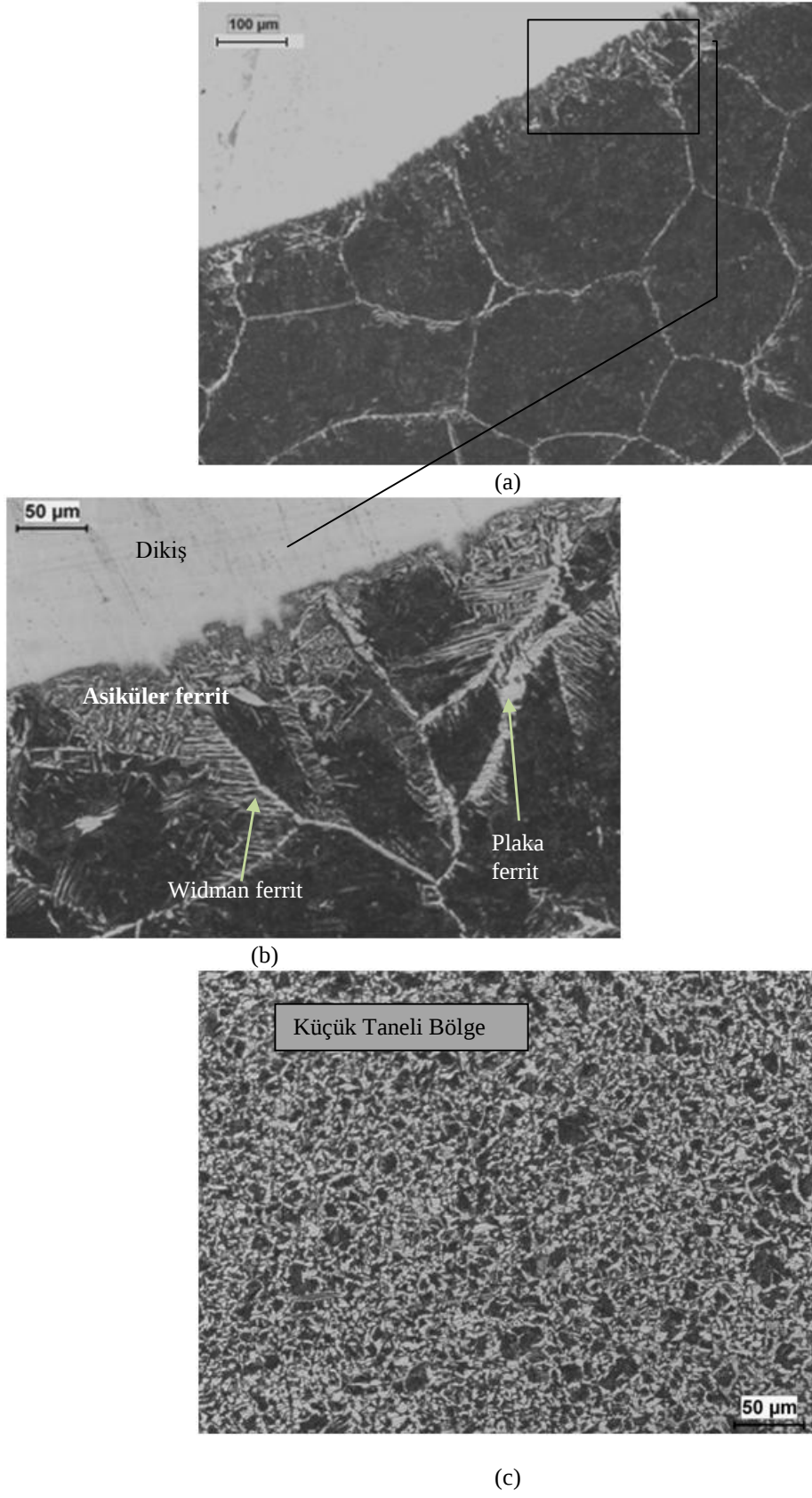


(b)

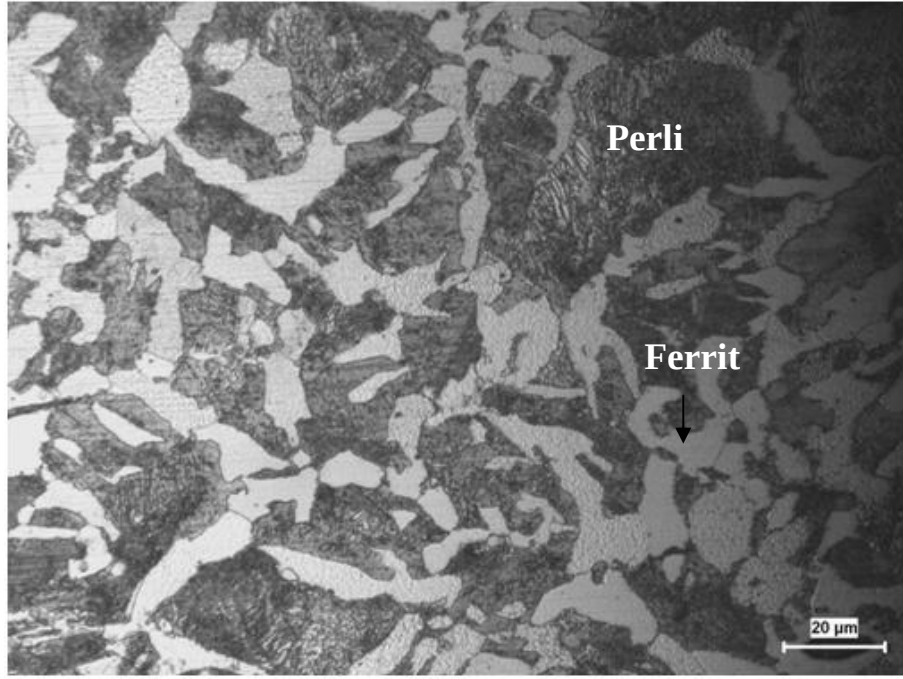
Şekil 5.39. 140 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroyapı fotoğrafları: (a) AISI 304 kısmı (b) Kaynak Metali kısmı



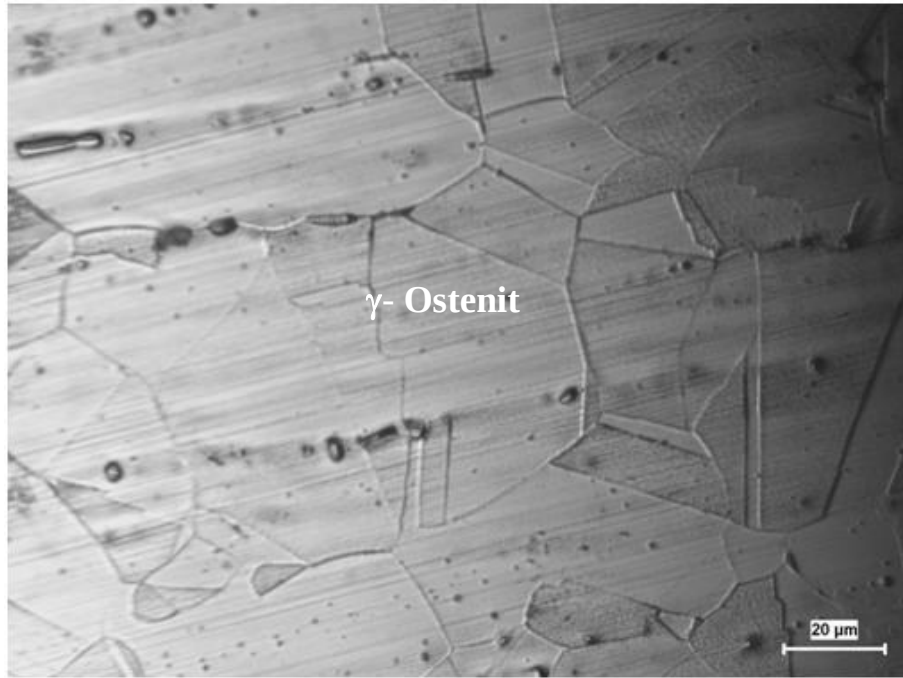
Şekil 5.40 1.2 lt/dak plazma gazı debisi ve 140 amper ile birleştirilen malzeme çiftinde AISI 1040 tarafında Kaynak Bölgesi



