

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

**PASLANMAZ ÇELİKLERİN GAZALTI KAYNAK
YÖNTEMLERİ İLE KAYNAĞINDA KORUYUCU GAZ
VE İLAVE METALİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek. Öğr. Mücahit GÖKMEN

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fehim FINDIK

Ocak 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PASLANMAZ ÇELİKLERİN GAZALTI KAYNAK
YÖNTEMLERİ İLE KAYNAĞINDA KORUYUCU GAZ VE
İLAVE METALLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek. Öğr. Mücahit GÖKMEN

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

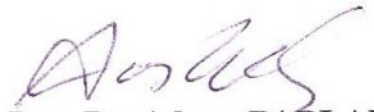
Bu tez 07/01/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Fehim FINDIK
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Hüseyin UZUN
Üye



Doç. Dr. Adnan PARLAK
Üye

TEŞEKKÜR

Benim bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan ve fedakârlılığa katlanan, hayatımın her kademesinde desteklerini benden hiç esirgemeyen çok değerli aileme en derin minnet ve şükranlarımı borç bilirim.

Bu tezde kıymetli fikir ve önerileriyle katkıda bulunan ve bana her konuda göstermiş olduğu yardımlardan dolayı Sayın Hocam Doç. Dr. Ramazan YILMAZ ve Prof. Dr. Fehim FINDIK'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışma "Gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilen paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ve mikroyapılarının belirlenmesi" isimli DPT projesi kapsamında gerçekleşmiştir.

Mikroyapı ve diğer çalışmalarında yardım ve desteklerinden dolayı Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Arş. Gör. Azim GÖKÇE'ye ve Arş. Gör. Fatih ÇALIŞKAN'a, Yüksek Teknik Öğretmen Ali TÜRKYILMAZOĞLU'na teşekkür ediyorum.

Tez süresince desteklerini esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölüm Başkan Yardımcıları Doç. Dr. Hüseyin UZUN ve Yrd. Doç. Dr. Ramazan KAYIKÇI'ya, Doç. Dr. Salim ASLANLAR'a, Öğretim Görevlisi Vedat KARABAŞ'a teşekkür ediyorum.

SEM mikroyapı ve elemental analizleri ve mekanik deneyler için gerekli imkanları sağlayan Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof Dr. Cuma BİNDAL ve Öğretim Üyesi Prof. Dr. Hatem AKBULUT'a teşekkür ediyorum.

Mekanik deneylerin yapılmasında yardımcı olan Teknisyen Ersan DEMİR ve Metin GÜNAY'a ve SEM Uzmanı Fuat KAYIŞ'a, Mikrosertlik Deneylerinde yardımcı olan Arş. Gör. Ramazan KARSLIOĞLU'na teşekkür ediyorum.

Çentik darbe testlerinin yapılmasında yardımcı olan Noksel firması yetkili ve çalışanlarına çok teşekkür ediyorum.

Ferrit numarası ölçümlerinde yardımcı olan Teknik Öğretmen Orhan BAYLAN ve İGSAŞ kalite kontrol çalışanlarından Neşet YILMAZ ve Recep KARABAY'a teşekkür ediyorum.

Mekanik işlerde yardımcı olan Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Teknisyenleri Naim BALTAOĞLU, Engin GÜLTEKİN ve Mahmut DÜZGÜN'e Teşekkür ediyorum.

Mücahit GÖKMEN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
PASLANMAZ ÇELİKLER VE ÖZELLİKLERİ	8
2.1.Paslanmaz Çeliklerin Tarihçesi	8
2.2. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri	13
2.3. Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri	14
2.4. Paslanmaz Çeliklerin Sahip olduğu Faz Diyagramları	14
2.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler	17
2.6. Ferritik Kromlu Paslanmaz Çelikler	18
2.7. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	21
2.8. Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler	22
2.9. Dupleks Paslanmaz Çelikler	23
BÖLÜM 3.	
ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAĞI	25
3.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Karşılaşılan Problemler.....	25

3.1.1. Krom karbür oluşumu	26
3.1.2. Sıcak çatlak oluşumu	27
3.1.3. Sigma fazı oluşumu (σ)	30
3.2. TIG Kaynağı.....	30
3.2.1. TIG kaynak yönteminde kullanılan yoruyucu gazlar	32
3.2.2. İlave kaynak metalleri	34
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	36
4.1. Denede Kullanılan Malzemeler ve Kaynak Yöntemleri.....	36
4.2. Mekaniksel Deneyler.....	40
4.2.1. Çekme deneyi.....	40
4.2.2. Çentik darbe deneyi	40
4.2.3. Vickers mikrosertlik ölçümü	42
4.2.4. Eğme deneyi.....	42
4.3. Mikroyapı İncelemesi.....	43
4.3.1. Optik mikroskop.....	43
4.3.2. Tarama elektron mikroskobu (SEM) ve elemental analiz incelemesi	44
4.4. Ferrit Miktarının Ölçümü	45
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI	46
5.1. Kullanılan İlave Metalin ve Koruyucu Gazı Mekanik Özelliklere Etkisi	46
5.1.1. Çekme deneyi.....	46
5.1.2. Çentik darbe deneyi.....	61
5.1.3. Mikrosertlik deneyi sonuçları	70
5.1.4. Eğme deneyi sonuçları.....	78
5.2. Mikroyapı İncelemeleri.....	80
5.2.1. Optik mikroskop aydınlık alan incelemeleri	80
5.2.2. Optik mikroskop karanlık alan incelemeleri	85
5.2.3. Kaynaklı bağlantıların ferrit miktarının belirlenmesi	95

5.2.4. Ferrit miktarının sertliğe etkisi	96
5.3. SEM Mikroyapı incelemeleri	97
5.4. EDS elemental analizleri	102
BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	108
6.1. Sonuçlar.....	108
6.2. Öneriler.....	109
KAYNAKLAR.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	112

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	Numune kalınlığı
c	Ölçü uzunluğu içinde numune genişliği
σ_{φ}	Çekme dayanımı
σ_k	Kopma dayanımı
σ_k	Akma sınırı
σ	Gerilme
σ_o	Ortalama Gerilme
σ_k	Kopma dayanımı
σ_k	Akma sınırı
R	Yükleme durumu
γ	Östenit fazı
δ	Ferrit fazı
ITAB	Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
TIG	Tungsten Inert Gas
MIG	Metal Inert Gas
ER308L	Kaynak İlave Teli
ER316L	Kaynak İlave Teli
ER347	Kaynak İlave Teli
ER316L	Kaynak İlave Teli
316L	Östenitik Paslanmaz Çelik
316Ti	Östenitik Paslanmaz Çelik
HMK	Kübik Hacim Merkezli
YMK	Yüzey Hacim Merkezli

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	Numune kalınlığı
c	Ölçü uzunluğu içinde numune genişliği
σ_c	Çekme dayanımı
σ_k	Kopma dayanımı
σ_k	Akma sınırı
σ	Gerilme
σ_o	Ortalama Gerilme
σ_k	Kopma dayanımı
σ_k	Akma sınırı
R	Yükleme durumu
γ	Östenit fazı
δ	Ferrit fazı
ITAB	Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
TIG	Tungsten Inert Gas
MIG	Metal Inert Gas
ER308L	Kaynak İlave Teli
ER316L	Kaynak İlave Teli
ER347	Kaynak İlave Teli
ER316L	Kaynak İlave Teli
316L	Östenitik Paslanmaz Çelik
316Ti	Östenitik Paslanmaz Çelik
HMK	Kübik Hacim Merkezli
YMK	Yüzey Hacim Merkezli

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Çeliğin atmosferik korozyonu üzerine kromun etkisi	2
Şekil 1.2. 1000 °C de 48 saat sonra çeşitli çeliklerin oksidasyon kayıpları	3
Şekil 1.3. Değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları	5
Şekil 2.1. Paslanmaz çeliklerin genel üretim akışı şeması	11
Şekil 2.2. İkili demir-krom denge diyagramı	15
Şekil 2.3. Demir - Krom alaşımlarının denge diyagramı	16
Şekil 2.4. Ferritik paslanmaz çelikler	21
Şekil 3.1. 18Cr/8 Ni (0.10 C)' lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökmesi (X 1200)	26
Şekil 3.2. Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon.....	26
Şekil 3.3. Katılma faz sınırlarını da içeren WRC - 1992 diyagramı	29
Şekil 3.4. TIG kaynak yönteminde ark bölgesi	31
Şekil 4.1. 316Ti ve 316L deney numunesi	38
Şekil 4.2. Darbe çentik deney numuneleri için kaynağı yapılmış malzeme.....	38
Şekil 4.3. Kaynakla birleştirilmiş parçalardan çıkarılan çekme, eğme, mikroyapı ve mikrosertlik deney numuneleri	40
Şekil 4.4. Çentik darbe test numune ölçüleri	41
Şekil 4.5. Şematik olarak gösterilen birleştirilmiş paslanmaz çelik numunenin a) Kaynak bölgesine paralel b) Kaynak bölgesine dik Vickers Mikrosertlik değerlerinin alındığı bölgeler.....	42
Şekil 4.6. Eğme deney numunesi	42
Şekil 4.7. Eğme Deneyi	43
Şekil 4.8. Tarama elektron mikroskobu (SEM) ve EDS cihazları.....	44
Şekil 4.9. Ferritescope cihazı	45
Şekil 5.1. ER 347 ilave metali ile farklı koruyucu gazlar altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen paslanmaz çeliğin gerilim-uzama diyagramı a) Argon b) Argon + %2H ₂ c) Argon+%5H ₂	48
Şekil 5.2. Argon koruyucu gazı altında birleştirilen 316Ti paslanmaz çelikte kullanılan farklı ilave metallerin kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	49
Şekil 5.3. Argon+%2H ₂ koruyucu gazı altında birleştirilen 316Ti paslanmaz çelikte kullanılan farklı ilave metallerin kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	50
Şekil 5.4. Argon+%5H ₂ koruyucu gazı altında birleştirilen 316Ti paslanmaz	

	çelikte kullanılan farklı ilave metallerin kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi	52
Şekil 5.5.	Kullanılan koruyucu gaz kompozisyonunun kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi....	53
Şekil 5.6.	Argon koruyucu gazı altında birleştirilen 316L paslanmaz çelikte kullanılan farklı ilave metallerin kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	54
Şekil 5.7.	Argon+%2H2 koruyucu gazı altında birleştirilen 316L paslanmaz çelikte kullanılan farklı ilave metallerin kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.....	56
Şekil 5.8.	Kullanılan koruyucu gaz kompozisyonunun kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi	57
Şekil 5.9.	Saf Argon koruyucu gazı altında a) ER 347 b) ER 316L c) ER 309L ilave metalleri ile TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri	60
Şekil 5.10.	Ar+%2H2 koruyucu gazı altında a) ER 347 b) ER 316L ilave metalleri ile TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri.....	61
Şekil 5.11.	Çentik darbe deneyi uygulanmış numune	62
Şekil 5.13.	Argon koruyucu gazı altında ER 347 ilave çubukları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen 316L tipi östenitik paslanmaz çelik parçalara çentik darbe deneyi uygulanan numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C..	66
Şekil 5.14.	Argon koruyucu gazı altında ER 316L ilave çubukları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen 316L tipi östenitik paslanmaz çelik parçalara çentik darbe deneyi uygulanan numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C.....	67
Şekil 5.15.	Argon+%2H2 koruyucu gazı altında ER 316L ilave çubukları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen 316L tipi östenitik paslanmaz çelik parçalara çentik darbe deneyi uygulanan numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C	68
Şekil 5.16.	TIG kaynak yöntemiyle 316Ti kalite paslanmaz çeliğin farklı ilave telleri kullanılarak Argon koruyucu gazı altında birleştirilen mikrosertlik değerleri	70
Şekil 5.17.	TIG kaynak yöntemiyle 316Ti kalite paslanmaz çeliğin farklı ilave telleri kullanılarak Argon+%2H2 koruyucu gazı altında birleştirilen mikrosertlik değerleri.....	71
Şekil 5.18.	Koruyucu gazın içerisindeki hidrojen miktarının kaynak kesitinden	

alınan mikrosertlik değerlerine etkisi	71
Şekil 5.19. TIG kaynak yöntemiyle 316L kalite paslanmaz çeliğin farklı ilave telleri kullanılarak yapılan birleştirmenin mikrosertlik değerleri.....	72
Şekil 5.20. TIG kaynak yöntemiyle ER 347 ilave metali ile 316L kalite paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gazlar kullanılarak yapılan birleştirmenin mikrosertlik değerleri	73
Şekil 5.21. TIG kaynak yöntemiyle ER 316L ilave metali ile 316L kalite paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gazlar kullanılarak yapılan birleştirmenin mikrosertlik değerleri	73
Şekil 5.22. TIG kaynak yöntemiyle Argon koruyucu gazı altında farklı ilave metaller kullanılarak birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri	74
Şekil 5.23. TIG kaynak yöntemiyle Argon+%2H ₂ koruyucu gazı altında farklı ilave metaller kullanılarak birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri	75
Şekil 5.24. TIG kaynak yöntemiyle Argon+%5H ₂ koruyucu gazı altında farklı ilave metaller kullanılarak birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri	75
Şekil 5.25. Farklı koruyucu gazlar altında ER 347 ilave metali ile birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri.....	76
Şekil 5.26. Farklı koruyucu gazlar altında ER 316L ilave metali ile birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri	76
Şekil 5.27. Farklı ilave metallerle Argon koruyucu gazı altında birleştirilen 316L paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri.....	77
Şekil 5.28. Değişik ilave metaller kullanılarak Argon atmosferi altında kaynak yapılmış 316Ti paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları	78
Şekil 5.29. Değişik ilave metaller kullanılarak Argon+%2H ₂ atmosferi altında kaynak yapılmış 316Ti paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları.....	78
Şekil 5.30. Değişik ilave metaller kullanılarak Argon+%5H ₂ atmosferi altında kaynak yapılmış 316Ti paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları.....	78
Şekil 5.31. Değişik ilave metaller kullanılarak Argon+%2H ₂ atmosferi altında kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları.....	78
Şekil 5.32. Değişik ilave metaller kullanılarak Argon+%5H ₂ atmosferi altında kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları.....	79
Şekil 5.33. Argon atmosferi altında ER347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları	80
Şekil 5.34. Argon atmosferi altında ER309L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları	80
Şekil 5.35. Argon+%2H ₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG	

kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları	81
Şekil 5.36. Argon+%2H ₂ atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları	81
Şekil 5.37. Argon+%5H ₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları	82
Şekil 5.38. Argon atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları	82
Şekil 5.39. Argon atmosferi altında ER 309L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları	83
Şekil 5.40. Argon+%5H ₂ atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları.....	83
Şekil 5.41. Argon+%5H ₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları	84
Şekil 5.42. Argon atmosferi altında ER 309L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları	85
Şekil 5.43. Argon+%2H ₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları	86
Şekil 5.44. Argon+%5H ₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı resimleri	87
Şekil 5.45. Argon atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı resimleri	88
Şekil 5.46. Argon atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı resimleri	89
Şekil 5.47. Argon atmosferi altında ER 309L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı resimleri	90
Şekil 5.48. Argon+%2H ₂ atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı resimleri	91
Şekil 5.49. Argon+%5H ₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG	

	kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı resimleri	92
Şekil 5.50.	Argon+%5H ₂ atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı resimleri	93
Şekil 5.51.	ER 347 ilave metali ile kaynak yapılan AISI 316Ti östenitik paslanmaz çelikte koruyucu gazı göre Ferrit miktarı Mikrosertlik ilişkisi	95
Şekil 5.52.	Argon koruyucu gazı altında değişik ilave metallerle kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin Ferrit miktarı- Mikrosertlik ilişkisi	96
Şekil 5.53.	Farklı koruyucu gazlarla kaynak yapılmış 316Ti paslanmaz çeliğin geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüsü a) Argon b) Argon+%2H ₂	97
Şekil 5.54.	Farklı koruyucu gazlarla kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüsü a) Argon b) Argon+%2H ₂	98
Şekil 5.55.	Farklı koruyucu gazlarla kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin kaynak metali SEM mikroyapı görüntüleri a) Argon b) Argon+H ₂	99
Şekil 5.56.	Aynı ilave metal ve koruyucu gaz ile kaynak yapılan paslanmaz çeliğin kaynak metali SEM mikroyapı görüntüsü a) 316Ti b) 316L.....	100
Şekil 5.57.	Argon koruyucu gazı altında ER 347 ilave metali ile kaynak yapılan 316Ti paslanmaz çeliğin EDX analizi sonuçları	101
Şekil 5.58.	Argon koruyucu gazı altında ER 347 ilave metali ile kaynak yapılan 316L paslanmaz çeliğin EDX analizi sonuçları	102
Şekil 5.59.	Ar+H ₂ koruyucu gazı altında kaynak yapılan 316L paslanmaz çeliğin EDX sonuçları	103
Şekil 5.60.	Koruyucu gaz olarak Argon kullanılarak ve ER 347 ilave çubuğu kullanılarak yapılan 316Ti östenitik paslanmaz çeliği birleştirme sonucunda elde edilen a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı.....	104
Şekil 5.61.	Koruyucu gaz olarak Argon kullanılarak ve ER 347 ilave çubuğu kullanılarak yapılan 316L östenitik paslanmaz çeliği birleştirme sonucunda elde edilen a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı.....	105
Şekil 5.62.	Koruyucu gaz olarak Argon+H ₂ kullanılarak ve ER 347 ilave çubuğu kullanılarak yapılan 316L östenitik paslanmaz çeliği birleştirme sonucunda elde edilen a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı.....	106

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Alaşım elementlerinin paslanmaz çeliğe etkisi	12
Tablo 2.2. Alaşımsız çelik ile paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması	13
Tablo 3.1. Gazaltı Kaynaklarında Kullanılan Gazların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	34
Tablo 3.2. Bazı TIG ilave tellerin kimyasal bileşenleri	35
Tablo 4.1. Ana malzeme kimyasal analiz değeri	36
Tablo 4.2. Kaynak teli kimyasal analiz değeri	37
Tablo 4.3. Deney parçalarına uygulanan kaynak yöntemleri, şartlar ve parametreler	39
Tablo 4.4. Darbe çentik deneyi yapılan numunelere uygulanan kaynak yöntemleri, şartlar ve parametreler	41
Tablo 5.1. 316Ti paslanmaz çelikte koruyucu gazın çekme deneyine etkisi	47
Tablo 5.2. 316L paslanmaz çelikte koruyucu gazın çekme deneyine etkisi.....	47
Tablo 5.3. 316Ti paslanmaz çelikte ilave metalin çekme deneyine etkisi...	47

Tablo 5.4. 316L paslanmaz çelikte ilave metalin çekme deneyine etkisi.....	47
Tablo 5.5. 316L paslanmaz çelikte ilave metalin darbe çentik dayanımına etkisi.....	63
Tablo 5.6. 316L paslanmaz çelikte koruyucu gazın darbe çentik dayanımına etkisi.....	64
Tablo 5.7. Kullanılan koruyucu gaz ve ilave metallere göre %ferrit miktarının değişimi.....	94

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Östenitik Paslanmaz Çelik, TIG Kaynağı, Mekanik Özellikler, Mikroyapı

Bu çalışmada AISI 316Ti ve AISI 316L kalite östenitik paslanmaz çelik TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi kullanılarak küt alın kaynak dizaynında birleştirilmiştir. Ana malzemeye uygun ilave metaller kullanılarak birleştirilmiştir. Koruyucu gaz olarak argon, argon + % 2 hidrojen ve argon + %5 hidrojen kullanılmıştır. Çalışmada ilave metalin ve koruyucu gazın kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımı, eğme, mikrosertlik ve çentik darbe tokluğu gibi mekanik özellikleri ile mikroyapısına olan etkileri incelenmiştir. Mikroyapı çalışmalarında optik mikroskopunda aydınlık ve karanlık alan, SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) çalışmalarında ise çekme ve çentik darbe deneyi sonucu elde edilen kırılma yüzeyi yapıları ve kaynak kesit yüzeyleri incelenmiş ve EDS analizleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, ilave metalin ve koruyucu gazın malzemenin çekme mukavemetlerini ve sertliği üzerinde önemli etkiler olduğu gözlenmiştir. Özellikle koruyucu gazın ortamıyla mekanik özelliklerde artma görülmektedir. Ayrıca darbe tokluğu deneylerinde kullanılan ilave metalin kaynağın kırılma enerjisi değerlerinin belirlenmesinde etkili olduğu görülmüştür.

THE EFFECT OF SHIELDING GASES AND FILLER MATERIALS ON MECHANICAL PROPERTIES OF THE WELDED STAINLESS STEELS BY GTAW

SUMMARY

Key words: Austenitic Stainless steel, GTAW, Mechanical Properties, Microstructure

In this study, AISI 316Ti and AISI 316L types of austenitic stainless steels were welded by GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) on butt joint and flat position using various suitable filler materials and argon, argon + % 2 H₂ and argon + %5H₂ as a shielding gasses. Effects of the filler materials and shielding gasses on mechanical properties such as tensile strength, bending test, charpy impact toughness and microhardness and microstructure were investigated. Various characterization techniques were used. In microstructure studies such as optic microscopy (bright field and dark field) and fracture surfaces obtained after tensile and charpy impact testing by scanning electron microscopy, were performed cross section surfaces of welded materials were investigated by EDS analysis and SEM microscopy.

The results show that shielding gasses and filler materials are influenced, mechanical and microstructural properties. Especially, on welded materials using it the Argon + % 2 H₂ as a shielding gas, resulted in an increase in tensile strength. In addition to that it was seen that filler material is important factors in determination of fracture energy values of welded materials in impact tests.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

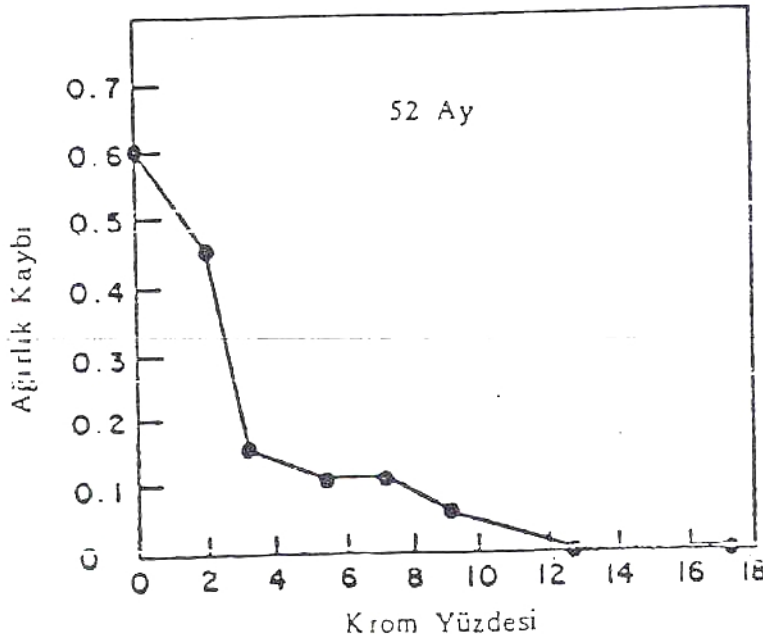
Paslanmaz çelikler deyimi içerisinde bir çok organik ve madeni agresif etkenlerin bulunduğu sulu ortamlarda korozyona dayanıklı çeliklerdir. Atmosferik etkenlerin korozyonuna da dirençlidir. Bazı korozyon faktörlerine karşı bu cins çelikler temiz kalmaları, parlaklıklarını muhafaza etmeleri ve yüzeylerinde çukurcukların oluşmaması gibi üstün özelliklere sahiptirler. Paslanmaz çelikler, esas itibariyle demir, krom ve çoğu zaman da nikel içeren alaşımlar olup, genel olarak özellikleri krom'a bağlıdır. Esasında elektro etkileşim potansiyelleri cetveline bakıldığında krom, demirden daha az asil bir metaldir; yani krom içeren çelikler bir krom oksit tabakasıyla örtülü olmadıkları sürece korozyona ve özellikle oksitlenmeye çok hassas olduğundan bunlara “aktif” denilmektedir. Bu tabaka oluştuğunda alt tabakada ki metali korozif ortamların özellikle oksitleyici ortamların etkisinden koruduğundan bu çelikler “pasif” olmaktadır. Pasivite tabakası denilen bu koruyucu tabaka çıplak metalin hava ile temasında ani olarak oluşmaktadır. Bunun hızlandırılması istenildiğinde, bir pasifleştirici işlem uygulanır. Bu tabaka kaldırılacak ve yeniden oluşması bazı koşullarda engellendiğinde paslanmaz çeliğin korozyona karşı dirençleri azalmaktadır. Kompozisyon içerisinde bulunan az miktardaki krom korozyona direnç bakımından önemli rol oynamakta ve en az %10–12 krom içeren demir-krom veya demir-krom-nikel alaşımlarına paslanmaz çelik denilmektedir. Bu oran atmosferik korozyona veya ani paslanmaya karşı direnç için gereklidir [1].

Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirliği, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri gibi özelliklere sahiptir [2].

Çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren paslanmaz çelikler, her geçen gün biraz daha önem kazanan ve uzay endüstrisinden, tıp'a kadar geniş bir

kullanma alanına sahiptirler. Her türde ve biçimde bulunabilen ve kolaylıkla şekillendirilebilen bu çeliklerin geliştirilmiş kaynak yöntemleri ile başarılı bir biçimde kaynak edilebilmeleri uygulama alanlarını daha da genişletmektedir [3].

Mekanik özellikler açısından, ekonomik olarak elde edilebilen düşük alaşımlı çeliklerden pek büyük farklılık göstermeyen paslanmaz çeliklerin, yüksek maliyetlerine rağmen uygulamada yaygın olarak kullanılmalarının esas nedeni, Şekil 1.1 de görüldüğü gibi mekanik özelliklerini kaybetmeden yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır [4].

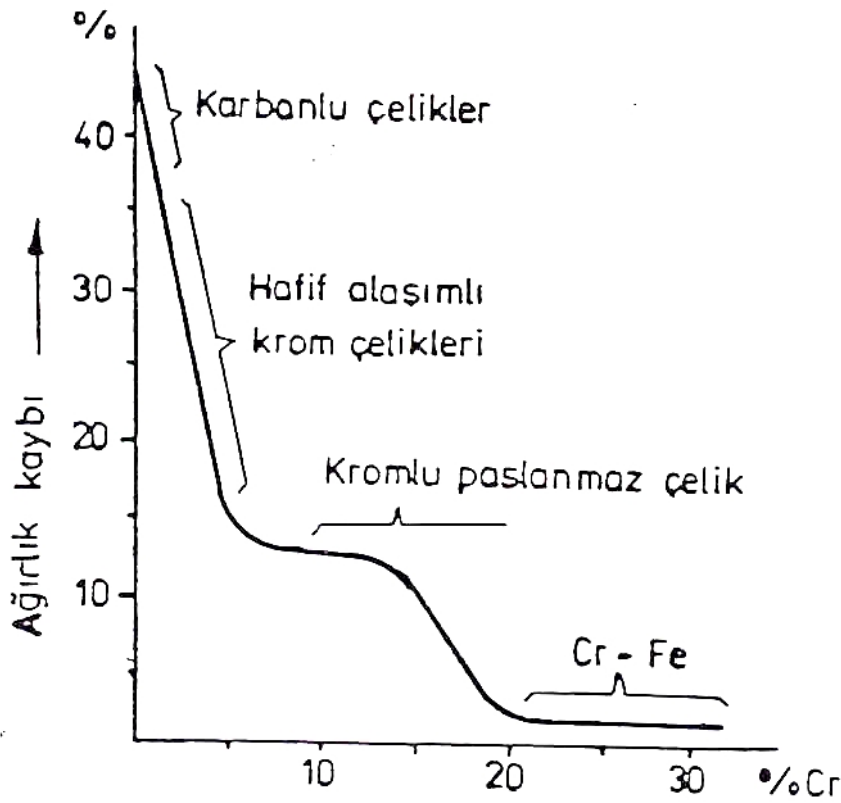


Şekil 1.1. Çeliğin atmosferik korozyonu üzerine kromun etkisi [4]

Çeliğin korozyona ve oksidasyona karşı mukavemetini artırabilmesi için %12'den fazla miktarda krom katılmalıdır. Krom çeliği küçük taneli yapar, kritik soğuma hızını azaltır ve bundan dolayı çeliğe tamamen sertleştirici bir etki de yapar. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi çelikte artan krom miktarına bağlı olarak da yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri artmaktadır [4].

Aslında bu tür çelikler diğer demir alaşımlarının büyük bir kısmı gibi atmosferde oksitlenirler ve yüzeylerinde pas olarak adlandırdığımız bir oksit tabakası oluşur. Çelikteki kromun koruyucu özelliği krom ile oksijen arasındaki yüksek affiniteden

kaynaklanmaktadır. Çeliğin içerdiği krom miktarı %12'den fazla olunca çeliğin yüzeyinde sıkı ve ince bir kromoksit tabakası oluşmakta ve bu tabaka yüzeyi pasif hale getirerek dış tesirlere karşı korumaktadır. Gerçekten elektrokimyasal gerilim serisine bakıldığında krom, demirden daha az asil olan bir metal olup, çeliğin yüzeyinde kromoksit tabakası bulunmadığında, korozyona ve oksidasyona karşı hassastır.



Şekil 1.2. 1000 °C de 48 saat sonra çeşitli çeliklerin oksidasyon kayıpları [4].

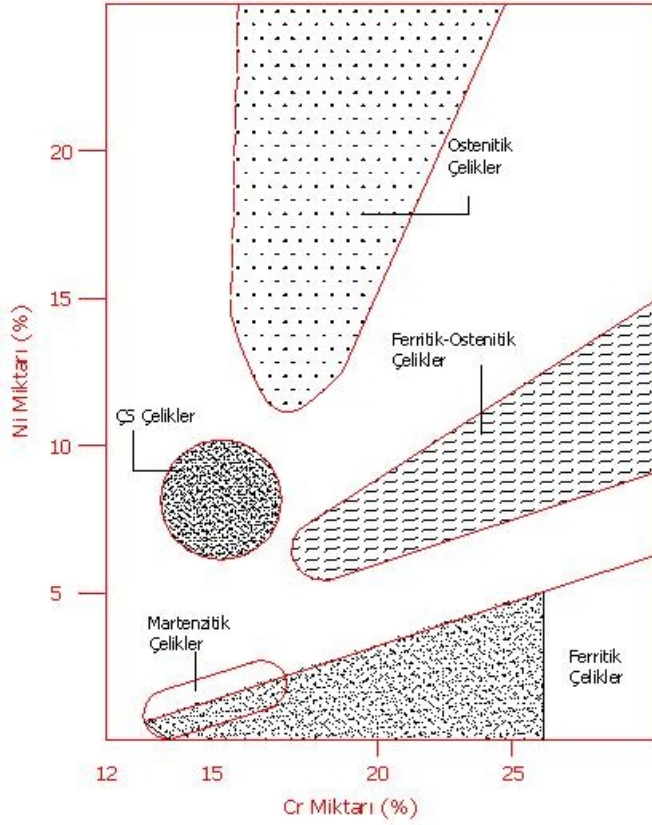
Çelikte pasivitenin sınırları ve derecesi ortamın aktivitesi ile paslanmaz çeliğin tür ve bileşimine bağlıdır. Paslanmaz çeliğin yüzeyinde pasif bir filmin oluşması için mutlaka bir kimyasal işleme gerek olmaksızın yüzeyin oksijen ile teması halinde aniden oluşur. Yani pasivasyon işlemi yüzeyde bulunan serbest demirin, oksitlerin ve diğer yüzey kirlerinin uzaklaştırılması esasına dayanır. Alaşım elementi olarak çeliğin içinde %12'yi aşan miktarda kromun bulunması, çeliği atmosferin olumsuz etkilerinden koruduğu gibi HNO₃ (Nitrik asit) gibi oksitleyici asitlere karşı da korur. Buna karşın sade karbonlu çelikler HCL (Hidroklorik asit) ve H₂SO₄ (Sülfürik asit)

gibi asitlere karşı dayanıklı değildirler. Bu asitler yüzeyi koruyan krom oksit tabakasını ortadan kaldırır ve dolayısıyla çelik kromsuz kalmaktadır. Günümüz endüstrisinde redükleyici asitlere karşı da iyi bir dayanım gösteren, içinde Nikel, Molibden gibi alaşım elementleri bulunan paslanmaz çelikler imal edilmektedir. Bu tür çelikler yapılarında krom ile birlikte yüksek miktarlarda nikel ve molibden içermektedir. Bu alaşım elementleri çeliklerin mikroyapılarını etkin bir şekilde değiştirerek paslanmaz çeliklerin sınıflandırılmasına yardımcı olmaktadır. Günümüzde uygulama alanı bulmuş 170'den fazla miktarda çelik türü bilinmektedir. Bazı çelik türlerinde krom içeriği %30'a ulaşmakta ve bazılarında da yeni elementler katılarak değişik özellikler elde edilmekte ve talaşlı işleme ile imalat kolaylığı sağlanmaktadır. Krom, çeliğin yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini korumasını sağladığından bu çelikler, yüksek sıcaklıklarda sürünmeye karşı mukavemetli çelikler olarak da kullanılmaktadır [3].

Krom, nikel, molibden ve mangan paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri olup, özellikle krom ve nikel iç yapının ferritik veya östenitik olmasını sağlayan önemli elementlerdir (Şekil 1.3).

Günümüzde değişik amaçlarla kullanılan çeşitli paslanmaz çelik türleri vardır. Bunlar sırası ile;

1. Östenitik paslanmaz çelikler
2. Ferritik paslanmaz çelikler
3. Martenzitik paslanmaz çelikler
4. Dupleks paslanmaz çelikler
5. Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerdir.



Şekil 1.3. Değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları [2]

Yukarıda belirtilen gruplandırma malzemelerin içyapısına göre yapılmış olup, bu gruplar içinde en yaygın olarak östenitik ve ferritik çelikler kullanılmakta tüm paslanmaz çelikler içinde %95 değerine ulaşmaktadır [5].

Paslanmaz çelikler günümüz endüstrisinde önemli bir yere sahip olup, özellikle ince kesitli paslanmaz çelik parçaların birleştirilmesinde özellikle TIG ve MIG kaynak yöntemleri tercih edilmektedir. Bu kaynak yöntemlerinde koruyucu gaz ve ilave metal seçimi kaliteli bir dikişi sağlanması bakımında oldukça önemlidir.

Östenitik paslanmaz çelikler gaz altı kaynaklarında koruyucu gaz olarak argon + helyum + karbondioksit içeren gazlar kullanılmaktadır. Argon + oksijen karışımı gazlar kaynak banyosunda oksidasyona neden oluşturmasına rağmen. Daha iyi ısıtma kabiliyeti ve ark dengesi sağlamaktadır [6].

MIG kaynağında oksijen karbondioksit göre daha etkili olup argon + % 1-2 oksijen kullanıldığında sprey ark geçişi sağlamaktadır [7, 8].

Paslanmaz çelikleri birleştirirken en çok koruyucu gaz olarak saf argon kullanılmaktadır. Argon 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 [9, 10].

Azot gazı östenit dengeleyici olduğundan kaynaklı birleştirmelerde kaynak metalindeki δ -ferrit oranını kontrol edilmektedir [11, 12]. Gaz altı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen östenitik paslanmaz çelik konstrüksiyonların mekanik özelliklerin belirlenmesi imalatı yapılan konstrüksiyonun daha güvenli kullanılması açısından önemlidir. Gaz altı kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilen paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinin sertlik dağılımı, çentik darbe deneyleri, çekme mukavemeti ve yorulma özelliklerinin bilinmesi gereken önemli özellikler olup, kaynak bölgesinin mikroyapısının bu özelliklere etkisi oldukça önemli olduğundan bu çalışmada endüstriyel açıdan önemli olan 316L tipi paslanmaz çelik ile son zamanlarda geliştirilen ve kimya, petro-kimya, gıda, tekstil endüstrisi gibi alanlarda kullanılan 316Ti östenitik paslanmaz çelik çeşitli ilave metalleri kullanılarak argon ve argon + %2 hidrojen ve argon + %5 hidrojen karışımlı gazlar kullanılarak yatay pozisyonda düz alın şekilde birleştirilip ilave metalin kaynak dikişine mekanik etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda birleştirilen parçaların mikroyapı karakterizasyonu da yapılarak elde edilen mekanik deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür bilgileri ile yorumlanmıştır.

Bu çalışmada, hazırlanan tez 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde paslanmaz çeliklerin önemi, çeşitleri ile ilgili genel bilgiler giriş bölümünde verilmiştir. Giriş bölümünü takiben 2. bölümde ise paslanmaz çelikler hakkında genel bir bilgi verip çeşitleri, kullanım yerleri ve çeşitli özellikleri ile ilgili bilgiler sunulmaktadır. Bölüm 3'de östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve TIG kaynak yöntemi ve çeşitli özellikleri literatür ışığında incelenmiştir. Bölüm 4 bu çalışmada uygulanan deneysel çalışmaları ve bu çalışmalarda izlenen deneysel metotlar açıklanmıştır. Bölüm 5'te bu çalışmanın en can alıcı kısmını oluşturmakta

olup kaynaklı parçaların mikrosertlik, çekme, eğme, çentik darbe gibi mekanik özellikleri ile optik Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) mikroyapı analizleri ile ilgili yapılan deneysel sonuçlar verilmiştir.

Bu çalışmanın genel amacı ilave metallerin ve kullanılan koruyucu gazların kaynaklı birleştirmelerin mukavemetine ve mikroyapısına etkileri incelenerek, elde edilen literatür bilgilerine dayanılarak sonuçlar açıklanmaktadır. Bu çalışmanın son kısmı olan 6. bölümde ise çalışmada elde edilen genel sonuçlar ve gelecekte aynı konuda araştırma yapacaklara hitap eden öneriler kısmı bulunmaktadır.

BÖLÜM 2. PASLANMAZ ÇELİKLER VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Paslanmaz Çeliklerin Tarihçesi

Paslanmaz çelikler I.dünya savaşı sonrasında Avrupalı bir hurdacı (İngilizler, Fransızlar ve Almanlar bu olayın kendi ülkelerinde meydana gelmiş olduğu tezini savunmakla beraber) paslı hurdalar arasında parlayan bir top namlusu görür ve bunun neden diğer çelikler gibi paslanmadığını merak ederek analiz ettirir ve sonuçta çeliğin içeriğinde yüksek oranda krom bulunduğunu öğrenir bu keşiften sonra Avrupa'da paslanmaz çelik üretimi başlamıştır [3].

Ancak bazı bilgiler kromlu demir alaşımlarının hurdacının keşfinden yıllar önce araştırıldığı üretildiği, hatta kullanılarak, hurdaya ayrıldığı ve bunlardan belki bir tanesinin de bahsedilen hurdacının deposuna tesadüfen düşmüş olduğunu göstermektedir. Paslanmaz çeliğe paslanmazlık özelliğini kazandıran alaşım elementi krom ilk önce Alman Kimyager M.H. Klaproth ve Fransız Louis Nicolas Vauguelin tarafından 1797' de, Ural Dağları'ndan gelen Crocoite adı verilen parlak kırmızı renkli bir mineralin analizi sırasında yeni bir element olarak kendisini göstermiştir. Bileşiminde % 64 kurşun içeren bu cevherden yeni bir elementin ayrıştırma çalışmaları sırasında mineralin çeşitli renkler alması üzerine Kristalograf Renejust Haüy' ün önerisi ile, Vauguelin bu yeni elemente Yunanca renk kelimesinden türetilmiş olan Krom adını vermiştir [3].

Demir-krom alaşımlarının su içinde paslanmasını 1838' de Mallet, bu alaşımlara asitlerin ve karbonun etkilerini ise 1857'de Fremy incelemiştir. RA Hadfield, 1892'de %16' ya kadar krom içeren Fe-Cr alaşımlarının asitlere karşı davranışlarını incelemiş fakat o da, kendisinden önceki araştırmacılar gibi deneylerinde sülfürik asit kullanmış olduğundan bu alaşımların hangi tür asitlere karşı korozyon direnci gösterdiğini belirleyememiştir [3].

