



**MIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN
HARDOX 400, AISI 304L VE ST52 KALİTE
ÇELİKLERİN MİKTOYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Arif SAVAŞ

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

**MIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN HARDOX 400, AISI 304L
VE ST52 KALİTE ÇELİKLERİN MİKTOYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Arif SAVAŞ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

**KARABÜK
Eylül 2021**

Arif SAVAŞ tarafından hazırlanan “MIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN HARDOX 400, AISI 304L VE ST52 KALİTE ÇELİKLERİN MİKTOYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 01/07/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ (KÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim 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.”

Arif SAVAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN HARDOX 400, AISI 304L VE ST52 KALİTE ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Arif SAVAŞ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi. Harun ÇUĞ

Eylül 2021, 50 sayfa

Bu çalışmada, Hardox çeliği ile paslanmaz çeliğin MIG kaynağı ile kaynak edilmesi sonucunda mekanik davranışları incelenmiştir. Sanayi ortamında Hardox çeliği ile Hardox çeliği kaynak edilmiştir. Kaynak işlemi sırasındaki parametreler ise 7.49m/dk tel hızı 20.8 V ve 165 A ile işlem yapılmıştır. Koruyucu gaz olarak ArCO₂ gazı kullanılmıştır. Kaynak sırasında kullanılan kaynak teli ise paslanmaz Si307 tipi teldir. Bu çalışmada 4 mm kalınlığında hardox çelikleri ile paslanmaz çelikleri kaynak edilmiştir. Kaynak edilen plakaların büyüklüğü ve hassas olmasından ötürü plakalardan gerekli numuneleri hazırlamak için tel erezyon işlemine tabi tutularak numuneler hazırlanmıştır. Kaynaklı bölgelerin özellikleri belirlenmek için çekme, darbe tokluk ve sertlik testi yapılmıştır. Ayrıca mikroyapı analizi yapılarak kaynaklı bölgenin hali incelenmiştir. Yapılan sertlik deneyleri sonucunda Hardox-Hardox birleştirmesinde en büyük sertlik değerini ortalama 403 HV ile ana metalde, sonrasında

ITAB'da 365 HV ve ITAB sınırda 330 HV olarak saptanmıştır. Hardox-Paslanmaz çelik birleştirmesinde ise yine ana metalde 388 HV olarak ölçülmüştür. Paslanmaz çelikte 200 HV ve ITAB'da ortalama 230 HV olarak ölçülmüştür. Hardox-ST çeliğinde ise ana metalde 368 HV, ITAB ortalama 270, ITAB sınırları sırasıyla 190 HV ve 310 HV, kaynak metalinde ise 200 HV olarak ölçülmüştür. Çekme testi sonuçlarına göre en dayanıklı bağlantı 640 Mpa ile Hardox-Paslanmaz çelik bağlantısı, Hardox- Hardox 400 Mpa ve Hardox- St yaklaşık olarak 350 Mpa olarak ölçülmüştür. Darbe tokluk testinde ise en iyi sonuç Paslanmaz metali ile yapılan kaynakta elde edilmiş olup değeri 68 J iken sonrasında Hardox metali ile yapılan numunede 44 J, St çeliği yapılan numunede 38 J olarak ölçülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Paslanmaz çelik, MIG kaynağı, Hardox çeliği, mikroyapı ve mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 91419

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF MICTOSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HARDOX 400, AISI 304L AND ST52 QUALITY STEELS COMBINED BY MIG WELDING METHOD

Arif SAVAŞ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Harun ÇUĞ

September 2021, 50 pages

In this study, the mechanical behavior of Hardox steel and stainless steel by MIG welding was investigated. Hardox steel and Hardox steel are welded in the industrial environment. The parameters during the welding process were 7.49m/min wire speed 20.8 V and 165 A. ArCO₂ gas was used as the shielding gas. The welding wire used during welding is stainless Si307 type wire. In this study, 4 mm thick hardox steels and stainless steels were welded. Due to the size and sensitivity of the welded plates, the samples were prepared by subjecting the wire erosion to prepare the necessary samples from the plates. Tensile, impact toughness and hardness tests were carried out to determine the properties of the welded areas. In addition, the state of the welded region was examined by performing microstructural analysis. As a result of the hardness tests, the highest hardness value in Hardox-Hardox joint was determined as 403 HV in the base metal, then 365 HV in ITAB and 330 HV in ITAB border. In the