Şekil 5.41. 140 A'lık akım değerleri ve 1.2 lt/dak'lık plazma gaz debisi kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroyapı fotoğrafları: (a),(b),(c)



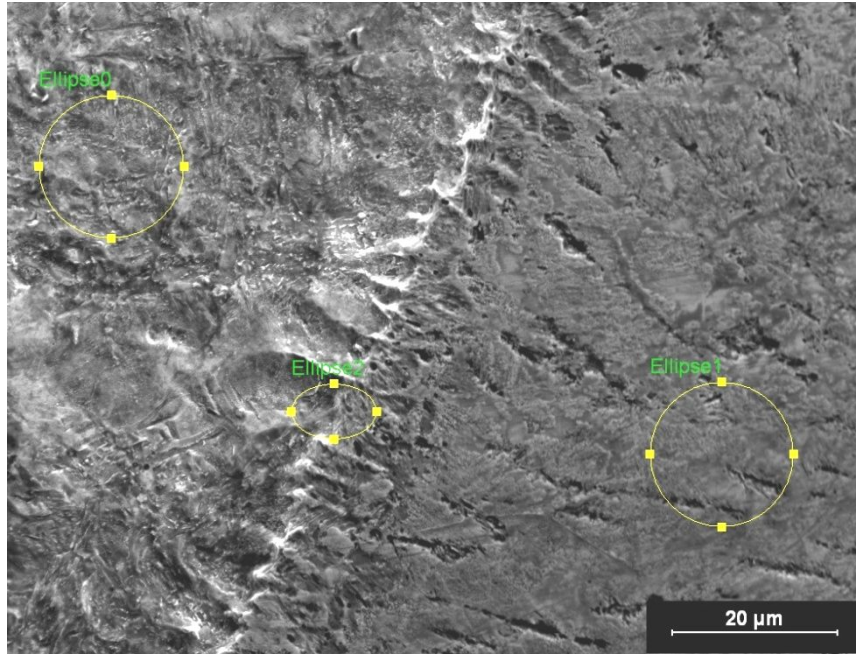
(a)



(b)

Şekil 5.42. Deneylerde kullanılan AISI 1040 orta karbonlu çelik ve AISI 304 ostenitik paslanmaz çeliğin orijinal optik mikroyapı fotoğrafları

5.3. Numunelerin EDX Analiz Sonuçları



Şekil.5.43 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX sonuçları görülmektedir.

C'lu Tablo

El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [At.%]
----	----	------	------------------	-------------------	-------------------

Fe	26	K- series	91.93	91.74	74.05
C	6	K- series	6.52	6.50	24.40
Mn	25	K- series	0.76	0.76	0.62
Ni	28	K- series	0.70	0.70	0.54
Si	14	K- series	0.18	0.18	0.29
Cr	24	K- series	0.11	0.11	0.10

Tablo 5.1 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 0 noktasının C'lu sonuçları görülmektedir.

C'suz Tablo

El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [At.%]
----	----	------	------------------	-------------------	-------------------

Fe	26	K- series	96.24	98.11	97.93
Mn	25	K- series	0.79	0.81	0.82
Ni	28	K- series	0.74	0.75	0.72
Si	14	K- series	0.20	0.20	0.40
Cr	24	K- series	0.12	0.12	0.13

Tablo 5.2 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 0 noktasının C'suz sonuçları görülmektedir.

Ellips1-C'lu Tablo

El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [At.%]
Fe	26	K- series	71.74	76.83	59.14
C	6	K- series	7.60	8.14	29.14
Mn	25	K- series	1.15	1.23	0.96
Ni	28	K- series	7.25	7.76	5.69
Si	14	K- series	0.12	0.13	0.19
Cr	24	K- series	5.51	5.90	4.88

Total : 100.2 %

Tablo 5.3 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 1 noktasının C'lu sonuçları görülmektedir.

C'suz Tablo

El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [At.%]
Fe	26	K- series	86.81	87.83	69.49
C	6	K- series	7.11	7.20	26.47
Mn	25	K- series	0.93	0.94	0.75
Ni	28	K- series	1.80	1.83	1.37
Si	14	K- series	0.05	0.05	0.08
Cr	24	K- series	2.13	2.15	1.83

Total : 90.5%

Tablo 5.4 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 1 noktasının C'suz sonuçları görülmektedir.

Ellips2 – C'lu Tablo

El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm.C [wt.%]	Atom. C [At.%]
Fe	26	K- series	75.63	83.54	83.30
Mn	25	K- series	1.20	1.32	1.34
Ni	28	K- series	7.74	8.55	8.11
Si	14	K- series	0.18	0.20	0.40
Cr	24	K- series	5.78	6.39	6.84

Total: 98.8 %

Tablo 5.5 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 2 noktasının C'lu sonuçları görülmektedir.

Spectrum:Ellips2 – C'suz Tablo

El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm.C [wt.%]	Atom. C [At.%]
Fe	26	K- series	91.31	94.34	94.48
Mn	25	K- series	0.97	1.01	1.02
Ni	28	K- series	1.91	1.98	1.88
Si	14	K- series	0.06	0.07	0.13
Cr	24	K- series	2.23	2.32	2.48

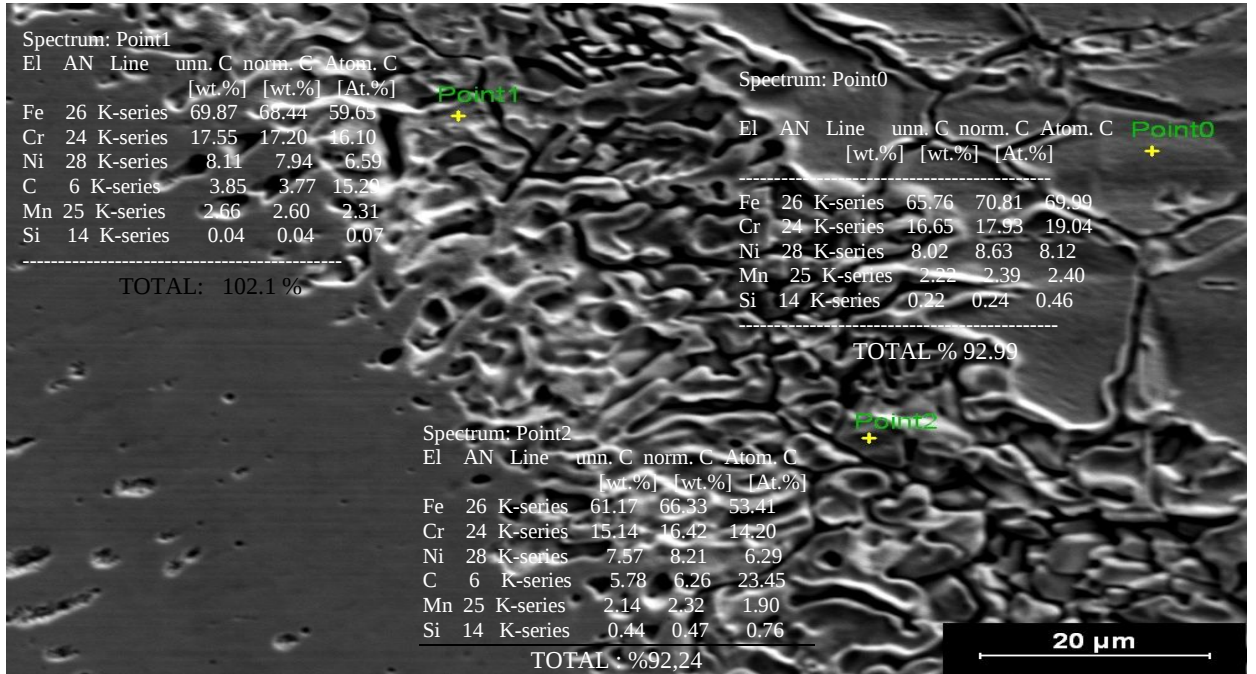
Total : 96.5 %

Tablo 5.6 Kaynak metalinin AISI 1040 tarafından alınan EDX 2 noktasının C'suz sonuçları görülmektedir.

EDX analizleri dikişin AISI1040 tarafında karışımın AISI 1040 bileşimine yakın bir bileşimde olduğunu göstermektedir. EDS analizleri karbon yüzdesi için sağlıklı sonuç vermemiştir ve bu kullanılan cihazdan kaynaklanmaktadır.

