

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN GAZALTI
KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAĞINDA KORUYUCU
GAZIN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğrt. Sedat ABUÇ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Ramazan YILMAZ

Ağustos 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN GAZALTI
KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAĞINDA KORUYUCU
GAZIN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğrt. Sedat ABUÇ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 24 /08 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr.Ramazan YILMAZ

Jüri Başkanı

**Doç.Dr. Salih
ARSLANLAR**

Üye

**Yrd.Doç.Dr.Erdal
KARADENİZ**

Üye

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Yrd. Doç. Dr. Ramazan YILMAZ tarafından yürütülen ‘‘Gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilen paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ve mikroyapılarının belirlenmesi’’ isimli ve 2003K120970 nolu DPT projesinin kapsamında gerçekteşmiştir. Bu tezde kıymetli fikir ve önerileriyle katkıda bulunan ve bana her konuda göstermiş olduğu yardımcılarından dolayı sayın hocam Yrd.Doç.Dr. Ramazan YILMAZ’a çok teşekkür ederim.

Tez çalışma esnasında izin almamda hiçbir zaman zorluk çıkarmayarak bizleri her zaman ve her fırsatta destekleyen Hendek İlçe M. E. Müdürü Sayın Ahmet YILMAZ’a çok teşekkür ederim.

Çalışmalara gösterdiği desteklerden dolayı Hendek Meslek Yüksek Okulu Öğr. Gör. M. Fatih KUTLU’ya, Metal Eğitimi Bölümü Arş. Gör. Mücahit GÖKMEN’e ve teknik öğretmen arkadaşım Ali TÜRKYILMAZOĞLU’na, Hendek A.K.V. Anadolu Meslek Lisesi, Endüstri Meslek Lisesi ve Mesleki Eğitim Merkezinde görevli tüm mesai arkadaşlarıma yardımlarından ve her zaman yanımda olmalarından dolayı teşekkür ediyorum. Ayrıca Hendek Endüstri Meslek Lisesi Metalişleri Öğretmeni Vedat BAY’a da yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

Sertlik deneyleri ve çentik darbe deneylerinin yapılmasında yardımcı olan NOKSEL firmasına kalite kontrol şefi mühendis Korhan AKTOLGA, diğer yetkili ve çalışanlarına çok teşekkür ediyorum. Kromel Paslanmaz Çelik A.ř.’den kaynak işlemlerinin yapılmasından dolayı Türker TÖRÜNLER’e ve yetkililerine, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği teknikeri Ersan DEMİR’e mikroyapı çalışmalarında yardımcı olan Fuat KAYIŞ’a teşekkür ediyorum.

Ağustos 2006

Sedat ABUÇ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	XIII
ÖZET.....	XIV
SUMMARY.....	XV
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
PASLANMAZ ÇELİKLER.....	5
2.1. Paslanmaz Çelikler	5
2.2. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	8
2.3. Paslanmaz Çeliklerde Faz Diyagramları.....	8
2.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	12
2.5. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	16
2.6. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	19
2.7. Dupleks Paslanmaz Çelikler.....	23
2.6. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler.....	25
BÖLÜM 3.	
ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI.....	28
3.1. Giriş.....	28
3.2. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Karşılaşılan Problemler.....	29
3.2.1. Krom karbür çökeltmesi ve taneler arası korozyon	29
3.2.2. Sıcak çatlak oluşumu.....	33

3.2.3. Sigma fazı oluşumu.....	37
3.3. Tig Kaynak Yöntemi.....	38
3.3.1. TIG kaynak donanımı.....	39
3.3.2. TIG kaynak elektrodları.....	40
3.3.3. İlave kaynak metalleri.....	41
3.3.4. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar.....	42
3.3.4.1. Argon gazı	43
3.3.4.2. Helyum gazı	45
3.3.4.3. Hidrojen gazı	46
3.3.4.4. Azot gazı	50
3.3.4.5. Argon+karbondioksit gazı	55
3.4. Paslanmaz Çeliklerin Birleştirilmesinde Kullanılan Diğer Kaynak Yöntemleri	57
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	63
4.1. Denede Kullanılan Malzemeler ve Kaynak Yöntemleri	63
4.2. Mekanik Deneyler.....	65
4.2.1. Çekme deneyleri.....	65
4.2.2. Vickers sertlik deneyleri.....	66
4.2.3. Eğme deneyleri	66
4.2.4. Çentik darbe deneyleri.....	67
4.3. Mikroyapı İncelemesi.....	69
4.3.1. Optik mikroskop incelemeleri.....	69
4.3.2. Tarama elektron mikroskobu(SEM) ve element analizleri	69
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	70
5.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	70
5.2. Sertlik Deneyi Sonuçları	77
5.3. Eğme Deneyi Sonuçları	80
5.4. Çentik Darbe Tokluk Deneyi Sonuçları.....	80

5.5. Çentik Darbe Kırılma yüzey incelemeleri	83
5.6. Mikroyapı İncelemeleri.....	88
5.6.1. Optik mikroskop aydınlık alan incelemeleri	88
5.6.2. Optik mikroskop karanlık alan incelemeleri.....	93
5.6.3. SEM mikroyapı incelemeleri	97
5.6.4. SEM EDS elemental nokta analizleri	105
5.6.5. SEM EDS elementel çizgisel analizleri.....	110
BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	117
6.1. Sonuçlar.....	117
6.2. Öneriler.....	119
KAYNAKLAR.....	120
ÖZGEÇMİŞ.....	125

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Numune kalınlığı
c	: Ölçü uzunluğu içinde numune genişliği
$\sigma_{\text{ç}}$: Çekme dayanımı
σ_{k}	: Kopma dayanımı
σ_{a}	: Akma dayanımı
σ	: Gerilme
σ_{o}	: Ortalama gerilme
R	: Yükleme durumu
ITAB	: Isını Tesiri Altında Kalan Bölge
TIG	: Tugsten Inert Gas
MIG	: Metal Inert Gas
304	: Ostenitik Paslanmaz Çelik
316	: Ostenitik Paslanmaz Çelik
316Ti	: Ostenitik Paslanmaz Çelik
ER316L	: Ostenitik TİG Kaynak İlave Teli
ER308L	: Ostenitik TİG Kaynak İlave Teli
ER347Si	: Ostenitik TİG Kaynak İlave Teli
HMK	: Kübik Hacim Merkezli
YMK	: Kübik Yüzey Merkezli

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Fe-Cr alaşımlarında Cr miktarının korozyon direncine etkisi....	6
Şekil 2.2.	Demir krom faz diyagramı.....	9
Şekil 2.3.	Farklı karbon içerikleri için demir krom faz diyagramı.....	9
Şekil 2.4.	a). % 4 Ni b) % 8 Ni içeren Fe % 18 Cr-C alaşımları faz diyagramı.....	10
Şekil 2.5.	Katılma Faz sınırlarını da içeren WRC-1992 Diyagramı.....	11
Şekil 2.6.	Schaeffler ve DeLong diyagramları.....	12
Şekil 2.7.	Fe-Cr-C alaşımları faz diyagramı.....	16
Şekil 2.8.	Martenzitik paslanmaz çeliklerin çentik darbe özellikleri ve temperleme sıcaklığına etkisi.....	23
Şekil 3.1.	18Cr/8 Ni (0.10 C)' lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökmesi (X 1200)	30
Şekil 3.2.	Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon.....	31
Şekil 3.3.	Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesine bağlı olarak krom azalması (şematik)	31
Şekil 3.4.	Katılma faz sınırlarını da içeren WCR - 1992 diyagramı.....	36
Şekil 3.5.	TIG kaynak donanım şeması.....	39
Şekil 3.6.	Çeşitli asal gaz karışım gaz atmosferinde oluşan ark gerilimi... ..	44
Şekil 3.7.	Gazaltı kaynak yönteminde kullanılan gazların sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenliklerinin değişimi.....	48
Şekil 3.8.	Sıcaklığa bağlı olarak gaz entalpilerinin değişimi.....	49

Şekil 3.9.	Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarına bağlı olarak (a) kaynak metalinde ölçülen azot miktarı, (b) 316L östenitik paslanmaz çelik için gerilim değerleri ve (c) farklı ısı girdilerinde kaynak metalindeki ferrit miktarı.....	52
Şekil 3.10.	Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarının kaynak dikişinin nüfuziyetine ve genişliğine etkisi.....	53
Şekil 3.11.	Koruyucu gazdaki azot içeriğinin 316L ve 310 östenitik paslanmaz çeliğin artık gerilmelerine etkisi.....	54
Şekil 3.12.	Düşük ısı girdisi altında 316L östenitik paslanmaz çeliğin (a) argon + % 0 azot ve (b) argon + % 8 azot içeren koruyucu gazla yapılan kaynak dikişinin mikroyapı fotoğrafları.....	54
Şekil 3.13.	Kaynak metalindeki azot içeriğinin 304 ve 310 östenitik paslanmaz çeliklerin (a) açılmal distorsiyonuna (b) kalıntı ferrit miktarına etkisi.....	55
Şekil 4.1.	Kaynakla birleştirilmiş parçalardan çıkarılan çekme, eğme sertlik ve mikroyapı numuneleri.....	66
Şekil 4.2.	Şematik olarak gösterilen birleştirilmiş paslanmaz çelik numunenin Vickers sertlik değerlerinin alındığı bölgeler.....	66
Şekil 4.3.	Eğme deneyi.....	67
Şekil 4.4.	Çentik darbe test numune ölçüleri.....	68
Şekil 5.1.	Farklı koruyucu gaz atmosferi kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen a) AISI 304 b) AISI 316 c) AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama eğrileri.....	72
Şekil 5.2.	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	74
Şekil 5.3.	AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	75
Şekil 5.4.	AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	77
Şekil 5.5.	TIG kaynak yöntemiyle AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde koruyucu gazın sertlik değerlerine etkisi.....	78

Şekil 5.6.	TIG kaynak yöntemiyle AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde koruyucu gazın sertlik değerlerine etkisi.....	79
Şekil 5.7.	TIG kaynak yöntemiyle AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde koruyucu gazın sertlik değerlerine etkisi.	79
Şekil 5.8.	Eğme deneyi yapılan numunenin yük uzama eğrisi.....	80
Şekil 5.9.	Çentik darbe numune resimleri.....	81
Şekil 5.10.	Şekil 5.10 Farklı koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çelik parçalara uygulanan çentik darbe deney sonuçlarının grafiksel gösterimi	82
Şekil 5.11.	Farklı koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çelik parçalara uygulanan çentik darbe deney sonuçlarının grafiksel gösterimi.	83
Şekil 5.12.	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C sıcaklıklarda yapılan darbe-çentik deneyi sonrası elde edilen SEM kırılma yüzeyi görüntüsü.....	85
Şekil 5.13.	AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzeyi görüntüsü.....	86
Şekil 5.14.	a)hidrojen b) argon+ helyum koruyucu gazı altında birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklıklarında yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzeyi görüntüsü.	87
Şekil 5.15.	a) hidrojen b) argon+ helyum koruyucu gazı altında birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklıklarında yapılan darbe-çentik deneyi sonrası elde edilen SEM kırılma yüzeyi görüntüsü.....	88
Şekil 5.16.	Argon+%25 helyum koruyucu gazı altında ER308L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.....	90
Şekil 5.17.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER308L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.....	90
Şekil 5.18.	Argon+%5 azot koruyucu gazı altında ER308L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.....	91

Şekil 5.19.	Argon+%25 helyum koruyucu gazı altında ER316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.....	91
Şekil 5.20.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.....	92
Şekil 5.21.	Argon+%5 azot koruyucu gazı altında ER316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.....	92
Şekil 5.22.	Argon+%25 helyum koruyucu gazı altında ER347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.....	93
Şekil 5.23.	Argon+%5 azot koruyucu gazı altında ER347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.....	93
Şekil 5.24.	Argon+%25 helyum koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.....	94
Şekil 5.25.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.....	94
Şekil 5.26.	Argon+%5 azot koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.....	95
Şekil 5.27.	Argon+%25 helyum koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.....	95
Şekil 5.28.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.....	96
Şekil 5.29.	Argon+%5 azot koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.....	96
Şekil 5.30	Argon+% 25 helyum koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.....	97

Şekil 5.31.	Argon+%5 azot koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.....	97
Şekil 5.32.	Argon+%5H atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.....	99
Şekil 5.33.	Argon+%25He atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.....	100
Şekil 5.34.	Argon+%5N atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.....	101
Şekil 5.35.	Argon+%5H atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.....	102
Şekil 5.36.	Argon+%25He atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.....	103
Şekil 5.37.	Argon+%5N atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.....	104
Şekil 5.38.	Argon+ %5 hidrojen koruyucu gazı kullanılarak birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları.....	105
Şekil 5.39.	Argon+ % 25 helyum koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları.....	106
Şekil 5.40.	Argon+ %5 azot koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları.....	107
Şekil 5.41.	Argon+ %5 hidrojen koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları.....	108
Şekil 5.42.	Argon+ % 25 helyum koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları.....	109

Şekil 5.43.	Argon+%5 azot koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları.....	110
Şekil 5.44.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.....	111
Şekil 5.45.	Argon+%25 helyum koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.....	112
Şekil 5.46.	Argon+%5 azot koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.....	113
Şekil 5.47.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.....	114
Şekil 5.48.	Argon+%25 helyum koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.....	115
Şekil 5.49.	Argon+%5 azot koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.....	116

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Alaşımız çelik ile paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması.....	8
Tablo 2.2.	Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları.....	13
Tablo 2.3.	Çeşitli ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları.....	18
Tablo 2.4.	Çeşitli martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları.....	21
Tablo 2.5.	Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri..	22
Tablo 2.6.	Bazı dubleks paslanmaz çeliklerin bileşimleri.....	25
Tablo 2.7.	Bazı çökelme sertleşme paslanmaz çeliklerin bileşimleri.	27
Tablo 3.1.	Karbon içeriğinin ve kritik sıcaklığının kuluçka periyoduna etkisi.....	32
Tablo 3.2.	Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri ve tanım renkleri (DIN 32528)	40
Tablo 3.3.	Tungsten elektrotların bileşim ve çaplarına göre akım yüklene bilme kapasiteleri.....	41
Tablo3.4.	Bazı TIG ilave tellerin kimyasal bileşimleri.....	42
Tablo 3.5..	Gazaltı kaynaklarında kullanılan gazların kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	48
Tablo 4.1.	Çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal birleşimi.....	63
Tablo 4.2.	Çalışmalarda kullanılan ilave metallerin kimyasal birleşimleri..	64
Tablo 4.3.	Çekme deneyleri yapılan parçalarına uygulanan TIG kaynak yönteminde kullanılan parametreler.....	65
Tablo 4.4.	Charpy çentik deneyi yapılan numunelere uygulanan kaynak yöntemleri, şartlar ve ilgili kaynak parametreler.....	68

Tablo 5.1.	Uygun ilave metalleri kullanılarak birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin çekme deneyi sonrasında elde edilen değerler.....	71
Tablo 5.2	Çalışmada kullanılan malzeme ve ilave metalar kullanılarak yapılan birleştirmelerde çeşitli diyagramlar kullanılarak elde edilen Cr _{eş} , Ni _{eş} ve ferrit değerleri.....	89

ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAĞINDA KORUYUCU GAZIN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

SEDAT ABUÇ

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz Çelikler, TIG, Koruyucu Gaz, Mekanik Özellikler, Mikroyapı

Bu çalışmada, paslanmaz çeliklerin tungsten inert gas (TIG) kaynak yöntemi ile birleştirilmesi esnasında kullanılan koruyucu gaz kompozisyonlarının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisinin araştırılmıştır. Çalışmada, AISI 304, AISI 316 ve AISI 316Ti tip östenitik paslanmaz çelik malzemeler TIG kaynak yöntemi ile küt alın kaynak dizaynında ve yatay pozisyonda her bir çeliğe uygun ilave metaller kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirme esnasında koruyucu gaz olarak saf argon, argon+%25 helyum, argon+%5H₂ ve Argon+%5N₂ kullanılmıştır. Birleştirilen parçaların çekme, eğme, sertlik ve bir kısmına çentik darbe gibi mekanik deneyler uygulanmıştır. Bu çalışmalara paralel optik mikroskopta aydınlık alan ve karanlık alan, tarama elektron mikroskobu (SEM) da hem mikroyapı ve kırılma yüzey morfolojileri hem de noktasal ve çizgisel enerji dağılımı spektrometre (EDS) element analizleri yürütülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, birleştirme esnasında kullanılan koruyucu gaz kompozisyonunun birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin hem mikroyapı hem de çekme dayanımı, çentik darbe tokluğu gibi mekanik özellikleri etkilediğini göstermiştir.

THE EFFECT OF SHIELDING GAS COMPOSITION ON MECHANICAL PROPERTIES OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS WELDED BY GTAW

SEDAT ABUÇ

SUMMARY

Key words: Stainless steel, GTAW, Shielding gases, Mechanical properties, Microstructure

The aim of this study was that the effect on shielding gas compositions on the mechanical and microstructural properties of austenitic stainless steel weldments were investigated. In this study, AISI 304, AISI 316 and AISI 316Ti types of austenitic stainless steels will be welded by gas tungsten arc welding (GTAW) on but joined and flat position using suitable filler materials for each stainless steel. Pure argon, argon+25%He, argon+5% H_2 and argon+5% N_2 were used as shielding gases. Various characterization techniques such as, tensile testing, bending testing and hardness measurements have been carried out and Charpy V impact test for some of them at various temperatures were determined. Parallel microstructural studies were carried out on welded work pieces. Basic microstructural investigations were performed using optical microscopy with the techniques of light area and dark areas. Both detailed microstructural studies and fracture surface morphologies were also carried out using scanning electron microscope (SEM) with the techniques of point and linear elemental energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis. The results obtained in the experimental work show that shielding gas compositions have an effect on both microstructures and mechanical properties such as tensile strength, Charpy impact toughness values of the weldments..

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler; bileşimlerinde en az % 11 oranında krom içeren çeliklerdir. Sahip oldukları üstün mekanik özellikleri ve korozyon dirençlerinden dolayı günümüz endüstrisinin en önemli malzemelerinden biri olup, 170'ten fazla farklı paslanmaz çelik türü bulunmaktadır [1-3]. Bu malzemeler günümüzde gıda endüstrisinde, depolama tankı olarak, basınçlı kaplar yapımında, fırın parçalarında, çeşitli dekoratif işlemlerde kullanılmakta olup, kullanma alanları da her geçen gün biraz daha artmaktadır [1, 2, 4-6]. Paslanmaz çelik 540 °C'ye kadar oksidasyona dayanım gösterir. Östenitik paslanmaz çelikler en çok kullanılan paslanmaz çelik türleri olup, bu çeliklerden en çok AISI 304 ve AISI 316 tipi paslanmaz çelikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin uygulanma alanları yukarıda bahsedilmiş olup, bunlara ilave olarak paslanmaz çelikler ev eşyalarından başlayarak, kimya, petro-kimya, gıda, fırın parçaları, yanma odaları, ısıl işlem ekipmanları, ısıtıcılar, çeşitli taşıtların kasalarının imalatı ve pompa milleri gibi birçok alanda yaygın kullanıma sahiptirler [1-3, 5, 6]. Esasında, paslanmaz çelikler her geçen gün biraz daha önem kazanan ve uzay endüstrisinden tıp alanlarına kadar geniş bir kullanım alanlarına sahip olup, her türde ve biçimde bulunabilen ve kolaylıkla şekillendirilebilen bu çeliklerin geliştirilmiş kaynak yöntemleri ile başarılı bir şekilde birleştirildiklerinden uygulama alanları her geçen gün daha da genişlemektedir [7].

Mekanik özellikler açısından ekonomik olarak üretilebilen düşük alaşımlı çeliklerle benzer mekanik özellikler gösteren paslanmaz çeliklerin, yüksek maliyetlerine rağmen yaygın kullanılmalarının esas nedeni yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır. Korozyona ve oksidasyona karşı direncin artırılabilmesi çelik içerisindeki krom miktarının % 12 'den fazla olmasına bağlıdır. Krom çeliği ince taneli yapmakta kritik soğuma hızını azaltmakta ve dolayısıyla çelik üzerinde sertleştirici etki yapmaktadır [8]. Esasında çeliğin içerisindeki krom miktarının artışı yüzeyde sıkı ve ince krom oksit tabakası oluşturmada oluşan bu

tabaka ile yüzey pasif hale getirilerek yüzeyi dış tesirlere karşı korumaktadır. Bu yüzey tabakası çeliğe atmosferin olumsuz etkilerinden koruduğu gibi, nitrik asit gibi oksitleyici asitlere karşı da korumaktadır. Günümüz endüstrisinde redükleyici asitlere karşı direncin artırılması için paslanmaz çeliklerin içerisinde nikel ve molibden gibi alaşım elementleri bulunmaktadır [7].

Esasında yukarıda belirtildiği gibi paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından pahalı olmalarına karşın bakım ve işlenmesinin ucuz ve kolay ömürlü olmaları, geri kazanımın mümkün olması ve çevre dostu bir malzeme olması nedenlerinden dolayı birçok uygulamada büyük avantajlar sağlamaktadır. Günümüzde ve gelecekte üretim teknolojisinde kaydedilen gelişmeler sayesinde diğer malzemelerle arasında olan fiyat farkları azalacağı düşünülmektedir. Günümüzde değişik amaçlarla kullanılan çeşitli paslanmaz çelik türleri vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Östenitik paslanmaz çelikler
- Ferritik paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Dupleks paslanmaz çelikler
- Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çeliklerde iç yapıyı belirleyen en önemli elementler krom, nikel, molibden ve mangandır. Özellikle krom ve nikel mikroyapının ferritik veya östenitik olmasını sağlayan önemli elementlerdir. Östenitik ve ferritik çelikler tüm paslanmaz çelikler içerisinde kullanım alanları % 95 değerlerine ulaşmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde farklı kaynak yöntemleri kullanılmasına rağmen ince ve orta kesitli parçalar birleştirilmesinde gazaltı kaynak yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 8-11]. TIG kaynak yöntemi el ile ve otomatik olarak 6,5 mm'ye kadar kalınlıktaki saçların birleştirilmesinde başarılı olarak uygulanmaktadır [1, 11, 12]. Gazaltı kaynaklarında kaliteli bir birleştirmenin sağlanabilmesi için koruyucu gaz ve ilave metalin seçimi oldukça önemlidir. TIG kaynak yöntemi ile birleştirme işlemlerinde çeşitli soy gazlar ve bu gazların karışımları koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. TIG kaynak

yönteminde daha önce belirtildiği gibi koruyucu gaz ile yapılan kaynağın güzelliği ve mukavemeti açısından çok önemli olup ark ve ilave metal şekli ile birleştirme esnasında harcanan enerji miktarı üzerinde etkili olmaktadır. Seçilen gazın cinsi ve kompozisyonu birleştirilen malzemenin mikroyapısına ve mekanik özelliklerine önemli şekilde etki etmektedir [10, 12–29].

Östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi esnasında en çok kullanılan koruyucu gaz saf argondur. Bu gazın yanında gazaltı kaynaklarında Ar + He + CO₂ içeren gazlar kullanılmaktadır. Ar + O karışımı gazlar kaynak banyosunda oksidasyona neden olmasına rağmen daha iyi ark dengesi sağlandığından MIG (metal inert gaz) kaynağında argon + % 1-2 oksijen kullanıldığında spreyci ark geçişi sağlanmaktadır [20, 30, 31]

Östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi esnasında saf argona belli oranlarda hidrojen ilavesi kaynak hızının artmasına katkıda bulunmakta olup, kaynak esnasında eriyen metal miktarının artması kaynak banyosunun daha akışkan olması nedeniyle yapılan birleştirmenin estetik görünümüne sahip ve daha üstün mukavemet değerlerine sahip birleştirmeler elde edilmektedir [8, 13, 15, 18, 24]. Dolayısıyla östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan gazlar elde edilen dayanım değerlerine etki etmektedir [10, 14, 16, 19, 21, 23, 25, 27].

Paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde koruyucu gaz olarak argon içerisine azot gazı kullanıldığında azot gazının ostenit dengeleyici özelliğinden faydalanılacak kaynak metalindeki δ-ferrit oranını kontrol edilmektedir [12, 14, 15, 18]. Görüldüğü gibi koruyucu gazlar paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynakları ile birleştirilmesinde malzemenin mekanik ve mikroyapı özelliklerine önemli şekilde etki etmektedir. Kaynaklı birleştirmelerde yapılan birleştirmelerin güvenli olarak kullanılmaları açısından gereklidir.

Gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen östenitik paslanmaz çelik konstrüksiyonların mekanik özelliklerin belirlenmesi imalatı yapılan konstrüksiyonun daha güvenli kullanılması açısından önemlidir. Gazaltı kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilen paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinin sertlik dağılımı, çentik darbe deneyleri, çekme mukavemeti ve yorulma özelliklerinin bilinmesi gereken önemli özellikler olup, kaynak bölgesinin mikroyapısının bu özelliklere etkisi oldukça önemlidir. Bundan dolayı bu çalışmada, endüstriyel açıdan önemli AISI 304, AISI 316 ve AISI 316Ti

tipi östenitik paslanmaz çelik çeşitli ilave metalleri kullanılarak argon, argon + % 5 hidrojen, argon + % 25 helyum ve argon + azot karışimli gaz kullanılarak yatay pozisyonda düz alın şekilde ve birleştirilip koruyucu gazın kaynak dikişinin mekanik özellikleri ile mikroyapısına olan etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda birleştirilen parçaların mikroyapı karakterizasyonu da yapılarak elde edilen mekanik deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür bilgileri ile yorumlanmıştır.

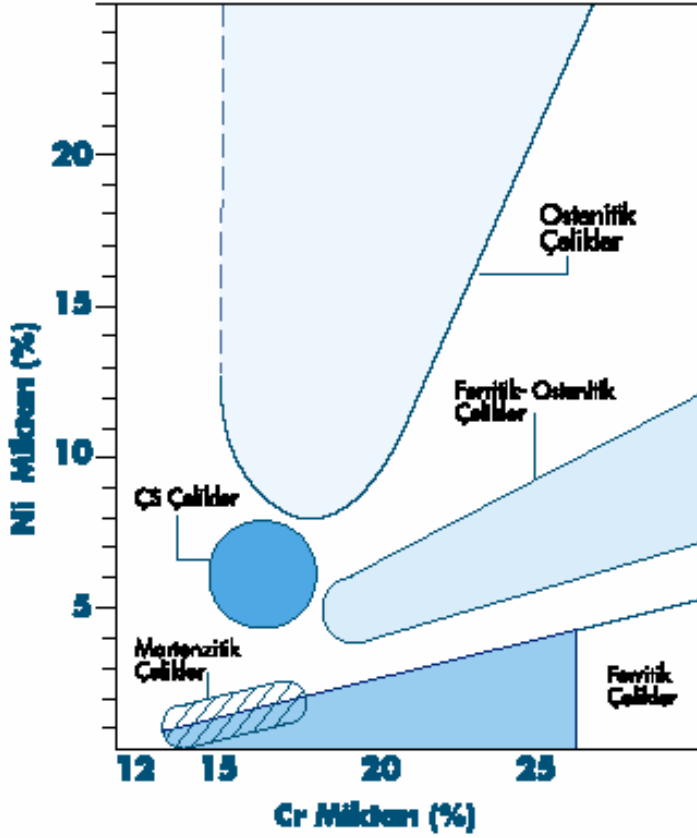
Bu çalışmada hazırlanan tez 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde paslanmaz çeliklerin tanımı ve önemi, çeşitleri ve çalışma gerekçesi hakkında bilgiler bu tezin giriş bölümünde verilmiştir. Giriş bölümüne takiben 2. bölümde ise paslanmaz çelikler hakkında genel bilgiler ile çeşitleri, kullanım yerleri ve çeşitli mekanik ve fiziksel özellikleri hakkında bilgiler sunulmaktadır. Bölüm 3 'de paslanmaz çeliklerin kaynağı, kaynaklı birleştirmelerde karşılaşılan problemler, kullanılan koruyucu gazlar ve kaynaklı birleştirmelere etkileri verilmiştir. Bölüm 4'de ise, bu çalışmada yapılan deney çalışmaları ve izlenen deneysel metotlar açıklanmıştır. Bölüm 5'de bu çalışmanın en can alıcı kısmını oluşturmakta olup kaynaklı parçaların sertlik, çekme, eğme ve çentik darbe deneyleri ile ilgili yapılan deneysel sonuçlar ile mikroyapı incelemesi sonuçları, koruyucu gazların mekanik özelliklere etkilerinin sonuçlarının yorumu yapılarak bu çalışmanın en önemli amacı kullanılan koruyucu gazların kaynaklı birleştirilen malzemelerin mukavemetine ve mikroyapısına etkileri açıklanmış olup, literatür bilgilerine dayanılarak elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Bu çalışmanın son kısmı olan 6. bölümde ise elde edilen genel sonuçlar ve gelecekte aynı konuda araştırma yapacaklara hitap eden öneriler kısmı bulunmaktadır.

BÖLÜM 2 PASLANMAZ ÇELİKLER

2.1. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliği kazandıran alaşım elementi olan krom; yunanca bir kelime olup, renk kelimesinden türetilmiştir ve bu alaşımlar metalografik dağlama araçlarına karşı dirençli olduklarından bu malzemelere paslanmaz çelik adı verilmiştir. Bu çelikleri tarih içerisindeki geliştirme çalışmalarında asitlere dayanıklılığı keşfedilmiştir. Aynı zamanda krom karbürleri çözelti haline getirerek bu alaşımı daha sünek hale getirilmiş ve 1914 yılında Krupp tarafından endüstriyel çapta ilk paslanmaz çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonraları ferritik ve östenitik tipler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. II. Dünya savaşı sonrasında östenitik paslanmaz çelik için nikel bulunmakta zorluk çekildiğinden bu element yerine mangan ve azot kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda farklı ihtiyaçların karşılanması amacıyla dubleks ve çökeltme sertleşmeli çelik türleri de, geliştirilerek üretilmeye başlanmıştır [7]. Günümüzde değişik amaçlarla kullanılan farklı paslanmaz çelik türleri vardır ve bu çelik türleri Şekil 2.1. de belirtildiği gibi nikel ve krom miktarına göre değişmektedir.

Paslanmaz çelik malzemelerin içerisindeki alaşım elementleri ferrit ve östenit oluşturuca olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Ferrit oluşturuca elementlerin mikroyapı içerisindeki işlevleri aşağıda sıralanmaktadır:



Şekil 2.1. Paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları [5]

Krom : Ferrit oluşumunda etkili olup malzemenin korozyon ve oksidasyon direncini arttırmaktadır.

Molibden : Ferrit oluşumuna katkıda bulunmakla beraber malzemenin yüksek sıcaklıklardaki direncini artırmakla beraber indirgeyici ortamlarda malzemenin korozyona karşı direncini de arttırmaktadır.

Niyobyum ve titanyum : Malzeme içerisinde taneler arası korozyon hassasiyetinin azaltılması amacıyla malzeme içerisine ilave edilmekte olup, malzeme içerisindeki karbonla birleşerek krom karbür çökmesini önler. Çünkü, bu elementler özellikle niyobyum kuvvetli karbür yapıcıdır. Ayrıca, bu elementlerin tane küçültücü etkisi olup, ferrit oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Bu elementler aynı zamanda martenzitik paslanmaz çelik türlerinde karbonu bağlayarak çeliğin sertleşme eğilimini azaltmaktadır.

Fosfor, kükürt ve selenyum: Paslanmaz çeliklerin işlenebilme kabiliyetini arttırmakta olup,

kaynak esnasında sıcak çatlak oluşumuna neden olduğundan paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetini sınırlamaktadır. Bu elementler paslanmaz çeliklerin kaynağında nufuziyetin artmasına katkı sağlamaktadır [1].

Ferrit oluşturan elementlerin yanında bu tür malzemelerde östenit oluşan elementlerde bulunmaktadır. Bu elementlerin isimleri ve fonksiyonları aşağıda belirtilmektedir:

Karbon: Kuvvetli östenit oluşturu element olmakla beraber krom ile reaksiyona girerek taneler arası korozyona neden olmaktadır.

Nikel: Paslanmaz çelik malzemelerde östenit oluşumunu sağlamakla beraber yüksek sıcaklık dayanımını ve korozyona karşı direnci ve malzemenin sünekliğine katkıda bulunmaktadır.

Azot: Paslanmaz çelik malzemelerde çok kuvvetli östenit oluşturu olup, en az nikel elementi kadar etkilidir.

Bakır: Korozyon dayanımlarını arttırmak amacıyla paslanmaz çeliklere malzemelere katılmakta olup gerilmeli korozyon çatlamaına karşı hassasiyeti azaltmakta ve çökeltme serleşmesini sağlamaktadır.

Ferrit ve östenit oluşturu elementlerden başka paslanmaz çelik malzeme içerisinde nötr elementlerde bulunmakta, bunların isim ve fonksiyonları aşağıda sıralanmaktadır:

Mangan: Oda sıcaklığı civarında östenitin kararlı olmasını sağlamakla beraber yüksek sıcaklıkta ferrit fazının oluşmasına neden olmaktadır.

Silisyum: Paslanmaz çelik malzemelerin tufallaşmasını önlemektedir. Mikroyapı içerisinde % 1 oranından daha fazla olması durumunda ferrit ve sigma fazının oluşumunda etkili olmakta ve paslanmaz çelik malzemedeki oksit giderme amacıyla az miktarlarda eklenmektedir. Akışkanlığı kaynak esnasında banyonun akışkanlığını arttırmakta ve kaynak metalinin ana metalinin daha iyi ıslatılmasını sağlamaktadır [1].

2.2. Paslanmaz Çelikler Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin sahip olduğu bazı fiziksel özellikler Tablo 2.1.'de verilmiştir. Tablodan anlaşıldığına göre paslanmaz çelikler ile adi karbonlu çeliklerin sahip olduğu bazı fiziksel özellikler farklılık göstermektedir. Östenitik paslanmaz çeliğin sahip olduğu ısı iletkenliği adi karbonlu çeliklerin 1/3 'ü kadar olmasına rağmen ısıl genleşme katsayıları % 50 kadar daha fazladır. Bu durum bu tür malzemelerin kaynak esnasında ısının bir yerde yoğunlaşması ve malzemelerin distorsiyon oluşturması gibi bazı problemlerin oluşmasına neden olmaktadır [8]. Paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri az alaşımlı çeliklerden farklılık göstermektedir. Bu tür çeliklerin sertleşme kabiliyetleri malzemenin içerdiği karbon miktarına bağlı olarak artmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi paslanmaz çeliklerin tercih edilmesindeki en büyük sebep mekanik özelliklerinden daha ziyade oksidasyon ve korozyona karşı dirence sahip olmalarıdır.

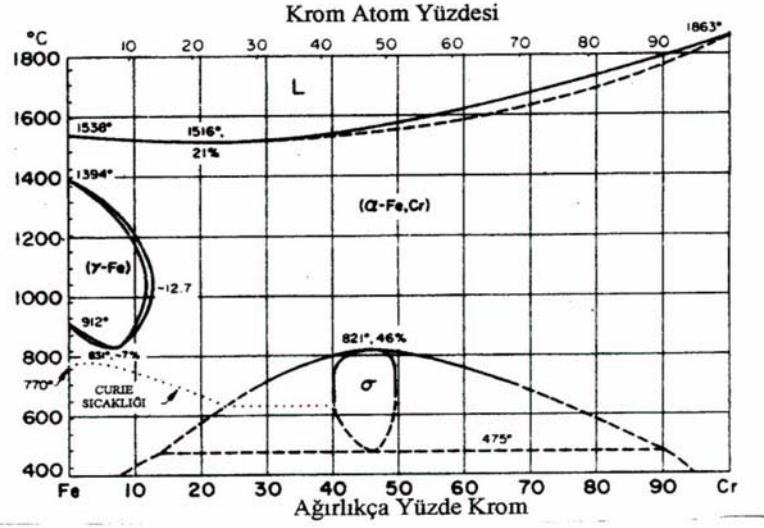
Tablo 2.1. Alaşımsız çelik ile paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması [8]

Özelliği	Birimi	Alaşımsız çelik (St 37-3)	Ferritik kromlu paslanmaz çelik	Östenitik Krom-Nikelli paslanmaz çelik
Isı iletkenliği	1 (cm.sK)	0.50	0.25	0.15
Isıl genleşme katsayısı	K ⁻¹	12.10 ⁻⁶	11.10 ⁻⁶	16.10 ⁻⁶
Elektrik iletme direnci	Ωmm ² /m	0.107	0.475	0.769

2.3. Paslanmaz Çeliklerde Faz Diyagramları

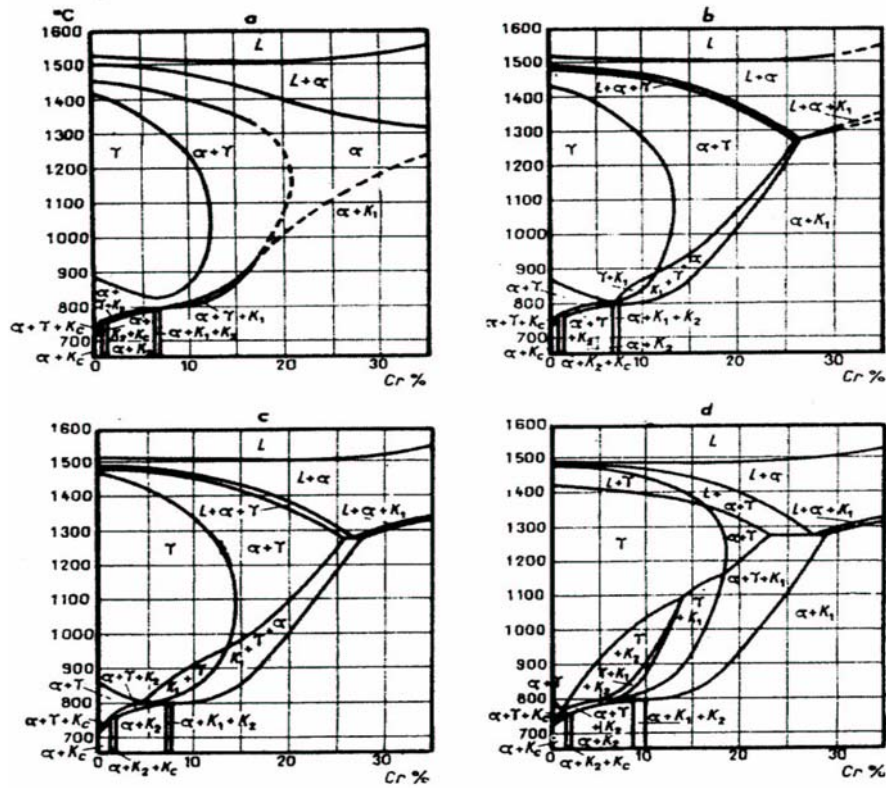
Paslanmaz çeliklerin temelini demir krom sistemi oluşturmakta olup, krom hacim merkezli kübik (HMK) yapısına sahip ferritiği kararlı hale gelmektedir. Östenit yapıyı oluşturan bölgede 1000 °C sıcaklığında % 12 'ye kadar krom çözülmemektedir.

Şekil 2.2.'de demir-krom sistemi verilmektedir [2].



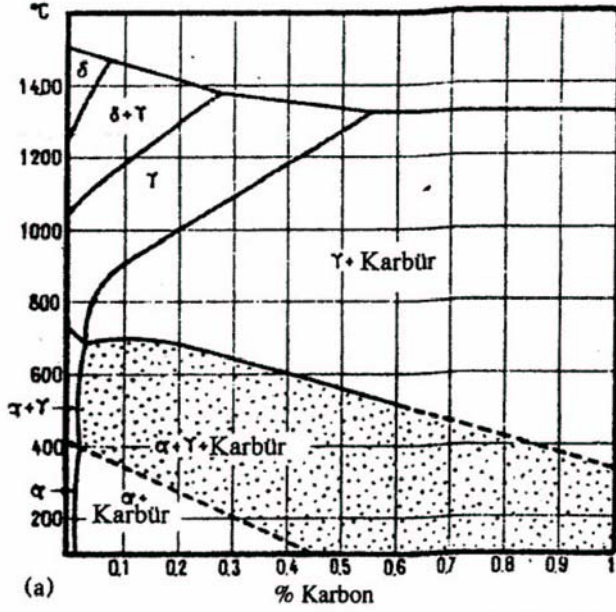
Şekil 2.2. Fe-Cr faz diyagramı [2]

Demir-karbon sistemi içerisinde karbon katıldığında Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi karbon östenit kararlaştırıcı element olup, paslanmaz çelik malzeme içerisinde karbon miktarı % 0,05'ten % 0,4'de yükseldiğinde östenit faz alanının genişlediği görülmektedir. Daha sonraki ortamlarda değişik krom karbürleri oluşmaktadır.

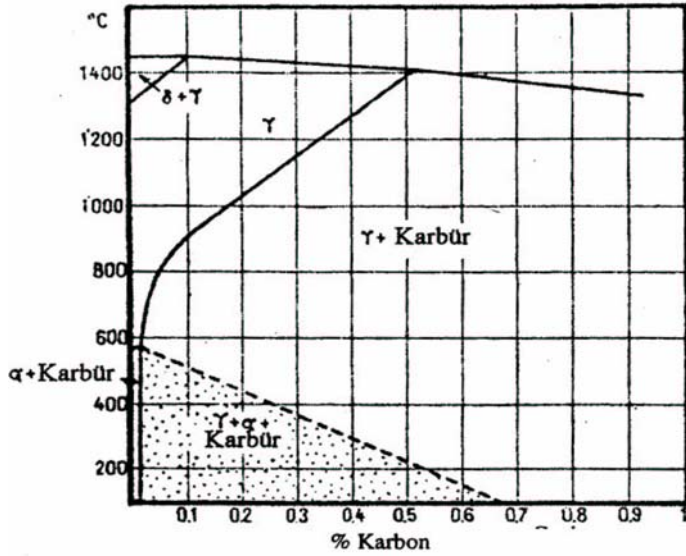


Şekil 2.3. Farklı karbon içerikleri Fe-Cr faz diyagramı a)% 0,05 C b)% 0,1 C c)%0,02 C d)%0,4 C [2].

Demir nikel alaşımlarında ise; nikel yzey merkezli kzbik (YMK) yapıya sahip olduğundan nikel demire katıldığında ostenit fazını kararlı hale getirmektedir. Düşük karbonlu çeliklerde çeliklere yeterli miktarda nikel katılmadığı durumlarda paslanmaz elik malzeme oda sıcaklığında bile östenitik olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.4 a, b' de demir krom Fe-Cr-C alaşımları faz diyagramı verilmektedir.



