

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

**DUBLEKS, MARTENZİTİK VE FERRİTİK  
PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Teknik Öğrt. Ali TÜRKYILMAZOĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Ramazan YILMAZ**

**Haziran 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DUBLEKS, MARTENZİTİK VE FERRİTİK  
PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Teknik Öğrt. Ali TÜRKYILMAZOĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Bu tez 20 / 06 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Yrd.Doç.Dr. Ramazan YILMAZ**  
**Jüri Başkanı**

**Prof.Dr Ahmet OĞUR**  
**Üye**

**Yrd.Doç.Dr. Zafer TATLI**  
**Üye**

## ÖNSÖZ

Tez süresi boyunca yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, bu çalışmada büyük katkıları olduğuna inandığım, tez çalışması boyunca beni cesaretlendiren çok kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Ramazan YILMAZ'a teşekkürlerimi sunuyorum. Bu çalışma "Gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilen paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ve mikroyapılarının belirlenmesi" isimli ve 2003K120970 nolu DPT projesi ile "Dubleks ve martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağı" isimli ve 06-FBY-015 nolu yüksek lisans projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünden çok kıymetli arkadaşlarım Zafer BARLAS, Mücahit GÖKMEN, Azim GÖKÇE, Gürhan DENİZ'e ve Fatih ÇALIŞKAN'a teşekkür ediyorum. Ayrıca çalışmaların gerçekleşmesinde katkıları olan KROMEL, ÇETİN LAZER ve NOKSEL firması yetkilileri ve çalışanlarına, Eşref ÇELİK ustaya, İsmail ARTAR'a, Sakarya Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği teknikeri Ersan DEMİR'e, Fatih Mehmet IŞIK'a, Fuat KAYIŞ'a teşekkür ediyorum. Bu çalışmam boyunca desteklerini ve hoşgörüsünü esirgemeyen görev yapmakta olduğum okulumuzun müdürü Ahmet ÖZTÜRK'e, arkadaşlarım Mehmet KOŞAR ve Muğdat KANPOLAT'a, ve okulumuz Bilgisayar bölümünde görevli tüm öğretmen arkadaşlarıma teşekkür ediyorum

Bu çalışma boyunca sabır gösteren desteklerini esirgemeyen, büyük fedakarlıklar da bulduklarına inandığım oğlum Alperen TÜRKYILMAZOĞLU ve eşim Selma TÜRKYILMAZOĞLU'na teşekkür ediyorum. Bu çalışmayı, kıymetli babam Dursun TÜRKYILMAZOĞLU, eşim ve oğluma ithaf ediyorum.

Haziran 2006

Ali TÜRKYILMAZOĞLU

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	XVI
ÖZET.....	XVIII
SUMMARY.....	XIX
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
PASLANMAZ ÇELİKLER.....	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	12
2.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	16
2.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler.....	21
2.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	25
2.6. Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler.....	29
2.7. Paslanmaz Çeliklerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri.....	30
2.7.1. Fiziksel özellikler .....	30
2.7.2. Mekanik özellikler .....	32

### BÖLÜM 3.

PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI.....	39
3.1. Giriş.....	39
3.2. TIG Kaynağı.....	40
3.2.1. TIG kaynak elektrodları.....	42
3.2.2. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar.....	44
3.2.3. İlave kaynak metalleri.....	48
3.2.4. Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında ağız hazırlığı.....	50
3.3. Diğer Kaynak Yöntemleri .....	51
3.3.1. MIG kaynağı .....	51
3.3.2. Elektrik ark kaynağı .....	54
3.3.3. Tozaltı kaynağı .....	55
3.3.4. Plazma ark kaynağı .....	56
3.3.5. Lazer ışın kaynağı.....	57
3.3.6. Gaz eritme kaynağı .....	58

### BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	59
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemesler ve Kaynak Yöntemleri .....	59
4.2. Mekaniksel Deneyler.....	62
4.2.1. Çekme deneyi.....	62
4.2.2. Vickers sertlik ölçümü.....	62
4.2.3. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanışı.....	63
4.2.4. Çentik darbe deneyi.....	63
4.3. Mikroyapı İncelemesi.....	64
4.3.1. Optik mikroskop.....	64
4.3.2. Tarama elektron mikroskobu (SEM) ve elementel analiz	65

BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	66
5.1. Kullanılan Koruyucu Gazların Mekanik Özelliklerine Etkisi	66
5.1.1. Çekme deneyi sonuçları.....	66
5.1.2. Çentik darbe deneyi sonuçları.....	82
5.1.3. Mikrosertlik deneyi sonuçları.....	87
5.1.4. Eğme deneyi sonuçları.....	95
5.2. Mikroyapı İncelemeleri.....	98
5.2.1. Optik mikroskop aydınlık alan incelemeleri.....	98
5.2.2. Optik mikroskop karanlık alan incelemeleri.....	107
5.3. SEM Mikroyapı İncelemeleri.....	114
5.4. EDS Elemental Analizleri.....	123
BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	129
6.1. Sonuçlar.....	129
6.2. Öneriler.....	132
KAYNAKLAR.....	133
ÖZGEÇMİŞ.....	138

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\sigma\epsilon$	: Çekme dayanımı
$\sigma_k$	: Kopma dayanımı
$\sigma_a$	: Akma dayanımı
$\Sigma$	: Gerilme
$\sigma_o$	: Ortalama gerilme
R	: Yükleme durumu
ITAB	: Isını tesiri altında kalan bölge
TIG	: Tugsten inert gas
MIG	: Metal inert gas
AISI 2205	: Dupleks paslanmaz çelik
AISI 430	: Ferritik paslanmaz çelik
AISI 420	: Martenzitik paslanmaz çelik
ER 316L	: Östenitik TIG kaynak teli
ER 2209	: Dupleks TIG kaynak teli
ER 430LNB	: Ferritik TIG kaynak teli
HMK	: Hacim merkezli kübik
YMK	: Yüzey merkezli kübik

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Fe-Cr alaşımlarında Cr miktarının korozyon direncine etkisi....	1
Şekil 1.2.	Paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dayanımının krom miktarına göre değişimi .....	2
Şekil 1.3.	Paslanmaz çelik yüzeyinde oluşan koruyucu krom oksit tabakası.....	2
Şekil 1.4.	Nikel ve krom miktarlarına göre farklı paslanmaz çelik türlerinin gösterilmesi.....	3
Şekil 2.1.	Demir krom faz diyagramı.....	8
Şekil 2.2.	Farklı karbon içerikleri için demir krom faz diyagramı.....	9
Şekil 2.3.	a). % 4 Ni b) % 8 Ni içeren Fe % 18 Cr-C alaşımları faz diyagramı.....	10
Şekil 2.4.	Schaeffler ve Delong diyagramları .....	11
Şekil 2.5.	Katılma Faz sınırlarını da içeren WRC-1992 Diyagramı.....	11
Şekil 2.6.	Fe-Cr-C alaşımları faz diyagramı.....	28
Şekil 2.7.	20-100oC'de çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin ısı iletim kabiliyetleri.....	31
Şekil 2.8.	20oC'de çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin özgül elektrik iletme direnci.....	32
Şekil 2.9.	AISI 410 kalite paslanmaz çeliğin çekme özelliklerinin temperleme sıcaklığına etkisi .....	34
Şekil 2.10.	Martenzitik paslanmaz çeliklerin çentik darbe özellikleri ve temperleme sıcaklığına etkisi.....	36
Şekil 3.1.	TIG kaynak donanım şeması.....	41



Şekil 3.2.	Çeşitli koruyucu gazların kaynak dikişinin şekline ve nüfuziyetine etkisi.....	45
Şekil 3.3.	Ar- O <sub>2</sub> , Ar- CO <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> gazlarının dikiş şekline ve nüfuziyete etkisi.....	46
Şekil 3.4.	Gazaltı kaynak yönteminde kullanılan gazların sıcaklığa bağlı olarak ısıl iletkenliklerinin değişimi.....	48
Şekil 3.5.	Lazer Kaynağı.....	57
Şekil 4.1.	Kaynakla birleştirilmiş parçalardan çıkarılan çekme ve çentik darbe numuneleri.....	62
Şekil 4.2.	Eğme Deneyi.....	63
Şekil 4.3.	Çentik darbe test numune ölçüleri.....	64
Şekil 5.1.	Farklı koruyucu gazlar a) Ana malzeme b) Argon c) Argon + %25 He d) Argon + %5H <sub>2</sub> altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin gerilim-uzama diyagramı.....	68
Şekil 5.2.	ER 430LNb ilave metali ile birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çelikte kullanılan farklı koruyucu gaz kompozisyonlarıyla birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	70
Şekil 5.3.	ER 316L östenitik ilave metal ile birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları ile kaynağı sonucunda a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	71
Şekil 5.4.	Otomatik TIG kaynak makinesinde ilave metal kullanılmadan AISI 430 ferritik paslanmaz çelikte kullanılan farklı gaz kompozisyonlarının kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	73
Şekil 5.5.	Otomatik TIG kaynak makinesinde ilave metalsiz olarak AISI 420 martenzitik paslanmaz çelikte kullanılan farklı gaz kompozisyonlarının kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	74
Şekil 5.6.	ER 430 LNb ilave metali ve a) Argon b) Argon + %25He c) Argon + %5H <sub>2</sub> d) Argon + %5N <sub>2</sub> koruyucu gazları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri.....	78

Şekil 5.7.	İlave metal kullanmaksızın a) Argon + %25He b) Argon + %5N2 koruyucu gazları ile otomatik TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri.....	79
Şekil 5.8.	ER 316L ilave metal kullanılarak a) Argon b) Argon+%25He c) Argon+% 5N2 koruyucu gazları ile TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri.....	80
Şekil 5.9.	İlave metal kullanmaksızın a) Argon + %25He b) Argon + %5N2 koruyucu gazları ve otomatik TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri.....	81
Şekil 5.10.	Çentik darbe deneyi uygulanmış numuneler.....	82
Şekil 5.11.	Farklı koruyucu gaz kompozisyonları ile ER 2209 ilave metal ve TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 2205 tipi dubleks paslanmaz çelik parçalara uygulanan çentik darbe deney sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	83
Şekil 5.12.	ER 2209 ilave metal ile a) Argon b) Argon + %25He c) Argon + %5H2 d) Argon + %5N2 koruyucu gazları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 2205 tipi dubleks paslanmaz çelik parçalara 250C'de çentik darbe deneyi uygulanan numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri.....	86
Şekil 5.13.	TIG kaynak yöntemiyle AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları ve ER 430 LNb ilave metali kullanılarak birleştirilmesi sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri .....	88
Şekil 5.14.	TIG kaynak yöntemiyle AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ER 316L ilave metali ile birleştirilmesi sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri .....	89
Şekil 5.15.	Otomatik TIG kaynak makinesinde AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin iki farklı koruyucu gaz kompozisyonu kullanılarak ilave metalsiz birleştirilmesi sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri .....	89

Şekil 5.16.	Otomatik TIG kaynak makinesinde AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin iki farklı koruyucu gaz kompozisyonu kullanılarak ilave metalsiz birleştirilmesi sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri .....	90
Şekil 5.17.	TIG kaynak yöntemiyle AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ER 2209 ilave metali ile birleştirilmesi sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri .....	91
Şekil 5.18.	TIG kaynak yöntemiyle AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ER 430 LNb ilave metali ile birleştirilmesi sonucunda ölçülen kaynak metali mikrosertlik değerleri.....	92
Şekil 5.19.	TIG kaynak yöntemiyle AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ER 316L ilave metali ile birleştirilmesi sonucunda ölçülen kaynak metali mikrosertlik değerleri.....	93
Şekil 5.20.	Otomatik TIG kaynak makinesinde AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin iki farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ilave metalsiz birleştirilmesi sonucunda ölçülen kaynak metali mikrosertlik değerleri.....	93
Şekil 5.21.	Otomatik TIG kaynak makinesinde AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin iki farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ilave metalsiz birleştirilmesi sonucunda ölçülen kaynak metali mikrosertlik değerleri.....	94
Şekil 5.22.	TIG kaynak yöntemiyle AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ER 2205 ilave metali ile birleştirilmesi sonucunda ölçülen kaynak metali mikrosertlik değerleri.....	95
Şekil 5.23.	TIG yöntemi ve a) Argon b) Argon + %25He c) Argon + %5H <sub>2</sub> d) Argon + %5N <sub>2</sub> koruyucu gazları ile ER 430LNb ilave metali kullanılarak kaynak yapılmış AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları.....	96
Şekil 5.24.	Otomatik TIG yöntemi ve a) Argon + %25He b) Argon + %5N <sub>2</sub> koruyucu gazları ile ilave metalsiz kaynak yapılmış AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları .....	96

Şekil 5.25.	TIG yöntemi ve a) Argon b) Argon + %25He c) Argon + %5N2 koruyucu gazları ile ER 316L ilave metali kullanılarak kaynak yapılmış AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları.....	97
Şekil 5.26.	Otomatik TIG yöntemi ve a) Argon + %25He b) Argon + %5N2 koruyucu gazları ile ilave metalsiz kaynak yapılmış AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları .....	97
Şekil 5.27.	Argon atmosferi altında ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları.....	99
Şekil 5.28.	Argon + %25He atmosferi altında ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları .....	100
Şekil 5.29.	Argon + %5H2 atmosferi altında ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları.....	100
Şekil 5.30.	Argon + %5N2 atmosferi altında ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları.....	101
Şekil 5.31.	Argon atmosferi altında ER 430LNb ilave metali kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları .....	101
Şekil 5.32.	Argon + %25He atmosferi altında ER 430LNb ilave metali kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları .....	102
Şekil 5.33.	Argon + %5H2 atmosferi altında ER 430LNb ilave metali kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları .....	102
Şekil 5.34.	Argon + %5N2 atmosferi altında ER 430LNb ilave metali kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları .....	103
Şekil 5.35.	Argon + %5N2 atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları .....	103

Şekil 5.36.	Argon + %25He atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları .....	104
Şekil 5.37.	Argon atmosferi altında ER 316L ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları.....	104
Şekil 5.38.	Argon + %25He atmosferi altında ER 316L ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları.....	105
Şekil 5.39.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ER 316L ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları .....	105
Şekil 5.40.	Argon + %25He atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları .....	106
Şekil 5.41.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları.....	106
Şekil 5.42.	Argon atmosferi altında ER 2209 ilave metal kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	107
Şekil 5.43.	Argon + %25He atmosferi altında ER 2209 ilave metal kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	108
Şekil 5.44.	Argon + %5H <sub>2</sub> atmosferi altında ER 2209 ilave metal kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	108
Şekil 5.45.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	109
Şekil 5.46.	Argon + %25He atmosferi altında ER 430LNb ilave metal kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	109

Şekil 5.47.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ER 430LNb ilave metal kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	110
Şekil 5.48.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	110
Şekil 5.49.	Argon + %25He atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	111
Şekil 5.50.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	111
Şekil 5.51.	Argon + %25He atmosferi altında ER 316L ilave metal ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	112
Şekil 5.52.	Argon atmosferi altında ER 316L ilave metal ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	112
Şekil 5.53.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ER 316L ilave metal ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları .....	113
Şekil 5.54.	Argon atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.....	115
Şekil 5.55.	Argon + %25He atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri a) Geçiş bölgesi b) Ana metal.....	116
Şekil 5.56.	Argon + %5H <sub>2</sub> atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.....	117

Şekil 5.57.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.....	118
Şekil 5.58.	Argon atmosferi altında ER 316L ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri a) Geçiş bölgesi b) Ana metal.....	119
Şekil 5.59.	Argon + %25He atmosferi altında ER 316L ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.....	120
Şekil 5.60.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ER 316L ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.....	121
Şekil 5.61.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ER 430LNb ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.....	122
Şekil 5.62.	Argon atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin EDX analizi sonuçları.....	123
Şekil 5.63.	Argon + %5N <sub>2</sub> atmosferi altında ER 430LNb ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin EDX analizi sonuçları.....	124
Şekil 5.64.	Argon + %25He atmosferi altında ER 316L ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin EDX analizi sonuçları.....	125
Şekil 5.65.	Argon atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı.....	126
Şekil 5.66.	Argon + %25 He atmosferi altında ER 316L ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı.....	127

Şekil 5.67. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 430LNb ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı..... 128



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Ferrit, östenit oluşturuCU elementler ile nötr elementler ve etkileri .....	7
Tablo 2.2.	Çeşitli martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları .....	13
Tablo 2.3.	AISI 420 paslanmaz çeliğın; standart numaraları, fiziksel, mekaniksel, yüksek sıcaklık özellikleri ve korozyon dayanımı .....	14
Tablo 2.4.	AISI 420 paslanmaz çeliğın; imalat özellikleri ve kullanım alanları .....	15
Tablo 2.5.	Çeşitli ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları .....	17
Tablo 2.6.	AISI 430 paslanmaz çeliğın; standart numaraları, fiziksel, mekaniksel özellikleri ve korozyon dayanımı .....	19
Tablo 2.7.	AISI 420 paslanmaz çeliğın; imalat özellikleri ve kullanım alanları.....	20
Tablo 2.8.	Bazı dubleks paslanmaz çeliklerin bileşimleri .....	22
Tablo 2.9.	AISI 2205 paslanmaz çeliğın; standart numaraları, fiziksel, mekaniksel özellikleri ve korozyon dayanımı.....	23
Tablo 2.10.	AISI 2205 paslanmaz çeliğının imalat özellikleri ve kullanım alanları .....	24
Tablo2.11.	Çeşitli östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları .....	26
Tablo 2.12.	Bazı çökeltme sertleşme paslanmaz çeliklerin bileşimleri .....	30
Tablo 2.13.	Paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler.....	30
Tablo.2.14.	Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri .....	33

Tablo.2.15.	Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri .....	35
Tablo 2.16.	Dubleks paslanmaz nominal çeliklerin nominal mekanik özellikleri .....	36
Tablo 2.17.	Ferritik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri.....	37
Tablo 2.18.	Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri.....	38
Tablo 3.1.	Tungsten elektrotların kimyasal bileşikleri ve tanım renkleri (DIN 32528).....	43
Tablo 3.2.	Tungsten elektrotların bileşim ve çaplarına göre akım yüklenebilme kapasiteleri .....	43
Tablo 3.3.	Gazaltı kaynaklarında kullanılan gazların kimyasal ve fiziksel özellikleri .....	47
Tablo 3.4.	Bazı TIG ilave metallerin kimyasal bileşenleri .....	49
Tablo 4.1.	Ana malzeme kimyasal analiz değerleri .....	60
Tablo 4.2.	Kaynak metali kimyasal analiz değeri .....	60
Tablo 4.3.	Deney parçalarına uygulanan kaynak yöntemleri, şartlar ve parametreler .....	61
Tablo 5.1.	Çekme deneyi sonuçları.....	67

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Dupleks paslanmaz çelik, ferritik paslanmaz çelik, martenzitik paslanmaz çelik, TIG kaynağı, mekanik özellikler, mikroyapı

Bu çalışmada AISI 2205 dupleks, AISI 420 martenzitik ve AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çelikler TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi kullanılarak küt alın kaynak dizaynında birleştirilmiştir. Birleştirilen parçaların her biri için uygun ilave metaller kullanılmıştır. Çalışmalarda koruyucu gaz olarak argon, argon + %5 hidrojen, argon + %5 azot ve argon + %25 helyum kullanılmıştır. Çalışmada koruyucu gazın kaynaklı birleştirmenin mekanik özellikleri ile mikroyapısına olan etkileri incelenmiştir. Çekme mukavemeti, çentik darbe tokluğu, sertlik, eğme mukavemeti gibi mekanik özellikler ile bu çalışmaya paralel olarak optik ve tarama elektron mikroskobu (SEM) incelenmeleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca EDS analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, koruyucu gazın malzemelerin çekme mukavemetleri ve sertliklerine önemli etkileri olduğu ve gaz kompozisyonlarının mikroyapı üzerinde de etkili olduğu görülmüştür. AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklerin 430 LNb ilave metali ve argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile kaynaklı birleştirilmesinde koruyucu gazda bulunan azot ile ilave metalde bulunan niyobyumun etkileşimi birleştirmenin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemiştir.

# **WELDING OF DUPLEX, MARTENSITIC AND FERRITIC STAINLESS STEELS**

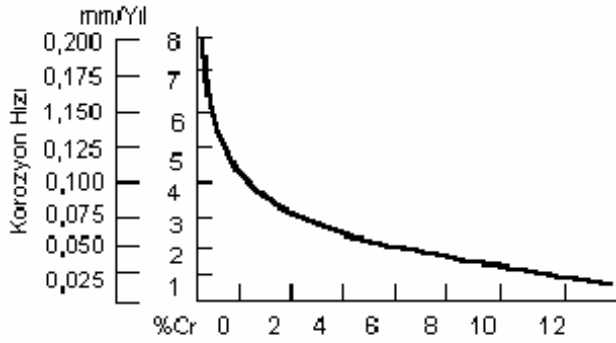
## **SUMMARY**

Key words: Duplex stainless steel, ferritic stainless steel, martensitic stainless steel, GTAW, mechanical properties, microstructure

In this study, AISI 2205 duplex, AISI 430 ferritic and AISI 420 martensitic types of stainless steels were welded by GTAW (Gas tungsten arc welding) on butt joint and flat position using various suitable filler materials for each stainless steels. Argon and argon + % 25He and argon + % 5H<sub>2</sub> and, argon + % 5N<sub>2</sub> were used as a shielding gases. Effects of the shielding gases on mechanical and microstructural properties of these material were investigated. Various characterization techniques were used. Tensile, charpy impact, bending test, hardness measurement were carried out and microhardness values were determined. Parellel microstructural works has been carried out using optical and Scanning Electron Microscope (SEM) on welded workpieces. In addition to that energy dispersive spectroscopy analysis were carried out. The results show that shielding gas compositions have great influence on mechanical porperties, due to that the gas composition is also effect on the microstructure of stainless steel weldments. The results of interaction between nitrogen in shielding gases and niobium in filler metals has negative influence on mechanical properties of AISI 430 ferritic stainless steels weldments.

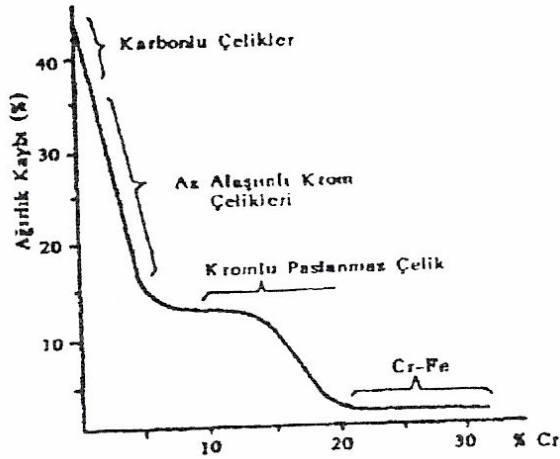
## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Genellikle paslanmaz çelikler yüksek krom alaşımlı çelikler olup, paslanmaz olarak nitelendirilebilmeleri için bu malzemelerin kimyasal içeriğinde en az %10,5 Cr bulunması gerekmektedir. Çünkü demir-krom alaşımlarının oksitleyici ortamlarda korozyon dirençleri, alaşımın bileşiminde krom artışına paralel olarak arttığı krom miktarının azalması ile mevcut alaşımın daha fazla korozyona maruz kaldığı yapılan deneylerde görülmektedir. Oda sıcaklığında püskürtme su içindeki ortamda malzeme içerisindeki krom miktarının %10,5 değerine ulaştığında korozyonun durduğu görülmektedir [1]. Şekil 1.1’de krom miktarının korozyon direncine etkisi gösterilmektedir.



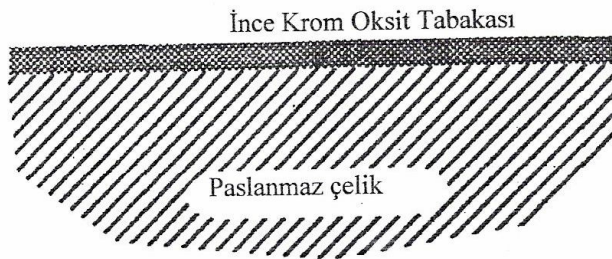
Şekil 1.1. Fe-Cr alaşımlarında Cr miktarının korozyon direncine etkisi [1]

Bunun yanında Şekil 1.2’de gösterildiği gibi, artan krom miktarına bağlı olarak, yüksek sıcaklıklarda da paslanmaz çeliğin oksidasyon direnci artmaktadır.



Şekil 1.2. Paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dayanımının krom miktarına göre değişimi [2]

Çeliğin içerisindeki kromun korozyona karşı koruyucu kabiliyeti, krom ile oksijen arasındaki büyük affiniteden ileri gelmektedir. Malzeme içerisindeki krom miktarı yeterli olduğunda çeliğin yüzeyinde ince bir oksit ( $Cr_2O_3$ ) tabakası meydana gelmektedir. Oluşan bu oksit tabakası yüzeyi aktif olmayan bir hale getirmekte ve çevrenin olumsuz etkisinden korumaktadır. Korozyona karşı mukavemetin gerçekleşebilmesi malzeme yüzeyinin oksijenle temas etmesi şarttır. Çünkü malzeme yüzeyini koruyan tabaka krom oksit filmidir (Şekil 1.3) [3].

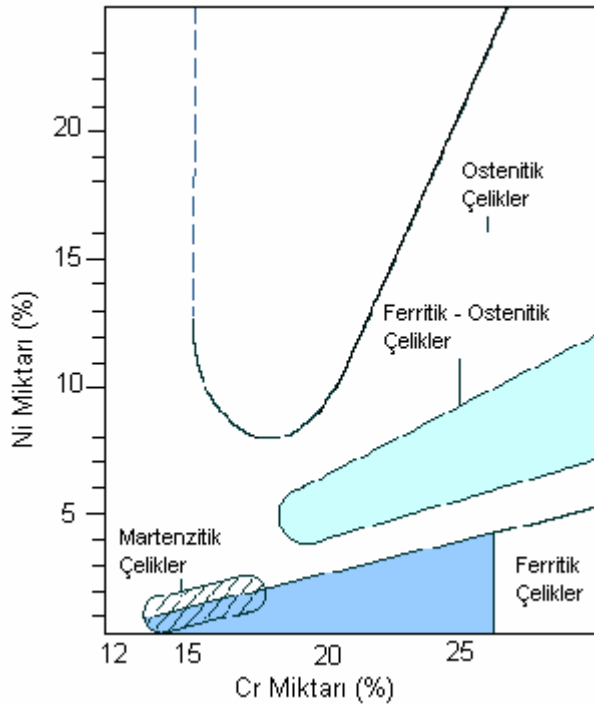


Şekil 1.3. Paslanmaz çelik yüzeyinde oluşan koruyucu krom oksit tabakası [4]

Günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler, içerdiği katkı elemanlarına göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü bulunmakta olup bunlar sıra ile aşağıda verilmiştir:

1. Östenitik paslanmaz çelikler
2. Ferritik paslanmaz çelikler
3. Martenzitik paslanmaz çelikler
4. Çift fazlı paslanmaz çelikler
5. Çökeltme yolu ile sertleşmeli paslanmaz çelikler [5].

Şekil 1.4'de paslanmaz çelik malzeme içerisinde krom ve nikel oranlarına göre oluşan paslanmaz çelik türleri verilmiştir.



Şekil 1.4. Nikel ve krom miktarlarına göre farklı paslanmaz çelik türlerinin gösterilmesi [6]

İç yapısına göre yapılan gruplar içerisinde en yaygın olarak östenitik ve ferritik çelikler kullanılmaktadır ve tüm paslanmaz çelikler içinde %95 oranındadır.

Paslanmaz çelikler günümüzde önemli bir çok konstrüksiyonlarda kullanılmakta olup, endüstriyel olarak paslanmaz çelik konstrüksiyonlarının imalatı esnasında önemli bir yere sahiptir. İnce kesitli parçaların birleştirilmesinde özellikle TIG (Tungsten Inert Gas) ve MIG (Metal Inert Gas) gibi gazaltı kaynak yöntemleri tercih edilmektedir. Bu kaynak yöntemlerinde koruyucu gaz ve ilave metal seçimi kaliteli bir kaynak birleşimi sağlaması bakımından oldukça önemlidir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin gaz altı kaynaklarında koruyucu gaz olarak argon + helyum + karbondioksit içeren gazlar kullanılmaktadır. Argon + oksijen karışımı gazlar kaynak banyosunda oksidasyona neden oluşturmalarına rağmen, daha iyi ısıtma kabiliyeti ve ark dengesi sağlamaktadır [7]. MIG kaynağında oksijen karbondioksite göre daha etkili olup argon + % 1-2 oksijen kullanıldığında sprej ark geçişi sağlamaktadır [8, 9]. Paslanmaz çelikleri birleştirirken en çok koruyucu gaz olarak saf argon kullanılmaktadır. Argona hidrojen ilavesi ile kaynak hızı ve nüfuziyeti artmakta ve kaliteli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Helyum + argon ile argon + hidrojen karışım gazları yüksek kaynak hızları gerektiği hallerde kullanılmaktadır [10, 11]. Azot gazı östenit dengeleyici olduğundan kaynaklı birleştirmelerde kaynak metalindeki  $\delta$ -ferrit oranını kontrol edilmektedir [12, 13].

Gazaltı kaynak yöntemi ve farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak birleştirilen martenzitik, ferritik ve dubleks paslanmaz çelik konstrüksiyonlarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi imalatı yapılan konstrüksiyonun daha güvenli kullanılması açısından önemlidir. Gazaltı kaynak yöntemleri ve farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak birleştirilen paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinin sertlik dağılımı, çentik darbe deneyleri, çekme mukavemeti ve yorulma dayanımı gibi özelliklerinin bilinmesi önemli olup, kaynak bölgesinin mikroyapısı bu özelliklerin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Bundan dolayı bu çalışmada endüstriyel açıdan önemli AISI 420 martenzitik, AISI 430 ferritik, AISI 2205 dubleks tipi paslanmaz çelikler TIG kaynak yöntemiyle yatay pozisyonda düz alın şekilde birleştirilip koruyucu gaz kompozisyonunun kaynak dikişine olan mekaniksel etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda birleştirilen parçaların mikroyapı karakterizasyonları da yapılarak elde edilen mekanik deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür bilgileri ile yorumlanmıştır.

Hazırlanan tez 6 bölümden oluşmakta olup, ilk bölümde paslanmaz çeliklerin önemi, çeşitleri ve genel bilgiler ile gaz altı kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar ve çalışmanın gerekçesiyle ilgili bilgiler giriş bölümünde verilmiştir. Giriş bölümüne takiben 2. bölümde paslanmaz çelikler hakkında genel bir bilgiler verilmiş olup, kullanım yerleri ve çeşitli özellikleri hakkında bilgiler sunulmaktadır. Bu bölümün son kısmında ise kaynaklı paslanmaz çelik konstrüksiyonların mukavemetleri ve



mekanik davranışları ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Çalışmanın üçüncü bölümünde paslanmaz çeliklerin kaynağı ile ilgili genel bilgiler ile paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri ve özellikleri incelenmiştir. Bölüm 4’de ise yapılan deney çalışmalarında izlenen deneysel metotlar açıklanmıştır. Bölüm 5’de deneysel çalışmalarda elde edilen deneysel sonuçlar ve bu sonuçların yorumları yapılmıştır. Bölüm 6’da yapılan deneysel çalışmalar sonunda elde edilen genel sonuçlar ve ilgili alanda çalışacak bireyler için bazı öneriler sunulmuştur.

## **BÖLÜM 2. PASLANMAZ ÇELİKLER**

### **2.1. Giriş**

Östenitik paslanmaz çelikler içinde en çok AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Bu tip paslanmaz çeliğin ana alaşım elementleri krom ve nikelidir. Ferritik paslanmaz çelikler sertleştirilmeyen Fe-Cr alaşımları olup, AISI 430 tipi en çok kullanılmaktadır. Martenzitik paslanmaz çelikler, ferritik gruptaki paslanmaz çeliklerle benzer kimyasal kompozisyona sahip olmalarına rağmen daha yüksek oranda karbon ve daha düşük oranda krom içermesi nedeniyle ısıl işlemlerle sertleştirilebilirler. AISI 420 tipi martenzitik paslanmaz çelik en yaygın olarak kullanılmaktadır. Dupleks paslanmaz çelikler eşit miktarda östenit ve ferrit fazları içermektedir. İçerik olarak % 24 krom ve % 5 nikel elementleri içermektedir. Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler alüminyum gibi katı çözeltilere girme ve yaşlandırma ısıl işlemi ile çeliğe sertleşebilme imkanı sağlayan alaşım elementleri içermektedir.

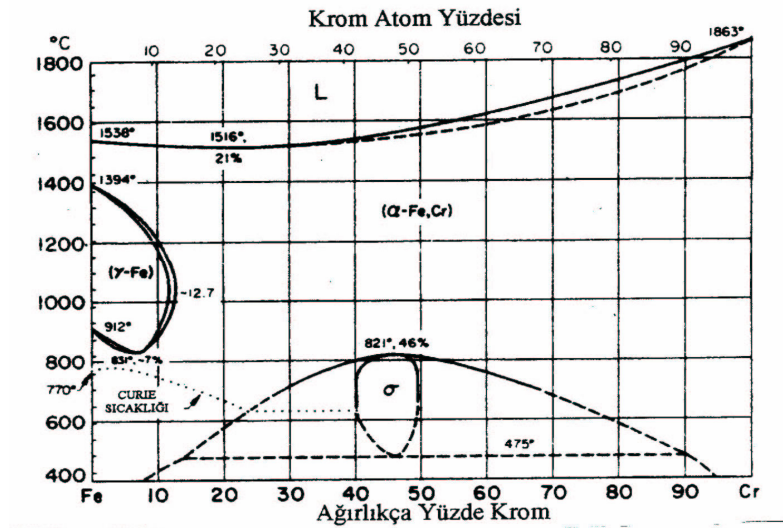
Paslanmaz çelikler içerisinde bulunan alaşım elementleri ferrit ve östenit oluşturucu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Ferrit, östenit oluşturucu ve nötr elementlerin fonksiyonları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Ferrit, östenit oluşturuvcu elementler ile nötr elementler ve etkileri [5]

Element	Etkileri
Krom	Ferrit oluşumunda etkili olmakta, malzemenin oksidasyon ve korozyon dayanımının yükselmesine katkı sağlamaktadır.
Molibden	Ferrit oluşumunda etkili olup malzemenin yüksek sıcaklıklarda dayanıklı olmasını ve redükleyici ortamlarda malzemelerin korozyona karşı dirençlerinin artmasını sağlamaktadır.
Niyobyum ve titanyum	Bu elementler paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyon hassasiyetinin azaltılması amacıyla, karbonla birleşerek karbür oluşturması için yapıya eklenmektedir. Niyobyum karbür yapıcı element olup, ilave olarak tanelerin küçülmesine ve ferrit oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Paslanmaz çelik malzemenin sürünme dayanımı sağlar, ancak sürünme sünekliğini azaltmaktadır. Yüksek mukavemetli bazı alaşımlarda sertliği ve mukavemet değerlerine katkıda bulunması için katılmaktadır. Ayrıca, bazı martenzitik paslanmaz çelik türlerinde bünyedeki karbonu bağlayarak, çeliğin sertleşme eğiliminin azaltılması için katılmaktadır.
Fosfor, kükürt, selenyum	Paslanmaz çeliklerin işlenebilme kabiliyetini yükseltmekte ancak kaynak sırasında sıcak çatlak oluşmasına neden olması nedeniyle kaynak kabiliyetini sınırlamaktadır. Paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirildiğinde nüfuziyetin artmasına katkıda bulunmaktadır
Karbon	Paslanmaz çelik malzemelerde kuvvetli östenit oluşturuvcu element olup krom ile reaksiyona girerek taneler arası korozyona neden olan karbürleri oluşturmaktadır.
Nikel	Östenit oluşumunu sağlamakta ve paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklıkta direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliğini artırmaktadır.
Azot	Östenit oluşumuna çok kuvvetli etkide bulunmakta olup, çoğu zaman östenit oluşturmada nikel elementi kadar etkilidir.
Bakır	Paslanmaz çeliklere, bazı ortamlardaki korozyon dayanımlarını arttırmak amacıyla katılmakla beraber gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyeti azaltır ve yaşlanma yoluyla sertleşmeyi teşvik etmektedir.
Mangan	Düşük sıcaklıklarda östenitin kararlı olmasını sağlarken yüksek sıcaklıklarda ferrit oluşturmaktadır. Ayrıca manganız sülfat oluşturmaktadır.
Silisyum	Paslanmaz çelik malzemelerin tufallenmeye karşı dayanımı yükseltmekte olup yapıda %1'den daha fazla olması durumunda ferrit ve sigma oluşumuna etki etmektedir. Her tür paslanmaz çeliğe oksit giderme amacıyla düşük oranda eklenir. Akışkanlığı arttırmakta ve kaynak metalinin ana metali daha iyi ısıtılmasını sağlamaktadır.

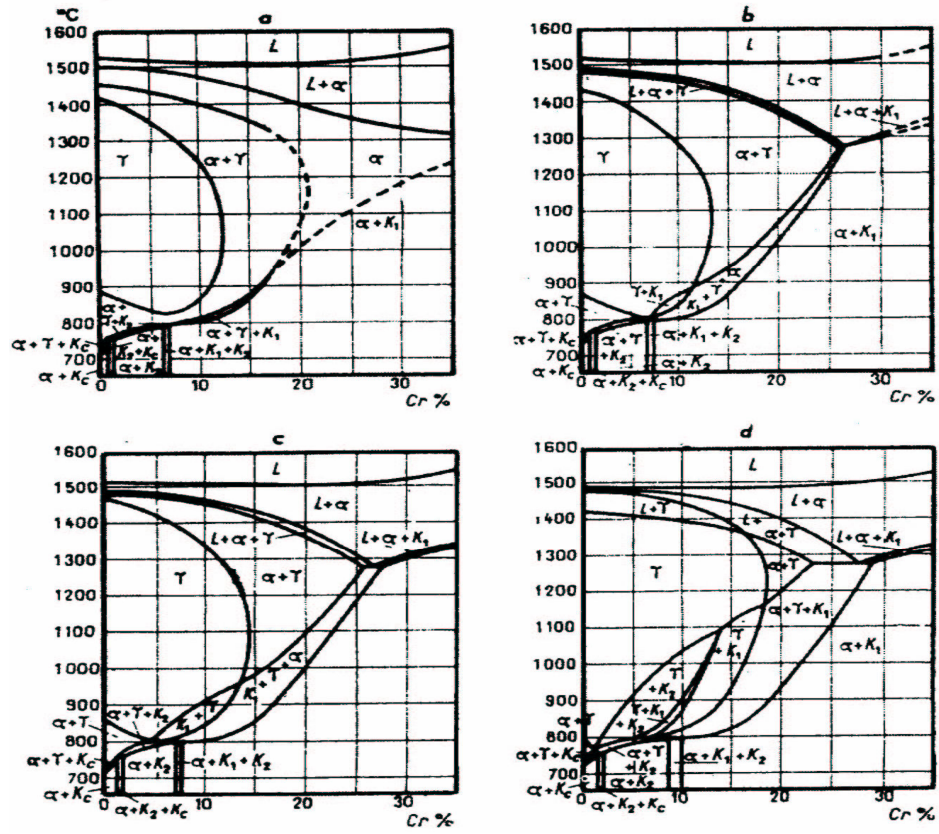
Paslanmaz çeliklerin temelini demir-krom sistemi oluşturmakta olup Şekil 2.1’de demir krom faz diyagramı verilmiştir. Krom hacim merkezli kübik (HMK) yapısına sahiptir. Demir karbon denge diyagramında yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafes yapısına sahip östenitik yapı oluşturan bölge olan östenit ( $\gamma$ ) kapalı hale getirir ve 1000 °C sıcaklığında % 12 kadar krom çözünürlüğe sahiptirler. Eğer yapıda % 12’den fazla krom içerdiğinde demir-krom alaşımları YMK ’den HMK ’e dönüşüm göstermezler [14].

Düşük sıcaklıklarda demir krom faz diyagramı tamamı katı eriyik olmayıp 821 °C altında yaklaşık % 46 krom içeren sert ve kırılğan olan  $\sigma$  oluşmaktadır. Fe-Cr alaşımlarına karbon katıldığında östenit alanları genişlemektedir [14].



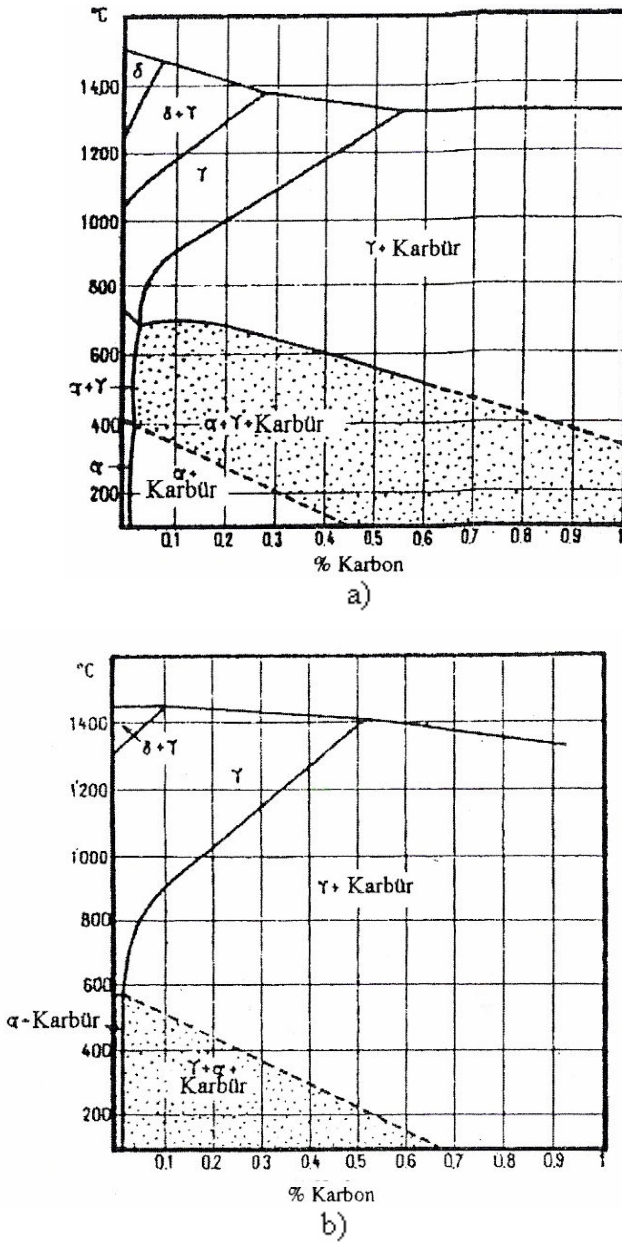
Şekil 2.1. Demir krom faz diyagramı [14]

Daha sonraki ortamlarda değişik krom karbürleri oluşmaktadır. Şekil 2.2’ de  $K_C$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  olarak belirtilen karbürler  $(Cr,Fe)_3C$ ,  $(Cr,Fe)_{23}C_6$  ve  $(Cr,Fe)_7C_3$ ’ dür.



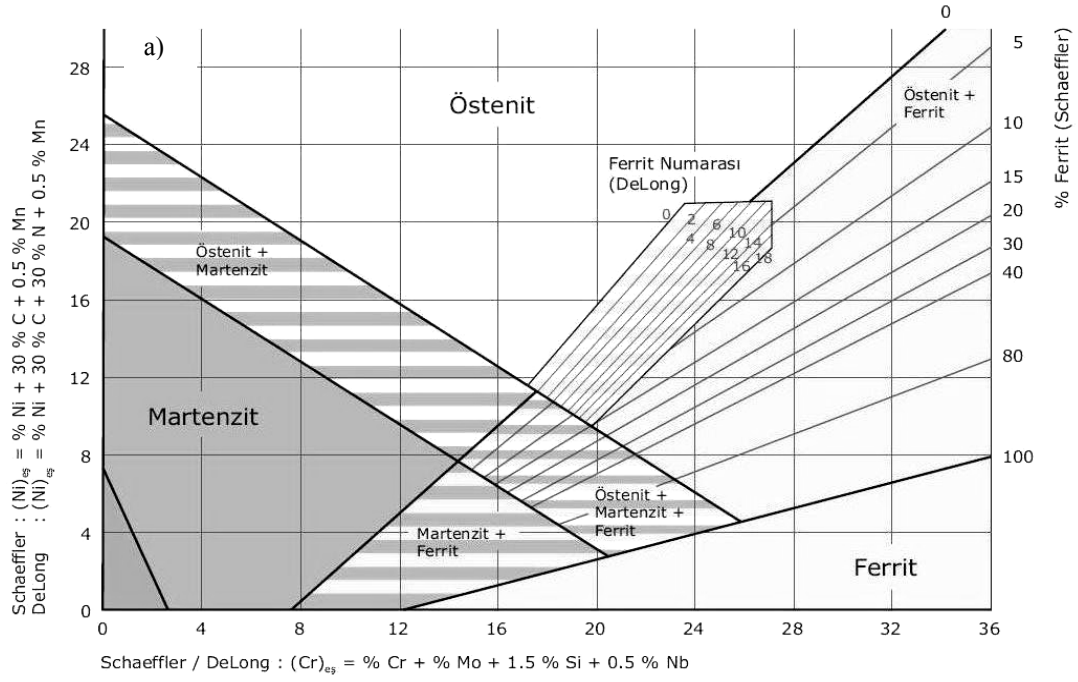
Şekil 2.2. Farklı karbon içerikleri için demir krom faz diyagramı [14]

Demir nikel alaşımlarında demir içerisine nikel katıldığında, nikel YMK yapıya sahip olduğundan östenit fazını kararlı hale getirmektedir. Şekil 2.3a. ve 3b.' de demir krom Fe-Cr-C alaşımları faz diyagramı verilmektedir.

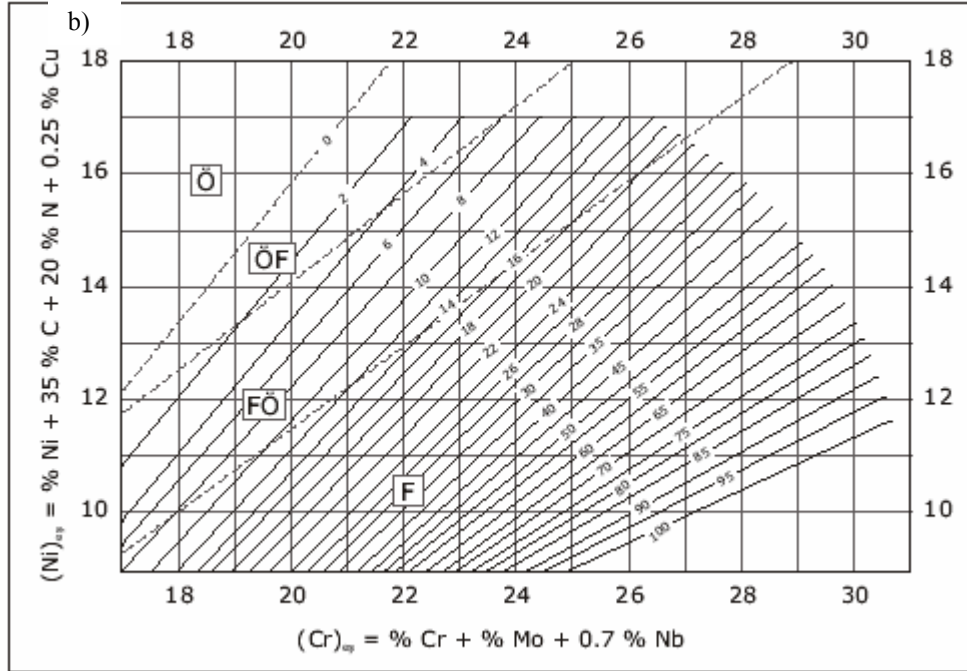


Şekil 2.3. a) % 4 Ni b) % 8 Ni içeren Fe % 18 Cr-C alaşımları faz diyagramı [14]

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 maksimum Ni içeriğini çelik içerisinde bulunan diğer alaşım elementlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir [5]. Aynı amaçla mikroyapının belirlenmesinde Schaeffler ve Delong diyagramları son zamanlarda bu işlem WRC-1992 diyagramı ile yapılmaktadır (Şekil 2.4. a ve b).