EDS analizlerinden görüldüğü gibi kısmen erimiş bölgede C miktarı yüksektir ve burada CrC ler tane sınırı karbürü olarak çökelmişlerdir. Bu bölgenin dışında yapı orijinal paslanmaz çeliğin bileşimine sahiptir. Optik mikroskop fotoğraflarındaki görüntüler de bunu doğrulamaktadır.

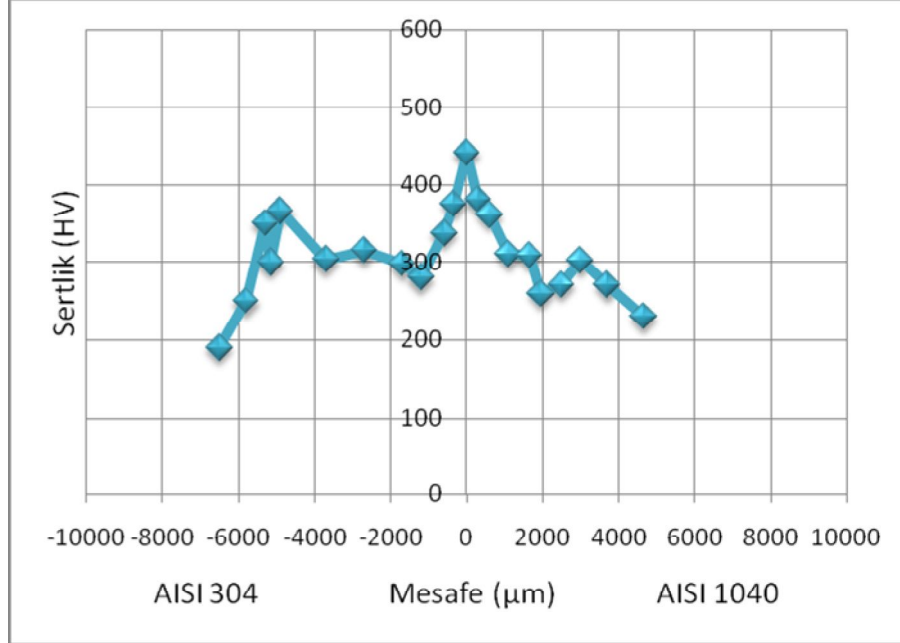
5.4. AISI 304 EDX ANALİZİ



Şekil.5.44 Kaynak metalinin AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik tarafından alınan EDX sonuçları toplu olarak görülmektedir.

5.4. Deney Numunelerinin Mikrosertlik Sonuçları

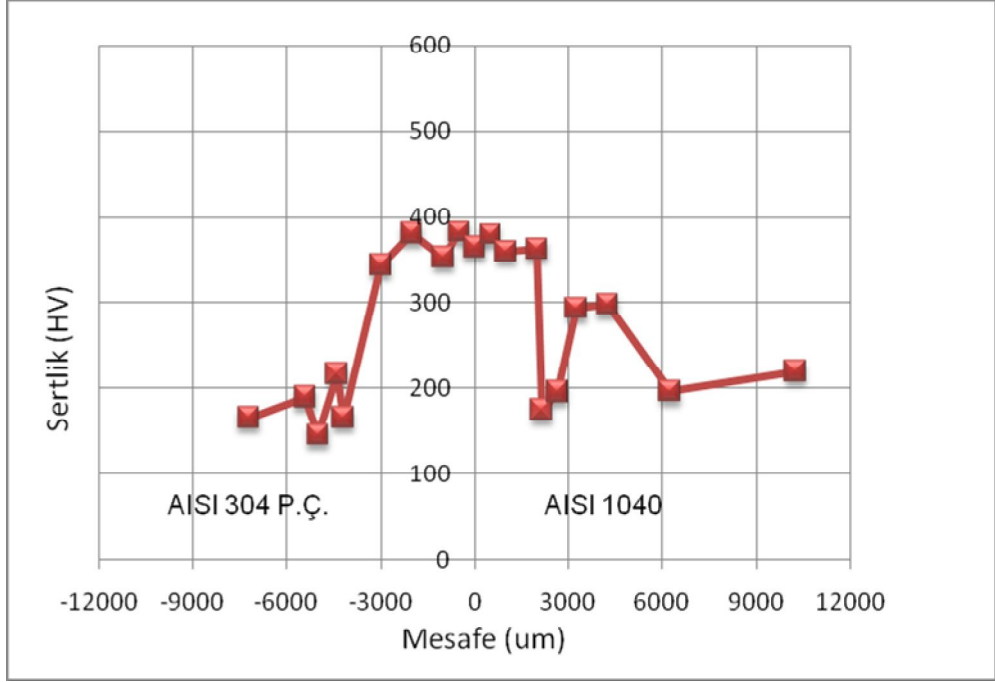
Aşağıda kaynaklı birleştirme yapılmış numunelerin mikro sertlik değerleri verilmektedir.



Grafik.5.1 100 amper ve 0.8 lt/dak gaz debisi ile birleştirilen numunede sertlik dağılımı

Şekilde sertliğin dikişte AISI 1040 tarafında maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Zaten en yüksek sertlik değerleri de dikişte ölçülmüştür.

Bu durum başlangıçta, dikişte bir miktar martenzit oluştuğu tespitimizi doğrulamaktadır. Daha öncede ifade ettiğimiz gibi bunun sebebi AISI 1040 tarafından dikişe geçen karbondur.

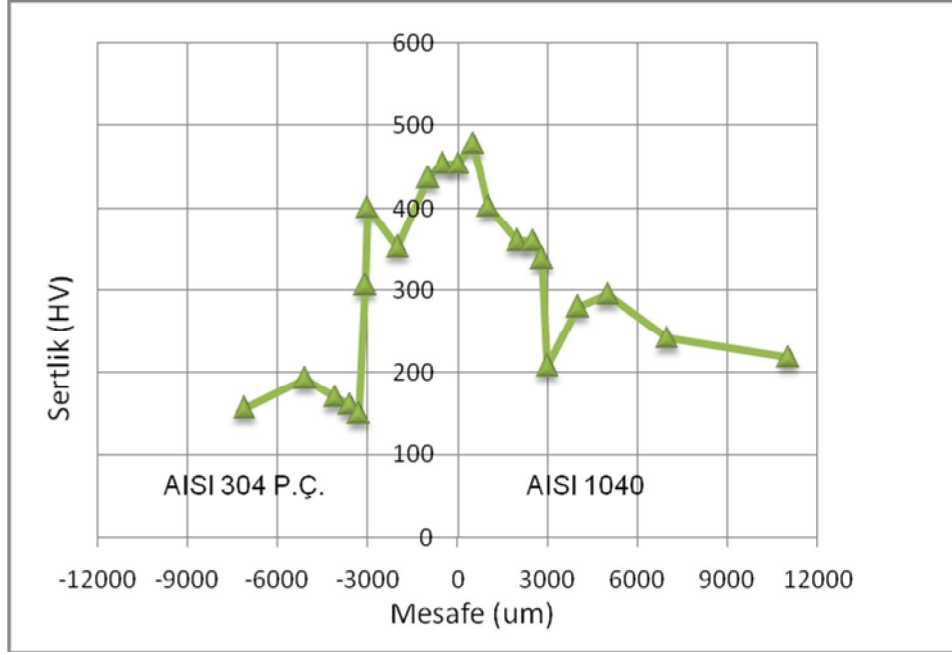


Grafik.5.2 0.8 lt/dak gaz debisi ve 110 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı.

Bu numunede de maksimum sertlik değerleri dikişte kaydedilmiştir. Dikişte kaydedilmiştir. Sertlik AISI 1040 tarafında dikişin hemen kenarında sert bir düşüş göstermektedir. Çünkü bu bölge kısmen erimiş ve karbonca fakirleşmiş olan bölgedir. Yine iri taneli bölgede de sertlik değeri düşük (180 HV) civarında ölçülmüştür.

Sertlik AISI 1040 tarafında ince taneli bölgede artmakta ve kısmen dönüşmüş bölgede daha düşük olmak üzere ana metalde normal değerine ulaşmaktadır.