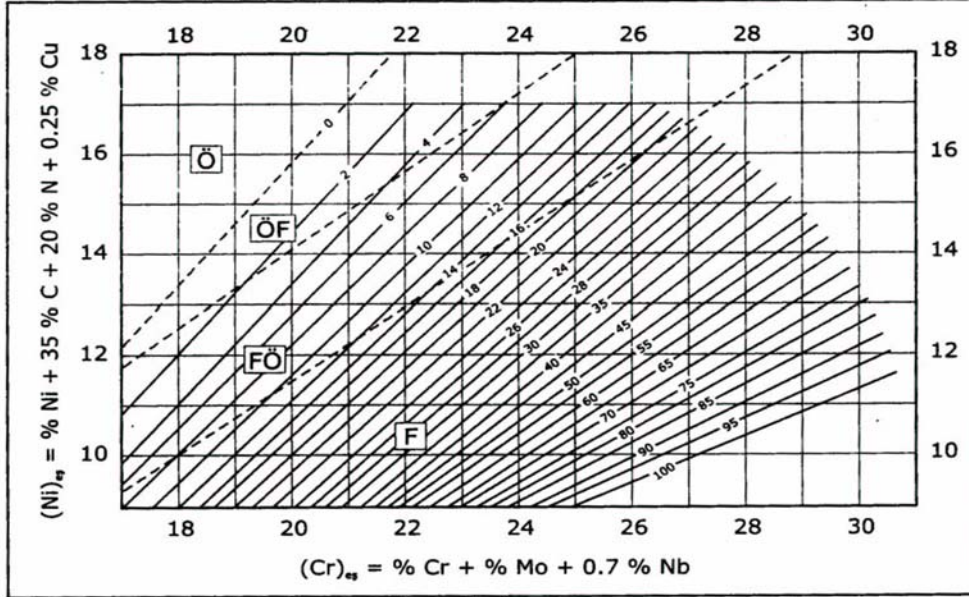
a)



b)

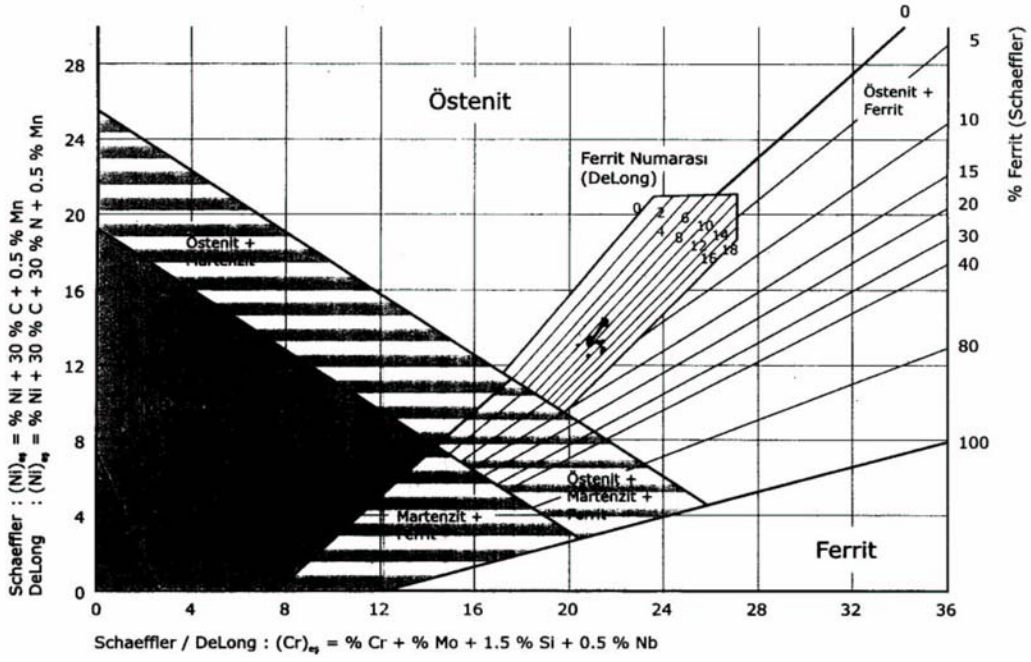
Şekil 2.4 a). % 4 Ni b) % 8 Ni içeren Fe % 18 Cr-C alaşımları faz diyagramı [2]

Paslanmaz çelik alaşım elementleri etkinlik dereceleri ferrit dengeleyicileri $(Cr)_{eş}$ östenit dengeleyici $(Ni)_{eş}$ şeklinde gruplayarak değerlendirilmektedir. Yıllardan beri araştırmaların sonucunda formüller geliştirilmiş olup, Thomas bu amaçla max. Ni konsantrasyonunu çelikteki diğer alaşım elementlerinin bir fonksiyonu olarak ifade etmiş ve çelikteki ferrit miktarı aşağıdaki tablo ile hesaplanmıştır (Şekil 2.5. ve 2.6) [1].



Şekil 2.5 Katılaşma Faz sınırlarını da içeren WRC-1992 Diyagramı [1]

Schaeffer diyagramına göre söz konusu çeliğe ait herhangi bir nokta Cr ve Ni eşdeğerleri hesaplandıktan sonra belirlenmektedir.



Şekil 2.6. Schaeffler ve DeLong diyagramları [1]

2.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelik malzemelerin içerisinde yeterli miktarlarda nikel bulunduğunda mikroyapı oda sıcaklığında da östenitik yapı şeklindedir. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde % 16–25 krom, % 10–24 nikel + mangan, % 0,4'e kadar karbon ve çok az miktarlarda molibden, titanyum, niyobyum gibi alaşım elementleri içermektedir. Paslanmaz çelik içerisinde krom ve nikel+mangan oranları ayarlandığında mikroyapı ostenit yapıdan oluşmakta ve geniş bir sıcaklık aralığında yüksek tokluk ve mukavemet değerleri göstermektedir. Aynı zamanda bu malzemeler 540 °C'ye kadar oksidasyona karşı dirençlidir. Tablo 2.2.'de bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve endüstrideki kullanım alanları verilmektedir.

Tablo 2.2. Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları [2].

AISI Tip	Cr %	Ni %	C(mak.) %	Mn %	Diğerleri %	Tipik uygulamalar
301	17	7	0.15			Yüksek pekleşme hızı, yüksek dayanım, yüksek sünekliğin gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Tren yolu arabaları, treyler gövdeleri uçak parçaları, sıkma bilezikleri otomobil tekerlek kapakları, çeşitli süslemeler
304	19	9	0.08			Kaynak sırasında karbür çökmesi sınırlamak için tip 302'nin düşük modifikasyonu. Kimyasal ve yiyecek işleme ekipmanları, soğuk kaplar, sac kaplamalar
304L	19	10	0.03			Kaynak sırasında karbür çökmesi sınırlamak için tip 304'ün daha fazla düşük karbon modifikasyonu. Kömür silo hatları, sıvı gübreleme tankları
309	23	13.5	0.20			Yüksek sıcaklık dayanımı ve oksitlenme direnci, uçak ısıtıcıları, ısıl işlem ekipmanları, tavlama kapakları, fırın kaplamalar, pompa parçaları.
310	25	20.5	0.25			309'dan daha yüksek oksitlenme direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı, ısı değiştiricileri, kaynak dolgu metalleri, gaz türbin bıçakları
316	12	8	0,08	2,5		304'den daha yüksek korozyon direnci, yüksek sürünme dayanımı, kimyasal taşıma ekipmanları, maya tüpleri.
316L	12	8	0,03	2,5		Tip 316'nın daha fazla karbon modifikasyonu taneler arası karbür çökmesini önlemek zorunda olduğu kaynaklı yapılar, 316L yoğun kaynak gerektiren yerlerde kullanılır.
321	18	10.5	0.08		Ti 5XC	Çok şiddetli korozyon şartlarına maruz kaynaklı bağlantılar, kaynatma kazanları, kabin ısıtıcıları.
347	18	11	0.08		Nb 10XC	Yüksek sürünme dayanımıyla birlikte tip 321'e benzer, uçak egzost bacaları, jet motor parçaları, kimyasal maddeler için kaynaklı tanker arabaları.

Östenit paslanmaz çelikler soğuma esnasında ostenit→ferrit dönüşümü gerçekleşmediğinden su verme ile sertleştirilemezler ve aynı zamanda manyetik değildirler. Bu çelikler AISI 3XX serisi içerisinde gruplandırılırlar. Aynı zamanda DIN 17440, EU 88, EU 95 ve TS 2535'e göre yüksek alaşımlı çelikler gibi simgelenirler. TS 2535 östenitik paslanmaz çeliklerin bileşiminde korozyona karşı krom ve ostenitik bir yapı sağlamak amacıyla nikel bulunan, oda sıcaklığında manyetik olmayan ısıl işlem ile sertleştirilemeyen soğuk şekillendirmeye elverişli paslanmaz çelikler şeklinde tanımlanmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direnci martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Yapının

östenitik olması ferritik paslanmaz çeliklerde karşılaşılan çok önemli sorun olan geçiş sıcaklığı altında gerçekleşen gevrekleşme bu çeliklerde görülmez. Gerek 0,6 (-270'e kadar) ve gerekse yüksek sıcaklıklardaki korozyon dirençleri, mekanik özelliklerin üstünlüğü bu çelik grubunun birçok alanda rakipsiz bir yapı çeliği olarak kullanılmasını sağlamıştır. Bu nedenle östenitik paslanmaz çelikler ABD'de (Amerika Birleşik Devletleri) paslanmaz çelik üretiminin % 70'ini oluşturmaktadır. Bu malzemeler yüksek korozyon direncinden ve şekillendirilebilme kabiliyetlerinden dolayı bir çok mühendislik uygulamaları için arzu edilen özelliklere sahiptir [2].

Östenitik paslanmaz çelikler yüzey merkezli kübik yapıya sahip olup bu çeliklerde mukavemet, yoğun katı eriyik mukavemetlenmesi ile elde edilir. Bazen soğuk deformasyon sonucu pekleşmeye uğrayan östenitik paslanmaz çeliklerin mukavemetleri ferritik paslanmaz çeliklerden fazla olabilir. Bu çeliklerde içerisinde nikel ve krom miktarının artması maliyetin artmasına neden olabilir [2]. Östenitik paslanmaz çeliklerde X5CrNi1810 (304) östenitik paslanmaz çelik korozyon direnci ve şekillendirilebilme kabiliyeti gibi üstünlüklerinden dolayı en çok bilinen ve en yaygın kullanılan östenitik paslanmaz çelik olup plastik şekil değiştirme sertleşmesi ile mukavemet arttırılabildiğinden yüksek mukavemet gerektiren makine parçalarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. AISI 304 paslanmaz çeliğin içerisinde karbon miktarı azaltıldığında elde edilen ürün AISI 304L olmaktadır. Bu tür çok düşük karbonlu östenitik paslanmaz çeliklerin geliştirilmesinin amacı kaynak esnasında ısı tesiri altında kalan bölgede oluşan ve taneler arası korozyona neden olan karbür çökmesinin önlenmesidir. % 2 molibden içeren AISI 316 tipi östenitik paslanmaz çelik yüksek korozyon direncine ve iyileştirilmiş yüksek korozyon direncine sahiptir. Paslanmaz çelik içerisindeki krom miktarı % 23–25 arttırılmış olan AISI 309 ve AISI 310 tipi östenitik paslanmaz çelikler yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır. AISI 316L tipi düşük karbon içeren östenitik paslanmaz çelikler taneler arası korozyonu önlemek amacıyla üretilmiştir.

X6CrNiTi1810 (321) ve X6CrNiNb1810 (347) östenitik paslanmaz çelikleri titanyum ve niyobyum ile stabilize edilerek yüksek sıcaklıklarda kaynak bağlantılarındaki taneler arası korozyonun önlenmesi amaçlanmıştır [32].

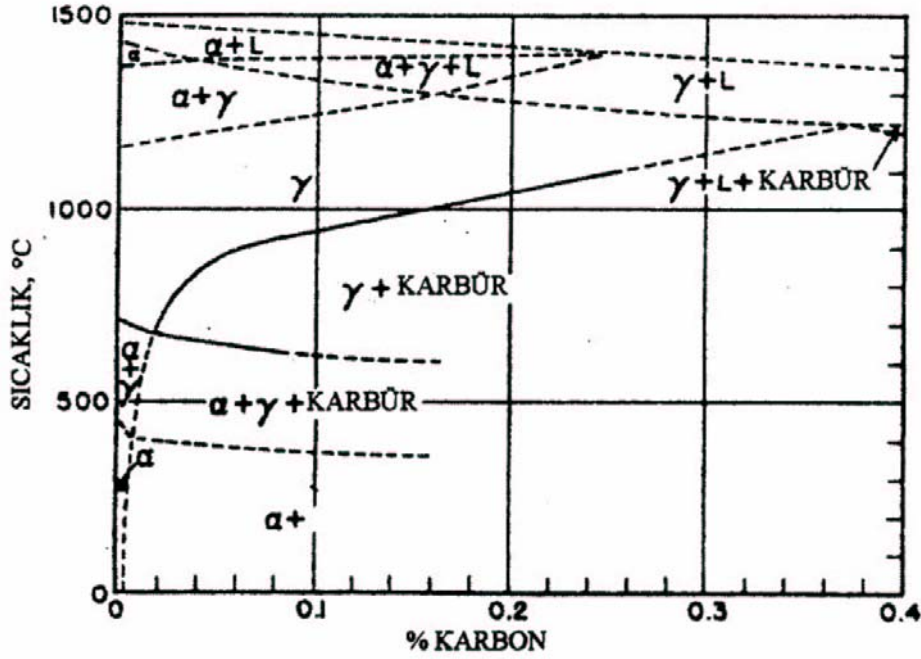
Östenitik paslanmaz çelikler genellikle nemli ortamlarda kullanılmakta olup artan krom ve molibden miktarları agresif çözeltilere karşı korozyon dirençlerinin arttırılmasını sağlamaktadır. Özellikle östenitik paslanmaz çeliklerin birleşimindeki nikel miktarı gerilmeli

korozyon çatlamasına karşı riski azaltmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerin birleşiminde bulunan alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak genel korozyona çukurcuk ve aralık korozyonuna karşı dirençleri arttırmaktadır. Bu durum östenitik paslanmaz çeliğin krom içeren ortamlarda kullanılması durumunda daha da önem kazanmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerde bileşimdeki molibden ve krom miktarının artışına paralel olarak çukurcuk ve aralık korozyonuna karşı dirençleri de artmaktadır [32].

Daha öncede belirtildiği gibi östenitik paslanmaz çeliklerde en yaygın olarak kullanılan AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelikler olup bu çelikler aşağıda sıralanan özelliklere sahiptir.

- Mükemmel korozyon dayanımına,
- Mükemmel kaynak edilebilme kabiliyetlerine,
- Sünek olduklarından kolay şekillendirilebilmeye,
- Hijyeniktirler, temizliği ve bakımı kolaylığı,
- Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahip olması,
- Düşük sıcaklıklarda mükemmel mekanik özellikleri mükemmeldir.
- Manyetik değildirler. (tavlanmış halde)
- Dayanımları sadece pekleşme ile artırılabilme gibi özelliklere sahiptir.

En yaygın olarak kullanılan AISI 304 tipi paslanmaz çelikler % 0,06 karbon içermekte olup bu tip çeliklerde karbon eriyebilirliği sıcaklığa paralel olarak düştüğü için bu tip alaşımlar yavaş soğutulduklarında krom karbür çökelme olmaktadır. Şekil 2.7.'de Fe-Cr-Ni alaşımları için faz diyagramı verilmektedir.



Şekil 2.7 Fe-Cr-C alaşımları faz diyagramı [2].

Krom karbür çökmesiyle ilgili husus bir sonraki bölümde daha detaylı olarak bahsedilecek olup, bu kısımda özet olarak bahsedilmektedir. Örnek olarak verilirse, AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik 1050 °C sıcaklığında oda sıcaklığına yavaş bir şekilde soğutulursa 850-450°C sıcaklıkları arasında krom karbür tane sınırlarına çökecektir. Tane sınırlarına yakın bölgelerde korozyon direnci için gerek olan %12'den daha az krom içermesi sonucu malzeme korozyona karşı hassas hale gelmektedir.

2.5. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler endüstride oldukça yaygın olarak kullanılmakta olup bileşiminde alaşım elementlerinin özellikleri ile karbon miktarına bağlı olarak % 16-30 krom içermektedirler, manyetikler, soğuk veya sıcak haddelenebilirler. Bu tür malzemelerin sahip olduğu tokluk süneklik değerleri ve korozyon direnci normalizasyon ve ısıtma işlem yapıldığında maksimum değerler elde edilmektedir. Bu malzemelerin talaşlı işlenebilme kabiliyetleri ve korozyon dirençleri martenzitik paslanmaz çeliklerden daha üstündür [32]. Bu tip paslanmaz çelikler her sıcaklıkta Ferritik yapıya sahip olduklarından ve aynı zamanda östenitik oluşturulmadığından ısıtma işlem ile sertleştirilemezler. Ferritik paslanmaz çeliklerin bazıları AISI 405, 409, 430, 442 ve 446'dır.

Ferritik paslanmaz çeliklerin diğer paslanmaz çeliklerden ayıran en önemli özelliği kaynak esnasında ve ısı etkisi altında kalan bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğuna önemli

derecede düşüŖe neden olan tane büyümesidir. Ferritik paslanmaz çelikler pahalı ve stratejik bir element olan nikel içermediğinden diğere çeliklere göre daha ekonomiktir. Ferritik paslanmaz çelikler birleşimlerinde korozyon direncini sağlayacak miktarda krom veya kroma ilave olarak yüksek sıcaklıklarda östenitik oluşumunu dengeleyici alüminyum, niyobyum, molibden ve titanyum gibi ferrit dengeleyici elementler katılmaktadır. Bu tip paslanmaz çelikler sahip olduğu başlıca özellikler aşağıda sıralanmaktadır.

- Korozyon dayanımı orta ile iyi derece arasında olup, krom miktarının artması ile iyileşmektedir.
- Isıl işleme dayanım artırılabilir. Bu nedenle ve sadece durumda olan paslanmaz çelikler tavllanmış durumda kullanılmaktadır.
- Manyetikler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.
- Östenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezler.

Bu tip çelikler parlak ve dekoratif görünüşüne sahip olduğundan östenitik paslanmaz çeliklerden sonra en çok kullanılan paslanmaz çeliklerdir. Bu çeliklerin içermiş olduğu birleşim oranı ve kullanımı oranları Tablo 2.3'de verilmektedir.

Tablo 2.3. Çeşitli ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları [2].

AISI Tip	Cr %	C(mak.) %	Mo %	A %l	Diğerleri %	Tipik uygulamalar
405	13	0.08		0.2		Havada sertleşen AISI 410 ve AISI 403 gibi tiplerin istenmediği montajlar için sertleştirilmeyen sınıf. Tavlama ve sertleştirme kutuları, oksidasyon dirençli bölmeler.
409	11	0.08			Ti 6xC	Genel amaçlı yapım paslanmaz çelikleri: otomobil egzost sistemleri, tarımsal püskürtme için tanklar.
430	17	0.12				Genel amaçlı sertleştirilmeyen krom tip: dekoratif süsleme, nitrik asit tankları, tavlama kutuları, bulaşık makineleri, motor kapakları, ısıtıcılar.
434	17	0.12	1			Kış yol şartlarının ve toz yayma bileşiklerinin varlığında atmosferik korozyon direnç için tasarlanmış AISI 430 tipinin modifikasyonu.
436	17	0.12	1		Nb 5xC	AISI 430 ve AISI 434 tiplerine benzer. Alçak çatı omurgalarının gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Otomobil süslemeleri gibi genel korozyon ve ısı direnç uygulamaları.
442	20.5	0.20				Yüksek kromlu çelik, prensip oksidasyona uğramadan, yüksek sıcaklık direncine zorunlu parçalar, fırın parçaları.
446	25	0.20				Yüksek sıcaklıklarda oksitlenme ve korozyona yüksek direnç gösterirler. Tavlama kutuları, cam kalıpları, valfler, ısıtıcılar

Genel olarak bu tip paslanmaz çelikler aşağıda sıralanan yerlerde kullanılmaktadır.

- Cihaz yapımı
- Otomotiv endüstrisi
- Mutfak ve ev aletleri
- Kimya ve petro-kimya endüstrisi
- Kaynar su kapları ve boruları
- İç ve dış mimari
- Buhar iletim ve donanımları

Bu tür çeliklerin ısı genleşme katsayıları düşük alaşımlı çeliklerinkine yakın olup ısı iletkenlik katsayıları normal çeliklerin yarısı kadardır [33].

2.6. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler % 11,5'dan fazla krom içermekte olup, yüksek sıcaklıklarda ostenitik yapıya sahip olan ve uygun bir ısı işlem ve soğutma ile oda sıcaklığında martenzitik yapı elde edilebilen paslanmaz çeliklerdir. Bu tür paslanmaz çeliklerde krom miktarı dönüşümün gerçekleştirilebilmesi için kompozisyonda yüksek sıcaklıklarda östenit alanı içerisinde olabilmesi için krom miktarı belli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Paslanmaz çelik içerisinde bulunan karbon östenit halkasını genişlettiğinden karbon yardımıyla paslanmaz çelik içerisinde krom miktarının minimum %11,5 maksimumda %18 olması gerekmektedir. Burada bahsedilen krom miktarının alt sınırı korozyon direnci, üst sınırı ise çeliğin yüksek sıcaklıkta tamamen östenitik yapıya dönüşebilme özelliğini belirlemektedir [32].

Martenzitik paslanmaz çeliklerin birleşiminde krom miktarı % 12–17 karbon miktarı % 0,1'den fazla olduğunda yüksek sıcaklıklarda ostenitik yapıya sahip olmaktadır. Östenitleşme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950–1050°C arasındadır. Bu sıcaklıklarda belirli bir süre tutularak östenitik yapı elde edilebilen çelik soğutulduğunda martenzitik yapı elde edilmekte olup, yüksek sıcaklık ve mukavemet değerleri elde edilmektedir. Bahsedilen bu mekanik özellikler paslanmaz çelik içerisindeki karbon miktarı ile birlikte paralel olarak artmaktadır.

Martenzitik paslanmaz çelikler genellikle su verilmiş ve menevişlenmiş veya tavllanmış olarak kullanılırlar. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kritik soğuma hızlarının çok yavaş olması nedeniyle havada bile soğutulduğunda Martenzitik yapı elde edilir. Martenzitik durumda korozyon dirençleri iyi olup 815°C 'ye kadar

paslanmazlık özelliklerini korurlar. Uzun süreler yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında korozyona uğrayabilirler. Bu nedenle bu tip paslanmaz çelikler endüstriyel uygulamalarda 700°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar. Martenzitik paslanmaz çelikler aşınma dirençlerinin yanında korozyon dirençlerine sahip olmaları nedeniyle çatal-bıçak takımı, rulmanlı yatak, pompa ve valflarda kullanılır [34]. Esasında çeşitli martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları Tablo 2.4.'de verilmiştir. Bu tür çeliklerin dayanım ve sertliğini arttırmak amacıyla ısıtma işlemleri uygulamakta ve daha sonra temperleme işlemi yapılmaktadır [2]. Bu tür çeliklerin sahip olduğu özellikler aşağıda sıralanmaktadır.

- Orta derecede korozyon dayanımı.
- Bu tür çeliklere ısıtma işlemi uygulanabilmekte olup, yüksek dayanım ve sertlik elde edilebilmesi.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüklüğü.
- Manyetik olmaları gibi özelliklerdir.

Tablo 2.4. Çeşitli martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları [2].

AISI Tip	Cr %	C %	Ni %	Mo %	V %	Tipik uygulamalar
403	12.2	0.15				“Türbin kalitesi” sınıf buhar türbin bıçakları ve jet motorları halkalarında içeren diğer oldukça gerilimli parçaların üretiminde.
410	12.5	0.15 mak.				Genel amaçlı ısıt işlemlendirilebilir tip olup, Makine parçaları, pompa şaftları, jet motor parçaları, maden makinelerin üretiminde.
414	12.5	0.15 mak.				410 tipinin yüksek karbon modifikasyonu, mutfak gereçleri, cerrahi aletleri, valfler
420	13	>0.15				Yüksek sertleşebilir çelikler, yaylar, temperlenmiş çiziciler, civatalar.
422	12	0.22	1	0.25	1	1200 °F’ta kadar hizmet sıcaklıklarında yüksek dayanım ve tokluk özelliğine sahiptir. Buhar türbin bıçakları, sıkma bileziklerinde kullanılır
431	16	0.20 mak.	1.8			Yüksek mekanik özelliklerinin gerekli olduğu yerlerde kullanılan, sertleşebilen özel amaçlı çelikler, uçak ekipmanları, dövücü kollar, kağıt makineleri.
440A	17	0.72				İyi korozyon direnci ile birlikte tip 420’den daha yüksek sertliğe sertleşebilir.çatal, kaşık, cerrahi takımlar.
440B	17	0.85				Çatal kaşık sınıfı, valf parçaları, alet yatakları
440C	17	1.07				Sertleşebilir paslanmaz çeliklerin en yüksek sertliğini oluşturur. Bilyeler, yataklar, yarış bisikletleri, petrol kuyuları için yataklar, valf parçaların üretiminde.

Bu çeliklerin dayanım ve sertliğini arttırmak için çeşitli ısıt işlemler uygulanmaktadır. Esas olarak az karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere uygulanan işlemlerle aynı olup bu işlemlerde alaşım östenitlenir ve yeterli soğutma hızı ile hızı soğutulur bu malzemelerin tokluğunu artırmak için temperlenir [2].

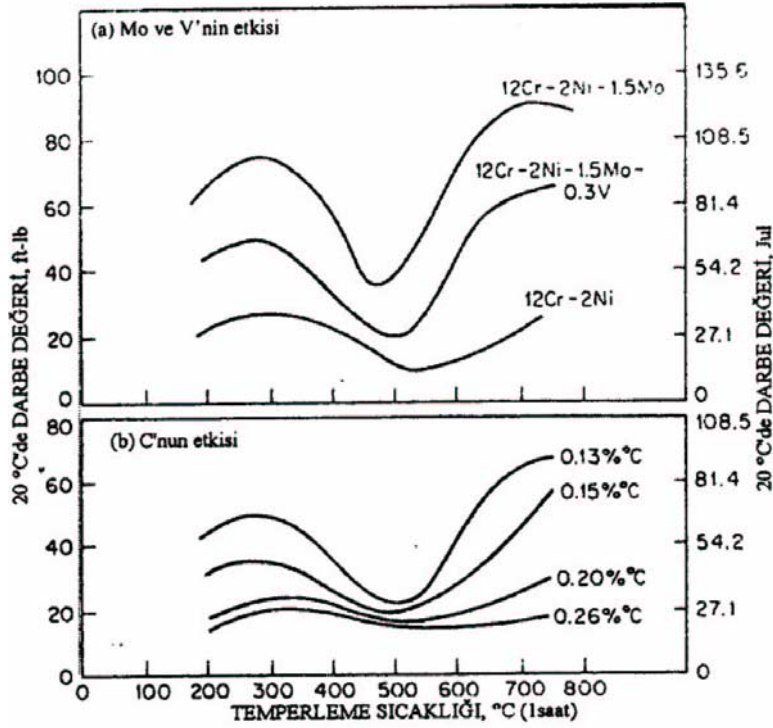
Martenzitik paslanmaz çeliklerde mukavemet değerleri, ısıt işlem şartları ile mekanik özellikleri Tablo 2.5.’de görülmektedir.

Tablo.2.5. Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri [1]

Çelik Türü	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı MPa	Akma Dayanımı % 0.2 MPa	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
410	Tavlı	517	276	30	65	B 82
410	Temperlenmiş (427°C)*	1344	1034	17	55	C 41
410S	Tavlı	414	207	22		B 95 M
410Nb	Tavlı	483	276	13	45	
410Nb	Temperlenmiş (Ara Tav)**	862	689	13	45	
420	Tavlı	655	345	25	55	B 92
420	Temperlenmiş (315°C)*	1586	1344	8	25	C 50
440A	Tavlı	724	414	20	45	B 95
440A	Temperlenmiş (315°C)*	1793	1655	5	20	C 51
440B	Tavlı	738	427	18	35	B 96
440B	Temperlenmiş (315°C)*	1931	1862	3	15	C 55
440C	Tavlı	758	448	13	25	B 97
440C	Temperlenmiş (315°C)*	1965	1896	2	10	C 57

(ASM Metals Handbook, 8. Baskı, Cilt 1 ; ve 9. Baskı, Cilt 3 ve ASTM Standartları)

Bazı tip paslanmaz çeliklerin çentik darbe özellikleri ve temperleme sıcaklığın etkisi Şekil 2.8.'de gösterilmektedir. En yüksek darbe değerleri 450–550°C sıcaklık arasında gerçekleşmektedir. Esasında martenzitik paslanmaz çelikler toklukları zayıftır.



Şekil 2.8. Martenzitik paslanmaz çeliklerin çentik darbe özellikleri ve temperleme sıcaklığına etkisi [2]

2.7. Dubleks Paslanmaz Çelikler

Dubleks çift fazlı iç yapıya sahiptir. Ferrit taneleri içerisinde östenit veya östenit taneleri içerisinde ferrit içeren paslanmaz çelikler olup, östenitik paslanmaz çeliklere karşılaştırıldığında en önemli üstünlükleri akma mukavemetleri iki kat daha büyük ve çok daha iyi korozyon dirençlerine sahip olmalarıdır. Endüstriyel uygulamalarda klor içeren sıvıların kullanılması, kullanılacak malzemelerin bilinen önemli paslanmaz çelik türlerine göre örneği AISI 316L arttırılmış mukavemet ve geliştirilmiş korozyon dirençlerine sahip olmaları gerektirir. Bu tür çeliklerin tane büyüklükleri 3–10 μm 'ye kadar küçülebildiğinde 950⁰C civarında %500 gibi bir uzama göstererek 950⁰C civarında yapılan çekme deneyinde %500 gibi uzama göstererek plastik hale gelirler [35].

Dubleks paslanmaz çelikler yüksek oranda krom (%18–28) ve orta oranlarda nikel (%4,5–8) içermektedir. Nikel miktarı maksimum olarak %8 civarındadır. Bu oran içyapının östenitik olması için yeterli değildir. Dubleks paslanmaz çeliklerde çift fazlı mikro yapı çeliğin 1000–1050 °C sıcaklıkta tavlandıktan sonra hızlı bir şekilde soğutulması

ile elde edilmektedir. Dupleks paslanmaz çelikler ferritik-östenitik veya östenitik-ferritik paslanmaz çelikler olarak bilinmekte olup genel olarak ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin en iyi ortak özelliklerini taşırlar. Ferritik yapıyla mukavemet gerilmeli korozyon çatlamaına karşı direnç, östenitik yapıyla ise tokluk ve genel korozyon direnci sağlanır. Böylece iki fazlı ince taneli, yüksek mukavemetli ve iyi korozyon direncine sahip paslanmaz çelikler üretilmektedir. Bu çeliklerin en önemli dezavantajları ise α fazlarının gevrekleşmeye meyilli olmaları, sıcak şekillendirmede karşılaşılan zorluklar ve üretimlerinin zor olmasıdır.

Modern dupleks paslanmaz çelikler ısı işlem gördüğünde -50°C 'nin altında tokluk değerlerinde düşme görülür. Bunun nedeni bu tür çeliklerin içerisinde ferrit fazının bulunması sonucunda çentik darbe eğrisinde, düşen sıcaklığa paralel olarak sünek-gevrek geçiş sıcaklığı da düşmektedir. Bu tip çelikler 475°C gevrekliği ile kullanım sıcaklığında sınırlamalar olmaktadır. Bu nedenle dupleks paslanmaz çelikler $-50-280^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklar arasında mekanik özelliklerini korumaktadır.

Dupleks paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu % 2,5–4 oranlarında molibden içerdiklerinden iyi mukavemet ve süreklilik özelliklerine sahiptir. Korozif ortamlarda bile iyi yorulma dayanımları elde edilmektedir. Verilen tavsiyelere dikkat edildiğinde daha kolay elde edilebilmekte olup, genellikle kimyasal aparatların imalatlarında, arıtma tesislerinde, deniz veya off shore teknolojisinde kullanılmaktadır. Bu tür çeliklerin özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Bu tür çelikler gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıklılığa sahiptir.
- Klor iyonunun bulunmadığı ortamlarda daha yüksek korozif dayanım göstermektedir.
- Diğer paslanmaz çelikler olan östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerden daha yüksek mekaniksel dayanım sağlamaktadır.
- İyi kaynak edilebilirlik ve şekil alma kabiliyeti vardır.

Tablo 2.6’da bazı dubleks paslanmaz çeliklerin bileşimleri verilmiştir. Korozyona karşı direnci bileşimindeki krom soğumakta nikel ise tokluk ve malzemenin şekillendirilebilme özelliğini artırır. Bu tür paslanmaz çelik çukurcuk korozyonu direncini arttırmak amacıyla molibden içermektedir. Taneler arası korozyonu azaltmak için dubleks paslanmaz çeliklerin α - β yüzeylerinin krom karbür çökmesi azalması amacıyla düşük karbon ($\% < 0,03$) içeriğine sahiptir. Dubleks paslanmaz çeliklerde 1000-1150°C sıcaklığında tavlandığında sadece α ve β fazları bulunur. Fazların oluşumunu önlenmesi için hızlı soğutulur [2].

Tablo 2.6. Bazı dubleks paslanmaz çeliklerin bileşimleri [2].

Alaşım	Kimyasal Kompozisyon %wt							
	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	Diğerleri
329	kalan	26.0	5.0	1.5			0.08	
Ferralium	kalan	25.5	5.5	3.0	=2.0	=2.0	0.08	N:0.1; Cu:1.75
7Mo ^b	kalan	25.5	3.7	0.5	=1.0	=0.7 5	0.08	
U50 ^c	kalan	21.0	7.0	2.5	=2.0	=1.0	0.03	N:0.2; Cu:0.5
AF22 ^d	kalan	22.5	5.5	3.0	=2.0	=1.0	0.03	
25Cr-5Ni- 2Mo-N ^e	kalan	25.0	5.0	2.0	0.5	0.5	0.025	N:0.15; Cu:1.0
3RE 60 ^f	kalan	18.5	4.7	2.7	1.5	1.7	0.03	
SAF 2205	kalan	22	5.5	3.0	<2.0	<0.8	0.03	

After R.A., Lula “Stainless Steels.” ASM, 1986, sayfa 74

^a Cabot şirketinin ticari ismi

^b Carpenter teknoloji şirketinin ticari ismi

^c Creusot-Loire’nin ticari ismi

^d Mannesmann AG’nin ticari ismi

^e Nippon Metal Endüstri’nin ticari ismi

^f Sandvik AB’nin ticari ismi

2.8. Çökme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökme sertleşmeli paslanmaz çelikler bakır, molibden, niyobyum, titanyum gibi alaşım elementleri içeren bu elementlerin bir veya bir kaçının etkisiyle çökme sertleşmesi yapılabilen demir, krom, nikel içeren paslanmaz çeliklerdir [2]. Bu paslanmaz çeliklerin içyapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Çökme işleminin gerçekleştirilebilmesi için bazen önceden soğuk şekil verilmesi gerekebilir. Çökme oluşabilmesi alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama

yapılmaktadır. Böylece 1700 MPa çıkan mukavemet değerleri elde edilebilir. Genellikle bu çelikler piyasaya çözüme tavlı görmüş şekilde sunulup çeşitli imalat işlemleri yapıldıktan sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırmasıyla sertleştirilebilmektedir. Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir:

- Bu tür paslanmaz çelikler orta ile iyi derecede korozyon dayanımına sahiptir.
- Çok yüksek mekanik dayanım göstermektedir.
- Oldukça iyi kaynak kabiliyetine sahiptir.
- Miknatıslanma özelliğine sahiptir.

Günümüzde üretilen çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, hızlı uçakların dış yüzeylerinde, füze gövdelerinde, deniz taşıtlarında yakıt tanklarında, uçakların iniş takımlarında, pompalarda, millerde, somun, cıvata, kesici aletler ve kavramalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [32].

Bu çeliklerin en önemli özelliklerinden birisi kolay üretilmeleri ve aynı zamanda yüksek dayanım süneklik ve korozyon direncine sahip olmalarıdır. Bazı çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelik tiplerinin kimyasal bileşimleri Tablo 2.7 verilmektedir. Bu tip paslanmaz çelikler, çözeltiye alma sonrası oluşan fazların oluşturulması işlemlerine göre çelikte oluşan yapısal değişme ve özelliklere bağlı olarak üç farklı tipte gruplanmaktadır.

Yarı östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik çökeltme paslanmaz çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler

Tablo 2.7. Bazı çökeltme sertleşme paslanmaz çeliklerin bileşimleri [2].

Sınıf	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% Mo	% Al	% N
17-7 PH	0.07	0.50	0.30	17.0	7.1		1.2	0.04
PH-15-7 Mo	0.07	0.50	0.30	15.2	7.1	2.2	1.2	0.04
PH-14-8 Mo	0.04	0.02	0.02	15.1	8.2	2.2	1.2	0.005
AM-350	0.10	0.75	0.35	16.5	2.75	2.75		0.10
AM-355	0.13	0.85	0.35	15.5	2.75	2.75		0.12

BÖLÜM 3. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI

3.1 Giriş

Paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti açısından bazı özelliklerini dikkate alınması gerekmektedir. Bu özellikler aşağıda sıralanmaktadır:

- Paslanmaz çeliklerin ısı iletim katsayıları oda sıcaklığında düşük alaşımli ve sade karbonlu çeliklerin sahip olduğu değerlerin 1/3'ü kadardır.
- Paslanmaz çeliklerin ısı genleşme katsayıları sade karbonlu ve düşük alaşımli çeliklerin yaklaşık olarak 1,5 kat kadardır. Diğer bir deyişle %50 daha fazladır.
- Sade karbonlu çelikler düşük elektrik iletme direncine sahip olmalarına karşılık bu değer paslanmaz çelik malzemelerde 5 ile 7 kat daha büyüktür.

Bahsedilen bu özellikler nedeni ile paslanmaz çeliğin kaynağında kendini çekme olayı sade karbonlu çeliklerin kaynağına göre daha fazladır. Kaynak dikişinin soğuması esnasında büyük oranda büzülme meydana gelmekte böylece kaynaklı bölgede oluşan şiddetli gerilmeler çatlama tehlikesine yol açmaktadır. Bundan dolayı paslanmaz çeliklerin çift taraflı iç köşe dikişlerinde sıcak çatlakların meydana gelme ihtimali fazladır [35].

Östenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak açısından genellikle yararlı olup kaynak esnasında düşük ısı girdisi ile çalışması tavsiye edilmektedir. Çünkü oluşan ısı, kaynak bölgesinden, düşük karbonlu çekirdekte olduğu gibi hızlı bir şekilde uzaklaşmamaktadır. Malzemenin direnci yüksek olduğundan direnç kaynaklarında düşük akım değerleri ile kaynak yapılabilir [36].

Östenitik paslanmaz çelikler oksitleyici ve redükleyici ortamlarda iyi korozyon direnci göstermektedir. Kaynakla birleştirilen paslanmaz çelik imalatlarında %90'dan daha fazlasında östenitik paslanmaz çeliklerin kullanılmasının en önemli nedenlerinden biri bu tip çeliklerin iyi kaynaklanabilirlik özelliği ve kaynak sonrasında ana metalle karşılaştırılabilecek derecede kimyasal bileşimlere ve mekanik özelliklere sahip olmasıdır. Östenitik paslanmaz çelikler çeşitli kaynak yöntemleri kullanılarak kolaylıkla kaynak edilebilirler [37]. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilerek birleştirilmesinde daha önceden bahsedilen fiziksel özellikleri dikkate alınması gerekli olup, bu özelliklerin yanında bir dizi metalürjik etkenlerde bu tip paslanmanın kaynağında önemli rol oynamaktadır. Bunlar; δ -ferrit oluşumu, taneler arası korozyona duyarlılık, gerilmeli korozyona duyarlılık ve sigma fazının oluşmasıdır [37–39].

3.2 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Karşılaşılan Problemler

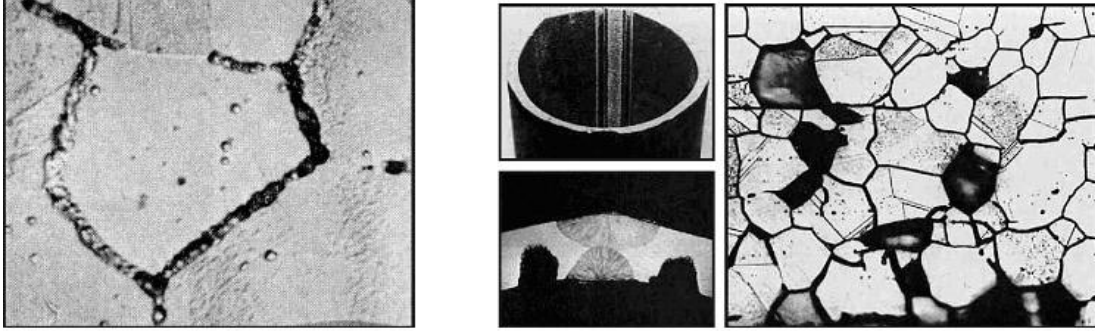
Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında genelde üç temel problemle karşılaşılır. Bunlar;

- Krom karbür çökmesi ve taneler arası korozyon
- Sıcak çatlak oluşumu
- Sigma fazı oluşması

3.2.1. Krom karbür çökmesi ve taneler arası korozyon

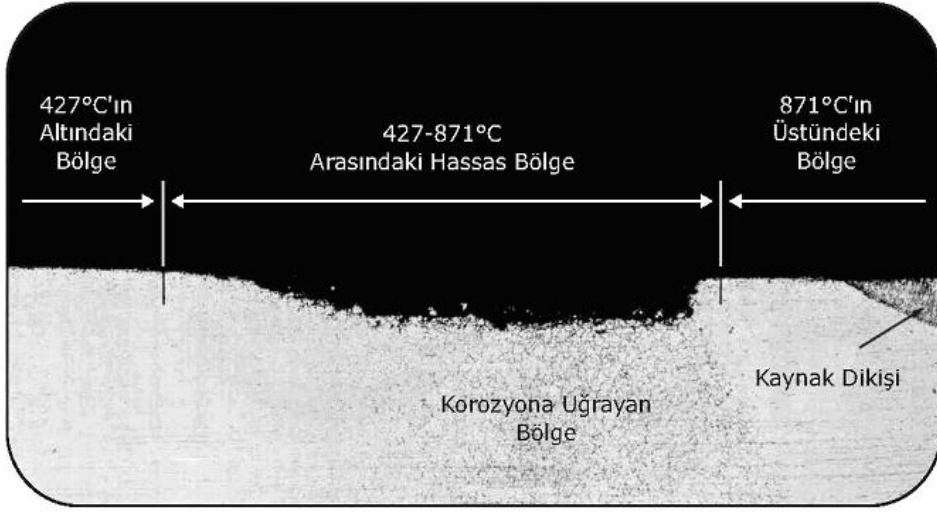
Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirilmesinde ortaya çıkan bir sorun olup, özellikle 18/8 çeliği gibi bazı paslanmaz çeliklerin 450–850 °C sıcaklıklar arasında uzun süre kalmaları sonucunda krom karbür çökmesi meydana gelebilir. Bu tip paslanmaz çelikler üretimleri esnasında krom ve karbürün östenit içerisinde çözüldüğü 1100 °C'den hızla soğutulduklarında bu elementlerin çökme tehlikesi ortadan kalkmış olmakta ve oda sıcaklığında karbonun difüzyon hızı çok düşük olduğundan, paslanmaz çeliklerin kullanımı esnasında oluşma durumu olmamaktadır. Ancak sıcaklığın 450 °C'nin üzerine çıkması ile karbonun difüzyon hızı karbonun tane sınırlarında biriken karbonun kroma karşı olan yüksek ilgisi nedeniyle bu bölgede krom ile birleşerek krom karbür $[(Fe,Cr)_{23}C_6]$ oluşturmaktadır. Oluşan krom karbürün ağırlık olarak % 90'ını krom oluşturduğundan tane

sınırlarında bulunan çok az orandaki karbon bile östenit tanelerinin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır (Şekil 3.1). Bu olay sonucunda paslanmaz çelik malzeme korozif bir oranda bulunduğundan kromca zayıflamış olan tane sınırlarında korozyon oluşmaktadır. Bu şekilde ortaya çıkan taneler arası korozyon paslanmaz çelik malzemeyi çok kısa bir süre içerisinde kullanılmaz hale getirmektedir. Paslanmaz çelik malzeme içerisinde karbon miktarının artışına paralel olarak bu olay şiddetlenmektedir [38]. Östenitik paslanmaz çeliğin kaynağı esnasında eriyen bölge çok kısa bir süre içerisinde katılaştığından ve elektrot olarak kullanılan kısımların karbon içeriği de düşük olduğundan kaynak dikişi için karbür çökeltme tehlikesi yoktur. Ancak ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) kaynak süresi boyunca, 500–900°C sıcaklık aralığında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda karbon içeriğinin yüksek olması halinde östenit tane sınırları içerisinde taneler arası korozyona neden olan karbür çökeltmesi meydana gelmektedir. Başka bir çalışmada ısı tesiri altında kalan bölgenin 427–871°C sıcaklığa kadar ısınan bölgede yer alan tane sınırında meydana gelen krom karbür çökeltmesi Şekil 3-2’de verilmiştir [1].