Şekil 2.5. Schaeffler ve DeLong diyagramları [5]



Şekil 2.4. Katılma faz sınırlarını da içeren WRC-1992 diyagramı [5]

## 2.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Bu tip paslanmaz çeliklerin içeriğinde krom miktarı %12-17, karbon miktarı %0.1'den fazla olduğunda çelikler yüksek sıcaklıklarda östenitik içyapıya sahip olmaktadır. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050 °C arasındadır. Bu sıcaklıklarda tutulan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Bu şekilde elde yüksek sertlik ve mekanik dayanım, karbon yüzdesi ile birlikte artmaktadır.

Ürün tipine bağlı olarak martenzitik çelikler tavllanmış veya ıslah edilmiş durumda pazara sunulmakta olup, tavllanmış olarak satın alınan ürünler biçim verildikten sonra ıslah işlemine (su verme + temperleme) tabi tutulur. Temperleme sıcaklığı değiştirilerek değişik özellik kombinasyonları elde edilebilir. En iyi korozyon dayanımını elde edilmesi için tavsiye edilen ısı işlem sıcaklıklarına uyulması çok önemlidir. Bu tür paslanmaz çelikler;

- 1- Orta derecede korozyon dayanımı,
- 2-Isıl işlem uygulanabilmekte olup, yüksek dayanım ve sertlik elde edilebilmesi,
- 3- Kaynak kabiliyetleri düşüklüğü,
- 4- Manyetik olmaları gibi özelliklere sahiptir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin çeşitleri ve kimyasal bileşimleri ile kullanım alanları Tablo 2.2'de verilmiştir. Martenzit paslanmaz çelik korozyon direnci % 12 Cr içerdiğinden dolayı daha azdır. Bu korozyon düzeyde ilave edilecek maksimum karbon miktarı % 1,5'dir. Ancak bu durumda fazla karbon tane sınırlarını çökeltmekte ve aralarındaki krom miktarı % 12'nin altına düşmektedir [6].



Tablo 2.2. Çeşitli martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları [14]

AISI Tip	Cr %	C %	Ni %	Mo %	V %	Uygulama Alanları
403	12.2	0.15				Buhar türbin bıçakları ve jet motorları halkaları gibi yüksek gerilmeye maruz kalan iş parçalarında
410	12.5	0.15 max.				Makine parçaları, pompa şaftları, jet motor parçaları, maden makineleri, gibi genel amaçlı ısıt işlemlendirilebilir işlerde
414	12.5	0.15 max.				410 tipinin yüksek karbon modifikasyonu, mutfak gereçleri, cerrahi aletleri, valfler
422	12	0.22	1	0.25	1	1200 °F'ta kadar hizmet sıcaklıklarında yüksek dayanım ve tokluk. Buhar türbin bıçakları, sıkma bilezikleri
431	16	0.20 max.	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 parçaları.

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 hızı yeterince soğutulur ve tokluğu arttırmak için temperlenir[14].

Tablo 2.3'de en yaygın kullanılan AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin özellikleri ile Tablo 2.4'de imalat özellikleri ve kullanım alanlarıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.3. AISI 420 paslanmaz çeliğin; standart numaraları, fiziksel, mekaniksel, yüksek sıcaklık özellikleri ve korozyon dayanımı [6]

ASTM 420	EN 1.4021	UNS S42000
-------------	--------------	---------------

Fiziksel özellikler	
Elastik modülü (GPa)	216
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	7,7
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	10,5
Elektrik direnci ( $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m)	0,6
Özgül ısı ( J/kg.K)	460
Isıl iletkenliği (W/m.K)	30
Manyetiklik	Var

Mekanik Özellikler				
	%0,2 Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (Brinell)
Tavllanmış durumda	450	650-800	15	180-230
Suverme sonrasında		1570		450
Suverme+temperleme	Temp.Sic.650°C	930		300
Suverme+temperleme	Temp.Sic.750°C	750		230
Yüksek sıcaklık özellikleri				
Sıcaklık (°C)	100	200	300	400
Elastik modülü (Gpa)	213	207	200	192
%0,2 Akma dayanımı (MPa)	420	400	365	305
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	10,5	11	11,5	12

Korozyon dayanımı	Zayıf asitlere dayanımı iyidir. Özellikle oksitleyici ortamlarda klorür bulunması durumunda korozyon dayanımı olumsuz etkilenir.
Yüksek sıcaklık oksidasyonu	Yaklaşık 700°C'ye kadar yüksek sıcaklık oksidasyonu na karşı dayanıklıdır.

Tablo 2.4. AISI 420 paslanmaz çeliğin; imalat özellikleri ve kullanım alanları[6]

İmalat Özellikleri	
Suverme	Bu malzeme ısı işlemlerle ıslah edilerek (su verme+temperleme) yüksek mukavemet artırılabilir.Bu amaçla 950-1050°C sıcaklık aralığında ısıtılan malzeme, kalınlığına bağlı olarak yağ veya havda su verilerek sertleştirilir.Oluşan iç yapı ferritik-martenzitik den olduğundan temperleme yapılır.
Yumuşatma tava	730-780°C sıcaklık aralığında 2-6 saat tutularak yumuşatma tava yapılır. Havada veya fırında soğutulur.
Sıcak Şekillendirme	800-1100°C sıcaklık aralığında Şekil verildikten sonra parça kalınlığına bağlı olarak, kum içerisinde veya havada soğutulur.
Talaşlı imalat	Talaşlı imalat özelliği yumuşak yapısal çeliklere benzerdir. İyi kalite yüksek hız çeliği veya karbür takımlar tercih edilmelidir.
Kaynaklanabilirlik	Genellikle kaynak işlemi için uygun bir malzeme değildir. 350°C sıcaklıkta ön tav işlemi yaparak TIG kaynağı uygulanabilir. Kaynak sonrasında tavlama yapmak gereklidir.
Kullanım alanları	Islah sonrasında mekanik özellikleri mükemmel olur. Düşük sıcaklıklarda kırılgandır. Bıçaklar ve tıbbi aletler, kalıp parçaları, fren diskleri, akslar, pompa parçaları, bilye kolları, sübaplar, saplamalar gibi yüksek mukavemet ve aşınmaya karşı dayanım gerektiren genel mühendislik kullanımlarında tercih edilir.

### 2.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler %12–30.5 krom, %0,20'ye kadar nikel ve çok düşük miktarda Al, Nb, Ti ve Mo gibi ferrit dengeleyici elementler içermektedirler. Bu tip paslanmaz çelikler her sıcaklıkta ferritik yapıda olduklarından ve östenit oluşturmaz olup, ısıtma işlemiyle sertleştirilemezler [14]. Bu çelikler klorlu ortamlarda çukurcuk ve aralık korozyonuna iyi direnç gösterirler ve mükemmel gerilmeli korozyon çatlama direncine sahiptirler [15].

Bu çeliklerin en önemli özelliği; kaynak esnasında ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda önemli derecede düşüşe neden olan tane büyümesidir. Bu tür paslanmaz çeliklerin sahip olduğu başlıca özellikler aşağıda sıralanmaktadır:

- 1- Korozyon dayanımı orta ile iyi derece arasında olup, malzeme içerisinde krom miktarının artması ile iyileşmektedir,
- 2- Isıl işlemle dayanım artırılabilir,
- 3- Manyetikler,
- 4- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür,
- 5- Şekillendirme kabiliyeti östenitik paslanmaz çeliklere göre daha azdır.

Tablo 2.5'de değişik ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal alaşım pozisyonları ile kullanım alanları ile ilgili bilgiler verilmektedir. Bu malzemeler korozyon ve ısıya karşı dayanıklıdır. Bu yönüyle tasarım mühendisliği açısından önemlidir. Çünkü, nikel içeren malzemeler gibi korozyon direnci sağlarlar. Ancak nikel'e fazla ihtiyaç duyulmadığı için maliyeti düşüktür. Bu malzemelerin sünekliklerinin azlığı ve çentik hassasiyeti ve kaynak kabiliyetinin düşük olması nedeniyle östenitik paslanmaz çeliklerle kıyaslandığında daha az kullanılmaktadır.

Tablo 2.5. Çeşitli ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları [14]

AISI Tip	Cr %	C (mak.) %	Mo %	Al %	Diğerleri %	Tipik uygulamalar
405	13	0.08		0.2		Havada sertleşen 410 ve 403 gibi tiplerin istenmediği montajlar için sertleştirilemez. Tavlama ve sertleştirme kutuları, oksidasyon dirençli bölmelerde kullanılır.
409	11	0.08			Ti 6xC	Genel amaçlı yapım paslanmaz çelikleri: otomobil egzost sistemleri, tarımsal püskürtme için tanklarda kullanılır.
434	17	0.12	1			Kış yol şartlarının ve toz yayma bileşiklerinin varlığında atmosferik korozyon direnç için tasarlanmış 430 tipinin modifikasyonudur.
436	17	0.12	1		Nb 5xC	430 ve 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

Bu çelikler 900°C sıcaklık üzerinde ısı işleme tabi kaldıklarında östenit oluşmakta ve sonrasında hızlı soğuma sonucu östenitik martenzit'e dönüşmektedir. Ferritik paslanmaz çelikler martenzit'e dönüşümle çok fazla sertleşmekte ancak kırılabilirliğe ve düşük sünekliğe neden olmaktadır. Bu tip çeliklerde aşağıda belirtildiği gibi üç farklı gevreklik gözlenmektedir:

- 1- 475°C sıcaklık gevrekliği
- 2-  $\sigma$ -fazı gevrekliği
- 3- Yüksek sıcaklık gevrekliği

475°C sıcaklık gevrekliği ferritik paslanmaz elik için 540°C arasında uzun zaman ısıtıldığında meydana gelmektedir.  $\sigma$ -fazı kırılmalığı yaklaşık olarak % 15-70 Cr içeren Fe-Cr alaşımları 500 – 800°C sıcaklığı arasında uzun zaman ısıtılma maruz kaldığında  $\sigma$ -fazı çökelmektedir. Fe-Cr alaşımında 550°C sıcaklığında 131 gün ısıtılma maruz kaldığında da  $\sigma$ -fazı çökelmektedir. Yüksek sıcaklık kırılmalığı ise; belirli bir düzeyde C ve N içeren ferritik paslanmaz elikler 950°C üzerinde ısıtılıp soğutulduğunda şiddetli kırılmalığık ve korozyon direncinde düşme görülür. Yüksek sıcaklık kırılmalığı nedeni Cr'ca zengin karbür ve nitrürlerin tane sınırlarında ve/veya distorsiyon çökelmesinden kaynaklandığı sanılmaktadır [14].

Ferritik paslanmaz çeliklere molibden ilavesi korozyona karşı direnci artırmak, Nb ve Ti ise, çelikte ergimiş bulunan C ve N' nin oranlarını düşürerek taneler arası korozyona karşı çeliği kararlı yapmak için ilave edilirler. Bu ilave süneklik ve darbe direncini artırır. Bu durum bu çeliklere kimya endüstrisinde kullanılan tankların imalinde birçok avantaj sağlar. Ferritik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında pek çok yöntemle şekillendirilebilirler. Ancak stenitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha zor şekillenirler. Düşük deformasyon sertleşme hızları bunların kolayca deforme edilmelerini sağlar. Soğuk dövme, soğuk şekillendirme yapılabilir [16].

Tablo 2.6'de en yaygın kullanılan AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin özellikleri ile Tablo 2.7'de imalat özellikleri ve kullanım alanlarıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.6. AISI 430 paslanmaz çeliğin; standart numaraları, fiziksel, mekaniksel özellikleri ve korozyon dayanımı [6]

ASTM	EN	UNS
430	1.4016	S43000

Fiziksel Özellikler	
Elastik modülü (GPa)	220
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	7,7
Isıl genişleme katsayısı (1/K)	10
Elektrik direnci ( Ωmm <sup>2</sup> /m)	0,60
Özgül ısı ( J/kg.K)	460
Isıl iletkenliği (W/m.K)	25
Manyetiklik	Var

Mekanik Özellikler				
	%0,2 Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (Brinell)
Tavlanmış durumda	En az 210	430-600	20	150-190
Yüksek sıcaklık özellikleri				
Sıcaklık (°C)	100	200	300	400
Elastik modülü (GPa)	216	212	206	197
%0,2 Akma dayanımı (MPa)	220	210	200	190
Isıl genişleme katsayısı (1/K)	10	10	10,5	10,5

Korozyon dayanımı	Doğru ısıtım işlemi yapılmış durumda atmosferik korozyona dayanımı iyidir. Klorür içermeyen sulu ortamlarda, zayıf organik asitli ortamlarda, deterjanda ve alkali çözeltilerde korozyon dayanımı iyidir. Diğer mineral asitlere ve klorürlere korozyon dayanımı yeterli değildir. Sıcak işlemlerden sonra (kaynak gibi) taneler arası korozyona dayanımını tekrar kazanması için tavlama gerekir.
-------------------	--

Tablo 2.7. AISI 430 paslanmaz çeliğin; imalat özellikleri ve kullanım alanları [6]

İmalat Özellikleri	
Sıcak Şekillendirme	750-1050°C sıcaklık aralığında yapılarak havada soğutulur. İşlem sonrası yüzeyde oluşan renk değişimleri ve tufal oluşumları kimyasal veya mekanik olarak giderilmez ise korozyon dayanımı olumsuz etkilenir.
Soğuk Şekillendirme	Malzemenin kalınlığına bağlıdır. Ferritik çelikler düşük sıcaklıklarda gevrek olduklarından 3 mm kalınlıktaki saclar en az oda sıcaklığında Şekillendirilebilirler. Daha kalın saclarda 100-300°C sıcaklığa ısıtmak gerekebilir.
Talaşlı imalat	Yumuşak ferritik iç yapı nedeni ile sıvama eğilimi vardır. Talaşlı işlenebilme özelliği dayanımı yaklaşık 500 MPa olan alaşımsız çeliğin işlenmesindeki koşullara benzer.
Kaynaklanabilirlik	Kaynak kabiliyeti orta düzeydedir ve kaynak sonrası tavlama önerilir. Gaz eritme kaynağı hariç bütün yöntemler uygulanabilir. 3 mm'den kalın saclarda 100-200°C arasında ön ısıtma önerilir. Taneler arası korozyona dayanımı tekrar kazanması için kaynak sonrasında tavlama gerekir.
Kullanım alanları	Temel ferritik kalite paslanmaz çeliktir. Düşük ısıl genleşme, iyi Şekillendirilebilme ve oksidasyona dayanım karakteristik özellikleridir. Genel amaçlar için kullanılan bir paslanmaz çelik kalitesidir. Otomotiv sanayinde karoser parçaları, tampon vs. üretiminde kullanılır. Tüm mutfak ekipmanı ve çatal-kaşık üretiminde tercih edilir. Ayrıca gıda, kimya sanayi ile iç mimaride uygulama alanı bulur.



## 2.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks östenitik-ferritik paslanmaz çelikler östenitik ve ferritik fazların korozyon direnci ve mekanik özelliklerini birleştirme amacı ile geliştirilmiştir; östenit tokluk ve genel korozyon direnci sağlarken ferrit, dayanım ve gerilmeli korozyona direnç sağlar [17].

Ferritik-östenitik dupleks paslanmaz çelikler yaygın östenitik türlere çekici bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Dupleks paslanmaz çelikler klorlu gerilmeli korozyon çatlama direncinin yanında yüksek dayanıma sahip olup, bazı ortamlarda 300 serisi paslanmaz çelik türlerinden daha iyi çukurcuk ve aralık korozyon direncine sahiptir [18].

Dupleks paslanmaz çelikler yüksek oranda krom (%18-28) ve orta miktarda nikel (%4.5-8) içermektedir. Nikel miktarı en çok %8 olup, bütün iç yapının östenitik olması için yetersizdir. Çift fazlı mikroyapı çeliğin 1000–1050°C sıcaklıkta tavlanması ve ardından hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir.

Dupleks çeliklerin büyük çoğunluğu %2.5-4 oranlarda molibden içermektedir. Bu tür çelikler hem iyi mukavemet hem de iyi süneklik özelliklerine sahiptir. Ayrıca korozif yapıcı ortamlarda bile çok uygun yorulma dayanımları elde edilmektedir. Tavsiyelere dikkat edildiğinde kaynaklı birleştirmeleri kolay olup, genellikle kimyasal işlemlerde kullanılan aparatların imalatında, arıtma tesislerinde ve deniz veya off-shore teknolojisinde kullanılmaktadır. Bu tür çeliklerin başlıca özellikleri aşağıda sıralanmaktadır:

- 1- Gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıklılığa sahiptir,
- 2- Klor iyonunun bulunmadığı ortamlarda daha yüksek korozif dayanım göstermektedir,
- 3- Östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklere göre daha yüksek mekaniksel dayanıma sahiptir,

4- İyi kaynak ve şekillendirme kabiliyetine sahiptir.

Tablo 2.8’de bazı dubleks paslanmaz çeliklerin bileşimleri verilmiştir. Korozyona karşı direncini malzeme bileşimindeki krom tarafından sağlamakta olup, nikel ise tokluk ve malzemenin şekillendirilebilme özelliğini artırmaktadır. Bu tür paslanmaz çeliklerde çukurcuk korozyonu direncini arttırılması amacıyla molibden içermektedir. Taneler arası korozyonun azaltılması için dubleks paslanmaz çeliklerin  $\alpha$ - $\beta$  yüzeylerinin krom karbür çökmesi azaltılması düşük karbon ( $\%<0,03$ ) içeriğine sahip olması gerekmektedir.

Dubleks paslanmaz çeliklerde 1000-1150°C sıcaklığında tavlandığında sadece  $\alpha$  ve  $\beta$  fazları bulunur. Fazların oluşumunun önlenmesi için hızlı soğutulması gerekmektedir [14].

Tablo 2.8. Bazı dubleks paslanmaz çeliklerin bileşimleri [14]

Alaşım	Kimyasal Kompozisyon %wt							
	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	Diğerleri
329	Geri kalan	26.0	5.0	1.5			0.08	
Ferralium	Geri kalan	25.5	5.5	3.0	=2.0	=2.0	=0.08	N:0.1; Cu:1.75
7Mo <sup>b</sup>	Geri kalan	25.5	3.7	0.5	=1.0	=0.75	=0.08	
U50 <sup>c</sup>	Geri kalan	21.0	7.0	2.5	=2.0	=1.0	=0.03	N:0.2; Cu:0.5
AF22 <sup>d</sup>	Geri kalan	22.5	5.5	3.0	=2.0	=1.0	=0.03	
25Cr-5Ni- 2Mo-N <sup>e</sup>	Geri kalan	25.0	5.0	2.0	0.5	0.5	0.025	N:0.15; Cu:1.0
3RE 60 <sup>f</sup>	Geri kalan	18.5	4.7	2.7	1.5	1.7	=0.03	

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

<sup>a</sup> Cabot şirketinin ticari ismi

<sup>b</sup> Carpenter teknoloji şirketinin ticari ismi

<sup>c</sup> Creusot-Loire’nin ticari ismi

<sup>d</sup> Mannesmann AG’nin ticari ismi

<sup>e</sup> Nippon Metal Endüstri’nin ticari ismi

<sup>f</sup> Sandvik AB’nin ticari ismi

Tablo 2.3’de en yaygın kullanılan AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin özellikleri ile Tablo 2.4’de imalat özellikleri ve kullanım alanlarıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.9. AISI 2205 paslanmaz çeliğin; standart numaraları, fiziksel, mekaniksel özellikleri ve korozyon dayanımı [6]

ASTM	EN	UNS
2205	1.4462	S31803/S32205

Fiziksel Özellikler	
Elastik modülü (GPa)	200
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	7,8
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	16,5
Elektrik direnci ( Ωmm <sup>2</sup> /m)	0,80
Özgül ısı ( J/kg.K)	450
Isıl iletkenliği (W/m.K)	15
Manyetiklik	Var

Mekanik Özellikler				
	%0,2 Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (Brinell)
Tavlanmış durumda	En az 460	640-900	25	200-280
Yüksek sıcaklık özellikleri				
Sıcaklık (°C)	100	200	300	400
Elastik modülü (Gpa)	194	186	180	172
%0,2 Akma dayanımı (MPa)	360	315	290	
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	12	12,5	13	

Korozyon dayanımı	Korozyonun türlerine karşı dayanımı yüksektir. Ayrıca, gerilmeli çatlama korozyonuna karşı dayanımı östenitik paslanmaz çeliklerden daha iyidir. Tokluk ve sünekliği ise ferritlere göre daha iyidir. Bileşimde azot bulunması kaynaklı durumda dahi korozyon dayanımının iyi olmasını sağlar.
-------------------	--

Tablo 2.10. AISI 2205 paslanmaz çeliğinin imalat özellikleri ve kullanım alanları [6]

İmalat Özellikleri	
Soğuk Şekillendirme	Mukavemeti yüksek olduğundan östenitliklere göre daha güç Şekil verilebilir. Keskin kenarların haddeleme doğrultusuna paralel olmasına dikkat etmek gerekir. Östenitik paslanmaz çeliklerden pekleşmesi daha düşüktür. Ancak dayanımı yüksek olduğundan Şekillendirme için gerekli kuvvetler yüksektir.
Sıcak Şekillendirme	900-1150°C sıcaklık arasında sıcak Şekillendirilebilir. Soğutma işlemi havada yapılır. Değişik metaller arası bileşiklerin çökmesi sonucu gevrekleşme olabilir. İşlem sonrası yüzeyde oluşan renk değişimleri veya tufal oluşumları kimyasal veya mekanik olarak giderilmez ise korozyon dayanımı olumsuz etkilenir.
Talaşlı imalat	Talaşlı işleme kabiliyeti östenitik paslanmaz çeliklere benzer. İyi kalite yüksek hız çeliği veya karbür takımlar tercih edilmelidir.
Kaynak kabiliyeti	Çok iyidir. Gaz eritme kaynağı hariç bütün yöntemler uygulanabilir. Kaynak sonrasında tavlama gerekli değildir. Ancak ısıdan etkilenen bölgede dubleks yapıyı tam olarak elde etmek güçtür ve bu nedenle tokluk düşer.
Kullanım alanları	Mekanik özellikleri, korozyon dayanımı çok iyi olduğundan, birçok alanda kullanılabilir. Kimya, petrokimya sanayi off-shore uygulamalarında tercih edilir. Uygulama olarak asidik gazların nakledildiği boru hatları ve kuvvet taşıyan konstrüksiyonlar gösterilebilir. Bu malzemeler -10 ile +280°C sıcaklıkları arasında basınçlı kaplarda kullanılabilir.

Bir binanın ana destek yapısı için döküm dubleks paslanmaz çelikler nadir olarak kullanılmaktadır. Bu çelik AISI 316 tipi paslanmaz çelikten daha güçlü olması nedeni ile tercih edilmekte olup korozyon direnci ile kaynaklanabilirliği AISI 316 tipi paslanmaz çeliğe denktir. Dubleks paslanmaz çelikler korozyon direnci ve dayanımının çok iyi bir kombinasyonu olarak deniz suyu, tuzlu su ve seyreltik asitli ortamlar için valf endüstrisinde ve pompalarda kullanılmaktadır [19]. Dubleks paslanmaz çelikler korozyon direnci ve mekanik özelliklerinin çekici birleşimleri nedeni ile yıllardır yağ ve gaz endüstrisinde kullanılmakta olup deniz altından geçen boru hatlarında kullanılmaktadır [20].

## 2.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliğin bileşiminde yeterince nikel bulunduğunda, malzemenin içyapısı oda sıcaklığında dahi östenitik olmaktadır. Östenitik paslanmaz çelikler % 16-25 Cr, %10-24 Ni+Mn, %0,4'e kadar C ve düşük miktarda Mo, Ti, Nb, ve Ta gibi diğer alaşım elementleri içermektedir. Cr ve Ni + Mn oranları arasındaki denge % 90-100 östenit den oluşan bir mikroyapının elde edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarmakta olup, 540°C'a kadarki sıcaklıklarda oksidasyon karşı dayanım gösterirler. Tablo 2.11'de çeşitli östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 2.11. Çeşitli östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları [14]

AISI Tip	Cr %	Ni %	C (mak.) %	Mn %	Diğerleri %	Tipik uygulamalar
301	17	7	0.15			Yüksek pekleşme hızı, yüksek dayanım, yüksek sünekliliğin gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Tren yolu arabaları, treyler gövdeleri uçak parçaları, sıkma bilezikleri otomobil tekerlek kapakları, süslemeler
302	18	9	0.15			Genel amaçlı östenitik paslanmaz çelik, süsleme, yiyecek taşıma ekipmanları, uçak kaportaları, antenler, yaylar, ev aletleri, petrol rafine ekipmanları
304	19	9	0.08			Kaynak sırasında karbür çökmesi sınırlamak için tip 302'nin düşük modifikasyonu. Kimyasal ve yiyecek işleme ekipmanları, soğuk kaplar, oluklar, 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 ve lapa domates 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	0.08	2.5			304'den daha yüksek korozyon direnci, yüksek sürünme dayanımı, kimyasal ve küspe taşıma ekipmanları, fotoğraf makineleri, maya tüpleri.
316L	12	0.03	2.5			316'nın daha fazla karbon modifikasyonu taneler arası karbür çökmesini önlemek zorunda olduğu kaynaklı yapılar, tip 316L yoğun kaynak gerektiren yerlerde kullanılır.
321	18	10.5	0.08		Ti 5XC	Çok şiddetli korozyon şartlarına maruz kaynaklı bağlantı ve 800'den 1600°F'ta hizmet için kararlaştırılmış, kaynatma kazanları, işlem ekipmanları, kabin ısıtıcılar, ateş duvarlar.
347	18	11	0.08		Nb 10XC	Yüksek sürünme dayanımıyla birlikte 321'e benzer, uçak egzost bacaları, jet motor parçaları, kimyasal maddeler için kaynaklı tanker arabaları.
201	17	4.5	0.15	6		Yüksek pekleşme hızı, 301'in düşük karbon eşdeğerliği, çatal kaşık takımları, otomobil tekerlek kapakları, süslemeler.
202	18	5	0.15	8-8.7		302'nin düşük nikel eşdeğerliği genel amaçlı mutfak ekipmanları, başlık, süt taşıma malzemeleri.

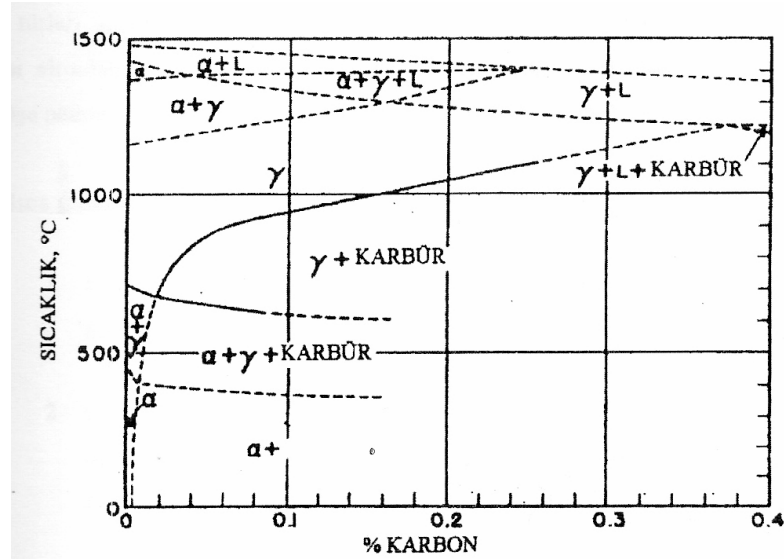
Östenitik paslanmaz çelikler biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygun bir kombinasyon sunarlar. Süneklikleri, toklukları ve biçimlendirme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Manyetik olmayan bu çeliklere, östenitik iç yapıları dönüşüm göstermediği için normalleştirme veya sertleştirme ısıl işlemleri uygulanmamaktadır. Mekanik dayanımları ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir.

Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde östenitik paslanmaz çeliklerin payı %70 olup, bu çelik türün en çok kullanılanı AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelikler olup, aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- 1- Mükemmel korozyon dayanımına sahiptirler,
- 2- Mükemmel kaynak edilebilme kabiliyetleri,
- 3- Sünek olduklarından kolay şekillendirilebilme kabiliyetleri,
- 4- Hijyeniktirler, temizliği ve bakımı kolaylığı,
- 5- Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahip olması,
- 6- Düşük sıcaklıklarda mekanik özellikleri mükemmeldir,
- 7- Tavlanmış olduklarında manyetik değildirler,
- 8- Dayanımları sadece pekleşme ile artırılabilme özelliğine sahiptir.

Östenitik paslanmaz çelikler ABD'nin çelik üretiminin % 70'i oluşturmaktadır. Bu alaşımların esas olarak yüksek korozyon dirençlerinden ve şekillendirilebilme özelliklerinden dolayı mühendislik uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. AISI 304 tipi paslanmaz çelik özellikle yüksek sıcaklıklarda ve çevre ile ilgili alanlarda önemli yere sahiptir. % 2 Mo içeren AISI 316 tipi östenitik paslanmaz çelik yüksek korozyon direncine ve iyileştirilmiş yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir. Krom seviyesi % 23–25 artırılmış AISI 309 ve AISI 310 paslanmaz çelikler yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler etkili miktarlarda

karbon içerirler. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik % 0,06 karbon içermektedir. Östenitik paslanmaz çeliklerde karbon eriyebilirliği sıcaklık düştükçe % 18–8 nikel alaşımlarında olduğu gibi hızı düştüğü için bu alaşımlar yavaş soğutulursa krom karbür çökme olmaktadır. Şekil 2.6'da Fe-Cr-Ni alaşımları faz diyagramı verilmektedir.



Şekil 2.6. Fe-Cr-C alaşımları faz diyagramı [14]

Örneğin AISI 304 tipi paslanmaz çelik 1050 °C oda sıcaklığında yavaş soğutulursa 450-850°C arasında krom karbür tane sınırları çökelecektir. Kritik sıcaklık aralığı yavaş soğuma sırasında yetersiz sayıda krom atom tane sınırlarından matristeki tane sınırlarına doğru çökmesi ile uzaklaştırılan krom atomlarının yerini alması için difüze eder. Bu nedenle tane sınırlarına yakın bölgeler korozyon direnci için gerekli olan % 12' den daha az krom içeriğine sahip olduğundan korozyon haline karşı hassas hale gelmektedir [14].



## 2.6. Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Bunların ana iç yapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Çökelme olayını gerçekleştirebilmek için bazen önce soğuk şekil vermek gerekebilir. Çökelti oluşumu için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlaşma yapılır. Bu sayede mukavemetleri 1700 MPa kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilir. Bu çelikler piyasaya çözme tavı görmüş sürülür; Malzeme bu durumda yumuşak olup, imalat işlemleri uygulanabilmekte ve daha sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırması ile sertleştirilebilmektedir. Bu tür çeliklerin sahip olduğu başlıca özellikler şunlardır:

- 1- Orta ile iyi derecede korozyon dayanımına sahiptir,
- 2- Çok yüksek mekanik dayanım göstermektedir,
- 3- Oldukça iyi kaynak kabiliyetine sahiptir,
- 4- Miknatıslanma özelliğine sahiptir.

Bu çeliklerin en önemli özelliklerinden birisi kolay üretilmeleri ve aynı zamanda yüksek dayanım süneklik ve korozyon direncine sahip olmalarıdır. Bazı çökelme sertleşme paslanmaz çelik tiplerinin kimyasal bileşimleri Tablo 2.12’de verilmektedir. Bu tip paslanmaz çelikler, çözeltiliye alma fazlaşmasından sonraki işlemler ile çeliğin yapısal değişme ve özelliklere bağlı olarak üç farklı tipte gruplanmaktadır.

Yarı östenitik çökelme paslanmaz çelikler

Östenitik çökelme paslanmaz çelikler

Martenzitik çökelme paslanmaz çelikler

Tablo 2.12. Bazı çökelme sertleşme paslanmaz çeliklerin bileşimleri [14]

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

## 2.7. Paslanmaz Çeliklerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

### 2.7.1. Fiziksel özellikler

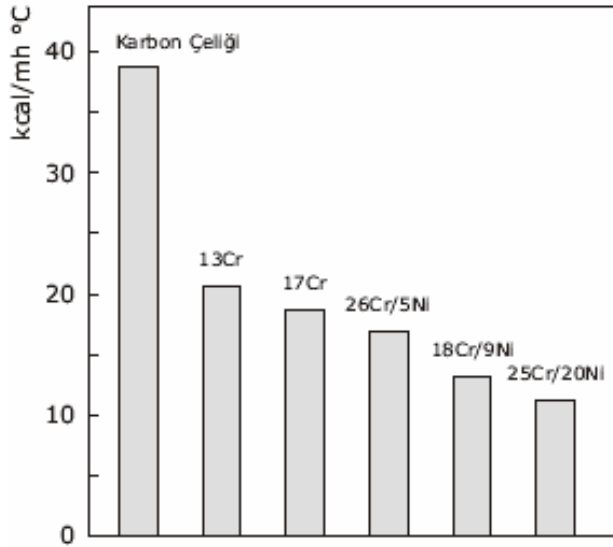
Paslanmaz çelikler türlerine göre farklı fiziksel özellikler gösterirler. Tablo 2.13’de görüldüğü gibi elastisite modülü, ısıl genişleme katsayısı, ısıl iletkenlik, özgül sıcaklık, manyetik geçirgenlik özellikleri ilgili bilgiler verilmektedir.

Tablo 2.13. Paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler [5]

Fiziksel Özellikler	Östenitik Paslanmaz Çelikler	Ferritik Paslanmaz Çelikler	Martenzitik Paslanmaz Çelikler	Çökelme ile Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler
Elastisite Modülü (GPa)	195	200	200	200
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	8.0	7.8	7.8	7.8
Isıl genişleme Katsayısı (µm/m°C)	16.6	10.4	10.3	10:8
Isıl iletkenlik (W/mk)	15.7	25.1	24.2	22.3
Özgül Sıcaklık (J/k°K)	50	460	460	460
Elektriksel Direnç (µΩcm)	74	61	61	80
Manyetik Geçirgenlik	1.02	600 – 1100	700 – 1000	95
Ergime Aralığı (°C)	1375 - 1450	1425 - 1530	1425 - 1530	1400 – 1440

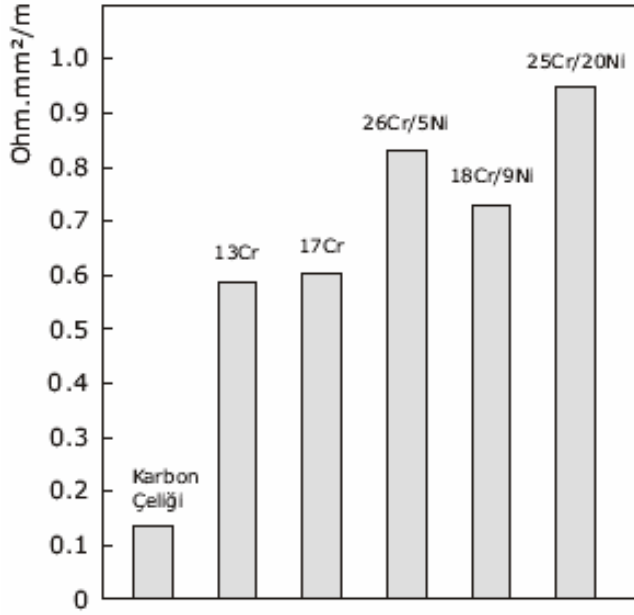
Östenitik paslanmaz çeliklerin ısı iletim kabiliyeti karbonlu çeliklerin sahip olduğu değerden 3 kat daha düşüktür. Bu durum kaynak sırasında oluşan sıcaklığın kaynak bağlantısında daha uzun süre kalacağından ve bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerde ısıl genleşme katsayısı karbonlu çeliklerle kıyaslandığında % 50 daha fazladır. Böyle bir özellik kaynaklı konstrüksiyon tasarımlarda önemli olup bazı sınırlamalar gerekmektedir [5].

Şekil 2.7’de çeşitli paslanmaz çeliklerin ısı iletim kabiliyetleri ile ilgili grafik verilmiştir.



Şekil 2.7. 20-100°C’de çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin ısı iletim kabiliyetleri [5]

Şekil 2.8’de çeşitli paslanmaz çeliklerin özgül elektrik iletme dirençleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde paslanmaz çeliklerin karbonlu çeliklerin ısı iletkenliğinde olduğu gibi elektrik iletkenliği de oldukça zayıf olduğu anlaşılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin elektrik öz direnci karbonlu çeliklerden 6 kat daha büyüktür [21].



Şekil 2.8. 20°C’da çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin özgül elektrik iletme direnci [5].

### 2.7.2. Mekanik özellikler

Östenitik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında östenitik yapıya sahip olduğundan ısı ileme çok önemli bir seviyede sertleşmezler. Buna karşılık soğuk deformasyon uğradıklarında dayanımları artırılabilir. Östenitik paslanmaz çelikler mikroyapıda ki östenit’in kararlı hale gelebilirliğine göre kararlı veya yarı kararlı östenitik çelikler olmak üzere iki grupta toplanabilir. Kararlı östenitik çelikler mikroyapıları soğuk deformasyondan sonra östenitik olarak kalmaktadır. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler ise soğuk deformasyondan sonra belirli düzeyde yapı martenzit’e dönüşerek östenit ve martenzit karışımı meydana getirmektedir [14].

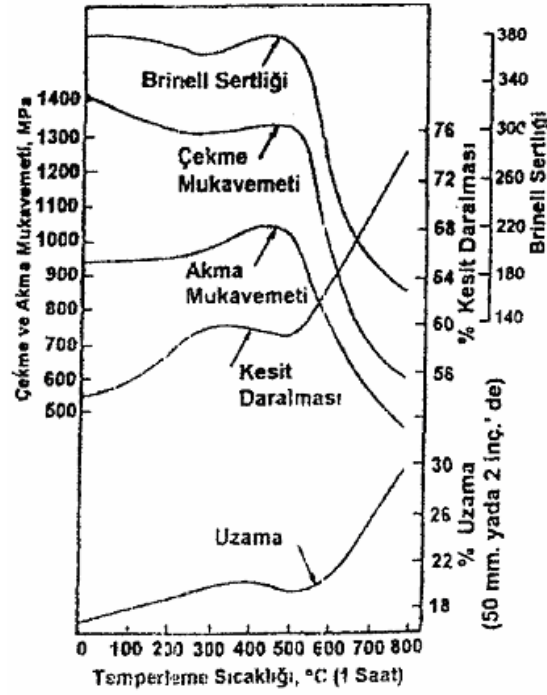
Tavlınmış şartlardaki bazı östenitik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında mekanik özellikler Tablo 2.14’de verilmiştir.

Tablo 2.14. Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri [5]

Çelik Türü (AISI)	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (daN/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı % 0.2 (daN/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Kesit Daralması	Sertlik (Rockwell)
304	Tavlı	586	241	55	65	B 80
304L	Tavlı	552	207	55	65	B 76
304N	Tavlı	586	241	30		
304LN	Tavlı	552	207			
308	Tavlı	586	241	55	65	B 80
308L	Tavlı	551	207	55	65	B 76
309	Tavlı	620	276	45	65	B 85
310	Tavlı	655	276	45	65	B 87
314	Tavlı	689	345	45	60	B 87
316	Tavlı	586	241	55	70	B 80
316L	Tavlı	538	207	55	65	B 76
316F	Tavlı	586	241	55	70	B 80
317	Tavlı	620	276	50	55	B 85
317L	Tavlı	586	241	50	55	B 80
321	Tavlı	599	241	55	65	B 80
347/348	Tavlı	634	241	50	65	B 84
329	Tavlı	724	552	25	50	B 98
330	Tavlı	550	241	30		B 80
330HC	Tavlı	586	290	45	65	

Karbon içeriğinde küçük bir değişikliğin akma davranışını üzerindeki etkisi AISI 304 ve AISI 304L alaşımlarının akma dayanımları görülebilir. Yaklaşık % 0.08 karbon içerikli AISI 304 östenitik paslanmaz çelikler 290 daN/mm<sup>2</sup> akma dayanımına sahip iken daha düşük % 0.03 karbon içeren AISI 304L tipi östenitik paslanmaz çeliğin akma dayanımı 269 daN/mm<sup>2</sup>' dir. Kararlı ve yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler arasındaki fark tavlanmış malzemelerin çekme dayanımındaki kararlılık net bir şekilde görülmektedir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerde çekme özellikleri ısı işlemlerle bir miktar kontrol edilmektedir. Bu tür alaşımlar yüksek karbon içerdiklerinden martenzit oluşturmak için havada soğutma ve sonra temperleme gerekmektedir. Şekil 2.9'da AISI 410 kalite paslanmaz çeliğin çekme özellikleri üzerine temperleme sıcaklığının üzerine etkisi verilmektedir. Bu alaşımın çekme dayanımları %12 Cr çeliklerin sertlikleriyle aynı eğilimi göstermekte yaklaşık 450°C' deki hızlı düşüşten önceki çekme dayanımı az miktarda artışın nedeni (Fe,Cr)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> çökelti ile ikinci sertleşmekten kaynaklanmaktadır [14].



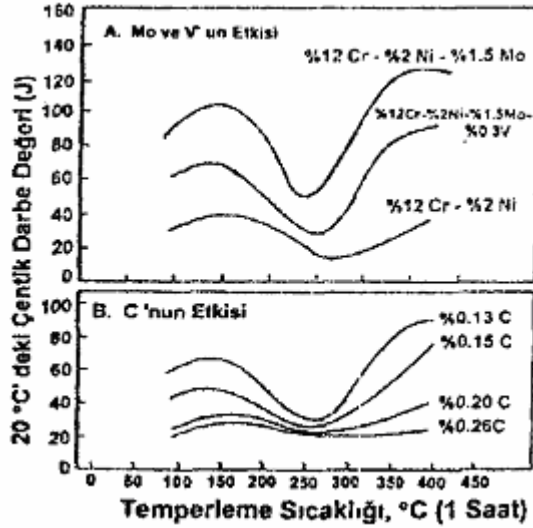
Şekil 2.9. AISI 410 kalite paslanmaz çeliğin çekme özellikleri üzerine temperleme sıcaklığının üzerine etkisi [14]

Martenzitik paslanmaz çeliklerde mukavemet değerleri, ısı işlem şartları ve mekanik özellikleri Tablo 2.15'de görülmektedir.

Tablo 2.15. Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri [5]

Çelik Türü (AISI)	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (daN/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı % 0.2 (daN/mm <sup>2</sup> )	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	Temperlenmiş (Ara Tav)	862	689	13	45	
414	Tavlı	827	655	17	55	C 22
414	Temperlenmiş (427°C)	1379	1034	16	58	C 43
420	Tavlı	655	345	25	55	B 92
420	Temperlenmiş (315°C)	1586	1344	8	25	C 50
422	Temperlenmiş (Ara Tav)	965	758	13	30	
431	Tavlı	862	655	20	60	C 24
431	Temperlenmiş (427°C)	1413	1069	15	60	C 43
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

Bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin çentik darbe özellikleri ve temperleme sıcaklığının etkisi Şekil 2.10'da gösterilmektedir. En yüksek darbe değerleri 450–550°C sıcaklık arasında gerçekleşmektedir. Esasında martenzitik paslanmaz çelikler toklukları zayıftır.



Şekil 2.10. Martenzitik paslanmaz çeliklerin çentik darbe özellikleri ve temperleme sıcaklığına etkisi [14]

Dubleks paslanmaz çeliklerin çekme dayanımı östenitik paslanmaz çeliklerle aynı olup, akma dayanımı östenitik paslanmaz çeliklere göre üç kat fazladır. Bu nedenle dubleks paslanmaz çelikler yüksek akma dayanımı ve ağırlık azalması gibi özelliklerinden dolayı tasarımlar için önemli üstünlüktür. Dubleks paslanmaz çeliklerin uzaması östenitik paslanmaz çeliklere göre oranla azdır. Bazı dubleks paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri Tablo 2.16'da verilmiştir.

Tablo 2.16. Dubleks paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri [5]

Çelik Türü (AISI)	Çekme Dayanımı (daN/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı % 0.2 (daN/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
2205	827	448	25
2304	758	414	25
255	758	552	15
2507	800	550	15



Ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ise Tablo 2.17’de verilmiştir. Bu malzemeler çözündürme ve ardından su verme ile tamamen sertleştirilmektedir. Bu nedenle tavllanmış durumda kullanılırlar. Böylece, yapı eş eksenli tanelere sahip ferritik matris içinde dağılmış olup, karbür parçacıklarından meydana gelmektedir. Ferritik paslanmaz çelikler bir miktar azot ve karbon içerdiklerinden dolayı daha çok uzama gösterirler. Tavllanmış şartlardaki bu alaşımların karbon ve azot içerikleri azaldığında darbe eğrileri artmakta, özellikle eksi sıcaklıklarda sünek-gevrek geçiş sıcaklığını düşürmek için düşük karbon düzeyi gerekmektedir [14].

Tablo 2.17. Ferritik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri [5]

Çelik türü (AISI)	Isıl İşlem Durumu	Çekme Dayanımı (daN/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı (daN/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
405	Tavlı	480	275	30	60	B 80
409	Tavlı	450	240	25		B 75 M
429	Tavlı	490	310	30	65	B 88 M
430	Tavlı	515	310	30	60	B 82
430F	Tavlı	550	380	25	60	B 86
430Ti	Tavlı	515	310	30	65	
434	Tavlı	530	365	23		B 83 M
436	Tavlı	530	365	23		B 83 M
442	Tavlı	550	310	25	50	B 85
444	Tavlı	415	275	20		B 95 M
446	Tavlı	550	345	23	50	B 86
26-1Ti	Tavlı	470	310	20		B 95 M
29-4	Tavlı	550	415	20		B 98 M
29-4-2	Tavlı	550	415	20		B 98 M
18SR	Tavlı	620	450	25		B 90

Bazı çökeltme yoluyla sertleşen paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri Tablo 2.18’de verilmiştir. Çökeltme yoluyla sertleşen paslanmaz çelikler çok yüksek akma ve çekme dayanımları sahiptir. Buna karşın uzamaları az olup sertlikleri yüksektir.