İlk hazırlanan alaşımların bileşiminde % 1 civarında bulunan karbon, oksitleyici asitlere karşı alaşımın pasivitesini artırırken, galvanik etki nedeni ile redükleyici asitlerin oluşturduğu korozyon hızını da arttırmıştır. Krom ve karbonun görünüşteki birbirlerine bu ters etkileri, Fe-Cr alaşımlarının üstün özelliklerinin geç anlaşılmasına neden olmuş ve bu olayın aydınlanması ise ancak krom oksitin alüminyum tozu kullanılarak Goldschmidt yöntemiyle redüklenmesi ile az karbonlu kromun 1897' de büyük miktarlarda eldesinden sonra bulunmuştur. 1904–1906 yılları arasında Fransa'da Leon Guillet, yoğun araştırmalar sonucu bir kısmını günümüzde de kullandığımız ferritik ve östenitik içyapılı alaşımları laboratuvar çapında geliştirmiş ve bu alaşımları dağlamak için çok kuvvetli asitlere gerek olduğunu belirlemiştir [3].

1911 yılında C. Dantsizen, General Elektrik Firmasında, elektrik ampullerinde flaman olarak kullanılmak üzere % 14–16 Cr içeren bir Fe-Cr alaşımı, gene aynı yıllar da İngiltere de Harry Brearley Fe-Cr alaşımlarının yüksek korozyon direncinden yararlanarak çatal, kaşık, bıçak yapmak üzere 12,8 Cr içeren bir alaşım geliştirmiştir. H. Brearly, çalışmaları sırasında bu alaşımların ısıl işlem sonucu sertleşebildiklerini gördükten sonra bunların aşınma ve karıncalanmasını önlemek için top namlularında kullanılabileceği kanaatine varmıştır. Aynı araştırmacı tarafından bu alaşımların metalografik dağlama ayraçlarına dirençleri olduklarından bu malzemelere “paslanmaz çelik” adı verilmiştir [3].

Bu östenitik alaşımların asitlere dayanıklılığı 1912' de Eduard Maurer'in Benno Strauss' un yapmış olduğu alaşımların laboratuvarda asit buharlarına karşı dayanıklı olduklarını fark etmesi sonucu keşfedilmiştir. Aslında bu alaşımlar işleme sırasında çatlamaktadır. Maurer bu alaşımlara ısıl işlem uygulayıp krom-karbürleri çözelti haline getirerek alaşımı sünek hale getirmeyi başardı. Uzun çalışmalar sonucu geliştirilmiş bu alaşımların patenti alındıktan sonra 1914 yılından itibaren Krupp, V2A çeliğini (%20 Cr, %7 Ni, %0.25 C) adı altında endüstrinin hizmetine sunarak, endüstriyel çapta ilk paslanmaz çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. 1920' li yıllardan itibaren üretim tekniklerinin geliştirilmesi, üretim miktarlarının artması sonucu % 17 Cr' lu ferritik, % 18 Cr-% 8 Ni içeren östenitik paslanmaz çelikler kimya endüstrisinde geniş çapta kullanılmaya başlanmıştır [3].

Savaş şartları sonucu 1950'li yıllarda östenitik paslanmaz çelik için Ni bulunmasında karşılaşılan güçlükler, bu element yerine Mn ve N kullanılarak, bugün AISI 200 paslanmaz çelik serisi geliştirilmiştir. Farklı gereksinimleri karşılamak için duplex (çift fazlı) ve çökeltme sertleşmeli çelik türleri yanı sıra çok az karbon ve azot ile çok az alaşım elemntleri içeren ferritik paslanmaz çelikler ve süper-östenitik (tam östenitik) paslanmaz çelikler üretilmiştir [3].

Paslanmaz çelik yüksek frekanslı endüksiyon fırınlarında veya elektrik ark fırınlarında üretilir. Yüksek saflıkta hammadde ihtiyacı vakumda eritilmiş çelik kullanılmasını gerektirir. Paslanmaz çelikte korozyona ve oksidasyana karşı mukavemeti arttıran alaşım elementi kromdur. Kromun çeliğe diğer bir tesiri de çeliklerin ısı altındaki dayanıklılıklarını büyük çapta arttırmasıdır. Bu tesir bilhassa çekme ve sürünme mukavemetlerinde kendini gösterir. Krom çeliğin yüksek sıcaklıktaki oksidasyana karşı dayanıklılığını da arttırır. Alaşım elementlerinden nikel de, çeliğin korozyona mukavemetini arttırırken ısı geçirgenliğini azaltır. Bunun yanı sıra darbe dayanıklılığını arttırır, haddelenebilirliği sağlar ve kaynak yapılmasını kolaylaştırır. Molibden ise yüksek sıcaklıklarda yük altındaki deformasyonlara mukavemeti arttırır ve kaynak yapılmasını kolaylaştırır [13]. Paslanmaz çeliklerin genel üretim akış şeması Şekil 2.1'de verilmiştir.

Paslanmaz çelik içerisinde kullanılan alaşım elementlerinin paslanmaz çelik ürünlerine olan etkisi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Alaşım elementlerinin paslanmaz çeliğe etkisi [15].

Element	Çelik Tipi (EN Standardı)	Etki
Karbon	Bütün tipler	Çekme mukavemetini artırır. Korozyon dayanımını azaltır. Ayrışmaları kolaylaştırır. Östenit oluşturuca etki yapar.
Krom	Bütün tipler	Ferrit oluşturuca etki yapar. Oksitlenme ve korozyona karşı mukavemeti artırır.
Nikel	Bütün tipler	Östenit oluşturuca etki yapar. Yüksek sıcaklıkta mukavemet ve korozyon dayanımı sağlar.
Azot	Özel tipler	Kuvvetli bir östenit oluşturuca olup bu etkisi nikelin sahip olduğu etkidən 20-30 kat daha fazladır.
Niobyum	1.4511 1.4550 1.4580 v.b.	Tanelerarası korozyon eğilimini azaltmak üzere karbonu çözer; tane inceltici ve ferrit oluşturuca olarak etki yapar.
Mangan	Bütün tipler	Oda sıcaklığı ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda östenitin stabilleşmesini artırıp yüksek sıcaklıkta ferrit oluşturuca olarak etki yapar; mangan sülfür oluşturarak sıcak çatlak oluşmasına engel olur.
Molibden	1.4401 1.4404 1.4436 v.b.	Yüksek sıcaklıkta çekme mukavemetini ve redükleyici ortamlarda korozyon dayanıklılığını iyileştirir.
Fosfor ve Selenyum veya Kükürt	1.4005 1.4104 1.4305	Talaşlı işlenebilirliği kolaylaştırır. Kaynak kabiliyetini azaltır. Korozyona dayanıklılık az miktarda azalır.
Silisyum	Bütün tipler	Kavlanmaya karşı direncini yükseltir. Ferrit oluşturuca etki yapar. Az miktarda deoksidandır.
Titanyum	1.4510 1.4541 1.4571 v.b.	Karbonu çözmek suretiyle taneler arası korozyon eğilimini azaltır; Tane inceltici ve ferrit oluşturuca etki yapar.
Alüminyum	Tip 17-4 PH	Kuvvetli ferrit oluşturuca etki yapar. Sıcak sertleştirmede önemli miktarda alaşıma katılır.
Bakır	Tip 17-4 PH 1.4505 1.4506	Paslanmaz çeliklere katılır ve böylece belli oranlarda korozyona dayanıklılığı iyileştirir. Gerilme çatlakları korozyonunu önleyici etki yapar ve sertleştirmeye yardımcı olur.

2.2. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin kaynak işleminde önemli olan fiziksel özellikler normal karbonlu çelikler ile ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler için Tablo 2.2' de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi paslanmaz çelikler ile karbonlu çeliklerin fiziksel özellikleri farklılık göstermektedir. Örneğin, kromlu çeliklerin ısıyı iletme kabiliyetleri, alaşımsız çeliklerin yaklaşık yarısı kadardır. Östenitik çeliklerin ısı iletme katsayısı, karbonlu çeliklerin üçte biri kadardır. Bu farklı durum ısının kaynak bölgesinde daha uzun süre kaldığında bazı metalurjik problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [4].

Tablo 2.2. Alaşımsız çelik ile paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması [4].

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

Isıl genleşme katsayısı açısından karşılaştırıldığında, ferritik kromlu paslanmaz çelik ile, alaşımsız çeliğin birbirine yakın özellikte olduğu görülür. Östenitik çeliklerde ise bu değer, karbonlu çeliklerden %50 daha fazladır. Bu farklılık kaynakçı yanında, konstrüktörü de ilgilendiren önemli bir konudur. Özellikle kaynaktan sonra yüksek kendini çekme gerilmeleri oluşmakta ve çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle parçaların montaj pozisyonunda kaynak edilmeleri ve tamamen soğuyana kadar çözülmemeleri tavsiye edilmektedir. Elektrik iletme direnci alaşımsız çeliklerde düşüktür. Paslanmaz çeliklerde ise bu değer 4–7 kat daha fazladır. Bu

nedenle paslanmaz çelik elektrotlar, normal elektrotlardan daha çabuk kızardıkları için, daha kısa olarak imal edilirler ve normal elektrotlara göre %25 daha az akım şiddeti ile yüklenirler [4].

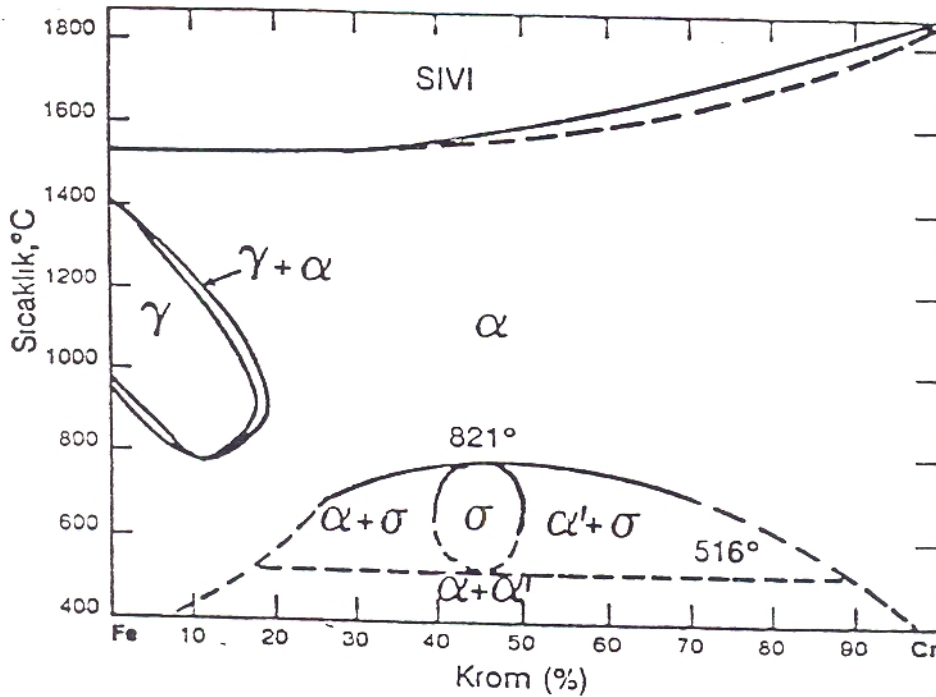
2.3. Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Mekanik özellikleri piyasada bulunan az alaşımlı çeliklerden büyük farklılık göstermeyen paslanmaz çeliklerin yüksek maliyetlerine rağmen uygulamada yaygın olarak kullanılmalarının esas nedeni yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır. Çelikte korozyona karşı dayanımı artıran alaşım elementi kromdur. % 3–10 kromlu ve % 10–14 saf kromlu çelikler havada sertleşirler yani kaynak dikişi ve ısıdan etkilenmiş bölgeler, kaynak sıcaklığından itibaren havada soğutulduklarında sertleşirler. Sertleşme kabiliyeti karbon oranı ile artar. Sertleşme miktarı, bir ölçüde soğuma hızına bağlı olup, bu keyfiyet özellikle % 3–10 krom-molibden çeliklerinde belirlidir. Krom aynı zamanda kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. % 14'ün üzerine çıktığında alfa-gama değişmesi yok olur ve % 17–18 krom ve % 0,10'dan az karbonla tek ferrit alaşımı meydana gelir [16].

2.4. Paslanmaz Çeliklerin Sahip Olduğu Faz Diyagramları

Paslanmaz çelikler grubunun temelini demir-krom ikilisi oluşturur. Krom, hacim merkezli kübik kristal kafes (HMK) yapısına sahip ferriti kararlı hale getirmektedir. Demir-krom denge diyagramında yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafes yapısına sahip olup, östenitin oluşturduğu bölge olan (γ) alanını kapalı hale getirmekte ve bu faz en büyük krom çözünürlüğünü(% 12), 1000 °C civarında göstermektedir. Demir-krom denge diyagramından da görüldüğü gibi, 1390 °C'nin üzerinde ve 830 °C'nin altındaki sıcaklıklarda hiç bir bölgede östenite rastlanmaz (Şekil 2.2) [3].

Saf demir-krom alaşımları Şekil 2.2'deki ikili faz diyagramından da görüldüğü gibi %12'den fazla krom içermesi halinde sıvı halden itibaren katılaştıklarında HMK kristal kafesli ferrit halinde katılaşmaktadır ve soğuma sırasında da hiç bir dönüşüm göstermemektedir. Bu olay kararlı östenit alanını da keskin bir şekilde sınırlandıran kromun ferrit oluşturma yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Diyagramın sol üst tarafında bulunan bir cep biçimindeki γ alanı alaşımın içeriğindeki karbon miktarına bağlı olarak genişlemektedir. γ alanını genişleten diğer bir element de azottur. Çok kuvvetli birer östenit dengeleyici olan C ve N, γ alanını genişleterek östenit içinde kromun çözünürlüğünü arttırmaktadır [17].



Şekil 2.2. İkili demir-krom denge diyagramı [17].

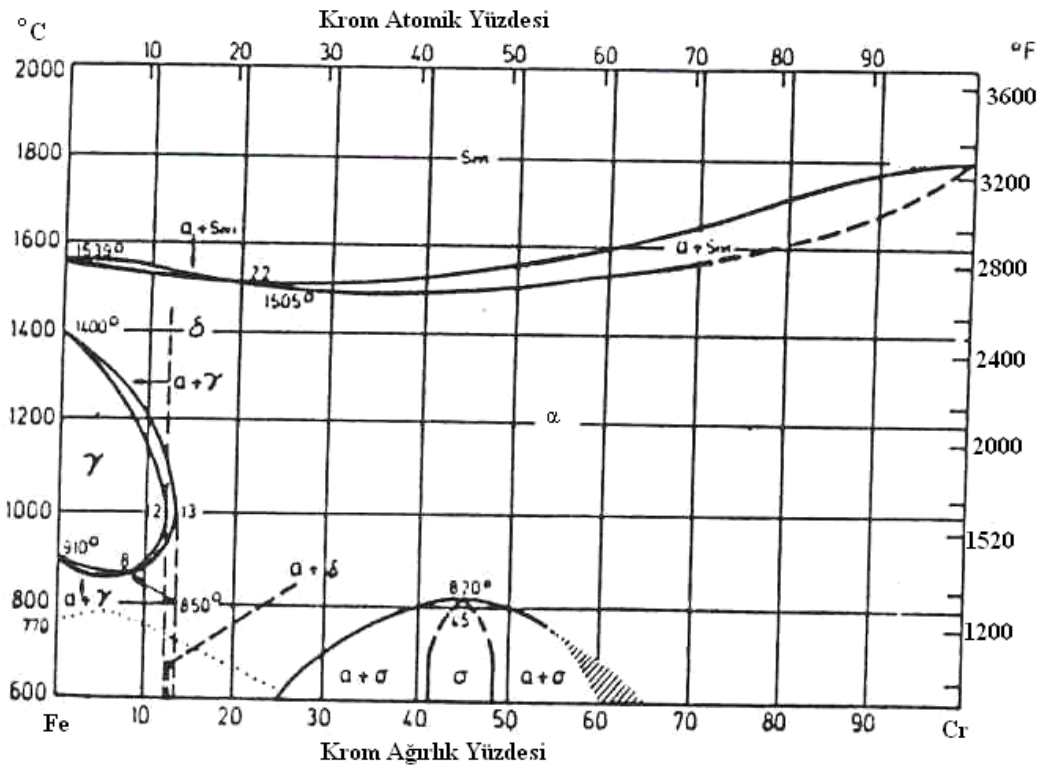
Şekil 2.3' de demir-krom alaşımlarının denge diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın katı hale karşılık gelen kısmında üç bölge bulunmaktadır (diyagramın sol tarafı).

- γ fazının sınırlanmış olduğu bölgede dengedeki faz östenit olup bunun yapısı YMK dır.
- γ fazını çevreleyen bir ikinci kıvrımın dışında bulunan bölgede HMK yapıllı ferrit (α veya δ) çevre sıcaklığından alaşımın ergimesine kadar dengededir. Demir ve adi

çeliklere benzeterek δ ferriti katılaşmada oluşana, α ferriti de soğumada östenitin dönüşümünde meydana gelene denmektedir

- İçinde ferrit ve östenit fazlarının aynı zamanda bulunduğu iki kıvrımın arasındaki bölgede bu fazların oranları ile ilgili denge diyagramlarındaki kanunlar geçerlidir.

Krom oranının yükselmesi sonucu östenitin stabil olduğu sıcaklık alanı daralır. %11 kroma kadar Ac_3 (Isıtmada ferrit→östenit) ile Ac_4 (Isıtmada östenit→ferrit) noktalarının krom oranının artışı ile yaklaşmalarına rağmen alaşımın tutumu demirinkinin aynıdır. Yaklaşık %13 Cr'dan itibaren artık ne ısıtma esnasında ne de soğuma esnasında dönüşüm olmaktadır. Alaşım bütün sıcaklıklarda ferritik kalmaktadır. Bu diyagramdan iki paslanmaz çelik tipi ayrılabilir [18].



Şekil 2.3. Demir - Krom alaşımlarının denge diyagramı [19].

Demir-krom denge diyagramının alt ve orta bölgesinde görülen σ fazı, tetragonal bir kafes yapısına sahiptir. Bu faz çok yavaş bir hızla 800–600 °C sıcaklık aralığında oluşur. Zaman zaman çeşitli ticari paslanmaz çelik türlerinde, uzun süre belirli sıcaklıklara maruz kalma sonucu görülen sert ve gevrek metaller arası bir bileşik olan bu σ - fazının demir-krom ikili alaşım sisteminde oluşum aralığı çok dardır. 520

°C'nin altındaki sıcaklıklarda bu faz ötektoid bir dönüşüm ile $\alpha+\alpha'$ fazlarına ayrılmaktadır. Bu katı hal reaksiyonunun oluşum ve gelişme hızı çok yavaştır. Hızlı soğuma σ - fazının oluşumunu önler ve bu durumda α' fazı 520 °C'nin altında ayrılarak ortaya çıkar. α' fazı yaklaşık olarak % 90 Cr içerir, gevrek bir fazdır ve bunun çökmesi sonucu 475 °C gevrekliği diye adlandırılan bir olay ile karşılaşılır [16, 19].

2.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler 300 seri paslanmaz çeliklerdir. Bunlar genellikle düşük krom oranlı olup, kromun yanı sıra nikel de içermektedir. Bu grupta ilk elde edilen %18 krom ve %8 nikelden oluştuğu için 18/8 paslanmaz çelik de denir. Nikel kuvvetli bir östenit yapıcı olduğundan, bu tip çeliklerde katılma esnasında östenit meydana gelir ve oda sıcaklığının altında dahi östenit devam eder. Soğuma esnasında faz değişimi olmadığından, bu tür paslanmaz çelikler sertleştirilemezler [1, 20].

Östenitik paslanmaz çelikler %16–26 Cr, %10–24 Ni+Mn, %0.4'e kadar C ve düşük miktarda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi diğer alaşım elementlerini içerir. Cr ve Ni+Mn oranları arasındaki denge, %90–100 östenitten oluşan bir mikro yapının elde edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığına sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540 °C'a kadarki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler. Bu grupta yer alan malzemelerin başında 302, 304, 310, 316,321 ve 347 gelmektedir [14,16]

Östenitik paslanmaz çelikler özellikle oksitleyici veya redükleyici ortamlarda iyi korozyon direncine sahiptir. Östenitik paslanmaz çelikler karbonlu çeliklerden yüksek termal genişleme katsayısına ve daha düşük termal iletkenlik katsayısına, daha yüksek elektrik direncine ve daha düşük ergime noktasına sahiptirler [21].

2.6. Ferritik Kromlu Paslanmaz Çelikler

Endüstride yaygın kullanım alanına sahip olup, karbonun miktarına bağlı olarak % 16–30 Cr içerirler, manyetikler, soğuk veya sıcak haddelenebilirler, ancak tokluk, süneklik ve korozyon dirençleri normalize hallerinde maksimum değeri göstermektedir. Talaşlı işlenebilme kabiliyetleri ve korozyon dirençleri martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerden daha üstün olup, pahalı ve stratejik bir element olan nikel içermediğinden krom-nikelli östenitik paslanmaz çeliklere göre daha ekonomiktirler [3].

Ayrıca östenitik krom-nikelli çeliklere göre aşağıdaki özelliklere sahiptir;

- Klorürlü çözeltilerde gerilmeli korozyon çatlamasına karşı daha dirençlidir,
- Daha yüksek akma mukavemetine sahiptir,
- Daha az şiddette soğuk şekil değiştirme sertleşmesi göstermektedir,
- Manyetikleşme özelliğine sahiptir,
- Sertleştirilemezler,
- Genellikle yumuşak ve haddelemeye uygundur,
- Kaynaktan sonra kırılabilir olurlar,
- Ferritik ismi, oda sıcaklığında demirin atomik yapısını andığından verilmiştir,
- Kaynak öncesinde ve sonrasında ısıl işlem gereklidir,
- Bu çelikler 430, 442, 446 olarak adlandırılır
- Orta ila iyi derecede olan korozyon dayanımı, krom miktarının artması ile iyileşmektedir.
- Isıl işlemle dayanım arttırılamamakla beraber sadece tavlama durumunda kullanılır,
- Şekillendirilebilme kabiliyetleri östenitik paslanmaz çeliklerden daha düşüktür [3, 15, 20, 22].

Martenzitik ve ferritik çelikler birlikte AISI standartlarına göre 400 serisini oluştururlar ve bunların en büyük özellikleri demir ve krom ile çok az oranda karbondan oluşması ve manyetik olmasıdır. Aralarındaki tek fark krom oranlarıdır.

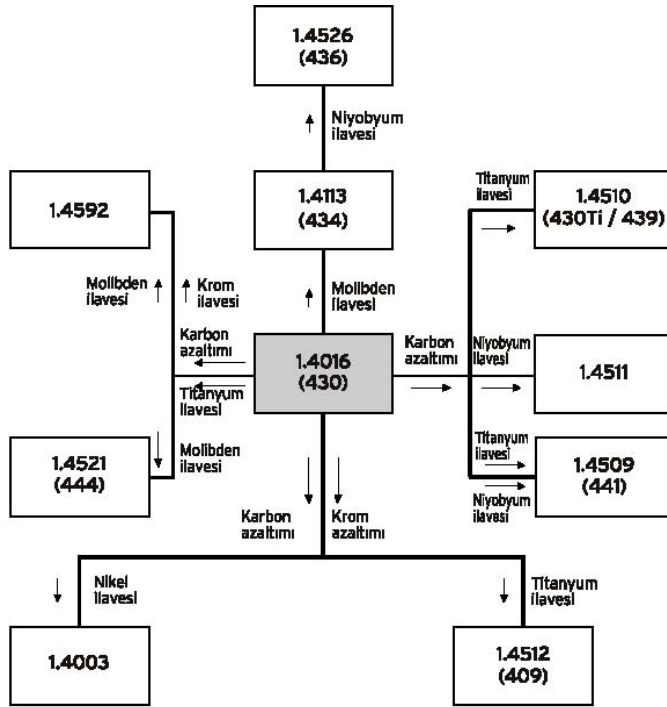
Ayrıca alaşıma sertlik, mukavemet ve işlenebilme kolaylığını sağlamak üzere düşük miktarlarda başka elementler de katılabilir. Bunların endüstride en çok kullanılanları 410, 430 ve 446 çelikleridir. Jet motorlarının aksamı, traş bıçakları, pompalar, baraj kapakları, çatal, bıçak takımları v.b. hep bu grup çeliklerden imal edilirler [20].

Ferritik paslanmaz çelikler % 11.5–30.5 Cr, % 0.20'ye kadar C ve düşük miktarda Al, Nb, Ti ve Mo gibi ferrit dengeleyici elementler içerir. Bunlar her sıcaklıkta ferritik yapıdadırlar ve bu nedenle östenit oluşturmazlar ve ısı ile sertleştirilemezler. Bu grupta yer alan ürünlerin başında 405, 409, 430, 442 ve 446 gelmektedir. Bu çeliklerin en karakteristik özelliği; kaynakta ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda düşüşe neden olan tane büyümesidir. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında seçilen dolgu metalindeki Cr içeriğinin ana metaldeki ile aynı ya da ona yakın olmasında yarar vardır. 409 türü kaynak malzemeleri dolu tel olarak, 430 türü kaynak malzemeleri ise her formda üretilirler. Östenitik tip 309 ve 312 türü kaynak malzemeleri özellikle benzemez metallerin kaynaklı bağlantılarında kullanılır. Tane büyümesini en aza indirmek için kaynak dikişindeki ısı girdisi düşük olmalı ve ön ısıtma 300–450 °C arasında sınırlı tutulmalı, hatta sadece yararlı ise uygulanmalıdır. Yüksek alaşımlı ferritik paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu sadece levha ve boru şeklinde üretilir ve genellikle dolgu metali kullanılmadan TIG yöntemi ile kaynak edilirler [14].

Ferritik çelikler hem oda sıcaklığında hem de daha yüksek sıcaklıklarda demir elementinin sahip olduğu hacim merkezi kübik kristal yapısına sahiptirler ve östenit ferrit dönüşümü göstermezler. Dolayısıyla içyapılarını ve mekanik özelliklerini ısı ile işlemlerle etkilemek mümkün değildir. Tavlanmış halde akma gerilmeleri 275 ile 350 MPa arasındadır. Düşük toklukları ve gevrekleşme hassasiyetleri nedeniyle, makina parçası olarak kullanımları özellikle kaynaklı montajlar ve kalın kesitler için sınırlıdır. Atmosferik korozyona ve oksidasyona karşı olan dayanımları ise önemli avantajlarıdır. Ferritik çelikler manyetikler ve ısı ile işlemlerle mekanik özellikleri değiştirilemediğinden iyi bir dayanıma sahip olmaları için ince taneli bir içyapı şarttır. Ferritik çelikler %10,5 ile 30 arasında krom ve az miktarda karbon, azot ve nikel gibi östenit yapıcı elementler ihtiva ederler. Kuvvetli östenit yapıcı olan karbon belirli bir miktara ulaşıncaya kromun ferrit yapıcı etkisi ortadan kalkar, dolayısıyla

perlitik veya martenzitik paslanmaz çelikler ortaya çıkar. Öte yandan karbon yüzdesi artırıldığı durumlarda ferritik içyapı isteniyorsa, krom yüzdesinin de artırılması gerekir. Ferritik çeliklerin kullanım yerleri tamamen krom miktarına bağlıdır.

Krom oranı düşük olan birinci grup orta derecede korozyon ve oksidasyon dayanımı yanında düşük fiyat ve iyi imalat özelliklerine sahiptir. Otomotiv ve egzoz parçalarında tercih edilen bu grup içinde en çok kullanılanı 409 kalitedir. Orta derecede krom içeren ve otomotiv sac parçaları ve mutfak gereçleri yapımında kullanılan ikinci grup, düşük tokluk ve düşük kaynak kabiliyeti ile göze çarpar. Yüksek kromlu üçüncü grup ise süperferritikler diye adlandırılır ve yüksek korozyon ve oksidasyon dayanımı gereken yerlerde tercih edilirler. Genellikle düşük karbon ve azot içeren bu alaşımlarda, gevrekleşme hassasiyetini azaltmak ve kaynaklı konstrüksiyon dayanımını arttırmak amacıyla titanyum ve niyobyum gibi stabilizatör elementler katılır. Ayrıca alüminyum ve molibden de içerirler. Süperferritikler yerel korozyon söz konusu olduğunda (örneğin suda çözünmüş klorüre karşı) östenitik çeliklere kıyasla çok daha iyi bir dayanım gösterirler. Bundan dolayı buhar kazanları, ısı değiştiricileri, klorür taşıyan boru hatları ve deniz suyu uygulamalarında tercih edilirler. Şekil 2.4'de ferritik paslanmaz çeliklerin genel şeması gösterilmiştir [22].



Şekil 2.4 Ferritik paslanmaz çelikler [22].

2.7. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler mekanik özellikleri geliştiren Niobiyum (Nb), Molibden (Mo) ve Tungsten (W) gibi alaşım elementlerinin %3'e kadar ilavesi ile yaklaşık %10.5–18 Cr içerirler [23,24]. En yaygın martenzitik alaşımlarda Si, Mn, N ve Ni oranları nispeten düşük düzeyde ve sabit tutulur. Buna karşılık karbon miktarı geniş sınırlar içinde değişebilir; ancak bu element bu çeliklerin mekanik karakteristiklerini geniş ölçüde değiştirme imkânı verir [13]. Bileşimlerinde karbon miktarı % 0.1–1.2 arasında değişir; yüksek miktarda C içerenlerde Cr miktarı %18'e çıkabilir [25].

Martenzitik paslanmaz çelikler genellikle su verilmiş ve menevişlenmiş veya tavllanmış halde kullanılırlar. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kritik soğuma hızlarının çok yavaş olması, yavaş soğuma halinde, örneğin sakin havada soğuma, martenzit oluşumuna neden olur. Martenzitik durumda korozyon dirençleri çok iyidir. 815°C' ye kadar paslanmazlık özelliklerini yitirmezler. Ancak uzun süre yüksek sıcaklıklarda kalırlarsa hafif bir korozyon başlangıcı olur. Dolayısı ile bunlar endüstride 700°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar. Martenzitik paslanmaz çelikler aşınma dayanımına ilaveten korozyon direnci nedeniyle; çatal bıçak takımı, rulmanlı yatak, pompa ve valflarda kullanılır [26].

Yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri nedeniyle termik endüstride de kullanılırlar; eşanjörler, buhar türbinleri, subaplar v.s. Bunlar normal atmosferik koşullarda, tatlı suda, kimya ve özellikle petro-kimya endüstrisinde korozyona mukavemet nedeniyle kullanma alanı bulurlar [13].

2.8. Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler Cu, Mo, Nb, Ti ve Al gibi alaşım elementleri içeren, bu elementlerin bir veya birkaçının etkisi ile çökelme sertleşmesi gösteren Fe-Cr-Ni'li paslanmaz çelikler ailesinin bir grubudur [27].

Bu tür çeliklerin sahip oldukları başlıca özellikleri şunlardır:

- 1- Bu tür paslanmaz çelikler orta ile iyi derecede korozyon dayanımına sahiptir.
- 2- Çok yüksek mekanik dayanım göstermektedir.
- 3- Oldukça iyi kaynak kabiliyetine sahiptir.
- 4- Mıknatıslanma özelliğine sahiptir.
- 5- Kolay üretilebilirler.

Bu tip paslanmaz çelikler, çözeltiliye alma fazlaşmasından sonraki işlemler ile çeliğin yapısal değişme ve özelliklerine bağlı olarak üç farklı tipte gruplanmaktadır.

Yarı östenitik paslanmaz çelikler,
 Östenitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler,
 Martenzitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler [5].

Günümüzde üretilen çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, yüksek hızlı uçakların dış yüzeylerinde, füze gövdelerinde, deniz taşıtlarında, yakıt tanklarında, uçakların iniş takımlarında, pompalarda, millerde, somun, cıvata, kesici aletler ve kavramalarda yaygın bir uygulama alanına sahiptir [24, 28].

2.9. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks paslanmaz çelikler yüksek oranda krom (%18–28) ve orta miktarda nikel (%4,5–8) içermektedir. Nikel miktarı en çok %8 olup, bütün içyapının östenitik olması için yetersizdir. Çift fazlı mikroyapı çeliğin 1000–1050 °C sıcaklıkta tavllanması ve ardından hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir [5].

Ferritik-östenitik dupleks paslanmaz çelikler yaygın östenitik türlere çekici bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Dupleks alaşımlar klorlu gerilmeli korozyon çatlamasına bağışıklılığının yanında yüksek dayanım da sağlar [29]. Kimyasal ve diğer tesislerde östenitik paslanmaz çeliklerin yıllardır süren başarısızlığının en önemli nedeni klorda gerilmeli korozyon çatlamasına neden olmasıdır. Bu problem yaygın 300 serisi paslanmaz çeliklerde görülür, fakat deneyler nikel oranının %5' e düşürülmesinin klorda çatlamaya daha büyük direnç sağlayan ferritik-ostenitik dupleks yapı verdiğini göstermektedir [24, 30].

Bu tür çeliklerin başlıca özellikleri aşağıda sıralanmaktadır:

1- Bu tür çelikler gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıklılığa sahiptir.

- 2- Klor iyonunun bulunmadığı ortamlarda daha yüksek korozif dayanım göstermektedir.
- 3- Östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerden daha yüksek mekanik dayanıma sahiptirler.
- 4- İyi kaynak edilebilirlik ve şekil alma kabiliyeti vardır [5].

BÖLÜM 3. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAĞI

Östenitik paslanmaz çelikler oksitleyici veya redükleyici ortamlarda iyi korozyon direnci gösterirler. Tüm kaynaklı paslanmaz çelik imalatlarının %90'dan daha fazlası için östenitik paslanmaz çeliklerin kullanılmasının nedeni iyi kaynaklanabilirliğidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde kaynaklar, çoğunlukla ana metalle karşılaştırılabilen kimyasal bileşimlere ve mekanik özelliklere sahiptirler. Östenitik paslanmaz çelikler çeşitli kaynak yöntemleri ile kolaylıkla kaynaklanabilir [21].

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilerek birleştirilmelerinde fiziksel özelliklerini dikkate almak gereklidir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetini etkileyen fiziksel özelliklerinin yanında bir dizi metalurjik etken de bu tür çeliklerin kaynağında önemli rol oynar. Bunlar; delta ferrit (δ -ferrit) oluşumu, tanelerarası korozyona duyarlılık, gerilmeli korozyona duyarlılık ve sigma fazının oluşmasıdır [21, 31, 32].

3.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Karşılaşılan Problemler

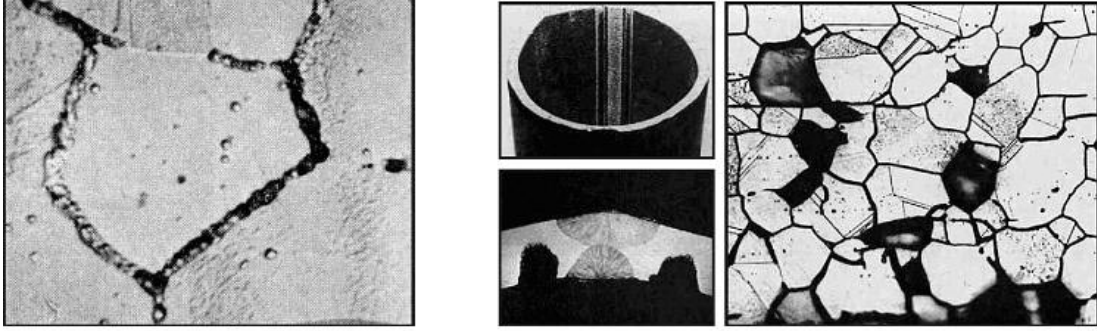
Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca üç problemle karşılaşılır.

Bunlar ;

- 1- Krom Karbür oluşumu
- 2- Sıcak çatlak oluşumu
- 3- Sigma fazı oluşumu (σ)

3.1.1. Krom karbür oluşumu

Isı tesiri altında kalan bölgenin 427–871 °C sıcaklığa kadar ısınan bölümünde yer alan tane sınırlarında çökelen ve taneler arası korozonu hızlandıran krom karbürler burada "Hassas Yapı" oluşmasına neden olurlar (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. 18Cr/8 Ni (0.10 C) lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökeltmesi (X 1200) [14].

Bu oluşum sırasında bir miktar krom çözültiden tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bunun sonucunda bu bölgesel alanlarda krom miktarında azalma olacağı için korozyon dayanımı düşer (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Krom karbür çökeltmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon [14].

Bu sorun kromla birleşerek krom karbür oluşmasına neden olan karbonun yapıda düşük seviyelerde tutulduğu düşük karbonlu (L tipi) ana metallerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıyla önlenabilir. Bunun yanında kaynak işleminin ön tav uygulanmadan yapılması, ısı girdisinin düşük seviyede tutulmasına özen gösterilmesi ve bakır altlık kullanılarak hızlı soğuma sağlanması hassas sıcaklık aralığında kalma süresinin kısa tutulması açısından oldukça yararlıdır [14].

Diğer bir yöntem, stabilize edilmiş olan paslanmaz çelik ana malzemelerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıdır. Bu sayede stabilizatör görevi gören alaşım elementleri karbon ile reaksiyona girecek ve krom miktarının azalmadan yapıda kalması sağlanacağından korozyon dayanımında herhangi bir düşüş ile karşılaşılmayacaktır. 321 kalite paslanmaz çelikler stabilizatör olarak titanyum (Ti) içerirken 347 türü paslanmaz çelikler niobyum (Nb+Ta) ile stabilize edilmişlerdir. Her iki element de kromdan daha güçlü karbür oluşturma özelliğine sahiptir [14].

3.1.2. Sıcak çatlak oluşumu

Sıcak çatlamanın temel nedeni; kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük ergime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bu bileşimler, eğer kaynak dikişinde veya ısının etkisi altında kalan bölgede bulunuyorsa, tane sınırlarına doğru yayılırlar ve kaynak dikişi soğurken ve çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlama neden olurlar.

Sıcak çatlak oluşumu, dolgu metalinin ve ana metalin kimyasal analizinin östenitik matriste düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapı elde edilecek şekilde ayarlanmasıyla önlenabilir. Ferrit, kükürt ve fosfor bileşimlerini kontrol altında tutabilen ve ferritik-östenitik yapıya sahip olan tane sınırları oluşturarak sıcak çatlak oluşumunu engeller. Bu sorun “S” ve “P” miktarlarının çok düşük seviyelerde

tutulması ile de giderilebilir, ancak bu durumda, çeliklerin üretim maliyetleri belirgin bir şekilde artacaktır [14].

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

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

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

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

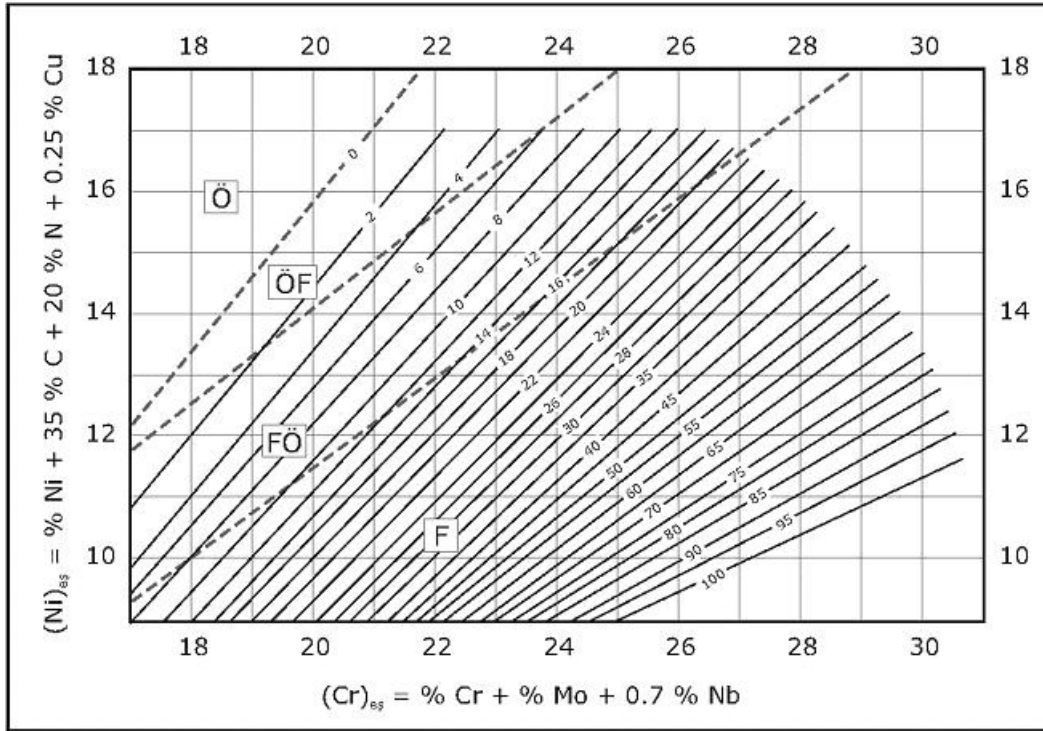
1973 WRC-DeLong diyagramı'nı Schaeffler Diyagramı'ndan ayıran en önemli özellik nikel eşdeğeri hesaplanırken yapıdaki azot (N) miktarının da göz önüne alınması ve sonucun ferrit yüzdesine ek olarak "FN - Ferrit Numarası" ile belirtilmesidir.

