

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİK ve FERRİTİK PASLANMAZ
ÇELİĞİN KENDİLERİYLE ve BİRİBİRLERİYLE SÜRTÜNME
KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Ertuğrul ÇELİK

Tez Yöneticisi

Prof. Dr. Nuri ORHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİK ve FERRİTİK PASLANMAZ
ÇELİĞİN KENDİLERİYLE ve BİRİBİRLERİYLE SÜRTÜNME
KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Ertuğrul ÇELİK

Tez Yöneticisi

Prof. Dr. Nuri ORHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

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

Üye(Danışman): Prof. Dr. Nuri ORHAN

Üye: Doç. Dr. Hüseyin TURHAN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Vedat SAVAŞ

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

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanmasında katkıda bulunan başta danışman hocam Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Kaynak Anabilim dalı başkanı Prof. Dr. Nuri ORHAN, kendi atölye imkanlarından faydalandığı için Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Makine Programı hocalarından Öğr. Gör. Mehmet YAZ'a ayrıca çalışmalarında yardımını esirgemeyen değerli arkadaşım Uğur AVCI ve aileme yardım ve desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÇALIŞMASI	2
2.1 Paslanmaz Çelikler	2
2.1.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler	2
2.1.1.1 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri	3
2.1.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler	4
2.1.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler	6
2.1.4 Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler	6
2.1.5. Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler	7
2.2. Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	7
2.2.1. Örtülü Elektrod İle Ark Kaynağı Yöntemi	8
2.2.2. Paslanmaz Çeliklerin MIG-MAG Kaynağı	9
2.2.3. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı	12
2.2.4. Paslanmaz Çeliklerin Tozaltı Kaynağı	14
2.2.5. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Ortaya Çıkan Problemler	16
2.2.5.1. Krom Karbür Oluşumu	16
2.2.5.2 Sıcak Çatlak Oluşumu	17
2.2.5.3 Sigma Fazı Oluşumu	19
2.2.6. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Ortaya Çıkan Problemler	21
2.2.6.1. Yarı Ferritik Cr'lu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	21
2.3.SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI	23
2.3.1. Tanım	23
2.3.2. Kaynak Mekanizması	23
2.3.3. Etki Eden Parametreler	24
2.3.4. Kaynak Öncesi Yapılan İşlemler	24
2.3.5. Kaynak Esnasında Yapılması Gereken İşlemler	25
2.3.6. Kaynak Sonunda Yapılması Gereken İşlemler	25
2.3.7. Sürtünme Karıştırma Kaynağı İşlemin Avantajları	25
2.3.8. Dezavantajları	27

2.3.9. Yöntemin Uygulanması	27
2.3.10. Malzeme Kalınlıkları Ve Kaynak Hızı	28
2.3.11. Birleştirme Türleri	29
2.3.12. Kaynak Başlıkları	29
2.3.13. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Başlığının Dizaynında Dikkat Edilecek Hususlar	31
2.3.13.1. Birleştirilecek Malzemelerin Mekanik Özellikleri	31
2.3.13.2. Kaynak Başlığı Malzemesi	31
2.3.13.3. Kaynak Başlığının Birleştirilecek Malzemeler İçerisine Girmesi	31
2.3.13.4. Karışmanın Sağlanması	32
2.3.14. Kaynak Güvenilirliği	32
2.3.15. Yöntemin Uygulama Alanları	32
2.3.15.1. Gemi İnşasında ve Deniz Endüstrisinde Uygulamalar	32
2.3.15.2. Havacılık Endüstrisi	33
2.3.15.3. Demiryolu Endüstrisi	33
2.3.15.4. Otomotiv Endüstrisinde	33
2.3.15.5. Diğer uygulama türleri ise şunlardır	34
2.3.15.6. İnşaat Endüstrisi	35
2.3.15.7. Elektrik Endüstrisi	35
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	36
3.1. Giriş	36
3.2. Kaynak Edilen Malzeme	36
3.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı	37
3.3.1. Kaynakta Kullanılan Elemanlar	37
3.3.2. Kaynak İşlemi	39
3.3.2.1. Kaynağın Yapılışı	39
3.4. Kaynak Sonrası Yapılan Muayeneler	41
3.4.1. Optik Mikroskopi	41
3.4.2. SEM, EDS ve EDX Analizi	41
3.4.3. Mikro Sertlik Ölçümü	42
3.4.4. Çekme Deneyi	42
4. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA	43
4.1. Giriş	43
4.2. Kullanılan Malzemenin Mikro Yapısı	43
4.2. Kaynak Bölgesinin Makro Boyutta İncelenmesi	45
4.3. Kaynak Deney Sonuçları	46
4.3.1. 1400 dev/dak'da Yapılan Kaynak	47
4.3.2. 550 dev /dak'da Yapılan Kaynak	48

4.3.3. 450 dev/dak 'da Yapılan Kaynak	48
4.3.4. 350 dev/dak'da Yapılan Kaynak	49
4.4. Kaynak Bölgelerinin Mikro Yapısı	49
4.4.1. 350 dev/dak'da Kaynak Edilen Parçanın Mikroyapı ve Tane Boyutu	49
4.4.2. 450 dev/dak'da Kaynak Edilen Parçanın Mikroyapı ve Tane Boyutu	51
4.4.3. 550 dev/dak'da Kaynak Edilen Numunenin Mikroyapı ve Tane Boyutu	53
4.5. Mikrosertlik Sonuçlarının İncelenmesi	56
4.6. Çekme Deneyi Sonuçları	58
4.6.1. Kırık Yüzeylerin SEM analizleri	61
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
5.1. Sonuçlar	62
5.2. Öneriler	62
KAYNAKLAR	63

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Yumuşak Çeliğin Paslanmaz Çeliğe Birleştirilmesinde Kullanılan Yüzey Kaplama (Sıvama) Yöntemi	9
Şekil 2.2. Büzme kuvveti etkisi (pinch effect)	11
Şekil 2.3. Paslanmaz Çeliklerin Otomatik TIG Kaynağında Kullanılan "Sıcak" Tel Yönteminin Şematik Gösterimi	13
Şekil 2.4. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Alın Bağlantı Şekilleri	14
Şekil 2.5. 18 Cr / 8 Ni (0.10 C)'lu Paslanmaz Çeliğin Tane Sınırlarında Oluşan Karbür Çökmesi ..	16
Şekil 2.6. Krom Karbür Çökmesi Sonucu Hassas Bölgede Oluşan Korozyon	17
Şekil 2.7. Schaeffler Diyagramı	18
Şekil 2.8. Katılaşma Faz Sınırlarını da içeren WCR 1992 Diyagramı	19
Şekil 2.9. Fe-Cr Denge Diyagramı	22
Şekil 2.10. Sürtünme karıştırma kaynağı kaynak mekanizması	23
Şekil 2.11. Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynak Yönteminin Prensibi	28
Şekil 2.12. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminde Batıcı Pimin Eğik Konumda Daldırılması ile Farklı Kalınlıklardaki Levhaların Birleştirilmesi	28
Şekil 2.13. Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirme Kaynağı Uygulanarak Gerçekleştirilen Birleştirmeler. a) Küt alın Birleştirme b) Birleştirilmiş Ek ve Bindirme Birleştirme c) Bindirme d) Çoklu bindirme e) İki pasolu T- köşe birleştirme f) Tek pasolu T- köşe birleştirme g) Dış köşe birleştirme h) İç köşe birleştirme	29
Şekil 2.14. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan çeşitli kaynak başlıkları	30
Şekil 2.15. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi Kullanılarak Üretilmiş Tekerlek Jant Örneği ..	33
Şekil 2.16. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Üretilmiş Bağlantı Parçası Örneği	34
Şekil 3.1 Özel tutucu mengene	37
Şekil 3.2. Kaynak başlığının tasarımı.	38
Şekil 3.3. Yapılan Kaynak Başlıkları	38
Şekil 3.4. Kaynak edilecek malzemelerin freze tezgâhına bağlanması	39
Şekil 3.5. Punta deliği açılan parçalar	40
Şekil 3.6. Sürtünme sıcaklığının oluşumu	40
Şekil 3.7. Kaynak edilen malzemeler	41
Şekil 3.8. Mikro sertlik ölçümü	42
Şekil 3.9. Freze tezgâhında hazırlanan çekme deneyi numunesi ölçüleri	42
Şekil 4.1. Kullanılan malzemenin fazlarını gösteren Schaeffler diyagramı	43
Şekil 4.2. Ana malzemenin a -SEM fotoğrafı ve b-EDS grafikleri A (Ferrit) , B (Martenzit) ..	44
Şekil 4.3. EDX analizi grafiği	45

Şekil 4.4. Kaynaklı bağlantılarda oluşan bölgeler. a.350 d/d, b. 450 d/d, c.550 d/d	46
Şekil 4.5. 1400 dev/dak'lık kaynak başlığı dönme hızıyla birleştirilen numunenin kaynak bölgesi fotoğrafı.....	47
Şekil 4.6. 1400 dev/dak'lık dönme hızı sonucunda kaynaktan önce ve sonra kaynak başlığı görünüşü	47
Şekil 4.7. 550 dev/ dak.'da birleştirilen numunenin kaynak dikişi fotoğrafı	48
Şekil 4.8. 450dev/ dak.'da birleştirilen numunenin kaynak dikişi fotoğrafı	48
Şekil 4.9. 350dev/ dak.'da birleştirilen numunenin kaynak dikişi fotoğrafı	49
Şekil 4.10. 350 d/d'da yapılan kaynağın SEM yüzey fotoğrafı.	49
Şekil 4.11. 350 dev/dak'da birleştirilen numunenin karışım bölgesi arka kısım optik fotoğrafı .50	
Şekil 4.12. 350 dev/dak'da birleştirilmiş numunenin termomekanik olarak etkilenmiş bölgesi optik fotoğrafı	50
Şekil 4.13. 350 dev/dak'da birleştirilen numunedeki ITAB optik fotoğrafı	51
Şekil 4.14. 450 d/d'da yapılan kaynağın SEM fotoğrafı.....	51
Şekil 4.15. 450 dev/dak'da birleştirilen numunenin karışım bölgesi optik fotoğrafı.	52
Şekil 4.16. 450 dev/dak'dak 'da birleştirilen numunenin termomekanik etkilenmiş bölge optik fotoğrafı.....	52
Şekil 4.17. 450 dev/dak'da ITAB optik fotoğrafı	53
Şekil 4.18. 550 d/d'da yapılan kaynağın SEM yüzey fotoğrafı.	53
Şekil 4.19. 550 dev/dak'da birleştirilen numunenin kaynak bölgesi optik fotoğrafı	54
Şekil 4.20. 550 dev/dak'dak 'da birleştirilen numunenin termomekanik etkilenmiş bölge optik fotoğrafı.....	54
Şekil 4.21. 550 dev/dak'da birleştirilen numunenin ITAB optik fotoğrafı	55
Şekil 4.22. Kaynak Bölgesinde Sertlik Dağılımları	56
Şekil 4.23. Dikişte aşağıdan yukarıya sertlik dağılımı	57
Şekil 4.24. Karışım bölgelerinin (dikişlerin) mikro yapı morfolojileri a. 350 d/d b. 450 d/d c. 550 d/d	57
Şekil 4.25. 350, 450, 550 ' d/d'da martenzitin mikro sertliği	58
Şekil 4.26. Çekme Deneyi Sonuçları (Kırmızı: 350 dev/dak, Mavi: 450 dev/dak, Siyah: 550 dev/dak)	58
Şekil 4.27. Çekme deneyi uygulanan çubuklar	59
Şekil 4.28. 350 dev/dak'da kopma yüzeyi SEM fotoğrafı.	60
Şekil 4.29. 450 dev/dak'da kopma yüzeyi SEM fotoğrafı.	60
Şekil 4.30. 550 dev/dak'da kopma yüzeyi SEM fotoğrafı.	61

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşimleri	3
Tablo 2.2. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri	4
Tablo 2.3. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri	5
Tablo 3.1 Birleştirilen malzemenin spektral analizi	36
Tablo4.1 Karışım bölgesi, TEB, ITAB bölgelerinin genişlikleri.....	55

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİK ve FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİĞİN KENDİLERİYLE ve BİRİBİRLERİYLE SÜRTÜNME KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ertuğrul ÇELİK

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metaller Eğitimi Anabilim Dalı

2006, Sayfa : 66

Bu çalışmada martenzit içeren ferritik bir paslanmaz çeliğin sürtünme karıştırma kaynağı karakteristikleri incelendi. Paslanmaz çelik döküm yoluyla üretildi ve dökümden çıktığı gibi birleştirildi. Kaynak esnasında ilerleme sabit tutulurken 350, 450 ve 550 d/d'lık üç farklı devir sayısı kullanıldı. Kaynak sonrası bağlantıların çekme testi ile mekanik davranışları belirlendi. Kaynak bölgesi mikroyapısı optik mikroskopi ve SEM ile incelendi ve kaynak bölgesinde mikrosertlik ölçümleri yapıldı.

Sonuç olarak, bağlantılarda 4 farklı bölgenin oluştuğu, çekme dayanımının optimum devir ve ilerleme hızında arttığı, ince taneli bölgede sertliğin yükseldiği, optimum devir sayısının 450 d/d olduğu görülmüştür. Yapılan deneylerde bu malzemenin sürtünme karıştırma kaynağı ile güvenle birleştirilebileceği belirlendi.

Anahatar Kelimeler : Sürtünme karıştırma kaynağı, paslanmaz çelik, kaynak başlığı.

ABSTRACT

PhD Thesis

INVESTIGATION OF WELDABILITY OF MARTENSITIC AND FERRITIC STAINLESS STEELS WITH THEMSELVES AND EACH OTHER BY FRICTION STIR WELDING

Ertuğrul ÇELİK

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy Education

2006, Page : 66

In this study, its investigated bonding of ferritic stainless steel that contains martensite via friction stir welding. Stainless steel was cast into plates and welded as cast. While welding speed was kept constant, three different tool rotation speeds, 350, 450, and 550 rpm, were used. After welding mechanical behaviors of the joints were determined by tension tests. The microstructure of the weld region was examined by optical microscopy and SEM and hardness across the weld region was measured by a microhardness tester.

As a result, it was seen that 4 different regions occurred, tensile strength was maximum at optimum rotation speed which was 450 rpm, the hardness increased in the fine grained region. It was understood that stainless steel with martensite could be joined by friction stir welding safely.

Keywords : Friction stir welding, stainless steel, welding tool.

1.GİRİŞ

Sürtünme-karıştırma kaynağı, 1991 yılında TWI (The Welding Institute) tarafından keşfedilmiş bir katı hal kaynak tekniğidir.. Yöntemde, sert bir malzemeden üretilmiş olan döner sürtünme aparatı, birleştirilecek parçaların birleşme bölgesinde sürtünme yolu ile ısı oluşturur ve malzemeyi viskoz hale getirir. Viskoz hale gelen metal, karıştırıcı ucun arkasında kalan kaynak bölgesine karıştırıcı uç yardımı ile sıvanır. Bu yöntemde ilave malzeme ve koruyucu gaz kullanmaya ve kenarların hazırlanmasına gerek yoktur. Bu yöntem sayesinde herhangi bir boşluk, çatlak veya deformasyon meydana gelmeksizin güvenli bir kaynak yapmanın çok zor olduğu birçok malzemeyi birleştirmek için kullanılır. Yöntem, ilk uygulamalarını, ergime kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri sorunlu olan alüminyum ve alüminyum alaşımları alanında bulmuştur. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde meydana gelen ince mikroyapı mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlar(Misra,2005).

Sürtünme-karıştırma kaynak tekniği, özellikle Al ve alaşımlarının kaynağında kullanılmakla birlikte, son yıllarda Al/Mg, Al/Cu, Al/ SiC takviyeli kompozit, Mg/SiC takviyeli kompozit, Fe/Ni, saf Ti, Al alaşımı/paslanmaz çelik, SAF 2507 dupleks paslanmaz çelik, 304L paslanmaz çelik malzemeler ve malzeme çiftlerinin birleştirilmesinde kullanılmıştır. Birleştirilen bu malzeme ve malzeme çiftlerinin mekanik özellikleri, mikroyapısı, korozyon davranışları ve kaynak metalinin diğer karakteristik özellikleri üzerinde çalışılmıştır(www.sciencedirect.com).

Sürtünme karıştırma kaynağı, özellikle, karıştırıcı uç ve bağlama aparatı dışında bir maliyet getirmediği ve başlıca sorun olarak görünen takım malzemesinde, son zamanlarda kaydedilen ilerlemeler nedeniyle, son yıllarda Al ve Ti alaşımları dışındaki malzemelerin kaynaklı birleştirilmesinin de araştırılmasını cazip hale getirmiştir. Bu husus dikkate alınarak, yapılan bu çalışmada, % 16 Cr içeren martenzit içeren ferritik paslanmaz çeliğin sürtünme karıştırma kaynağının yapılabilirliği, kaynak parametrelerinin tespiti ve kaynak metalinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmayla ferritik paslanmaz çeliklerin ergitme kaynağında meydana gelen ve en büyük problem olan tane büyümesinin bir katı hal kaynak tekniği olan bu yöntemle ortadan kaldırılacağı düşünülmektedir. Ayrıca, ferritik paslanmaz çeliklerin kullanım yerleri açısından da yüksek sıcaklıklara ve korozyona karşı dirençli olması ve petrokimya endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılması bu çalışmayı daha da önemli kılmaktadır.

2.LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler; ağırlıkça, en az % 10,5 oranında krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlardır. Bu çeliklere paslanmazlık özelliği kazandıran, çeliğin yüzeyinde oluşan pasifleştirici ince krom oksit tabakasıdır. Bu da korozyonun malzeme yüzeyinden derine nüfuz etmesini engeller. İçerdikleri katkı elementlerine göre beş farklı çeşit paslanmaz çelik vardır.

Bunlar :

1. Östenitik Paslanmaz Çelikler
2. Ferritik Paslanmaz Çelikler
3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler
4. Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler
5. Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çeliklerdir (ASM,2001).

2.1.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, % 11,5–30,5 Cr, % 0.20'ye kadar karbon (C) ve düşük miktarda Al, Nb, Ti ve Mo gibi ferrit dengeleyici elementler içerirler. Bu çelikler her sıcaklıkta ferritik yapıdadırlar. İçerdikleri karbon miktarının az olmasından dolayı östenit fazı oluşturmazlar ve ısıtılma işlemle sertleştirilemezler. Bu grupta yer alan ürünlerin başında AISI 405, 409, 430, 442 ve 446 gelmektedir. Tablo 2.1'de, bütün standart ve bazı standart dışı ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal analiz değerleri verilmiştir. Bu çeliklerin en karakteristik özelliği; ergitme kaynak yöntemlerinde ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda düşüşe neden olan tane büyümesidir. Tane büyümesini önlemek için ferritik paslanmaz çeliklerin bileşimine azot eklenir. Elektroda eklenen azot kaynak metalinin katılaşma sonunda ince taneli olmasına yardımcı olur. Bu tip paslanmaz çeliklerin kaynağında öyle bir kaynak yöntemi uygulanmalıdır ki ısının etkisi altında kalan bölgede 1150 °C'yi aşan sıcaklıklarda mümkün mertebe az kalmalıdır. Bu ise kaynağın çok kısa pasolarda yapılması ve hemen soğutulması ile gerçekleştirilir (AWS , 1994)

Ferritik paslanmaz çeliklerin ergitme kaynağında seçilen dolgu metalindeki Cr içeriğinin kaynak edilecek malzemedeki Cr miktarı ile aynı ya da yakın olmasında yarar vardır. Östenitik tip AISI 309 ve 312 türü ilave kaynak malzemeleri özellikle farklı metallerin ergitme kaynaklı birleştirilmesinde kullanılır. Yüksek alaşımlı ferritik paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu sadece levha ve boru şeklinde üretilir ve genellikle dolgu metali kullanılmadan TIG kaynak yöntemi ile kaynak edilirler (Gerken ve arkadaşları ,1990).

Tablo 2.1.'de ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri gösterilmiştir (ASM, 1999)

TABLO 2.1 - Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşimleri

AISI	UNS	Alaşım Elemanları (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
405	S40500	0.08	1.00	1.00	11.5-14.5		0.04	0.03	0.10-0.30 Al
409	S40900	0.08	1.00	1.00	10.5-11.75		0.045	0.045	min 6 x % C - Ti
429	S42900	0.12	1.00	1.00	14.0-16.0		0.04	0.03	
430	S43000	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	
430F**	S43020	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06	0.15 min.	0.06 Mo
430FSe**	S43023	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06	0.06	min0.15 Se
430Ti	S43036	0.10	1.00	1.00	16.0-19.5	0.75	0.04	0.03	min 5 x % C - Ti
434	S43400	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75-1.25 Mo
436	S43600	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75-1.25 Mo min 5 x % C - Nb+Ta
442	S44200	0.20	1.00	1.00	18.0-23.0		0.04	0.03	
444	S44400	0.025	1.00	1.00	17.5-19.5	1.00	0.04	0.03	1.75-2.5 Mo; 0.035 N 0.2 + 4 (% C+% N) - Ti+Nb
446	S44600	0.20	1.50	1.00	23.0-27.0		0.04	0.03	0.25 N
18-2FM**	S1 8200	0.08	2.50	1.00	17.5-19.5		0.04	0.15 min.	
18SR		0.04	0.30	1.00	18.0				2.0 Al; 0.4 Ti
26-1 (E-Brite)	S44625	0.01	0.40	0.40	25.0-27.5	0.50	0.02	0.02	0.75-1.5 Mo; 0.015 N 0.2 Cu ; 0.5 - Ni+Cu
26-1Ti	S44626	0.06	0.75	0.75	25.0-27.0	0.50	0.04	0.02	0.75-1.5 Mo; 0.04 N 0.2 Cu; 0.2-1.0 Ti
29-4	S44700	0.01	0.30	0.20	28.0-30.0	0.15	0.025	0.02	3.5-4.2 Mo
29-4-2	S44800	0.01	0.30	0.20	28.0-30.0	2.0-2.5	0.025	0.02	3.5-4.2 Mo
Monit	S44635	0.25	1.00	0.75	24.5-26.0	3.5-4.5	0.04	0.03	3.5-4.5 Mo 0.3- 0.6 Ti+Nb
Sea-cure/ Sc-1	S44660	0.025	1.00	0.75	25.0-27.0	1.5-3.5	0.04	0.03	2.5-3.5 Mo 0.2 + 4 (% C + % N) - Ti+Cb J

2.1.1.1 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Ferritik tip paslanmaz çeliklerin tavllanmış durumdaki mekanik özellikleri **Tablo 2.2** 'de ve her malzeme için detaylı olarak verilmiştir (ASM, 1999)

TABLO 2.2 - Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Çelik Türü	Isıl İşlem	Çekme Dayanımı	Akma Dayanımı %	Uzama (%)	Kesit Daralması	Sertlik "H"
405	Tavlı	480	275	30	60	B80
409	Tavlı	450	240	25		B75M
429	Tavlı	490	310	30	65	B88M
430	Tavlı	515	310	30	60	B82
430F	Tavlı	550	380	25	60	B86
430Ti	Tavlı	515	310	30	65	
434	Tavlı	530	365	23		B83M
436	Tavlı	530	365	23		B83M
442	Tavlı	550	310	25	50	B85
444	Tavlı	415	275	20		B95M
446	Tavlı	550	345	23	50	B86
26-1 (E-	Tavlı	450	275	22		B90M
26-1Ti	Tavlı	470	310	20		B95M
29-4	Tavlı	550	415	20		B98M
29-4-2	Tavlı	550	415	20		B98M
18SR	Tavlı	620	450	25		B90
Monit	Tavlı	650	550	20		B 100 M
V, Tuzlu-Su/SC-1	Tavlı	550	380	20		B 100 MJ

(M = Maksimum)

2.1.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler % 11–18 Cr, % 1,2'ye kadar C ve düşük miktarlarda Mn ve Ni içeren çeliklerdir. Bu çelikler tavlansız olarak östenit oluştururlar ve oluşan östenitin soğuma esnasında martenzite dönüşmesiyle sertleşirler. Bu grupta AISI 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431 ve 440 sınıfı alaşımlar vardır. Bu çeliklerin ergitme kaynağında, soğuma sırasında sert ve kırılgan martenzitik yapı olduğundan, kaynak dikişinde çatlama eğilimi görülür. Seçilen dolgu metalinin krom ve karbon içeriğinin ana malzemeninkine yakın olmasında yarar vardır. AISI 410 türü dolgu malzemeleri örtülü elektrod, dolu tel ve özlü tel olarak üretilirler ve AISI 402, 410, 414 ve 420 türü çeliklerin ergitme kaynağında kullanılabilirler. AISI 420 türü çeliklerin içerdiği karbon oranını yakalamak eğer teknik açıdan yararlı görülüyorsa, dolu tel veya özlü tel olarak 420 kalite dolgu malzemelerinin kullanılmasında yarar vardır. AISI 308, 309 ve 310 türü östenitik dolgu malzemeleri martenzitik paslanmaz çeliklerin

birbirleriyle veya diğer çeliklerle olan kaynaklı birleştirmelerinde, dikişin kaynak edildikten sonraki şartlarda yüksek tokluğa sahip olması gereken durumlarda kullanılır. Martenzitik paslanmaz çeliklerin çoğunda ön tav sıcaklığının ve pasolar arası sıcaklığın 205-315°C arasında tutulması önerilir. % 0.2'nin üzerinde karbon içeren martenzitik tip paslanmaz çeliklere, kaynak dikişinin sünekliğini ve tokluğunu arttırmak amacıyla kaynak sonrasında genellikle ısıtıl işlem uygulanmalıdır.