Tablo 2.18.Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri [5]

Çelik Türü (AISI)	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (daN/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı % 0.2 (daN/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Kesit Daralması	Sertlik (Rockwell)
PH13-8 Mo	H950	1517	1413	8	45	C 45
15-5 PH	H900	1310	1172	10	35	C 44
15-5 PH	H1150	931	724	16	50	C 32
17-4 PH	Çözelti Tavlama	1034	758	10	45	C 33
17-4 PH	H900	1379	1227	12	48	C 44
17-7 PH	Çözelti Tavlama	896	276	35		B 85
PH 15-7 Mo	RH950	1655	1551	6	25	C 48
17-10 P	Çözelti Tavlama	613	255	70	76	B 82
17-10 P	H1300	986	676	20	32	C 32
Custom 450	Tavlı	862	655	10	40	B 30
Custom 450	H900	1241	1172	10	40	C 40
Custom 455	H900	1620	1517	8	30	C 47
Stainless W	Çözelti Tavlama	827	517	7		C 30
Stainless W	H950	1344	1241	7	25	C 46

## **BÖLÜM 3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI**

### **3.1. Giriş**

Paslanmaz çelikler uygulamadaki tüm kaynak yöntemleri ile uygun bir şekilde birleştirilebildiği söylenebilir. Kaynak yönteminin tercih edilmesinde aşağıdaki faktörler göz önüne alınır;

- Cihazların varlığı, kurulması ve kullanılabilirliği,
- Malzemenin kalınlığı,
- Kaynağın gerçekleştirileceği ortam,
- Kaynak pozisyonu,
- Paslanmaz çelik malzemenin türü,
- Yardımcı donanım ve ekipmanların durumu ve sağlanması [22].

Paslanmaz çeliklerin birbirleri ile veya farklı malzemeler ile birleştirilmelerinde kullanılan kaynak yöntemleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Gaz ergitme kaynağı
- Örtülü elektrot ile ark kaynağı
- Eriyen elektrot ile gaz altı kaynağı (MIG)
- Erimeyen elektrot ile gaz altı kaynağı (TIG)
- Plazma arkı ile kaynak
- Tozaltı kaynağı
- Elektron ışın kaynağı
- Lazer ışın kaynağı
- Direnç nokta veya dikiş kaynağı
- Sürtünme kaynağı
- Difüzyon kaynağı

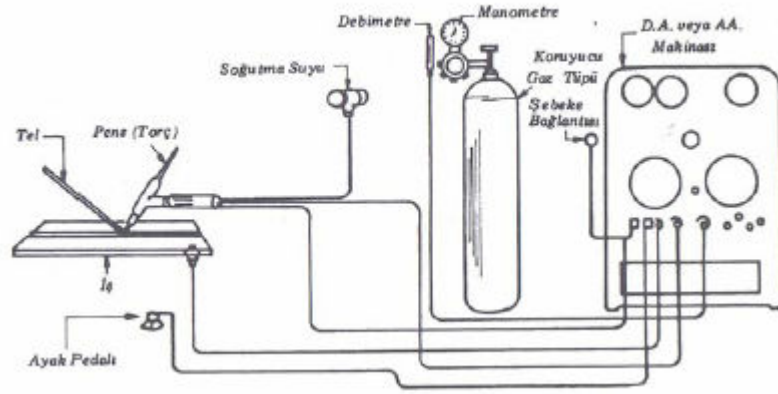
Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan yöntem olan erimeyen elektrot ile gazaltı kaynak yöntemi detaylı olmak üzere paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemlerinden bahsedilmektedir

### 3.2. TIG Kaynağı

Bu yöntemde kaynak için gerekli olan ısı enerjisi tungsten elektrot ve iş parçası tarafından sağlanmakta olup, kaynak bölgesini havanın olumsuz etkilerinden korunması için koruyucu gaz kullanılmaktadır. Bu kaynak yöntemi ABD (Amerika Birleşik Devletleri)'de "heliark" Avrupa da "argon ark"olarak isimlendirilmiştir [23].

TIG kaynak yönteminin kaynakçı tarafından kullanılması kolay olup prensip olarak gaz eritme kaynağına oldukça benzemektedir ve çok geniş uygulama alanına sahiptir. Bu yöntemde erimeyen elektrot kullanıldığından bazı durumlarda ilave kaynak metaline gerek olmadan birleştirme yapılabilmektedir. Gerektiğinde gaz kaynağında olduğu gibi ilave metal kullanılmaktadır [23]. Endüstride bu kaynak yöntemi daha çok kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylık sağladığından kullanım alanı her geçen gün yaygınlaşmaktadır.

TIG kaynak yöntemi prensip olarak her kalınlık ve her pozisyondaki parçalara uygulanabilmekte olup, daha kalın parçalar için uzun süreli işlemler gerektiğinden ekonomik olmamakta ve tercih edilmemektedir. Bundan dolayı 7 mm'den daha kalın parçaların birleştirilmesinde önerilmemekle beraber bu kaynak yöntemi ile çok kaliteli ve daha emniyetli 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. Şekil 3.1'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 olarak kaynak yapılabilir.



Şekil 3.1. TIG kaynak donanım şeması [8, 23]

Düşük kalınlıklardaki ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında TIG yöntemi uygulanmaktadır. Ferritik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı için doğru akım ve elektrotun negatif kutuplama olması tercih edilir. Koruyucu gaz olarak helyum, argon veya her ikisinin karışımı gazlar kullanılmaktadır.

İlave bir kaynak teli kullanmadan gerçekleştirilen TIG kaynak yöntemi, ince sacların tek taraftan, kalın saclarda kalın cidarlı borularda kök pasolarının gerçekleştirilmesinde uygulanan yöntemlerdir. İlave kaynak teli kullanılmayan bu yöntemlerle dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağı sakıncalıdır. Aksi takdirde, dikişte aşırı ferrit oluşumu bağlantının kalitesini bozmaktadır. Kaynak sırasında kaynak dikişinin esas metal ile karışımına dikkat edilmelidir. Esas metalin düşük nikel içeriği, kaynak metalinin ferrit/östenit dengesinde etkili olacağı ve bağlantının en hassas bölümünün kök kısmı olduğu gözden uzak tutulmamalıdır [10].

Dubleks ve süper-dubleks paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında koruyucu gaz olarak %99,996 argon, kök gazı olarak da Ar+%2-3 N<sub>2</sub> önerilir hidrojen gevrekleşmesine neden olacağından kullanılan koruyucu gazın H<sub>2</sub> içermemesine dikkat edilmelidir. Çünkü, hidrojen, hidrojen gevrekleşmesine neden olacaktır. TIG kaynağında boruları iç kısımları için kök gazı olarak %99,996 N<sub>2</sub> gazı kullanılması azotun östenit dengeleyici etkisi ve çukurcuk korozyon direncini artırması bakımından önem kazanmaktadır.

TIG kaynak yöntemi, 6 mm'ye kadar kalınlıklardaki çökeltme sertleşmeli paslanmaz

çeliklerin birleştirilmesinde çok yaygın kullanım alanı bulur. Daha kalın kesitlerin TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilebilirler. Ancak MIG kaynak yöntemi daha ekonomik ve daha hızlı bir yöntem olarak düşünülmelidir. Bu tür çeliklerin TIG kaynağı, düşey karakteristikli akım üretici ile elektrot negatif kutba bağlanarak gerçekleştirilir.

TIG kaynak yönteminin el ile uygulandığı durumlarda koruyucu gaz olarak argon tercih edilir. Helyum atmosferinde oluşan kaynak arkının daha yüksek enerjisi olması kaynak hızının artması avantajını getireceğinden otomatik TIG kaynağında helyum veya helyum-argon karışımı gazlar kullanılır [10].

TIG kaynağı östenitik paslanmaz çelik ince saclara tüm kaynak pozisyonlarında uygulanabilir ancak erime gücü dolayısıyla dolgu oranı düşük olmaktadır. Bu kaynak yönteminde koruyucu gaz debisinin yetersiz olması halinde kaynak metaline azot difüzyonu olmakta ve oluşan ferrit miktarı üzerinde etkili olmaktadır [6].

### **3.2.1. TIG kaynak elektrotları**

TIG kaynak yöntemi ile diğer kaynak yöntemleri arasında en önemli fark ilave elektrotun kullanılması ve elektrotun sadece ark oluşturma işlemi gerçekleştirilmemesidir. Bundan dolayı erime sıcaklığı 3350 °C olan Tungsten elektrot kullanılmaktadır. Bu elektrotlar yüksek ergime sıcaklığına sahip olmakla beraber çok önemli bir elektron yayıcı olup, yayınan elektronlar 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 Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Tungsten elektrotların kimyasal bileşikleri ve tanım renkleri (DIN 32528) [24]

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

Tablo 3.2’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 3.2. Tungsten elektrotların bileşim ve çaplarına göre akım yüklenebilme kapasiteleri [24]

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

### 3.2.2. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar

Koruyucu gazın görevi çevredeki atmosferin erimiş kaynak banyosuna kötü etkisini engellemektir. Esas görevi dışında koruyucu gazın kaynak işlemine ve sonuçta elde edilen kaynak dikişine aşağıda belirtilen hususlar yoluyla önemli etkileri vardır:

- a- Arkın karakteristiği,
- b- Metal transferinin şekli,
- c- Nüfuziyet ve kaynak dikişinin şekli,
- d- Kaynak hızı,
- e- Yanma oluğu oluşma eğilimi,
- f- Temizleme etkisi,
- g- Kaynak metalinin mekanik özellikleri.

Argon ve helyum soy gazlar olup, bu gazlar ve bunların karışımları paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Argon ve helyum gazları aşağıda belirtilen hususlarda önemli farklılıklar gösterirler.

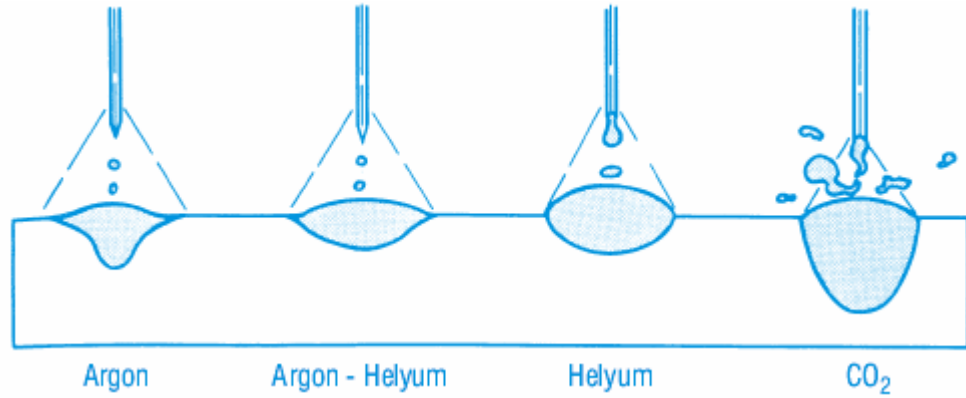
- Yoğunluk
- Isıl iletkenlik
- Ark karakteristiği

Argonun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 1,4 katı iken helyumun yoğunluğu 0,14 katıdır. Koruyucu gaz ne kadar ağır ise verilen bir debide arkı koruma ve kaynak alanının örtme o kadar etkilidir bu nedenle helyumla koruma yapıldığında aynı etkili korumayı sağlamak için argonla korumada kullanılan debinin iki veya üç katı yüksekliğinde debi gerekmektedir [25].

Şekil 3.2’de çeşitli koruyucu gazların kaynak dikiş şekline ve nüfuziyetine olan etkisi verilmektedir. Helyum argondan daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir ve aynı zamanda içinde ark enerjisinin daha üniform şekilde dağıldığı bir ark plazması oluşturur. Argonun oluşturduğu ark plazmasında iç bölgede çok yüksek bir enerji mevcuttur. Bu fark kaynak dikiş profilini önemli ölçüde etkiler helyum arkı derin, geniş parabolik kaynak dikiş oluşturur.



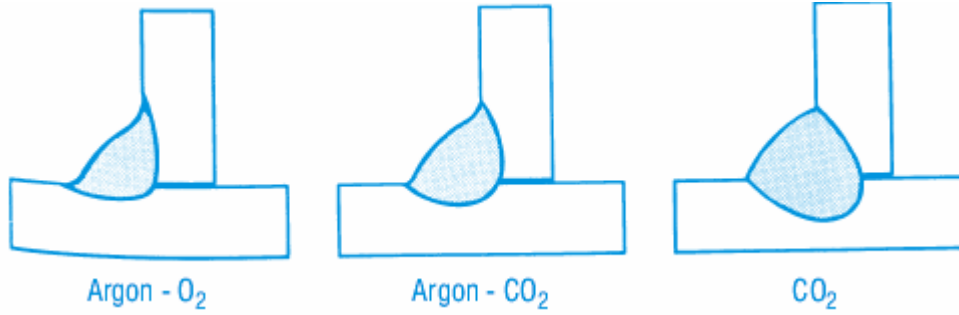
Argon arkı ise şişe emziğine benzer bir nüfuziyet oluşturur [25].



Şekil 3.2. Çeşitli koruyucu gazların kaynak dikişinin şekline ve nüfuziyetine etkisi [25]

Paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek ısı girdisi elde edebilmek için argon gazına CO<sub>2</sub> ilavesi yerine helyum ilavesi yapılır. Bunun nedeni helyumun, dikişin mekanik özelliklerini ters yönde etkileyen kaynak metali reaksiyonları oluşturmamasıdır.

Saf argon ve belli dereceye kadar helyum demir dışı malzemelerin kaynağında mükemmel sonuçlar sağlar. Ancak bu koruyucu gazlar saf halde demir esaslı malzemelerin kaynağında başarılı çalışma özellikleri sağlamaz. Ark kararsız olma eğilimi gösterir. Helyumla korumada buna ilave olarak sıçrama meydana gelir. Saf argonla korumada “yanma oluşu” oluşma olasılığı büyük ölçüde artar. Şekil 3.3’de argon gazına oksijen ve karbondioksit gazının köşe birleştirmelerde kaynak dikiş şekline ve nüfuziyetine etkisi verilmektedir. Argon % 1-5 O<sub>2</sub> veya %3-10 CO<sub>2</sub> ( ve %25’e kadar CO<sub>2</sub> ) ilavesi önemli ölçüde iyileşme sağlar. Saf gaza katılacak en uygun O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> miktarı kaynak edilecek parçanın yüzey durumu, bağlantı geometrisi, kaynak metali ve esas metalin bileşimine bağlıdır. Genellikle %3 oksijen veya % 9 CO<sub>2</sub> bu değişkenlerin büyük bir aralıkta etkileri göz önünde bulunduran oranlardır. Argona CO<sub>2</sub> ilavesi aynı zamanda dikiş profilinin şeklini de iyileştirir [25]. İçersinde helyum oranı fazla olan koruyucu gazlar kısa devreli metal transferi ve yüksek voltaj artışı sağlandığından daha iyi ısıtma oluşur kaynak esnasında kaynak metali içerisinde oluşabilecek hataları azaltır [8, 26].



Şekil 3.3. Ar- O<sub>2</sub>, Ar- CO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> gazlarının dikiş şekline ve nüfuziyete etkisi [25]

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında en çok tercih edilen gaz argondur [5, 10]. Ayrıca hidrojen eklenmesiyle kaynak hızı ve nüfuziyeti artar [23]. Daha temiz ve kaliteli dikişler elde edilir. Hidrojen gazı ile argon gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklı olup her iki gazın bileşimi sonucu kaynak işlemlerini ve kaynak metaline ait özellikleri korumaktadır [27].

Helyum atmosferi ısıyı daha iyi iletmediğinden koruyucu gaz olarak kullanıldığında daha derin nüfuziyetli kaynak dikişi elde edilmektedir. Bundan dolayı bu kaynak atmosferi çoğunlukla kalın kesitli parçaların kaynağında kullanılmaktadır.

Argona hidrojen ilavesi ile ark'ta voltaj değişmesi sonucu ark gücü artar hidrojen yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğundan daha dar ve derin nüfuziyet meydana getirir. Hidrojenin kaynağın son katmanın yüzeyinden oksit oluşumunu engelliyerek kaynak dikiş yüzeyinin görüntüsünde güzelleştirme sağlar [27].

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında argona hidrojen eklenmesi sonucu östenitik paslanmaz çelikte görülen faydalar sağlanabilir. Daha akıcı kaynak banyosu ve daha temiz kaynak dikişi elde edilir. % 5'e kadar hidrojen ilavesi tam ferritik paslanmaz çelikler için önerilebilir. Martenzitik paslanmaz çelikler kaynağında gazda hidrojen bulunması halinde hidrojen çatlak oluşması tehlikesi vardır. Dupleks paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan hidrojen gazı karışımı kaynağın verimini arttırmakla beraber hidrojen çatlak oluşturmasına neden olmaktadır. Argona % 2-4 azot karışım gazı kullanıldığında kaynak metalinin azot içeriğini arttırmamaktadır. Ancak saf argona göre çıkacak korozyon direncini arttırmaktadır [8, 28].

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların kaynak fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir. Bu gazların ısı iletkenlikleri Şekil 3.4’de görülmektedir. Kaynak arkında yaygın olarak oluşan sıcaklık aralığı 3000 – 4500°C sıcaklıkta değişmektedir. Hidrojen gazının iletkenliği argon gazına göre 10 kat daha yüksektir [29]. Arkın ısı iletkenliği arkın şekli ve kaynak işleminin şekli bakımından önemlidir.

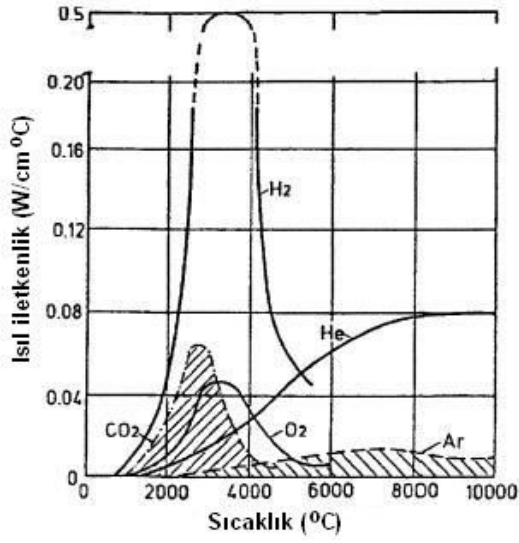
Tablo 3.3. Gazaltı kaynaklarında kullanılan gazların kimyasal ve fiziksel özellikleri [11]

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 <sup>3</sup> )	15 ° C ve 1 bar’da havaya (-1) göre bağıl yoğunluk	Ayrılma ve iyonizasyon enerjisi (eV) <sup>c</sup>	Kimyasal davranış
Hidrojen (H <sub>2</sub> )	0.5×10 <sup>-6a</sup>	-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 <sup>-6a</sup>	-268.9	4.002	0.167	0.14	- 24.56 54.10	İnert
Azot (N <sub>2</sub> )	78.084	-195.8	28.013	1.170	0.91	9.76 14.55 29.60	Reaktif
Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )	0.033 <sup>a</sup>	-78.5 <sup>b</sup>	44.011	1.849	1.44		Oksitleyici
Oksijen (O <sub>2</sub> )	20.946	-183.0	31.998	1.337	1.04	5.08 13.62 35.20	Oksitleyici

<sup>a</sup> Atmosferden elde edilmemiştir.

<sup>b</sup> Buharlaşma sıcaklığı.

<sup>c</sup> 1 eV = 1.6×10<sup>-6</sup> J; 6 ve 9 eV arasındaki değerlerde başlıca metallerin iyonizasyon enerjisi



Şekil 3.4. Gazaltı kaynak yönteminde kullanılan gazların sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenliklerinin değışimi [11]

### 3.2.3. İlave kaynak metalleri

Paslanmaz çeliklerin kaynağında MIG kaynağında olduğu gibi DIN, AWS ve TS (Türk Standartları) 11797 göre tanımlanmış olan belirli çap ve boylarda TIG kaynak ilave telleri kullanılmaktadır [29]. Tablo 3.4'de bazı TIG ilave malzemelerinin kimyasal bileşimleri verilmektedir [5, 30].

Tablo 3.4. Bazı TIG ilave metallerin kimyasal bileşenleri [30]

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

### 3.2.4. Paslanmaz eliklerin TIG kaynağında ağız hazırlığı

Östenitik paslanmaz çeliklerin ısıl genleşme katsayıları yüksek olduğundan çarpılma ihtimalinin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Kaynak ağzı şeklinin tasarımı önemlidir. Bağlantıyı oluşturacak kaynak metalini hacmi gerekli mekanik özellikleri sağlayan boyutta olmalıdır. Eğer bağlantı bölgesinin her iki tarafından kaynak yapılma ihtimali varsa çift taraflı “V” şeklinde hazırlanan kaynak ağzı kullanılabilir. Bu durum kaynak hacmini azalttığı gibi kaynak esnasında oluşan çekme gerilmelerinin de dengelenmesini sağlar. Düzgün bir şekilde alın altına getirilen kaynak ağızları yüksek kaliteye sahip kaynak dikişlerinin elde edilebilmesi ve aynı zamanda çarpılmaların daha azaltılması açısından önemlidir.

Bağlantının yeri ve kaynak sırası çarpılmanın en az olacak şekilde tasarlanması gerekli olup birleştirilecek parçaların uygun bir şekilde sabitlenmesi için tutturma aparatları kullanılabilir. Kaynak bölgesinin yakınında bakır soğutmalar kullanılacak ise yüzeyler nikel kaplı olmalıdır. Bakır ısı etkisi altında kalan bölgenin yüksek sıcaklığa ulaşan bölümünde kalması sonucu erimekte ve östenitik paslanmaz çelikler tane sınırlarına nüfuz ederek gevrek yapının oluşmasına neden olmaktadır [5].

### 3.3. Diğer Kaynak Yöntemleri

#### 3.3.1. MIG kaynağı

Örtülü elektrot kullanılarak yapılan birleştirmede bağlantı kalitesi için kaynakçının bilgi ve becerisinin çok daha iyi olması gerekmektedir. Kaynak maliyetinin düşürülmesi, imalat süresinin kısaltılması ve kaynakçı faktörünün kaynak dikişine olan etkisinin minimuma indirilmesi için günümüzde farklı kaynak yöntemleri geliştirilmektedir. Bunlardan biri MIG kaynağıdır. Alüminyum, bakır ve alaşımlarının, yüksek alaşımlı çelik kaynağında kullanılmaktadır [9, 10, 31].

Ferritik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında normal şartlarda doğru akımda elektrot pozitif kutba bağlanarak gerçekleştirilir. Bu tür paslanmaz çeliklerin kaynağında spreyc ark , Ar + %1-3 O<sub>2</sub> karışım koruyucu gazı ve kısa ark ise He + Ar+%2 CO<sub>2</sub> karışım gazı ile uygulanır. Koruyucu gaz seçimi, pratikte metal damla geçişinin yanı sıra esas metale de bağlıdır.

Kısa ark, düşük ark gerilimi ve kaynak akımı ile küçük çaplı elektrot kullanılmasını gerektirdiğinden ince kesitlerin kaynağı için çok uygundur. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında kısa arkın kullanılmasının bir üstünlüğü de ITAB'ye düşük ısı girdisi verilmesiyle tane irileşmesinin önlenmesidir. Ancak, düşük ısı girdisi yetersiz erimeye neden olabilir ve sonuç olarak kısa ark kritik olmayan durumlarda sınırlı kullanılmalıdır. Bu ark türü ile ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında östenitik ilave metali kullanılması avantajlar sağlamaktadır. Düşük ısı girdisi ile, %10 ve daha az erime oranları elde edilmektedir.

Spreyc arkı ile MIG kaynağı halinde, ferritik paslanmaz çeliklerin birleştirilmelerinde uygun östenitik ilave metali bulunmayabilir. Spreyc ark, genellikle büyük çaplı teller ve kısa arkta daha yüksek gerilim ve kaynak akımlarında kullanılmaktadır. Bu tekniğin, kısa arka nazaran daha nüfuziyetli ve yeterli erime oluşmuş güvenilir bağlantılar elde edilmesine karşın yatay ve dik pozisyonlarda kullanımlarında bazı sınırlamalar vardır. Darbeli ark ise, tüm kaynak pozisyonlarında ve büyük çaplı teller ile kullanılabilir ve kaynak banyosu daha iyi kontrol edilir. Dolgu oranının spreyc arka

nazaran daha az olmasına karşın toplam ısı girdisi daha düşük olacağından bu tür paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan tane irileşmesi en aza inmektedir [9].

Dubleks paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde ve dolgu pasolarında MIG kaynak yöntemi oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde Ar+%1-3 O<sub>2</sub>, Ar+%30 He+%1-3 O<sub>2</sub> veya Ar+%15 He+%1-3 CO<sub>2</sub> karışım gazları kullanılır. Kök gazı olarak saf Ar veya %3 N<sub>2</sub> eklenen karışım gaz önerilir. Bu yöntemde yüksek ısı girdisi ile kaynak yapılır. Pasolar arası sıcaklık maksimum 150°C ile sınırlandırılmıştır [28].

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler ile martenzitik ve östenitik paslanmaz çeliklere uygulanabilen tüm kaynak yöntemleri kullanılabilir.

6 mm'den daha kalın çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde spreyci metal geçiş tekniği kullanılır. TIG kaynağına göre dolgu oranı yüksek olduğundan daha hızlı biçimde kaynak yapılabilir. Koruyucu gaz olarak, arkın kararlılığını sağlamak için %1-2 O<sub>2</sub> içeren argon gazı kullanılır. Ancak oksidasyon sonucu arkta metal geçişi sırasında Al ve Ti kaybı oluşur. Nüfuziyetin artması istendiği durumlarda He+Ar karışım gazı önerilir. Kısa ark veya darbeli ark ile çok az oksijen veya karbondioksit katılmış Ar+He karışım gazları kullanılır [9]. Östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, yeterli koruyucu gaz atmosferi altında ek kaynak metalinin ark içindeki taşınımı sırasında alaşım elementlerinin kayıpları oldukça azdır. Titanyum gibi reaktif elementler de ark içinde çok az kayba uğrayarak kaynak banyosuna geçer. 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 [28].

Doğru akımda elektrot pozitif kutupta ve koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında arkta metal taşınımı spreyci ark ile gerçekleştirilebilir. Bunun için 26-33 volt ark gerilimi gerekmektedir. Bu değerlerin altındaki bir çalışmada arkta metal taşınımı, büyük damlalar halindedir ve bu da aşırı sıçramalara ve ark dengesizliğine neden



olmaktadır. Dengeli bir sprej ark için akım değeri 1,6 mm tel çapı için 300 Amper civarında seçilmesi gerekmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kısa ark, darbeli ark kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Bu ark türleri, düşük akım şiddetlerinde ve 18-24 Volt arasındaki ark gerilimlerinde oluşur. Bu ark türü ile 0.25 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik saçların kaynağında bile kullanılabilir. Bu tekniklerde ısı girdisi sprej ark haline karşın daha düşük olduğundan çarpılmaları en az seviyede kalmaktadır [28].

Östenitik paslanmaz çeliklerin genel olarak Ar - O<sub>2</sub> veya CO<sub>2</sub> gibi oksitleyici bileşen içeren karışım koruyucu gazlar kullanılır. Argon, 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 oluşmaktadır. Koruyucu asal gaza az bir miktar O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> katılması sonucu iş parçasında arkın bulunduğu yere çok yakın bölgelerde oksit tabakası oluşmaktadır. Buna ilave O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> erimiş metal damlacıklarının yüzey gerilimini düşürmekte ve sprej ark ile çalışılması durumunda arkın kararlılığını sağlanmaktadır. Bu karışım gazların kullanımı saf argon kullanılması ile karşılaştırıldığında esas metalin ısıtma özeliğinin de geliştiği görülmektedir[3, 6, 9].

Dolgu tellerinin kullanılması halinde karışım gazların içeriğinde %1 O<sub>2</sub> ve %2-4CO<sub>2</sub> 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 şiddetlenir. Özellikle çok yüksek nikel alaşımlı östenitik veya nikel alaşımlarında saf argon kullanılması önerilir. [9, 32]. Östenitik paslanmaz çeliklerin özlü teller ile kaynağında ise, birçok özlü tel ile %20-100 CO<sub>2</sub> içeren gazlar kullanılır. % 20'den az CO<sub>2</sub> içeren gazlar kullanılması halinde arzu edilen ark kararlılığı elde edilemez [5].

Argon göre daha yüksek ısı iletkenliğe ve daha düşük yoğunluğa sahip olan helyum MIG kaynak yönteminde kullanıldığında belirli bir kaynak akımı ve ark boyu için

daha yüksek bir ark gerilimi elde edilmektedir. Böylece sabit kaynak hızında daha fazla ısı girdisi olmaktadır. Argon + helyum karışımları daha iyi olduğundan, argon helyum eklenmesi sonucu nüfuziyet artmaktadır. Argon ark içinde metal alaşım kararlılığına etkisi olmaktadır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında ilave metal seçiminde metal alaşım türü koruyucu gaz seçimi ile alaşım elementleri dikkate alınması gerekmektedir. Tel seçiminde kaynak-metal bileşimi esas metal ile uyum göstermesine göre yapılmaktadır. Böylece kaynak metalinin içeriği  $\delta$ -ferrit miktarı önceden saptanabilmektedir [8].

### 3.3.2. Elektrik ark kaynağı

Örtülü elektrot ile ark kaynağında ark eriyen elektrot kaynak metaline karışarak birleştirmeyi sağlamaktadır. Genel olarak paslanmaz çeliklerin elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesinin tercih edilmesine aşağıdaki faktörler neden olmaktadır.

- 1- Basit bir yöntem olması,
- 2- Donanımın yatırım maliyetinin düşük olması,
- 3- Atölye ve şantiyelerde uygulanabilme kolaylığı,
- 4- Farklı uygulamalar için özel elektrot türlerin bulunması,
- 5- Her türlü pozisyonda kullanılabilmesi,
- 6- Düşük ısı girdisi (özellikle östenitik paslanmaz çelikler için) sağlanabilmesi,
- 7- Malzeme kalınlığı,
- 8- Malzemenin kimyasal bileşimi ve paslanmaz çeliğin her türünün kaynak edilebilmesi şeklinde sıralanabilir.

Örtülü paslanmaz çelik elektrotu ile malzeme kalınlığı 1.5 mm'den daha fazla olduğunda birleştirilmektedir. Erimiş akışkan bir kaynak banyosu tercih edilir. Böylece dikişin yüzeyi oldukça düzgün olduğundan kaynak sırasında temizleme işlemi kolaylaşmaktadır [31].

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 dolayı paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında tercih edilirler [5].

Bazık tip örtülü paslanmaz çelik elektrotlar sadece doğru akımla kaynak yapılabilir. Kaynak işlemi esnasında damla geçişi daha iri olduğundan kaynak edilmesi zor pozisyonlar için daha uygundur. Aynı zamanda aralık kapama özelliği daha iyi olduğundan kök dikişler için tercih edilmektedir. Her iki elektrot tipinde de mümkün olan en kısa ark ile çalışılması gerekmektedir. Yüksek alaşımlı olan elektrotun elektrik direnci yüksek olduğundan bu malzemelerde daha düşük akım şiddeti ile çalışmak gerekir. Elektrot örtüsünün nemli olması kaynak davranışını ve cüruf geçişini kötüleştirerek gözenekliliğe veya soğuk yırtılmalara neden olabilir. Bazık elektrotlar iç kısımlarda gözenek oluşumu açısından daha az duyarlıdır [31].

Ark oluşumunun kolay ve arkın kararlı olması, düzgün eritme, düşük akım şiddetlerinde kullanılabilirlik, cürufun kolay temizlenmesi, sıcak çatlamaya karşı dirençli dikişin oluşturulmasının yanında esas metal ile kaynak metali arasında kimyasal bileşim ve mekanik özellikler açısından çok farklılık göstermezler [31].

### **3.3.3. Tozaltı kaynağı**

Açık ark kaynak yöntemlerine göre ısı girdisi ve dolgu oranının oldukça yüksek olduğu tozaltı kaynak yöntemi, östenitik paslanmaz çelik kalın sacların birleştirilmesinde 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.

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 görünüşe sahip olmaktadır.

Toz altı kaynak yönteminin kullanılması halinde kaynak metalinin bileşimini ayarlamak MIG, TIG, plazma arkı ile kaynak veya elektron ışın kaynağına nazaran çok zor olmaktadır. Bu tür çeliklerin tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirmelerde

kaynak metali, Si içeriği, diğer yöntemlerde oluşandan daha yüksek olabildiğinden, sıcak çatlak veya mikro çatlakların oluşumuna eğilimlidir. Bu olay bazik tür tozların kullanımı ile önlenir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında bazı durumlarda tozdan geçen alaşım elementleri, kaynak metalinin sıcak çatlama eğilimini ve korozyon direncini olumsuz etkilediğinden tel ve tozun bileşimlerine çok dikkat edilmesi gerekmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin toz altı kaynağında hem doğru akım hem de alternatif akım kullanılabilir. Doğru akım özellikle ince sacların kaynağı için tercih edilmekte ve akım şiddetinin aynı kalınlıktaki kaynak işlemindeki sade karbonlu çelik saçlara uygulanandan %20 daha düşük ayarlanması gerekmektedir. Dolgu oranı da bu tür çeliklerin yüksek elektrik dirençlerinden dolayı diğer malzemelere oranla %20-30 daha düşük değerler elde edilmektedir [7].

#### **3.3.4. Plazma ark kaynağı**

Östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan plazma ark kaynağı hem yarı otomatik hem de otomatik olarak uygulanmaktadır. Yöntemin uygulanmasında ek kaynak teli kullanılarak uzun ve kaliteli dikişler elde edilmektedir. İlave kaynak teli kullanılmadan da ince saclar halinde ağız hazırlanmadan alın birleştirmeleri yapılabilmektedir.

Tüm kaynak parametreleri çok iyi kontrol edildiğinde bu yöntem ile 10 mm kalınlığındaki paslanmaz çelikler kolaylıkla birleştirilebilmektedir [7].

Östenitik paslanmaz çeliklerin plazma ark kaynağında plazma gazı olarak argon veya helyum kullanılabilir gibi %99.5Ar+%0.5 O<sub>2</sub>, %92,5Ar+%7.5H<sub>2</sub>, %95Ar+%5H<sub>2</sub> karışım gazları anahtar deliği tekniğinde; %75He+%25Ar karışımı da eritme tekniğinde kullanılmaktadır.

Uygulanan tekniğe bağlı olarak kullanılan koruyucu gazlar ise, %75He+%25Ar, Ar+%1-5H<sub>2</sub> anahtar deliği tekniğinde, Ar, He veya Ar+%1-5H<sub>2</sub> eritme tekniğinde kullanılmaktadır.ü

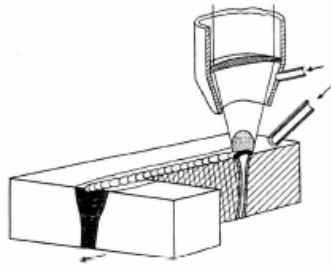
Kök gazı kullanımı genellikle istenir ve en çok kullanılan kök gazları da Ar+H<sub>2</sub> karışım gazlarından seçilmektedir [7].

### 3.3.5. Lazer ışını ile kaynak

Bilinen yöntemlere göre, lazer ışını ile kaynak yöntemi yeni ve otomasyona elverişli bir ergitme kaynağı yöntemi olarak dikkati çekmektedir. Odaklanmış ışın etkisiyle metal yerel olarak ergitilmektedir.

Elde edilen kaynak dikişleri çok dar olmakla beraber, yüksek güçlü lazerlerin kullanımı ile 15 mm'ye kadar levha kalınlıklarının kaynakla birleştirilmesi mümkün olmaktadır. Isı girdisi yerel olduğundan ısı hızla uzaklaşmaktadır. Şekil 3.5'de lazer kaynağının şematik görüntüsü verilmektedir. Bu kaynak yönteminin başlıca özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- 1- Derinlik/genişlik oranı çok büyük dar kaynak dikişleri.
- 2- Dar ITAB
- 3- Düşük ısıl çarpılma
- 4- İyi şekillendirilebilirliktir.



Şekil 3.5. Lazer Kaynağı [6]

Günümüzde endüstriyel alanlarda iki tip lazer kullanılmaktadır:

- 1- CO<sub>2</sub> lazeri 1 – 15 mm kalınlıklar için
- 2- YAG lazeri 0.2 – 4 mm kalınlıklar için

İlk tip lazerde ışın ayna yansımaları ile parça üzerine odaklanmaktadır. İkincisinde ışın bir cam elyaf yardımıyla kaynak noktasına iletiildiğinden bu ışının parça üzerine hareketi çok daha kolay olmakta ve örneğin robotlar yardımıyla 3 boyutlu bir işlem yapılabilmektedir [6].

### **3.3.6. Gaz eritme kaynağı**

Östenitik paslanmaz çeliklerin oksii-asetilen kaynağı, yavaşlığı ve kaynakçı becerisinin çok önemli ve gerekli olması nedeniyle özellikle de 3 mm' den daha düşük kalınlıklardaki ince saçların birleştirilmesinde uygulamaları bulunmaktadır. Bu kaynak yönteminde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sıralanmaktadır [6, 33].

- 1-Kullanılan bekin numarası, aynı kalınlıktaki bir yalın karbonlu çeliğın kaynağında kullanılan 1-2 numara daha küçük olmalı ve özellikle mızrak türü alev veren bekler seçilmelidir.
- 2-Nötr kaynak alevi kullanılmalıdır.
- 3-Kaynak sırasında oksidasyon önlemesi için florür bazlı dekapanlar kullanılmalıdır.
- 4- Kullanılan kaynak ilave metali ile esas metal bileşimi uyumlu olmalıdır.

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Kaynak Yöntemleri**

Yapılan deneysel çalışmalarda AISI 430 kalite ferritik, AISI 420 kalite martenzitik ve AISI 2205 kalite dubleks paslanmaz çelik türleri kullanılmıştır. AISI 430 tipi paslanmaz çelikler ferritik gurubun temel alaşımı ve sertleşemeyen türü olup dekoratif şeritler, nitrik asit tankları ve ısıtma sepetleri gibi uygulamaları mevcuttur. AISI 420 türü martenzitik paslanmaz çelikler AISI 410 tipi martenzitik paslanmaz çeliklerin daha çok karbon içeren türü olup özellikle daha yüksek sertlik ve aşınma dayanımına sahiptir. Bıçaklar, cerrahi aletler ve vanaların imalatında kullanılırlar. AISI 2205 tipi dubleks paslanmaz çelik türü bu gurubun en bilinen türüdür. Çift fazlı yapısı ile gerilmeli korozyon çatlamaına çok iyi direnç gösterirler. Petro-kimya endüstrisinde kullanılmaktadırlar. Çalışmada kullanılan ferritik paslanmaz çeliklerin kalınlığı 5,5 ve 1,2 mm, dubleks paslanmaz çeliklerin kalınlığı 10 mm ve martenzitik paslanmaz çeliklerin kalınlığı ise 2,75 mm'dir. Martenzitik ve ferritik paslanmaz çelik numuneler 90x250 mm, dubleks paslanmaz çelik numuneler ise 35x155 ebatlarında kesilmiştir. Daha sonra ferritik ve dubleks paslanmaz çeliklere V kaynak ağızı açıldıktan sonra TIG gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmişlerdir. Bunun yanında 1,2 mm kalınlığındaki ferritik paslanmaz çelik ile 2,75 mm kalınlığındaki martenzitik paslanmaz çelikler otomatik TIG kaynak makinesinde ilave telsiz olarak kaynak edilmiştir. Birleştirilen parçalardan çekme, eğme, çentik darbe, sertlik deneyleri ile, mikroyapı incelemelerinde kullanılan deney numuneleri çıkarılmıştır. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de kullanılan AISI 420 martenzitik, AISI 430 ferritik, AISI 2205 dubleks tipi paslanmaz çeliklerin ve ilave metallerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Ana malzeme kimyasal analiz değerleri [35]

Malzeme	Kimyasal Analiz Değerleri							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo, N
AISI 420	0,020-0,28	1,00	1,00	12,0-14,0	-	0,040	0,030	0,50 Mo
AISI 430	0,08	1,00	1,00	16,00-18,00	0,50	0,040	0,030	-
AISI 2205	0,030	2,00	1,00	22,00	5,50	0,030	0,020	3,00 Mo, 0,14 N

Tablo 4.2. Kaynak metali kimyasal analiz değeri [36]

İlave metal türü (AISI)	Kimyasal Analiz Değerleri								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo	Nb-N
ER 316L	0,030	1,80	0,45	18,50	12,50	0,030	0,025	3,00	-
E 430LNb	0,030	0,040	0,040	18,00	0,50	0,020	0,015	0,50	0,50
ER 2209	0,04	2,50	1,20	22,00-23,50	8,00-10,50	-	-	3,00-3,70	0,13-0,17N

TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğın kaynağında 1,2 mm çapındaki ER 430LNb ilave metal kullanılmıştır. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğın kaynağında, 1,6 mm çapında ER 316L ilave metal kullanıldı. AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğın kaynağında ise, 1,2 mm çapında ER 2209 ilave kaynak metali kullanılmıştır. Bu üç paslanmaz çeliğın kaynağında kullanılan koruyucu gazlar ve kaynak parametreleri Tablo 4.3’de verilmiştir.



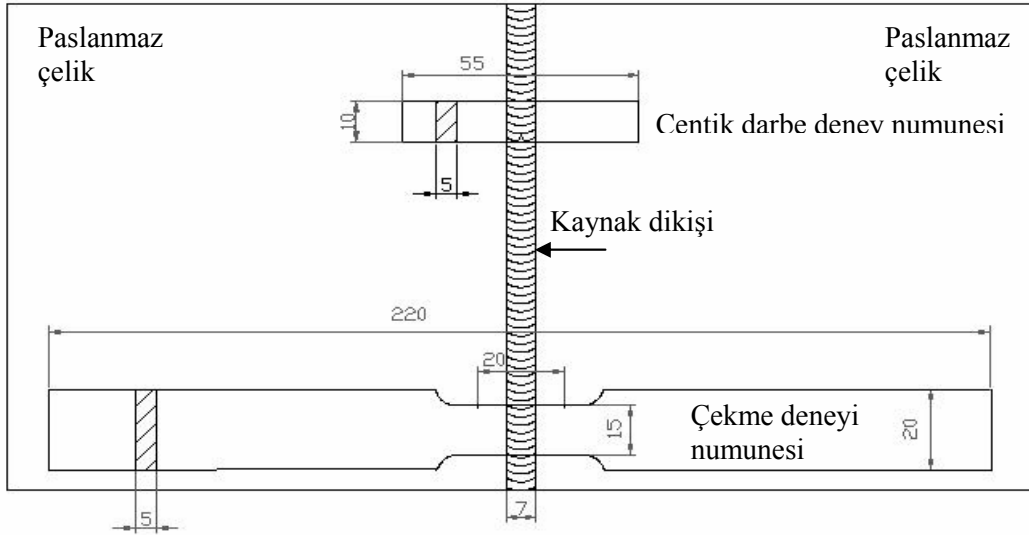
Tablo 4.3. Deneç parçalarına uygulanan kaynak yöntemleri, şartlar ve parametreler

Malzeme cinsi	Kaynak yöntemi	İlave metal cinsi	İlave metal çapı (mm)	Akım değeri (Amper)	Kaynak ağzı	Paso sayısı	Ön tav Sıcaklığı (°C)	Koruyucu gaz	Kaynak hızı (mms <sup>-1</sup> )	Gaz debisi lt/dk	
AISI 430	TIG	ER 430 LNb	1,2	135	V	3	200	Ar	2,3 1,6 1,56	9	
	TIG	ER 430 LNb	1,2	125	V	3	200	Ar + %5N <sub>2</sub>	2 2 1,9	15	
	TIG	ER 430 LNb	1,2	125	V	3	200	Ar + %25He	1,1 1,6 1,4	11	
	TIG	ER 430 LNb	1,2	120	V	3	200	Ar + %5H <sub>2</sub>	1,6 2,3 1,8	11	
	Otomatik TIG kaynak makinesinde telsiz olarak kaynak edilmiştir.				110-55	-	1	-	Ar + %25He	20	7
	Otomatik TIG kaynak makinesinde telsiz olarak kaynak edilmiştir.				100/50	-	1	-	Ar + %5N <sub>2</sub>	20	11
AISI 420	TIG	ER 316L	1,6	100	-	2	200	Ar	2,3 2,3	9	
	TIG	ER 316L	1,6	90	-	2	200	Ar + %5N <sub>2</sub>	2,3 2,3	12	
	TIG	ER 316L	1,6	90	-	2	200	Ar + %25He	2,5 2,45	11	
	Otomatik TIG kaynak makinesinde telsiz olarak kaynak edilmiştir.				200-100	-	1	400	Ar + %25He	18	7
	Otomatik TIG kaynak makinesinde telsiz olarak kaynak edilmiştir.				200-100	-	1	400	Ar + %5N <sub>2</sub>	18	11
AISI 2205	TIG	ER 2209	1,2	122	V	6	-	Ar	1,4 1,55 1,4 1 1,9 1,3	9	
	TIG	ER 2209	1,2	122	V	6	-	Ar + %5 N <sub>2</sub>	1,4 2,2 1,8 1,8 1	12	
	TIG	ER 2209	1,2	122	V	6	-	Ar + %2,5He	1,4 1,55 1,5 1,9 1,4 1,3	11	
	TIG	ER 2209	1,2	110	V	6	-	Ar + %5H <sub>2</sub>	1,3 1,4 1,3 1,9 1,55 1,4	11	

## 4.2. Mekaniksel Deneyler

### 4.2.1. Çekme deneyi

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  $0,02 \text{ mms}^{-1}$  seçilmiştir. DARTECT marka deney cihazında kullanılan her bir parametre için en az üç çekme deneyi yapılmıştır.



Şekil 4.1. Kaynakla birleştirilmiş parçalardan çıkarılan çekme ve çentik darbe numuneleri

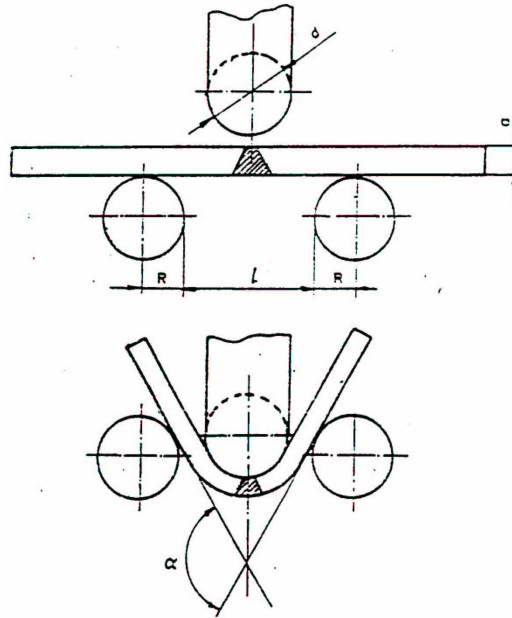
### 4.2.2. Vickers sertlik ölçümü

Kaynak ile birleştirilen paslanmaz çeliklere ait sertlik ölçümleri, Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler Hardness Tester HVM-2 SHIMADZU marka cihazla yapılmış olup, elmas piramit uç ve 300 gr yük uygulanmıştır.