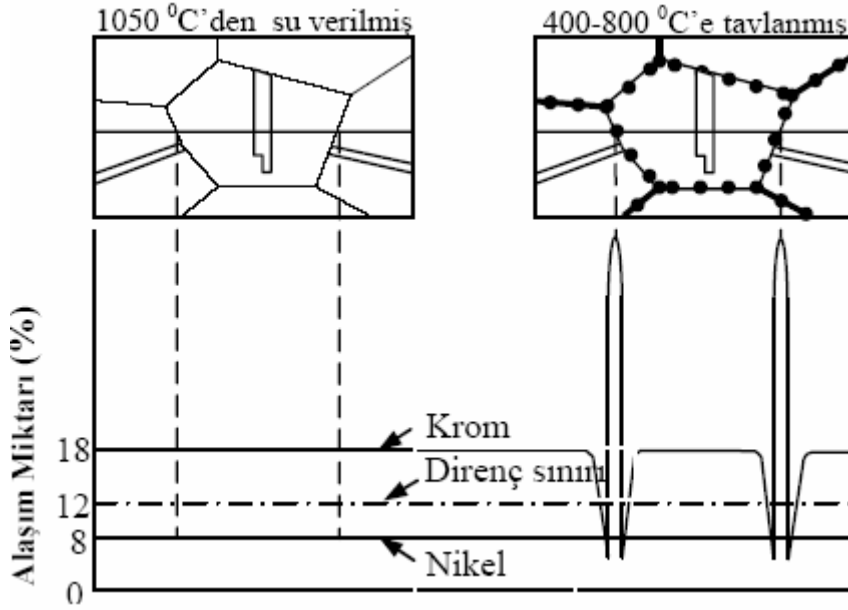
Şekil 3.1. 18Cr/8 Ni (0.10 C)' lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökeltmesi (X 1200) [1]

Krom karbür çökeltme esnasında bu bölgesel alanlarda Cr miktarında azalma olacağı için Şekil 3.3 de görüldüğü gibi korozyon dayanımı düşmektedir.



Şekil 3.2. Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon [1]

Yukarıda bahsedildiği gibi belli bir karbon içeriği için karbür çökmesi olayının şiddeti zaman ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Tablo 3-1 de belirtildiği gibi çökme başlamadan önce sıcaklık ile değişen kuluçka periyodu vardır [30].



Şekil 3.3. Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesine bağlı olarak krom azalması (şematik) [30]

Tablo 3.1. Karbon içeriğinin ve kritik sıcaklığının kuluçka periyoduna etkisi [30]

Karbon içeriği %	Kuluçka periyodu dakika	Kritik sıcaklık °C
0,03	11	650
0,05	7	650
0.06	2,5	670
0.08	0,3	750

Tek paso ile yapılan ark kaynağında ITAB 650–750 °C arasındaki sıcaklığa bir dakikadan daha az bir süre maruz kalmaktadır. Buna karşın çok pasolu kaynak yapılması halinde bu süre 3 dakikanın üzerine çıkmakta ve krom karbür çökmesi tehlikesi meydana gelmektedir. Karbür çökmesinin meydana gelebilmesi için, paslanmaz çeliğin içerisindeki karbonun belli bir miktarının üzerinde olması gerekmektedir. Karbon içeriğinin azalması, kuluçka periyodunu uzatacağından krom karbür çökme tehlikesi ortadan kaldırılacaktır. Bundan dolayı, kaynak ile birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin, karbon içeriğinin maksimum % 0,06 optimum olarak % 0,03 civarında olması gerekmektedir. Bundan dolayı, bazı östenitik paslanmaz çeliklerde içerikteki karbon miktarı düşünülürse korozyon direncinin artırılması amaçlanmaktadır. Bu tip paslanmaz çelikler ELC (Extra Low Carbon) çelikleri olarak adlandırılmakta olup L tipi düşük karbonlu paslanmaz çelik malzemeler ve ilave materyallerin kullanılması ile krom karbür çökmesi önlenebilir. Bunun yanında kaynak işleminin ön tav uygulanmadan yapılması, ısı girdisinin düşük seviyede tutulması özen gösterilmesi ve bakır altlık kullanılarak hızlı bir soğuma sağlanması kritik sıcaklık aralığında kalma süresini kısa tutulması açısından oldukça yararlıdır [1].

Taneler arası korozyonun oluşmasına önlemek amacıyla uygulanan diğer bir yöntemde stabilize edilmiş olan paslanmaz çelik malzemelerinin ve dolgu metallerinin kullanılmasıdır. Bu şekilde stabilizör görevi gören alaşım elementleri karbon ile reaksiyona girerek krom miktarının azalmadan yapıda kalmasını sağlayacağından korozyon direncinde herhangi bir düşüş olmayacaktır. Paslanmaz çelik malzemelerinin içerisine stabilizasyon için ilave edilen elementler titanyum, niyobyum ve tantalyumdur. Bu element karbürler tane sınırları boyunca değil östenit taneleri içerisinde ince

parçacıklar halinde dağılmış olduklarından çeliğin mekanik özelliklerinde herhangi bir değişiklik oluşturmazlar.

Stabilizasyonun gerçekleştirilebilmesi için ilave edilen titanyumun karbonun 4 katı, niyobyumun 8-10 katı, tantalyumun ise 16 katı olması gerekmektedir [38]. AISI 321 kalite östenitik paslanmaz çelikler stabilizör olarak titanyum içerirken, AISI 347 türü paslanmaz çelikler niyobyum (niyobyum+tantalyum) ile stabilize edilmişlerdir. Her iki element de kromdan daha güçlü karbür oluşturma özelliğine sahiptir [1].

Östenitik paslanmaz çeliklerde maliyet açısından titanyum elektrotlarda titanyumun arktaki kaybının fazla olmasından dolayı genellikle niyobyum tercih edilmektedir. Esasında stabilize edilmiş östenitik paslanmaz çeliklerin korozyona karşı dirençlerinin iyi olduğu söylenemez. Çünkü niyobyum, titanyum ve tantalyum karbürler 1300 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çözülür ve karbon serbest kalarak krom karbür oluşturabilir. Bu sıcaklığa ulaşan bölge çok dar bir alan olduğundan erime çizgisine yakın bir yerde çok dar bir alan korozyon direncini kaybetmekte olup, bu olaya bıçak izi etkisi veya korozyonu denilmektedir.

ITAB veya esas metalde krom karbür çökmesi meydana geldiğinde parça 1100 °C dereceye kadar tavlınır su içinde yeniden soğutulduğunda yüksek sıcaklıkta östenit fazı içerisinde çözülmüş bulunan karbürler hızlı bir soğuma esnasında tekrar oluşamazlar. Pratikte böyle bir işlemin uygulanması zor olduğundan krom karbür çökmesine eğimli olan % 0,03'ten fazla karbon içeren östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynakçının alacağı en iyi önlem kaynak dikişini çektikten hemen sonra kaynak edilen parçayı ıslak bir bez veya üstübu ile hızla soğutulmasıdır [38, 40].

3.2.2. Sıcak çatlak oluşumu

Östenitik paslanmaz çeliklerin üretiminde sıvı halden katılaşmaya başladığında yapı içerisinde östenit ve ferrit taneleri oluşmaya başlar δ -ferrit katılaşma esnasında meydana gelen ferrit olup bu yapı östenitin normal dönüşümü sonucunda oluşan ferrit değildir. Katılaşma esnasında östenit taneleri arasına serpilmış δ -ferrit tanecikleri oluşmakta olup

oluşan bu faz, krom ve ferriti dengeleyen elementler yönünden zengin, nikel ve östeniti dengeleyen elementler yönünden fakirdir. Bu faz sıcak şekil değiştirmeyi zorlaştırdığından

malzemede sıcak çatlak oluşumunu teşvik etmektedir. Sıcak haddelemenin rahatlıkla gerçekleştirilmesi için malzeme içerisine nikel, mangan gibi östenit yapıcı element miktarlarının artırılması gerekmektedir. Sıcak çatlamanın temel nedeni; kükürt ve fosfor gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük ergime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bahsedilen bu bileşimler kaynak sonrasında kaynak dikişinin içinde veya ısı tesiri altında kalan bölgede bulunduğu, tane sınırlarına doğru yayılmakta ve kaynak dikişinin soğuması esnasında çekme gerilimleri oluştuğunda sıcak çatlamalara neden olmaktadır.

Sıcak çatlak oluşumu ilave metalinin ve ana metalin kimyasal bileşiminin östenit matrisle düşük oranlarda ferrit içeren bir mikroyapı elde edilecek şekilde ayarlanmasıyla önlenir. Ferrit, kükürt ve fosfor bileşimlerini kontrol altında tutabilen ve ferritik – östenitik yapıya sahip tane sınırları oluşturarak sıcak çatlak oluşumunu engellemektedir [1].

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında oluşan δ -ferrit fazı sıcak çatlama eğilimini arttırmaktadır. Bu bakımdan δ -ferrit kristallerinin oluşumunu katılma ilk kontrol edilmesi östenitik paslanmaz çelik metalin sıcak çatlama direncinin iyileştirilmesinde δ -ferrit faz miktarının ölçülmesi önemli olmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metallere kaynağında metalinin kimyasal bileşiminin yardımıyla δ -ferritin miktarı kontrol altında tutulmaktadır [32].

Sıcak çatlama riskine karşı dayanım elde edebilmek için yapıdaki ferrit miktarının en az %4 olması önerilmektedir. Ferritin varlığı AWS A4.2'ye göre kalibre edilen manyetik ölçüm aletleriyle sağlıklı bir şekilde ölçülebilir. Bunun dışında; dolgu malzemesinin ve ana metalin kimyasal analizi biliniyorsa, çeşitli diyagramlar kullanılarak da bir tahminde bulunmak mümkündür. Bu diyagramlardan en bilineni ve en eski olanı 1948 yılında SCHAEFFLER tarafından geliştirilen "Schaeffler Diyagramı" dır. Bu diyagramda Cr eşiğeri yatay eksen, Ni eşiğeri ise dikey eksen yer almaktadır.

$$(Cr)_{eş} = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb \quad (3.1)$$

$$(Ni)_{eş} = \%Ni + 30\%C + 0.5\%Mn \quad (3.2)$$

Schaeffler diyagramı çok uzun yıllar kullanılmasına karşın, azotun etkisini hesaba katmaması ve diyagramdan elde edilen verilerin, konusunda bilgili birkaç ölçüm uzmanı tarafından belirlenen ferrit yüzdeleri ile farklılıklar göstermesi nedeniyle günümüzde etkinliğini kaybetmiştir.

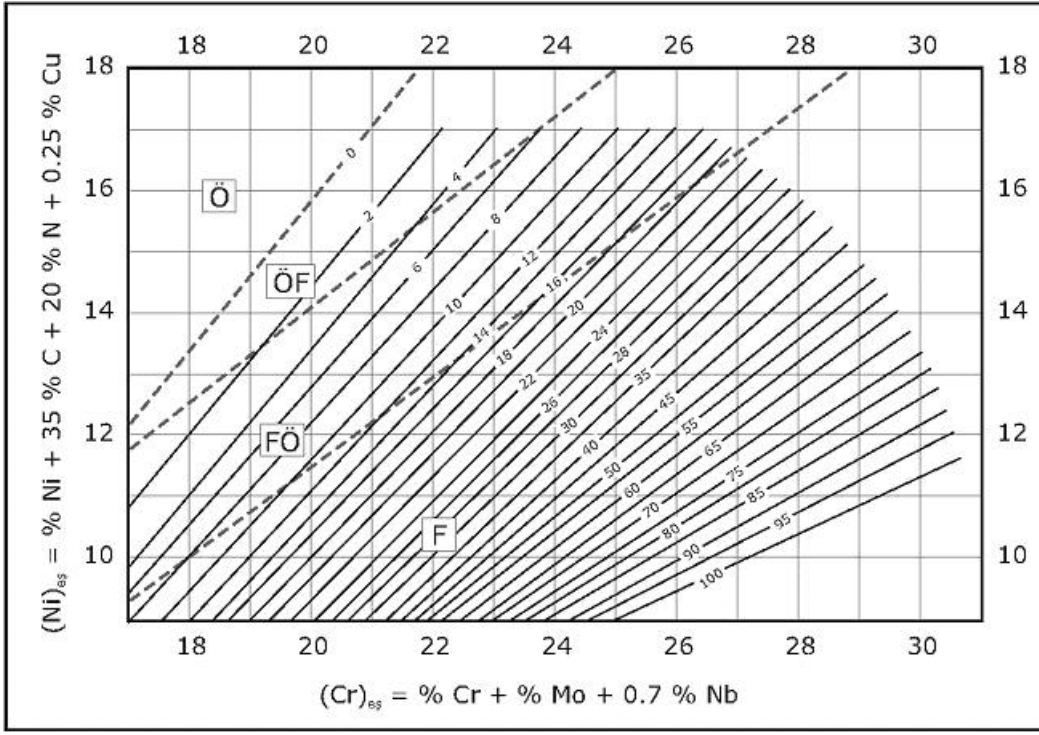
1973 WCR-DeLong diyagramı'nı Schaeffler Diyagramı'ndan ayıran en önemli özellik nikel eşdeğeri hesaplanırken yapıdaki azot miktarının da göz önüne alınması ve sonucun ferrit yüzdesine ek olarak "FN - Ferrit Numarası" ile belirtilmesidir.

$$(Ni)_{eş} = \%Ni + 30\%C + 30\%N + 0.5\%Mn \quad (3.3)$$

Ferrit numaraları, özellikle düşük seviyelerde, ferrit yüzdeleri ile yakın değerlere sahiptir. Günümüzde en sık kullanılan ve en sağlıklı sonucu veren diyagram Şekil 3.4.'te gösterilen WCR - 1992 diyagramı'dır. ASM şartnamelerinin 1994–1995 kış döneminde yayınlanan eklerinde WCR-1992 diyagramı WCR, DeLong diyagramının yerini almıştır. Kabul edilen bu en son diyagramda krom ve nikel eşdeğerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$(Cr)_{eş} = \%Cr + \%Mo + 0.7\%Nb \quad (3.4)$$

$$(Ni)_{eş} = \%Ni + 35 \%C + 20 \%N + 0.25 \%Cu \quad (3.5)$$



Şekil 3.4 Katılaşma faz sınırlarını da içeren WCR - 1992 diyagramı [16].

Görüldüğü gibi nikel ve krom eşdeğerleri Schaeffler ve WCR-DeLong diyagramlarından daha farklı olarak hesaplanmaktadır.

Ferrit numarası diyagramının nikel eşdeğerini gösteren ekseninden sağa doğru yatay, krom eşdeğerini gösteren ekseninden yukarıya doğru dikey çizgiler çizilerek bulunur. Yatay ve dikey doğruların kesiştiği noktadan geçen çapraz çizgiler ferrit numarasını vermektedir [1].

WCR-1992 ve WCR-DeLong diyagramları 308 gibi sık kullanılan paslanmaz çelikler için benzer değerler verir. Ancak WCR-1992 diyagramı, özellikle yüksek alaşımlı malzemelerde, yüksek manganlı östenitik tipteki ya da östenitik-ferritik yapıdaki çift fazlı paslanmaz çelikler gibi daha seyrek kullanılan alaşımlarda daha kesin ve doğru sonuçlar vermektedir [1].

Ferrit numarası, ferritin manyetik olma özelliğinden yararlanılarak kaynak metali üzerinden ölçülebilir. Bunun için ticari olarak satışa sunulan ve AWS A 4.2'ye göre kalibre edilmiş olan ve ferrit numarasının direkt olarak okunabildiği manyetik ölçüm cihazlarından, ferritescoplardan ve benzeri cihazlardan yararlanılabilir [1].

Ferrit miktarının sıcak çatlak oluşumundan korunmak için gereken orandan daha yüksek olmamasında ve belirli güvenlik sınırları içerisinde tutulmasında yarar vardır. Çünkü ferrit, bazı korozif ortamlarda, malzemelerin korozyon dayanımını düşürür ve yapıdaki aşırı ferrit miktarı süneklik ve tokluğu azaltır [1].

3.2.3. Sigma fazı oluşumu

Östenitik paslanmaz çeliklerde diğer bir problemde bazı hallerde “sigma fazı” adı verilen metaller arası krom-demir bileşiğine rastlanmasıdır. Bu bileşik östenitik paslanmaz çelik kaynağında dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. “Sigma fazı”, çok sert (700–800 Vickers), manyetik olmayan ve gevrek yapıya sahip metaller arası bileşiktir. Yapılan analizlerde bileşiminde % 52 krom, % 48 demir ve bunların yanında molibden gibi diğer alaşım elementlerinin de içerdiği görülmüştür [30].

Sigma fazı kaynak bölgesinde oluşmaktadır ve saf östenit bir yapıda sigma fazının oluşum hızı östenit yapı içerisinde ferrit bulunan yapıya oranla daha düşüktür [1]. Sigma fazının oluşumu aşağıdaki gibi olmaktadır. Saf östenitik yapı bir malzeme belirli bir sıcaklıkla arasında tavlandığında önce karbür ayrışması meydana gelmekle ve karbürler kendilerine çok yakın olan krom ve molibden gibi büyük atom grupları bakımından zenginleşmektedir. Bunların difüzyon hızı karbonun hızından düşük olduğundan, karbon difüzyonu karbür meydana gelmektedir. Oluşan ferrit bahsedilen sıcaklıkta dengede olmadığından yeni bir faza dönüşmektedir. Bu faz sigma fazıdır. Yapılan çeşitli araştırmalar sigma fazı dönüşümü 750°C’de 30 saat sürede olmaktadır. Buna karşılık 650°C’de bu fazın dönüşümü için 170 saat süre gerekmektedir. Sigma fazının oluşumu soğuk şekillendirme ile hızlanmakta olup oluşuma molibden, krom, niyobyum, silisyum kuvvetli bir şekilde tesir etmektedir. Sigma fazı 950–1050°C sıcaklıklar arasında belirli bir süre tavlandıktan sonra soğutulmuş olarak giderilmektedir. Sigma fazının neden olduğu gevrekleşme kaynak metalinin ve kaynak yerinin tavlama tabii tutulmadan önceki içerdiği ferrit miktarına bağlıdır. Kaynak yeri başlangıcında % 6,5 ferrit içerdiğinde sigma dönüşmesi çentik darbe mukavemetinin düşmesine neden olmaz bu durum ferrit miktarının az olduğunda östenitik yapı içerisinde

ağ şeklinde değil izole edilmiş odacıklar halinde bulunmaktadır. Bu şekilde elde edilen sigma fazı yapıya süreklilik kazandırmaktadır [32].

3.3 TIG Kaynak Yöntemi

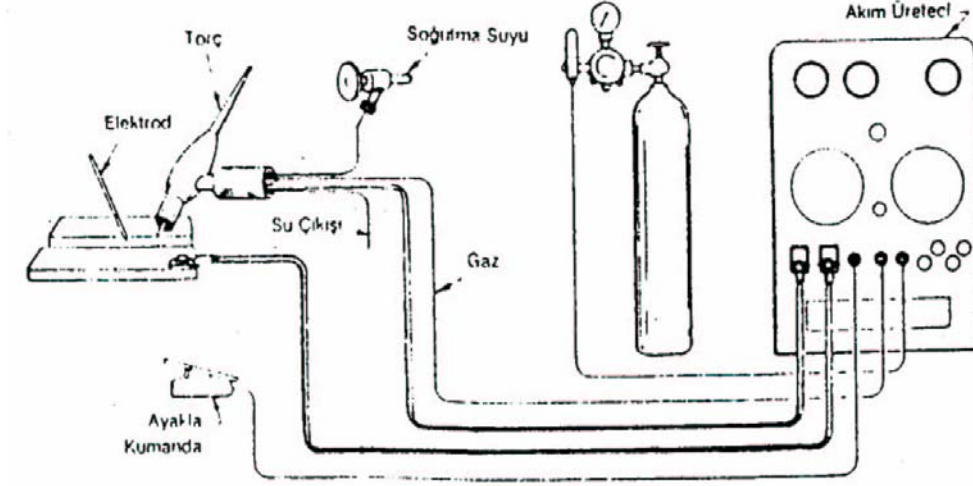
Tungsten Inert Gaz (TIG) kelimelerinin ilk harflerinden oluşmuş olan bu yöntemde kaynak için gerekli olan ısı enerjisi tungsten elektrot ve iş parçası tarafından sağlanmakta olup, kaynak bölgesini havanın olumsuz etkilerinden korunması için genelde argon ve çeşitli karışım gazlar tarafından korunmaktadır. ABD’de bol miktarda helyum gazı çıkarıldığından bu yöntem ilk başlarda “Heliark” olarak anılmıştır. Avrupa’da yapılan çalışmalarda koruyucu gaz olarak daha çok argon kullanıldığından bu yöntem daha çok “Argonark” şeklinde isimlendirilmiştir [41]. TIG kaynak yöntemi kaynakçı tarafından kullanılması kolay olup prensip olarak gaz eritme kaynağına oldukça benzemektedir olup bu kaynak yöntemi çok geniş uygulama alanına sahiptir. Bu yöntemde erimeyen elektrot kullanıldığından bazı durumlarda ilave kaynak metaline gerek olmadan birleştirme yapılabilir. Gerektiğinde gaz kaynağında olduğu gibi ilave metal kullanılmaktadır [45]. Endüstride bu kaynak yöntemi daha çok kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylık sağladığından kullanım alanı genişlemektedir.

TIG kaynak yöntemini ile prensip olarak her kalınlık ve her pozisyondaki parçalara uygulanabilmekte olup, daha kalın parçalar için uzun süreli işlemler gerektiğinden ekonomik olmamakta ve tercih edilmektedir. Bundan dolayı 7 mm’den daha kalın parçaların birleştirilmesinde önerilmemekle beraber bu kaynak yöntemi ile çok kaliteli, daha güvenli ve dikkate değer birleştirmeler sağlanabilmektedir. Bu nedenle uçak ve uzay endüstrisinde çok geniş kullanım alanı bulmaktadır. Akım şiddeti azaltılarak diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi imkansız olan çok ince saçlar bu yöntemle kaliteli bir şekilde birleştirilebilmektedir. Hatta 0.1mm kalınlığına sahip parçalar bile kaynak edilebilmektedir [10].

3.3.1. TIG kaynak donanımı

Şekil 3.5’de TIG kaynak donanımının şeması verilmektedir. Şekil’den de görüldüğü gibi bu donanım; akım üretici, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç debi ayar donanımı, torç ve kontrol panelinden oluşmaktadır. Yüksek akım şiddetleri durumlarında torcu soğutmak

için soğutma suyu devresi kullanılmaktadır. TIG kaynak yönteminde el ile kaynak yapıldığı gibi yarı otomatik, otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 TIG kaynak donanım şeması [41]

TIG kaynağı ostenitik paslanmaz çelik ince saclara tüm kaynak pozisyonlarında uygulanabilir ancak erime gücü dolayısı ile dolgu oranı düşük olmaktadır. Yöntem doğru akımda tel negatif kutuba bağlanarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde argon, helyum veya bu gazların karışımı kullanılır. Argon genellikle yarı otomatik kaynak işlemleri için uygundur, çünkü bu yöntemde arkın başlaması ve kaynak banyosunun kontrolü kolay olup, banyo üzerinde iyi ve etkili bir örtü sağlamaktadır. Argon özellikle ostenitik ince sacların kaynağı için akım şiddeti için ısı girdisi He ile birleştirmeden daha düşük olduğundan uygundur. Yüksek kaynak hızlarında özellikle otomatik olarak yapılan kaynak birleştirmeler daha iyi kaynak dikiş biçimi ve nufuziyet elde etmek için helyum kullanılır. Ancak, helyum kullanılması durumunda arkın tutuşturulması daha zor olmaktadır.[41]

Bu kaynak yönteminde koruyucu gaz debisinin yetersiz olması halinde kaynak metaline azot difüzyonu olmakta ve oluşan ferrit miktarı üzerinde etkili olmaktadır. TIG kaynak yöntemi, özellikle çeşitli bağlantıları kok pasolarının yapılmasında vazgeçilemez bir yöntemdir. Her zaman gerekli olmamasına karşın, kaynak ağzının kök kısmı özel olarak

hazırlanabilir. Kaynağın bitiminde oluşacak krater hatası mutlaka oyularak çıkarılmalı ve bu kısım yeniden kaynak edilerek tamir edilmelidir [41].

3.3.2. TIG Kaynak Elektrotları

TIG kaynak yöntemi ile diğer kaynak yöntemleri arasında en önemli fark ek ilave elektrotun kullanılması ve elektrotun sadece ark oluşturma işlemi gerçekleştirilmesidir. Bundan dolayı erime sıcaklığı 3350 °C olan tungsten elektrot kullanılmaktadır. Bu elektrotlar yüksek ergime sıcaklığına sahip olmakla beraber çok önemli bir elektrot yayıcı olup yayılan elektrotlar ark sütunu içinde elektrik akımı oluşturmakta ve ark sütunundaki atomları iyonize ederek arkın kararlılığı sağlamaktadır. TIG kaynak elektrotları AWS (Amerikan Kaynak Derneği), DIN (Alman Standart Enstitüsü) göre sınıflandırılmış ve bunların birbirinden kolayca ayırt edilebilmesi için uç kısımları çeşitli renklere boyanarak belirlenmesinde farklı renk kodları kullanılmıştır. Bu renk ve kodlar aşağıdaki Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2. Tungsten elektrotların kimyasal bileşikleri ve tanım renkleri (DIN 32528) [41].

İşareti	Malzeme No.	Oksit içeriği %	Katkılar %	Renk Kodu
W	2.6005	-	<0.20	Yeşil
WT 10	2.6002	0.90 - 1.20 ThO ₂	<0.20	Sarı
WT 20	2.6026	1.80 – 2.20 ThO ₂	<0.20	Kırmızı
WT 30	2.6030	2.80 - 3.20 ThO ₂	<0.20	Leylak
WT 40	2.6036	3.80 - 4.20 ThO ₂	<0.20	Portakal
WZ 4	2.6050	0.30 - 0.50 ThO ₂	<0.20	Kahverengi
WZ 8	2.6062	0.70 – 0.90 ThO ₂	<0.20	Beyaz
WL 10	2.6010	0.90 - 1.20 ThO ₂	<0.20	Siyah

Tablo 3.3’de ise tungsten elektrotlarının bileşim ve çaplarına göre akım yüklenebilme kapasiteleri verilmiştir. Elektrot çapı elektrotun yüklenebileceği en yüksek akım kapasitesine göre seçilmiştir. Bu değere yaklaşıldığında arkın ısı yoğunluğu artmakta ve daha kararlı bir ark ile nüfuziyet daha fazla olmakta olup, dikiş yüksekliği daha az elde edilebilmektedir.

Tablo 3.3. Tungsten elektrotların bileşim ve çaplarına göre akım yüklene bilme kapasiteleri [41].

Elektrot çapı mm	Alternatif Akım A		Doğru Akım A	
	W Elektrot	WT Elektrot	W ve WT Elektrot	W ve WT Elektrot
0.5	5...15	5...20	5...20	-
1.0	10...60	15...80	15...80	-
1.6	50...100	70...150	70...150	10...20
2.4	100...160	140...235	150...250	15...30
3.2	150...210	225...325	250...400	25...40
4.0	200...275	300...425	400...500	40...55
4.8	250...350	400...525	500...800	55...80
6.4	325...425	500...700	800...1100	80...125

3.3.3. İlave kaynak metalleri

Paslanmaz çeliklerin kaynağında MIG kaynağında olduğu gibi DIN, AWS ve TS 11797 göre tanımlanmış olan belirli çap ve boylarda TIG kaynak ilave telleri kullanılmaktadır. Tablo 3.4’de bazı TIG ilave malzemelerinin kimyasal bileşenleri verilmektedir [1, 42]

Tablo 3.4. Bazı TIG ilave tellerin kimyasal bileşenleri [1, 42]

İlave Tel	C	Cr	Ni	Mo	Cb&Ta	Mn	Si	P	S	Cu
ER308	0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER308L	0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER308LSi	0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75		1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	0.75
ER309	0.12	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER309L	0.03	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER309LSi	0.03	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75		1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	0.75
ER310	0.08-0.15	25.0-28.0	20.0-22.5	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER312	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER316	0.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER316L	0.03	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER316LSi	0.03	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0		1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	0.75
ER317L	0.03	18.5-20.5	13.0-15.0	3.0-4.0		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER347	0.08	19.0-21.5	9.0-11.0	0.75	10xC min.-1.0 max.	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER410	0.12	11.5-13.5	0.6	0.75		0.6	0.5	0.03	0.03	0.75
ER630	0.05	16.0-16.75	4.5-5.0	0.75	0.15-0.30	0.25-0.75	0.75	0.03	0.03	3.25-4.00

3.3.4. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar

Gazaltı kaynak yöntemlerinde elektrik enerjisi, ilave metal ve koruyucu gaz kullanılan sarf malzemeleridir. İlave telin kimyasal bileşimi ve koruyucu gaz türü ve kompozisyonu kaynak metalinin birleşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir. Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazlar ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden korunması gerekmektedir. Böylece, koruyucu gaz ergimiş kaynak banyosu içerisindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini önlemek azot ve hidrojen gibi diğer zararlı gazların kaynak metalinin banyosunda çözülerek girmesini önler. Ergimiş halde hemen hemen bütün metaller havadan oksijen ve azot absorbe ederek katılaşma esnasında kaynak metalindeki elementler ile birleşerek yeni birleşikler oluştururlar. Böylece, kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler gözenek oluşumuna ve gevrekleşmeye neden olmaktadır. TIG kaynağında soy gazlar ve bunların çeşitli oranlarda karışımları kullanılır. Kaynak işlemi için gaz seçiminde göz önünde bulundurulacak hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kaynatılan metal veya alaşımın türü
- Ark karakteristiği ve metal damla geçiş biçimi
- Kaynak hızı
- Parça kalınlığı
- Nufuziyet ve kaynak dikişinin biçimi
- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikleri
- Kaynak banyosunda oluşan oksitlerin temizlenmesi
- Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti

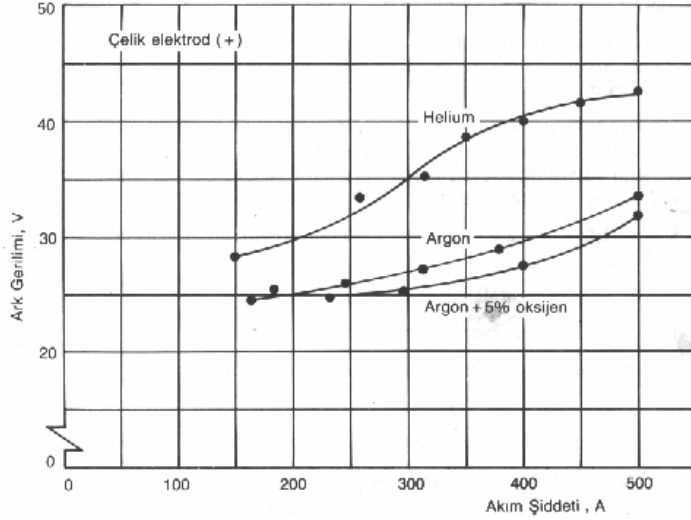
Gaz altı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların tür ve bileşimleri gelişmiş ülkelerde çeşitli standartlarla belirlenmiştir. Bu konuda ülkemizde DIN 32526'ya paralel olarak TS 5618'de gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazlarla ilgili bilgiler verilmiştir. Avrupa Birliğinin kurulmasından sonra, AB üyesi devletler bu konuda DIN 32526 ve TS 5618'e paralellik gösteren EN 439 hazırlanmıştır [30, 35].

Aşağıdaki bölümde gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan çeşitli gazlar hakkında bilgiler verilmektedir.

3.3.4.1. Argon gazı

Argon ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında en çok tercih edilen gazdır [1, 10, 41] Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan argon tek atomlu renksiz, kokusuz, tatsız ve zehirli olmayan bir soy gazdır. Her ne kadar atmosferde % 0,934 oranda bulunmasına rağmen ekonomik olmasından dolayı argon atmosferden elde edilmektedir. Havadan % 38 daha ağır bir gaz olup ergimiş kaynak banyosunu ve arkın çok etkili karalı olmasını sağladığından özellikle yatay kaynak pozisyonlarında kaynak esnasında etkili bir örtü oluşturarak kaynak banyosunu çok iyi bir şekilde korumaktadır. Argon düşük iyonizasyon enerjisine sahip olduğundan argon atmosferi altında ark tutuşması daha kolay ve güvenilir olmaktadır [29].

Argon gazının en büyük avantajı akış hızının büyük olması ve buna bağlı olarak kararlı ark tutuşması ve ark voltajının daha düşük olmasıdır. Düşük voltaj kullanıldığından dolayı ince saçlar yanık olmadan kaynakla birleştirilmektedir [20]. Çeşitli soy gaz ve karışım gaz atmosferinde oluşan gerilimi Şekil 3.6 da görülmektedir [30, 35].



Şekil 3.6. Çeşitli asal gaz karışım gaz atmosferinde oluşan ark gerilimi [30].

Argon gazı içerisinde oluşan arkın gerilim düşümü diğer gazlara nazaran daha azdır. Ayrıca argonun ısı iletme kabiliyetinin zayıf olması sebebiyle ark sütunu daha geniş ve sıcaklığı da özellikle dış kısımlarda düşüktür. Sütunun merkezinde hem su buharları hem de damla geçişi sebebiyle sıcaklık daha yüksektir. Bu nedenle Argonun koruyucu gaz olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nufuziyet dikişinin merkezinde derin kenarlarında daha az olan bir şarap kadehi şeklindedir [30]. Argonun düşüş iyonizasyon enerjisine sahip olması düşük ark gerilimi ile çalışılmasını sağlar. Böylece kaynak esnasında ısı girdisi azaldığından kaynak esnasında ince parçaların delinmesi azalır. Bununla birlikte ergimiş kaynak metalinin viskozitesi azaldığından “dik” ve “tavan” kaynağında banyo hâkimiyetini kolaylaştırır. Argon gazı havadan 4 kat helyumdan ise koruma sağlamakla ve kaynak esnasında gaz sarfiyatını azaltmaktadır [30].

3.3.4.2. Helyum gazı

Helyum atmosferde çok az miktarda bulunmakta ve ayrıştırması endüstriyel olarak imkansız bir gazdır. Helyum günümüzde doğal gazdan ayrıştırılarak elde edilen tek atomlu hafif bir gazdır. ABD ve eski SSCB (Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği) gibi ülkelerde daha kolay ve ekonomik olarak üretilmektedir. Helyum sıvı gibi dağılmış olmakla birlikte daha çok tüp içerisinde sıkıştırılmış bir gaz şeklindedir [30, 35]. Helyumun argona göre 10 kat daha hafif olup bu özelliği ile kaynak esnasında etkili bir korumanın sağlanması için gerekli gaz sarfiyatını arttırmaktadır. Yatay pozisyonda aynı şartlarda argonun yaptığı korumayı sağlamak için 3 kat daha fazla helyuma ihtiyaç vardır. Daha önceden belirtildiği gibi hafif olan helyumun özgül ağırlığı $0,1784 \text{ kg/m}^3$ dür. Doğal gazların ayrışmasıyla elde edilen helyumun iyonlaşma potansiyeli 24,5 eV dır. Helyumun molekül ağırlığı 4,003 bir atmosferde ayrışma sıcaklığı -269°C dir. [41, 43] Helyumun argon gazına göre sahip olduğu avantajlar aşağıda sıralanmaktadır:

- Isı etki alanı daha düşüktür.
- Daha hızlı kaynak yapılabilir.
- Yüksek ark voltajına sahip olduğundan daha kalın ve ısı iletkenliği yüksek olan malzemelerin kaynağı için uygundur.
- Dar ve fazla ısı girdisi olduğundan daha derin nufuziyet sağlar.
- Gaz altlık olarak kullanıldığında kök pasosu düzeltici etki yapar. [41, 43]

Helyum atmosferi daha önce belirtildiği gibi ısıyı iyi iletmediğinden koruyucu gaz olarak kullanıldığında derin nufuziyetli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Bu nedenle kalın kesitli metallerin kaynağında kullanılmaktadır. Ayrıca iyonizasyon potansiyeli argona göre daha yüksek olduğundan helyum atmosferinde oluşan kaynak arkı daha yüksek enerjili olduğundan ısıyı iyi iletken bakır, alüminyum magnezyum gibi metallerin kaynağında genellikle ön ısıtma gerektirmez [41, 43].

Argon helyum karışımları hem argonun hem de helyumun en üstün özelliklerini bir arada elde edebilmek amacı ile geliştirilmiş ve bu sayede nufuziyet ve ark kararlılığı optimize edilmiştir; helyuma % 25 argon eklenmesi ile saf argon haline göre daha derin bir nufuziyet

ve saf argon halinden daha üstün ark kararlılığı bir arada elde edilebilmektedir.

Uygulamada, bu iki gazın % 80 helyum ve % 20 argondan, % 75 argon-% 25 helyuma kadar çok değişik karışımları ile karşılaşılmaktadır. Argon ve helyum karışımı gazlar alüminyum, magnezyum, bakır ve nikel alaşımlarının kaynağında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu karışımlar saf argon haline nazaran daha yüksek bir sıcaklığa sahip, saf helyum haline nazaran da daha kontrol edilebilir bir ark oluşturmakta ve daha az miktarda gözenek oluşumuna neden olmaktadır [44].

3.3.4.3. Hidrojen gazı

İlk defa 1926 yılında ABD'de Weinmann ve Langmur tarafından kaynak işleminde koruyucu gaz olarak kullanılmaya başlanmış ve daha sonra Almanya'da önemli ilgi görmüştür [14, 39]. Arkın oluşumu sırasında kaynak bölgesine gelen molekül halindeki hidrojen gazı ark sıcaklığında atomlara ayrılmaktadır. Kaynak yerinden ayrılan atomlara ayrılan hidrojen gazı düşük sıcaklıklarda yeniden birleşmekte ve alınan ısı tekrar verilmektedir. Böylece kaynak işlemi kolaylaşmaktadır. Ark atom kaynağında hidrojen gazının atomlara ayrışırken aldığı ısıyı atomların tekrar birleşmesi ile kaynak yerine ısı vermesinden başka tungsten elektrotların sağladığı redükleyici atmosfer ile oksidasyona karşı koruma üstünlüğü varır [39].

Kaynak endüstrisinde hidrojen alev işlemlerinde parlayıcı gaz ve ark kaynak işlemlerinde karışım gazlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni hidrojenin sudan kolay elde edilebilmesi ve hidrojen elde etmek için emniyetli cihazların tasarımıdır.

Hidrojen renksiz, kokusuz, tatsız bir gaz olup, zehirli değildir. Parlama noktasında 560 °C dir. Havadan çok daha hafiftir. Hava ve oksijen ile karışım parlayıcılığı çok yaygındır. Bu gazlar TIG kaynağı kullanımı sırasında argona belirli bir oranda katılmaktadır [14].

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan argon renksiz, kokusuz, tatsız, yanmaz ve zehirli olmayan, nötr bir gazdır. Atmosferde % 0,934 oranında bulunmasına rağmen daha ekonomik olmasından dolayı atmosferin arıtılmasıyla elde edilen gaz olup havadan 1,38

kat daha ağırlığa sahiptir. Ergimiş kaynak banyosu ve arkın çok etkili kararlı korunmasını sağlar. Argon düşük iyonizasyon enerjisine sahip olduğundan, bu gazın atmosferi altında ark tutuşması daha kolay ve güvenilirdir [14]. Argon gazının en büyük avantajı akış hızının düşük olması, buna bağlı olarak helyuma göre daha kararlı bir ark oluşması ve ark voltajının daha düşük seviyede tutmasıdır. Düşük voltaj kullanımı, ince sacların kaynak bölgesinde yanık olmadan kaynak edilebilmesi açısından önemlidir [4]. MIG kaynak yöntemi ile saf argon koruyucu atmosferi ortamında yapılan kaynakta şarap kadehi şeklinde bir nüfuziyet biçimi elde edilir [27, 30]. Kalın parçaların kaynağında helyum ya da argon+helyum karışım gazları kullanılabilir.

