

**PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAĞINDA
ARGON-HİDROJEN GAZ KARIŞIMININ
BİRLEŞTİRMELERİN MEKANİK VE
MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

**2009
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

Eyüp GÖZÜTOK

**PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAĞINDA ARGON-HİDROJEN
GAZ KARIŞIMININ BİRLEŞTİRMELERİN MEKANİK VE MİKROYAPI
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Eyüp GÖZÜTOK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Nisan 2009

Eyüp GÖZÜTOK tarafından hazırlanan “PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAĞINDA ARGON-HİDROJEN GAZ KARIŞIMININ KAYNAKLI BİRLEŞTİRMENİN MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/ 04/ 2009

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU (GÜ)

...../...../2009

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Eyüp GÖZÜTOK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAĞINDA ARGON-HİDROJEN GAZ KARIŞIMININ BİRLEŞTİRMELERİN MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Eyüp GÖZÜTOK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Nisan 2009, 98 sayfa

Bu çalışmada, AISI 304 (X5CrNi1810) türü östenitik paslanmaz çelik levhalar TIG kaynak yöntemi ile farklı koruyucu ortamlar kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak işlemleri saf argon, argon+%1,5 H₂ ve argon+% 5 H₂ olmak üzere üç farklı koruyucu gaz ortamında ve üç farklı kaynak akımında gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemleri aynı kaynak parametrelerinde hem alın altına hem de bindirme biçimde olmak üzere iki tür yapılmış ve tüm birleştirmelerde ilave metal olarak ER 308 L tipi ilave tel kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgelerinin dayanımlarını belirlemek için çekme, eğme, çentik darbe ve yorulma testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynaklı numunelerin, kaynak bölgelerinde sertlik ve optik mikroskop çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Yapılan sertlik testleri sonucunda, en yüksek sertlik değerleri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme takip etmektedir. Çekme testleri sonucunda her iki tür birleştirmelerde de en yüksek çekme dayanımı, argon+%1,5 H₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilmiş numunelerden elde edilmiştir. Yorulma testi sonuçlarına göre, esas metalin yorulma dayanımının hem alın birleştirmelerden, hem de bindirme birleştirmelerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca argon gazı içerisine ilave edilen H₂ gazının kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarını düşürdüğü sonucuna varılıştır. Çentik darbe deney sonuçlarına göre, kaynaklı numunelerin tümünden ölçülen tokluk değerlerinin esas metalden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. 180°'ye kadar yapılan eğme testi sonucunda, göz ile yapılan muayenede kaynaklı numunelerin hiçbirinde çatlak, yırtık vb. hata görülmemiştir. Son olarak, kaynak esnasında kullanılan koruyucu gaz bileşiminin kaynak metali mikroyapılarını etkilediği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Paslanmaz çelik, TIG kaynağı, karışım gaz, yorulma, mikroyapı ve mekanik özellikler

Bilim Kodu : 626.18.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE INFLUENCE OF ARGON-HYDROGEN GAS MIXTURE ON MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF THE JOINTS IN TIG WELDING OF STAINLESS STEELS

Eyüp GÖZÜTOK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metalurgy Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

April 2009, 98 pages

In this study, AISI 304 (X5CrNi1810) type austenitic stainless steel sheets were joined with TIG welding method under different protective media. The welding processes were carried using pure argon, argon+%1,5 H₂ and argon+% 5 H₂ as shielding media at three different welding currents. Both butt welding and overlap joining processes were performed at the same welding parameters using ER 308 L as filler metal wire. In order to determine the strength of the welded joints, tensile, bending, notch stroke and fatigue tests were applied. In addition, hardness and optical microscope studies of the welded samples on the welding areas were done.

As a result of the hardness tests, the highest hardness values were measured on the welding metal and these are followed by ITAB and base material. The tensile test results showed that the highest tensile strengths for the both types of joining

processes were obtained under argon + %1,5 H₂. Fatigue performance of the main metal was found to be better than both butt and overlap joints. In addition, addition of H₂ gas into argon was considered to decrease the fatigue performance of the welded joints. As a result of the notch stroke tests, toughness values measured on the all samples were determined to be smaller than base metal. Visual examination of the bending tests carried out up to 180° showed no failures such as crack, tear etc. on the welded specimens. Consequently, it was realised that, protective gas mixture used during welding influenced the microstructures of the welding metal.

Key Words : Stainless Steel, TIG welding, gas mixture, microstructure, fatigue and mechanical properties

Science Code : 626.18.01

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel alıőmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyesi, çok kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ ve Yrd. Doç. Dr Ahmet DURGUTLU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Yorulma deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Fakültesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Aydın ŞIK'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
PASLANMAZ ÇELİKLER	4
2.1. PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ	5
2.1.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler	6
2.1.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	9
2.1.3. Östenitik-Ferritik (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler	10
2.1.4. Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler	11
2.1.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler	12
2.1.5.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	15
Krom karbür oluşumu	15
Sıcak çatlak oluşumu	17
Sigma (σ) fazı oluşumu	20
BÖLÜM 3	23
TIG KAYNAĞI	23
3.1. TIG KAYNAĞI AKIM ÜRETEÇLERİ	25

	<u>Sayfa</u>
3.2. TIG KAYNAK ELEKTROTLARI	28
3.3. KORUYUCU GAZLAR	30
3.4. TIG KAYNAK YÖNTEMİNİN UYGULAMA ALANLARI	33
3.5. TIG KAYNAK YÖNTEMİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	34
BÖLÜM 4	36
METALLERDE YORULMA	36
4.1. YORULMA DAYANIMININ SAPTANMASI	37
4.2. YORULMA DENEYİ İLE İLGİLİ TERİMLER	39
4.3. YORULMANIN ÖMÜR AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	41
4.4. YORULMA DENEY MAKİNALARI	41
4.5. YORULMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	42
4.5.1. Parça Büyüklüğü	42
4.5.2. Yüzey Durumu	42
4.5.3. Yüzey İşlemleri	42
4.5.4. İç Yapı	43
4.5.5. Yenim	43
4.5.6. Metalurjik Faktörler	43
4.5.7. Sıcaklık	44
4.5.8. Gerilme Birikmesi	44
4.5.9. Gerilme Gradyanının Etkisi	45
4.5.10. Artık Gerilmeler	45
4.5.11. Metal Veya Alaşımın Soğukta İşlenmesi	45
4.5.12. Frekansın Etkisi	45
4.5.13. Korozyonun Etkisi	46
4.6. YORULMA TIPLERİ	46
4.6.1. Isıl Yorulma	46
4.6.2. Korozyon Yorulması	46
4.6.3. Yıpranma (Fretting) Aşınması	47
4.7. KAYNAKLI BAĞLANTILARDA YORULMA	47
4.7.1. Kaynaklı Bağlantıların Yorulma Dayanımını Etkileyen Faktörler	50

4.7.2. Kaynaklı Bağlantılarda Yorulma Dayanımını Yükseltmek İçin Alınacak Tedbirler.....	51
BÖLÜM 5	52
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	52
5.1. ANA MALZEME VE İLAVE METAL	52
5.2. KORUYUCU GAZ	54
5.3. KAYNAK MAKİNASI.....	55
5.4. NUMUNE HAZIRLAMA	55
5.5. SERTLİK TESTİ.....	56
5.6. ÇEKME TESTİ	57
5.7. EĞME TESTİ.....	59
5.8. ÇENTİK DARBE TESTİ.....	60
5.9. YORULMA TESTİ.....	61
5.10. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI	64
BÖLÜM 6	67
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	67
6.1. SERTLİK TESTİ.....	67
6.2. ÇEKME DENEYİ TEST SONUÇLARI.....	68
6.3. EĞME DENEY SONUÇLARI	73
6.4. ÇENTİK DARBE DENEY SONUÇLARI	74
6.5. YORULMA DENEY SONUÇLARI	75
6.6. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI	85
BÖLÜM 7	90
SONUÇLAR	90
KAYNAKLAR	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları.....	7
Şekil 2.2. Ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapısı.....	9
Şekil 2.3. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı.....	10
Şekil 2.4. Östenitik-ferritik (Çift fazlı) paslanmaz çeliklerin mikro yapısı.....	11
Şekil 2.5. Östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı.....	14
Şekil 2.6. Östenitik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları ve özellikleri.....	14
Şekil 2.7. 18Cr/8 Ni (0,10 C)'lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökmesi.....	16
Şekil 2.8. Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon.....	16
Şekil 2.9. Paslanmaz çelik kaynak metalinde mikro yapının belirlenmesinde kullanılan Schaeffler diyagramı.....	18
Şekil 2.10. Katılaşma Faz Sınırlarını da İçeren WRC-1992 Diyagramı.....	19
Şekil 2.11. 20 Cr/10 Ni'li ve %3 ferrit içeren paslanmaz çelik.....	20
Şekil 2.12. 780 °C'da 100 saat ısıtılma işlemi uygulanmış ve sigma fazı çizgileri oluşmaya başlamış östenitik paslanmaz çeliğin iç yapısı.....	21
Şekil 2.13. 780 °C'da 500 saat ısıtılma işlemi uygulanmış ve sigma fazı çizgileri oluşmaya başlamış östenitik paslanmaz çeliğin iç yapısı.....	22
Şekil 3.1. TIG Kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	23
Şekil 3.2. TIG kaynak donanım şeması.....	25
Şekil 3.3. TIG kaynağında arkta yük taşıyıcıların üç farklı hareketi.....	27
Şekil 3.4. TIG kaynak elektrodlarının taşlanması (Doğru akımda).....	29
Şekil 3.5. Elektrod çapına göre elektrod uçları (Alternatif akımda).....	30
Şekil 4.1. Yorulma çatlağının oluşumu.....	37
Şekil 4.2. Demir ve demir dışı malzemelere ait tipik Wöhler eğrileri.....	38
Şekil 4.3. Yorulma deneyi ile ilgili gerilme-zaman çevrimi.....	40
Şekil 4.4. Yorulma kırılmasına ait örnekler.....	48
Şekil 4.5. Çalışma koşullarında yorulma kırılmasına ait örnekler.....	48
Şekil 4.6. Kaynaklı birleştirmelerde yorulma kırılmasına ait örnekler.....	49

Sayfa

Şekil 4.7. Kaynaklı birleştirmelerde oluşan bölgeler	50
Şekil 4.8. Kaynaksız ve farklı kaynak yöntemlerindeki yorulma değerleri.....	51
Şekil 5.1. Schaeffler diyagramı üzerinde $Cr_{eş}$ ve $Ni_{eş}$ değerlerinin hesaplanması ...	53
Şekil 5.2. Alın kaynaklı numunelerden hazırlanan karakterizasyon numuneleri ve şekilleri.....	56
Şekil 5.3. Sertlik ölçüm cihazı	57
Şekil 5.4. Çekme test numunesi ölçüleri.....	58
Şekil 5.5. Çekme ve eğme deneylerinin yapıldığı test cihazı	58
Şekil 5.6. Eğme deneyinin yapılışı.....	59
Şekil 5.7. Çentik darbe test numunesi.....	60
Şekil 5.8. Çentik darbe deneylerinin yapıldığı test cihazı.....	61
Şekil 5.9. Alın kaynaklı numunelerin boyutları	62
Şekil 5.10. Bindirme kaynaklı numunelerin boyutları	62
Şekil 5.11. Yorulma makinasının fotoğrafı.....	62
Şekil 5.12. Eğmeli yorulma düzeneğinin şematik gösterilişi.....	63
Şekil 5.13. Mikroyapı çalışmalarında kullanılan parlatma cihazının görüntüsü.....	65
Şekil 5.14. Mikroyapı çalışmalarının yapıldığı optik mikroskop	66
Şekil 6.1. Sertlik ölçüm sonuçları	67
Şekil 6.2. Ana malzeme ve alın altına birleştirilmiş numunelerin çekme grafikleri.....	68
Şekil 6.3. Bindirme biçiminde birleştirilmiş numunelerin çekme grafikleri	69
Şekil 6.4. Esas metal ve alın kaynaklı numunelerin çekme sonrası görüntüleri	70
Şekil 6.5. Bindirme kaynaklı numunelerin çekme sonrası görüntüleri.....	70
Şekil 6.6. Esas metal, alın ve bindirme kaynaklı malzemelerin çekme dayanımları	71
Şekil 6.7. Esas metal, alın ve bindirme kaynaklı malzemelerin uzama değerleri....	72
Şekil 6.8. Alın kaynaklı numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri	73
Şekil 6.9. Esas metal ve alın kaynaklı numunelerin çentik darbe test sonuçları.....	74
Şekil 6.10. Saf argon atmosferinde alın altına kaynak edilmiş numunelerin ve ana malzemenin yorulma dayanımları	77
Şekil 6.11. Ana malzeme ve saf argon + %1,5 H_2 gazı kullanılarak alın altına kaynak edilmiş numunelerin yorulma dayanımları.....	77
Şekil 6.12. Saf argon ve argon + % 5 H_2 atmosferinde alın altına kaynak edilmiş numune ve ana malzemenin yorulma dayanımı	78

Sayfa

Şekil 6.13. Ana malzeme, saf argon, argon + % 1,5 H ₂ ve argon + % 5 H ₂ atmosferinde alın kaynağı yapılmış numunelerin yorulma dayanımları..	79
Şekil 6.14. Alın altına kaynak edilmiş numunelerin yorulma kırılması sonrası görünüşleri.....	79
Şekil 6.15. Ana malzeme ve saf argon ile bindirme kaynağı yapılmış numunelerin yorulma dayanımlarının karşılaştırılması.....	80
Şekil 6.16. Saf argon + % 1,5 H ₂ ile bindirme kaynağı yapılmış ve ana malzemenin yorulma dayanımlarının karşılaştırılması	80
Şekil 6.17. Ana malzeme ve saf argon + % 5 H ₂ ile bindirme kaynağı yapılmış numunelerin yorulma dayanımlarının karşılaştırılması	81
Şekil 6.18. Ana malzeme ve üç değişik gaz kompozisyonu ile bindirme kaynağı yapılmış numunelerin yorulma dayanımlarının karşılaştırması.....	82
Şekil 6.19. Bindirme kaynaklı numunelerin yorulma kırılması sonrası görünüşleri .	83
Şekil 6.20. Ana malzeme ve üç değişik gaz atmosferi ile (saf argon, argon + %1,5 H ₂ ve argon + % 5 H ₂) alın kaynaklı (a) ve Bindirme kaynaklı (b) numunelerin yorulma dayanımlarının karşılaştırılması	84
Şekil 6.21. Deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin mikroyapısı	85
Şekil 6.22. Saf argon koruyucu gazı altında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü	86
Şekil 6.23. Argon+% 1.5H ₂ koruyucu gazı altında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü.....	87
Şekil 6.24. Argon + % 5H ₂ koruyucu gazı altında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü.....	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler	8
Çizelge 2.2. Yaygın olarak kullanılan östenitik paslanmaz çelik türleri	13
Çizelge 3.1. Tungsten elektrodların kimyasal bileşimleri, renk kodları ve bazı özellikleri.....	28
Çizelge 3.2. Çeşitli metallerin TIG kaynağı için önerilen koruyucu gazlar ve elektrodlar	32
Çizelge 3.3. Argon ve helyum gazlarının TIG yönteminde davranışlarının Karşılaştırılması	33
Çizelge 5.1. Ana malzemenin kimyasal bileşimi	53
Çizelge 5.2. İlave metalin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri	54
Çizelge 5.3. Birleştirme işleminde kullanılan kaynak parametreleri	55
Çizelge 6.1. Numune grup ve özellikler.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Cr _{eş}	: Krom Eşdeğerliliği
Ni _{eş}	: Nikel Eşdeğerliliği
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
Au	: Altın
Cu	: Bakır
H ₂	: Hidrojen
He	: Helyum
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
Pt	: Platin
V	: Vanadyum

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AWS	: American Welding Society
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: Avrupa Normu
IIW-IIS	: Milletlerarası Kaynak Enstitüsü
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
MIG	: Metal Inert Gas
TIG	: Tungsten Inert Gas
TS	: Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, esas olarak mükemmel korozyon dirençlerinden dolayı tercih edilmektedirler. Bileşimlerinde en az %12 krom bulunan çelikler “paslanmaz çelik” olarak adlandırılırlar. Tüm paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, çok yoğun ve koruyucu bir krom oksit (ince pasif yüzey) tabakasının oluşmasına dayanır. Korozyona karşı korumayı sağlayan bu mekanizmanın anlamı şudur; çeliğin yüzeyindeki pasif tabaka kırıldığında çelik bölgesel olarak korozif saldırıya uğrar ve bu şekilde aktif hale gelen bölgede metalin korozyonu devam eder. Bu yüzden oyuklanma ve çatlak korozyonu, gerilmeli ve tane sınırı korozyonu gibi bölgesel korozyon tipleri genellikle genel korozyondan daha kritiktir. Bu nedenlerle çeliğe ilave edilen bazı alaşım elementleri, bölgesel saldırılara oldukça etkili karşı koyabilme özelliği kazandırmaktadır. Oyuklanma ve çatlak korozyonuna karşı direnç, katı çözeltiler şeklindeki Cr, Mo, Ni içerikleri ile artırılır. Paslanmaz çelikler genellikle beş ana grupta toplanırlar: Bunlar; ferritik paslanmaz çelikler, martenzitik paslanmaz çelikler, çift fazlı (dublex) paslanmaz çelikler, çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler ve östenitik paslanmaz çeliklerdir.

Östenitik paslanmaz çelikler, paslanmaz çelik ailesi içinde en çok kullanım alanı bulanlardan bir tanesidir. Endüstride gıda, eczacılık, kimya ve petrokimya alanlarında geniş bir uygulama alanına sahiptirler. AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin en önemli olanlarıdır. 304'ün içerisinde %18 krom ve %10 nikel bulunur ve bu tür paslanmaz çelikler mükemmel korozyon direnci gösterirler. 316 bileşiminde %17 krom, %12 nikel ve %2,2 molibden içeren bir östenitik paslanmaz çelik türüdür ve 304'ün yetersiz kaldığı klorürlü ortamlar gibi çok daha ciddi korozif ortamlarda kullanım alanı bulurlar. Östenitik paslanmaz çeliklerin diğer önemli özelliklerinden biriside, genellikle çeliklerde görülenin tersine manyetik özelliği olmamasıdır.

Bazı sınırlamalar dışında diğerk çelikler için kullanılan tüm kaynak yöntemleri (oksi-gaz kaynağı hariç) paslanmaz çelikler içinde kullanılır. Paslanmaz çelikler, elektrik ark kaynağı, MIG kaynağı, TIG kaynağı, tozaltı ark kaynağı, plazma ark kaynağı ve lazer ışın kaynağı ile kaynaklanabilmektedirler. Günümüzde, paslanmaz çeliklerin birleştirilmelerinde en yaygın kullanılan kaynak yöntemi, TIG kaynak yöntemidir.

TIG kaynağı; kaynak için gerekli ısı enerjisi bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından sağlanan ve kaynak bölgesi de elektrodu çevreleyen bir nozuldan gönderilen asal gaz tarafından korunan kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde yüksek kalitede düzgün yüzeyli ve kusursuz kaynak dikişleri elde edilebilir. TIG kaynak yöntemi paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında mükemmel kaynak dikişleri verir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynak işlemlerinde genellikle koruyucu gaz olarak argon kullanılır. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak hızını arttırmak için ticari gaz karışımları da (argon-hidrojen) kullanılabilir. Ergimeyen tungsten elektrot (-) kutba bağlanır ve doğru akımla kaynak yapılır. Bu yöntem bütün kaynak pozisyonları için ve özellikle ince saclar ve kök pasoları için uygundur.

Bu çalışmanın amacı, endüstride büyük bir öneme sahip AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik malzemeleri, TIG kaynak yöntemiyle ile farklı koruyucu gazlar kullanılarak (saf argon, argon+% 1,5 H₂ ve argon+% 5 H₂) birleştirilerek, kaynak kabiliyetinin, mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması ve incelenmesidir.

Hazırlanan bu çalışma, genel itibarıyla literatür taraması ve deneysel çalışmalar olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Ancak, literatür taraması ve deneysel çalışmalar kendi içinde üç konu başlığı altında oluşturulmaya çalışılmıştır. Bunlardan birinci bölüm “Giriş” olup burada çalışmanın kısa özeti verilmiştir. İkinci bölümde, bu çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çelikleri de içine alan paslanmaz çelikler geniş bir literatür taramasıyla anlatılmıştır. Üçüncü bölümde bu çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan TIG kaynak yöntemi detaylı bir biçimde tanıtılmıştır. Literatür taramasının yapıldığı son bölüm olan dördüncü

bölümde ise metallerdeki yorulma, yorulmaya etki eden faktörler, yorulma tipleri ve kaynaklı bağlantılardaki yorulmalar anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, çalışmanın amacının belirlenmesinin yanında, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, kullanılan ilave metal, kaynak makinesi, kaynak parametreleri, kaynaklı numunelerden deney numunelerinin çıkartılması, kaynaklı bağlantılara uygulanan mekanik testler ve testlerin uygulanış parametreleri tanıtılmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde, kaynaklı numunelere uygulanan mekanik testlerden elde edilen veriler, kolay değerlendirilebilmesi için grafik olarak çizilmiş ve elde edilen grafikler değerlendirilmiştir. Ayrıca, optik mikroskop çalışmaları sonucu elde edilen görüntüler yorumlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, daha önceden yapılmış benzer çalışmalarla sebep-sonuç ilişkisi ile kıyaslanmıştır.

Deneysel çalışmaların nihai sonuçlarının açıklandığı yedinci ve son bölümde, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

BÖLÜM 2

PASLANMAZ ÇELİKLER

Günümüz endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren paslanmaz çelikler esas itibari ile demir, karbon ve çoğu zamanda nikel içeren alaşımlar olup başlıca özelliklerini kroma borçludurlar. Demir alaşımlarının korozyon dayanımlarını arttırmak için geliştirilmiş bir türü olan paslanmaz çeliklerin, uygulama alanlarının her geçen gün artarak devam etmesinin temel nedeni korozif ortamlarda, mekanik özelliklerini yitirmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleridir. Paslanmaz çeliğin paslanmazlık özelliğine sahip olabilmesi için en az %12 Cr içermesi gerekir [1].

Doğada yalnızca altın ve platin gibi metaller saf halde bulunur, normal metallerse diğer elementlerle bileşmiştir. Paslanma, bu yüzden doğal bir olaydır. Doğada demir cevheri şeklinde bulunan demir, bu yüzden dengesizdir ve paslanmak ister. Paslanmak saf demirin suyun mevcudiyetinde oksijenle birleşmesidir. Herhangi bir koruyucu kaplamaya sahip olmayan karbon çeliği üzerinde bir pas katmanı oluşur ve çeliğin kalan kısmını korur. Yüzeydeki pas katmanının alınması durumunda yeni bir pas katmanı oluşur. Bu durum paslanma olarak adlandırılır. Boyama, çinko kaplama (galvanizleme), epoksi reçinelerle yapılan çeşitli kaplamalar paslanma sürecini geciktirir veya durdurur [2].

Paslanmaz çelikteki kromun oksijene büyük bir yakınlığı vardır. Krom oksijenle karşılaştığında çeliğin yüzeyinde moleküler düzeyde bir krom oksit filmi oluşur. Bu filmin kalınlığı 130 Angstrom'dur. Bu durum, büyük bir binayı, mektup kağıdı kalınlığındaki çatı sacıyla yağmurdan korumak gibi bir şeydir [2].

Demir bazlı alaşımlarda ve diğer teknolojik olarak önemli alaşımlarda ortak özellik hem çözücü hem de çözen atomların oksitlenmesidir. Wagner, alaşımların

oksitlenmesini iki kategoride incelemiştir: (1) soylu (değişiklik göstermeyen elementler, Pt, Ag ve Au gibi) ana element ile alaşım elementi (Pt-Ni gibi) ve (2) soylu olmayan ana element ile soylu olmayan alaşım elementleri. Fe bazlı alaşımlar, Fe-Cr, Fe-Si, Fe-Cr-Al, Fe-Ni-Cr ve Fe-Cu alaşımları, bu ikinci katogoriye girmektedirler [3].

Koruyucu tabaka oluşturmanın amacı alaşımı, özellikle yüksek sıcaklıklarda, oksidasyona karşı korumaktır. Koruyucu tabakadan istenilen özellikler istenilen sıcaklık ve oksijen kısmi basınçlarında kararlı olması, çok yavaş büyümesi, yani düşük parabolik hızlara sahip olmalarıdır, bunu sağlayan oksitler, SiO₂, Cr₂O₃ ve Al₂O₃ dır [3].

Paslanmaz çelikler son yılların keşfi değildir. Faraday 1822 yılında, demir içine krom katıldığında atmosferik oksidasyona karşı oldukça dayanıklı bir alaşım oluştuğunu göstermiştir. 1838 yılında Mallet kromlu çeliklerin bazı ortamlarda korozyona dayanıklı özellik gösterdiğini keşfetmiştir. 19'uncu asrın sonuna kadar kromlu çelikler yalnızca sıcak sülfirik asit kapları için kullanılmıştır. 1904 yılında Monnartz krom ilave edilmiş çeliklerin oksitleyici ortamlarda pasifleşme özelliğinin daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur. Bu metallerin korozyon dayanıklılığının metal yüzeyinde oluşan pasif tabakadan ileri geldiğini ispatlamıştır. Fakat pasif filmin oluşması alaşımların her ortamda korozyona karşı dirençli olabilmeleri için yeterli değildir. Paslanmaz çelikleri ortama daha dirençli kılmanın yollarından birisi krom, nikel gibi ana alaşım elementlerinin oranını arttırmak, karbon içeriğini azaltmaktır [4].

2.1. PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilebilir. Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama ile ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır.

Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirler (Şekil 2.1.).

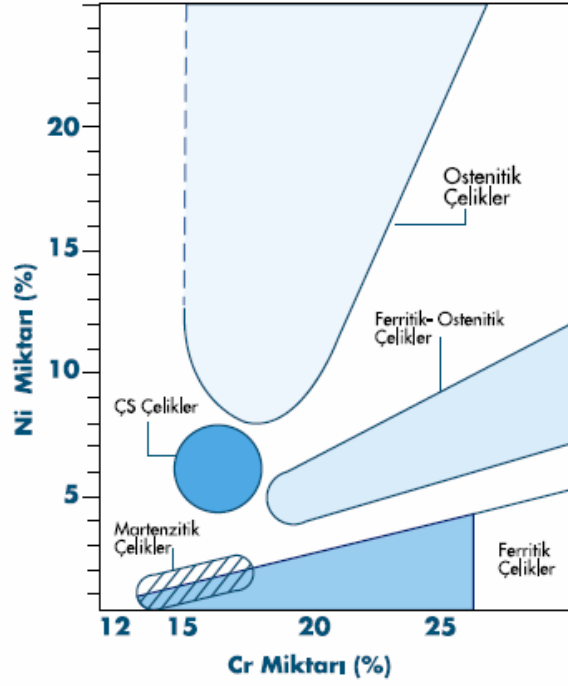
Paslanmaz çelikler beş ana grupta toplanırlar:

- 1-Ferritik paslanmaz çelikler
- 2-Martenzitik paslanmaz çelikler
- 3-Östenitik-Ferritik (Çift Fazlı) paslanmaz çelikler
- 4-Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler
- 5-Östenitik paslanmaz çelikler [5].

2.1.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, içeriğindeki alaşım elementlerinin özellikle karbonun miktarına bağlı olarak % 16-30 Cr içerirler, manyetikler, soğuk veya sıcak olarak haddelenebilirler [1].

Ferritik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında ferrit yapıdadır. Bu alaşımlar oda sıcaklığında manyetik ve bu özelliklerini Curie sıcaklığına (768 °C) kadar korurlar. Bu gruptaki paslanmaz çelikler %12-30 Cr içerir. Nikel ihtiva etmezler. Ayrıca karbon oranı %0,02 ile 0,12 gibi çok düşük değerdedir. % 12 Cr'lu ferritik paslanmaz çelikler; düşük maliyette üretim ve iyi korozyon direnci sağlar. Bu çeliklerde ferriti tamamen kararlı hale getirebilmek için yeterli miktarda krom ve diğer alaşım elementlerine ihtiyaç vardır. γ (Gama) bölgesini genişlettiği düşünülen karbonun çok düşük oranlarda tutulması gerekir. Bu sayede yüksek tokluk ve çekilebilirlik korunurken, östenit dönüşümü de engellenmiş olur. Isıl işlem görmüş paslanmaz çelikler çok taneli ve tek fazlı bir mikroyapıya sahiptir. Çekilebilirliğe ve tokluğa etki eden zararlı fazların oluşumunu engellemek için alaşımlandırılmış ferritik tanelerin yüksek sıcaklıkta (1100 °C'de) homojenleştirme ısıl işlemi gördükten sonra hızlı soğutulmaları gerekir [6]. Şekil 2.1.'de değişik paslanmaz çelik türleri için krom ve nikel miktarları verilmiştir.



Şekil 2.1. Değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları (ÇS: Çöktürme sertleşmesi uygulanabilen) [5].

Ekonomik olmalarından dolayı Ferritik Paslanmaz çelikler, çok çeşitli kullanım alanları bulmuşlardır. Bunlar;

- Cihaz yapımı,
- Otomotiv endüstrisi,
- Mutfak ve ev aletleri,
- Kimya ve petro-kimya endüstrisi,
- Gıda endüstrisi,
- Kaynar su kap ve boruları,
- İç ve dış mimari,
- Buhar üretim ve iletim donanımlarıdır [1].

Çizelge 2.1.Paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler [7].

Fiziksel Özellikler	Östenitik paslanmaz çelikler	Ferritik paslanmaz çelikler	Martenzitik paslanmaz çelikler	Çökelme ile sertleşebilen paslanmaz çelikler
Elastisite Modülü (GPa)	195	200	200	200
Yoğunluk (g/cm ³)	8,0	7,8	7,8	7,8
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	16,6	10,4	10,3	10,8
Isıl iletkenlik (W/mk)	15,7	25,1	24,2	22,3
Özgül Isı (J/k °K)	500	460	460	460
Elektriksel Direnç (µΩcm)	74	61	61	80
Manyetik Geçirgenlik	1,02	600 - 1100	700 - 1000	95
Ergime Aralığı (°C)	1375 - 1450	1425 - 1530	1425 - 1530	1400 - 1440

Krom oranı %20'den daha fazla olan ferritik paslanmaz çelikler 550 °C ve 850 °C arasındaki sıcaklıklarda uzun süre tavlандıklarında sigma (σ) fazı oluşur. Yüksek sıcaklıktaki uygulama sırasında ortaya çıkan bu durum, çeliğin sertliğini artırdığı için bazen yararlı olabilir, ancak gevrekleşmeye neden olduğu ve korozyon direncini azalttığı için genellikle istenmez [1].

Yüksek miktarlarda krom ve karbon içeren ferritik kromlu paslanmaz çeliklere, ITAB'ın özelliklerinin iyileştirilmesi bakımından 200 °C'lik bir ön tavlama uygulanabilir, diğer hallerde bu çeliklerin kaynağında bir ön tavlama uygulanmaz. Bu tür çeliklerde kaynaktan sonra 750 - 850 °C'lik bir tavlamaı takiben hızlı bir soğutma, ITAB'nin sünekliliğinin ve tanelerarası korozyona direncinin artmasına yardımcı olur [8]. Şekil 2.2'de ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapısı verilmiştir.