#### 4.2.3. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanışı

Kaba ölçülerinde çıkartılan dikdörtgen kesitli AISI 420 martenzitik ve AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklere ait eğme deneyi numuneleri 282 (pr EN 910)'de belirtilen şartlara göre frezede tezgahında işlenerek hazırlandı. Her deney parçasından 3'er adet deney numunesi hazırlandıktan sonra eğme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

TS 282 EN 910'de belirtilen şartlara göre laboratuarda 60 tonluk DARTEC marka bilgisayar destekli çekme cihazında yapılan eğme deneyi uygulaması Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



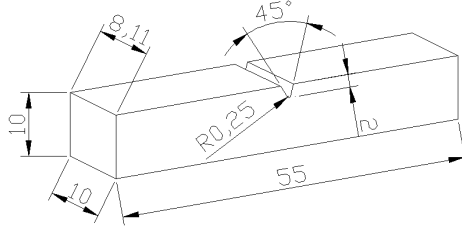
Şekil 4.2. Eğme Deneyi

#### 4.2.4. Çentik darbe deneyi

Paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerinden olan çentik darbe deneyi AISI 2205 kalite dubleks paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen numuneleri kullanılmıştır.

Deneylerde RKP450 450J HUMMER marka çentik darbe deney cihazı kullanılmış olup, kullanılan makine pendulum tip kullanılmıştır. Çentik darbe testleri en az üç

test sonucunun aritmetik sonucu alınmış ve joule değeri tespit edilmiştir. Test numune ölçüleri Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Çentik darbe test numune ölçüleri

### 4.3. Mikroyapı İncelemeleri

#### 4.3.1. Optik mikroskop

Kaynak edilmiş parçalardan mikroyapı numuneleri kesilerek alınmış olup, bu numuneler mikroyapı incelemesi için bakalite alındıktan sonra sırasıyla 240-1200 numaralar arası SiC zımpara ile su altında zımparalanmıştır. Bu işlemden sonra numuneler, sıra ile 1,0, 0,3 ve 0,05  $\mu\text{m}$ 'lik  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kullanılarak özel mikroyapı incelemelerinde kullanılan keçe üzerinde parlatılmıştır. Parlatılan numuneler su ile yıkayıp yüzeylerine alkol püskürtülüp, daha sonra kurutuldu. Mikroskopik incelemeye hazır hale getirilen numunelerden AISI 430 ferritik olanı; ( $\text{CuCl}_2+100\text{mlHCl}+100\text{ml}$  etanol) karışımı ile elde ve AISI 420 martenzitik, AISI 2205 dubleks paslanmaz çelikler ise 10gr okzalit asit+100ml  $\text{H}_2\text{O}$  ile karıştırılarak elde edilen dağlayıcı ile elektrolitik olarak dağlanmıştır. Dağlama işleminden sonra parçalar yıkayıp yüzeyleri alkol ile temizlendikten sonra kurutulan numuneler NIKON LP 1200 ELIPSE marka optik mikroskop kullanılarak mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir.

#### **4.3.2. Tarama elektron mikroskobu (SEM) ve elementel analiz incelemesi**

Farklı koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen AISI 430 ferritik, AISI 420 martenzitik ve AISI 2205 dubleks paslanmaz elikler JEOL JSM 6060 LV tarama elektron mikroskobunda (SEM) mikroyapı incelemesi, çekme deneyi ve antik darbe deneyi sonrasında ortaya çıkan kırılma yüzeyi incelemeleri yapılmış olup, EDS element analizleri ise SEM cihazına bağlı IXRF 500 model elektron dağılım spektrometresi (EDS) kullanılarak yapılmıştır.

## **BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA**

### **5.1. Kullanılan Koruyucu Gazların Mekanik Özelliklere Etkisi**

#### **5.1.1. Çekme deneyi**

TS 287 EN 895’de belirtilen hususlar dikkate alınarak bilgisayar kontrollü çekme cihazında yapılarak elde edilen çekme deneyleri sonuçları Tablo 5.1’de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda farklı koruyucu gazları kullanılmış olup, kullanılan koruyucu gazların kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımı değerleri üzerine etki ettiği görülmektedir.

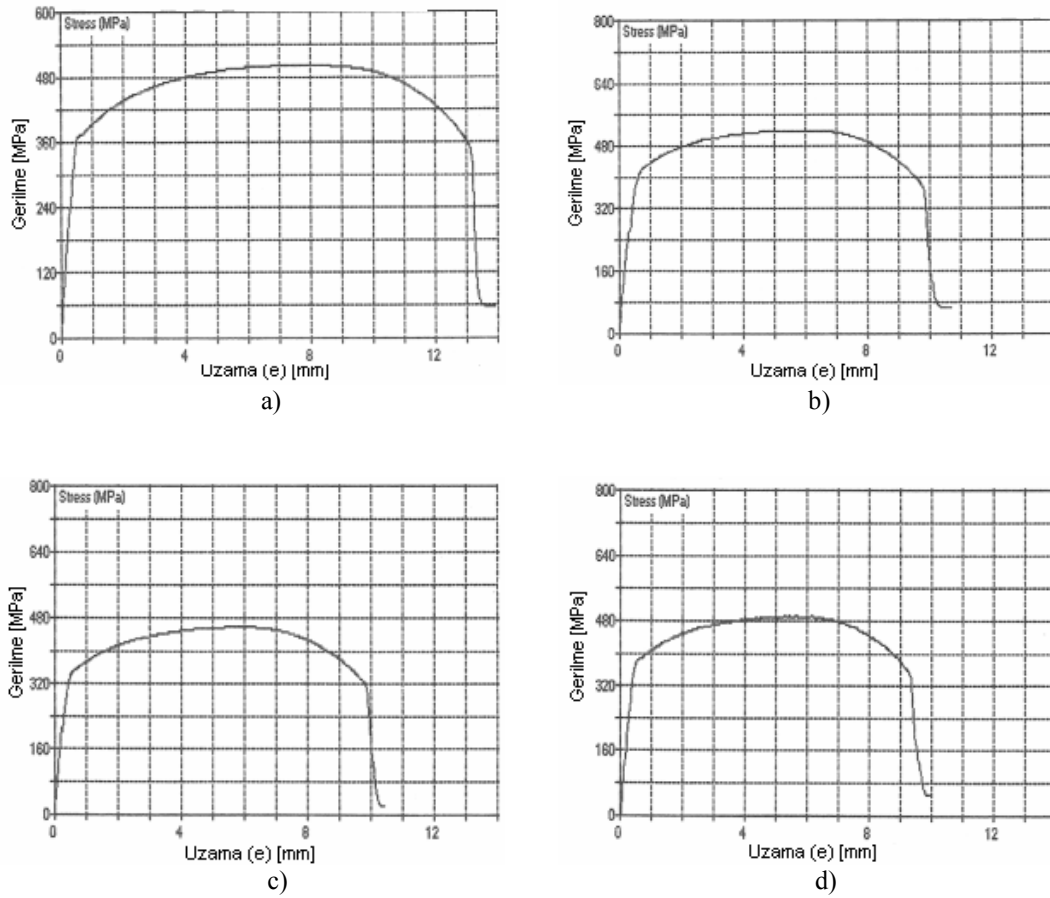
Tablodan görüldüğü gibi, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin 430 LNb ilave kaynak metali ile birleştirilerek elde edilen numunelerin çekme deneyi sonuçlarında en yüksek çekme mukavemeti değeri 501 MPa ile argon gazı kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük çekme mukavemeti değeri ise 321 MPa ile argon + %5N<sub>2</sub> kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir. Elde edilen değerler ana malzemenin sahip olduğu değerlerden düşüktür. Aynı şekilde % uzama değerleri ana malzemede %47 iken argon kullanılarak yapılan birleştirmede %32, azot kullanıldığında ise %2 değerine düşmektedir.

AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde ER 316L ilave metali ve argon gazına çeşitli oranlarda helyum, azot karıştırılarak yapılan birleştirmelerde yapılan çekme deneylerinde ana malzemenin sahip olduğu değerlerden daha az değerler elde edilmiştir. Alın altına getirilen numuneler otomatik TIG kaynak makinesinde farklı koruyucu gazlar kullanılarak telsiz olarak yapılan birleştirmelerde koruyucu gaz çekme dayanım değerlerine etki etmekte olup, AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde argon + %25He gazı altında yapılan birleştirmelerde daha yüksek çekme dayanımı elde edilmektedir.

Şekil 5.1 a-d' de ER 430 LNb ilave metali ve farklı koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzemelere uygulanan çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama diyagramları verilmektedir. Şekillere bakıldığında koruyucu gazın elde edilen değerlere etki ettiği görülmektedir.

Tablo 5.1. Çekme deneyi sonuçları

Malzeme	İlave Metal	Koruyucu Gaz	Ön Tav Sıcaklığı (°C)	$\sigma$ mak çekme (Mpa)	$\sigma$ Akma (Mpa)	$\sigma$ kopma (Mpa)	% uzama
AISI 430	Ana Malzeme		-	507±3	363±4	334±9	47±1
AISI 430	ER 430LNb	Argon	200	501±7	397±9	361±7	32±1
AISI 430	ER 430LNb	Ar+%25He	200	488±4	377±5	345±8	33±2
AISI 430	ER 430LNb	Ar+%5 H <sub>2</sub>	200	484±4	375±4	341±5	32±1
AISI 430	ER 430LNb	Ar+%5 N <sub>2</sub>	200	321±8	321±6	321±8	2±2
AISI 420	Ana Malzeme		-	709±3	507±5	630±9	24±1
AISI 420	ER 316L	Argon	200	684±8	486±6	622±1	14±2
AISI 420	ER 316L	Ar+%25He	200	691±7	451±3	619±7	14±2
AISI 420	ER 316L	Ar+%5 N <sub>2</sub>	200	701±2	503±9	653±11	16±1
AISI 430	Telsiz	Ar+%25He	-	641±4	494±8	519±2	10±2
AISI 430	Telsiz	Ar+%5 N <sub>2</sub>	-	650±5	495±11	497±5	12±0
AISI 420	Telsiz	Ar+%25He	300	701±6	538±9	673±4	11±1
AISI 420	Telsiz	Ar+%5 N <sub>2</sub>	300	679±6	507±1	667±7	11±2

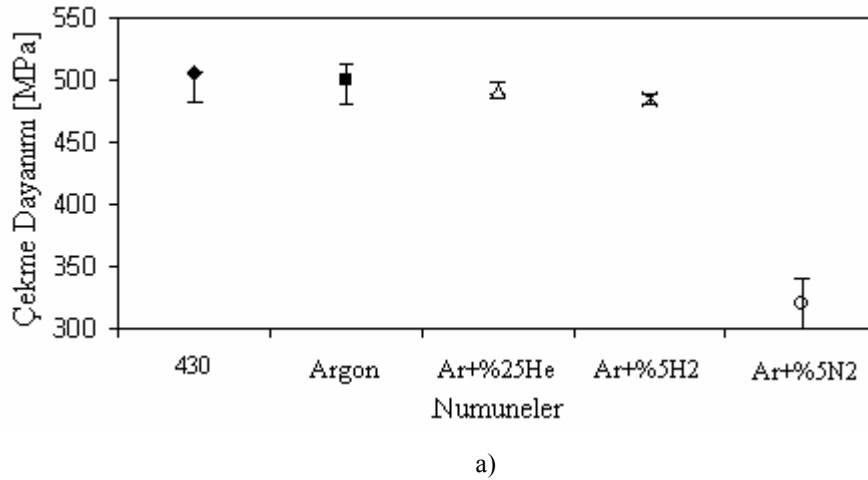


Şekil 5.1. Farklı koruyucu gazlar a) Ana malzeme b) Argon c) Argon + %25He d) Argon + %5H<sub>2</sub> altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin gerilim-uzama diyagramı

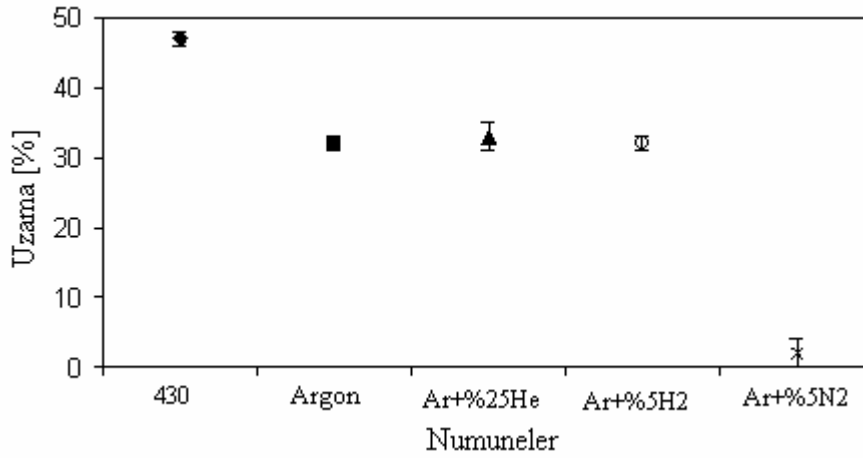
Şekil 5.2. a ve b’de farklı koruyucu gaz kompozisyonları ile ER 430LNb ilave metali kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı ve % uzama grafikleri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde en yüksek çekme dayanımına 500 MPa ile koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında ulaşılmıştır. En düşük çekme dayanımı ise 320 MPa ile argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı kullanıldığında elde edilmiştir. Elde edilen çekme dayanımları ana malzemenin çekme dayanımlarından düşük çıkmıştır. Birleştirme esnasında ortaya çıkan ısı kaynakta ve ITAB’da tane irileşmesine sebebiyet vererek mukavemeti düşürmüştür. % uzama ana metalde % 47, argon’da %32, argon+%25He kullanıldığında %33, argon + %5H<sub>2</sub>’de %32 ve argon + %5N<sub>2</sub>’da ise %2 olarak tespit edilmiştir.



Bu sonuçlara göre kaynak sonrası ana malzemenin sünekliliği düşme göstermiştir. Bu durumun yine kaynaktan dolayı oluşan ısı girdisinden ve dolayısı ile oluşan tane irileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Koruyucu gaz içeriğinde  $N_2$  gazı artışına paralel kaynak metali içerisinde azot miktarı artmaktadır [13, 36]. Azot miktarındaki artış kaynak sonrasında demir nitrür oluşmasına yol açabilir. Bu durumda birleştirmenin gevrek olmasına neden olabilir. Ayrıca kaynak yapılması esnasında koruyucu gaz olarak  $N_2$  kullanıldığında kaynak banyosu oluşturmakta zorlukla karşılaşıldığı ve kaynak metalinde gözeneklerin oluştuğu tecrübe edilmiştir. Dolayısıyla koruyucu gaz olarak argon + %5 $N_2$  gazı kullanıldığında düşük çekme dayanımı ve % uzama değeri elde edilmiştir.



a)

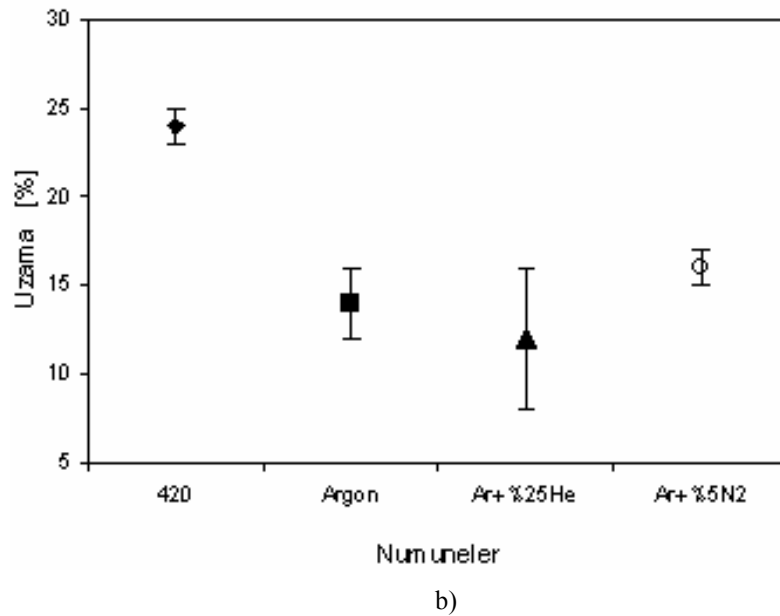
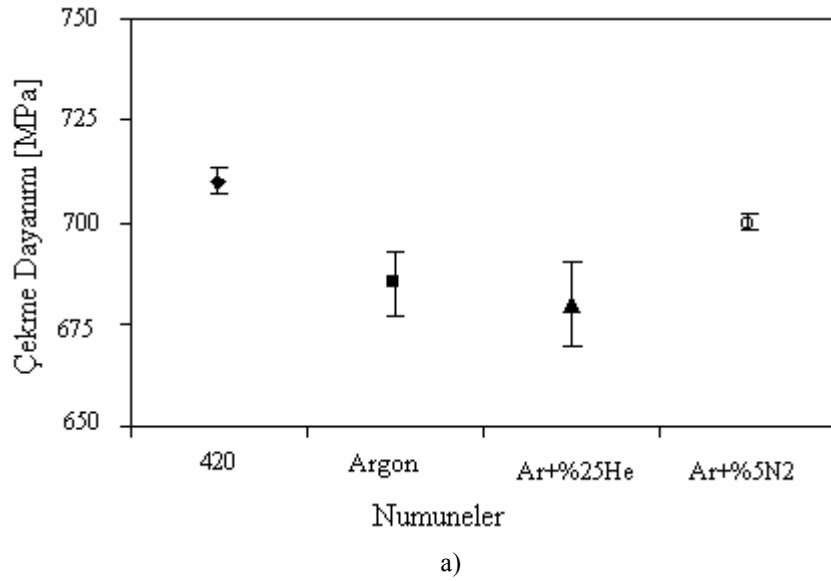


b)

Şekil 5.2. ER 430LNb ilave metali ile birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çelikte kullanılan farklı koruyucu gaz kompozisyonlarıyla birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.

Şekil 5.3. a ve b'de farklı koruyucu gaz kompozisyonları ve ER 316L ilave metali ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı ve % uzama grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile birleştirilen malzemenin çekme dayanımı 700 MPa, Argon koruyucu gazı ile birleştirilen malzemenin çekme dayanımı 685 MPa ve argon + %25He koruyucu gazı ile birleştirilen malzemenin çekme dayanımı ise 680 MPa olarak bulunmuştur. Elde edilen çekme dayanımları ana malzemenin çekme dayanımlarından düşük çıkmıştır. Bu durum birleştirmede kullanılan ilave metalin sahip olduğu çekme dayanımı değerlerinin düşüklüğünden kaynaklanabilir. Ayrıca kaynak metalinin yüksek karbon ihtiva etmesi sebebi ile sıcaklık etkisi altında mikro

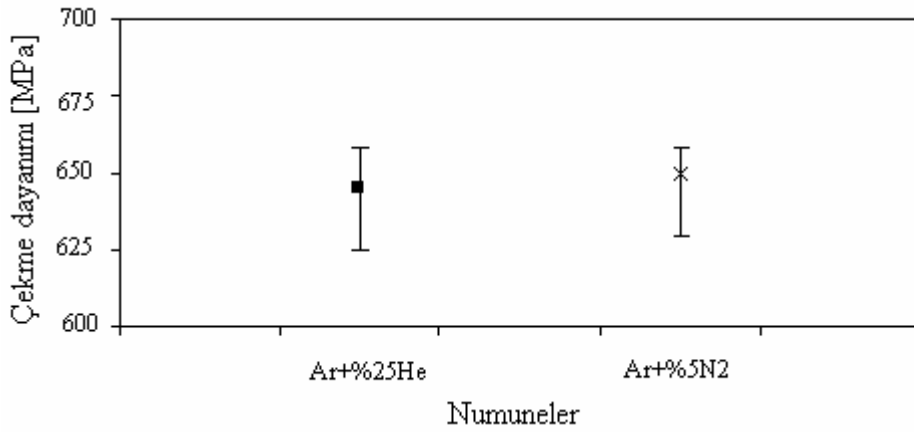
çatlaklar oluşmuş olabilir. % uzama değeri ana metal için %24, argon + %5N<sub>2</sub> kullanıldığında %16, Argon %14 ve argon + %25He gazı kullanıldığında ise %12 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kaynak sonrası ana malzemenin sünekliği yüksek oranda düşme göstermiştir. Bu kaynaktan dolayı oluşan ısı girdisinden kaynaklanabilir. Saf argon koruyucu gazı ile kıyaslama yapıldığında çekme dayanımı ve süneklik hidrojen ilavesiyle artmıştır.



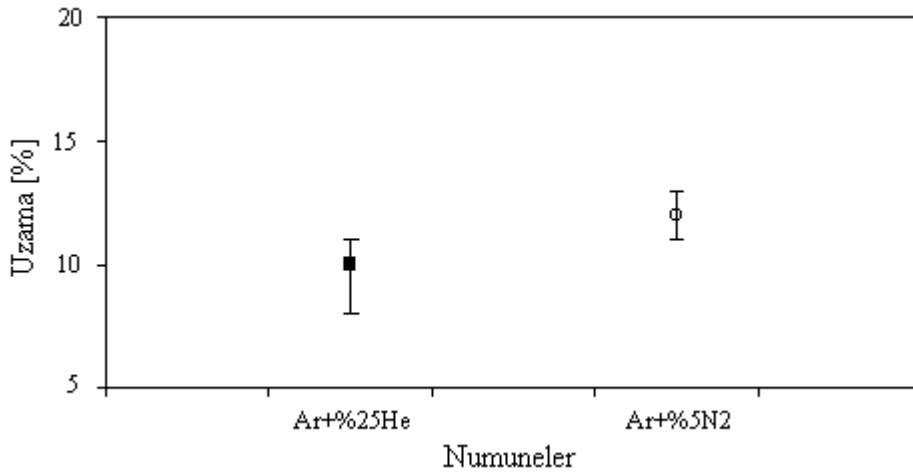
Şekil 5.3. ER 316L östenitik ilave metal ile birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları ile kaynağı sonucunda a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.

Şekil 5.4. a ve b’de farklı koruyucu gaz kompozisyonları ile ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı ve % uzama grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde koruyucu gaz cisminin birleştirilen malzemenin çekme dayanımında herhangi bir değişimine yol açmadığı görülmektedir. % uzama değerinde ise koruyucu gaz olarak argon + %5N<sub>2</sub> kullanıldığında az miktarda da olsa arttığı gözlenmiştir. Otomatik TIG kaynak makinesi ile yapılan birleştirmelerde kullanılan AISI 430 ferritik paslanmaz çelikler ısı işlem görmüş malzeme olduğundan ve yüksek hızda yapılan birleştirmelerde kaynak metali ve ITAB’da tane büyümesi az olduğundan yüksek çekme ve % uzama değeri elde edilmiştir. Argon + %25 He koruyucu gazı ile birleştirilen malzemenin çekme dayanımı ise 645 MPa olarak bulunmuştur. % Uzama argon + %5N<sub>2</sub>’da %12 , argon + %25 He’da ise %10 olarak tespit edilmiştir.

Argon gazı içerisindeki azot gazı argon gazından daha yüksek ısı iletimine sahip olduğundan daha iyi bir nüfuziyet sağlayarak malzemenin mukavemetinin artışına neden olabilir [36, 37]. Helyum gazının da ısı iletim katsayısının ve özgül ısısının argona göre yüksek olduğu bilinmektedir [8, 38]. Otomatik makinelerde kaynak hızı yüksek olduğundan dolayı ısı iletim katsayısı düşük olan saf argon gazı kullanılmamıştır. Bu durumu görmek amacıyla yapılan deneme çalışmalarında yeterli birleşme olmadığı gözlenmiştir.



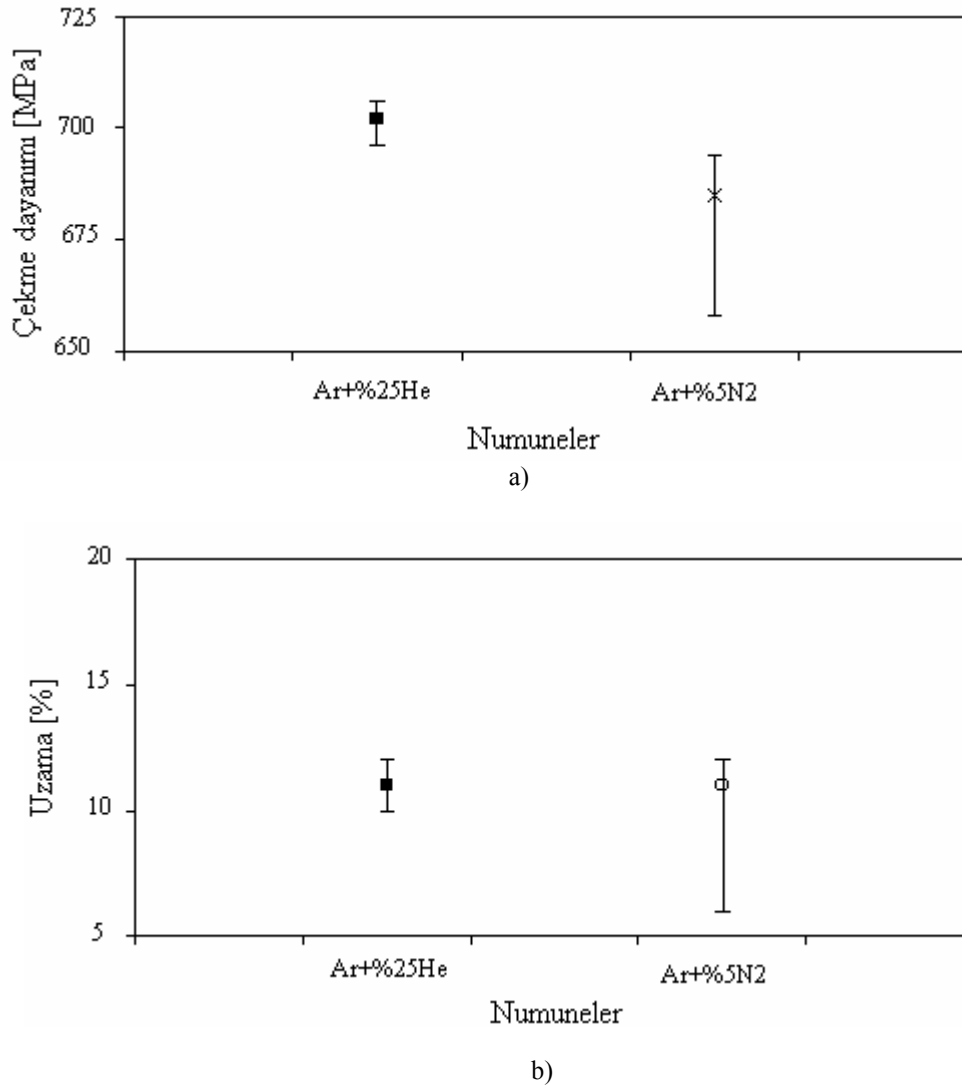
a)



b)

Şekil5.4. Otomatik TIG kaynak makinesinde ilave metal kullanılmadan AISI 430 ferritik paslanmaz çelikte kullanılan farklı gaz kompozisyonlarının kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

Şekil 5.5. a ve b’de farklı koruyucu gaz kompozisyonları ile ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı ve % uzama grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile birleştirilen malzemenin çekme dayanımı 685 MPa ve argon + %25 He koruyucu gazı ile birleştirilen malzemenin çekme dayanımı ise 702 MPa olarak bulunmuştur. % uzama argon + %5N<sub>2</sub>’da ve argon + %25 He’da %11 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.5. Otomatik TIG kaynak makinesinde ilave metallsiz olarak AISI 420 martenzitik paslanmaz çelikte kullanılan farklı gaz kompozisyonlarının kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin ER 430 LNb ilave metali ile TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde en yüksek çekme değeri argon koruyucu gazı ile ve en yüksek uzama değeri argon + %25He gazı ile elde edilmiştir. Helyum gazının homojen ısı dağıtımını nedeni ile tane irileşmesinin önüne bir nebze olsa da geçtiği ve sünekliği arttırdığı tahmin edilmektedir. Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile yapılan birleştirmede son derece düşük çekme dayanımı ve % uzama değerleri elde edilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi koruyucu gaz içerisindeki N<sub>2</sub> ilave metal içerisinde bulunan Nb yada Fe reaksiyona girerek niyobyum nitür veya demir nitür oluşturarak yapıyı gevreklettiği ve sünekliği düşürdüğü tahmin edilmektedir. Ayrıca, oluşan niyobyum nitür bileşiğinin yoğun olduğu bölgelerde kaynak

gözenegi oluşturarak kaynağın mukavemetini düşürdüğü görülmektedir. Bu sonuçtan anlaşıldığı gibi AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklerin ER 430LNb ilave metali ve azot gazı içeren koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmeler uygun olmamaktadır.

AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin ER 316L östenitik ilave metal ile birleştirmesinde en yüksek çekme, akma ve % uzama değerleri argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazıyla kaynakta elde edilmiştir. Bunun nedeni koruyucu gaz içerisine ilave edilen az miktarda dahi azot kuvvetli östenit oluşturduğundan ferrit miktarı düşmektedir [39, 5, 36]. Böylece kaynak metali bölgesinde ince taneli bir yapı oluşturarak hem çekme mukavemetini hem de % uzama miktarını arttırabilir.

TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen paslanmaz çeliklerden yapılan çekme deneylerinde kopma ITAB bölgesinden meydana geldiği görülmüştür. Çekme deneyi sonucunda kırılan numunelerin kırılma yüzeyleri Taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelemeleri ile görüntüleri alınmıştır.

Şekil 5.6'da farklı koruyucu gaz kompozisyonlarında ER 430 LNb ilave metal ile kaynak yapılan AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin çekme kırılma yüzeyi morfolojisi gösterilmiştir.

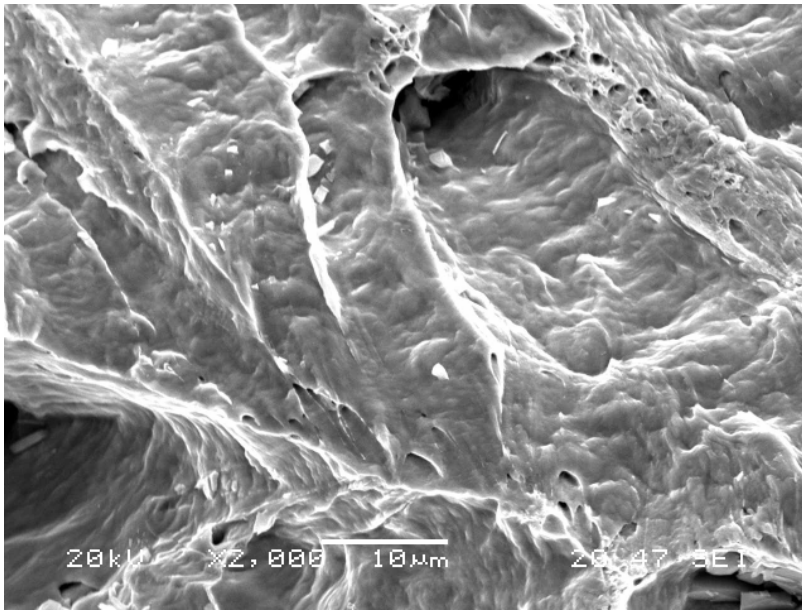
Şekillerden görüldüğü gibi kullanılan koruyucu gazın çekme deneyi sonucunda ortaya çıkan kırılma yüzeyi morfolojisine etkide bulunmaktadır. Kırılma yüzeyleri bu tür paslanmaz çelikler için tipik bir görüntü olup genellikle sünek bir kırılma göstermiştir. Ancak koruyucu gaz olarak argon + %5N<sub>2</sub> kullanılan parçanın kırılma yüzeyi diğerlerinden farklı bir görüntü göstermekte ve delikli yüzey bulunmamaktadır. Kırılma yüzeyi daha düz bir görüntü şeklinde olup gevrek kırılmaya yakın bir görüntüdedir. Bunun nedeni daha önceden açıklandığı gibi kaynak esnasında niyobyum nitrür yada demir nitrür oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Buradaki sonuçta argon + N<sub>2</sub> koruyucu gazının bu tür ilave metal ve malzemeler için uygun olmadığını ortaya koymaktadır.

Şekil 5.7’de otomatik TIG kaynak makinesi kullanılarak argon + %25He ve argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazları kullanılarak yapılan birleştirmelerin çekme deneyi sonucunda ortaya çıkan kırılma yüzey morfolojisi görülmektedir. Bu malzemelerin kırılma yüzey görüntüleri el ile yapılan TIG birleştirmelerden oldukça farklıdır. Bu şekilde yapılan birleştirmelerde kullanılan gaz debisi ve kaynak hızları daha fazla olduğundan hem koruyucu gaz içerisindeki helyumun ısı iletim katsayısı ile azot gazının yapmış olduğu olumsuz etkinin dengelendiği düşünülmektedir. Bu şekilde yapılan birleştirmede kaynak hızı yüksek olduğundan metaldeki ITAB daha dar kalmakta ve hızlı bir katılma gerçekleşmesi sonucunda tane irileşmesi daha az olmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan ferritik paslanmaz çelik üretim esnasında ısı iletim görmesi sonucu daha mukavemetli olduğundan çekme deneyi sonrasında daha sünek bir davranış göstermektedir.

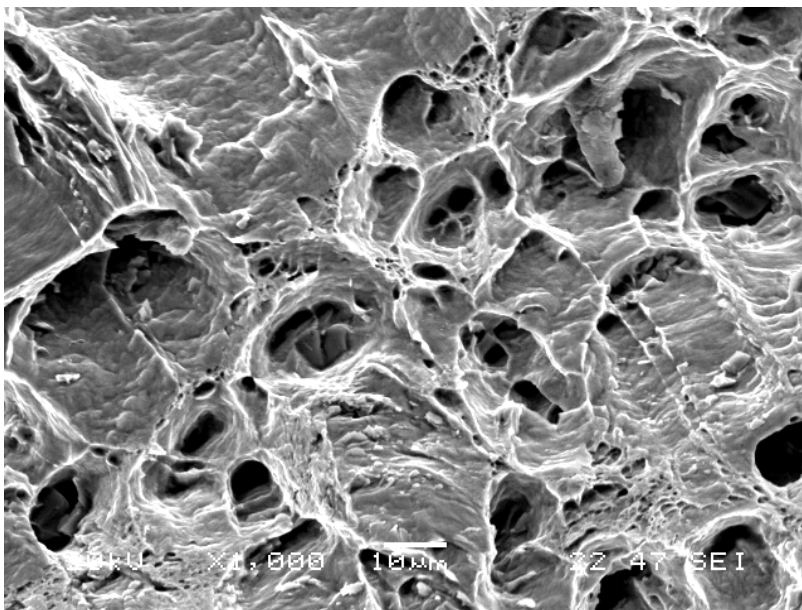
Şekil 5.8’de ER 316L östenitik ilave metali ve çeşitli koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak yapılan birleştirmelerin kırılma yüzey morfolojileri verilmiştir. Her üç gaz kompozisyonunda benzer kırılma yüzeyi göstermekle beraber argon + %25 helyum koruyucu gazı kullanılarak yapılan birleştirmede daha kırılma bir yüzey görüntüsü olmaktadır. Bu durum çekme deneyinde elde edilen diğer gazlardaki değerden daha düşük akma dayanım değeri vermektedir. Argon + %5N<sub>2</sub> gazı karışımı kullanılması sonucu kırılma yüzey morfolojisi genel östenitik paslanmaz çeliklerde görülen kırılma yüzeyi ile uyumludur [7, 40]. AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik birleştirilirken kullanılan ER 316L ilave metali kırılma yüzey morfolojisi üzerinde etkili olmaktadır.

Şekil 5.9’da herhangi bir ilave metali kullanmadan otomatik TIG kaynak makinesi ile birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin kırılma yüzeyleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kırılma yüzey morfolojisi farklıdır. Özellikle koruyucu gaz olarak argon + %5N<sub>2</sub> gazı kullanıldığında farklı bir kırılma yüzey morfolojisi ortaya çıkmaktadır. Bu durumda çekme deneyinde daha düşük akma dayanımı sonucu elde edilmektedir.

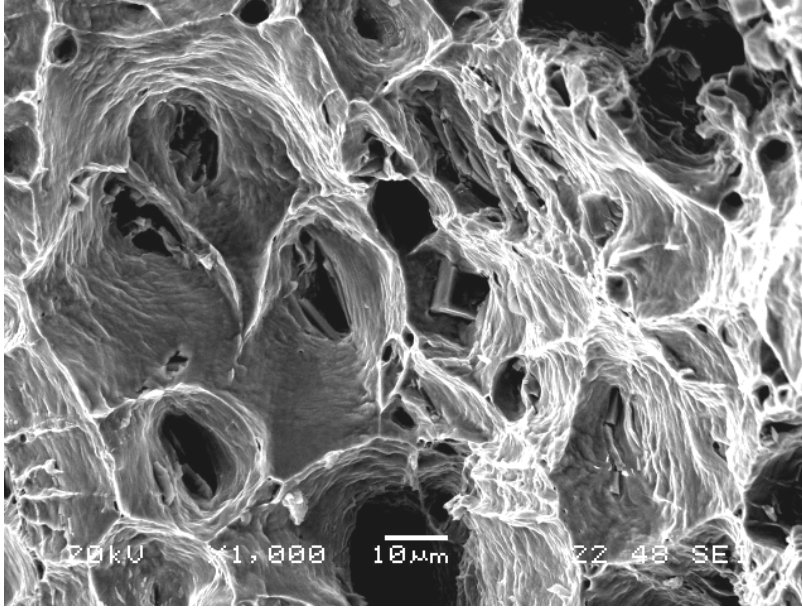




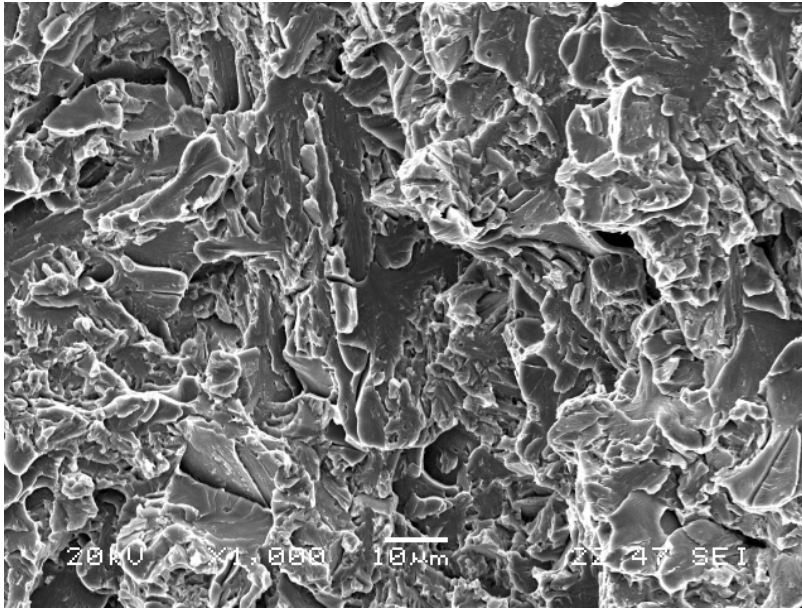
a)



b)

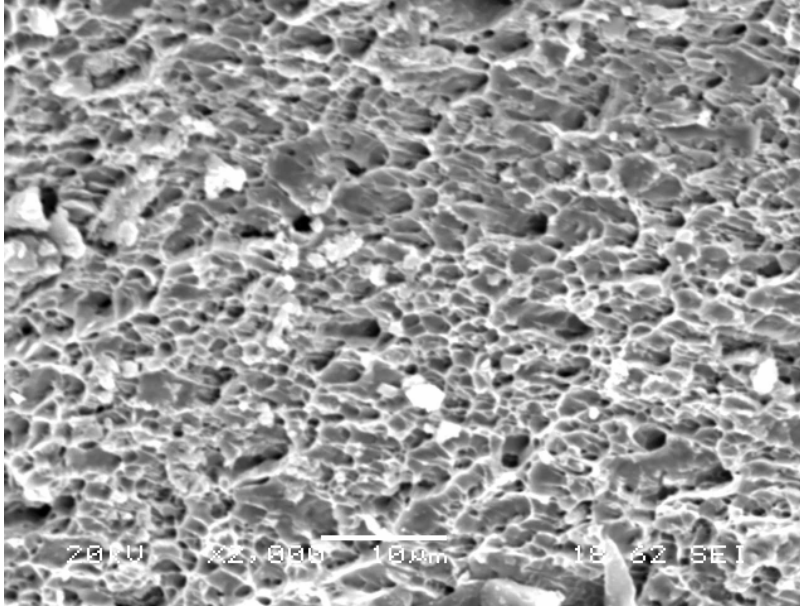


c)

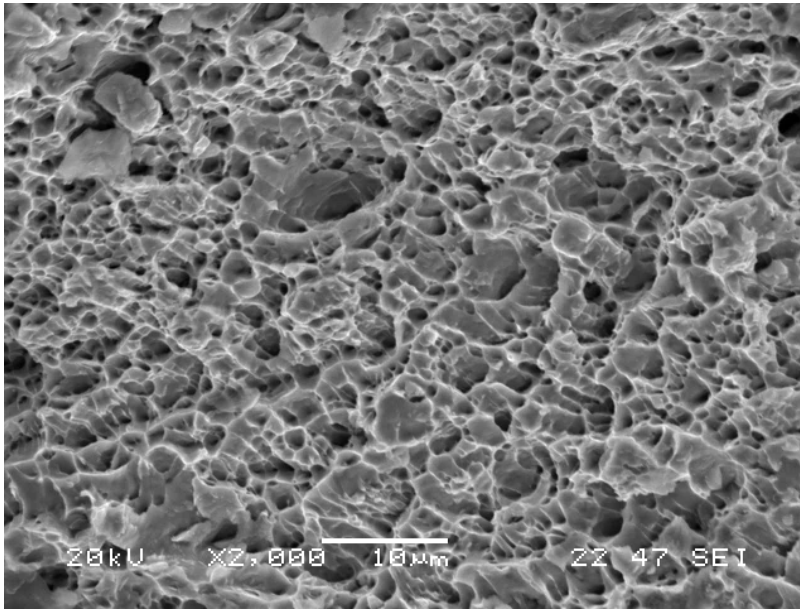


d)

Şekil 5.6. ER 430 LNb ilave metali ve a) Argon b) Argon + %25He c) Argon + %5H<sub>2</sub> d) Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri

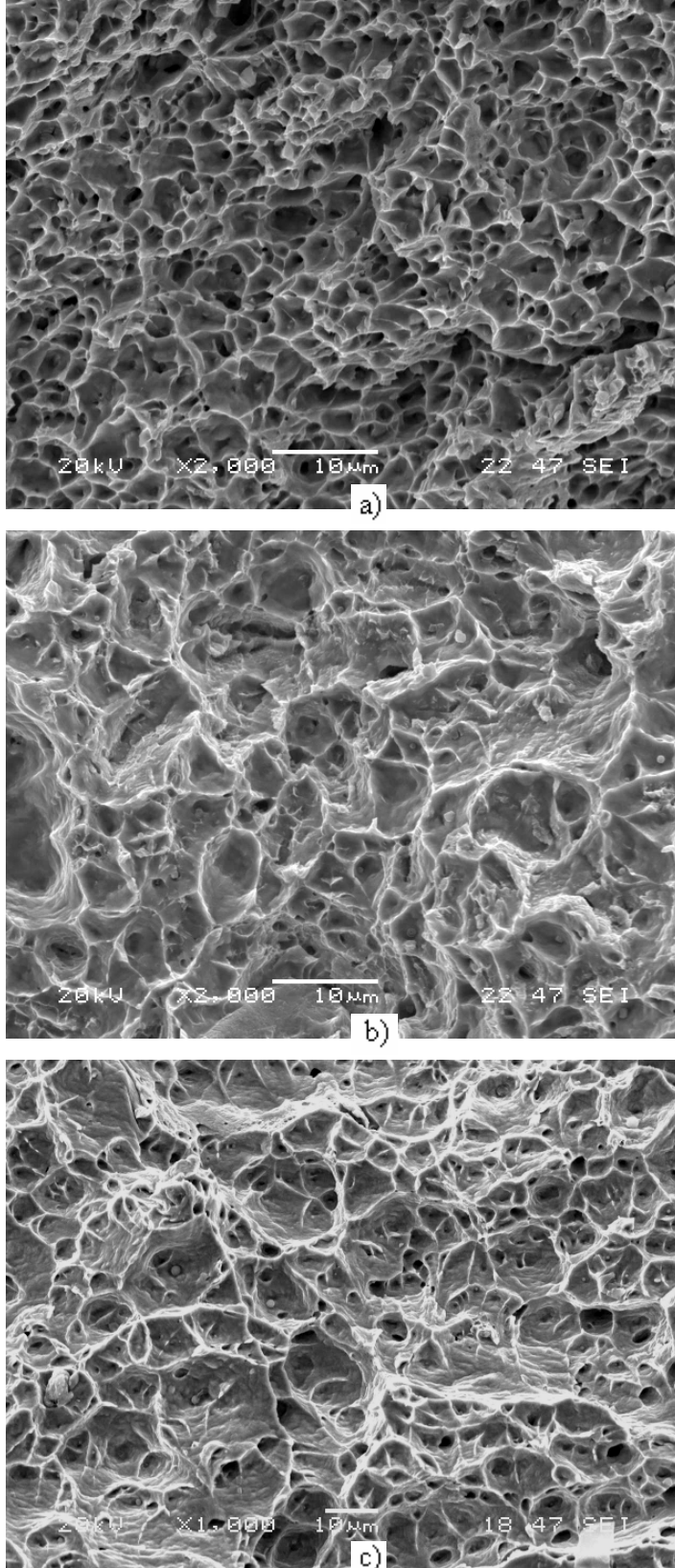


a)

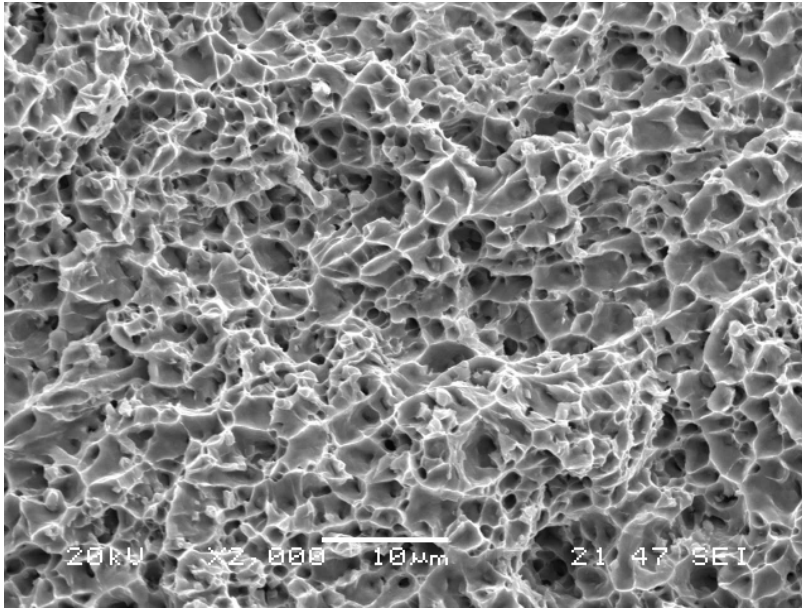


b)

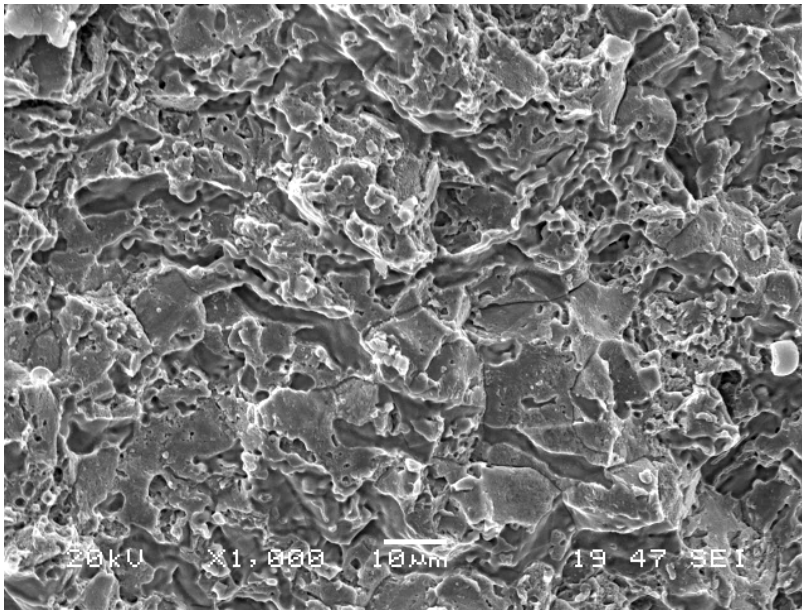
Şekil 5.7. İlave metal kullanmaksızın a) Argon + %25He b) Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazları ile otomatik TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri



Şekil 5.8 ER 316L ilave metal kullanılarak a) Argon b) Argon+%25He c) Argon+% 5N<sub>2</sub> koruyucu gazları ile TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri



a)



b)

Şekil 5.9. İlave metal kullanmaksızın a) Argon + %25He b) Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazları ve otomatik TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri

### 5.1.2. Çentik darbe deneyi

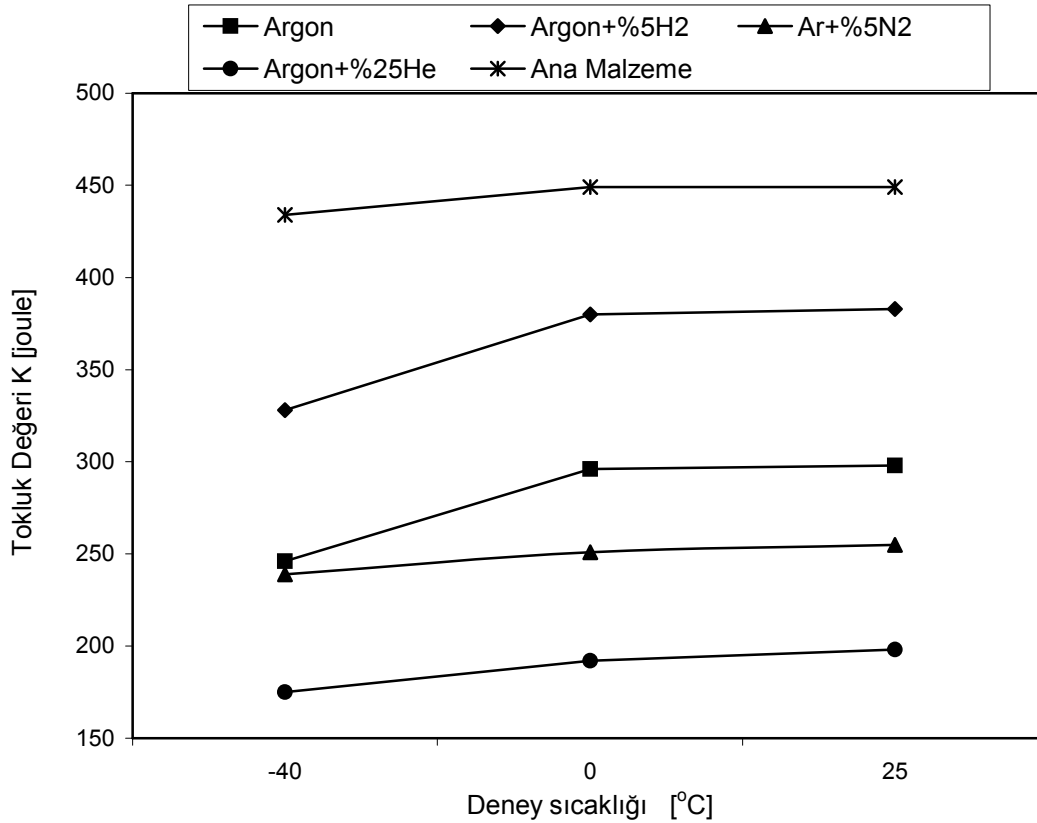
AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik parçalar ER 2209 ilave metali ve argon, argon + %25He, argon + %5H<sub>2</sub> ve argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazları kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirilen bu parçalara çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Çentik darbe deneyi uygulanmış numunelerin bazılarının resmi Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Çentik darbe deneyi uygulanmış numuneler

AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik malzemelerin farklı gaz kompozisyonları ve ER 2209 ilave metali ile kaynak edildikten sonra hazırlanan çentik darbe numunelerine üç farklı sıcaklıklarda yapılan deney sonuçları grafiksel olarak Şekil 5.11'de verilmiştir. Şekil 5.11'de görüldüğü gibi kaynaklı ana malzemedeki kırılma enerjisi oda sıcaklığında 449 Joule kırılma enerjisi değeri elde edilirken 0°C'de yine 449 Joule olmuş ve -40 °C'de 434 Joule değerine düşmüştür. ER 2209 ilave metali ve koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında oda sıcaklığında kırılma enerjisi 298 Joule olarak elde edilirken 0°C'de 296 Joule inmiş ve -40 °C'de 246 Joule düşmüştür. ER 2209 ilave metali ve argon + %5H<sub>2</sub> koruyucu gaz ortamında yapılan kaynağın tokluğu oda sıcaklığında 383 Joule kırılma enerjisi elde edilirken 0°C'de kırılma enerjisi 380 Joule inmiştir ve -40 °C'de ise 328 Joule düşmüştür. Aynı tip ilave metali ve argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gaz ortamında yapılan kaynağın tokluğu oda sıcaklığında 255 Joule kırılma enerjisi elde edilirken 0 °C'de kırılma enerjisi 251 Joule inmiş ve -40 °C'de ise 239 Joule düşmüştür. Son olarak ise aynı tip ilave metali ve argon + %25He koruyucu gaz ortamında yapılan kaynağın tokluğu oda sıcaklığında 198 Joule kırılma enerjisi elde edilirken 0 °C'de kırılma enerjisi 192 Joule inmiş ve -40 °C'de ise 175 Joule düşmüştür. Deneylerden görüldüğü gibi kaynaklı birleştirme sonucunda birleştirilen parçaların çentik darbe deneyinde ana

malzemeye göre tokluk değerlerinin düştüğü görülmüştür. Tokluk değerlerindeki düşüş koruyucu gaz olarak argon ve argon + %5H<sub>2</sub> kullanıldığında daha az olmakta olup, koruyucu gaz olarak argon + %25Helyum kullanıldığında ise tokluk değeri oldukça düşmektedir.