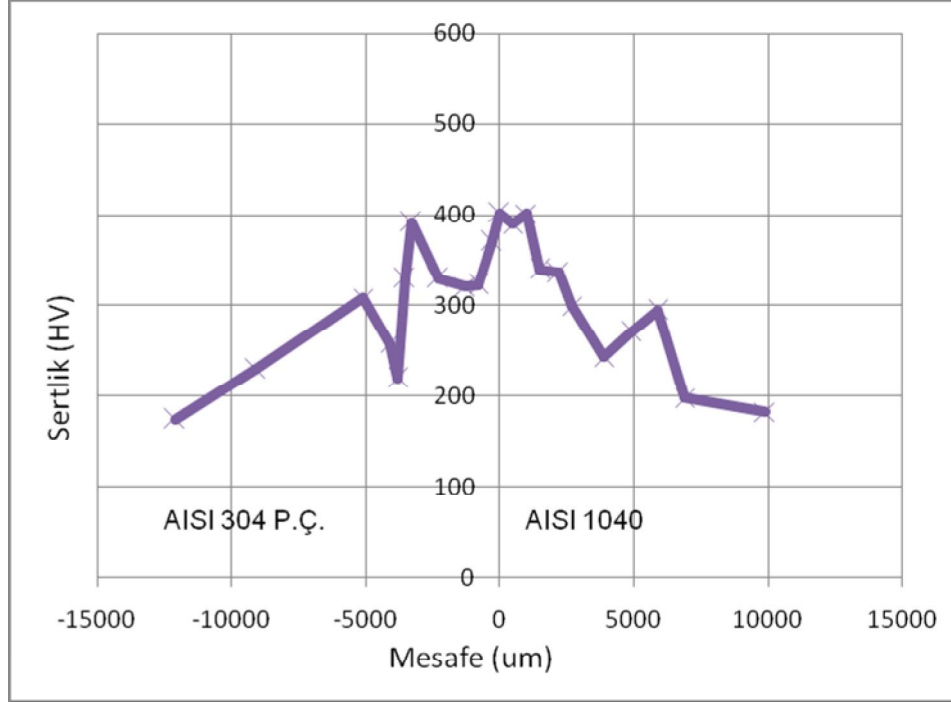
AISI 304 tarafında, dikişin hemen yanında sertliğin bir miktar yükseldiği görülmektedir. Bu sertlik artışı, mikroyapı fotoğraflarında, dikiş yanında tane sınırı karbürlerinin taneleri tamamen kuşattığı bölgede bu karbürlerin sertliklerini vermemekle beraber. Tane sınırı karbürlerinin matris hareketini sınırlayarak sertliği bir miktar artırdığı anlaşılmaktadır.



Grafik.5.3 0.8 lt/dak gaz debisi ve 120 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı.

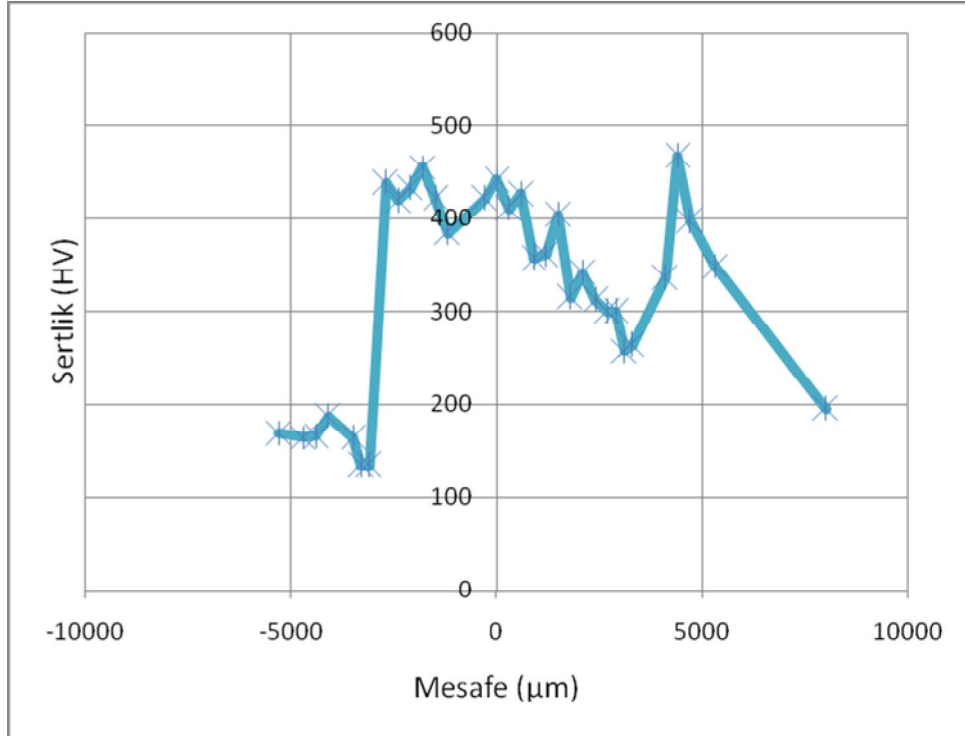
Burada da 110 amperle kaynak yapılan numunedekine benzer bir sertlik dağılımı elde edilmiştir. Yine AISI 1040 tarafında, dikişin yanında karbonca fakirleşme ve daha sonra da iri taneli yapı nedeniyle bir sertlik düşüşü görülmekte, ince taneli kısımda sertlik yeniden artmakta ve daha sonra ana metalin orijinal sertlik değerine doğru azalmaktadır.

Küçük taneli bölgede sertlik değeri burada da 300 HV civarında kaydedilmiştir. Yalnız burada dikişin maksimum sertliği 500 HV e yakın ve 110 amperde kaynak edilen numuneden daha yüksektir.



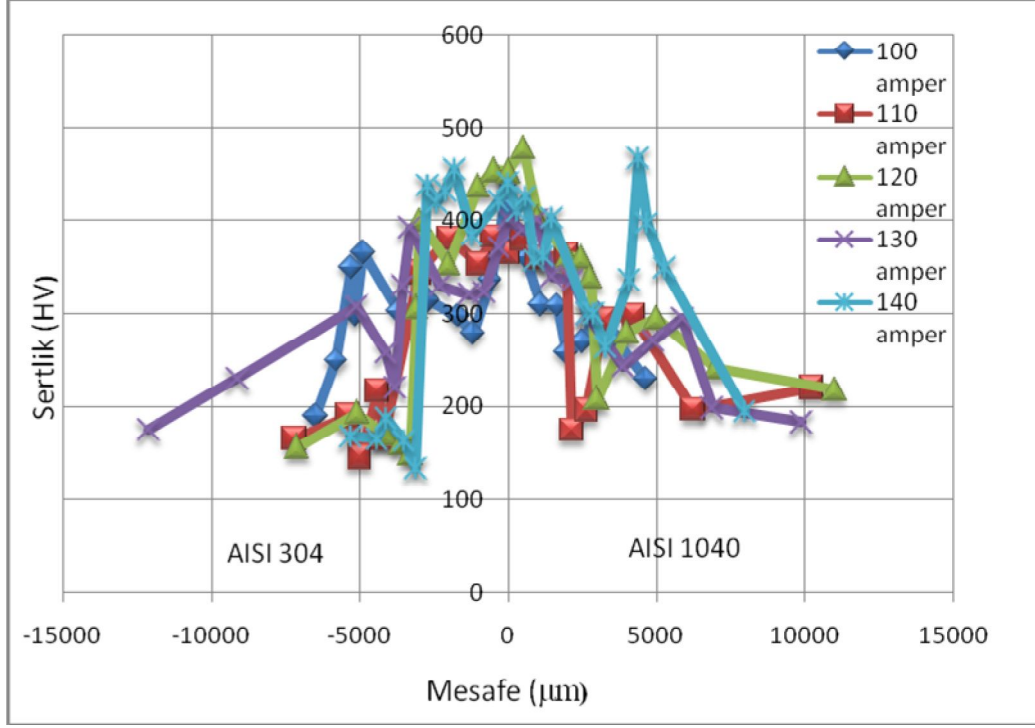
Grafik.5.4 0.8 lt/dak gaz debisi ve 130 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı.

Bu numunede de kaynak bölgesinde aynı sertlik profili elde edilmiştir. Dikiş genişliği ve küçük taneli bölgelerin yerleri de birbirinden pek farklı değildir.



Grafik.5.5 0.8 lt/dak gaz debisi ve 140 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı.