Hardox-Stainless steel joint, it was measured as 388 HV in the base metal. It has been measured as 200 HV in stainless steel and 230 HV in ITAB. In Hardox-ST steel, on the other hand, the base metal was 368 HV, the HTA was 270 on average, the HTA limits were 190 HV and 310 HV, respectively, and 200 HV in the weld metal. According to the tensile test results, the most durable connection was measured as 640 Mpa and Hardox-Stainless steel connection, Hardox- Hardox 400 Mpa and Hardox-St approximately 350 Mpa. In the impact toughness test, the best result was obtained in the weld made with Stainless metal, and its value was 68 J, and then 44 J in the sample made with Haardox metal and 38 J in the sample made of St steel.

Key Words : Stainless steel, MIG welding, Hardox steel, microstructure, fatigue and mechanical properties.

Science Code : 91419

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 őekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Harun UĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3	9
ÇELİKLER	9
3.1. PASLANMAZ ÇELİKLER	10
3.1.1. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri	10
3.1.2. Paslanmaz Çeliklerin Üretimi.....	11
3.1.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler	13
3.1.4. Çökelme Sertleşmesi Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler	14
3.1.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	15
3.1.5.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	18
3.2. AISI 304 Paslanmaz Çelikler	18
3.2.1. Genel Özellikleri.....	19
3.3. HARDOX 400 ÇELİĞİ.....	19
3.3.1. Hardox Çeliği Kaynak Edilebilirliği.....	22
3.3.2. Hardox Mekanik Özellikleri.....	23

3.3.3. Hardox Çeliğinin Uygulama Alanları.....	23
BÖLÜM 4	26
GAZ ALTI KAYNAK YÖNTEMİ	26
4.1. GAZ ALTI KAYNAK TARİHÇESİ	26
4.2. KAYNAK YÖNTEMİ	26
4.3. AVANTAJLARI	28
4.4. DEZAVANTAJLARI	29
BÖLÜM 5	30
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
5.1. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELİKLERİ	30
5.2. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI	31
5.3. MİKROYAPI İÇİN ÖRNEK HAZIRLAMA	33
5.4. SERTLİK NUMUNESİ HAZIRLANMASI	34
5.5. MİKROYAPI ANALİZİ	35
5.6. ÇEKME TESTİ	35
5.6. DARBE ÇENTİK TESTİ.....	37
BÖLÜM 6	39
SONUÇLAR	39
6.1. SERTLİK SONUÇLARI.....	39
6.1.1. Hardox-Hardox Kaynaklı Bağlantı Sertlik Sonuçları.....	39
6.1.2. Hardox-St47 Kaynaklı Bağlantı Sertlik Sonuçları	40
6.1.3. Hardox-AISI304L Paslanmaz Çelik Kaynaklı Bağlantı Sertlik Sonuçları.....	41
6.3. ÇEKME SONUÇLARI	44
6.4. ÇENTİK DARBE TESTİ.....	45
BÖLÜM 7	46
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
7.1. SONUÇLAR	46