Şekil 5.11. Farklı koruyucu gaz kompozisyonları ile ER 2209 ilave metal ve TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 2205 tipi dubleks paslanmaz çelik parçalara uygulanan çentik darbe deney sonuçlarının grafiksel gösterimi

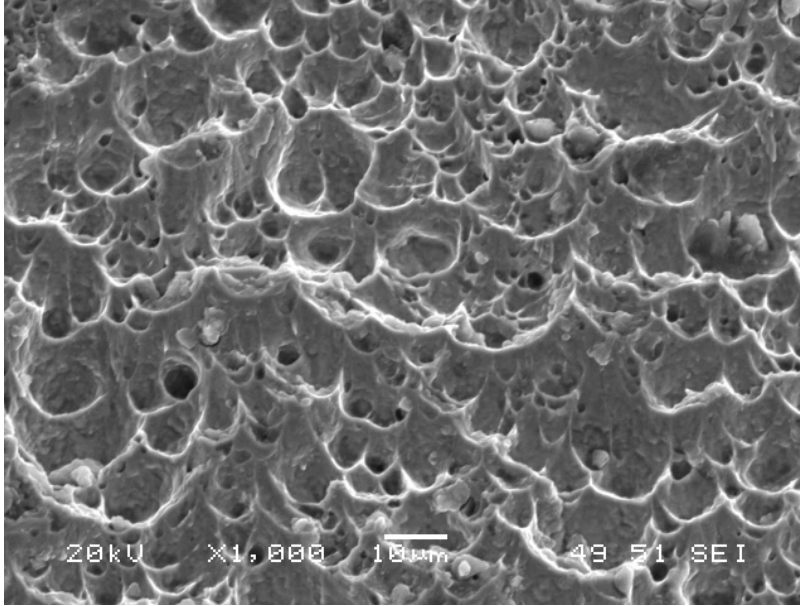
Şekil 5.12'de oda sıcaklığında yapılan çentik darbe deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeyi morfolojileri verilmektedir. Kırılma yüzeyi morfolojilerindeki farklılık net bir şekilde görülmektedir. Koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında delikli bir yüzey elde edilmektedir. Koruyucu gaz olarak argon + %25He kullanıldığında hem delik sayısı azalmakla beraber yüzey morfolojisi ağı daha geniş ve homojen değildir. Buna karşılık koruyucu gaz olarak argon + %H<sub>2</sub> kullanıldığında kırılma yüzey ağı daha homojen bir görüntü elde edilmektedir. Buna karşılık koruyucu gaz olarak argon + %5N<sub>2</sub> kullanıldığında bahsedilen ağın daha küçük olduğu görülmektedir. Bu durumun azotun tane inceltici etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Daha önceki bir çalışmada [41] farklı malzemeler elektrik ark yöntemiyle ER2209-17 dubleks paslanmaz çelik elektrod ile kullanılarak yapılan birleştirmenin çentik darbe tokluk değerleri oldukça düşük olmaktadır. Bu durum kullanılan kaynak yönteminin tokluk değerlerine etkisini ortaya koymaktadır. O çalışmada belirttiğine göre deneyin yapıldığı sıcaklık, kaynak enerji girdisi ve kullanılan ilave metalin kimyasal bileşimi kaynakla birleştirilen parçaların kırılma tokluk değerine etki ettiği belirtilmektedir. Oda sıcaklığında dubleks ilave metali kullanıldığında östenit-ferrit faz dengesinin birleştirmenin tokluğuna etkisi önemlidir. Dubleks paslanmaz çelik ilave metalinde östenit fazın tokluğu ve ferrit fazın dayanımı bu birleştirmenin darbe dayanımının östenitik bağlantısına göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır [41]. Aynı çalışmada belirtildiğine göre elektrod bileşimindeki azotun tane inceltici etkisinin oda sıcaklığında kaynaklı birleştirmenin daha tok olmasını sağlamaktadır.

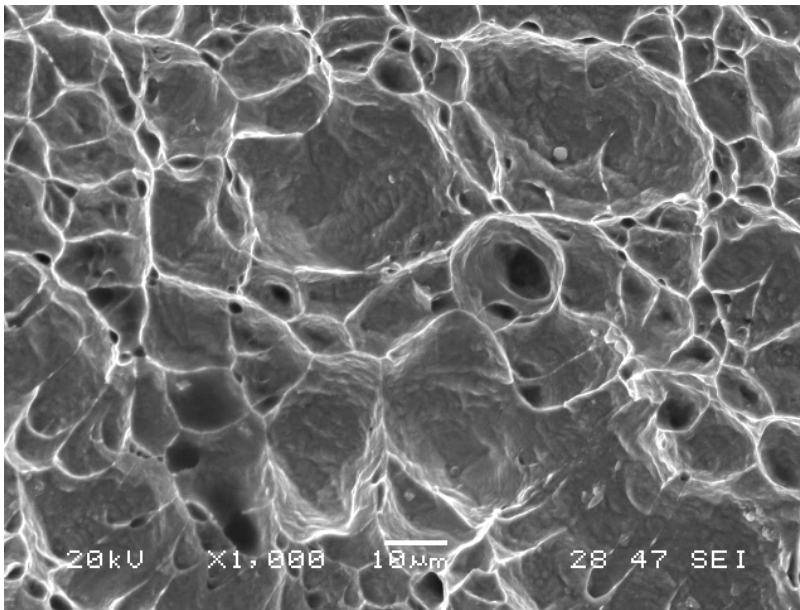
Daha önceki bir çalışmada [42] birleştirilen parçanın kaynak metali içerisindeki ferrit miktarının artması ile çentik darbe deneyi esnasında absorbe edilen darbe enerjisinin azaldığı belirtilmiştir. Kaynak sonrasında hızlı soğuma şartlarında kaynak metali içerisindeki % ferrit miktarını arttıracaktır. Ferrit miktarının östenit miktarına göre fazla olması tokluğu olumsuz etkileyecektir [41]. Korumucu gaz içerisinde helyum ve hidrojenin bulunması kaynak metalinin sıcaklığını arttırarak daha yüksek sıcaklığa çıkması sonucunda da hız soğuma ile kaynak metali içerisinde  $\delta$ -ferrit miktarını arttırarak tokluk değerlerinin düşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bu tür malzemelerde östenitik yapılarda çentik darbe deneyleri sıcaklıktan bağımsız olup, sürekli kırılma şeklinde gerçekleştirilmektedir. Kaynak metali içerisinde bulunan belirli oranlardaki  $\delta$ -ferrit hacim merkezli kübik yapıya (HMK) sahip olup, kırılma yarılma şeklinde gerçekleşmektedir.  $\delta$ -ferrit kırılmalı bir yarılma göstermekte ve çatlak ilerlemesine neden olmaktadır. Dolayısıyla düşük sıcaklıkta düşük tokluk değerlerinin alınmasına neden olmaktadır [42, 43]. Daha önceki çalışmalarda bu durumu desteklemektedir [7, 41, 43, 44]. Ayrıca malzeme içerisinde meydana gelen safsızlıkların çentik darbe tokluk değerini düşürdüğü belirtilmektedir [7]. Argon gazının içerisinde azotun bulunması kaynak metali içerisinde oluşturduğu nitürler çentik darbe deneyi sırasında tokluk değerlerinin düşmesine neden olacaktır. Ancak azotun tane inceltici etkisi tokluk üzerine olumlu etki sağlamaktadır.



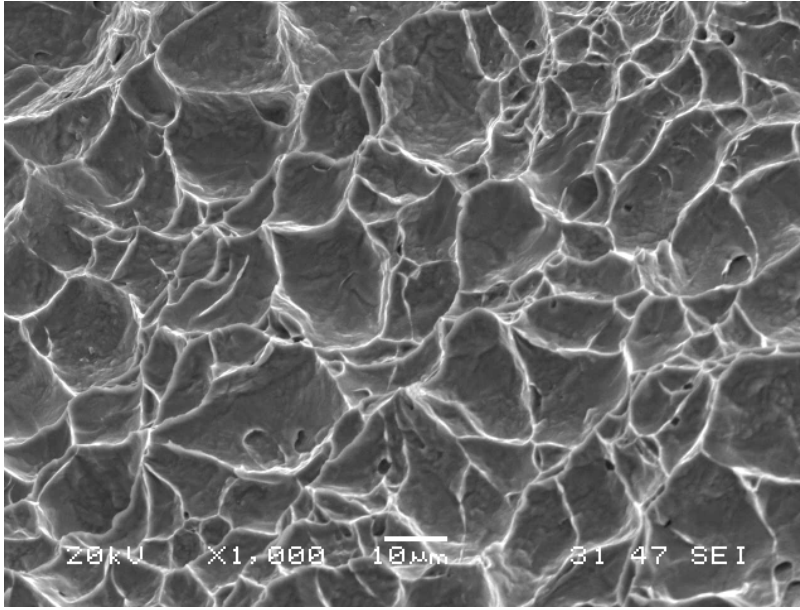
Daha önceki bir çalışmada [45] ferrit ve östenit oranının kaynak metali alanını genişlettiği ve yapılan kaynağın sonucunda yönlenmenin darbe tokluğu üzerinde büyük etkisi olduğu görülmektedir. Ayrıca hidrojen kırılmanlığına da rastlandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada elde edilen kırılma yüzeyleriyle benzerlik göstermektedir.



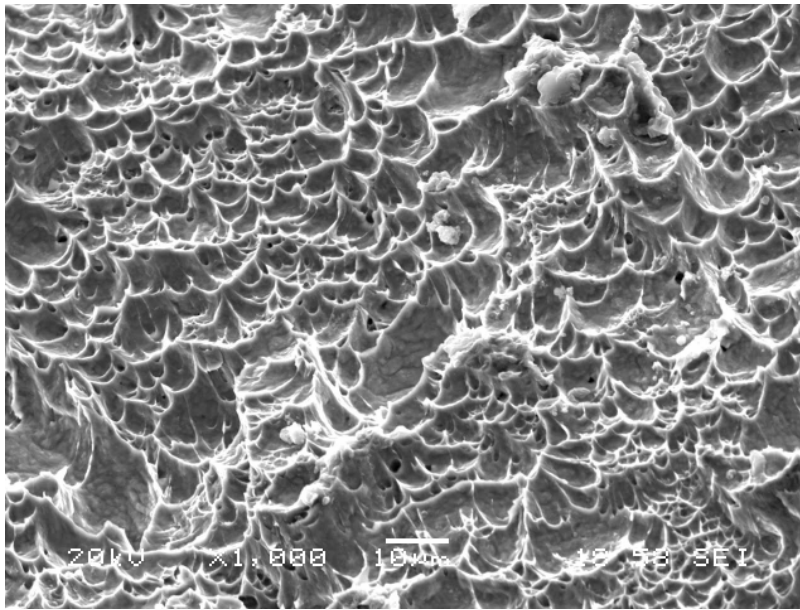
a)



b)



c)



d)

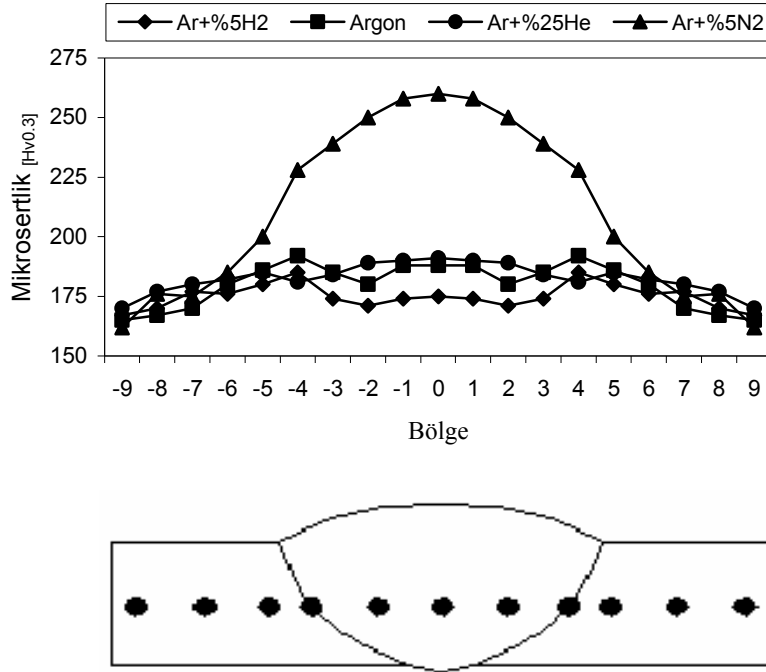
Şekil 5.12. ER 2209 ilave metal ile a) Argon b) Argon + %25He c) Argon + %5H<sub>2</sub> d) Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 2205 tipi dubleks paslanmaz çelik parçalara 25°C'de çentik darbe deneyi uygulanan numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri

### 5.1.3. Mikrosertlik deneyi sonuçları

Bu çalışmada AISI 430 ferritik AISI 420 martenzitik ve AISI 2205 tipi dubleks paslanmaz çelik farklı koruyucu gaz kompozisyonları altında TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve Şekil 5.13’de gösterildiği gibi sertlik değeri alınmıştır.

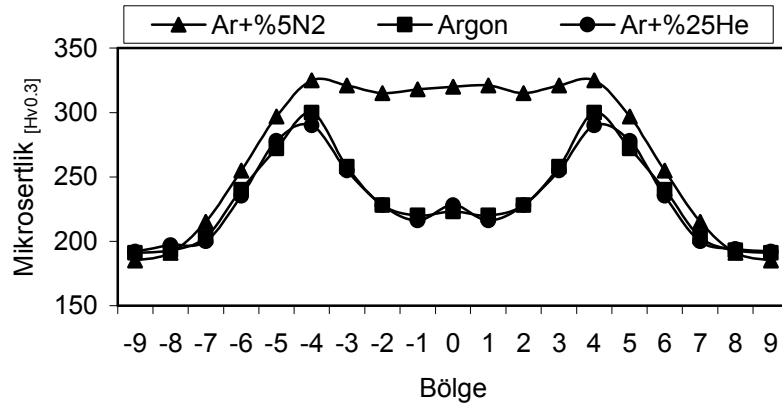
Şekil 5.13’de AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gazlar altında sertlik değerlerinin değişimi verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kaynak metali bölgesinde en yüksek sertlik değeri argon + %5N<sub>2</sub> gazı kullanıldığında elde edilmektedir. En düşük değerler ise koruyucu gaz olarak argon + %5H<sub>2</sub> gazı kullanıldığında elde edilmektedir. Argon gazı içerisindeki azot nitrür oluşturma eğiliminde olduğu için sertlik değerlerini arttırmaktadır. Argon içerisindeki azot gazının kaynak metalindeki sertliği artırarak gevrek yapıya sahip olduğu düşünülmektedir. Ayrıca koruyucu gazda %5 oranında bulunan azotun kaynak esnasında ilave metalde bulunan niyobyum elementi ile birleşerek niyobyum nitrür oluşturmaktan dolayı kaynak bölgesindeki sertliğin yüksek çıktığı düşünülmektedir. Sertlik tablosunu incelediğimiz zaman argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile yapılan birleştirmede sertliğin kaynağın tam merkezinde maksimum değerini aldığını görüyoruz. Kaynaklı birleştirmelerde kaynağı tam merkezi ilave metalin kimyasal kompozisyonuna en yakın bölgedir ve kaynak merkezinden ana metale ilerledikçe kaynak kimyasal kompozisyonu ana metale daha fazla benzeyecektir.

Argon ve argon + %25He koruyucu gazları ile elde edilen mikrosertlik değerleri birbirleri ile ve ana metalle hemen hemen aynı çıktığı görülmektedir. Bunun yanında kaynak bölgesindeki en düşük sertlik değerleri argon + %5H<sub>2</sub> koruyucu gazı ile elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak H<sub>2</sub> gazının birleştirme esnasında kaynak bölgesinin ısınımsını yükseltmiş ve kaynağın yavaş soğumasını sağlamış olabilir. Yavaş soğuma ile birlikte kalıntı gerilmelerin en aza inmiş olabileceği ve hızlı soğuma ile düşük miktarlarda oluşabilecek martenzitik yapının önüne geçilmiş olabileceği düşünülmektedir.



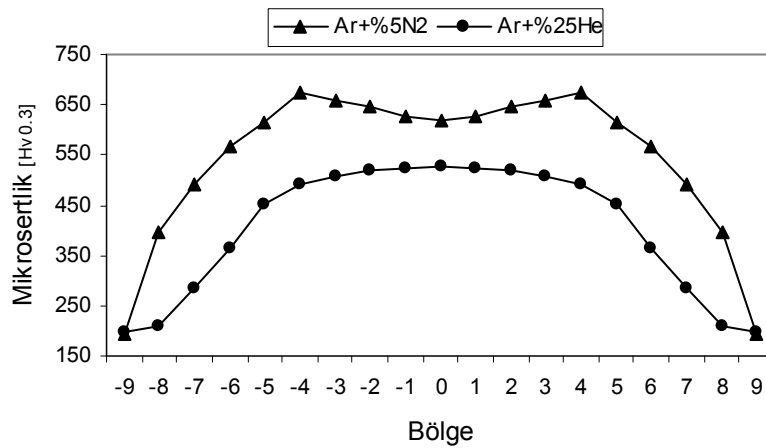
Şekil 5.13. TIG kaynak yöntemiyle AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları ve ER 430 LNb ilave metali kullanılarak birleştirilmesi sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri

Şekil 5.14’de TIG kaynak yöntemiyle farklı koruyucu gazlarla ve ER 316L ilave metali ile birleştirilen AISI 420 paslanmaz çeliğin mikrosertlik değerleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile kaynak edilen AISI 420 paslanmaz çeliğin kaynağındaki sertlik değerleri diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bunu nedeni olarak azotun tane inceltici özelliği ve mukavemetle birlikte sertlik değerinde artışa neden olduğu düşünülebilir. Bunun yanında azot gazının oluşturduğu safsızlıklar sertliği arttırmış olabilir. Argon ve argon + %25He koruyucu gazları ile elde edilen sertlikler hemen hemen eşit çıkmıştır. Burada da argon gazı kaynağın yavaş soğumasını sağlayarak malzemede oluşabilecek iç gerilmeleri en aza indirmiş olacağı düşünülebilir.



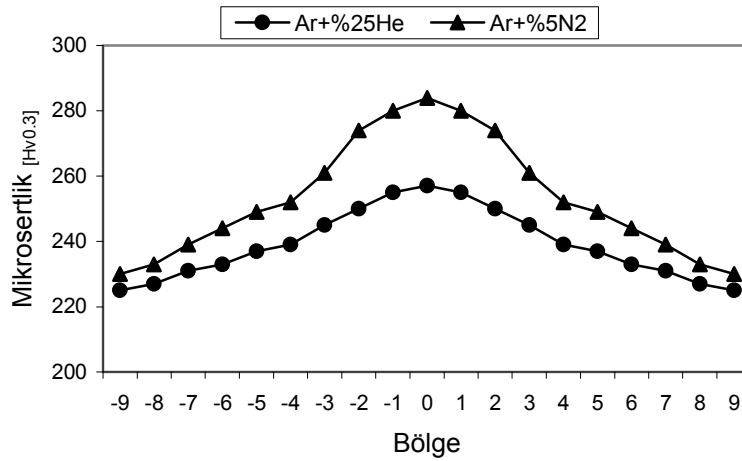
Şekil 5.14. TIG kaynak yöntemiyle AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ER 316L ilave metali ile birleştirilmesi sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri

Şekil 5.15’de Otomatik TIG kaynak makinesinde farklı iki koruyucu gaz ile ilave metalsiz kaynak edilen AISI 420 kalite paslanmaz çeliğin sertlik değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile kaynak edilen numunenin sertliği en yüksek çıkmıştır. Burada her iki koruyucu gaz ile kaynaktan önce bir ön ısıtma gerçekleştirilmiştir. İki koruyucu gazla elde edilen kaynakların dikişinde ve ITAB’da sertlik yüksek değerlere ulaşmıştır. Malzemenin kaynağında kullanılan bakır altlık ve koruyucu gazlar malzemenin hızlı soğumasına birer etken olarak gösterilebilir.



Şekil 5.15. Otomatik TIG kaynak makinesinde AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin iki farklı koruyucu gaz kompozisyonu kullanılarak ilave metalsiz birleştirilmesi sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri

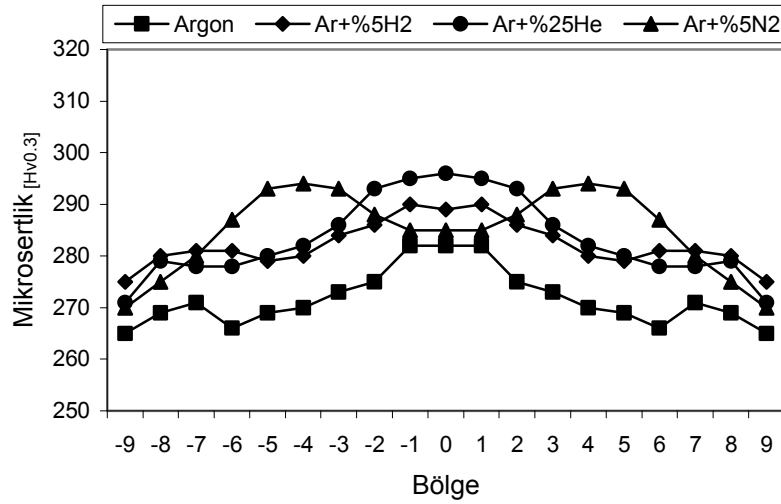
Şekil 5.16’da otomatik TIG kaynak makinesinde farklı iki koruyucu gaz ile ilave metalsiz kaynak edilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin sertlik değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile kaynak edilen numunenin sertliği en yüksek çıkmıştır. Burada her iki koruyucu gaz ile kaynak edilen numunelerin en yüksek sertlik değerleri kaynak merkezlerinde elde edilmiştir. Kaynakta sıcaklık dağılımını düşündüğümüz zaman en yüksek sıcaklığın kaynağın tam merkezinde oluşacağı ve sıcaklığın kaynak dışına doğru orantılı olarak azalacağını biliyoruz. Östenit-ferrit dönüşümü oluştuğunu ve bu dönüşümle birlikte martenzitik oluşumların meydana geldiğini gösterir diye düşünebiliriz. Azot ilaveli koruyucu gazda elde edilen kaynak dikişinin yüksek sertlik değerini ise azotun etkisi ile hızlı soğumaya bağlayabilir.



Şekil 5.16. Otomatik TIG kaynak makinesinde AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin iki farklı koruyucu gaz kompozisyonu kullanılarak ilave metalsiz birleştirilmesi sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri

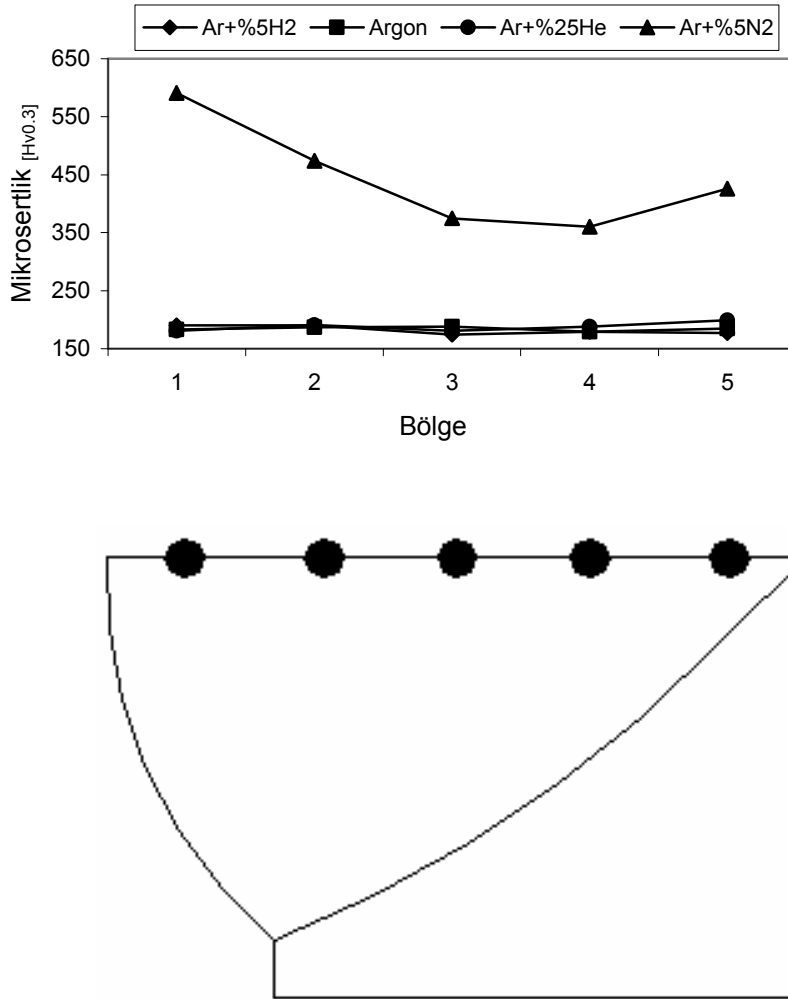
Şekil 5.17’de ER 2209 ilave metali ve farklı koruyucu gazlarla TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mikrosertlik değerleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde argon + %25He koruyucu gazı ile birleştirilen malzemenin kaynak bölgesinin sertliği en yüksek çıkmıştır. İkinci olarak helyum gazının kaynak banyosunda oluşturduğu yüksek ısı enerjisi kaynağın yavaş soğumasına sağlamıştır [25]. Bunun yanında saf argonla elde edilen kaynak dikişinin sertlik değerlerinin en düşük ve ana malzemeye yakın olduğu gözlenmektedir. %5H<sub>2</sub>

ilaveli argonda ise homojen ve diğer koruyucu gazlara göre orta düzeyde bir sertlik ölçülmüştür. %5N<sub>2</sub> ilaveli argon koruyucu gazıyla elde edilen kaynak dikişinde ise ana metalden kaynak merkezine gidildikçe azalan sertlik değerleri elde edilmiştir. Bunun temel nedeni ise azot gazının östenit yapıcı özelliği ile kaynaktaki ferrit-östenit dengesi östenit lehine geliştirilerek östenit miktarını arttırmıştır. Bu artış ergimenin en yoğun olduğu bölgeye doğru gerçekleşmesi artan ısı ile birlikte azot kaynak bünyesine daha fazla nüfuz etme imkanı bularak östenit oluşumunu daha fazla teşvik etmiştir. Kaynak ara yüzeyinden merkeze doğru üniform bir şekilde artan östenit miktarı ile birlikte sertlikte aynı şekilde düşüş göstermiştir.



Şekil 5.17. TIG kaynak yöntemiyle AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ER 2209 ilave metali ile birleştirilmesi sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri

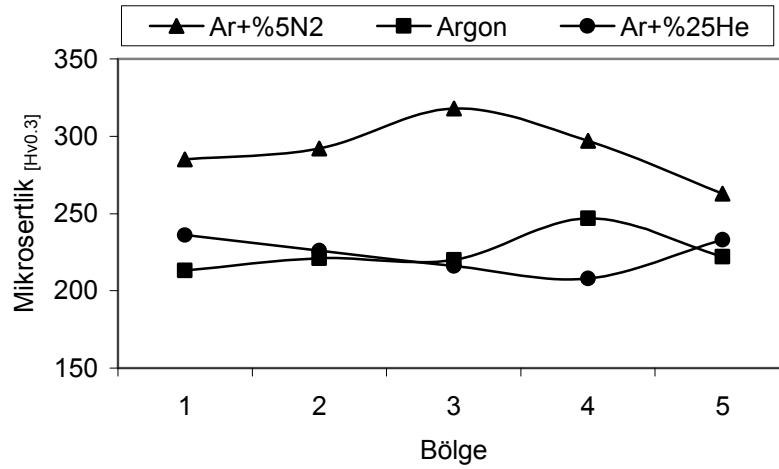
Şekil 5.18'de argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı altında kaynak edile AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin sertliği diğer koruyucu gazlara göre özellikle kök pasodan kapak pasoya doğru yükselmiştir. AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin yukarıda belirtilen diğer koruyucu gaz kompozisyonları ile yapılan kaynak dikişleri hemen hemen birbirine yakın sertlik değerleri göstermiştir.



Şekil 5.18. TIG kaynak yöntemiyle AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ER 430 LNb ilave metali ile birleştirilmesi sonucunda ölçülen kaynak metali mikrosertlik değerleri

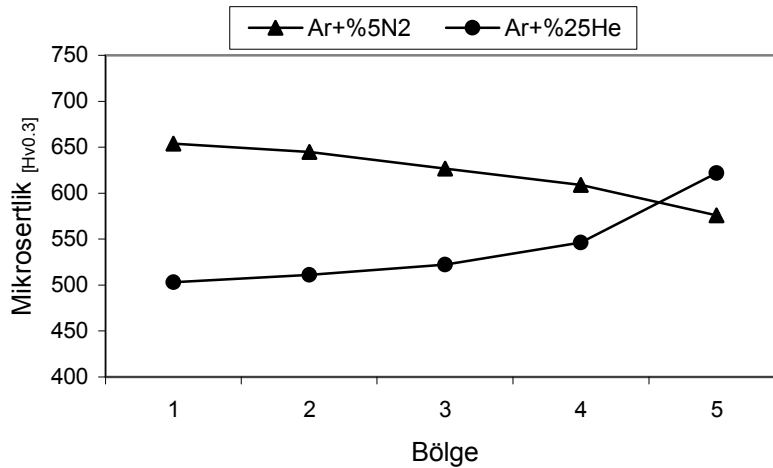
Şekil 5.19’da farklı koruyucu gazlarla ER 316L ilave metal ile birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri verilmiştir. Argon ve argon + %25He koruyucu gazları ile birleştirilen parçaların kaynak bölgelerinden elde edilen sertlik değerlerinde farklılık görünmemekle beraber argon gazında kapak paso ile kök paso arasındaki değerler daha homojen görülmektedir. Argon + %25He gazı ile birleştirmenin kapak pasosunda bir miktar sertlik yükselmesi gözlenmektedir. %5N<sub>2</sub> ilaveli argon koruyucu gazı ile kaynak edilen parçanın sertlik değerleri diğerlerine göre oldukça yüksek çıkmıştır. Bu sertliğin kapak ile kök paso arasında kalan kaynak merkezinde biraz daha yüksek çıktığı gözlenmektedir.





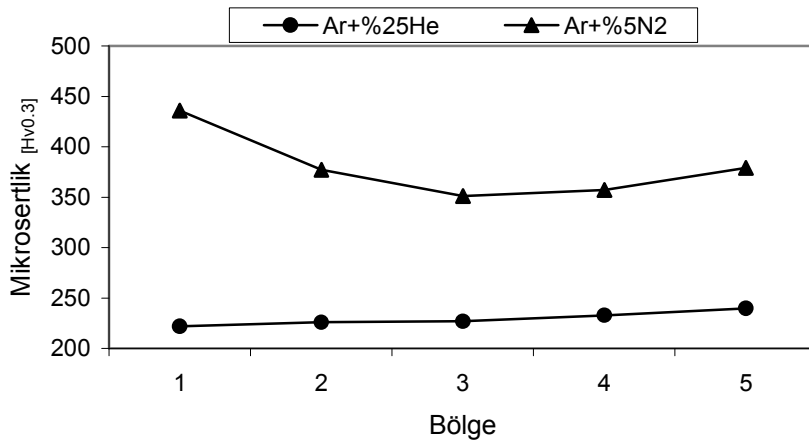
Şekil 5.19. TIG kaynak yöntemiyle AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ER 316L ilave metali ile birleştirilmesi sonucunda ölçülen kaynak metali mikrosertlik değerleri

Şekil 5.20’de Otomatik TIG kaynak makinesinde iki farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ilave metalsiz birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri verilmiştir. Yine burada %5 azot ilaveli argon gazı ile yapılan kaynakta en yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.



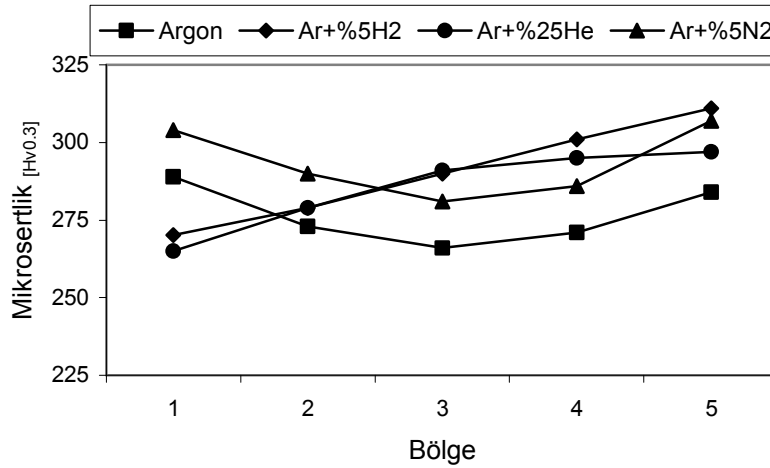
Şekil 5.20. Otomatik TIG kaynak makinesinde AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin iki farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ilave metalsiz birleştirilmesi sonucunda ölçülen kaynak metali mikrosertlik değerleri

Şekil 5.21’de Otomatik TIG kaynak makinesinde iki farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ilave metalsiz birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri verilmiştir. %5 azot ilaveli argon koruyucu gazı ile yapılan kaynakta elde edilen sertlik değerleri argon + %25He koruyucu gazı ile yapılan kaynağa göre oldukça yüksek çıkmıştır. Argon + %25He koruyucu gazı ile yapılan kaynakta kök paso hariç hemen hemen her bölgede homojen ve ana metale yakın değerler çıkmıştır.



Şekil 5.21. Otomatik TIG kaynak makinesinde AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin iki farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ilave metalsiz birleştirilmesi sonucunda ölçülen kaynak metali mikrosertlik değerleri

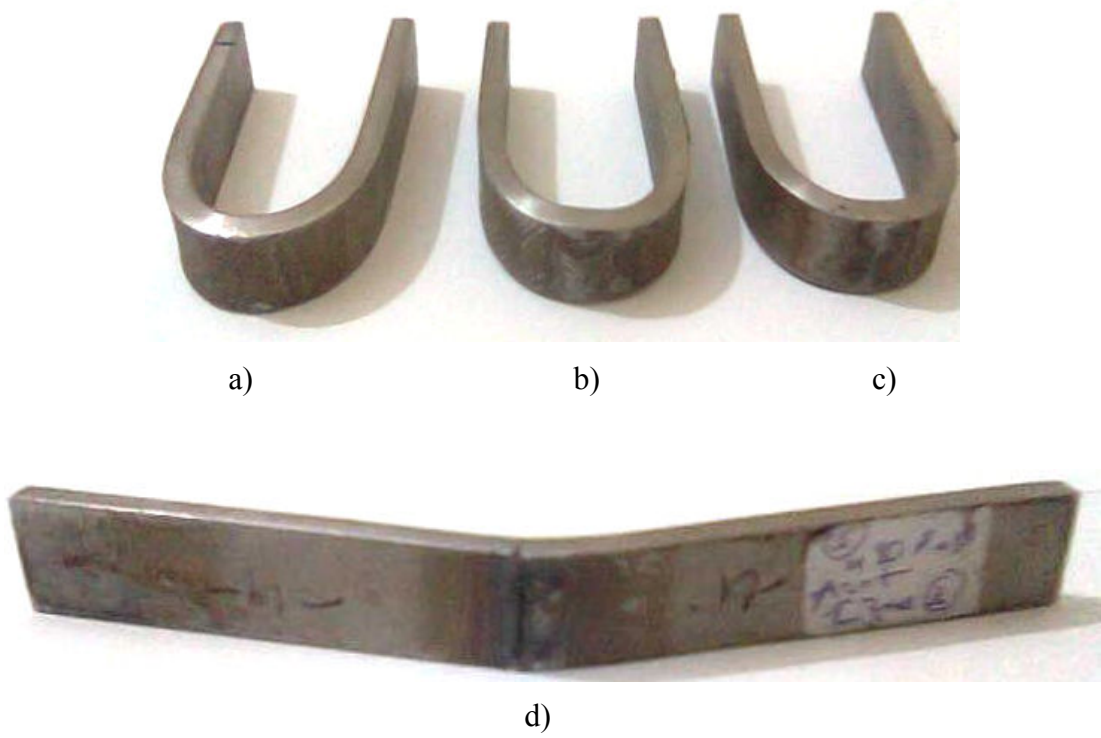
Şekil 5.22’de koruyucu gazlarla ER 2209 ilave metal ile birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri verilmiştir. Argon gazı ile yapılan birleştirmede kapak ve kök paso sertlik değerleri hemen hemen aynı olduğu gözlenmektedir. Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile birleştirmede kapak ve kök dikişi sertlikleri diğer koruyucu gazlarla yapılan kaynaklarda elde edilen sertliklere göre daha yüksek çıktığı gözlenmektedir. Kaynak merkezlerine gidildikçe argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile yapılan kaynağın sertliğinde düşüş gözlenmektedir. Bu düşüşün nedeni olarak azot gazının kuvvetli östenit yapıcı özelliğinden kaynaklanabilir.



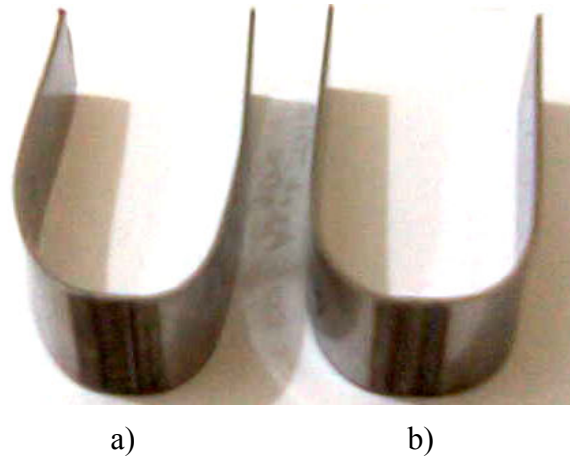
Şekil 5.22. TIG kaynak yöntemiyle AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak ER 2205 ilave metali ile birleştirilmesi sonucunda ölçülen kaynak metali mikrosertlik değerleri

#### 5.1.4. Eğme deneyi sonuçları

Çeşitli koruyucu gazlar ve TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çelik parçalara uygulanan eğme deneyi sonrasında numunelerin fotoğrafları Şekil 5.23 ve 5.24’de verilmiştir. Uygulanan eğme deneyi sonucunda kaynak dikişlerinde argon + %5N<sub>2</sub> atmosferinde birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzeme dışında diğer koruyucu gaz altında yapılan birleştirmelerde gözle görülür çatlak, boşluk vb gibi herhangi bir fiziksel bozuklukla karşılaşmamıştır. Bahsedilen malzeme eğme deneyi esnasında az bir şekil değiştirmeden sonra çatlak meydana gelmiş ve deney sonlandırılmıştır.

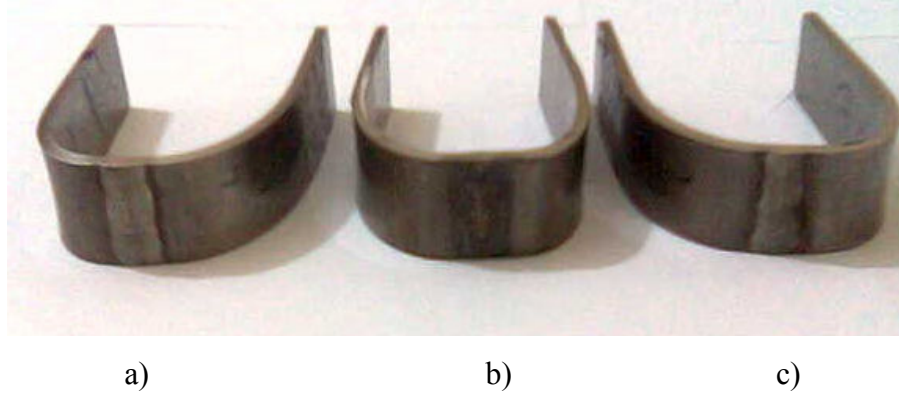


Şekil 5.23. TIG yöntemi ve a) Argon b) Argon + %25He c) Argon + %5H<sub>2</sub> d) Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazları ile ER 430LNb ilave metali kullanılarak kaynak yapılmış AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları

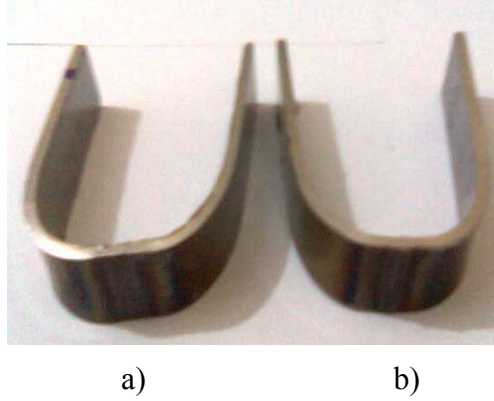


Şekil 5.24. Otomatik TIG yöntemi ve a) Argon + %25He b) Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazları ile ilave metalsiz kaynak yapılmış AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları

Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da sırası ile çeşitli koruyucu gazlar altında el ile ve otomatik TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik malzemelere uygulanan eğme deneyi sonrasındaki fotoğrafları görülmektedir. Eğme deneyi sonrasında bu tür malzemelerde herhangi bir fiziksel bir bozuklukla karşılaşılmamıştır.