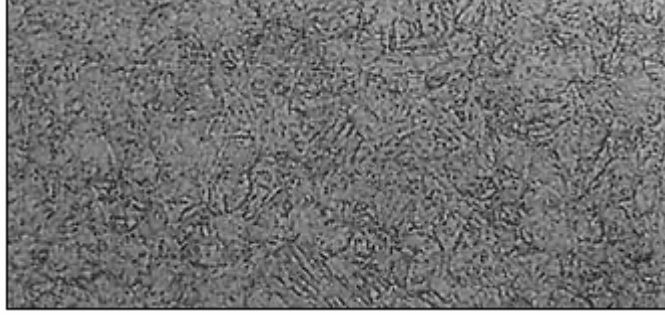
Şekil 2.2. Ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapısı [5].

2.1.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler % 11,5'tan fazla krom içeren ve yüksek sıcaklıklarda östenit yapısına sahip olan ve uygun bir soğutma işlemi ile de iç yapıları oda sıcaklığında martenzitik olan paslanmaz çeliklerdir. AISI Normuna göre 4XX serisi şeklinde gruplandırılan bu tür çelikler DIN ve TSE standartlarına göre yüksek alaşımlı çelikler grubu gibi simgelenilerek X10Cr13, X105CrMo17 tarzında işaretlenmektedir. TS 2535 paslanmaz çelikleri “çeşitli kimyasal etkilere karşı dayanıklı olan ve bileşiminde ağırlık olarak %11,5'tan çok krom içeren çeliktir” diye tanımlar iken, “martenzitik paslanmaz çelikleri, bileşiminde % 11,5 - 18 Cr bulunan ve ısı işlem ile sertleştirilebilen martenzitik yapılı paslanmaz çeliktir” diye tanımlamaktadır [1].

Martenzitik paslanmaz çeliklerin en önemli özellikleri ısı işlemle sertleştirilebilmeleridir. Sertleştirildikten sonra korozyon dirençleri en yüksektir. Ancak diğer paslanmaz çelik guruplarının gerisindedir. Tavlanmış durumdaki çelik içereceği yüksek miktardaki krom karbür nedeniyle Cr bakımından fakirleşir. Dolayısıyla yapıdaki Cr miktarı %12 nin altına düşerek korozyon dirençlerini zayıflatır. Ancak sertleştirilme esnasında tekrar eski özelliklerini kazanırlar. Dolayısıyla Cr miktarı azalarak karbür ayrışmaları önlenir. Bu çeliklerin selenyum (Se) ve kükürt (S) ilavesi ile talaşla işlenebilirlik özellikleri iyileştirilebilir. Bu çeliklerde yüksek Cr miktarı ile östenite tam dönüşüm sağlanır. Manyetikler ve süneklilikleri ortadadır. Sertleştirilmiş halde toklukları azdır. Dolayısıyla istenen tokluğa ulaşmak için çoğunlukla temperleme gerekir. Temperleme ile çok değişik

mukavemet değerleri elde etmek m¼mk¼nd¼r [9]. Şekil 2.3’de martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı verilmiştir.



Şekil 2.3. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı [5].

2.1.3. Östenitik-Ferritik (ift Fazlı) Paslanmaz elikler

Çift fazlı (Dubleks) elikler olarak da adlandırılan bu çeliklerin içyapısında her iki faz bir arada bulunur ve bu sayede Östenitik ve ferritik çeliklerin her birinin de Őtesinde iyileŐtirilmiŐ Özellikler g¼sterirler. B¼ylece Östenitik çeliklere kıyasla daha iyi gerilme korozyonu dayanımına; ferritik çeliklerle kıyaslandığında ise daha iyi tokluk ve s¼neklıęe sahip olurlar. Ayrıca, iki fazın bir arada bulunması halinde tavlannıŐ durumda bile 550 ile 690 MPa akma dayanımı g¼sterirler ki, bu değer, fazların tek baŐına bulunduğu t¼rdeki çeliklerin akma dayanımının yaklaşık iki katıdır [10].

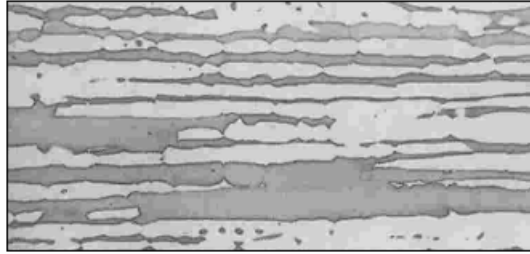
Dubleks ve s¼per dubleks paslanmaz elikler Őrt¼l¼ elektrod ile ark, TIG, MIG, tozaltı, Őz l¼ elektrod ile ark ve plazma ark kaynağı y¼ntemleri ile uygun ek kaynak metalleri ve uygun prosed¼rleri kullanılarak başarılı bir biçimde kaynak edilebildiği gibi, elektron iŐın ve lazer iŐın hatta katı hal kaynak y¼ntemleri ile de kaynak edilebilmektedirler [1].

Mevcut ticari kaliteler % 22-26 krom, % 4-7 nikel, azami % 4,5 molibden, yaklaşık % 0,7 bakır ve volfram ile % 0,08 - 0,35 azot içerirler. Başlıca d¼rt ana kalitesi vardır. Bunlar:

- (1) Fe-23Cr-4Ni-0,1N (2) Fe-22Cr-5,5Ni-3Mo-0,15N
(3) Fe-25Cr-5Ni-2,5Mo-0,17N-Cu (4) Fe-25Cr-7Ni-3,5Mo-0,25N-W-Cu.

Bunlardan dördüncüsü süper-dubleks diye de adlandırılır. Bu türdeki çelikler üzerinde araştırma ve deneyler devam etmekte ve mekanik özellikler ile korozyon dayanımında sürekli iyileşmeler sağlanmaktadır. Östenitik-ferritik çelikler ferrit yapıcı elementlerin oranına bağlı olarak %10'a kadar delta-ferrit içerirler. İlk önce katılaştan bu faz, içyapının ince taneli olmasını sağlar. Sıcak çatlama duyarlılığını artıran fosfor, kükürt, silisyum gibi elementler de büyük ölçüde ferrit kafesi içinde çözünerek östenit fazından uzaklaşır ve böylece bu çeliklerde sıcak çatlama tehlikesi azalır [10].

Dubleks çeliklerin, tavsiyelere göre uygulama yapıldığında, kaynak kabiliyetleri de iyidir. Genellikle petrol, petrokimya, kimyasal teçhizat imalatında, arıtma tesislerinde ve deniz teknolojisinde kullanılır. Kaynaksız halde 280°C, kaynaklı halde ise 250°C sıcaklıklara kadar güvenle kullanılabilirler [10]. Şekil 2.4'de östenitik – ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapısı verilmiştir.



Şekil 2.4. Östenitik-ferritik (Çift fazlı) paslanmaz çeliklerin mikroyapısı [5].

2.1.4.Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler bakır, molibden, niyobyum, titanyum ve alüminyum gibi alaşım elementleri içeren, bu elementlerin bir veya birkaçının etkisi ile çökeltme sertleşmesi (yaşlandırma) gösteren Fe-Cr-Ni'li paslanmaz çelikler ailesinin bir grubudur [1].

Çökeltme sertleşmesi, prensip olarak alaşımı çözeltiye alma tavından sonra uygulanan hızlı soğutmayı takip eden bir yaşlandırma işlemidir. Yukarıda belirtilen ve çeliğin içinde bulunan alaşım elementleri, çözeltiye alma tavi sırasında çözünürler ve yaşlandırma işlemi sırasında da çok küçük (submikroskobik) zerrecikler halinde çökeltmek matrisin sertlik ve mukavemetini artırırlar. Bu işlem sonucu çelik, martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine ve AISI 304 (X5CrNi1810) türü östenitik paslanmaz çeliğin korozyon direncine sahip olabilmektedir. Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, çözeltiye alma fazlaşmasından sonraki işlemler sonucu çeliğin yapısal değişimine ve özelliklerine bağlı olarak üç türde gruplanmaktadır. Bunlar;

- 1-Yarı östenitik çökeltme paslanmaz çelikler
- 2-Östenitik çökeltme paslanmaz çelikler
- 3-Martenzitik çökeltme paslanmaz çelikler [1,11].

2.1.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler

%16-25 Cr ve %20'ye kadar Ni içeren yüzey merkezli kübik (ymk) kristal yapısına sahip çelikler östenitik paslanmaz çeliklerdir. 18 Cr / 8 Ni'li östenitik çeliklerin ve bunların türevlerinin erime sıcaklıkları içerdikleri karbon miktarına göre 1400 ile 1430 °C arasında değişir. Bazı elementler eklenmesiyle bu sıcaklık düşürülebilir. Östenitik içyapı dönüşüm göstermediği için normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemi uygulanamaz. Kromun ferrit yapıcı etkisi östenit yapıcı alaşım elementleri katılarak giderilir. Östenit yapıcı temel element nikelidir. Sertlik, sadece soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Manyetik olmayan bu tür paslanmaz çelikler AISI 3XX serisi içinde gruplandırılmalarının yanı sıra DIN 17440, EU 88, EU 95 ve TS 2535'e göre yüksek alaşımlı çelikler halinde olduğu gibi simgelenirler [12,13].

TS 2535 östenitik paslanmaz çelikleri "bileşiminde korozyona karşı krom ve östenitik bir yapı sağlamak amacıyla nikel bulunan, oda sıcaklığında manyetik olmayan ısıl işlem ile sertleştirilemeyen soğuk şekillendirmeye elverişli paslanmaz çelikler" şeklinde tanımlanmaktadır [1].

304 (X5CrNi1810) ve özellikle bunun düşük karbonlu modeli olan 304L tipi paslanmaz çelikler kaynaklanabilme özelliği sayesinde taşıma tanklarında ve kaynatma kazanlarında tercih edilir. 304 tipi çeliğin yeterli olmadığı koşullarda kimyasallara ve çukurcuklanmaya karşı dirençli olan 316 ve 316L tipi paslanmaz çelikler kullanılır. 316 (%2-4 molibden içeren) tipi paslanmaz çelikler düşük karbonlu olarak 316L, dayanıklılığı arttırmak için azot eklenmesi ile 316N, işlenebilirliği iyileştirmek amacıyla sülfür eklenmesiyle 316F ve yüksek karbon değerlerinde 316H olarak adlandırılırlar. Paslanmaz çelikler metalurjik yapılarına göre östenitik, ferritik ve martenzitik olarak üç temel sınıfa ayrılırlar. Östenitik sınıfın böyle adlandırılmasının sebebi oda sıcaklığında östenitik fazın nikel elementi sayesinde kararlı olarak bulunmasıdır. Bunun için %18 krom, %8 nikel paylaşımı ideal koşuldur [14]. Çizelge 2.2’de yaygın olarak kullanılan östenitik paslanmaz çelik türleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Yaygın olarak kullanılan östenitik paslanmaz çelik türleri [1].

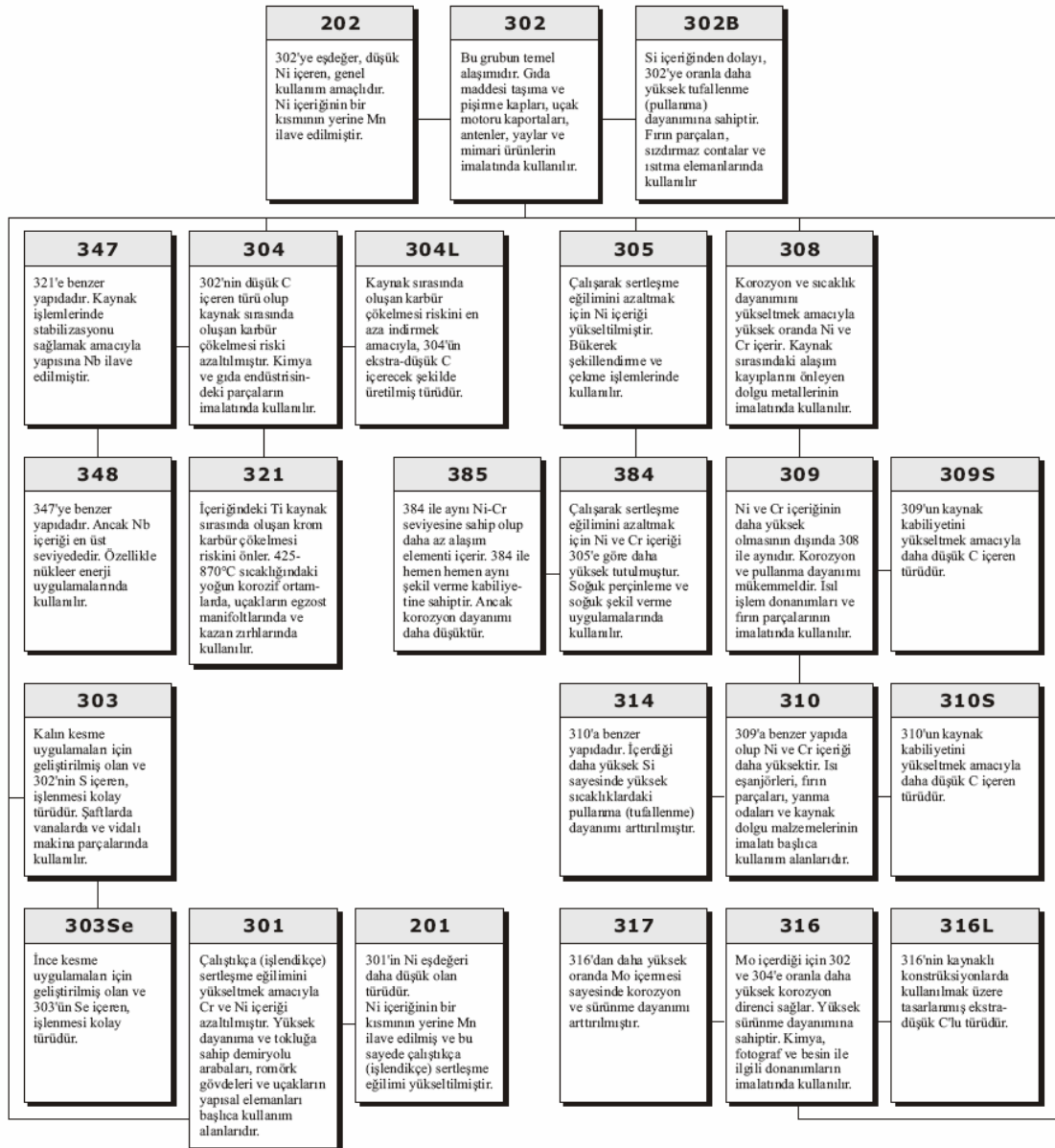
ASTM AISI	EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Adı
301(S30100)	1.4310	X10CrNi18 - 8
304(S30400)	1.4301	X5CrNi18-10
304L(S30403)	1.4306 1.4307	X2CrNi 19-11 X2CrNi 18-9
310(S31000)	1.4841	X15CrNiSi 25-20
310S(S31008)	1.4845	X12Ni 25-21
316(S37600)	1.4401 1.4436	X5CrNiMo 17-12-2 X3CrNiMo 17-13-3
316L(S31603)	1.4404 1.4432 1.4435	X2CrNiMo 17-12-2 X2CrNiMo 17-12-3 X1CrNiMo 18-14-3
321(S32100)	1.4541	X6CrNiTi 18-10
347(S34700)	1.4550	X6CrNiNb 18-10

Östenitik paslanmaz çelikler düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerden daha zor işlenirler. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere göre dayanımlarının ve sünekliklerinin yüksek olması, yüksek deformasyon sertleşme eğilimleri ve düşük

ısı iletkenlikleri östenitik paslanmaz çeliklerin zor işlenmelerinin nedenleri olarak kabul edilir [15].



Şekil 2.5. Östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı [5].



Şekil 2.6. Östenitik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları ve özellikleri [7].

Şekil 2.5’de östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı, Şekil 2.6’da östenitik paslanmaz çeliğin kullanım alanları ve özellikleri verilmiştir.

2.1.5.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünün kaynak kabiliyeti yüksektir ve ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ve lazer ışın kaynakları, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler [10].

Paslanmaz çeliklerin yüksek miktarlarda krom içermeleri kaliteli bir kaynak işlemi için giderilmesi gereken oksit tabakalarının oluşumunu ortaya çıkarır. Yüzeyde bulunan kirlilikler, paslanmaz çeliklerin kaynağını, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağından daha çok etkiler. Östenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak açısından genellikle yararlıdır. Kaynak sırasında düşük ısı girdisi ile çalışılması önerilir. Çünkü oluşan ısı, bağlantı bölgesinden, karbon çeliklerinde olduğu kadar hızlı bir şekilde uzaklaşmaz. Özellikle, östenitik paslanmaz çelikler tavlama veya kaynak işlemleri sırasında, yeteri kadar bir süre 500-800 °C aralığında kalırlarsa, tanelerarası korozyona duyarlı hale gelirler. Bu tip korozyon yapının dış görünüşünde bir değişiklik olmaksızın devam eder ve farkına varılmadan malzemeyi zayıflatır, bu yüzden çok tehlikelidir [10,14,16].

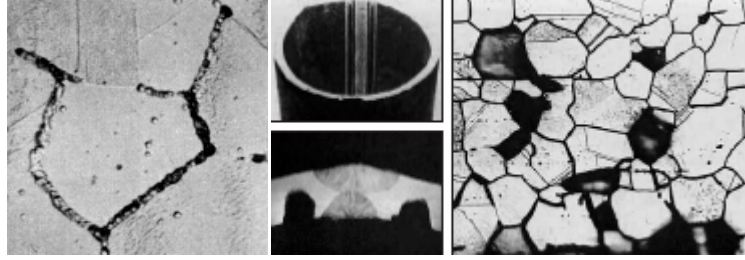
Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca üç kaynak problemi ile karşılaşılır. Bunlar sırası ile;

- 1- Isının etkisi altında kalan bölgede "Krom Karbür" oluşması sonucu meydana gelen hassas yapı,
- 2- Kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu,
- 3- Yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "Sigma Fazı" oluşumu riskleridir [7].

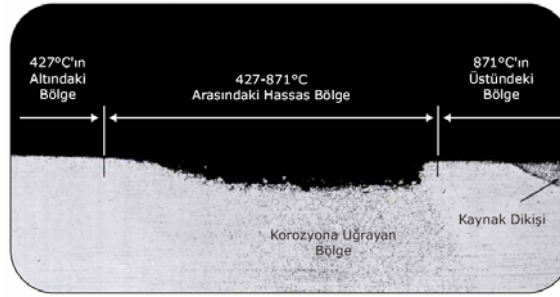
Krom Karbür Oluşumu

Isının etkisi altında kalan bölgenin 427-871°C sıcaklığa kadar ısınan bölümünde yeralan tane sınırlarında çökelen ve taneler arası korozyonu hızlandıran krom

karbürler burada "Hassas Yapı" oluşmasına neden olurlar (Şekil 2.7). Bu oluşum sırasında bir miktar krom, çözültüden tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bunun sonucunda bu bölgesel alanlarda krom miktarında azalma olacağı için korozyon dayanımı düşer (Şekil 2.8).



Şekil 2.7. 18Cr/8 Ni (0,10 C)'lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökmesi (x 1200) [7].



Şekil 2.8. Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon [7].

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 [7].

Bu konuda uygulanan bir başka yöntem de çeliğin stabilizasyonudur. Bu da, kroma karşı karbondan daha yüksek ilgiye sahip bir elementin, çeliğin bileşimine katılması ile gerçekleştirilir; bu şekilde çeliğin birleşimindeki karbonla bu yeni element karbür oluşturur ve dolayısı ile iç yapının bazı bölgelerinde ortaya çıkan krom azalması

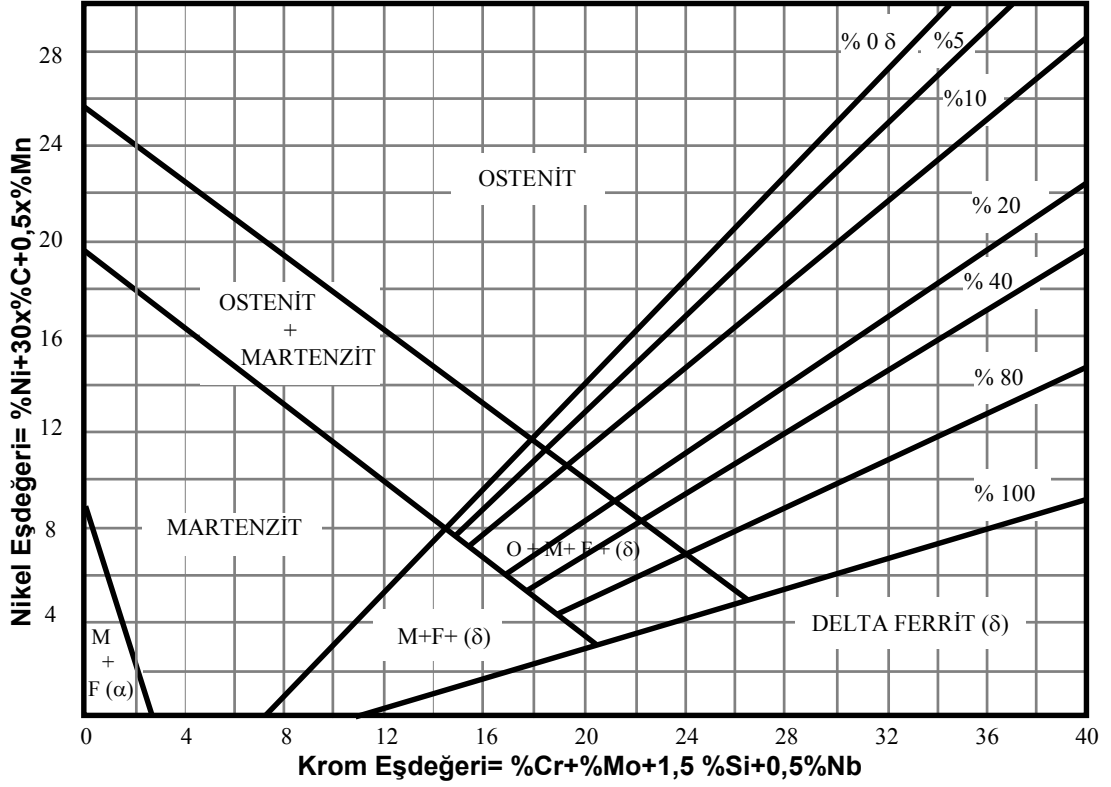
meydana gelmez. Genelde stabilizasyon için ilave edilen elementler titanyum, niobyum ve tantal'dır [17].

Sıcak Çatlak Oluşumu

Sıcak çatlamanın temel nedeni; kükürt ve fosfor gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük erime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bu bileşimler, eğer kaynak dikişinde veya ısının etkisi altında kalan bölgede bulunuyorsa, tane sınırlarına doğru yayılırlar ve kaynak dikişi soğurken ve çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlama neden olurlar [7].

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin üretimlerinde, sıvı halden itibaren katılaşma başlayınca, östenit ve δ -ferrit taneleri oluşmaya başlar. Bu ferrit östenitin dönüşümü sonucunda ortaya çıkan ferritten farklıdır. Katılaşma normal olarak ingota dökülen bir sıvı metalin katılaşmasında görülen hızla oluştuğu zaman bu çeliklerin yapısı östenit taneleri arasına serpilmiş δ -ferrit taneciklerinden oluşur. Bu fazın oluşumu çelik üreticilerinin istemediği bir durumdur; zira malzemenin sıcak şekillendirilmesini zorlaştırır ve malzemedeki sıcak çatlakların oluşumunu teşvik eder [18].

Sıcak çatlak oluşumu, dolgu metalinin ve ana metalin kimyasal analizinin östenitik matrikste düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapı elde edilecek şekilde ayarlanmasıyla önlenir. 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 [7]. Şekil 2.9'da paslanmaz çelik kaynak metalinde mikroyapının belirlenmesinde kullanılan Schaeffler diyagramı verilmiştir.



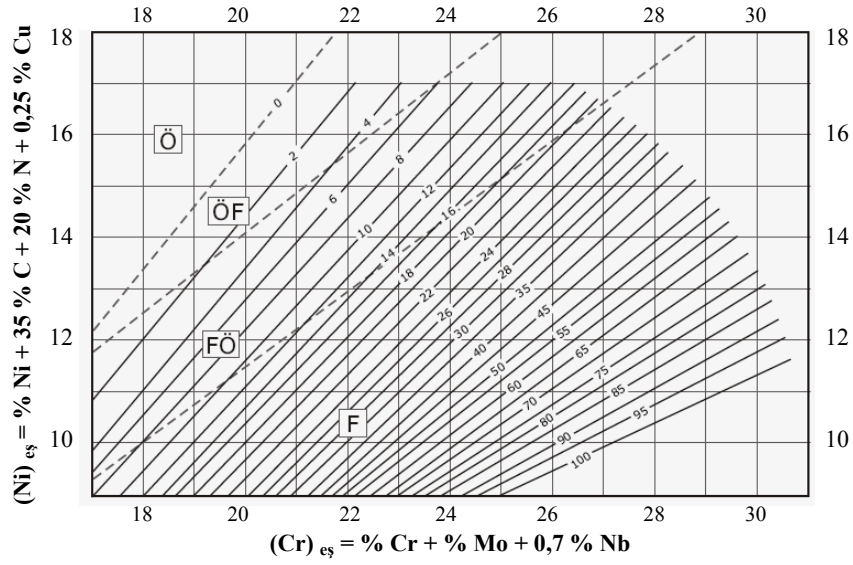
Şekil 2.9. Paslanmaz çelik kaynak metalinde mikroyapının belirlenmesinde kullanılan Schaeffler diyagramı [19].

$$(Cr)_{es} = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb \quad (2.1)$$

$$(Ni)_{es} = \%Ni + 30\%C + 0.5\%Mn \quad (2.2)$$

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 [7].

1973 WCR-DeLong Diyagramı'nı Schaeffler Diyagramı'ndan ayıran en önemli özellik nikel eşdeğeri hesaplanırken yapıdaki azot (N) miktarının da gözönüne alınması ve sonucun ferrit yüzdesine ek olarak "FN - Ferrit Numarası" ile belirtilmesidir [7].



Şekil 2.10. Katılaşıma faz sınırlarını da içeren WRC-1992 Diyagramı [7].

$$(Ni)_{es} = \%Ni + 30\%C + 30\%N + 0,5\%Mn \quad (2.3)$$

Ferrit numaraları, özellikle düşük seviyelerde, ferrit yüzdeleri ile yakın değerlere sahiptir. Günümüzde en sık kullanılan ve en sağlıklı sonucu veren diyagram Şekil 2.10'da belirtilen WCR-1992 Diyagramı'dır. ASME şartnamelerinin 1994-1995 kış döneminde yayınlanan eklerinde WCR-1992 Diyagramı WCR-DeLong Diyagramı'nın yerini almıştır. Kabul edilen bu en son diyagramda krom ve nikel eşdeğerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır [7].

$$(Cr)_{es} = \%Cr + \%Mo + 0,7\%Nb \quad (2.4)$$

$$(Ni)_{es} = \%Ni + 35\%C + 20\%N + 0,25\%Cu \quad (2.5)$$

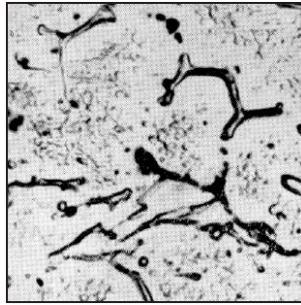
Görüldüğü gibi nikel ve krom eşdeğerleri Schaeffler ve WCR-DeLong Diyagram'larındakinden daha farklı olarak hesaplanmaktadır. Ferrit numarası diyagramın nikel eşdeğerini gösteren ekseninden sağa doğru yatay, krom eşdeğerini gösteren ekseninden yukarıya doğru dikey çizgiler çizerek bulunur. Yatay ve dikey doğruların kesiştiği noktadan geçen çapraz çizgiler ferrit numarasını vermektedir [7].

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 [7].

Sigma (σ) Fazı Oluşumu

"Sigma Fazı", çok sert (~700-800 Vickers), manyetik olmayan ve gevrek yapıya sahip metallerearası 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 [7].

Sigma fazı ile krom karbür çökmesi birbirinden tamamen farklı iki oluşumdur. Sigma fazı kırılabilirliği 650-850°C sıcaklıklar arasında görülür ve bu sıcaklık aralığında kalma süresi ile oluşan yapının yoğunluğu arasında yakın bir ilişki vardır. Faz dönüşüm hızının en yoğun olduğu sıcaklık 720°C civarındadır. Yapıda bulunan ferrit miktarının % 3-4 ile sınırlı tutulması durumunda, östenit tanelerinin etrafı ferrit ile çevrilemeyecek ve kırılabilirlik riski önlenecektir. Buna karşın ferrit miktarının % 12'yi geçmesi ile birlikte esneklik kabiliyeti hızla azalacaktır (Şekil 2.11) [7].



Şekil 2.11. 20 Cr/10 Ni'li ve %3 ferrit içeren paslanmaz çelik (x1700) [7].

Bir çalışmada ferrit içerikleri % 3 ile % 12 arasında değişen ve 20 Cr / 10 Ni / 1 Nb'lu bir elektrodun kullanıldığı beş farklı deney parçası hazırlanmıştır. Daha sonra bu deney parçaları 980-1100°C arasındaki farklı sıcaklıklarda östenitleştirilmiş, 730°C'da 300 saat boyunca tutulmuş ve sigma fazı oluşturularak kırılabilir hale

getirilmiştir. Buradan da görülmektedir ki; ferrit miktarındaki artışa bağlı olarak esneklik (darbe dayanımı) azalmakta ve ferrit yüzdesi ne olursa olsun östenitleştirme sıcaklığındaki artış dikiş üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır [7].

Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'de, 25 Cr / 20 Ni'li, ısıya dayanıklı bir elektrodla gerçekleştirilen ve farklı zaman dilimleri süresince dönüşüm sıcaklığında tutulan bağlantılara ait içyapı fotoğrafları yer almaktadır. Görüldüğü gibi, parçanın 780°C'da 100 saat süre ile tutulması durumunda sigma fazı çizgileri oluşmaya başlamıştır (Şekil 2.12.) ve yine aynı sıcaklıkta gerçekleştirilen 500 saatlik bir tutma işlemi sonucunda ise çökelen sigma fazı izlerinin çok daha yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 2.13.).

Kaynak işlemi sırasında banyonun çok hızlı soğuması ve katılaşması nedeni ile sigma fazı kolay oluşmaz. Bu sorun esas olarak ferrit içeriği çok yüksek olan bir kaynaklı bağlantının kaynak işleminden sonra uzun süre yüksek sıcaklık değerlerinde kalacak bir çalışma ortamlarda kullanılması durumunda karşımıza çıkar [7].



Şekil 2.12. 25Cr/20Ni (0,10C)'lu elektrod kullanılmıştır. 780 °C'da 100 saat ısıtım işlemi uygulanmış ve sigma fazı çizgileri oluşmaya başlamıştır (x1600).