Martenzitik paslanmaz çelikler; valfler, bağlantı elemanları, dişliler, pim, yük aktaran miller, zincirler, cerrahi dişçilik aletleri, makaslar yaylar, düşük karbonlu olanları ise ise türbin kanat ve çarklarında, buhar türbinlerinde kullanılır. Ferromanyetiklerdir, martenzitik paslanmaz çelikler genellikle atmosferik korozyona karşı dirençlidirler. İç yapıları kübik hacim merkezli (KHM) veya sertleştirilmiş halde hacim merkezli tetragonal kristal kafes sisteminden meydana gelen yapıdadır. (Lincoln ,1994)

TABLO 2.3. - Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Çelik Türü	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı 0.2 (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
403	Tavlı	517	276	30	65	B82
403	Temperlenmiş	1344	1034	17	55	C41
410	Tavlı	517	276	30	65	B82
410	Temperlenmiş	1344	1034	17	55	C41
410S	Tavlı	414	207	22		B95M
410Nb	Tavlı	483	276	13	45	
410Nb	Temperlenmiş (Ara	862	689	13	45	
414	Tavlı	827	655	17	55	C22
414	Temperlenmiş	1379	1034	16	58	C43
414L	Tavlı	793	552	20	60	
416Plus	Tavlı	517	276	30	60	
420	Tavlı	655	345	25	55	B92
420	Temperlenmiş	1586	1344	8	25	C50
422	Temperlenmiş (Ara	965	758	13	30	
431	Tavlı	862	655	20	60	C24
431	Temperlenmiş	1413	1069	15	60	C43
440A	Tavlı	724	414	20	45	B95
440A	Temperlenmiş	1793	1655	5	20	C51
440B	Tavlı	738	427	18	35	B96
440B	Temperlenmiş	1931	1862	3	15	C55
440C	Tavlı	758	448	13	25	B97
1 440C	Temperlenmiş	1965	1896	2	10	C57

(*) Ostenitleştirme ısıtıl işleminden sonra temperlenmiş (ıslah edilmiş) ve oda sıcaklığına soğutulmuştur. **) Ara tavlı sıcak bitirilmişdir. M = Maksimum
Şekil2.1.'de Fe-Cr denge diyagramı görülmektedir.

2.1.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler % 16–26 Cr, % 10–24 Ni+Mn, % 0.40'a kadar C ve düşük miktarda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi diğer alaşım elementlerini içerir. Cr ve Ni+Mn oranları arasındaki denge, % 90–100 östenitten oluşan bir mikro yapının elde edilebileceğini gösterir. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540°C'a kadar oksidasyona karşı dirençlidirler. Bu grupta yer alan malzemelerin başında AISI 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 gelmektedir. Bu çelikler için geliştirilen dolgu malzemeleri genellikle ana metal ile benzer yapıdadır. Ancak birçok alaşım için, sıcak çatlak oluşumunu engellemek amacıyla, düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapının oluşmasına olanak sağlayan dolgu malzemeleri kullanılır (Folkhard ,1987).

2.1.4 Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler, martenzitik, yarı-östenitik ve östenitik olmak üzere üç gruba ayrılır. Martenzitik paslanmaz çelikler, yaklaşık 1038°C olan östenitleştirme sıcaklığından itibaren hızla soğutulur ve daha sonra 482–621°C sıcaklıklar arasında yaşlandırma ısı işlemi uygulanarak sertleştirilebilir. Bu tür çelikler % 0,07'nin altında karbon içerdiği için, oluşan martenzit çok sert değildir ve asıl sertlik yaşlandırma (çökelme) reaksiyonu ile elde edilir.

Yarı-östenitik paslanmaz çelikler östenitleştirme sıcaklığından oda sıcaklığına soğutulduklarında martenzit oluşturmazlar. Bunun temel nedeni martenzit dönüşüm sıcaklığının oda sıcaklığının altında olmasıdır. Karbonun ve/veya diğer alaşım elementlerinin karbürler ya da metaller arası bileşikler şeklinde çökelebilmelerini sağlayabilmek için bu tür çeliklere 732–954°C sıcaklıklar arasında homojenleştirme ısı işlemi uygulanmalıdır. Bu sayede alaşım elementleri çözeltiden ayrılarak östeniti kararsız hale getirir ve martenzit dönüşüm sıcaklığının yükselmesine neden olur. Böylece çeliğin oda sıcaklığına doğru soğutulması işlemi sırasında martenzitik bir yapının oluşması mümkün olur. 454–593°C arasında gerçekleştirilen yaşlandırma ısı işlemi sonucunda gerilmeler ortadan kalkar ve martenzit temperlenerek tokluk, süneklik, sertlik ve korozyon dayanımı artar (Waltein, 1993)

Çökelme yoluyla sertleşebilen östenitik tip paslanmaz çelikler homojenleştirme sıcaklığından itibaren hızla soğutulduktan ve hatta yüksek oranda soğuk deformasyona uğradıktan sonra bile östenitik yapılarını korurlar. Bu çelikler sadece yaşlandırma ısı işleminden sonra sertleştirilebilirler. Bu işlem, 982–1121°C sıcaklıklar arasındaki homojenleştirme ısı işleminden sonra 704-732 °C'a doğru yağda veya suda hızlı soğutmayı ve daha sonra yine bu sıcaklık aralığında 24 saat süren yaşlandırma işlemini içerir.

Çökelme yoluyla sertleşebilen martenzitik ve yarı-östenitik türdeki paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek dayanım şartı aranıyorsa, kaynak işleminde ana malzemeninkine benzer yapıda dolgu metalleri kullanılmalı ve parçalara kaynaktan önce ısı işlem ya da homojenleştirme ısı işlemi uygulanmış

olmalıdır. Martenzitik ve yarı-östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynaktan sonra homojenleştirme ve yaşlandırma ısı işlemi uygulanmalıdır. Eğer kaynaktan sonra homojenleştirme ısı işleminin uygulanması pratikte bazı zorlukları beraberinde getiriyorsa, parçalara kaynaktan önce homojenleştirme uygulanmalı, kaynaktan sonra ise yaşlandırma ısı işlemi yapılmalıdır. Yüksek zorlamaların etkisi altında bulunan kalın parçalar, bazı durumlarda aşırı yaşlandırma sıcaklıklarında kaynak edilirler. Bu durum, yüksek dayanım elde etmek için kaynak işleminden sonra eksiksiz bir ısı işlem uygulanmasını gerektirir (Benavides ve arkadaşları, 1999).

Çökeltme yoluyla sertleşebilen östenitik tipteki paslanmaz çelikler, sıcak çatlak oluşumu nedeniyle zor kaynak edilen paslanmaz çelikler grubuna girerler. Kaynak işlemi tercihen homojenleştirme uygulanmış olan parçalar üzerinde yapılmalı ve uygulama düşük gerilmeler altında ve mümkün olan en düşük ısı girdisi sağlanacak şekilde gerçekleştirilmelidir.

2.1.5. Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler

Çift fazlı paslanmaz çelikler son günlerdeki en hızlı gelişen paslanmaz çelik grubudur ve yaklaşık olarak eşit oranda ferrit ve östenit içeren bir mikro yapıya sahiptir (ASM, 2001)

Çift fazlı paslanmaz çelikler, daha yüksek akma dayanımına sahip olmaları ve gerilmeli korozyon çatlamasına karşı daha fazla direnç sağlamaları nedeniyle, piyasada çok kullanılan östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerinkine göre daha üstün avantajlar sunarlar. Çift fazlı mikro yapı, % 21–25 Cr ve % 5–7 Ni içeren çeliğin 1000–1050°C sıcaklıkta tavlama işlemi ve ardından hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir. Bu bileşimlere ait kaynak metalinin genellikle ferritik yapıda olma eğilimi vardır. Çünkü dolgu metali ferrit olarak katılacak ve sadece belirli bir miktarda östenit dönüşümü oluşacaktır. Birçok kaynak dolgusuna tavlama işlemi uygulanması mümkün olmadığından, dolgu metalinin Ni oranı % 8-10'a yükseltilerek kimyasal analiz modifiye edilir ve bu sayede kaynak metalinin kaynak edildiği haldeki mikro yapısında daha fazla östenit bulundurması sağlanır (Kotecki, 1990)

2.2. Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünün kaynak kabiliyeti yüksektir ve ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ve lazer bombardıman kaynakları, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler. Bu yöntemlerin hemen hemen hepsinde birleştirilecek yüzeylerin ve dolgu metalinin temiz olması gerekmektedir.

Östenitik tip paslanmaz çeliklerin ısı genleşme katsayısı karbon çeliklerinkinden % 50 daha yüksektir ve çarpılmaları en aza indirmek için bu özelliğe dikkat edilmelidir. Östenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak açısından genellikle yararlıdır. Kaynak sırasında düşük ısı girdisi ile çalışılması önerilir. Çünkü oluşan ısı, bağlantı bölgesinden, karbon çeliklerinde olduğu kadar hızlı bir şekilde uzaklaşmaz. Malzemenin direnci yüksek olduğu için direnç kaynağında, düşük akım değerleri ile çalışılabilir. Paslanmaz çeliklerin ark kaynağında çarpılma riskinin en aza indirilmesi ve

ısıdan etkilenen bölgedeki (ITAB) hassasiyetinin azaltılması için ısı girdisinin en düşük seviyede tutulması zorunludur. Bu durum özellikle standart ya da stabilize (homojenleştirme) edilmemiş östenitik tip paslanmaz çelikler için çok önemlidir. (Yutaka ve arkadaşları, 1992)

2.2.1. Örtülü Elektrod İle Ark Kaynağı Yöntemi

Bütün paslanmaz çelik elektrod örtülerinin nem alması önlenmelidir. Bu elektrodlar genellikle sızdırmazlığı sağlanmış kapalı kutularda birkaç ay boyunca nem almadan depolanabilir. Buna karşın, kutu açıldıktan sonra elektrod örtüsü nem almaya başlar ve ortamdaki hava şartlarına bağlı olarak, dört saat açıkta kaldıktan sonra yeniden kurutma işlemi uygulanmasına gerek duyulabilir. Aksi durumda özellikle ark başlangıcında gözenek oluşumu ile karşılaşılır. Genellikle 260–316°C'de 1 saat süre ile gerçekleştirilen yeniden kurutma işlemi elektrodların orijinal özelliklerini kazanmasına yardımcı olur. Bunun yanında elektrodların kullanılana kadarki süre içerisinde 150°C sıcaklığa sahip fırınlarda saklanması büyük yarar vardır (Lincoln, 1994)

DC elektrodlar sadece DC akımda kullanılır, nüfuziyetleri oldukça iyidir ve dikiş profili hafif dışbükeydir. Bu elektrodlar özellikle aşağıda belirtilen durumlarda tercih edilir.

- Dik kaynak ve tavan kaynağı, boru kaynağı gibi bütün uygulama pozisyonları. Cüruf hızlı katılma özelliğine sahiptir.
- Hiç ferrit içermeyen tamamen östenitik tip paslanmaz çeliklerin kaynağı.

Paslanmaz çelik elektrodlarla gerçekleştirilen kaynak uygulamaları, düşük hidrojenli yumuşak çelik yapısındaki elektrodlardakine benzer tekniklerin kullanılmasını gerektirir. Kısa ark mesafesi ile çalışılmalı ancak örtünün kaynak banyosuna değmesi önlenmelidir. Bazı demir tozlu elektrodlar ise oluk ve yatay pozisyonda gerçekleştirilen uygulamalarda ana metale sürtünerek kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Islatma kabiliyeti yüksek olan damlaların oluşturduğu düz kaynak dikişleri sayesinde özellikle derin kaynak ağızlarında cürufun kolay kalkması sağlanır. Krater çatlaklarını önlemek için ark kesilmeden önce bütün kraterler durdurulmalıdır. Bir sonraki elektroda geçmeden önce dikiş sonunda bulunan cüruf iyice temizlenmeli, ikinci pasoya alttaki dikişin yüzeyi tamamen temizlendikten sonra başlanmalıdır. Derin oluklu alın kaynağı uygulamalarında, kök paso atılırken her iki plakayı da yeterli miktarda eritecek ve aradaki açıklığı kapatmaya yetecek bir nüfuziyet gerçekleştirilmelidir. Aşırı nüfuziyetin ise çatlak oluşumuna neden olacağı unutulmamalıdır (Sterling, 1985).

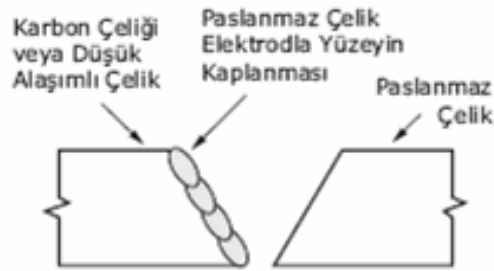
Dik ve tavan pozisyonlarında 4 mm'den kalın çaplı elektrodlar kesinlikle kullanılmamalıdır. DC elektrodlar tercih edilse de AC-DC elektrodlar aşağıdan yukarıya pozisyonlarındaki uygulamalarda DC akım ile kullanılabilir. Uygun kaynak tekniklerinin kullanılması, çarpılmaların önlenmesi açısından çok önemlidir.

Yeterli nüfuziyeti sağlayan en düşük kaynak akımı ile çalışılması iş parçasına olan ısı girişini azaltacaktır. Düşük kaynak hızlarında ince kaynak dikişleri ile çalışılırken yüksek hızlarda kalın dikişler kullanılabilir. Eğer elektroda salınım verilmesi gerekiyorsa salınım genişliğinin elektrod çapının 2,5 katı ile sınırlı tutulması uygun olacaktır.

Çarpılmaların önlenmesi için alınan diğer önlemler aşağıda yer almaktadır:

- Parçaları uygun konumda tutabilmek için sağlam ve hareket etmeyen sabitleme elemanları kullanılmalıdır.
- Kaynağın alt kısmında altlıklar, yanlarında ise soğutma çubukları kullanılmalıdır. Östenitik tip paslanmaz çeliklerin hızlı soğutulması zararlı değil yararlıdır. Soğutma çubuğu malzemesi olarak eğer bakır kullanılıyorsa, ısıdan etkilenen bölge sıcaklığının bakırın erime sıcaklığını aştığı durumlarda bakırın paslanmaz çelik ana malzemenin tane sınırlarına doğru nüfuz etmemesine dikkat edilmelidir. Bu olasılığı önlemek için bakır altlığın nikel plaka ile kaplanması yararlı olacaktır.
- Yumuşak çeliklerde olduğu gibi, atlamalı kaynak ya da ters adımlı kaynak yöntemleri kullanarak uygulama için en uygun olan kaynak sırası önceden belirlenmelidir.

Paslanmaz çeliklerin yumuşak çeliklerle birleştirildiği durumlarda, yumuşak çeliğin bağlantı yüzeyi çoğu zaman paslanmaz çelik elektrodla sıvanır (buttering). Bu teknik, **Şekil-2.'de** gösterildiği gibi, yumuşak çelik yüzeyinde paslanmaz bir tabaka oluşturulmasını ve daha sonra bağlantının yine paslanmaz çelik elektrodla bitirilmesini içerir. Bu teknik ayrıca, kaynağı zor ya da ön tav işlemi uygulanamayan yüksek karbonlu çeliklerin kaynağında da kullanılır(Lincoln ,1995).



Şekil 2.1. Yumuşak Çeliğin Paslanmaz Çeliğe Birleştirilmesinde Kullanılan Yüzey Kaplama (Sıvama) Yöntemi

2.2.2. Paslanmaz Çeliklerin MIG-MAG Kaynağı

Paslanmaz çelikler; spray ark, kısa devreli ark veya darbeli (palslı) ark ile metal transferlerinden herhangi birinin kullanıldığı gazaltı kaynağı yöntemi ile de kaynak edilebilir. (ASM, 2001).

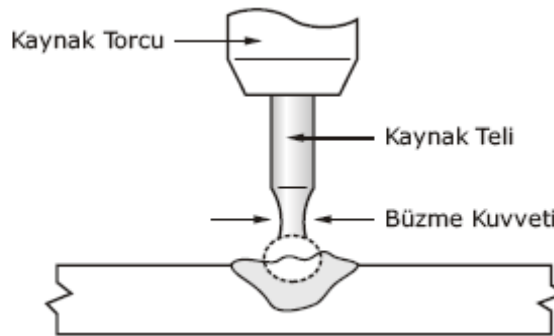
Kalınlığı 1.6 mm'ye kadar olan paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında bakır altlık kullanılmasında yarar vardır. Bu altlıklar, kalınlığı 6 mm ve üstünde olan plakaların tek taraftan gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde de kullanılır.

Kaynak banyosunun katılaşması sırasında, kaynak bölgesinin hava ile temas etmesine ve havanın kaynağın içerisine doğru girmesine kesinlikle izin verilmemelidir. Erimiş metalin oksijen tarafından kirletilmesi, soğuma sırasında paslanmaz çeliğin korozyon dayanımında ve tokluğunda azalmaya neden olabilir. Bu olumsuz durumu önlemek için kaynağın alt tarafının örneğin Argon gibi bir soygaz yardımı ile korunması gerekmektedir. Gaz koruması sabitlemenin yapıldığı bölgenin genelinde de oluşturulabilir(ASM, 1998).

Kaynak sırasında 2,4 mm çapındaki teller kullanılabilir de, özellikle yüksek akım değerleri ile çalışılan durumlarda sprej ark ile metal transferi elde edebilmek için 1,6 mm'den daha ince çaplı teller tercih edilir. 1.6 mm çapındaki teller için, koruyucu gaz ve kullanılan paslanmaz çelik tel cinsine bağlı olarak 300–350 amper kaynak akımı önerilir. Oluşan sıçrama miktarı; koruyucu gazın debisi, tel besleme hızı ve kaynak makinesinin karakteristiği ile yakından ilgilidir. Paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynağında genellikle DC akım ve pozitif (+) kutuplama kullanılır ve gaz korumasının % 1-2 Oksijen içeren Argon+Oksijen karışım gazı ile yapılması önerilir.

Kare kesitli küt alın kaynağında kaynak metalinin alttan akmasını önlemek için bir altlık kullanılmalıdır. Eğer parçalar tam olarak alın altına getirilememişse ya da bakır altlık kullanılamıyorsa, ilk pasoda sprej ark ile metal transferi yönteminin uygulanması ile alttan akma problemi azaltılabilir. Yarı otomatik kaynak torcu ile kaynak yaparken torca kaynak yönünün tersi doğrultusunda eğim verilmesi yararlı olur. Bu yöntemde kaynakçının eli kaynak dikişinin yaydığı ısıdan daha fazla etkilenecek ancak buna karşın kaynak bölgesinin daha iyi ve net bir şekilde görülmesi ve kontrol edilmesi sağlanacaktır. Kalınlığı 6 mm ve üstündeki parçaların kaynağında, kaynak torcu bağlantı doğrultusunda ileri ve geri hareket ettirilebilirken aynı anda her iki yana da hafif bir şekilde salınım verilebilir. Buna karşın daha ince parçalarda sadece ileri ve geri hareket kullanılır. İnce malzemelerde çok daha ekonomik olan kısa devreli ark ile metal transferi özellikle yatay ve tavan pozisyonlarında gerçekleştirilen kök ve birinci paso uygulamalarında kullanılmalıdır. Bazı kaynakçıların kaynak banyosunu kontrol etmek için derin bir kısa sprej ark metal transferi kullanmasına karşın bu yöntemde kaynak dikişinde yoğun gözenekler oluşabilmektedir. Kısa devreli ark ile metal transferi ile gerçekleştirilen paslanmaz çelik kaynağında değişen voltajlı ve endüktans kontrollü güç üniteleri kullanılmalıdır. Özellikle düzgün akışkanlığa sahip bir kaynak banyosunun elde edilmesinde endüktans önemli bir rol oynamaktadır. Paslanmaz çeliklerin kısa devreli ark ile metal transferi uygulanarak gerçekleştirilen kaynağında genellikle % 90 Helyum + % 7,5 Argon ve % 2,5 Karbondioksit içeren bir gaz karışımının kullanılması önerilir. Bu gaz karışımı, ana metalin korozyon dayanımını olumsuz yönde etkilemeyecek kadar düşük seviyede karbondioksit içerirken, kaynak dikişi sınırlarının çok düzgün olmasına da olanak sağlar. Bu tür bir gaz karışımı kullanılırken yüksek

endüktanslı güç üniteleri ile çalışılması yararlı olacaktır. Tek pasolu kaynak uygulamaları, Argon + Oksijen ve Argon + Karbondioksit karışım gazları kullanılarak da yapılabilir. Buna karşılık ark voltajı, kararlı yapıya sahip bir kısa devreli ark ile metal transferinin elde edilebilmesi için Helyum esaslı gazlarınkine oranla 6 volt kadar daha düşük olabilir. Isı enerjisi daha düşük bir ark ile çalışılması erime hatalarının ortadan kalkmasına yardımcı olur. Koruyucu gazdaki karbondioksit, kısa devreli metal transferi ile gerçekleştirilen çok pasolu kaynakların korozyon dayanımını, neden olduğu karbon birikmesi nedeniyle olumsuz yönde etkileyecektir. Serbest tel uzunluğu olabildiğince kısa tutulmalıdır. İç köşe kaynağı uygulamalarında kaynak torcuna kaynak yönü doğrultusunda eğim verilmesi ile rahat bir çalışma sağlanır ve daha düzgün kaynak dikişlerinin elde edilmesi mümkün olur. Buna karşın alın kaynağı uygulamalarında torca kaynak yönünün tersi doğrultusunda eğim verilir. Dış köşe kaynağında ise kaynak torcu düz konumda tutulmalıdır. Paslanmaz çeliklerin % 90 Helyum + % 7.5 Argon ve % 2.5 Karbondioksit karışım gazı koruması ve kısa devreli ark ile metal transferi kullanılarak gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında, kaynak malzemesi ile ana metal arasında iyi bir bağlantı oluşur ve dikişin korozyon dayanımı yüksek olur. Darbeli (palslı) ark yöntemi, normal kullanımda, bir çeşit spreyl ark ile metal transferi yöntemidir. Bu yöntemde, kaynak akımının her bir yüksek akım darbesinde erimiş metale ait küçük bir damla arkın ortasından geçerek transfer edilir. Yüksek akım darbesi, erimiş bir metal damlasının oluşmasına ve bu damlanın büzme kuvveti etkisiyle (Şekil-2.2.) telin ucundan kaynak banyosuna doğru yönelmesine yetecek güce ve zamana sahip olmalıdır. Kaynak periyodunun düşük akım değerine sahip bölümünde ark devam etmektedir ve tel ısınmıştır. Ancak üretilen bu ısı herhangi bir metal transferinin sağlanmasına yetecek seviyede değildir. Bu nedenle düşük akım değerinde kalma süresi kısaltılmalıdır. Aksi durumda, küresel sekile sahip bir metal transferi gerçekleşecektir (ASM, 2001)



Şekil 2.2. Büzme kuvveti etkisi (pinch effect)

Bu yöntemde genellikle 0.9 mm ve 1.2 mm çapındaki teller kullanılır. Darbeli ark kaynağında, spreyl ark kaynağında da kullanılan Argon + % 1 Oksijen koruyucu gazı sık olarak tercih edilmektedir. Bu ve diğer çaplardaki teller, darbeli akımda spreyl ark ile metal transferi kullanılması durumunda, sürekli kaynak

akımındakine oranla daha düşük akım değerleri ile yüklenerek kaynak edilebilirler. Bunun avantajı; ince parçaların, kısa devreli ark ile metal transferine oranla daha az sıçrama ile düzgün görüntülü kaynak dikişi veren spreyl ark ile metal transferi uygulanarak kaynak edilmesine olanak sağlamasıdır. Darbeli akım kullanımının bir diğer avantajı, belirli bir akım değerinde, özellikle kalın çaplı elektrodların kullanıldığı uygulamalarda, spreyl ark ile metal transferinin sürekli akımındakine oranla daha kolay elde edilebilmesidir. Kalın çaplı elektrodlar, ince çaplı elektrodla göre daha düşük maliyetlidir ve yığıldıkları dolgu metaline ait yüzey alanının dolgu hacmine oranla düşük olması sayesinde kaynak metalinin kirlenme olasılığı iyice azalmaktadır. Kaynak tellerinin sarıldığı makaraların ağırlıkları 1 kg ile 25 kg, dolgu malzemelerinin kalınlıkları ise 0.4 mm ile 3.2 mm arasında değişir. Çok ince kalınlıktaki dolgu malzemeleri özellikle plaka halindeki paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan şerit şeklindeki ürünlerden oluşmaktadır. Bunun yanında, alışılmış değerlerden daha yüksek oranda silisyum içeren östenitik tip dolgu malzemeleri de üretilmektedir. Silisyum içeriği yüksek olan bu dolgu malzemelerinin spreyl ark metal transferi yöntemi ile birlikte kullanılması durumunda son derece iyi bir ıslatma özelliği sağlanır (Mueller, 1994)

Kısa devreli ark ile metal transferi yöntemi ana metal ile düşük oranda seyrilmeye neden olduğu için kaynak metalinde sıcak çatlak oluşumu riski de iyice azalmaktadır. Seyrelmenin fazla olması durumunda ise çatlama hassasiyeti yüksek olan ve tamamen östenitik yapıya sahip bir kaynak metali oluşabilir.

- Kaynak işleminin tek taraftan gerçekleştirileceği bir kaynak ağızı tasarlanmalı ve kaynak dikişinden beklenen en düşük dayanım amaçlanmalıdır.
- Manyetik olan paslanmaz çeliği manyetik olmayan paslanmaz çeliğe kaynak ederken ark üfleme riskini en aza indirmek için düşük ısı girdili kısa devreli ark ile metal transferi yönteminden yararlanılmalıdır.

Bağlantının her iki tarafında da homojen bir erimenin gerçekleşebilmesi için, kaynak teli bağlantı bölgesindeki kaynak ağızı eğiminin sona erdiği seviyeden daha yukarıdaki bir konumda merkezlenmelidir. (Lincoln, 1994)

2.2.3. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı

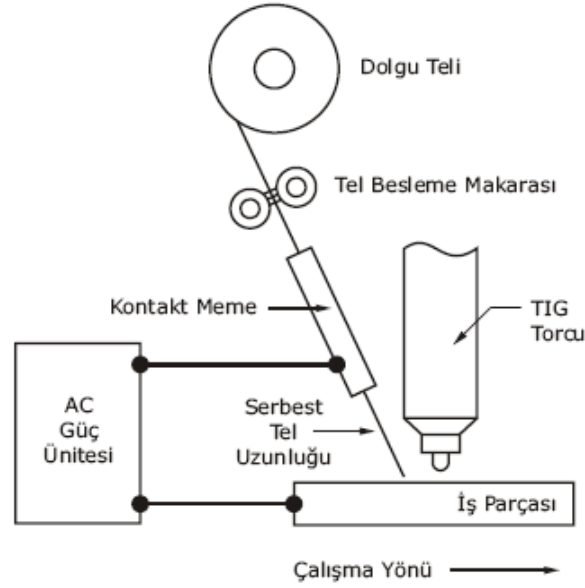
Kaynak edilebilen bütün paslanmaz çeliklere TIG kaynağı yöntemi uygulanabilir. Bu yöntemde kullanılan elektrod uçları toryum, seryum ve lantan ile alaşımlandırılan tungstenden imal edilmiştir. Bu elektrodların en büyük avantajı, saf tungsten elektrodla göre daha kararlı bir arka sahip olmaları ve daha yüksek kaynak akımları ile kullanılabilmesidir

Koruyucu gaz genellikle argon olup, özellikle kalın parçaların kaynağında Helyum ya da Helyum + Argon karışım gazları da kullanılabilir. Argon gazının en büyük avantajı akış hızının düşük olması ve buna bağlı olarak helyuma göre daha stabil bir ark oluşması ve ark voltajının daha düşük seviyede tutulmasıdır.