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

Ferrit numaraları, özellikle düşük seviyelerde, ferrit yüzdeleri ile yakın değerlere sahiptir. Günümüzde en sık kullanılan ve en sağlıklı sonucu veren diyagram Şekil 3.3'te belirtilen WCR - 1992 diyagramı'dır. ASM şartnamelerinin 1994–1995 kış döneminde yayınlanan eklerinde WRC - 1992 diyagramı WRC - DeLong diyagramının yerini almıştır. Kabul edilen bu en son diyagramda krom ve nikel eşdeğerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$(Cr)_{eş} = \%Cr + \%Mo + 0.7\%Nb$$

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



Şekil 3.3 Katılaşma faz sınırlarını da içeren WRC - 1992 diyagramı [14].

Görüldüğü gibi nikel ve krom eşdeğerleri Schaeffler ve WRC-DeLong diyagramlarındakinden daha farklı olarak hesaplanmaktadır.

Ferrit numarası diyagramın nikel eşdeğerini gösteren ekseninden sağa doğru yatay, krom eşdeğerini gösteren ekseninden yukarıya doğru dikey çizgiler çizilerek bulunur. Yatay ve dikey doğruların kesiştiği noktadan geçen çapraz çizgiler ferrit numarasını vermektedir [14].

WRC-1992 ve WRC-DeLong diyagramları 308 gibi sık kullanılan paslanmaz çelikler için benzer değerler verir. Ancak WRC-1992 diyagramı, özellikle yüksek alaşımlı malzemelerde, yüksek manganlı östenitik tipteki ya da östenitik - ferritik yapıdaki çift fazlı paslanmaz çelikler gibi daha seyrek kullanılan alaşımlarda daha kesin ve doğru sonuçlar vermektedir [14].

Ferrit numarası, ferritin manyetik olma özelliğinden yararlanılarak kaynak metali üzerinden ölçülebilir. Bunun için ticari olarak satışı sunulan ve AWS A4.2'ye göre

kalibre edilmiş olan ve ferrit numarasının direkt olarak okunabildiği manyetik ölçüm cihazlarından, ferritescoplardan ve benzeri cihazlardan yararlanılabilir [14].

Ferrit miktarının sıcak çatlak oluşumundan korunmak için gereken orandan daha yüksek olmamasında ve belirli güvenlik sınırları içerisinde tutulmasında yarar vardır. Çünkü ferrit, bazı korozif ortamlarda, malzemelerin korozyon dayanımını düşürür ve yapıdaki aşırı ferrit miktarı süneklik ve tokluğu azaltır [14].

3.1.3. Sigma fazı oluşumu (σ)

“Sigma fazı”, çok sert (700–800 Vickers), manyetik olmayan ve gevrek yapıya sahip metallere bir bileşiktir. Röntgen ışını ile yapılan analizde bileşiminin yaklaşık olarak %52 krom ve %48 demirden oluştuğu ancak bunun yanında molibden gibi diğer alaşım elementlerini de içerebildiği görülmüştür. Sigma fazı, kromlu veya krom-nikel esaslı paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynak bölgesinde oluşur. Saf östenitik bir yapıdaki sigma fazı oluşum hızı, östenitik kütle içerisinde ferrit içeren yapıdakine oranla daha düşüktür [14].

3.2. TIG kaynağı

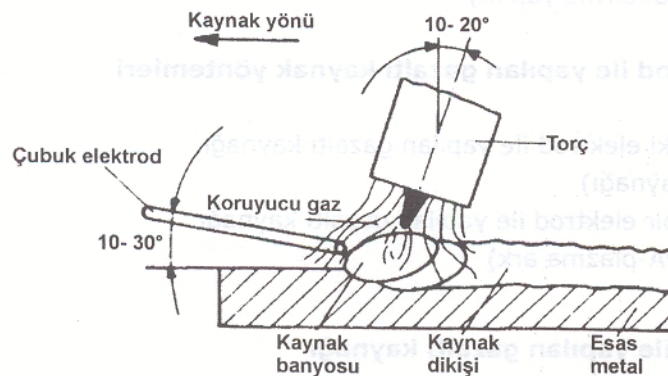
TIG kaynağı düşük ısı girdisinden dolayı paslanmaz çeliklerin kaynağında tercih edilmektedir.

Tungsten Inert Gas kelimelerinin ilk harflerinden oluşmuş TIG kelimesi ile anılan yöntem ilk olarak 1930’lu yılların ortalarında denenmiş ve ABD’de II. Dünya savaşı sırasında özellikle alüminyum alaşımlarının ve paslanmaz çeliklerin kaynağında yoğun bir biçimde uygulanmıştır.

Bu yöntemde, kaynak için gerekli olan ısı enerjisi bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi de havanın olumsuz etkilerinden elektrod ile merkezlenmiş konumda bulunan bir lüleden (nozül) gönderilen bir koruyucu gaz (helyum, argon veya bunların karışımı) ile korunmaktadır (Şekil 3.1). ABD'de doğal gazdan bol miktarda helyum elde edilebildiğinden koruyucu gaz olarak helyum kullanılmış ve bu nedenle yöntem Heliark adı ile anılmıştır. Avrupa'da helyumun bulunmayışı yöntemin havadan ayrıştırılan argon ile uygulanmasına neden olmuş ve bu bakımdan da yöntem Argonark adı ile tanınmıştır [33].

TIG kaynak yöntemi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, kaynakçı tarafından kullanılması kolaydır, prensip olarak gaz ertitme kaynağını andırır, yalnız torç biraz değişiktir, yanıcı ve yakıcı gaz yoktur, ısı enerjisi elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır.

Bu yöntemde, ergimeyen bir elektrod kullanıldığı için kıvrık alın kaynak ağızı hazırlanmış ince parçalar, ek kaynak metaline ihtiyaç göstermeden birleştirilebilir; gerektiğinde esas metalin ertitilerek, ek kaynak metaline olan ihtiyacı ortadan kaldırması da yöntemin göz önüne alınması gereken üstünlüklerinden bir tanesidir. Kaynak bağlantısı için ek metal gerektiğinde, aynen oksi - asetilen yönteminde olduğu gibi, bir tel çubuk biçimindeki kaynak metali kaynakçı tarafından kaynak bölgesine sokulmaktadır [33].



Şekil 3.1. TIG kaynak yönteminde ark bölgesi [33].

TIG kaynak yönteminin diğer bilinen ve endüstride yaygın uygulanan ergitme kaynağı yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü, ısı girdisinin ve ergiyen ek kaynak metali miktarının birbirlerinden bağımsız oluşudur. Bu önemli özellik, yöntemin çok ince parçalara uygulanabilmesine olanak sağlamakta, kök pasoların çekilmesinde, pozisyon kaynaklarında ve tamir işlerinde de kaynakçıya büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

İlk geliştirme yıllarında, sadece havacılık endüstrisinde uygulama alanı bulmuş olan bu kaynak yöntemi deneysel ölçüde, magnezyum alaşımlı parçaların birleştirilmesinde kullanılmış ve alınan doyurucu sonuçlar, yöntemin endüstrinin diğer alanlarında da uygulanabilirliğini kanıtlamış ve hızla alüminyum, magnezyum ve diğer endüstriyel demir dışı metal ve alaşımlar ile paslanmaz çeliklerin kaynağında çok aranan bir yöntem haline gelmiştir [33].

3.2.1. TIG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında en çok tercih edilen gaz argondur [9, 14]. Ayrıca hidrojen eklenmesiyle kaynak hızı ve nüfuziyeti artar[34]. Daha temiz ve kaliteli dikişler elde edilir. Hidrojen gaz argon gazının fiziksel ve kimyasal özelliklerini birbirinden farklı olup her iki gazın bileşimi sonucu kaynak işlemlerini ve kaynak metaline ait özellikleri korumaktadır [34].

Argon atmosferinde oluşturulan kaynak arkı, helyuma nazaran daha yumuşak ve daha sakindir, arkın sakinliği ve ısı girdisinin de kaynakçıyı rahatsız etmeyecek seviyede olmasından ötürü el ile kaynak uygulamalarında argon gazı tercih edilir [33].

Gaz altı kaynak yönteminde kullanılan argon renksiz, kokusuz, tatsız ve zehirli olmayan soy bir gazdır. Atmosferde % 0.934 arasında bulunmasına rağmen ekonomik olmasından dolayı tercih edilen ve havadan 1.38 kat daha ağır olan bir gaz olup ergimiş kaynak banyosunu ve arkın çok etkili kararlı olmasını ve korumasını

sağlar. Argon düşük iyonizasyon enerjisine sahip olduğu için bu gazın atmosferi altında ark tutuşması daha kolay ve daha güvenilir olmaktadır [34]. Argon gazının en büyük avantajı akış hızının düşük olması ve buna bağlı olarak helyuma göre daha kararlı ark oluşturması ve ark voltajının daha düşük olmasıdır. Düşük voltaj kullanımında dolayı ince saçların kaynak bölgesinde yanık olmadan birleştirilmektedir [6].

Paslanmaz çelik, Inconel ve Monel'in kaynağında bazı durumlarda gözenek oluşumuna engel olmak için Ar+H₂ karışımları kullanılabilir. Bu gaz karışımı hidrojenin olumsuz etkileri bulunan çeliklerde hiçbir zaman kullanılmamalıdır [33].

Hidrojen, renksiz, kokusuz ve toksin olmayan bir gazdır. Yanabilir ve ateşlenme noktası 560°C'dir. Havadan daha hafiftir, hava ve oksijenle birlikteki karışımı çok geniş bir aralıkta patlayabilir. Genellikle, argon ile bazen de helyum ile karışım olarak kullanılabilir. EN 439'a göre redükleyici bir gaz olan hidrojen azot ile karıştırılarak kök koruyucu gazı olarak ta kullanılır. Karışım gazlar da hidrojen oranı %50'ye kadar çıkabilir [33].

Koruyucu gaz içinde hidrojenin varlığı ark gerilimini yükseltmekte ve kaynak banyosunu daha akıcı yapmakta ve sıvı kaynak metalinin ıslatma kabiliyetini yükseltmektedir. ABD'de özellikle ince paslanmaz çelik boruların kaynaklı üretiminde tercih edilen bu karışım gazın iki ayrı bileşimi % 15H₂+% 85Ar ve %5H₂+%95Ar bu alanda oldukça yaygın bir uygulamaya sahiptir [33].

Gaz altı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Gazaltı Kaynaklarında Kullanılan Gazların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri [10].

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

Paslanmaz çelik kaynağında argon içerisindeki hidrojen gazı miktarı % 0.5 – 5 arasında değişmektedir [6, 35].

3.2.2. İlave kaynak metalleri

Paslanmaz çeliklerin kaynağında MIG kaynağında olduğu gibi DIN, AWS ve TS 11797 göre tanımlanmış olan belirli çap ve boylarda TIG kaynak ilave telleri kullanılmaktadır [36]. Tablo 3.2'de bazı TIG ilave malzemelerinin kimyasal bileşenleri verilmektedir [14, 37].

Tablo 3.2. Bazı TIG ilave tellerin kimyasal bileşenleri [37].

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
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

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Kaynak Yöntemleri

Deneylerde AISI 316Ti ve AISI 316L kalite iki çeşit östenitik paslanmaz çelik kullanıldı. Bu tip östenitik paslanmaz çelikler, aynı serili paslanmaz çeliklere göre, içerdikleri karbon miktarı azaltıldığından (% 0.03 C), çok düşük karbonlu çelikler olarak bilinirler. Bu tip çelikler, kaynak sırasında ısı tesiri altında kalan bölgede (ITAB) oluşan ve taneler arası korozyona neden olan krom karbür çökmesinin önlenmesi amacıyla üretilmişlerdir. Çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin kalınlığı 5 mm ve 10 mm olarak seçilmiştir. 5 mm'lik numuneler 100x200 mm ebatlarında kesilip (Şekil 4.1.), V kaynak ağzı açıldıktan sonra, TIG gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmişlerdir. Birleştirilen parçalardan çekme, eğme, sertlik deneyleri ile mikroyapı incelemelerinde kullanılan deney numuneleri çıkarılmıştır. 10 mm'lik numuneler ise 40x250 mm ölçüsünde kesilip (Şekil 4.2), X kaynak ağzı açıldıktan sonra, TIG gaz altı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Bu parçalardan darbe çentik deney numuneleri çıkarılmıştır. Tablo 4.1. ve Tablo 4.2'de kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin ve ilave metallerinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

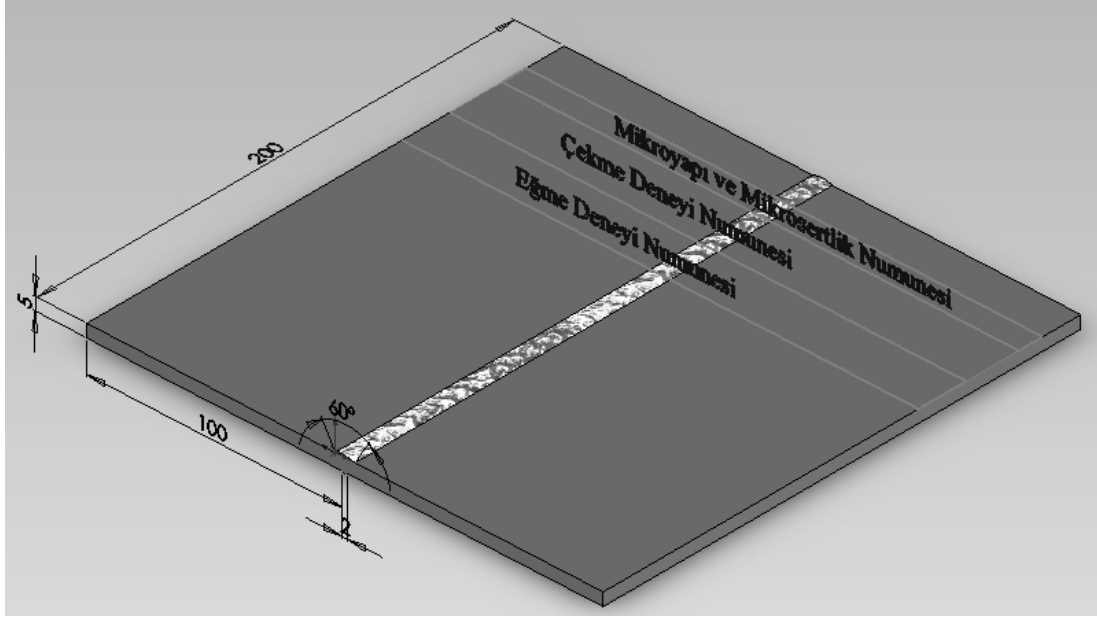
Tablo 4.1 Ana malzeme kimyasal analiz değeri [14, 38, 39].

Ana Malzeme	Kimyasal Analiz Değerleri (% Ağırlık)									
	C	N	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	P	S	Mo
316Ti	0.035	0.015	1.67	0.64	16.5	10.7	0.37	0.026	0.001	2.05
316L	0.03	-	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	-	0.045	0.03	2.0-3.0

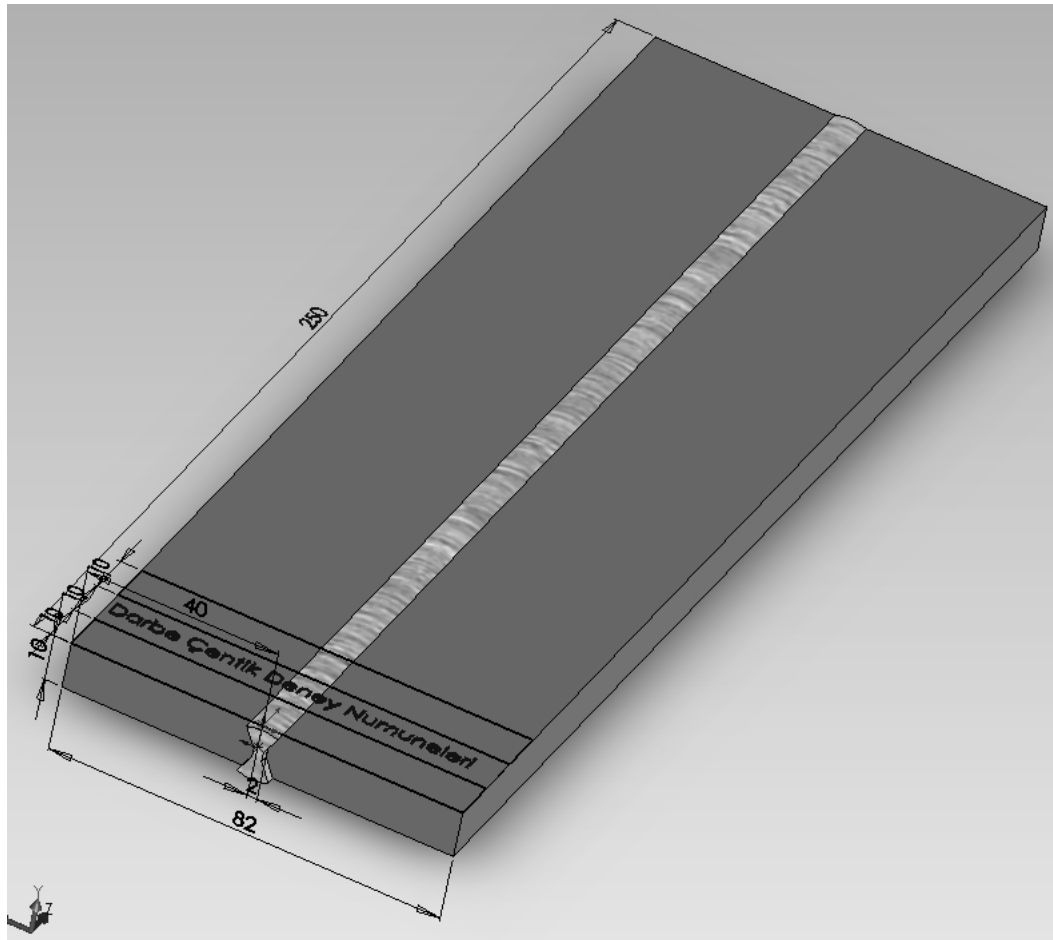
Tablo 4.2 Kaynak teli kimyasal analiz değeri [37, 40, 41].

İlave Metal Türü	Kimyasal Analiz Değerleri (%ağırlık)												
	C	Cr	Ni	Mo	Cb&Ta	Mn	Si	P	S	Fe	Cu	Nb	N
ER347	0.048	19.36	9.61	0.27	10xC min.-1.0 max.	1.4	0.37	0.017	0.01	Kalan	0.16	0.36	0.047
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	Kalan	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	Kalan	0.75	-	
ER318	0.08	18.0	12	2.5	-	1.75	0.6	-	-	-	-	8xC/1	

TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin kaynağında 1,6 mm çapındaki ER 347, ER 316L, ER 309L ve ER 318 ilave metaller kullanıldı. 316L kalite paslanmaz çelik kaynağında ise, 1,6 mm çapında ER 347, ER316L ve ER 309L ilave metaller kullanıldı. Kaynak esnasında koruyucu atmosfer olarak saf Argon, Argon+%2H₂ ve Argon+ %5H₂ gazları kullanıldı. TIG kaynağında 2,4 mm çapında % 2 toryumlu tungsten elektrot kullanıldı. Kullanılan nozul ise, 9 mm çapındadır. Kullanılan gazın akış oranı 6 litre/dakikadır. Tablo 4.3.'de kaynağı yapılan 5mm'lik parçalar için kaynak parametreleri ile ilgili özet bilgiler gösterilmiştir. Tablo 4.4.'te ise 10 mm'lik parçalar için kaynak parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1 316Ti ve 316L deney numunesi



Şekil 4.2 Darbe çentik deney numuneleri için kaynağı yapılmış malzeme

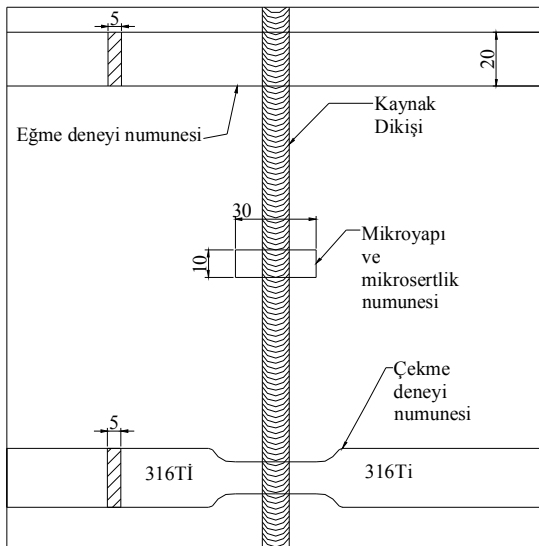
Tablo 4.3 Deney parçalarına uygulanan kaynak yöntemleri, şartlar ve parametreler

Numune No	Malzeme cinsi	Kaynak yöntemi	İlave metal cinsi	Koruyucu gaz	Volt (V)	Akım değeri (Amper)	Kaynak ağzı	Paso	İlave metal çapı (mm)	Kaynak hızı (mms ⁻¹)	Kaynak pozisyonu	Gaz debisi lt/dk
1	316Ti	TIG	ER 347	Ar	9.3	128	V	1	1.6	1.3	Yatay oluk	6
					9.3	128		2		1.3		
					9.6	110		3		0.8		
					10.0	92		4		1.11		
2	316Ti	TIG	ER 318	Ar	9.1	140	V	1	1.6	1.11	Yatay oluk	6
					9.4	145		2		1.22		
					9.2	115		3		0.66		
3	316Ti	TIG	ER 316L	Ar	14.1	142	V	1	1.6	1.29	Yatay oluk	6
					9.2	124		2		1.23		
					9.1	106		3		0.9		
					10.3	92		4		1.11		
4	316Ti	TIG	ER 309L	Ar	9.2	142	V	1	1.6	1.29	Yatay oluk	6
					9.2	116		2		1.11		
					9.1	111		3		1.15		
					9.4	102		4		1.33		
5	316Ti	TIG	ER 347	%98 Ar+ %2 H ₂	11.9	145	V	1	1.6	1.72	Yatay oluk	6
					11.6	122		2		1.33		
					10.6	112		3		1.33		
					10.8	102		4		3.33		
6	316Ti	TIG	ER 316L	%98 Ar+ %2 H ₂	11.2	92	V	1	1.6	0.71	Yatay oluk	6
					10.8	97		2		2.2		
					12.8	102		3		1.78		
7	316L	TIG	ER 347	%98 Ar+ %2 H ₂	10.6	130	V	1	1.6	1.86	Yatay oluk	6
					10.6	130		2		2.22		
					10.6	130		3		2.40		
8	316L	TIG	ER 316L	%98 Ar+ %2 H ₂	10.6	130	V	1	1.6	2.22	Yatay oluk	6
					10.6	130		2		2.50		
					10.6	130		3		2.85		
9	316L	TIG	ER 316L	Ar	10.6	130	V	1	1.6	1.00	Yatay oluk	6
					10.6	130		2		2.22		
					10.6	130		3		2.50		
10	316L	TIG	ER 347	Ar	9.8	130	V	1	1.6	1.00	Yatay oluk	6
					9.8	130		2		2.22		
					9.8	130		3		2.50		
11	316L	TIG	ER 309L	Ar	9.8	130	V	1	1.6	1.00	Yatay oluk	6
					9.8	130		2		2.22		
					9.8	130		3		2.50		
12	316Ti	TIG	ER 347	%98 Ar+ %5 H ₂	12.4	128	V	1	1.6	1.00	Yatay oluk	6
					13.2	134		2		2.06		
					14.6	134		3		2.50		
13	316Ti	TIG	ER316L	%98 Ar+ %5 H ₂	13.5	134	V	1	1.6	2.08	Yatay oluk	6
					13.5	134		2		2.66		
					15.4	134		3		3.33		
14	316L	TIG	ER316L	%98 Ar+ %5 H ₂	13.4	134	V	1	1.6	2.17	Yatay oluk	6
					14.4	134		2		3.33		
					15.2	134		3		3.33		
15	316L	TIG	ER347	%98 Ar+ %5 H ₂	11.9	134	V	1	1.6	2.22	Yatay oluk	6
					11.9	134		2		3.33		
					12.7	134		3		3.33		

4.2. Mekaniksel Deneyler

4.2.1. Çekme deneyi

Şekil 4.3.'te çekme, eğme, mikroyapı ve mikrosertlik 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. Kullanılan her bir parametre için en az üç çekme deneyi yapılmıştır.

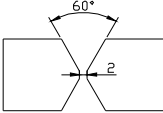


Şekil 4.3. Kaynakla birleştirilmiş parçalardan çıkarılan çekme, eğme, mikroyapı ve mikrosertlik deney numuneleri

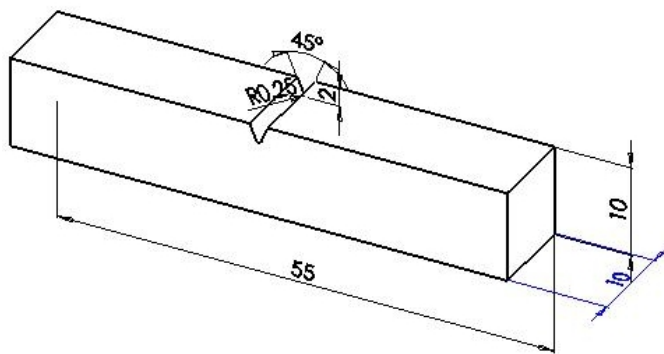
4.2.2. Çentik darbe deneyi

Paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerinden olan çentik darbe deneyi AISI 316L kalite östenitik paslanmaz çelik TIG kaynak yöntemiyle ER316L ve ER347 ilave çubukları ile Ar ve $\text{Ar}+\%2\text{H}_2$ koruyucu gazları altında birleştirilmiştir (Şekil 4.2.). Deney parametreleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

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

Numune No	Malzeme cinsi	Kaynak yöntemi	İlave metal cinsi	Koruyucu gaz	Paso	Akım değeri (Amper)	Volt (V)	Kaynak hızı (mms ⁻¹)	İlave metal çapı (mm)	Kaynak ağzı	Kaynak pozisyonu	Gaz debisi lt/dk				
1	316L	TIG	ER 316L	Ar+%2H ₂	1	140	10.6	2.5	1.6		Yatay	6				
					2			1.38								
					3			2.5								
					4			2.4								
					5			3.57								
					6			3.57								
2			316L	TIG	316L	Ar	1	147					10.3	1.77		
							2							1.83		
							3							1.47		
							4							1.73		
3					316L	TIG	ER 347	Ar					1	150	10.6	1.77
													2			1.83
	3	1.77														
	4	1.26														

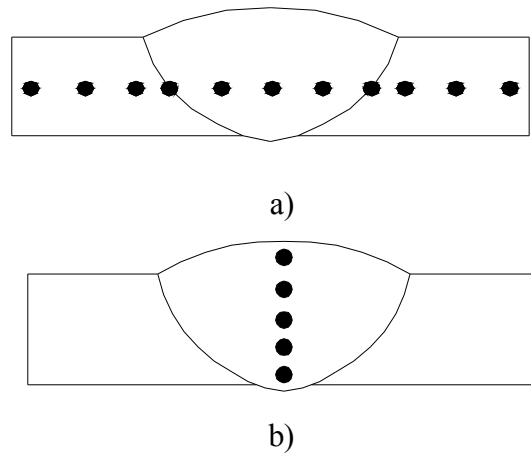
Deneylerde RKP450 450J HUMMER marka çentik darbe deney cihazı kullanılmış olup, deneyde pendulum tip makine kullanılmıştır. Çentik darbe testleri en az üç test sonucunun aritmetik ortalaması sonucunda alınmış ve joule değeri tespit edilmiştir. Çentik kaynağın ortasından açılmıştır. Test numune ölçüleri Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.4. Çentik darbe test numune ölçüleri

4.2.3. Vickers mikrosertlik ölçümü

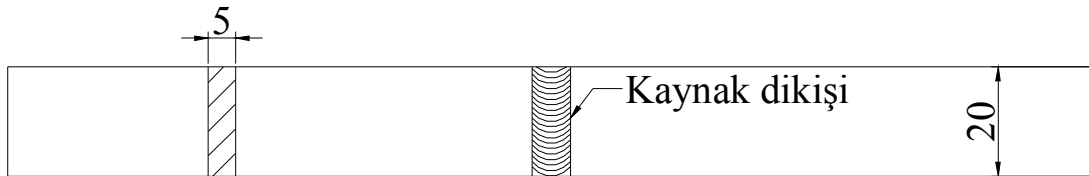
Sertlik ölçümleri, Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler LEICA VMHT MOT marka cihazla yapılmış olup, elmas piramit uç, 15 sn sürede 300 gr yük uygulanmıştır. Sertlik alınan bölgeler, Şekil 4.5.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Şematik olarak gösterilen birleştirilmiş paslanmaz çelik numunenin a) Kaynak bölgesine paralel b) Kaynak bölgesine dik Vickers Mikrosertlik değerlerinin alındığı bölgeler

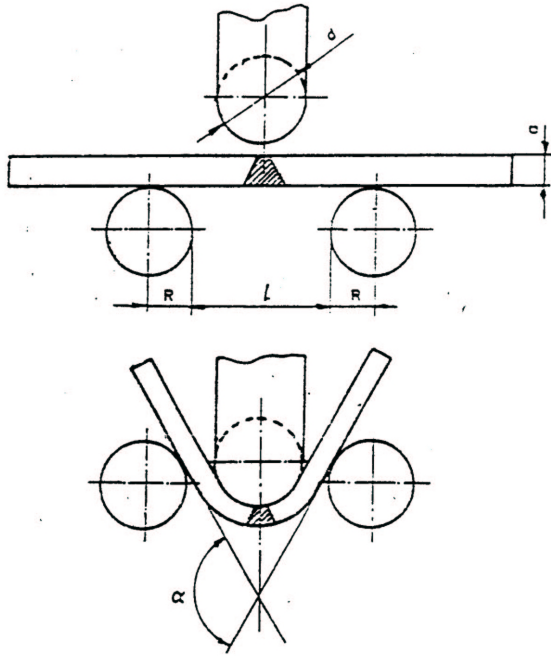
4.2.4. Eğme deneyi

Kaba ölçülerinde çıkartılan dikdörtgen kesitli eğme deneyi numunelerinin pr 282 çekme çubuk deneyi [42] 'de belirtilen şartlara göre freze tezgâhında işlenerek hazırlanmış olup her deney parçasından 3'er adet deney numunesi hazırlanıp deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Eğme deney numunesi

TS 282 EN 910'de belirtilen şartlara göre Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında 60 tonluk DARTECT marka bilgisayar destekli çekme cihazında yapılan eğme deneyi uygulaması Şekil 4.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Eğme deneyi

4.3. Mikroyapı İncelemesi

4.3.1. Optik mikroskop

Kaynak edilmiş parçalardan 30x10x5 mm boyutlarında mikroyapı incelemesi için bakalite alınan numuneler, daha sonra sırasıyla 80, 120, 240, 320, 400, 600, 800,1000, 1200 numaralı SiC zımpara ile su altında zımparalandı. Bu işlemten sonra numuneler, 1 μ , 0.3 μ , ve 0.5 μ 'luk elmas pasta kullanılarak parlatma keçesi üzerinde parlatıldı. Parlatılan numuneler su ile yıkanıp yüzeylerine alkol püskürtülüp, daha

sonra kurutuldu. Mikroskopik incelemeye hazır hale getirilen numuneler, %10 oksalik asit çözeltilisinde 10,4 V 'ta 9sn sürede elektrolitik olarak dağlanmıştır. Dağlama işleminden sonra parçalar yıkanıp yüzeyleri alkol ile temizlendi ve sonra kurutulan numunelerin NİKON ECLIPSE L150 optik mikroskobu ile aydınlık ve karanlık alan çalışmaları yapılmıştır.

4.3.2 Tarama elektron mikroskobu ve elemental analiz incelemesi

Farklı koruyucu gaz ve ilave metallerle birleştirilen AISI 316Ti ve AISI 316L paslanmaz çeliklerin çekme deneyi sonrası kırılma yüzeyleri ve ITAB içerisinde kaynak metali ile ana malzeme arasındaki geçiş bölgelerinde, ana malzeme ve kaynak metaline ait mikroyapı görüntüleri JEOL JSM-6060LV marka SEM mikroskobu ile incelenmiştir. (SEM) cihazı Şekil 4.8'de verilmiştir. Numunelerin geçiş bölgesinde lineer elemental analizler noktasal olarak ve bir çizgi boyunca gerçekleştirilmiştir. Bu analizler SEM mikroskobuna bağlanan EDS (Elektron dispersive spectroscopy) yardımıyla yapılmıştır. EDS analizleri Şekil 4.8'de görülen XRF SYSTEMS, INC. 500 DIGITAL PROCESSİNG marka cihazda yapılmıştır. Ayrıca çentik darbe deneyi uygulanan malzemelerin kırılma yüzeyleri SEM mikroskobundan elde edilen görüntüler ile yorumlanmıştır.



Şekil 4.8. Tarama elektron mikroskobu (SEM) ve EDS cihazları

4.4. Ferrit Miktarının Ölçümü

Farklı ilave metal ve koruyucu gazlarla TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş parçaların ferrit miktarı mikroyapı numunelerinin yüzeyinden ölçüldü. Ölçümler için Helmut Fischer GMBH marka Fe 8e3 tipteki ferrit ölçüm cihazı (ferritescope) kullanıldı. Ölçüme başlamadan önce, seçilen ölçüm aralığı için değeri bilinen manyetik parçalar kullanılarak, cihaz kalibre edildi. Ardından kaynak metalinden ve ana metalden ölçümler yapılarak kaydedildi. Elde edilen sonuçlar WRC-92 diyagramıyla karşılaştırılmıştır. Ferritescope cihazı Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Ferritescope cihazı

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI

5.1 Kullanılan İlave Metalin ve Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi

5.1.1. Çekme deneyi

İlgili standartlara uygun olarak yapılan çekme deneyleri sonuçları Tablo 5.1., 5.2., 5.3. ve 5.4'te verilmiştir. Yapılan deneylerde görüldüğü kadarıyla kullanılan ilave metali ve koruyucu gaz çekme mukavemetine etki etmiştir. 316 Ti kalite östenitik paslanmaz çelik argon gazı kullanıldığında ER347 ilave metali ile en yüksek akma dayanımı (ortalama 505 MPa) göstermiştir. En yüksek maksimum çekme ve kopma dayanımına ise (ortalama 598 ve 523 MPa) ER 316 L ilave metali kullanıldığında ulaşılmıştır. Tablo 5.1., 5.2., 5.3. ve 5.4.'te deneylerde elde edilen değerlerin daha net bir şekilde gösterilmesi amacıyla elde edilen çekme dayanımı ve % uzama değerleri grafiksel olarak verilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde elde edilen çekme dayanım değerleri ana malzemenin sahip olduğu çekme dayanımı değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum birleştirmede kullanılan ilave metalin sahip olduğu çekme dayanımı değerlerinin yüksekliğinden ve karbürlerin kaynak metali ana fazı içinde dağılmasından kaynaklanabilir.

Çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme-uzama grafikleri Şekil 5.1., 5.2., 5.3. ve 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.1. 316Ti paslanmaz çelikte koruyucu gazın çekme deneyine etkisi.

Malzeme Cinsi (AISI)	İlave Metal Cinsi	Koruyucu Gaz	σ_{Akma} (MPa)	$\sigma_{max.}$ Çekme (MPa)	σ_{Kopma} (MPa)	% uzama miktarı
316 Ti	ER 347	Argon	505±10	576±12	509±8	44
		%98 Ar+%2H ₂	362±30	604±16	464±14	52
		%95Ar+%5H ₂	377±4	579±2	464±5	56

Tablo 5.2. 316L paslanmaz çelikte koruyucu gazın çekme deneyine etkisi.

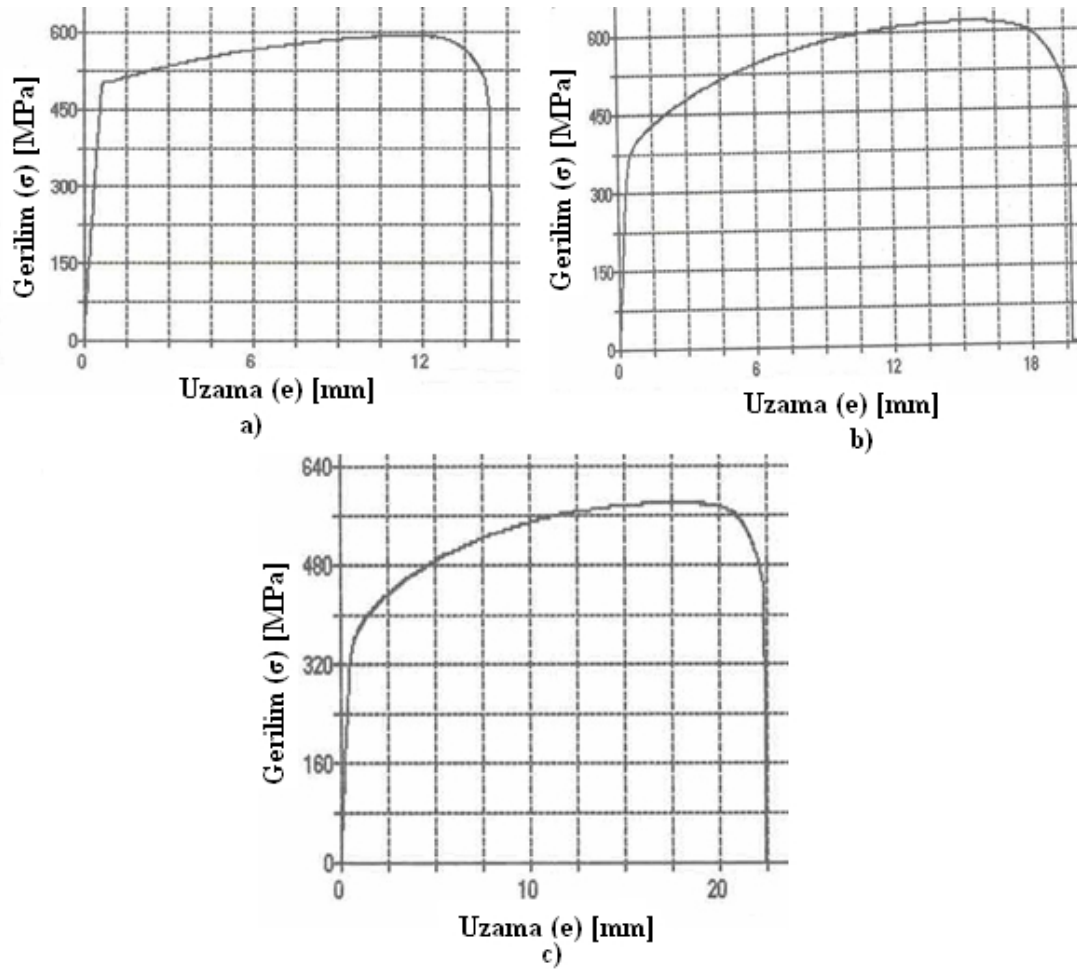
Malzeme Cinsi (AISI)	İlave Metal Cinsi	Koruyucu Gaz	σ_{Akma} (MPa)	$\sigma_{max.}$ Çekme (MPa)	σ_{Kopma} (MPa)	% uzama miktarı
316 L	ER 316L	Argon	357±2	564±3	414±20	50
		%98 Ar+%2H ₂	371±3	592±4	517±15	51
		%95Ar+%5H ₂	432±6	577±12	450±12	38

Tablo 5.3. 316Ti paslanmaz çelikte ilave metalin çekme deneyine etkisi.