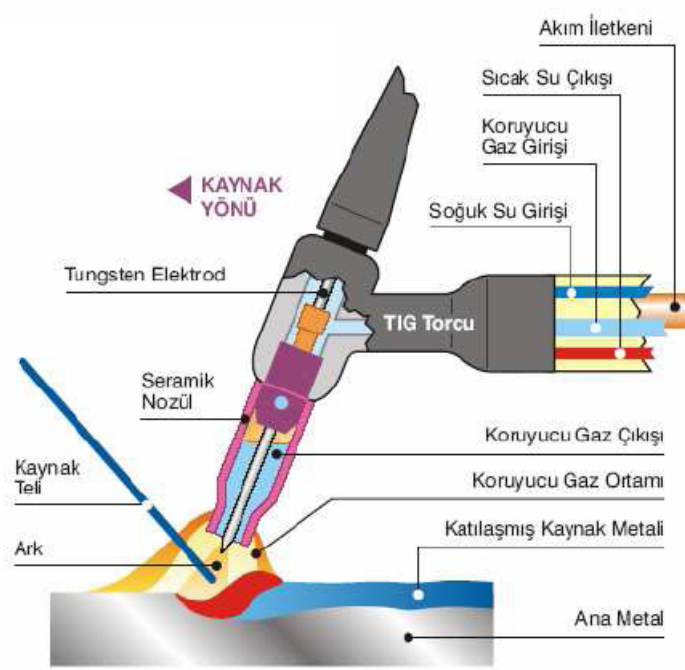


Şekil 2.13. 25 Cr/20 Ni (0,10C)'lu elektrod kullanılmış, 780 °C'da 500 saat ısıl işlem uygulanmış ve sigma fazı çizgileri artarak iyice belirgin hale gelmiştir (x1600) [7].

BÖLÜM 3

TIG KAYNAĞI

TIG kaynağı; kaynak için gerekli ısı enerjisi tungsten bir elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından sağlanan ve kaynak bölgesinin de elektrodu çevreleyen bir nozuldan gönderilen asal gaz tarafından korunan kaynak yöntemidir [20-24]. Şekil 3.1’de kaynak yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. TIG Kaynak yönteminin şematik gösterimi [20].

Koruyucu bir asal gaz atmosferi altında kaynak yöntemi uygulaması ilk defa İkinci Dünya savaşında uçaklarda kullanılan bazı magnezyum alaşımlı parçaların birleştirilmesiyle başlamıştır. Çok kısa bir süre içinde bu yöntemin çeşitli sahalarda kullanılabilmesi ve diğer yöntemlerle kaynatılması zor metal ve alaşımların kaynağı için uygunluğu anlaşılmış ve bugün en çok aranan yöntemlerden birisi haline gelmiştir [25].

TIG kaynağında başlangıçta helyum daha sonraları ise argon gazı kullanılmaya başlamıştır. Hafif metal ve alaşımlarının kaynağında kullanılan argon gazının çok saf olması gerekir. Aksi takdirde gaz içerisinde bulunabilecek su buharı, oksijen ve azot gibi safiyetsizlikler kaynağın kalitesini düşürür [25-27].

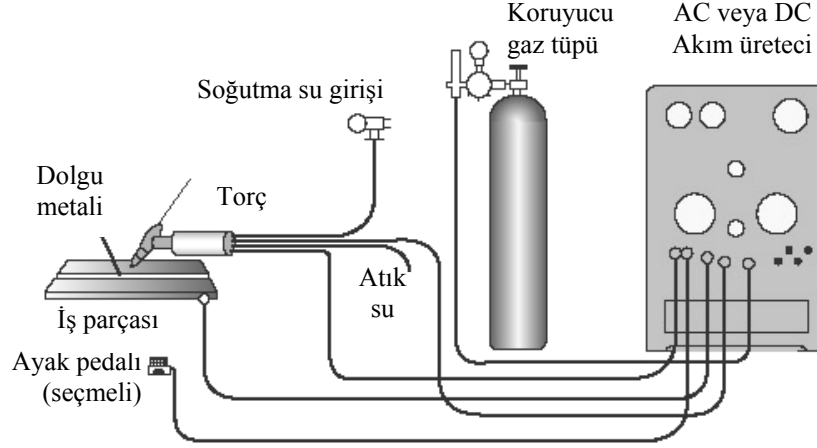
TIG kaynak yönteminin kaynakçı tarafından kullanılması kolay olup prensip olarak gaz eritme kaynağına oldukça benzemektedir ve çok geniş, uygulama alanına sahiptir. Bu yöntemde erimeyen elektrot kullanıldığından bazı durumlarda ilave kaynak metaline gerek olmadan birleştirme yapılabilir. Gerektiğinde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

Bir TIG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur [28]:

- 1- Kaynak torcu.
- 2- Kaynak akım ve kumanda şalter kablosunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli, torç bağlantı paketi.
- 3- Kaynak akımının, gaz akışının ve gerektiğinde soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışını, yüksek frekans ünitesini, arkın tutuşmasını ve alternatif akım ile çalışma halinde arkın sürekliliğini sağlayan devreleri de bünyesinde toplayan kumanda dolabı.
- 4- Kaynak akım üretici.
- 5- Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü.

TIG kaynak yöntemi prensip olarak her kalınlık ve her pozisyondaki parçalara uygulanabilmekte olup, daha kalın parçalar için uzun süreli işlemler gerektiğinden ekonomik olmamakta ve tercih edilmemektedir. Bundan dolayı 7 mm'den daha kalın parçaların birleştirilmesinde önerilmemekle beraber bu kaynak yöntemi ile çok kaliteli ve daha emniyetli birleştirmeler sağlanabilmektedir. Bu nedenle uçak ve uzay endüstrisinde çok geniş kullanım alanı bulmaktadır. Akım şiddeti azaltılarak diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi imkânsız olan çok ince saclar bu yöntemle

kaliteli bir şekilde birleştirilebilmektedir. Hatta 0.1 mm kalınlığına sahip parçalar bile kaynak edilebilmektedir. Şekil 3.2’de TIG kaynak donanımının şeması verilmektedir.



Şekil 3.2. TIG kaynak donanım şeması

Şekil’den de görüldüğü gibi bu donanım; akım üretici, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç debi ayar donanımı, torç ve kontrol panelinden oluşmaktadır. Yüksek akım şiddetleri durumlarında torcu soğutmak için soğutma suyu devresi kullanılmaktadır. TIG kaynak yönteminde el ile kaynak yapıldığı gibi yarı otomatik ve tam otomatik olarak kaynak yapılabilir [29].

3.1. TIG KAYNAĞI AKIM ÜRETEÇLERİ

Günümüzde TIG kaynak yönteminde, akım üretici olarak transformatör ve redresör türleri, jeneratör ve alternatörlere nazaran çok daha yaygın bir kullanma alanına sahiptir. Redresörler, kaynak akımı-gerilimini ayarlayan bir transformatör ve bu akımı doğrultan bir redresörden oluşmuşlardır. Bu neden ile hem doğru akım hem de alternatif akım üreten bu tür üreteçler ile her tür metal ve alaşımın kaynağını yapmak mümkün olabilmektedir. Cihaz üzerindeki bir şalter yardımı ile kaynak akımı ister transformatör çıkışından, istenir ise de redresör çıkışından alınabilir; redresör çıkışından akım çekme halinde, bir başka şalter yardımı ile düz kutuplama (torç negatif kutupta) veya ters kutuplama (torç pozitif kutupta) bağlantılarından bir tanesi seçilebilir. Bu seçimi kaynakçı, kaynak yapacağı metal ve alaşımın türüne göre belirler. TIG kaynağında akım üreteçleri, düşen tipte bir Akım-Gerilim

karakteristiğine sahiptirler. Düşen tipte, gerilmelerdeki büyük ark boyu değişimleri, akım şiddetini sadece önemsiz miktarlarda etkilemektedirler. Genel olarak, düşen gerilim/akım (volt-amper) karakteristiğine sahip güç ünitelerinin kullanılması, doğru akım (DC) ve elektrotun negatif (-) kutuba bağlanması tercih edilir. Bunun yanında, paslanmaz çeliklerin kaynağında, ark temizleme etkisinden dolayı bazen alternatif kaynak akımı da (AC) kullanılmaktadır [30].

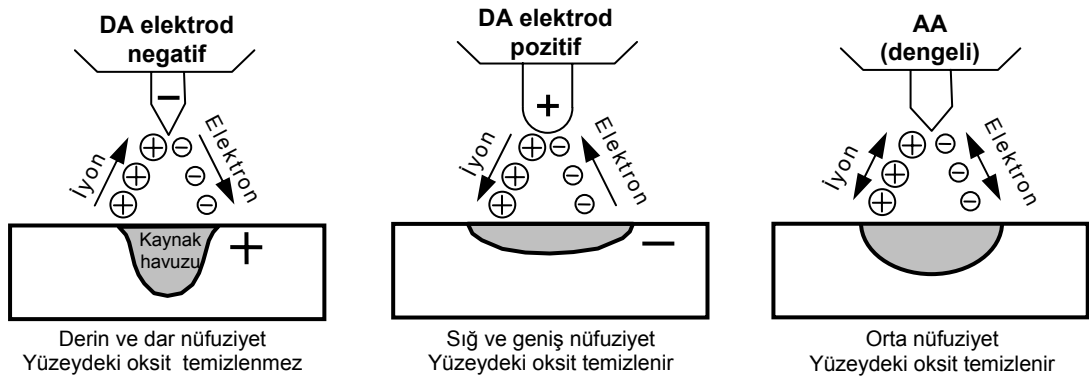
Tüm ark kaynak yöntemlerinde, kaliteli bir kaynak dikişi eldesi ancak kararlı bir ark ile gerçekleşebildiğinden, kaynak makinesinin seçimine özen göstermek gereklidir, TIG kaynak yönteminde, arkın kararlılığı, kutuplama ve akım türü diğer ark kaynak yöntemlerinden daha etkin bir biçimde kaynak dikişinin kalitesini etkilediğinden bu konuda daha büyük özen göstermek gereklidir.

TIG kaynak yönteminde, kaynatılan malzemenin türüne göre hem alternatif akım hem de doğru akım kullanıldığından, modern kaynak makineleri her iki tür akımı da gerektiğinde sağlayabilecek türde tasarlanmışlardır. Son yıllarda inverterler TIG kaynak yönteminde yaygın bir uygulama alanı bulmuştur; bu akım üreteçleri daha hafif oldukları gibi daha kararlı bir ark oluşturduklarından pek çok kullanıcı tarafından tercih edilmektedirler. Ayrıca, son yıllarda geliştirilen darbeli akım yönteminde ise, kaynak akımı ayarlanan frekansta bir alt ve bir üst değer arasında değiştirilerek iş parçasına aktarılan ısı girdisi minimumda tutularak, özellikle ince parçalarda çarpılma azaltılmıştır. Bu değişimin darbe frekansı saniyede 1 ila 5 arasındadır. Yüksek akım darbelerinde kaynak yerine fazla ısı verilmiş olur ve böylece malzeme ergir. Düşük akım devrelerinde ise, kaynak yerine az miktarda ısı verilir. Böylece kaynak banyosu yavaş bir şekilde soğur ve kısmen de katılaşır. Sonuçta, kaynak yerine verilen ısı miktarı zaman aralıkları ile akım şiddetini değiştirmek suretiyle istenilen şekilde ayarlanabilir.

Kural olarak TIG kaynak usulünde alüminyum, magnezyum gibi alaşımların kaynağında alternatif akım (AC), bakırın kaynağında ise sadece doğru akım (DC) kullanılır, diğer malzemelerin kaynağında akım cinsinin hissedilir bir tesiri olmamakla birlikte genelde DC akımı kullanılır. Negatif kutup soğuk kutuptur ve bu nedenle kaynak sırasında tungsten elektrodun akım yüklenebilirliği ve dayanıklılığı

pozitif kutuplamasına göre negatif kutuplanması halinde çok daha yüksektir. Alternatif akımda kullanım halinde tungsten elektrodun akım yüklenebilirliği, doğru akımda negatif kutuplamadaki değerine erişemez ancak pozitif kutuplamaya göre birkaç kat daha yüksektir [28].

Yüksek sıcaklıkta ergiyen oksit tabakası içeren malzemelerde katı oksit tabakası, kaynak banyosunun akmasını ve damlaların üzerine düştüğü paso ile birleşmesini engeller. Yaklaşık 2050 °C'lik ergime sıcaklığıyla alüminyumoksit, ergitme kaynağında çok zor parçalanan oksitlerden biridir. TIG kaynağında bu oksit tabakasının uzaklaştırılması arktaki yük taşıyıcılarla sağlanır. Yük taşıyıcılar, elektronlardan ve elektronların ayrılmasıyla oluşan pozitif yüklü gaz iyonlarından oluşur. Elektronlar büyük bir hızla hareket eder ancak, kütlelerinin küçüklüğü nedeniyle kinetik enerjileri azdır. Bu nedenle sadece iyonlar, esas malzeme yüzeyine çarptıklarında oksit tabakasını parçalamak için yeterli enerjiye sahiptir.



Şekil 3.3. TIG kaynağında arktaki yük taşıyıcıların üç farklı hareketi [31].

Şekil 3.3'de arktaki yük taşıyıcıların hareketleri şematik olarak verilmiştir. Elektronlar katottan anoda doğru yer değiştirir ve burada çarpma sonucu ısı üretilir. İyonlar ise ters yönde hareket eder. Ancak iyonların kinetik enerjisi, sadece elektrod anod ve parça da katod olduğunda kaynak banyosunun yüzeyi üzerine uygulanabilir. Fakat bu şekilde temizleme etkisi önemli oranda düşük olur. Çünkü pozitif kutuplanmış elektrodun kuvvetli bir şekilde ısınması, akım şiddetini zayıflatır. Alternatif akım kullanılması ile bu durumun iyi bir ortalaması elde edilebilir [31].

3.2. TIG KAYNAK ELEKTROTLARI

TIG kaynak yöntemi ile diğer kaynak yöntemleri arasında en önemli fark, ek ilave elektrotun kullanılması ve elektrotun sadece ark oluşturma işlemi gerçekleştirilmesidir. Bundan dolayı erime sıcaklığı 3350 °C olan tungsten elektrot kullanılmaktadır [32]. Bu elektrotlar yüksek ergime sıcaklığına sahip olmakla beraber çok önemli bir elektron yayıcı olup yayınan elektronlar ark sütunu içinde elektrik akımı oluşturmakta ve ark sütunundaki atomları iyonize ederek arkın kararlılığı sağlamaktadır. TIG kaynak elektrotları AWS (Amerikan Kaynak Derneği), DIN (Alman Standart Enstitüsü) göre sınıflandırılmış ve bunların birbirinden kolayca ayırt edilebilmesi için uç kısımları çeşitli renklere boyanarak belirlenmesinde farklı renk kodları kullanılmıştır [33]. Bu renk ve kodlar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri, renk kodları ve bazı özellikleri

	İşareti	Oksit İçeriği (%)	Katkıskar (%)	Renk Kodu	Bazı özellikleri
Katkısız	W	-	<0.20	Yeşil	Alternatif akımda ark kararlılığı iyi, elektrod ucu düzgün yarı küre şeklinde olmalı
Toryum oksit	WT 10	0.90-1.20 ThO ₂	<0.20	Sarı	Toryum oksit oranı yükseldikçe, elektron çıkışında açığa çıkan enerji azalmaktadır. Bu nedenle tutuşma özellikleri, dayanma süresi ve akım yüklenebilme kapasitesi artmaktadır.
Toryum oksit	WT 20	1.80-2.20 ThO ₂	<0.20	Kırmızı	
Toryum oksit	WT 30	2.80-3.20 ThO ₂	<0.20	Leylak	
Toryum oksit	WT 40	3.80-4.20 ThO ₂	<0.20	Portakal	
Zirkonyum oksit	WZ 4	0.30-0.50 ZrO ₂	<0.20	Kahverengi	Kaynak banyosu elektrod tarafından daha az kirletilir.
Zirkonyum oksit	WZ 8	0.70-0.90 ZrO ₂	<0.20	Beyaz	
Lantan oksit	WL 10	0.90-1.20 LaO ₂	<0.20	Siyah	Toryum oksitli elektrotlara oranla daha uzun dayanma süreleri. (plazma ark yöntemleri)

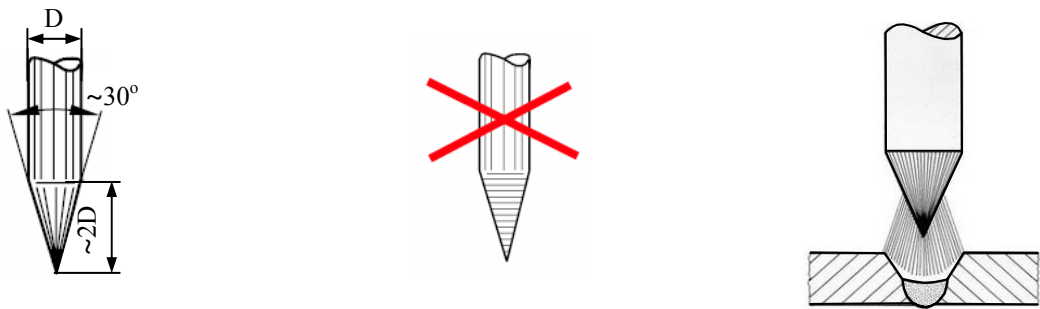
DIN 32528’de TIG kaynak elektrotlarının çapları 0.5, 1.0, 1.6, (2.0), 2.4, (3.0), 3.2, 4.0, (5.0), (6.0), 6.4 ve 8.0 mm boyları ise 50, 75, 150, 175 mm olarak belirlenmiştir. AWS A5.12’de ise elektrotların çapları 0.01, 0.02, 0.04, 1/16, 3/32, 1/8, 5/32, 3/16, 1/4 inç boyları ise 3, 6, 7, 12, 18 ve 24 inç olarak saptanmıştır. 7 inçten daha uzun

olanlar sadece mekanize ve otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılırlar. Uygulamada elektrod çapı, elektrodun maksimum akım yüklenebilme kapasitesi göz önüne alınarak seçilmelidir, bu değere yaklaşıldığında arkın ısı yoğunluğu artmakta, daha kararlı bir ark ile nüfuziyeti fazla, yüksekliği az bir dikiş elde edilebilmektedir [34].

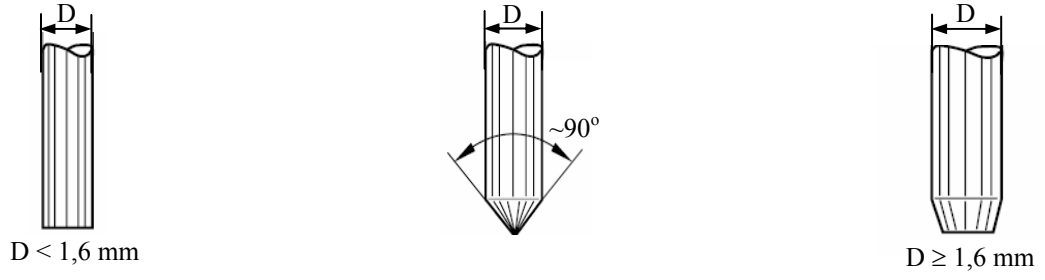
TIG kaynak yönteminde kullanılan elektrodların akım yüklenebilme kapasitesi çok sayıdaki etkene bağlı olarak oldukça geniş bir aralık içinde değişmektedir. Bu etkenleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- 1- Elektrodun bileşimi,
- 2- Koruyucu gazın türü,
- 3- Elektrodun, elektrod tutucusunun dış kısmında kalan boyu,
- 4- Elektroda uygulanan soğutma sisteminin etkinliği,
- 5- Akım türü ve kutuplama,
- 6- Kaynak pozisyonu [28].

TIG kaynağında kullanılan tungsten elektrodlar, kural olarak Şekil 2.5'deki gibi boylamasına taşlanmalıdır. Aksi halde dönele taşlama izleri arkın sapmasına ve akımın sınırlanmasına neden olur. Gerekli durumlarda taşlama tozlarının parlatılarak uzaklaştırılması gereklidir.



Şekil 3.4. TIG kaynak elektrodlarının taşlanması (Doğru akımda)



Şekil 3.5. Elektrod çapına göre elektrod uçları (Alternatif akımda)

TIG kaynak elektrodunun uç formunu uzun süre koruyabilmek için kaynak parametrelerinin uygun seçilmesi gereklidir. Kaynak esnasında (elektrod uçlarını koruyabilmek için) akımın doğru ayarlandığı elektrod ucunun aldığı şekilden kolayca anlaşılabilir. Şekil 3.5’de alternatif akımda elektrod çaplarına göre elektrod uç formları görülmektedir.

3.3. KORUYUCU GAZLAR

TIG kaynak yönteminde koruyucu gaz kullanmanın tek amacı kaynak sırasında, kaynak banyosunu ve erimeyen tungsten elektrodu havanın olumsuz etkilerinden korumaktır. TIG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar, helyum ve argon veya bunların karışımı gibi asal gazlar olup, kimyasal bakımdan nötr karakterde, kokusuz ve renksiz monoatomik gazlardır. Bunlar kimyasal olarak nötr bir karakter taşır ve diğer elementlerle birleşmez, her ikisi de renksiz ve kokusuz birer gaz olup, yanmazlar. Hafif metal ve alaşımlarının kaynağında bulunan argonun çok saf olması istenir. Mesela, 99.99 gibi içerisinde bulunan az miktardaki su buharı, oksijen ve azot kaynağının kalitesine tesir eder. Oksijen ve azotu az olan argon temiz ve parlak bir kaynak dikiş yüzeyi verir. Eğer azot ve oksijen miktarı sınır üzerinde bulunursa, yapılan kaynakta dikişin yüzeyi ve geçiş bölgeleri gri kahverengi veya mat bir durum alır. Argon gazı 150-180 atmosfer basınç altında tüplere doldurularak nakledilir. Tüpün muhtevası, tüpün büyüklüğüne göre 6-9 m³’dür. Argon, oksijen gibi kaynak basıncına özel basınç düşürme monometreleriyle düşürülür. Argon miktarı, yine tüp üzerinde bulunan ve basınç düşürme monometresiyle birlikte takılan özel aletlerle ölçülür. Bu da ayrıca otomatik kumanda cihazına bağlıdır [35].

Argon gazının iyonizasyon enerjisi 15,78 eV'tur, helyum gazının ise 24,58 eV'tur. Yani helyum gazı ile oluşan ark daha yüksek enerjiye sahip bir ısı kaynağı olmaktadır. Hızlı kaynaklarda veya kalın parçalarda, derin nüfuziyet için helyum gazı tercih edilir. Argonda ısıyı kontrol altına almak daha kolaydır. Elle yapılan TIG kaynaklarında argon gazı tercih edilmelidir. Otomatik tezgâhlarda elde edilebilen hızlı kaynaklarda helyum kullanılabilir. Östenitik krom-nikel, paslanmaz çelik, bakır ve nikel alaşımları ile titanyum ve alaşımları normalde argonla kaynaklanır, yüksek nüfuziyet isteyen uygulamalarda helyum tercih edilebilir. Alüminyum ve alaşımları magnezyum ve alaşımları ile karbon çeliklerinin TIG kaynağında çok özel uygulamaların dışında argon daha iyi netice verir. Argonun helyuma göre bir üstünlüğü de arkın daha kolay başlamasıdır [36].

Kaynak sırasında koruyucu gazlar kaynak bölgesine bir ısı katkısında bulunmasalar da, ısı girdisini bir dereceye kadar etkilerler. TIG kaynak yönteminde koruyucu gaz olarak kullanılan asal gazlar veya bunların karışımı kaynak sırasında kızgın durumda bulunan tungsten elektrod ve erimiş kaynak banyosu ile bir reaksiyon oluşturmazlar, kaynak metalinin kalitesine olumsuz bir etkide bulunmalarına karşın, kaynak hızına ve kaynaklı bağlantının kalitesine önemli etkide bulunurlar [28].

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında Ar çok tercih edilir. Ar'a hidrojen eklenmesi ile kaynak hızı ve nüfuziyet artar, bunun yanı sıra daha temiz ve kaliteli dikişler elde edilmiş olur. Mekanize kaynak işlemlerinde, özellikle yüksek kaynak hızları istendiği durumlarda He, He+Ar veya Ar+H₂ karışım gazları önerilir. Örneğin; sürekli boru kaynaklarında da He+Ar veya Ar+H₂ koruyucu gazları saf Ar'a tercih edilir, zira yüksek kaynak hızlarında üstün özelliklere sahip kaynak dikişlerinde yanma oluşu tehlikesi azalır. Hatta incelemeler sonucu, He'ca zengin gazlar, örneğin % 80 He+% 20 Ar veya % 5H₂ eklenen Ar+He karışımları (% 70He+%25Ar+%5H₂) kullanılması halinde çeliğin üretiminden gelen bileşim değişimlerinden kaynaklanan nüfuziyet farklılıklarının da giderildiği saptanmıştır [37].

Koruyucu gaz tüketimi ve dolayısıyla ayarlanması gereken gaz debisi;

- 1- Malzemenin kalınlığından,
- 2- Esas metalden,

- 3- Elektrot çapından,
4- İlave tel çapından etkilenir.

Ayrıca bu değerlerden, kaynak banyosunun büyüklüğü, ısının tesiri altındaki bölge, kaynak hızı, torcun hareketleri ve kaynak ağzının şekli ve çevredeki hava hareketleri (rüzgar vs.) nedeniyle sapmalar ortaya çıkabilir. Koruyucu gaz tüketimi, akış miktarının bağlı olduğu gaz memesinin çapı tarafından belirlenir [30].

Çizelge 3.2’de çeşitli metallerin TIG kaynağı için önerilen koruyucu gazlar ve elektrodlar, Çizelge 3.3’de ise argon ve helyum gazlarının TIG yönteminde davranışlarının karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çeşitli metallerin TIG kaynağı için önerilen koruyucu gazlar ve elektrodlar

Metalin türü	Kalınlığı	Akım Türü	Elektrod Türü	Koruyucu Gaz
Alüminyum	Tüm Kalınlıklar Kalın Parçalar İnce Parçalar	AA DAEN DAEP	W veya WT WT WT veya WZ	Ar veya Ar-He Ar-He veya Ar Ar
Bakır ve Bakır Alaşımaları	Tüm Kalınlıklar İnce Parçalar	DAEN. AA	WT W veya WZ	Ar veya Ar-He Ar
Magnezyum Alaşımaları	Tüm Kalınlıklar İnce Parçalar	AA DAEP	W veya WZ WZ veya WT	Ar Ar
Nikel ve alaşımları	Tüm Kalınlıklar	DAEN	WT	Ar
Yalın karbonlu ve az alaşımlı çelik	Tüm kalınlıklar İnce parçalar	DAEN AA	WT W veya WZ	Ar veya Ar-He Ar
Paslanmaz Çelik	Tüm Kalınlıklar İnce Parçalar	DAEN AA	WT W veya WZ	Ar veya Ar-He Ar
Titanyum	Tüm Kalınlıklar	DAEN	WT	Ar

Çizelge 3.3. Argon ve helyum gazlarının TIG yönteminde davranışlarının karşılaştırılması

Argon	Helyum
<ul style="list-style-type: none"> Düşük ark gerilimi sonucu ısı girdisinin azalması, 1.5 mm'den ince parçaların el ile kaynağında büyük bir üstünlük sağlar. Alüminyum ve alaşımları gibi yüzeyleri refrakter bir oksit tabakası ile kaplı malzemelerin kaynağında temizleme etkisi daha şiddetlidir. Arkın tutuşması daha kolaydır. Ark daha sakin ve daha stabil yanar. Havadan ağır olması nedeni ile daha az koruyucu gaz ile daha etkin bir koruma sağlar. Dik ve tavan kaynaklarında, gaz sarfiyatının fazla olmasına karşın, ısı girdisinin azlığı sonucu oluşan, daha ufak kaynak banyosuna kaynakçının kolaylıkla hakim olabilmesine olanak sağlar. Otomatik kaynak işlerinde hızın yükselmesi, gözenek oluşumuna neden olur. Farklı metallerin kaynağında daha iyi sonuçlar alınır. 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek ark gerilimi sonucu oluşan daha sıcak ark, ısı iletkenliği yüksek malzemeler ile kalın parçaların kaynağında daha üstün sonuçlar verir. Yüksek ısı girdisi ve yüksek kaynak hızı, daha dar bir ITAB oluşturur ve bunun sonucu olarak kaynak bağlantısının mekanik özellikleri iyileşir. Böylece çarpılma ve kendini çekmeler azalır. Havadan çok daha hafif olması sonucu koruyucu gaz sarfiyatı yüksektir ve torcun memesinden çıkan gaz akımı hava hareketlerine hassastır. Otomatik kaynak işlemlerinde yüksek kaynak hızlarında karşılaşılan gözenek ve yanma çentikleri oluşumu kontrol altına alınabilir. Havadan daha hafif olması sonucu tavan kaynaklarında daha iyi koruma sağlar ve bu yüzden altlık olarak kullanımı uygundur.

Günümüzde paslanmaz çeliklerin kaynağında, TIG kaynak yöntemleri diğer kaynak yöntemlerine göre birçok avantaj sağladığından daha çok tercih edilmektedir. TIG kaynak yönteminin en önemli üstünlüğü olan ısı girdisinin ve ergiyen ilave kaynak metali miktarının birbirinden bağımsız olması bu yöntemin çok ince parçalara uygulanabilmesini sağlamakta, kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylıklar getirmektedir [38].

3.4. TIG KAYNAK YÖNTEMİNİN UYGULAMA ALANLARI

Bu yöntem genellikle hafif metallerin birleştirilmesinde kullanılır. Çeşitli büyüklükteki torçlarla 15 mm ye kadar kalınlıktaki parçaları kaynatmak mümkündür. Bu yöntemde yukarıdan aşağıya doğru dikey ve tavan kaynaklarının da uygulanması mümkündür. Yüksek miktarda çinko ihtiva eden bronzlar, titanyum alaşımları, zirkonyum, uranyum gibi kaynak kabiliyetleri zayıf metaller de bu yöntemle gözeneksiz olarak kaynatılabilir.

TIG kaynak yönteminin kullanıldığı önemli alanlar şunlardır:

- 1- Her çeşit alüminyum konstrüksiyonlar; mutfak takımları, boru tesisatları, tanklar, taşıt imalatı, teleferik kabinleri, gemi inşaatı v.s.
- 2- Paslanmaz çelikler; kimya ve gıda sanayinde kullanılan cihazlar, buzdolabı, boru tesisatı, tıbbi aletler, ısı eşanjörleri, tanklar, gaz ve buhar türbinleri, meme donanımları, uçak motorları, kaynatma kazanları, çamaşır makineleri v.s.
- 3- Dezokside edilmiş bakır ve alaşımları; kimya endüstrisinde ve elektro-teknikte kullanılan bakır donanımlar v.s.
- 4- Sert tabaka dolgu kaynağı; subapların oturma yüzeyleri, aşınan parçaların doldurulması v.s.
- 5- DKP çelik saclar; karoseri işleri, çok ince saclarla yapılan konstrüksiyonlar, uçak inşaatı v.s.
- 6- Özel işler; transformatör sacları, çinko kaplı saclar, atom reaktörlerini inşasında kullanılan çeşitli parçaların imalatı v.s.