Düşük voltaj kullanımı, ince sacların bağlantı bölgesinde yanık oluşmadan kaynak edilebilmesi açısından çok önemlidir (AWS, 1989).

TIG kaynağında kullanılan DC güç üniteleri sabit akım özelliğine sahip olmalı ve kaynak devresi yüksek frekanslı voltaj ile donatılmış olmalıdır. Yüksek frekans sadece arkın tutuşturulması aşamasında gereklidir. Elektrod iş parçasına yaklaştırıldığında, yüksek frekans tungsten elektrod ile iş parçası arasındaki boşluktan atlayarak kaynak arkını oluşturur. Arkın bu şekilde elde edilmesi sırasında tungsten elektrod iş parçasına değmeyeceği için paslanmaz çeliğin tungsten tarafından kirlenmesi olasılığı büyük ölçüde azalır. Derin nüfuziyetli dikişlerin elde edilmesi için kaynak işleminin düz kutuplama ile (DC-) yapılması gerekmektedir (Yang , Genovis 1992).

Paslanmaz çeliklerin kaynağında otomatik TIG kaynağı yöntemi de kullanılabilir. Ark voltajı ark uzunluğu ile orantılıdır. Üretilen bir sinyal sayesinde ark voltajı kontrol ünitesi otomatik olarak devreye girer. Bağlantılarda ek dolgu malzemeleri kullanılabileceği gibi, özellikle ince sacların birleştirilmesinde sadece bağlantıyı oluşturan kenarların eritilmesi ile de kaynak yapılabilir. "Soğuk" dolgu metalleri kullanılıyorsa, tel besleme işlemi her zaman kaynak banyosunun önünden yapılmalıdır. "Sıcak" tel ile gerçekleştirilen TIG kaynağı yöntemi, özellikle metal yığıma hızında ve kaynak hızında önemli artışların elde edilmesine olanak sağlar. Bu yöntemde, kontakt memenin içinden geçen tel özel bir güç ünitesi tarafından ısıtılır ve kontakt memenin uç kısmından çıkarak iş parçasına doğru ilerler (**Şekil-2.3.**). Bir direnç tarafından ön ısıtma uygulandığı için, kaynak banyosuna değmeden önce, tel erime noktasına kadar ısınmış olur. Böylece tungsten elektrod daha çok ana metali eritmek için ve dolgu telinin erimesi için gereken direnç enerjisinin büyük bir bölümü AC güç ünitesi tarafından sağlanır. "Sıcak" tel yöntemi, tozaltı kaynağı ve kendinden korumalı metal özlü tel kaynağında kullanılan uzun serbest tel mesafesi ile çalışma prensibinin TIG kaynağındaki değişik bir uyarlamasıdır. "Sıcak" telle gerçekleştirilen TIG kaynağında kullanılan dolgu telleri genellikle 1.2 mm çapındadır. Dolgu teli önceden eritildiği ya da özel bir güç ünitesi tarafından erime noktasına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtıldığı için gerçekleşen metal yığıma hızı kaynak arkından bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir (Kokabi ve arkadaşları, 1992).



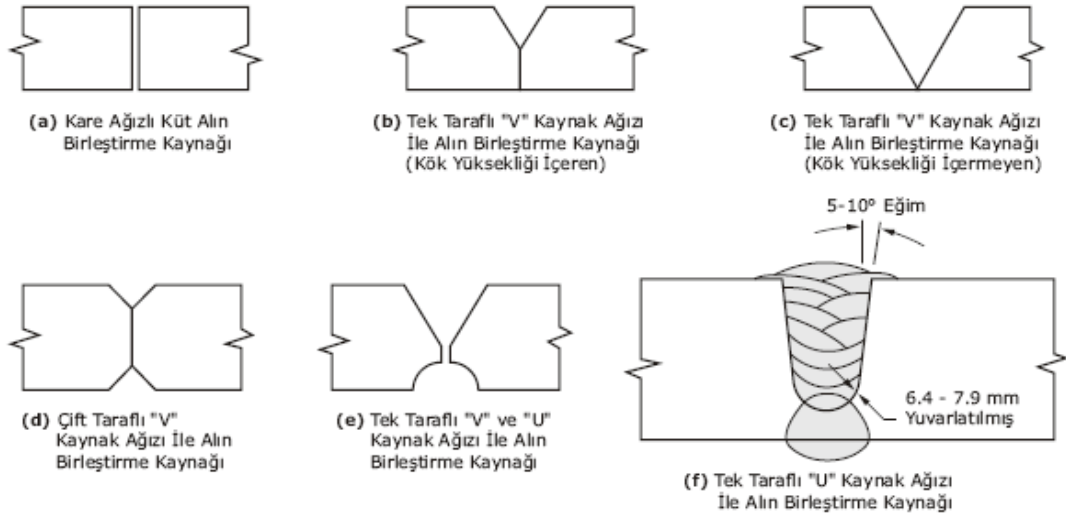
Şekil 2.3. Paslanmaz Çeliklerin Otomatik TIG Kaynağında Kullanılan "Sıcak" Tel Yönteminin Şematik Gösterimi

Paslanmaz çelik boru ve sacların TIG yöntemi ile kaynağında, birbirlerine yakın konumda yerleştirilen tungsten elektrodların kullanılması ile kaynak hızı önemli ölçüde yükseltilebilir. Bunun yanında, birden fazla tungsten elektrodun aynı anda kullanılması ile özellikle yüksek hızlarda gerçekleştirilen uygulamalarda karşılaşılan kenar yanığı problemleri de ortadan kaldırılır.

2.2.4. Paslanmaz Çeliklerin Tozaltı Kaynağı

Tozaltı kaynağı yöntemi, yüksek ısı girdilerine ve yavaş soğuma hızlarına izin veren paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabilir. Tozaltı kaynağında kullanılan toza bağlı olarak kaynak metalinin silisyum içeriği diğer kaynak yöntemlerindeki orana biraz daha yüksek olabilir. Bu durum ferrit içeriğinin % 4'den düşük olması durumunda, sıcak yırtılma ve çatlama eğilimini artırır(ASM, 2001).

Kaynak metalinin tamamen östenitik yapıda olması ya da düşük oranda ferrit içermesi gereken durumlarda tozaltı kaynağı yönteminin kullanılması önerilmez. Buna karşılık, kaynak metalinde 4 FN'den daha fazla ferrit bulunmasına izin verilen uygulamalarda yüksek kaliteye sahip kaynak dikişlerinin elde edilmesi mümkündür. **Şekil 2.4.**'de, tozaltı kaynağı yöntemi ile gerçekleştirilen alın birleştirme uygulamalarına ait kaynak ağzı tasarımları yer almaktadır (Lincoln, 1994).



Şekil 2.4. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Alın Bağlantı Şekilleri

8 mm kalınlığa kadar olan parçalar üzerinde tek paso ile gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında yüksek kaliteye sahip kaynak dikişleri, kök açıklığı bırakılmadan ve uygun bir altlıkla birlikte küt alın kaynağı ağızı kullanılarak elde edilebilir (Şekil-2.4a.). 16 mm kalınlığa kadarki parçalar üzerinde iki paso ile gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında da kök açıklığı bırakmadan çalışmak mümkündür. Ancak bu durumda, kaynak altlığı kullanılmadığı için birleştirilecek olan yüzeylerin birbirlerine iyice yaklaştırılmış olması gerekmektedir. Bu türdeki kaynak ağızı tasarımının en büyük avantajı çok az hazırlık gerektirmesi ve uygun nüfuziyetli, yüksek kaliteli kaynak dikişlerinin elde edilmesine olanak sağlamasıdır. Kalınlığı 8 mm ve üstündeki parçaların, belirli bir kök yüksekliğine sahip "Tek Taraflı V" kaynak ağızı ile gerçekleştirilen tek pasolu alın kaynağı uygulamalarında erimeyen altlıklar kullanılmalıdır (Şekil-2.4b.). Endüstriyel uygulamaların büyük bir çoğunluğunda kalınlığı en fazla 32–38 mm olan malzemeler kullanılır. Kök yükseklikleri ise 3,2 ile 4,8 mm arasında değişmektedir. Parça kalınlığının 16 mm'yi aştığı durumlarda, altlık kullanılmadan gerçekleştirilen iki pasolu kaynak uygulamalarında da bu bağlantı şeklinden yararlanılır. Birinci paso bağlantının "V" şeklindeki bölümünde gerçekleştirilir (Şekil-2.4b.). Parça daha sonra ters çevrilerek atılan ilk paso arka paso konumuna getirilir. Bu konumda iken bitirme pasosu bağlantının düz tarafından ve ilk pasonun köküne iyice nüfuz edecek şekilde gerçekleştirilir. Çift pasolu kaynak uygulamalarındaki kök yüksekliği yaklaşık olarak 9,5 mm'dir (ASM, 2001).

İnce kesitli paslanmaz çeliklerin kaynağında DC güç üniteleri sık olarak kullanılır. Kalın parçalarda hem AC hem de DC kullanılabilir de daha çok DC ile çalışılması tercih edilir. Kullanılan kaynak akımları, karbon çeliklerinin kaynağında kullanılan akım değerlerinin % 80'i seviyesindedir. Tozaltı kaynağı, gözle görülür derecede uzun bir zaman aralığı süresince sıvı halde kalabilen, geniş hacimli bir erimiş metal oluşturur. Erimiş haldeki bu metalin katılaşıma kadar desteklenmesi ve konumunun akmadan korunması gerekmektedir. En sık kullanılan kaynak altlıkları eriyen ve erimeyen altlıklar olmak üzere ikiye ayrılır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan erimeyen altlıkların başında bakır altlıklar gelmektedir.

Eğer bakırdan üretilen plakalar soğutma çubuğu olarak kullanılıyorsa, bakırın eriyerek tane sınırlarına doğru nüfuz etmemesi için gerekli olan önlemlerin alınmış olması gerekmektedir. Eriyebilen türdeki metalik altlıkların kullanıldığı uygulamalarda, kaynak paslanmaz çelik altlığın içine doğru nüfuz eder ve onunla birlikte erir. Bunun sonucunda, kullanılan altlık gerçekleştirilen bağlantının geçici veya kalıcı bir parçası haline gelir. Tozaltı kaynağı, genellikle düz pozisyonda yapılır. Bu sayede, kaynak dikişi kenarları çok düzgün olur ve kolay çalışma olanağı sağlanır. Bazı durumlarda kaynak işlemi çevresel ve belirli bir eğime sahip bağlantılar oluşturacak şekilde de gerçekleştirilebilir. Tozaltı kaynağı tozları, eritilmiş ve aglomere edilmiş tozlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Eritilmiş tip tozlar camsı bir görünüme sahip olup, tozu oluşturan elementlerin yüksek sıcaklıklarda eritildikten sonra toz taneleri oluşturacak şekilde parçalanması ile elde edilir. Aglomere edilmiş tozlar ise tozu oluşturan elementlerin uygun bir bağlayıcı ile karıştırıldıktan sonra pişirilmesi ile elde edilir. Bazı aglomere edilmiş tozların kullanılması ile çeşitli alaşım elementlerinin kaynak metaline eklenebilmesi mümkün olmaktadır. Bu alaşım elementlerinin başında krom, nikel, molibden ve niobyum gelmektedir. Yapısında hiçbir alaşım elementi içermeyen tozlar "Nötr Tozaltı Tozları" olarak adlandırılır. "Nötr" terimi göreceli bir kavram olup, kaynak metalinin alaşımı kullanılan nötr tozdan bir miktar etkilenecek değişime uğrar (AWS,1985).

Kaynak işleminin başlatılması aşamasında sık olarak kullanılan iki yöntem aşağıda belirtilmiştir:

Sürterek başlatma tekniği ile, tel iş parçasına doğru sürülür ve bu sırada araba da hareket etmeye başlar. Taşıyıcı arabanın iş parçasına olan rölatif hareketi nedeniyle, tel eriyerek parçaya deyince yapışma problemi ile karşılaşmaz. Geri çekerek başlatma tekniği ile, tel iş parçasına doğru yavaş yavaş ilerler ve bu arada toz ile kaplanır. Kaynak başladıktan sonra tel bir an için geri çekilir ve daha sonra tekrar ters yönde, yani parçaya doğru hareket ederek ileriye doğru bir tel beslemesi sağlanır. İnce kesitli paslanmaz çeliklerin kaynağında bu yöntemin kullanılması önerilmez. Ark oluştuktan sonra bazı parametrelerin kontrol edilmesi çok önemlidir. Kaynak akımı en önemli parametredir. Bunu kaynak gerilimi izler. Kaynak hızındaki değişimler belirli bir şablona göre ayarlanabilir. Eğer hız yükseltirirse, kaynak dikişinin dayanımı azalır, buna karşılık hız azaltılırsa, elde edilen dayanım daha yüksek olur. Bütün bunların yanında, kaynak hızı nüfuziyet derinliği üzerinde de etkili olmaktadır (AWS 1985).

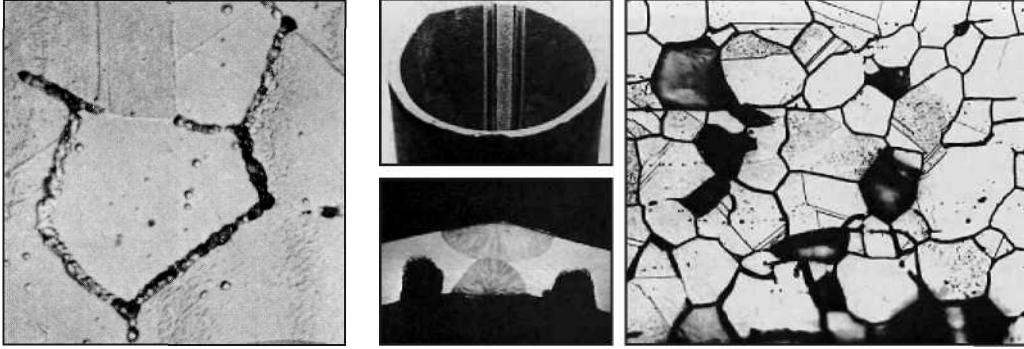
2.2.5. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Ortaya Çıkan Problemler

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır bunlar sırası ile;

- 1) Isının etkisi altında kalan bölgede krom karbür oluşması sonucu meydana gelen hassas yapı.
- 2) Kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu
- 3) Yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "SigmaFazı" oluşumu riskleridir (Gerken ve Kotecki, 1990).

2.2.5.1. Krom Karbür Oluşumu

Isının etkisi altında kalan bölgenin 427–871°C sıcaklığa kadar ısınan bölümünde yer alan tane sınırlarında çökelen ve taneler arası korozyonu hızlandıran krom karbürler burada "Hassas Yapı" oluşmasına neden olurlar (Şekil-2.5 ve 2.6). Bu oluşum sırasında bir miktar krom çözültiden tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bunun sonucunda bu bölgesel alanlarda krom miktarında azalma olacağı için korozyon dayanımı düşer.



Şekil-2.5. 18 Cr / 8 Ni (0.10 C)'lu Paslanmaz Çeliğin Tane Sınırlarında Oluşan Karbür Çökmesi (ASM Committee, 1998)



Şekil-2.6. Krom Karbür Çökmesi Sonucu Hassas Bölgede Oluşan Korozyon (ASM Committee, 1998)

Bu sorun, kromla birleşerek krom karbür oluşmasına neden olan karbonun yapıda düşük seviyelerde tutulduğu düşük karbonlu (L tipi) ana metallerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıyla önlenabilir. Bunun yanında kaynak işleminin ön tav uygulanmadan yapılması, ısı girdisinin düşük seviyede tutulmasına özen gösterilmesi ve bakır altlık kullanılarak hızlı soğuma sağlanması hassas sıcaklık aralığında kalma süresinin kısa tutulması açısından oldukça yararlıdır.

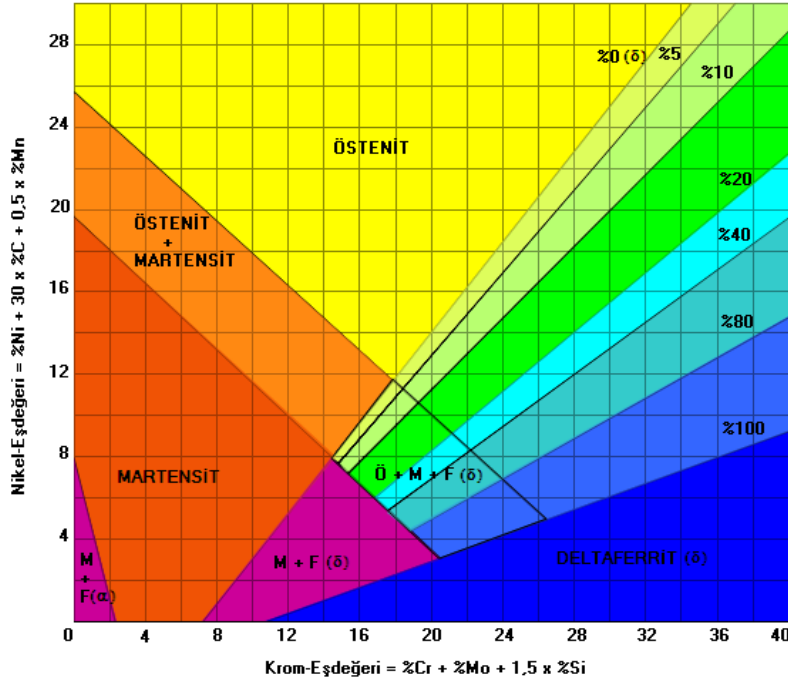
Diğer bir yöntem, stabilize edilmiş olan paslanmaz çelik ana malzemelerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıdır. Bu sayede stabilizatör görevi gören alaşım elementleri karbon ile reaksiyona girecek ve krom miktarının azalmadan yapıda kalması sağlanacağından korozyon dayanımında herhangi bir düşüş ile karşılaşılmayacaktır. 321 kalite paslanmaz çelikler stabilizatör olarak titanyum (Ti) içerirken 347 türü paslanmaz çelikler niyobyum (Nb+Ta) ile stabilize edilmişlerdir. Her iki element de kromdan daha güçlü karbür oluşturma özelliğine sahiptir (Gerken , Kotecki, 1990).

Bunların dışında kalan bazı ısıtım yöntemleri pahalı olmaları, pratik olmamaları ve parçalarda çarpılmalara yol açmaları nedeniyle pek tercih edilmezler.

2.2.5.2 Sıcak Çatlak Oluşumu

Sıcak çatlamanın temel nedeni; kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük erime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bu bileşimler, eğer kaynak dikişinde veya ısının etkisi altında kalan bölgede bulunuyorsa, tane sınırlarına doğru yayılırlar ve kaynak dikişi soğurken ve çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlama neden olurlar. Sıcak çatlak oluşumu, dolgu metalinin ve ana metalin kimyasal analizinin östenitik matriksde düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapı elde edilecek şekilde ayarlanmasıyla önlenir. Ferrit, kükürt ve fosfor bileşimlerini kontrol altında tutabilen ve ferritik-östenitik yapıya sahip olan tane sınırları oluşturarak sıcak çatlak oluşumunu engeller. Bu sorun "S" ve "P" miktarlarının çok düşük seviyelerde tutulması ile de giderilebilir, ancak bu durumda, çeliklerin üretim maliyetleri belirgin bir şekilde artacaktır (Gerken , Kotecki, 1990).

Sıcak çatlama riskine karşı dayanım elde edebilmek için yapıdaki ferrit miktarının en az % 4 olması önerilmektedir. Bunun dışında; dolgu malzemesinin ve ana metalin kimyasal analizi biliniyorsa, çeşitli diyagramlar kullanılarak da bir tahminde bulunmak mümkündür. Bu diyagramlardan şekil 2.7'de görüldüğü gibi bilineni ve en eski olanı 1948 yılında SCHAEFFLER tarafından geliştirilen "Schaeffler Diyagramı"dır. Bu diyagramda Cr eşdeğeri yatay eksen, Ni eşdeğeri ise dikey eksen yer almaktadır.

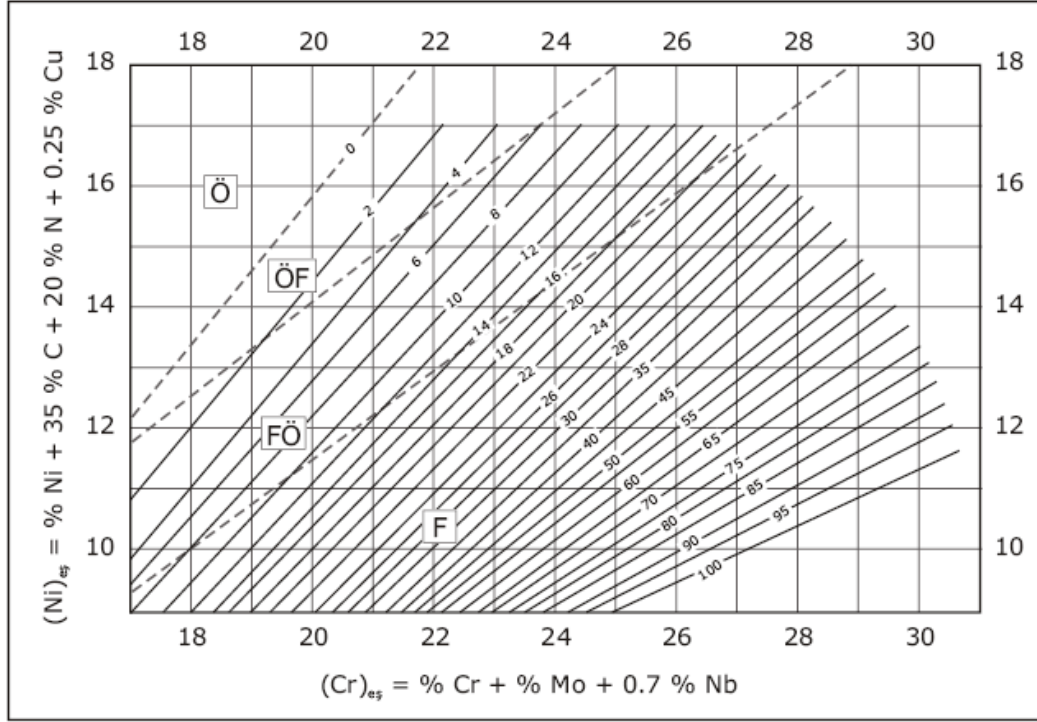


Şekil 2.7. Schaeffler Diyagramı

$$(Cr)_{\text{eş}} = \% Cr + \% Mo + 1.5 \% Si + 0.5 \% Nb$$

$$(Ni)_{\text{eş}} = \% Ni + 30 \% C + 0.5 \% Mn$$

Schaeffler Diyagramı çok uzun yıllar kullanılmasına karşın, azotun (N) etkisini hesaba katmaması ve diyagramdan elde edilen verilerin, konusunda bilgili birkaç ölçüm uzmanı tarafından belirlenen ferrit yüzdeleri ile farklılıklar göstermesi nedeniyle günümüzde etkinliğini kaybetmiştir. 1973 WCR-DeLong Diyagramı'nı Schaeffler Diyagramı'ndan ayıran en önemli özellik nikel eşdeğeri hesaplanırken yapıdaki azot (N) miktarının da göz önüne alınması ve sonucun ferrit yüzdesine ek olarak "FN - Ferrit Numarası" ile belirtilmesidir (Verlag ve Folkhard, 1987)



Şekil 2.8. Katılaşma Faz Sınırlarını da içeren WCR 1992 Diyagramı

$$(Ni)_{eq} = \% Ni + 30 \% C + 30 \% N + 0.5 \% Mn$$

Ferrit numaralan, özellikle düşük seviyelerde, ferrit yüzdeleri ile yakın değerlere sahiptir. Günümüzde en sık kullanılan ve en sağlıklı sonucu veren diyagram **Şekil-2.8.’de** belirtilen WCR–1992 Diyagramı’dır (Folkhard, Verlag, 1987).

2.2.5.3 Sigma Fazı Oluşumu

"Sigma Fazı", çok sert (700–800 Vickers), manyetik olmayan ve gevrek yapıya sahip metaller arası bir bileşiktir. Röntgen ışıını ile yapılan analizde bileşiminin yaklaşık olarak % 52 krom ve % 48 demirden oluştuğu ancak bunun yanında molibden gibi diğer alaşım elementlerini de içerebildiği görülmüştür. Sigma fazı, kromlu veya krom-nikel esaslı paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynak bölgesinde oluşur. Saf östenitik bir yapıdaki sigma fazı oluşum hızı, östenitik kütle içerisinde ferrit içeren yapıdakine oranla daha düşüktür.

Sigma fazı ile krom karbür çökmesi birbirinden tamamen farklı iki oluşumdur. Sigma fazı kırılganlığı 650-850°C sıcaklıklar arasında görülür ve bu sıcaklık aralığında kalma süresi ile oluşan yapının yoğunluğu arasında yakın bir ilişki vardır. Faz dönüşüm hızının en yoğun olduğu sıcaklık 720°C civarındadır. Yapıda bulunan ferrit miktarının % 3-4 ile sınırlı tutulması durumunda, östenit tanelerinin etrafı ferrit ile

çevrilemeyecek ve kırılabilirlik riski önleneyecektir. Buna karşın ferrit miktarının % 12'yi geçmesi ile birlikte esneklik kabiliyeti hızla azalacaktır (ASM, 2001)

Sigma fazı konusunda yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Sigma fazının oluşumu 750°C'da, 650°C'da kinden daha çabuk meydana gelir. 750°C'da 30 saat gibi bir zamana gereksinim varken bu süre 650°C'da 1 haftaya çıkar.
- 2) Sigma fazı oluşumu soğuk şekil değiştirme ile hızlanır.
- 3) Sigma fazı oluşumuna kuvvetli olarak etki eden elementler; molibden (Mo), krom (Cr), niobyum (Nb) ve silisyum (Si)'dur.
- 4) Sigma oluşumunu kuvvetlendiren elementlerin miktarı yüksek ise, belirli şartlar altında, kaynağa bağlı olmadan ve ısıtma işlemi uygulamadan da sigma fazı meydana gelebilir.
- 5) Sigma fazı, 950–1100°C sıcaklıklar arasında belirli bir süre tavlandıktan sonra, suda hızlı olarak soğutulularak giderilebilir.
- 6) Sigma fazının giderilmesi için uygulanan ısıtma işleminden sonra oluşan yapıdaki ferrit miktarı, ısıtma işlemi uygulanmamış yapıdakine oranla daha azdır.
- 7) Ferrit miktarı, parçaya 1150°C'da homojenleştirme tavlama uygulanarak daha da düşürülebilir. Bu durumda ferrit mikro toplanmalar şeklinde oluşur.
- 8) Isıtma işlemi uygulanmamış 19Cr/9Ni/1,5 Mo tipi çeliğe ait kaynak bölgesinin yapısında bulunan % 15 ferrit sigma fazına dönüşünce, kaynak dikişinin mukavemet özelliklerinde aşağıda belirtilen değişimler meydana gelir:
 - a) Çekme dayanımı yükselir, akma sınırı düşer.
 - b) Uzama, büzülme ve çentik dayanımları önemli derecede azalır.
 - c) 24 saat 750°C'da tavlama yapılmış olan kaynak bölge sinin 0°C'daki çentik dayanımı, 650°C'da bir hafta tavlama yapılan kaynak yerinin çentik dayanımı ile hemen hemen aynıdır. Buna karşın, yapısında%12 ferrit bulunan kaynak bölgesinin çentik dayanımının 1/10'u kadardır. Aradaki bu fark, yüksek sıcaklıklarda daha da azalmaktadır.