Şekil 5.25. TIG yöntemi ve a) Argon b) Argon + %25He c) Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazları ile ER 316L ilave metali kullanılarak kaynak yapılmış AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları



Şekil 5.26. Otomatik TIG yöntemi ve a) Argon + %25He b) Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazları ile ilave metalsiz kaynak yapılmış AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları

## 5.2. Mikroyapı incelemeleri

### 5.2.1. Optik mikroskop aydınlık alan incelemeleri

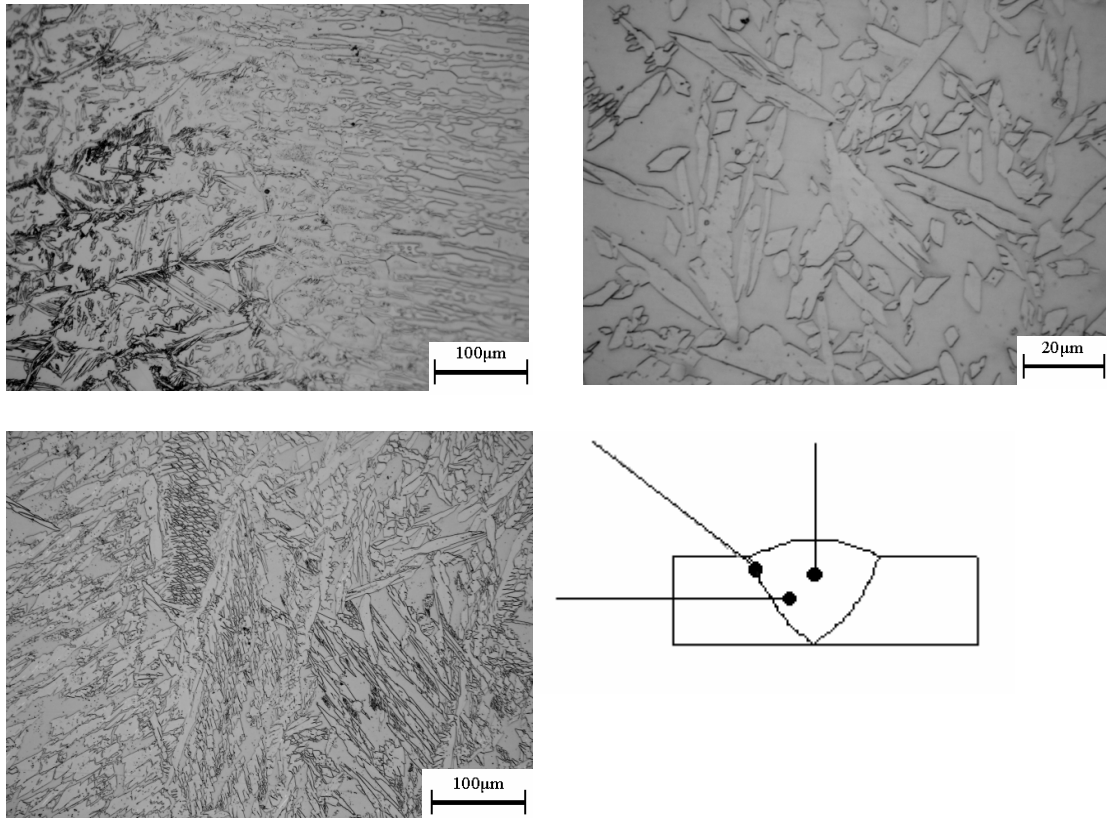
AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik malzemeler ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile argon, argon + %25He, argon + %5H<sub>2</sub> ve argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı kullanılarak birleştirilen parçalardan elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 5.27–5.30’de verilmektedir. Şekillerden görüldüğü kadarıyla kullanılan koruyucu gaz türü kaynak metali, geçiş bölgesi ve ITAB üzerinde etkilidir. Koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında kaynak bölgesinde ferrit yönlenmeleri ve ince taneler görülürken, Argon + %5H<sub>2</sub> kullanıldığında ferrit taneleri büyümekte östenit bölgesi biraz daralmaktadır. Geçiş bölgelerinde ise tane katılaşma esnasında belirli yönlenmeler görülmektedir (Şekil 5.29). Koruyucu gaz olarak argon + %25He kullanıldığında kaynak bölgesinde ince ve yönlenmiş ferrit taneleri bulunmaktadır. Koruyucu gaz olarak argon + % 5N<sub>2</sub> kullanıldığında ise tanelerin daha ince olduğu ve N<sub>2</sub> gazının östenit yapıcı olduğundan östenit bölgesinin genişlediği görülmektedir (Şekil 5.30). Elde edilen görüntüler daha önceki çalışmalarda elde edilen mikroyapı çalışmalarıyla uyumluluk göstermektedir [45, 46, 47, 48] .

Şekil 5.31–5.34’de çeşitli koruyucu gazlar kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında önemli bir problem olarak tane büyümesi olmaktadır. Taneler kaynak metalinden başlayarak ana metale doğru irileşmekte olduğu görülmektedir. Özellikle koruyucu gaz olarak argon + %5H<sub>2</sub> kullanıldığında kaynak metalinde tane irileşmesi daha fazla olmaktadır. Bu durum daha önceki çalışmalarla uyumaktadır [36, 49, 50, 51, 52]. Argon + %5N<sub>2</sub> kullanılarak yapılan birleştirmede diğer parçalardan farklı bir kaynak metali görüntüsü göstermiştir (Şekil 5.34).

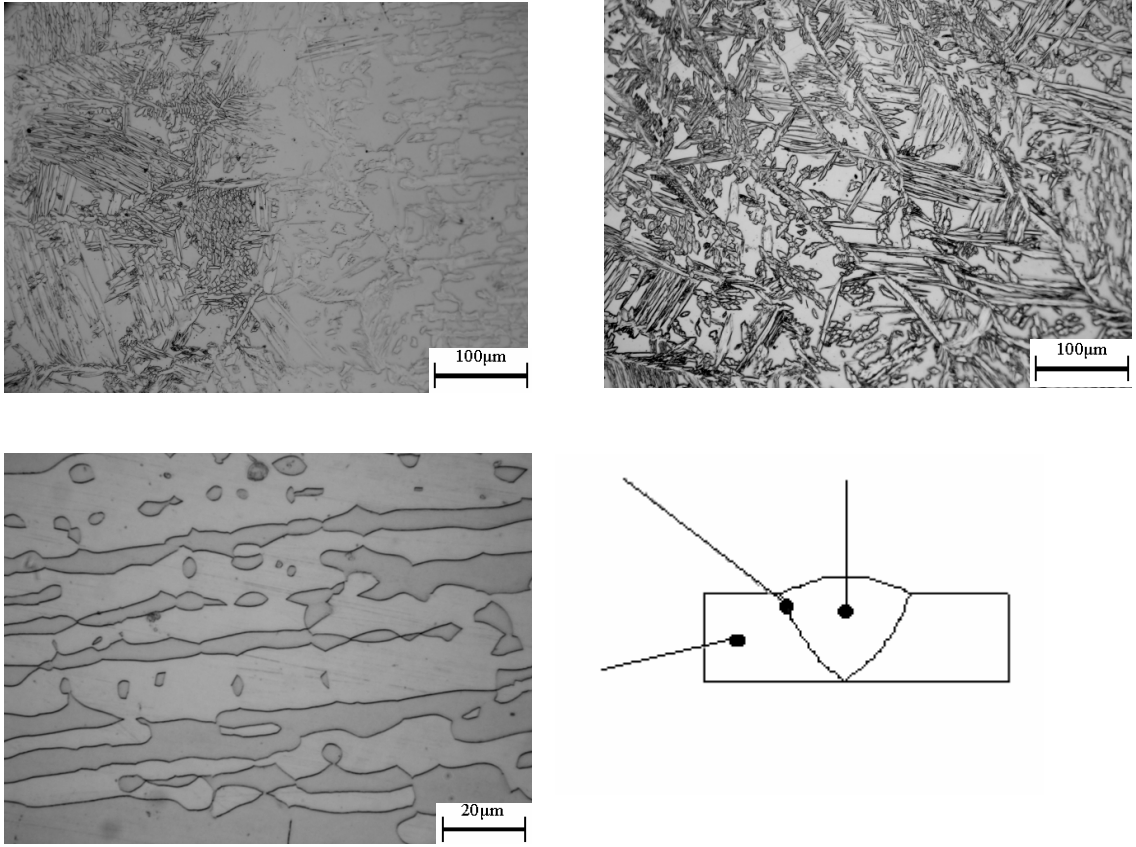
Şekil 5.35 ve Şekil 5.36’da sırasıyla ilave metal kullanmadan otomatik TIG kaynak makinesinde yapılan birleştirmede elde edilen görüntüler önceki görüntülerden oldukça farklıdır. Bu farklılıkları nedeni olarak otomatik yöntemde kaynağın hızlı olması ve gaz çeşidinden kaynaklanabilir.

Şekil 5.37–5.39’da farklı koruyucu gazlar ve ER 316L östenitik ilave metal kullanılarak birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapıları görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi koruyucu gazın mikroyapıya etkisi vardır. Özellikle geçiş bölgesinde tane irileşmeleri olmaktadır. Mikroyapılar daha önceki çalışma ile uyumludur [53].

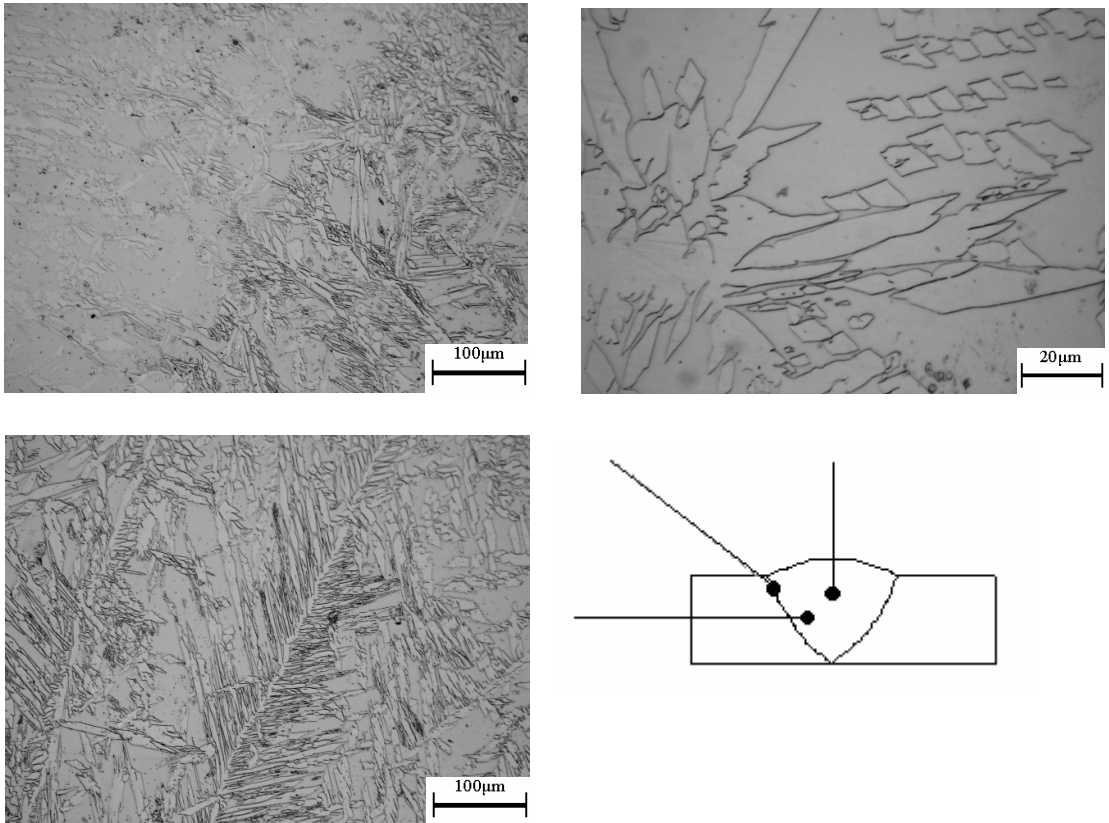
Şekil 5.40–5.41 otomatik TIG kaynak makinesinde ilave metalsiz birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüleri görülmektedir. Otomatik kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde görülen yapılar bir birinden farklıdır.



Şekil 5.27. Argon atmosferi altında ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları

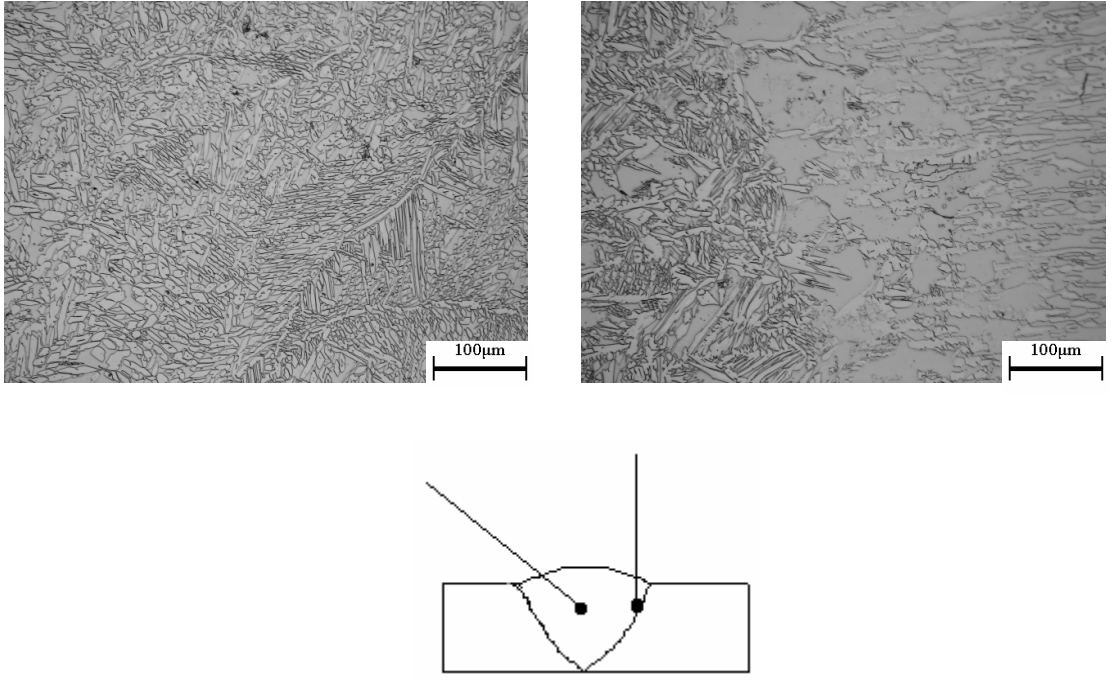


Şekil 5.28. Argon + %25He atmosferi altında ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları

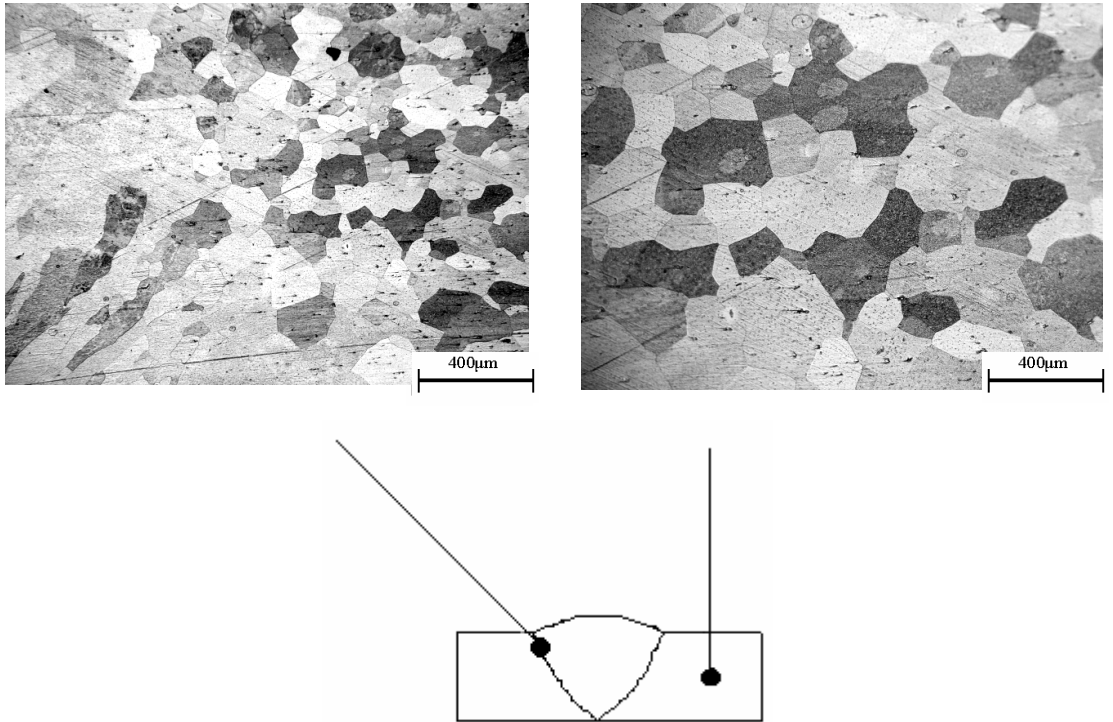


Şekil 5.29. Argon + %5H<sub>2</sub> atmosferi altında ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları

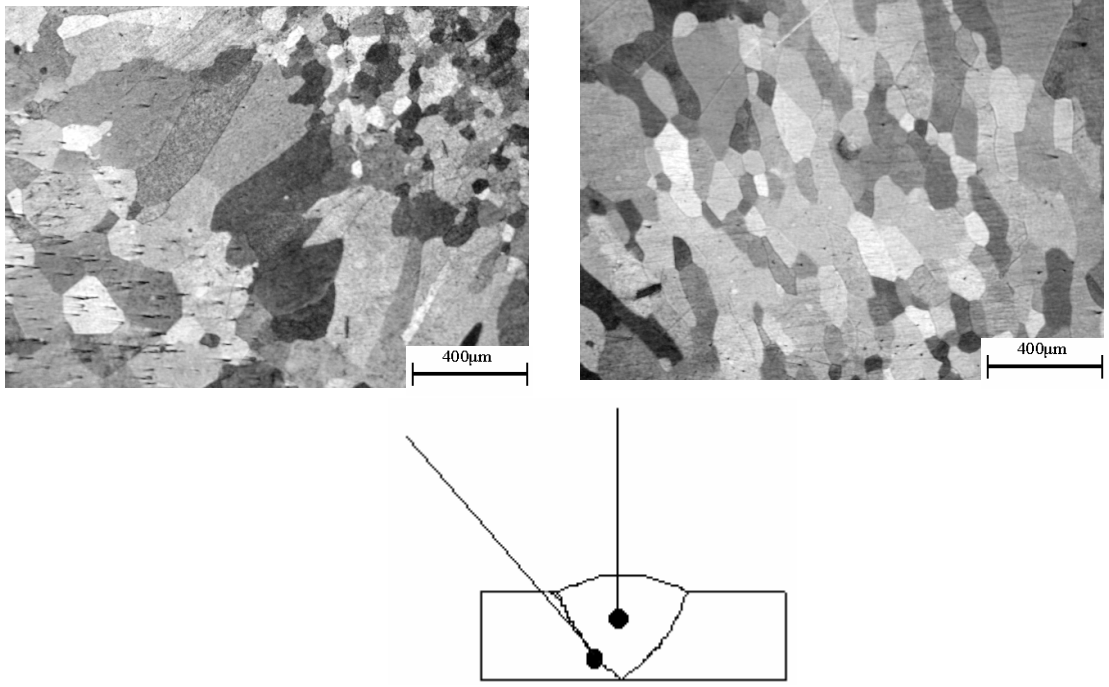




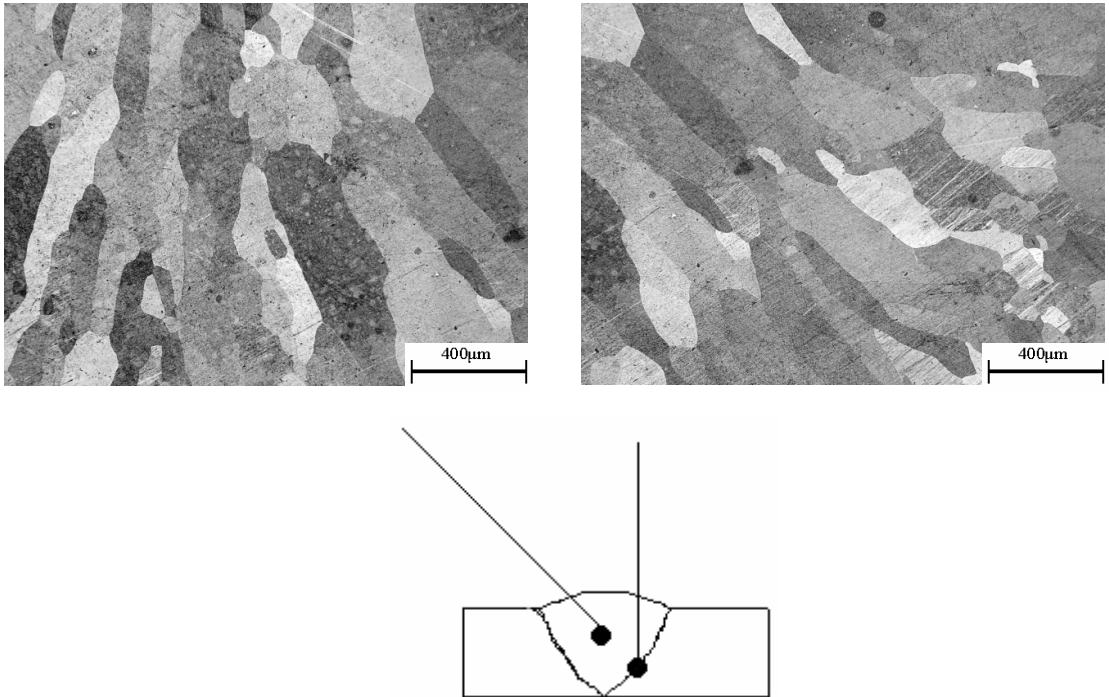
Şekil 5.30. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



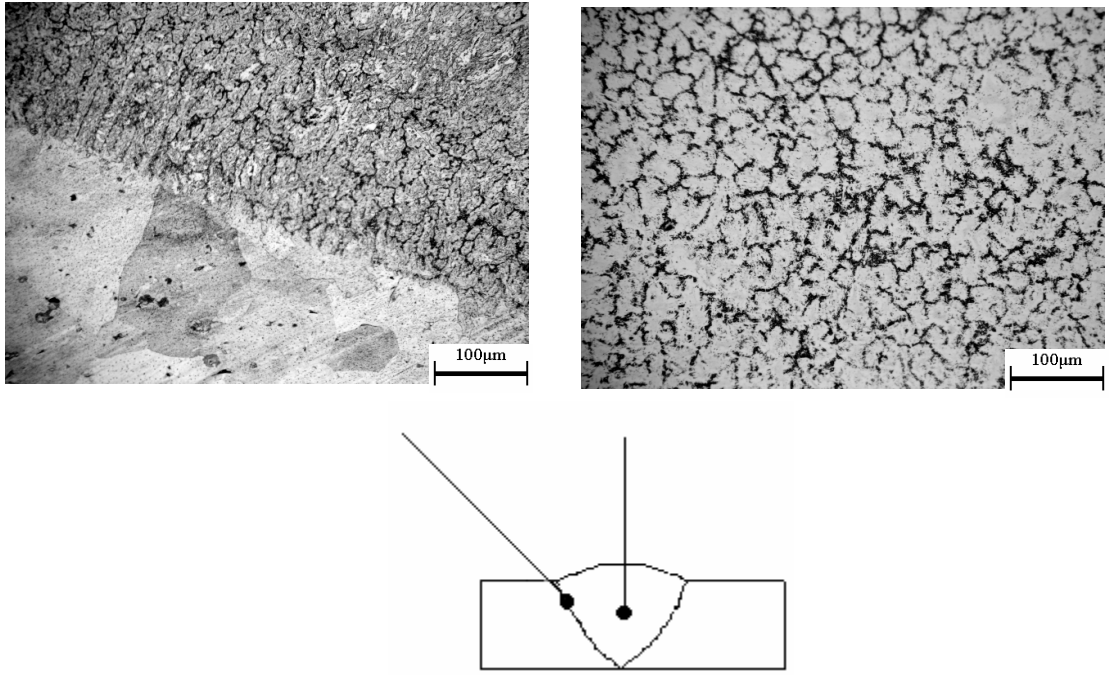
Şekil 5.31. Argon atmosferi altında ER 430LNb ilave metali kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



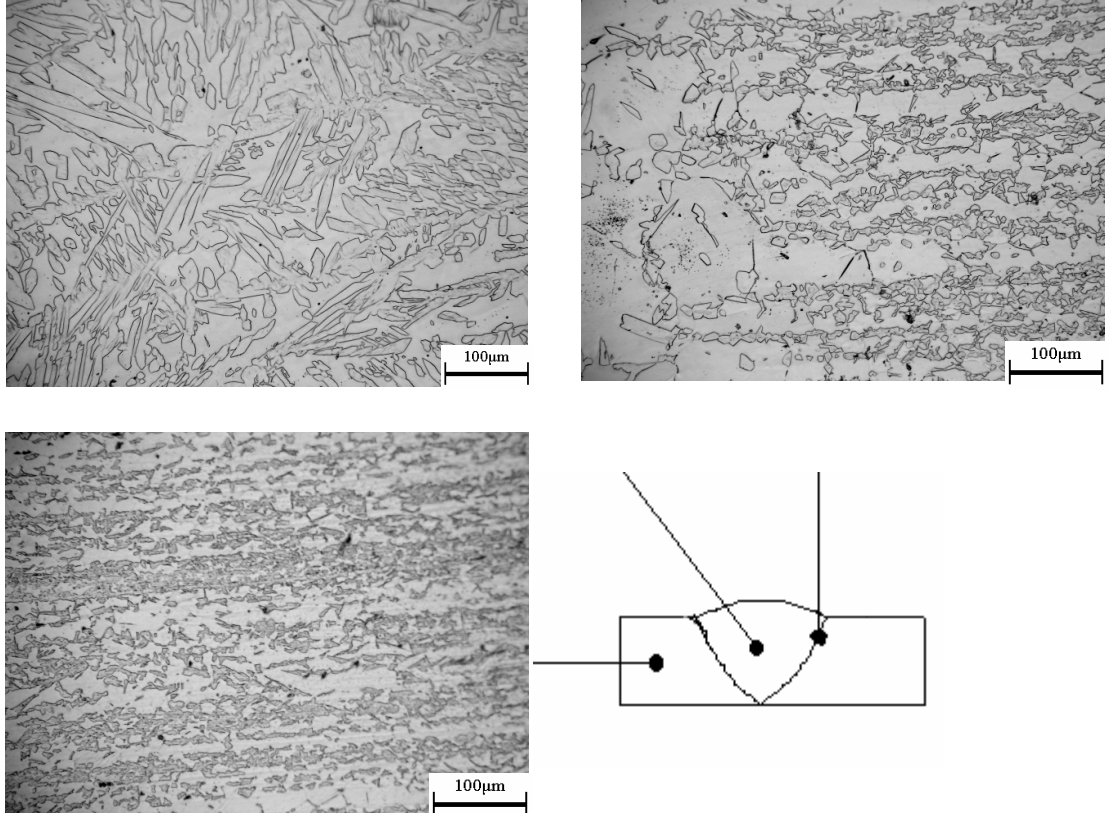
Şekil 5.32. Argon + %25He atmosferi altında ER 430LNb ilave metali kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



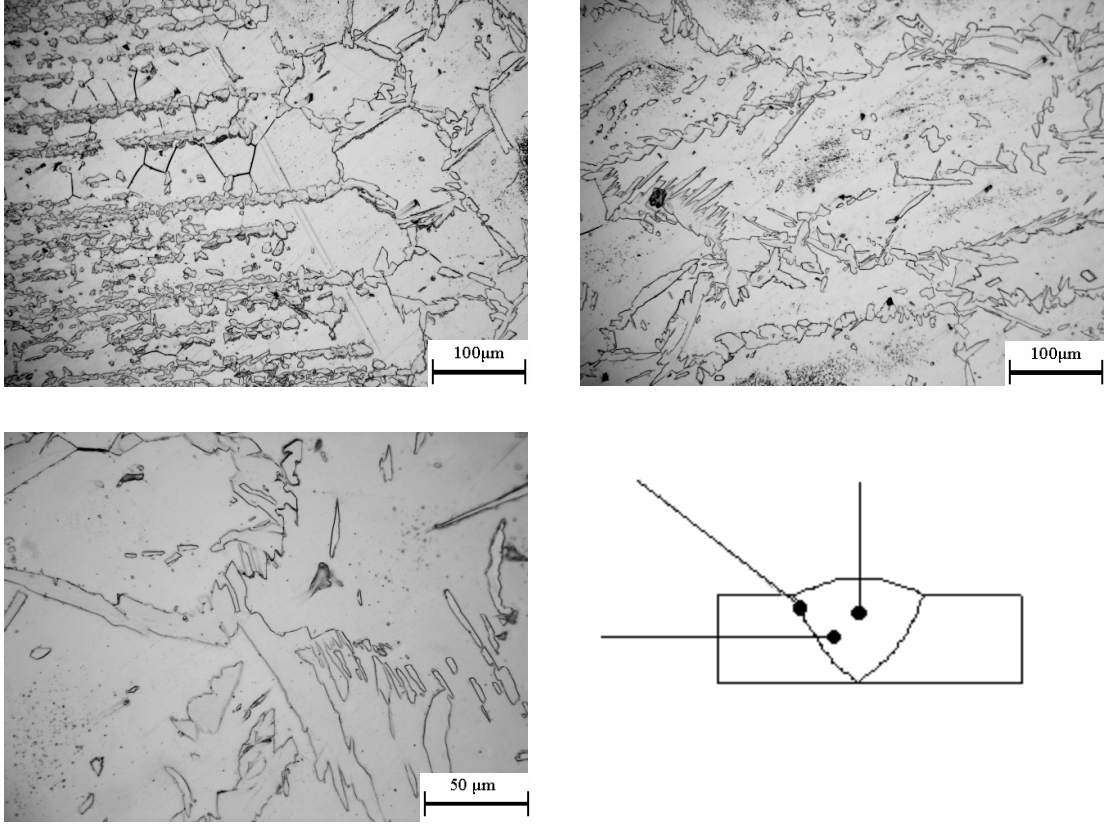
Şekil 5.33. Argon + %5H<sub>2</sub> atmosferi altında ER 430LNb ilave metali kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



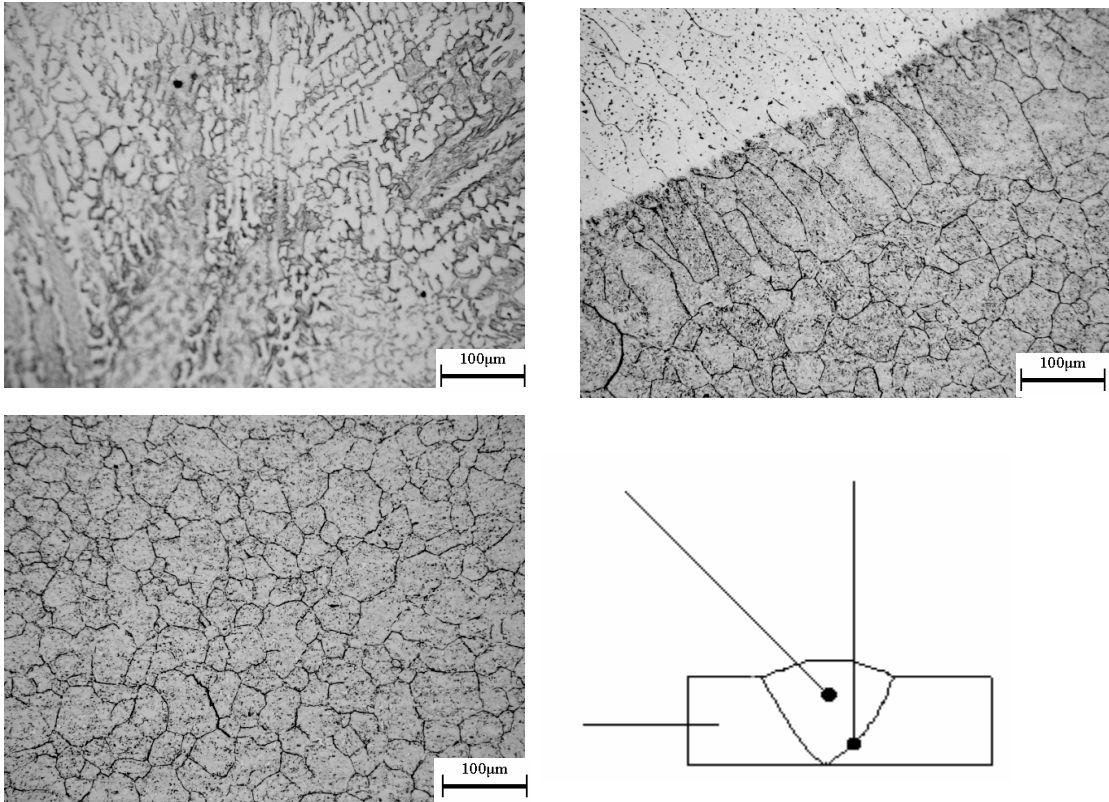
Şekil 5.34. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 430LNb ilave metali kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



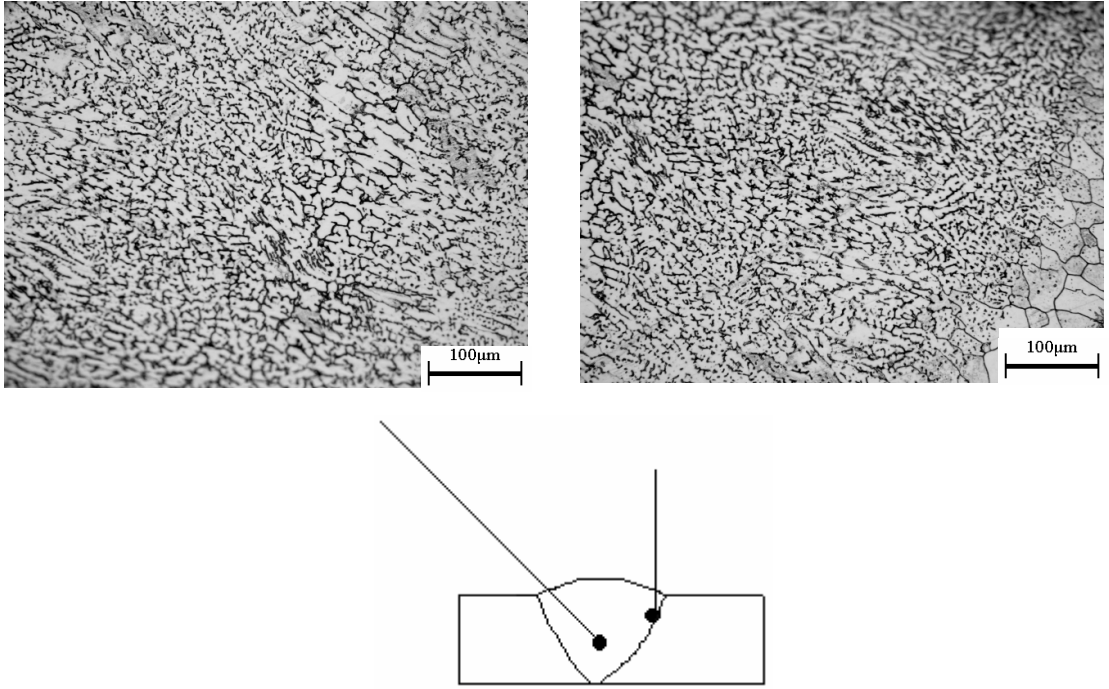
Şekil 5.35. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



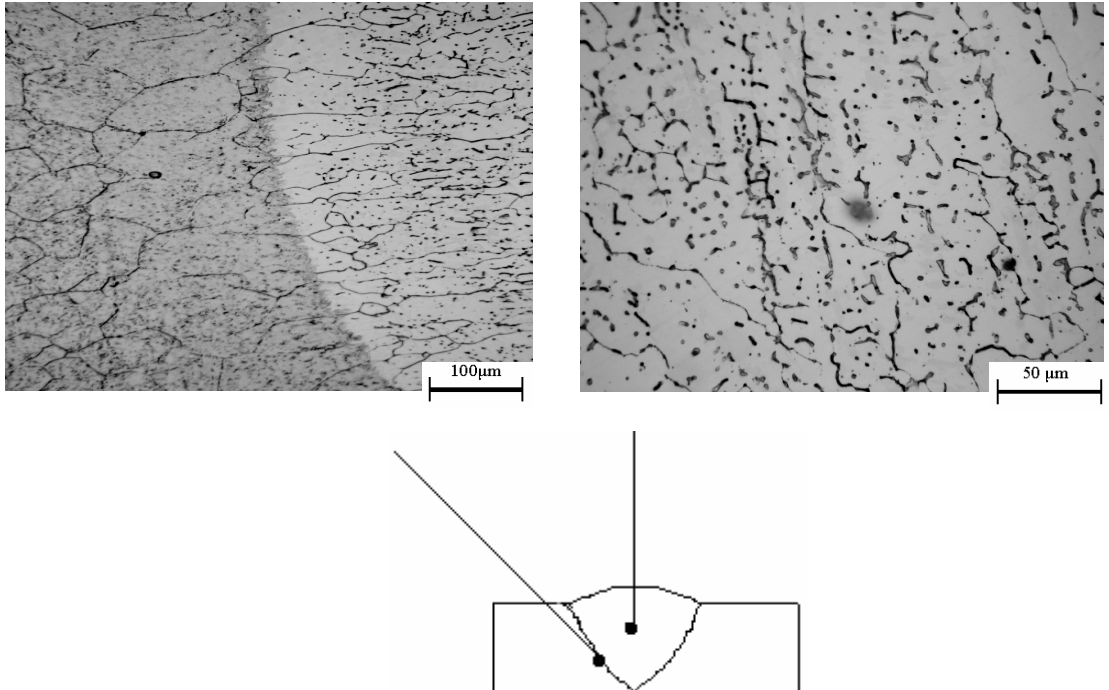
Şekil 5.36. Argon + %25He atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



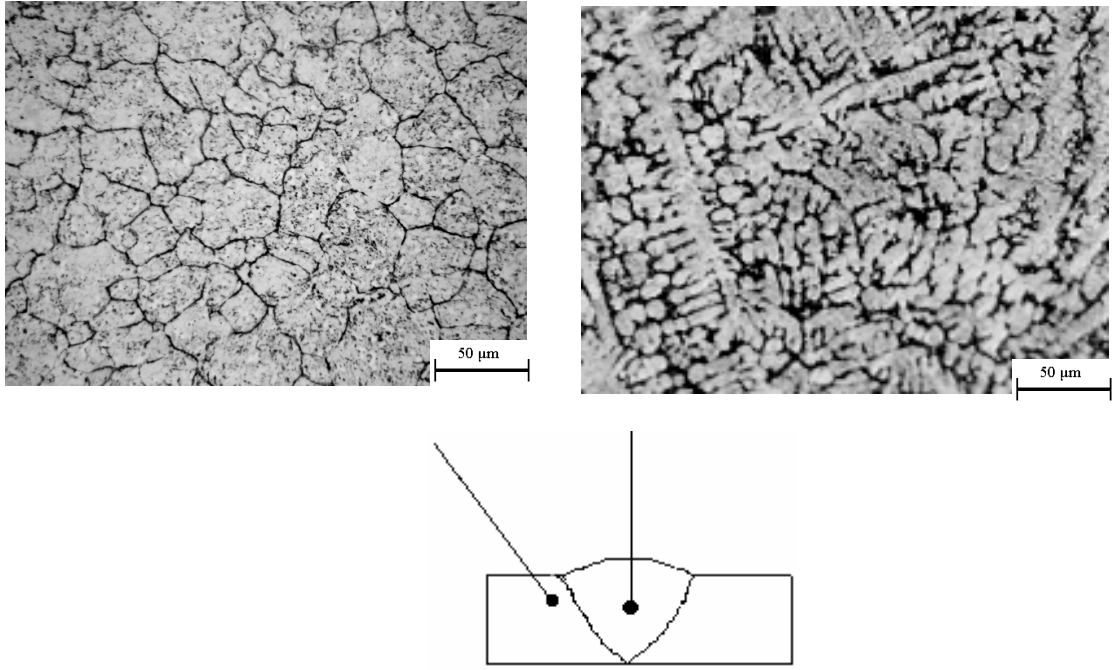
Şekil 5.37. Argon atmosferi altında ER 316L ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



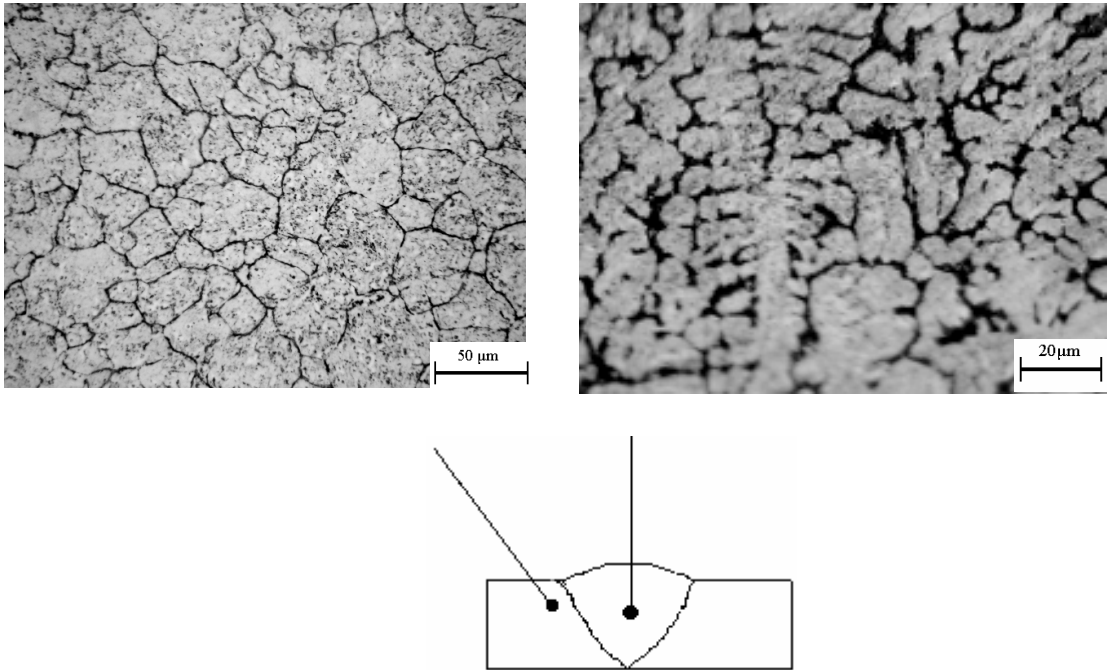
Şekil 5.38. Argon + %25He atmosferi altında ER 316L ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



Şekil 5.39. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 316L ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



Şekil 5.40. Argon + %25He atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



Şekil 5.41. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları

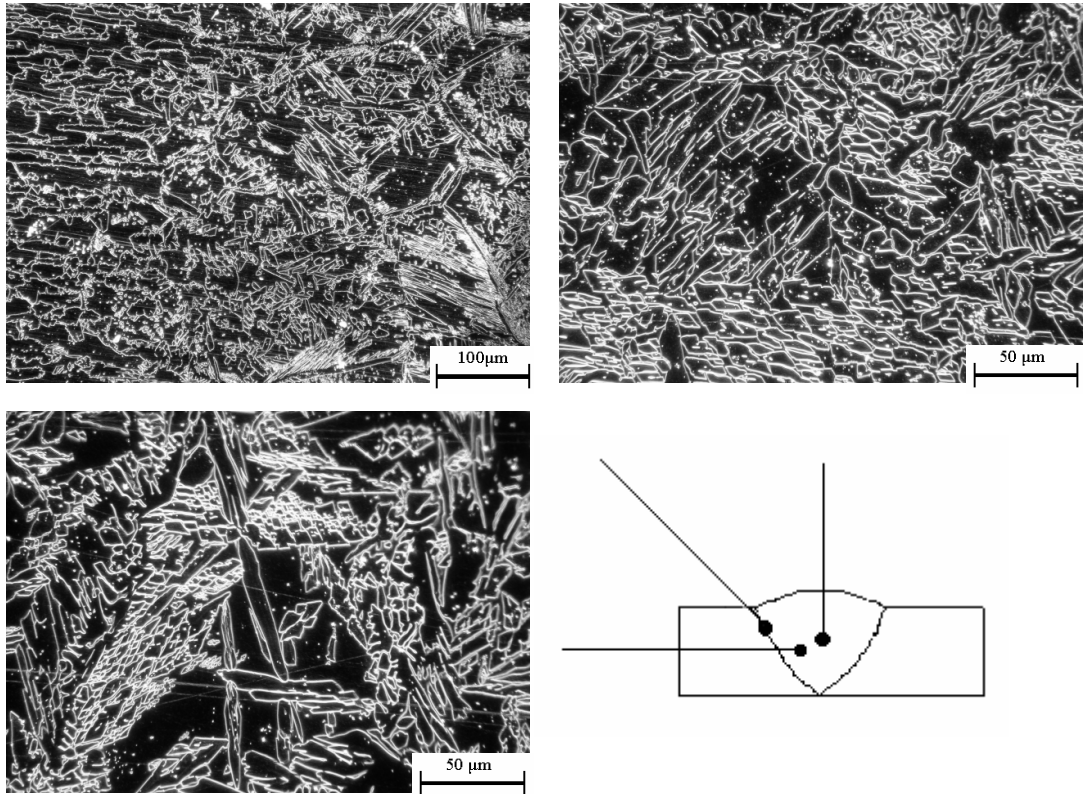
### 5.2.2. Optik mikroskop karanlık alan incelemeleri

Şekil 5.42–5.45’de farklı koruyucu gazlar altında yapılan AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik parçaların optik mikroskopta karanlık alan incelemeleri görülmektedir. Özellikle kaynak metali görüntülerindeki farklar daha belirgin olarak görülmektedir.