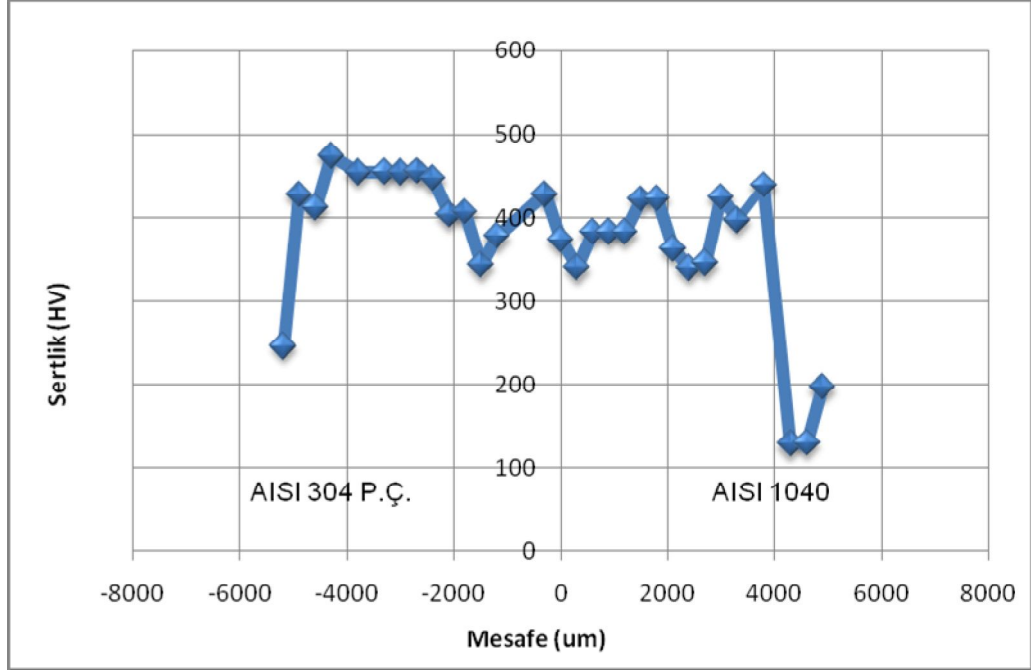
Bu numunede akımın yselmesi ile AISI 1040 tarafında en yüksek sertlik değerlerinin bu numunede kaydedildiği görülmektedir. Dikişin sertliği de bu numunede nispeten daha yüksektir. Buna, daha fazla enerji girişinin sebep olduğu söylenebilir.



Grafik.5.6 0.8 lt/dak lık plazma gaz debisi ile kaynak edilen numunelerde toplu sertlik dağılımı.

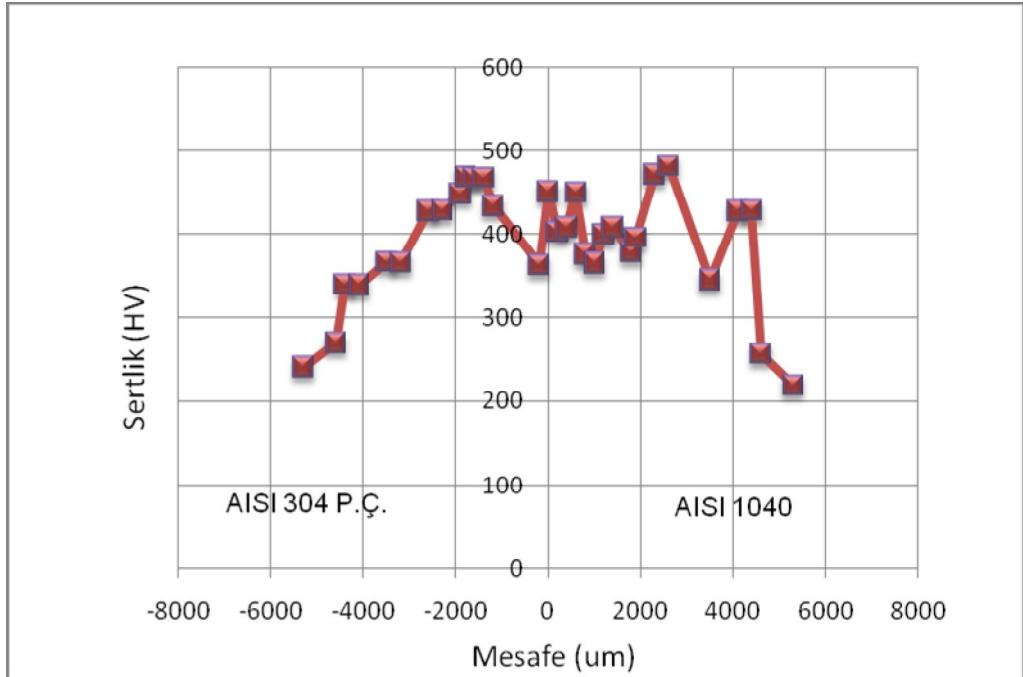
Grafik 5.6'dan görüldüğü gibi, dikişte en yüksek sertlik değerleri 140 amper ve 120 amperde kaynak edilen numunelerde kaydedilmiştir. Yine AISI 1040 tarafında en yüksek sertlik değeri, küçük taneli bölgede 140 amper ile birleştirilen numunede ölçülmüştür.

Kaynak akımının dikişin genişliği üzerinde fazla bir etkisi olmadığı görülmektedir. 110 ve 130 amperle kaynak edilen numunelerde AISI 304 tarafında, dikişin hemen yanında ölçülen sertliklerin diğer numunelerdeki sertlik değerlerinden daha yüksek olması lmde karbürlere rastlanmış olmasındandır.



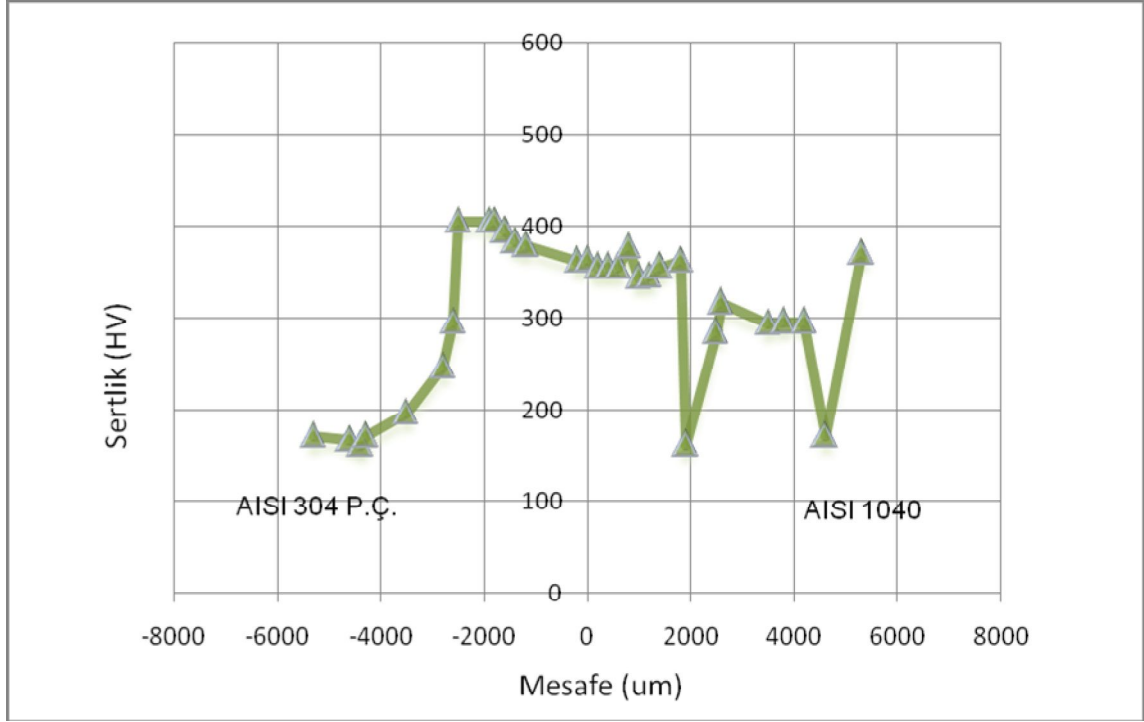
Grafik.5.7 1.2 lt/dak gaz debisi ve 100 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

Grafik.7’de dikişte sertlik değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sertlik dikişin her iki tarafında da düşmüştür. Yalnız AISI 1040 tarafında ince taneli bölgede artış kaydedilmiştir.