- 9) 300–400°C üzerinde oldukça iyi çentik değerleri elde edildiği için, yüksek işletme sıcaklığında çalışan konstrüksiyonlarda, sigma fazının neden olduğu gevrekleşmeden korkulmamalıdır.
- 10) Sigma fazının neden olduğu kırılganlık, kaynak bölgesinin tavlama yapılmadan önceki durumunda içerdiği ferrit miktarına bağlıdır. Eğer kaynak bölgesi başlangıçta % 6,5 ferrit içerirse, sigma dönüşmesi çentik darbe dayanımının azalmasına neden olmaz. Burada ferrit miktarı az olduğu için, ferrit östenitik yapı içerisinde ağ şeklinde değil, izole edilmiş odacıklar halinde meydana gelir. Bu yolla elde edilen sigma, yapıya bir süneklik kazandırmaktadır (ASM,AWS, 2001-1997)

2.2.6. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Ortaya Çıkan Problemler

2.2.6.1. Yarı Ferritik Cr'lu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Çalışmamızın konusunu da oluşturan yarı ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında, aynı kimyasal kompozisyona sahip kaynak metalleri ve ısıdan etkilenen bölgeler martenzit veya temperlenmiş martenzitik yapıya sahip olabilir.

Kaynak sonrasında, martenzit yanında krom karbürlerin oluşması da kaçınılmazdır. Bu, özellikle taneler arası korozyona sebep olan önemli bir oluşumdur. Yine kaynak sonrasında hidrojen emilimi ile soğuk çatlak oluşma riski bulunmaktadır.

Tam ferritik paslanmaz çelikler 950°C'nin üzerinde tane büyümesine eğilimlidir. İri taneli yapısı ise tokluğun düşmesine neden olur ki, tokluk hiçbir ısı işlem ile tekrar aynı düzeye getirilemez.

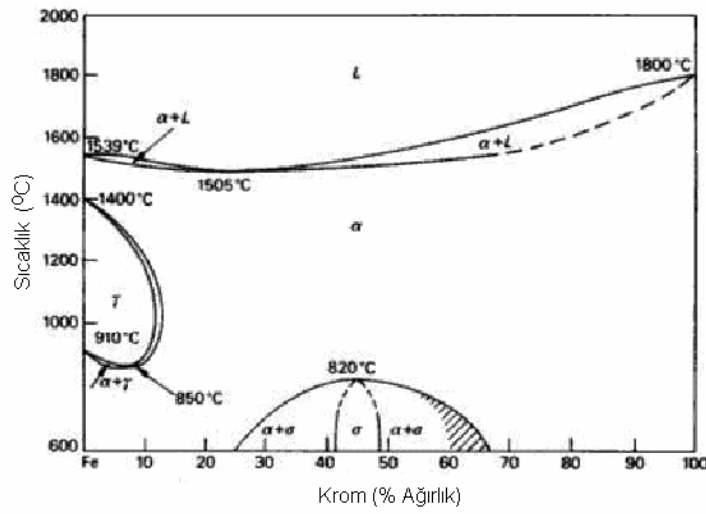
Çentik darbe testi ile tespit edilen süneklikten kırılganlığa geçiş sıcaklığı ferritik paslanmaz çeliklerde oda sıcaklığı civarındadır.

Kromlu ferritik paslanmaz çelikler daima bir miktarda karbon ihtiva ederler. Karbonun ferrit içinde çözülme miktarı çok az olduğundan, karbon tüm yapı içinde ince bir şekilde dağılmış karbürler halindedir. Kaynak esnasında ITAB'de bu karbürlerin bir kısmı çözülür ve küçük yerel ostenit bölgeleri meydana getirir. Şekil 2.9'da Fe-Cr denge diyagramı görülmektedir. Bu diyagram üzerine çeliğin yapısında mevcut karbonun ostenit alanını genişletme etkisi şematik olarak işlenmiştir, buradan da görüldüğü gibi karbon miktarının biraz artması ostenit alanını genişleterek yüksek miktarda krom ihtiva eden çeliklerde dahi ostenit oluşumuna imkan vermektedir. Oluşan ostenit büyüyen ferrit tanelerinin çevresinde bir ağ şeklinde yer alır; soğuma esnasında bu ostenit martenzite dönüşür ve dolayısıyla ITAB'de iri ferrit taneleri etrafında bir martenzit ağından oluşmuş bir yapı ortaya çıkar. Bu yapının sertliğine martenzit bir etkide bulunmaz, zira miktarı çok azdır, buna mukabil kırılgan yapar. Bu tip paslanmaz çeliklerin kaynağında öyle bir kaynak usulü uygulanmalıdır ki ITAB 1150°C'yi aşan sıcaklıklarda mümkün mertebe az kalmalıdır. Bu ise ancak kaynağın çok kısa pasolarla yapılması ve hemen soğutulması ile gerçekleştirilebilir. Teorik olarak iri taneli hale gelmiş yapıyı sıcak dövme ile, örneğin kaynak bölgesinin çekilçenmesi ile islah etmek mümkündür. Yalnız bu her parçaya tatbik

edilemez ve edilebilen parçalarda da her zaman güvenilir bir etki göstermez, aksine dövme işlemi parça soğumaya yüz tutmuş iken yapılırsa, esasen gevrekleşmiş olan ITAB'de çatlak oluşmasına sebep olunur.

Kromlu ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan bir diğer tehlike de, krom ve demirin bir metallerarası fazı olan çok kırılgan ve gevrek sigma fazının oluşmasıdır. Bu olay sıcaklığın uzun süre 400°C ila 550°C arasında tutulması neticesinde ortaya çıkar bu bakımdan bu çeliklere hiçbir zaman 400°C'nin üzerinde bir öntav uygulanmamalıdır.

Yüksek miktarda krom ve karbon içeren ferritik paslanmaz çeliklere, ITAB'nin özelliklerinin geliştirilmesi bakımından, 200°C'lik bir öntav uygulanabilir, diğer hallerde bu çeliklerin kaynağında ön tav uygulanmaz. (Dikicioğlu, A. 2006-Kaynaklı İmalat ve Tasarım)



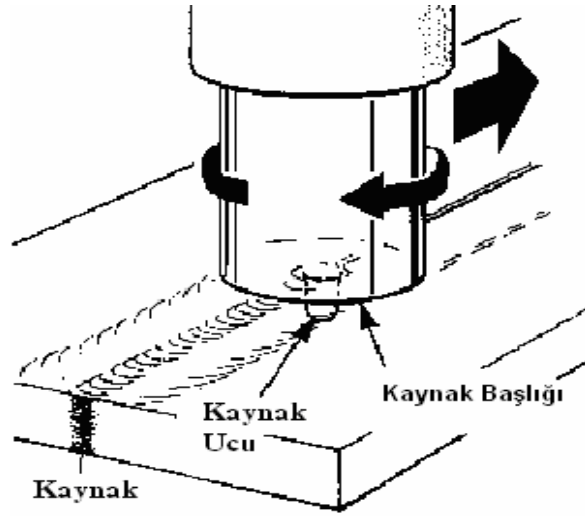
Şekil 2.9. Fe-Cr denge diyagramı

2.3.SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI

2.3.1. Tanım

Sürtünme Karıştırma Kaynağı (FSW) çıkıntı bir uca bağlanmış silindirik bir parçanın döndürülmesi ve yavaşça birleştirilecek olan yassı parça veya sacın birleşme noktasının içine daldırılması işlemidir. Kaynak edilecek parçalar bir mengene yada tutucu yardımıyla kaynak işlemi boyunca kaynak ekseninde herhangi bir sapma olmaması için sıkıca tutturulur. Sürtünme sıcaklığı kaynak başlığı ve kaynak edilecek parçaların arasındaki sürtünme direncinden meydana gelir. Bu sıcaklık kaynak bölgesinin ergime sıcaklığına ulaşmadan yumuşamasını sağlar ve kaynak başlığının kaynak bölgesinde rahatça ilerlemesini olanaklı kılar. Plastikleşmiş malzeme kaynak başlığının ucundan başlığın dağıtıcısına doğru yönlendirilir ve kaynak malzemesi birleştirilir. Bu işlem ayrıca kaynak başlığı ucunun açtığı deliğin daha sonra doldurulmasından dolayı katı hal anahtar deliği kaynağı olarak bilinir (Spoward ve arkadaşları, 2003)

2.3.2. Kaynak Mekanizması



Şekil 2.10. Sürtünme karıştırma kaynağı kaynak mekanizması

Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak mekanizması şekil 2.10’da görüldüğü gibi dönel eksenli bir makineye bağlanan kaynak başlığı ‘probe’ nın birleştirilecek yüzeylerin arasına kaynak ucu vasıtasıyla ısıtılıp plastik şekil değiştirmeye zorlayarak kaynağın yapılmasıdır. Burada öncelikle kaynak ucu birleştirilecek parçalar arasına girer ve başlıktaki omuz vasıtasıyla kaynak edilecek malzemeleri ısıtmaya başlar, oluşan sıcaklık ile kaynak malzemelerinin dayanımı düşürülür ve daha

rahat şekil değiştirmesi sağlanır bu arada kaynak ucu da parçalar içerisinde karışımı sağlayarak kaynağın yapılmasını olanaklı kılar. Sürtünme karıştırma kaynağı üç aşamada gerçekleşir. Bunlar;

- 1) İşlem öncesinde kaynak edilecek malzemelerin birleştirilecek yüzeylerinin birbirine uygun olması gereklidir. Yüzeyler arasında herhangi bir boşluk olmamalıdır.
- 2) Yüzeylerin düzgünlüğü sağlandıktan sonra kaynak parçalarının kaynak esnasında kaynak yönünün değişmemesi için parçaların çok iyi bağlanması gereklidir.
- 3) Parçalar makineye sabitlendikten sonra kaynak ucu kaynak bölgesine doğru daldırılması. Fakat kaynak ucu hemen parçaların içine doğru daldırılırsa kaynak ucu çok zorlanabilir hatta kırılabilir. Bunun olmaması için parçalara ilk temas esnasında sürtünme enerjisinden faydalanarak parçaların ısınıp yumuşamalarını sağlamak için öncü bir punta deliği açılmalıdır. Bu aşamadan sonra kaynak diski ana metale değdikten sonra parçaların birbirlerine kaynak edilmesi için gerekli olan sürtünme-ısı enerjisini sağlar. Belirli bir dönme ve ilerleme oranı ile parçalar kaynak doğrultusunda kaynak edilirler (Benavides ve arkadaşları, 1999)

2.3.3. Etki Eden Parametreler

Sürtünme karıştırma kaynağında etki eden parametreler aşağıda verilmiştir (Misraa ve Maba, 2005)

- Kaynak başlığının kendi ekseninde etrafında dönme ve ilerleme hızı
- Kaynak başlığının yapısı (uç açısı, kaynak diskinin şekli, kaynak başlığı malzemesi)
- Kaynak başlığı ile kaynak malzemeleri arasındaki baskı kuvveti
- Kaynak edilecek malzemelerin özellikleri (sertlik, ergime sıcaklığı, mekanik özellikler)
- Kaynak açısı
- Kaynak makinesinin özellikleri
- Kaynak edilecek malzemelerin yüzey şekilleri ve kaynak edilecek bölgelerde boşluk olmaması.

2.3.4. Kaynak Öncesi Yapılan İşlemler

1. Kaynak edilecek parçalar kaynak yüzeyleri birbirlerine çok iyi temas edecek şekilde ve kuvvetli mengene ya da mengeneler yardımıyla kaynak makinesine bağlanmalıdır.
2. Parçalar yerleştirildikten sonra kaynak başlığı seçilir. Burada ana unsur kaynak edilecek malzemelerin mekanik özellikleri ve kaynak edilecek malzeme kalınlığıdır. Bu kıstaslara göre kaynak başlığı seçilir.

3. Kaynak öncesi en son işlem kaynak tezgâhının ayarlarının yapılmasıdır. İlerleme hızı, ilerleme doğrultusu, başlığın dönme hızı, başlığın parçaya uyguladığı baskı kuvveti gibi esaslar göz önüne alınarak son ayarlamalar yapılır.

2.3.5. Kaynak Esnasında Yapılması Gereken İşlemler

Kaynak başlığı kaynak edilecek malzemelerin içerisine daldırılır, fakat burada dikkat edilecek en önemli husus başlık ucunun dikkatli bir şekilde kaynak bölgesine girmesini sağlamaktır. Bu yüzden öncelikle başlık ucu sabit devirde kaynak bölgesine teması sağlanır. Artan baskı kuvveti ile meydana gelen sürtünme sıcaklığından dolayı kaynak metali yumuşamaya başlar ve başlık ucunun zarar görmeden kaynak metalinin içine girmesi sağlanır. Ayrıca bu işlemle kaynak bölgesi ısıtılır.

Diğer bir yöntemde punta deliği açmaktır. Kaynak edilecek malzemenin ergime derecesi kaynak başlığının mekanik özelliklerini bozacak seviyede ise punta deliğinin açılması tercih edilir. Böylece kaynak başlangıç bölgesi başlık omuzu ile ısıtılır ve başlık ucunun şekli bozulmadan kaynak yapılır. Bundan farklı olarak da sert malzemelerin kaynağında punta deliği açmaya gerek kalmadan başlık ucunun dizaynında yapılacak değişikliklerdir. Örneğin başlık ucuna delme matkabı gibi bir form verilirse yukarıda sayılan işlemlere gerek duyulmaz.

Başlık ucu kaynak metaline girdikten sonra başlık omzunun kaynak parçasına teması sağlanır. Parçalar kısa bir süre sürtünme sıcaklığından ötürü ısıdıktan sonra önceden belirlenen sabit devir ve hızda parça ya da başlık kaynak doğrultusunda ilerletilir.

2.3.6. Kaynak Sonunda Yapılması Gereken İşlemler

Son kaynak bölgesine gelen başlık önce ilerleme durdurularak kaynak esnasındaki sabit dönme hızı ile başlığın kaynak metaline yapışmasını engellemek için kaynak bölgesinden çıkartılır.

2.3.7. Sürtünme Karıştırma Kaynağı İşlemin Avantajları

İşlem avantajları bütün sürtünme kaynağı yöntemlerinde olduğu gibi kaynak edilecek malzemelerin ergime sıcaklığı altında birleştirilmesidir. Bu yüzden difüzyon kaynağı zor olan malzemelerin bu yöntemle birleştirilmesi daha kolaydır. 2000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımları buna örnektir. Sürtünme karıştırma kaynağı mevcut makine ve elde olan kolaylıkla ulaşılabilir makinelerle yapılabilir. İşlem ayrıca otomasyona uygundur ve robotlara adapte edilebilir. İşlemin genel avantajları: (Uzun, 2002)

- Uzun kaynak boyunda bile düşük distorsiyon
- Mükemmel mekanik özellikler
- Dumansız kaynak
- Gözeneksiz kaynak

- Sıçramasız kaynak
- Malzeme kaybı olamadan kaynak
- Bütün pozisyonlarda çalışabilirlik
- Enerji tasarrufu
- Tükenmeyen kaynak başlığı.
- 6000 serisi alüminyum alaşımları için genel olarak bir kaynak başlığı ile 1000 metreye kadar kaynak uzunluğu.
- Mig- Mag kaynağındaki gibi uzayan tel kullanılmaması.
- Alüminyumun kaynağı için koruyucu gaz kullanılmaması.
- Hiçbir kaynakçı sertifikasının gerekmemesi.
- Çok zor kaynak uygulamalarında tolerans verilmesi-ince oksit tabakasının göz ardı edilmesi gibi.
- Kırma, temizleme ya da asitle parçanın yüzeyinin dağlanmaması.
- Uygun maliyet: Kaynak operasyonu, enerji tasarrufu sağlayan basit bir işlemdir.
- Yüksek kaynak enerjisine sahiptir. 3 KW'lık toplam güçle 6XXX alaşımında 12,5 mm derinliğinde kaynak yapılabilir.
- Kaynak işlemi; dolgu telleri ve gazdan korunan kaynak banyosu gerektirmez.
- Özel profilden bağlantı kenarları önemsizdir.
- İdeal olarak teknik otomasyona uygundur.
- Bütün pozisyonlara uygundur.
- Al alaşımları durumunda, çatlatmaya duyarlılıklarından dolayı ergitme kaynağı yapılamayan alaşımlar kaynak yapılabilir.
- Gözenek oluşmaz.
- Farklı yapıdaki malzemelerin kaynağını mümkün kılar.
- Normalde pratikte mümkün olmayan veya çıkarma veya dökümde maliyeti arttıran uzun, geniş, haç şeklinde, kutu şeklinde ve üretimden geldiği şekildeki gibi birçok bileşimin kaynağı mümkündür.
- Hassas kaynak ağzı hazırlığına gerek yoktur.
- Ağızlarda ergime oluşmaz dolayısı ile ITAB hemen hemen yoktur.
- Koruyucu gaz ve ek metale gerek yoktur.
- Sıçrama olmaksızın düz yüzey elde edilebilir.
- Kaynak, ark olmaksızın yapıldığı için manyetik üfleme yoktur.
- Verimi yüksektir.
- Çok az bakım ister.
- Kaynaktan hemen sonra oksit tabakasının kaldırılmasına gerek yoktur.

- Ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirmede çatlama hassasiyeti yüksek olan alaşımlara rahatlıkla uygulanabilir.
- Yüksek bağlantı mukavemetleri ısıtıl işlem yapılarak elde edilir.
- Katı-faz kaynağı oluşumu alaşımın metalürjik özelliklerini saklamasına olanak tanır.
- Farklı koşullarda metaller birleştirilebilir.
- Ekstrüzyon ürünü veya döküm olan çoğu parçalar bu yöntemle birleştirilebilir.

2.3.8. Dezavantajları

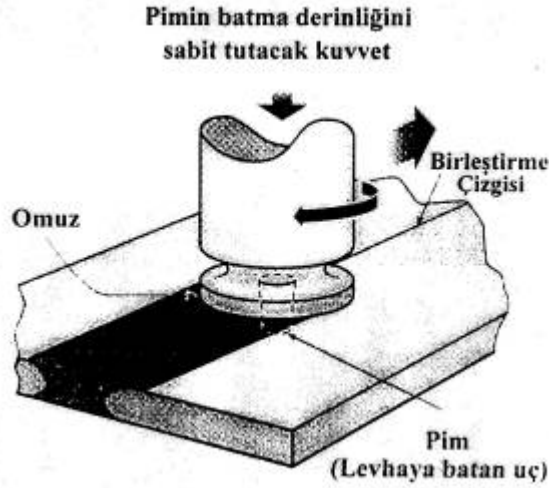
Sürtünme karıştırma kaynağındaki bazı sınırlamalar da yoğun araştırma ve geliştirme ile azalmaktadır. Bununla birlikte Sürtünme karıştırma kaynağı işlemlerinde çeşitli engellerde mevcuttur.

- Kaynak hızı çeşitli ergitme kaynak yöntemlerine göre daha yavaştır.
- Kaynak edilecek parçalar düzgün yerleştirilmelidir.
- Her kaynak işlemi sonunda anahtar deliği şeklinde çukurun meydana gelmesi
- Bazı alaşımlı saclarda tek pasolu kaynak hızı, diğer mekanikleşmiş ark kaynağı tekniğinden daha yavaştır.
- Levhanın bir ucundan diğerine kaynak isteniyor ise, ileri geri hareket eden tablalara gereksinim vardır.
- İş parçaları tablaya bağlandığından dolayı ekipmanların taşınması zordur.
- %100 nüfuziyet isteniyorsa parçalar ters çevrilip arka tarafından da kaynak yapılmalıdır.
- Kaynak öncesi yüzey hazırlama kritik olup, bu hususta özen gösterilmesi gerekmektedir

2.3.9. Yöntemin Uygulanması

Sürtünen eleman ile kaynak yöntemi, sürtünme kaynağından türetilmiştir. Kaynak edilen parçalar ergimezler bu yüzden yöntem katı faz kaynağı olarak adlandırılır. Bu kaynak yöntemi alın altına sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen omuzlu bir pimin (probe) daldırılarak kaynak yapılmak istenen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesinden ibarettir (www.twi.co.uk)

Kaynak edilecek parçalar öncelikle sabit bir yüzey üzerine yerleştirilir. Yöntemin uygulama aşaması iki farklı şekilde olabilir (**Şekil 2.11**). Parçaların hareketi söz konusu olabileceği gibi, takımın dönme ve ilerleme hareketi de mümkün olmaktadır. Pim, malzemelere temas ettiğinde sürtünme kaynağındaki duruma benzer bir durum oluşarak temas noktasında ısı, sürtünmenin de etkisiyle hızla artar ve malzemelerin plastik değişimine neden olur. Bu değişim malzemelerin akışını sağlar ve birleşme olayı gerçekleşir (Quyang,1999)

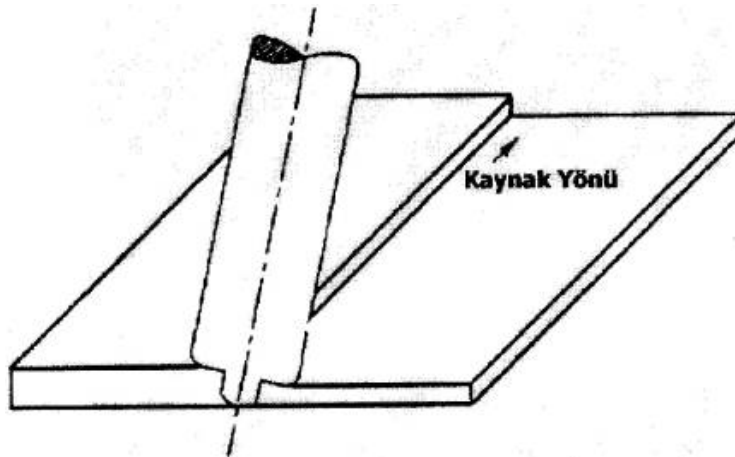


Şekil 2.11. Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynak Yönteminin Prensibi.

Sürtünen eleman ile kaynak yönteminde pahalı ekipmana, ilave tel kullanımına, koruyucu gaza ihtiyaç duyulmaması, temiz ve çevreci bir kaynak yöntemi olması yöntemin uygulama alanını genişletmektedir. İşlem radyasyon, toksik gazlar gibi olumsuz sonuçlar yaratmamaktadır (www.twi.co.uk).

2.3.10. Malzeme Kalınlıkları Ve Kaynak Hızı

Yapılan çalışmalar özellikle 2219, 2014, 6083, 6082, 7075 gibi alüminyum alaşımlarında sürtünen eleman ile kaynak yönteminin başarıyla uygulandığını ortaya koymaktadır. Kaynak için kullanılan profillerin kalınlıkları 1,2 mm den 50 mm 'ye kadar çıkabilmekte ve tek paso ile sürekli kaynak bağlantısı elde etmek mümkün olmaktadır. Farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirme işlemi pimin eğik konumda levhalara daldırılması ile yapılmaktadır (Şekil 2.12) (Amirizad ve arkadaşları, 2006)

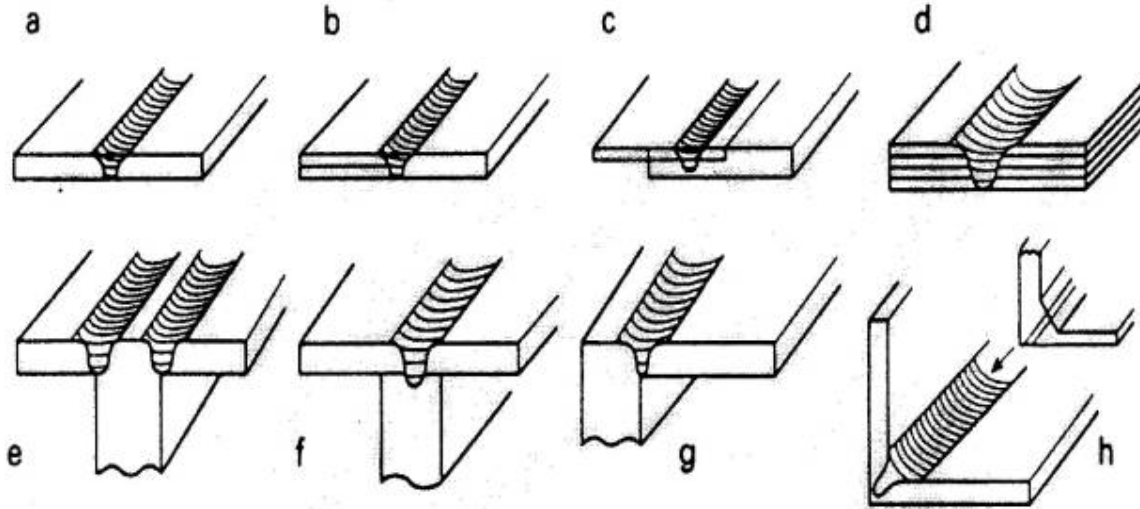


Şekil 2. 12. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminde Batıcı Pimin Eğik Konumda Daldırılması ile Farklı Kalınlıklardaki Levhaların Birleştirilmesi

2.3.11. Birleştirme Türleri

Sürtünen eleman ile birleştirme kaynağında uygulanabilir birleştirme türleri; küt alın, bindirme, T-köşe, dış ve iç köşe, boyuna ve çevresel birleştirmelerdir. Ayrıca bu yöntem yerçekiminin etkisi olmadığından tüm pozisyonlarda rahatlıkla uygulanabilir (Şekil 2.13).