7.2. ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Numaralı kalite grubuna ait çelik açıklaması.....	10
Şekil 3.2. Paslanmaz çeliklerin üretim aşaması	12
Şekil 3.3. Değişik paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları	12
Şekil 3.4. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı	14
Şekil 3.5. Östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı	15
Şekil 3.6. Çeşitli paslanmaz çelik ürünleri.....	19
Şekil 3.7. Hardox 400 ve sıradan yüksek dayanımlı levhasının karşılaştırılması	20
Şekil 3.8. Hardox aşınma levhasından imal edilmiş bir amper kasası	21
Şekil 3.9. Hardox aşınma levhasından imal edilmiş kepçe ve kırıcı.....	22
Şekil 3.10. Çeşitli kullanım alanları.....	24
Şekil 3.11. Hardox'dan imal edilmiş kepçe	24
Şekil 3.12. Kullanım alanları	25
Şekil 4.1. Gaz altı kaynağı	27
Şekil 4.2. Gaz altı kaynağı donanımı	27
Şekil 4.3. MIG - MAG kaynak yönteminde kaynak bölgesi.....	28
Şekil 5.1. Hardox ve paslanmaz çelik kaynaklı hali	32
Şekil 5.2. Tel erezyon işlemi.....	32
Şekil 5.3. Tel erezyon sonrası çekme numuneleri.....	33
Şekil 5.4. Zımparalama makinesi.....	33
Şekil 5.5. Mikroyapı numuneleri	34
Şekil 5.6. Q250-m Universal mikrosertlik cihazı.....	35
Şekil 5.7. Nikon Eclipse MA200 optik mikroskop	35
Şekil 5.8. Çekme testi numunesi	36
Şekil 5.9. Çekme testi cihazı	36
Şekil 5.10. Çekme testinde kopan parça	37
Şekil 5.11. Kopan parça	37
Şekil 5.12. Çentik darbe test makinesi	38
Şekil 6.1. Hardox-Hardox sertlik sonuçları.	39
Şekil 6.2. Hardox -St sertlik sonuçları	40
Şekil 6.3. Hardox-Paslanmaz Sertlik sonuçları.....	41

	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.4. Hardox-Hardox kaynağı mikroyapısı	42
Şekil 6.5. Hardox-Paslanmaz kaynaklı bağlantı mikroyapısı.	42
Şekil 6.6. Harodx-St kaynaklı bağlantı mikroyapısı	43
Şekil 6.7. Çekme testi sonuçları.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Çelik gruplarına ait fiziksel özellikler.....	9
Çizelge 3.2. Paslanmaz çelik grubuna ait fiziksel özellikler.....	13
Çizelge 3.3. Östenitik paslanmaz çelikleri kullanım alanları.....	16
Çizelge 3.4. Mekanik özellikler	17
Çizelge 3.5. AISI 304 paslanmaz çelik kimyasal özellikleri.....	18
Çizelge 3.6. AISI 304 mekanik özellikleri.....	18
Çizelge 3.7. Hardox çeliği kimyasal analizi (% ağırlık)	20
Çizelge 3.8. Hardox çelikleri mekanik özellikleri.....	20
Çizelge 3.9. Hardox çeliği mekanik özellikleri.....	23
Çizelge 3.10. Hardox çeliği dayanım özellikleri.....	23
Çizelge 5.1. Hardox çeliği kimyasal analizi.....	30
Çizelge 5.2. Hardox çeliği mekanik özellikleri.....	30
Çizelge 5.3. Hardox çeliği dayanım özellikleri.....	31
Çizelge 5.4. Hardox çeliği kimyasal analizi.....	31

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ar : Argon

C : Karbon

Cr : Krom

Fe : Demir

J : Joule

Mn : Mangan

Mo : Molibden

Ni : Nikel

P : Fosfor

S : Kükürt

Si : Silisyum

CO₂ : Karbondioksit

°C : Derece

% : Yüzde

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme
Topluluğu)

ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge

TS : Türk Standartları

MIG : Metal Inert Gas (Metal Durağan Kaynak)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknolojinin ve endüstrinin birlikte gelişmesiyle birlikte malzeme türleri büyük ilerleme kaydedilmiştir. Fakat malzemelerin pahalı olması, ulaşımın kolay olmaması gibi etkenlerden ötürü malzemeler birbirleri ile birleştirilerek mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çeşitli bağlantı elemanları ve yöntemleri gelişmiştir. Bu yöntemlerin en başında ise kaynaklı bağlantılar gelmektedir. Kaynaklı bağlantı yöntemleri ayrılamayan birleştirme yöntemi olarak bilinir. Çeşitli yöntem ve ek malzemelere kullanılan kaynak yöntemleri malzeme dayanımı, sertliği gibi çeşitli malzeme özellikleri üzerine etkileri vardır. Kaynaklı bağlantılar sadece endüstri kuruluşlarında değil aynı zamanda demiryolu, otomotiv, damper gibi çoğu ağır sanayi malzemesi kaynaklı imalatla üretilmektedir. Ağır sanayide ihtiyaç duyulan yüksek mukavemet dayanımı ancak yüksek mukavemetli malzemelerle karşılanmaktadır. Bu malzemelerin temin edilme sıkıntısı ve maliyeti yüzünden farklı malzeme çiftlerinin birlikte kullanımı ortaya çıkmıştır. Kaynak yöntemi ile parçalar birbirlerine farklı yöntemlerle bağlanır.

Günümüzde metallerin birleştirilmesinde en çok kullanılan yöntem kaynak yöntemidir. Kaynak teknikleri imalata sağladığı birçok avantajlar nedeni ile geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Bunun yanı sıra kaynak tekniği gün geçtikçe gelişmekte ve buna bağlı olarak da yeni bilgiler kazanılmaktadır.

Kaynak tekniklerinden en çok gelişeni ve en çok kullanım alanı bulan tekniklerden birisi de MIG-MAG (Metal Inert Gas-Metal Active Gas) gazaltı kaynak tekniğidir. MIG-MAG kaynak yöntemi birçok avantajlarından dolayı, endüstride yaygın olarak kullanılan yarı otomatik bir kaynak yöntemidir. Son yıllarda ülkemizde satılan gerek MIG-MAG kaynak makinesi ve gerekse de tel elektrot üretimindeki hızlı artış bu kaynak yönteminin ülkemizde de hızla yayıldığını göstermektedir. CO2 atmosferi

altında yapılan kaynağın, normal MIG-kaynağından farkı, yalnız kullanılan gazdadır. Yani karbondioksit atmosferi altında kaynak yaparken ayrı bir kaynak donanımına ihtiyaç yoktur. Burada, soy gazlar grubuna dahil bulunmayan ve aktif bir gaz olan karbondioksit kullanıldığından, diğerlerine benzetilerek «Metal Activ Gas » kelimelerinin bas harfini almak suretiyle « MAG» adı ortaya çıkmıştır. TIG ve MIG kaynaklarında kullanılan argon gazının pahalı olması dolayısıyla, daha ucuza elde edilen gazların kullanılması için yapılan araştırmalar sonunda karbondioksit gazının üzerinde durulmuş ve bu konudaki ilk araştırmalara 1952 yılında başlanmıştır.

Dayanımı yüksek ve maliyet olarak nispeten daha ucuz olan çelikler endüstri sektöründe geniş yer bulmaktadır. Endüstride nerdeyse her alanda kullanılan çelikler ısıl işlem veya alaşımlarda yöntemleri istenilen mekanik özelliklere sahip olabilen çelikler sağlık sektöründen ulaşım sektörüne kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ama yine de istenilen özellikler tam olarak elde edilemeyince iki veya daha çok çeliğin birleştirilmesi fikri ortaya çıkmıştır.