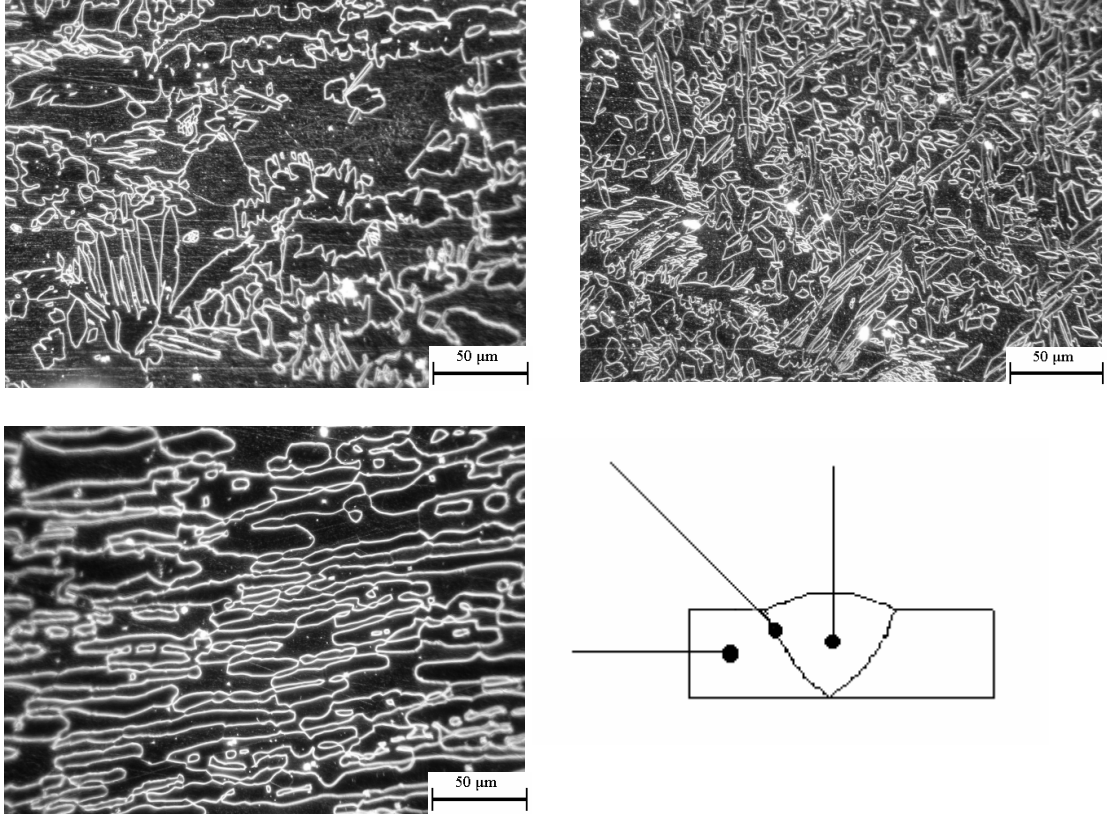
Şekil 5.46–5.47’de birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzemelerin karanlık alan mikroyapıları görülmektedir.

Şekil 5.48 ve 5.50’de otomatik TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilen AISI 430 ferritik ve AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin mikroyapıları görülmektedir.

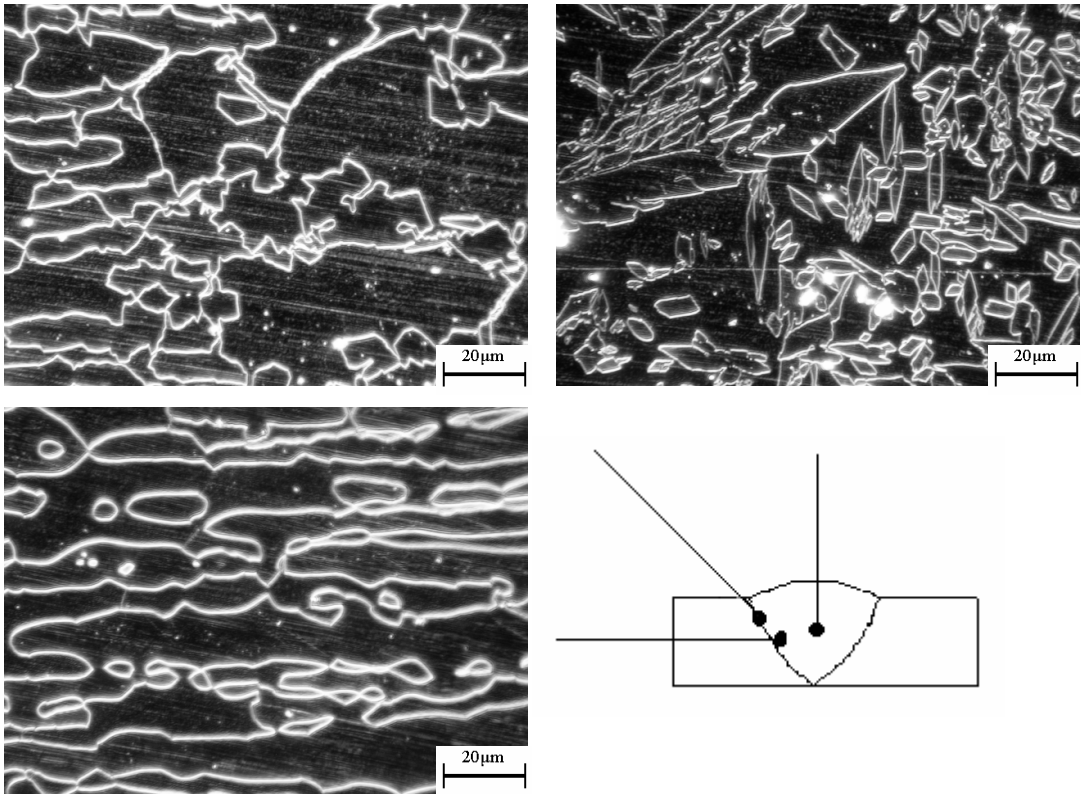
Şekil 5.51–5.53’de ER 316L ilave metal ve çeşitli koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik malzemelerin mikroyapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 5.42. Argon atmosferi altında ER 2209 ilave metal kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları

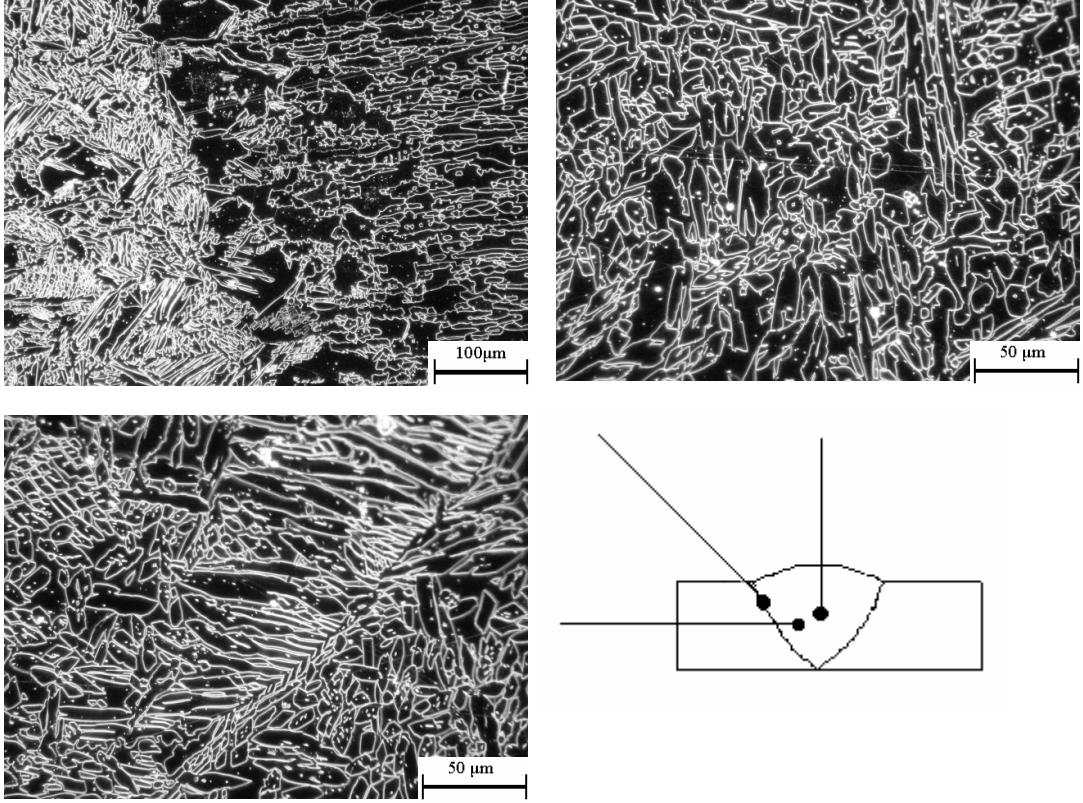


Şekil 5.43. Argon + %25He atmosferi altında ER 2209 ilave metal kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları

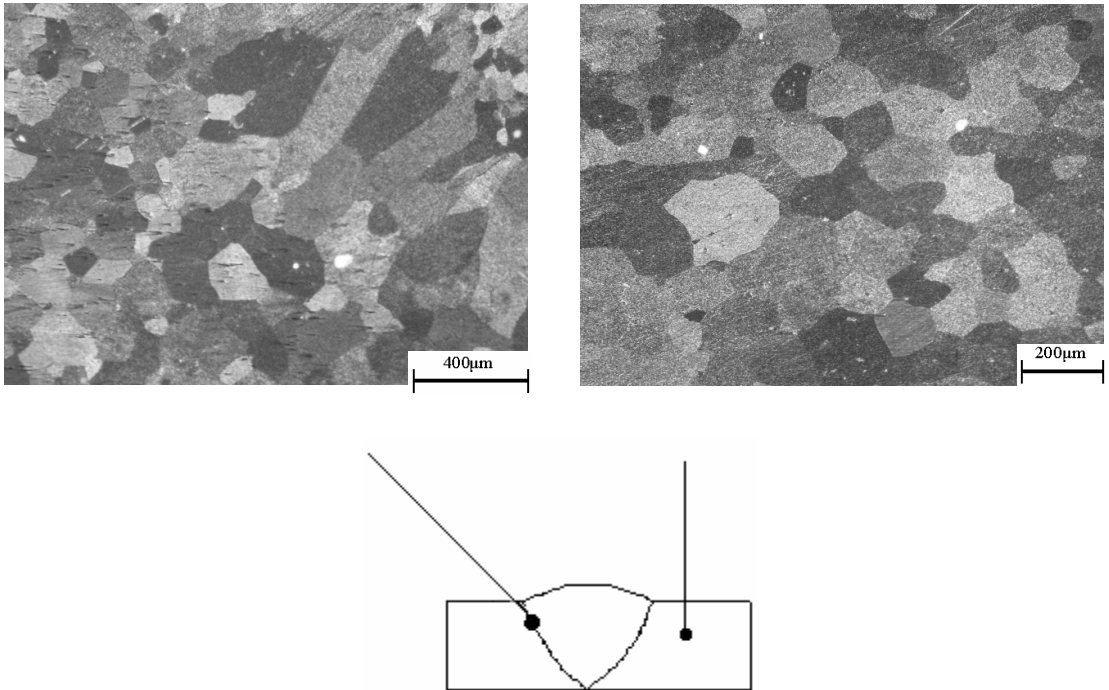


Şekil 5.44. Argon + %5H<sub>2</sub> atmosferi altında ER 2209 ilave metal kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları

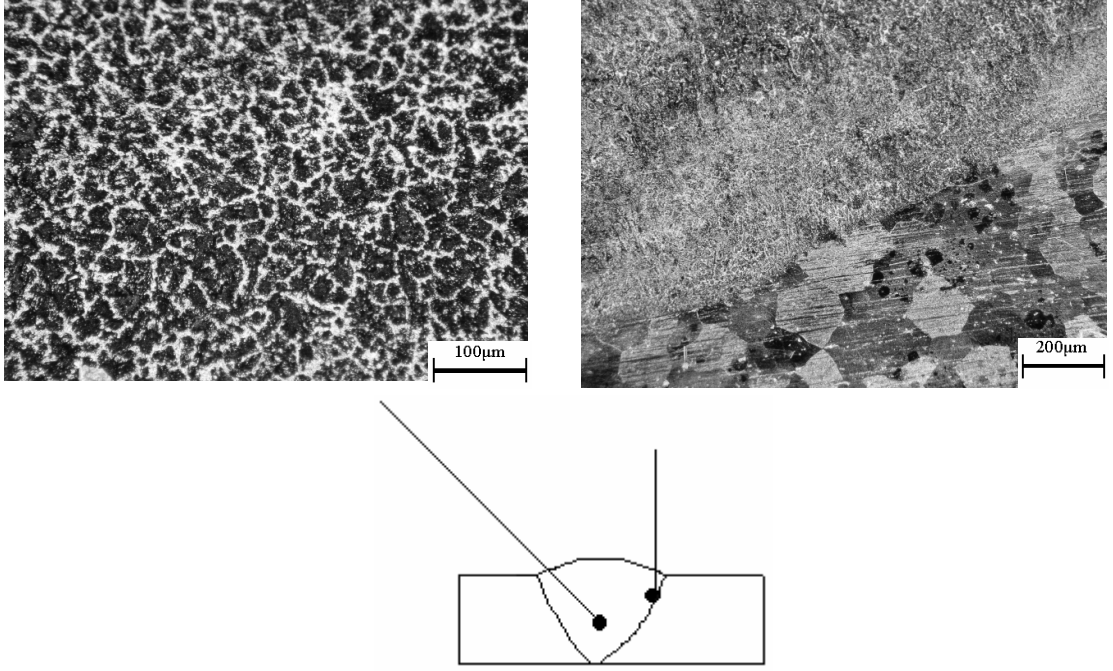




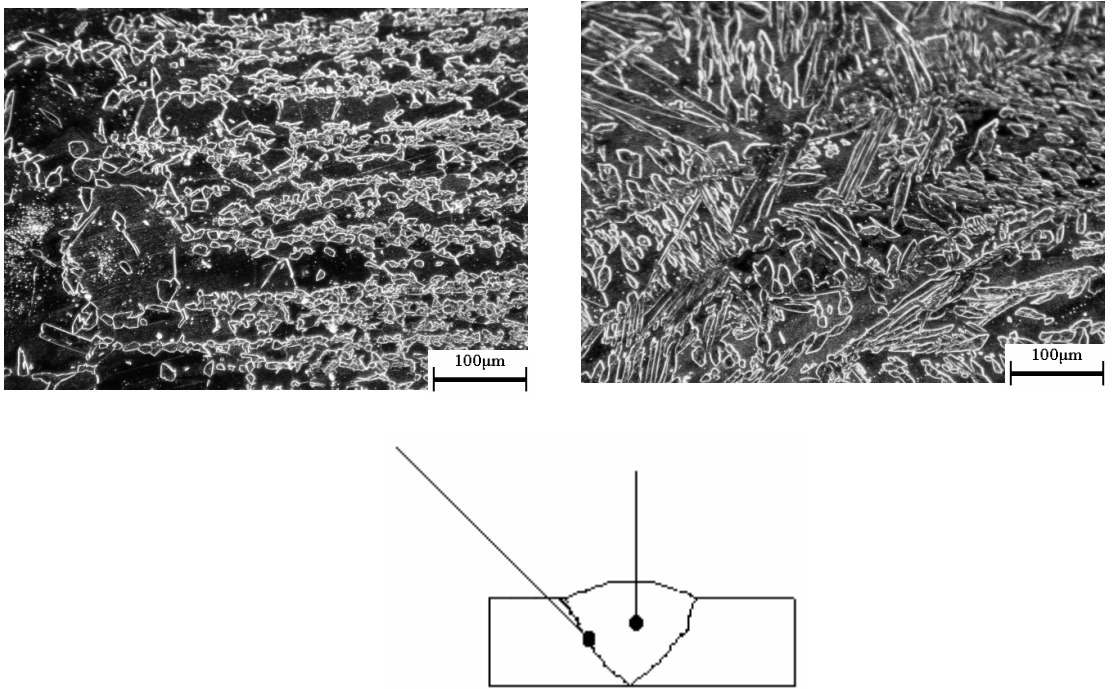
Şekil 5.45. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 2209 ilave metali kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları



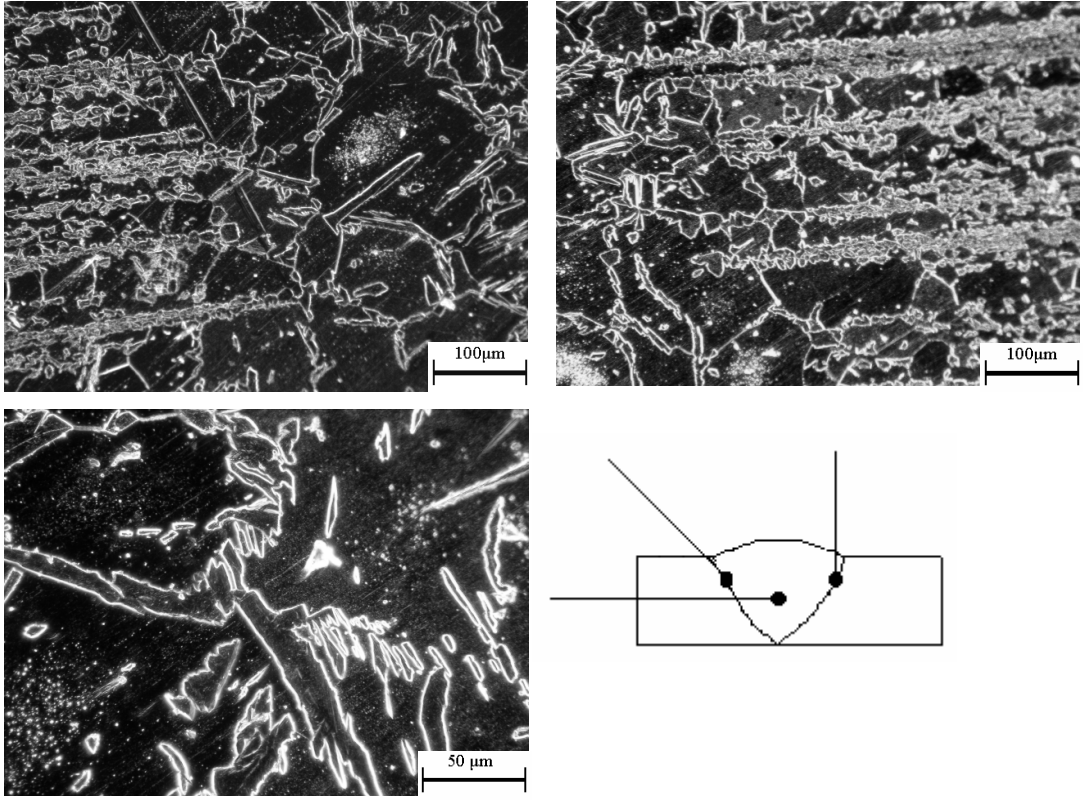
Şekil 5.46. Argon + %25He atmosferi altında ER 430LNb ilave metal kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları



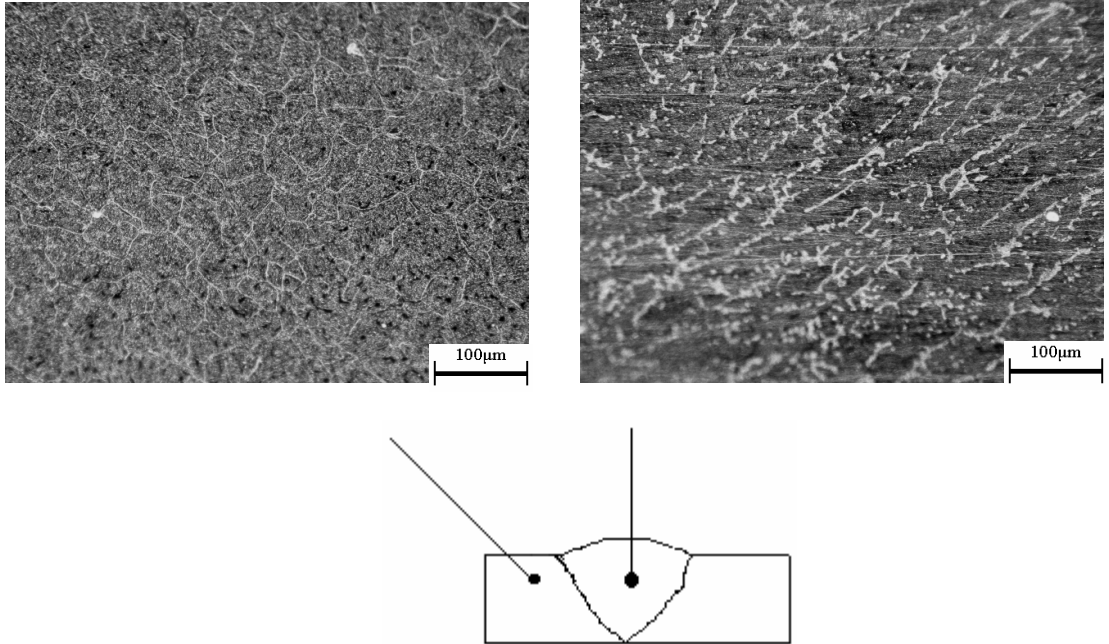
Şekil 5.47. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 430LNb ilave metal kullanarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları



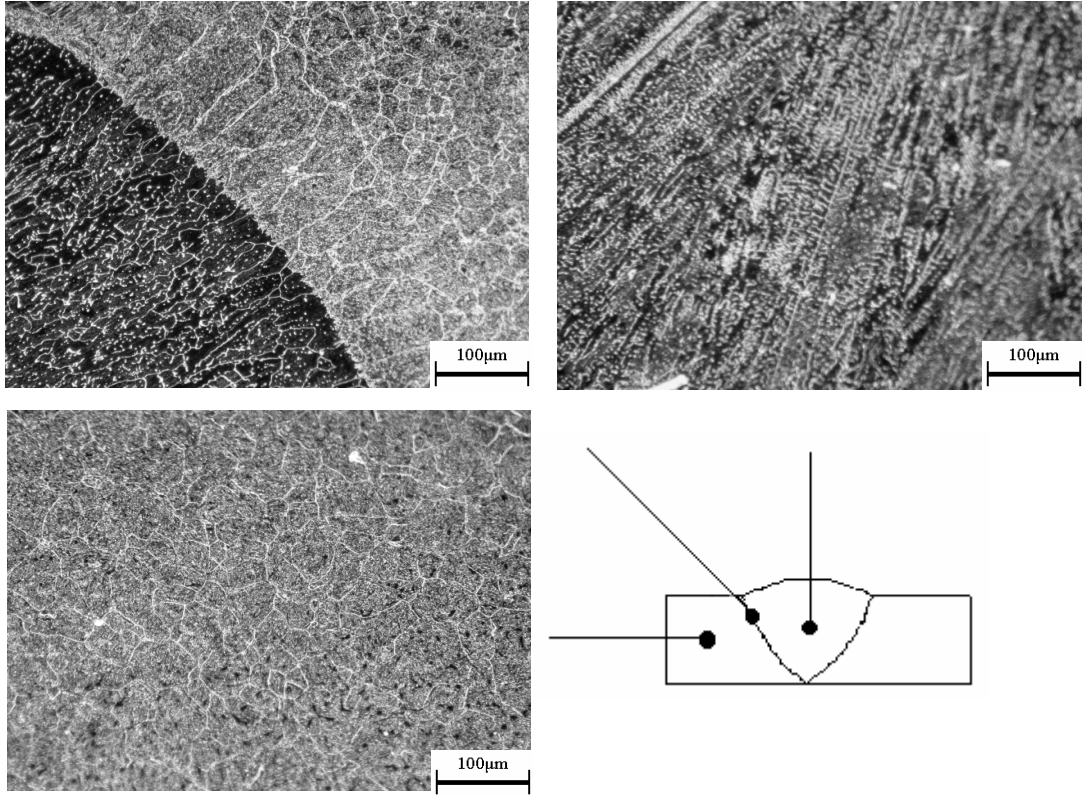
Şekil 5.48. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları



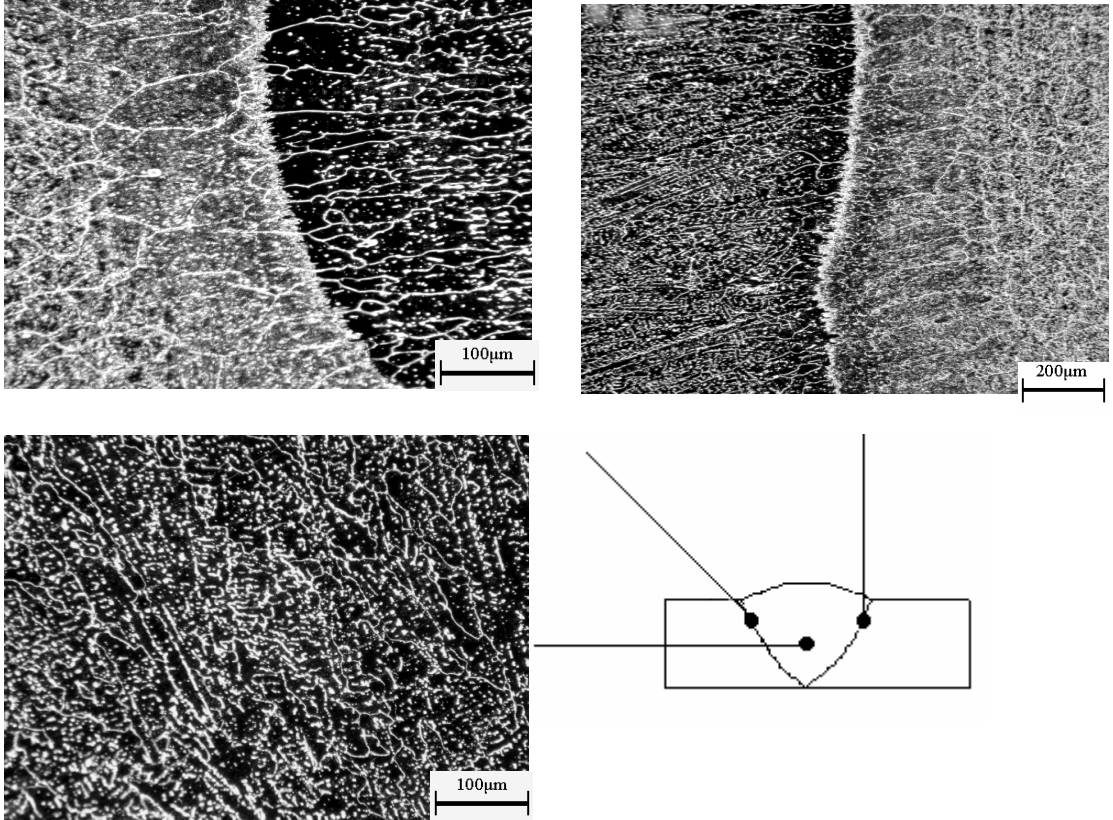
Şekil 5.49. Argon + %25He atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları



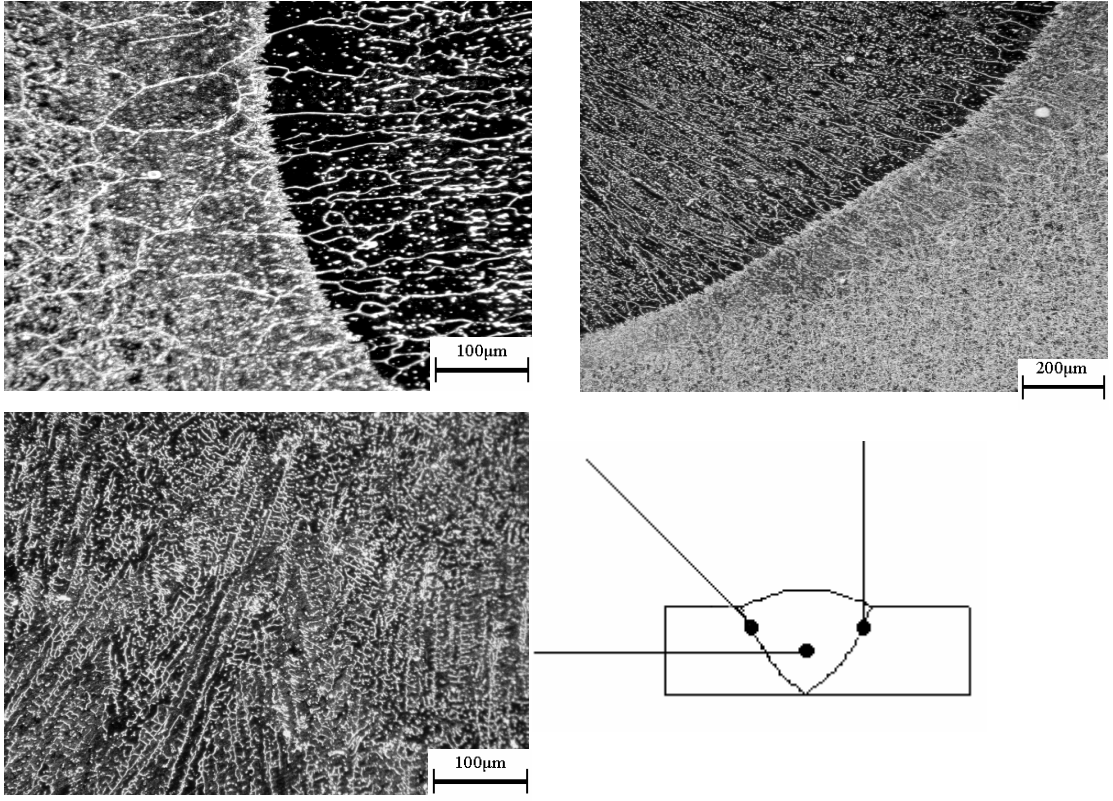
Şekil 5.50. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ilave metal kullanmaksızın otomatik TIG kaynak makinesinde birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları



Şekil 5.51. Argon + %25He atmosferi altında ER 316L ilave metal ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları



Şekil 5.52. Argon atmosferi altında ER 316L ilave metal ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları

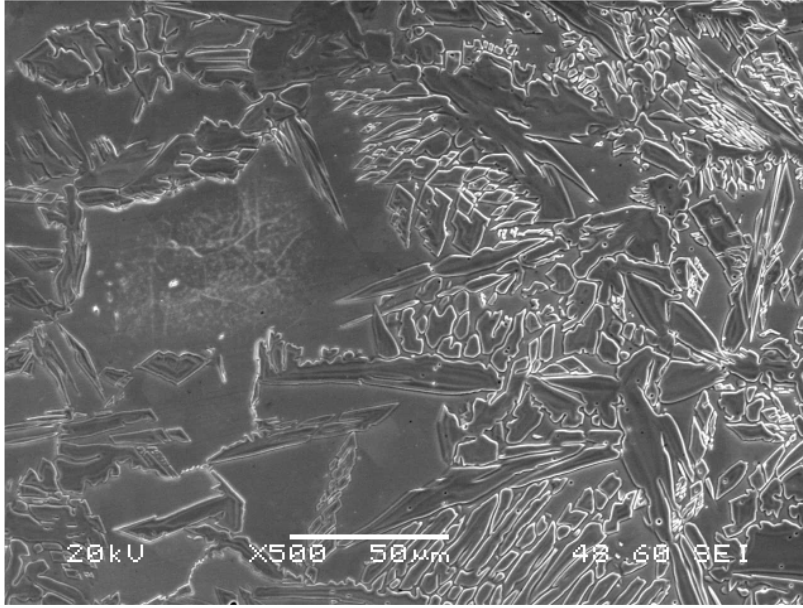


Şekil 5.53. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 316L ilave metal ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı fotoğrafları

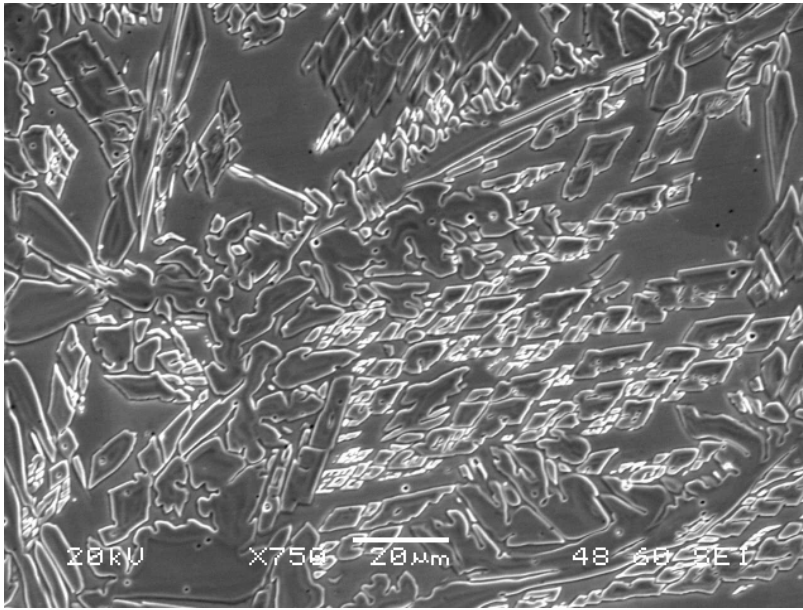
### 5.3. SEM Mikroyapı İncelemeleri

Bu çalışmada deney parçaları daha önceden belirtildiği gibi, çeşitli gaz kompozisyonları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirilen malzemelerden seçilen numunelere SEM mikroyapı incelemeleri ve EDS analizleri uygulanmıştır.

Şekil 5.54–5.57’de çeşitli koruyucu gaz kompozisyonları ve ER 2209 dubleks ilave metali kullanılarak birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliklerin SEM mikroyapı incelemeleri görülmektedir. Şekillerden görüldüğü kadarı ile birleştirilen numunelerde kullanılan koruyucu gazın numunelerde kaynak metalini ve geçiş bölgesini etkilemektedir. Özellikle tane büyümesi ve yönlenmeler açısından etkilidir. Koruyucu gaz olarak argon + %25He atmosferi kullanılan numunelerde geçiş bölgesinde tane yönlenmeleri farklılaşmaktadır (Şekil 5.55 a). Argon + %5H<sub>2</sub> koruyucu gazı kullanıldığında ise yer yer ince tanelerle beraber ince uzun tane yönlenmeleri görülmektedir (Şekil 5-56 b). Tane şekil farklılıkları ve yönlenmeleri koruyucu gaz olarak argon+%5N<sub>2</sub> kullanıldığında görülmektedir. (Şekil 5-57 a ve b).

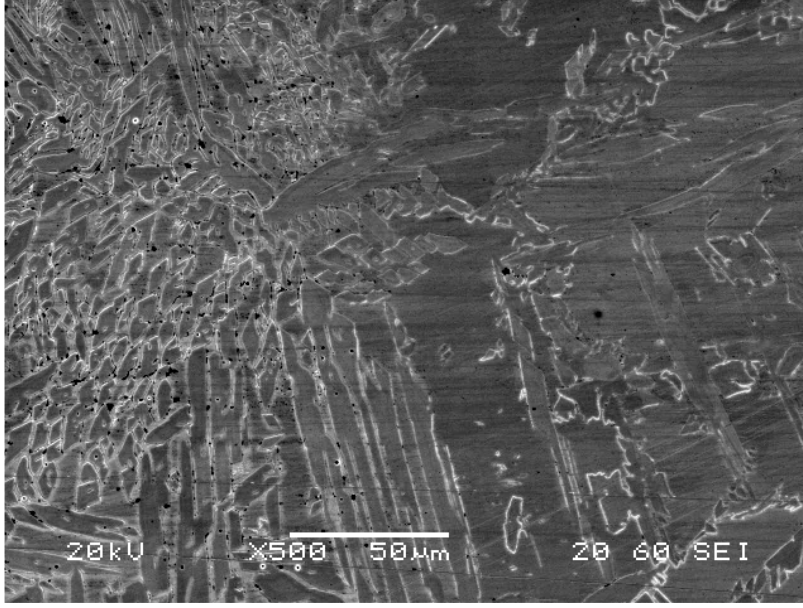


a)

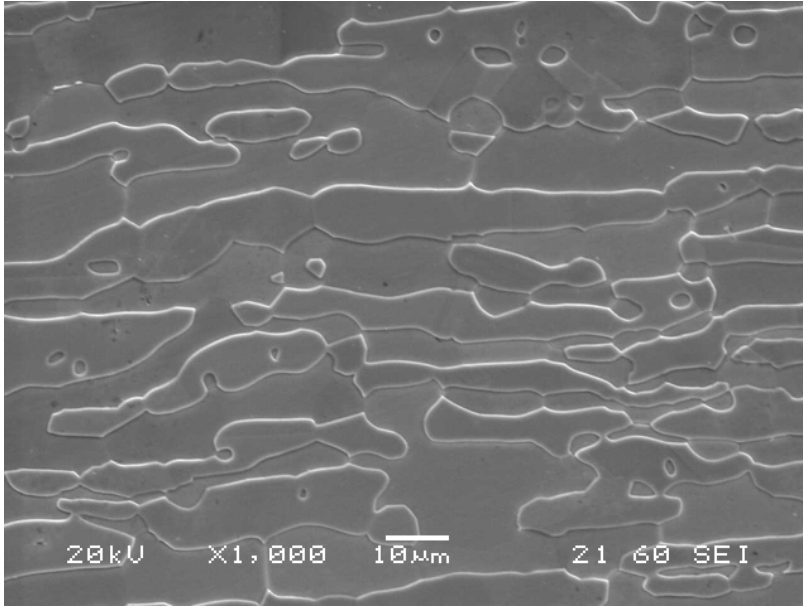


b)

Şekil 5.54. Argon atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali



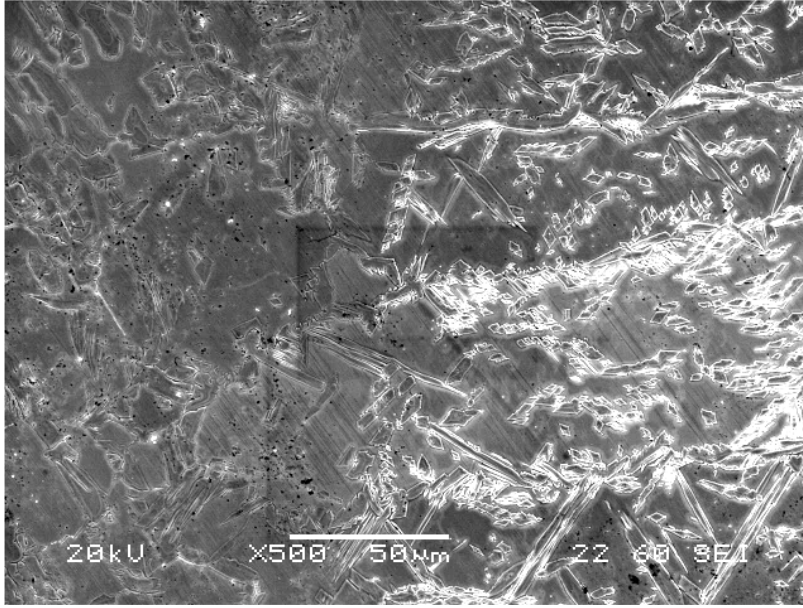
a)



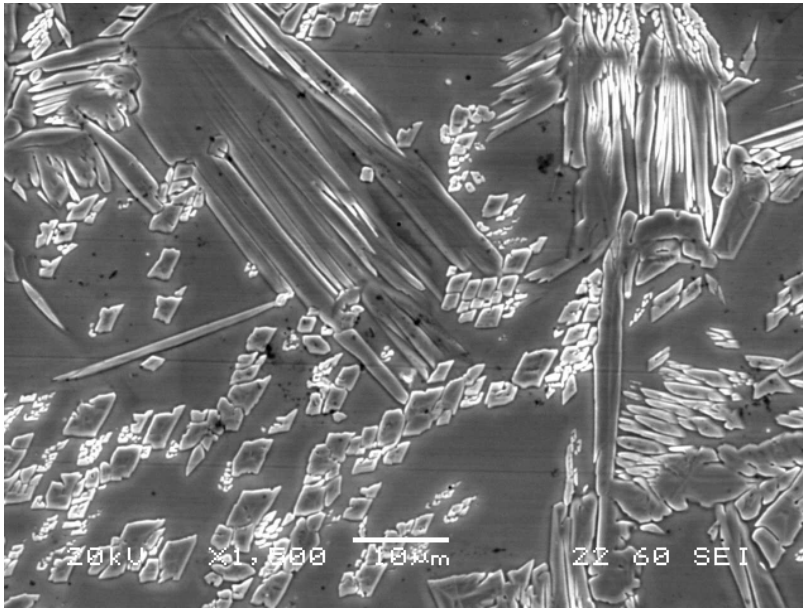
b)

Şekil 5.55. Argon + %25He atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri  
a) Geçiş bölgesi b) Ana metal



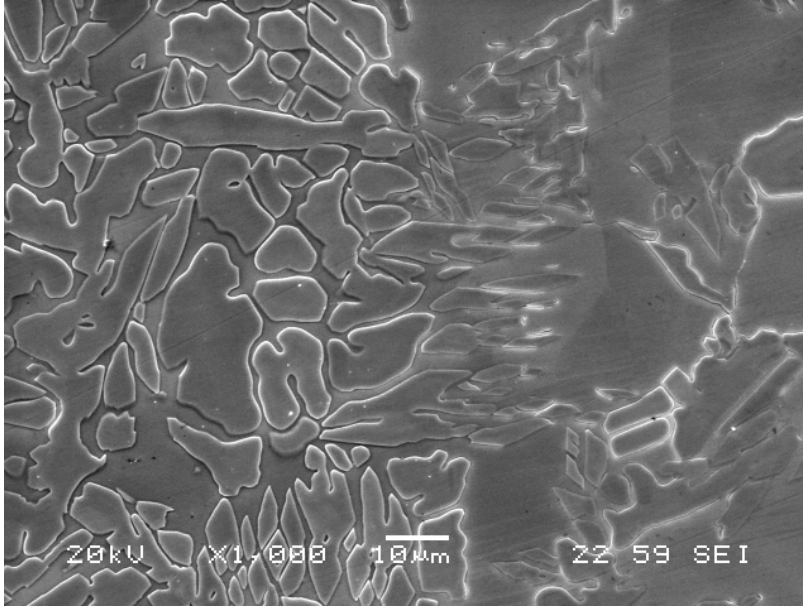


a)

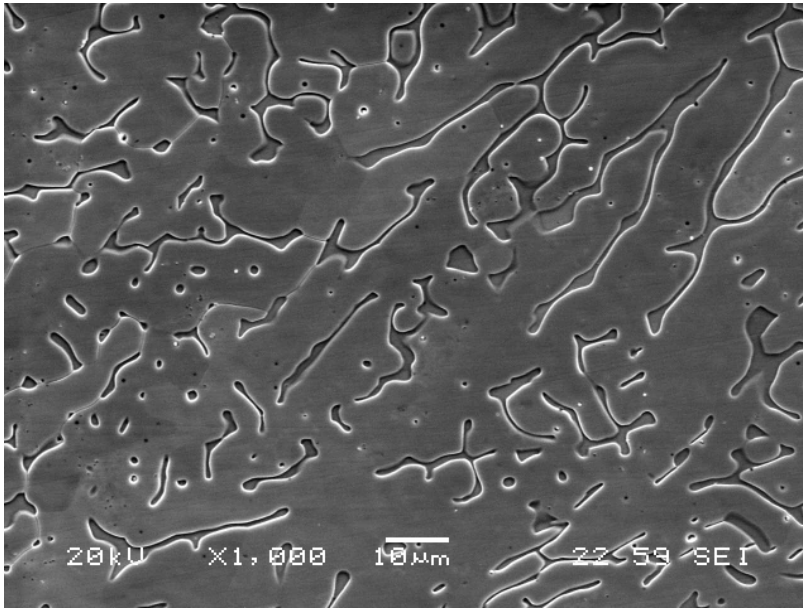


b)

Şekil 5.56. Argon + %5H<sub>2</sub> atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri  
a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali



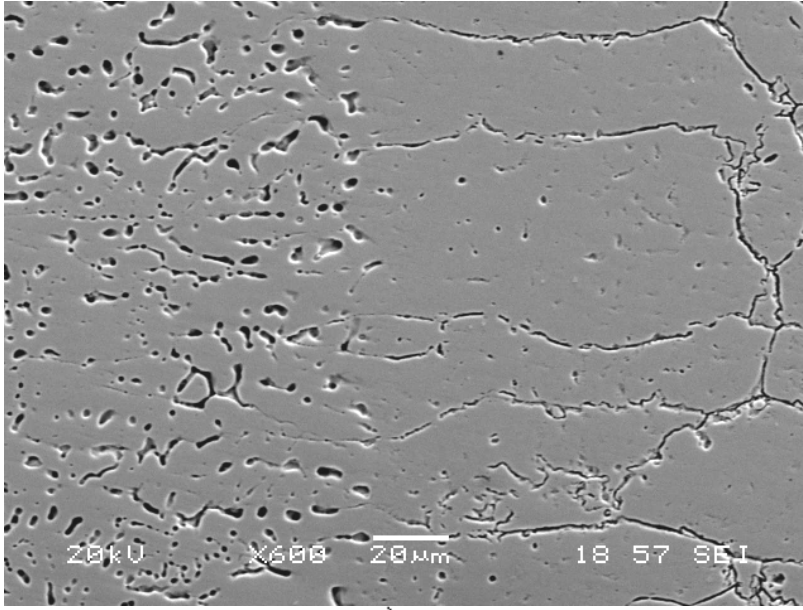
a)



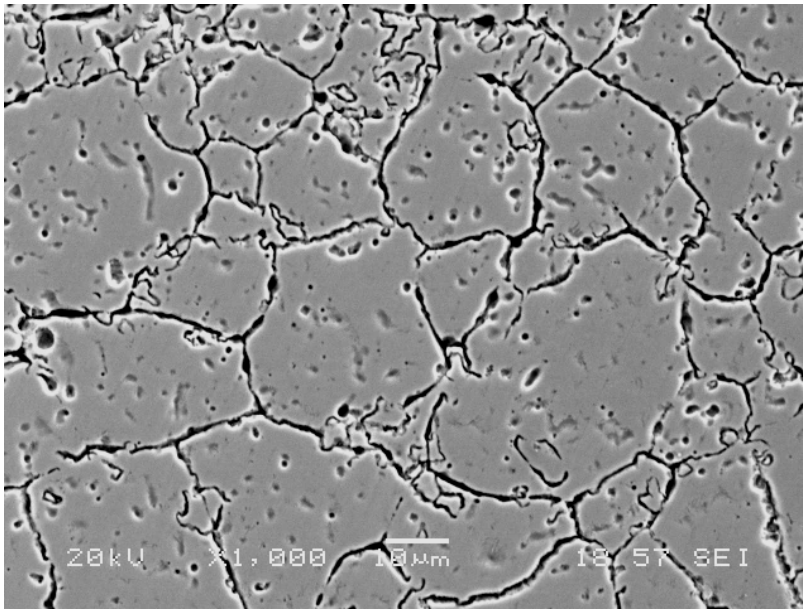
b)

Şekil 5.57. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri  
a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali

Şekil 5.58–5.60’da çeşitli koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin SEM mikroyapı görüntüleri görülmektedir. Geçiş bölgesinde tane büyümleri ve kaynak metalinde  $\delta$ -ferrit dağılımında farklılaşmalar görülmektedir. Koruyucu gaz olarak argon + %25He kullanıldığında kaynak metalinde  $\delta$ -ferrit oranı daha fazla görülmektedir. Bu durum koruyucu gaz içerisinde helyum bulunduğundan dolayı ısı girdisinin fazla olması  $\delta$ -ferrit oranında artışa neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.59.b).