Birleştirme karakteristiklerini belirleyen üç faktör vardır. Bunlar sırasıyla pimin devir hızı, pimin ilerleme hızı ve pimin batma derinliğidir. Bunlardan ilk ikisi rahatlıkla kontrol edilebilir. Fakat pimin batma derinliği kritik bir faktör olup kontrol edilmesi güçtür. Batma derinliğinin kaynak işlemi süresince sabit kalması gerekmektedir. Fakat özellikle uzun levhaların birleştirme işlemlerinde yüzeylerin çok düzgün olmaması durumunda bunu sağlamak mümkün olmayabilir. Bu yüzden kaynak öncesi yüzey hazırlama oldukça kritik olup, bu hususta özen gösterilmesi gerekmektedir (Sato ve arkadaşları, 2002)



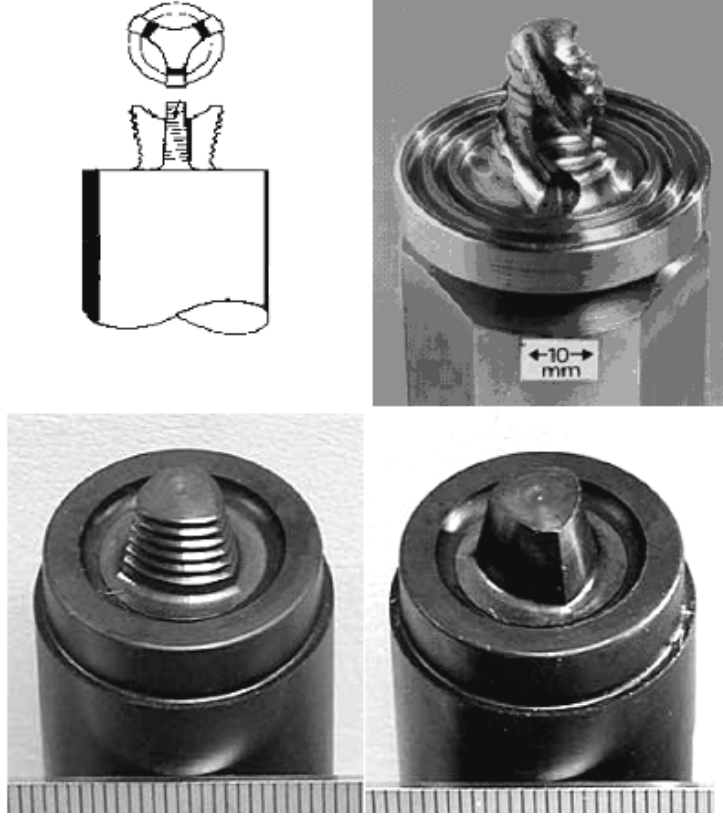
Şekil 2.13. Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirme Kaynağı Uygulanarak Gerçekleştirilen Birleştirmeler. a) Küt alın Birleştirme b) Birleştirilmiş Ek ve Bindirme Birleştirme c) Bindirme d) Çoklu bindirme e) İki pasolu T- köşe birleştirme f) Tek pasolu T- köşe birleştirme g) Dış köşe birleştirme h) İç köşe birleştirme

2.3.12. Kaynak Başlıkları

Kaynak ucu teknolojisi sürtünme karıştırma kaynağı işleminin en önemli unsurudur. Sürtünme karıştırma kaynağı kaynak ucu tasarım şirketlerinden biri olan MX triflute şirketinin geliştirdiği bir uç şekilde görülmektedir. Çeşitli uç şekilleriyle eski işlemlere göre daha fazla verim ve daha iyi bir kaynak kalitesi elde edilmiştir (www.twi.co.uk)

Sürtüne karıştırma kaynağında kullanılan kaynak başlıkları kaynak uzunluğu, kaynak genişliği ve kaynak yapılacak malzemeye göre belirlenir. Başlık malzemesi ve şekli uç yapısı yapılacak uygulamaya göre seçilir. Kaynak başlığının dizaynı önemli bir unsurdur. Bunun için kaynak başlığı dizayn edilirken başlık ucunun kaynak metali içinde kapladığı hacmin kaynak diskinin içindeki hacme eşit olması gerekir. Sürtünme karıştırma kaynağındaki bazı kaynak başlıkları aşağıdaki gibidir. Ayrıca

kaynak edilecek malzemelerin cinsine görede kaynak başlığı imal edilebilir. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan bazı kaynak başlıkları **Şekil 2.14'** de gösterilmiştir.



Şekil2.14. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan çeşitli kaynak başlıkları.

Sürtünme karıştırma kaynağındaki önceki gelişmelere bağlı olarak, kaynak başlığının şeklinin kaynağın yapılmasında iyi mekanik özelliklerin sağlanması ve iyi bir yüzey şekli için önemli olduğu anlaşıldı. Genel olarak, kaynak ucu şekilde gösterildiği gibi parça içine giren uç ve bu ucu tutan geniş yüzeyli silindirik bir yapıya sahiptir. Destek tutucu yüzeyi ve kaynak bölgesi arasında baskı kuvveti oluşturur ve kaynak bölgesini plastikleştirir. Isı iş parçası ve kaynak ucu arasında olan sürtünmeden oluşur ve ince malzemelerin kaynak edildiğinde bu mekanizma ısının temel kaynağıdır. (www.twi.co.uk)

İş parçasının kalınlığı arttığı zaman, iş parçası ve kaynak ucu arasında daha fazla sürtünme olmalıdır. Ayrıca kaynak ucunun asıl görevi kaynak doğrultusunda etkin olarak çalışması ve iyi bir kaynak için malzemenin akışını kontrol etmelidir. Uç genellikle düzgün ve birbirine tam olarak temas eden yüzeyler arasında kullanılır.

2.3.13. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Başlığının Dizaynında Dikkat Edilecek Hususlar

2.3.13.1. Birleştirilecek Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Kaynak işlemindeki temel unsurdur. Yani birleştirilecek malzemenin akma dayanımı ve hangi sıcaklığa kadar mekanik özelliklerini koruyacağı önemli bir unsurdur. Malzemelerin akma dayanımı ne kadar küçük olursa kaynak o kadar düzgün ve iyi neticeyle sonuçlanır. Artan sıcaklıkla malzemenin mekanik özelliklerinin de düşüş gösterdiği göz önüne alınırsa kaynak sıcaklığı ne kadar yüksek olursa kaynak işlemi o kadar sağlıklı olur. Sürtünme karıştırma kaynağında bir diğer önemli faktörde birleştirilecek malzemelerin kalınlıklarıdır. Eğer malzemenin kaynak edilecek kesitin uzunluğu kaynak başlığının ucundan daha uzun olursa, birleşme olmaz. Bu nedenle kaynak edilecek malzemelerin kalınlıkları ve mekanik özellikleri kaynak başlığının tasarımını etkiler. Kaynak başlığı kaynak metaline göre daha sert yüksek sıcaklıklarda daha kararlı ve mekanik özellikleri bakımından daha dayanıklı olmalıdır.

2.3.13.2. Kaynak Başlığı Malzemesi

Sürtünme karıştırma kaynağı için kilit nokta olarak bilinir. Çünkü kaynak başlığının dayanımı ve yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerini kaybetmemesi çok önemlidir bunun için kaynak başlığı malzemesi yüksek sıcaklıklarda çalışan paslanmaz çelik vb. malzemelerin kaynağında kullanılan başlıklar için döküm, haddeleme ve ekstrüzyon yoluyla elde edilmiş bir malzeme olmamalıdır. Burada kilit nokta kaynak başlığı malzemesinin yüksek sıcaklıklarda mukavim olmasıdır. Bunun için toz metalürjisi teknikleriyle üretilmiş hatta kobalt esaslı olmayan malzemeler seçilmelidir. Çünkü kobaltın 850 C⁰ de çözünmeye başlaması kaynak yapılmasını olanaksız kılar.

2.3.13.3. Kaynak Başlığının Birleştirilecek Malzemeler İçerisine Girmesi

Kaynağın yapılabilmesi için kaynak başlığının birleştirilecek malzemelerin içine girmesi şarttır. Bu iki aşamada olan bir olaydır. Bunlardan ilki, başlık ucunun dizaynına bağlı olarak, tepe noktası ile birleştirilecek malzemelerin yüzeyinde oluşacak sürtünme sıcaklığı ile malzemelerin mekanik özelliklerinde (özellikle akma gerilmesi) azalma meydana getirerek kaynak başlığının malzeme içerisine girmesi ve kaynak başlığındaki omuz ile kaynak sıcaklığının muhafaza edilmesidir. İkincisi ile sert malzemeler için, kaynak başlığı ucunun şeklidir. Yani başlık ucunun delerek malzeme içerisine girmesidir. Bunun içinde başlık tasarımında yapılması gereken kaynak başlığı ucuna delici matkap şekli vermektir. Kaynak başlığına delici şekil verildiğinde önce başlık birleştirilecek malzemeleri delerek içeriye girecek ve tutucu disk teması sonucu oluşacak sürtünme ile malzemeleri ısıtacak ve kaynak işlemi başlayacaktır.

2.3.13.4. Karışmanın Sağlanması

Sürtünme karıştırma kaynağında karışmanın sağlanması için kaynak başlıklarının dizaynı sağlam kaynak ve düzgün yüzey açısından çok önemlidir. Burada esas kıstas, malzeme içine giren kaynak başlığı omzunun içinde çok küçükte olsa bir oyuk olması zorunluluğudur. Bunu biraz açarsak, kaynak sırasında başlık ucunun malzeme içerisine dalmasıyla kaynak metalinde ısı genleşmeden dolayı hacimsel bir büyüme meydana gelecektir. Bu durumda eğer omuz düz olursa ısı etkenden dolayı hacimsel olarak genişleyen malzeme omuzu zorlayacak ve omuzun dış kısımlarında çatlaklara neden olacaktır. Buna ek olarak kaynak yüzeyinde de tam bir sıvama meydana gelmeyeceği için boşluklu bir yüzey meydana gelecektir.

Sonuç olarak kaynak başlığı dizaynı temel olarak birleştirilecek malzemelerin mekanik özelliğine, sürtünme karıştırma kaynağının temel amacı olan karıştırma hareketinin nasıl olacağına ve kaynak başlığını birleştirilecek malzemelerin içerisine nasıl gireceğine bağlıdır.

2.3.14. Kaynak Güvenilirliği

Sürtünen eleman ile kaynak yönteminde en önemli konu, yüksek kaynak kalitesi ve güvenilirliğidir. Kaynak operasyonu hassastır ve oluşacak hatalar mekanik olarak saptanabildiği için daha duyarlıdır. Bu bağlamda, kaynak parametrelerinin seçimi çok önemli olmaktadır. Kaynak parametreleri; kaynak dikiş kalitesine, birleştirilecek malzemenin türüne, parça boyutlarına, çevresel mil hızına ve kaynak başlığının yaptığı baskı kuvvetine bağlıdır. Bunun yanında ortam şartları da kaynağa etki eden bir faktördür.

2.3.15. Yöntemin Uygulama Alanları

2.3.15.1. Gemi İnşasında ve Deniz Endüstrisinde Uygulamalar

Ticari uygulamalar için yönteme adapte olan ilk endüstriyel sektörlerden ikisi gemi inşaatı ve deniz endüstrisidir. Bu yöntem aşağıdaki uygulamalar için uygundur. Güverte, kenar, bölme ve döşeme panelleri (www.twi.co.uk)

- Alüminyum konstrüksiyonları
- Tekne elemanları
- Helikopter platformu
- İç kısımdaki yetecek yatacak yerler
- Deniz üssü yapılar
- Gemi direkleri
- Soğuk hava tesisleri

2.3.15.2. Havacılık Endüstrisi

- Kanatlar, uçaklar gövdeleri, kuyruk takımı
- Taşıtlar için yakıt tanklarını soğutma ünitesi
- Uçuş yakıt tankları
- Askeri uçaklar için dıştaki atım tankları
- Askeri ve araştırma roketleri
- Hatalı MIG kaynaklarının tamiri

2.3.15.3. Demiryolu Endüstrisi

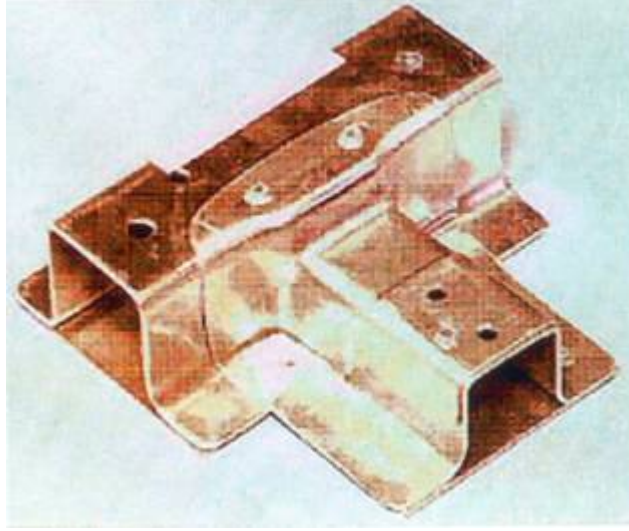
- Yüksek hızlı trenler
- Tren yolunun mevcut yokuşlu yerleri, pis altyapı, tramvaylar
- Demiryolu tankerleri ve vagonlar
- Konteynır grupları



Şekil2.15. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi Kullanılarak Üretilmiş Tekerlek Jant Örneği

2.3.15.4. Otomotiv Endüstrisinde

Otomotiv sektöründe alüminyum kullanımının hızla artması yakıt ve ağırlık tasarrufunda daha etkili araçların üretilmesine yol açmıştır. Süspansiyon kolları gibi küçük çaptaki parçalar bu yöntem ile Japonya ‘da üretilmektedir. Bunun yanı sıra Norveç’ te tekerlek jantlarının bu yöntem kullanılarak yapımı da gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.13. ‘de bunun bir uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.16. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Üretilmiş Bağlantı Parçası Örneği

Yöntem, ayrıca alüminyum esaslı arabalarda iç kapı panellerinin yapımında da uygulanmıştır. Amerika’da Smith Corporation sürtünen eleman ile kaynak yöntemini kullanarak ilk prototip motor tezgahlarını geliştirmiştir. Yine aynı yıllarda Amerika’da Tower Automotive, Simulform olarak adlandırılan şasi parçalarının bağlantısı için bağlantı elemanları ve özel gövde yapıları üretmiştir.

2.3.15.5. Diğer uygulama türleri ise şunlardır:

- Motor ve şasi kızakları
- Hidroform olan tüplerin bağlanan parçaları
- Kamyon gövdesi
- Mobil vinçler
- Zırhlı taşıtlar
- Yakıt tankları
- Karavanlar
- Otobüs ve hava taşımacılığı taşıtları
- Motosiklet ve bisiklet yapıları
- Asansörler
- Alüminyum arabaların tamiri
- Magnezyum ve magnezyum/alüminyum eklemleri

2.3.15.6. İnşaat Endüstrisi

- Alüminyum köprüler
- Alüminyum, kurşun veya titanyumdan yapılmış ön cephe panelleri
- Cam çerçeveleri
- Alüminyum nakil boruları
- Güç fabrikaları kimya endüstrisi için alüminyum reaktörler
- Sıcaklık değişimleri ve hava şartlandırıcıları
- Boru üretimi

2.3.15.7. Elektrik Endüstrisi

- Elektrik motorları
- Motor dağıtma çubukları
- Elektrik kondüktörleri

2.3.15.8. Diğer Endüstri Sektörleri

- Buzdolabı panelleri
- Pişirme ekipmanları ve mutfaklar
- Beyaz eşyalar
- Gaz tankları ve gaz merdivenleri

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Giriş

Bu çalışmada, martenzit içeren ferritik paslanmaz çelik plakaları sürtünme karıştırma kaynağı kullanılarak, 350 dev/dak , 450 dev/dak, ve, 550 dev/dak dönme hızında 50 mm/dak ilerleme hızı kullanılarak birleştirilmiştir.

Birleştirilen numuneler, bağlantı bölgesi mikro yapısını incelemek amacı ile metalografik muayeneye tabi tutulmuştur. Bu amaçla, optik mikroskopi SEM ve X-RAY incelemeleri yapılmıştır. Birleşme bölgesinde oluşan fazlar EDS analizi ile belirlenmiştir. Birleştirilen numunelerin bağlantı mukavemetlerini belirlemek amacı ile çekme deneyi yapılmıştır. Ayrıca kopma yüzeyleri de incelenmiştir.

Çalışmanın amacı, paslanmaz çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılmasıdır.

3.2. Kaynak Edilen Malzeme

Kaynak edilen malzeme martenzit içeren ferritik tip bir paslanmaz çeliktir. Malzemenin kimyasal bileşimi **Tablo 3.1.**'de verilmiştir. Ayrıca bu malzemenin çekme dayanımı 450–600 Nt/mm² ve sertliği 185 ≤HRCdir (Wegst, 1998). Yüksek sıcaklıklara ve korozyona karşı dirençli olduğundan petrol endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Malzeme indüksiyon ocağında eritme sonrasında 10mm kalınlığında plakalar halinde döküm yöntemi ile üretilmiştir. Döküm sonrası malzemeler 100x240x9 boyutunda plakalar haline getirildi.

Tablo 3.1 Birleştirilen malzemenin spektral analizi

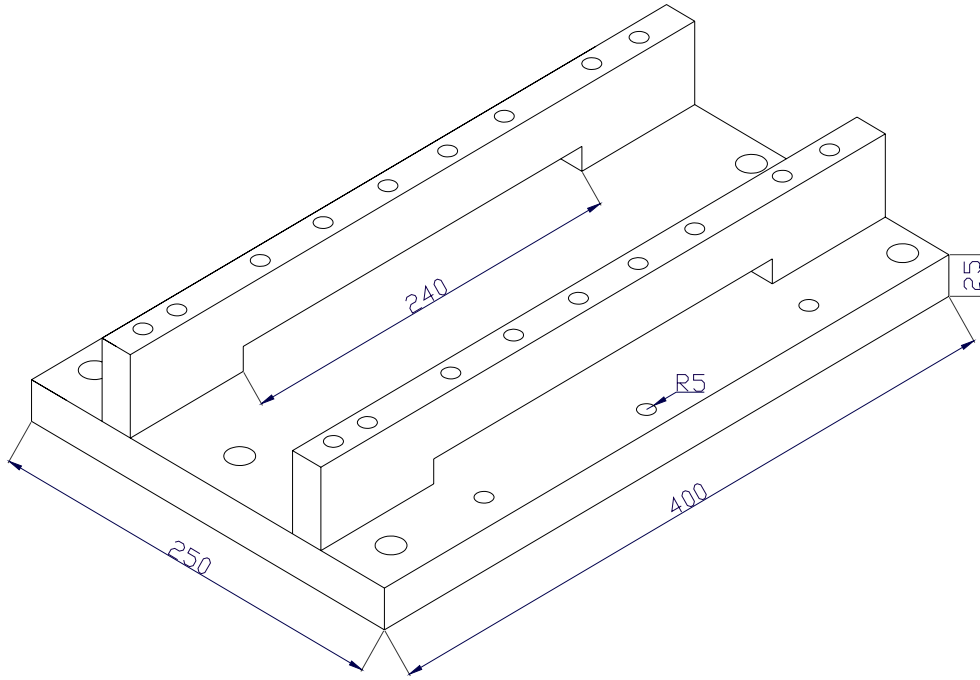
%C	%C r	%M n	%S i	%P	%S	%M o	%Ni	%Al	%C u	%Ti	%V	%F e
0,0705	16,79	0,207	0,490	0,176	0,162	0,048	0,302	<0	<0	0,004	0,02	82,03

3.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

3.3.1. Kaynakta Kullanılan Elemanlar

Kaynak işlemi için Taksan tarafından üretilmiş üniversal başlıklı 10 Kw gücündeki tezgâh kullanıldı. Freze tezgâhı yarı otomatik X, Y, Z koordinatlarında minimum 28 maksimum 1400 dev/dak dönme hızı ve minimum 20 maksimum 600 mm/dak ilerleme hızında çalışabilmektedir.

Kaynak işlemi esnasında malzemeleri sabit bir şekilde tutabilmek için özel imal edilmiş olup her iki yüzeyin birbirine tam paralel olması ve tezgâha tam oturması için satıh yüzey taşlama makinesinde taşlanmıştır. Maksimum 24x12x1,5 cm ölçülerinde lama şekilli parçaların sabit bir şekilde bağlanmasını olanaklı kılar. **Şekil 3.1** de tutucu mengenenin şematik resmi görülmektedir.



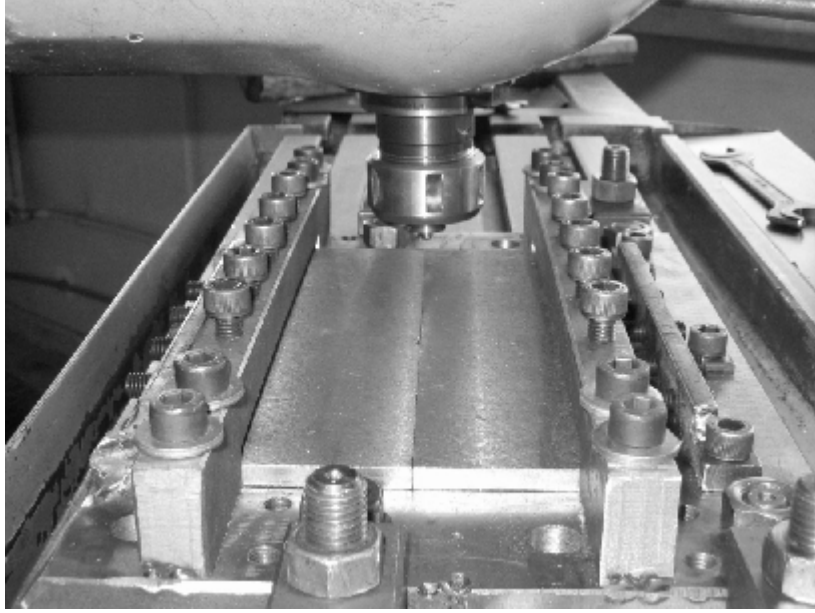
Şekil 3.1 Özel tutucu mengene.

Kaynak işleminde sürtünme ve karıştırma işlemi yapan kaynak başlığı **Şekil 3.2** deki gibi tasarlanmıştır. Kaynak başlığı tasarımında dikkate alınan en önemli husus karışımı sağlayacak yapıda olması ve ilerleme esnasında malzeme akışını sağlamasıdır. Bunun için kaynak başlığı ucundaki belli kilit noktalara açılar verilerek malzeme akışının daha rahat olması sağlanmıştır.

3.3.2. Kaynak İşlemi

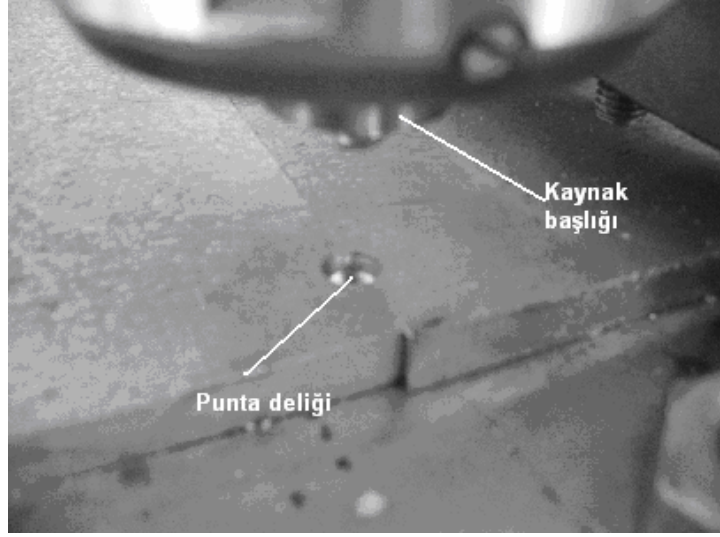
3.3.2.1. Kaynağın Yapılışı

Öncelikle kaynak edilecek parçalar 24x9x0,9 cm boyutlarına gelene kadar freze tezgâhında işlendi. Burada amaç parçalar döküm yoluyla üretildiği için temiz yüzeyi bulmak ve parçaların kaynak mengenesine sığmasını sağlamaktır. Daha sonra özel imal edilmiş tutucu mengene yardımıyla parçalar 26 noktadan freze tezgâhına bağlandı. **Şekil 3.4.**



Şekil 3.4.Kaynak edilecek malzemelerin freze tezgâhına bağlanması.

Parçanın düzgünlüğü, mengenenin freze tezgâhına olan paralelliği, kaynak başlığının kaynak hattı boyunca düzgün ilerleyip ilerlemediği kontrol edildikten sonra kaynağın başlangıç noktası olan bölgeye kaynak başlığı ucunun zorlanmaması ve sürtünme sıcaklığının daha rahat elde edilmesi için punta deliği açıldı. **Şekil 3.5.**



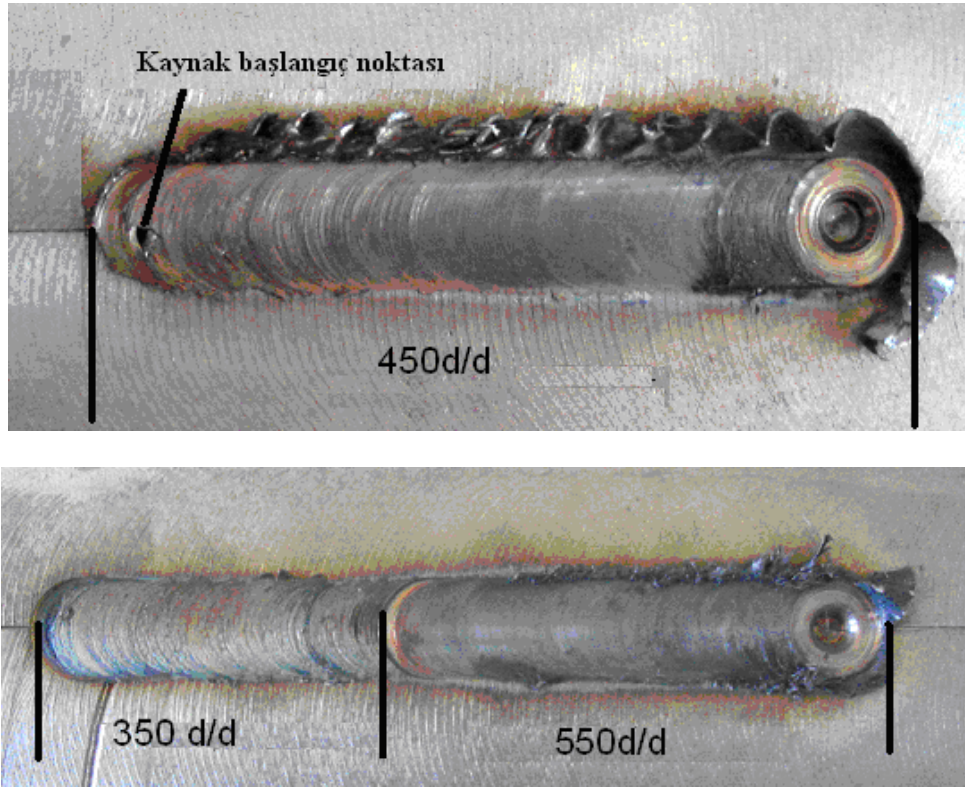
Şekil 3.5. Punta deliği açılan parçalar.