3.5. TIG KAYNAK YÖNTEMİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

TIG kaynak yönteminin avantajları şunlardır;

- 1- Bütün metal ve alaşımları kaynatılabilir. Paslanmaz çelikler, ısıya mukavim çelikler dökme demir ve çelik, alüminyum, magnezyum, bakır ve alaşımları, titanyum, nikel, molibden, niobyum, tungsten gibi.
- 2- Bu yöntemle yapılan kaynaklarda mukavemet ve kalite bakımından mükemmel dikişler elde edilir.
- 3- Dekapana ihtiyaç yoktur.
- 4- Kaynak dikişleri genellikle kaynaktan sonra olduğu gibi kullanılır.
- 5- Çok küçük alanın ısıtılması ve ısının sürekli transferi dolayısıyla diğer yöntemlere göre çarpılmalar daha azdır.
- 6- Tungsten elektrodla dikişte çok az bir karbür ayrışması meydana gelir.
- 7- Her çeşit birleştirme şekli uygulanabilir; yatay, dik ve tavan pozisyonlarında kaynak yapılabilir.

- 8- Kaynak torcu hafiftir ve dolayısıyla rahat bir çalışma olanağı sağlar.
- 9- Bu yöntem sayesinde ayrı cins metalleri ve alaşımları birbirleriyle kaynatmak mümkündür.
- 10- TIG kaynak yönteminde genellikle koruyucu gaz olarak Argon kullanılır.
- 11- Kaynak dikişi üzerinde curuf yoktur.

TIG kaynak yönteminin dezavantajları ise şunlardır:

- 1- TIG kaynağının metal yığıma hızı diğer ark kaynak yöntemlerine göre düşüktür.
- 2- Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik bir yöntem değildir.
- 3- Koruyucu gaz gerekir.
- 4- Kirliliğe hassastır bu yüzden yüzey temizliği gerektirir.
- 5- Açık havada zor kullanılır.
- 6- Kimyasal yapı düzeltilemez [28,32].

BÖLÜM 4

METALLERDE YORULMA

Tekrarlı zorlamalara maruz kalan makine parçaları ve yapı elemanlarında, düzenli ya da düzensiz sürekli değişken kuvvet veya momentlerin, eğme, burma, çekme etkimesi, yorulma zorlaması olarak adlandırılır. Periyodik olarak değişen bu gerilmeler elemanın içyapısında birtakım yıpranmalar ve ayrılmalar doğurur. Tekrarlı gerilmelere maruz kalan malzemelerin akma sınırının çok altındaki gerilmelerde kırılma olayı gerçekleşebilir. Bu olaya genel olarak “yorulma kırılması” denir. Yorulma kırılması gevrek türden bir kırılma olduğundan nerede ve ne zaman olacağını önceden kestirmek zordur. İlk bilimsel yorulma araştırması, 1852-1870 yılları arasında Alman demir yolu mühendisi AUGUST WÖHLER tarafından yapılmıştır [39,40].

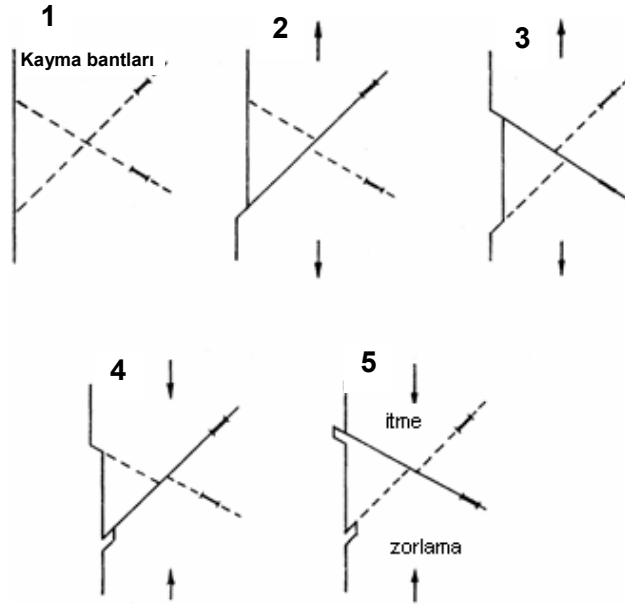
Yorulma ASTM 206-72’de “Bazı nokta veya noktalarda tekrarlı gerilme ya da uzamaya maruz kalan malzemelerde, yeterli tekrar sayısından sonra çatlak oluşması, çatlağın büyümesi ve bunun sonucunda malzemenin kırılmasına sebep olan kısmi ve sürekli gelişen kalıcı bir yapı değişikliği olayı” olarak tanımlanmaktadır.

Görüldüğü gibi tanımlamada üzerinde durulan dört önemli özellik;

- 1- Olayın sürekli gelişmesi,
- 2- Lokalize (Bölgesel) olması,
- 3- Çatlakların ilerlemesi,
- 4- Çatlakların büyümesi ve kırığın ortaya çıkmasıdır [41].

Yorulma olayı genel olarak içyapıda mevcut kusurlar civarında oluşan yerel gerilme yığılmalarından kaynaklanır. Bundan dolayı yorulma içyapıya çok bağlı olup, içyapıda mevcut kusurlar civarında oluşan yerel gerilme yığılmalarından da

kaynaklanır. İçyapıda bulunan çatlak, etik, boşluk, sert parçacık ve ani kesit değişmeleri civarındaki gerilmeler ortalama gerilmelerden daha büyüktür. Bu gerilmelerin etkisinde yerel plastik Şekil değiştirme meydana gelir. Diğer taraftan başlangıçta hiçbir bozukluk içermeyen, yüzeyi parlatılmış, uniform kesitli metalde, elastik sınır altında da dislokasyonlar yerel olarak hareket ederek kayma bantları oluştururlar. Bu bantlar da yüzeyde çıkıntılar ve çöküntülerin doğmasına, dolayısıyla gerilme yığılmalarına neden olurlar. Bütün bu hallerde tekrarlı zorlamalar etkisinde oluşan tersinir olmayan plastik Şekil değiştirme sonucu malzeme pekleşir, gevrekliği artar ve sonunda mikro çatlaklar doğar. Bu mikro çatlaklar zamanla yayılarak ani yorulma kırılması meydana getirir. Yorulma çatlakları genelde yüzeyde meydana gelir ve iç kısımlara ilerler [40].

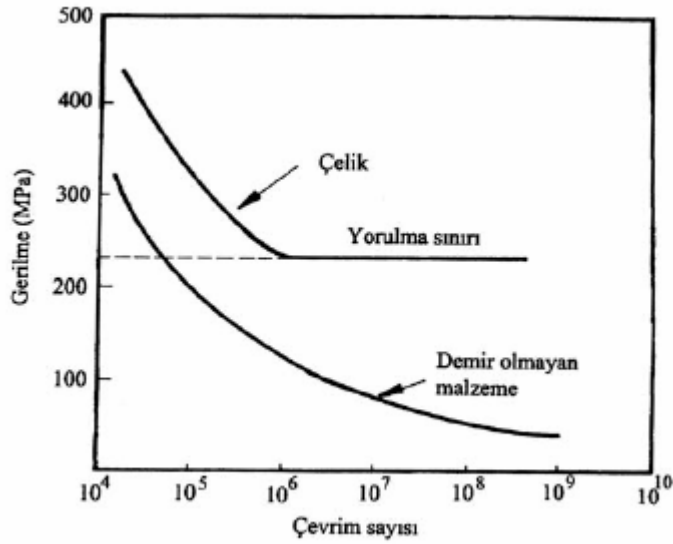


Şekil 4.1. Yorulma atlağının oluşumu (Cottrell ve Hull) [42].

4.1. YORULMA DAYANIMININ SAPTANMASI

Yorulma dayanımı normal olarak Wöhler yöntemiyle bulunur. Buna (S-N) eğrileri yöntemi de denir. Bu yöntemde malzeme, biçim ve yüzey kalitesi bakımından tümüyle aynı olan deney parçalarının her biri, aralıksız Şekilde ve farklı seviyelerde zorlanarak kırılmanın oluştuğu çevrim sayısı saptanır. Bir deney serisinde çoğunlukla 6-10 adet parça gereklidir [43].

Deneyin amacına, malzeme ve deney makinasına göre yük veya şekil değiştirme genlikleri kontrol edilir ve bu büyüklükler gerilme veya birim şekil değişimi değerlerine dönüştürülür. Wöhler yönteminde bir deney serisinde tüm parçalar için ortalama gerilme σ_{ort} ve alt gerilme σ_{alt} sabit tutularak her deney için ayrı gerilme genliği σ_g seçilir. İlk deney parçası üst gerilme, genellikle akma sınırına yakın olacak şekilde yüksek düzeyde zorlanır. Daha sonraki deney parçalarına ise gittikçe daha düşük zorlama uygulanarak kırılma çevrim sayısının çok yüksek değerlere ulaşması sağlanır. Bir deney serisi sonunda uygulanan gerilme genlikleri ve kırılmanın görüldüğü çevrim sayılarının bir eğri olarak çizimi ile eğer noktalar büyük dağılımlar göstermiyor ise Şekil 4.2.'de verilen Wöhler eğrisi elde edilir [43].



Şekil 4.2. Demir ve demir dışı malzemelere ait tipik Wöhler eğrileri [43].

Bu grafikte normal olarak apsis (çevrim sayısı) logaritmik, ordinat (gerilme genliği) ise metrik bölümlü olarak seçilir. Sonsuz çevrim sayısında kırılmanın görülmediği en büyük genliği yani eğrinin asimptotuna karşılık olan değer yorulma dayanımı olup σ_y ile gösterilir. Diğer yandan belirli bir çevrim sayısından sonra (N_s =sınır çevrim sayısı) eğri sonsuz çevrim sayısına yaklaşıyor kabul edilir. Sınır çevrim sayısı oda sıcaklığında ve düşük sıcaklıklarda çelikler için $10 \cdot 10^6$, ağır ve hafif metaller ile yüksek sıcaklıklarda çelikler için $100 \cdot 10^6$ veya daha fazla olarak alınır. Deney süresinin kısaltılması amacıyla çelik için $2 \cdot 10^6$ ve hafif metaller için $10 \cdot 10^6$ - $50 \cdot 10^6$ sınır çevrim sayıları da kullanılmaktadır [44,45].

Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW/IIS)'nün XIII No'lu Komisyon'u kaynak deneyi alanında bir çalışma yapmış ve deney sonuçlarının gösterimi hususunda, yorulma dayanımının deneysel olarak saptanmasında tekdüzelik sağlamak üzere bir özel süreç önermiştir. Komisyonun ilgilileri, 2×10^6 çevrim sayısı mukavemetin bir uygun değer olacağı konusunda birleşmiş olup, iş bu sürecin başka ihtiyaçlara uygulanabileceğini önermişlerdir. Esas itibariyle sistem en az 2×10^6 çevrim sayısında kırılmamış üç numuneyi gerektirmektedir. Bununla birlikte bu, çatlak yokluğunu da sağlamalıdır ve çevrim sayısı yüklemenin bitiminde, görünürde kırılmamış numune statik olarak denenecektir. Deneme aynı tip ve genel plastik şekil değiştirme meydana getirmeye yeterli büyüklükte yük altında olacaktır. Bu yolla her türlü küçük yüzey çatlağı hemen meydana çıkar ve eğer görülürse, numune başarısız olarak kabul edilir. Bunun üzerine önceki değerden daha düşük gerilmede tekrarlanan deneylere girişilir, bunlarda da amaç 2×10^6 çevrim sayısı çatlak oluşmamış üç sağlam numune elde etmektir [43].

4.2. YORULMA DENEYİ İLE İLGİLİ TERİMLER

Çevrim : Gerilme-zaman eğrisinin periyodik olarak tekrarlanan en küçük parçasına denir.

Maksimum gerilme (σ_{max}) : Gerilme periyodundaki en büyük gerilme

Minimum gerilme (σ_{min}) : Gerilme periyodundaki en küçük gerilme

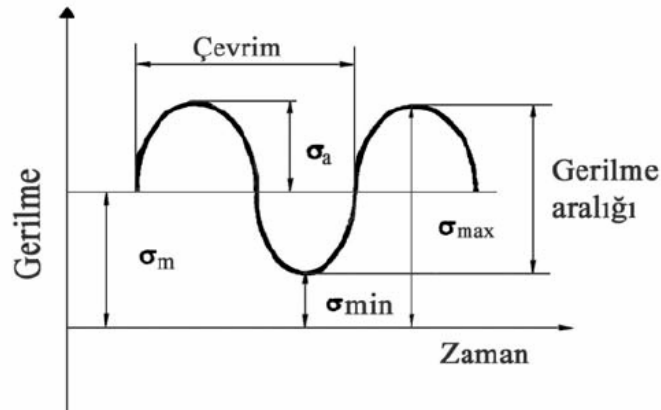
Ortalama gerilme (σ_{ort}) : En büyük ve en küçük gerilmenin cebirsel toplamının yarısına eşittir.

$$\sigma_{ort} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (4.1)$$

Gerilme genliği (σ_a) : En büyük ve en küçük gerilmenin cebirsel farkının yarısına eşittir.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (4.2)$$

Şekil 4.3'te yorulma deneyi ile ilgili gerilme-zaman çevrimi verilmektedir.



Şekil 4.3. Yorulma deneyi ile ilgili gerilme-zaman çevrimi [46].

Çevrim sayısı (n) : Deney sırasında herhangi bir durumda uygulanan periyot sayısı,

Dayanma veya yorulma periyot sayısı (N) : Malzemenin kopma esnasındaki periyot sayısı. Genellikle ondalıklı kesir yada 10^6 nın katları olarak gösterilir.

N periyodundaki yorulma dayanımı (σ_N) : Gerilme koşulları altında, deney numunesinin N periyodu süresince dayanabileceği değeri,

Yorulma sınırı (σ_D) : İstatistik yöntemlerle belirlenen gerilme koşulları altında bir malzemenin sonsuz sayıdaki gerilme periyotlarına dayanabileceği en büyük gerilme,

Yorulma sınırındaki gerilme genliği (σ_A) : Belirlenen ortalama gerilme genliği değeri σ_m ise;

$$\sigma_D = \sigma_m \pm \sigma_A \quad (4.3)$$

Periyot oranı (n/N) : Uygulanan gerilme periyotlarının, kopma gerilmesi periyotlarına oranı,

Yorulma dayanımı azaltma faktörü (K_f): Düz parlatılmış deney numuneleri yorulma sınırının gerilme konsantrasyonlu deney parçaları yorulma sınırına oranıdır.

Gerilme oranı (R) : Bir periyottaki en küçük gerilmenin, en büyük gerilmeye oranıdır.

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (4.4)$$

Genlik oranı (A) : Gerilme genliğinin ortalama gerilmeye oranıdır [46].

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{1-R}{1+R} \quad (4.5)$$

4.3. YORULMANIN ÖMÜR AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yorulma olayı eleman ömrü ve elemanın yükleme başlangıcında ön çatlak içerip içermediğine göre dört ana grupta incelenebilir. Bunlar;

- 1- Çatlaksız malzemelerde yorulma: Malzemede başlangıçta herhangi bir çatlak mevcut değildir. Bu tür yorulmaya örnek olarak dişliler, krank milleri, akslar verilebilir [43].
- 2- Çatlaklı malzemelerde yorulma: Malzemede başlangıçta çatlak mevcuttur. Bu tür yorulmaya, kaynaklı konstrüksiyonlar, köprüler, gemiler gibi büyük yapılar ve basınçlı kaplardaki yorulma, örnek olarak gösterilebilir [43].
- 3- Kısa ömürlü (az çevrimli) yorulma: Yorulma, akma gerilmesinin üstündeki gerilmelerde ($N < 10^4$) oluşur. Bu tür yorulma, nükleer reaktörler, türbin parçaları ve motor elemanlarında meydana gelir [41].
- 4- Uzun ömürlü (az çevrimli) yorulma: Yorulma, akma gerilmesinin altındaki gerilmelerde ($N > 10^4$) oluşur. Bu tür yorulmaya, tüm titreşen sistemler, tekerlekler, miller, motor elemanları, örnek olarak gösterilebilir [41].

4.4. YORULMA DENEY MAKİNALARI

- 1- Dönen-eğmeli makinalar
 - a-Sabit eğme moment tipli
 - b-Değişken (konsol kiriş) eğilmeli tipli
- 2- İleri-geri eğilmeli makinalar
- 3- Eksenel gerilmeli makinalar

- a- Çekme basma kuvvet tipli
- b- Rezonans tipli
- 4- Titreşimli oluşturulan tekrarlı yüklü makinalar
 - a- Mekanik
 - b- Elektro manyetik
- 5- Tekrarlı burulmalı makinalar
- 6- Birleşik gerilmeli makinalar
- 7- Bilgisayar kontrollü makinalar
- 8- Özel uygulamalar için parça test makinaları [46].

4.5. YORULMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

4.5.1. Parça Büyüklüğü

Çapın artması numunenin yüzey alanı ve hacmini artırır. Yüzeyin artması yorulmanın genellikle yüzeyden başlaması ve yüzey kusurlarının bulunma olasılığının artması nedeniyle yorulmayı etkiler [41].

4.5.2. Yüzey Durumu

Bu etmenden söz edilirken yalnızca yüzey durumu olarak değil, aynı zamanda, tasarım etmeni gibi de düşünülmelidir. Çeliklerin görülen yorulma kırılmasının bir çoğu yüzey düzgünsüzlüklerinden başlamaktadır. Bu nedenle, yorulma özelliği yüzeydeki çentik, girinti, çıkıntı, keskin köşe vb gibi tasarımdan kaynaklanan kusurlara karşı çok duyarlıdır [47].

4.5.3. Yüzey İşlemleri

Yorulma kırılmasının açıkça yüzeyden başladığı bilinmektedir. Bu yüzden yüzey temizliği çok önemlidir. Yüzey işlemleri ezme, dövme, sementasyon, nitratlama gibi işlemlerden oluşur ve bunlar yorulma mukavemetini artırmaktadır [47].

4.5.4. İç Yapı

Genellikle eliklerin çekme dayanımlarını etkileyen etmenler yorulma dayanımlarını da etkiler. Örneğin, tavllanmış çeliklerde, tane büyüklüğü azaldıkça nasıl çekme dayanımı artarsa, benzer biçimde, yorulma dayanımı da artar [47].

Ötektoid bileşimli yalın karbon çeliğinde iç yapı değişmeleri yorulma özelliklerinde en belirgin farkı yaratır: Kaba perlitli iç yapı, kreleştirilmiş perlitli içyapıya oranla daha düşük yorulma dayanımı gösterir. Bunun temel nedeni perlit içindeki sementit katmanlarının yarattığı çentik etkisidir [47].

Isıl işlem uygulanmış düşük alaşımlı çeliklerin arasında su verilip menevişlenmiş çeliklerin yorulma özellikleri, ferrit + perlit karışımı içerenlere oranla daha iyidir. Beynit yapılı ve özellikle de östenitik çeliklerin yorulma özellikleri üstündür. Genellikle, 40 HRC değerinin üzerinde i yapılarında beynit içeren çelikler menevişlenmiş çeliklerden üstündür [47].

Çeliğin içyapısını oluşturan evreler arasında yorulma özelliğini en etkin olarak değiştiren martensittir. Menevişli martensitin etkisinin yüksek düzeye ulaşabilmesi için içyapıda oluşan martensitin oranının da yüksek olması gerekir [47].

4.5.5. Yenim

Yorulma, yenimli (korozif) ortamlarda olursa yenimli yorulma adını alır. Yenimli ortamlar elik yüzeylerde, çevrimli gerilim uygulaması olmasa bile, karıncalanma olgusu ile kovukuk ve gzenekikler oluşturulabilir. Bunlar da çentik etkisi yaratarak, malzemenin yorulma dayanımını düşürür [47].

4.5.6. Metalurjik Faktörler

Yorulma dayanımının, malzemenin çekme dayanımı ile doğrudan ilgili olduğu sonucunda ve sadece akma dayanımındaki artışın yorulma özelliğini geliştirmediği görüşü üzerinde birliktelik vardır [47].

Basit karbonlu çeliklerde kaba perlitten oluşan yapı, sertlik ve dayanım özellikleri açısından önemli bir fark yaratmamakla beraber, yorulma dayanımını önemli oranda azaltmaktadır. Bu perlitteki kaba karbür lamellerinin yapıda çentik etkisi göstermesine bağlanmaktadır [47].

Yorulma dayanımının, malzemenin çapraz kayma yeteneği ile doğrudan ilişkili olduğu gözlenmiştir. Kolay çapraz kayabilen yüksek dizi hatası enerjisine sahip metaller, dislokasyonlara engeller etrafında daha rahat hareket etme imkanı sağlamakta, bu ise kayma düzlemi oluşumunu, dolayısıyla çatlak oluşumunu hızlandırmaktadır. Bu tür kayma, “dalgalı kayma” adını alır. Düşük dizi hatası enerjisine sahip metallerde ise çapraz kayma olayı kısıtlandığından çatlak oluşumu da gecikmekte, bu da yorulma dayanımının artmasını sağlamaktadır. Bu malzemelerde görülen kayma türü, “düzlemsel kayma” adını almaktadır [47].

4.5.7. Sıcaklık

Yorulma dayanımı sıcaklık düştükçe artar. Fakat, oda sıcaklıklarının altında, çeliklerin yorulma olgusundaki çentik duyarlılığı sıcaklık düştükçe artar. Oda sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklarda yorulma, yüksek sıcaklık yorulması adını alır. Bu sıcaklıklarda sıcaklık arttıkça genellikle yorulma dayanımı düşer. Sıcaklık 400 °C üzerine ulaştığında yorulma yerine sürünme devreye girer. Yorulma kırılması “tane içi kırılması” türündendir; sürünme kırılması ise “tanelerarası kırılma” ya da tane sınırı kırılması türündendir [47].

Çeliğin içerisindeki Mo, V, Cr gibi kuvvetli karbür yapıcı elementler, 400 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, alaşımsız çeliklere göre daha iyi yorulma dayanımı sağlamaktadır [48].

4.5.8. Gerilme Birikmesi

Kullanılan elemanda gerilme birikmesi varsa, yorulma kırılması bakımından tehlike artar. İçinde çatlak, köpük bulunan parçalarla, kesit değiştiren ve üzerinde çentik olan parçalara dikkat edilmelidir [47].

4.5.9. Gerilme Gradyanının Etkisi

Gerilme gradyanı parça kesitinde gerilmenin genel olarak değişimidir. Örneğin eğilme ve burulma zorlamalarında elastik şekil değişimi bölgesinde doğrusal olarak azalarak tarafsız ekseninde sıfır değerine ulaşır. Çapları farklı olan iki parçanın yüzeyindeki gerilme aynı ise, çapı büyük olan parçada çok daha büyük bir hacim yüksek gerilme altında kalır. Çekme veya basma zorlamalarında ise gerilme gradyanı etmeni bakımından belirgin bir boyut etkisi yoktur [47].

4.5.10. Artık Gerilmeler

Makine parçalarının üretimleri sırasında bünyelerinde oluşabilecek artık gerilmeler, işletme gerilmeleri yönünde ise, yorulma ömründe önemli azalmalara neden olur. Ancak işletme gerilmesinin tersi yönünde bir artık gerilme, malzeme bünyesinde oluşturulmuşsa, bu defa ömürde bir artış söz konusu olacaktır. Çünkü gerilmelerin vektörel olarak toplanabilmesi esasına göre işletme sırasında oluşacak gerilmeler, önce artık gerilmenin üzerine çıkmaya çalışacağından, gerçek değerinde azalmaya uğrayacak, bu ise yorulmaya neden olan gerilme genliğinin daha düşük seviyede kalmasına neden olacaktır [47].

4.5.11. Metal Veya Alaşımın Soğukta İşlenmesi

Oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan deneylerde, azalan sıcaklıklarda yorulma mukavemetinde artışlar gözlenir. Yorulma mukavemeti azalan sıcaklıklarda çekme mukavemetinden daha düşük bir artış göstermesi, şekillenme ve yoğunlaştırma olayının birleşmesiyle, oda sıcaklığında oluşan yorulma deformasyonunun bir belirtisi olarak açıklanmıştır [46].

4.5.12. Frekansın Etkisi

Wöhler tarafından yapılan deneylerde kuvvetin tekrar sayısı dakikada 60 devir kadardır. Daha sonra Reynolds tarafından dakikada 2500 devir için deneyler yapılmış, arkasından Hopkinson 7000 devir/dakika'lık deneyler yaparak, yorulma

dayanımlarında %10 bir artış olduğunu göstermiştir. Çok düşük frekanslarda sürünme ve gerilme gevşemesi olayları ortaya çıkabilir. Çok yüksek frekanslarda ise yorulma dayanımının arttığı görülür [47].

4.5.13. Korozyonun Etkisi

Makine parçaları bir kuvvet tekrarına zorlanırsa ve aynı zamanda oksitlenmeyi kolaylaştıran bir ortamda bulunursa, yorulma sınırlarında bir alçalma olur. Bu azalan sınırlara korozyon yorulması sınırları denir. Uygulamada; gemi pervanelerinin milleri, gemi yağ makinalarının soğutma suyu piston kolu, türbün kanatları, petrol kuyularında piston kolları korozyon ile birlikte yorulmaya zorlanırlar.

Hava korozyonunun yorulma ömründe %5 ile %10 arasında bir azaltma yaptığı görülmüştür. Aşındırıcı korozyonun da aynı şekilde yorulma ömrünü azalttığı tespit edilmiştir [47].

4.6. YORULMA TİPLERİ

4.6.1. Isıl Yorulma

Endüstride, çok değişik uygulamalarda, malzemeler çalışma ortamında değişken sıcaklıklarla karşı karşıya gelmektedir ve ısıl gerilmeler oluşmaktadır. Isıl yorulma, tekrarlı ısınma ve soğuma işleminin, tekrarlanan gerilmeler doğurarak sebep olduğu yorulma türüdür [41].

4.6.2. Korozyon Yorulması

Değişen zorlamalar ile korozif ortamın ortak etkimesi sonucu ortaya çıkan olaya korozyon yorulması adı verilir. Bu durumda uygun bir yüzey koruması öngörülmemiş ise yorulma dayanımında önemli bir azalma gözlenir [41].

Korozyon olayı ve yorulma zorlaması değişik zamanlarda birbirini izlediğinde gerilmersiz ön korozyon söz konusudur. Gerilmersiz ön korozyonda oluşan hasarın

şiddeti, ön korozyon süresine ve korozyon ortamına bağlıdır. Bitmiş mamullerin ve parçaların yüzeyleri önlem alınmadan havada veya nemli yerlerde saklanırsa, paslanma ve karıncalanma nedeni ile gerilmesiz ön korozyon oluşabilir [41].

Sıvı korozif ortamlarda kimyasal inhibitörlerin yardımı ile korozyon yorulması geciktirilebilir. İnhibitör olarak kromat, fosfat, sülfat, nitrat vb. malzemeler kullanılabilir. Bunun dışında yüzeyde oluşturulan basma iç gerilmeleri, yüzey sertleştirme, yüzey kaplama, galvanizleme ve hidrojen giderme ısıl işlemleri de korozyon yorulmasını engellemektedir [41].

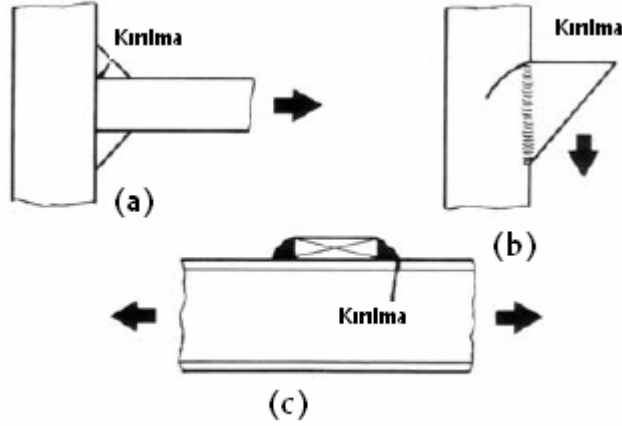
4.6.3. Yıpranma (Fretting) Aşınması

Birbiri üzerinde temas eden iki yüzeyin küçük, periyodik hareketlerinden kaynaklanan bir yorulma hasarı türüdür. Olayın korozyon yorulmasından çok aşınma ile daha sıkı bir ilişkisi vardır. Aşınmadan ayrıldığı nokta, iki yüzeyin bağıl hızının aşınmada karşılaşılandan çok daha düşük olması ve iki yüzey birbirinden ayrılmadıkları için korozyon ürünlerinin yüzeyden ayrılma ihtimalinin bulunmamasıdır. Fretting yorulması daha ziyade yatak ya da göbek taşıyan millerde görülmektedir. Yüzeyde oksitlenme ile görünen bir pitting meydana gelmektedir. Yorulma çatlakları genellikle hasarlı bir kısımdan başlar. Frettinge bir dizi mekanik ve kimyasal etki sebep olmaktadır. Metal yüzeyden ya bir taşlama etkisi ya da yüzeye kaynama ve ardından kopma şeklinde uzaklaşır. Kopan parçacıklar oksitlenerek, hasara yardım eden abrasiv tozlar şeklinde etki eder. Bu arada metal yüzeyi de oksitlenir ve oksit tabakası yüzeylerin bağıl hareketi ile kırılır. Fretting için oksitlenme esas değil ise de, oksit tabakaları, fretting hasarını kat kat artırır [41].

4.7. KAYNAKLI BAĞLANTILARDA YORULMA

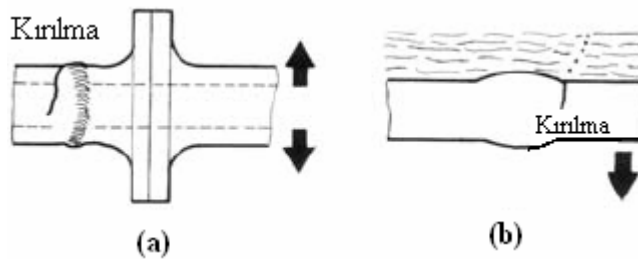
Endüstrileşmiş ülkelerde haddelenmiş çeliklerin %40-50'si kaynak edilebilir özelliklerde üretilir ve çoğunlukla da kaynaklı konstrüksiyonlarda kullanılır. Bu konstrüksiyonlarda kaynak bağlantıları sadece normal zorlamalar değil, aynı zamanda yorulma zorlamaları altındaki özellikleri önem kazanmıştır. Kaynak bağlantılarının yorulma dayanımlarının düşük olması ilk bakışta yüksek dış ve iç

çentik etkileri ile açıklanmaktadır. İç çentikler olarak nüfuziyet hataları, cürufklar, gözenekler ve kaynak malzemesindeki diğer hatalar sıralanabilir. Dış çentikler ise çoğunlukla dikiş yüzeyi (tırtıl, kaynak dikiş yüksekliği, nüfuziyet oyuğu) ile ilgilidir. Kaynaklı parçalarda yorulma çatlakları genellikle kaynak uçlarında başlar ve ilerler [43,44]. Şekil 4.4’de kaynaklı bağlantılara ait yorulma kırılmaları verilmiştir.

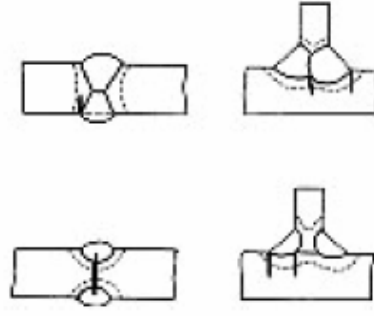


Şekil 4.4. Yorulma kırılmasına ait örnekler: a) aşırı yüklenme, b) kötü tasarım, c) tali takviye veya fittings [43].