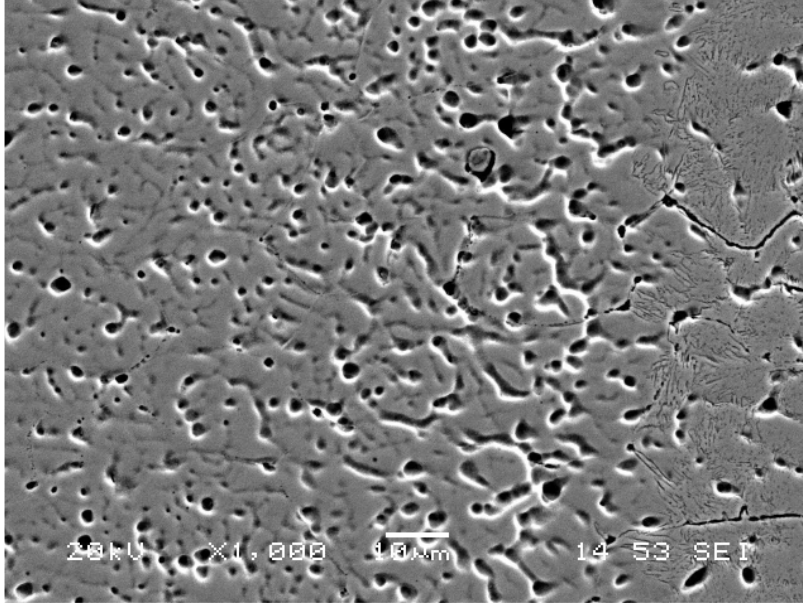


a)

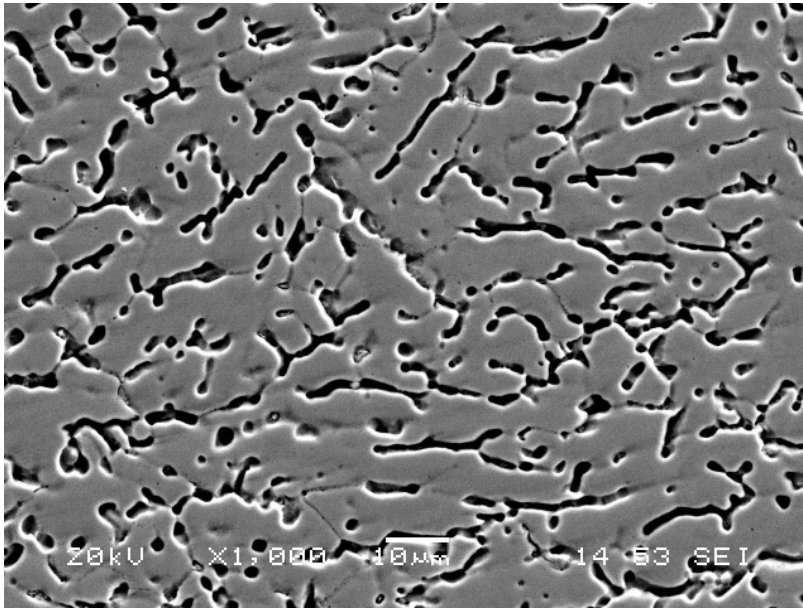


b)

Şekil 5.58. Argon atmosferi altında ER 316L ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri a) Geçiş bölgesi b) Ana metal

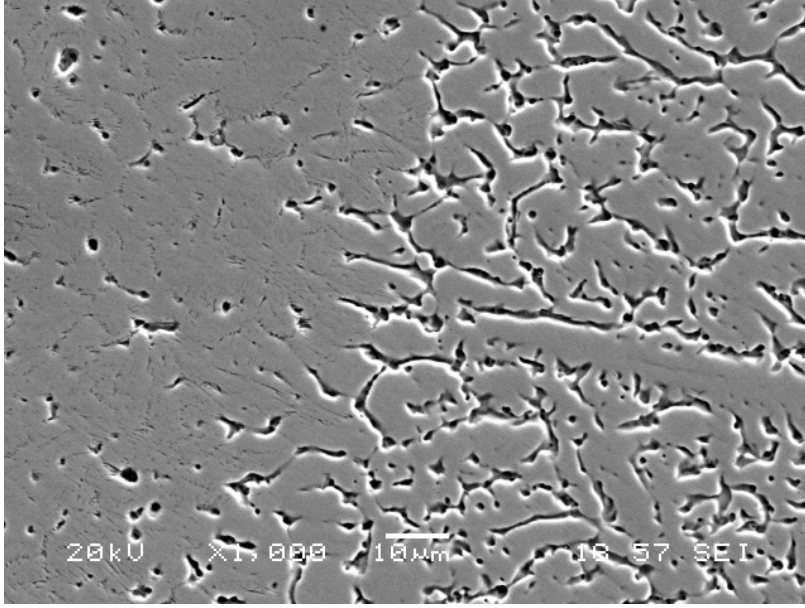


a)

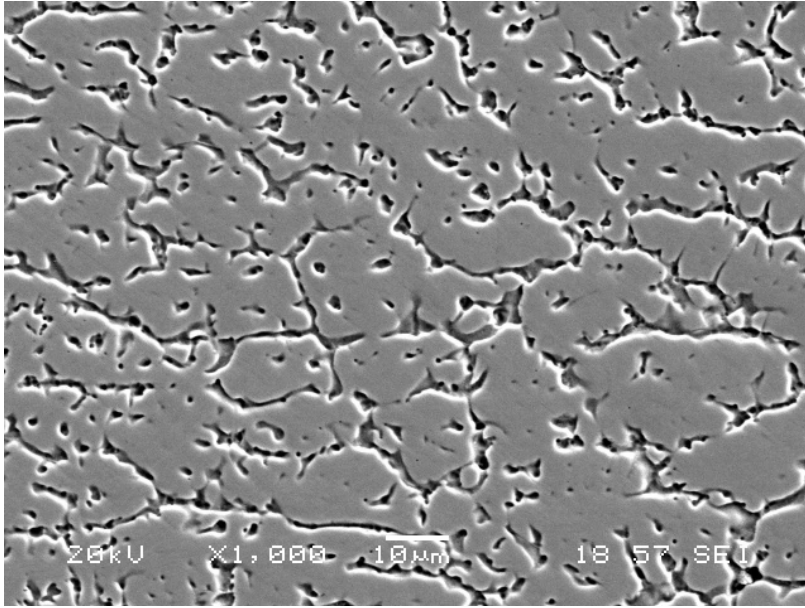


b)

Şekil 5.59. Argon + %25He atmosferi altında ER 316L ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri  
a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali



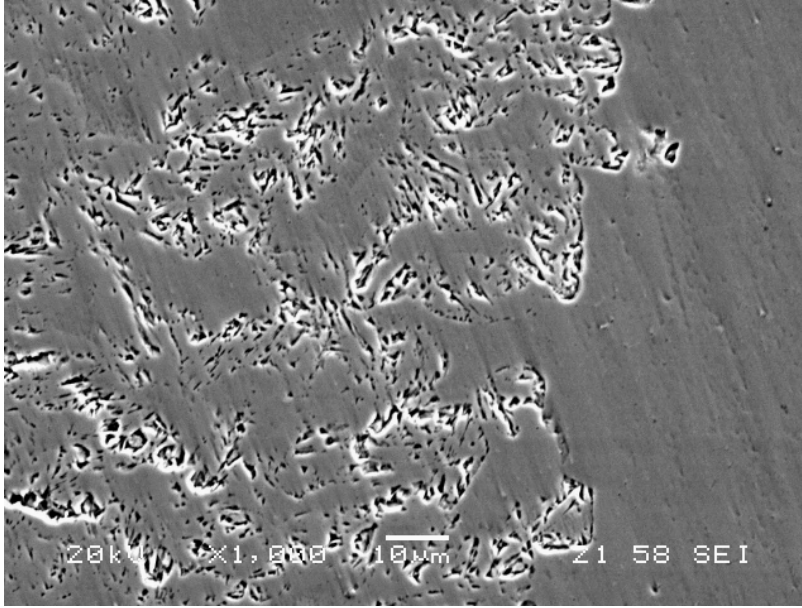
a)



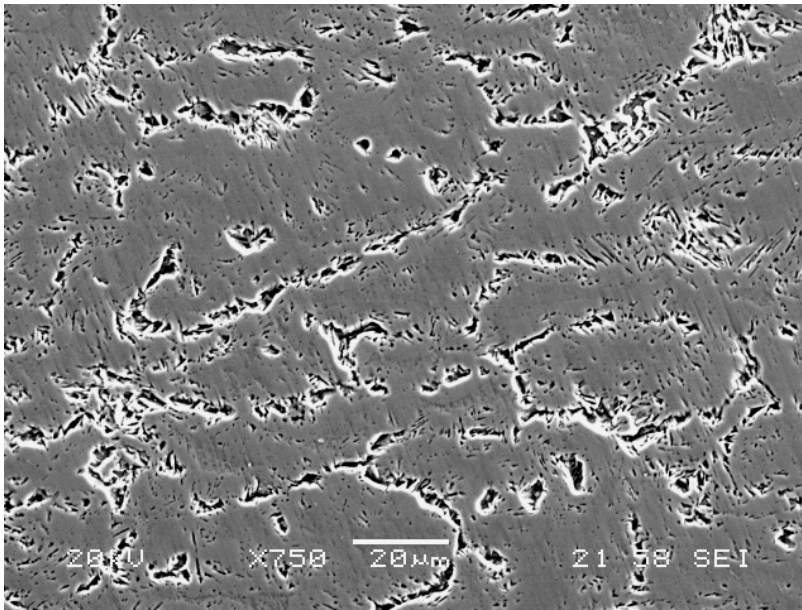
b)

Şekil 5.60. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 316L ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri  
a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali

Şekil 5.61’de ER 430 LNb ferritik ilave metali kullanılarak birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Optik mikroskopta elde edilen görüntüler SEM incelemelerinde elde edilememiştir. Bu tür paslanmaz çeliklerin asitlere karşı dayanıklı olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle sadece koruyucu gaz olarak argon + %5N<sub>2</sub> gazı kullanılan numunelerden SEM mikroyapı görüntüleri alınmıştır.



a)

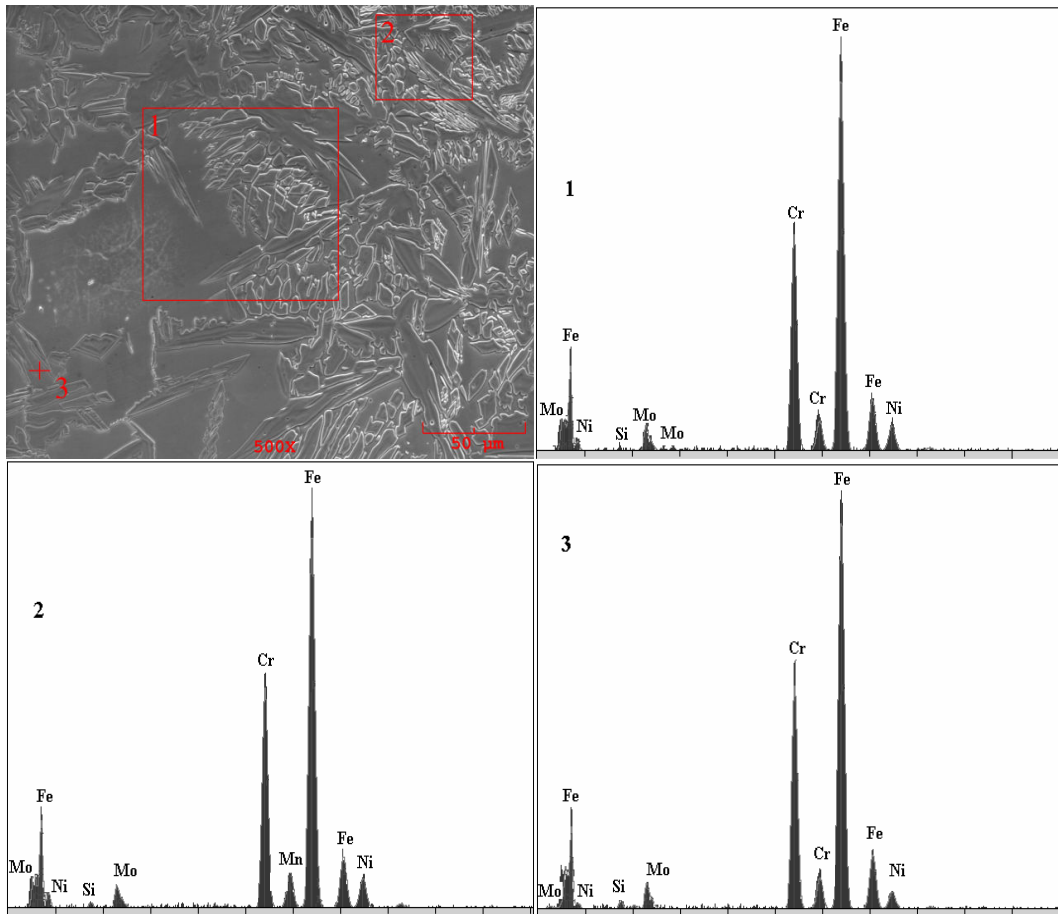


b)

Şekil 5.61. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 430LNb ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı görüntüleri  
a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali

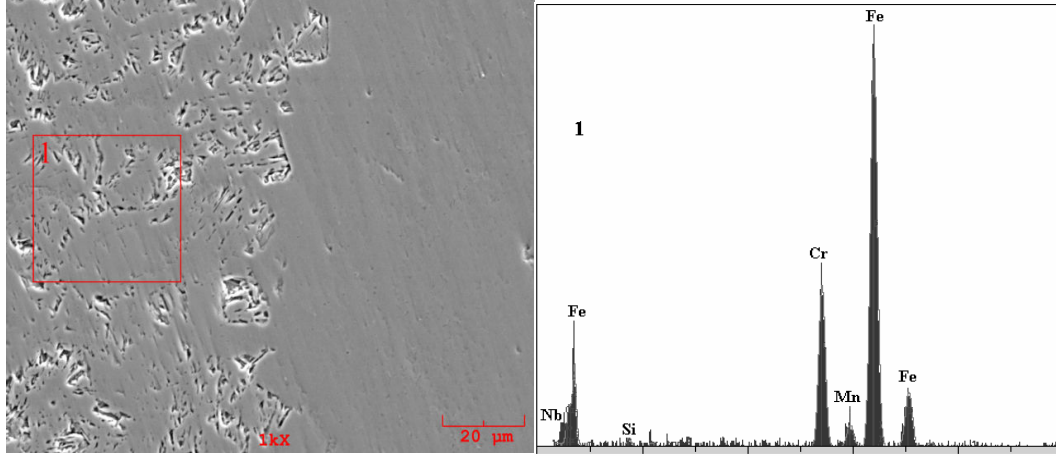
#### 5.4. EDS Elemental Analizleri

Çalışma yapılan numunelerin bazılarında bölgesel ve noktasal EDS analizleri alınarak değişimler daha detaylı olarak ortaya konulmuştur. Şekil 5.62’de argon atmosferi altında yapılan birleştirmeden alınan bölgesel analizler ve ana metalden alınan noktasal analiz sonuçları verilmiştir. Analizlerden görüldüğü gibi azda olsa farklılık görülmektedir.



Şekil 5.62. Argon atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin EDX analizi sonuçları

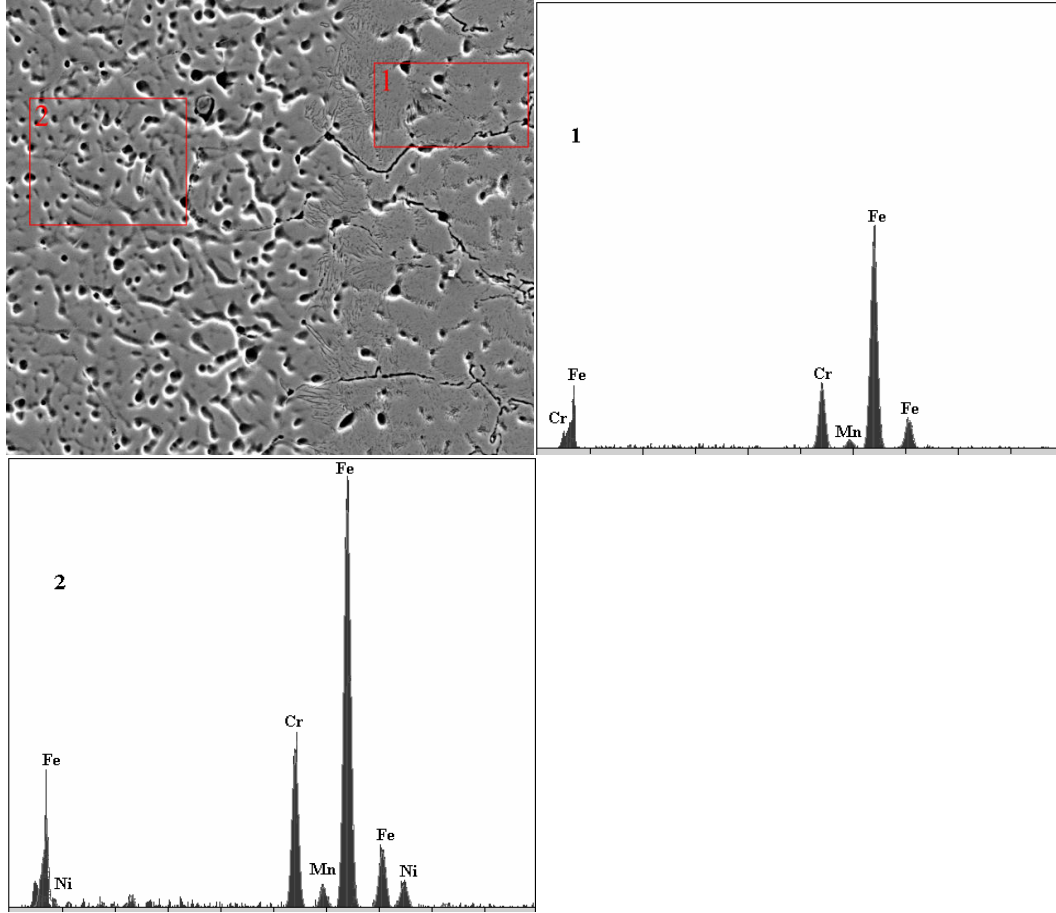
Şekil 5.63’de argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı kullanılarak yapılan AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin kaynak bölgesinden alınan EDS analiz sonuçları görülmektedir. Kaynak bölgesinde görülen Nb kaynak metalinden gelmektedir.



Şekil 5.63. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 430LNb ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin EDS analizi sonuçları

Şekil 5.64’de ise argon + %25 He atmosferi altında birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin EDS analiz sonuçları verilmektedir. Kaynak metali ile ana metal arasında analiz sonuçlarında farklılıklar görülmektedir. Özellikle kaynak metalinde görülen nikel, kullanılan östenitik ilave metalinden gelmektedir.





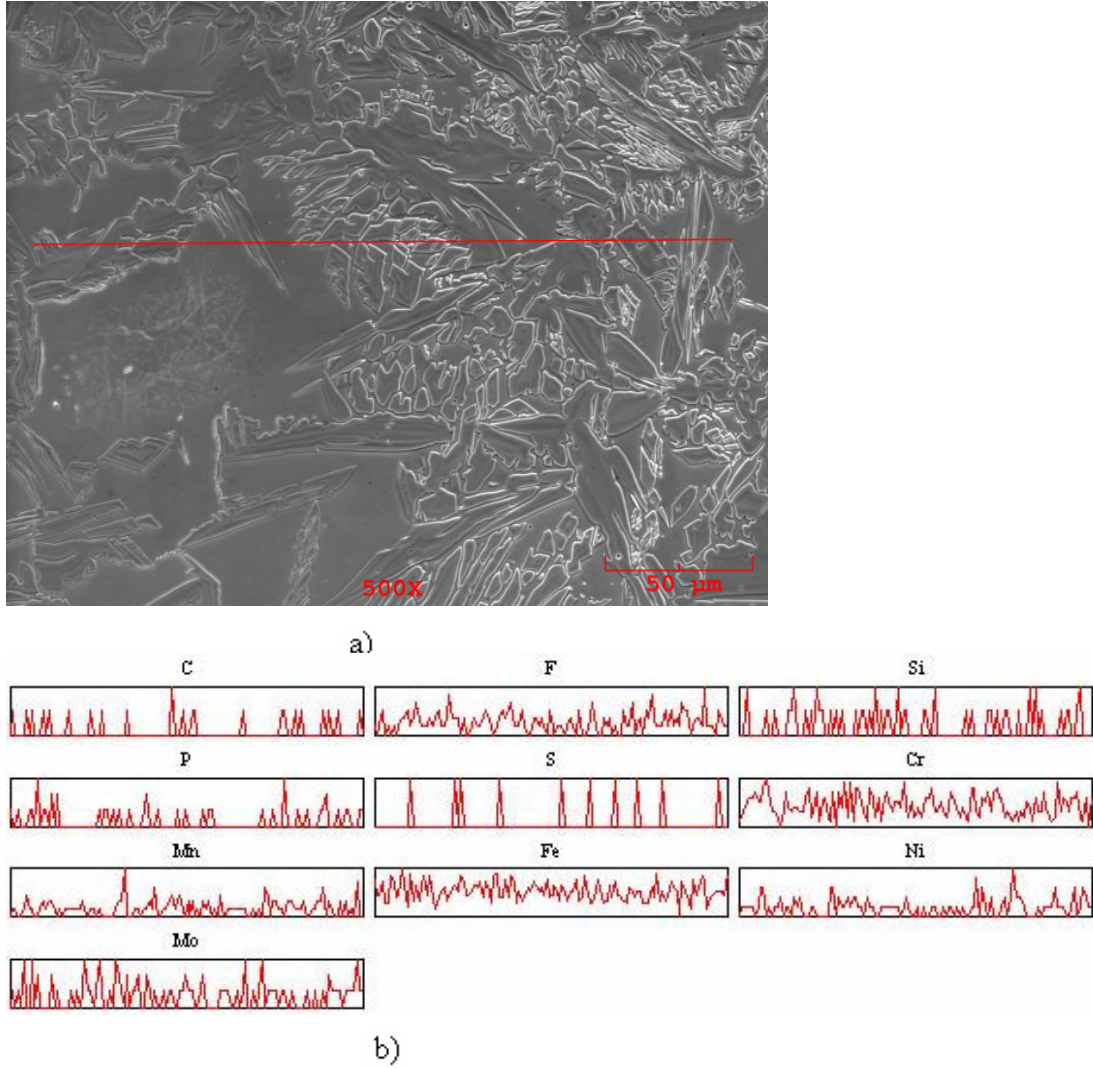
Şekil 5.64. Argon + %25He atmosferi altında ER 316L ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin EDX analizi sonuçları

Daha sonra yapılan çalışmalarda kaynak metalinden ana metale doğru çizgisel analizler alınmıştır. Şekil 5.65’de argon atmosferi altında birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin analiz sonuçları verilmektedir. Karbon elementi kaynak metalinde daha sıklıkla bulunmaktadır. Silisyum değerleri de yer yer değişmektedir. Krom elementi genelde sabit bir çizgi göstermekte olup buna karşılık nikel kaynak metalinde daha çok artmaktadır. Molibden ise ana metalde daha yoğun bulunmaktadır.

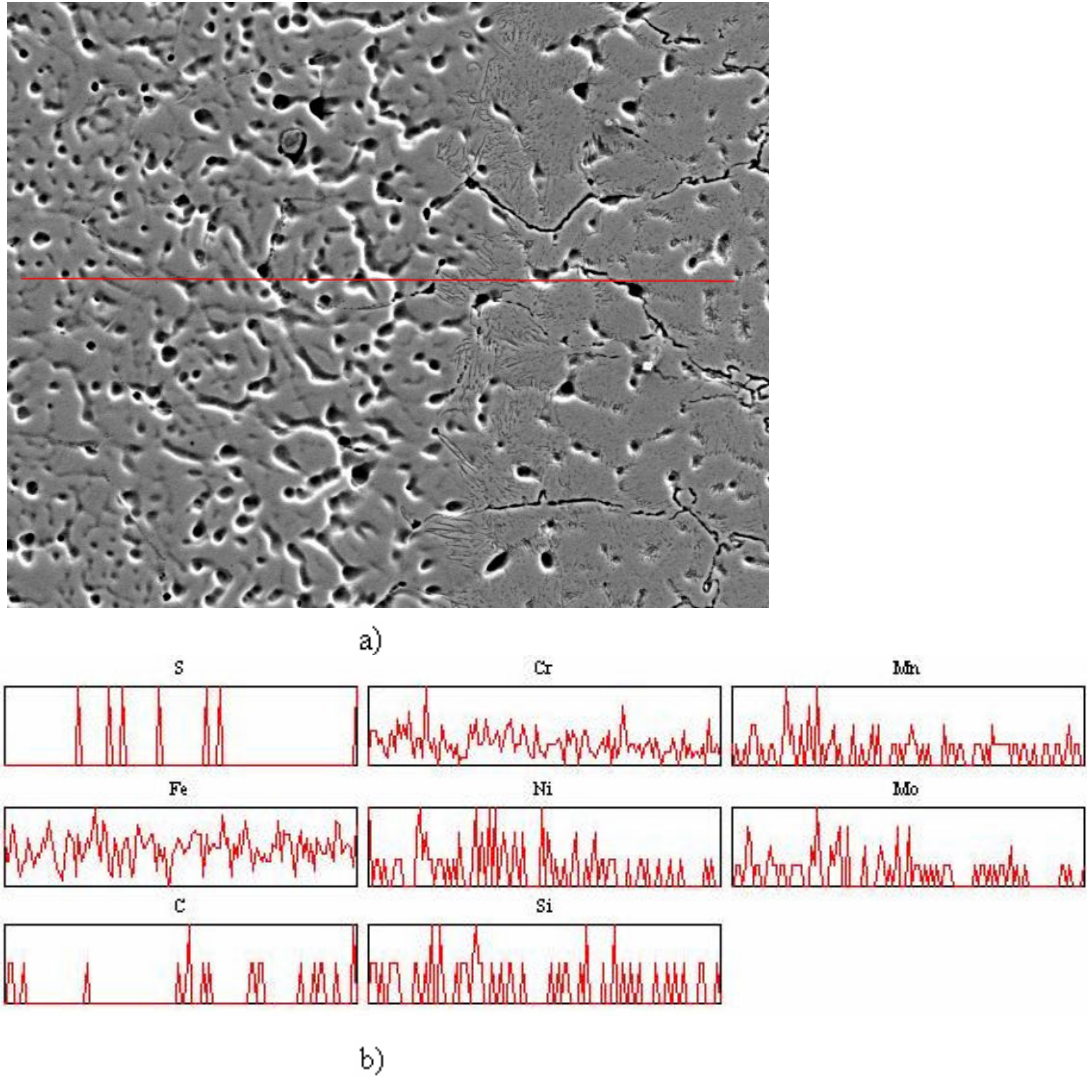
Şekil 5.66’de argon + %25 He atmosferi altında yapılan AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin SEM görüntüsü ve analiz sonuçları verilmiştir. Kükürt elementi daha çok geçiş bölgesinde görülmekte olup Mn miktarı ise kaynak metalinde daha fazladır. Karbon miktarı daha geçiş bölgesi ve yer yer ana metalde bulunmaktadır. Molibden miktarında kaynak metalinde ve geçiş bölgesinde artış görülmektedir.

Şekil 5.67’de argon + %5 N<sub>2</sub> atmosferi altında birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz

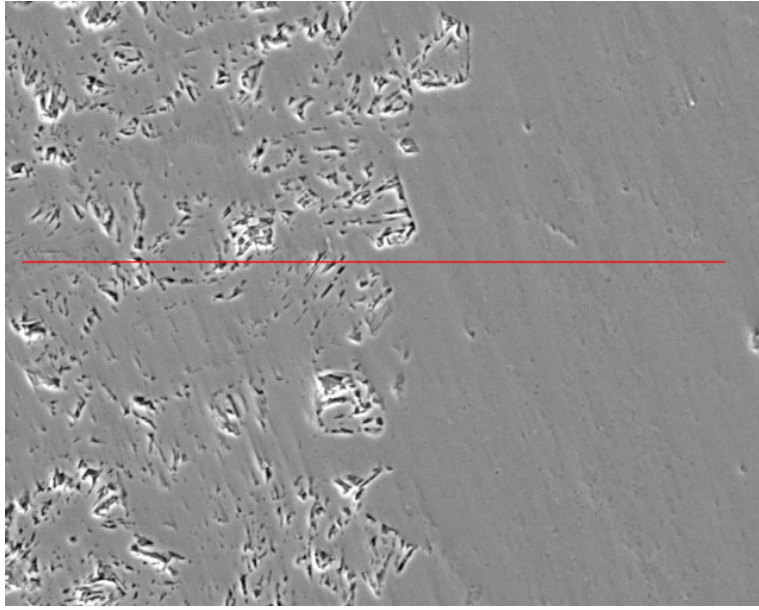
çeliğin mikroyapı ve çizgisel element analizi verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi element miktarı bölgesel olarak değişmektedir. Özellikle azot miktarı kaynak metali ile geçiş bölgesinde artmaktadır. Nikel ve molibden miktarı da çizgi boyunca değişmektedir.



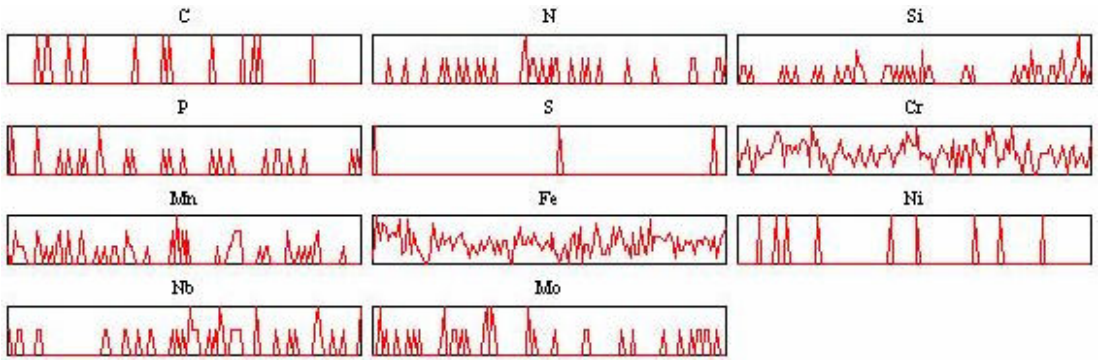
Şekil 5.65. Argon atmosferi altında ER 2209 ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı



Şekil 5.66. Argon + %25 He atmosferi altında ER 316L ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı



a)



b)

Şekil 5.67. Argon + %5N<sub>2</sub> atmosferi altında ER 430LNb ilave metali ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı

## BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada AISI 2205 dubleks, AISI 430 ferritik ve AISI 420 martenzitik tipi paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ile farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirilen malzemelerin bazı mekanik ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

1-) AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin ER 430LNb ilave metali ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, koruyucu gaz olarak argon, argon + %25He ve argon + %5H<sub>2</sub> kullanıldığında ana malzemenin biraz altında, ana malzemeye yakın çekme mukavemeti elde edilmiştir. Ancak argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile kaynağında çok düşük çekme mukavemeti değerleri elde edilmiştir. AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin ilave telsiz otomatik TIG kaynağında ise en yüksek çekme mukavemeti argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile yapılan kaynaklı numuneden elde edilmiştir.

2-) AISI 420 tipi martenzitik paslanmaz çeliğin ER 316L ilave teli ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, en yüksek çekme mukavemeti argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile kaynak edilen numunede elde edilmiştir. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin ilave telsiz otomatik TIG kaynağında ise en yüksek çekme mukavemeti argon + %25He koruyucu gazı ile yapılan kaynaklı numuneden elde edilmiştir.

3-) ER 430LNb ilave teli ile kaynak edilen AISI 430 tipi ferritik paslanmaz çeliklere uygulanan çekme deneyleri sonucunda elde edilen % uzama değerlerinin (Argon, argon + %25He, argon + %5H<sub>2</sub>) koruyucu gazları kullanıldığında eşit olduğu gözlenmektedir ve bu değerler kaynaksız ana malzemenin % uzama değerinin altında çıkmıştır. Bunların yanında Ar+%5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile kaynak edilen parçanın %

uzama değeri oldukça düşük elde edilmiştir. AISI 430 kalite paslanmaz çeliğin ilave metalsiz otomatik TIG kaynağında ise en yüksek %uzama değeri argon + %5N koruyucu gazı kullanılarak yapılan kaynaklı numuneden elde edilmiştir.

4-) ER 316L ilave metali ile kaynak edilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin kaynağında en yüksek uzama değeri argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile yapılan kaynakta elde edilmiştir. Kaynaklarda elde edilen uzama miktarları bir birlerine yakın olduğu gözlenmektedir. Kaynaklar da elde edilen ortalama uzama miktarları ana malzemenin uzama miktarından yaklaşık %50 daha düşük olduğu görülmüştür. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin ilave telsiz otomatik TIG kaynağında ise % uzama değeri argon + %5N<sub>2</sub> ve argon + %25He koruyucu gazlarının her ikisinde de eşit çıkmıştır.

5-) ER 430LNb ilave metali ile kaynak edilen AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin kaynağında elde edilen numunelere uygulanan eğme deneylerinde argon + %5N<sub>2</sub> dışında tüm koruyucu gazlarla kaynakta herhangi bir çatlak oluşumu görülmemiş olup, argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ve ER 430LNb ilave metali ile yapılan kaynak çok az bir şekil değişimden sonra çatlak meydana gelmiştir. AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin ilave metalsiz otomatik TIG kaynağı sonucunda elde edilen numunelerin eğme deneylerinde her hangi bir çatlak görülmemiştir.

6-) ER 316L ilave metali ile kaynak edilen AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin elde ve otomatik olarak yapılan TIG birleştirmelerde uygulanan eğme deneylerinde tüm koruyucu gazlarla kaynakta herhangi bir çatlak oluşumu görülmemiştir.

7-) AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliklere uygulana sertlik deneyleri sonucun da elde edilen değerlerin ana malzeme ile kaynak metali arasında farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Bu farklılık orta düzeyde olmakla beraber kullanılan koruyucu gaz kompozisyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

8-) AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklere uygulana sertlik deneyleri sonucun da elde edilen değerlerinin argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile elde edilen kaynak haricinde ana

malzeme ile kaynak metalinde hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir. Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı kullanılarak elde edilen numunenin kaynak bölgesi sertliği ana malzemenin sertliğinden çok yüksektir olduğu gözlenmektedir.

9-) AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliklere uygulanan sertlik deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin argon ve argon + %25He koruyucu gazı ile elde edilen kaynaktaki az bir miktar artış gözlenmiştir. Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile elde edilen kaynak bölgesinde ana malzemeye oranla çok yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca bu üç koruyucu gaz kompozisyonu ile ayrı ayrı elde edilen kaynaklı numunenin ITAB bölgesinden geçiş bölgesine gidildikçe orantılı ve eşit bir şekilde yükseldiği gözlenmiştir. Bu yükseliş argon ve argon + %25He gazları ile elde edilen parçalarda geçiş bölgesinde durmuş ve buradan da kaynak bölgesinin ortasına gidildikçe sertlik aynı oranda düşüş göstermiştir. Argon + %5N<sub>2</sub> koruyucu gazı ile kaynaktaki ITAB da ortaya çıkan sertlik artışı aynı şekilde geçiş bölgesinde sabit kalarak kaynak merkezine doğru benzer sertlik değerleri elde edilmiştir.

10-) AISI 2205 dubleks, AISI 430 ferritik ve AISI 420 martenzitik tipi kaynak edilmiş paslanmaz çeliklerin yapılan mikroyapı çalışmalarında koruyucu gaz kompozisyonuna göre kaynak metali içerisinde farklı mikroyapılar gözlenmektedir.

11-) AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğinin kaynağında çentik darbe deneyinde kırılma enerjisi değerleri bakıldığında genelde sıcaklık düştüğünde değerler düşmekte olduğu gözlenmiştir. En yüksek değerler argon + %5H<sub>2</sub> koruyucu gazı kullanılarak yapılan kaynak numunelerinden elde edilmektedir. Bunun yanında argon koruyucu gaz atmosferinde elde edilen değerler argon + %5H<sub>2</sub> koruyucu gazı kullanılarak yapılan kaynak numunelerinden elde edilen değerlerden sonra en yüksek değerler olarak göze çarpmaktadır.

## 6.2 Öneriler

Bu çalışmada TIG kaynak yöntemiyle farklı koruyucu gazlarla birleştirilen AISI 2205 dubleks, AISI 430 ferritik ve AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin bazı mekanik ve mikroyapı özellikleri yapılan deneylerle araştırılmıştır. Gelecekte benzer konularla çalışma yapacak araştırmacılara aşağıdaki öneriler sıralanabilir.

1-) Bu çalışmada yorulma ve aşınma deneyleri uygulanarak kullanılan koruyucu gazların etkileri araştırılabilir.

2-) Benzer parametreler uygulanarak yapılan birleştirmelere çeşitli ısı işlemler uygulanarak mekanik ve mikroyapı'ya olan etkileri araştırılabilir.

3-) Bu çalışmada kullanılan malzemelere farklı ilave metal ve MIG, lazer gibi farklı kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilen parçalara çeşitli mekanik testler uygulanarak ilave metalin ve kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere ve mikroyapı'ya olan etkileri incelenebilir.

4-) Yapılan mikroyapı incelemelerine TEM (geçirgenli elektron mikroskobu) gibi ileri yöntemler kullanılarak mikroyapı çalışmaları ile detaylı olarak incelenip mekanik deneylerde elde edilen sonuçlar daha geniş bir şekilde açıklanabilir.

5-) Çalışmada kullanılan ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen paslanmaz çelik malzemelere çeşitli ortamlarda korozyon testleri uygulanarak, gerek kullanılan koruyucu gaz kompozisyonunun gerekse paslanmaz çelik türünün korozyon davranışları incelenebilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Teknik Metal Endüstri Malzemeleri Tic. ve San. A.Ş., “Paslanmaz Çelikler”, Adana, 2002
- [2] CEYHUN, V., “Ferritik-Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Karbonlu Çelik ile Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Çekme Makaslama Dayanımına ve Taneler Arası Korozyonuna Etkisi”, Doktora Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 1-29, 1992
- [3] ANIK S., TÜLBENTÇİ., “Çelikler İçin Kaynak Metalurjisi”, İskender Matbaası, İstanbul, 1966
- [4] ABİNGTON PUBLISHING, “Welding Metallurgy of Stainless Steels”, Abington Welding Training Module, Cambridge, pp. 1-45, 1994
- [5] ODABAŞ C., “Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri”, Askaynak-İstanbul, 2. Baskı, Tavaslı Matbaası Mart, 2004
- [6] ARAN, A., TEMEL, M.A., “Paslanmaz Çelik”, Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul, 2004
- [7] 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, 1998
- [8] TÜLBETÇİ, K., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, MIG-MAG Eriyen Elektrot İle Gazaltı Kaynağı, 137–142, Gedik Holding-İstanbul, 1990
- [9] KALUÇ, E., SARI, N., “Paslanmaz Çeliklerin MIG Yöntemi İle Kaynağı”, Metal ve Kaynak, 32-75, 1996
- [10] URAL, M., KALUÇ, E., “Paslanmaz Çeliklerin TIG Yöntemi İle Kaynağı”, Metal Makine, 12-20, Mart, 1996
- [11] TUSEK, J., SUBAN, M., “Experimental Research of the Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding gas in Arc Welding of Highalloy stainless steel”, Int J. Hydrogen Energy, 25, 4, 369–376, 2000
- [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 Mater. Proc. Tech., 110, 233-238, 2001

- [13] 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*, 307, pp. 165-171, 2001
- [14] SMİTH, W.F., “Paslanmaz Çelikler”, *Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri*, Bölüm 5, Cilt 1., Çeviri: Erdoğan, M., Ankara, 169-214, 2000
- [15] CAMPBELL, R.D. *Ferritic Stainless Steels Welding Metallurgy*, Ferrous Alloy Weldments, Englewood Colorado, USA, pp. 167-190, Anon., *Metalurgy of Fusion Welding pt3: Stainless Steels*, *Welding&Metal Fabrication*, October, pp. 376-378, 1992
- [16] TEKİN, A., “Çeliklerin Metalurjik Dizaynı”, *İ.T.Ü. Metalurji Fak.*, s. 215 – 225, İstanbul, 1981
- [17] CLARK, C.A.; GUHA. P., “Welding Characteristic of Duplex Satainless Steels, Duplex Satainless Steels”, *Conference Proceedings American Society For Metals*, Ohio, pp. 632, 1982
- [18] GUNN, R.N., “The Influence of Composition and Microstructure on the Corossion Behaviour of Commercial Duplex Alloy”, *8th Annual North American Welding Research Conference*, TWI, Cambridge,UK, pp. 1, 1992
- [19] ATKINSON, R.F.; KING, R.W., “The Propertions and Applications of Two Cast Duplex Stainless Steels, Duplex Stainless Steels”, *Conference Proceedins American Society For Metals*, Ohio, pp. 399-413, 1982
- [20] NOBLE, D.N., “Oil and Gas Industry Experience with Duplex Stainless Steel Fabrication”, *8th Annual North American Welding Research Conference*, Arco Alaska, pp. 1-2, 1992
- [21] BUDISKI, K.G.; BUDISKI, M.K., “Stainless Steels, Engineering Material”, *Sixth Edition*, pp. 455-461, 1999
- [22] KALUÇ, E. “Örtülü Elektrodlar ile Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kaynak Ağızları ve Kaynağın Uygulanması”, *Gedik Kaynak Dünyası* , Sayı:3, s.29, 1991
- [23] GÜRÇAN, M., “TIG Kaynağı”, *SEGEM*, Ankara, 1987
- [24] STRASSBURG, F.W., “Schweissen nichtrostender Staehle”, *Band 67*, D.V.S., Dusseldorf-Almanya, 1982
- [25] ERYÜREK, İ.B. “Gazaltı Kaynağı”, *Askaynak Yayınları*, Mart, 2003
- [26] LANCASTER, J.F., “*Metallurgy Of Welding*, Chapman & Hall”, London, 1993

- [27] SUBAN, M., TUSEK, J., “Dependence of Melting Rate in MIG-MAG Welding on the Type of Shielding Gas Used”, 119, 1-3, 185-192, J. Mater. Proc.Tech, 2001
- [28] FOLKHARD, F., “Welding Metallurgy of Stainless Steel”, Springer-Verlag, Vien, Newyork, 1984
- [29] GÜLTEKİN, N., “Kaynak Tekniği”, Y.Ü. Yayını Sayı 184, İstanbul, 1984
- [30] [www.jwharris.com/welref/techguide/alloy\\_for\\_stain\\_steel/solid\\_wire/](http://www.jwharris.com/welref/techguide/alloy_for_stain_steel/solid_wire/)
- [31] ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., “Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı”, Gedik Holding Yayını, İstanbul, 1991
- [32] LIN, Y.C., CHEN, P.Y., “Effect of Preheating on The Residual Stress in Type 304 Stainless Weldment”, J Mater. Proc. Tech., 63, pp.797-801, 1997
- [33] ANIK, S., ANIK, E.S., VURAL, M., “Kaynak Teknoloji El Kitabı”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000
- [34] <http://www.cinarmetal.com>
- [35] <http://www.oerlikon.com.tr>
- [36] YILMAZ, R., BARLAS, Z. “Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, s. 3391-400, 2005
- [37] CARY, H. B., “Modern Welding Technology”, 3rd ed., Prentice-Hall Inc., 417, London, 1994
- [38] TANAKA, M., TASHIRO, S., USHIO, M., MİTA, T., MURPHY, A.B., Lowke, J.J., “CO<sub>2</sub>-Shielded Arc As a High-Intensity Heat Source in Press, Vacuum”, 2006
- [39] KERR, H. W., LEONE, G. J., “Ferrite to Austenite Transformation in Stainless Steels”, Welding Journal, 61 (1), 13-17, 1982
- [40] DIETER, G.E., “Mechanical Metalurgy”, McGraw-Hill, 476, London, s.476, 1998
- [41] BAYLAN, O. “Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik – Martenzitik Farklı Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklı Bağlantılarında, Mikroyapı ile Özellikler Arasındaki İlişkinin Araştırılması”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, Haziran, 2003

- [42] GOOCH, T., "Recent Developments in The Joining of Duplex and Superduplex Stainless Steels", 8th Annual North American Welding Research Conference, TWI, Cambridge, UK, 1-3, pp, 1982
- [43] ERTEMİZ, M., "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2005
- [44] GÖKMEN, M., "Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemleri İle Kaynağına Koruyucu Gaz ve İlave Metalin Mekanik Özelliklere Etkisi", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs, 2006
- [45] M.C. YOUNG, S.LI., CHANG, L.W. TSAYA, C.-S. SHIND "Hydrogen-Enhanced Cracking of 2205 duplex Stainless Steel Weld", Materials Chemistry and Physics, 91, s.21–27, 2005
- [46] MUTHUPANDI, V., BALA SRINIVASANA, P., SHANKAR, V., SESHADRI S.K., SUNDARESAN S., "Effect of nickel and nitrogen addition on the microstructure and mechanical properties of power beam processed duplex stainless steel", (UNS 31803) weld metals" Materials Letters, 59, pp.2305 – 2309, 2005
- [47] SATO, Y.S., NELSON T.W., STERLING C.J., STEEL, R.J., PETTERSSON, C.-O., "Microstructure and mechanical properties of friction stir welded SAF 2507 super duplex stainless steel", Mater. Sci. and Eng. A, 397, pp.376–384, 2005
- [48] TAVARES, S.S.M., PARDAL, J.M., DE SOUZA, J.A., NETO, J.M., DA SILVA, M.R., "Magnetic Phase Quantification of the UNS S32750 Superduplex Stainless Steel", Journal of Alloys and Compounds, 416, 1-2, pp. 179-182, 2005
- [49] VILLAFUERTE, J.C., KERR, H.W., DAVID S.A., "Mechanisms of Equiaxed Grain Formation in Ferritic Stainless Steel Gas Tungsten Arc Welds", Mater. Sci. and Eng. A", 194, pp.187-191, 1995
- [50] MOHANDAS, T., MADHUSUDHAN, R., NAVEED, M., "A Comparative Evaluation of Gas Tungsten and Shielded Metal Arc Welds of A "Ferritic" Stainless Steel", J. Mater. Proc. Tech., 94, 133-140, 1999
- [51] SATYANARAYANA, V.V., MADHUSUDHAN, R., MOHANDASS, T., "Dissimilar Metal Friction Welding of Austenitic-Ferritic Stainless Steels", J. Mater. Proc. Tech., 160, 2, pp.128-137, 2005
- [52] BAYRAKTAR, E., MOIRON, J., KAPLAN, D., "Effect of Welding Conditions on the Formability Characteristics of thin Sheet Steels: Mechanical and Metallurgical Effects", J. of Mater. Proc. Tech. 175, 1-3, pp. 20-26, 2006

- [53] BHADURI, A.K., GILL, T.P.S., ALBERT, S.K., SHANMUGAM, K., IYER D.R., “Repair welding of cracked steam turbine blades using austenitic and martensitic stainless-steel consumables”, *Nuclear Engineering and Design*, 206, pp 249–259, 2001

## ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 1994 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi bölümünden 1998 yılında mezun oldu. Daha sonra vatani vazifesini tamamlayarak 1999 yılında Ferizli Recep Bey Endüstri Meslek Lisesinde teknik öğretmen olarak göreve başladı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi bölümüne kayıt yaptırdı. Halen Sakarya Anadolu Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinde görev yapan Ali TÜRKYILMAZOĞLU evli ve bir çocuk babasıdır.