Helyum atmosferi ısıyı daha iyi iletmediğinden, koruyucu gaz olarak kullanıldığında derin nüfuziyetli kaynak dikişi elde edilir. Bundan dolayı, kalın kesitli parçaların kaynağında kullanılmaktadır. Helyumca zengin olan koruyucu gazlar kısa devreli metal transferi ve yüksek voltaj sağlayarak daha iyi ısıtma ve kaynak metali içerisinde oluşabilecek hataların minimuma inmesini sağlar [11, 30]

Argona hidrojen ilavesi ile arkta voltaj düşmesi sonucu ark gücü artar. Hidrojen yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğundan ark daha dar ve derin bir nüfuziyet sağlar. Hidrojen, kaynağın son katmanının yüzeyinde oksit oluşumunu engelleyerek kaynak dikiş yüzeyinin görüntüsünü de güzelleştirir [14].

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.5’de verilmektedir. Bu gazlar argona belirli oranlarda katılmaktadır. Bu gazların bazılarının ısı iletkenlikleri Şekil 3.7’de görülmektedir. Kaynak arkında en yaygın olarak oluşan sıcaklık aralığı olan 3000–4500 °C arasında hidrojenin iletkenliğinin argonun iletkenliğinden yaklaşık 10 kat daha yüksek olduğu görülmektedir [44]. Arkın ısı iletkenliği, arkın şekli ve kaynak işleminin hızı açısından önemlidir.

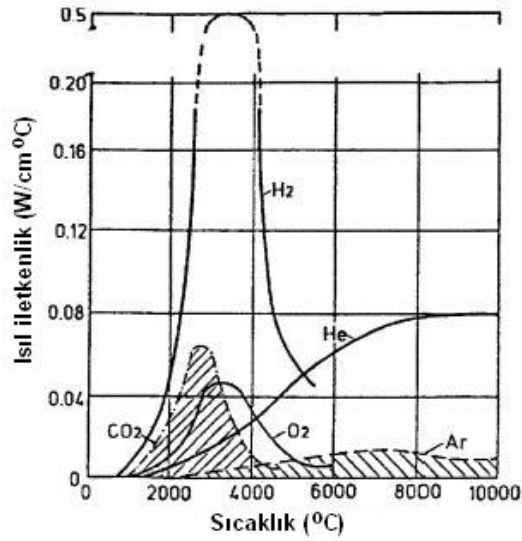
Tablo 3.5: Gazaltı kaynaklarında kullanılan gazların kimyasal ve fiziksel özellikleri [14]

Gaz tipi	Havadaki içerik (%hacim)	1.013 bar'da kaynama noktası (°C)	Atomik ağırlık ve ortalama molekül ağırlığı	15 °C ve 1 bar'da yoğunluk (kg/m ³)	15 °C ve 1 bar'da havaya (-1) göre bağıl yoğunluk	Ayrılma ve iyonizasyon enerjisi (eV) ^c	Kimyasal davranış
Hidrojen (H ₂)	0.5×10 ^{-6a}	-252.9	2.016	0.085	0.06	4.48 13.59 -	İndirgeyici
Argon (Ar)	0.934	-185.9	39.948	1.669	1.38	- 15.76 27.50	İnert
Helyum (He)	5.2×10 ^{-6a}	-268.9	4.002	0.167	0.14	- 24.56 54.10	İnert
Azot (N ₂)	78.084	-195.8	28.013	1.170	0.91	9.76 14.55 29.60	Reaktif
Karbondioksit (CO ₂)	0.033 ^a	-78.5 ^b	44.011	1.849	1.44		Oksitleyici
Oksijen (O ₂)	20.946	-183.0	31.998	1.337	1.04	5.08 13.62 35.20	Oksitleyici

^a Atmosferden elde edilmemiştir.

^b Buharlaşma sıcaklığı.

^c 1 eV = 1.6×10⁻⁶ J; 6 ve 9 eV arasındaki değerlerde başlıca metallerin iyonizasyon enerjisi

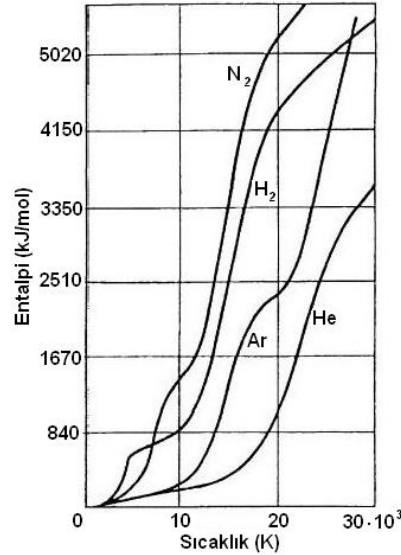


Şekil 3.7: Gazaltı kaynak yönteminde kullanılan gazların sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenliklerinin değişimi [14].

Şekil 3.8'de bazı gazlara ait entalpi değerleri verilmektedir. Hidrojenin entalpisi hemen hemen tüm sıcaklık aralıklarında argonun sahip olduğu değerden çok daha yüksektir. Bir koruyucu gazın entalpisi ark oluşumunu, ark şeklini ve arktaki ısı dağılımını etkilemektedir. Paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemlerinde koruyucu argon gazı içerisinde karışım olarak kullanılan hidrojen renksiz, kokusuz, tatsız ve yanıcı bir özelliğe sahip olup tutuşma

sıcaklığı 560 °C' dir. Havadan daha hafif olmakla beraber hava veya O₂ ile belirli bir oranda karıştırıldığında patlayıcı bir özelliğe sahiptir. Şekil 3.6 ve 3.7'den görüldüğü gibi yüksek entalpiye ve ısı iletkenliğe sahip olduğundan O₂ gazını indirgeyerek kaynak bölgesinde oksit oluşumunu engeller. H₂, paslanmaz çeliklerin kaynağında, kök koruma amacıyla Ar ile bir plazma gazı olarak kullanılmakta ve literatürde belirtildiği gibi karışım içerisindeki H₂ miktarı % 0,5-5 arasında değişmektedir [14, 28].

Karbondioksitin argon içerisinde kullanımı ile derin nufuziyet ve yüksek kaynak hızları elde edilebilir. Ekzoterm bir reaksiyon sağlayarak kaynak banyosunun sıcaklığını ve akıcılığını yükselterek banyo içerisindeki gazların giderilmesini sağlar. Ayrıca koruyucu gazın oksijen içermesi düşük akım yoğunluklarında da ince taneli sprej ark oluşmasına katkıda bulunur [30].



Şekil 3.8: Sıcaklığa bağlı olarak gaz entalpilerinin değişimi [14].

Bu tabloda verilen bu gazlar TIG kayna yönteminde argona belirli oranlarda katılarak koruyucu gaz olarak katılmaktadır. Bu gazların bazılarının ısı iletkenlikleri şekil 3.6 da görülmektedir. Kaynak arkında 3000–4500 °C sıcaklık aralığı oluşmakta ve hidrojenin iletkenliğinin argon gazının sahip olduğu iletkenlikten yaklaşık olarak 10 kat daha yüksek olduğu görülmektedir [13]. Arkın ısı iletkenliği arkın şekli ve kaynak açısından önemlidir.

Argona hidrojen ilavesiyle arkta voltaj düşmesi sonucu ark gücü artmaktadır. Hidrojen yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğundan kaynak esnasında oluşan ark daha dar ve derin bir nufuziyet sağlamaktadır. Hidrojen kaynağın son katmanının yüzeyinde oksit oluşumunu engelleyerek kaynak dikiş yüzeyinin görüntüsünü de güzelleştirmektedir [14]. TIG kaynağında koruyucu argon gazı içerisindeki hidrojen miktarının artışı kaynak arkının statik karakteristiğini etkilemektedir. Hidrojen miktarı arttıkça ark voltajı da artmakta ve bu artış kaynak akımının artışına paralellik göstermektedir. TIG kaynak yönteminde koruyucu argon gazı içerisindeki çeşitli oranlardaki H₂ miktarının kaynak arkının statik karakteristiklerine etkisi verilmektedir. Hidrojen argona göre daha yüksek ısıl iletkenliğe ve iyonizasyon enerjisine sahip olduğundan daha güçlü ark voltaj düşümü sağlamaktadır. Argon içerisindeki hidrojen miktarına paralel olarak hem TIG kaynağında hem de MIG kaynağında eriyen ana metal miktarı artmaktadır. Böylece geniş ve derin kaynak dikiş şekli elde edilmektedir [13, 14, 19, 25, 27]

Argon gazı içerisindeki hidrojen miktarının artmasıyla yapılan ostenitik paslanmaz çeliklerde kaynaklı birleştirmenin çakma dayanımı arttırdığı görülmektedir. Ayrıca kaynak metali içerisindeki hidrojen miktarındaki artış kalıntı gerilimlerinin artmasına dolayısıyla kaynak metalindeki sertlik değerlerinin artışına neden olmaktadır [13]. Koruyucu gaz içerisinde bulunan hidrojen miktarının artması kaynak bölgesine olan ısı girdisini artırmaktadır [14]. Isı girdisinin artmasıyla kaynak metalinin katılma süresi uzamaktadır.

3.3.4.4. Azot gazı

Azot hidrojenin bulunmadığı ülkelerde nadir olarak kullanılan koruyucu gazdır. Ark voltajına ve amperine yükseltici bir etkisi vardır. Kaynak bölgesindeki ısı transferi helyum ve argonun ısı transferine göre daha yüksektir. Birçok karakteristiği helyumunkine benzerlik göstermektedir. Aktif bir gaz olan azotun molekül ağırlığı 28,16 ayrışma sıcaklığı -196 C ve iyonizasyon potansiyeli 14,48 e.voltur [41, 43].

Azot havanın %80' ini oluşturan bir elementtir. Ark kaynağı esnasında termal ayrışmaya uğramaktadır. Azot 2 atomlu bir gaz olup, kaynak banyosu içerisinde çözünmektedir.

Malzeme yüzeyine çıkan gaz yeniden molekül hale gelerek aldığı enerjiyi geri vermektedir. Bu nedenle tek atomlu gaz olan argon ve helyum gazına oranla daha fazla ısı

transferi meydana getirmektedir. Isı girdisi yüksek olan azot gazı ısıl etkinliği yüksek olan bakırın birleştirilmesinde tercih edilmektedir [41, 45].

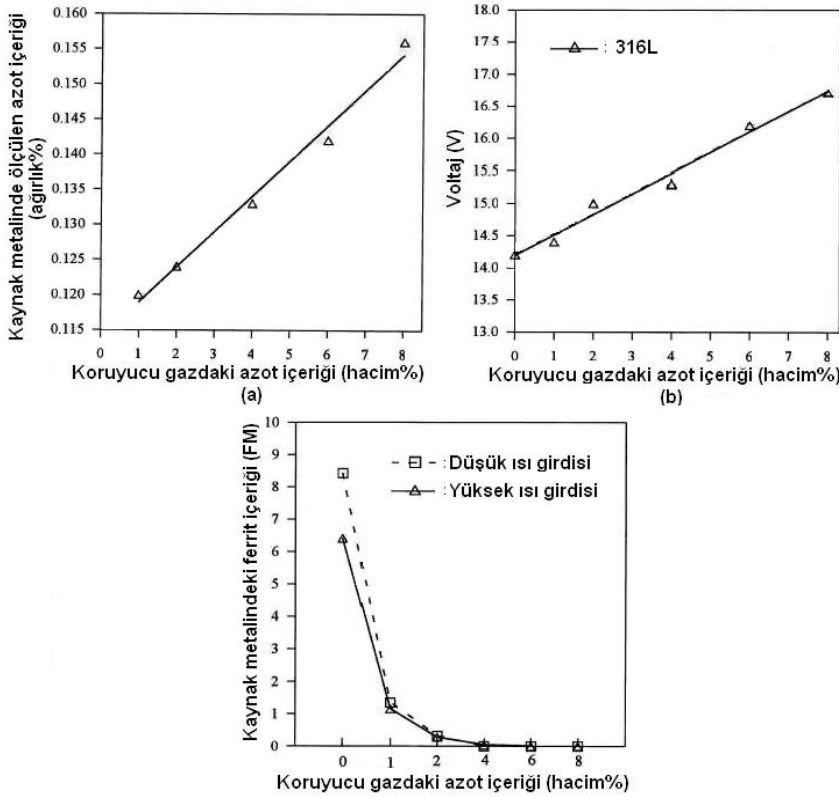
Azot %12' ye kadar argona ilave edilmektedir. Yüzey gerilimini düşürücü özelliği vardır. Kaynak havuzu üzerinde yüzen atıklar oluşturur. Bu durumda gazın arzu edilmeyen kimyasal etkisini göstermektedir. Koruyucu gaz olarak azot kullanımı çeliklerin kaynağında bazı zorluklara neden olmaktadır. Çünkü eriyik durumdaki demir büyük miktarda azotu içine çekmektedir. Katılma esnasında demir nitrat bileşiği yapmakta olup çekme dayanımı ve sertlik gibi bazı özelliklerin artmasını da sağlamaktadır. Ancak, kaynaklı birleştirmenin özlülüğünü azaltmakta dolayısıyla, kaynak alanında çatlamalara neden olmaktadır. Kaynak esnasında havanın etkisinden korunmadığında kaynaklı birleştirmenin kalitesi düşmekte ve kaynak kesitinde boşlukların oluşmasına neden olmaktadır [41].

Paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında kaynak metalinin mikroyapısında ferrit ve östenitik fazları olup çeşitli miktarlarda δ -ferrit içermektedir. δ -ferrit miktarı önemli şekilde östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine etki etmekte olup, hacimce en uygun değeri % 5–10 arasındaki orandır. Sünekliği, tokluğu ve korozyon direnci ile kaynak metalinin soğuması sırasında oluşabilecek sıcak çatlama direncini arttırmaktadır. Koruyucu argon gazına ilave edilen diğer gazlar kaynak metalinin mikroyapısına etki etmektedir. Örneğin, koruyucu argon gazının içerisine az miktarda azot ilavesi azot kuvvetli bir östenit oluşturduğundan kaynak metali içerisindeki δ -ferrit miktarını düşürmektedir [1]. Kaynak metali içerisindeki farklı fazların miktarı ve dağılımı artık gerilmesi ve sertlik gibi özelliklere etki etmektedir [15].

Koruyucu gaza ilave edilen azot, kaynak metalindeki azot içeriğine Şekil 3.9 (a)'da gösterildiği gibi etki etmektedir. Koruyucu gaza ilave edilen azot miktarına bağlı olarak, kaynak metali içerisindeki azot içeriği lineer bir şekilde artmakta, koruyucu gaz içerisindeki azot içeriği kaynak voltajını ve kaynak metali içerisindeki ferrit miktarını etkilemektedir. Lin ve Chen'in [15], yaptığı çalışmada AISI 316L paslanmaz çeliğin TIG

kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde azot miktarına bağlı olarak voltaj yükselmesi Şekil 3.9 (b)'de, yüksek ve düşük ısı girdisi durumlarında kaynak metalindeki ferrit içeriği

değişmektedir (şekil 3.9 (c)). Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, kaynak akımı ve hızı sabit tutulmasına rağmen voltaj ve ısı girdisinin artışına koruyucu gaz içerisindeki azot miktarı neden olmaktadır. Buna ilave olarak, düşük ısı girdisinde ferrit içeriğinin yüksekliği, koruyucu gaz içerisindeki azot miktarının hacim olarak % 2'yi geçmediği durumlarda görülmektedir [Şekil 3.9 (c)]. Düşük ısı girdisinde yüksek soğuma oranı, yüksek sıcaklık fazı olan δ -ferritin östenit matris içerisinde kalıntı olarak kalmaktadır [15]. Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarı kaynak dikişinin nüfuziyetine ve genişliğine etki etmekte olduğu Şekil 3.10' da görülmektedir.

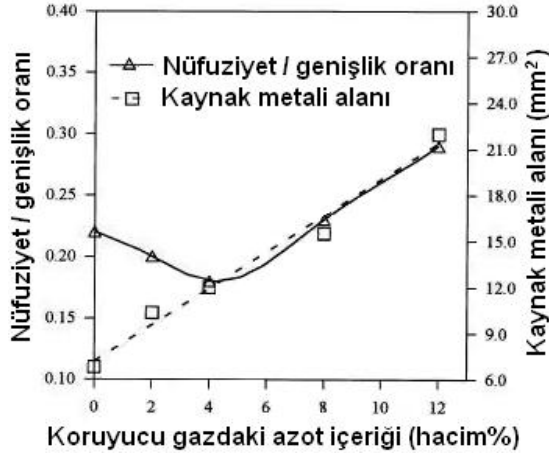


Şekil 3.9: Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarına bağlı olarak (a) kaynak metalinde ölçülen azot miktarı, (b) 316L östenitik paslanmaz çelik için gerilim değerleri ve (c) farklı ısı girdilerinde kaynak metalindeki ferrit miktarı [15].

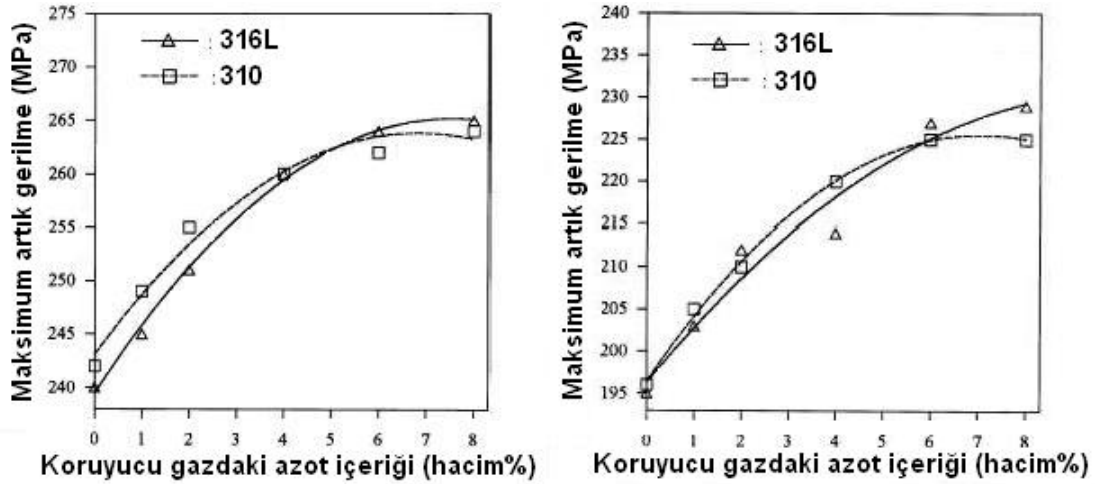
Şekilden, % 4 azot içeren koruyucu argon gazı kullanıldığında en düşük nüfuziyet/genişlik oranına erişilmektedir. Kaynak esnasında, düşük voltaj elde edildiğinde kaynak bölgesine olan ısı girdisi daha düşük olduğundan daha dar bir kaynak dikişi elde edilmektedir.

Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarına bağlı olarak ısı girdisi artmakta, ortaya çıkan ısı ise ark ile kaynatılan parçalara iletilmektedir. Çünkü azot argon gazından daha yüksek ısı iletimine sahiptir [47]. Azot, kaynak bölgesine argondan daha fazla ısı taşımaktadır. Şekil

3.11’de içerisindeki azot gazının kaynak bölgesindeki kalıntı gerilmelerine etkisi görülmektedir. Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarına paralel olarak kalıntı gerilme miktarında artış görülmektedir.



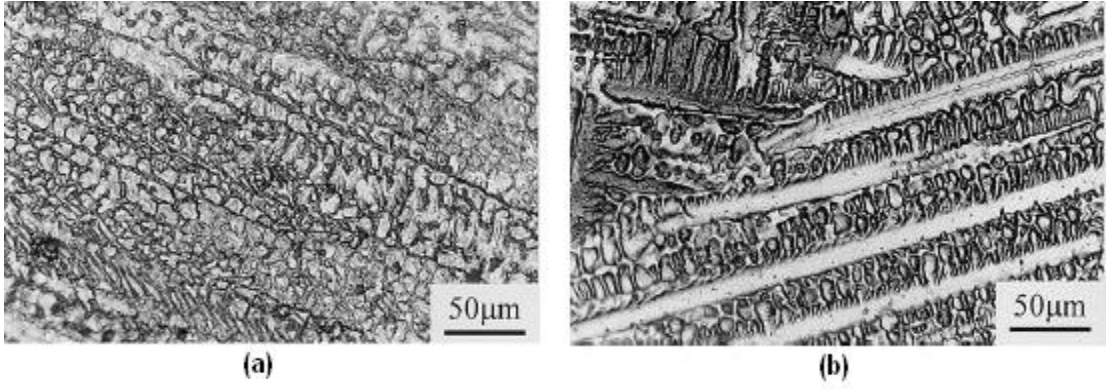
Şekil 3.10: Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarının kaynak dikişinin nüfuziyetine ve genişliğine etkisi [15].



Şekil 3.11: Koruyucu gazdaki azot içeriğinin 316L ve 310 östenitik paslanmaz çeliğin artık gerilmelerine etkisi [15].

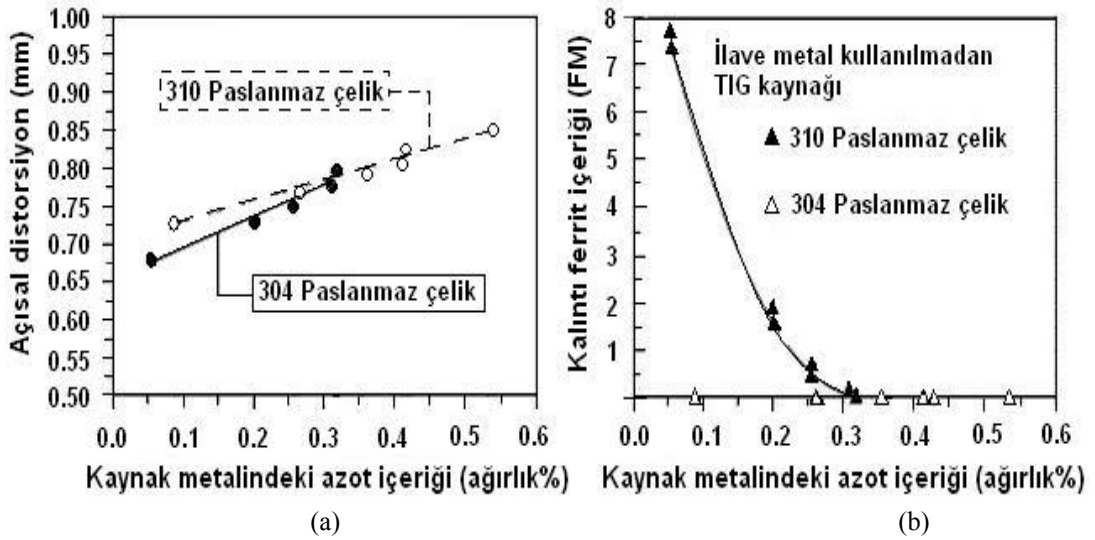
Şekil 3.12’de, AISI 316L paslanmaz çeliğin kaynağında sadece argon ile argon+ % 8 azot içeren koruyucu gazla yapılan kaynaklı birleştirmenin mikroyapıları verilmektedir. Her iki farklı koruyucu gaz ortamında oluşan mikroyapılar birbirlerinden oldukça farklı olduğu

görülmektedir. Bu durum, yapı içerisindeki δ -ferrit miktarındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir [15].



Şekil 3.12: Düşük ısı girdisi altında 316L östenitik paslanmaz çeliğin (a) argon + % 0 azot ve (b) argon + % 8 azot içeren koruyucu gazla yapılan kaynak dikişinin mikroyapı fotoğrafları [15].

Tseng ve Chou [48], yaptıkları çalışmada argona çeşitli yüzdelerde azot karıştırılarak yapılan TIG kaynağında, gaz kompozisyonunun birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin çarpılma ve kaynak metalinde meydana gelen sertlik değişimlerini dikkate alınarak yapılan incelemede kaynak metali içindeki azot miktarı ile açılma distorsiyonu artmaktadır. Ayrıca çalışmada görüldüğü kadarıyla kalıntı ferrit miktarı düşmektedir (Şekil 3.13 (a) ve(b)).



Şekil 3.13: Kaynak metalindeki azot içeriğinin 304 ve 310 östenitik paslanmaz çeliklerin (a) açılma distorsiyonuna (b) kalıntı ferrit miktarına etkisi [48].

Argon gazı içerisindeki azot miktarının artışına paralel olarak kaynak bölgesindeki ısı miktarı da artmaktadır.

Koruyucu argon gazı içerisindeki azot miktarına bağlı olarak kaynak metali içerisindeki sertlik değerleri artmaktadır. Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarı artışına paralel olarak sertlik değerlerinde de artma görülmektedir. Katı çökelme mekanizması ile östenitik paslanmaz çeliklerde sertlik değerlerinde artışa neden olmaktadır [49].

Liao ve Chen [20], östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde koruyucu gaz olarak argona çeşitli miktarlarda karbondioksit ilavesinin sıçrama oranları, mikroyapı ve çentik darbe deneylerine etkileri incelenmiş olup, çalışmada kullanılan karışım gazların kompozisyonları (M1) 90 % Ar + 10 % CO₂, (M2) 80 % Ar + 20 % CO₂, (M3) 98 % Ar + 2 % CO₂, (M4) 98 % Ar + 2 % O₂, (M5) 93 % Ar + 2 % O₂ + 5 % CO₂ şeklindedir. Sıçrayan parçaların boyutları karbon oranı ile paralel olarak artmaktadır. Oksijen ve karbondioksit oksitleyici gazlar olup, yüksek sıcaklıklarda oldukça aktif olduğundan, kaynak bölgesine kimyasal olarak etki etmektedirler. Koruyucu gaz içerisindeki karbondioksit miktarının artışı ile kaynak metalinde ferrit miktarı düşmektedir. Karışım gazı içerisindeki karbondioksit gazının artışına paralel olarak kaynak metali içerisindeki karbon miktarın da artma görülmektedir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında kullanılan koruyucu gaza azot ilavesi kaynağın katılmasında esnasında birincil δ -ferritten birincil östenite dönüşmektedir. Ferrit fazının ısı iletim katsayısı östenitin sahip olduğu ısı genleşme katsayısı değerinden daha düşüktür [50]. Bundan dolayı, kaynak metali içerisinde kalıntı ferrit olması çift fazlı yapılarda, östenit içerisinde δ -ferritte olduğu gibi, oluşabilecek ısı uyumsuzluğu azaltmaktadır [15].

3.3.4.5 Argon+ karbondioksit gazı

Karbondioksit, renksiz, kokusuz, özgül ağırlığı 1,977 kg/m³ ve havadan yaklaşık 1.5 kez daha ağır olan bir gazdır. Karbonun yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit, endüstriyel çapta, yanıcı gazların, akaryakıt ve kokun yanma ürünü olarak, kireç taşının kalsinasyonu, amonyak üretimi ve alkolün fermantasyonunda da yan ürün olarak ve bazı yörelerdeki kuyulardan da doğrudan elde edilmektedir [30].

Karbondioksit çeliklerin kaynağında sunduğu üstünlükler derin nüfuziyet, daha yüksek kaynak hızları ve düşük kaynak maliyeti olarak sıralanabilir. Koruyucu gazların farklı

kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, düzgün ve sakin bir ark ile kaynak yapabilmesi için, her bir gaza belirli bir ark gerilimi ve akım şiddeti uygulamak gerekmektedir. Örneğin; karbondioksit molekülünün ayrışması için yüksek akım yoğunluğuna gerek vardır. Bunun sonucu olarak iri taneli, sıçramalı bir damla geçişi oluşur ve derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilmektedir [11].

Yalın karbonlu çeliklerin CO₂ gazı altında kaynağı ekonomik açıdan çok uygun olmasına karşın, düzgün olmayan kaynak dikiş yüzeyleri, bazı durumlarda olumsuz etki ve derin nüfuziyet ve artan metal taşınım türünün etkisi nedeni ile ortaya çıkan aşırı sıçrama gibi olumsuzluklar bazen etkili olmaktadır. Yüksek miktarda sıçrama kaynak kalitesini düşürmesinin yanı sıra kaynak metali verimi ve sıçramaların temizlenmesi işlemi nedeni ile de maliyeti etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır [30, 35].

Argona oksijen veya karbondioksit gazların karıştırılması ile oluşan ekzotermik oksitlenme reaksiyonu sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi zayıflatır. Böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olmaktadır. Karbondioksit gazına % 30'u aşan oranda argon katılması sıçrama kaybını azaltmaktadır. Argona % 20'yi aşan miktarda karbondioksit katılması ise arkta metal taşınımının kısa devreli veya iri damlalı olarak gerçekleşmesini sağlamaktadır. Karbondioksit miktarı % 20'nin altına inmeye başlayınca belirli bir akım şiddeti ve ark gerilimi aralığında spray metal taşınımı gerçekleşmektedir [30, 35].

3.4. Paslanmaz Çeliklerin Birleştirilmesinde Kullanılan Diğer Kaynak Yöntemleri

Örtülü elektrot kullanılarak el ile yapılan ark kaynağı yapıldığında kaliteli bir bağlantının elde edilebilmesi için kaynakçının bilgi ve becerisinin çok daha iyi olmalıdır. Kaynak maliyetinin düşürülmesi, kaynaklı konstrüksiyon imalat süresinin kısaltılması ve kaynakçı

faktörünün kaynak dikişine olan etkisinin minimuma indirilmesi için günümüzde farklı kaynak yöntemleri geliştirilmektedir. Bunlardan biri MIG (Metal Inert Gas) kaynağıdır. Alüminyum, bakır ve alaşımlarının, yüksek alaşımlı çeliklerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, koruyucu gaz atmosferi altında ilave metalinin ark içindeki taşınımı sırasında alaşım elementlerinin kayıpları oldukça azdır. Titanyum gibi reaktif elementler de ark içinde çok az kayba uğrayarak kaynak banyosuna geçmektedir. Böylece, bu yöntemde titanyum ile stabilize edilmiş östenitik paslanmaz ilave metalleri de kullanılabilir. Argon koruması altında %95'in üzerinde geçiş verimi sağlanmaktadır. Bu tür çeliklerin MIG kaynağında kullanılan ilave tel çapları malzeme kalınlığına ve ark türüne göre 0.6-3.0 mm arasında değişmektedir.

Doğru akımda tel pozitif kutupta ve koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında arkta metal taşınımı spray ark ile gerçekleştirilebilir, voltaj değerleri belirli bir seviyenin altında olduğunda arkta metal taşınımı, büyük damlalar halinde aşırı sıçramalara ve ark dengesizliğine neden olmaktadır. Dengeli bir spray ark için akım değeri 1,6 mm tel çapı için 300 Amper civarında seçilmesi gerekmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı kısa ark, darbeli ark kullanılarak da gerçekleştirilebilir. MIG kaynağının bu ark türleri, düşük akım şiddetlerinde ve 18-24 Volt arasındaki ark gerilimlerinde oluşur. Bu ark türleri çok ince, örneğin 0.25 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik saçların kaynağında bile kullanılabilir. Bu tekniklerde ısı girdisi spray ark haline karşın daha düşük olduğundan çarpımlarda en az seviyede oluşmaktadır [30].

Paslanmaz çelik MIG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar soy gazlar ve bunların, belirli oranlardaki karışımları kullanılmaktadır. Karışım gazları oksitleyici gazlarda eklemektedir. Geliştirilen yeni karışım gazları arkı dengelemekte olup, aynı zamanda kaynak esnasında nufuziyeti etkilemektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında genel olarak Ar - O₂ veya CO₂ gibi oksitleyici bileşen içeren karışım koruyucu gazlar kullanılmaktadır. Argona, oksijen veya karbondioksit katılarak arkın dengelenmesini sağlanmaktadır. Oksijen, karbondioksit'e

göre 2–3 kat daha etkin olmaktadır. Saf argon veya helyum ile bunların karışımlarının kullanılması sonucu kararsız bir ark çıkmaktadır. Koruyucu asal gazı az bir miktar O_2 ve CO_2 katılması sonucu iş parçasında arkın bulunduğu yere çok yakın bölgelerde oksit tabakası oluşmaktadır. Buna ilave O_2 ve CO_2 erimiş metal damlacıklarının yüzey gerilimini düşürmekte ve spray ark ile çalışılması durumunda arkın kararlılığını sağlamaktadır. Karışım gazlarında saf argon kullanılması durumuna göre esas metalin ısılatma özelliğinin de geliştiği görülmektedir. Erimiş metal ile esas metal arasındaki yüzey gerilim açısı önemsiz hale gelişmektedir [4, 8, 20].

İlave tellerin kullanılması halinde karışım gazların içeriğinde % 1 - O_2 ve % 2–4 CO_2 bulunabilir. Oksijen miktarı %1'den, karbondioksit miktarı %2'den az olduğu zaman etkileri arkın dengelenmesinde yetersiz kalmaktadır. Oksijen miktarı %2'den, karbondioksit miktarı %4'den fazla olur ise banyonun oksitlenmesi şiddetlenmektedir. Özellikle çok yüksek nikel alaşımlı ostenitik veya nikel alaşımlarında saf argon kullanılması önerilmektedir. Çünkü bu alaşımlar oksijene karşı çok hassas olup ve dikiş üzerinde çok fazla oksitlenme görülmektedir [4, 10].

Gaz eritme kaynak yönteminde gerekli ısının biri yanıcı ve yakıcı olan gazın yakılmasıyla elde edilen alevden faydalanılarak yapılan birleştirmedir. Östenitik paslanmaz çeliklerin oksit-asetilen ile kaynağı, yavaşlığı ve kaynakçı becerisinin çok önemli ve gerekli olması nedeniyle yalnız çok ince saçların birleştirilmesinde uygulanmaktadır. Özellikle de 3 mm' den daha düşük kalınlıklardaki saçlar için çok uygun bir yöntemdir. Kıvrık alın ve alın birleştirme dizayn şekillerinde her pozisyonda kaynak edilebilmektedir. Bu kaynak yönteminde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır [5, 39].

- Kullanılan bekin numarası, aynı kalınlıktaki bir yalın karbonlu çeliğin kaynağında kullanılan 1-2 numara daha küçük olmalı ve özellikle mızrak türü alev veren bekler seçilmelidir.
- Kaynak alevi nötr karakterde olmalıdır.
- Kaynak sırasında oksidasyon önlemek amacı ile bu tür çelikler için özel dekapanlar kullanılmalıdır. Boraks bazlı dekapanlar krom oksit oluşumunu kuvvetli derecede önleyemediklerinden florür bazlı dekapanların kullanılması

uygundur.

- Kullanılan ek kaynak metali ile esas metal bileşimi uyumlu olmalıdır. İnce sacların kaynatılması halinde, sacları kesilmiş şeritler ek kaynak metali olarak kullanılabilir.

Örtülü elektrot ile ark kaynağında ark iş parçası ile eriyen elektrot arasında yanmaktadır. Böylece, eriyen elektrot aynı zamanda kaynak metali karışarak birleştirmeyi meydana getirir. Kaynak için gerekli kaynak akımı bu iş için geliştirilmiş kaynak üreteçlerinden sağlanmaktadır. Genel olarak paslanmaz çeliklerin kaynak yöntemi tercih edilmesinde aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

- Basit bir yöntem olması.
- Alev ve donanım yatırımının düşük oluşu ve kolay belirlenmesi.
- Atölye ve şantiyelerde uygulanabilirliği.
- Farklı uygulamalar için özel elektrot türlerin bulunması.
- Zor pozisyonlarda da kullanılabilmesi.
- Düşük ısı girdisi (özellikle ostenitik paslanmaz çelikler için).
- Kaynak edilecek malzeme kalınlığı.
- Malzemenin kimyasal bileşimi ve paslanmaz çeliğin her türünün kaynak edilebilmesi sayılabilir.

Örtülü paslanmaz çelik elektrotu malzeme kalınlığı 1.5 mm'den fazla olduğu durumlarda kullanılarak birleştirilmektedir. Erimiş akışkan bir kaynak banyosu tercih edilir. Böylece dikişin yüzeyi oldukça düzgün olduğundan kaynak sırasında temizleme işlemi kolaylaşır

[51]. Rutil tipi örtülü paslanmaz çelik elektrotların ince damlalı bir malzeme akışı sahip olup ve ince tırtırlı, düzgün dikişler elde edilmektedir. Doğru akım (elektrot +) veya alternatif akımla kaynak yapılabilir. Bu tip elektrot ile yapılan kaynak sonrasında oluşan cürufun uzaklaştırılması kolaydır ve kısmen kendiliğinden ayrılır. Bu özelliklerinden örtülü paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında tercih edilirler [1].

Bazik tip örtülü paslanmaz çelik elektrotlar sadece doğru akımla (elektrot +) kaynak yapılabilir. Kaynak işlemi esnasında damla geçişi daha iridir, bu nedenle kaynak edilmesi zor pozisyonlar için daha uygundur. Aynı zamanda aralık kapama özelliği iyi olduğundan

kök dikişler için tercih edilmektedir. Rutil tipi elektrotlarla kıyaslandığında göre kaynak dikişinin görünümü daha kaba olduğu ve cürufun daha zor uzaklaştırıldığı görülmektedir. Her iki elektrot tipinde de mümkün olan en kısa ark ile çalışılması gerekmektedir. Yüksek alaşımli olan elektrotun elektrik direnci yüksek olduğundan bu malzemelerde daha düşük akım şiddeti ile çalışmak gerekmektedir. Elektrot örtüsünün nemli olması kaynak davranışını ve cüruf geçişini kötüleştirerek gözenekliliğe veya soğuk yırtılmalara neden olabilir. Bazik elektrotlar içe gözenek oluşumu açısından daha az duyarlıdır [51]. Ark oluşumunun kolay olması kararlı ark, düzgün eritme, düşük akım şiddetlerinde kullanılabilirlik, cürufun kolay temizlenmesi, sıcak çatlamaya karşı dirençli dikişin oluşturulması, esas metal ile kaynak metali arasında kimyasal bileşim ve mekanik özellikler açısından çok farklılık göstermektedir. [51].

Ark kaynak yöntemlerine göre ısı girdisi ve dolgu oranının oldukça yüksek olduğu tozaltı kaynak yöntemi, östenitik paslanmaz çelik kalın sacların birleştirilmesinde rahatlıkla kullanılmaktadır. Kaynak metalinin katılaşması, oluşan banyonun büyüklüğü nedeni ile çok yavaş olmaktadır. Dolayısı ile alaşım elementlerinin segregasyonu ve mikroyapıda tane irileşmesi gibi problemler ile karşılaşmaktadır. Buna karşın, bu tür çeliklerin birbirleri ile karbonlu çeliklerin tok yüzey dolgularının oluşturulmasında, karbonlu çeliklerin paslanmaz çelik tabaka ile zırhlanmasında, karbonlu çeliklerin östenitik paslanmaz çelikler ile birleştirme kaynağında kullanılan bir yöntemdir. Bu kaynak yönteminin en büyük dezavantajlarından birisi donanımın pahalı olmasıdır. Yüksek ısı girdisi, yalnız oluk ve yatay pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi gibi sınırlamalar olmaktadır. Ancak oluşturulan

bağlantılar yüksek mukavemetli, değişmeyen kalitede ve çok iyi dış görünüme sahip olmaktadır.

Östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan plazma ark kaynağı hem yarı otomatik hem de otomatik olarak uygulanmaktadır. Yöntemin uygulanmasında ilave kaynak metali kullanılarak uzun ve kaliteli dikişler elde edilmektedir. İlave kaynak teli kullanılmadan da ince saclar halinde ağız hazırlanmadan alın birleştirmeleri yapılabilmektedir. Paslanmaz çeliklerin plazma ark kaynağında anahtar deliği tekniği 10 mm'nin altındaki saclar için uygun olmaktadır. Eğer tüm kaynak parametreleri çok iyi

kontrol edildiğinde bu yöntem ile 10 mm kalınlığındaki paslanmaz çelikler kolaylıkla birleştirilebilmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin plazma ark kaynağında plazma gazı olarak Ar veya He kullanılabildiği gibi % 99.5Ar+% 0,5 O₂, % 92.5Ar+% 7.5H₂, % 95Ar+% 5H₂ karışım gazları anahtar deliği tekniğinde; % 75He+% 25Ar karışımı da eritme tekniğinde kullanılmaktadır. Uygulanan tekniğe bağlı olarak kullanılan koruyucu gazlar ise, % 75He+% 25Ar, Ar+% 1-5H₂ anahtar deliği tekniğinde, Ar, He veya Ar+% 1-5H₂ eritme tekniğinde kullanılmaktadır.

Plazma ark kaynağı azot eklenerek mukavemetleri arttırılmış östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında TIG yöntemine daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu yöntemde nufuziyet ve genişlik oranları sınırlanmış olmakla birlikte gözenek oluşumu ve dikişin gaz kapması en az miktarlarda olmaktadır [4].