Kaynaklı bağlantıların uzun ömürlü olmaları için özenle birleştirilmelidir. Demiryollarında ve köprülerde kaynaklı bağlantılar kullanılmadan önce deney yapılır. Deney işlemi anında kaynak bölgesinde plastik deformasyon oluşur ve bölgede bir basma gerilimi altında kalır. Bu da yorulma dayanımını büyük miktarda artırır [43]. Şekil 4.5’de çalışma koşullarında yorulma kırılmasına ait örnekler, Şekil 4.6’da ise kaynaklı birleştirmelerde yorulma kırılmasına ait örnekler verilmiştir.



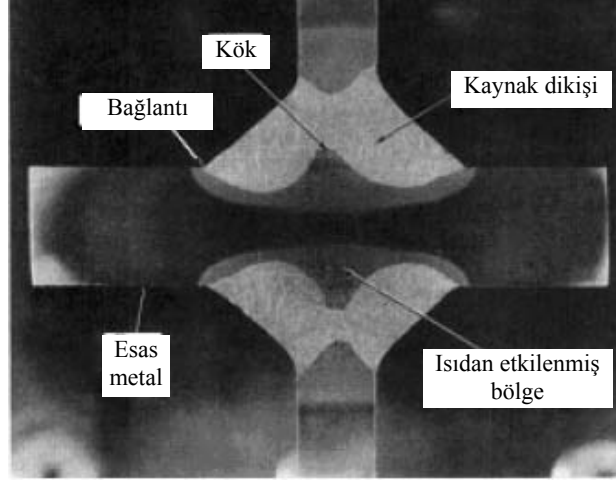
Şekil 4.5. Çalışma koşullarında yorulma kırılmasına ait örnekler: a) titreşim, b) korozyif çevre [43].



Şekil 4.6. Kaynaklı birleştirmelerde yorulma kırılmasına ait örnekler [43].

Çatlak, nüfuziyet noksanlığı ve yanma olukları olmayan bir alın kaynak dikişi perçinli ve cıvatalı bağlantılardan daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Eğer kaynak fazlalıkları alınarak esas metal yüzeyi ile aynı seviyeye getirilirse servis ömrü daha da uzayacaktır. Köşe kaynakları alın kaynaklara nazaran daha yüksek zorlanma yığılmalarına yol açarlar ve yorulma ömürleri alın kaynaklarının 1/5'i civarındadır [43].

Şekil 4.7.'de kaynak banyosuna hemen komşu olan ana metal bölümü üzerinde ısı etkisi dokuda değişmeler oluşturur. Böylece kaynağın kenarında mevcut olan yerel, geometrik çentik ısıdan etkilenmiş bölge içinde bulunur. Bu bölge doğruca sıvı halden katılaşmış olduğu için su almaya meyilli ve fazla ısınmış malzemedir oluşur. Bu nedenle geometrik çentik etkisi ile birlikte bir de metalürjik çentik etkisi bulunmaktadır. Artan sertlik demir esaslı malzemelerin ısıdan etkilenmiş bölgelerinin özelliği olup, aşırı sertliğin olması durumunda kaynağın kenarında soğuk çatlama eğilimi ortaya çıkar. Bununla beraber, sıcak çatlakta aynı yerde görülebilir. Çatlamamanın herhangi bir şekli, yorulma mukavemetine kesin zarar veren bir sınır durumu ortaya çıkarır.



Şekil 4.7. Kaynaklı birleştirmelerde oluşan bölgeler [43].

Metalürjik çentik etkisinin konstrüksiyonun yorulma açısından herhangi bir ciddi zayıflamasına bağlı olmadığı görülürse de deneyler bunun etkisinin, geometrik çentik etkisi kaynak talaşlı işleme veya taşlamayla düzeltilerek bertaraf edildiğinde ısıdan etkilenen bölge çizgisi boyunca yorulma çatlamaının kalması için yeterli olduğunu göstermiştir [43].

İnce sacların birleştirilmesinde koruyucu gaz kaynağı çok avantajlıdır ve 0,8-0,1mm çapındaki elektrodlarla, CO₂ veya karışım gazlar kullanılır. Kısa ark tekniği iyi bir boşluk doldurmayı ve düşük ısı girdisini mümkün kıldığı için tercih edilir. Ayrıca kaynak hızı da çok yüksektir [43].

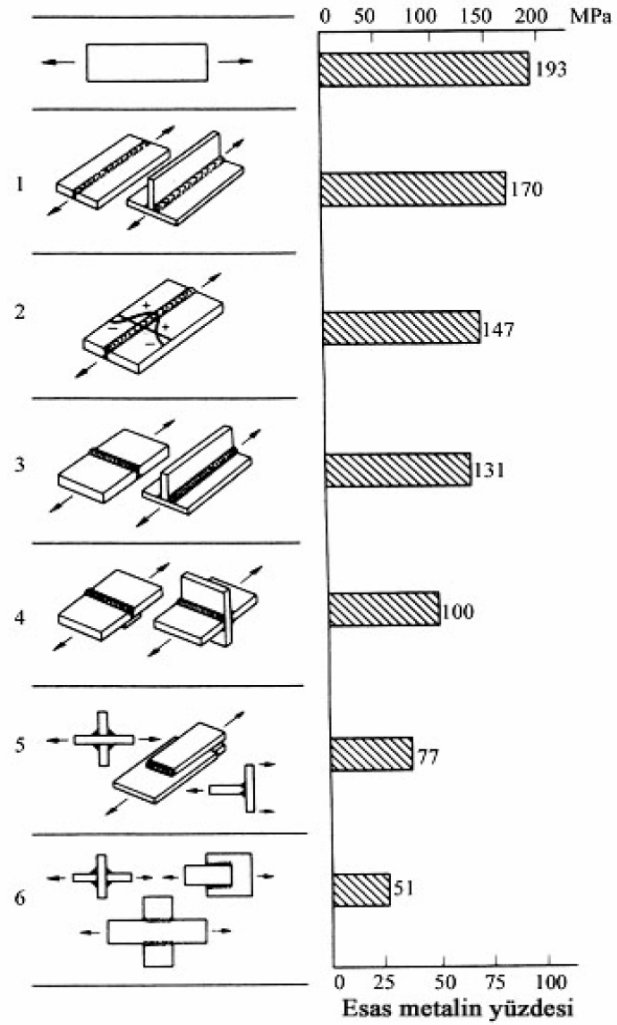
4.7.1. Kaynaklı Bağlantıların Yorulma Dayanımını Etkileyen faktörler

- 1- Esas metalin cinsi
- 2- Kaynak dikişinin şekli ve kalitesi
- 3- Yön değiştiren yükün büyüklüğü
- 4- Kaynak metodu
- 5- Konstrüksiyonun şekli [41].

4.7.2. Kaynaklı Bağlantılarda Yorulma Dayanımını Yükseltmek İçin Alınacak Tedbirler

- 1- Gerilim yığılmalarının önlenmesi,
- 2- Kalıntı basma gerilmeleri oluşturulması,
- 3- Kaynak dikişinin dolgu fazlalığı, yanma oluğu gibi kusurlarını gidermek,
- 4- Çatlakları tamir etmek [41].

Şekil 4.8’de kaynakla farklı şekillerde birleştirilmiş parçaların yorulma dayanımlarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 4.8. Kaynaksız ve farklı kaynak yöntemlerindeki yorulma değerleri (2×10^6).

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. ANA MALZEME VE İLAVE METAL

Bu çalışmada, yüksek korozyon direnci ve iyi biçimlendirilme kabiliyeti bakımından, östenitik paslanmaz çelik ailesi içinde en çok kullanılan AISI 304 (X5CrNi1810) türü malzemeler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar için östenitik paslanmaz çelik malzemeler 400x80x1,5 mm ebatlarında giyotin makasta kesilerek hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar öncesinde, östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklanabilirlikleri hakkında bir literatür araştırması yapılmış ve bu çeliklerin kaynak ile birleştirilmesinde başlıca üç çeşit problemin oluşabileceği sonucuna varılmıştır [19]. Bunlar sırası ile; (1) ısının etkisi altında kalan bölgede "Krom Karbür" oluşması sonucu meydana gelen hassas yapı, (2) kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu ve (3) yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "Sigma Fazı" oluşumu riskleridir.

Deneysel çalışmalara başlamadan önce, bu tehlikeleri önleyebilmek veya asgari seviyeye indirebilmek için bazı ön çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda, kaynak bölgesinde oluşabilecek mikroyapıyı önceden tahmin edebilmek amacıyla Schaeffler diyagramından yararlanılmıştır. Şekil 5.1'deki diyagramda görüldüğü gibi, ana metal ve ilave metallerin krom ve nikel eşdeğerlilikleri hesaplanarak diyagram üzerinde ana malzeme A, ilave metal ise B noktaları olarak gösterilmiştir.

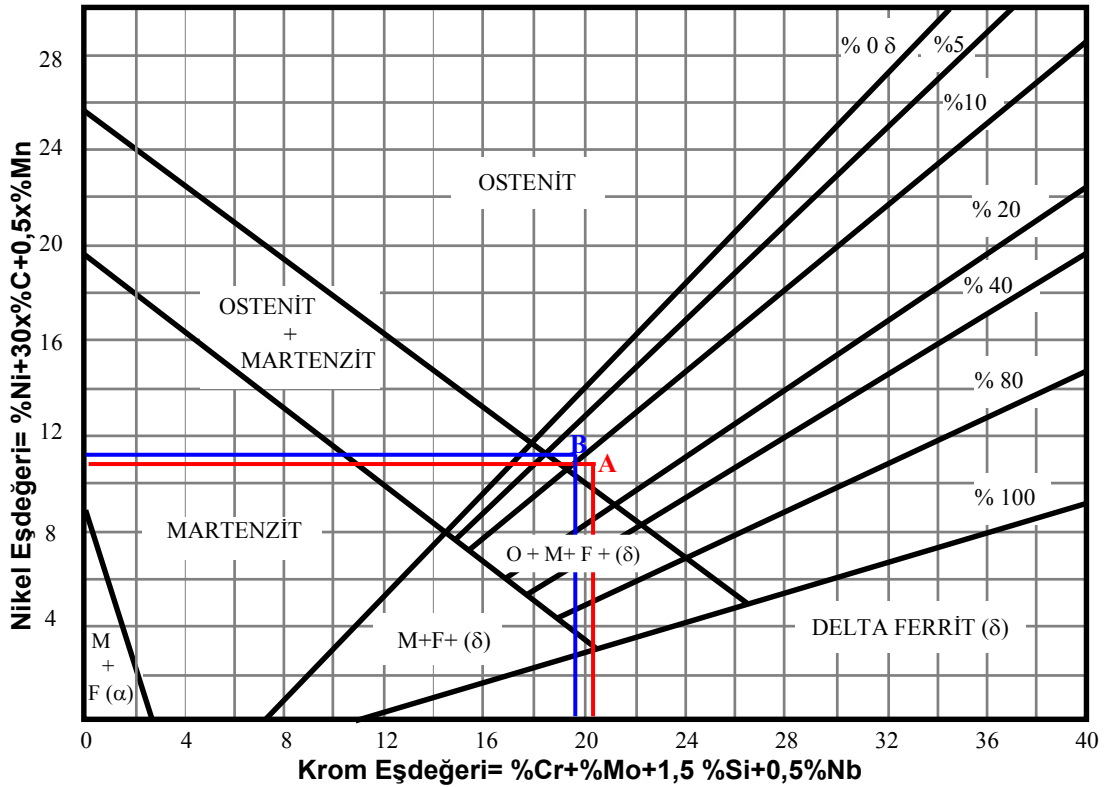
Literatürde [7] sıcak çatlama riskine karşı dayanım elde edebilmek için, yapıdaki ferrit miktarının en az % 4 olması önerilmektedir. Sıcak çatlamanın temel nedeni; kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük ergime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Buna karşın yine literatürde, ferrit miktarının % 12'yi geçmesi ile birlikte de esneklik

kabiliyetinin hızla azalacağı belirtilmektedir. Denesel çalışmalar için seçtiğimiz ana malzeme ve ilave metalin kimyasal bileşimlerinden yola çıkarak, Schaeffler diyagramına bakılmış; kaynaklı birleştirmelerin östenit matris içerisinde % 10 delta ferrit fazı ihtiva edebileceği tahmin edilmiş ve sıcak çatlak oluşum tehlikesinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Aynı şekilde delta ferrit oranının % 12'yi geçmemesi esneklik kabiliyeti açısından olumlu olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana malzemenin kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim									Eş Değerlik	
Element	C	Cr	Si	Mn	Ni	Mo	Nb	Fe	Cr _{eş}	Ni _{eş}
Ağırlıkça (%)	0,042	18,45	0,75	1,50	8,56	0,48	0,021	Kalan	20,06	10,57

Kullanılan esas metalin kimyasal bileşimi (% ağırlık olarak) ile Cr_{eş} ve Ni_{eş} değerleri hesaplanarak Çizelge 5.1'de verilmiştir. Ayrıca kaynak işlemlerinde 2 mm çapında ER 308 L ilave metal kullanılmış ve Çizelge 5.2'de de bu malzemenin kimyasal bileşimi, bazı mekanik özellikleri ile Cr_{eş} ve Ni_{eş} değerleri verilmiştir.



Şekil 5.1. Schaeffler diyagramı üzerinde Cr_{eş} ve Ni_{eş} değerlerinin hesaplanması

Çizelge 5.2. İlave metalin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri

Element	C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	Cr _{eş}	Ni _{eş}
Ağırlıkça (%)	<0,02	0,5	1,7	20,1	9,8	Kalan	19,68	11,25
Mekanik Özellikler (TIG)								
Akma dayanımı (N/mm ²)						Min.390		
Çekme Dayanımı (N/mm ²)						540-660		
Çentik Dayanımı (ISO-V/ +20 °C)						min. 63 J		
Uzama (Lo=5 do) (%)						min.35		

5.2. KORUYUCU GAZ

TIG kaynak yöntemi kaynak parametrelerinden bir tanesi koruyucu gaz seçimidir. Bu amaçla deneysel çalışmalarda üç farklı koruyucu gaz atmosferi kullanılmıştır. Koruyucu gazlar sadece kaynak banyosunu korumakla kalmayıp bunun yanında arkın kararlılığına, dikişin mekanik özelliklerine, dolgu biçimine, işlemin verimliliğine, duman oluşumuna ve bunun gibi birçok kaynak parametrelerine de etki etmektedirler. Deneysel çalışmalarda, piyasada kolay bulunabilen ve benzerlerine göre maliyeti düşük olan argon gazı ile argon içerisine % 1,5 ve % 5 ilave edilmiş argon-hidrojen gaz karışımları kullanılmıştır.

Yapılan literatür araştırmalarına göre [28] Argon ve hidrojen karışımları genellikle hidrojen kırılabilirliğine duyarlı olmayan paslanmaz çeliklerin kaynakla birleştirilmesinde kullanıldığı belirtilmektedir. Argon-hidrojen gaz karışımları ile östenitik paslanmaz çeliklerin (3xx serisi) rahatlıkla kaynak yapılabilir. Argon içerisine hidrojen gazı ilavesiyle, uygulanan kaynak hızı, Argona eklenen hidrojen miktarına göre değişir; çünkü ark voltajı hidrojen miktarı arttıkça artar. Genellikle argon koruyucu gazına ilave edilen hidrojen miktarı %1 ile 5 arasındadır.

Deneysel çalışmalarımızda literatürde verilen bilgiler dikkate alınarak koruyucu gaz seçimi yapılmıştır. Bu amaçla, çalışmalar üç değişik koruyucu gaz (saf argon, Argon + % 1,5 H₂ ve Argon + % 5H₂) altında gerçekleştirilmiştir.

5.3. KAYNAK MAKİNASI

Birleştirme işlemleri, CEBORA AC-DC 2030-M marka, ince ve orta kalınlıktaki her türden paslanmaz çeliğin kaynağında kullanılan, % 30'da 200 Amper verimle çalışan invertör tipi AC-DC, TIG kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Kaynak işlemleri her bir parametrede alın altına ve (sadece yorulma ve çekme testlerinde kullanılmak üzere) bindirme biçiminde gerçekleştirilmiş ve toplam 6 adet kaynak yapılmıştır. Öncelikle alın birleştirmeleri, aralarında 1,5 mm boşluk kalacak şekilde sıkı bir şekilde puntalanmış ve daha sonra kaynaklanmıştır. Bindirme türü birleştirmelerde ise bindirme mesafesi olarak 10 mm seçilmiş ve puntalama işleminden sonra kaynak işlemi her iki yüzeyden yapılmıştır. Kaynak işlemi biten numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır.

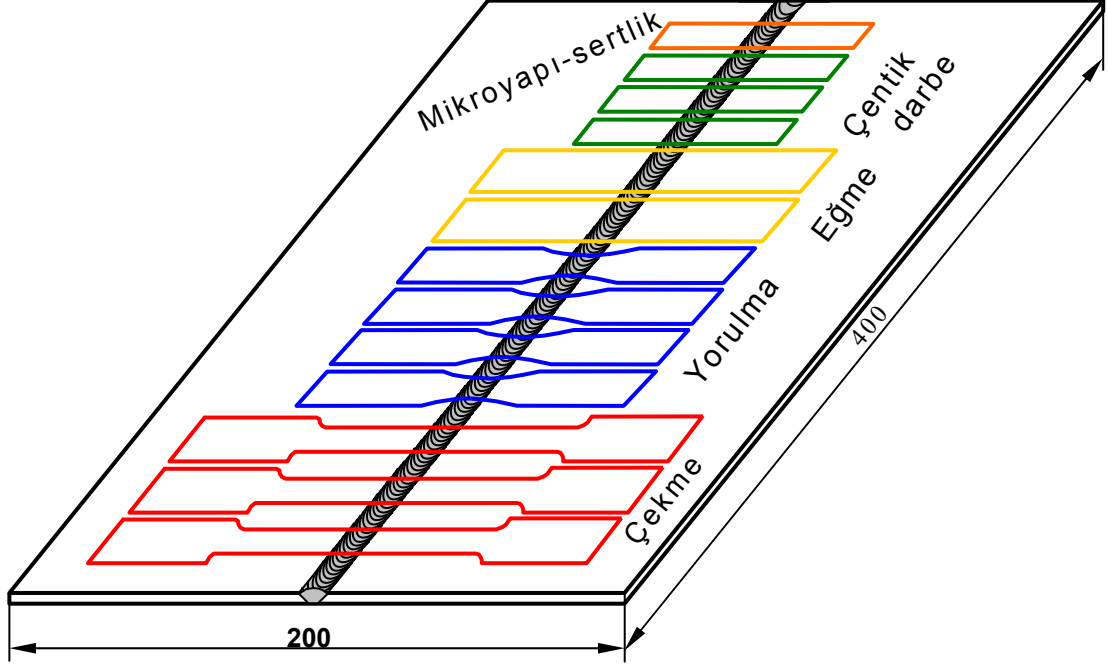
Çizelge 5.3. Birleştirme işleminde kullanılan kaynak parametreleri

	Amper (A)	Gaz akış oranı (l/dk.)	Elektrod çapı (mm)	Kaynak hızı (cm/dk.)
Argon	80	12	2,4	12
Argon+% 1.5H ₂	70	12	2,4	12
Argon+% 5H ₂	60	12	2,4	12

5.4. NUMUNE HAZIRLAMA

Kaynakla birleştirilmiş numunelerin zarar görmemesi için kesme işlemleri su jeti ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kaynaklı numunelerin başlangıç ve bitiş kısmından 20 mm kesilerek atılmıştır. Kalan kısımdan 3'er adet çekme, 7'şer adet yorulma, 3'er adet çentik darbe, 2'şer adet eğme ve 1 adet mikroyapı ve sertlik için numune kesilmiştir. Yorulma ve çekme numuneleri hem alın kaynaklı birleştirmelerden hem de bindirme biçimindeki birleştirmelerden hazırlanırken, çentik darbe, eğme, mikroyapı ve sertlik numuneleri ise sadece alın kaynaklı numunelerden

hazırlanmıştır. Şekil 5.2’de, alın kaynaklı numunelerden çıkarılmış karakterizasyon numuneleri ve şekilleri verilmiştir.



Şekil 5.2. Alın kaynaklı numunelerden hazırlanan karakterizasyon numuneleri ve şekilleri.

5.5. SERTLİK TESTİ

Bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Bilimsel anlamda ise, bir malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç sertlik olarak ifade edilir. Sertlik deneyinde, bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca veya kesici takıma karşı gösterdiği direnç ölçülür. Batıcı uçlar bilye, piramit veya koni biçiminde olup, genellikle sertleştirilmiş çelik, sinterlenmiş tungsten karbür veya elmas gibi, sertliği deney malzemesinden çok daha yüksek olan malzemelerden yapılır. Sertlik ölçümünde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Örneğin sertlik örneklerinin ölçme ve oturma yüzeylerinin düzgün ve birbirine paralel olmaları gerekir. Günümüzde en çok Brinell, Vickers, Rockwell ve Knoop sertlik ölçme yöntemleri kullanılmaktadır.



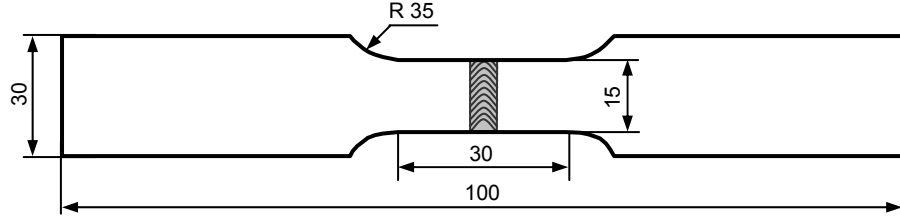
Şekil 5.3. Sertlik ölçüm cihazı

Bu çalışmada, farklı koruyucu gaz ortamlarında birleştirilmiş alın kaynaklı numunelerin sertlik ölçümleri, Shimadzu HMV marka cihaz ile HV cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde 500 g yük kullanılmış ve her bir bölgede gerçekleştirilen 5 ölçüm sonucunun ortalaması alınmıştır. Şekil 5.3’de sertlik ölçümü yapılan cihazın fotoğrafı verilmiştir.

5.6. ÇEKME TESTİ

TS 287 EN 895, herhangi bir ergitme kaynağı işlemi ile yapılmış bağlantılar ihtiva eden her biçimdeki metalik malzemelerin, tahribatlı deneylerden enine çekme deneyini kapsamaktadır. Bu standard, bir alın kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımını ve kırılma yerini tespit etmek için yapılan enine çekme deneylerinde kullanılan deney numunelerinin ölçülerini ve deney prosedürünü kapsamaktadır. Kaynaklı bir birleştirmeden, enine olarak alınan bir deney numunesine, ortam sıcaklığında ($23\pm 5^{\circ}\text{C}$) kopana kadar artan bir çekme yükünün sürekli uygulanmasıdır. Standarda göre fazla kaynak metali, (kaynak kökü ve kepi) giderilecek şekilde talaş kaldırma işlemine tabi tutulmalıdır. Ayrıca, deney numunesini çıkarmak için kullanılan mekanik veya ısıl işlemler deney numunesinin özelliklerini hiçbir şekilde değiştirmemelidir.

Standartta verilen bilgiler doğrultusunda su jeti ile kesilen kaynaklı numunelerin kaynak kök ve kepleri taşlanarak, numune yüzeylerinde çentik etkisi yapacak izler giderilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan çekme test numunesinin ölçüleri Şekil 5. 4’de verilmiştir.



Şekil 5. 4. Çekme test numunesi ölçüleri

Şekil 5.5’de ise çekme ve eğme deneylerinin yapıldığı test cihazının fotoğrafı verilmiştir.



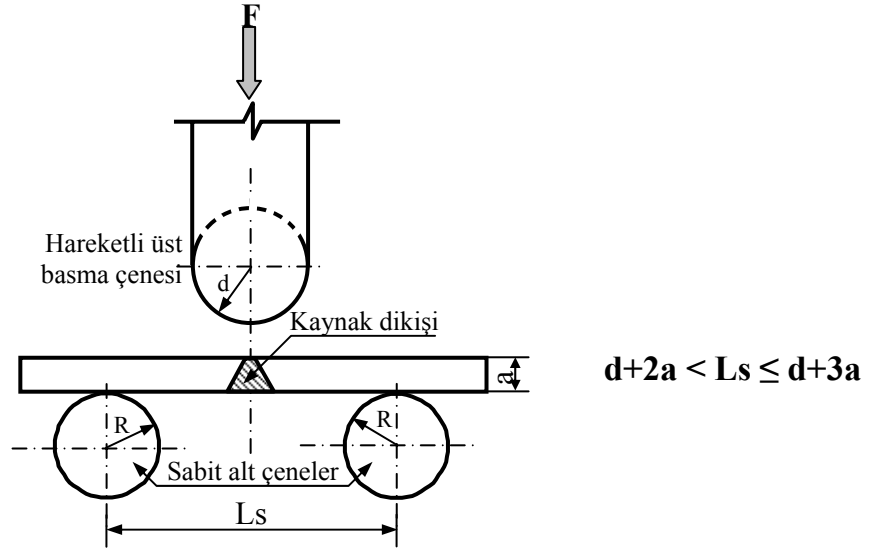
Şekil 5.5. Çekme ve eğme deneylerinin yapıldığı test cihazı

Her bir kaynak parametresinden ve ana malzemeden 3 adet olarak hazırlanan çekme numuneleri, oda sıcaklığında Autograph-Shimadzu tipi cihaz ile 2 mm/dk ilerleme hızında teste tabi tutulmuşlardır.

5.7. EĞME TESTİ

İki destek üzerine serbest olarak yerleştirilen daire veya dikdörtgen kesitli bir deney parçasının ortasına bir kuvvet uygulandığında meydana gelen şekil değişimine eğme denir. Standartlarda (TS 282 EN 910) eğme deneyinin yapılışının sebebinin; kaynaklı birleştirmenin yüzeyindeki veya yakınındaki sünekliliğini ve/veya birleştirme yüzeyinde veya yüzeye yakın kusurların mevcut olup olmadığını değerlendirmek için yapıldığı belirtilmektedir. Ayrıca bu standartta, herhangi bir ergitme ark kaynak işlemiyle yapılmış kaynaklı birleştirmelere sahip metalik malzemelerin bütün mamul biçimlerine uygulanır olduğu belirtilmektedir.

Eğme deney numuneleri sadece alın kaynaklı numunelerden olmak üzere 20x160 mm ebatlarında su altı jeti kesme yöntemi kullanılarak TS 282 (EN 910)'da belirtilen şartlara göre hazırlanmıştır (Şekil 5.6). Kesilen numunelerin kaynak kök ve kepi taşlanarak kaynak malzemeleri ile aynı seviyeye getirilmiştir. Her bir kaynaklı deney parçasından 2'şer adet eğme deneyi numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 5.6. Eğme deneyinin yapılışı

Eğme deneyleri, Autograph-Shimadzu tipi çekme-basma cihazında gerçekleştirilmiş ve eğme hızı olarak 2 mm/dk seçilmiştir. Eğme deneyi esnasında hem sabit çenelerin hem de hareketli çenenin çapları 20 mm olarak seçilmiştir. Deney esnasında kaynaklı numunelerin kaynak dikişinin sabit alt çeneler arasındaki açıklığın tam ortasında

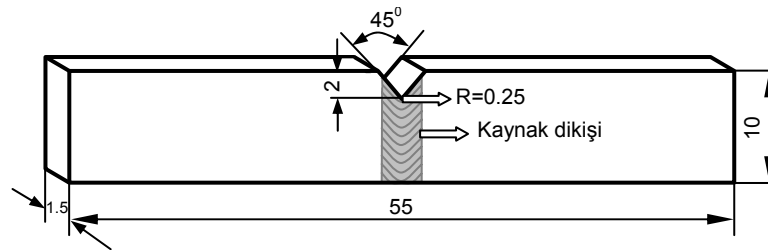
olmasına ve uygulanan yükün (üç noktalı bükme) sürekli olmasına özen gösterilmiştir. Uygulanan kuvvetin etkisi ile deney parçası kesitinin bir kısmında basma gerilimi, geri kalan kısmında da çekme gerilimi meydana gelmektedir. Eğme işlemine numune mesnetler arasından kayıp çıkıncaya kadar devam edilmiştir.

5.8. ÇENTİK DARBE TESTİ

Çentik darbe deneyinde amaç, malzemenin bünyesinde muhtemelen bulunacak bir gerilim konsantrasyonunun (gerilim birikiminin) darbe esnasında çentik tabanında suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir.

Çentik darbe deneyi, darbeli yükler altında, bir malzemenin kırılması için gerekli olan enerji miktarının belirlenmesi için yapılır. Malzemelerin gevrek kırılma etkisinde yeter tokluğa veya plastik şekil değişikliğine sahip olup olmadığının tespiti için çentik darbe (vurma) yöntemi uygulanır. Çentik darbe deneyi sarkaçlı vurma cihazında yapılır. Cihazın sarkaç çekici önceden belirlenmiş bir yükseklikten düşer ve en alt noktada arka yüzüne vurduğu çentikli deney numunesini kırmaya zorlar. Bu sırada vurma hızı 4 m/s ile 7 m/s arasında olmalıdır. Bu yöntemle elde edilen çentik darbe işi, farklı içyapılardaki birçok malzeme için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle, çentik darbe işi bulunurken standartlara göre belirlenmiş sıcaklıklarda deney yapılmalıdır.

Çentik darbe numuneleri (TS 269'a göre) sadece ana malzeme ve kaynak dikişinden 3'er adet olmak üzere Şekil 5.7'de verilen ebatlarda hazırlanmıştır.



Şekil. 5.7. Çentik darbe test numunesi

Kaynaklı numunelerin kaynak kepleri ve kaynak kökleri talaşlı imalat ile malzeme kalınlık seviyesine getirilmiştir. Freze tezgâhında açılan çentikten sonra kırma işlemleri Devotrans Devo (CDC 0700014) marka cihaz ile oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.8’de çentik darbe deneylerinin yapıldığı test cihazının fotoğrafı verilmiştir.