Tezgâh Daha sonra 450 dev/dak da çalıştırıldı parçalara başlık omuzu değene kadar tezgâh tablası yukarıya kaldırıldı. Sürtünme sıcaklığı oluşana kadar beklendi. **Şekil 3.6.** Daha sonra otomatik olarak 450 dev/dak dönme hızı 50 mm/dak ilerleme hızında kaynak başarıyla yapıldı.



Şekil 3.6. Sürtünme sıcaklığının oluşumu.

Kaynak edilen malzemeler **Şekil 3.7.** deki gibidir.



Şekil 3.7. Kaynak edilen malzemeler

3.4. Kaynak Sonrası Yapılan Muayeneler

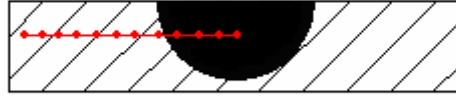
3.4.1. Optik Mikroskopi

Optik mikroskopi incelemeleri için kaynak işlemi öncesi ve sonrasında ana malzemenin ana yapısı ve kaynak bölgesini kapsayacak şekilde numuneler kesildi. Kesilen numune çeşitli tane iriliklerindeki su zımparalarıyla sırasıyla 360, 500, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh lik su zımparaları kullanılarak yüzeyleri parlatıldı. Daha sonra 3 mikronluk ve 1 mikronluk elmas pasta ile malzemelerin son parlatma işlemi yapıldı. Parlatma sonrasında parçalar 10 ml nitrik asit (HNO_3), 30 ml hidroklorik asit (HCl) ve 30 ml sudan oluşan dağlayıcı çözelti içine 40–45 saniye süreyle daldırılarak dağlandı böylece kaynak edilen bölgedeki fazların görülmesi sağlandı.

3.4.2. SEM, EDS ve EDX Analizi

SEM ve EDS analizi için Kırıkkale Üniversitesi fen edebiyat fakültesi fizik bölümünde Jeol-JJM 5600 marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Optik mikroskop için hazırlanan numuneler SEM analizi içinde kullanılmıştır. Kaynak edilen parçalardan çeşitli boyutlarda resimler ve mikro yapının farklılık gösterdiği yerlerde yine aynı makinenin bünyesinde bulunan EDS analizi ile Cr-Fe-C-Mn-Si oranları esas alınarak numunelerde farklılık görülen yerlerde EDS analizleri yapılmıştır. Ayrıca Malatya İnönü Üniversitesi bünyesinde bulunan Elektron mikroskobu ile de EDX analizi yapılmıştır.

3.4.3. Mikro Sertlik Ölçümü

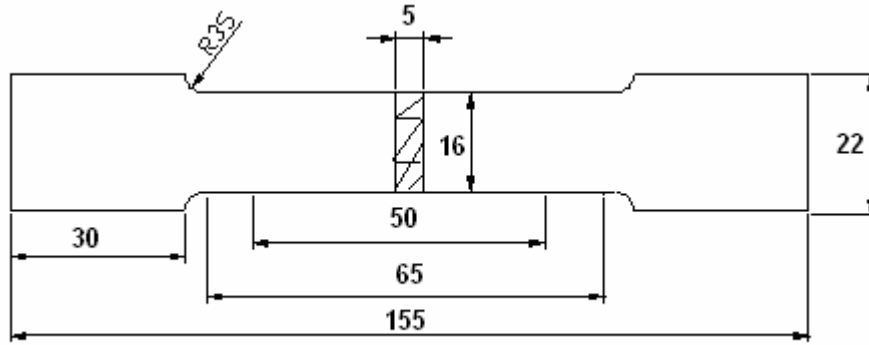


Şekil 3.8. Mikro sertlik ölçümü

Kaynak edilen parçaların yüzeyleri temizlenip dağlandıktan sonra Lecia mikro sertlik ölçme cihazında 50 gr yük ile ana metalden kaynak bölgesinin orta kısmına kadar 0,5 mm aralıklarla hazırlanan numunelerin mikro sertlikleri Vickers değeri cinsinden ölçülmüştür.

3.4.4. Çekme Deneyi

Çekme deneyi için boyu 155 mm olan parçalar TS 138 EN 100002-1 nolu standardına uygun freze tezgâhında işlenerek hazırlandı. **Şekli 3.9.** de şematik ölçüleri verilen numuneler instron marka çekme makinesi kullanılarak 0,5mm/sn lik çekme hızı kullanılarak teste tabi tutulmuştur.



Şekil 3.9. Freze tezgâhında hazırlanan çekme deneyi numunesi ölçüleri.

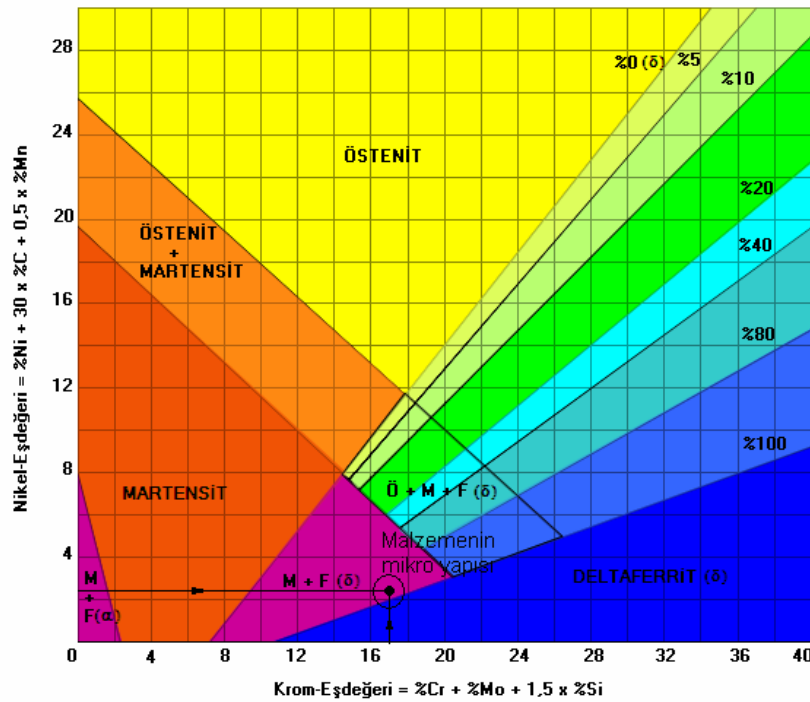
4. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1. Giriş

Çalışmanın bu kısmında, deneysel çalışma sonuçları verilmiş ve literatür ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları kaynaklı bölgenin makro incelemesi, mikroyapı incelemesi, optik mikroskopi SEM, EDS analizleri, mikro sertlik ölçümleri, çekme testi ve metalografik incelemelerine ait olarak verilmiştir.

4.2. Kullanılan Malzemenin Mikro Yapısı

Kullanılan malzemenin mikroyapısı hakkında tam bir fikir sahibi olmak için Schaeffler diyagramı kullanılmıştır. Diyagrama göre oluşan yapıları belirlemek için Nikel ve krom eşdeğerleri hesaplanmıştır.

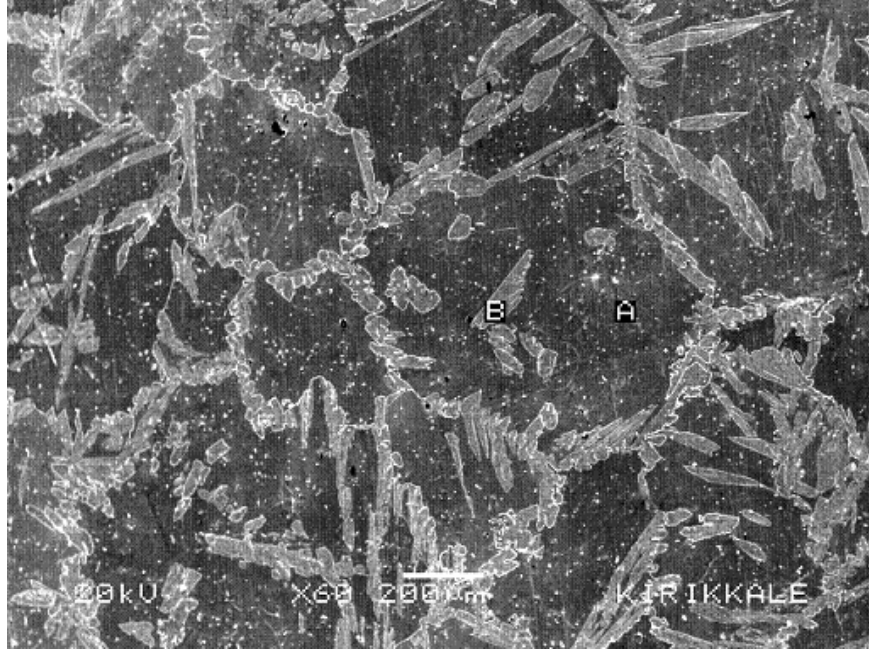


Şekil 4.1. Kullanılan malzemenin fazlarını gösteren Schaeffler diyagramı.

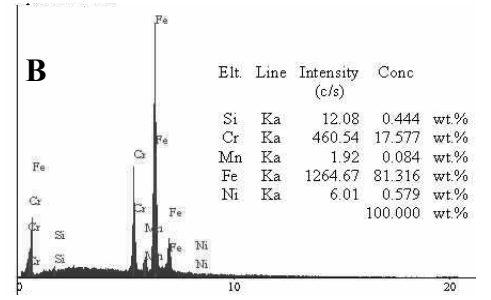
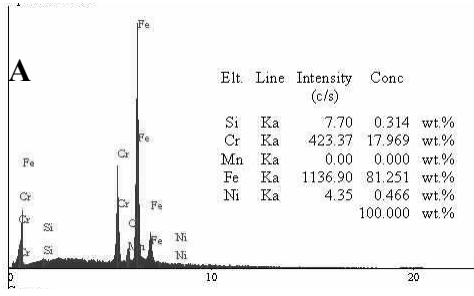
$$Ni \text{ eş} = \% Ni + 30 C + 0.5 Mn = 0,302 + 30 \times 0,0705 + 0,5 \times 0,207 = 2,522$$

$$Cr \text{ eş} = \% Cr + \% Mo + 1.5 Si = 16,79 + 0,048 + 1,5 \times 0,490 = 17.54$$

Schaeffler diyagramına göre malzememiz yarı ferritik, yani martenzit içeren bir ferritik paslanmaz çeliktir (Şekil 4.1).



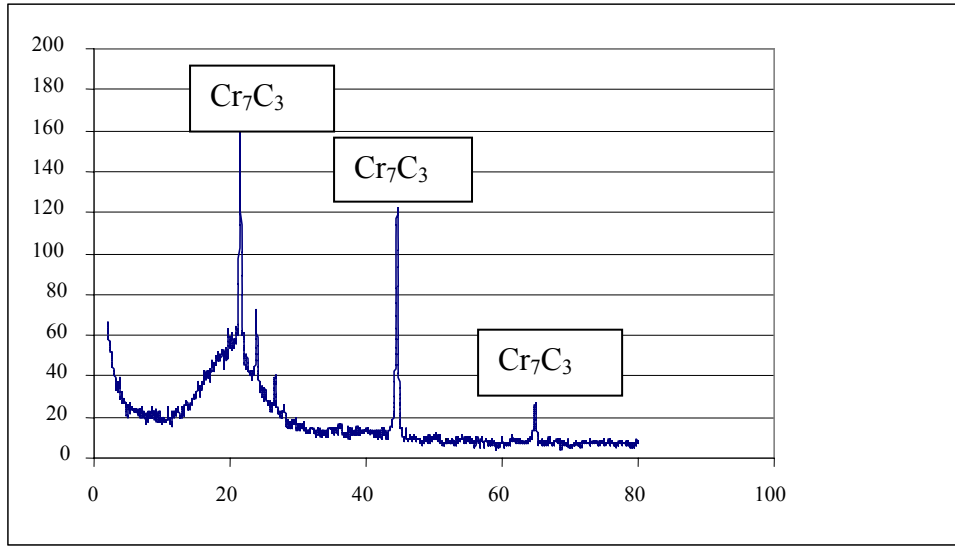
a



b

Şekil 4.2. Ana malzemenin a -SEM fotoğrafı ve b-EDS grafikleri A (Ferrit) , B (Martenzit).

Şekil 4.2.'de deneylerde kullanılan paslanmaz çeliğin mikro yapısı ve EDS analiz grafikleri verilmiştir. EDS grafiklerinden de anlaşıldığı gibi ana malzeme ferritik matris içerisinde yaygın martenzit ve karbür ağından oluşmaktadır. Döküm sonrası mikro yapıyı veren fotoğrafta, matrisin ferritten oluştuğu tane sınırlarında bir martenzit örgüsünün bulunduğu görülmektedir. Yapıda ferrit yanında Cr-C'lerin varlığı da EDX analizi ile belirlenmiştir (Şekil 4.3). Taneler 100 µm'den daha büyüktür.



Şekil 4.3. EDX analizi grafiği

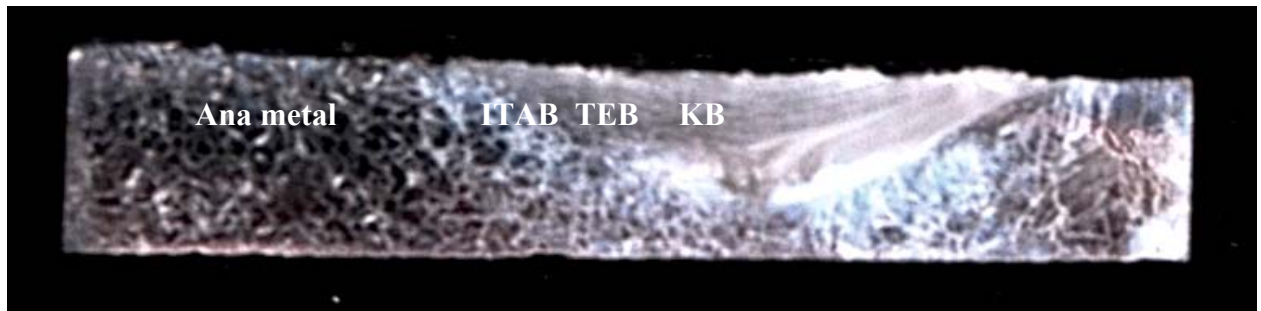
Oluşan karbürleri belirlemek için EDX analizi yapılmış ve Cr_7C_3 karbürlerinin mevcut olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.3). Bu karbürler, tane sınırlarında çökelmişlerdir.

4.2. Kaynak Bölgesinin Makro Boyutta İncelenmesi

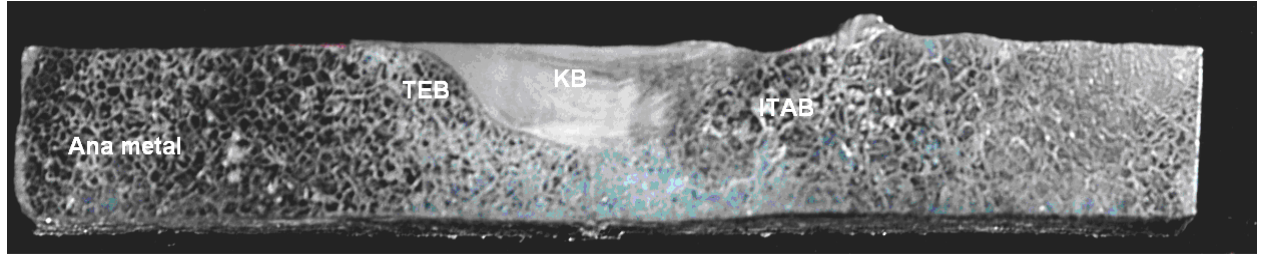
Mikroyapı incelemeleri, bütün kaynaklı bağlantılarda 4 farklı bölge meydana geldiğini göstermektedir (Spoward ve arkadaşları, 2003).

Bunlar:

1. Dikiş (Karışma bölgesi) (KB)
2. Termomekanik olarak etkilenmiş bölge (TEB)
3. Isının tesiri altındaki bölge (ITAB)
4. Ana metal (ANM)'dir. Bu bölgeler şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



a



b



c

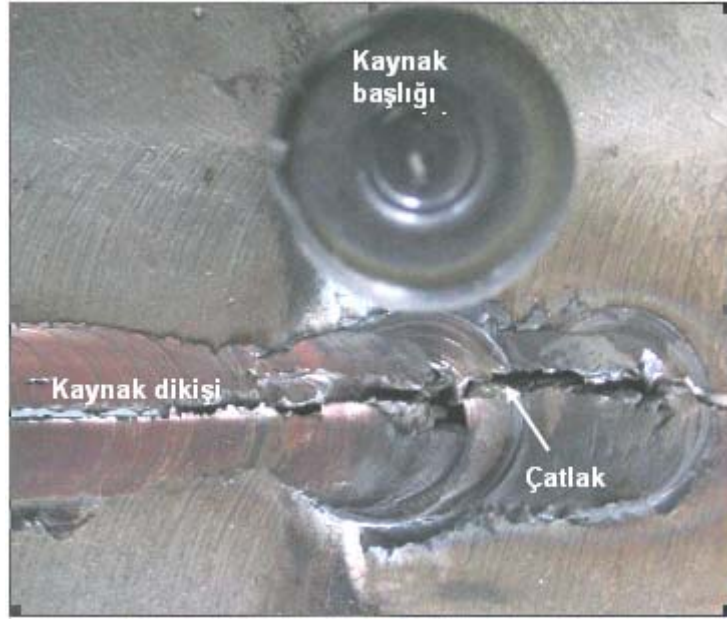
Şekil4.4. Kaynaklı bağlantılarda oluşan bölgeler. **a.**350 d/d, **b.** 450 d/d, **c.**550 d/d

Şekil 4.4’ de görüldüğü gibi, karışma bölgesi, kaynak ucunun malzemeyi viskoz hale getirip karıştırdığı bölgedir. Bu bölge dinamik bir yeniden kristalleşme etkisine maruz kalmaktadır (Mishraa, 2005). Karışma bölgesi de iki kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlardan birisi takımın dönme-ilerleme yönünde diğeri ise arkasında kalmaktadır. Dinamik yeniden kristalleşmenin en şiddetli olduğu kısım, kaynak ucunun arkasında kalan kısımdır. Çünkü bu kısımda, şiddetli bir haddeleme etkisi meydana gelmektedir (Hwan ve arkadaşları, 2003).

4.3. Kaynak Deney Sonuçları

Kaynak deneyleri, 350, 450, 550 ve 1400 d/d’ lık takım dönme hızlarında yapılmış;1400 d/d ‘da yapılan kaynak işlemi başarısız olmuş fakat diğer dönme hızlarında parçalar başarılı bir şekilde birleştirilmişlerdir.

4.3.1. 1400 dev/dak'da Yapılan Kaynak



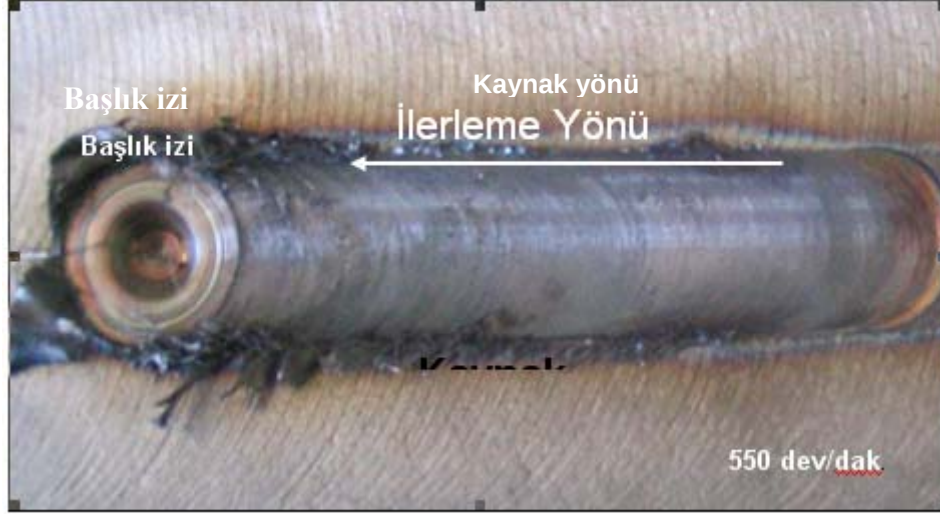
Şekil 4.5. 1400 dev/dak'lık kaynak başlığı dönme hızıyla birleştirilen numunenin kaynak bölgesi fotoğrafı.

İlk birleştirme deneyi yüksek takım hızında yapılarak yüksek takım hızının takım ömrü ve birleştirme işlemi üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu maksatla 1400 d/d'lık bir takım dönme hızı kullanılmıştır. Bu numuneye ait kaynak bölgesi ve kaynak başlığı fotoğrafından görüldüğü gibi (Şekil 4.5.) birleştirme başarısız olmuş ve kaynak başlığı kısa sürede aşınmıştır. Bunun nedeni, yüksek dönme hızı ile oluşan sürtünme ısısının paslanmaz çeliğin ısı iletim kabiliyetinin düşük olması nedeniyle takım ucunda ve kaynak bölgesinde aşırı derecede yoğunlaşmasıdır. Yoğun ve yüksek ısı, Co ile bağlı takım ucunun kısa sürede aşınmasına ve deforme olmasına yol açmıştır (Şekil.4.6).



Şekil 4.6. 1400 dev/dak’lık dönme hızı sonucunda kaynaktan önce ve sonra kaynak başlığı görünüşü.

4.3.2. 550 dev /dak’da Yapılan Kaynak

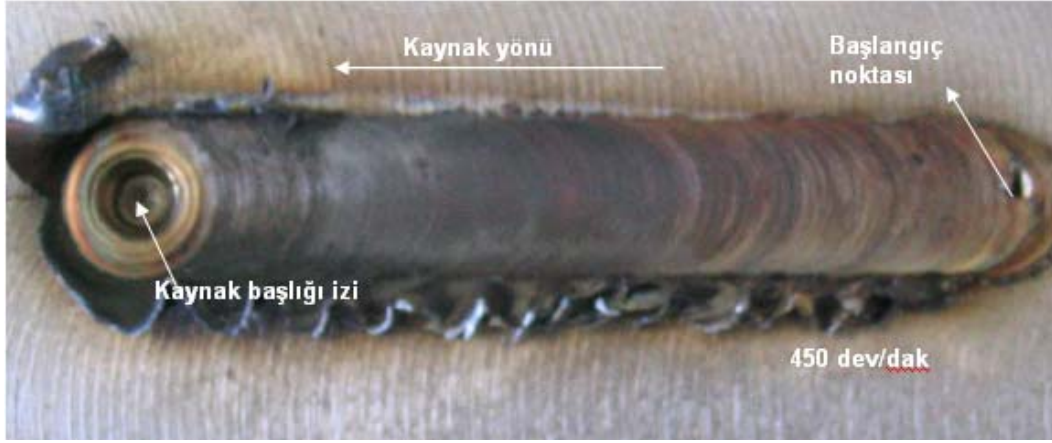


Şekil 4.7. 550 dev/ dak.’da birleştirilen numunenin kaynak dikişi fotoğrafı

550 dev/dak ‘da birleştirilen numunenin kaynak dikişi fotoğrafı şekil 4.7.’de görülmektedir. Fotoğrafta görüldüğü gibi dikiş güzel bir görünüme sahiptir. Kaynak dikişinde okside olmuş bir tabaka görülmektedir. Bu durum muhtemelen bu devirdeki yüksek ısı yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır.

4.3.3. 450 dev/dak ‘da Yapılan Kaynak

450 dev/dak ‘da birleştirilen numunenin kaynak dikişi fotoğrafı şekil 4.8.’de görülmektedir. Fotoğraftan, dikişin 550 dev/dak’da yapılan kaynak gibi güzel bir görünüme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Fakat resimden de görüldüğü gibi başlangıç noktasından kaynak başlığı izine doğru ilerledikçe, bu numunede de dikişin üst yüzeyinin okside olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. 450dev/ dak.'da birleştirilen numunenin kaynak dikişi fotoğrafı

4.3.4. 350 dev/dak'da Yapılan Kaynak



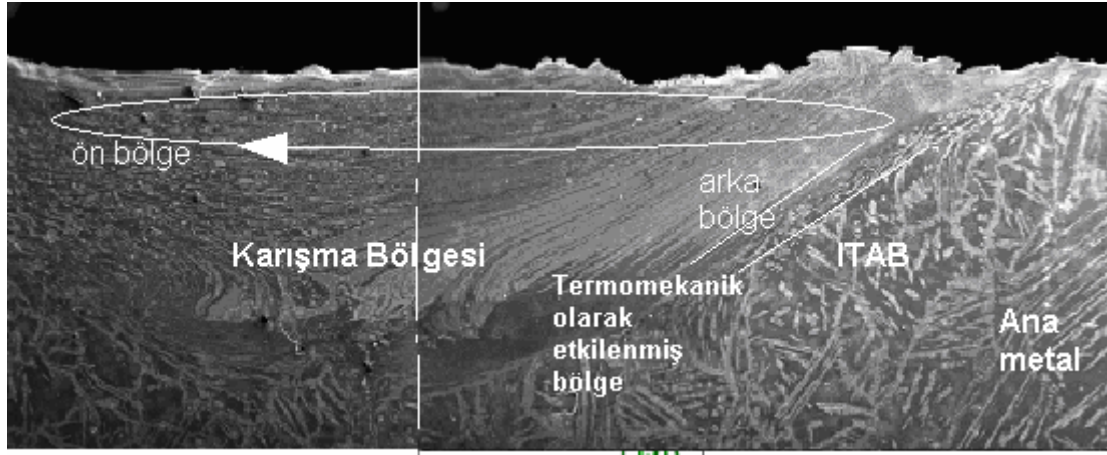
Şekil 4.9. 350dev/ dak.'da birleştirilen numunenin kaynak dikişi fotoğrafı

Şekil 4.9.'da 350 dev/dak'da yapılan kaynağın kaynak dikişi fotoğrafı görülmektedir. Diğer devirlerde yapılan kaynaklarla karşılaştırıldığında, kaynak dikişini güzel bir görünüme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Dönme hızının düşük oluşu ve dolayısıyla meydana gelen ısının azalması nedeniyle dikiş yüzeyi çok az okside olmuştur.