Bilinen yöntemlere göre, lazer ışını ile kaynak yöntemi yeni ve otomasyona elverişli bir eritme kaynağı yöntemi olarak dikkati çekmektedir. Odaklanmış ışın etkisiyle metal yerel olarak eritilmekte ve bir anahtar deliği oluşumu ile derin kaynama etkisi elde edilmektedir. Elde edilen kaynak dikişleri çok dar olmakla beraber, yüksek güçlü lazerlerin kullanımı ile 15 mm'ye kadar levha kalınlıklarının kaynakla birleştirilmektedir. Isı girdisi yerel olduğundan ısı hızla uzaklaşmaktadır. Bu kaynak yönteminin başlıca özellikleri:

- Derinlik/genişlik oranı çok büyük dar kaynak dikişleri.
- Dar ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge)
- Düşük ısıl çarpılma.
- İyi şekillendirilebilirliktir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Kaynak Yöntemleri

Deneyleerde AISI 304, AISI 316 ve AISI 316 Ti kalite üç farklı kaliteye sahip östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Özellikle AISI 304 ve AISI 316 serisi östenitik paslanmaz çelikler içerdiği karbon miktarı bakımından L ile ifade edilen türlerine göre farklı olup, daha fazla karbon içermektedirler. Ancak AISI 316 Ti tipi östenitik paslanmaz çelikler içerdikleri titanyum ile oksidasyon ve korozyona dirençli oldukları kadar kaynak işlemi esnasında oluşabilecek krom karbür çökmesini önlemektedirler. Bu nedenle bu tip östenitik paslanmaz çelikler, kaynak sırasında ısı tesiri altında kalan bölgede (ITAB) oluşan ve taneler arası korozyona neden olan krom karbür çökmesinin önlenmesi amacıyla üretilmişlerdir. Çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin kalınlığı 3 mm civarındadır. Numuneler 90x220 mm ebatlarında kesilme işlemi ardından, karşılıklı küt kaynak dizaynı şeklinde düzenlenip, birleştirme öncesi nokta birleştirmeler ile sabitlendikten sonra TIG gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmişlerdir. Birleştirilen parçalardan çekme, eğme, sertlik deneyleri ile, mikroyapı incelemelerinde kullanılan deney numuneleri çıkarılmıştır. Tablo 4.1. ve Tablo 4.2’de kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin ve ilave metallerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 4.1 Çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal birleşimi [1, 52]

Türü	Kimyasal Analiz Değerleri									
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo	N	Ti
AISI 304	0,08	2	1	18-20	8-10,5	0,045	0,03	-		-
AISI 316	0,08	2	1	16-18	10-14	0,045	0,03	2-3		-
AISI 316 Ti	0,035	1,67	0,64	16,5	10,7	0,026	0,001	2,05	0,015	0,37

Tablo 4.2 Çalışmalarda kullanılan ilave metallerin kimyasal birleşimleri [1, 53].

ilave metaller	Kimyasal bileşim (% kütlese)								
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Nb
ER 308L	0,030	1,8	0,03	0,025	0,40	20	10,5	0,3	-
ER 316L	0,03	1,8	0,03	0,025	0,45	18,5	12,5	3	-
ER 347	0,048	1,4	0,017	0,025	0,37	19,36	9,61	0,27	0,36

TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 304 tip östenitik paslanmaz çeliğin kaynağında 1,6 mm çapındaki ER 308L ilave metal kullanıldı. AISI 316 kalite paslanmaz çeliğin kaynağında 1,6 mm çapındaki ER 316L ilave metal kullanıldı. AISI 316 Ti kalite paslanmaz çeliğin kaynağında ise 1,6 mm çapında ER 347 ilave metal kullanıldı. Kaynak esnasında koruyucu atmosfer olarak saf Argon, Argon+%5 H₂, Argon+%25 He ve Argon+Azot gazları kullanıldı. TIG kaynağında 2,4 mm çapında % 2 toryumlu tungsten elektrot kullanıldı. Kullanılan nozul ise, 9 mm çapındadır. Kullanılan gazın akış oranı ortalama olarak 6 litre/dakika seçilmiştir. Tablo 4.3.'de bu çalışmada kullanılan kaynak parametreleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

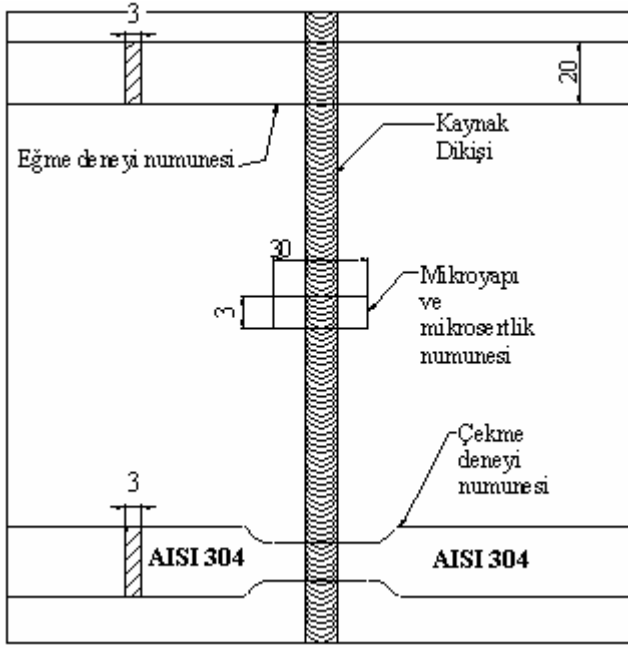
Tablo 4.3 Çekme deneyleri yapılan parçalarına uygulanan TIG kaynak yönteminde kullanılan Parametreler

Malzeme cinsi	İlave metal cinsi	İlave metal çapı (mm)	Akım değeri (Amper)	Paso sayısı	Koruyucu gaz	Kaynak hızı (mms ⁻¹)	Gaz debisi lt/dk
304	ER 308L	1,6	127	1	Ar	1,3	6
	ER 308L	1,6	127	1	Ar+%25He	1,47	
	ER 308L	1,6	90	1	Ar+%5 H ₂	1,23	
	ER 308L	1,6	127	1	Ar+N ₂	1,67	
316	ER 316L	1,6	122	2	Ar	1,71	
	ER 316L	1,6	140	1	Ar+%25He	1,76	
	ER 316L	1,6	122	1	Ar+%5 H ₂	1,96	
	ER 316L	1,6	122	2	Ar+%5 N ₂	1,92 2,67	
316Ti	ER 347	1,6	125	1	Ar	1,87	
	ER 347	1,6	125	1	Ar+%25He	1,28	
	ER 347	1,6	125	1	Ar+%5 H ₂	1,48	
	ER 347	1,6	125	1	Ar+N ₂	1,81	

4.2. Mekanik Deneyler

4.2.1. Çekme Deneyleri

Şekil 4.1.'de çekme ve çentik darbe deneylerinde kullanılacak numunelerin ebatları ve birleştirilen parçaların neresinden alındığı gösterilmektedir. Çekme deneyi için DARTECT marka deney cihazı kullanılmış olup, çekme hızı olarak 0,2 mms⁻¹ seçilmiştir. DARTECT marka deney cihazında kullanılan her bir parametre için en az iki çekme deneyi yapılmıştır. Östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde koruyucu gazların mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.1. Kaynakla birleştirilmiş parçalardan çıkarılan çekme, eğme sertlik ve mikroyapı numuneleri

4.2.2. Vickers Sertlik Deneyleri

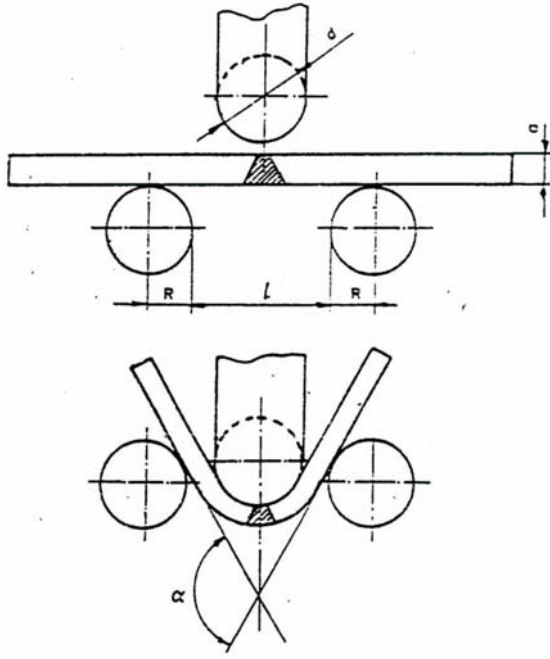
Sertlik ölçümleri, Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler Zwick Zhu 2,5 marka cihazla yapılmış olup, elmas piramit uç ve 10 kg yük kullanılmıştır. Sertlik alınan bölgeler, Şekil 4.2.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Şematik olarak gösterilen birleştirilmiş paslanmaz çelik numunenin Vickers sertlik değerlerinin alındığı bölgeler.

4.2.3. Eğme Deneyleri

Kaba ölçülerinde çıkartılan dikdörtgen kesitli eğme deneyi numuneleri. Her deney parçasından 2'şer adet deney numunesi hazırlanmış olup deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Eğme deneyi

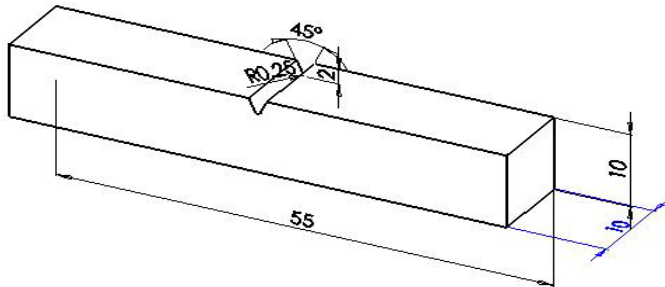
4.2.4. Çentik darbe deneyleri

Paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerinden olan çentik darbe deneyi AISI 304 ve AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çelik TIG kaynak yöntemiyle AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çelikte ER316L ve AISI 304 kalite paslanmaz çelikte ER308L ilave metalleri kullanılarak argon+%2H₂, argon +%25He ve argon +%5N₂ koruyucu gazları altında birleştirilmiştir. Charpy çentik darbe deneyi uygulanan östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi esnasında Tablo 4.4'te verilen deney parametreleri kullanılmıştır. Kaynak 10 mm kalınlığındaki östenitik paslanmaz çeliklere uygulanmış olup “v” kaynak ağzı açılmış ve kaynaklar yatay oluk pozisyonunda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.4 Charpy çentik deneyi yapılan numunelere uygulanan kaynak yöntemleri, şartlar ve ilgili kaynak parametreler

Numune No	Malzeme cinsi	İlave metal cinsi	Koruyucu gaz	Paso	Akım değeri (Amper)	Volt (V)	Kaynak hızı (mms ⁻¹)	İlave metal çapı (mm)	Gaz debisi lt/dk
1	304	308L	Ar+%2H ₂	1	160	15,2	1,94	1,6	6
				2			1,67		
				3			1,47		
2	316	316L	Ar+%2H ₂	1		14	2,59		
				2			1,24		
				3			1,33		
3	304	308L	Ar+%25He	1		13,8	1,98		
				2			1,04		
				3			1,22		
4	316	316L	Ar+%25He	1		14,2	2,02		
				2			0,90		
				3			1,33		
5	304	308L	Ar+%5N	1	13,8	1,49			
				2		1,18			
				3		1,09			
6	316	316L	Ar+%5N	1	14,2	2,02			
				2		1,19			
				3		1,15			

Deneylerde RKP450 300J HUMMER marka çentik darbe deney cihazı kullanılmış olup, deneyde pendulum tip cihaz kullanılmıştır. Deney esnasındaki çekicinin çarpma hızı 5,2 ms⁻¹ olarak ayarlanmıştır. Çentik darbe testleri en az üç test sonucunun aritmetik ortalaması alınarak çentik darbe tokluk değerleri “Joule” değeri cinsinden tespit edilmiştir. Charpy çentik darbe deneyinde kullanılan numune ölçüleri Şekil 4.4.’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Çentik darbe test numune ölçüleri

4.3. Mikroyapı İncelemesi

4.3.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

Kaynak edilmiş parçalardan çeşitli boyutlarda çıkarılan kaynak numuneleri mikroyapı incelemeleri için bakalite alındıktan sonra sırasıyla 220, 320, 600, 800, 1200 numaralı SiC zımpara ile su altında zımparalandı. Bu işlemden sonra numuneler, 1 µm'luk elmas pasta kullanılarak mikro keçe kumaş üzerinde parlatıldı. Parlatılan numuneler su ile yıkanıp yüzeylerine alkol püskürtülüp, daha sonra kurutuldu. Mikroskopik incelemeye hazır hale getirilen numuneler, %10 oksalik asit çözeltisinde 10,4 V 'ta belirli bir süre tutularak elektrolitik olarak dağlanmıştır. Dağlama işleminden sonra parçalar yıkanıp yüzeyleri alkol ile temizlendi ve sonra kurutulan numunelerin NİKON ECLIPSE L150 optik mikroskobu ile aydınlık ve karanlık alan çalışmaları yapılmıştır.

4.3.2 Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ve Element Analizleri

Farklı koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen AISI 304, AISI 316 ve AISI 316Ti paslanmaz çeliklerin ITAB içersinde kaynak metali ile ana malzeme arasındaki geçiş bölgelerde, ana malzeme ve kaynak metaline ait mikroyapı görüntüleri ile kırılma yüzey morfolojileri Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı çalışmaları JEOL JSM-6060LV marka SEM mikroskobunda gerçekleştirilmiştir. EDS (Elektron dispersive spectroscopy) analizleri numunelerin ana metal, kaynak geçiş ve kaynak bölgelerinden noktasal olarak, lineer element analizleri ise bir çizgi boyunca gerçekleştirilmiştir. Bu analizler SEM mikroskobuna bağlanan IXRF 500 model elektron dağılım spektrometresi yardımıyla yapılmıştır.

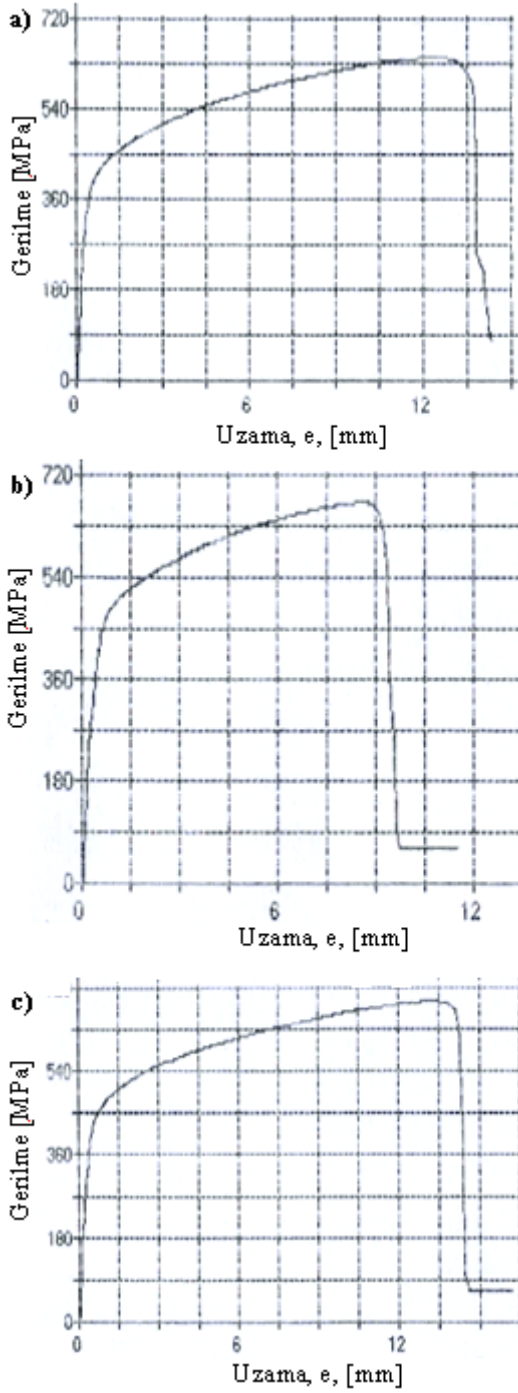
BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Çekme Deneyi Sonuçları

İlgili standartlara uygun olarak Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında 60 tonluk DARTEC marka bilgisayar destekli çekme cihazında yapılan çekme deneyleri sonuçları Tablo 5.1’de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi birleştirme esnasında kullanılan koruyucu gaz birleştirilen malzemenin çekme ve akma dayanımları ile % uzama değerleri üzerinde etkileri bulunmaktadır. AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde ER 308L ilave metal kullanılmıştır. AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde ise ER 316L ilave metal kullanılmıştır. Son olarak birleştirilen AISI 316Ti kalite östenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde ise ER 347 ilave metali kullanılmıştır. Birleştirilen bu malzemelerin çekme deneyi sonunda elde edilen ve örnek olarak seçilen gerilme uzama eğrileri Şekil 5.1 a-c de verilmiştir. Şekillere bakıldığında gerilme uzama eğrileri östenitik paslanmaz çelikler için genel bir gerilme uzama görüntüsünü vermiştir.

Tablo 5.1. Uygun ilave metalleri kullanılarak birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin çekme deneyi sonrasında elde edilen değerler.

Malzeme Cinsi	İlave Metal Cinsi	Koruyucu Gaz	Akma Gerilmesi (MPa)	ekme Gerilmesi (MPa)	% uzama miktarı
AISI 304	ER308L	Ar	436±19	672±10	51±3
AISI 304	ER308L	Ar+%25 He	431±11	688±8	41±3
AISI 304	ER308L	Ar+%5H ₂	425±16	679±12	40±2
AISI 304	ER308L	Ar+N ₂	462±15	719±14	36±5
AISI 316	ER316L	Ar	431±11	562±42	43±4
AISI 316	ER316L	Ar+%25 He	441±9	654±14	49±2
AISI 316	ER316L	Ar+%5H ₂	410±14	630±12	48±1
AISI 316	ER316L	Ar+N ₂	453±18	583±10	33±3
AISI 316Ti	ER347	Ar	481±20	698±35	53±3
AISI 316Ti	ER347	Ar+%25 He	441±9	678±5	61±2
AISI 316Ti	ER347	Ar+%5H ₂	509±18	753±52	50±2
AISI 316Ti	ER347	Ar+N ₂	374±10	586±60	48±3

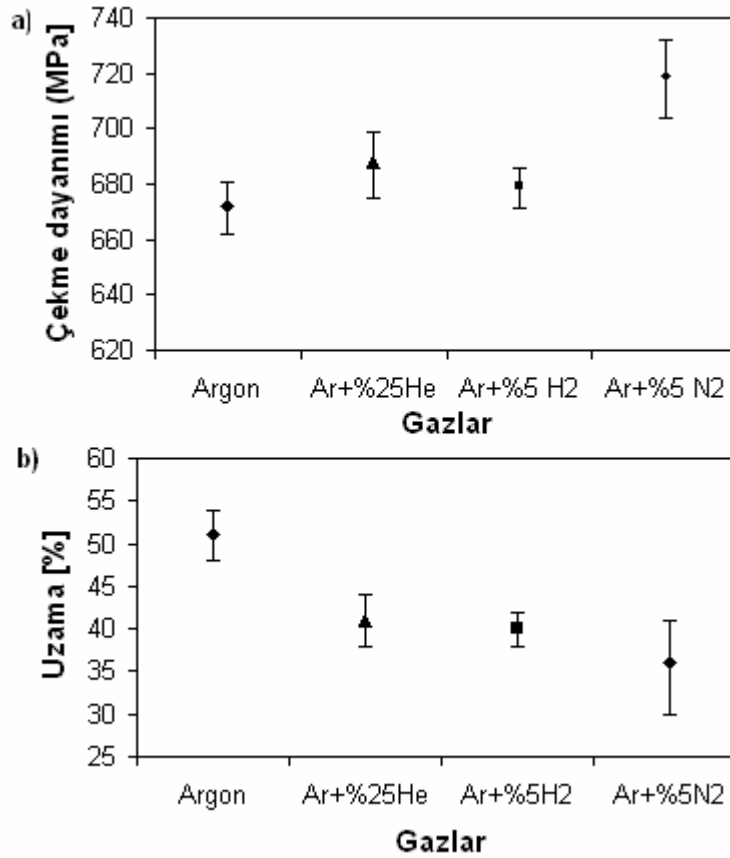


Şekil 5.1. Farklı koruyucu gaz atmosferi kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen a) AISI 304 b) AISI 316 c) AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama eğrileri

Şekil 5.2 a ve b'de farklı koruyucu gazlar altında TIG yöntemiyle birleştirilmiş AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı ve % uzama değerleri şematik olarak verilmiştir. Şekiller incelendiğinde en yüksek çekme dayanımı değeri ortalama olarak 719 MPa ile argon+%5 N₂ gazı atmosferi kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmede elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük çekme dayanım değeri ise argon gazı kullanılarak

yapılan birleştirmede elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan argon+%25He ve Ar+%5H₂ gazı kullanılarak yapılan birleştirmede argon gazı kullanılarak yapılan birleştirmelere göre daha yüksek çekme dayanım değerleri elde edilmiştir. Yapılan ekme deneyi sonucunda elde edilen % uzama değerlerine bakıldığında en yüksek uzama değeri ortalama olarak % 51 ile argon gazı altında yapılan birleştirmede elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük uzama değerleri % 36 ile argon+%5N₂ gazı kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazlar malzemenin sahip olduğu çekme dayanım değerleri ile % uzama değerlerinin belirlenmesinde etkili olmuştur. Argon+%5N₂ ile argon gazı ile yapılan birleştirmelerde elde edilen çekme dayanım değerleri arasındaki fark % 6 olup çok fazla önemli değildir. Birleştirmelerde kaynak hızı önemli olduğundan argon ve hidrojen gazı ilaveli gazlar kullanılabilir. Diğer taraftan koruyucu gaz olarak kullanılan argon ile argon+%5N₂ altında yapılan birleştirmelerde % uzama değerleri arasındaki fark %30 civarında olup önemli bir orana sahiptir. Bu sonuçlardan argon+%5N₂ gazı ilavesi ile daha hızlı ve yüksek mukavemetli birleştirmeler elde edilirken, aynı zamanda sünekliği daha az birleştirmeler de elde edilmektedir. Yapılan birleştirmeler ile daha sünek birleştirme elde edilmek istenildiğinde koruyucu gaz olarak argon gazının tercih edilmesi gereklidir.

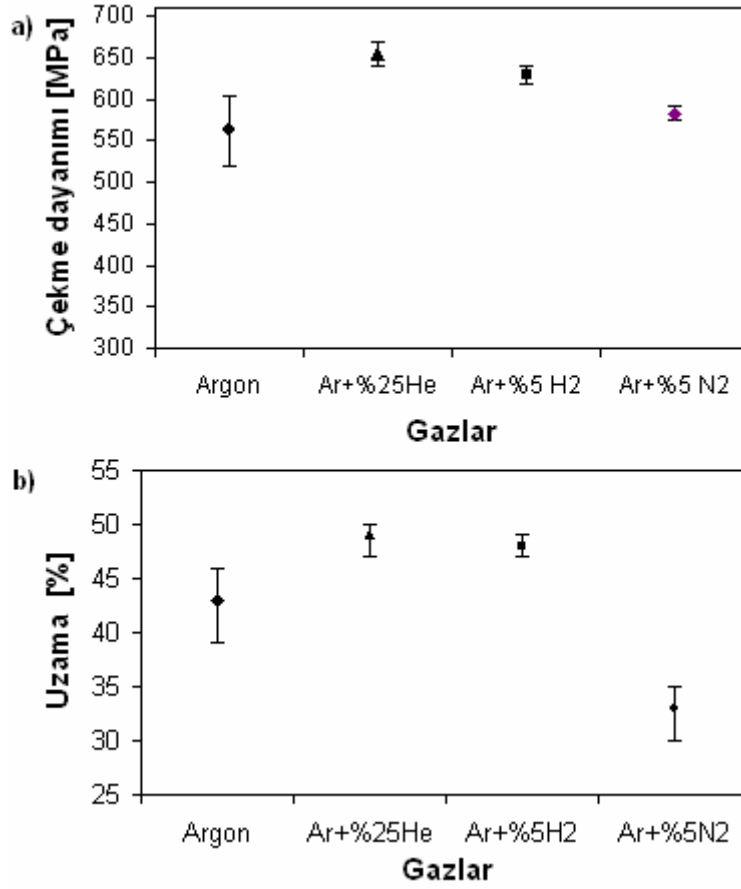
Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarı ile kaynak esnasında ısı girdisi artmaktadır. Azot argona göre daha yüksek ısı iletim katsayısına sahiptir [47]. Koruyucu argon gazı içerisinde azot miktarı ile kalıntı gerilmeler artmaktadır[15]. Düşük % uzama değerlerine neden olabilir.



Şekil 5.2. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

Şekil 5.3. a-b'de çeşitli koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak birleştirilen AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı ve uzama değerleri verilmektedir. ER 316L ilave metal kullanılarak yapılan birleştirmelerde şekilde görüldüğü gibi çekme dayanımı değerleri arasında çok büyük fark görülmektedir. Ancak argon gazı kullanılarak yapılan birleştirmede 562 MPa çekme dayanımı değeri ile en düşük çekme dayanımı değerleri elde edilmektedir. En yüksek çekme dayanım değerleri argon+%25He koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir. Elde edilen çekme dayanımı sonucunda AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde saf argon yerine argon içerisinde belli oranlarda katılan helyum, hidrojen ve azot karışım gazları kullanılarak daha dayanıklı birleştirmeler elde edilebilir. Bu malzemenin % uzama değerlerine bakıldığında en düşük % uzama % 33 ile argon+%5N₂ gazı kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. Diğer koruyucu gazlar kullanılarak yapılan birleştirmelerde % 43-49 arasında % uzama değerleri elde edilmektedir. Birleştirmede kullanılan ilave metalin

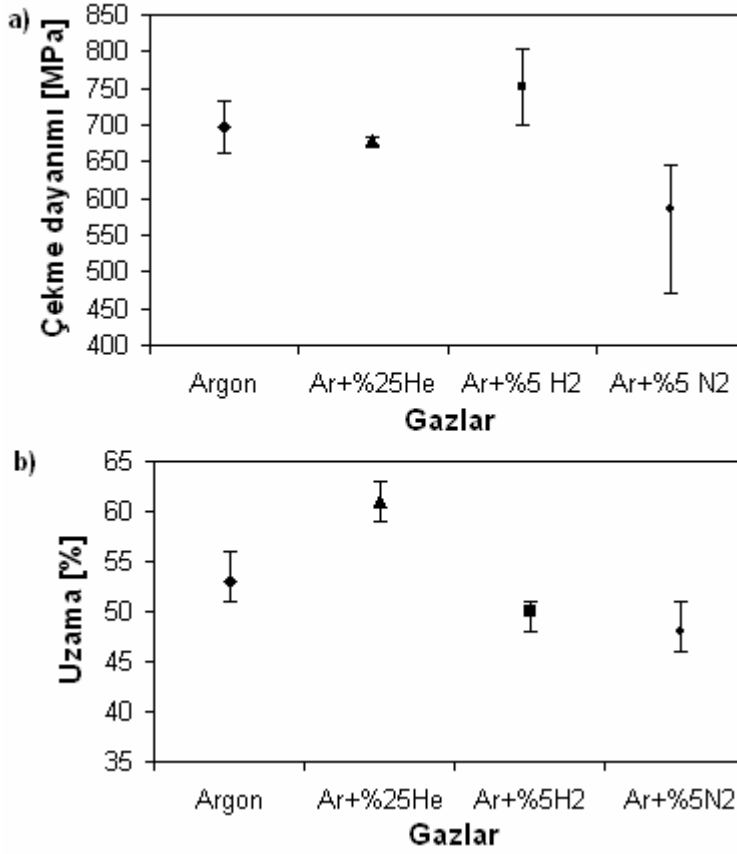
çekme dayanım değerleri ana malzemenin sahip olduğu çekme dayanım değerlerinden daha yüksektir. Bu nedenle daha yüksek dayanım değerleri elde edilmektedir [58].



Şekil 5.3. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

AISI 316Ti kalite östenitik paslanmaz çeliklerin çeşitli koruyucu gaz atmosferi altında yapılan birleştirmeler sonrasında gerçekleştirilen çekme deneylerinden elde edilen çekme dayanım ve % uzama değerleri Şekil 5.4'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi en yüksek çekme dayanımı değeri 753 MPa ile argon+%5H₂ gazı atmosferinde yapılan birleştirmede elde edilmiştir. En düşük çekme dayanım değeri ise ortalama 586 MPa ile argon+%5N₂ koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. Bu çekme dayanım sonuçlarına karşılık % uzama değerlerinde ise en yüksek değer argon+%25He koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiş olup % 61 uzama değeri elde edilmiştir. Diğer taraftan en düşük uzama değeri ise argon+%5N₂ koruyucu gazı kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiş olup elde edilen % uzama değeri ortalama % 48'dir. Bu çalışmadan görüldüğü kadarıyla ER 347 ilave metali kullanılarak birleştirilen AISI 316Ti paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde çalışmada kullanılan tüm koruyucu gaz kompozisyonlarında yüksek çekme dayanımı değerleri ile % uzama değerleri

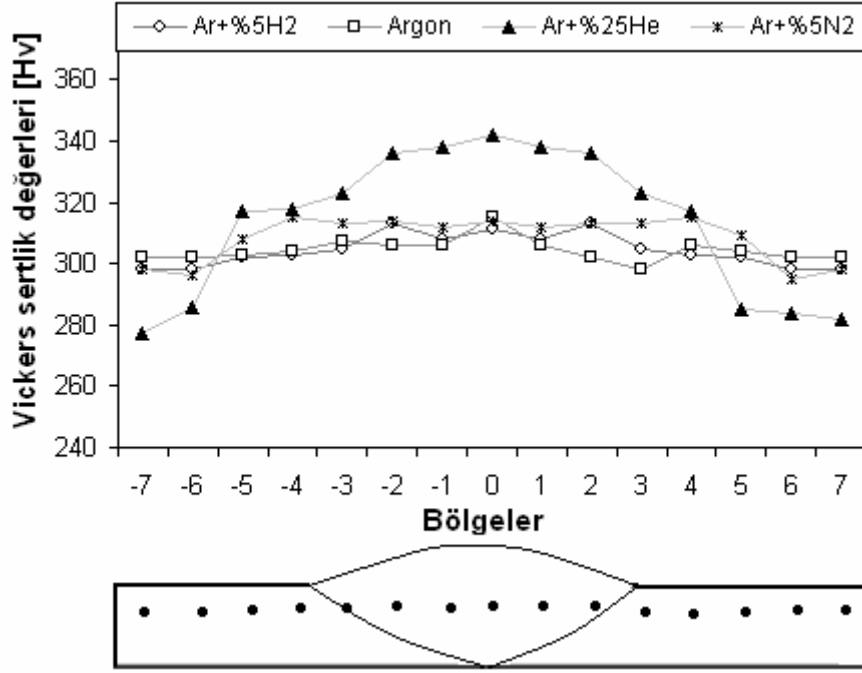
elde edilmiştir. Elde edilen değerler AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi sonucu elde edilen değerlerden yüksektir. AISI 316Ti östenitik paslanmaz çelikte bulunan titanyum ve ER 347 de bulunan niyobyum elementleri krom karbür çökmesini önleyerek birleştirilen malzemenin dayanıklı ve daha sünek olmasını sağlamaktadır. AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde argon+%5 H₂ ve argon+%25 He kullanılması daha uygun olduğu söylenebilir. Buna karşılık argon+%5N₂ gazı kullanıldığında titanyumun azota ilgisi sonucu birleştirme esnasında titanyum nitrür oluşturma eğilimi hem çekme dayanım değerlerinin hem de % uzama değerlerinin düşmesine neden olabilir. M. Gökmen [23] tarafından yapılan çalışmada 316Ti östenitik paslanmaz çelik malzemenin çekme dayanımı 575 Mpa civarında, % uzama değeri ise ortalama olarak % 64 civarında elde edilmişti. O çalışmada da çeşitli koruyucu gazlar ile yapılan birleştirmede ana malzemedan daha yüksek değerler bulunmuştu. Bu durum kullanılan ilave metalin sahip olduğu yüksek çekme dayanımı değerlerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.4. AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

5.2 Sertlik Deneyi Sonuçları

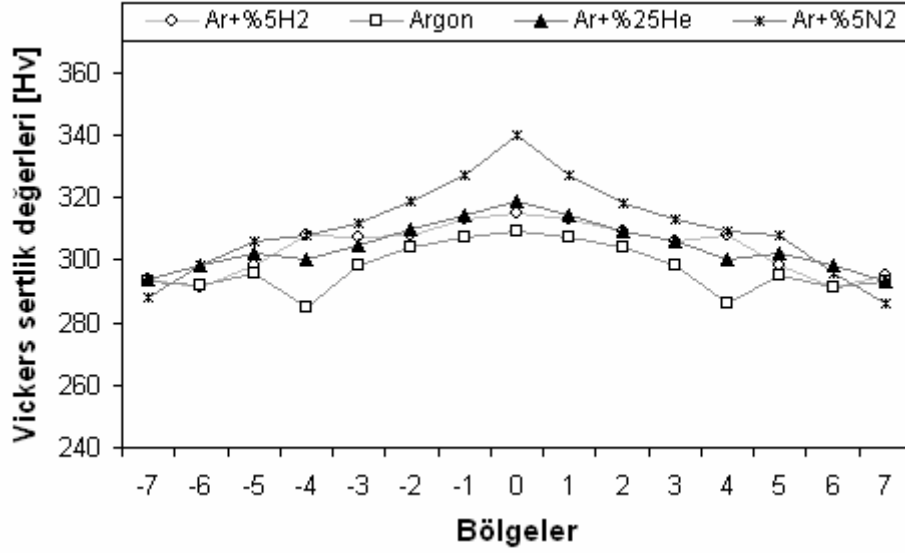
AISI 304, AISI 316 ve AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çelikler birleştirildikten sonra kesit yüzeylerinden sertlik ölçümleri alınmıştır. Şekil 5.5'te AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gazlar altında yapılan birleştirme sonucunda sertlik değerlerinin dağılımı verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi en yüksek sertlik değeri kaynak metalinde görülmüş ve argon+%25He koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir. Diğer gazlarla yapılan birleştirmelerde ITAB bölgesindeki sertlik değerleri birbirine çok yakın değerlerdir. Argon+%5N₂ kullanıldığında yapılan birleştirmelerde azda olsa daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.



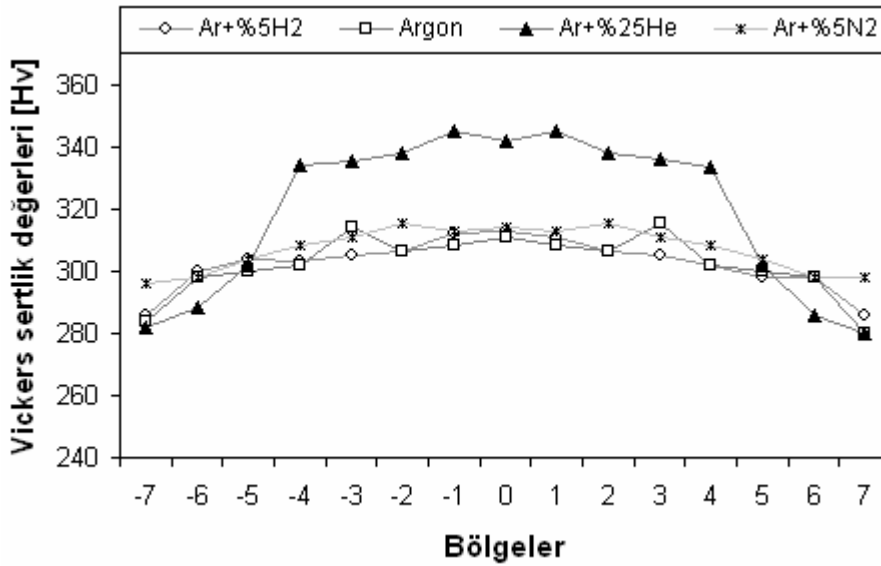
Şekil 5.5. TIG kaynak yöntemiyle AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde koruyucu gazın sertlik değerlerine etkisi.

Şekil 5.6’da TIG kaynak yöntemi ve farklı koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin ITAB bölgesinde sertlik değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde argon+%5N₂ gazı kullanıldığında daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Azotun tane inceltici özelliği kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımına paralel olarak sertlik değerlerinin de artmasına neden olduğu düşünülebilir. Ayrıca azot gazının kaynak metali içerisinde oluşturduğu safsızlıklar ve hızlı soğuması sonucu oluşan kalıntı gerilmeler sertlik değerlerinin artmasına neden olabilir. Argon gazı içerisinde azot bulunması ile kaynak bölgesindeki ısı miktarı artmakta ve sıcaklık yükselmesine neden olarak soğuma hızını düşürmektedir. Buda kaynak metali içerisinde kalıntı gerilme miktarını arttırmakta dolayısıyla sertlik değerlerinin artmasına neden olmaktadır [15]. Çalışmada kullanılan diğer koruyucu gazlarda hemen hemen benzer dağılım göstermektedir. Koruyucu gaz olarak argon gazı kullanıldığında kaynak bölgesinin yavaş soğuması ile oluşabilecek iç gerilmeler en aza indirildiğinden düşük sertlik dağılımı elde edilmiştir. Şekil 5.7 ‘te ER 347 ilave metali ve farklı koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin sertlik değerlerinin dağılımı gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi argon+%25He gazı kullanılarak

yapılan birleştirmede sertlik değerleri en yuğektir. Helyum gazının kaynak banyosunda oluşturduğu yuğek ısı enerjisi kaynağın yavaş soğumasını sağlamıştır. Argon+%5N₂ gazı kullanılarak yapılan birleştirmelerde daha duişuk sertlik değerleri elde edilmiştir. Argon bilindiği gibi osteniti dengeleyici olup kaynak metalinde ostenitik miktarını arttırmakta ve ostenit daha duişuk sertliğe sahip olduğundan elde edilen sertlik değerleri duişmektedir.



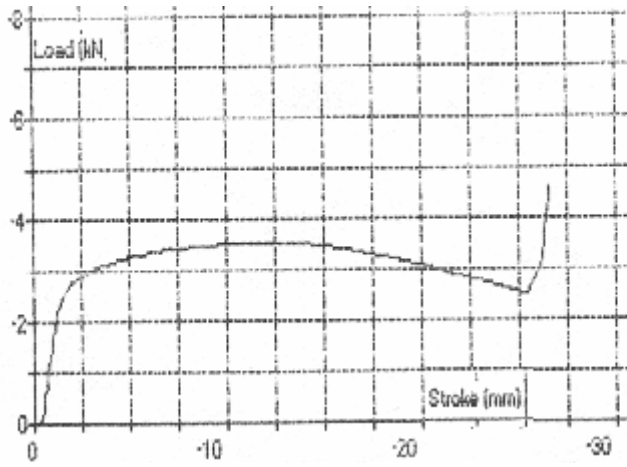
şekil 5.6. TIG kaynak yöntemiyle AISI 316 ostenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde koruyucu gazın sertlik değerlerine etkisi.



şekil 5.7. TIG kaynak yöntemiyle AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde koruyucu gazın sertlik değerlerine etkisi.

5.3 Eğme Deneyi Sonuçları

Farklı koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304, AISI 316 ve AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çelik parçalara uygulanan eğme deneyi sonrasında elde edilen yük uzama eğrileri Şekil 5.8’de verilmiştir. Uygulanan eğme deneyi sonucunda tüm parçalarda kaliteli ve iyi birleştirmeler gerçekleştirilmiş olup makroskopik olarak yapılan incelemelerde her hangi bir çatlğa, boşluğa veya başka bir kaynak hatasına rastlanmamıştır. Daha önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmektedir [23, 25].



Şekil 5.8. Eğme deneyi yapılan numunenin yük uzama eğrisi

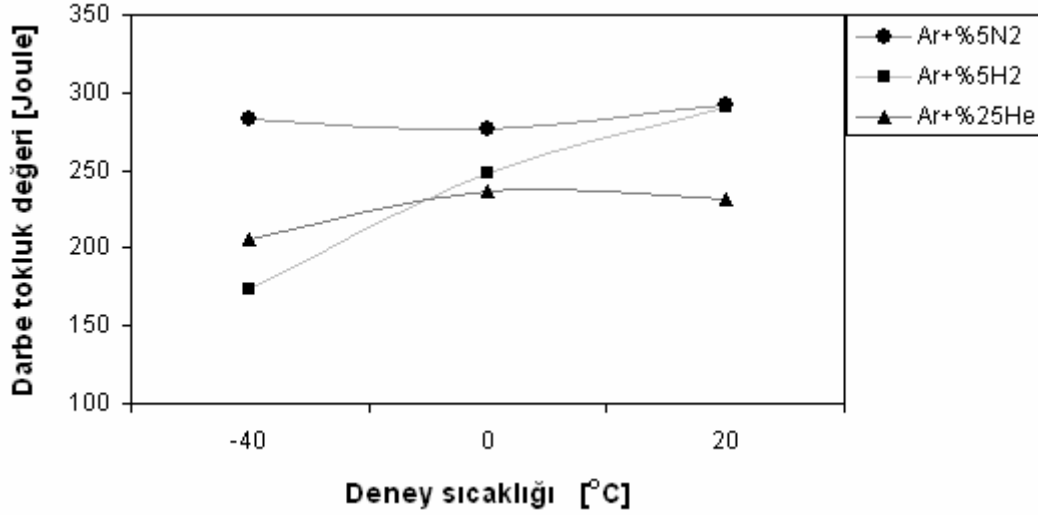
5.4 Çentik Darbe Tokluk Deneyi Sonuçları

Çentik darbe tokluk deneyleri için 10 mm kalınlığa sahip AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklere farklı koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirilen parçalara ilgili standartlarda belirtildiği gibi çentik açılarak çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Çentik darbe deneyi uygulanan numunelerinin bazılarının resmi Şekil 5.9’da gösterilmektedir.



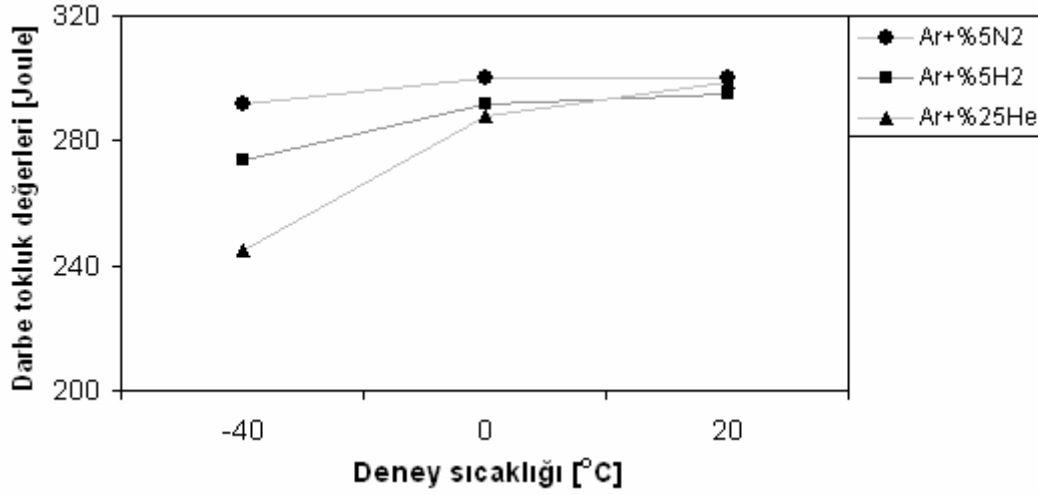
Şekil 5.9. Çentik darbe numune resimleri

Şekil 5.10'da farklı koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çelik parçalara uygulanan çentik darbe deney sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir. Çentik darbe deneylerinde en yüksek darbe tokluk enerji değeri oda sıcaklığında 292 joule ile argon+%5N₂ gazı kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. En düşük darbe tokluk değeri ise -40⁰C'de yapılan çentik darbe deneyinde ve argon+%5H₂ gazı kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiş şekle bakıldığında argon+%5N₂ kullanılan birleştirmelerde tokluk değerleri çentik darbe deneyi sıcaklığı ile değişmemektedir. Bunun nedeni kullanılan azot gazının östenit dengeleyici olduğundan kaynak bölgesinde δ-ferrit miktarı azalmakta östenitik mikroyapı ve yüzey merkezli kübik yapıya sahip olduğundan çentik darbe değerleri sıcaklığa bağlı olarak değişmemektedir [59]. Bu nedenle grafikte düz yatay bir çizgi gibi görülmektedir. Buna karşılık argon+%5H₂ gazı kullanıldığında yüksek ısı girdisi ile kaynak bölgesindeki δ-ferrit miktarı artmakta ve δ-ferrit hacim merkezli kübik yapıya sahip olduğundan çentik darbe değerleri sıcaklığa bağlı olarak değişmekte olup, özellikle 0⁰C'nin altındaki sıcaklıklarda kırılma etkisi yapmaktadır. Bu nedenle -40⁰C'de argon+%5H₂ gazı kullanılarak yapılan birleştirmede oldukça düşük değerler elde edilmektedir. Argon+%25He kullanıldığında argon+%5N₂ kullanılarak yapılan birleştirmeye göre daha düşük çentik darbe deneyleri elde edilmekle beraber bu değerler sıcaklığa bağlı olarak çok değişmektedir.