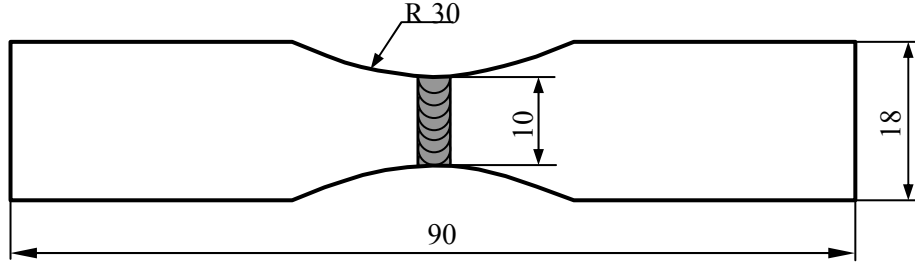
Şekil 5.8. Çentik darbe deneylerinin yapıldığı test cihazı

5.9. YORULMA TESTİ

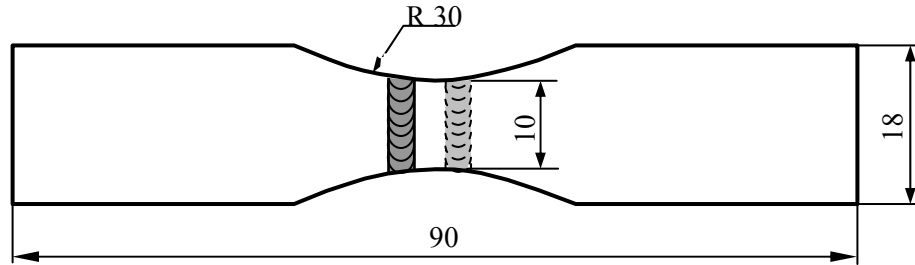
Birçok makine parçaları ve yapı elemanları kullanılma esnasında tekrarlanan gerilmeler (yükler) ve titreşimler altında çalışmaktadırlar. Tekrarlanan gerilmeler altında çalışan metalik parçalarda, gerilmeler parçanın statik dayanımından küçük olmalarına rağmen, belirli bir tekrarlanma sayısı sonunda genellikle yüzeyde bir çatlama ve bunu takip eden kopma olayına neden olurlar. Yorulma testi, bir parçanın ne kadar süreyle dayanabileceğini veya kopma olmaksızın uygulanabilecek maksimum yüklemeleri belirler. Yorulma olayında çatlama genellikle yüzeydeki bir pürüzde, bir çentikte, bir çizikte, bir kılcal çatlakta veya ani kesit değişimlerinin olduğu yerde başlar.

Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler, kaynak edildikten sonra yorulma deney makinesinin özelliklerine uygun olan her bir gaz karışımı için Standard boyutlarda 8 adet su jeti ile kesilerek çıkartılmıştır. Deneysel çalışmalar için kullanılan alın

kaynaklı numunelerin boyutları Şekil 5.9’da bindirme kaynaklı numunelerin boyutları ise Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.9. Alın kaynaklı numunelerin boyutları



Şekil 5.10. Bindirme kaynaklı numunelerin boyutları

Üç değişik koruyucu gaz ortamında birleştirilmiş numunelerin yorulma deneyleri, eğme gerilmeli makinada yapılmıştır. Yorulma deney makinası fotoğraf olarak Şekil 5.11’de, çalışma prensibi de Şekil 5.12’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 5.11. Yorulma makinasının fotoğrafı

Eğmeli yorulma deneyleri sonucu elde edilen değerler ve Wöhler eğrileri en yüksek gerilmeye karşılık çevrim sayısı logaritmik işaretlenerek çizilmiştir. Bir defaya mahsus mukayese amaçlı esas metalden, kaynaklı bağlantılarda ise her gaz karışımı için 7'şer adet numune hazırlanarak yapılmıştır. Tüm deneylerde sınır çevrim sayısı olarak literatürde tavsiye edilen çevrim sayısı $N=2 \times 10^6$ alınmıştır. Deneylerde kullanılan eğme momenti (M_e) değerlerinden eğilme gerilmesi (σ) değerlerine klasik mukavemet bilgileri kullanılarak dikdörtgen kesitli parçalar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [43];

$$W = \frac{b.h^3}{6}, \quad \sigma = \frac{M_e}{W} \quad (5.1)$$

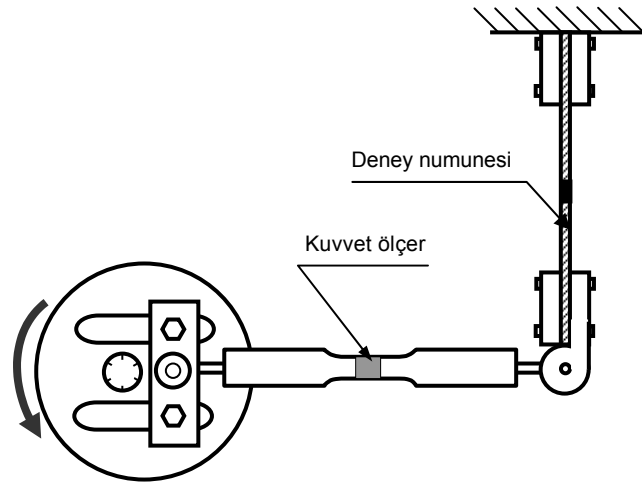
σ = Eğilme gerilmesi (kg/cm^2)

W = Eksenel direnç momenti (cm^3)

M_e = Eğilme momenti (kg cm),

b = Genişlik (cm),

h = Kalınlık (cm)



Şekil 5. 12. Eğmeli yorulma düzeneğinin şematik gösterilişi

Deneyler sırasında yorulmaya tabi tutulan numunede bir kırılma veya kopmanın oluşması durumunda devreyi otomatik olarak kapatan magnetik durma (stop) mekanizması devreye girerek işlemi durdurmaktadır. Motor şaftının ikinci ucuna monte edilen sayaçtan deney süresince toplam gerilme çevrimi (yükleme sayısı) okunabilir.

5.10. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

Bilindiği gibi numunelerin yüzeyinde, kesilen aletin kesme izleri bulunur. Ayrıca kesme esnasında numunenin yüzeyi bir miktar deforme olur. Numuneyi orijinal yapı temsil ettiğinden, toplam deformasyona uğramış tabakanın ortadan kaldırılması zımparalama ve parlatmanın amacıdır.

Kaba zımparalamanın amacı, bir sonraki zımparalama ve parlatma kademeleri için gerekli düz yüzeyi elde etmektir. Bu işlemde numune önce sırayla 80, 150, 240 ve 320 no'lu zımpara ile zımparalanır. Kaba zımparalamada dikkat edilecek husus, numunenin ısınmasını önlemektir. Bu nedenle, zımparalama kademesi genellikle yaş (su altında) yapılır. Ayrıca, parlatma keçelerinin yırtılmasını önlemek için numunedeki (bakalitin) keskin köşe ve kenarlar da, kaba zımparalama kademesinde kaldırılmalıdır.

İnce zımparalama kademesinde 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 1500 no'lu zımparalar kullanılır. Pratikte, bir zımparadan diğerine geçildiğinde, numune 90° çevrilerek bir evvelki zımparalama yönüne dik olarak zımparalanır. Zımparalama esnasında numune yüzeyinde oluşan çizikler ve deformasyon tabakası bir sonraki zımparalama ile ortadan kalkar. Bunun için her zımparalama kademesi sonunda numune gözle kontrol edilmelidir.

Zımparalama işlemi bittikten sonra Mikroskopik inceleme için parlatılmaları gerekir. Başarılı parlatma işleminde, nihai parlatma kademesinden sonra numunenin yüzeyi ayna gibi görünür. Bununla beraber göz aldanmasına engel olmak amacıyla özellikle numunenin mikro yapı fotoğrafı çekilecekse parlatmanın yeterli olup olmadığı ancak, numunenin mikroskopta X100 büyütmede incelenmesi ile anlaşılır. Eğer numune dağlanmadan önce mikroskopta incelenecekse, alkolle temizlenir ve kurutulur. Parlatmadan sonra ancak, metalik olmayan kalıntılar, porozite, çatlak, yüzeydeki diğer benzeri kusurlar kolaylıkla görülebilir. Bu nedenle parlatmadan sonra numunelerin mikroskopta incelenmesinde yarar vardır.

Malzemelerde gerçek içyapı özelliklerini ortaya çıkarmak için metalografide çoğu kez, parlatılmış numune yüzeyine uygun bir reaktif tatbik edilir. Bu işleme **kimyasal dağlama** veya kısaca **dağlama** (etching) denir. Dağlama ile parlatma sonunda görülemeyen mikro yapı özellikleri açığa çıkar. Dağlama, ayrıca fazların cinsini tayin etmede ve yönlenme etütlerinde kullanılır.

Çalışma sonucunda hazırlanan mikroyapı numuneleri, öncelikle bakalite alınmışlardır. Bakalite alınan numuneler yüzeylerinin çizilmemesi için su zımparası ile zımparalanmışlardır. Zımparalama işlemi sırasıyla olmak üzere 180, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik silisyum karbür su zımparası ile ve de her zımparalama arasında 90° çevrilerek tamamlanmıştır. Zımparalama işlemi biten numuneler malzeme yüzeyini hazırlamada son basamak olan parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır. Parlatma işleminde amaç düzgün yüzeyli, çizik olmayan ve ayna gibi bir görünüm sağlamaktır. Parlatma işlemi, dönen bir disk üzerine yerleştirilmiş 3 µm bir keçe ile gerçekleştirilmiş ve bu keçe üzerine de 3 µm'lik elmas pasta emdirilmiştir. Parlatma işlemleri esnasında 500 dev/dk hız kullanılmış olup, her bir numune 5 dakika süreyle disk üzerinde yük uygulanmaksızın tutulmuştur. Şekil 5.13'de deneysel çalışmaların mikroyapı incelemelerinde kullanılan zımparalama ve parlatma cihazının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.13. Mikroyapı çalışmalarında kullanılan parlatma cihazının görüntüsü.

Parlatma işlemi tamamlanan numuneler mikroyapılarının görülebilmesi için dağlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Parlatma işlemi, oksalik asit ile elektrolitik olarak, 1

Amp/cm² de 1,5 dakika dağlama yapılmış ve mikroyapı incelemesi için hazır hale getirilmişlerdir. Hazırlanan numunelerden Meiji ML 7100 marka ve bilgisayara görüntü aktarabilen optik mikroskop ile gerekli görülen bölgelerden mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. Şekil 5.14’de mikroyapı çalışmalarının yapıldığı optik mikroskopun fotoğrafı verilmiştir.



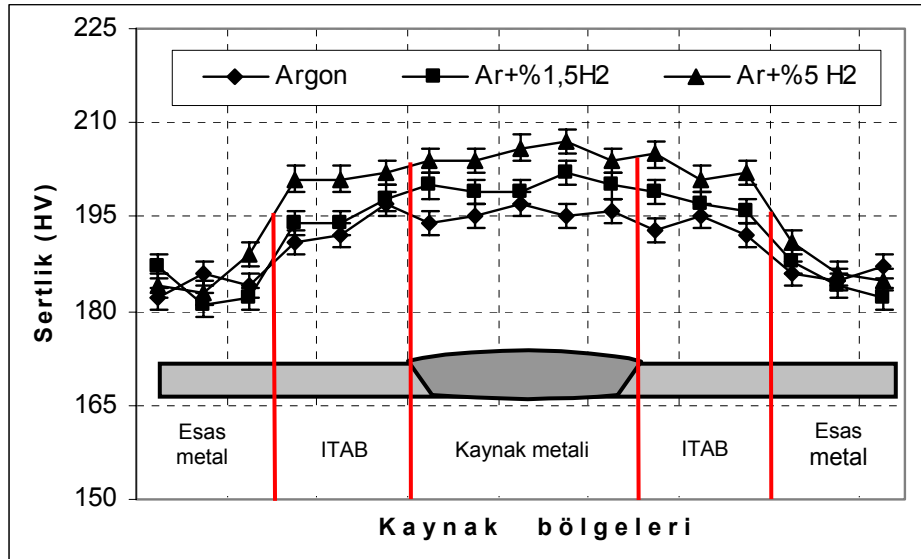
Şekil 5.14. Mikroyapı çalışmalarının yapıldığı optik mikroskop

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. SERTLİK TESTİ

Şekil 6.1’de sadece alın birleştirmelerden elde edilen sertlik deney sonuçları grafik olarak verilmiştir. Deneyi sonuçları genel olarak incelendiğinde; kaynak bölgesinden esas metale doğru sertlikte bir düşüş olduğu göze çarpmaktadır. Burada en yüksek sertlik değerleri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme takip etmektedir. Köllük ve Gülenç [49], AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemeleri TIG kaynak yöntemi ile birleştirmiş ve kaynak bölgesinden esas metale doğru gidildikçe sertliğin azaldığını rapor etmişlerdir. Tusek ve arkadaşları [50], östenitik paslanmaz çelik malzemeleri MIG kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve sertlik değerlerinin kaynak metalinden uzaklaştıkça azaldığını belirtmişlerdir.

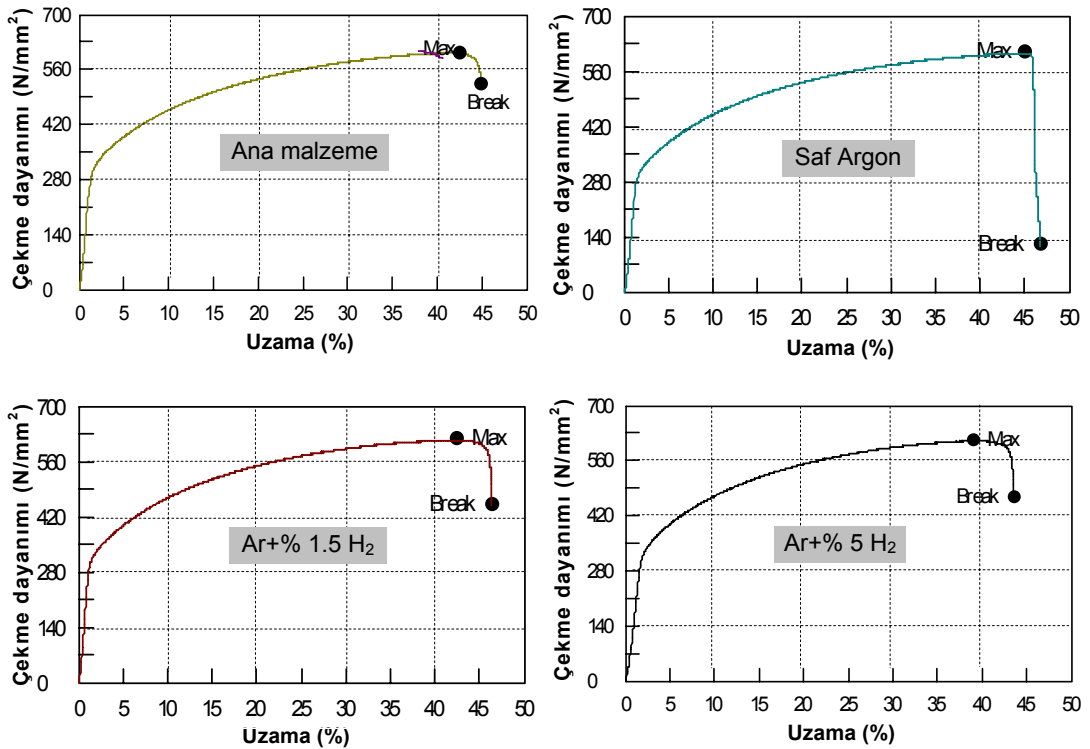


Şekil 6.1. Sertlik ölçüm sonuçları

Ayrıca Şekil 6.1’de değişik koruyucu ortamlarda elde edilen birleştirmeler kıyaslandığında, çok fazla bir fark olmamakla birlikte, en yüksek sertliğin Argon+% 5H₂ gaz koruması ile elde edildiği ve bu birleştirmeyi Argon+% 1.5H₂ gaz korumasının kullanıldığı birleştirmelerin takip ettiği tespit edilmiştir. En düşük sertlik değeri ise saf argon koruyucu ortamında elde edilen birleştirmelerden ölçülmüştür. Benzer çalışmasında Abuç [33], AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemeleri farklı koruyucu gazlar altında ve 308 L ilave metal ile birleştirmiş ve sertlik testleri sonucunda en yüksek sertlik değerini, kaynak metalinden ölçtüğünü belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı, argon koruyucu gaz ortamında gerçekleştirilen birleştirmelerin, Argon + %5 H₂ koruyucu gaz ortamında gerçekleştirilen birleştirmelerden daha düşük sertlik değerlerine sahip olduklarını belirtmiştir.

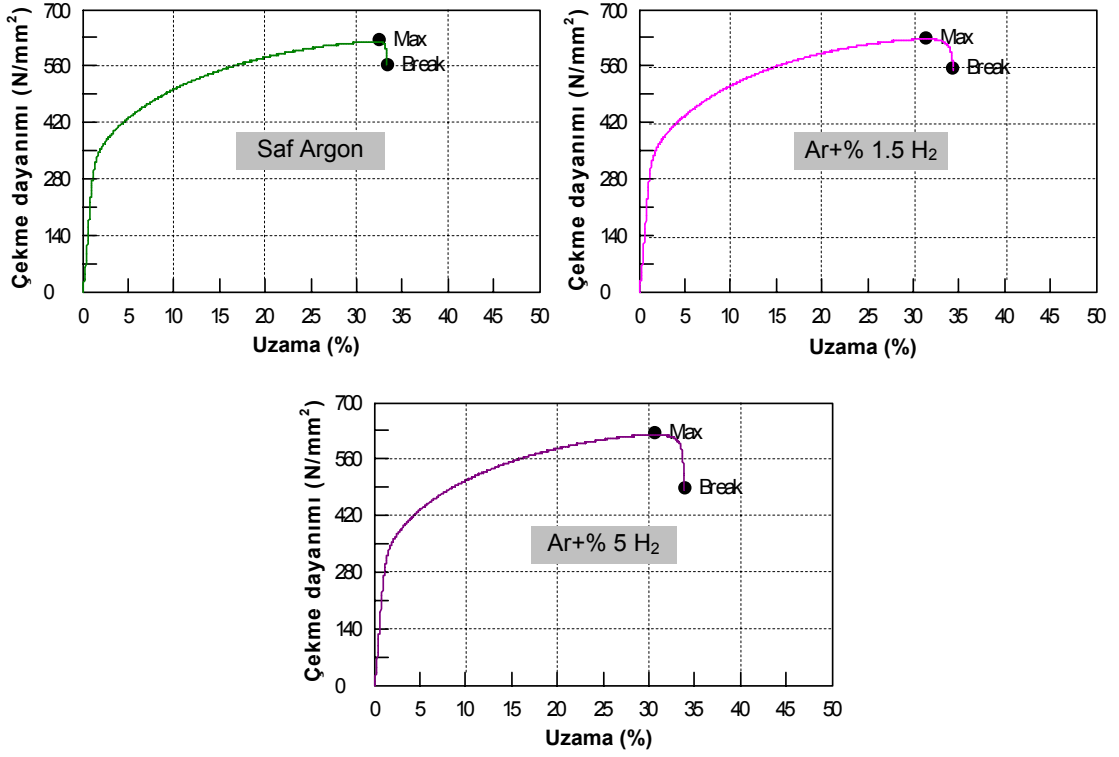
6.2. ÇEKME DENEYİ TEST SONUÇLARI

Üç değişik koruyucu gaz ortamında, alın altına birleştirilmiş kaynaklı numuneler ile işlem görmemiş ana malzemeden elde edilen çekme grafikleri (üç çekme numunesinden elde edilen ortalama çekme grafikleri) Şekil 6.2’de verilmiştir.



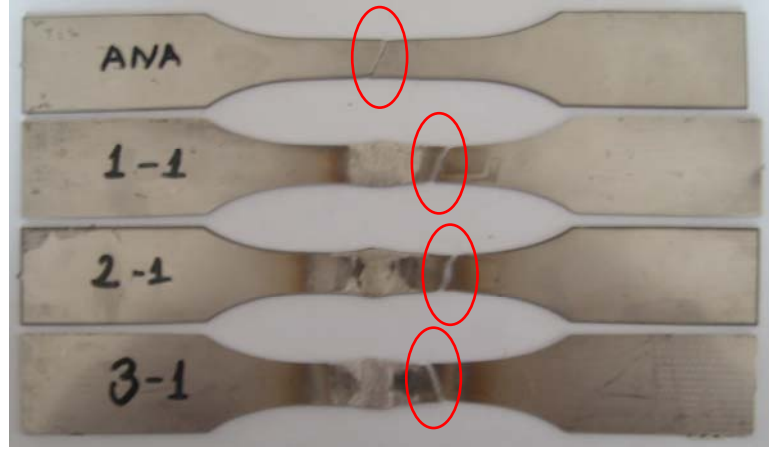
Şekil 6.2. Ana malzeme ve alın altına birleştirilmiş numunelerin çekme grafikleri

Üç değişik koruyucu gaz ortamında, bindirme biçiminde birleştirilmiş kaynaklı numunelerden elde edilen çekme grafikleri ise (üç çekme numunesinden elde edilen ortalama çekme grafikleri) Şekil 6.3’de verilmiştir.

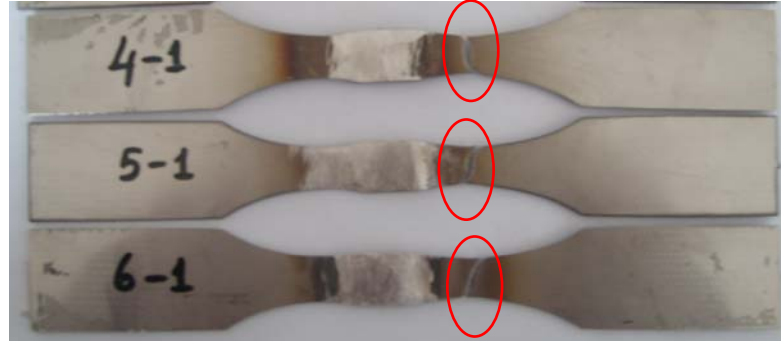


Şekil 6.3. Bindirme biçiminde birleştirilmiş numunelerin çekme grafikleri

Üç değişik gaz karışımı kullanılarak oluşturulan alın kaynaklı birleştirmeler ile esas metalden elde edilen çekme numunelerinin kopma bölgeleri Şekil 6.4’de ve bindirme kaynaklı birleştirmelerden elde edilen çekme numunelerinin kopma bölgesi fotoğrafları ise Şekil 6.5’de verilmiştir. Çekme testi sonrası hem alın birleştirmelerin hem de bindirme birleştirmelerin tümünde kopmanın ITAB’dan meydana geldiği görülmektedir. Bu sonuçlar, kaynak dikişlerinin güvenli olduğunu göstermektedir.

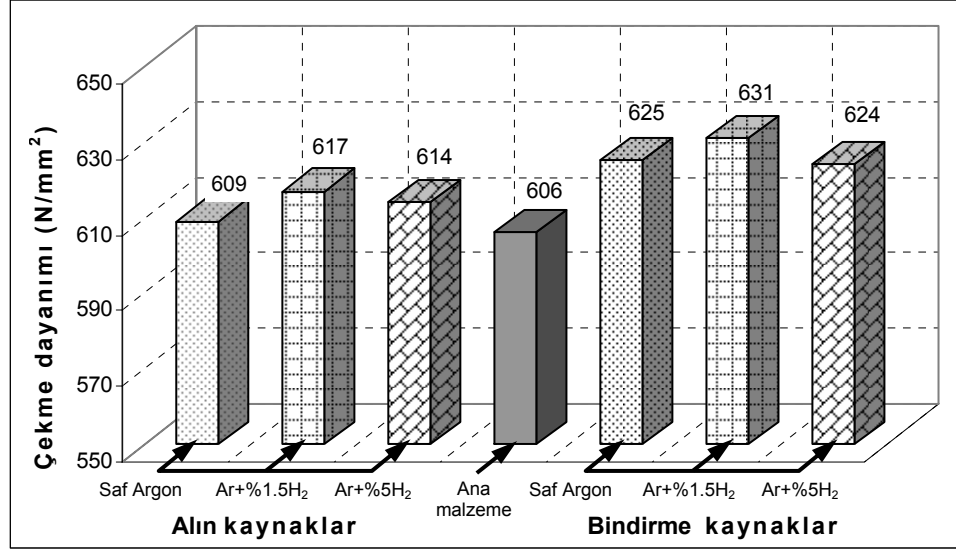


Şekil 6.4. Esas metal ve alın kaynaklı numunelerin çekme sonrası görüntüleri



Şekil 6.5. Bindirme kaynaklı numunelerin çekme sonrası görüntüleri

Bilindiği gibi kaynaklı bağlantılarda, kaynak dikişi mukavemetinin, her zaman esas metale nazaran daha sağlam olması istenmektedir. Aksi takdirde kaynak metalinden kopma oluşması halinde bunun anlamı; kaynak metalinde büyük hata olduğu ya da ilave metalin veya kaynak parametrelerinin uygun seçilmediğidir. İlave metal seçiminde, üretici firma ve mühendisler, kaynak metali mukavemetinin her zaman esas metalden daha yüksek olması gerektiğini bilerek üretimi ve seçimi yaparlar. Şık [43] otomobil saclarına değişik koruyucu gazlar kullanarak yaptığı çalışmada, uygun ilave tel seçildiğinde, kopmaların kaynak bölgesi dışından olduğunu belirtmiştir.



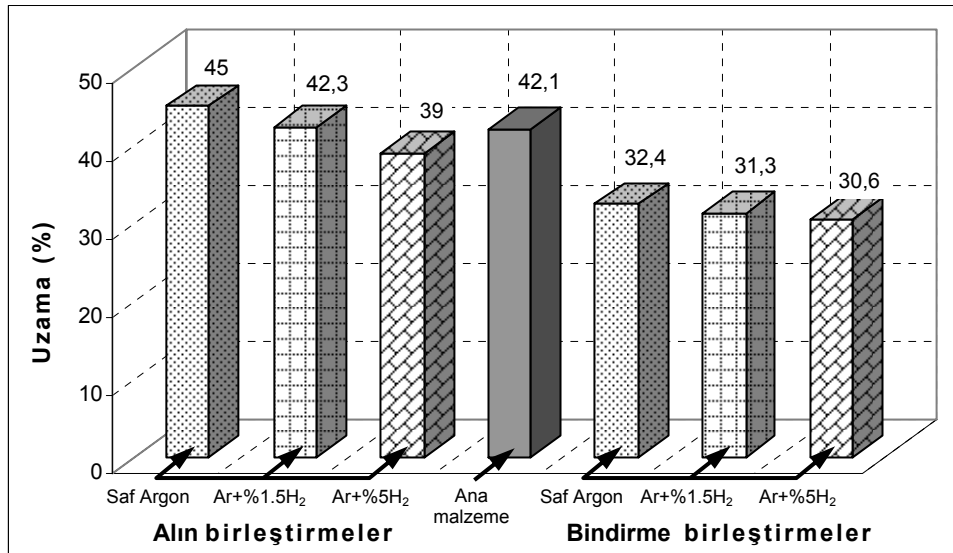
Şekil 6.6. Esas metal, alın ve bindirme kaynaklı malzemelerin çekme dayanımları

Ayrıca kaynaklı numunelerin tümünde, ölçülen çekme dayanımlarının orijinal malzemeden ölçülen çekme dayanımlarından daha yüksek olduğu Şekil 6.6'de görülmektedir. Kaynak işlemlerinde kullanılan ilave metalin çekme dayanımının ana malzemeden daha yüksek olmasından dolayı kopma işlemleri kaynak dikişinden değil, dikişe yakın bir yerden (ITAB) olmuştur. Abuç [33] ostenitik paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemi ile kaynağında, koruyucu gazın mekanik özelliklere etkisini incelediği çalışmasında, birleştirmede kullanılan ilave metalin çekme dayanım değerlerinin ana malzemenin sahip olduğu çekme dayanım değerlerinden daha yüksek olduğunu, bunun sonucunda da kaynaklı numunelerden elde edilen çekme dayanımlarının ana malzemeden daha yüksek değerlerde olduğunu belirtmiştir.

Farklı koruyucu gaz kullanılarak gerçekleştirilmiş alın ve bindirme kaynaklı bağlantıların çekme test sonuçları incelendiğinde, en düşük çekme dayanımı saf argon gaz koruması altında elde edilirken, en yüksek çekme dayanımı Ar + % 1.5 H₂ gaz koruması altında gerçekleştirilen kaynaklı numuneden elde edilmiştir. Ar koruyucu gazına ilave edilen H₂ miktarının artmasıyla (Ar + % 5 H₂) çekme dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Gülenç ve arkadaşları [51] ve Durgutlu [52] farklı koruyucu gaz karışımlarında ve farklı kalınlıklarda ostenitik paslanmaz çelikleri birleştirmişler ve en düşük çekme dayanımının argon koruyucu ortamda

elde edildiğini ve hidrojen oranının bir dereceye kadar artmasıyla çekme dayanımının arttığını ve hidrojen oranının % 5'lere çıktığında çekme dayanımının bir miktar azaldığını fakat saf argon ortamında elde edilen çekme dayanımından yinede yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Her iki çalışmada da, çekme dayanımının azalmasının sebebi olarak, kullanılan hidrojenin yüksek ısı iletkenliği nedeni ile malzemeye uygulanan yüksek ısı girdisi gösterilmiştir. Benzer çalışmada Abuç [33], ostenitik paslanmaz çelikleri farklı koruyucu gazlarla birleştirmiş ve argon gaz ortamında elde edilen birleştirmenin çekme dayanımının Ar + %5 H₂ gaz ortamında elde edilen birleştirmeden daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Yapılan çekme deneyi sonucunda elde edilen % uzama değerleri Şekil 6.7'de toplu halde verilmiştir. Şekil incelendiğinde, alın birleştirmelerde argon (ortalama uzama % 45) ve Ar + % 1,5 H₂ (ortalama uzama % 42,3) koruyucu gaz ile gerçekleştirilen birleştirmelerde, ana malzemedan (ortalama uzama % 42,1) daha yüksek değerler elde edilmiştir. Ar + % 5H₂ alın birleştirmesinde ise ana malzemedan daha düşük (ortalama uzama % 39) bir % uzama değeri tespit edilmiştir.



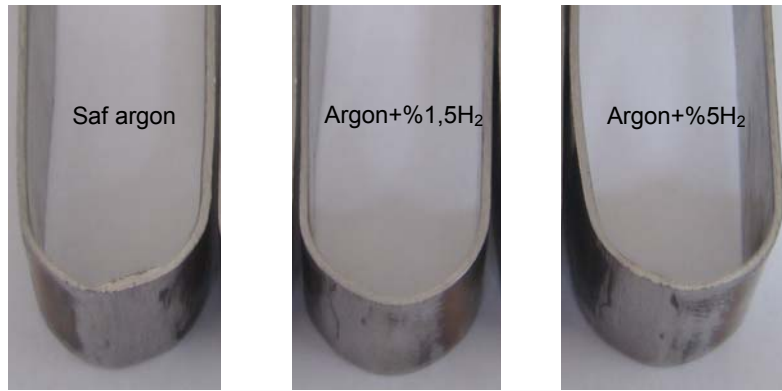
Şekil 6.7. Esas metal, alın ve bindirme kaynaklı malzemelerin % uzama değerleri

Bindirme birleştirmelerinin tümünde ise % uzama değerleri ana malzemedan daha düşük bulunmuştur. Bu birleştirmelerde en yüksek uzama değeri % 32,4 ile argon koruyucu ortamında bulunurken, onu sırasıyla % 31,3 ile Ar + % 1,5 H₂ ve % 30,6

ila Ar + % 5 H₂ koruyucu ortamında elde edilen birleştirmeler izlemektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki; AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğın birleştirilmesinde kullanılan farklı koruyucu gazlar, kaynaklı malzemelerin sahip olduğu çekme dayanım değerleri ile % uzama değerlerinin belirlenmesinde etkili olmaktadır.