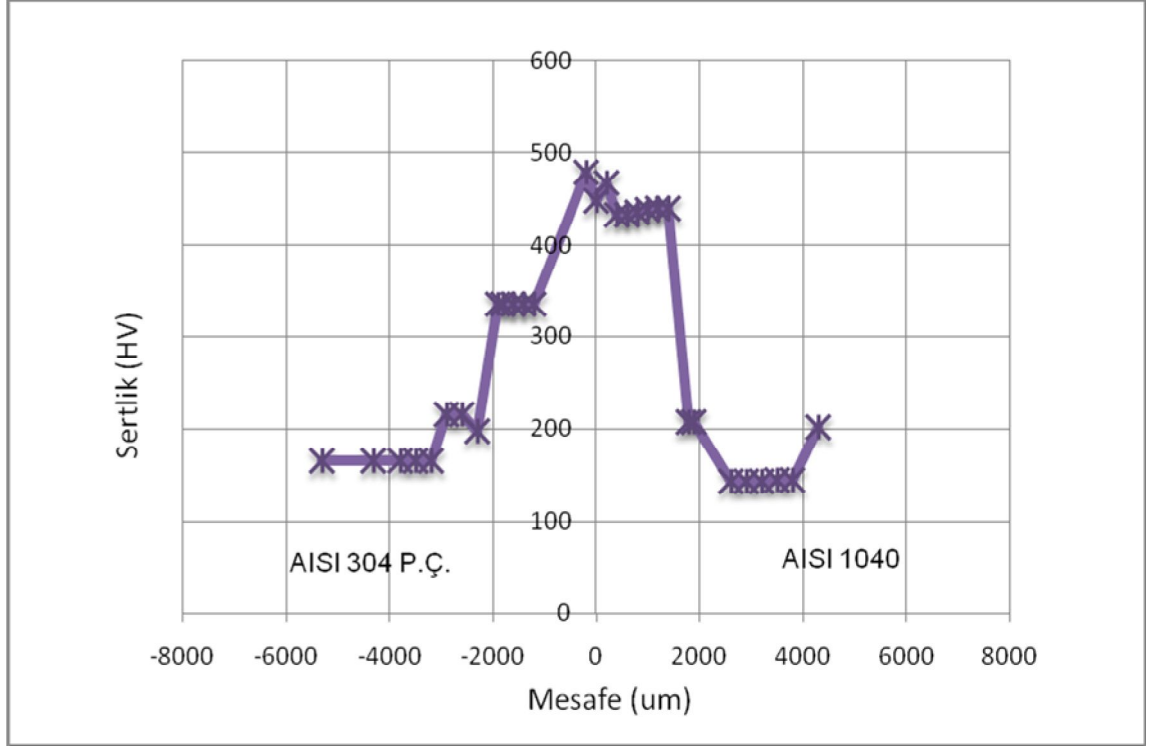
Grafik.5.8 1.2 lt/dak gaz debisi ve 110 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

110 amperde kaynak edilen numune çiftinde de genel sertlik dağılımı görülmektedir. Yalnız dikişin genişliği biraz azalmıştır. AISI 1040 tarafında küçük taneli bölgede sertlik yüksek olarak ölçülmüştür.



Grafik.5.9 1.2 lt/dak gaz debisi ve 120 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

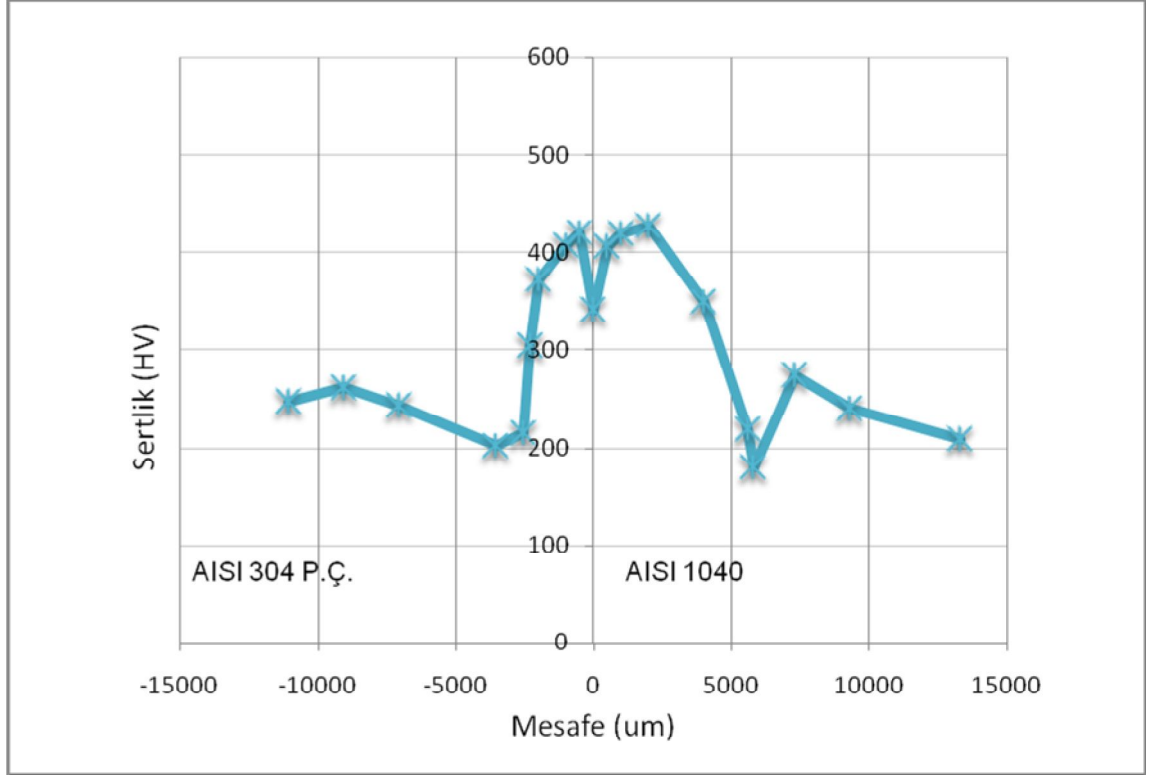
120 amperde kaynak edilen numunede hem dikişteki maksimum sertlik değerinde hem de dikiş genişliğinde meydana gelen azalma açıkça görülmektedir.



Grafik.5.10 1.2 lt/dak gaz debisi ve 130 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

130 amperde kaynak edilen numune çiftinde, dikişin yine 0,8 lt/dak plazma gaz debisi ile kaynak edilen numunelere göre daha dar olduğu, dikişin maksimum sertlik değerlerinin diğer numunelere yakın olduğu görülmektedir.

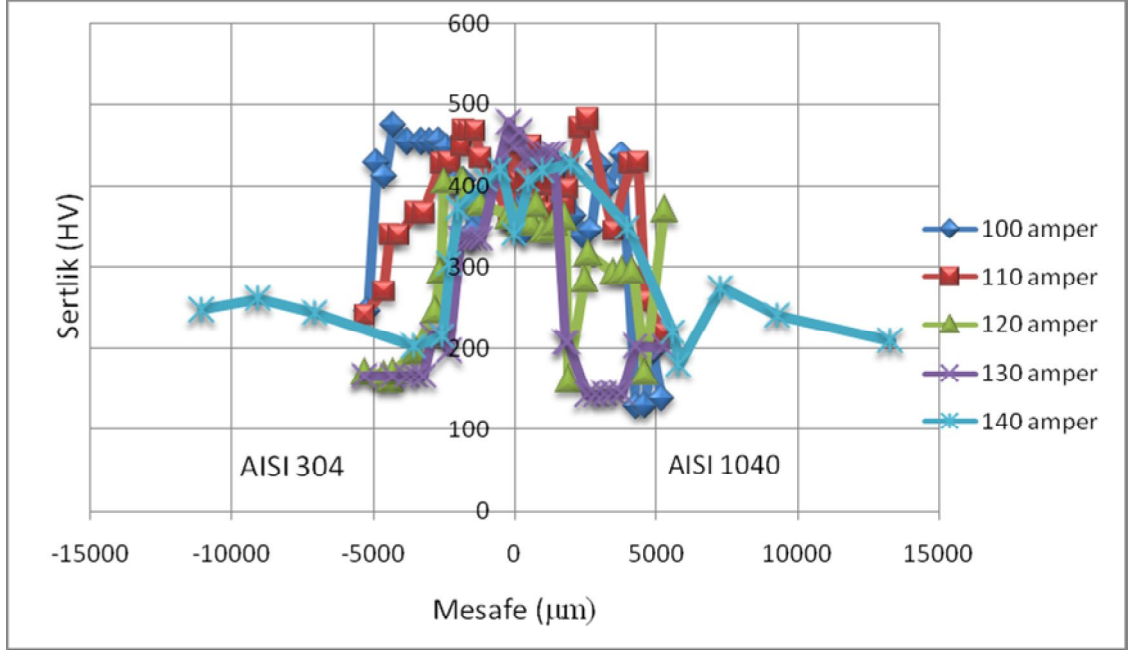
Sertlik, dikişin her iki tarafında da aniden düşmekte ve AISI 1040 ın küçük taneli bölgesinde daha yüksek olarak kaydedilmektedir.