Şekil 5.10 Farklı koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çelik parçalara uygulanan çentik darbe deney sonuçlarının grafiksel gösterimi

Şekil 5.11’de farklı koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilerek AISI 316 östenitik paslanmaz çelik parçalara uygulanan çentik darbe deney sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu deneylerde de en yüksek darbe tokluk enerji argon+%5N₂ gazı kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir (oda sıcaklığı 300 Joule). En düşük değerler ise -40⁰C deney sıcaklığında argon+%25He gazı kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir. Bu durum kaynak bölgesindeki ısı girdisinin sonucu δ-ferrit miktarının artması ile açıklanabilir. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklere uygulanan çentik darbe tokluk değerleri AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde elde edilen darbe tokluk değerlerinden yüksektir. Bu malzemenin ve kullanılan ilave metalin kimyasal bileşimi darbe tokluk değerlerine etki etmektedir. Özellikle AISI 316 östenitik paslanmaz çelik içerisinde molibdenin bulunması darbe tokluk değerlerini arttırmaktadır. Literatürde belirtildiği gibi kırılma enerji değerlerini kaynak içerisinde hatalar olumsuz etkilenmektedir. Literatürde belirtildiği gibi bu tip paslanmaz çeliklerin Charpy çentik darbe deneylerinde elde edilen kırılma enerji değerleri sıcaklıklardan bağımsız olup 70-80 joule arasında değişmektedir [2]. Bu çalışmada elde edilen değerler kaynak ilave telinin sahip olduğu darbe tokluk değerleri ER 316L için 100 joule’dür [58]. Bu çalışmada elde edilen değerler literatür değerlerinden oldukça yüksek değerlerdir. Değerlerin arasındaki fark literatür ve bu çalışmada yapılan birleştirmelerde kullanılan kaynak parametrelerinden kaynaklanabilmektedir [56].



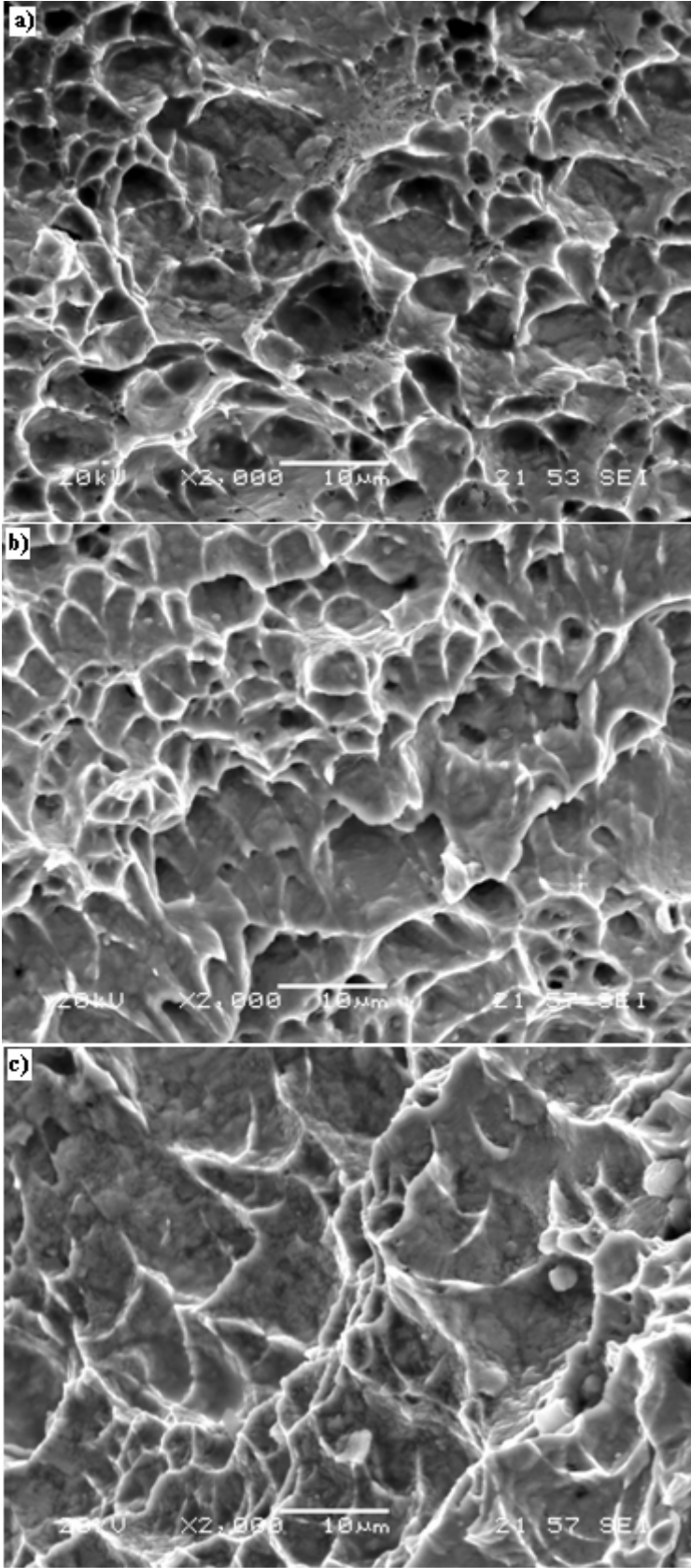
Şekil 5.11. Farklı koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çelik parçalara uygulanan çentik darbe deney sonuçlarının grafiksel gösterimi

5.5. Çentik Darbe Kırılma yüzey incelemeleri

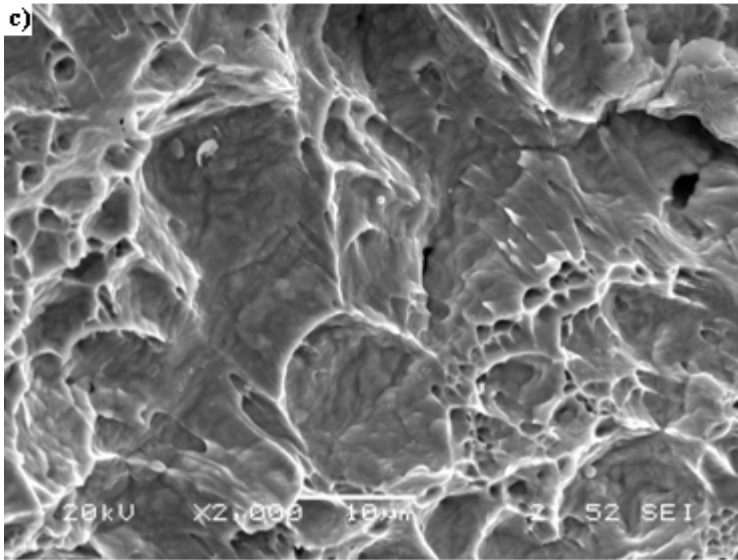
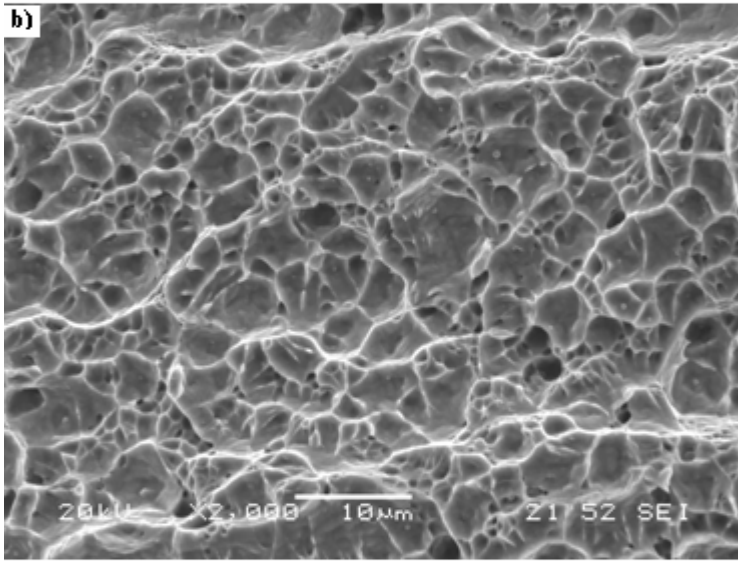
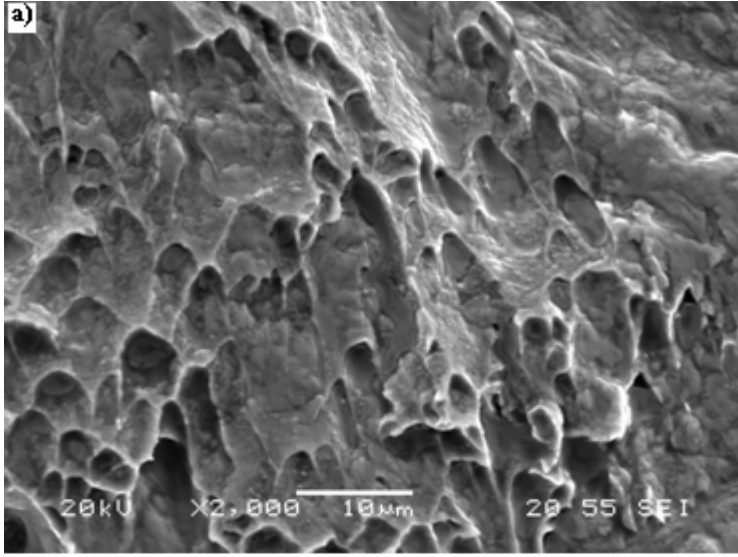
Çentik darbe deneyi uygulanan numunelerin kırılma yüzey morfolojileri SEM ile incelenmiştir. Kırılma yüzeylerinin incelenmesinde malzeme seçimi deneylerde elde edilen sonuçlara göre belirlenmiştir. Buna göre AISI 304 östenitik paslanmaz çelikler için argon+%5H₂ koruyucu gazı kullanılarak birleştirilen numuneler, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerde ise argon+%25He koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen numuneler çekilmiştir. Diğer kırılma yüzeyleri ise hem AISI 304 hemde AISI 316 malzeme için farklı koruyucu gazlar altında ve oda sıcaklığında yapılan deneylere ait numuneler tercih edilmiştir. Şekil 5.12'de argon+%5H₂ koruyucu gazı kullanılarak birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklere ait çeşitli sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzey görüntüleri verilmektedir. Kırılma yüzeylerine bakıldığında östenitik paslanmaz çeliklerin tipik kırılma morfolojileri görülmektedir. Bu görüntü delikli kırılma şeklinde gerçekleşmektedir. Şekil 5.12-c'ye bakıldığında -40°C sıcaklıklarda yapılan deneylerde kaynak metalinde hidrojenin sağladığı yüksek ısı girdisiyle δ-ferrit oluşmakta ve bu faz hacim merkezli kübik yapıya sahip olduğundan düşük sıcaklıklarda daha az sünek kırılma gerçekleşmektedir. Bu malzemelere ait kırılma yüzeylerinde kırılma yarıma şeklinde olmakta ve çatlak ilerlemesini sağlayarak düşük kırılma enerji değerlerinin elde edilmesine neden olmaktadır. Daha önceki çalışmalar bunu desteklemektedir [20, 23, 25].

Şekil 5.13’de AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin çeşitli sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneyi sonrasında elde edilen kırılma yüzeyi görüntüleri verilmektedir. Şekillere bakıldığında genellikle delikli kırılma morfolojileri görülmekte olup kırılma yüzey görüntüleri deney sıcaklığı ile farklılıklar gözlenmektedir. Bu tür malzemelerin birleştirilmesinde önceki çalışmalarda da benzer yüzey morfolojiler elde edilmektedir [21, 23, 25, 60].

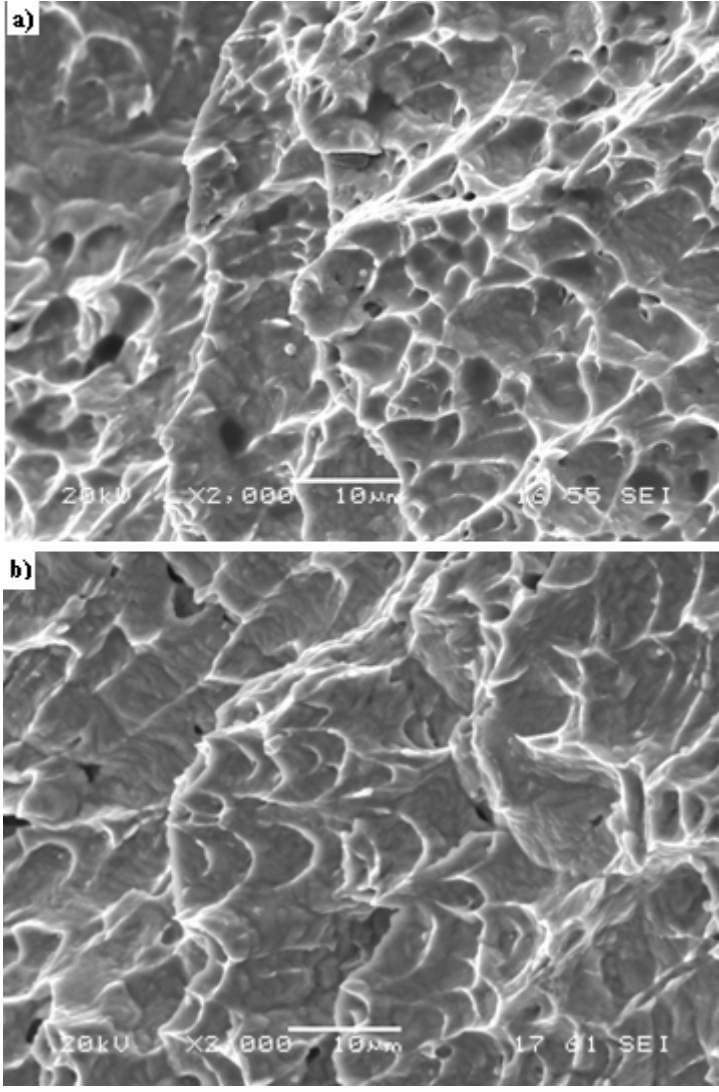
Şekil 5.14’de çeşitli koruyucu gaz altında birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin oda sıcaklığında gerçekleştirilen çentik darbe deneyi sonrası kırılma yüzey görüntüleri verilmektedir. Şekil 5.15’de ise aynı görüntüler AISI 316 östenitik paslanmaz çelikler için verilmiştir. Her iki şekle bakıldığında kırılma yüzey morfolojilerinin farklı olduğu görülmektedir. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin kırılma yüzeyleri delikli ve bir ağ şeklindedir. Bu şekilde elde edilen kırılma yüzeyi sonucu elde edilen darbe tokluk enerji değerleri daha yüksek olmaktadır.



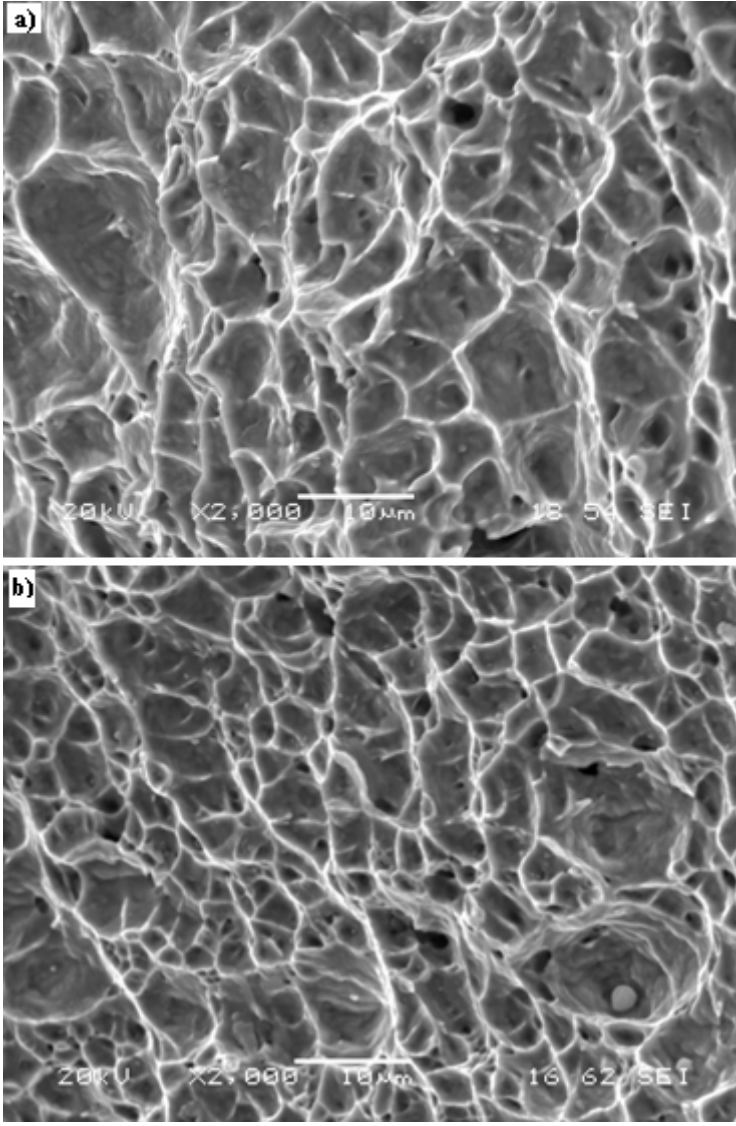
Şekil 5.12. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C sıcaklıklarda yapılan darbe-çentik deneyi sonrası elde edilen SEM kırılma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 5.13. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 5.14. a) hidrojen b) argon+ helyum koruyucu gazı altında birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklıklarında yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 5.15. a) hidrojen b) argon+ helyum koruyucu gazı altında birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklıklarında yapılan darbe-çentik deneyi sonrası elde edilen SEM kırılma yüzeyi görüntüsü

5.6. Mikroyapı İncelemeleri

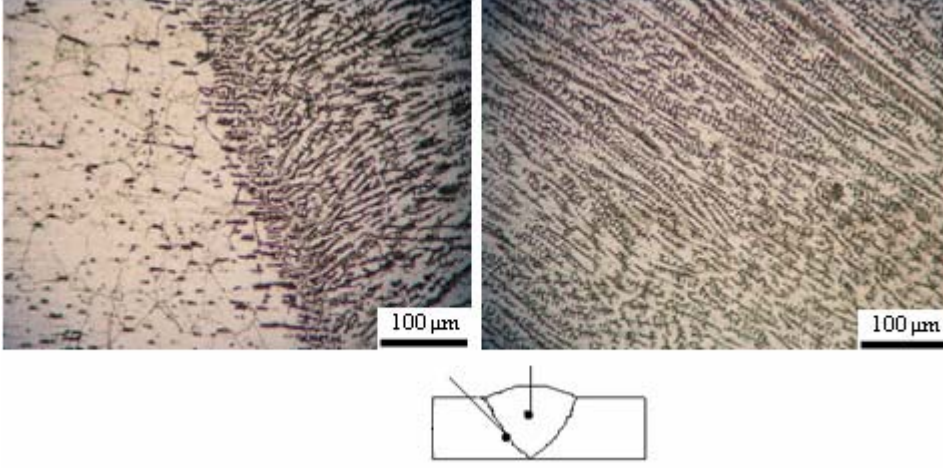
5.6.1. Optik mikroskop aydınlık alan incelemeleri

Bu çalışmada AISI 304, AISI 316 ve AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı incelenmiştir. Çeşitli koruyucu gazlar kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilen görüntüler Şekil 5.16-5.23'de verilmiştir. Şekillerden anlaşılacağına göre kullanılan koruyucu gaz kaynak geçiş bölgesi ile kaynak metalinin görüntüsü üzerine etkilidir ve mikroyapı görüntülerinde farklılıklar görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi kaynak

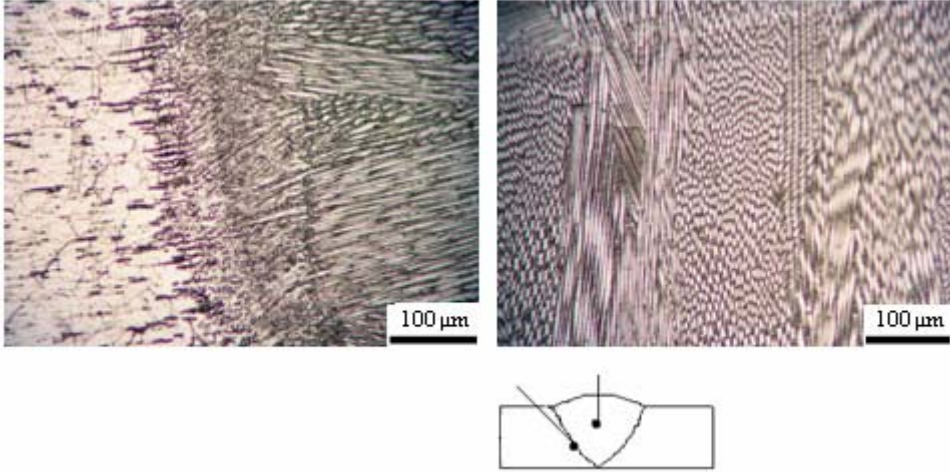
metalinde bulunan δ -ferrit fazı dendiritik yapı ve oldukça ince bir yapıya sahiptir ve kaynak metali içerisindeki δ -ferrit fazı miktarı, yönlendirilmesi ve yapıları arasında farklılıklar gözükmemektedir. Koruyucu gazı olarak argon+%25He kullanıldığında δ -ferrit tanelerinin daha yoğun ve yönlendirilmiş ve geçiş bölgesinin daha geniş olduğu görülmektedir. Argon+%5H₂ kullanıldığında geçiş bölgesi daha geniş olmakta ve δ -ferrit belli bir doğrultuda yönlendirilmektedir. Argon+%5N₂ gazı kullanıldığında daha geniş ferrit taneleri olması azotun östenit dengeleyici olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan birleştirmelerde kaynak metali içerisindeki δ -ferrit miktarı Schaeffer-Delong WRC 1992 diyagramı ile tespit edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çelikler ile uygun ilave metali kullanılarak yapılan birleştirmelere ait Cr_{eş}, Ni_{eş}, ve δ -ferrit değerleri Tablo 5.2.'de verilmiştir. Bu değerlere göre kaynak problemsiz yapılabilmekte ve kaynak esnasında herhangi bir önlem almaya gerek yoktur. Bu çalışmada elde edilen mikroyapılar daha önceki benzer malzemelerin görüntüleri ile uyumaktadır [23-25, 54-57].

Tablo 5.2. Çalışmada kullanılan malzeme ve ilave metaller kullanılarak yapılan birleştirmelerde çeşitli diyagramlar kullanılarak elde edilen Cr_{eş}, Ni_{eş} ve ferrit değerleri

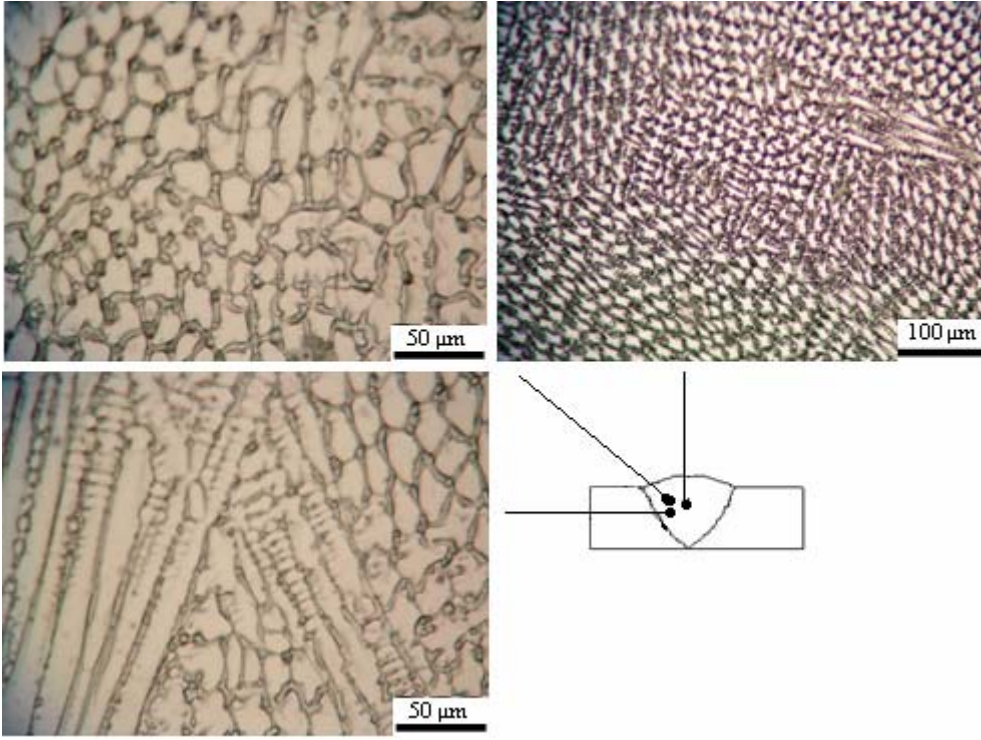
Malzeme ve ilave metal	Schaeffler			De Long			WRC-1992		
	Cr _{eş}	Ni _{eş}	Mikroyapı ve % ferrit miktarı	Cr _{eş}	Ni _{eş}	Ferrit No (FN) % ferrit miktarı	Cr _{eş}	Ni _{eş}	Ferrit No (FN)
AISI 304 ER 308L	20.8	11.6	Östenit + ferrit % 8.5 ferrit	20.8	11.6	14.9 13	19.9	11	12.9
AISI 316 ER 316L	21.4	13.5	Östenit + ferrit % 5	21.4	14.5	7.7 7.4	22.2	13.5	5.1
AISI 316Ti ER 347	20.1	12.1	Östenit + ferrit % 5.2	20.1	13.1	6.4 6.3	19.1	12.1	5.4



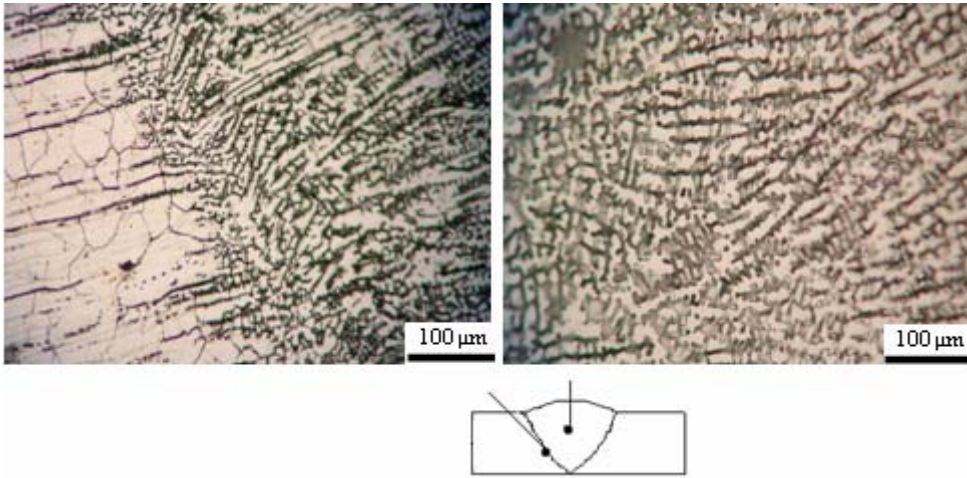
Şekil 5.16. Argon+%25 helyum koruyucu gazı altında ER308L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.



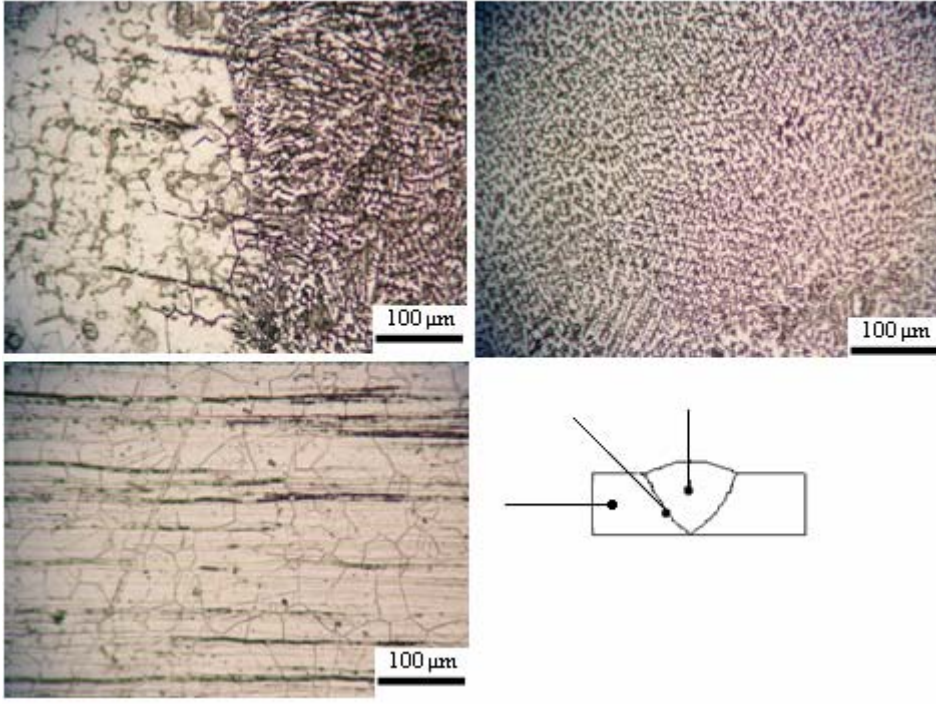
Şekil 5.17. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER308L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.



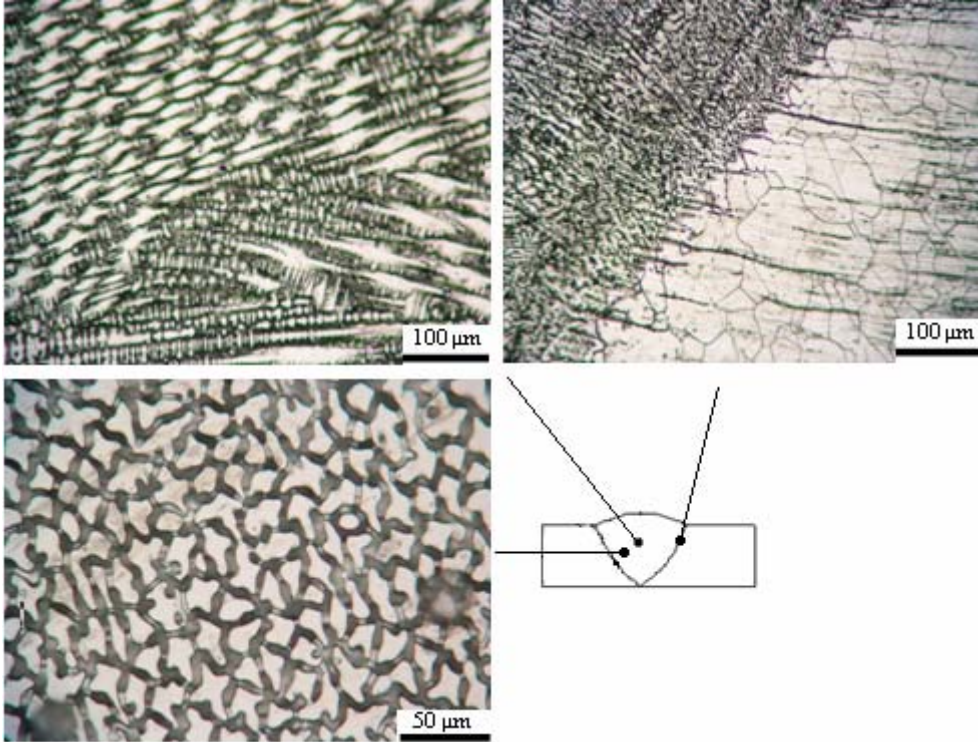
Şekil 5.18. Argon+%5 azot koruyucu gazı altında ER308L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.



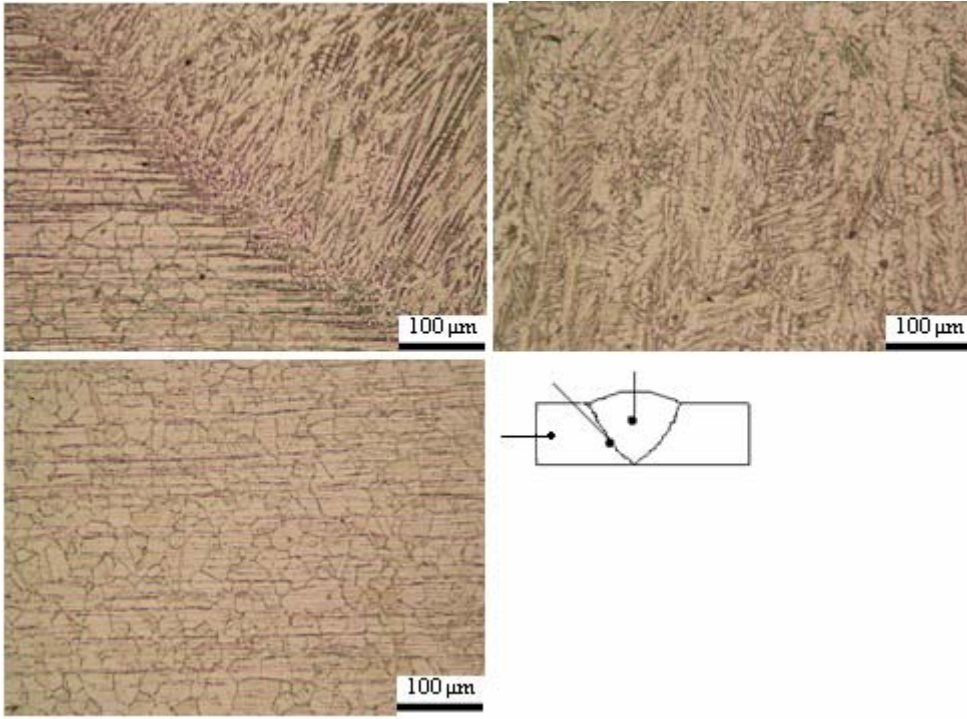
Şekil 5.19. Argon+%25 helyum koruyucu gazı altında ER316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.



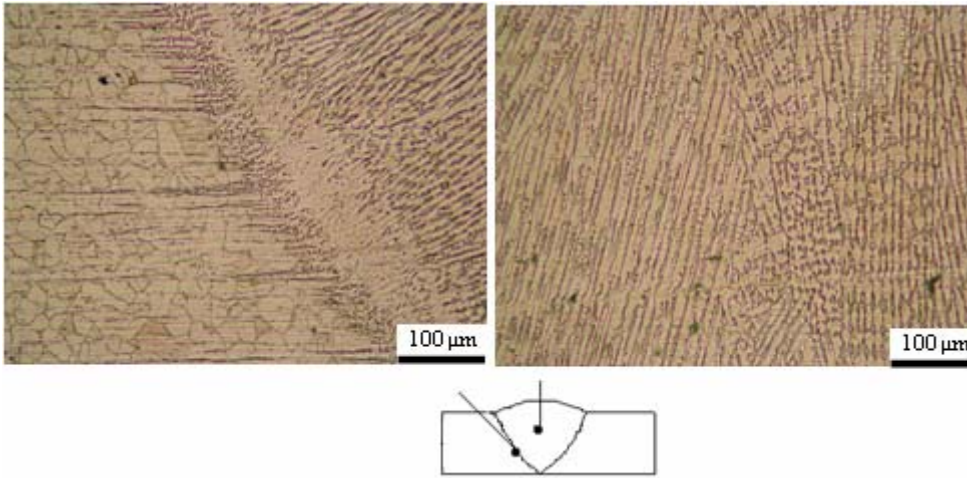
Şekil 5.20. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5.21. Argon+%5 azot koruyucu gazı altında ER316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5.22. Argon+%25 helyum koruyucu gazı altında ER347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.

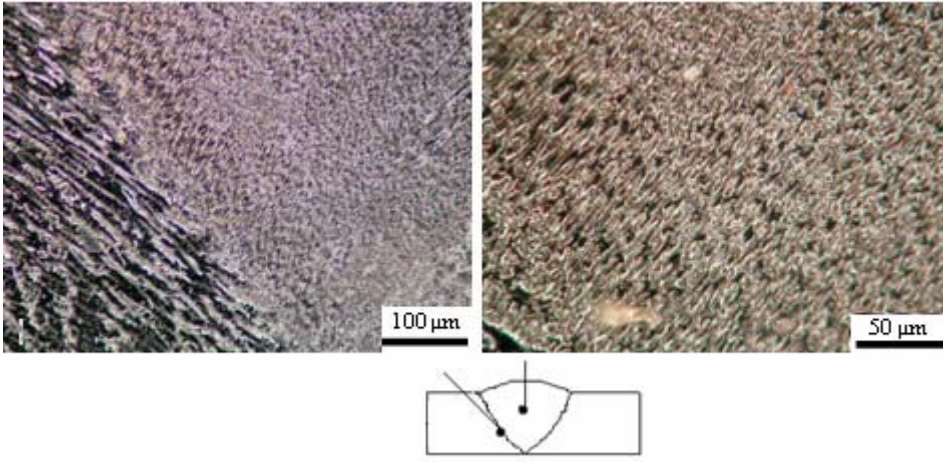


Şekil 5.23. Argon+%5 azot koruyucu gazı altında ER347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.

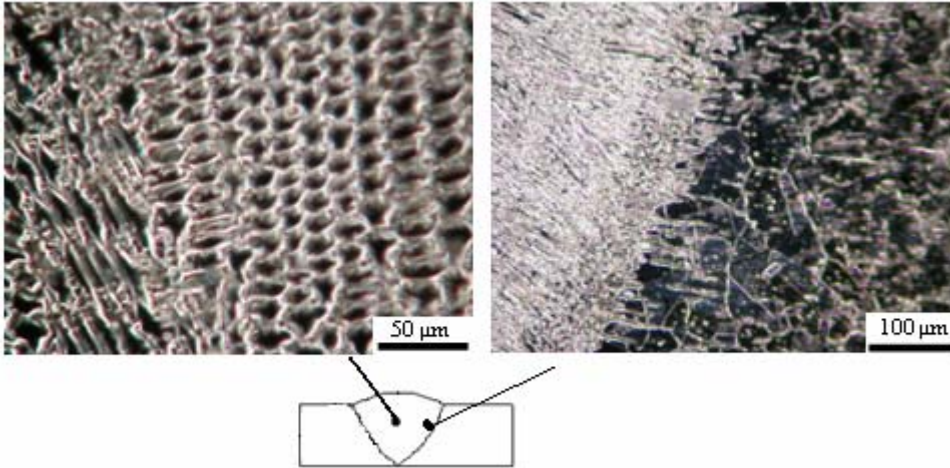
5.6.2. Optik mikroskop karanlık alan incelemeleri

Şekil 5.24-5.31'de farklı koruyucu gazlar altında yapılan AISI 304, AISI 316 ve AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çelik malzemelerin optik mikroskopta karanlık alan incelemeleri görülmektedir. Bu şekilde yapılan çalışma ile hem kaynak metali hemde kaynak geçiş

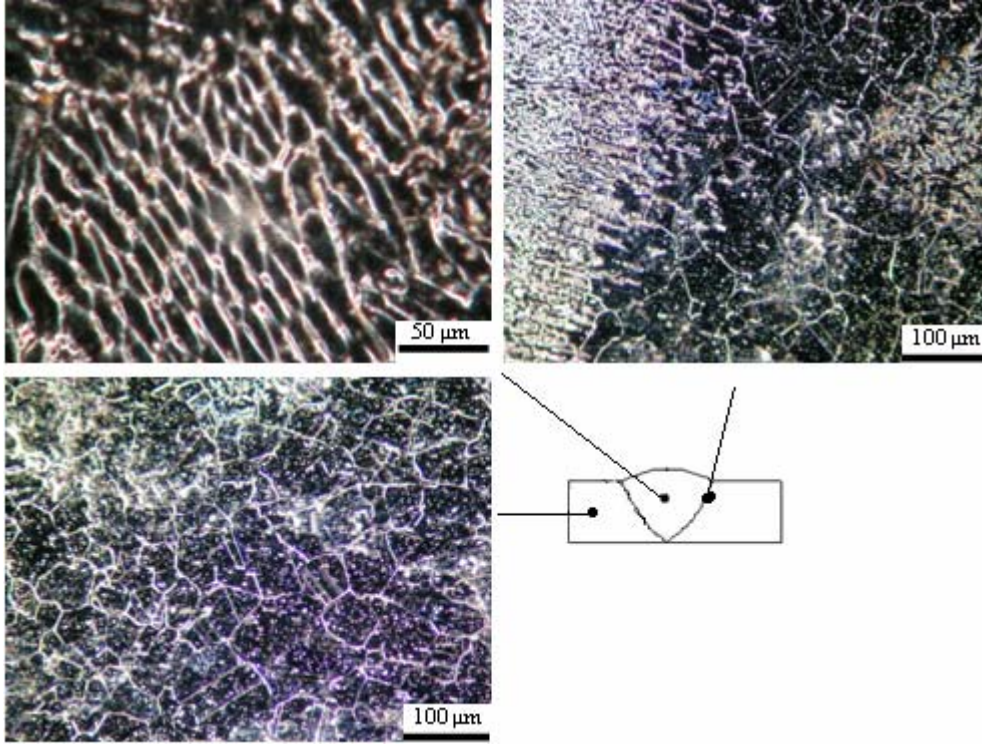
bölgesindeki farklar daha net olarak görülmektedir. Şekillere bakıldığında özellikle kaynak geçiş bölgesinde argon+%5H₂ gazı kullanıldığında ana metal üzerinde tane irilikleri görülmektedir. Aynı şekilde bu durum argon+%25He koruyucu gazı altında birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çelikler için geçerlidir. Bu durum kaynak bölgesine ısı girdisinin fazla olması ve hidrojen ve helyumun argona göre daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olmasından kaynaklanabilir. Koruyucu gaz olarak argon+%5N₂ kullanıldığında daha iri taneli δ -ferrit miktarı daha önce bahsedilen Schaeffer, Delong WRC 1992 diyagramı yardımı ile teorik olarak hesap edilmektedir. Bu çalışmada yapılan kaynaklı birleştirmelerde ve mikroyapı çalışmalarında herhangi bir çatlığa rastlanmamıştır.