6.3. EĞME DENEY SONUÇLARI

Üç değişik gaz karışımı (saf argon, argon + %1,5 H₂ ve argon + % 5 H₂) kullanılarak gerçekteştirilen alın kaynaklı birleştirmelerden elde edilen eğme numunelerinin eğme deneyi sonrası fotoğrafları Şekil 6.8’de verilmiştir. Test esnasında, üç farklı kaynak ortamında birleştirilmiş numunelerde, çatlak başlangıç açasının belirlenmesi için dikkatli bir gözle muayene yapılmış ve numunelerin tümünün 180°’ye kadar sorunsuz bir Şekilde eğilebildiği görülmüştür. Eğme testi yapılan numunelerde, test sonrası göz ile yapılan muayenede kaynaklı numunelerin hiçbirinde çatlak, yırtık vb. hata görülmemiştir.



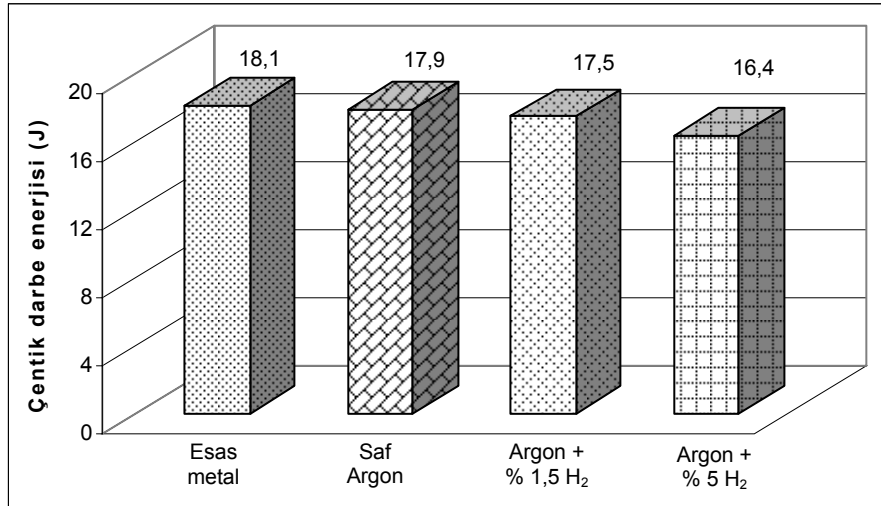
Şekil 6.8. Alın kaynaklı numunelerin eğme deneyi sonrası görüntüleri

Çalışmalarımız sonucunda elde edilen eğme numunelerinin kaynak bölgelerinde (kaynak metali, ITAB ve esas metal) herhangi bir hatanın meydana gelmemesi, birleştirmelerin standartlara uygun olduğunu ve bu üç değişik ortamda birleştirilmiş kaynaklı bağlantıların servis Őartlarında rahatlıkla eğilerek kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, kaynaklı bağlantıların eğme testi sonucunda, kaynak yerinden çatlamadan 180° bir değeri almış olması, yapılan kaynağın iyi bir mekanik özelliğe sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Abu [33] paslanmaz elikleri TIG kaynak yöntemi ile değişik koruyucu gaz ortamlarında birleştirmiş ve uygulanan eğme deneyi sonucunda tüm parçalarda kaliteli ve iyi birleştirmeler gerçekleştirilmiş olduğunu ve makroskopik olarak yapılan incelemelerde her hangi bir atlağa, boşluğa veya başka bir kaynak hatasına rastlanmadığını belirtmiştir. Benzer alışmalarında Gülenç ve arkadaşları [51] ve Durgutlu [52] stenitik paslanmaz elik malzemeleri argon ve argon içerisine farklı oranlarda hidrojen karıştırılmış koruyucu gaz ortamlarında birleştirmiş ve 180° eğme testleri sonucunda yırtık ve çatlak oluşumuna rastlanmadığını rapor etmişlerdir.

6.4. ÇENTİK DARBE DENEY SONUÇLARI

Üç farklı koruyucu gaz ortamında birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kaynak metalini ile esas metalden hazırlanmış 1,5x10x55 mm ebatlarındaki çentik darbe deney sonuçları Şekil 6.9’da verilmiştir. entik darbe deneyleri, sadece esas metal ile kaynaklı numuneleri ve kaynaklı numuneleri birbirleriyle kıyaslama (argon koruyucu gazına ilave edilen H₂ gazının etkilerini belirlemek) amacıyla yapılmıştır.



Şekil 6.9. Esas metal ve alın kaynaklı numunelerin çentik darbe test sonuçları

Şekil 6.9 incelendiğinde, en yüksek çentik darbe mukavemetinin 18,1 J ile esas metalden ölçüldüğü görülmektedir. Üç farklı koruyucu gaz ortamında birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kaynak metallerinin çentik darbe dayanımlarına bakıldığında, en yüksek değer 17,9 J ile saf argon koruyucu gaz ortamında birleştirilen

numunelerden elde edilmiştir. Bu numuneyi 17,5 J ile argon + % 1,5 H₂ ve 16,4 J ile argon + % 5 H₂ takip etmektedir. Buradan, argon koruyucu gazı içerisine ilave edilen H₂ gazının, çentik darbe tokluğunu düşürdüğü sonucu çıkmaktadır. Ayrıca, argon gazı içerisine ilave edilen H₂ miktarının artmasıyla da tokluğun azaldığı tespit edilmiştir. Argon+H₂ gazı kullanıldığında, kaynak bölgesine verilen ısı girdisi artmış ve yüksek ısı girdisi ile kaynak bölgesindeki δ-ferrit miktarı da artmıştır. Kaynak metalindeki hacim merkezli kübik yapıya sahip δ-ferrit miktarının artması da, çentik darbe değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Daha önce yapılan bir çalışma da bu sonucu desteklemektedir [33].

Çentik darbe test sonuçları incelendiğinde, kaynaklı numunelerin kaynak metallere kadar tokluğa sahip olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kaynak esnasında kullanılan koruyucu gazların, kaynak metali tokluk değerlerini etkilediği tespit edilmiştir. Türkyılmaz [29] çalışmasında, AISI 2205 dubleks, AISI 420 martenzitik ve AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çelikleri TIG kaynak yöntemi ile birleştirmiş ve birleştirme sonucunda birleştirilen parçaların çentik darbe deneyinde ana malzemeye göre tokluk değerlerinin düştüğünü rapor etmiştir. Ayrıca, kaynak esnasında kullanılan koruyucu gazların çentik darbe sonuçlarını etkilediğini belirtmiştir.

Şekil 6.9'daki grafikte verilen kaynaklı numunelerin kaynak metallere kadar elde edilen tokluk değerleri ile Şekil 6.1'de verilen sertlik değerleri ile kıyaslanacak olursa, kaynak metallere ölçülen sertlik değerlerinin artmasıyla tokluğun düştüğü görülmektedir. Farklı metallere kaynak metalleri üzerinde yapılan benzer çalışmalarda Kılınçer ve Kahraman [53], Kılınçer [54] ve Çetinkaya [55] kaynak metalindeki sertliğin artmasına bağlı olarak çentik darbe dayanımının düştüğünü rapor etmişlerdir.

6.5. YORULMA DENEY SONUÇLARI

Eğmeli yorulma deneyleri sonucu elde edilen Wöhler eğrileri en yüksek gerilmeye karşılık çevrim sayısı işaretlenerek çizilmiştir. Bir defaya mahsus mukayese amaçlı

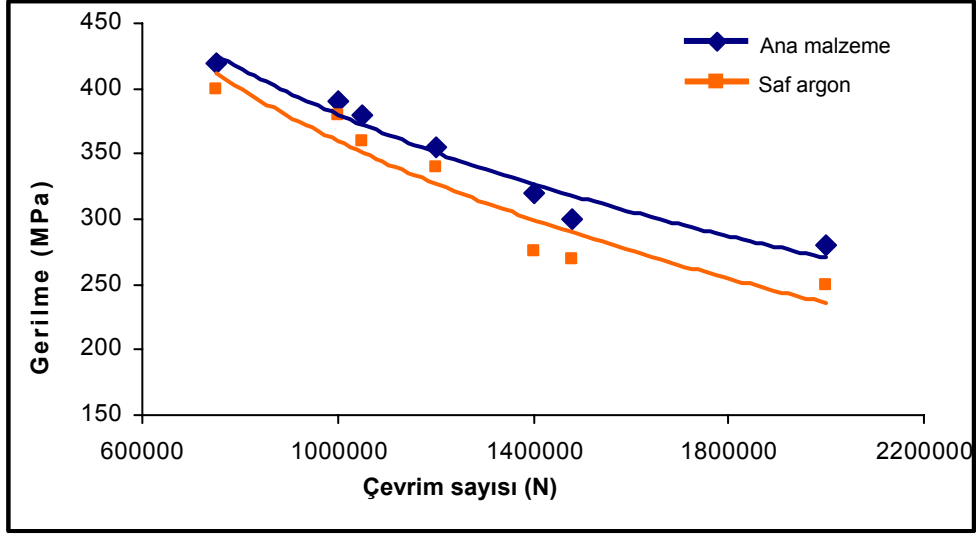
ana malzemeden, alın ve bindirme kaynaklı bağlantılarda ise her gaz karışımı için numuneler hazırlanmıştır.

Şekil 5.9 da alın kaynak, Şekil 5.10'da da bindirmeli kaynak numunelerinin EN 288-3'e uygun olan boyutları verilmiştir. Deneyler, Şekil 5.11'de fotoğrafı verilen yorulma makinasında oda ısısında yapılmıştır. Deney numuneleri yedi grup olup özellikleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

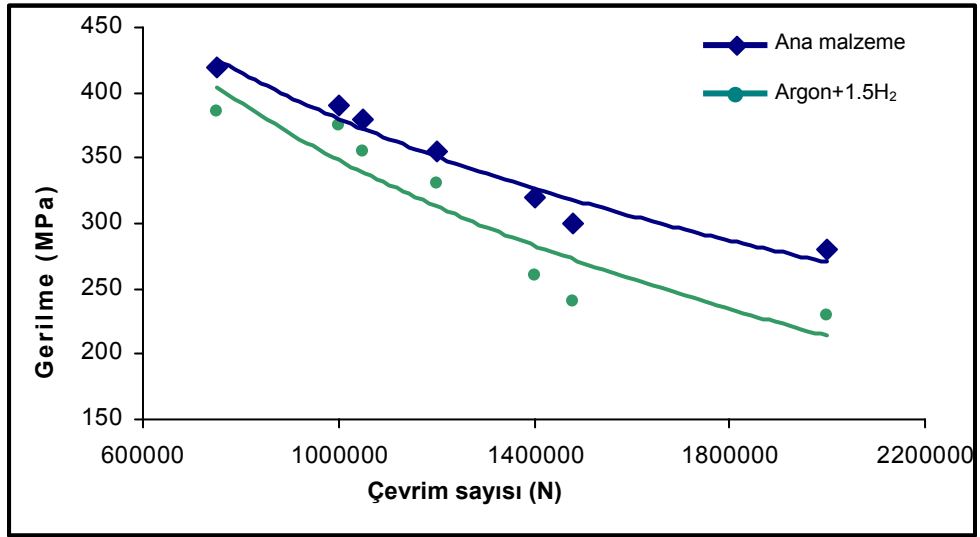
Çizelge 6.1. Numune grup ve özellikleri

Grup Numarası	Kaynak Şekli	Gaz Bileşimi	Akım Şiddeti
1	Kaynaksız	-----	-----
2	Alın	Saf argon	80 amper
3	Alın	Argon + % 1,5 H ₂	70 amper
4	Alın	Argon + % 5 H ₂	60 amper
5	Bindirme	Saf argon	80 amper
6	Bindirme	Argon + % 1,5 H ₂	70 amper
7	Bindirme	Argon + % 5 H ₂	60 amper

Şekil 6.10'da ana malzemenin yorulma dayanımı ve saf argon gaz atmosferinde alın altına kaynak edilmiş numunelerin yorulma dayanımları karşılaştırılmıştır. Kaynak süresince ısı tesiri altında kalan ve yapısında bozulmalar olan, saf argon atmosferinde kaynak yapılmış numunelerin yorulma dayanımlarının, doğal olarak daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



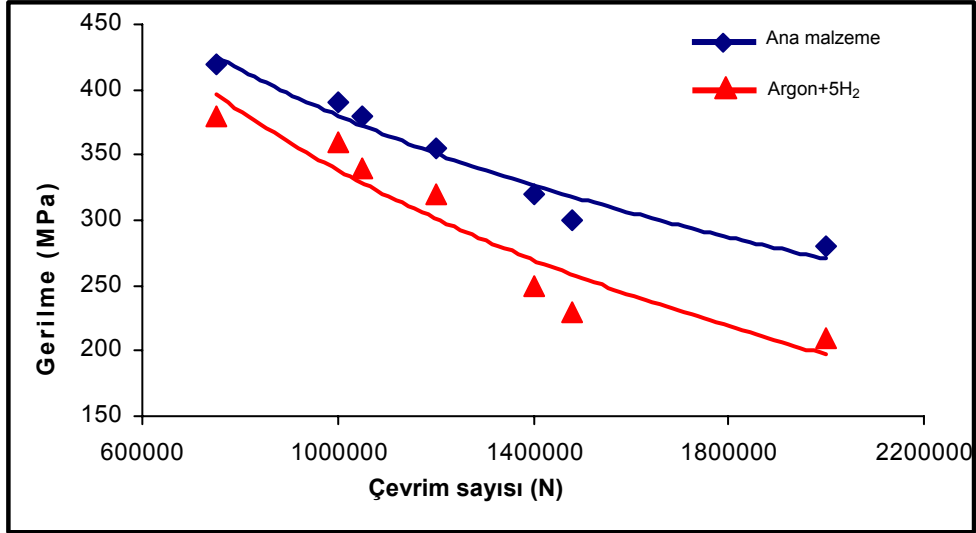
Şekil 6.10. Saf argon atmosferinde alın altına kaynak edilmiş numunelerin ve ana malzemenin yorulma dayanımları



Şekil 6.11. Ana malzeme ve argon + %1,5 H₂ gazı kullanılarak alın altına kaynak edilmiş numunelerin yorulma dayanımları

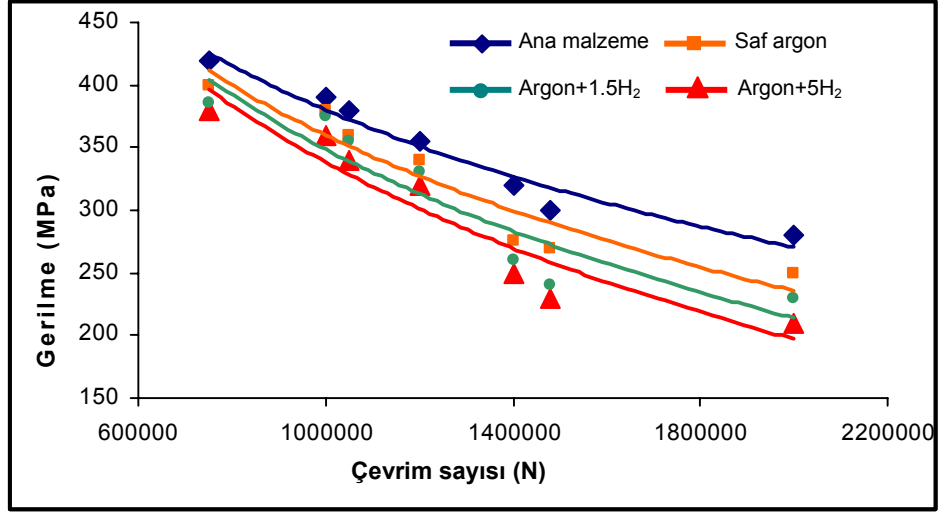
Şekil 6.11’de ana malzemenin yorulma dayanımı ile argon + % 1,5 H₂ atmosferinde alın altına kaynatılan numunelerin yorulma dayanımlarının karşılaştırmasında da ana malzemenin yorulma dayanımı daha yüksek olarak bulunmuştur.

Şekil 6.12’de ana malzeme ile argon + % 5 H₂ gaz atmosferinde, alın altına kaynak edilmiş numunelerin yorulma dayanımları incelenmiştir. Bu gaz kompozisyonunda da ana malzemenin yorulma dayanımı, kaynaklı numuneden yüksek çıkmıştır.



Şekil 6.12. Argon + % 5 H₂ atmosferinde alın altına kaynak edilmiş numunelerin ve ana malzemenin yorulma dayanımı

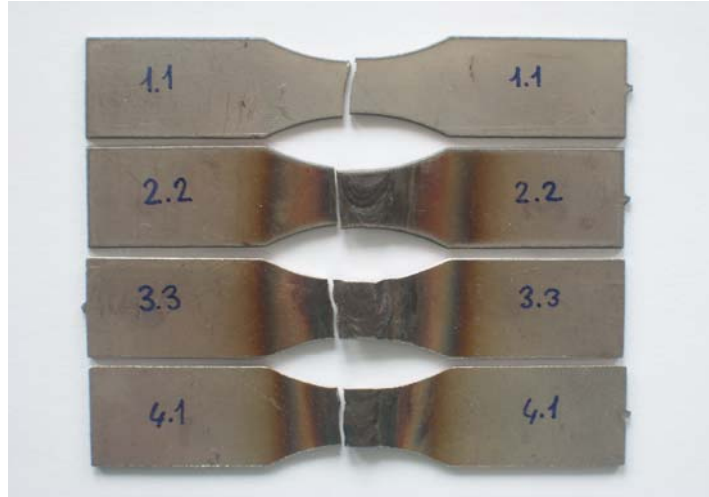
Ana malzeme ve üç değişik gaz karışımı (saf argon, argon + % 1,5 H₂ ve argon + % 5 H₂) kullanılarak gerçekleştirilen alın kaynaklı birleştirmelerden elde edilen yorulma dayanımları Şekil 6.13’te bütün olarak verilmiştir. Yorulma dayanımları karşılaştırılan, saf argon gazı ve argon gazına H₂ gazı karıştırılarak yapılmış kaynaklı birleştirmelerin kırılma bölgesi incelendiğinde, kırılmanın bütün kaynaklı bağlantılarda ITAB’da meydana geldiği, en yüksek yorulma dayanımının ana malzeme, daha sonra argon gazı atmosferinde yapılan kaynakta, sonrasında “argon + % 1,5 H₂” ve en düşük yorulma dayanımı “argon + % 5 H₂” gaz atmosferinde kaynak yapılmış numunelerde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.13. Ana malzeme, saf argon, argon + % 1,5 H₂ ve argon + % 5 H₂ gaz atmosferinde alın kaynağı yapılmış numunelerin yorulma dayanımları

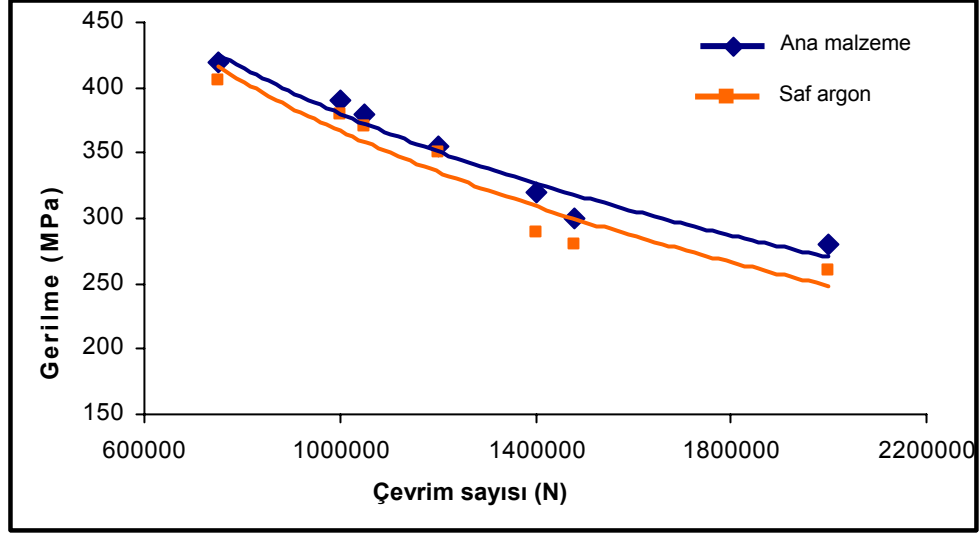
Argon gazına H₂ ilave edilerek kaynaklanmış numunelerin kendi aralarında incelenmesinde de, artan H₂ miktarının, numunelerin yorulma dayanımlarını düşürdüğü ve kırılmayı teşvik ettiği sonucu çıkarılmıştır.

Alın kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin kırılma sonrasındaki görünüşleri Şekil 6.14'te verilmiştir.

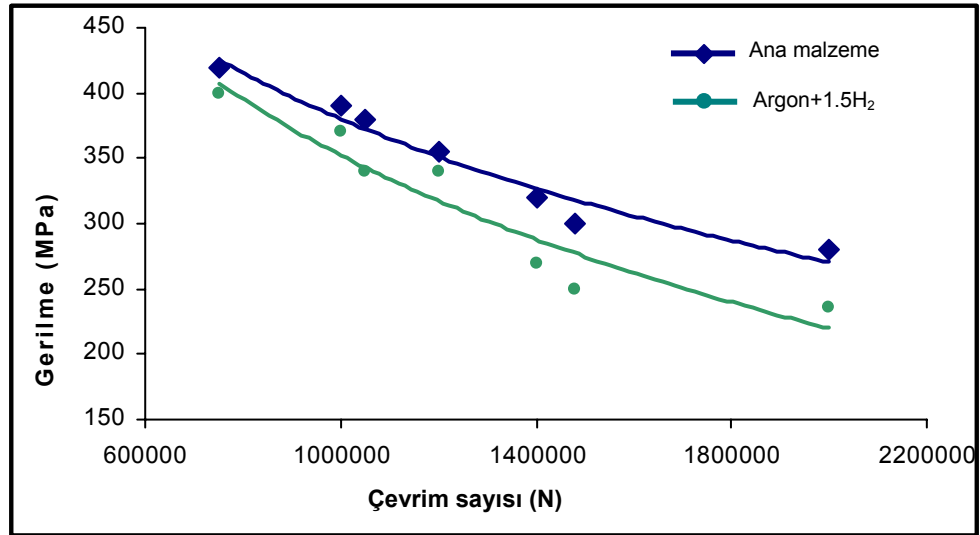


Şekil 6.14. Alın alına kaynak edilmiş numunelerin yorulma kırılması sonrası görünüşleri

Şekil 6.15'te bindirme kaynağı ile saf argon gaz atmosferinde kaynak yapılmış numuneler, ana malzeme ile karşılaştırılmıştır. Numunelerin yorulma dayanımlarının incelenmesinde, ana malzemenin yorulma dayanımının, kaynaklı numuneye göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



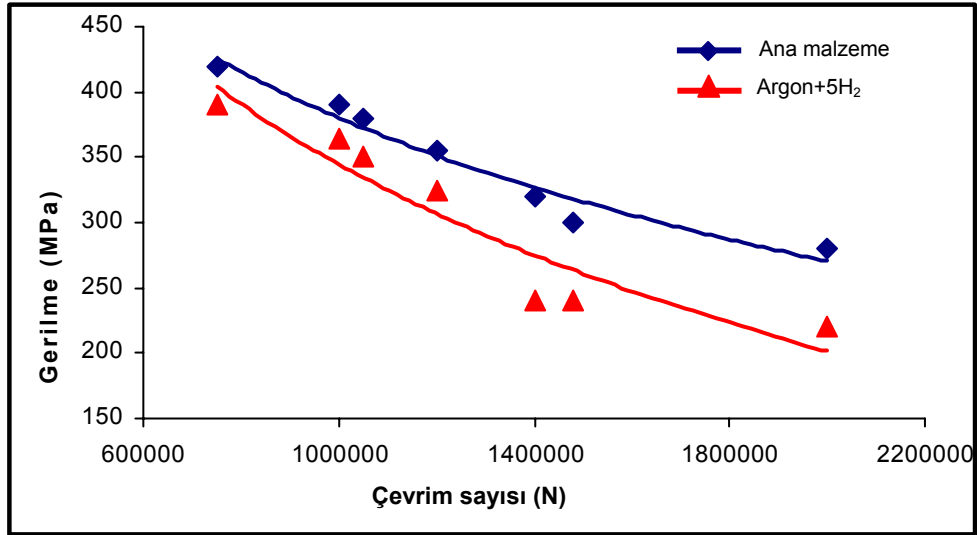
Şekil 6.15. Ana malzeme ve saf argon ile bindirme kaynağı yapılmış numunelerin yorulma dayanımlarının karşılaştırılması



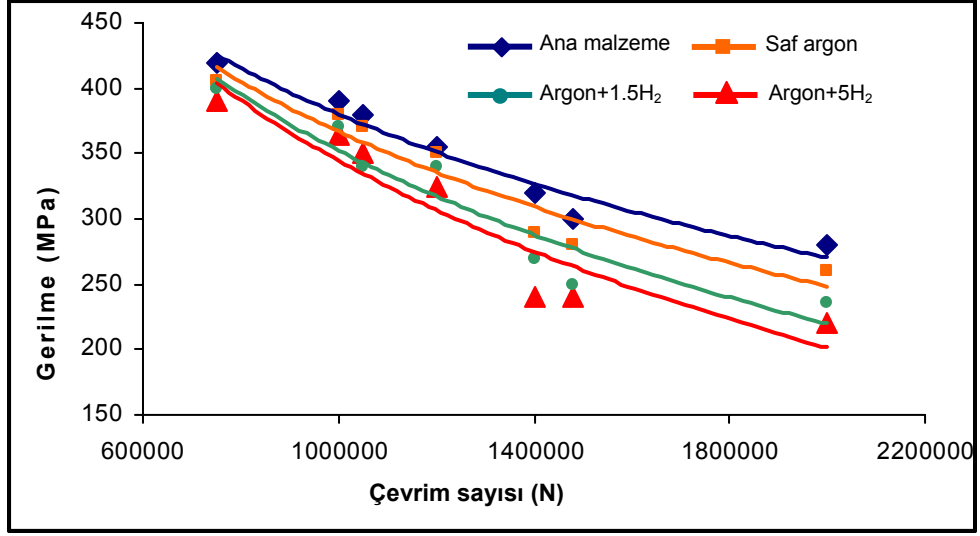
Şekil 6.16. Argon + % 1,5 H₂ ile bindirme kaynağı yapılmış ve ana malzemenin yorulma dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 6.16'da, ana malzeme ve argon + % 1,5 H₂ ile yapılan bindirme kaynaklı numunelerin grafikleri karşılaştırıldığında, ana malzemenin yorulma dayanımının, % 1,5 H₂ ilavesi ile kaynak yapılmış numunelere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Saf argon + % 5 H₂ ile bindirme kaynağı yapılmış ana malzemenin yorulma dayanımları Şekil 6.17'de verilmiştir. Bu şekilden, ana malzemenin yorulma dayanımının saf argona % 5 H₂ karıştırılarak bindirme kaynağı yapılmış numuneden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.17. Ana malzeme ve argon + % 5 H₂ ile bindirme kaynağı yapılmış numunelerin yorulma dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 6.18. Ana malzeme ve üç değişik gaz kompozisyonu ile bindirme kaynağı yapılmış numunelerin yorulma dayanımlarının karşılaştırması

Şekil 6.18'deki ana malzeme ve üç değişik gaz kompozisyonu ile bindirme kaynağı yapılmış numunelerin yorulma dayanımları karşılaştırıldığında, ana malzemenin yorulma dayanımının, diğer üç farklı karışım gaz atmosferde (saf argon, argon + % 1,5 H₂ ve argon + % 5 H₂) kaynak yapılmış numunelerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Kaynaklı numunelerin yorulma dayanımları kendi aralarında incelendiğinde, saf argon ile kaynak yapılmış numunelerin yorulma dayanımının, argon gazına %1,5 ve %5H₂ ilave edilerek kaynak yapılmış numunelerden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Gerek alın kaynağı, gerekse bindirme kaynağı yapılmış birleştirmelerde, argon koruyucu gazına ilave edilen hidrojen miktarının artmasına bağlı olarak yorulma dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir.

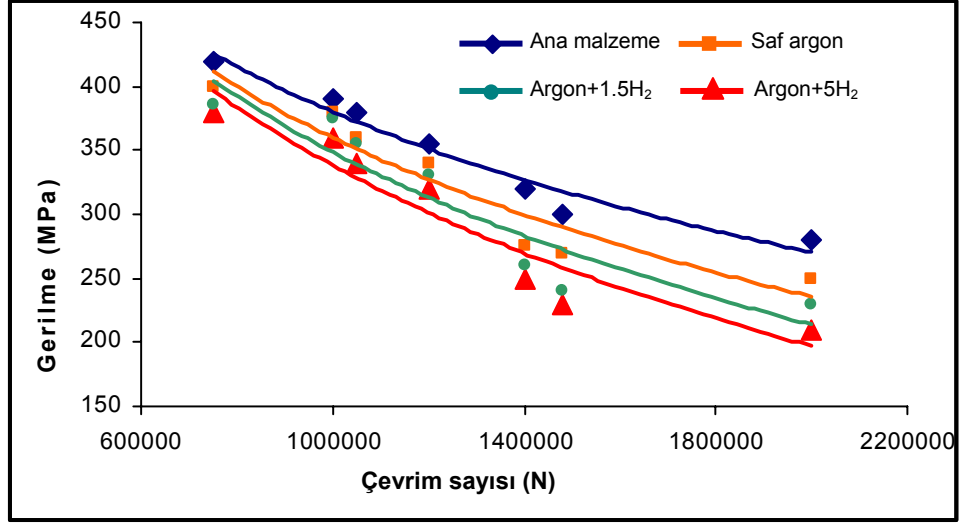
Bunun sebebi olarak, kaynak esnasında ark sıcaklığından dolayı atomik hale geçen hidrojenin, kaynak sonrasında, kaynak bölgesinde varlığını sürdürerek moleküler hale geçmesi ve o bölgede çatlak başlangıcını teşvik etmesi gösterilebilir.

Literatürde [19], ergimiş kaynak metali içinde kalan hidrojenin, kaynak dikişinin soğumasıyla birlikte kaynak metali ve ITAB’da hapsediği ve özellikle geçiş bölgesinde zamanla çatlaklara sebebiyet verdiği belirtilmektedir. Yayınan hidrojen üç eksenli gerilim bölgelerinde (dislokasyon ve mikro çatlakların sivri uçlarında) toplanıp, burada gerilimi artırıp, çatlak ilerlemesini zorladığından koruyucu gaz ilavesinin artışıyla yorulma dayanımı da azalmaktadır.