Grafik.5.11 1.2 lt/dak gaz debisi ve 140 amper akımla birleştirilen malzeme çiftinde sertlik dağılımı

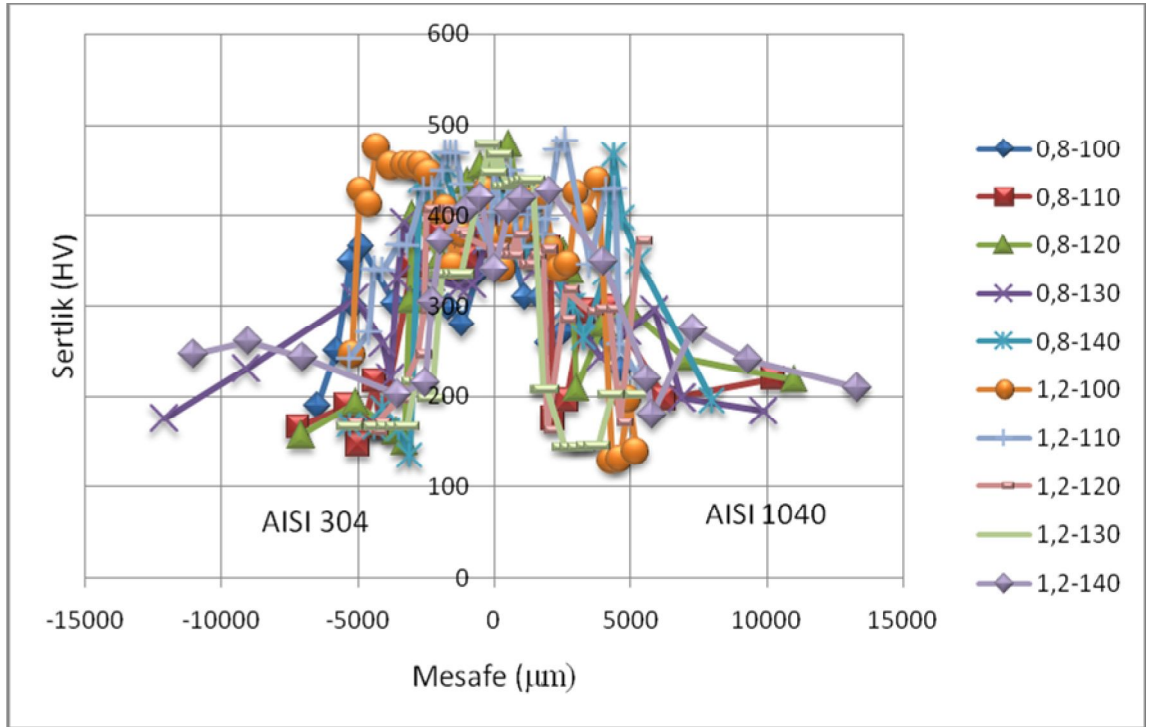
140 amper ile kaynak edilen numunede dikişin AISI 1040 tarafına doğru daha fazla genişlediği, görülmektedir. Bunun sadece kullanılan amper değerinden kaynaklanmadığı, muhtemelen kaynak esnasında elektrodun bir parça AISI 1040 tarafına kaymasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sertlik dağılımı bunun dışında diğer numunelerdeki karakteristik dağılımı göstermektedir.



Grafik.5.12 1.2 lt/dak gaz debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde toplu sertlik dağılımı

Sertlik dağılımına topluca bakıldığında en dikkat çekici hususların akım arttıkça, dikişin sertlik ve genişliğindeki daralma olduğu görülmektedir..



Grafik.5.13 Bütün sertlik değerleri topluca gösterilmektedir.

Sertlik değerlerine topluca bakıldığında, plazma gazı debisinin kendisini plazmanın daha fazla sınırlandırılması ve dolayısıyla dikişin hem sertlik hem de genişliğinde bir azalma ile

gösterdiği görülmektedir. Bu şekilde nüfuziyet artmakta ve anahtar deliği konumuna ulaşmak kolaylaşmaktadır.

5.5. Numunelerin Darbe Testi Sonuçları

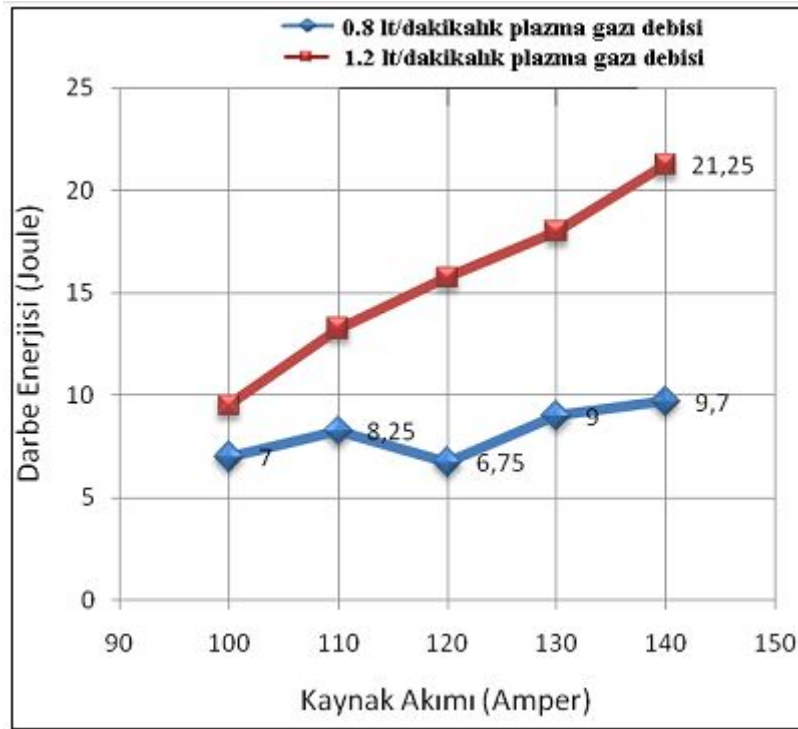
Aşağıda darbe testine tabii tutulan numunelerin kırık yüzeylerin makro fotoğrafları ve elde edilen darbe testi sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.45. Plazma Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilmiş Numunelerin Çekme Deneyi Sonrası Yüzeylerinde Oluşan Kırıkların Makro Görünüşleri

Tablo 5.7. Kaynak Edilmiş Numunelerin Çentik Darbe Deney Sonuçları

Numune No	Akım (I)	σ Darbe (Joule)
1	100	7
2	110	8.25
3	120	6.75
4	130	8.9
5	140	9.70
6	100	9.5
7	110	13.25
8	120	15.75
9	130	18
10	140	21.25