Malzeme Cinsi (AISI)	Koruyucu Gaz	İlave metal	σ_{Akma} (MPa)	$\sigma_{max.}$ Çekme (MPa)	σ_{Kopma} (MPa)	% uzama miktarı
316 Ti	Argon	Er 318	363±9	596±11	466±10	43
		Er 316L	385±18	598±6	523±26	49
		Er 309L	343±4	571±6	497±8	50

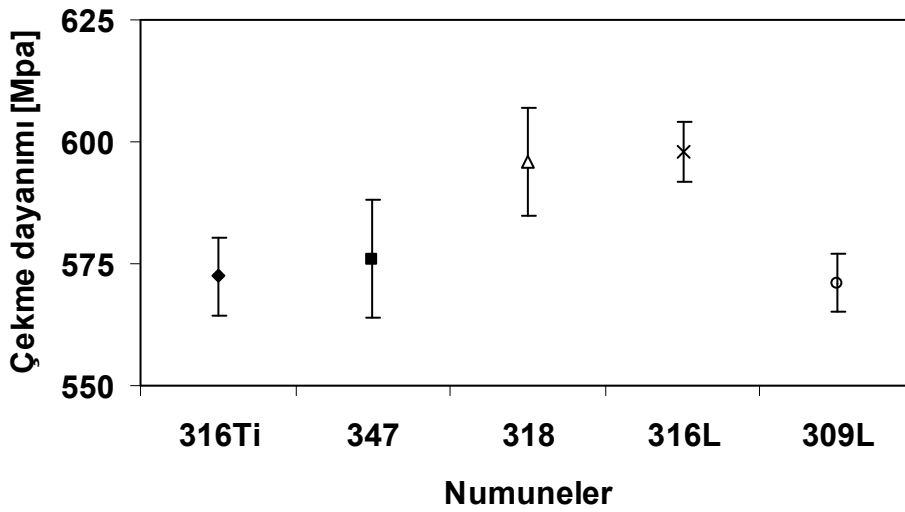
Tablo 5.4. 316L paslanmaz çelikte ilave metalin çekme deneyine etkisi.

Malzeme Cinsi (AISI)	Koruyucu Gaz	İlave metal	σ_{Akma} (MPa)	$\sigma_{max.}$ Çekme (MPa)	σ_{Kopma} (MPa)	% uzama miktarı
316L	%98 Ar+%2H ₂	Er 347	332±9	574±14	462±12	50
		Er 316L	371±3	592±4	517±15	51

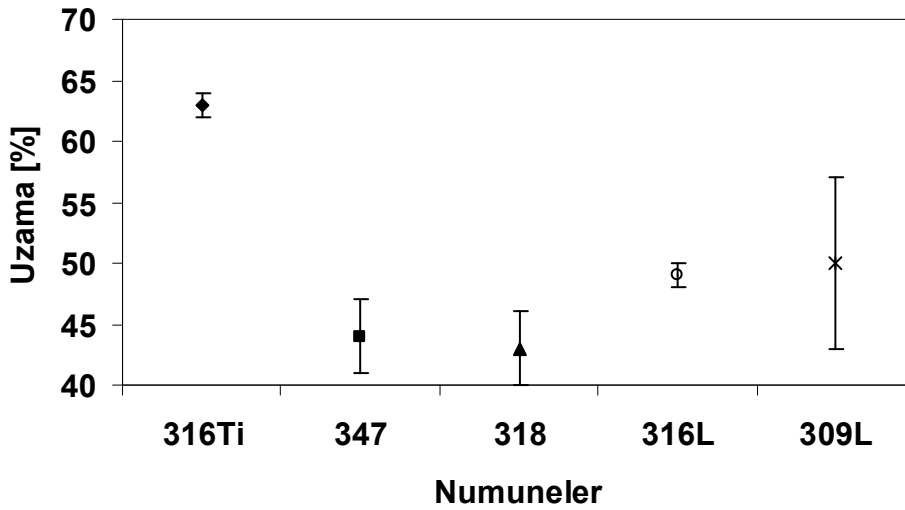


Şekil 5.1. ER 347 ilave metali ile farklı koruyucu gazlar altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen paslanmaz çeliğin gerilim-uzama diyagramı a) Argon b) Argon + %2H₂ c) Argon+%5H₂

Şekil 5.2.a ve b'de farklı ilave metallerle argon koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı ve % Uzama grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde en yüksek çekme dayanımına 598 MPa ile ER 316L ilave metali kullanıldığında ulaşılmıştır. En düşük çekme dayanımı ise 571 MPa ile ER 309L ilave metali kullanıldığında elde edilmiştir. Elde edilen çekme dayanımları ana malzemenin çekme dayanımlarından daha yüksek çıkmıştır. Bu durum birleştirmede kullanılan ilave metalin sahip olduğu çekme dayanımı değerlerinin yüksekliğinden kaynaklanabilir. % Uzama ana metalde % 63, ER 309L'de %50 ve ER 318'de % 43 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kaynak sonrası ana malzemenin sünekliği biraz düşme göstermiştir. Bu kaynaktan dolayı oluşan ısı girdisinden ve ilave kaynak metallerinin kimyasal bileşiminin farklı olmasından kaynaklanabilir.



a)

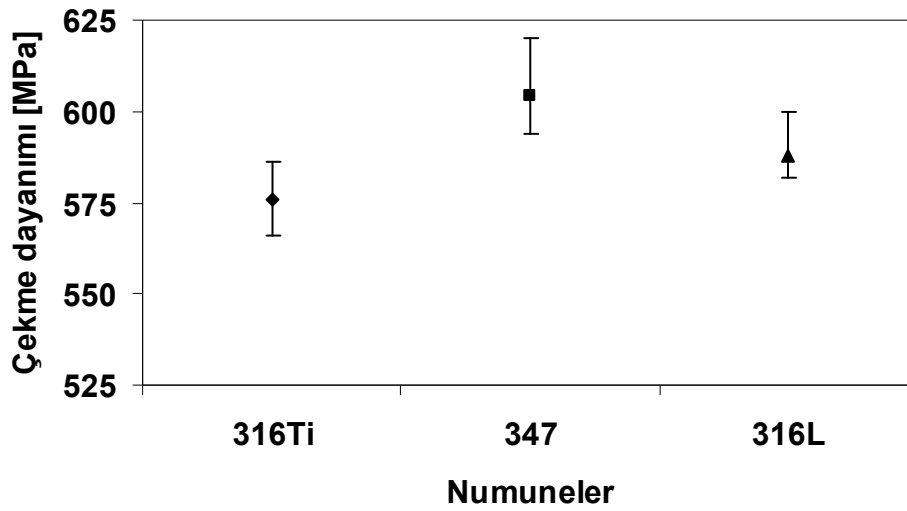


b)

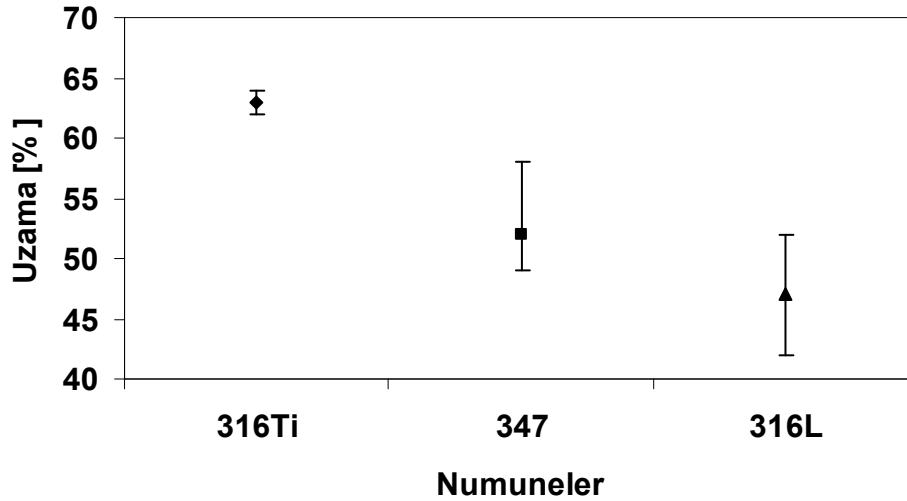
Şekil 5.2. Argon koruyucu gazı altında birleştirilen 316Ti paslanmaz çelikte kullanılan farklı ilave metallerin kaynaklı birleşirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

Şekil 5.3.a ve b'de farklı ilave metallerle argon+%2H₂ koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı ve % Uzama grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ER 347 ilave metali ile birleştirilen malzemenin çekme dayanımı 604 MPa ER 316L ile birleştirilen malzemenin çekme dayanımı ise 588 MPa olarak bulunmuştur. Elde edilen çekme dayanımları ana malzemenin çekme dayanımlarından daha yüksek çıkmıştır. Bu durum birleştirmede kullanılan ilave metalin sahip olduğu çekme dayanımı değerlerinin yüksekliğinden kaynaklanabilir. Ayrıca kaynak metalinde oluşan δ -ferritler çekme mukavemetini arttırmış olabilirler. % Uzama ana metalde % 63, ER

347'de %52 ve ER 316L'de % 47 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kaynak sonrası ana malzemenin sünekliği biraz düşme göstermiştir. Bu kaynaktan dolayı oluşan ısı girdisinden ve ilave kaynak metallerinin kimyasal bileşiminin farklı olmasından kaynaklanabilir. ER 347 ilave metali ile yapılan birleştirmenin sünekliği ER 316L ile yapılan birleştirmeden daha yüksek çıkmıştır. Saf argon koruyucu gazı ile kıyaslama yapıldığında çekme dayanımı ve süneklik hidrojen ilavesiyle artmıştır.



a)

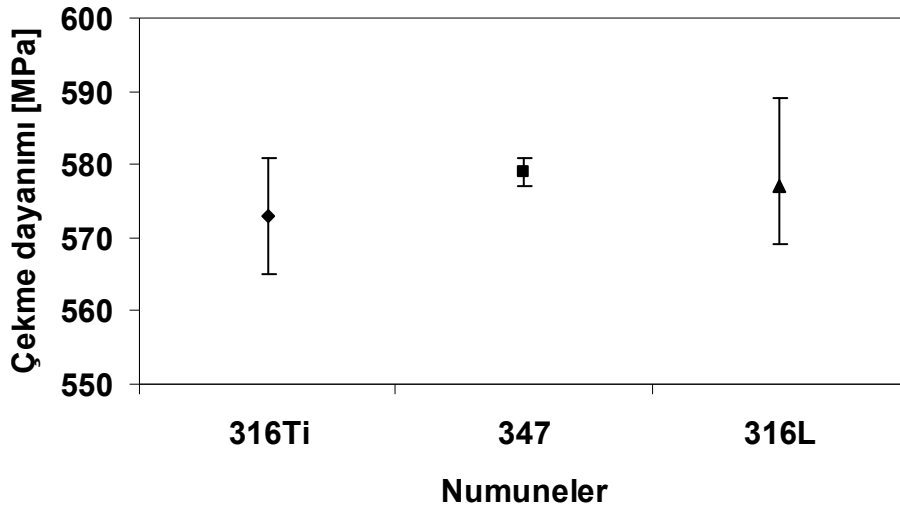


b)

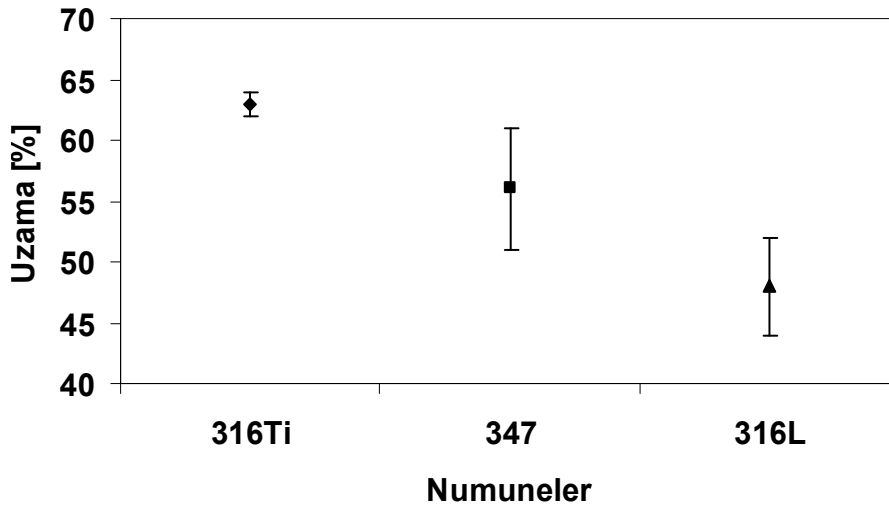
Şekil 5.3. Argon+%2H₂ koruyucu gazı altında birleştirilen 316Ti paslanmaz çelikte kullanılan farklı ilave metallerin kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

Şekil 5.4.a ve b'de farklı ilave metallerle argon+%5H₂ koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı

ve % Uzama grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ER 347 ilave metali ile birleştirilen malzemenin çekme dayanımı 579 MPa, ER 316L ile birleştirilen malzemenin çekme dayanımı ise 577 MPa olarak bulunmuştur. Elde edilen çekme dayanımları ana malzemenin çekme dayanımlarından daha yüksek çıkmıştır. Fakat bu artış saf argon ve %2Hidrojenli koruyucu gaza göre daha azdır. Bu durum artan hidrojen miktarıyla birlikte ısı girdisinin artmasından kaynaklanabilir. % Uzama ana metalde % 63, ER 347’de %56 ve ER 316L’de % 48 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kaynak sonrası ana malzemenin sünekliği biraz düşme göstermiştir. Bu kaynaktan dolayı oluşan ısı girdisinden ve ilave kaynak metallerinin kimyasal bileşiminin farklı olmasından kaynaklanabilir. ER 347 ilave metali ile yapılan birleştirmenin sünekliği ER 316L ile yapılan birleştirmeden daha yüksek çıkmıştır. Saf argon ve argon+%2H₂ koruyucu gazları ile karşılaştırıldığında gaz içerisindeki hidrojen miktarının artışı birleştirmenin sünekliğini arttırmıştır. 316Ti paslanmaz çelikte ER 347 ilave metali için en yüksek çekme mukavemeti %2 hidrojenli koruyucu gazda elde edilmiştir. En yüksek % uzama ise %5 hidrojenli koruyucu gazda elde edilmiştir. Tablo 5.1’de görüldüğü gibi en yüksek akma dayanımına 505 MPa ile saf argon koruyucu gazı altında yapılan birleştirmeye ulaşılmıştır. En yüksek akma mukavemetine ise 523 MPa ile argon koruyucu gazı altında ER 316L ilave teli ile yapılan kaynakta elde edilmiştir.



a)

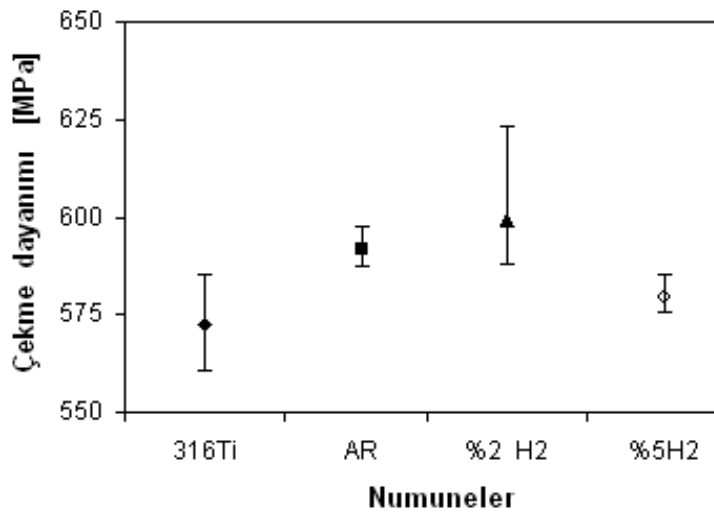


b)

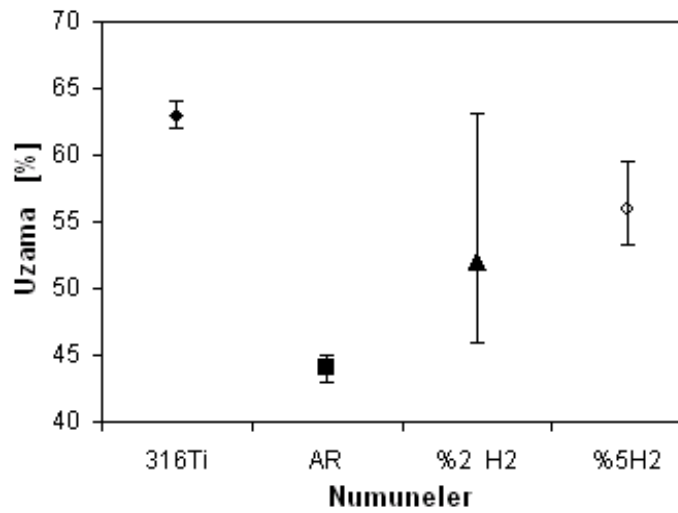
Şekil 5.4. Argon+%5H₂ koruyucu gazı altında birleştirilen 316Ti paslanmaz çelikte kullanılan farklı ilave metallerin kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

Farklı koruyucu gaz kompozisyonları altında TIG kaynak yöntemi ile ER 347 ilave metali kullanılarak birleştirilen AISI 316Ti östenitik paslanmaz çelik levhalardan Şekil 4.3'te belirtildiği gibi çıkarılan parçalara uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen akma, çekme ve kopma dayanımları ile deney sonrasında hesaplanan %uzama değerleri Tablo 5.1., 5.2., 5.3. ve 5.4'te verilmiştir. Deneylerde elde edilen değerlerin daha net bir şekilde gösterilmesi amacıyla elde edilen çekme dayanımı ve %uzama değerleri grafiksel olarak verilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde elde edilen çekme dayanım değerleri ana malzemenin sahip olduğu çekme dayanımı değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum birleştirmede kullanılan

ilave metalin sahip olduğu çekme dayanımı değerlerinin yüksekliğinden kaynaklanabilir. Farklı koruyucu gazlarla ER 347 ilave metali ile kaynak yapılan numunelere yapılan çekme deneyinde en yüksek değerler (ortalama 600 MPa) ile koruyucu gaz olarak Ar+%2H₂ karışım gazı kullanılarak birleştirilen numunelerden elde edilmiştir. Buna karşılık en yüksek % uzama değerleri ise % 56 ile Ar+%5H₂ gaz karışımı altında yapılan birleştirmelerden elde edilmiştir [43].



a)

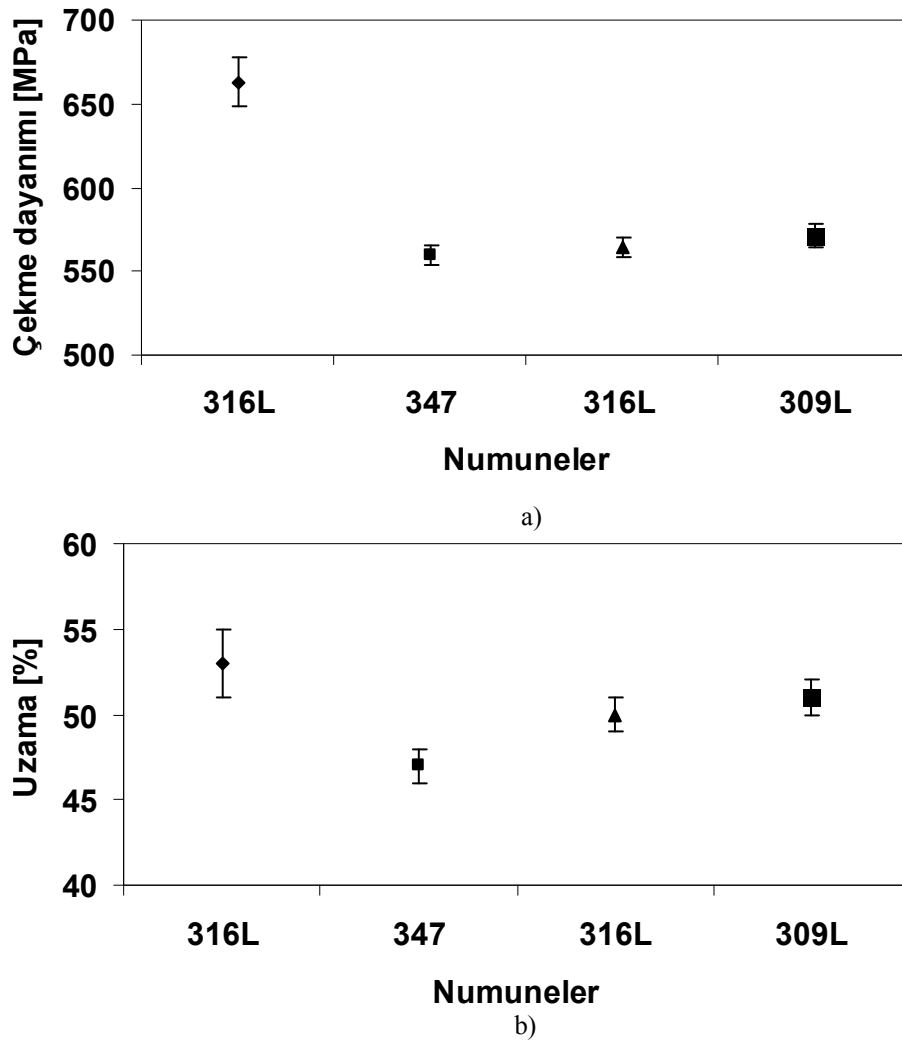


b)

şekil 5.5. Kullanılan koruyucu gaz kompozisyonunun kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

şekil 5.6.a ve b'de farklı ilave metallerle argon koruyucu gazı altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş 316L östenitik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı ve % Uzama grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ana malzemenin çekme dayanımının kaynaklı malzemelere göre daha yüksek olduğu görölmektedir.

Kaynaklı malzemelerin içinde ise ER 309L ilave metali ile kaynak yapılan numune ortalama 571 MPa çekme mukavemeti değeri ile en yüksek çekme mukavemeti değerine sahiptir. Bu ER 309L ilave telinin ferritik yapıya sahip olmasından kaynaklanabilir. Yapıda oluşan δ -ferritler mukavemeti arttırmış olabilir. En düşük çekme dayanımı ise ortalama 560 MPa çekme mukavemetiyle ER 347 ilave metali ile yapılan kaynakta elde edilmiştir. Ana metalin % uzama değeri %53 ile en yüksek değere sahiptir. Kaynakla beraber süneklik düşmüştür. ER 347 ilave telli kaynak en düşük sünekliğe sahiptir. 316Ti'ye göre 316L'de çekme dayanımlarının düşük çıkması malzemenin kimyasal bileşiminin değişik olmasından kaynaklanabilir. 316Ti paslanmaz çeliğin yapısında bulunan Mo, Nb gibi stabilize edici elementler kaynağa daha uygunluk göstermesini sağlamış olabilirler.

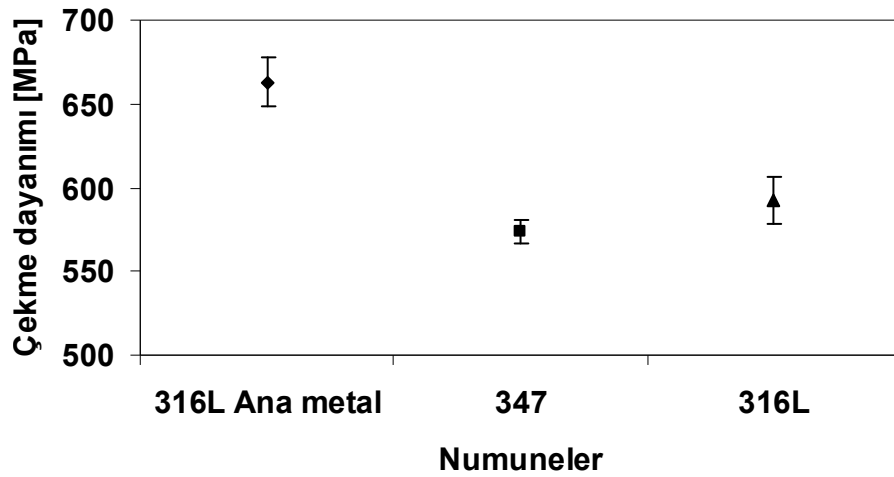


Şekil 5.6. Argon koruyucu gazı altında birleştirilen 316L paslanmaz çelikte kullanılan farklı ilave metallerin kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi
Şekil 5.7.a ve b'de farklı ilave metallere argon+%2H₂ koruyucu gazı altında TIG

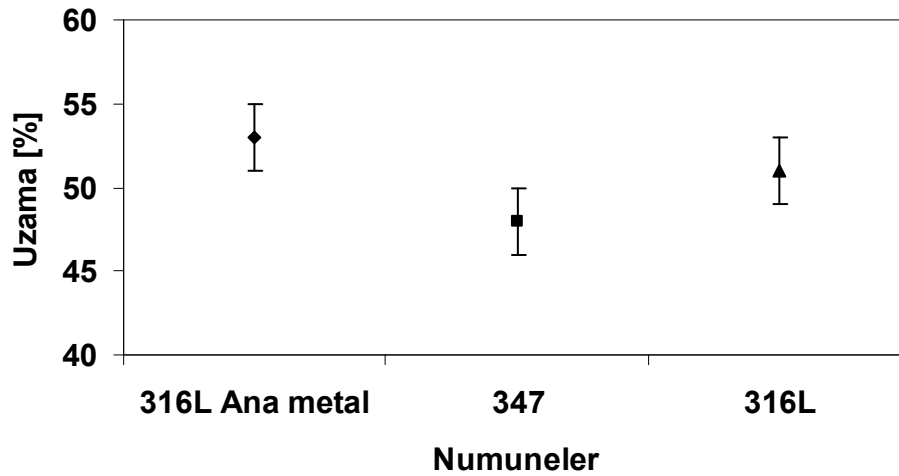
kaynak yöntemiyle birleştirilmiş 316L östenitik paslanmaz çeliğin çekme dayanımı ve % Uzama grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ana malzemenin çekme dayanımının kaynaklı malzemelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Kaynaklı malzemelerin içinde ise ER 316L ilave metali ile kaynak yapılan numune ortalama 592 MPa çekme mukavemeti değeri ile en yüksek çekme mukavemeti değerine sahiptir. Bu ana malzemeyle aynı türdeki ilave metalden kaynaklanabilir. Saf argon koruyucu gazı ile karşılaştırma yapıldığında %2'lik hidrojen ilavesinin Hem ER 316L ilave telinde hem de ER 347 ilave telinde çekme dayanımını arttırdığı görülmektedir. Koruyucu gaz kompozisyonundaki H₂ banyo içerisinde bulunan oksijeni süpürerek kaynak dikişinin hem mukavemetli hem de dikiş yüzey kalitesinin artmasını sağlamaktadır [10].

Kaynaklı birleştirmelerde kullanılan koruyucu argon gazı içerisine %H₂ ilavesi kaynağın akım değerlerini yükselterek ve arkta voltaj düşümü sağlamaktadır. Bunun sonucu ark gücü artmakta ve H₂ gazı yüksek iletkenliğe sahip olması nedeniyle daha dar ve geniş nufuziyetli birleştirme sağlanmaktadır [43].

Ana metalin % uzama değeri %53 ile en yüksek değere sahiptir. Kaynakla beraber süneklik düşmüştür. ER 347 ilave telli kaynak en düşük sünekliğe sahiptir.



a)



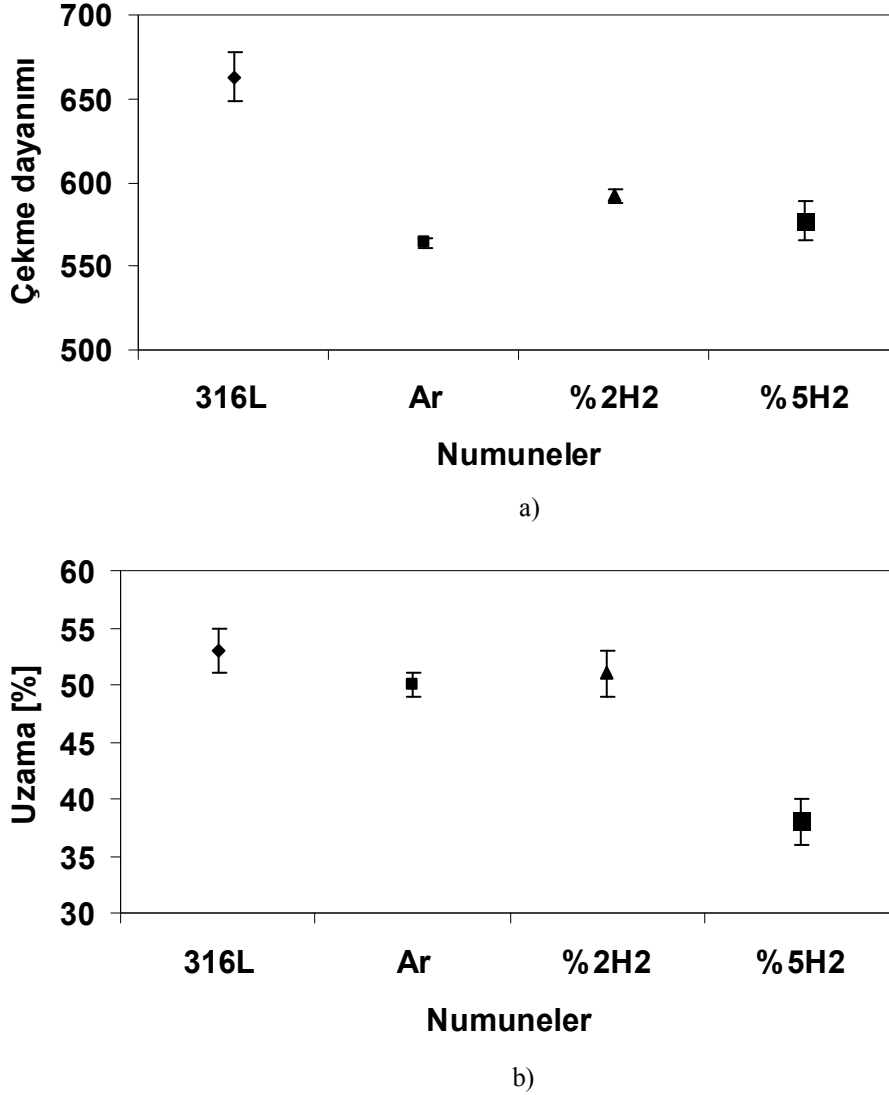
b)

Şekil 5.7. Argon+%2H₂ koruyucu gazı altında birleştirilen 316L paslanmaz çelikte kullanılan farklı ilave metallerin kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

Şekil 5.8 a ve b'de kullanılan koruyucu gaz kompozisyonunun kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımına ve % uzama değerlerine etkisi grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 316L ana malzemenin çekme dayanımının ortalama 663 MPa ile kaynaklı malzemelerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kaynaklı malzemeler içinde ise en yüksek çekme dayanımı (ortalama 592 MPa) Ar+%2H₂ koruyucu gazı altında yapılan kaynakta elde edilmiştir. Yani % 2'lik hidrojen ilavesi saf argon ve % 5'lik hidrojen ilavesine göre kaynağın çekme dayanımını yükseltmiştir.

Kaynaklı birleştirmelerde kullanılan koruyucu argon gazı içerisine %H₂ ilavesi kaynağın akım değerlerini yükselterek ve arkta voltaj düşümü sağlamaktadır. Bunun

sonucu ark gücü artmakta ve H₂ gazı yüksek iletkenliğe sahip olması nedeniyle daha dar ve geniş nufuziyetli birleştirme sağlanmaktadır [43].



Şekil 5.8. Kullanılan koruyucu gaz kompozisyonunun kaynaklı birleştirmenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi

Yapılan çalışmalarda tecrübe edildiği gibi, koruyucu gaz içerisindeki H₂ miktarı arttığında kaynak banyosunun akıcılığı artmakta dolayısıyla kontrolü zorlaşmaktadır. Bu nedenle daha düşük kaynak akım değerlerinde kaynaklı birleştirme yapılmaktadır. Koruyucu gaz içerisindeki H₂ gazının artışına paralel olarak kaynak banyosundaki ergiyerek sıvı hale geçen metal miktarı arttığından daha derin nufuziyete sahip kaynak dikiş şekli elde edilmektedir [10, 44].

Daha önceki bir çalışmada [45] 316L tipi östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde benzer sonuçlar elde edilmiş olup, ancak o çalışmada maksimum çekme dayanımı ile %uzama değerleri en yüksek Ar+%1,5H₂ gazı kullanılan birleştirmelerde elde edilmiştir. Bu iki çalışmada elde edilen değerler arasındaki farklar kaynak hızı, amper, paso sayısı ve birleştirilen malzeme türlerinin farklı olmasından kaynaklanabilir. Çünkü, bahsedilen kaynak parametreleri kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerine etki etmektedir [46].

% Uzama değerlerine bakıldığında Ar+%5H₂ koruyucu gazı altında yapılan birleştirmede en düşük % uzama değeri (ortalama 38) elde edilmiştir. Bu hidrojen ilavesinin artmasıyla akım değerinin yükselmesi ve dolayısıyla ısı girdisinin yükselmesinden kaynaklanabilir.

Önceki çalışmalarda [10, 44, 45, 47] kaynak işlemi esnasında koruyucu gaz kompozisyonundaki hidrojen miktarındaki artış, bu gazın ısıl iletim katsayısı yüksek olduğundan, kaynak bölgesine ısı girdisini arttırır.

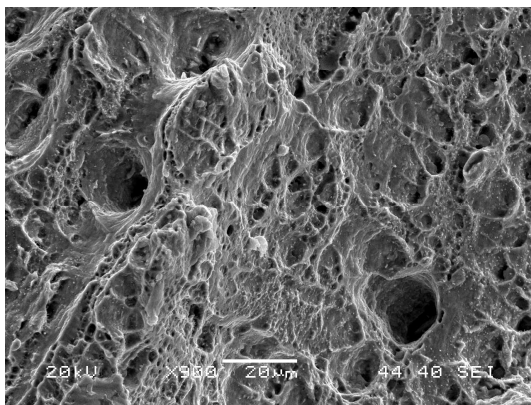
316L kalite östenitik paslanmaz çelik TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş ve farklı ilave metaller ve koruyucu gazlar kullanılarak yapılan deneylerde mekanik özellikleri etkilenmiş, şekillerden de görüleceği gibi ER 316L ilave teli ve % 98 Ar+% 2H₂ koruyucu gazı kullanıldığında 592 MPa ile çok yüksek çekme dayanım değeri vermektedir. Tablo 5.1.'de görüldüğü gibi ER 309L ilave metali ile Argon koruyucu gazı ve ER 316L ilave metali ile % 98 Ar+% 2H₂ koruyucu gazı kullanıldığında %51 uzama ile yüksek uzama miktarı vermektedir. Bu ER 316L ana malzemeye yakın kimyasal içeriğe sahip olduğundan iyi sonuç verebilir. ER 309L ise ferritik bir yapıya sahip olduğundan yüksek % uzama değeri sağlayabilmektedir. Daha önceki çalışmalarda belirtildiği gibi kaynak ilave metali birleştirilen parçanın mekaniksel özelliklerini etki etmektedir [14, 48].

Kaynak sonrası kaynak metalinde oluşan karbürler 316L paslanmaz çelikte tane sınırlarına dağıldığı için kaynaklı numunelerin çekme dayanımları ana metalden düşük çıkmıştır. 316Ti paslanmaz çelikte ise ana faz içine dağıldığından çekme dayanımını arttırmıştır.

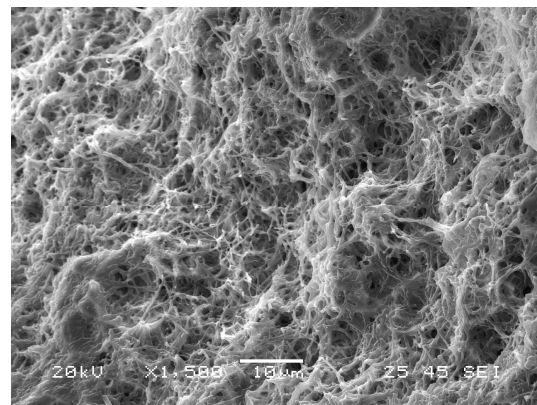
Şekillerde görüldüğü gibi 316Ti östenitik paslanmaz çelik ER 347 ilave metali ile kaynatıldığında koruyucu gazı olarak argon kullanıldığında maksimum çekme gerilmesinde en yüksek değere ulaşılmaktadır. Yine ER 347 ilave metali kullanıldığında Argon + % 5 hidrojen koruyucu gaz kullanılması sonucu % 56 ile en yüksek % uzama değerine ulaşılmıştır. 316L paslanmaz çelik ER 316L ilave metali ile Argon + % 2 hidrojen koruyucu gazı altında kaynatıldığında iyi çekme dayanımı ve % uzama değerleri elde edilmektedir. Şekil ve tablolardan görüldüğü kadarıyla hidrojen koruyucu gaza ilavesi kaynağın mekaniksel özelliklerini olumlu etki yapmaktadır. Bu malzemelerin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde kullanılan Ar + % H₂ koruyucu gazı yapılan gözlemlerde kaynak arkında metal geçişini kolaylaştırmakta, kaynak banyosunu daha sıvı hale getirerek kaynak akış hızını artırmaktadır. Kaynak dikişinin daha iyi görüntüye sahip olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında gerekli arkın voltaj değerleri % 2 hidrojenle karıştırıldığında daha düşük ve daha iyi özelliklere sahip kaynak dikişi elde edilmektedir. Bu çalışmadaki elde edilen sonuçlar Yılmaz ve Barlas'ın [49] yayınında belirtilen açıklamaları doğrular niteliktedir.

TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen paslanmaz çeliklerden yapılan çekme deneylerinde kopma ITAB bölgesinden meydana gelmiştir. Çekme deneyi sonucunda kırılan numunelerin kırılma yüzeyleri SEM görüntüleri alınmıştır.

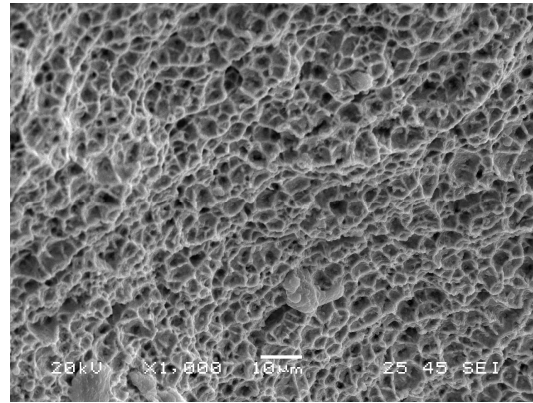
Şekil 5.9.'da Argon atmosferi altında değişik ilave metallerle kaynak yapılan 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin çekme kırılma yüzeyi morfolojisi gösterilmiştir.



a)



b)

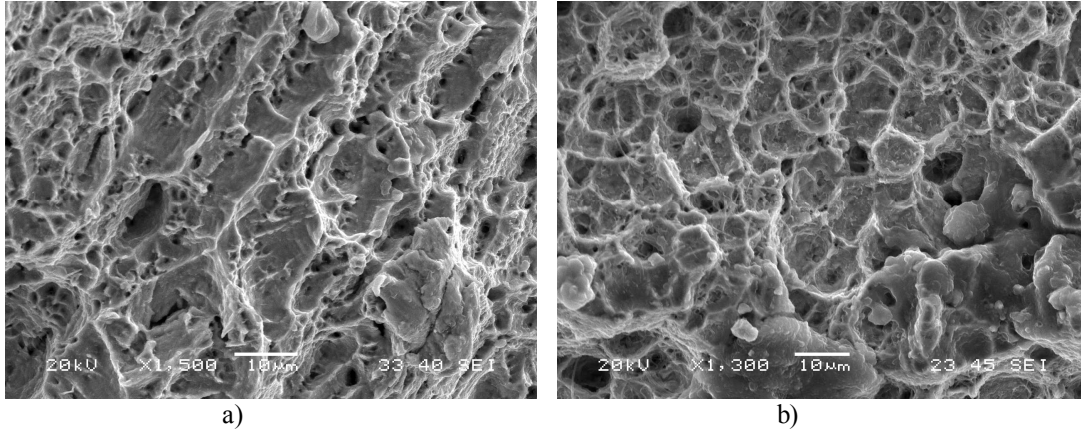


c)

Şekil 5.9. Saf Argon koruyucu gazı altında a) ER 347 b) ER 316L c) ER 309L ilave metalleri ile TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri

Yukarıdaki şekilde saf argon atmosferi altında farklı ilave metaller kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmektedir. Bu tür malzemeler delikli kırılma göstermekte olup, argon atmosferi altında ER 347 ilave metal ile kaynak yapılan malzemelerin kırılma yüzeylerinde yuvarlak görüntülü deliklerin boyutları daha büyük ve çatlak gözükmemektedir. Akma değerinin diğerlerine göre yüksek olması bu tip bir kırılma mekanizmasından kaynaklanabilir. Her iki koruyucu gaz atmosferi altında deneyler oda sıcaklığında olduğundan Sünek kırılma şeklinde olmaktadır. Argon atmosferinde daha çok kırılma şekilde görüldüğü gibi kırılma yüzey morfolojisi yarılma şeklindedir. Hidrojen atmosferinde ise yarılma ve delikli kırılma şeklindedir.