Ayrıca malzemelere işlemler dışında element ilavesi yöntemiyle de özellik kazandırılabilir. Özellikle Cr ilavesi ile ortaya çıkan paslanmaz çelikler çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz özelliği katan Cr literatürde çeşitli veriler verilse de yaklaşık olarak %12 Cr içermesi gerekmektedir. Paslanmaz çeliklerin çeşitli üstünlükleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; mekanik dayanım, korozyon dayanımı, uzun ömürlülük gibi özelliklerdir. Paslanmaz çelikler kendi içinde ayrıca 5 farklı kısma ayrılır. Bunlar:

- Ferritik paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Östenitik-Ferritik (Çift Fazlı) paslanmaz çelikler
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler
- Östenitik paslanmaz çelikler

Ayrıca çalışmada kullanılan yüksek aşınma direncine sahip olan hardox çelikleri vardır. Hardox serisi malzemelerde ise yüksek aşınma direncine sahip olduklarından

piyasalarda artık sıklıkla kullanılan malzeme konumuna gelmiştir. Hardox çelikleri sert olması aşınma direncinin iyi bir ölçüsüdür. Bu çeliklerin plastik esnekliği ve çarpma mukavemetleri yüksektir. Aşınma direncine etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; malzeme cinsi, kimyasal içerik, sertlik, elastik modülü, ısı işlemler gibi faktörlerdir. Ayrıca aşınmaya maruz kalan sistem elemanları ve çalışılan ortamda aşınma şiddetini belirleyen etkenlerdir.

Abrasiv aşınma endüstriyel cihazlarda malzeme kayıplarının başlıca sebebidir. Sorunun kaynağına inen İsveçli bilim adamları laboratuvarlarda çeşitli deney yöntemleriyle elde ettikleri aşınmaya dayanıklı çeliği üretmiş ve Hardox adını vermişlerdir. Günümüz piyasasında, İsveç firması olan SSAB tarafından üretilen Hardox serisi aşınma dayanıklı çelikler, yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve üstün tokluğun bir arada sunulması sayesinde Hardox aşınma levhası, aşınmanın daha önce sorun olduğu uygulamalarda ilk tercih olarak kullanılmaktadır. Hardox 400 ve HARDOX 450 çok maksatlı aşınma dirençli levhalardır. Yüksek toklukları rahat bükülebilme ve kaynak edilebilmeleri sayesinde, bu levhalar bazı uygulamalarda yük taşıyıcı görevlerde de kullanılabilir. Tüm Hardox levhalar boyutsal hassasiyetin garantisi olan AccuRoll hassas haddeleme teknolojisi ile üretilmektedir.

Bu çalışmanın amacı ise yüksek aşınma dayanıma sahip olan Hardox serisi çeliklerle paslanmaz çeliklerin ve St-52 çeliğinin gaz altı kaynak yöntemi altında birleştirilerek mekanik özelliklerinin, yorulma dayanımının ve aşınma özelliklerinin incelenmesidir.

Çalışmanın ikinci bölümünde bu konu hakkında yapılan literatür taraması ve bu taramalarda elde edilen bilgiler paylaşılmıştır.

Üçüncü bölümde ise, çelikler ve çeliklerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine anlatılmıştır. Bu bölümde paslanmaz çelikler, Hardox çelikleri hakkında detaylı bir literatür taraması yapılmıştır.

Dördüncü bölümde ise çalışmada kullanılan kaynak yöntemi olan gaz altı kaynak yöntemi anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, deney numunelerinin hazırlanması ve deney aşamaları hakkında bilgi verilmiştir.

Altıncı bölümde ise deney sonuçları ve bu sonuçların literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslanması verilmiştir.

Son bölüm olan yedinci bölümde ise sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Ajay Gupta ve arkadaşları 2020 senesinde 20 mm kalınlığında Hardox çeliklerinin 3 adet ferritik dolgu elektrodu ile kaynak yapılmıştır. Bu elektrotlar sırasıyla E11018, E9018 ve E8018'dir. Yapılan deneyler sonucunda ise E11018 elektrotunda maksimum eklem verimliliği ve kaynaklı eklemün darbe tokluğu em yüksek çıkmıştır [1].