4.4. Kaynak Bölgelerinin Mikro Yapısı

Daha önce belirtildiği gibi kaynaklı bağlantılarda 4 farklı bölge meydana gelmiştir. Bu kısım da her bir devirde birleştirilen numunelerdeki kaynak bölgelerinin mikro yapıları incelenmiştir.

4.4.1. 350 dev/dak'da Kaynak Edilen Parçanın Mikroyapı ve Tane Boyutu



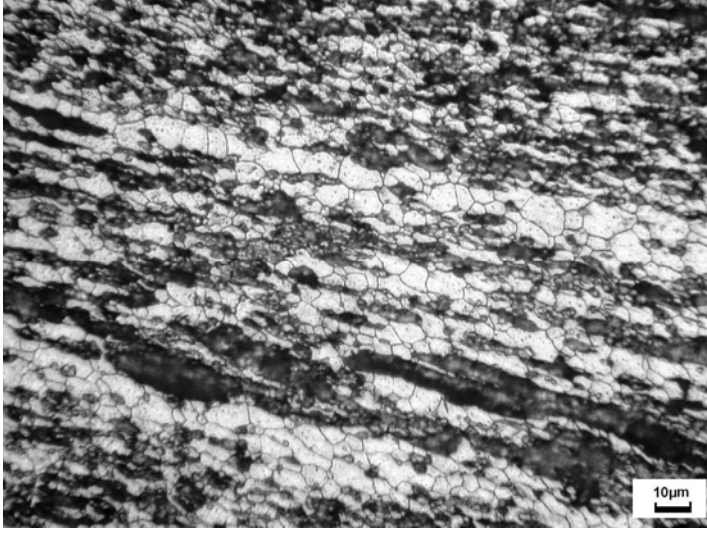
Şekil4.10. 350 d/d'da yapılan kaynağın SEM yüzey fotoğrafı.

Şekil 4.10.'da 350 d/d da birleştirilen numunenin kaynak bölgesi, sürtünme karıştırma kaynaklarında meydana gelen tipik bölgelere sahiptir. Dikişte, dinamik yeniden kristalleşmeye uğramış ve aşırı haddelenmiş karışma bölgesinde takım ucunun karıştırma etkisi açıkça görülmektedir. Tam karışmış bölgede haddeleme etkisi çok büyüktür. Özellikle, dinamik yeniden kristalleşmenin en şiddetli olduğu yani şiddetli bir haddeleme etkisinin meydana geldiği kaynak ucunun arkasında kalan kısımda, ferritin tane boyutu 1 mikron ile 10 mikron arasına düşmüştür (Şekil 4.11). Bu kısımda karbür ve martenzitin parçalandığı ve boyutlarının çok küçüldüğü açıkça görülmektedir. Taneler karışım yönünde yönelmişlerdir.



Şekil 4.11. 350 dev/dak'da birleştirilen numunenin karışım bölgesi arka kısım optik fotoğrafı

Termomekanik olarak etkilenmiş bölgede martenzit ve ferrit taneleri daha iridir ve karışım bölgesine doğru uzunlamasına yönlenmişlerdir. Bu bölgede hem ısı hemde mekanik haddeleme etkisi mevcuttur. Bu bölgedeki tane boyutları 6 mikron ile 12 mikron arasındadır (Şekil 4.12).



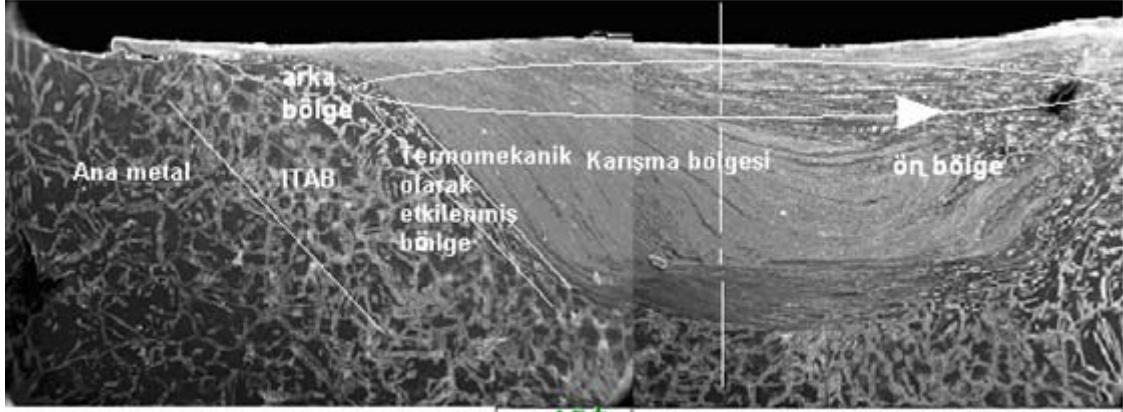
Şekil 4.12. 350 dev/dak'da birleştirilmiş numunenin termomekanik olarak etkilenmiş bölgesi optik fotoğrafı

ITAB'da martenzit herhangi bir deformasyona maruz kalmamıştır. Fakat kaynak bölgesinde meydana gelen ve termomekanik olarak etkilenen bölgedeki plastik şekil değiştirmenin ve ısının etkisi kısmen burada da görülmektedir. Bu etki ile bu bölgede ikincil ferrit taneleri oluşmuştur. Bu ferrit tanelerinin boyutları 5 mikron ile 17 mikron arasındadır. Meydana gelen bu ferrit taneleri termomekanik bölgedekinden daha büyüktür (Şekil 4.13.).



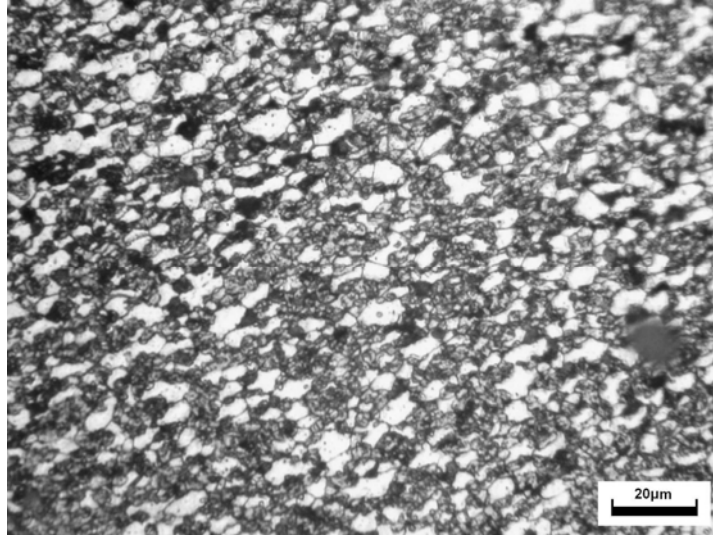
Şekil 4.13. 350 dev/dak'da birleştirilen numunedeki ITAB optik fotoğrafı

4.4.2. 450 dev/dak'da Kaynak Edilen Parçanın Mikroyapı ve Tane Boyutu



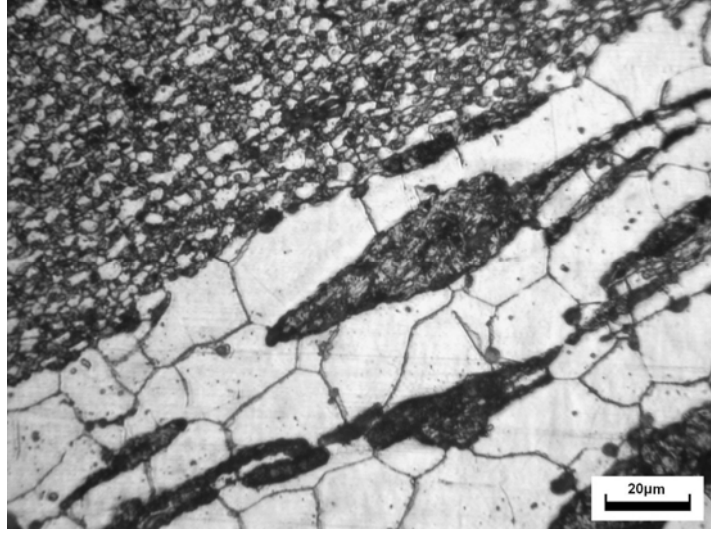
Şekil4.14. 450 d/d'da yapılan kaynağın SEM fotoğrafı.

Dikişte 350 dev/dak'da yapılan kaynakta olduğu gibi dinamik yeniden kristalleşmeye uğramış ve aşırı haddelenmiş karışma bölgesinde, takım ucunun karıştırma etkisi açıkça görülmektedir. 350 dev/dak'da yapılan kaynağa göre kaynak bölgesindeki karışma daha homojendir. Bu bölgede ferritin boyutu 1 mikron ile 3 mikron arasındadır (Şekil 4.15.). Ayrıca bu kısımda karbür ve martenzitin parçalandığı, boyutlarının küçüldüğü görülmektedir. Taneler karışım yönünde yönlenmişlerdir.



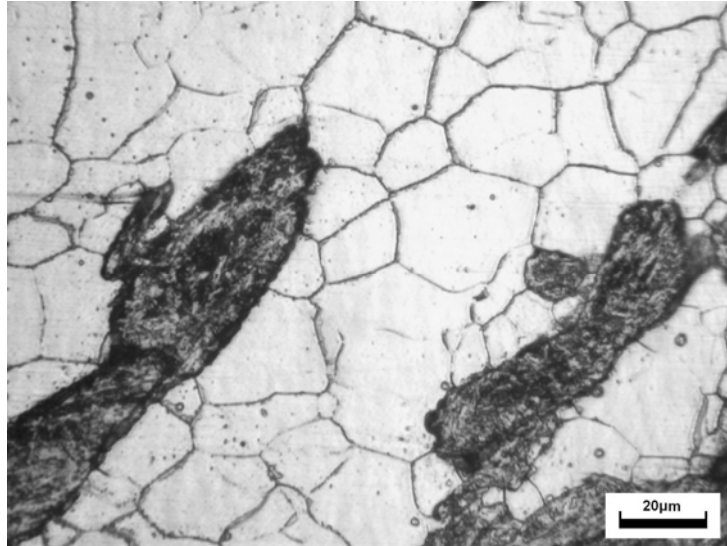
Şekil 4.15. 450 dev/dak'da birleştirilen numunenin karışım bölgesi optik fotoğrafı.

Termomekanik etkilenmiş bölgede martenzit ve ferrit taneleri daha iridir ve 350 dev/dak'da olduğu gibi karışım yönünde uzunlamasına yönlenmişlerdir. Bu bölgede hem ısı hem de mekanik haddeleme etkisi mevcuttur. Bu bölgede ferritin tane boyutu 15 mikron ile 25 mikron arasındadır(Şekil 4.16.).



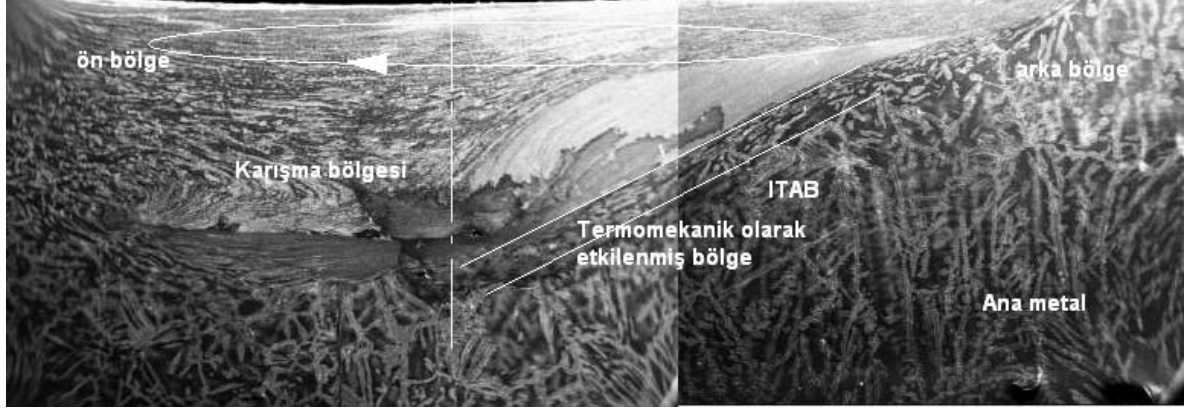
Şekil 4.16. 450 dev/dak'da birleştirilen numunenin termomekanik etkilenmiş bölge optik fotoğrafı

ITAB'da martenzitin herhangi bir deformasyona uğramadığı fakat ferrit tanelerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Ferrit tanelerinin boyutu 30 mikron ile 40 mikron arasındadır (Şekil 4.17.). 450 dev/dak'da yapılan kaynakta, TEB ve ITAB da 350 dev/dak'da yapılan kaynağa göre daha homojen bir yapı meydana gelmiştir.



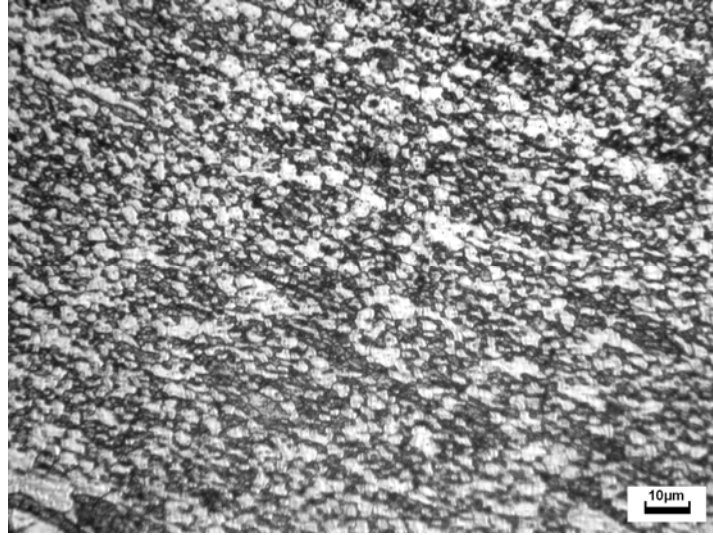
Şekil 4.17. 450 dev/dak'da ITAB optik fotoğrafı

4.4.3. 550 dev/dak'da Kaynak Edilen Numunenin Mikroyapı ve Tane Boyutu



Şekil4.18 550 d/d’da yapılan kaynağın SEM yüzey fotoğrafı.

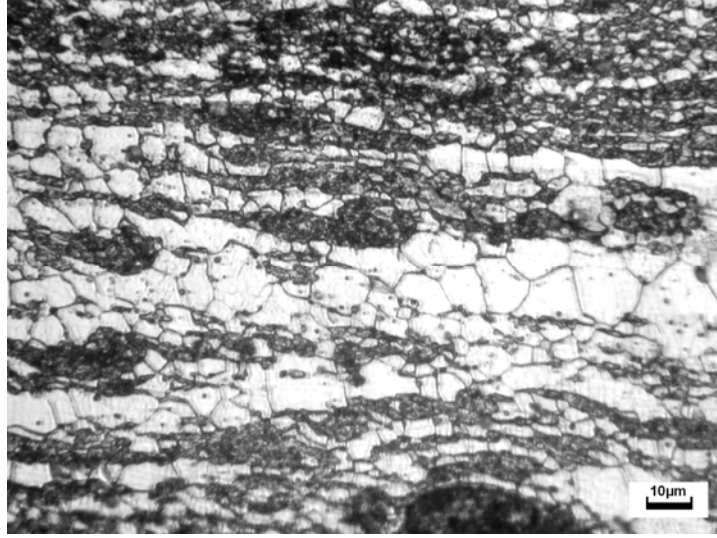
550 d/d’ da birleştirilen numunende, dikişte 350 ve 450 dev/dak’da yapılan kaynakta olduğu gibi dinamik yeniden kristalleşmeye uğramış ve aşırı haddelenmiş karışma bölgesinde, takım ucunun karıştırma etkisi açıkça görülmektedir. 350 ve 450 dev/dak’da yapılan kaynağa göre kaynak bölgesindeki karışma daha şiddetlidir. Dolayısıyla karışım bölgesinde taneler daha fazla incelmıştır ve ferritin tane boyutu 2 mikron ile 5 mikron arasındadır (Şekil 4.19.). Ayrıca bu kısımda karbür ve martenzitin parçalandığı, boyutlarının küçüldüğü görülmektedir. Burada da, diğer numunelerde olduğu gibi, taneler karışım yönünde yönlenmişlerdir.



Şekil 4.19. 550 dev/dak’da birleştirilen numunenin kaynak bölgesi optik fotoğrafı

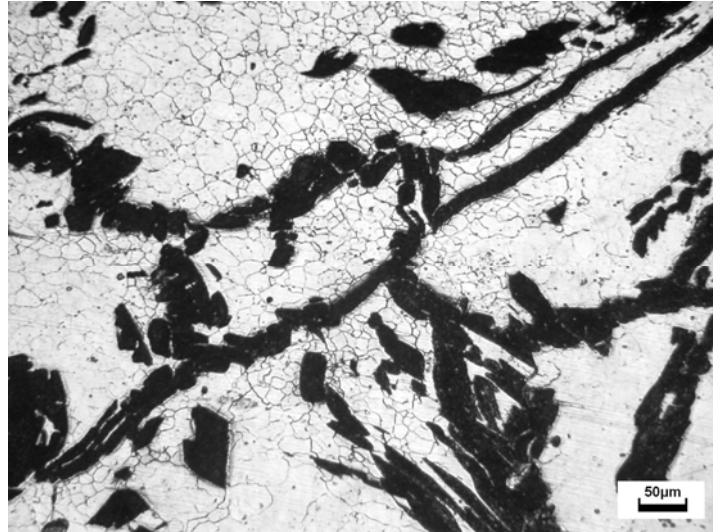
Termomekanik olarak etkilenmiş bölgede martenzit ve ferrit taneleri daha iridir ve 350 450 dev/dak’da olduğu gibi karışım yönünde uzunlamasına yönlenmişlerdir. Bu bölgede hem ısı hem de

mekanik haddeleme etkisi mevcuttur. Bu bölgede ferritin tane boyutu 8 mikron ile 12 mikron arasındadır (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. 550 dev/dak'da birleştirilen numunenin termomekanik etkilenmiş bölge optik fotoğrafı

ITAB'da martenzitin herhangi bir deformasyona uğramadığı fakat ferrit tanelerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Ferrit tanelerinin boyutu 5 mikron ile 30 mikron arasındadır (Şekil 4.21.). 550 dev/dak'da yapılan kaynakta 450 ve 350 dev/dak'da yapılan kaynağa göre kaynak bölgesinde 450 ve 350 d/d daki kaynağa göre tane boyutu ve dağılımı açısından daha homojen bir yapı elde edilmiştir. Fakat hem termomekanik olarak etkilenmiş bölgede ve hem de ITAB' da ferrit dağılımının diğer dönme hızlarında yapılan kaynaklara göre daha az homojen olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. 550 dev/dak'da birleştirilen numunenin ITAB optik fotoğrafı

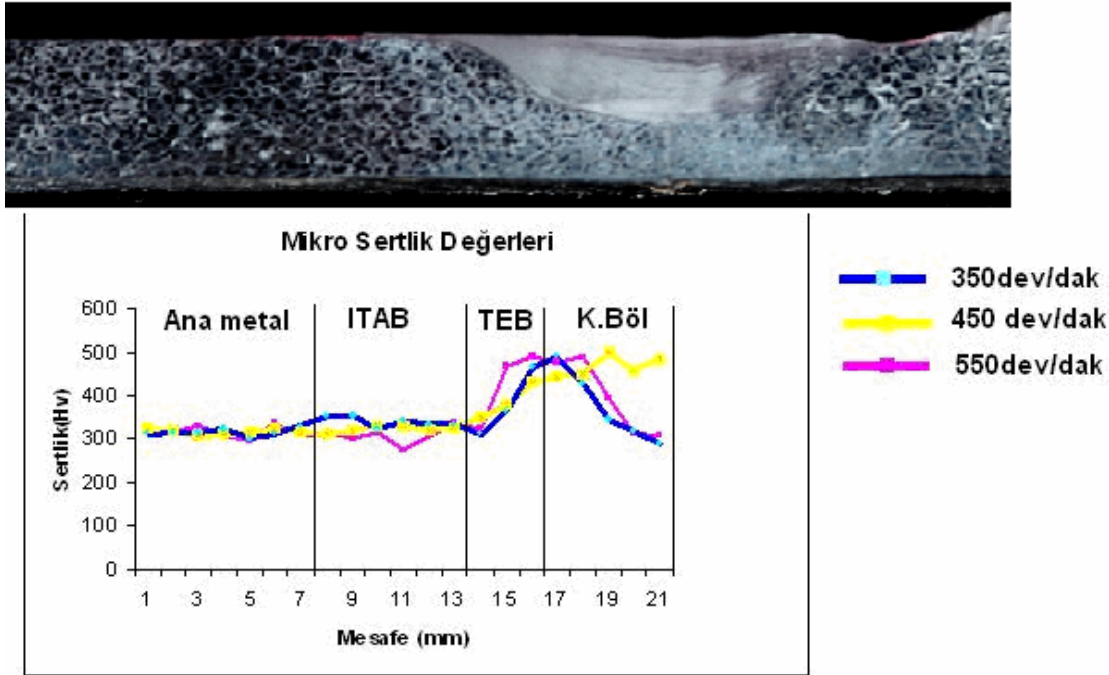
Tablo 4.1.'de meydana gelen bölgelerin genişlikleri verilmiştir.

Tablo4.1 Karışım bölgesi, TEB, ITAB bölgelerinin genişlikleri.

Devir	Karışım Böl		TEB	ITAB
	Ön	Arka		
350 d/d	2,3mm	3,37mm	1,6mm	0,72mm
450 d/d	1,791mm	2,41mm	1,82mm	1,5mm
550 d/d	5,501mm	1,978mm	4,42mm	2,1mm

Tablo 4.1.'den görüldüğü gibi takım devri arttıkça meydana gelen bölgelerin genişlikleri de artmaktadır.