Şekil 5.10 incelendiğinde ER 316L ilave metali ile kaynak yapılan numunelerde çekme sonrasında kırılma yüzeyinde kopma mekanizması küçük çanakçıklar şeklinde olmaktadır. ER 347 ilave metali ile kaynak yapılanda ise boyuna uzun tepecikler şeklinde olmaktadır. Bu fark ilave metalin kimyasal bileşiminin farklı olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 5.10 Ar+%2H₂ koruyucu gazı altında a) ER 347 b) ER 316L ilave metalleri ile TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri

5.1.2. Çentik darbe deneyi

AISI 316L paslanmaz çelik parçalar ER 316L ilave metali ile Argon ve Argon+%2H₂ ve 347 ilave metali ile Argon koruyucu gazları kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirilen parçalara çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Çentik darbe deneyi uygulanmış numunenin resmi Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Çentik darbe deneyi uygulanmış numune

Deneyler sonucunda elde edilen değerler aşağıda grafiksel olarak verilmiştir. Argon koruyucu gazı altında ilave çubuğu olarak ER 316L kullanıldığında Tablo 5.6'da

görüldüğü gibi oda sıcaklığında 171 Joule kırılma enerjisi değeri elde edilirken 0 °C'de 169 Joule yükselmiş ve -40 °C'de 161 Joule değerine düşmüştür. ER 347 ilave metali kullanıldığında oda sıcaklığında 200 Joule kırılma enerjisi elde edilirken 0°C'de 190 Joule düşmüş ve -40 °C'de 155 Joule olmuştur. ER 347 ilave metali ile yapılan kaynağın tokluğu üç sıcaklıkta da yüksek çıkmıştır. Bu ER 347'nin yapısında bulunan alaşım elementlerinin stabilizör yapısından kaynaklanabilir.

Şekil 5.14'te görüldüğü gibi koruyucu gaz olarak Ar+%2H₂ ve 316L ilave metali kullanıldığında oda sıcaklığında 292 Joule, 0°C'de 256 Joule ve -40 °C'de 194 Joule olarak elde edilmiştir. Saf argon koruyucu gazı ile yapılan birleştirmeye kıyaslandığında kırılma enerjisi değerlerinde yükselme olmuştur. Bu hidrojen gazının karışımı daha iyi yapmasından kaynaklanabilir. Ayrıca argon altındaki kaynakta -40 °C'den oda sıcaklığına doğru çıkıldıkça kırılma enerjisi değerleri düşme gösterirken %2H₂ ilave kaynakta -40°C'den oda sıcaklığına doğru kırılma enerjisi değerlerinde yükselme olmuştur.

Bu tür AISI 316L gibi ana malzemelerde bulunan fazlar yüzey merkezli kübik (YMK) östenitik yapıya sahip olduklarından çentik darbe direnci sonuçlarına sıcaklık etki etmektedir. Ancak ilave telin özelliğinden dolayı kaynak metalinde δ-ferrit fazı oluşmakta olup bu hacim merkezli kübik (HMK) kristal yapıya sahip olduğundan çentik darbe deneyleri sonucunda elde edilen kırılma enerji değerleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir [50]. Bu tür malzemeler yüksek sıcaklıklarda Sünek kırılma gösterirken düşük sıcaklıklarda kırılma bir yapıya sahip olmaları nedeniyle gevrek kırılma meydana gelmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir [46].

Tablo 5.5. ve Tablo 5.6'da Argon koruyucu gazı altında ER 347 ve ER 316L ilave metalleri ile kaynak yapılan 316L östenitik paslanmaz çeliğin darbe çentik deneyi sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ER 347 ilave metali kullanıldığında kırılma enerjisinin yükseldiği görülmektedir. Bu artış ER 347 ilave metalinin içinde bulunan ve stabilize edici bir element olan Niobium'dan kaynaklanabilir.

Bu çalışmada çentik darbe deneyleri sonucunda elde edilen kırılma enerjisi

değerlerine kaynak içerisindeki hatalar olumsuz yönde etki etmektedir. Literatür çalışmaları [51] kaynak esnasında oluşan çeşitli hataların birleştirilen parçaların mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği belirtilmektedir.

Literatürde belirtildiği gibi paslanmaz çelikler charpy çentik darbe deneylerinde elde edilen değerler sıcaklıklar çok fazla değişmeyip 70–80 joule arasında değişmektedir [16]. Bu çalışmada elde edilen değerler kaynak ilave tellerinin sahip olduğu çentik darbe tokluğuna yakın değerlerdir. Bu değerler ER 347 için 110 joule, ve ER 316L için 100 joule [52].

Tablo 5.5. 316L paslanmaz çelikte ilave metalin darbe çentik dayanımına etkisi.

Malzeme Cinsi (AISI)	Koruyucu Gaz	İlave Metal	Sıcaklık (°C)	Kırılma Enerjisi [Joule]
316L	Argon	ER 316L	-40	161
			0	169
			25	171
		ER 347	-40	155
			0	190
			25	200
ER 316L			-40	90
			0	95
			25	100
ER 347			-40	122
			0	125
			25	130

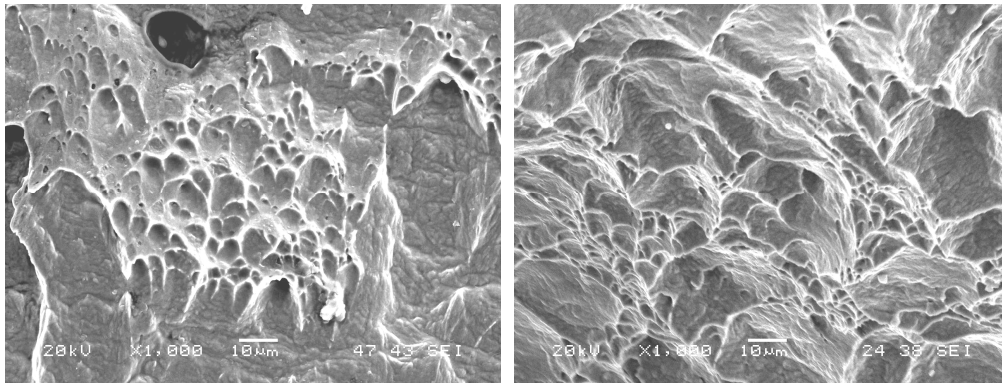
Tablo 5.6. 316L paslanmaz çelikte koruyucu gazın darbe çentik dayanımına etkisi.

Malzeme Cinsi (AISI)	İlave Metal	Koruyucu Gaz	Sıcaklık (°C)	Kırılma Enerjisi [Joule]
316L	ER 316L	Argon	-40	161
			0	169
			25	171
		Argon+%2H ₂	-40	194
			0	256
			25	292

Çentik darbe uygulanan numunelerin SEM mikroyapı incelemeleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Şekiller incelendiğinde genel kırılma mekanizmalarının olduğu görülmüştür. Literatürde de belirtildiği gibi [53] bu tekniğin

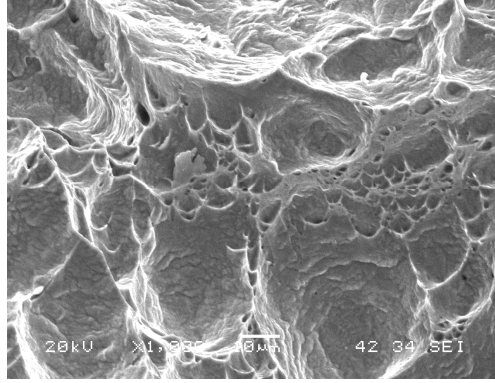
uygulanmasının temel nedeni kırılmanın nasıl olduğunu anlamak ve kırılma işlemini çevresel şartların nasıl etkilediğini anlamaktır.

Şekillerde bu tip östenitik paslanmaz çeliklerin tipik kırılma morfolojileri görülmektedir. Deneylere bakıldığında ER347L ve ER316L ilave çubukları kullanıldığında delikli kırılma gerçekleşmektedir. Bu delikler kaynak metalindeki safsızlıklardan kaynaklanır. Yuvarlak olup çeşitli ölçülere sahiptir. Daha önce yapılan çalışmada [6] belirtildiği gibi bu bahsedilen hatalar SiO_2 ve MnO_2 kaynaklanabilir. Bu tür numunelerde çentik darbe deneyleri östenitik yapılarda sıcaklıktan bağımsız olduğu için Sünek kırılma şeklinde gerçekleşmektedir. Ancak kaynak metali belli miktarlarda δ -ferrit içermekte olup bunlar hacim merkezli kübik (HMK) yapıya sahiptir. Bunların kırılması yarıma şeklinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle düşük sıcaklıklarda kırılma yarıma şeklinde olmaktadır. δ -ferrit kırılma göstermekte ve bu nedenle çatlak ilerlemesine neden olmaktadır. Düşük sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneylerinde düşük sonuçların alınmasına neden olmaktadır. Daha önceki çalışmalar bunu desteklemektedir [6, 50]. Ortaya çıkan östenitik yapı çentik darbe deneyinde elde edilen yüksek kırılma enerjisi değerlerini elde edilmesini neden olmaktadır. Bu deneylerde düşük sıcaklıklarda bile yüksek kırılma enerjisi değerleri elde edilmektedir.



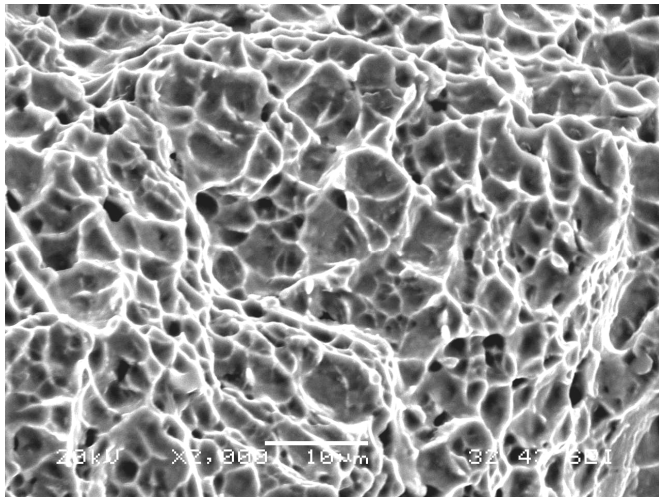
a)

b)

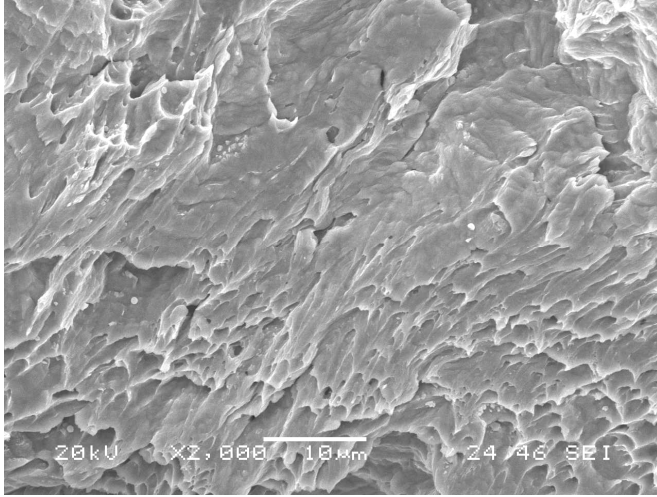


c)

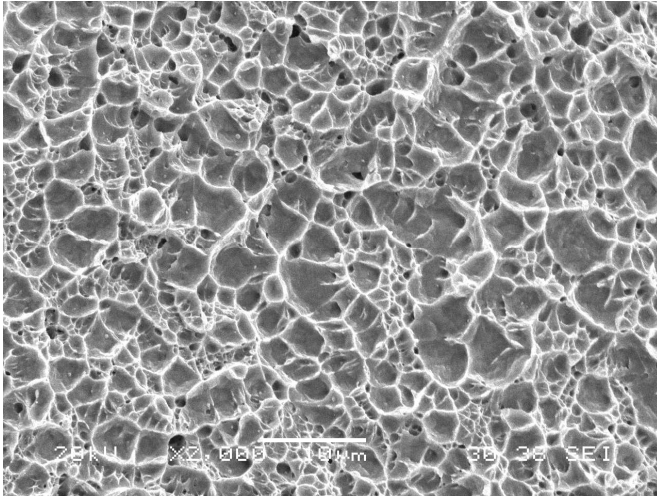
Şekil 5.12. AISI 316L Ana metalin darbe-çentik deneyi kırılma yüzeyi SEM görüntüsü a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C



a)

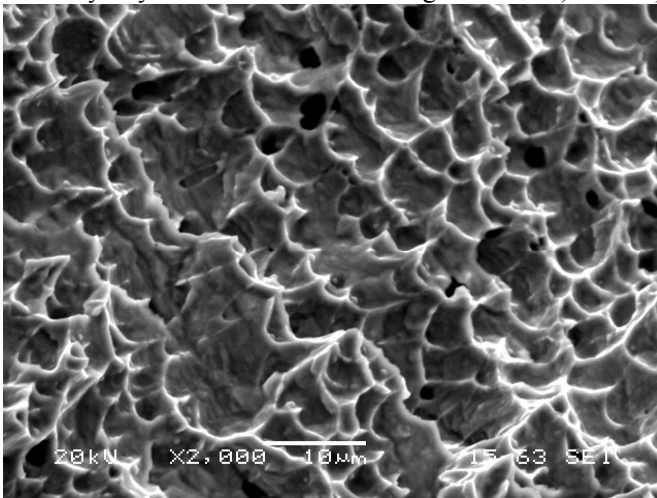


b)

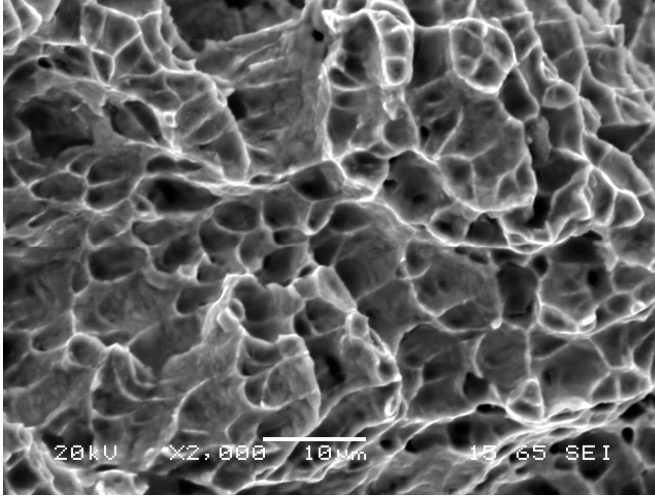


c)

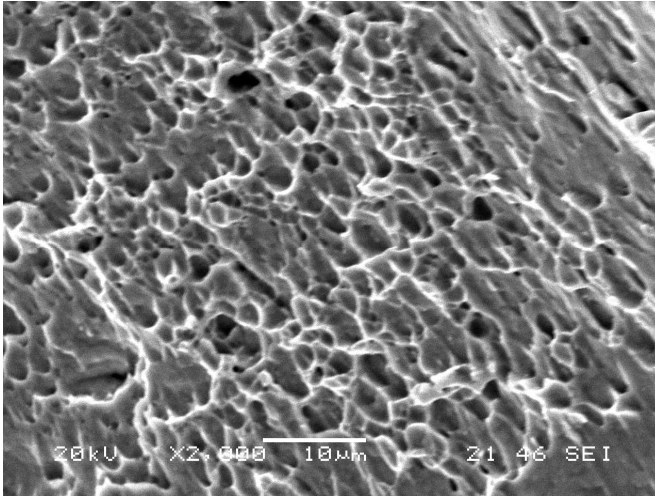
Şekil 5.13. Argon koruyucu gazı altında ER 347 ilave çubukları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen 316L tipi östenitik paslanmaz çelik parçalara çentik darbe deneyi uygulanan numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C



a)

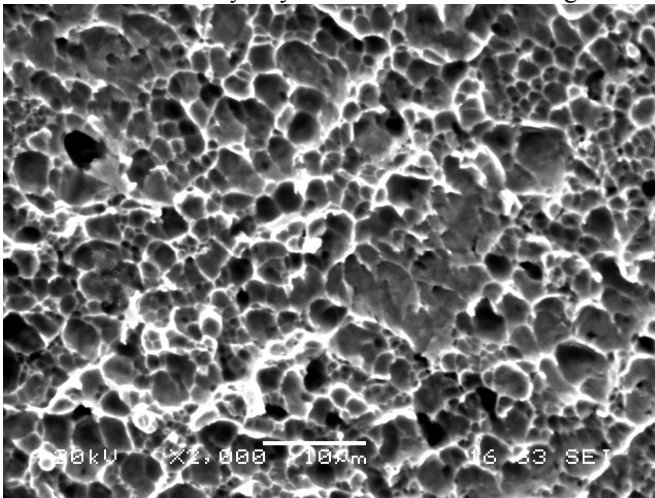


b)

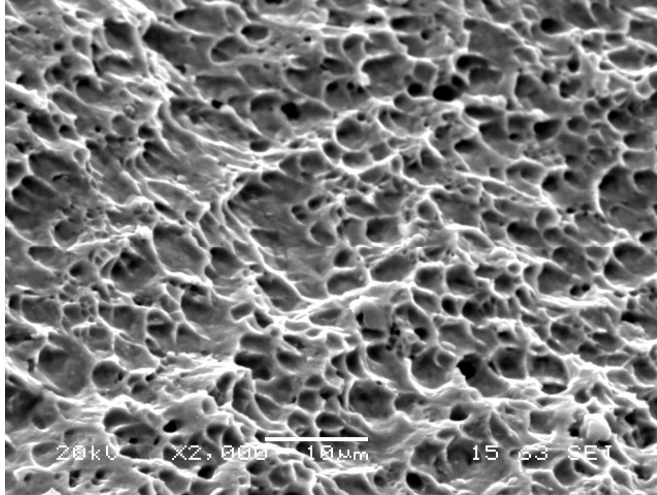


c)

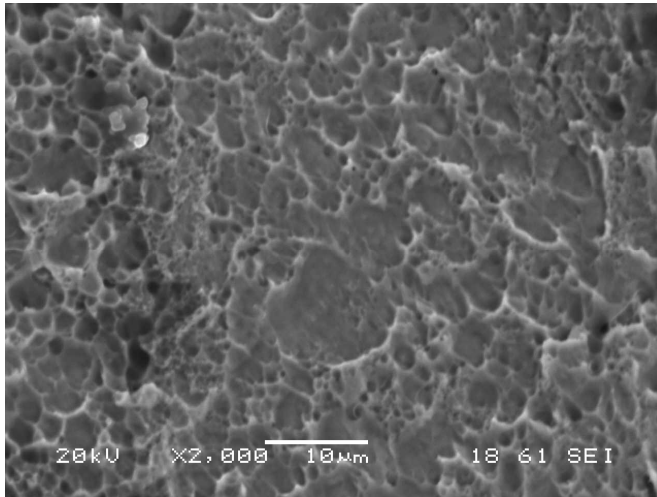
Şekil 5.14. Argon koruyucu gazı altında ER 316L ilave çubukları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen 316L tipi östenitik paslanmaz çelik parçalara çentik darbe deneyi uygulanan numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C



a)



b)



c)

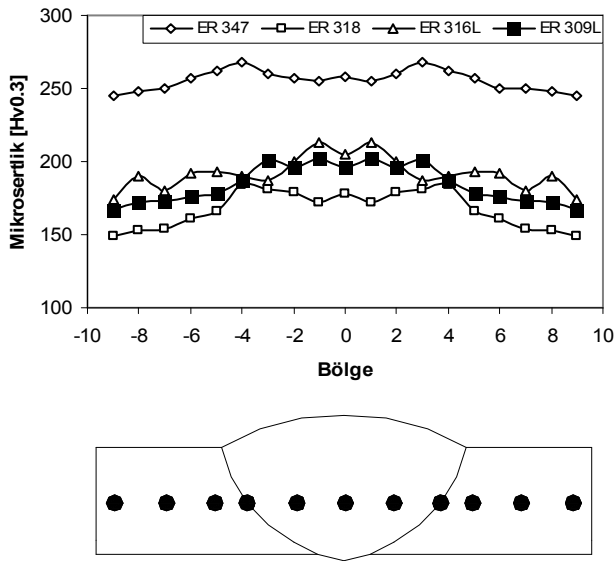
Şekil 5.15. Argon+%2H₂ koruyucu gazı altında ER 316L ilave çubukları kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen 316L tipi östenitik paslanmaz çelik parçalara çentik darbe deneyi uygulanan numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri a) 25 °C b) 0 °C c) -40 °C

5.1.3. Mikrosertlik deneyi sonuçları

Deney parçalarının Vickers mikrosertlik değerleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. İlave metallerin sertlik değerleri farklı olmakla beraber, kaynak bölgesinin sertliği biraz daha fazladır. Kaynak bölgesinde yukarıdan aşağıya doğru sertliklerinde aşağı bölgelerde biraz artış görülmektedir. Bu artış çok yüksek olmamakla beraber, ilave metallerin kimyasal içeriğine bağlı olabilir veya çok pasolu kaynak yapıldığından ısı girdisi ile beraber kalıntı gerilmelerinin artışına bağlı olabilir [10]. Sertlik farklılığından dolayı hiçbir sıcak kırılma görülmemiştir. Ayrıca ana metal ve kaynak bölgesinde bulunan bazı elementler sertliğe etki eder. Örneğin krom ve mangan

sertliği artırır [14]. Kaynak bölgesinde sertlik değerine sahip olan sigma (σ) fazının oluşmadığı söylenebilir. Ayrıca seçilen ilave metallerde % 10 üzerinde nikel bulunması sertliği etkilemektedir.

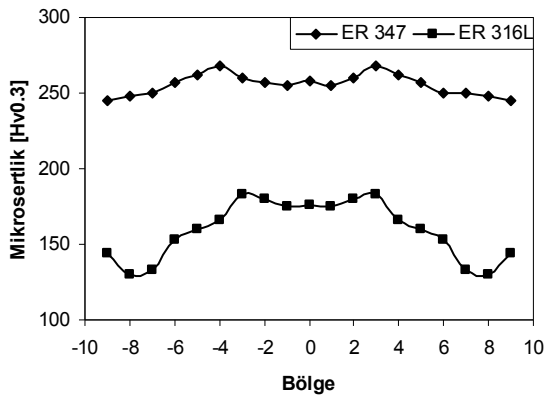
Şekil 5.16'da argon koruyucu gazı altında farklı ilave metallerle TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin mikrosertlik değerleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde ER 347 ilave metali ile yapılan birleştirmede en yüksek mikrosertlik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca burada kaynak metalinin bulunduğu bölgeden alınan mikrosertlik değerleri ITAB'daki geçiş bölgesinden daha düşük olduğu net bir şekilde görülmektedir. Birleştirme esnasında yapılan her bir paso ısıtıl işlem gibi davranarak kaynak bölgesinin mikrosertliğinin düşük olmasına neden olmaktadır [29]. ITAB'daki mikrosertlik farklılıkları ısı girdisi ve soğuma ile ITABdaki tane büyüklüğü farklarından kaynaklanabilir [43].



Şekil 5.16. TIG kaynak yöntemiyle 316Ti kalite paslanmaz çeliğin farklı ilave telleri kullanılarak Argon koruyucu gazı altında birleştirilen mikrosertlik değerleri

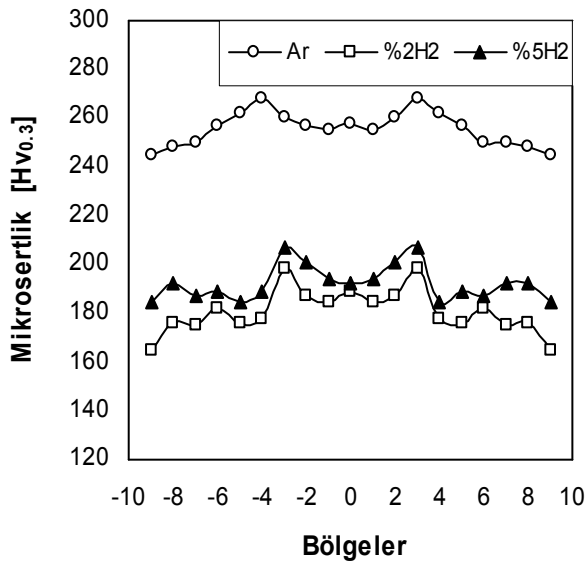
Kaynak bölgesinde ilave metalden gelen δ -ferrit ile östenitik ara fazın arasındaki yapı uyumsuzluğu, kaynak sonrasında banyonun hızlı katılaşması sonucu dislokasyonların oluşmasına neden olduğundan kaynak metalinin mikrosertliği dolayısıyla mukavemetin arttığını literatür bilgilerinde açıklamaktadır [54].

Şekil 5.17’de TIG kaynak yöntemiyle farklı ilave metallerle Ar+%2H₂ koruyucu gazı altında birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin mikrosertlik değerleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde ER 347 ilave metali ile yapılan kaynakta ER 316L ile yapılan göre daha yüksek mikrosertlik değerleri elde edilmiştir. Bu fark ER 347 ilave metalinin yapısında bulunan Mo, Nb gibi stabilitör elementlerin oluşturduğu karbürlerden kaynaklanabilir.



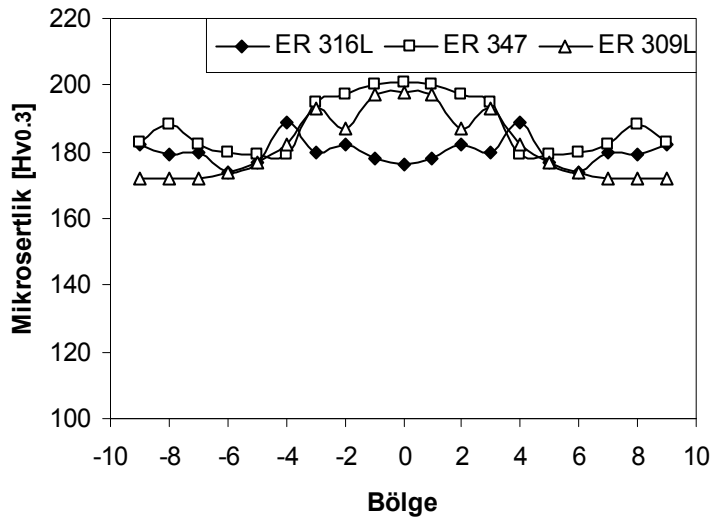
Şekil 5.17. TIG kaynak yöntemiyle 316Ti kalite paslanmaz çeliğin farklı ilave telleri kullanılarak Argon+%2H₂ koruyucu gazı altında birleştirilen mikrosertlik değerleri

Şekil 5.18’te koruyucu gazı içerisindeki hidrojen miktarının kaynak kesitinden alınan mikrosertlik değerlerine etkisi gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde Mikrosertlik değerleri koruyucu argon gazı içerisindeki hidrojen miktarının artışı ile artmaktadır. Bu artış miktarı çok olmamakla beraber, kaynak metalinin bulunduğu bölgeden alınan mikrosertlik değerleri ITAB’dan daha düşük olduğu net bir şekilde görülmektedir [43].



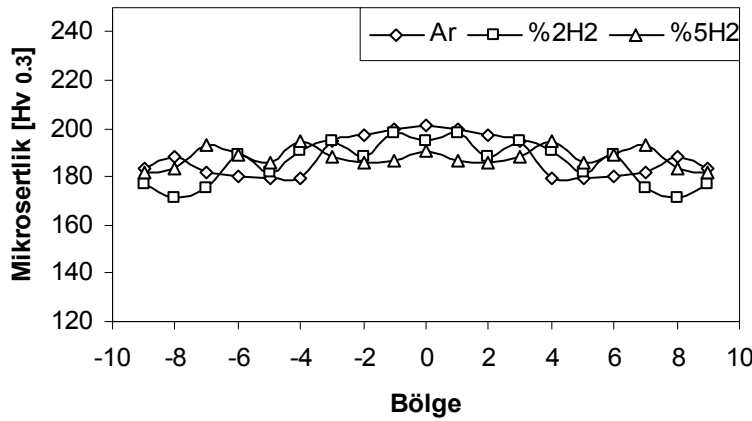
Şekil 5.18.Koruyucu gazın içerisindeki hidrojen miktarının kaynak kesitinden alınan mikrosertlik değerlerine etkisi

Şekil 5.19’de farklı ilave metaller kullanılarak argon koruyucu gazı altında birleştirilen 316L paslanmaz çeliğin mikrosertlik değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde kaynak bölgesinde en yüksek mikrosertlik değerleri ER 347 ilave metali ile kaynak yapılan numunede elde edilmiştir. ER 347 ile yapılan kaynağın mikrosertlik değerlerinin diğerlerine göre yüksek çıkması 316Ti ile yapılanla benzerlik göstermektedir. ER 309L ile yapılan kaynağın mikrosertlik değerliğinin ER 316L ile yapılandan daha yüksek çıkması ER 309L’nin ferritik yapısından dolayı oluşan δ -ferritlerden kaynaklanabilir.



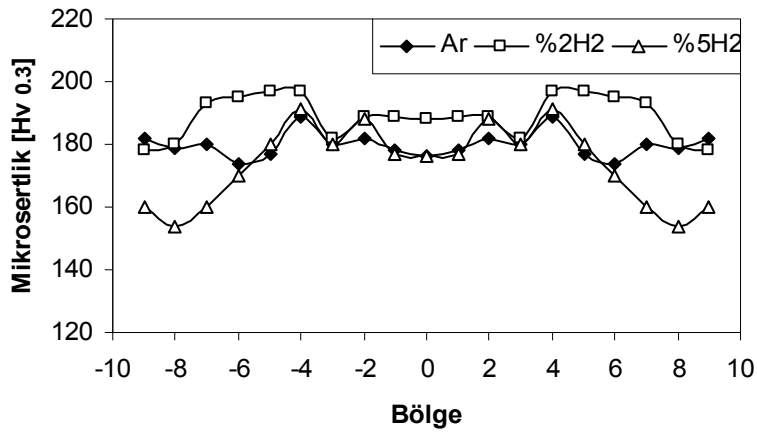
Şekil 5.19. TIG kaynak yöntemiyle 316L kalite paslanmaz çeliğin farklı ilave telleri kullanılarak yapılan birleştirmenin mikrosertlik değerleri

Şekil 5.20’de farklı koruyucu gazlarla birleştirilen 316L paslanmaz çeliğin mikrosertlik değerleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde %2 hidrojen ilaveli korucu gaz altında yapılan kaynakta en yüksek değerler elde edilmiştir. Fakat aralarında fazla bir fark olmamıştır. Üç koruyucu gazda da kaynak bölgesinde sertlik artmıştır.



Şekil 5.20. TIG kaynak yöntemiyle ER 347 ilave metali ile 316L kalite paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gazlar kullanılarak yapılan birleştirmenin mikrosertlik değerleri

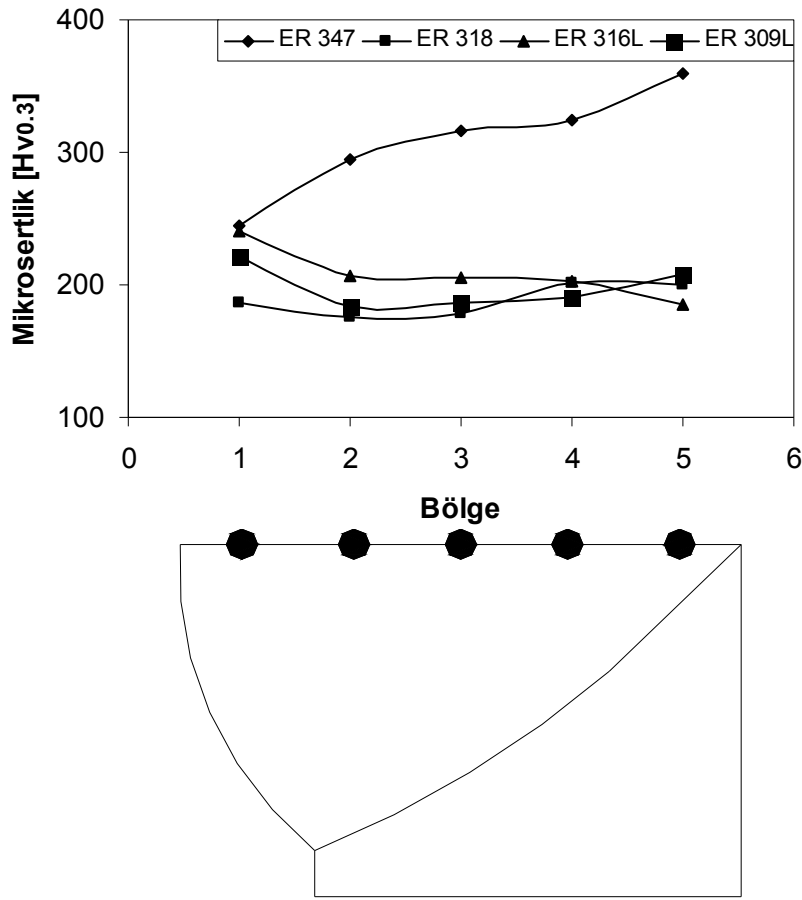
Şekil 5.21’de 316L paslanmaz çeliğin ER 316L ilave metali ile farklı koruyucu gazlarla yapılan birleştirmenin mikrosertlik değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde en yüksek değerler %2H₂ ilaveli koruyucu gazla yapılan numunede elde edilmiştir. Üç koruyucu gazda da ITAB geçiş bölgesinde sertlikler yükselmiştir. %2H₂ de kaynak metalinde sertlikler düşmüştür. Ana metalle kaynak bölgesi arasındaki en büyük fark %5’likte meydana gelmiştir.



Şekil 5.21. TIG kaynak yöntemiyle ER 316L ilave metali ile 316L kalite paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gazlar kullanılarak yapılan birleştirmenin mikrosertlik değerleri

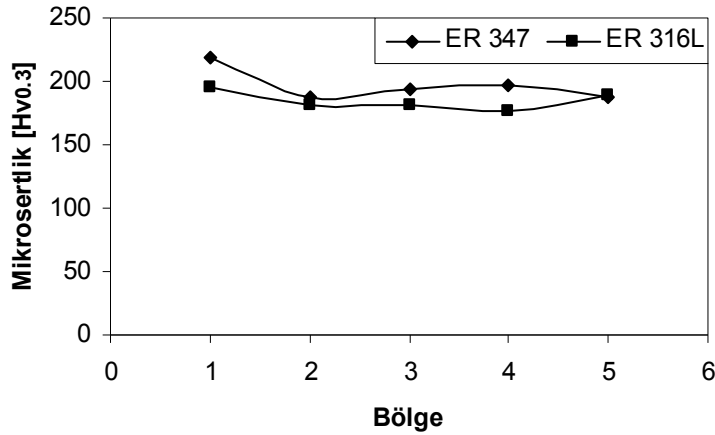
Kaynak metaline dik olarak mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Elde edilen değerler aşağıda verilmiştir.

Şekil 5.22'de Argon koruyucu gazı altında farklı ilave matallerle birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde ER 347 ilave teli ile yapılan kaynakta en yüksek değerler elde edilmiştir. Ayrıca kök pasoya doğru sertlik yükselmiştir. Bu kök pasodaki düşük ısı girdisinden kaynaklanabilir. Diğerlerinde ise kapak pasoda en yüksek değerler elde edilmiştir. Bu her yapılan pasonun diğer pasolara temperleme etkisi yapmasından kaynaklanabilir.



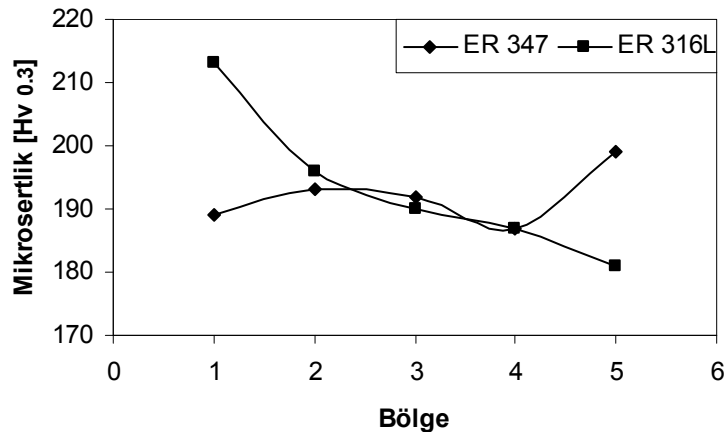
Şekil 5.22. TIG kaynak yöntemiyle Argon koruyucu gazı altında farklı ilave metaller kullanılarak birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri

Şekil 5.23'te farklı ilave metallerle Ar+%2H₂ koruyucu gazı altında birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde ER 347 ilave metali ile daha yüksek değerler elde edilmiştir. Ayrıca kök pasoya doğru sertlikler düşmüştür. Bu bir sonraki pasonun bir önceki pasoya temperleme etkisi yapmasından kaynaklanabilir.



Şekil 5.23. TIG kaynak yöntemiyle Argon+%2H₂ koruyucu gazı altında farklı ilave metaller kullanılarak birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri

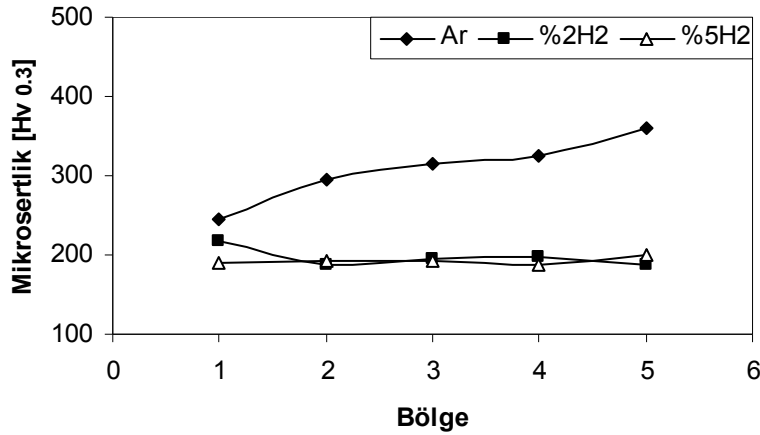
Şekil 5.24'te Ar+%5H₂ koruyucu gazı altında farklı ilave metallerle kaynak yapılan 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde ER 316L'de kapak pasoda sertlik yükselmiştir. Ortada ise sertlik düşmüştür. Bu düşüş sonraki pasonun önceki pasoya yaptığı temperleme etkisinden kaynaklanabilir. ER 347'de ise kök pasoya doğru sertlik yükselmiştir. Bu kök pasodaki ısı girdisinin düşük olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 5.24. TIG kaynak yöntemiyle Argon+%5H₂ koruyucu gazı altında farklı ilave metaller kullanılarak birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri

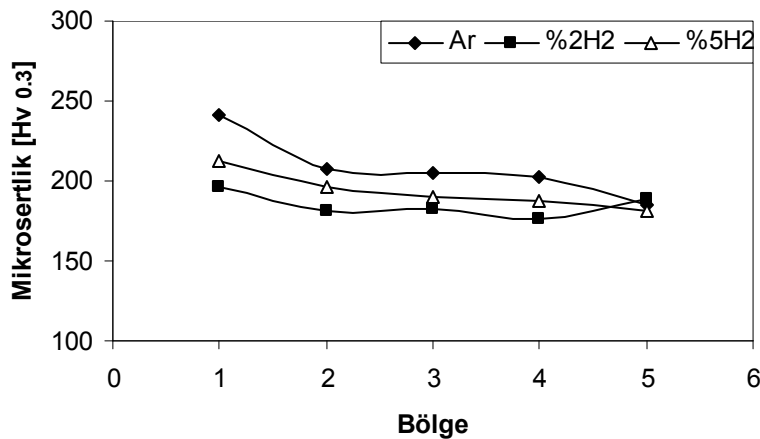
Şekil 5.25'te farklı koruyucu gazlar altında birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak bölgesinde ki mikrosertlik değişimi gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde Argon koruyucu gazı altında yapılan birleştirmede en yüksek değerler elde edilmiştir. Ayrıca burada kök pasoya doğru sertlik değerleri artmıştır. Hidrojen ilavesiyle kapak

pasonun sertlik değerleri yükselmeye başlamıştır. Hidrojen oranının değişimi sertliği önemli ölçüde etkilememiştir.