Raman Kaçar ve arkadaşlarının 2018 yılında yayınladığı makalede ise Hardox çeliği ve östenitit paslanmaz çeliğin Bu çalışmada aşınmaya dirençli hardox çeliğinin, östenitik paslanmaz çeliğe elektrik ark kaynak (EAK) ve gaz altı ark kaynak (GMAK) yöntemleri ile birleştirilmiş olup kaynak yöntemlerinin mekanik davranışlara ve özelliklere etkisi incelenmiştir. Bu yöntemde standartlara uygun açılan kaynak ağızlarına kaynak yapılmış ve mekanik özellikler için testler yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda ise gaz altı ark kaynağı sonucunda elde edilen şekillendirilebilirlik ve darbe tokluğu Elektrik ark kaynağına göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir [2].

Fevzi Atan Bilen (YL Tezi), 2016 yılında yapmış olduğu çalışmada ise Hardox 400 Çeliği ve AISI 304 Paslanmaz çeliği Plazma Ark Kaynağı yöntemiyle değişen parametrelerle kaynak ederek kaynak parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma amacıyla 4 mm kalınlığında Hardox 400 çeliği ve AISI 304 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Deney parçaları küt alın kaynağı formunda, kaynak ağızı açılmadan ve ilave metal kullanılmadan farklı kaynak parametrelerinde yatay pozisyonda kaynak edilmiştir. Kaynak sonrası numunelere tahribatsız muayene, tahribatlı muayene, çekme testi ve SEM incelenmesi yapılmış olup ayrıca ısı tesiri altında bölgede sertlik testi yapılmıştır [3].

Muhammed Adar (YL Tezi), 2019 yılında yaptığı çalışmada Hardox 500 ile St 52 çeliğinin kaynak edilebilirliğine bakmıştır. Bu çalışmada Hardox 500 ile St52 çeliğinin

farklı parametrelerle robotik kaynak yapılarak özelliklere bakılmıştır. Kaynaklı bağlantılar mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme testi, mikro sertlik testi ve SEM analizi yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda ise voltaj ve akım değerlerinin yüksek olduğu parametreler sonucu kaynak bağlantılarının çekme eğrilerinin daha kararlı olduğu tespit edilmiştir [4].

Mustafa Emrah ULUOCAK (YL Tezi), 2008 yılında yapmış olduğu tezde ise Mag kaynak bölgesi mekanik özellikleri ve mikro yapısında incelemelerde bulunmuştur. Bu çalışma için 5 mm kalınlığından Hardox 450 çeliği kullanılmıştır. Kaynak öncesi spektral yapılarak malzemenin mekanik özellikleri elde edilmiştir. Kaynak sonrasında ise ITAB bölgesinden kesit alınmıştır. Kaynak bölgesinde meydana gelen mikroyapısal değişiklikler ise SEM analizi incelenmiştir. Ayrıca mikro sertlik yöntemiyle de sertlik ölçümleri yapılmıştır. Test sonuçlarında ise çekme testinde tüm numunelerin ITAB bölgesinde koptuğu tespit edilmiştir. Kaynak havuzundan uzaklaştıkça, ısının etkisinin azalması neticesinde, daha ince ostenit taneciklerinin oluşumu sebebiyle ince taneli bölgenin mevcudiyeti gözlemlenmiştir [5].

Tuğba Okay ve arkadaşları 2015 yılında yapmış oldukları makalede S235JR ve Hardox çiftinin kaynaklanabilirliğini araştırmışlardır. Bu makalede kullanılan kaynak yöntemi olarak elektrik ark kaynağı yöntemi kullanılmıştır. Bu deney sonucunda farklı cins çeliklerin birleşmesi sonucunda mekanik davranışların ve sertliğin analizi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ise ortalama çekme dayanımı 358 Mpa, akma dayanımı 275 Mpa ve yüzde olarak uzama ise %16 olarak tespit edilmiştir ve çekme testinde kırılmanın ITAB bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Darbe kırılma enerjisi -50 oC' de 84 J, 0 oC' de 92 J ve oda sıcaklığında ise 98 J olarak ölçülmüştür. Eğme deneyi sonucunda ise çatlak oluşmasına dayanarak şekillendirilebilirliğin iyi olduğu söylenebilir. Ayrıca sertlik ölçüldüğünde ITAB da ana malzemenin (Hardox 400) daha düşük, kaynak metalinden daha yüksek bir sertliğe sahip olduğu saptanmıştır [6].