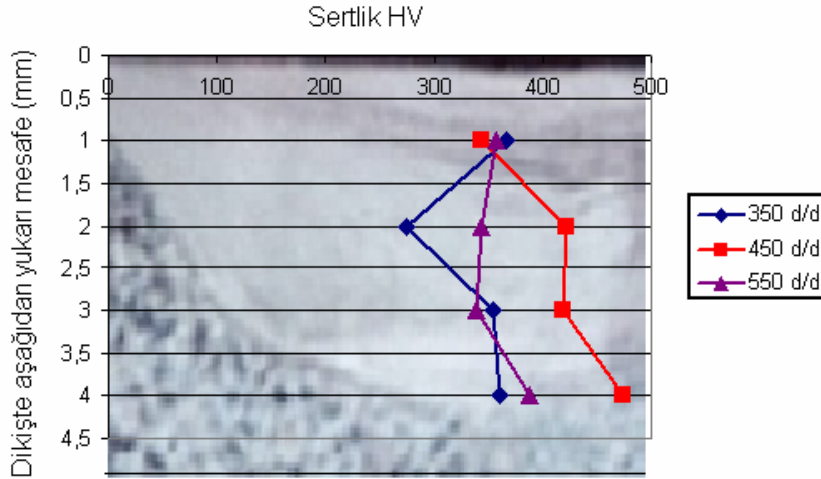
4.5. Mikrosertlik Sonuçlarının İncelenmesi



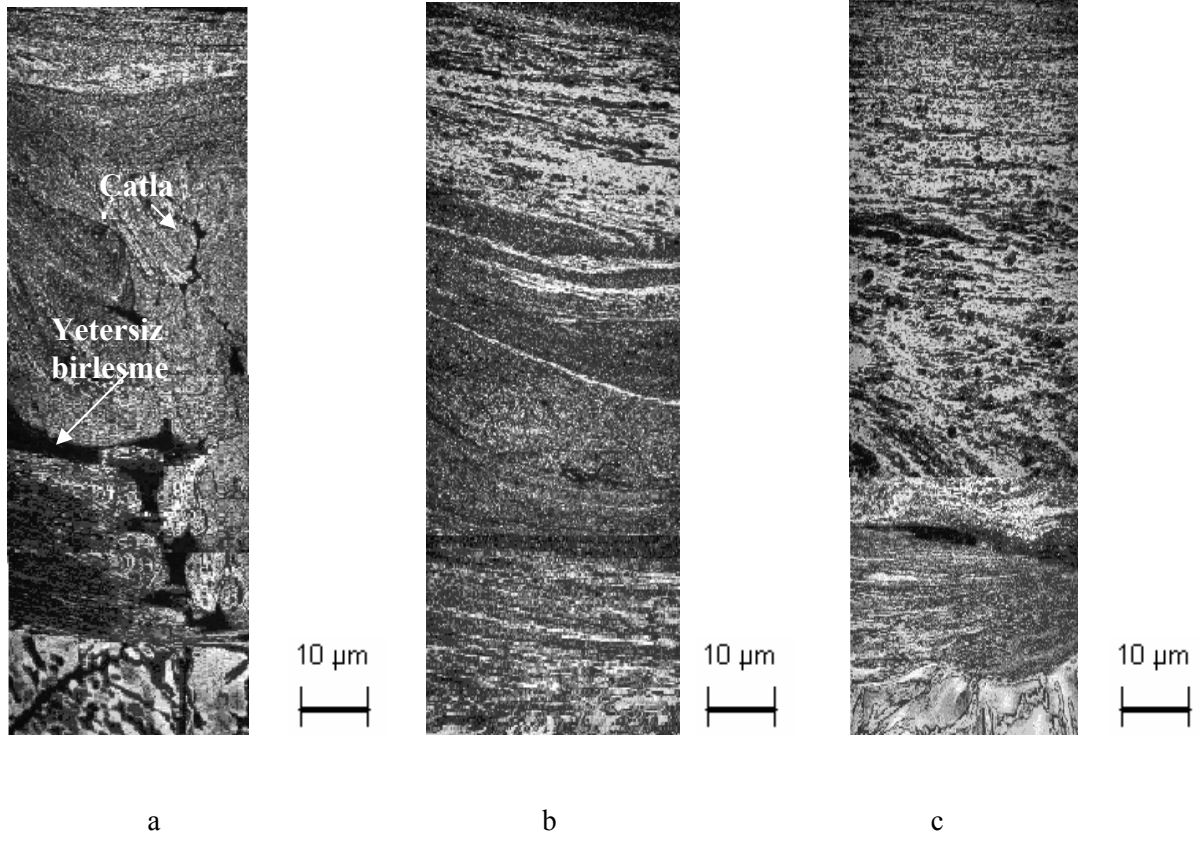
Şekil 4.22. Kaynak Bölgesinde Sertlik Dağılımları

Şekil 4.22.'de görüldüğü gibi, bütün numunelerde ana metal ve ITAB bölgelerinde sertlik değerleri 310 ila 350 HV aralığında değişmektedir. TEB'de ise oluşan yüksek haddeleme etkisi ve plastik şekil değiştirme nedeniyle sertlik değerleri 510 Hv' ye kadar ulaşmıştır. Kaynak bölgesinde 450 d/d'da yapılan kaynakta sertlik değerleri karışım bölgesinden ana metale doğru gittikçe azalmakta olup, 350 ve 550 d/d'da birleştirilen numunelerdeki gibi TEB de bir sertlik artışı oluşmadığı

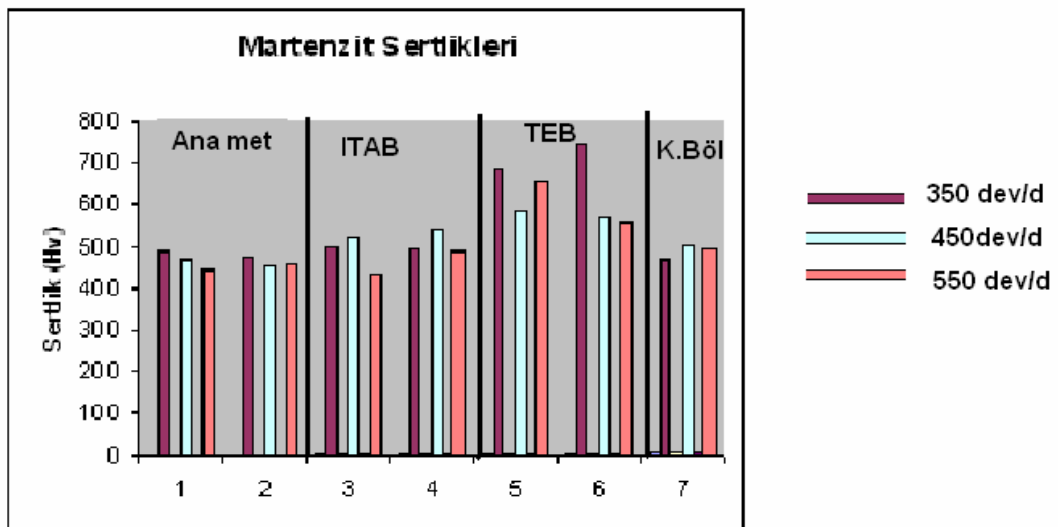
görülmektedir. Bunun nedenini belirlemek için, karışım bölgesinin tümü dikkatle incelenmiş ve dikişte düşey doğrultuda sertlik ölçümleri yapılmış (Şekil 4.23) ve faz morfolojisi incelenmiştir. Düşey doğrultuda yapılan sertlik ölçümleri dikişte yine en yüksek sertlik değerlerine 450 d/d'lık kaynakta ulaşıldığını göstermektedir. Şekil 4.24 de dikişte, düşey doğrultuda faz dağılımı ve morfolojisinin nasıl değiştiği net bir şekilde görülmektedir. 350 d/d da kaynak yapılan numunede, fazların, yani ferrit ve martenzit fazlarının parçalandığı fakat yeterince ve homojen bir şekilde karışmadıkları görülmektedir. Dikişin alt kısmında karışmanın çok yetersiz olduğu ve büyük boşlukların bulunduğu görülmektedir. Dolayısıyla, dikişte sertlik değerleri düşmüştür. 450 d/d da yapılan kaynakta dikişte martenzitin çok daha homojen dağıldığı ve tanelerin haddeleme etkisi ile oldukça küçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.24.b). Özellikle martenzitin yoğun ve homojen bir şekilde dağılımı, en yüksek sertlik değerlerinin bu devirde oluşmasının başlıca nedenidir. 550 d/d da yapılan kaynakta, dikişteki martenzit miktarının daha az olması (Şekil 4.24 c) sertliği azaltmıştır. Sonuçta, dikişte hem yatay hem de düşey sertlik dağılımında faz morfolojisinin etkili olduğu anlaşılmıştır (Şekil 4.24)



Şekil 4.23. Dikişte aşağıdan yukarıya sertlik dağılımı



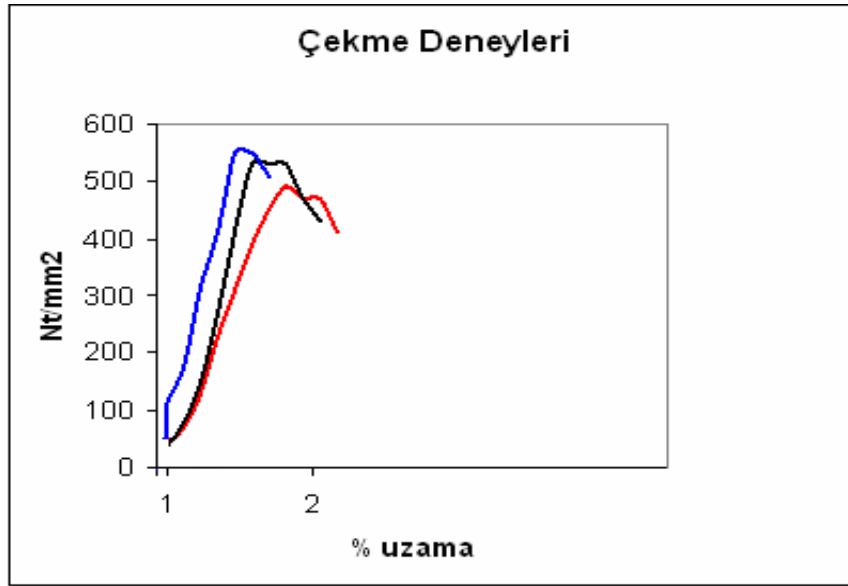
Şekil 4.24. Karışım bölgelerinin (dikişlerin) mikro yapı morfolojileri
a. 350 d/d **b.** 450 d/d **c.** 550 d/d



Şekil 4. 25. 350, 450, 550 ‘ d/d’da martenzitin mikro sertliği

Şekil 4.25’de kaynak bölgesindeki martenzit sertlikleri görülmektedir. Elde edilen değerlere göre ana metal ve ITAB’da martenzit sertliğinde büyük farklılıklar yoktur. Fakat TEB’de sertlikte 710 Hv’ye kadar bir artış meydana gelmiştir. Bunun nedeninin TEB de meydana gelen haddeleme etkisi olduğu düşünülmektedir. Kaynak bölgesinde ise martenzitin sertliğinde azalma görülmektedir. Bunun nedeni, mekanik etkilerle parçalanmış martenzitin ferrit fazı içinde dağılmasıdır.

4.6. Çekme Deneyi Sonuçları

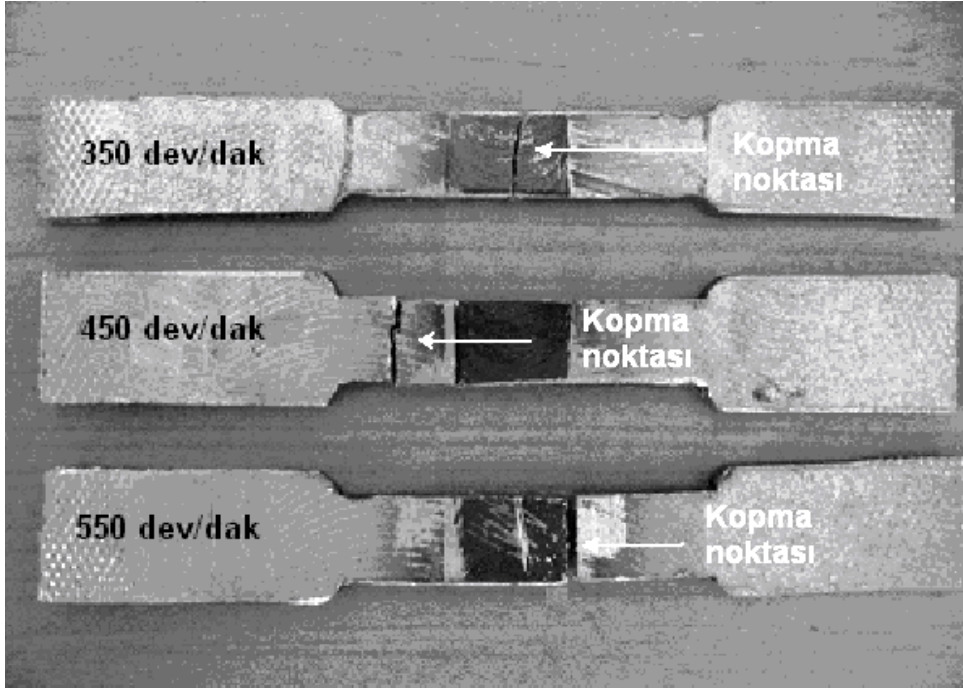


Şekil 4.26. Çekme Deneyi Sonuçları (**Kırmızı:** 350 dev/dak, **Mavi:** 450 dev/dak, **Siyah:** 550 dev/dak)

Kaynak bölgesinde en düşük sertliğin 350d/d’da yapılan kaynakta olduğu görülmüştür (Şekil 4.22 ve 4.23.). Ayrıca, dikiş morfolojisi, bu numunede karışımın çok iyi olmadığını, dikiş kökünde yer yer birleşmemiş kısımların bulunduğunu da göstermektedir (Şekil 4.24). Bunun sonucu olarak çekme dayanımı en düşük olarak bu numunede elde edilmiştir. Öte yandan, uzama miktarının diğer numunelere göre daha fazla olduğu, yani davranışın daha sünek olduğu da Şekil 4.24’ deki diyagramda açıkça görülmektedir. Dolayısıyla, çekme testinde kopma, tam dikişte meydana gelmiştir (Şekil 4.27)

Çekme dayanımı en yüksek olan parçanın 450 dev/dak dönme hızıyla yapılan kaynak olduğu görülmektedir (Şekil 4.26). Bu devirde yapılan kaynakta, dikişin sertliği hem yatay hem de dikey doğrultuda, diğer numunelerdeki değerlerden daha yüksektir. Yine bu numunede dikişteki sertlik, diğer bölgelerdeki sertliklerden daha yüksektir. Dikişte, karışımın düzgün, faz dağılımlarının homojen, dikişin kusursuz olduğu (Şekil 4.24) dikkate alındığında; çekme dayanımının diğer numunelerden

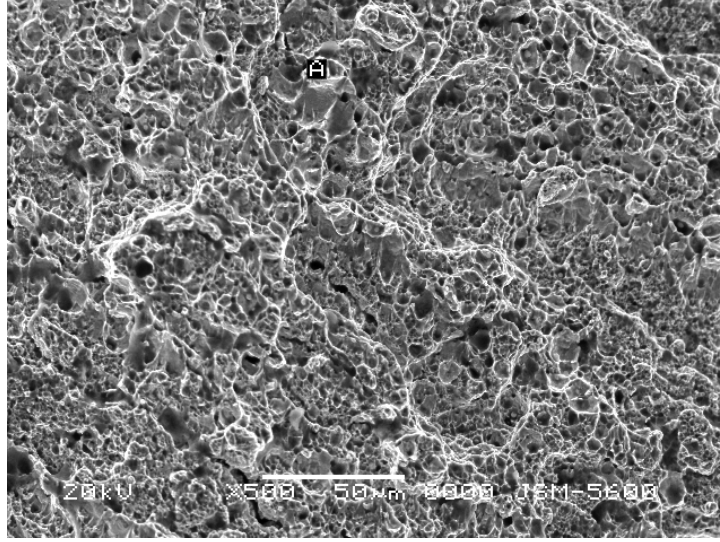
daha yüksek olmasının nedeni açıkça anlaşılmaktadır. Zaten çekme testinde numune dikişten değil sertlik değerinin en düşük olduğu yerden, ana metalden kopmuştur (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Çekme deneyi uygulanan çubuklar

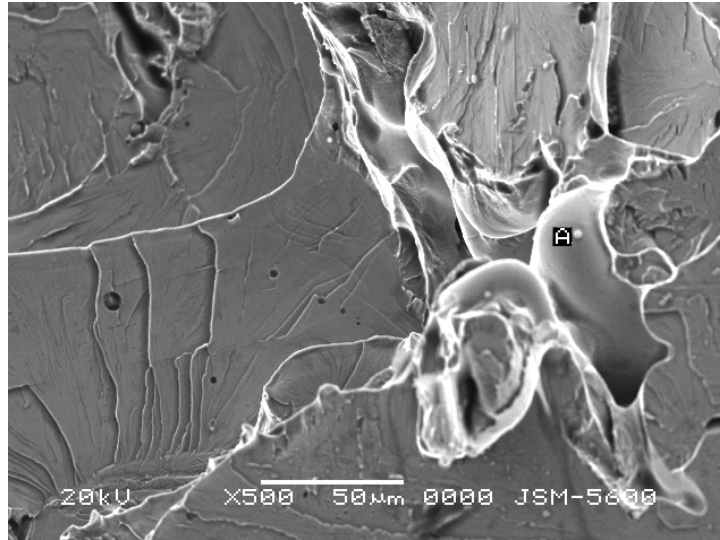
550 d/d' da kaynak edilen numunenin çekme dayanımı, Şekil 4.26' da görüldüğü gibi, 350 d/d ile 450 d/d da kaynak edilen numunelerin çekme değerleri arasında yer almaktadır. Çekme testinde numune, ITAB'dan kopmuştur(Şekil4.27). Bu davranışı izah eden iki temel veri vardır. Birincisi, ITAB'da belirlenen nispeten düşük sertlik değerleri, ikincisi, dikişteki sertliğin daha yüksek oluşu ve dikişin mikro yapı morfolojisinin 350 d/d' da birleştirilen numuneninkinden daha düzgün 450 d/d daki numuneninkinden daha karmaşık oluşudur (Şekil 4.24 ve 25). Bu devirde, parçalanan martenzit fazı, adeta, yüksek olan devir ve dolayısıyla daha yüksek kaynak sıcaklığı nedeniyle daha viskoz hale gelen dikişte kenarlara doğru sürüklenmiştir. Dolayısı ile dikişte sertlik nispeten düşmüştür.

4.6.1. Kırık Yüzeylerin İncelenmesi



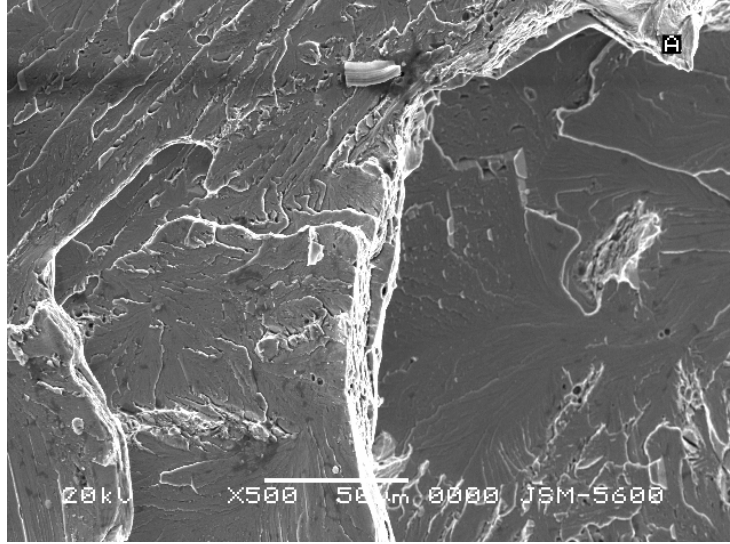
Şekil 4.28. 350 dev/dak'da kopma yüzeyi SEM fotoğrafı.

Şekil 4.28'de 350 dev/dak'da yapılan sürtünme karıştırma kaynağının çekme deneyi kopma yüzeyi SEM fotoğrafı görülmektedir. Tam dikişten kopan numunenin kırık yüzeyinde, fotoğraftan görüldüğü gibi, çok miktarda çukurcuk (dimple) bulunmaktadır. Buna göre kırılma davranışının sünek olduğu anlaşılmaktadır. Kırılma, haddeleme etkisi ile parçalanıp küçülen çok sayıdaki martenzit fazı yüzeylerinden kopmalar şeklinde meydana gelmiştir.



Şekil 4.29. 450 dev/dak'da kopma yüzeyi SEM fotoğrafı.

Şekil 4.29.'da 450 d/d'da birleştirilen numunenin kırık yüzey fotoğrafı görülmektedir. Yer yer çukurcuklar bulunsa da kırılma genel olarak, taneler arası kopma şeklinde meydana gelmiştir. Bu da kırılmanın gevrek yada klivaj olduğunu göstermektedir. Burada kırılmada etkin olan mekanizmanın martenzit tabakalarının kopması olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.30. 550 dev/dak’da kopma yüzeyi SEM fotoğrafı.

Şekil 4.30.’da 550 dev/dak’da yapılan sürtünme karıştırma kaynağının kopma yüzeyi SEM fotoğrafı görülmektedir. Kırılma, tam klivaj kırılması şeklinde gerçekleşmiştir ve sınırlardaki martenzit tabakalarından başlamıştır. Kırılmanın şekline bakılarak gevrek kırılma olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, martenzit içeren ferritik bir paslanmaz çeliğin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliği araştırıldı. Kaynak edilen malzeme % 0,08 C'lu paslanmaz çeliktir. Kaynak edilecek parçalar freze tezgâhında 24x9x0,9 cm boyutlarında işlendi. Kaynak başlığı olarak piyasadan temin edilen 20x330 mm boyutlarında yüzeyi H2 hassasiyetinde taşlanmış kobalt esaslı sert maden tungsten karbür ve vanadyum karbür çubuklar kullanıldı. Kaynak işlemi için universal başlıklı 10 Kw gücündeki bir freze tezgâhı kullanıldı. Kaynak işlemi 350, 450 ve 500 dev/dak dönme hızları ve 50 mm/dak ilerleme hızında yapıldı.

Kaynak sonrası kaynak bölgesi optik mikroskopi, SEM ve EDS ile incelendi. Bağlantıların mekanik özellikleri çekme testleri ile belirlendi. Bunun için (Lt) 155 mm boyunda dikdörtgen kesitli numuneler kullanıldı.

Sonuç olarak, bağlantılarda 4 farklı bölgenin oluştuğu, çekme dayanımının devir sayısının artması ile arttığı, ince taneli bölgede sertliğin yükseldiği, optimum devir sayısının 450 d/d ilerleme hızının 50 mm/d olduğu ve denenen kaynak koşullarında bu malzemenin sürtünme karıştırma kaynağı ile güvenle birleştirilebileceği belirlendi.

5.2. Öneriler

- Kaynak başlığı malzemesindeki gelişmelerle çok sert olan martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağı ön ısıtma olmadan yapılabilir. Yani üretilen kaynak başlığı malzemesi Co esaslı olmazsa daha yüksek sıcaklıklara çıkılabilir. Bunu içinde Co yerine metal dışı malzemelerden üretilmiş mikro düzeyde esneme kabiliyeti olan çeşitli bağlayıcı malzemeler kullanılabilir. Bu tür kompozit malzemeler sürtünme karıştırma kaynağında kullanılabilir.
- Başlık malzemesi 1000 °C üstü sıcaklıklara karşı mukavim değilse ön ısıtmayı sağlayabilecek bir tutucu eleman özel olarak imal edilebilir.
- Kaynak bölgesinin sonunda oluşan anahtar deliği şeklindeki form kaynak başlığı tutucusunda (pens) yapılacak değişikliklerle giderilebilir.
- Soğutmalı, basma kuvveti ayarlanabilen ve devir kontrollü bir kaynak başlığı pensi tasarlanabilir. Hatta sıcaklık ölçen pirometrede de sisteme bağlanarak CNC kontrollü olarak sabit sıcaklıkta kaynak yapılabilir.
- Özel kesitli kaynak başlıkları üretilir. Böylece sert malzemelerin kaynağında punta deliği açmaya gerek kalmaz.

KAYNAKLAR

- [1]. Mishra R.S. and Ma Z.Y. (2005),, Friction stir welding and processing, Materials Science and Engineering, Volume 50, P. 1-78.
- [2]. Cavaliere P, Nobile R, (2006),. Panella and Squillace A. F.W, Mechanical and microstructural behaviour of 2024–7075 aluminium alloy sheets joined by friction stir welding ,International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 46, P. 588-594
- [3]. Zhou C, Yang X., Luan G. (2006), Effect of root flaws on the fatigue property of friction stir welds in 2024-T3 aluminum alloys, Materials Science and Engineering, Volume 418, P. 155-160.
- [4]. Ouyang J., Yarrapareddy E., Kovacevic R., (2006), Microstructural evolution in the friction stir welded 6061 aluminum alloy (T6-temper condition) to copper, Journal of Materials Processing Technology, Volume 172, P.110-122.
- [5]. Marzoli L.M.,. Strombeck A.v.,. Dos Santos J.F, 2006), Friction stir welding of an AA6061/Al₂O₃/20p reinforced alloy, Composites Science and Technology, Volume 66,(P. 363-371.
- [6]. Amirizad M., Kokabi A.H., Abbasi M., Sarrafi R., Shalchi B. and Azizieh M., 2006), Evaluation of microstructure and mechanical properties in friction stir welded A356 + 15%SiC_p cast composite, Materials Letters, Volume 60, (P. 565-568.
- [7]. Genevois C., Deschamps A. and Vacher P., (2006),Comparative study on local and global mechanical properties of 2024 T351, 2024 T6 and 5251 O friction stir welds , Materials Science and Engineering,, Volume 415, P. 162-170.
- [8]. Ayer R., Jin H.W.,. Mueller R.R, Ling S. and Ford S. (2005),,Interface structure in a Fe–Ni friction stir welded joint, Scripta Materialia, Volume 53, P. 1383-1387.
- [9]. Chang W.S, Yeon Y.M and.Jung,S.B., (2005), Microstructural investigation of friction stir welded pure titanium, Materials Letters, Volume 59, P. 3315-3318
- [10] SatoY.S,NelsonT.W, Sterling C.J.,(2005),Steel R. and. Pettersson C.O.,Microstructure and mechanical properties of friction stir welded SAF 2507 super duplex stainless steel, Materials Science and Engineering, Volume 397, P. 376-384.

- [11]. Uzun H., Dalle Donne C., Argagnotto A., Ghidini T. and Gambaro C. (2005), Friction stir welding of dissimilar Al 6013-T4 To X5CrNi18-10 stainless steel, Materials & Design, Volume 26, P. 41-46.
- [12]. Seung Hwan C. Park, Yutaka S. Sato, Kokawa H., Okamoto K., Hirano S. and Inagaki M., (2004), Corrosion resistance of friction stir welded 304 stainless steel, Scripta Materialia, Volume 51, P. 101-105.
- [13]. Seung Hwan C. Park, Yutaka Sato S., Kokawa H., Okamoto K. (2003), Rapid formation of the sigma phase in 304 stainless steel during friction stir welding, Scripta Materialia, Volume 49, P. 1175-1180.
- [14]. Reynolds A. P., Tang W., Gnaupel-Herold T. and Prask H., (2003), Structure, properties, and residual stress of 304L stainless steel friction stir welds, Scripta Materialia, Volume 48, P. 1289-1294.
- [15]. Waltein, R., (1993), Microstructure of Wrought Stainless Steel, Metals Handbook, ASM Handbook, Volume 7, Sayfa 144-145.
- [16]. Wegst C.W. (1995), Stainless Steels, Stahlschlüssel, P. 304.
- [17]. J.E. Spowart, Z.Y. Ma, R.S. Mishra, in: K.V. Jata, M.W. Mahoney, R.S. Mishra, S.L. Semiatin, T., 2003, Lienert (Eds.), Friction Stir Welding and Processing II, TMS, P. 243–252.
- [18]. Benavides S., Li Y., Murr L.E., Brown D., McClure J.C., (1999), Scripta Mater. 41 P-809.
- [19]. Mishra R.S., Maba Z.Y., 2005, Center for Friction Stir Processing, Department of Materials Science and Engineering, University of Missouri, Rolla, MO 65409, USA; Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China, P. 126, 128.
- [20]. ASM Committee., (1998), Welding and Brazing of Stainless Steel, 8. Baskı., ASM International, ASM Metals Handbook. Volume 6. Sayfa 245-249
- [21] www.twi.co.uk
- [22]. ASM., (1998). Metals Handbook Welding, Sert Lehimleme ve Yumuşak Lehimleme. 9. Baskı, Volume 6. ASM International. P. 412-416.

- [23] ASM Metals Handbook(2001) Paslanmaz Çeliklerin, Takım Malzemelerinin ve Özel Amaçlı Metallerin Özellikleri ve Seçimi9. Baskı, Cilt 3. ASM International, 617 622.
- [24] M. Gerken, D. Kotecki, (1990),Stainless Steels Properties,How to Weld Them Where to Use Them,The Lincoln Electric Company, P101.
- [25] The Lincoln Electric Company, (1994).Welding Procedure Handbook of Arc Welding Ohio, USA, 1988
- [26] American Welding Society., (1994), Welding Handbook Materials and Applications, Part2,Volume 4, Miami-Florida, P278-279.
- [27] The Lincoln Electric Company.,(1998).Stainless Steel Weldirectory Stick Electrodes and Techniques, Ohio, USA. Volume3.,P467-471.
- [28] Folkhard E., Verlag S., (1987),Welding Metallurgy of Stainless Steels, New York,Volume1, Part8., P 76-78
- [29] www.sciencedirect.com

ÖZ GEÇMİŞ

1981 yılında İstanbul’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ’da tamamladıktan sonra 1999 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında bu bölümden üçüncülük ile mezun olan Ertuğrul ÇELİK, aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı Mekanik Metalurji Eğitimi Bilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.