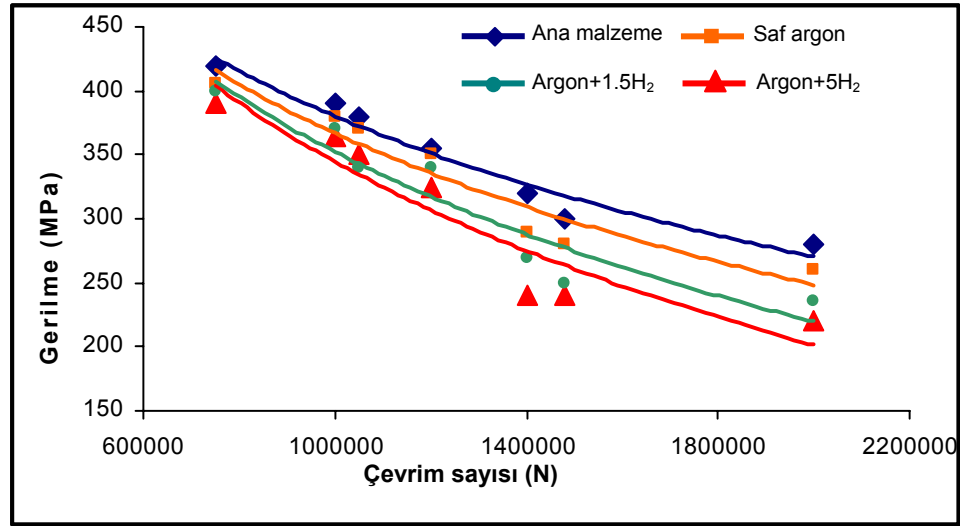
Şekil 6.19’de bindirme kaynaklı bağlantılardan çıkarılan numunelerin yorulma deneyi sonrası kırılma bölgesi görülmektedir. Bu tür bağlantılarda da yorulma çatlaklarının ısıdan etkilenmiş bölgeden başlayarak ilerlediği, bazı bölgelerde kaynak dikişine yaklaştığı, çatlakların bağlantının tek bir bindirme tarafından oluştuğu ve en zayıf bölgeden başlayarak ilerlediği belirlenmiştir.



Şekil 6.19. Bindirme kaynaklı numunelerin yorulma kırılması sonrası görünüşleri



(a)



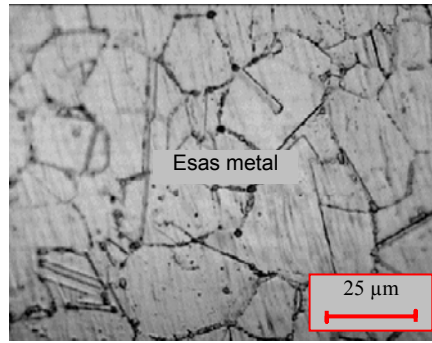
(b)

Şekil 6.20. Ana malzeme ve üç değişik gaz atmosferi ile (saf argon, argon +%1,5 H₂ ve argon + % 5 H₂) a) alın kaynaklı ve b) bindirme kaynaklı numunelerin yorulma dayanımlarının karşılaştırılması.

Şekil 6.20'de ana malzeme ve üç değişik gaz atmosferi ile (saf argon, argon + % 1,5 H₂ ve argon + % 5 H₂) alın kaynaklı a ve bindirme kaynaklı b numunelerin yorulma dayanımları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma neticesinde, bindirme kaynaklı numunelerin yorulma dayanımlarının, alın kaynaklı numunelere göre biraz daha iyi olduğu gözlemlenmiş olup, bunun sebebinin kaynaklı bölgenin bindirmeli geometrisinden dolayı oluşan mukavemetli yapıdan olabileceği düşünülmektedir.

6.6. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

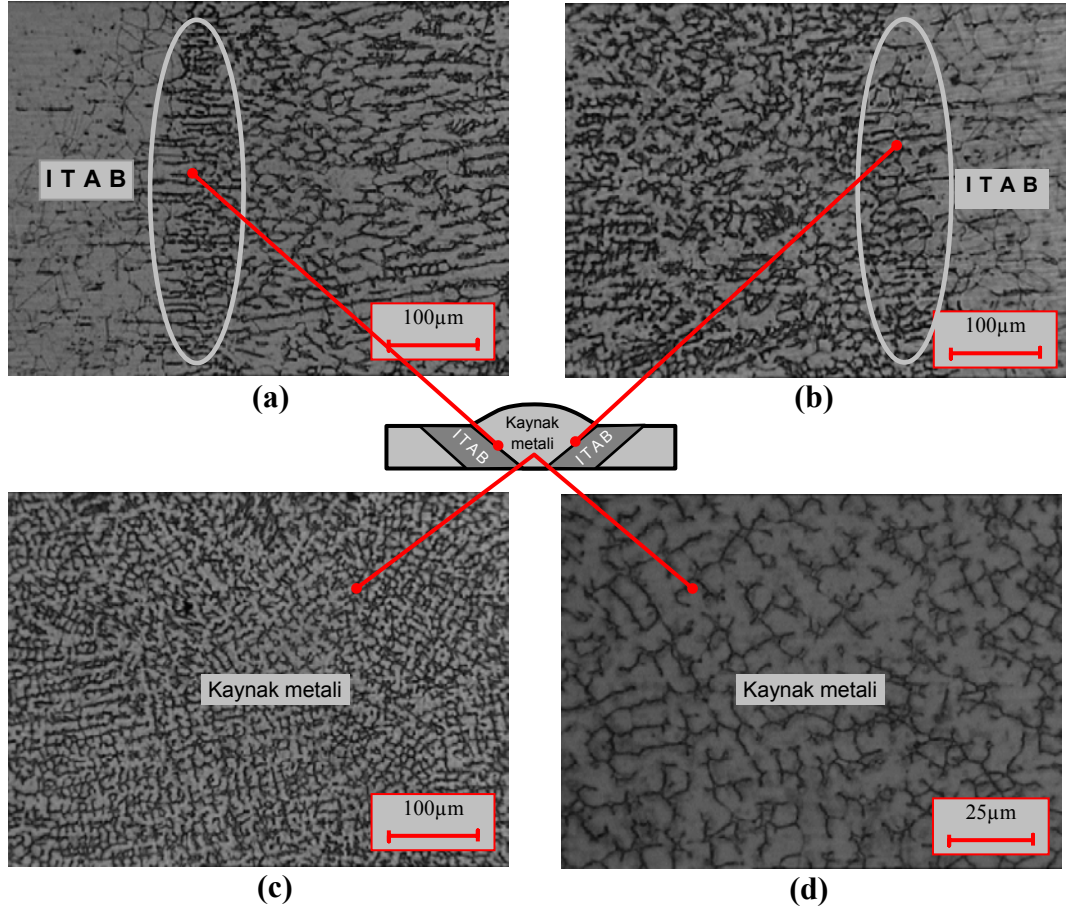
Bu çalışmada, yüksek korozyon direnci ve iyi biçimlendirilme kabiliyetine sahip, östenitik paslanmaz çelik ailesi içinde en çok kullanılan AISI 304 (X5CrNi1810) malzemeler kullanılmıştır. Şekil 6.21’de, deneysel çalışmalarda kullanılan östenitik paslanmaz çelik malzemenin orjinal mikroyapısı verilmiştir.



Şekil 6.21. Deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin mikroyapısı

Şekil 6.21’de verilen esas metalin mikroyapısı genel olarak değerlendirildiğinde ferrit+östenit’den oluştuğu görülmektedir. Mikroyapı fotoğraflarında koyu renkte görülen taneler ferrit, açık renkte görülen taneler ise östenittir. Yapının genel olarak \cong % 5-10 ferrit ve \cong % 90-95 östenitten oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapının eş aksel tanelerden oluştuğu görülmektedir.

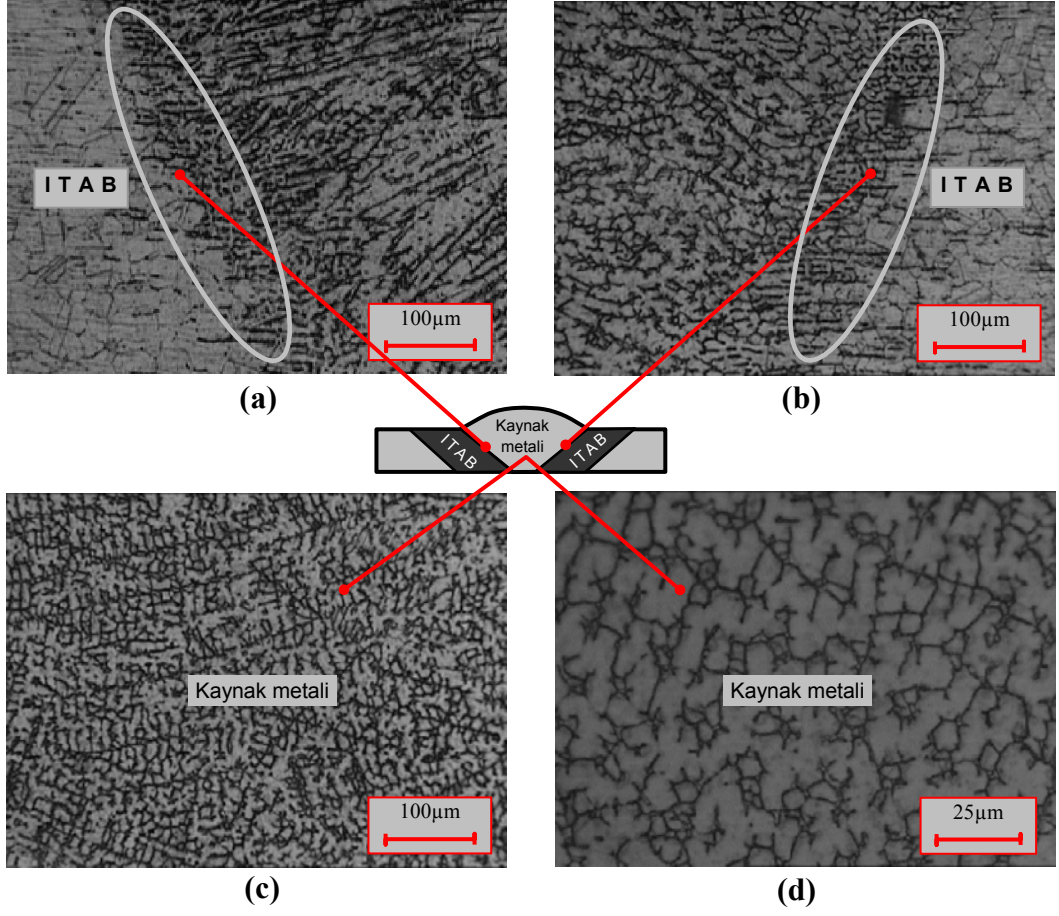
Şekil 6.22’de saf argon koruyucu gazı altında alın altına birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Burada (a) ve (b) ITAB, ergime sınırı ve kaynak metalini de içerisine alan kaynak bölgelerini gösterirken, (c) ve (d) farklı iki büyütmelerde kaynak metali mikroyapılarını göstermektedir. Şekil 6.22 (a) ve (b)’de ergitilmiş-katılmış bölge yüzeyi (kaynak metali) ile ergime sınırı ve ITAB’ın birbirlerinden oldukça farklı bir görünümde oldukları görülmektedir. ITAB’da yüksek sıcaklıktan dolayı tane irileşmesinin meydana geldiği ve esas metalden kaynak metaline düzenli bir geçişin olduğu görülmektedir.



Şekil 6.22. Saf argon koruyucu gazı altında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü. a) ve b) geçiş bölgesi, c) ve d) farklı iki büyütmde kaynak metali mikroyapıları

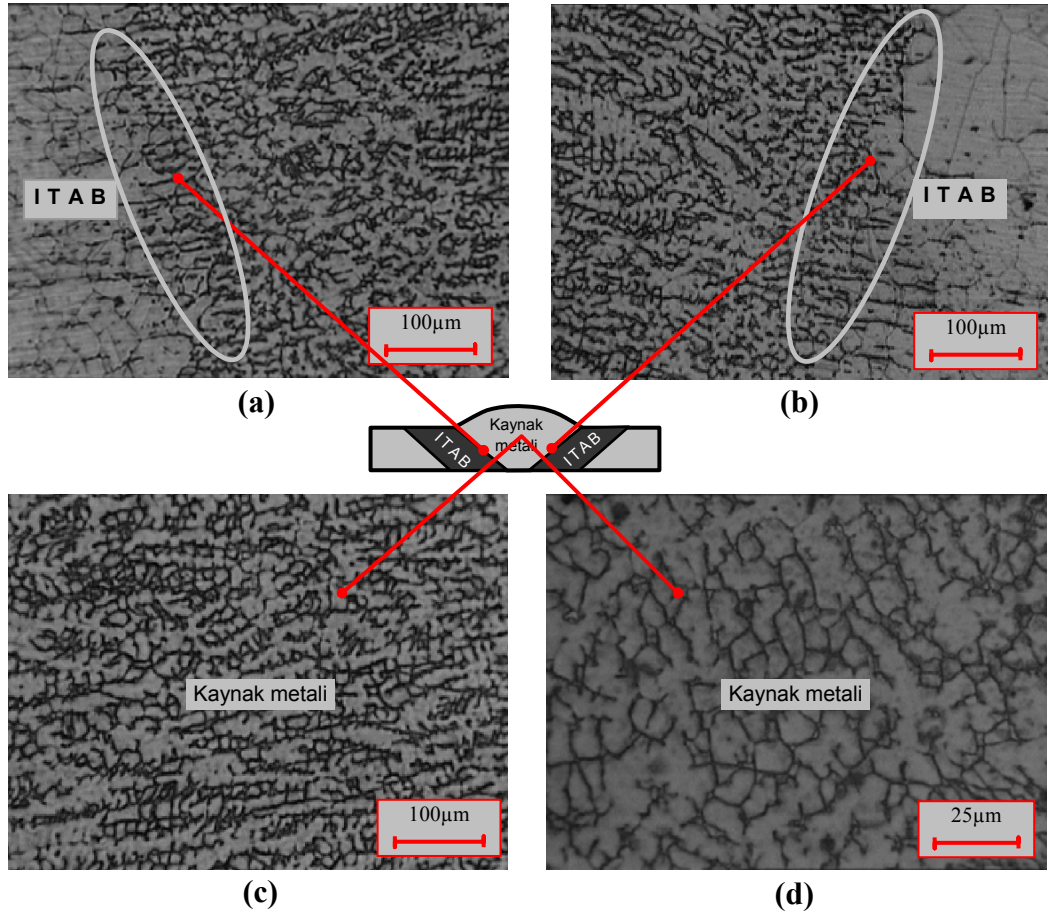
Şekil 6.23’de TIG kaynak yöntemi ile argon+%1.5H₂ koruyucu gazı altında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Burada a ve b kaynaklı malzemenin kaynak bölgesini gösterirken, c ve d ergimiş-katılmış kaynak metalini, iki farklı büyütmde temsil etmektedir.

Şekil 6.23’ün Şekil 6.22’den farkı, kaynak metalinde meydana gelen tane irileşmesidir. Burada, argon gazı içerisine ilave edilen H₂ gazının ark ısısını arttırdığı ve bu yüzden tanelerin irileştiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca saf argon koruyucu ortamında gerçekleştirilen birleştirmelerde, ergime sınır bölgesi dik iken, argon içerisine ilave edilen 1,5 H₂ koruyucu gazın kullanıldığı birleştirmelerde yaklaşık 30 derece eğik bir ergime sınır bölgesi elde edilmiştir.



Şekil 6.23. Argon+% 1.5H₂ koruyucu gazı altında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü. a) ve b) geçiş bölgesi, c) ve d) farklı iki büyütmde kaynak metali mikroyapıları

Şekil 6.24’de TIG kaynak yöntemi ile argon + % 5H₂ koruyucu gazı altında birleştirilen numunenin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Burada (a) kaynak yapılan malzemenin sol tarafının kaynak bölgesini (b) ise sağ tarafın kaynak bölgesini göstermektedir. (c) ve (d) ise ergimiş-katılaşmış kaynak metalini iki farklı büyütmde göstermektedir. Argon+%5H₂ koruyucu gazı kullanılarak elde edilen birleştirmelerde de (Şekil 6.24) ergime sınır bölgesinin eğik olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 6.24. Argon+% 5H₂ koruyucu gazı altında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü. a) ve b) geçiş bölgesi, c) ve d) farklı iki büyütmeye kaynak metali mikroyapıları

Bu çalışma sonucunda elde edilen optik mikroskop görüntüleri genel olarak değerlendirildiğinde (Şekil 6.22-6.24), ısının tesiri altında kalan bölgedeki esas metal ve ilave metal ile esas metalin karışımından elde edilen kaynak metalinin oldukça farklı görünümde oldukları görülmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde, katılmış durumdaki kaynak metalinin mikroyapısının iki değişik bölgeden meydana geldiği açıkça görülebilir. Burada, ITAB'a yakın olan kaynak metalinin kolonsal bir tane yapısında olduğu, bunun yanında, kaynak merkez çizgisine yakın olan kaynak metalinde ise ısı dağılımının karmaşıklığından dolayı eşksenel ve dendritik taneler meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca bütün birleştirmelerde kaynak metali mikroyapısının, östenit ağırlıklı olmak üzere östenit+ferriten oluştuğu görülmektedir. Bu çalışma sonucunda elde edilen optik mikroskop görüntülerinin, daha önce farklı kalınlıktaki ve farklı özellikteki paslanmaz çelik malzemeler

üzerinde yapılan benzer çalışmalardan elde edilen görüntüler ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür [1,27,51,52].

Kaynak esnasında kullanılan koruyucu gazların, kaynak metali tane ebatlarını etkilediği Şekil 6.22-6.24'den açık bir biçimde görülmektedir. Şekil 6.22 saf argon koruyucu gaz ortamında ve yüksek akım değerlerinde (80 Amper) birleştirilmesine rağmen diğer birleştirmelerden daha ince tane yapısına sahip olduğu görülmektedir. Buradan, argon koruyucu gazı içerisine ilave edilen H₂ gazının kaynak metalinde tane irileşmesine sebep olduğu söylenebilir. Durgutlu [52] 316L östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı üzerine yaptığı bir çalışmada, argon koruyucu gazı içerisine eklenen hidrojenin ark voltajını arttırdığı, ark voltajının artmasının da tane irileşmesine sebep olduğunu rapor etmiştir.

Mikroyapılar genel olarak değerlendirildiğinde, bütün birleştirmelerde, tanelerin ergime çizgisinden itibaren ısı akış yönünde ve katılma noktasına doğru yöneldikleri görülmektedir. Kaynak esnasında, ısının büyük bir kısmı esas metal tarafından çekilmekte ve taneler de bu ısı akış yönüne paralel olduklarından erime çizgisine dik vaziyette görülmektedirler. Yapılan benzer çalışmalarda da [51,52,56], kaynak metali tanelerinin ısı akış yönüne paralel meydana geldikleri belirtilmiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu çalışmada, AISI 304 (X5CrNi1810) türü östenitik paslanmaz çelik sac malzemeler, üç farklı koruyucu gaz kompozisyonları altında (saf argon, argon+%1,5H₂ ve argon+%5H₂) TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelere dayanımlarını belirlemek için çekme, eğme, çentik darbe ve yorulma testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynaklı numunelerin, kaynak bölgelerinde sertlik ve optik mikroskop çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yöntemi ile birleştirildiği ve koruyucu gazın mekanik özelliklere etkisinin araştırıldığı bu çalışma sonucunda;

- 1- Sertlik test sonuçlarına göre, bütün koruyucu gaz ortamlarında en yüksek sertlik değerleri kaynak metalinden ölçülmüş ve onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme takip etmiştir.
- 2- Sertlik testi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; kaynak bölgesinden esas metale doğru sertlikte bir düşüş olduğu belirlenmiştir.
- 3- Çekme testi sonrası, hem alın birleştirmelerde hem de bindirme birleştirmelerde kopma, ITAB'da meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, kaynak dikişlerinin güvenli olduğunu göstermektedir.
- 4- Farklı koruyucu gaz kullanılarak gerçekleştirilmiş kaynaklı bağlantıların çekme test sonuçlarına göre, en düşük çekme dayanımı saf argon gaz koruması altında elde edilirken, en yüksek çekme dayanımı Ar + % 1,5 H₂ gaz koruması altında gerçekleştirilen kaynaklı numuneden elde edilmiştir.

- 5- Yapılan çekme deneyi sonucunda elde edilen % uzama sonuçlarına göre, alın birleştirmelerde argon ve Ar + % 1,5 H₂ koruyucu gaz ile gerçekleştirilen birleştirmelerde, ana malzemedan daha yüksek değerler elde edilmiştir. Ar+% 5H₂ alın birleştirmesinde ve bindirme birleştirmelerin tümünde ise ana malzemedan daha düşük bir % uzama değeri tespit edilmiştir.
- 6- 180°'ye kadar yapılan eğme testi sonucunda, göz ile yapılan muayenede kaynaklı numunelerin hiçbirinde çatlak, yırtık vb. hata görülmemiştir.
- 7- Sadece esas metal ile kaynaklı numuneleri ve kaynaklı numuneleri birbirleriyle kıyaslamak amacıyla yapılan çentik darbe deney sonuçlarına göre, kaynaklı numunelerin tümünden ölçülen tokluk değerlerinin, esas metalden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca argon içerisine ilave edilen H₂ gazının çentik darbe değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir.
- 8- Yorulma testi sonuçlarına göre, gerek alın birleştirmelerden gerekse bindirme biçiminde gerçekleştirilen birleştirmelerden elde edilen yorulma değerlerinin esas metalden elde edilen yorulma değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
- 9- Argon gazı içerisine ilave edilen H₂ gazının kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarını düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Ayrıca H₂ miktarının artmasına bağlı olarak da yorulma dayanımları azalmaktadır.
- 10- Mikroyapı incelemeleri sonucunda, katılaşmış durumdaki kaynak metalinin iki değişik bölgeden meydana geldiği ve ITAB'a yakın olan kaynak metalinin kolonsal bir tane yapısında olduğu, bunun yanında, kaynak merkez çizgisine yakın olan kaynak metalinde ise ısı dağılımının karmaşıklığından dolayı eşksenel ve dendritik taneler meydana geldiği tespit edilmiştir.
- 11- Mikroyapılar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, bütün birleştirmelerde, tanelerin ergime çizgisinden itibaren ısı akış yönünde ve katılma noktasına doğru yöneldikleri belirlenmiştir.
- 12- Östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların, kaynaklı parçaların gerek mekanik özelliklerini gerekse mikroyapılarını etkilediği belirlenmiştir.

13-Çalışma sonucunda, bundan sonra kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımları üzerine çalışma yapacak araştırmacılara, yorulma deneylerini yapmadan önce kaynaklı numuneleri tahribatsız muayene yöntemleri ile (Ultrasonik muayene, Radyografik muayene, Girdap akımları ile muayene) test ederek deneylere başlamaları tavsiye edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Develi, K., “Östenitik paslanmaz çeliklerin mıg kaynağında argon hidrojen karışımının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 6-26 (2003).
2. Kayır, Y. Z., “Türkiye paslanmaz çelik üretebilir mi?”, **II.Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu Ve Sergisi Bildiriler Kitabı**, Ankara, 11-23 (2003).
3. Sarıoğlu, C., “Demir-çelik ve alaşımlarının yüksek sıcaklıkta oksidasyonu ve oksidasyondan korunma yolları”, **I.Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu Ve Sergisi Bildiriler Kitabı**, Ankara, 731-741 (2001).
4. Kahraman, N., Gülenç, B., Akça, H., “Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 17 (2): 75-85 (2002).
5. Aran, A., Temel, M. A., “Paslanmaz çeliklerin kaynağı”, Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller Üretimi Kullanımı Standartları, **Sarıtaş Teknik Yayını**, Acar Matbbacılık A.Ş., İstanbul, 58-65 (2004).
6. Korkut, M. H., “Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 5-10 (1997).
7. Odabas C. “Paslanmaz çeliklerin temel özellikleri, kullanım alanları ve kaynak yöntemleri”, **Kaynak Tekniği Sanayi Ve Ticaret A.Ş.**, İstanbul, 3-15, 59 (2007).
8. Kaluç, E., “Ferritik-östenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağında kaynak parametrelerinin çekme-makaslama mukavemetine ve tanelerarası korozyona etkisi”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 20-25 (1988).
9. Çalık, A., “AISI 422 Martenzitik paslanmaz çeliğin kaynaklanabilirliğinin ve dolgu kaynağının araştırılması”, **I.Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu Ve Sergisi Bildiriler Kitabı**, Ankara, 743-748 (2001).
10. Yorulmazel, S. C., “Paslanmaz çelik konstrüksiyonlarda oluşan distorsyonların etüdü”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 14-15 (2007).
11. Tülbentçi, K., Kaluç, E., Yılmaz, M., “Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kaynağı”, **Kaynak Dünyası**, (47): 18-24 (1993).

12. Alptekin, A., "Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin paslanmaz çeliklere uygulanabilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 5-7 (2006).
13. Odabaş, C., "Östenitik çeliklerin genel özellikleri", *Metal & Kaynak*, (87): 60-65 (1998).
14. Gülgün, H., Aydoğdu, M., Aydınol, K., "AISI 316L tipi östenitik paslanmaz çeliklerin tanelerarası korozyona duyarlılığının elektrokimyasal polarizasyon yöntemiyle belirlenmesi", *Metalurji*, (140): 50-61 (2005).
15. Çiftçi, İ., "Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20 (2): 205-209 (2005).
16. Kaluç, E., "Paslanmaz çeliklerin MIG ve TIG kaynağı", *Kaynak Dünyası*, (1): 8-12 (1989).
17. Tülbentçi, K., "MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi", *Arctech Kaynak Elektrodları ve Telleri A.Ş.*, İstanbul, 193-201 (1998).
18. Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., "Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı", *Gedik Holding Yayınları*, İstanbul, 231-240 (1991).
19. Kahraman, N., "Kaynak metalurjisi ders notları", *Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 11-89 (2008).
20. Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., "Bakır ve çelik levhaların örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi ve arayüzey özelliklerinin incelenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20 (2): 183-190 (2005).
21. Durgutlu, A., Kahraman, N., GÜLENÇ, B., "Al-Si alaşımının TIG kaynağında darbeli akımın mikroyapı, sertlik, eğme ve çekme dayanımına etkisi", *Politeknik Dergisi*, 11 (4): 334-339 (2008).
22. Kahraman, N., Durgutlu, A., "316L Paslanmaz Çelik ile Bakır Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması", *Z. K. Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi*, 8 (1): 43-50 (2005).
23. Hicken G. K., "Gas-Tungsten Arc Welding", *ASM Handbook*, 6: 190-193 (1993).
24. Althouse A. D., Turnquist C. H., Bowditch W. A., Bowditch K. E., "Gas Tungsten Arc Welding", *Modern Welding, Goodheart-Willcox Pub.*, 327-328 (1992).
25. Doruk, İ., "Gıda sanayinde kullanılan paslanmaz çelikler ve bu çeliklere uygulanan kaynak yöntemleri", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 71-74 (2005).

26. Anık, S., Vural, M., “Gazaltı ark kaynağı”, *GEV Yayını*, İstanbul, 41
27. Kahraman, N., Durgutlu, A., Gülenç, B., “316L Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağında Koruyucu Argon Gazına Hidrojen İlavesinin Kaynak Bölgesi Tane Morfolojisine Etkilerinin Araştırılması”, *Gazi Üniversitesi, Politeknik Dergisi*, 7 (3): 223-228 (2004).
28. Kahraman, N., “Modern Kaynak Teknolojisi Ders Notları”, *Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 1-10 (2009).
29. Türkyılmazoğlu, A., “Dubleks, martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 24-75 (2006).
30. Kurt, H., İ., “TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 143-147 (2006).
31. Sindo, K., “Welding Metallurgy, Second Edition”, *John Wiley & Sons Inc.*, New Jersey, 8-19 (2003).
32. Grant, K.H., “Gas-Tungsten arc welding”, *ASM Handbook*, Welding, Brazing, and Soldering, London, 6: 590-602 (1998).
33. Abuç, S., “Östenitik paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemi ile kaynağında koruyucu gazın mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 38-52 (2006).
34. Norberto, J., Pires, A.L., Gunnar, B., “Welding robots, technology, system issues and applications”, *British Library Cataloguing in Publication Data Pires*, 25-35 (2006).
35. Anık, S., Tülbentçi, K., “Gazaltı kaynak tekniği, Kaynak Teknolojisi III”, *Gedik Kaynak San. Tic. A.Ş.*, İstanbul, 49 (1982).
36. Elektrikçi, O., “TIG kaynağı ile birleştirilmiş demir esaslı T/M malzemelerin kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 50-56 (2007).
37. Kölük, F., “Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak yönteminin ısı tesiri altında kalan bölgeye etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 21-80 (2000).
38. Yılmaz, R., Barlas, Z., “Paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde koruyucu gaz kompozisyonunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3): 391-400 (2005).
39. Gözütok E., Karahan S., “Metal malzemelerde yorulma sürünme ve ölçülmesi”, Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, 3-18 (1994).

40. Onaran K., “Malzemelerin Şekil Değiştirmesi”, Malzeme Bilimi, *Bilim Teknik Yayınevi*, İstanbul, 247-254 (1993).
41. Çalık A., “Dolgu kaynağı yapılmış millerin yorulma ömrünün deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 2-22 (1997).
42. Cottrell, A. H., and Hull, D., “Extrusion and intrusion by cyclic slip in copper” *Proceedings of the Royal Society*, London, 211-213 (1957).
43. Şık A., “Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 115-178 (2002).
44. Şefik G., Ahmet A., “Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı” *TÜBİTAK MBEAE Matbaası*, Gebze, 81-88 (1983).
45. Aydemir B., “Ön Kaplı Çelik Sacların Kaynak Bağlantılarının Yorulma Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 48-49 (1996).
46. Alsarar A., “Kaynaklı Parçaların Yorulması”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 11-41 (1997).
47. Erkan T., “Nokta kaynaklı konstrüksiyonların bilgisayar destekli yorulma ömür hesaplamaları ve deneysel yöntemlerle doğrulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 15-61 (2005).
48. Yeşildal R., Şen S., Kaymaz İ., “X40CrMoV 5 1 Çeliğinin 20-600 °C Arasındaki Yorulma Davranışı” *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (1):159-171 (2003).
49. Kölük F, Gülenç B, “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kaynak Yönteminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, *Teknoloji Dergisi*, 7 (4) : 693-700 (2004).
50. Tusek J., Kampus Z., Suban M., “Welding of tailored blanks of different materials” *Journal of Materials Processing Technology*, 119 (1-3): 180-184 (2001).
51. Gülenç B, Develi K, Kahraman N, Durgutlu A, “Experimental study of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in MIG welding of austenitic stainless steel”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 30 (13-14): 1475-1481 (2005).
52. Durgutlu A, “Experimental investigation of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas on TIG welding of austenitic stainless steel”, *Materials and Design*, 25 (1): 19–23 (2004).

53. Kılınçer, S., Kahraman, N., “AISI 409 ve Ç1010 çeliğin östenitik elektrod kullanarak MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24, (1): 23-31 (2009).
54. Kılınçer, S., “Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 53-79 (1998).
55. Çetinkaya, C., “Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2): 279-293 (1999).
56. Durgutlu A, Gülenç B, Tülbentci K. “Ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi”, *Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi*; 23 (4): 251–259 (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Eyüp GÖZÜTOK 1972 yılında Adana’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Kiremithane Endüstri Meslek Lisesi Metal İşleri Bölümü’nden mezun oldu. 1990 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü’nde öğrenime başlayıp 1994 yılında iyi derece ile mezun oldu. 1995 yılında Adana Metal İşleri Çıraklık Eğitim Merkezi’nde öğretmen olarak göreve başladı. 2002 yılında Ankara Ulus Endüstri Meslek Lisesi’nde bir süre çalıştıktan sonra UNICEF destekli “Haydi Kızlar Okula” projesinde, daha sonra MEGEP projesinde eş uzman olarak görev yaptı. 2006 yılında ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı’nda tamamladı. 2007-2008 yıllarında Pamukkale Üniversitesi’nde çalıştı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi’nde göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Karabük Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

Tel: (505) 457 7257

E-posta: gozutoke@hotmail.com, egozutok@karabuk.edu.tr