Şekil 5.25.Farklı koruyucu gazlar altında ER 347 ilave metali ile birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri

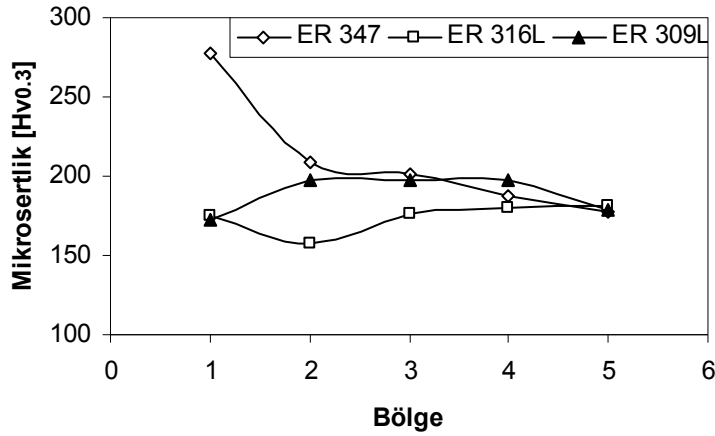
Şekil 5.26’da farklı koruyucu gazlar altında birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak bölgesinde ki mikrosertlik değişimi gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde üç koruyucu gazda da mikrosertlik değerleri kapak pasodan kök pasoya doğru düşme göstermiştir. En yüksek sertlik değerleri Argon koruyucu gazı altında yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir. Yani hidrojen ilavesi hem ER 347 ilave telinde hem de 316L ilave telinde kaynak metalindeki sertlik değerlerini düşürmüştür.



Şekil 5.26.Farklı koruyucu gazlar altında ER 316L ilave metali ile birleştirilen 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri

Şekil 5.27’de farklı ilave metallere Argon koruyucu gazı altında birleştirilen 316L

paslanmaz çeliğin kaynak bölgesinde ki mikrosertlik değişimi gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde kapak pasoda en yüksek değer (278 Hv) ER 347 ilave metali ile yapılan kaynakta elde edilmiştir. ER 347 de kapak pasodan kök pasoya doğru düşme gözlenmiştir. ER 309L ilave telinde ise orta pasodaki değerler kapak paso ve kök pasodan yüksek çıkmıştır. Bu iç bölgelerde artan δ -ferrit miktarından kaynaklanabilir.



Şekil 5.27.Farklı ilave metallerle Argon koruyucu gazı altında birleştirilen 316L paslanmaz çeliğin kaynak metali mikrosertlik değerleri

5.1.4. Eğme deneyi sonuçları

İlgili şartlarda yapılan eğme deneyi sonuçları aşağıda gösterilmiştir. Yapılan gözlemlerde bütün kaynak dikişlerinde gözle görülür fiziksel bozukluk gözükmemektedir. Aşağıda numunelerin fotoğrafları (Şekil 5.28–5.32) gösterilmiştir.



Şekil 5.28. Değişik ilave metaller kullanılarak Argon atmosferi altında kaynak yapılmış 316Ti paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları



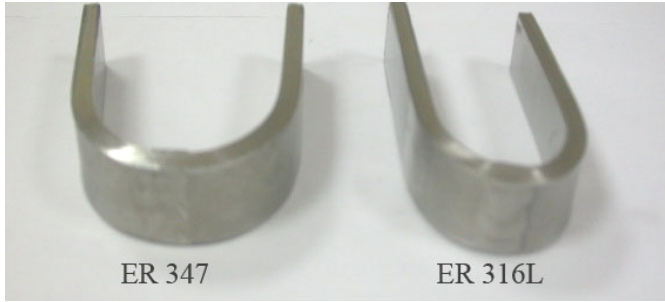
Şekil 5.29. Değişik ilave metaller kullanılarak Argon+%2H₂ atmosferi altında kaynak yapılmış 316Ti paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları



Şekil 5.30. Değişik ilave metaller kullanılarak Argon+%5H₂ atmosferi altında kaynak yapılmış 316Ti paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları



Şekil 5.31. Değişik ilave metaller kullanılarak Argon+%2H₂ atmosferi altında kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları



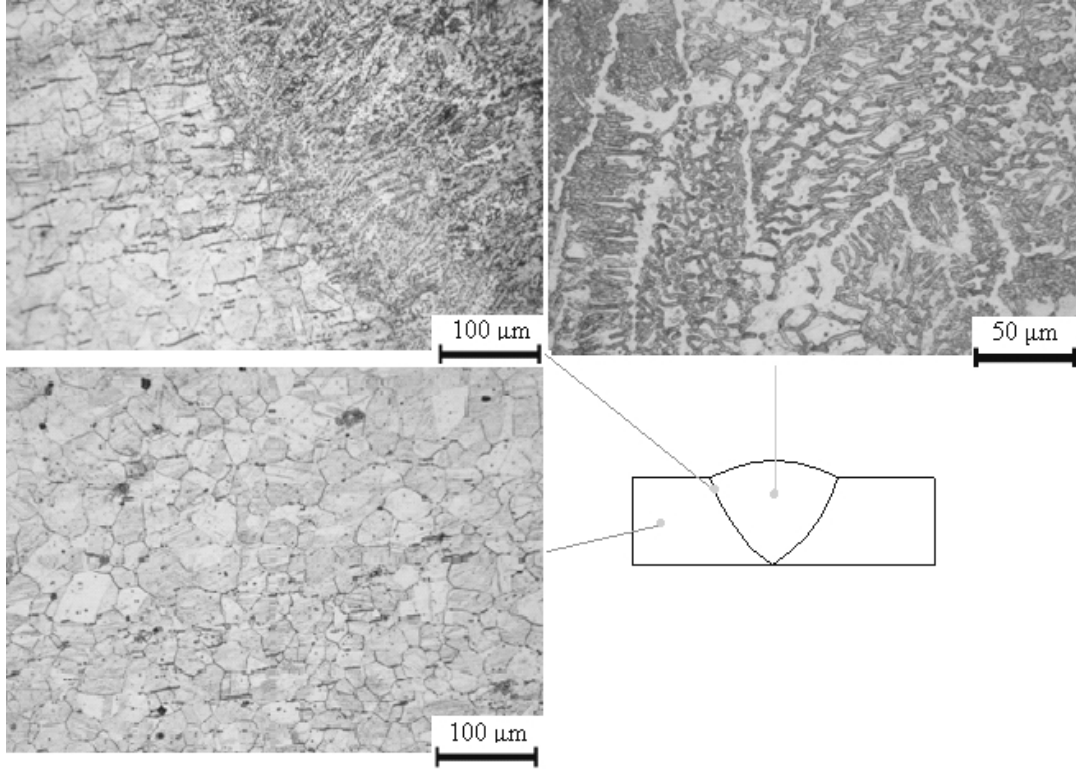
Şekil 5.32. Değişik ilave metaller kullanılarak Argon+%5H₂ atmosferi altında kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin eğme deneyi sonuçları

5.2. Mikroyapı İncelemeleri

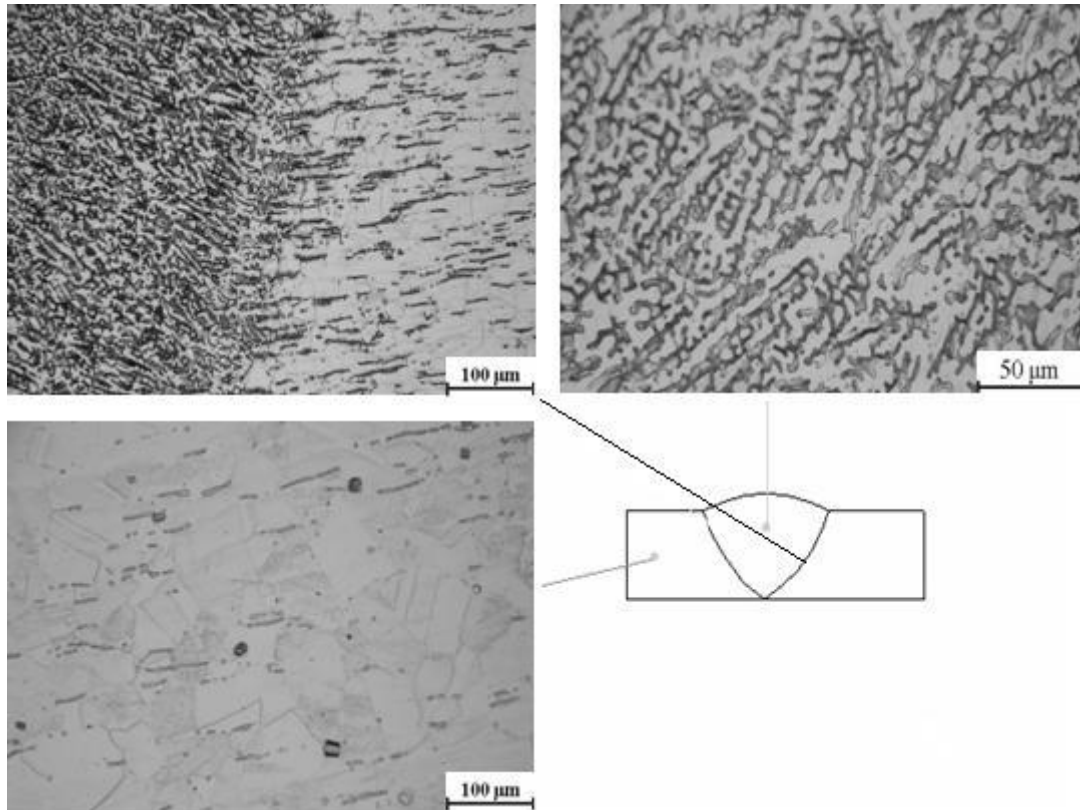
5.2.1 Optik mikroskop aydınlık alan incelemeleri

Aşağıda birleştirilen 316Ti ve 316L paslanmaz çelik parçaların optik mikroskopta çekilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. Fotoğraflardan görüldüğü gibi kaynak metalinde δ -ferrit fazı dentiritik bir yapı şeklinde ve yaklaşık 1 μm kalınlığa sahiptir. δ -ferrit miktarı karbon eşdeğerliği kullanılarak WRC–1992 diyagramı ile tespit edilir. Bu çalışmada elde edilen mikroyapının literatürde bulunan mikro yapılarla karşılaştırıldığında birbirine çok benzediği görülmüştür [46, 55].

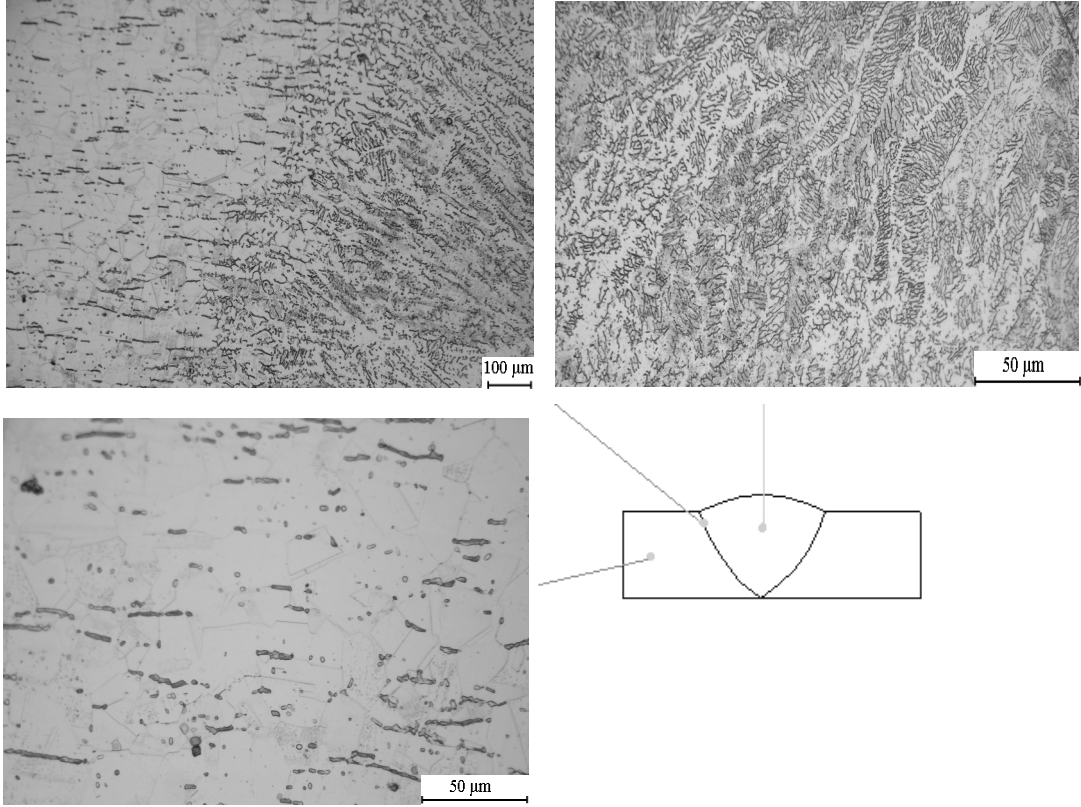
Çeşitli ilave metaller ve koruyucu gazlar kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilen mikroyapı görüntüleri AISI 316Ti ana malzemesi için Şekil 5.33–5.37’de, AISI 316L ana malzemesi için Şekil 5.38–5.41’de verilmiştir.



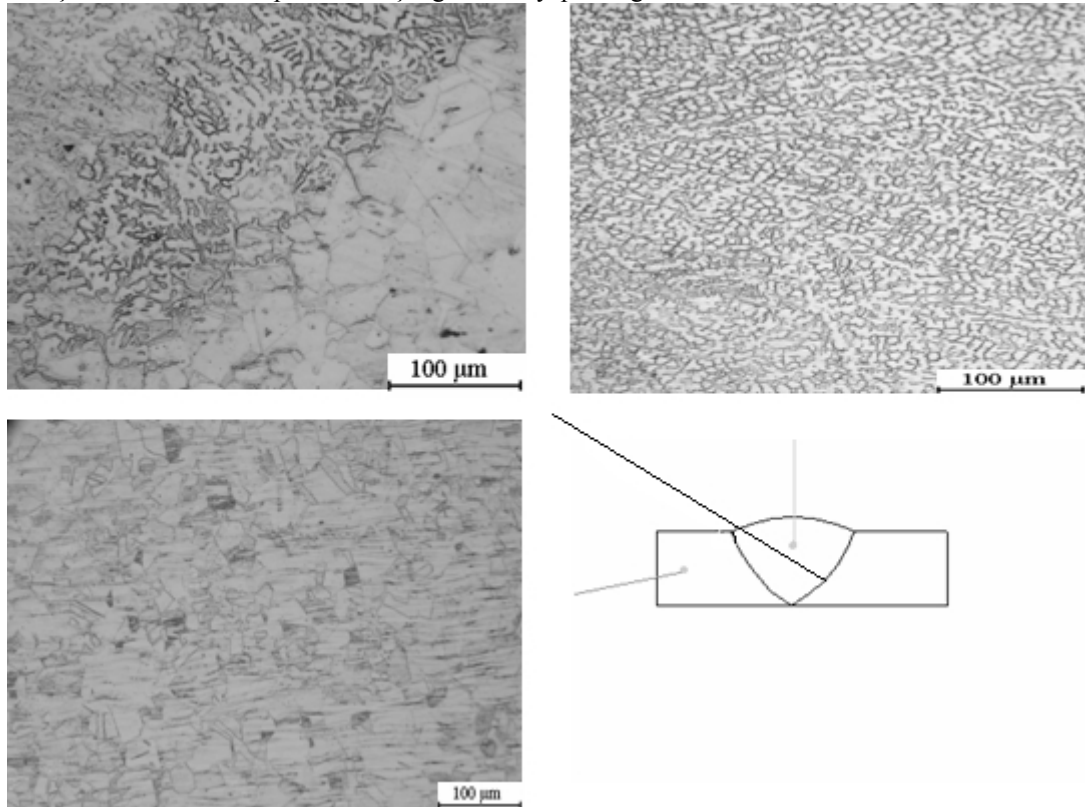
Şekil 5.33. Argon atmosferi altında ER347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



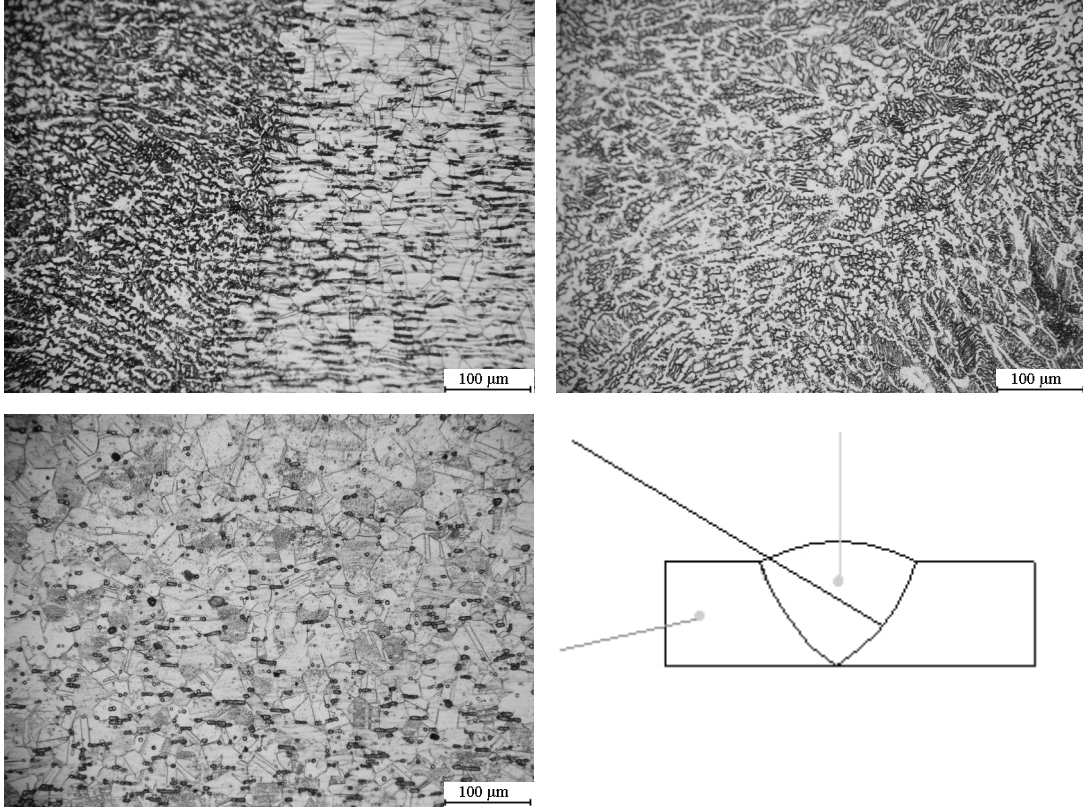
Şekil 5.34. Argon atmosferi altında ER309L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



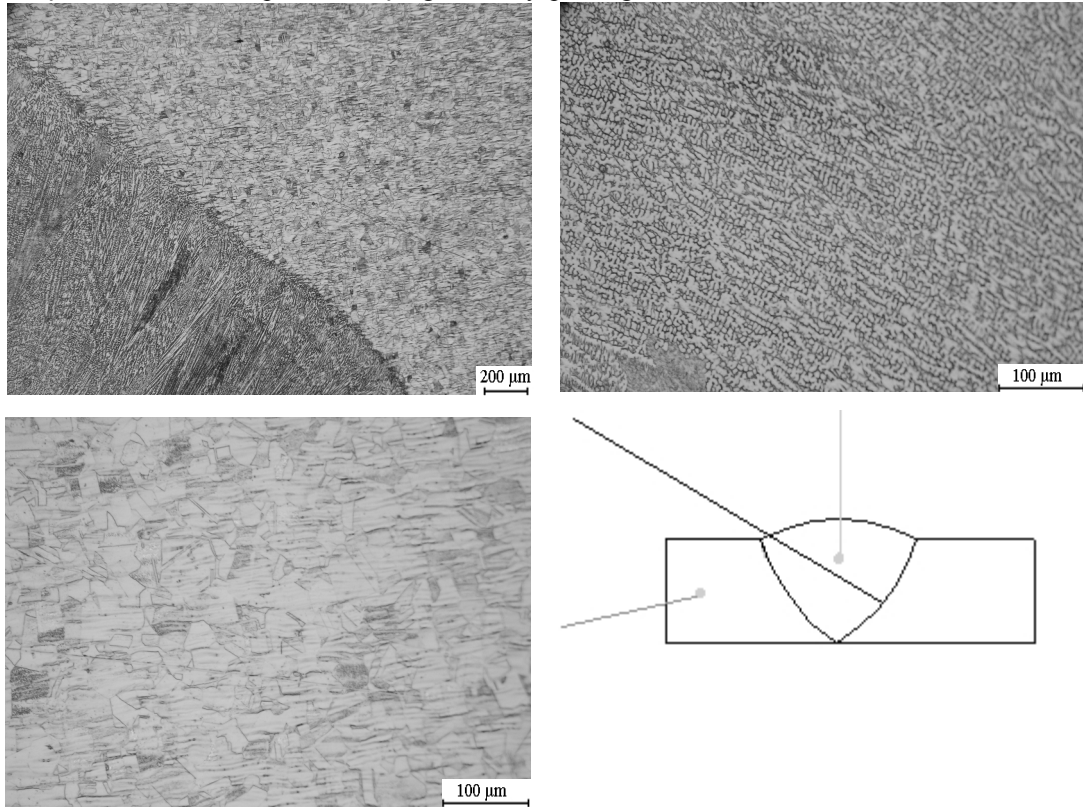
Şekil 5.35. Argon+%2H₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



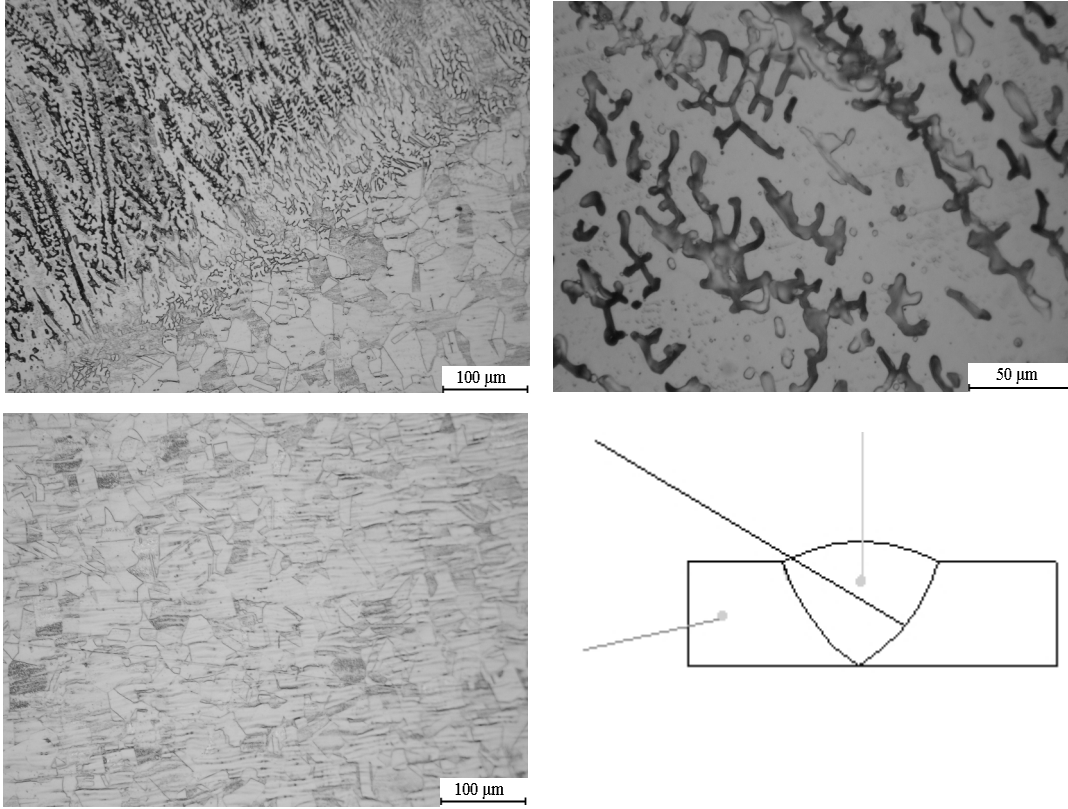
Şekil 5.36. Argon+%2H₂ atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



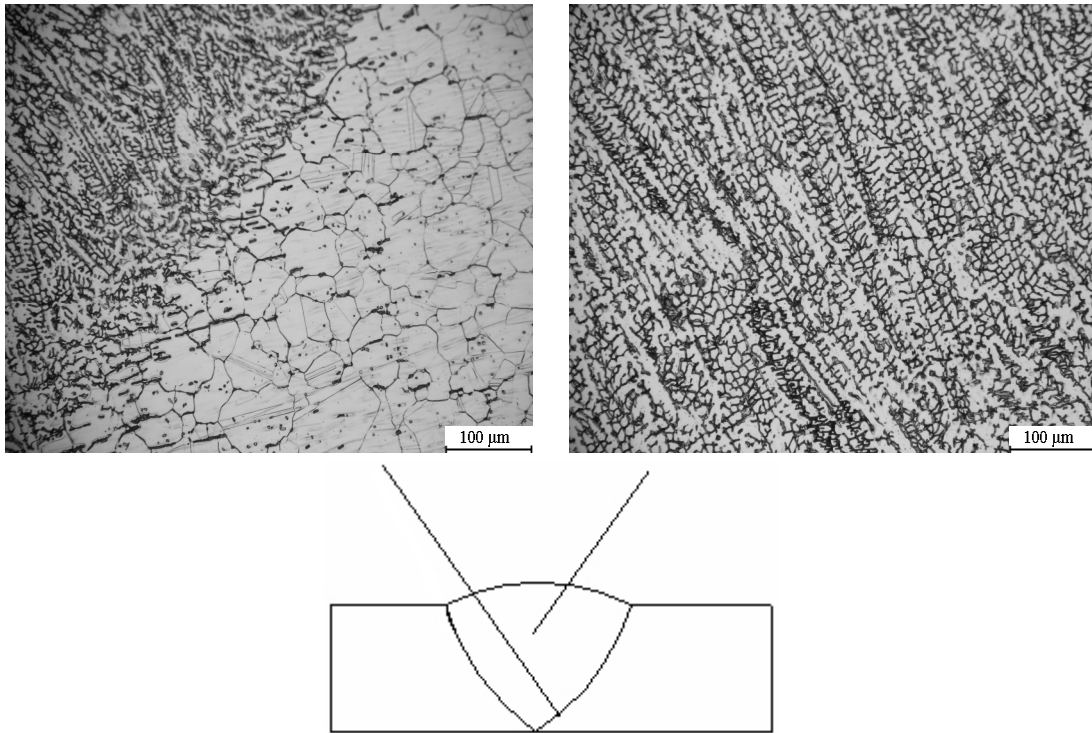
Şekil 5.37. Argon+%5H₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



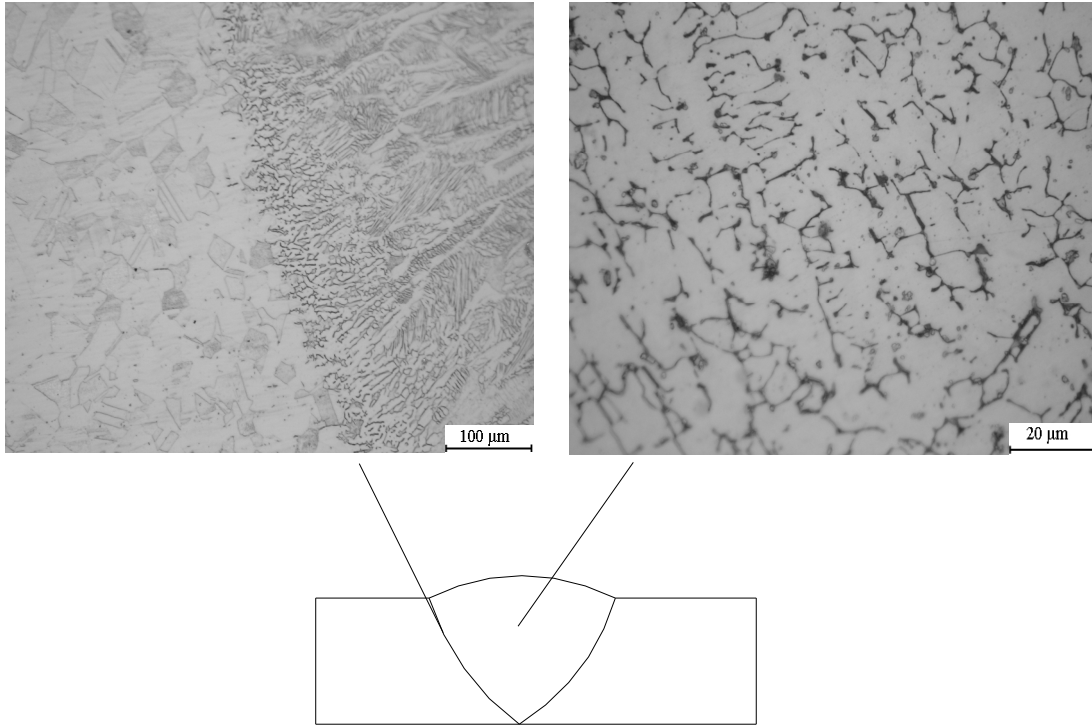
Şekil 5.38. Argon atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



Şekil 5.39. Argon atmosferi altında ER 309L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



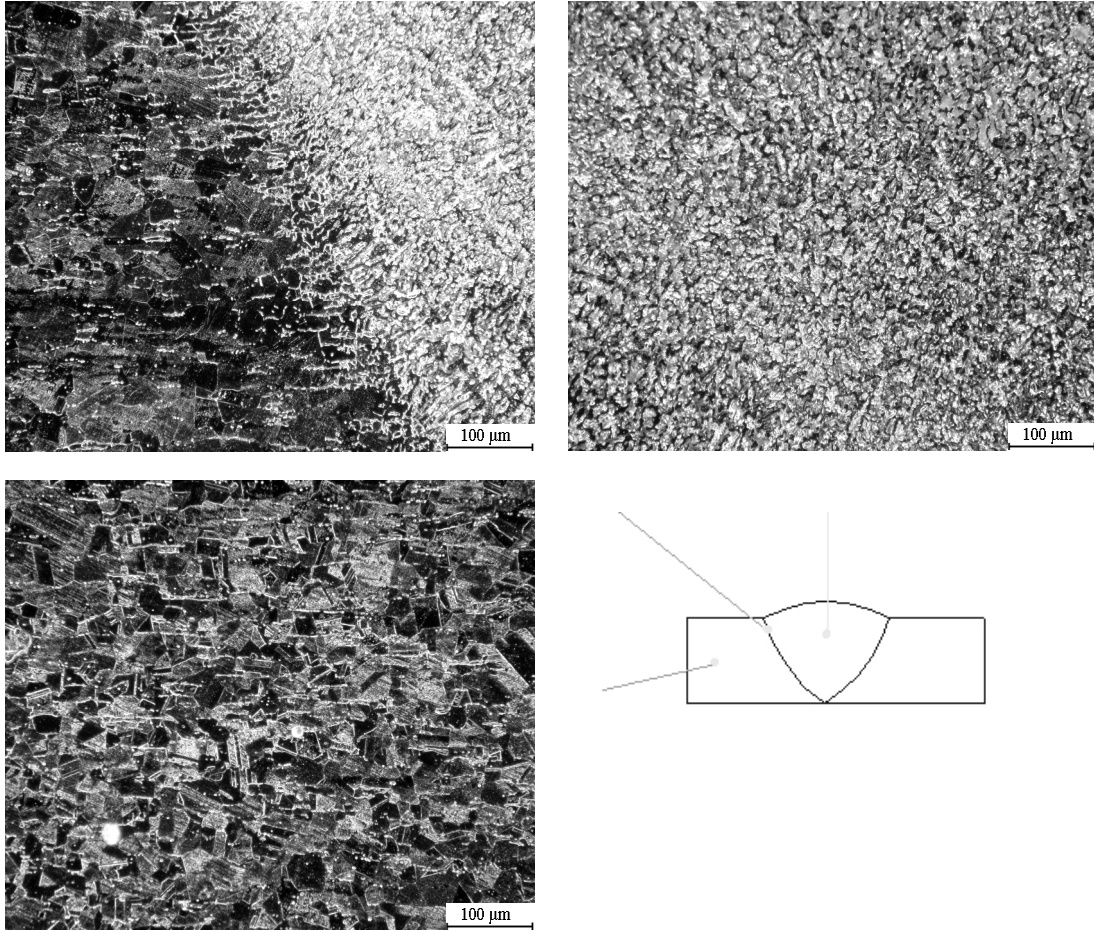
Şekil 5.40. Argon+%5H₂ atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları



Şekil 5.41. Argon+%5H₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları

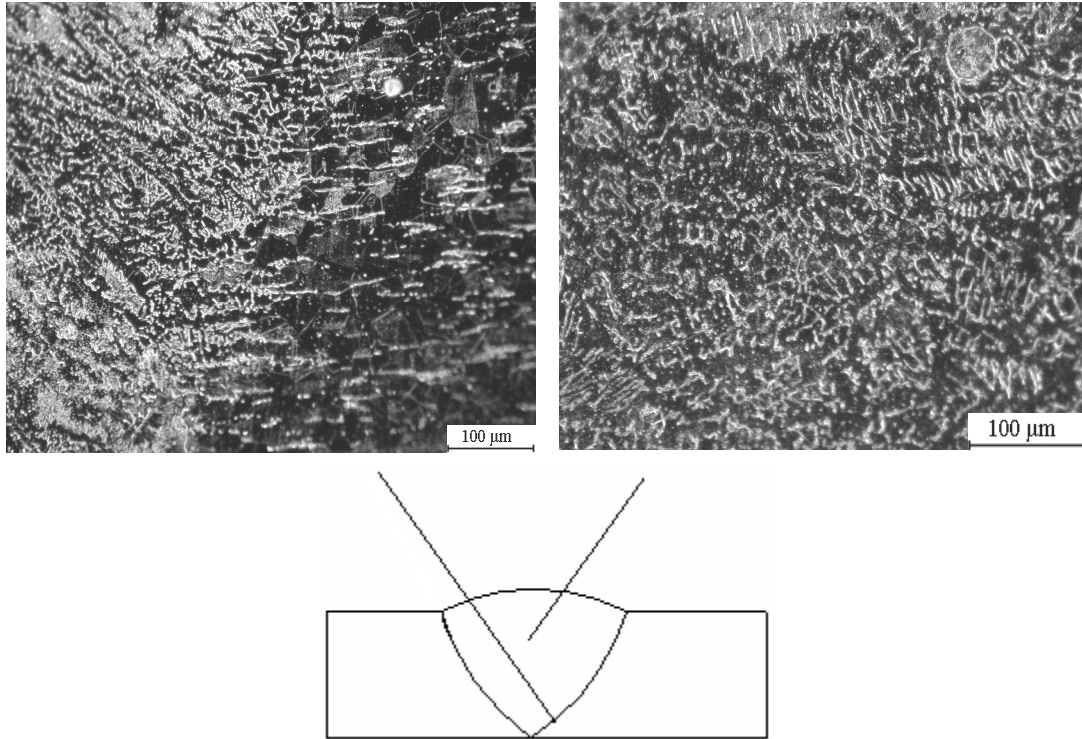
5.2.2. Optik mikroskop karanlık alan incelemeleri

Saf argon koruyucu gazı altında ER 309L ilave metali ile birleştirilen 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı resimleri Şekil 5.42'de gösterilmiştir. Şekle bakıldığında geçiş bölgesinin kılcal şekilde ana metalin içine doğru girerek birleştirmenin gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca kaynak bölgesine doğrudan geçiş bölgesi ile aynı yapıya sahip tane oriyantasyonu ile devam etmektedir. Ve bu tüm kaynak metalinde aynı şekildedir. Ve homojen olarak dağılmıştır. Diğer ilave metallerin oluşturduğu mikro yapıdan farklılık göstermektedir. Bunun nedeni ER 309L ilave kaynak metalinin ferritik bir yapıya sahip olmasından kaynaklanabilir.



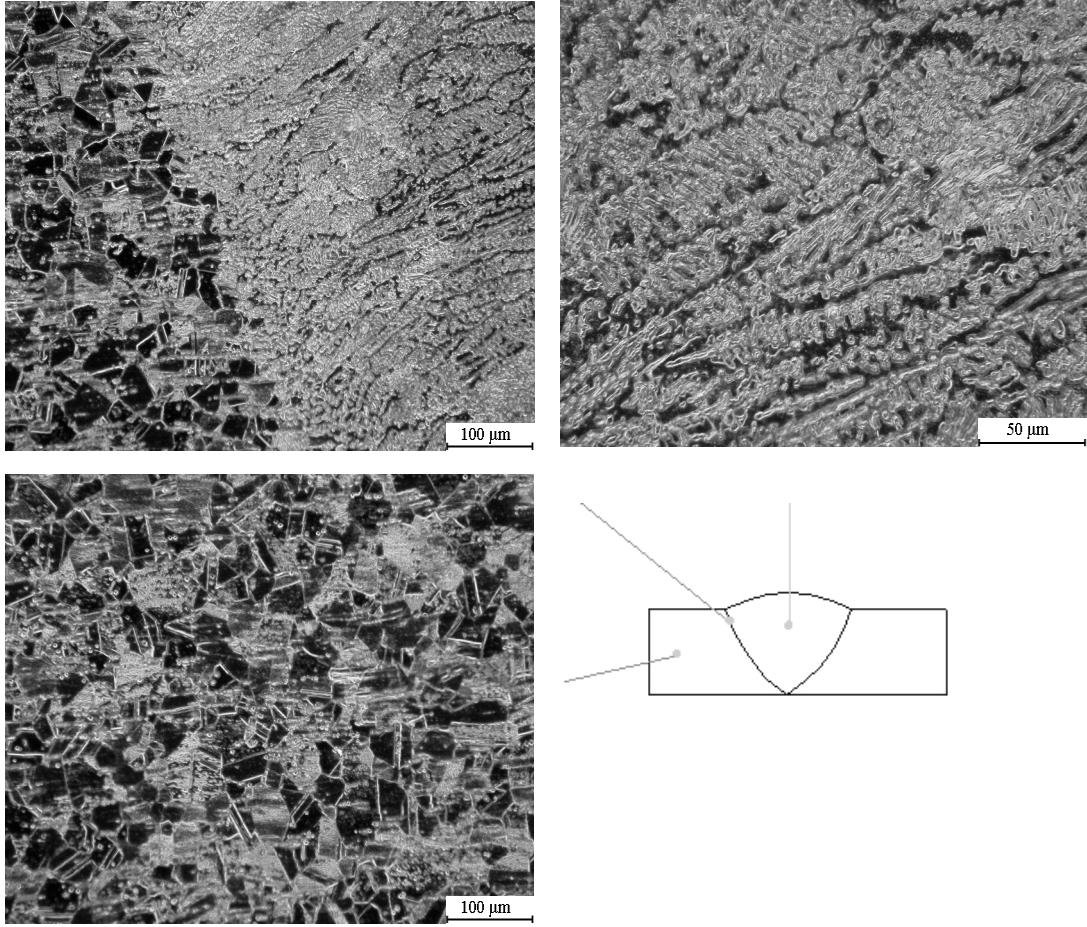
Şekil 5.42. Argon atmosferi altında ER 309L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları

Şekil 5.43'te Argon+%2H₂ koruyucu gazı altında ER 347 ilave teli ile kaynak yapılan 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı resimleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde geçiş bölgesinde ince taneli kılcal bir geçiş gözlenmektedir. Ardından da yine geçiş bölgesi gibi kılcal taneler devam etmektedir. Argon gazı altında aynı ilave tel ile kaynak yapılan 316Ti paslanmaz çeliğin geçiş bölgesinde ince yapılı bir geçiş hattı ardından iri taneli bir bölge ve devamında ise kümelenmiş kılcal tenelerden oluşan bir mikroyapı gözlenmiştir. Burada ise yayılmış kılcal taneler görülmektedir. Yani kaynak bölgesi mikroyapı oriyantasyonu değişmektedir. Tüm bu farklılıkların Argon gazına %2H₂ ilavesinden kaynaklandığı söylenebilir.