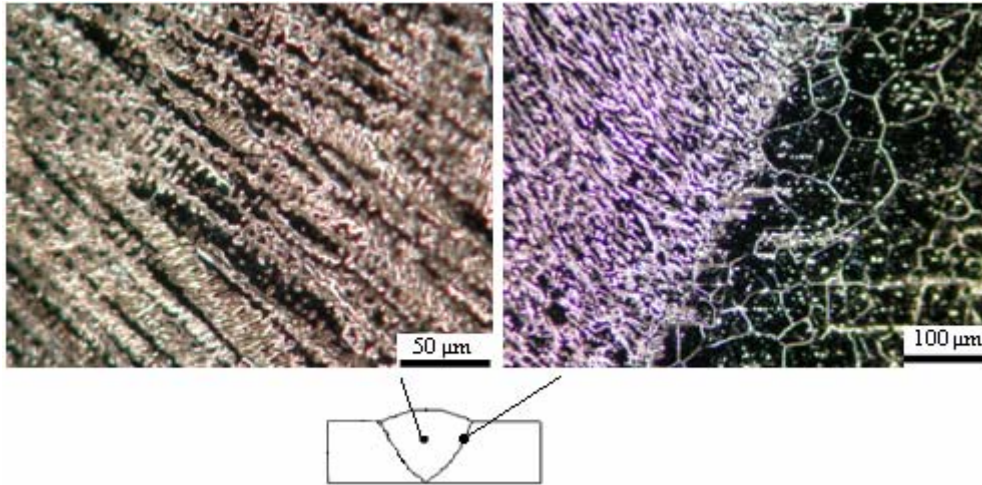
Şekil 5.24. Argon+%25 helyum koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



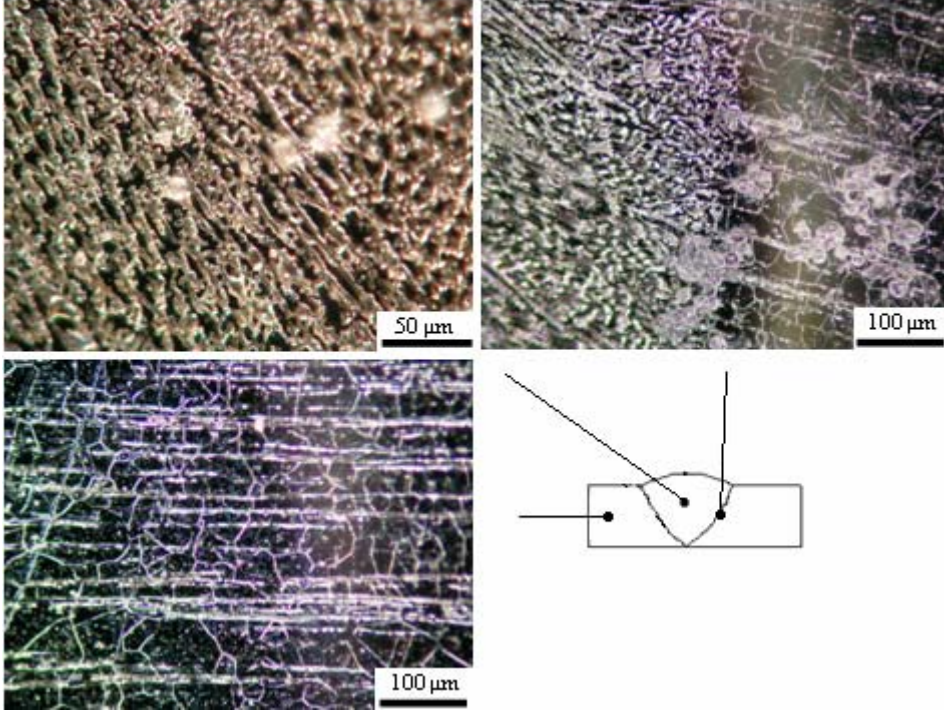
Şekil 5.25. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



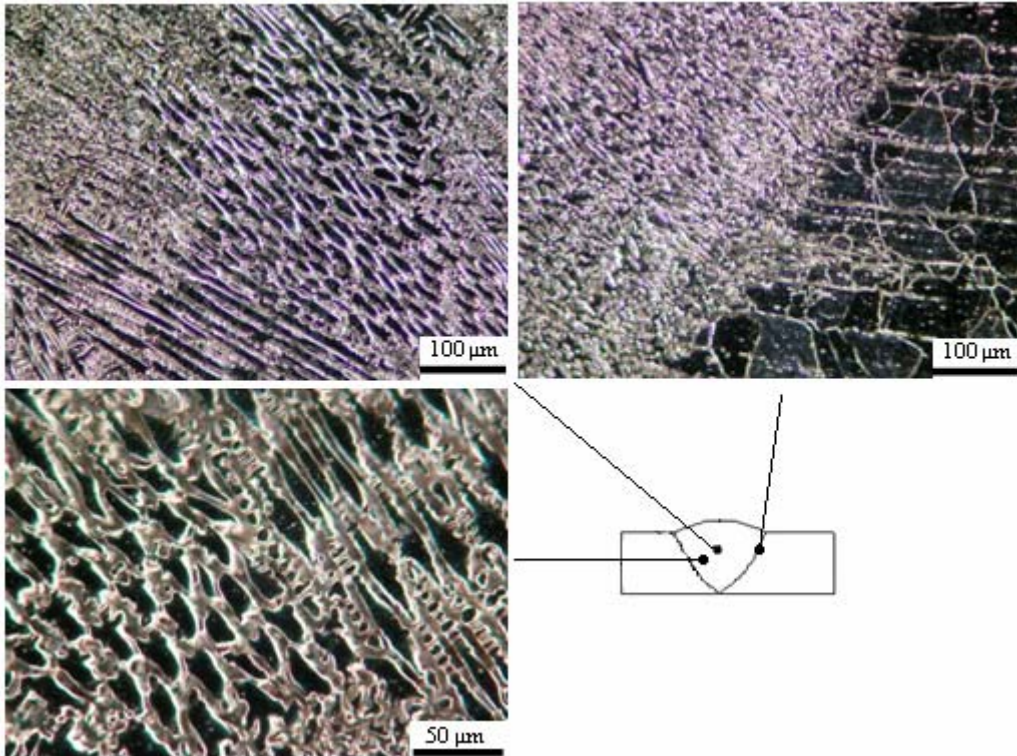
Şekil 5.26. Argon+%5 azot koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



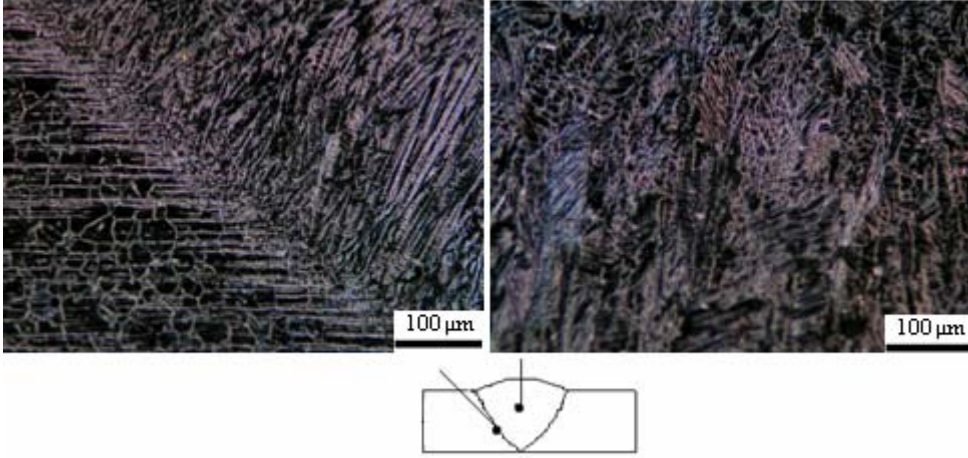
Şekil 5.27. Argon+%25 helyum koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



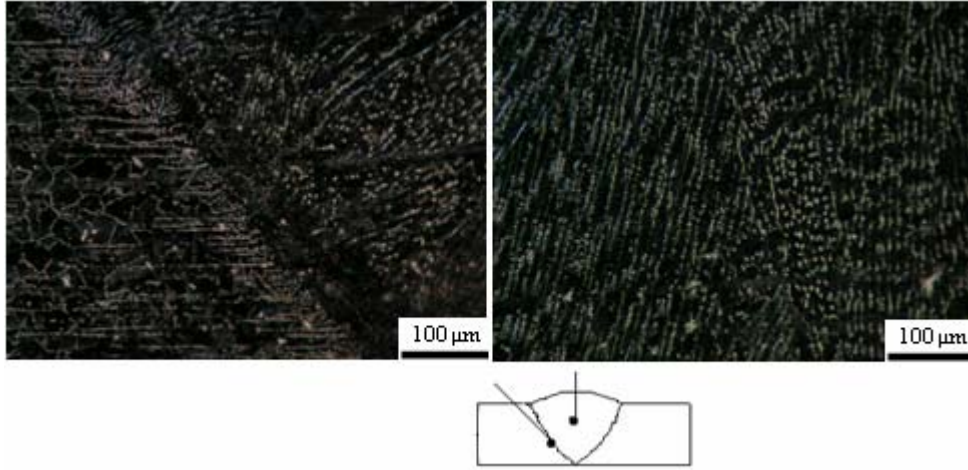
Şekil 5.28. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5.29. Argon+%5 azot koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5.30. Argon+% 25 helyum koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.

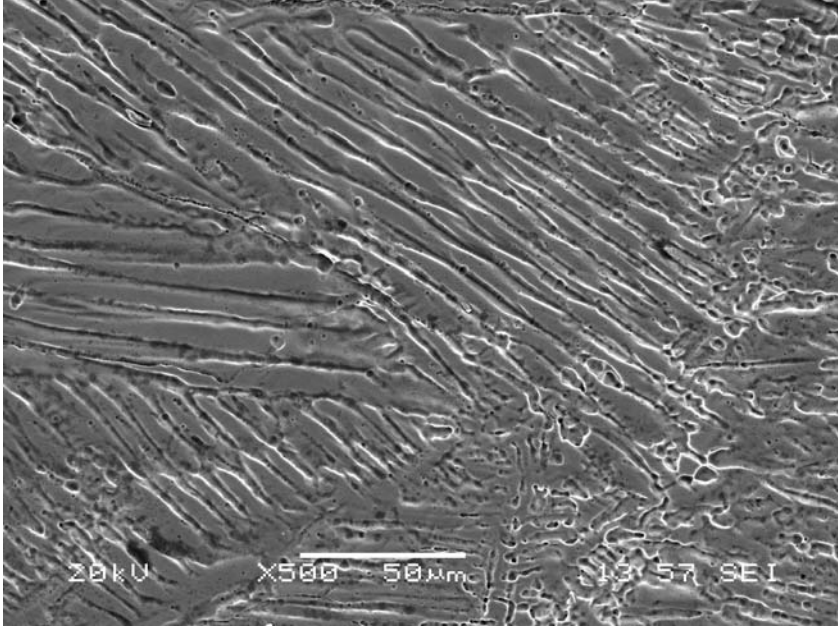


Şekil 5.31. Argon+%5 azot koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.

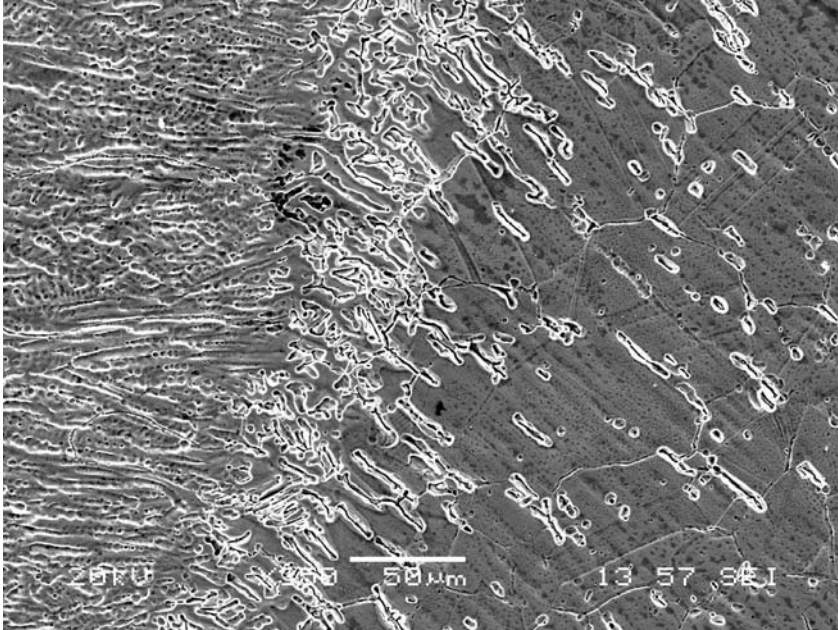
5.6.3. SEM mikroyapı incelemeleri

Bu çalışmada, deney numuneleri daha önceden belirtildiği gibi, çeşitli gaz kompozisyonları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş birleştirilen malzemelerden seçilen numunelere SEM mikroyapı incelemeleri ve EDS analizleri uygulanmıştır. Şekil 5.32-5.37'de farklı koruyucu gazlar altında yapılan birleştirmelere ait SEM mikroyapı incelemeleri görülmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi birleştirilen malzemelerde kullanılan koruyucu gazın kaynak metalini ve geçiş bölgesini etkilediği daha net olarak görülmektedir. Argon+%5H₂ kullanıldığında geçiş bölgesi geniş olmakta δ-ferritlerde yönelmeler görülmektedir. Argona hidrojen katıldığında ise geçiş bölgesi genişlemekte

olup geçiş bölgesindeki δ -ferritlerde her hangi bir yönlenme görülmemektedir. Kaynak metali içerisindeki δ -ferrit miktarı oluşumu ve mikroyapısının daha farklı olduğu görülmektedir. Koruyucu gaz olarak azot kullanıldığında geçiş bölgesinde diğerlerine göre farklı olup, kaynak metali içerisindeki δ -ferritler ve taneler daha iri bir yapıya sahiptir. Bu ısı girdisinin artmasından ileri gelmektedir. Daha nceki çalışmalar ısı girdisinin artmasının geçiş bölgesine yakın ana metale ait tanelerin boyutunun irileştiği görülmektedir [13, 16]. Daha nceki çalışmalarda benzer mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir [23, 25].

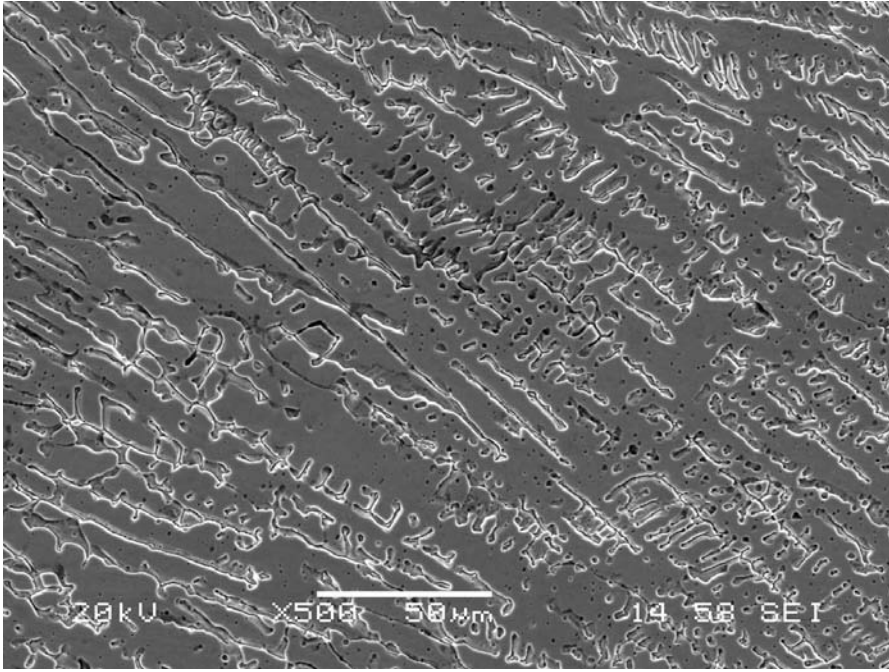


a)

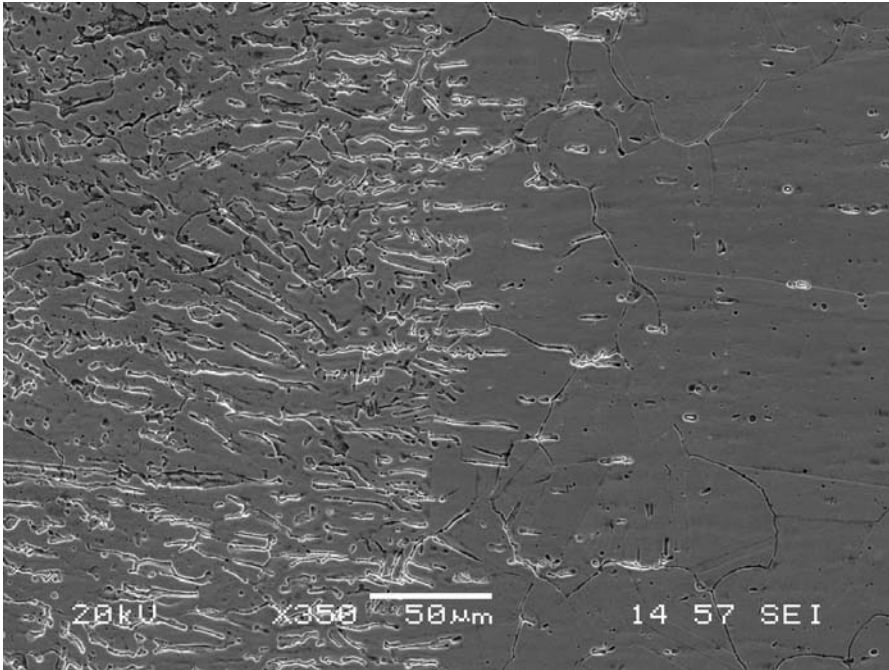


b)

Şekil 5.32. Argon+%5H atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.

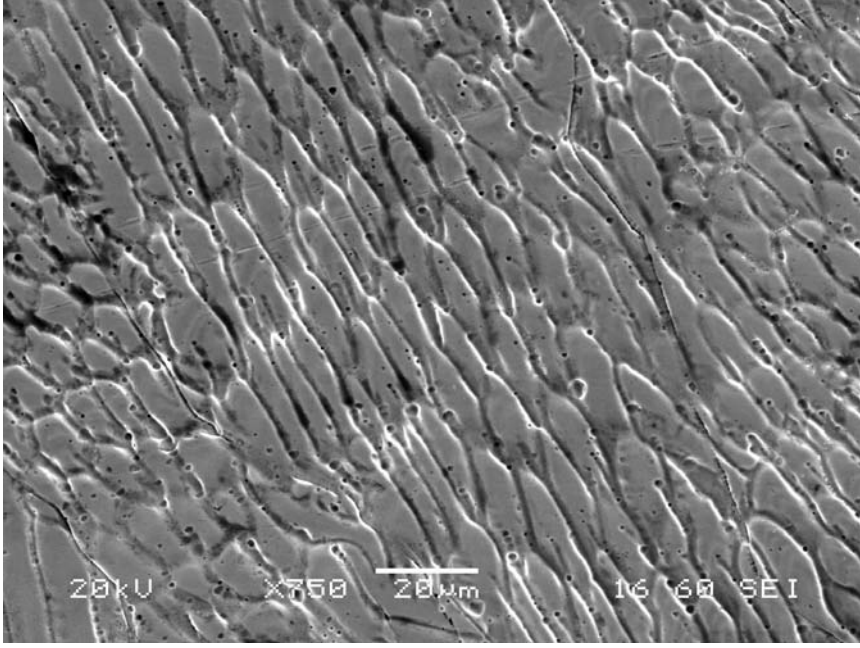


a)

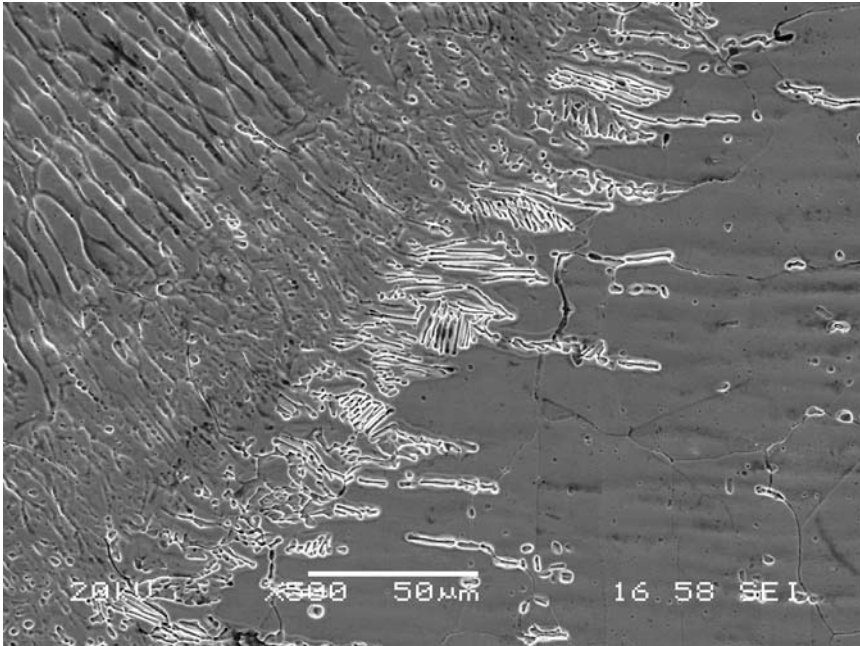


b)

Şekil 5.33. Argon+%25He atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.

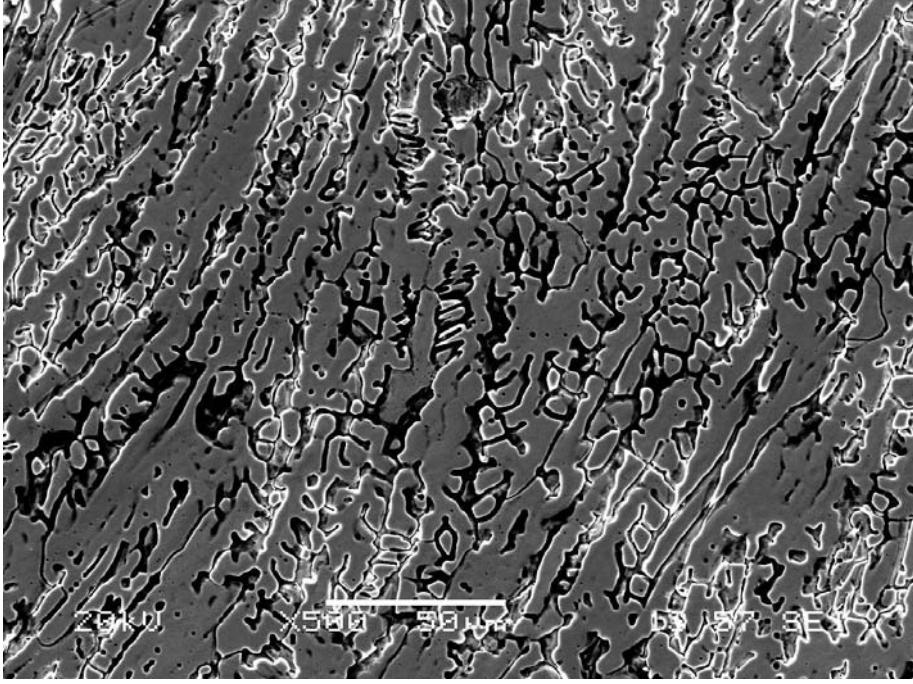


a)

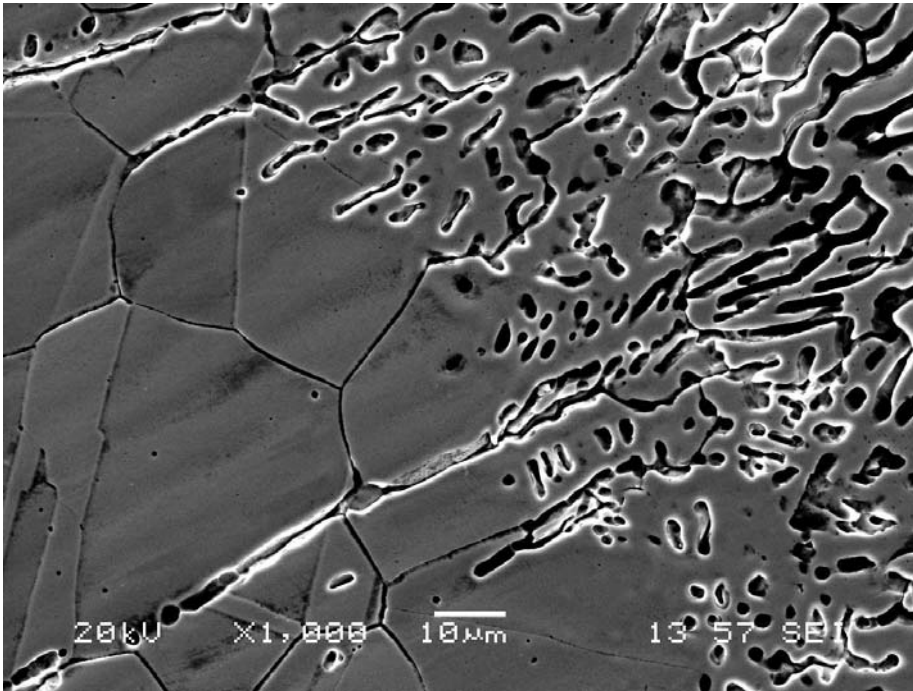


b)

Şekil 5.34. Argon+%5N atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.

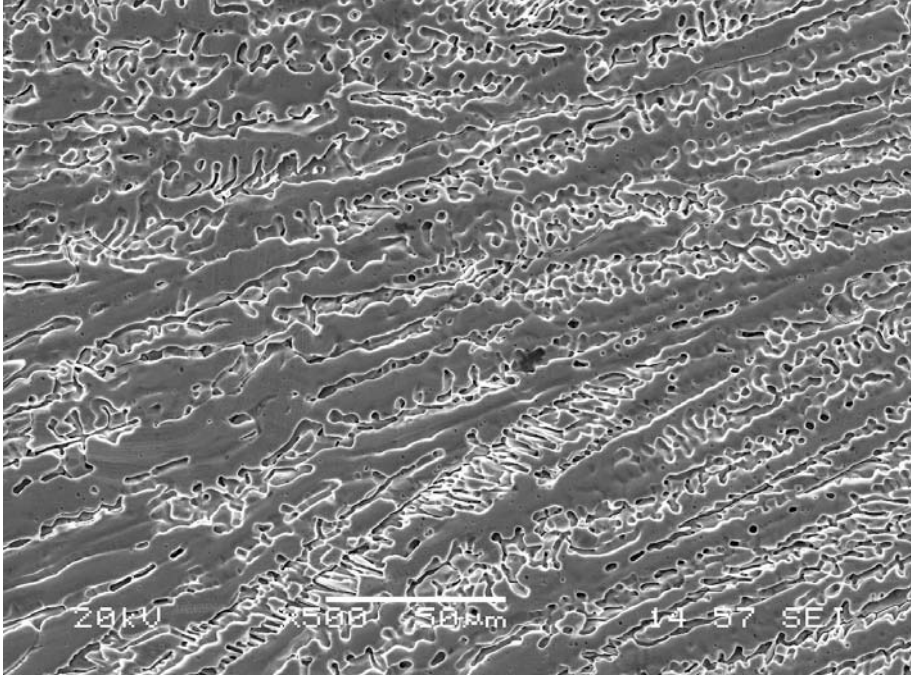


a)

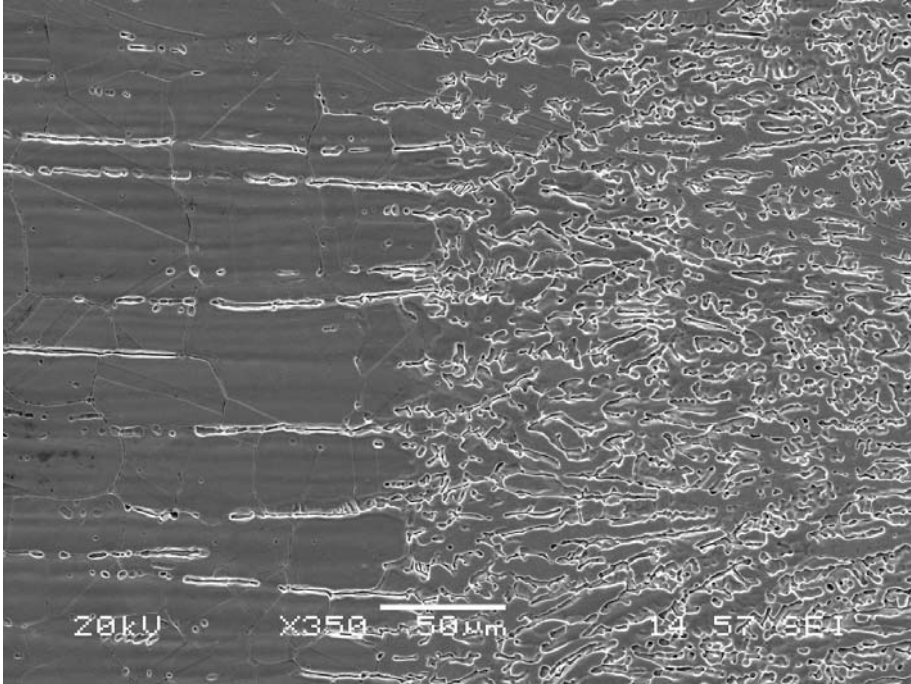


b)

Şekil 5.35. Argon+%5H atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.

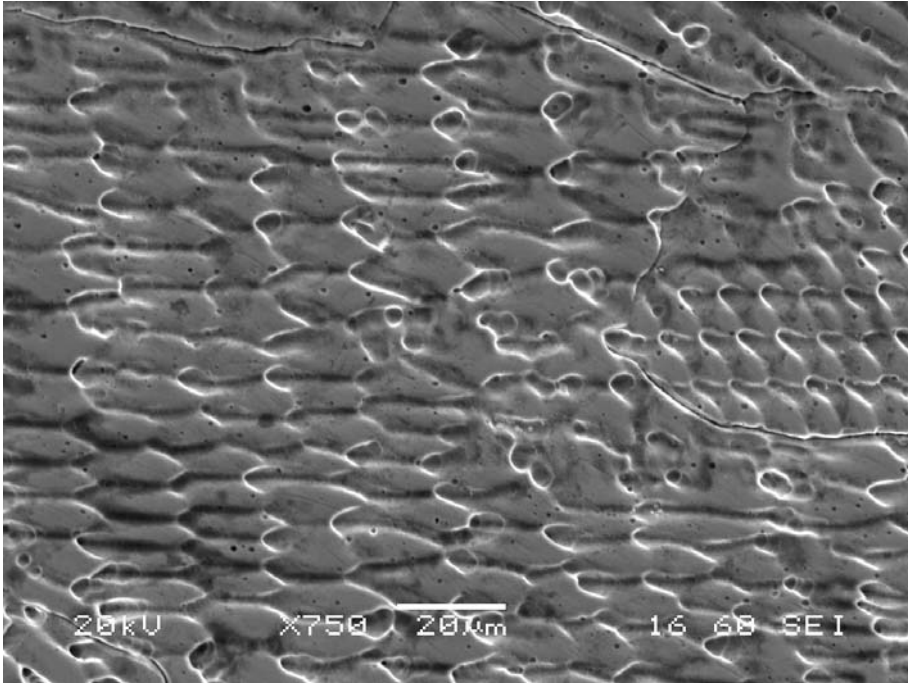


a)

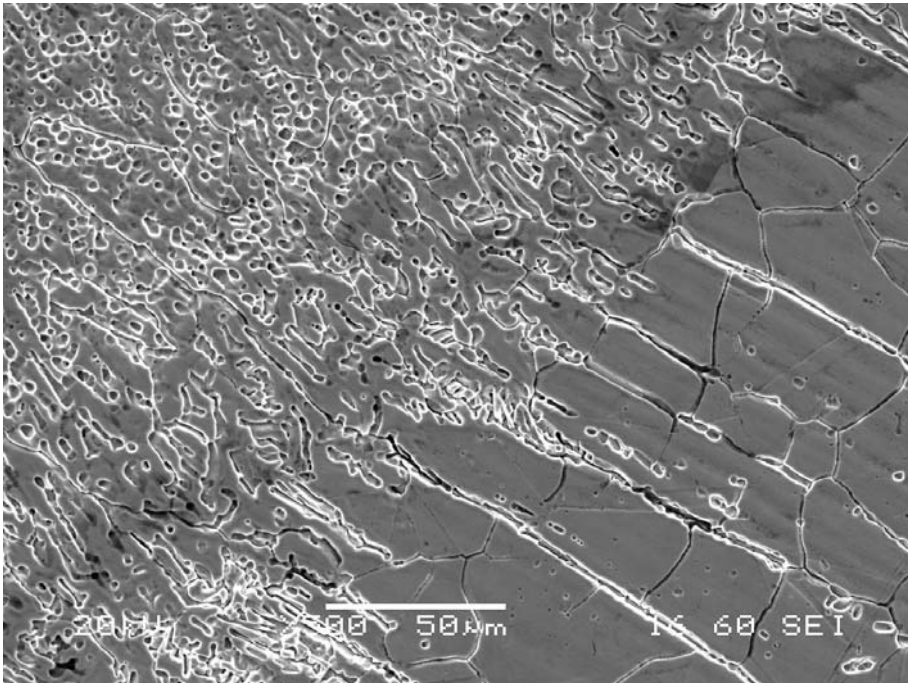


b)

Şekil 5.36. Argon+%25He atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.



a)

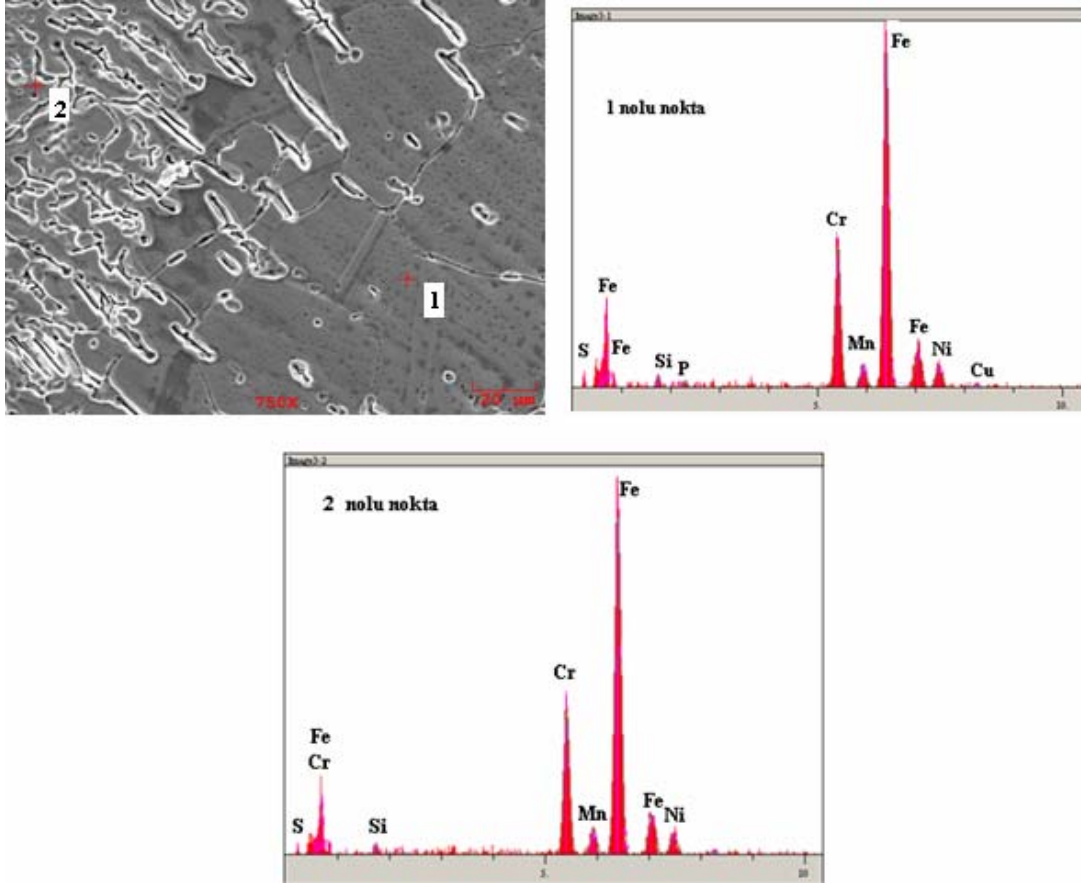


b)

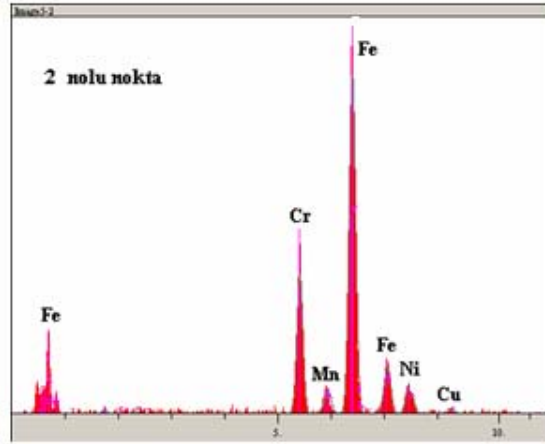
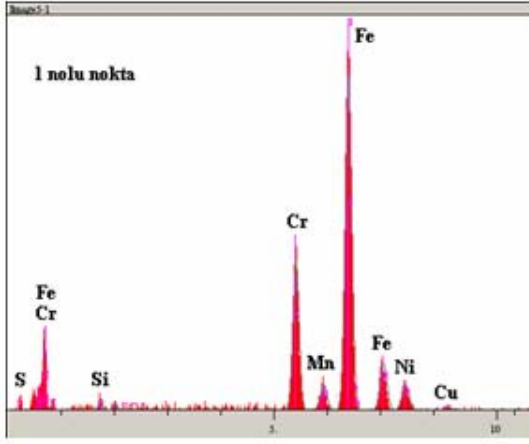
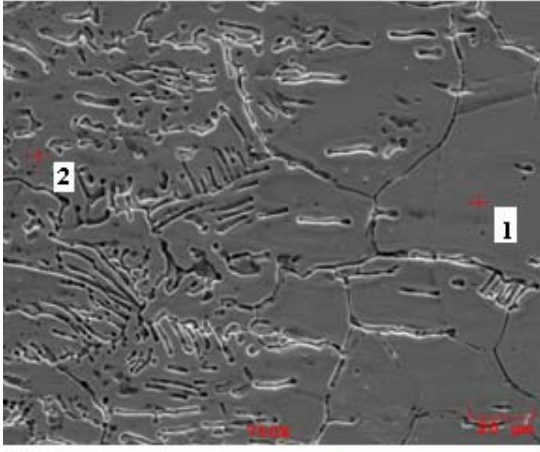
Şekil 5.37. Argon+%5N atmosferi altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin a) kaynak bölgesi b) Geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüleri.

5.6.4. SEM EDS elemental nokta analizleri

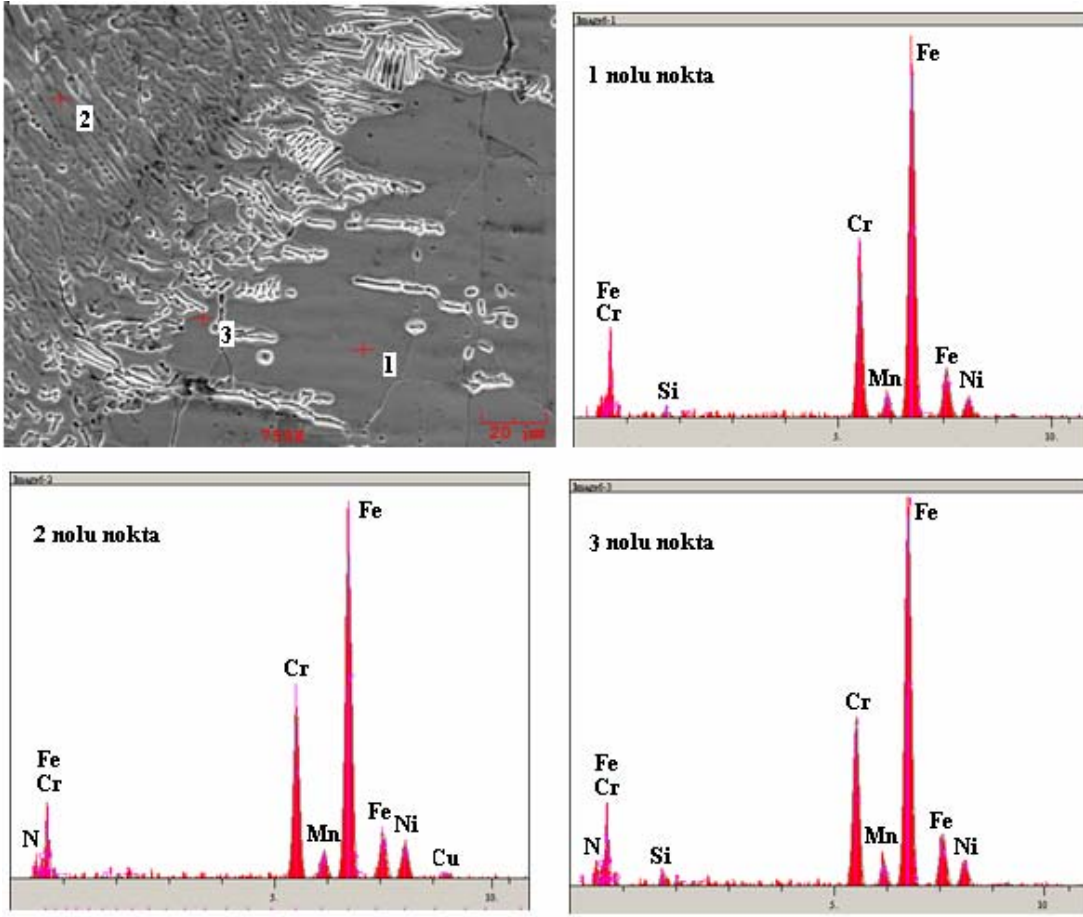
Bu çalışmada TIG kaynağı ile birleştirilen numunelerin bazılarında kaynak metal, ana metal ve geçiş bölgelerinden EDS analizleri alınmıştır. Şekil 5.38-5.40 arasında çeşitli koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen AISI 304 ve Şekil 5.41-5.43 arasında AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğe ait EDS analiz sonuçları verilmektedir. Analiz sonuçlarına bakıldığında bazı farklılıklar görülmektedir. Bu durum kullanılan koruyucu gazın özellikle geçiş bölgelerinde ve kaynak metalinde farklı oranlarda element değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Argon+%5N₂ kullanılarak yapılan birleştirmelerde geçiş bölgesinde ve kaynak bölgesinde azota rastlanmaktadır.