Grafik. 5.14. Çentik Darbe Dayanımları Grafiği

Çentik darbe dayanımları grafiği (Şekil 5.24), 0.8 lt/dakika'lık plazma gazı debisinde akımın yükselmesinin tek başına, çentik darbe dayanımı üzerinde sınırlı bir etkisi olduğunu, yani nüfuziyetin pek artmadığını göstermektedir. Akımın artması ile çentik darbe dayanımı 7 J'den ancak 9,7 J'e artmıştır. 120 amperde 0.8 lt/dak'lık gaz debisi ile birleştirilen malzeme çiftinde çentik darbe dayanımındaki düşüşün,

muhtemelen, elektrodun dikiş çizgisinden bir miktar kaymasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Halbuki, 1.2 lt/dak'lık plazma gazı debisinde akım yükseldikçe çentik darbe dayanımı belirgin bir şekilde artmıştır. Bir başka deyişle, plazma gazı debisindeki artış nüfuziyeti artırmış, böylece akımın etkisini de daha güçlü hale getirmiştir. Plazma gazı debisindeki artış, çentik darbe dayanımını en düşük akım değeri olan 100 amperde 7 J dan 9,5 J e yükseltmiş ve en yüksek akım değeri olan 140 amperde dikişin çentik darbe dayanımı 21,25 J e ulaşmıştır. Görülmektedir ki; plazma kaynağında aynı plazma gaz debisi ile çalışıldığında, akımı artırmanın etkisi, plazma gazı debisinin artırılması kadar yüksek olmamaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada, AISI 1040 çelik ile 1040 Orta karbonlu çelik çiftinin birleştirilmesi esnasında numuneler 2 grup halinde kaynak edildi.1.grup numuneler 100,110,120,130,140 amper, 0,8 lt/dak. plazma gazı , koruyucu gaz debisi 25 lt/dk,nozul çapı 2.4 mm, setbekayarı 0.8 mm ilerleme hızı 0,1mm/dak. alındı. 2.Grup numune ise plazma gazı 1.2 lt/dak. Setbekayarı 0.8 mm ve ilerleme hızı 0,03 mm/dak. alınarak akım değişkenleri ise ilk grup numuneyle aynı kullanılarak plazma kaynağı yöntemiyle numuneler birleştirildi.Her iki paslanmaz çelik çiftinin kaynağında, mikroyapısal olarak herhangi bir boşluk ve çatlak oluşumunun görülmediği birleştirmeler elde edilmiştir.Ayrıca gaz debisinin kaynak nüfuziyetine etkisi 2. grup numunenin kaynağında gaz etkisi sonucu daha iyi sonuç verdiği gözlemlendi.

Genel olarak şu sonuçlara ulaşılmıştır:

1. AISI 1040 ve AISI 304 çelik çifti plazma ark kaynağı ile herhangi bir önlem gerekmeden güvenilir bir şekilde birleştirilebilmektedir.
2. AISI 1040 tarafında aşırı tane büyümesi meydana gelmektedir.Bu bölgede hakim yapı aseküller ferrit, widmanstatten ferrit, alt ve üst bainittir.
3. Plazma gazı debisi artışı nüfuziyeti artırmakta; bu da bu çelik çiftinin kaynağında bağlantının mekanik özellikleri (çentik darbe dayanımını) geliştirmektedir.
4. Kaynak dikişinde katılaşma ana yapısı widmanstatten austenit olup bir miktarda delta ferrit ve martenzit meydana gelmektedir.
5. Sertlik dikişte maksimum olmakta ,dikiş yanında AISI 1040 tarafında dikişe karbon geçişi nedeniyle düşmektedir.AISI 1040 tarafında ITAB'da maksimum sertlik küçük taneli bölgede meydana gelmektedir.
6. AISI 304 tarafında dikiş yanında, kısmen erimiş bölgede karbür yoğun bir bölge (daha ziyade tane sınırı karbürü) oluşmaktadır.
7. Çentik darbe dayanımı hem artan plazma gazı debisi, hem de akım ile artmaktadır.
8. Özellikle 1.2 lt/dak'lık plazma gazı debisi ile yapılan birleştirmelerde akım arttıkça anahtar deliği dikişi meydana gelmektedir.
9. 1.2lt/dak'lık gaz debisi daha yüksek akımda kaynak yapılırsa tam anahtar konumuna ulaşmak mümkün olmaktadır.

Öneriler :

1. AISI 1040 ve AISI 304 çiftinin plazma kaynağı tam anahtar deliği konumu için incelenmelidir.
2. Bu malzeme çiftinde kaynak bölgesi mikroyapı açısından, soğuma hızları dikkate alınarak incelenebilir

KAYNAKLAR

1. Davis, J.R., 1993, Selection of Wrought Martensitic Stainless Steels, ASM Metals Handbook, V.6, 432-441
2. Dixon, R., 1993, Fundamentals of Solid state welding, ASM Metals Handbook, V.6,
3. Elsayy, A.H., 2001, Characterisation of the GTAW fusion line Phases for superferritic stainless steel weldment, Journal of materials processing technology, No.118, 128-132.
4. Erdoğan, M., 1998, Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri, Cilt. 1, Nobel yayın dağıtım, Ankara.
5. Kaplan, M., 1997, Yüksek Cr-Ni Alaşımlı Çelik Dökümlerde Yaşlandırmanın süneklik Davranışına Etkisi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
6. Korkut, M.H., 1997, Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
7. Krysiak, K.F., Grubb, J.F., Campbell, R.D., 1993, Selection of Wrought Ferritic Stainless Steels, ASM Metals Handbook, V.6, 443-454.
8. Lippold, J. C., 1993, Introduction to the selection of stainless steels, ASM Metals Handbook, V.6, 431
9. 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.
10. Mohandas, T., Ridley, G.M. and Naveed, m., 1999, A comparative evaluation of gas tungsten and shielded metal arc welds of a ferritic stainless steel, Journal of materials processing technology No.94, 133-140.
11. Pollard, B., 1993, Selection of Wrought Precipitation-Hardening Stainless Steels, ASM Metals Handbook, V.6, 482-493.
12. Noble, D.N., 1993, Selection of Wrought Duplex Stainless Steels, ASM Metals Handbook, V.6, 471-479.
13. 46 Porter DA, Easterling DA., 1992., Phase transformations in metals and alloys. London: Chapman & Hall, p. 69.
14. Smith, W. F., 1981, Structure and Properties of Engineering Alloys. McGraw-Hill Publishing Co.
15. Topbaş, M.A., 1993, Isıl İşlemler, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
16. Uzun, H., Fındık, F. ve Salman, S., 2003, Malzeme Biliminin Temelleri, değişim yayınları, İstanbul, p. 140.

17. Yıldırım, M.M., 1984, Malzeme Bilgisi, F.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü. Yayın No. 61.
18. Brooks, J.A., Lippold, J.C., 1993, Selection of Wrought Austenitic Stainless Steels ASM Metals Handbook, V.6, 456-469.
19. Bahduri, A.K. and Gill, T.P.S., 2001, Repair welding of cracked steam turbine blades using austenitic and martensitic stainless-steel consumables, Nuclear engineering and design, No. 206, 249-259.
20. Birsen yayınları,İmal Usulleri,671/A544
21. Birsen Yayınları,Kaynak Teknolojisi,6686/671,52
22. Anık ,S.,Kaynak Tekniği Cilt-1,Teknik Üniv. Kütüphanesi,Sayı 960,1973-1980
23. .F Van der Voort, G,. Metallography Principle and Practice,ASM, 1999)
24. Sindo Kou. JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, Welding Metallurgy. New Jersey. 2003
25. Kou ,S,. 2. Basım, John Wile and Sons, Welding Metallurgy .ABD, 2003
26. Odabaş, Can,. Paslanmaz çeliklerin kaynağı ,As Kaynak, İstanbul, 2007
27. www.stainless-steel-world.net, 2003
28. Anık,S,. Kaynak Teknolojisi El Kitabı,Ergür Matbaası,İstanbul 1983.
29. Anık,S,.Vural,M,. Gazaltı Ark Kaynağı(TIG-MIG-MAG),Gedik Eğitim
30. Ertürk,İ.,Gazaltı Kaynak Teknikleri,Ankara Sanayi Odası Dergisi,Sayı 77-79,Ankara 2006
31. Kaynak Tekniği Derneği,Yayın No:2, İstanbul, 1994
32. Kurt, B,. 2005, Ti-6Al-4V Alaşım İle Farklı Tip Paslanmaz Çeliklerin Difüzyon Kaynağı , F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
33. Gültekin,N,. Kaynak Tekniği,İstanbul,1991
34. Kaluç,E,. İleri Kaynak Teknolojisi Ders Notları,Kocaeli Üniversitesi,2001
35. Öztürk,F,. Tozaltı Kaynak Yöntemi ve Uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi,1996
36. Şeşen,Kelami,M,. Özel ve Süper Alaşımlı Çelikler, İTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü
37. Orhan,Nuri,. Gazaltı Kaynak Tekniği Ders Notları, Fırat Üniversitesi,2008
38. Jukka,Martikainen,. Conditions for achieving high – quality weld in the plasma arc keyhole welding of structural steels,Welding Tecnology Laboratory, Lappenta,Finlandiya,2000