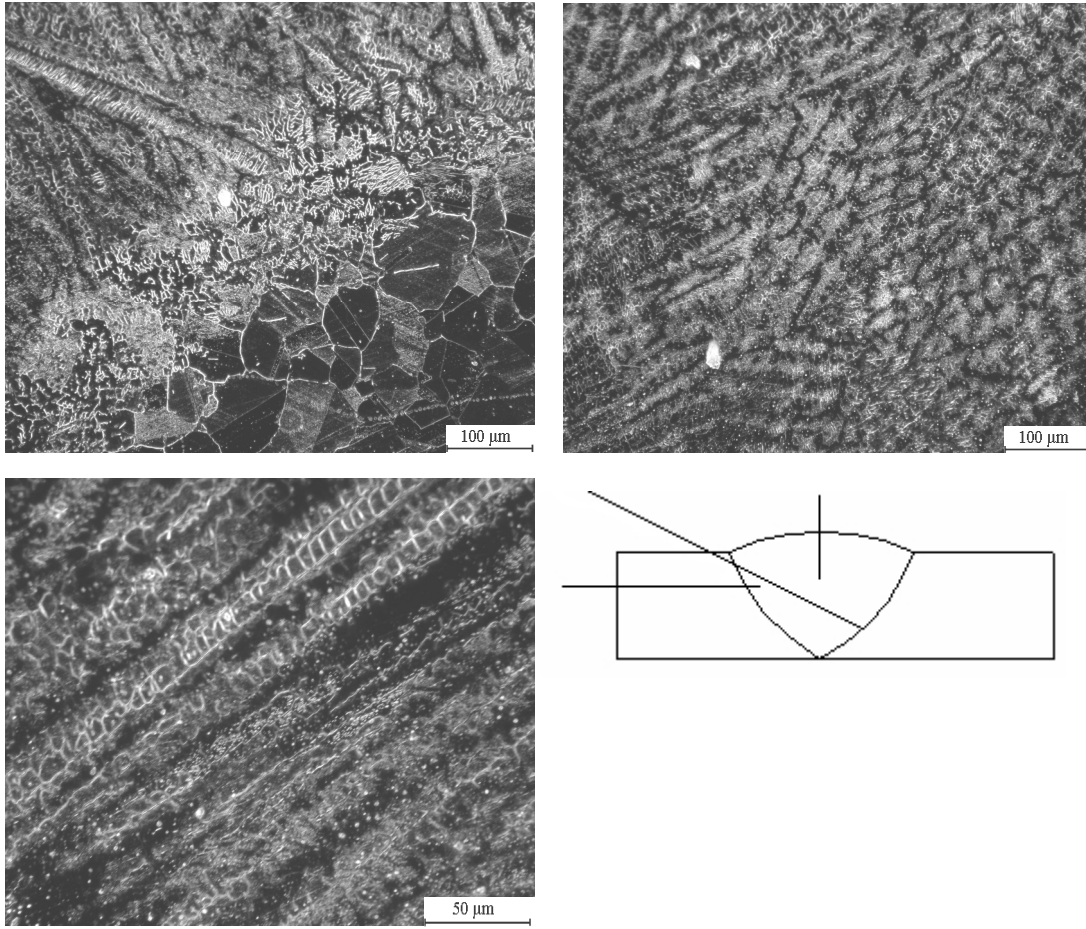
Şekil 5.43. Argon+%2H₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı fotoğrafları

Argon+%5H₂ koruyucu gazı altında ER 347 ilave metali ile birleştirilen 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikro yapı görüntüleri Şekil 5.44'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde geçiş bölgesinde ana metalden kaynak metaline ince taneli geçiş bölgesi olmadan birleşme olmuştur. Argon atmosferinde ise ince bir geçiş bölgesinin ardından iri tanelerle devam eden bir geçiş söz konusu idi. Burada ise iri taneler olmakla beraber ince geçiş taneleri görülmemektedir. Kaynak metali ise iri dentritlerden meydana gelmektedir (Şekil 5.44) iri taneli bir geçiş olması hidrojen miktarının artması ile beraber ısı girdisi yükselmiş olduğundan olabilir. Hidrojen miktarının artması kaynak metali morfolojisini de etkilemiştir. Saf argon ve %2H₂ koruyucu gazlarıyla kaynak yapılanlara göre farklı bir kaynak metali oriyantasyonu sergilemektedir.



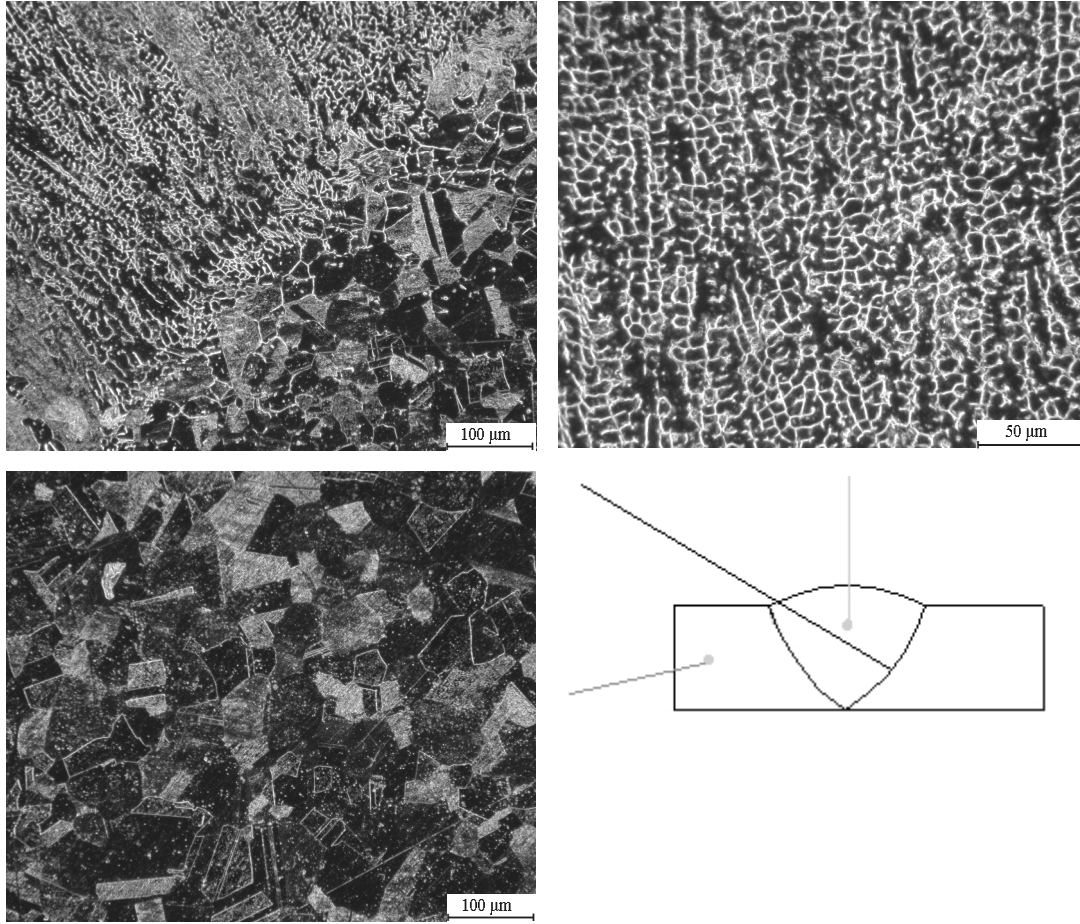
Şekil 5.44. Argon+%5H₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316Ti kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı resimleri

Argon koruyucu gazı altında ER 347 ilave metali ile kaynak yapılmış 316L östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı resimleri Şekil 5.45’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde ana metalden sonra kaynak metaline doğru ince bir geçiş bölgesinin ardından dik bir şekilde uzanmış çubuksu bir δ -ferrit dizilimi görülmektedir. Kaynak metaline doğru ise ileriki bölgede çubuksu mikroyapı yerini kümelenmiş bir yapıya bırakmıştır.



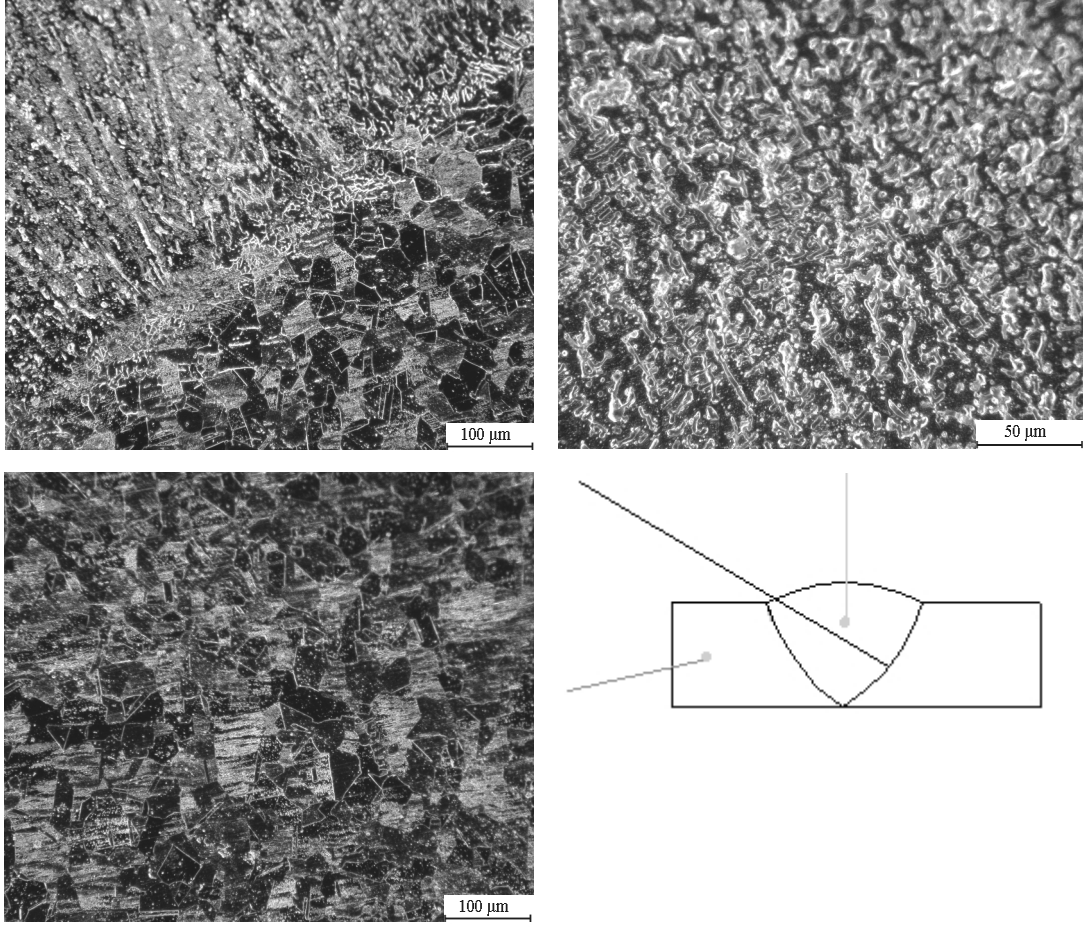
Şekil 5.45. Argon atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı resimleri

Argon koruyucu gazı altında ER 316L ilave metali ile kaynak yapılan 316L östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı resimleri Şekil 5.46'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde ER 347 ilave metali ile kaynak yapılan malzemede ortaya çıkan ince geçiş bölgesinin burada oldukça azalmakta olduğu görülmektedir. Ayrıca bu ince bölgeden sonra oluşan çubuksu uzun δ -ferrit diziliminin ince bir dizilime dönüştüğü görülmektedir. Kaynak metali mikroyapı oriyantasyonu ise ince çizgisel bir şekilde olmaktadır. Dolayısıyla ER 316L kaynak metali mikroyapısı ER 347 kaynak metali mikroyapısı ile farklılık göstermektedir.



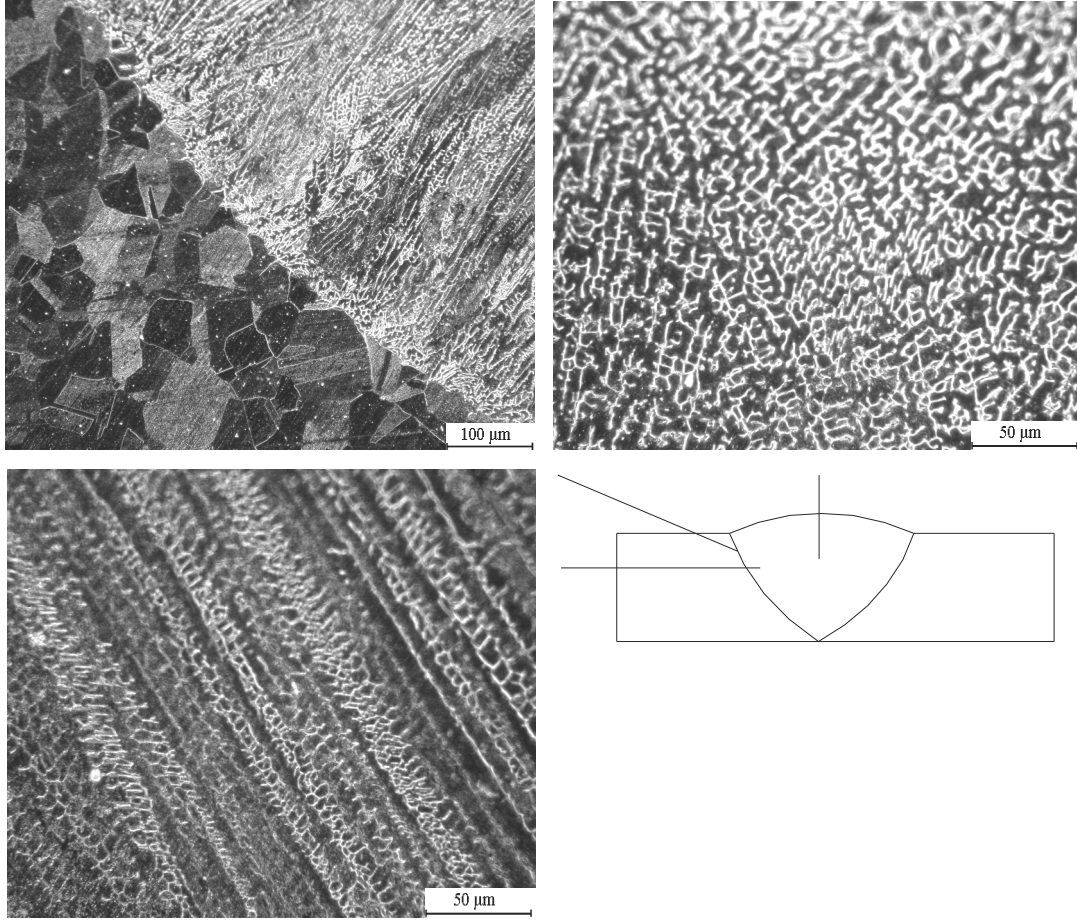
Şekil 5.46. Argon atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı resimleri

Şekil 5.47’de Argon koruyucu gazı altında ER 309L ilave metali ile kaynak yapılmış 316L östenitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı incelemeleri gösterilmiştir. Resimler incelendiğinde ana metalden kaynak metaline doğru ince bir geçiş bölgesi oluşmuştur. Bu yapı 316Ti malzemesinde görülmemektedir. 316Ti’de kılcal bir geçiş bölgesi vardı. Burada ise ince bölgenin ardından daha irili bir bölge söz konusudur. Ayrıca kaynak metali mikroyapı oriyantasyonu da burada daha uzun dentritler şeklindedir.



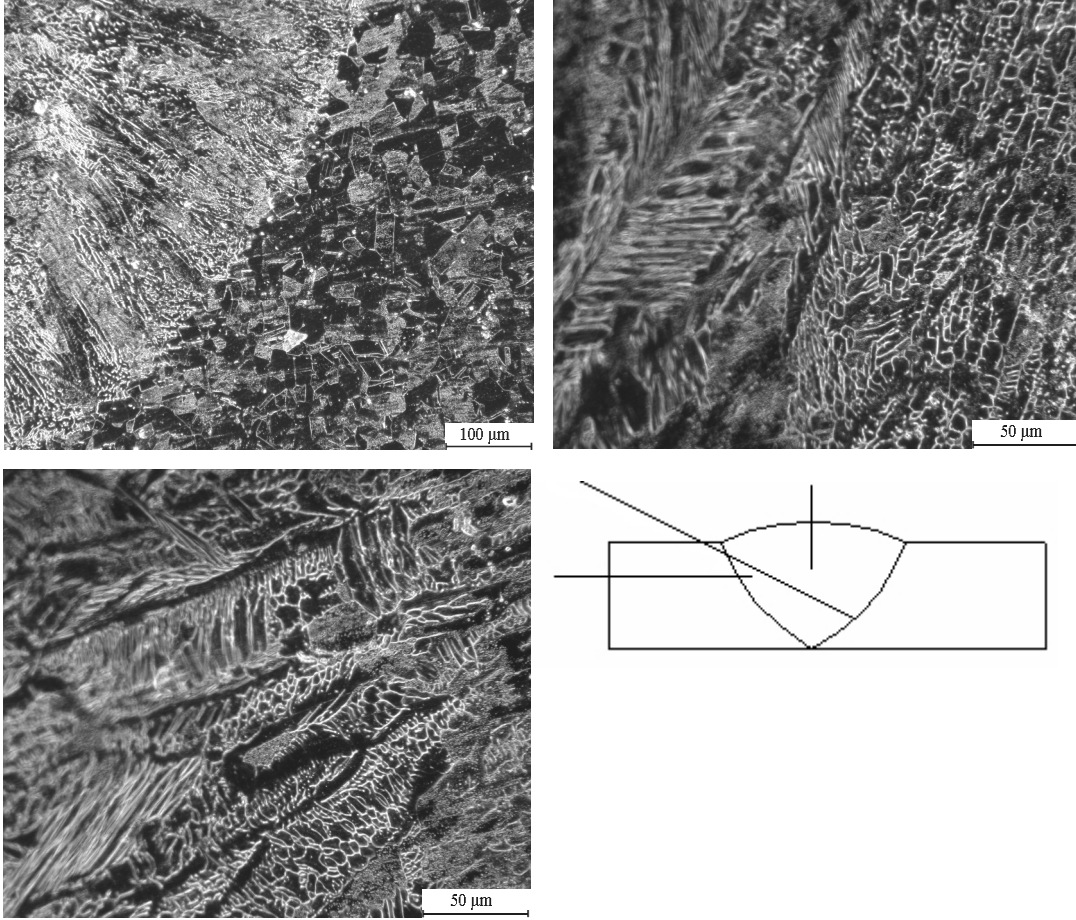
Şekil 5.47. Argon atmosferi altında ER 309L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı resimleri

Şekil 5.48’de Ar+%2H₂ koruyucu gazı altında ER 316L ilave metali ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L östenitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı incelemeleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde Ana metalden kaynak metaline doğru çok ince bir geçiş bölgesi olduğu görülmüştür. Burada ER 347 ilave metali ile kaynak yapılandan daha dar bir ince taneli geçiş bölgesi oluşmuştur. Bu ince bölgenin ardından ise uzun çubuksu dentritsel yapı gelmiştir. Kaynak metalinin iç bölgelerinde ise mikroyapı çizgisel dağılımlı dentritsel bir yapıdan meydana geldiği görülmektedir (Şekil 5.48).



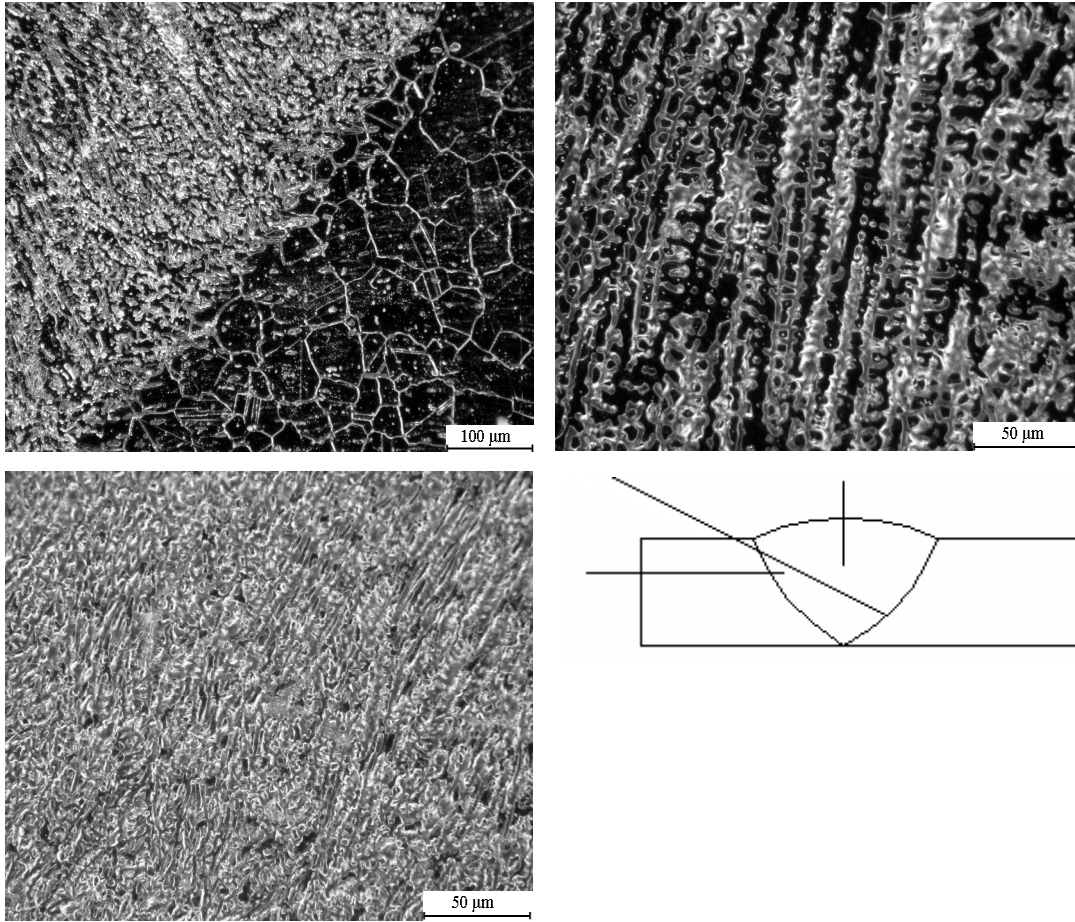
Şekil 5.48. Argon+%2H₂ atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı resimleri

Şekil 5.49'da Ar+%5H₂ koruyucu gazı altında ER 347 ilave metali ile kaynak yapılmış 316L östenitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı incelemeleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde ince bir geçiş bölgesinin ardından levhasal δ -ferritler görülmektedir. Kaynak metaline doğru ilerledikçe iç bölgelerde ise levhasal ve çizgisel δ -ferritlerin bir arada bulunduğu görülmektedir. Argon+%2H₂ koruyucu gazı altında birleştirilenle kıyas edildiğinde burada ince taneli geçiş bölgesi daha daralmıştır. Ayrıca Ar+%2H₂ koruyucu gazında ince geçiş bölgesinin ardından çubuksu biçimde dizilen δ -ferritler burada levhasal şekle dönüşmüştür. Saf argon koruyucu gazı altında yapılanla karşılaştırıldığında saf argon altında ince taneli geçiş bölgesi daha geniş olmakta ve kaynak metalinde ise kümelenmiş bir şekilde δ -ferrit dağılımı görülmekteydi. Dolayısıyla hidrojen ilavesinin artması mikroyapı oriyantasyonunu etkilemiştir.



Şekil 5.49. Argon+%5H₂ atmosferi altında ER 347 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı resimleri

Şekil 5.50'de Ar+%5H₂ koruyucu gazı altında ER 316L ilave metali ile birleştirilen 316L östenitik paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı incelemeleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde geçiş bölgesinde kaynak metali ile ana metal arasında ince taneli geçiş bölgesi olmadan birleşme olmuştur. Saf argon ve %2H₂ ilaveli koruyucu gaz ile yapılan kaynaklarda ince bir geçiş bölgesi olmaktadır. Hidrojen miktarının artması bu bölgeyi ortadan kaldırarak geçiş bölgesi mikroyapısını değiştirmiştir. Geçiş bölgesinden sonra kaynak metaline doğru ilerlendiğinde ise birbiriyle sıkıca iç içe geçmiş δ -ferrit tanelerinden oluşan bir mikroyapı görülmektedir. Kaynak metalinin ortalarında ise birbirinde ayrılmış ve uzun dentritler görülmektedir. Dolayısıyla hidrojen gazı ilavesi mikroyapı oriyantasyonunu etkilemiştir.



Şekil 5.50. Argon+%5H₂ atmosferi altında ER 316L ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 316L kalite paslanmaz çeliğin karanlık alan mikroyapı resimleri

Paslanmaz çeliklerin kaynağında ana metal, kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölgelerin farklı mikroyapıya sahip olduğu görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi, kaynak metalinde delta ferrit oranı daha fazla olmakla beraber kaynak metali ile ana metal arasında kalan bölgede mikroyapı oldukça farklıdır. Bu bölgede delta ferrit faz çökeltilerinin yoğunluğunda bir artış görülmektedir. Dolayısıyla kaynak metaline yakın bölgede sertlik artışı, δ -ferrit fazlarının bu bölgedeki yoğunlaşmasına bağlı olarak arttığı söylenebilir.

Kaynak metali içerisindeki δ -ferrit miktarı, önceden ana metal ve ilave metalin kimyasal birleşimleri göz önünde bulundurularak, Cr ve Ni eşdeğerliğinin hesaplanması sonucu Schaeffler, DeLong ve WRC diyagramları yardımıyla belirlenebilir. Kaynak metali içerisinde bulunan δ -ferrit oranı Cr ve Ni eşdeğerliği hesaplandıktan sonra WRC-92 diyagramı yardımı ile teorik olarak hesap edilmiştir. Aynı zamanda mikroyapı çalışmaları sonunda kaynak metali içerisinde bulunan δ -

ferrit oranları kaynak yöntemlerine ve kullanılan ilave metallerine göre birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Mikroyapı incelendiğinde kaynak bölgesinde herhangi bir mikro çatlağa rastlanmamıştır.

5.2.3. Kaynaklı bağlantıların ferrit miktarının belirlenmesi

Değişik koruyucu gaz ve ilave metallerle birleştirilmiş olan kaynaklı bağlantıların delta ferrit miktarını tespit etmek amacıyla mikroyapı için hazırlanan numunelerin yüzeyinden ölçüm yapılmıştır. Elde edilen değerler Tablo 5.7’de verilmiştir.

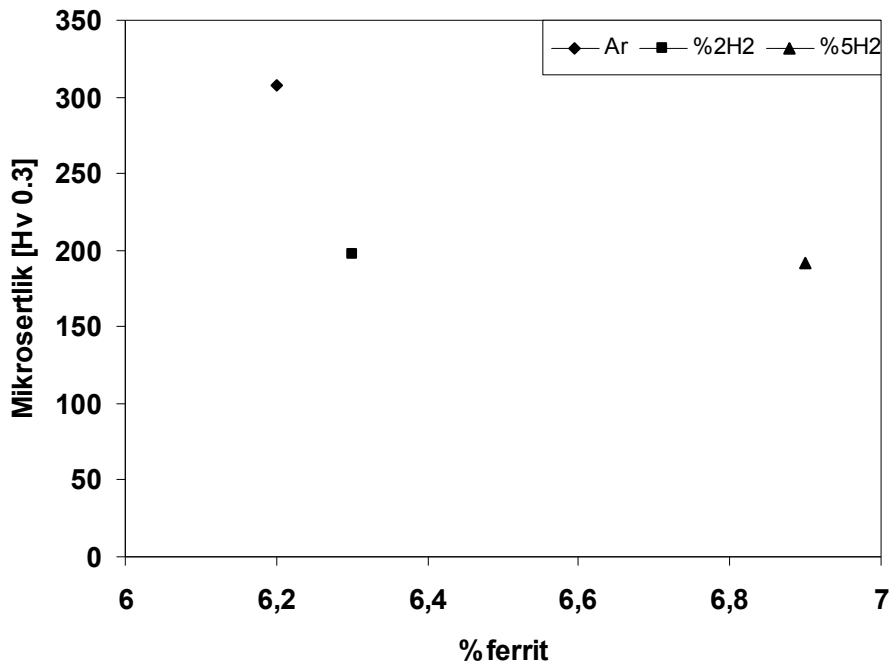
ER 347 ilave metali ile birleştirilen AISI 316Ti östenitik paslanmaz çelikte kaynak bölgesindeki sertlik değişiminin kullanılan koruyucu gaz kompozisyonu ve ferrit miktarına göre değişimi Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7. Kullanılan koruyucu gaz ve ilave metallere göre % ferrit miktarının değişimi

NUMUNE	%Ferrit
Ar+316Ti+347	6,2
%2H2+316Ti+347	6,3
%5H2+316Ti+347	6,9
Ar+316Ti+318	6,5
Ar+316Ti+316L	6,4
Ar+316Ti+309L	10,2
%2H2+316Ti+316L	9,9
%5H2+316Ti+316L	9,2
Ar+316L+316L	6,5
Ar+316L+347	7,2
Ar+316L+309L	6,6
%2H2+316L+316L	7,25
%2H2+316L+347	7,5
%5H2+316L+347	7,6
%5H2+316L+316L	10,8

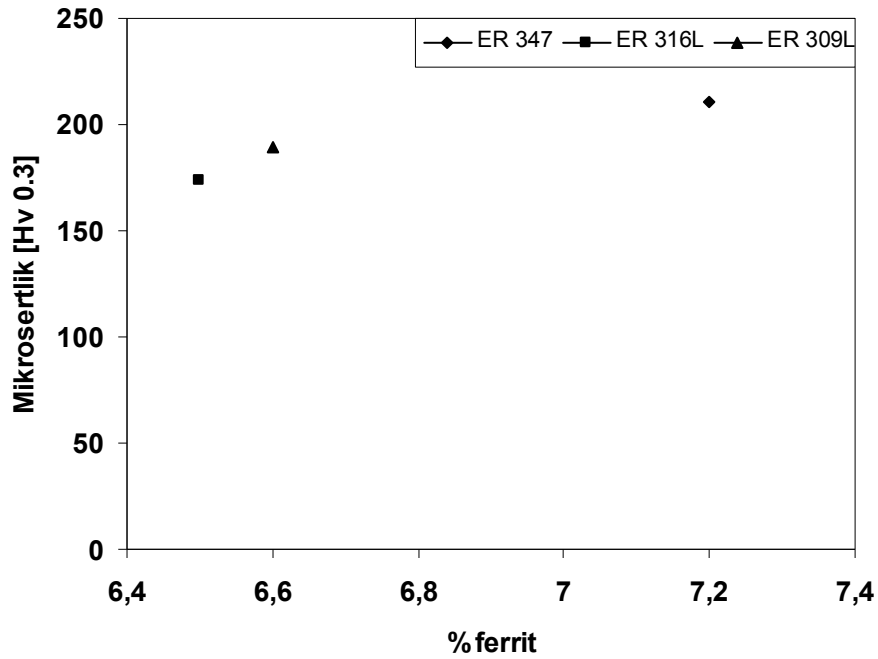
5.2.4. Ferrit miktarının sertliğe etkisi

Şekil 5.51’de ER 347 ilave metali ile kaynak yapılan 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin koruyucu gaza göre ferrit miktarının mikrosertliğe etkisi gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde Argon gazı altında yapılan kaynakta 6.2 ferrit miktarı ve en yüksek mikrosertlik değeri elde edildiği görülmektedir.



Şekil 5.51. ER 347 ilave metali ile kaynak yapılan AISI 316Ti östenitik paslanmaz çelikte koruyucu gaza göre Ferrit miktarı-Mikrosertlik ilişkisi

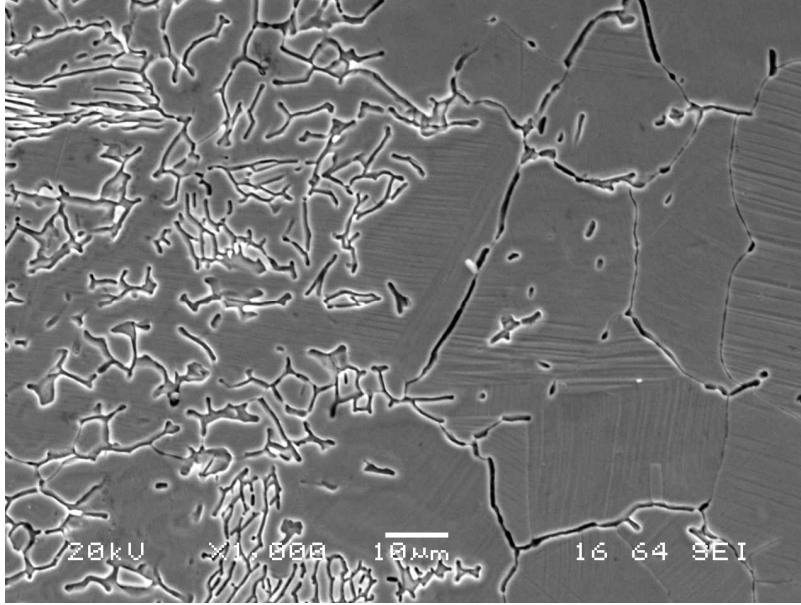
Şekil 5.52’de 316L paslanmaz çelikte ilave metalin sertliğe etkisi karşılaştırılmıştır. Şekil incelendiğinde Ferrit miktarı artışı ile sertliğin arttığı görülmektedir. Daha önceki çalışmalarda [24] da ferrit miktarının sertliği etkilediği belirtilmiştir.



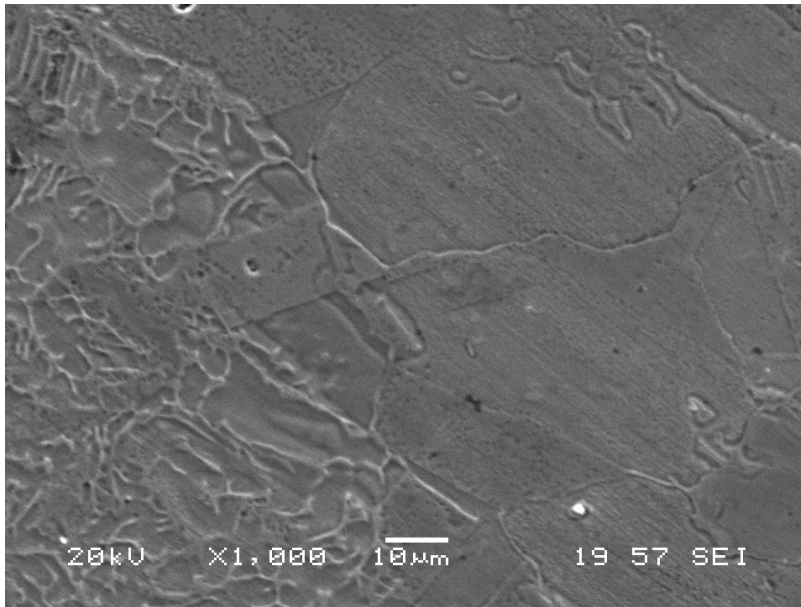
Şekil 5.52. Argon koruyucu gazı altında değişik ilave metallerle kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin Ferrit miktarı- Mikrosertlik ilişkisi

5.3. SEM Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 5.53'te 316Ti paslanmaz çelik için koruyucu gazın geçiş bölgesi mikroyapısına etkisi gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde geçiş bölgesi mikroyapı oriyantasyonunun farklı olduğu görülmektedir. Argon atmosferi altında soğuma esnasında geçiş bölgesinde ikizlenme çizgilerinin oluştuğu görülmektedir.



a)

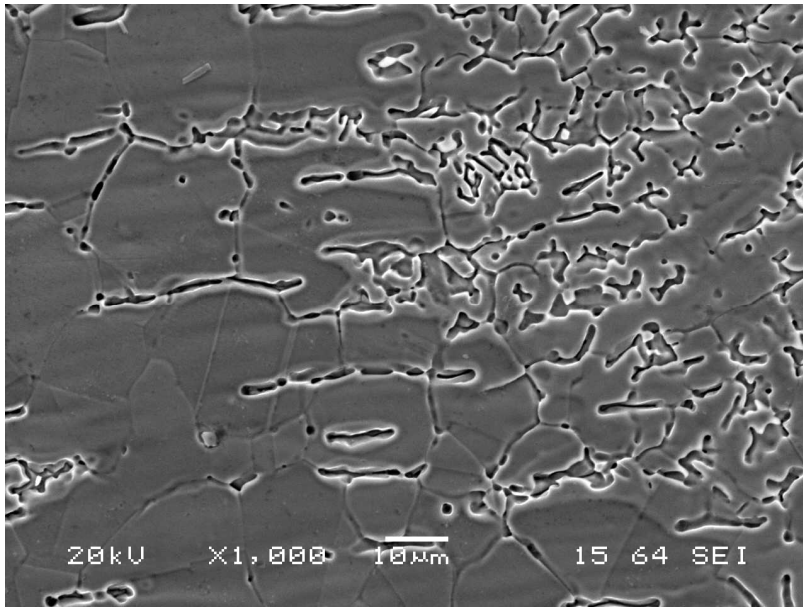


b)

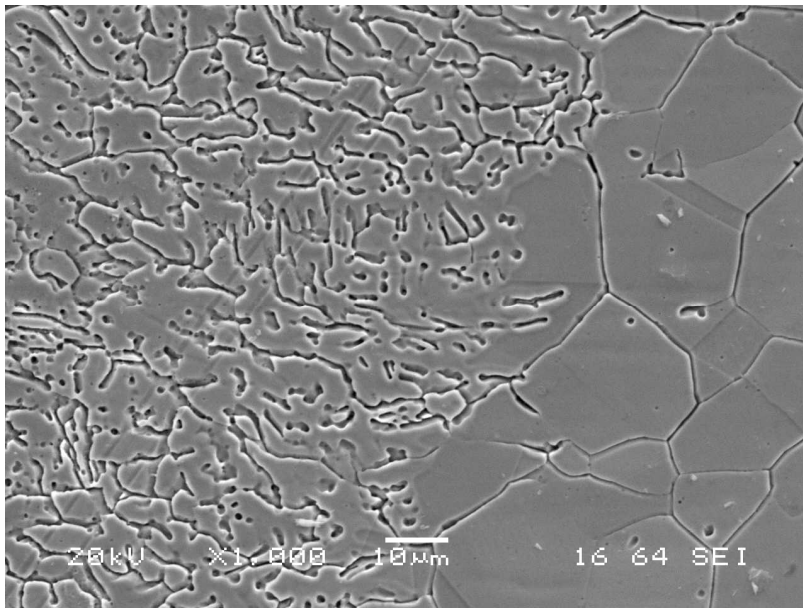
Şekil 5.53. Farklı koruyucu gazlarla kaynak yapılmış 316Ti paslanmaz çeliğin geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüsü a) Argon b) Argon+%2H₂

Argon ve Argon+H₂ koruyucu gazlarıyla kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü Şekil 5.54'te görülmektedir. Şekil incelendiğinde hidrojen ilavesiyle geçiş bölgesi daha keskin ve dar olmuştur. Argon ile kaynakta ise ana metale doğru ince çizgiler halinde sızan daha geniş bir geçiş bölgesi vardır. Bu argon yüzeysel geniş bir nüfuziyet sağlamasından hidrojen'in ise derinlemesine daha

derin bir nufuziyet sağlamasından kaynaklanabilir.