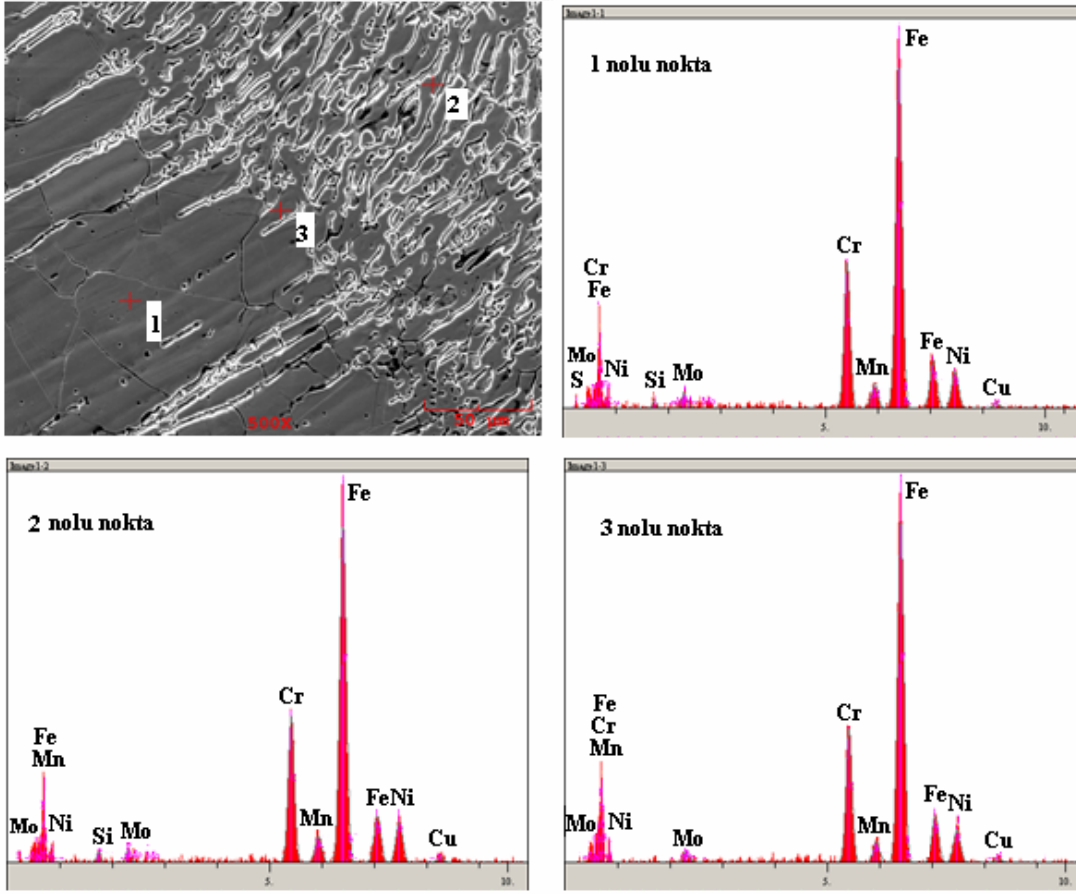
Şekil 5.38. Argon+ %5 hidrojen koruyucu gazı kullanılarak birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları.



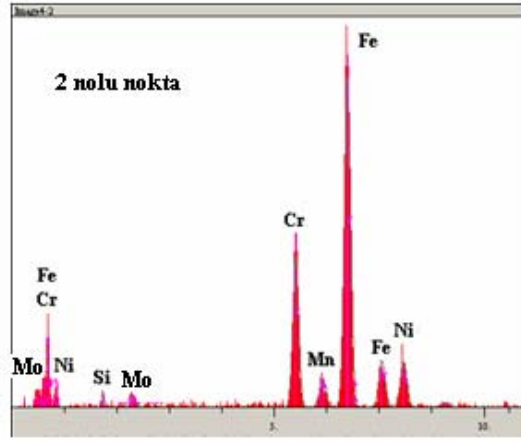
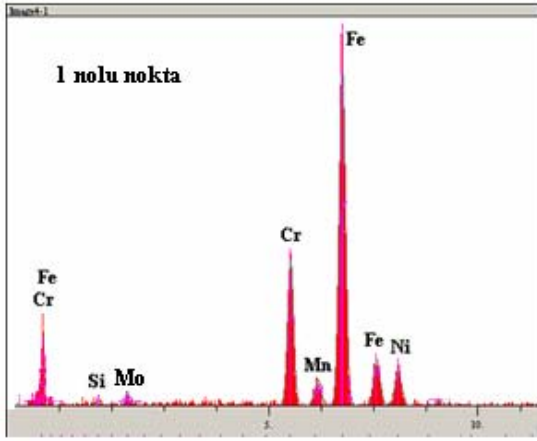
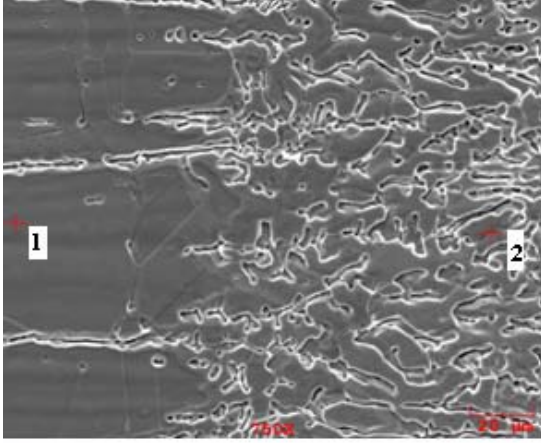
Şekil 5.39. Argon+ % 25 helyum koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları.



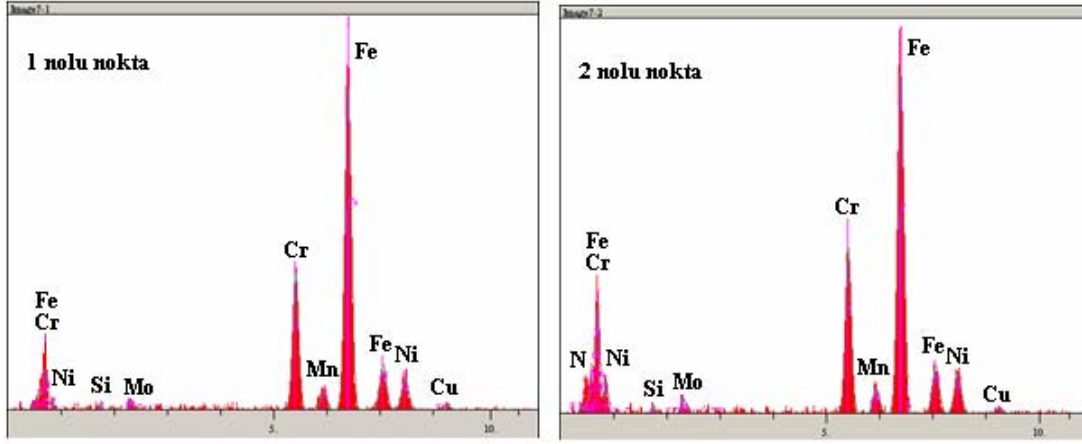
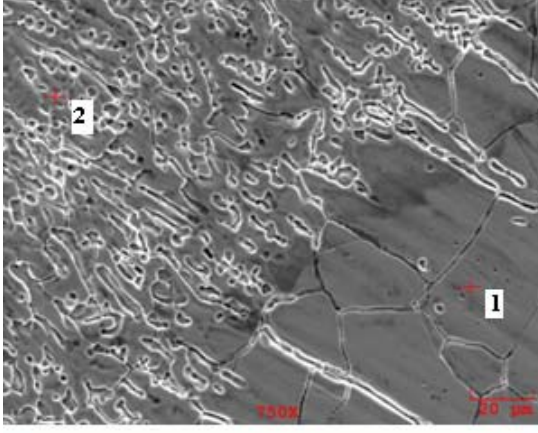
Şekil 5.40. Argon+ %5 azot koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları.



Şekil 5.41. Argon+ %5 hidrojen koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları



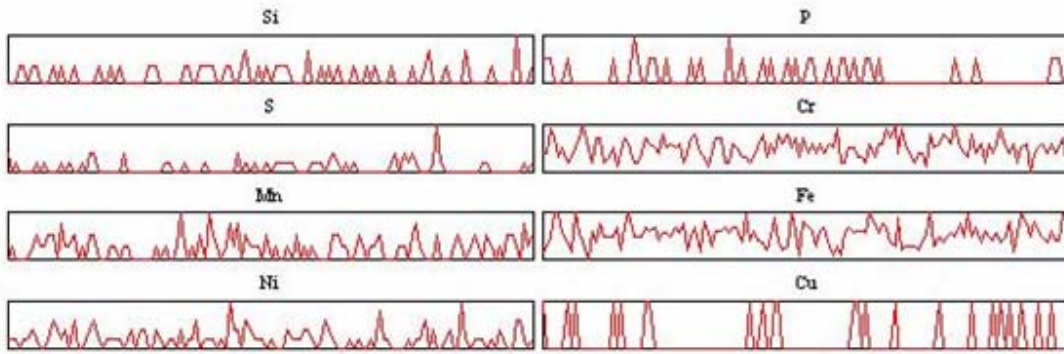
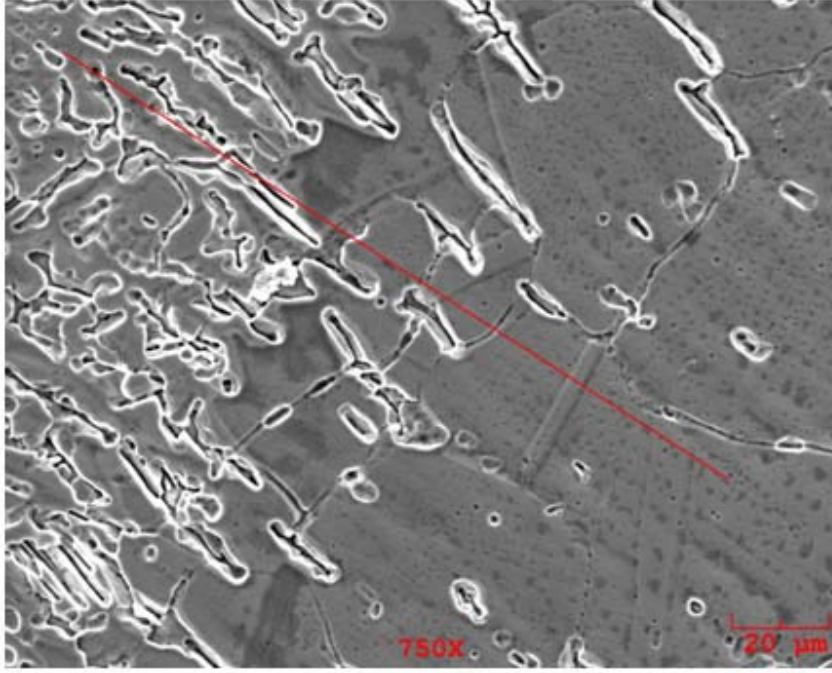
Şekil 5.42. Argon+ % 25 helyum koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları.



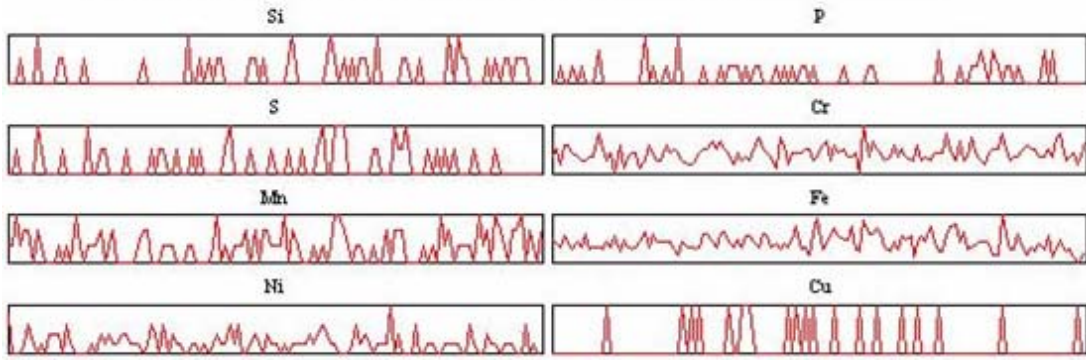
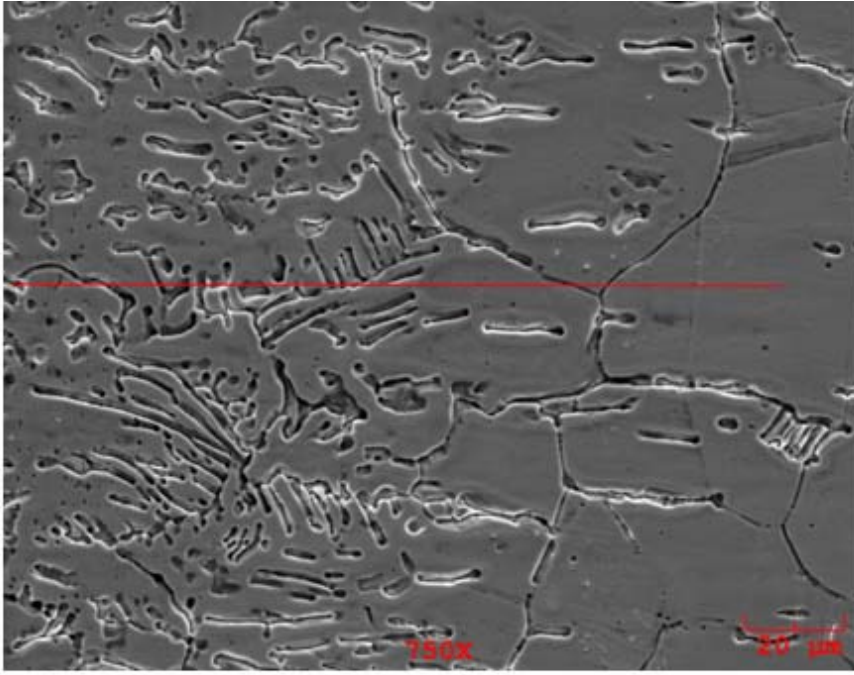
Şekil 5.43. Argon+%5 azot koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları

5.6.5. SEM EDS elementel çizgisel analizleri

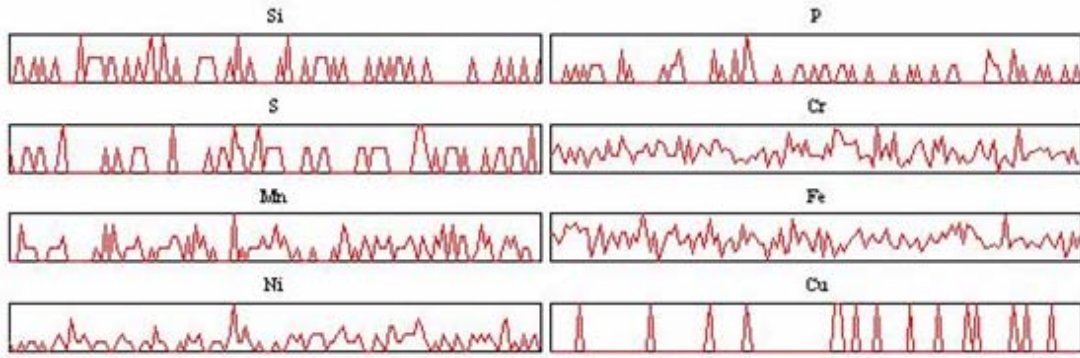
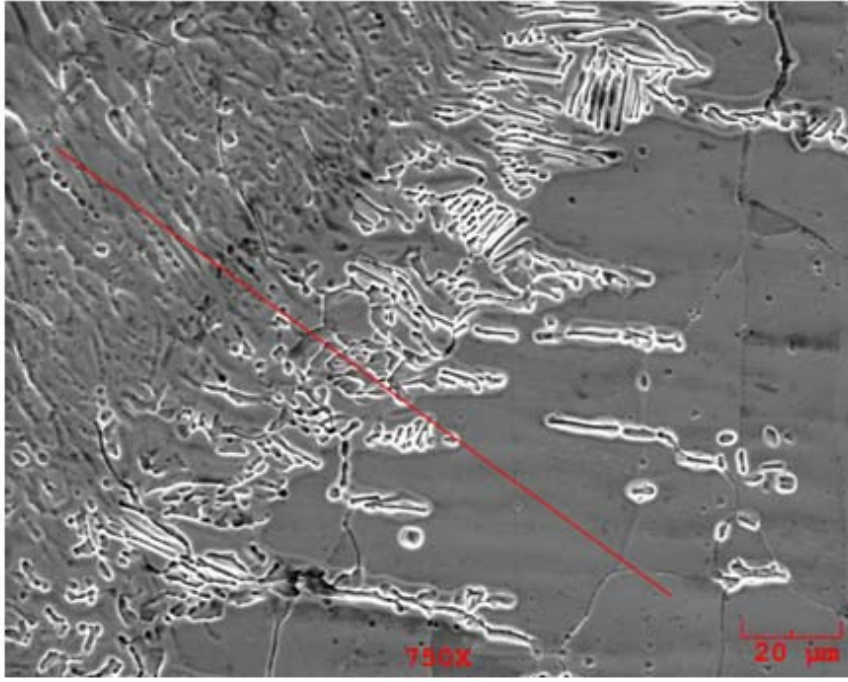
Bu çalışmada son olarak özellikle geçiş bölgelerinde malzeme içerisinde bulunan elementleri değişiminin belirlenmesi amacıyla ana metalden kaynak metaline doğru çizgisel analizler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar şekil:5.44-5.49 arasında verilmiştir. Şekiller incelendiğinde hem kullanılan koruyucu gaza hemde ana malzemeye göre bazı farklılıkların olduğu gözlenmektedir.



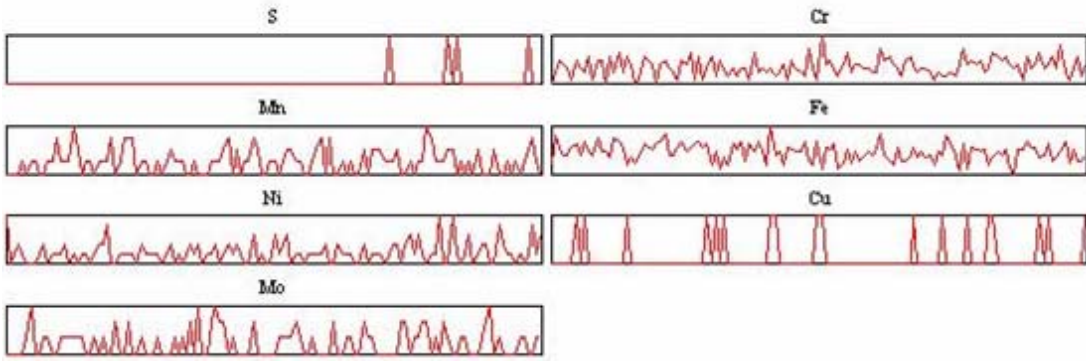
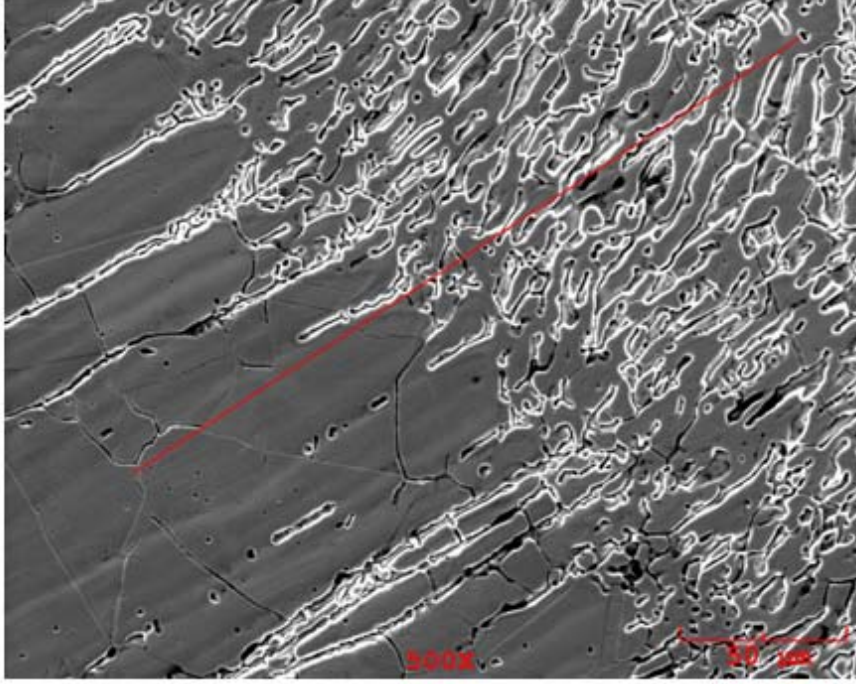
Şekil 5.44. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı



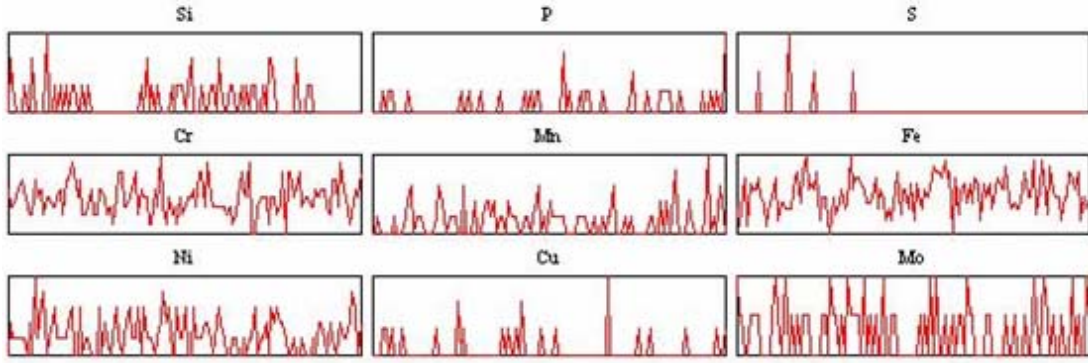
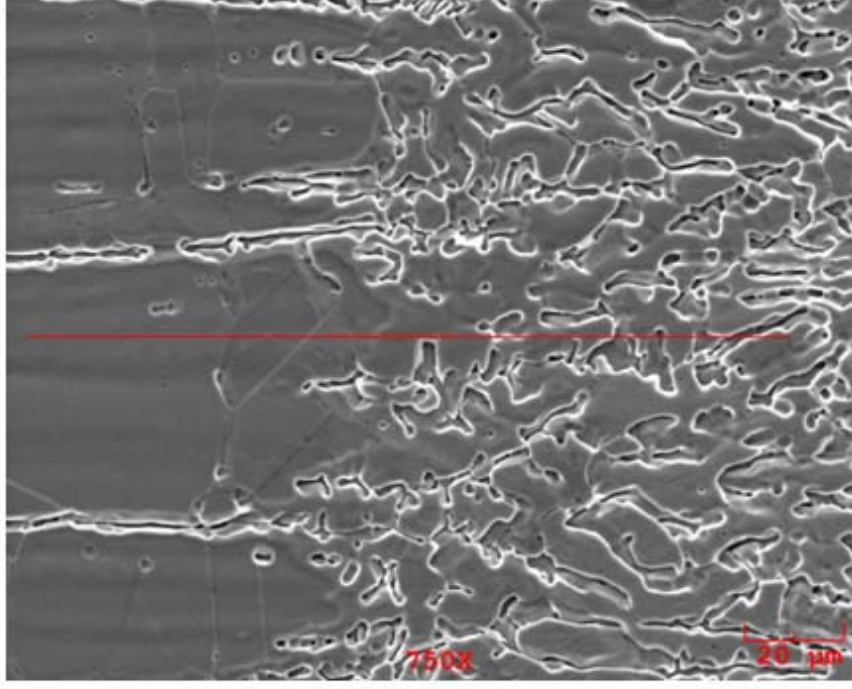
Şekil 5.45. Argon+%25 helyum koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı



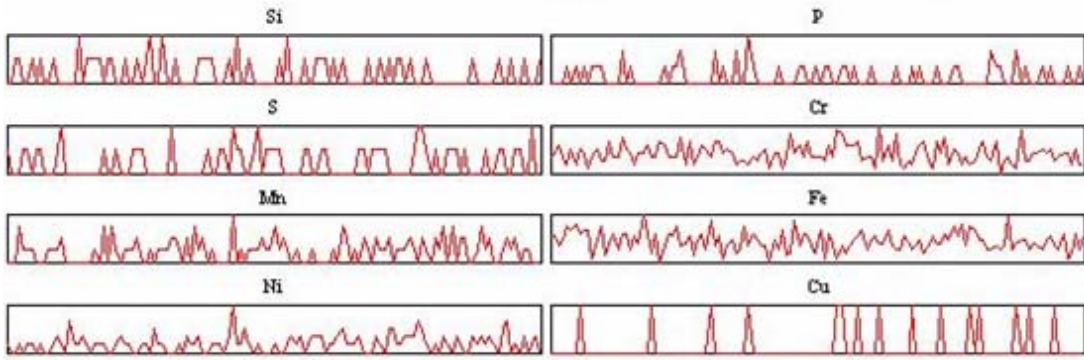
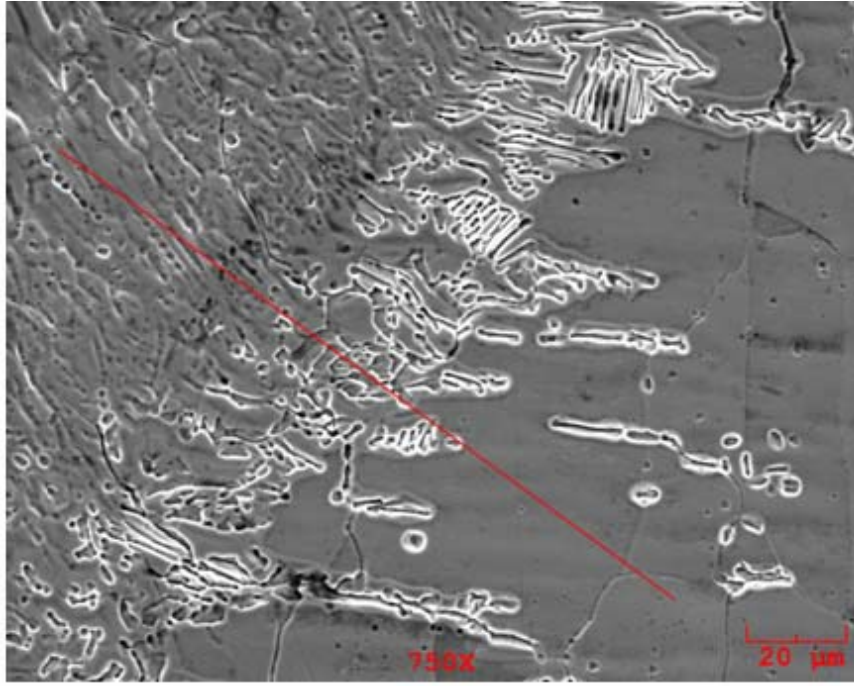
Şekil 5.46. Argon+%5 azot koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.



Şekil 5.47. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı



Şekil 5.48. Argon+%25 helyum koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı



Şekil 5.49. Argon+%5 azot koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı

BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada AISI 304, AISI 316 ve AISI 316 Ti tipi östenitik paslanmaz çelikler farklı koruyucu gaz kompozisyonları altında TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirilen malzemelere çekme, eğme, Charpy çentik darbe deneyi ve sertlik gibi mekanik özellikler ile optik mikroskopta aydınlık alan, karanlık alan SEM mikroskobunda ise çeşitli mikroyapı görüntüleri noktasal EDS analizi ve çizgisel element analizi gibi mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gaz türü birleştirilen parçaların çekme dayanımı ve % uzama sonuçlarını etkilemiştir. En yüksek çekme dayanım değerleri argon+%5N₂ koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmelerde en yüksek % uzama değerleri ise saf argon gazı kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir.
- AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gaz çok etkili olmamakla beraber en yüksek çekme dayanım değeri argon+%25He koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir.
- AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde koruyucu gaz kompozisyonu etki olup en yüksek çekme dayanımı değeri argon+%5H₂, en yüksek uzama değeri argon+%25He koruyucu gaz kullanarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir.

- Yapılan kaynaklı birleştirmelerin kesitlerinde gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde kesit boyunca yapılan ölçümler hemen hemen benzer sonuçlar elde edilmiş olmakla beraber, kaynak bölgelerinde en yüksek sertlik değerleri AISI 304 paslanmaz elik kaynağında argon+%25He, AISI 316 paslanmaz çeliğin kaynağında argon+%5N₂ ve AISI 316Ti paslanmaz çeliğin kaynağında ise argon+%25He gazı kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir.
- Farklı koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklere çentik darbe deneyi uygulanmiş olup en yüksek değerler argon+%5N₂ gazı kullanılarak birleştirilen malzemede ve oda sıcaklığında yapılan çentik darbe deneyinde elde edilmiştir. En düşük darbe tokluk enerji değeri ise -40⁰C sıcaklıkta yapılan deneyde ve argon+%5H₂ koruyucu gazı kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir.
- AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklere uygulanan deneylerde yüksek darbe tokluk değerleri elde edilmiş olup en yüksek değerler argon+%5N₂ en düşük darbe tokluk enerji değeri ise -40⁰C deney sıcaklığında ve argon+%25He koruyucu gaz kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmeye uygulanan deney sonucunda elde edilmiştir.
- Yapılan entik darbe deneyleri sonucunda elde edilen kırılma yüzeyleri SEM mikroskobu ile incelenmiştir. Kırılma yüzey morfolojileri genelde delikli kırılma yüzey morfolojisine sahiptir. Kullanılan koruyucu gaz ve uygulanan deney sıcaklığı elde edilen yüzey morfolojilerine etki etmiştir.
- TIG kaynak yöntemiyle farklı koruyucu gaz atmosferleri altında birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapıları optik mikroskopta aydınlık alan ve karanlık alan incelemeleri yapılmıştır. Kullanılan koruyucu gazın kaynak metali geçiş bölgesi mikro yapısına etki ettiği görölmüştür.
- TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen parçalara SEM mikroyapı çalışmaları yapılmış noktasal ve izgisel EDS elemental analizler yapılmıştır. Yapılan incelemelerde hem noktasal analizlerde hemde çizgisel analizlerde kaynak metali ve geçiş bölgelerinde kullanılan koruyucu gaza göre element miktarlarında farklılıklar olduğu gözlenmiştir.

6.2 Öneriler

Bu çalışmada farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak çeşitli tipte östenitik paslanmaz çelikler TIG kaynak yöntemi ile birleştirilerek bazı mekanik ve mikroyapı özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Gelecekte benzer konu ve malzemelerde çalışma yapacak araştırmacılara aşağıdaki öneriler sunulabilir.

- Aynı malzemeler TIG kaynağında farklı oranlara sahip farklı CO₂ ve N₂ oranlarına sahip Ar+N₂ ve Ar+CO₂ koruyucu gazları kullanarak gaz kompozisyonların mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılabilir.
- Benzer konu ve koruyucu gazlarla yapılan çalışmalarda daha detaylı mikroyapı çalışmaları yapılarak mikroyapı ve mekanik özellikler arasındaki ilişki araştırılabilir.
- Aynı malzeme ve farklı koruyucu gazlar MIG, lazer kaynak yöntemleri ile birleştirilerek bu kaynak yöntemlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılabilir.
- Yapılan çalışmalar sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilebilir.
- Çalışmada kullanılan TIG kaynak yöntemiyle farklı koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklere çeşitli ortamlarda korozyon testleri uygulanarak malzemelerin korozyon davranışları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ODABAŞ, C., “Paslanmaz Çelikler”, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri”, Askaynak-İstanbul, 2004.
- [2] SMITH W.F.: “Paslanmaz Çelikler”, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Bölüm 5, Cilt 1., Çeviri: Erdoğan, M., Ankara, 169-214, 2000
- [3] TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E. Geçmişten Günümüze Paslanmaz Çelikler, META, sayı 20, 47-52, 1994.
- [4] LIN, Y.C., CHEN, P.Y., “Effect of Preheating on The Residual Stress in Type 304 Stainless Weldment”, Journal of Materials Processing Technology, 145-151, 1997.
- [5] ARAN, A., TEMEL, M.A., "Paslanmaz Çelik", Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul, 2004.
- [6] KARSLI, G., SEŞEN, M.K., “Paslanmaz Çelikler ve Üretimi”, Meta 44, sayı 2, 20-22,1991.
- [7] KANBOLLU, S., “Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri ” Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Haziran 1996.
- [8] KALUÇ, E., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Gedik Holding Kaynak Dünyası. S:1-22,1996.
- [9] “Ark Welding of Stainless Steel”, Metal Handbook, 8th Edition, Vol 6, Welding and Brazing, American Society for Metal, 245-276,1986.
- [10] URAL, M., KALUÇ, E., “Paslanmaz Çeliklerin TIG Yöntemi İle Kaynağı”, Metal Makine, Mart 12-20, 1996.
- [11] KOTECKI D.J.: “Welding of Stainless Steel”, ASM Handbook vol. 6, Welding and Brazing and Soldering, 677-709, 1993.
- [12] LOTHONGKUM, G., VIYANIT, E., BHANDHUBANYONG, P., “Study on The Effects Pulsed TIG Welding Parameters on Delta-Ferrite Content, Shape Factor and Bead Quality in Orbital Welding of AISI 316L Stainless Steel Plate”, Journal of Materials Processing Technology, 233-238, 2001.
- [13] DURGUTLU, A., “Experimental Investigation of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas on TIG Welding of Austenitic Stainless Steel”, *Materials and Design*, 25, 19–23, 2004.
- [14] TUSEK, J., SUBAN, M., “Experimental Research of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas in Arc Welding of High-Alloy Stainless Steel”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 25, 4, 369–376, 2000.

- [15] LIN, Y.C., CHEN, P.Y., “Effect of Nitrogen Content and Retained Ferrite on Residual Stress in Austenitic Stainless Steel Weldments”, *Materials Science and Engineering A*, 165-171, 2001.
- [16] KAHRAMAN N., DURGUTLU, A., GÜLENÇ. B., “316L Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağında Koruyucu Argon Gazına Hidrojen İlavesinin Kaynak Bölgesi Tane Morfolojisine Etkilerinin Araştırılması”. *Politeknik Dergisi C:7* 3, 223-228, 2004.
- [17] Lowke JJ. Richard M. Jaward H, Anthony MB. “Prediction of Gas Tungsten Arc Welding Properties in Mixtures of Argon and Hydrogen”. *IEEE Trans Plasma Sci.*; 25 (5): 925- 930, 1997.
- [18] YILMAZ R., BARLAS Z., “Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi”. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. C:11, S:3* 391–400, 2005.
- [19] GÖKMEN M., YILMAZ R. “AISI 316Ti Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesinde Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi”, 11. Uluslararası Denizli Malzeme Sempozyumu 19-21 Nisan (2006), 5-11
- [20] LIAO, M.T.; CHEN, P.Y.;; “The Effect of Shielding-Gas Compositions on The Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Weldments”, *Materials Chemistry and Physics*, 55, 145-151, 1997.
- [21] YILMAZ, R., GÖKMEN, M., “Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynak Yöntemleri İle Birleşmesinde Kullanılan Koruyucu Gazın Tokluğa Etkisi”, 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi- 21-23 Kasım 2006, İstanbul gönderildi.
- [22] YILMAZ, R., TÜRKYILMAZOĞLU, A., “Tensile Properties of Martensitic Stainless Steel Weldments”, 4th International Conference on Materials and Manufacturing Technologies (MATEHN '06), 21-23 September 2006, Cluj-Napoca, ROMANIA. gönderildi.
- [23] GÖKMEN, M.;; “Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemleri ile Kaynağında Koruyucu Gaz ve İlave Metallerin Mekanik Özelliklere Etkisi”, Mayıs 2006, SAÜ. Fen bilimleri Enstitüsü. (Tez enstitüye teslim edildi).
- [24] TÜRKYILMAZOĞLU, A. ; “Dubleks, Martenzitik ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Haziran 2006, SAÜ. Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.
- [25] ERTEMİZ, E., “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2005.
- [26] CANIGENİŞ, N., “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Kullanılan Değişik Gaz Bileşimlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi” Kocaeli

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 1999.

- [27] DEVELİ, Kaya Tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2003
- [28] ONSOEN, M., PETERS, R., OLSON, D.L., LIU, S., “Effect of hydrogen in an argon GTAW shielding gas: arc characteristics and bead morphology”. Welding Journal Miami, Florida, 1995.
- [29] SUBAN, M., TUSEK, J., “Dependence of melting rate in MIG-MAG welding on the type of shielding gas used.” J Mater Process Technol, 119:185–192, 2001.
- [30] TÜLBENTÇİ, K., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, MIG-MAG Eriyen Elektrot İle Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding-İstanbul, 1990
- [31] KALUÇ E., SARI N., “Paslanmaz Çeliklerin MİG Yöntemi İle Kaynağı”, Metal ve Kaynak/32-38, 73-75 Mart 1996.
- [32] KALUÇ, E., TÜLBENTÇİ, K., “Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği” Seminer Notları, Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli, 7-178,1995.
- [33] KALUÇ, E., “Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Gedik Holding Kaynak Dünyası 3, İstanbul, 11-14, 1989.
- [34] Abington Publishing, Welding Metallurgy of Stainless Steels, Abington Welding Training Module, Cambridge, 1-45., 1994
- [35] TÜLBENTÇİ, K., MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Arctech Yayını, İstanbul, 1998.
- [36] TÜLBENTÇİ, K., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Böhler Kaynak Dünyası, 5-10, 1985.
- [37] Castner, H.R. Material and Procedure Considerations for Welded Austenitic Stainless Steels, 8th Annual North American Welding Research Conference, Edison Welding Institute, Columbus, ohio, pp. 1–6, 1992.
- [38] KALUÇ, E. “Östenitik Krom – Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Gedik Kaynak Dünyası, Sayı:2, s. 18–21, 1996.
- [39] ANIK, S., VURAL, M. “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi, Cilt-2, Birsen Yayınları, İstanbul”, 355-357, 1993.
- [40] KURT, U., “Paslanmaz Çelik Kaynak Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,2-33, 1988.
- [41] GÜRCAN, M., “TIG Kaynağı”, SEGEM (Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü, Ankara, 1987.

- [42] www.jwharris.com/welref/techguide/alloy_for_stain_steel/solid_wire/
- [43] GMAW, By the ASM Committee. "Gas Metal Arc Welding" Metals Handbook V6, 9.Ed.P.153-181.
- [44] LANCASTER, J.F., "Metallurgy Of Welding, Chapman & Hall", London, 1993.
- [45] LUCAS, W., "Shielding Gases For Arc Welding", Part 1. Welding & Metal Fabrication, June, 47-50, 1992.
- [46] GIACHINA, J.W.; WEEKS, W.; JOHNSON, G.S. "Welding Technology" Çeviren Kasım Adsan, Y.T.Ö.O. Ankara, 1976.
- [47] CARY, H. B. "Modern Welding Technology", 3rd ed., Prentice-Hall Inc., 417, London, 1994.
- [48] TSENG, K. H., CHOU, C. P. "The Study of Nitrogen in Argon Gas on The Angular Distortion of Austenitic Stainless Steel Weldments", Journal of Materials Processing Technology, 123, 139-144, 2003.
- [49] OGAWA, T., SUZUKI, K., ZAIZEN, T. "The Weldability of Nitrogen-Containing Austenitic Stainless Steel: Part II- Porosity Cracking and Creep Properties", Welding Journal, 63 (7), 213-223, 1984.
- [50] CALLİSTER, W. D. "Materials Science and Engineering", 4th. John Wiley&Sons Inc., 788, New York, 1997.
- [51] ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., "Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı", Gedik Holding Yayını, İstanbul 1991.
- [52] OUTO KUMPU, Ürün Belgesi 2004.
- [53] RODACCIAI Ürün Belgesi 2005.
- [54] R.YILMAZ, R., UZUN, H., FINDIK, F., "Gazaltı Kaynak Yöntemleri İle Birleştirilen Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu" Sakarya Üniversitesi Araştırma Projesi, 2002-05 No'lu Proje, Sakarya Üniversitesi Araştırma Projesi Raporu, 2005.
- [55] YILMAZ, R., UZUN, H., "TIG Kaynak Yöntemi Kullanılarak Birbiri İle Birleştirilen 304L ve 316L Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri", 972-978, 10. Denizli malzeme Sempozyum ve Sergisi, Malzeme 2004, 14-16 Nisan 2004.
- [56] YILMAZ, R., UZUN, H., "Mechanical Properties of Austenitic Stainless

Steels Welded By GMAW and GTAW”, Marmara University, Journal of Marmara for Pure and Applied Sciences, 18, 97-112, 2002.

- [57] YILMAZ, R., TÜRKYILMAZOĞLU, A., “Farklı İlave Metalleri Kullanılarak Birleştirilen AISI 304 Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Mekanik Özellikleri”, 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi- 21-23 Kasım 2006, İstanbul gönderildi.
- [58] “Ürün Katoloğu” Kabotek, Askaynak, Eczacıbaşı 1998.
- [59] Dieter, G. E. Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, 476, London, 1988.
- [60] YOUNG, J., BONG, S.L., SANG C.K., JUN H.H., “Ductile Fracture Mechanisms in Shielded Metal-Arc and Gas Tungsten-Arc Welds of Type 347 Stainless Steels”, Journal of Materials Science 34, 4751-4759, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

1967 yılında Sakarya'nın Akyazı ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Akyazı'da lise öğrenimini Sakarya'da tamamladı. 1992 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi bölümünden mezun olarak 1993'te Sakarya'nın Geyve ilçesinde Çok Programlı Lisede öğretmenliğe başladı. 1995 yılında Sakarya Hendek Endüstri Meslek Lisesine atanarak 10 yıl burada görev yaptı. 2005 yılında Sakarya Hendek Anadolu Kalkınma Vakfı Anadolu Meslek Lisesi, Endüstri Meslek Lisesi ve Mesleki Eğitim Merkezine müdür olarak atandı halen burada okul müdürü olarak görev yapmaktadır. 1995 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi bölümüne kayıt yaptırdı. Halen bu bölümde öğrenimime devam etmektedir. Evli ve üç çocuk babasıdır.