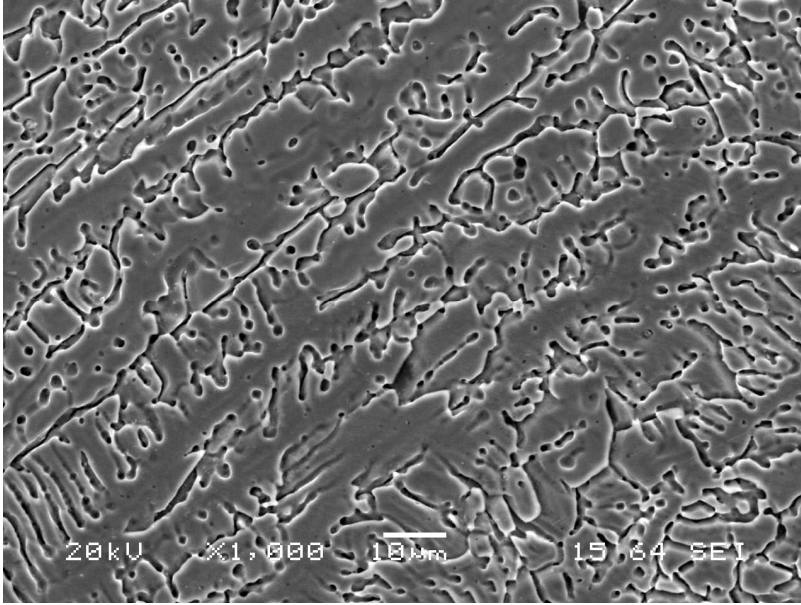
a)



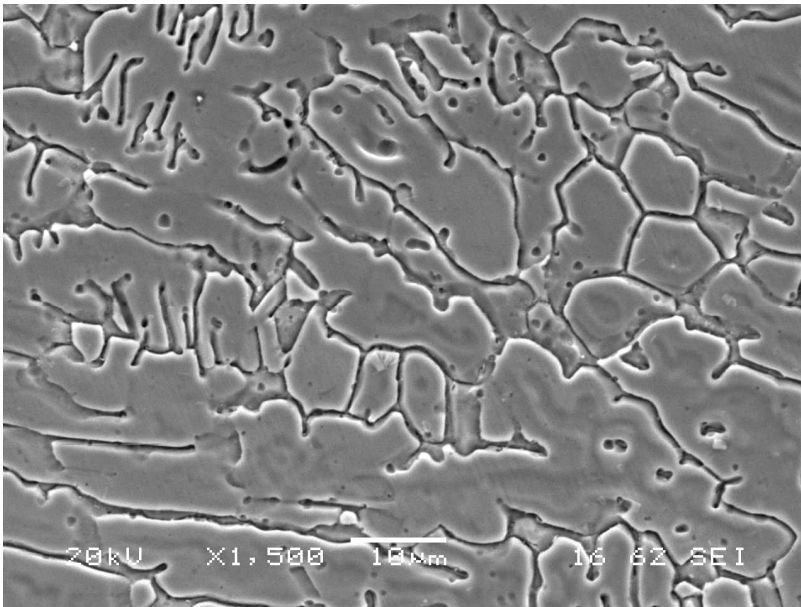
b)

Şekil 5.54. Farklı koruyucu gazlarla kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin geçiş bölgesi SEM mikroyapı görüntüsü a) Argon b) Argon+%2H₂

Şekil 5.55'te koruyucu gazın kaynak metaline etkisini gösteren SEM mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde Argon ile Argon+H₂ koruyucu gazlarının kaynak metali mikroyapısını değiştirdiği görülmektedir.



a)

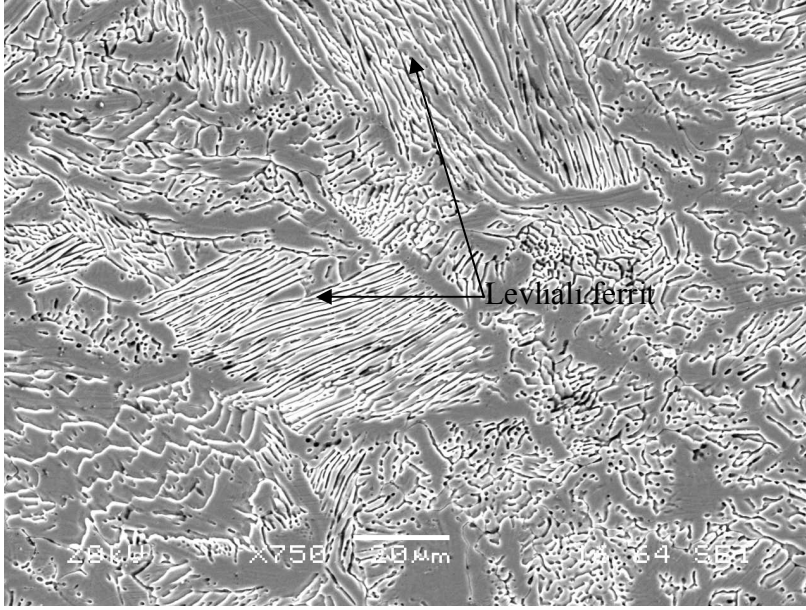


b)

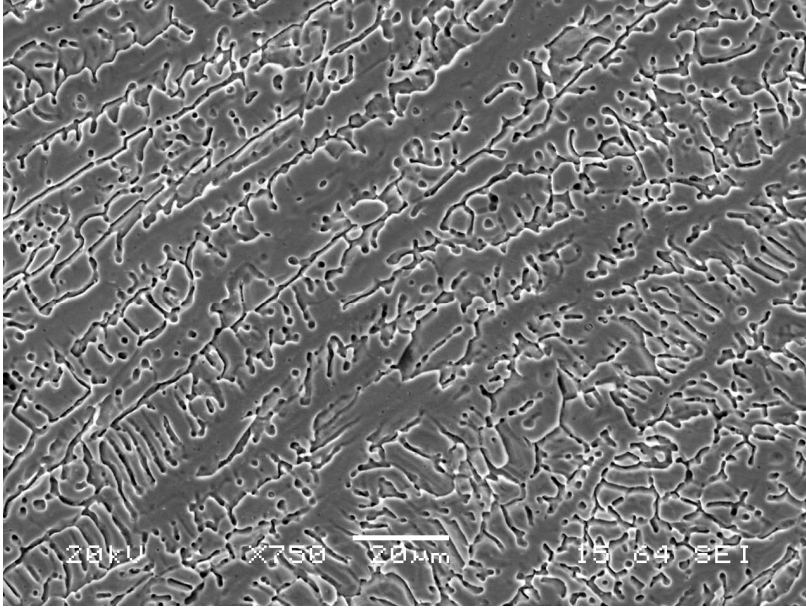
Şekil 5.55. Farklı koruyucu gazlarla kaynak yapılmış 316L paslanmaz çeliğin kaynak metali SEM mikroyapı görüntüleri a) Argon b) Argon+H₂

İlave metal ve koruyucu gaz aynı olsa bile ana metalin farklı olması kaynak metali mikroyapısını değiştirmektedir (Şekil 5.56). Şekil 5.56 incelendiğinde 316Ti ile 316L paslanmaz çeliğin kaynak metali mikroyapı farklılıkları görülmektedir. Şekilde δ -ferritlerin ve dentritlerin farklı şekilde dağıldıkları tespit edilmiştir. Ayrıca 316Ti paslanmaz çeliğin kaynak metali mikroyapısında levhalı ferritlerin oluştuğuda

görülmektedir.



a)



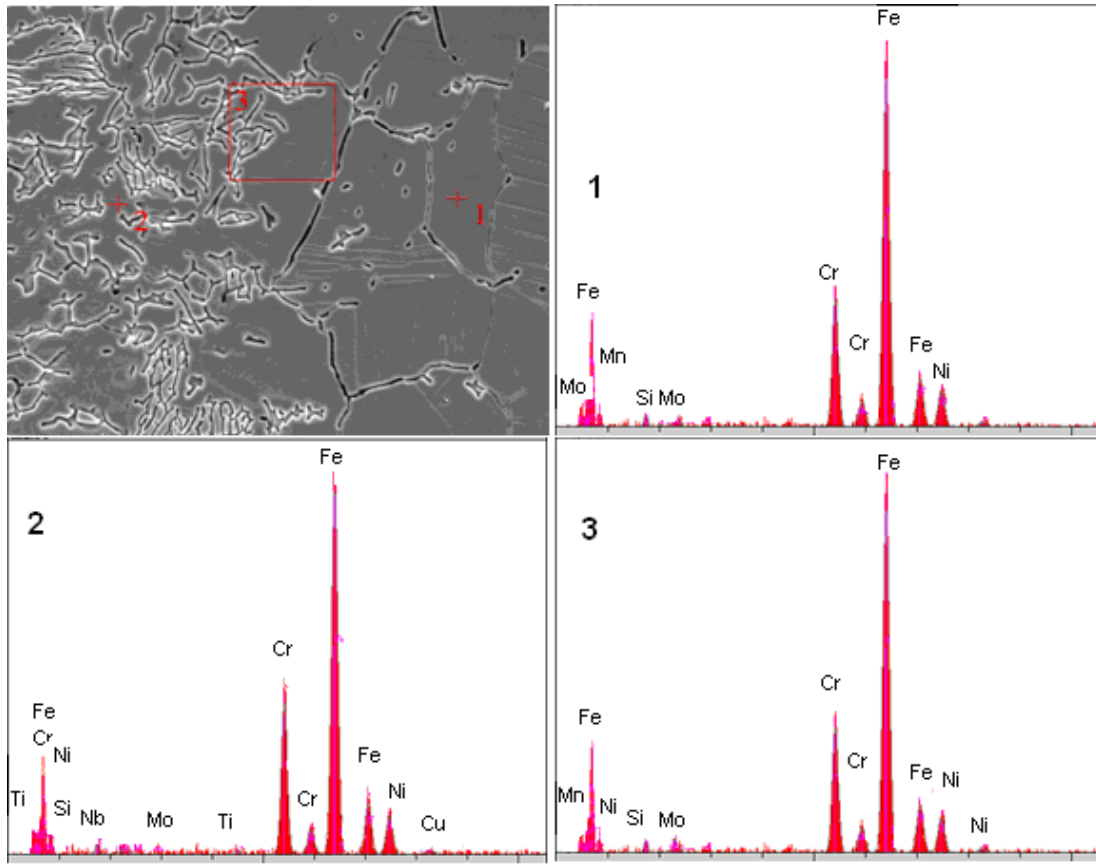
b)

Şekil 5.56. Aynı ilave metal ve koruyucu gaz ile kaynak yapılan paslanmaz çeliğin kaynak metali SEM mikroyapı görüntüsü a) 316Ti b) 316L

5.4. EDS elemental analizleri

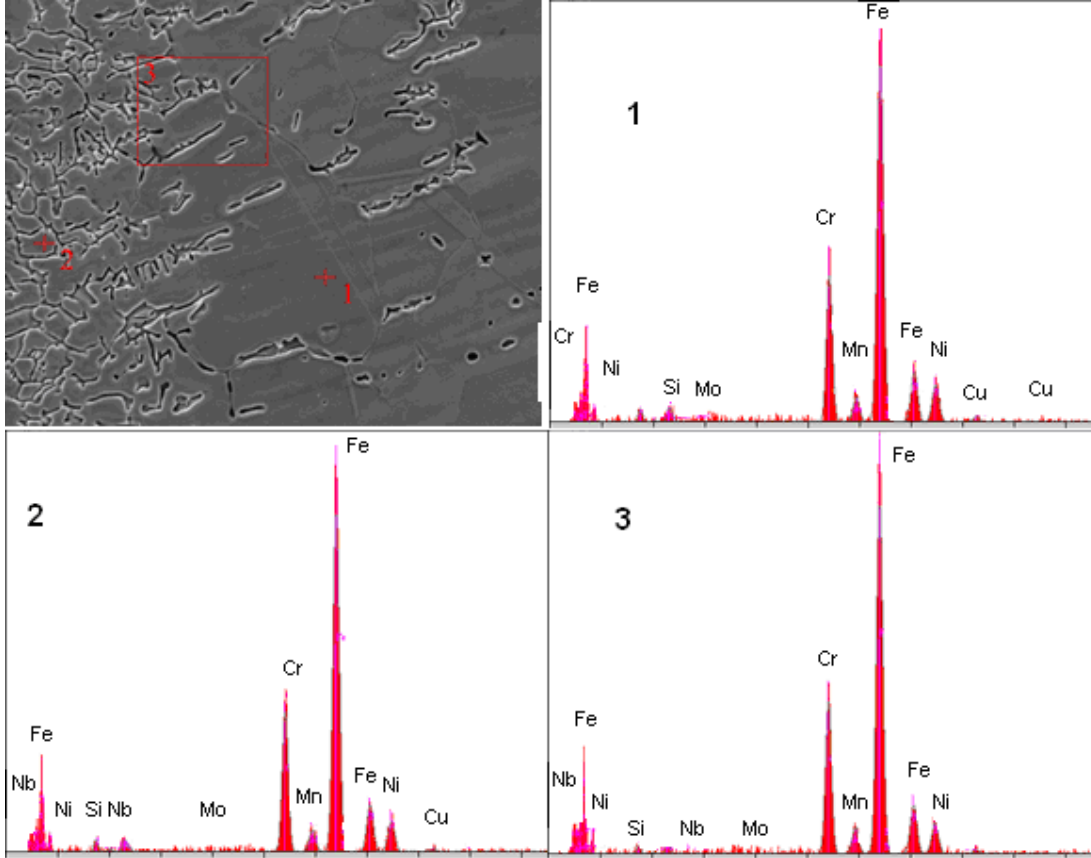
Kaynak metali, ana metal ve geçiş bölgelerinden EDX elemental analizleri alınmıştır. Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Şekil 5.57 incelendiğinde geçiş bölgesinde kaynak metalinin içeriğinde bulunan elementler ve ana metalin içeriğinde bulunan elementlerin bir arada bulunduğu görülmektedir. Bu sonuç ilave metal ve ana metalin içeriğini doğrulamaktadır.



Şekil 5.57. Argon koruyucu gazı altında ER 347 ilave metali ile kaynak yapılan 316Ti paslanmaz çeliğin EDX analizi sonuçları

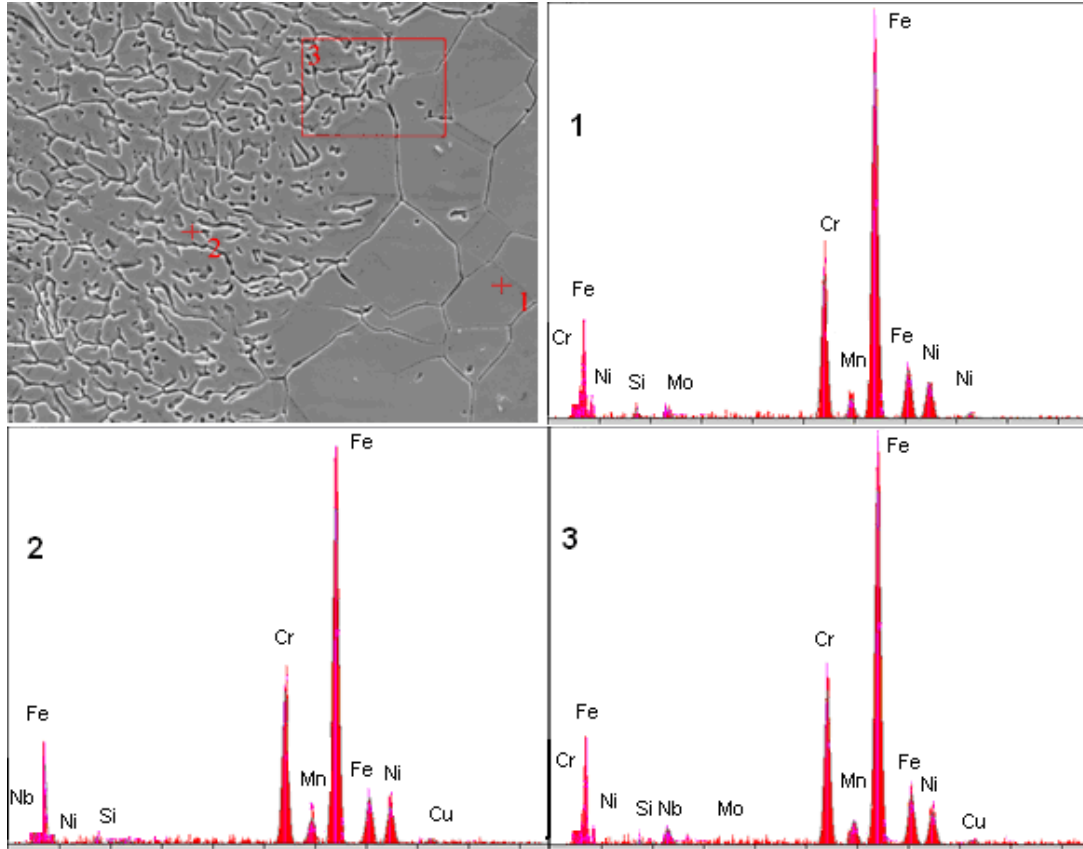
Şekil 5.58'de TIG kaynak yöntemiyle kaynak yapılmış 316L östenitik paslanmaz çeliğin EDX analizleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde Cr miktarında azalma olmadığı görülmektedir. Bu da krom karbür oluşmadan başarılı bir şekilde kaynak yapıldığını gösterir.



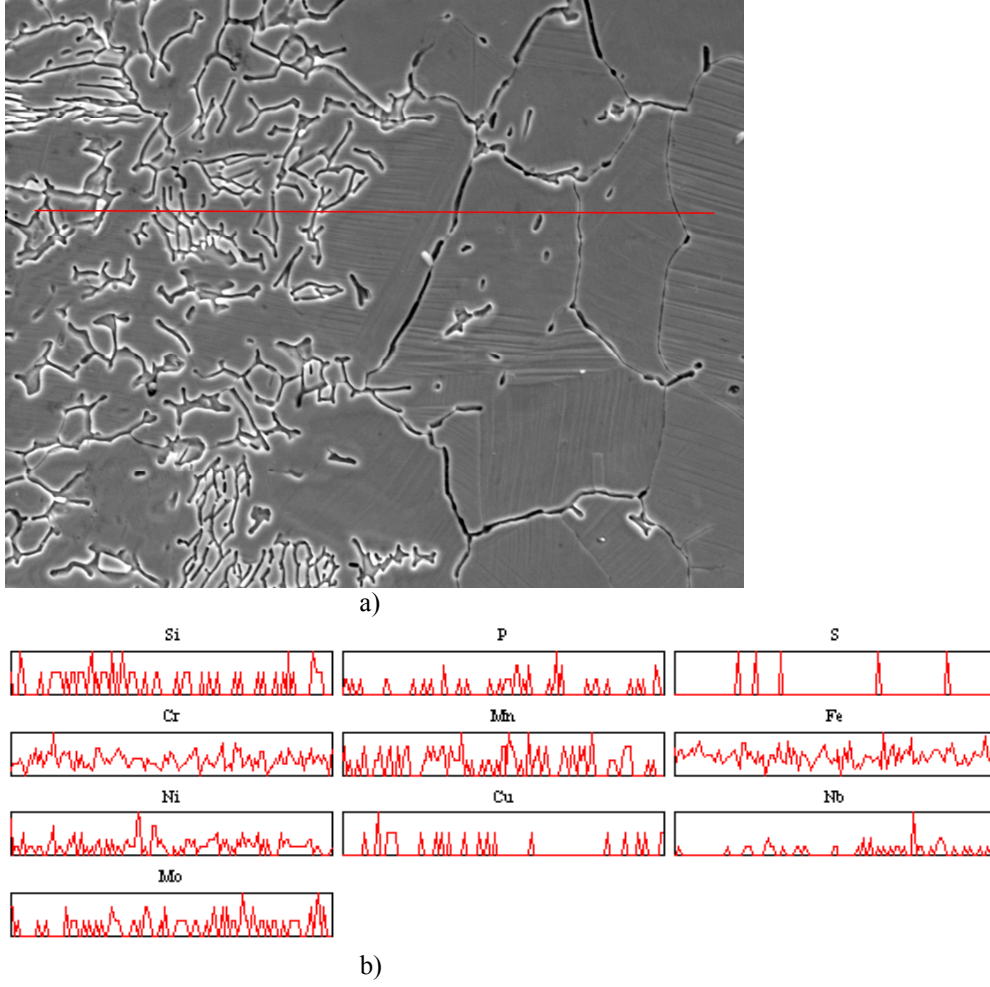
Şekil 5.58. Argon koruyucu gazı altında ER 347 ilave metali ile kaynak yapılan 316L paslanmaz çeliğin EDX analizi sonuçları

Şekil 5.58 ve Şekil 5.59 argon atmosferi ve argon+hidrojen atmosferi altında yapılan noktasal analiz diyagramı sonuçlarına bakıldığında farklı sonuçlar alındığı görülmektedir. Silisyum oranı argon+hidrojen atmosferinde argona göre düşme göstermiştir. Hidrojen atmosferi kullanılarak yapılan birleştirmede kaynak banyosu daha akıcı ve sıcaklığın daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Bunun sonucu kaynak bölgesindeki silisyum bir miktarı SiO_2 olarak atılmaktadır.

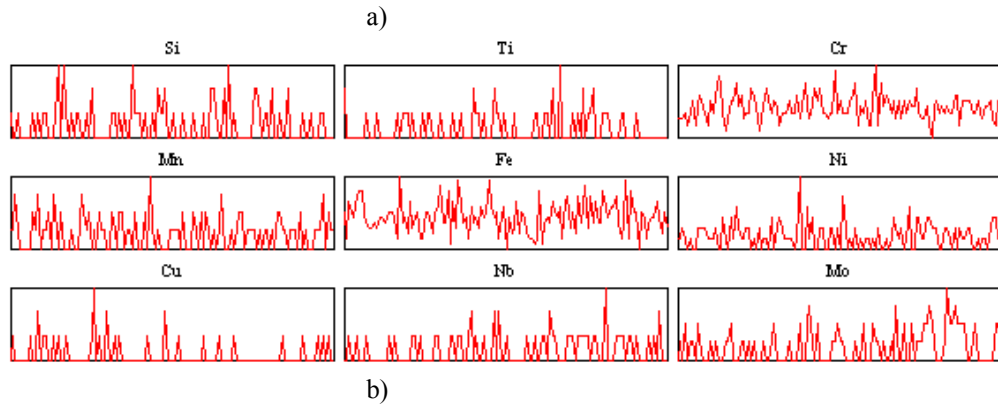
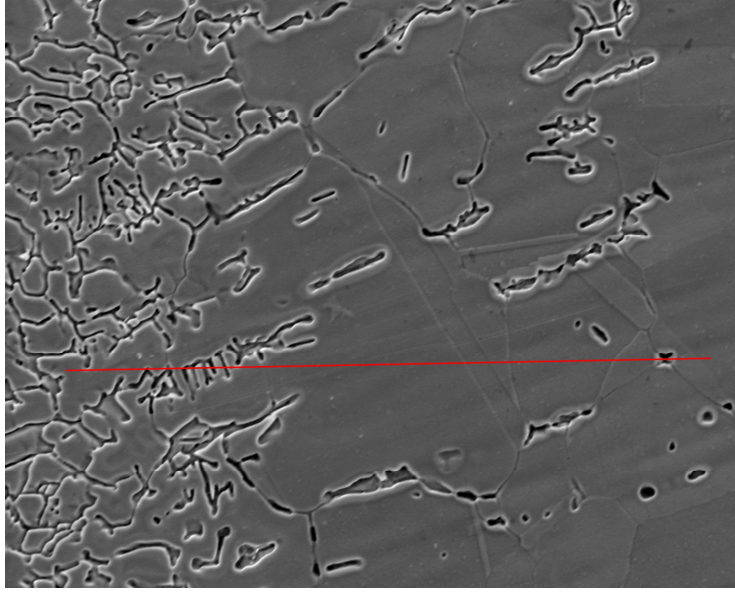
Sonuç olarak noktasal analizlerde farklı atmosferlerde yapılan birleştirmelerde numunelerin kompozisyonunda farklılıklar olmaktadır.



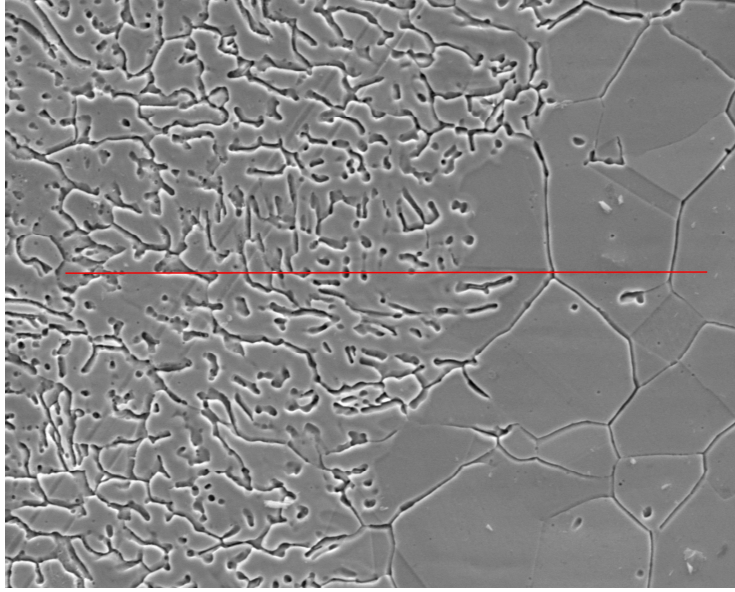
Şekil 5.59. Ar+H₂ koruyucu gazı altında kaynak yapılan 316L paslanmaz çeliğin EDX sonuçları.



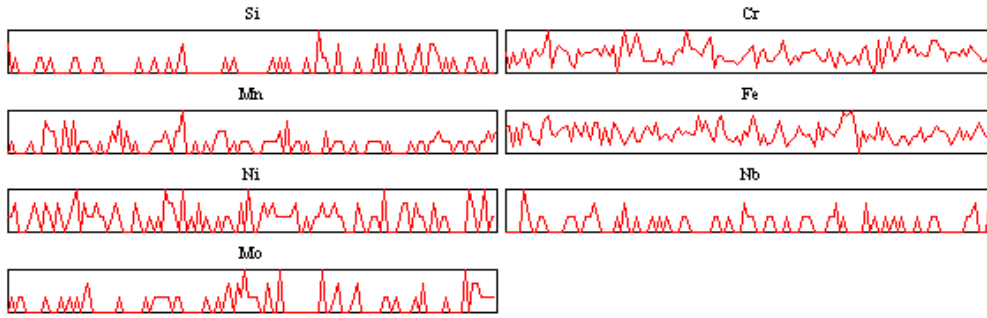
Şekil 5.60. Koruyucu gaz olarak Argon kullanılarak ve ER 347 ilave çubuğu kullanılarak yapılan 316Ti östenitik paslanmaz çeliği birleştirme sonucunda elde edilen a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı



Şekil 5.61. Koruyucu gaz olarak Argon kullanılarak ve ER 347 ilave çubuğu kullanılarak yapılan 316L östenitik paslanmaz çeliği birleştirme sonucunda elde edilen a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı



a)



b)

Şekil 5.62. Koruyucu gaz olarak Argon+H₂ kullanılarak ve ER 347 ilave çubuğu kullanılarak yapılan 316L östenitik paslanmaz çeliği birleştirme sonucunda elde edilen a) SEM mikroyapı üzerinde lineer analiz sonuçları b) Elementlerin lineer analiz diyagramı

BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada 316Ti ve 316L tipi paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ile farklı koruyucu gaz ve farklı ilave metalleri ile birleştirilmiştir. Birleştirilen malzemelerin bazı mekanik ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

1-) 316Ti kalite östenitik paslanmaz çelik TIG kaynak yöntemiyle, koruyucu gaz olarak Argon, ilave metal olarak ER347 kullanıldığında çekme mukavemetinde çok az bir artış görülmektedir. Buna karşılık aynı tip paslanmaz çeliğin Argon + % 2 Hidrojen koruyucu gaz kullanıldığında çekme mukavemeti artmakta, bu artış 347 ilave tel kullanıldığında daha fazla olmaktadır.

2-) 316L paslanmaz çelik TIG kaynak yöntemi ve Argon+%2H₂ gazı altında ER316L ile yapılan birleştirmede en yüksek çekme mukavemeti değerleri elde edilmektedir. Koruyucu gaz olarak argon + % 2 Hidrojen kullanıldığında çekme dayanımı % 7 oranında artış sağlamaktadır.

3-) Yapılan çekme deneyleri sonucunda en yüksek yüzde uzama değerleri 316Ti paslanmaz çelik için Argon + % 5 Hidrojen koruyucu atmosferi altında ER347 ilave metal kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. En düşük değer ise Argon atmosferi altında ER 318 ilave tel kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. Yapılan çalışmada 304 kalite paslanmaz çelik TIG kaynağı ile birleştirmelerde en yüksek uzama değeri ile en düşük uzama değeri arasındaki fark % 13 olup oldukça yüksektir.

4-) Yapılan eğme deneylerinde bütün birleştirmelerde herhangi bir çatlak oluşumu görülmemiş olup, bu kaynak yönteminde yapılan birleştirme oldukça sağlıklı olduğu

görülmüştür.

5-) Sertlik deneyleri yapılmış olup alınan değerler esas metal ile kaynak metali bölgelerinde sertlik farklılıkları gözlenmiştir. Bu farklılık yüksek olmakla beraber kullanılan ilave metalin kimyasal bileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

6-) Yapılan mikroyapı çalışmalarında kaynak metali içersinde farklı mikroyapılar gözlenmekte ve kaynak metalinde δ -ferrit oranı kullanılan ilave metaline göre farklılıklar göstermektedir. Elde edilen bu farklılıklar WRC-92 diyagramından okunan oranla uyumludur.

7-) Noktasal analizler sonucunda farklı gazlar kullanılarak birleştirilen numunelerde azda olsa kimyasal farklılıklar olduğu görülmektedir.

8-) Çentik darbe deneyinde kırılma enerjisi değerleri bakıldığında genelde sıcaklık düştüğünde değerler düşmekte olup, kaynak metalindeki bu davranış δ -ferrit'in varlığı ile açıklanmaktadır. En yüksek değerler Ar+%2H₂ atmosferi altında ER 316L ilave metali kullanılarak yapılan kaynak numunelerinden elde edilmektedir.

6.2. Öneriler

Bu çalışmada TIG kaynak yöntemiyle farklı ilave metal ve gazlarla birleştirilen 316Ti ve 316L östenitik paslanmaz çeliğin bazı mekanik ve mikroyapı özellikleri yapılan deneylerle araştırılmıştır. Gelecekte benzer konularla çalışma yapacak araştırmacılara aşağıdaki öneriler sıralanabilir.

1-) Bu malzemelerin TIG kaynağında koruyucu gaz cinsi ve ilave metal çeşitliliği gibi farklı parametreler kullanılarak bunların yorulma dayanımlarına etkisi incelenebilir.

2-) Bu malzemelere farklı ısı işlemler uygulanarak uygulanan ısı işleminin malzemenin mekanik ve mikroyapı özellikleri araştırılabilir.

3-) Bu çalışmada bazı mikroyapı incelemeleri yapılmış olup aynı çalışmada kullanılan malzemenin SEM çalışmaları geliştirilebilir, aynı zamanda ek olarak TEM çalışmaları yapılarak mekaniksel deneylerde alınan sonuçlar detaylı olarak incelenip oluşan mekanizmalar daha net bir şekilde açıklanabilir.

4-) Yapılan bu kaynaklı birleştirmeler farklı korozyon şartları altında maruz bırakılarak yapılan etkinin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenebilir.

5-) Çentik darbe deneyi ve çekme deneyi sonrası kırılma yüzeyi morfolojileri daha detaylı olarak incelenebilir.

6-) 316Ti ve 316L paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında koruyucu gaz ve ilave metalin korozyonlu yorulmaya etkisi araştırılabilir.

7-) Bu malzemelerin MIG yöntemiyle kaynağında ilave metal ve koruyucu gazın mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.

8-) Yapılan kaynak işleminin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çeşitli mekaniksel sonuçlar ile mikroyapı oluşumlarının analizi yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] ANIK, S., Kaynak Tekniği, Cilt 3, İstanbul Teknik Üniv., Makine Fak. 1981
- [2] ARAN, A., TEMEL, M.A., "Paslanmaz Çelik", Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul, 2004
- [3] KANBOLLU, S., "Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri " Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Haziran 1996
- [4] KALUÇ, E., "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Gedik Holding Kaynak Dünyası. S:1-22
- [5] ERTEMİZ, M., "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı" Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2005
- [6] 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, 1997
- [7] TÜLBETÇİ, K., "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", MIG-MAG Eriyen Elektrot İle Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding-İstanbul, 1990
- [8] KALUÇ, E., SARI, N., "Paslanmaz Çeliklerin MIG Yöntemi İle Kaynağı", Metal ve Kaynak, 1996
- [9] URAL, M., KALUÇ, E., "Paslanmaz Çeliklerin TIG Yöntemi İle Kaynağı", Metal Makine, Mart 1996, s.12-20
- [10] TUSEK, J., SUBAN, M., "Experimental research of the effect of γ hydrogen in argon as a shielding gas in arc welding of Highalloy stainless steel" Int J Hydrogen Energy 2000., pp.369-376
- [11] LOTHONGKUM, G., VIYANIT, E., BHANDHUBANYONG, P., "Study on The Effects Pulsed TIG Welding Parameters on Delta-Ferrite Content, Shape Factor and Bead Quality in Orbital Welding of AISI 316L Stainless Steel Plate", Journal of Materials Processing Technology, 2001, pp.233-238.
- [12] 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, 2001, pp.165-171.

- [13] OĞUZ, B., “Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı”, İstanbul, Oerlikon, 1987
- [14] ODABAŞ, C., “Paslanmaz Çelikler” Tavaslı Matbaası, Mart 2002
- [15] ŞAHİN, Ş., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti”, Y.Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Makine Anabilim Dalı, s:6-7, Konya, 1990
- [16] ERDOĞAN, M., “Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri”, Arı Ofset, Ankara 2000., s.113, 170-210
- [17] TÜLBENTÇİ, K., “Paslanmaz Çelikler ve Kaynatılabilirliği”, Kocaeli Üniversitesi, 30 Haziran 1995, Seminer notları
- [18] ASM., Metals Handbook 6, Welding and Brazing, Ohio 1971
- [19] Metals Handbooks, 8th ed, vol.8, American Society for Metals 1973, p.291
- [20] KALUÇ, E., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Üst Düzey Yönetici Semineri, İstanbul, Ekim 1986, 1-8
- [21] CASTNER, H.R. Material and Procedure Considerations for Welded Austenitic Stainless Steels, 8th Annual North American Welding Research Conference, Edison Welding Institute, Columbus, ohio, pp. 1–6, 1992
- [22] ARAN, A., TEMEL, M.A., "Paslanmaz Çelik", Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul, 2004
- [23] CAMPBELL, R.D. “Ferritic Stainless Steels Welding Metallurgy”, Ferrous Alloy Weldments, Englewood Colerada, pp.167-190, USA, 1992
- [24] BAYLAN, O. “Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik – Martenzitik Farklı Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklı Bağlantılarında, Mikroyapı ile Özellikler Arasındaki İlişkinin Araştırılması” Y.Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Haziran, 2003, Karabük
- [25] TÜLBENTÇİ, K. “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı” Böhler Kaynak Dünyası, Sayı:11, S. 6–10. 1985
- [26] Abington Publishing “Welding Metallurgy of Stainless Steels, Abington Welding Training Module, Cambridge, pp. 1–45, 1994
- [27] CANİGENİŞ, N., “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Kullanılan Değişik Gaz Bileşimlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi” Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 1999

- [28] TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., YILMAZ, M., “Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı” Gedik Kaynak Dünyası, s. 18-24
- [29] GUNN, R.N. The Influence of Composition and Microstructure on The Corrosion Behaviour of Commercial Duplex Alloy, 8th Annual North American Welding Research Conference, TWI, Cambridge, UK, 1 pp
- [30] 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
- [31] KALUÇ, E. Östenitik Krom – Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Gedik Kaynak Dünyası, Sayı:2, s. 18–21
- [32] ANIK, S., VURAL, M. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi, Cilt-2, Birsen Yayınları, İstanbul, 1993, s.355-357
- [33] KALUÇ, E., “Kaynak Teknolojisi El Kitabı” TMMOB yayını, Özkan Matbacılık, Mart 2004, C:1, s:222
- [34] SUBAN, M., TUSEK, J., “Dependence of melting rate in MIG-MAG welding on the type of shielding gas used.” J Mater Process Technol 2001, s.119:185–192
- [35] ONSOIEN, M., PETERS, R., OLSON, D.L., LIU, S., “Effect of Hydrogen in an Argon GTAW shielding gas: arc characteristics and bead morphology”. Welding J Miami, Fla 1995, 74(1) pp.10–15
- [36] GÜLTEKİN, N., “Kaynak Tekniği”, Y.Ü. Yayını Sayı 184, İstanbul 1984
- [37] www.jwharris.com/welref/techguide/alloy_for_stain_steel/solid_wire, Nisan 2006.
- [38] <http://www.olarra.com/eng/products/frames>, Mart 2006.
- [39] Outo Kumpu ürün belgesi 2005
- [40] http://www.fpsoudage.com/catalog-product.cgi?lang=fr;produit_id=16, Şubat 2006.
- [41] Rodacciai ürün belgesi 2005
- [42] Pr EN 910 çekme deneyi standardı
- [43] GÖKMEN, M., YILMAZ, R., “AISI 316Ti Paslanmaz Çeliklerin Tıg Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesinde Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi” 11. Uluslar arası Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli/Türkiye, 15-17, Nisan 2006

- [44] KAHRAMAN. N., DURGUTLU., A., GÜLENC. B., 2004, “316L Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağında Koruyucu Argon Gazına Hidrojen İlavesinin Kaynak Bölgesi Tane Morfolojisine Etkilerinin Araştırılması”. *Politeknik Dergisi C:7 3* 223–228
- [45] DURGUTLU, A. 2004, “Experimental Investigation of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas on TIG Welding of Austenitic Stainless Steel”, *Materials and Design*, 25, 19–23
- [46] YILMAZ, R. UZUN, H. “Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steels Welded By GMAW and GTAW”, Marmara University, Journal of Marmara for Pure and Applied Sciences, 18, 97–112, 2002
- [47] LOWKE JJ. RICHARD M. JAWARD H, ANTHONY MB. 1997, “Prediction of Gas Tungsten Arc Welding Properties in Mixtures of Argon and Hydrogen”. *IEEE Trans Plasma Sci.*; 25 (5): pp.925- 930
- [48] ANIK, S., ANIK, E.S., VURAL, M., “Kaynak Teknoloji El Kitabı”, Birsen Yayınevi, İstanbul 2000., s.88-126
- [49] 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. 3 391–400, 2005
- [50] DIETER, G.E., “Mechanical Metallurgy”, McGraw-Hill, 476, London 1988, s.476
- [51] ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., “Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı”, Gedik Holding Yayını, İstanbul 1991.
- [52] “Ürün Kataloğu”, Kabotek, Askaynak, Eczacıbaşı 1998
- [53] ASM Handbook , “Fractography” Volume 12, pp:12
- [54] LIAO, M. T., CHEN, P. Y. 1998, “The Effect of Shielding-Gas Compositions on The Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Weldments”, *Materials Chemistry and Physics*, 55, 145-151.
- [55] SIREESHA, M., ALBERT, S., SHANKAR, K.V., SUNDARESAN, K.S., “A Comparative Evaluation Of Welding Consumables For Dissimilar Welds Between 316LN Austenitic Stainless Steel and Alloy 800, Journal of Nuclear Materials, 279 pp.65-76, 2000

ÖZGEÇMİŞ

Mücahit GÖKMEN Sinop'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sinop'ta tamamladıktan sonra 1999 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünü kazandı ve 2003 yılında mezun oldu. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Kaynak Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim dalında yüksek lisans çalışmalarına başlamıştır. Halen Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.