Nizamettin Kahraman ve arkadaşları 2002 yılında yapmış oldukları ark kaynak yöntemi ile ostenitik paslanmaz çelikler ve düşük karbonlu çeliklerin birleştirilmesi çalışmasında, elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak farklı elektrotlarla birleştirme işlemi yapılmış ve elde edilen numunelere çekme, eğme ve sertlik testleri uygulanmış

olup ayrıca mikroyapı özelliklerinde incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çelik türü AISI 304 çelik olup kullanılan elektrot cinsi ise AS P 347 tipi elektrot kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ise, çekme deneyi sonucunda kopmanın kaynak bölgesinde değil düşük karbonlu çelikte meydana geldiği saptanmıştır. Eğme deneyi sırasında gözle yapılan inceleme sonucunda herhangi bir yırtılma, çatlak vb. kusura rastlanmamıştır. En iyi eğme deneyi sonuçlarının AS p 347 tip elektrotla elde edildiği saptanmıştır. Sertlik deneyleri sonucunda ise kaynak metalinin sertliğinin diğer malzemelerden yüksek olduğu saptanmıştır. Kaynak metalinde ilave metal doğru seçilirse kaynak mukavemeti yüksek olmaktadır [7].

Ramazan Yılmaz'ın 2017 senesinde yapmış olduğu çalışmada östenitik paslanmaz çelikleri lazer kaynağı ile birleştirmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu çalışma için AISI 304 tipi paslanmaz çelik kullanılmıştır. Elde edilen kaynaklı bağlantılara; çekme deneyi ve kaynak boyunca mikro sertlik deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyi sonrasında kopan parça yüzeylerine SEM ile incelenmesi yapılmıştır. Deneyler sonucunda akma dayanımı yaklaşık olarak 316, çekme dayanımı 673 ve yüzde uzama miktarı %75 olarak elde edilmiştir. Lazer kaynağı ile elden edilen numunelerin değerleri ise yaklaşık olarak akma dayanımı 295 çekme dayanımı 481 ve yüzde uzama %16 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen verilerde dayanım ve diğer faktörlerin azaldığı görülmüştür. Bu kaynak metalini ve yöntemi malzeme ile kullanılabilir değildir [8].

Eyüp Gözütok (Y1 Tezi), 2009 yılında yapmış olduğu tezde paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ile birleştirilerek mekanik özelliklerinin incelenmesi olayına bakmıştır. Bu çalışmada paslanmaz çelik olarak AISI 304 östenitik paslanmaz çelik saclar 3 farklı koruyucu gaz altında kaynak edilerek mekanik özelliklerinin incelenmesi yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda; en yüksek sertlik değerlerinin üç farklı gaz içinde kaynak metalinde sonra sırasıyla ITAB ve ana malzemede tespit edilmiştir. Çekme testlerinin kopmalar ITAB'da meydana gelmiştir. Ayrıca çekme testleri sonrasında en

düşük çekme sonuçlarının saf argon gazıyla yapılan kaynaklı bağlantıda tespit edilmiştir. Eğme testlerinde gözle yapılan muayenede çatlak, yırtılma vb. kusurlara rastlanmamıştır. Yorulma deneylerinde ise yorulma sonuçları esas metalin yorulma değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir [9].

Bu çalışmamızda ise Hardox tipi ağır şartlarda çalışmaya elverişli çelik ile paslanmaz AISI 304 L çeliği ve St-52 çeliğinin gaz altı kaynak yöntemiyle birleştirilmesi sonucunda ortaya çıkan mekanik özellikler ve mikroyapısı incelenmiştir.

BÖLÜM 3

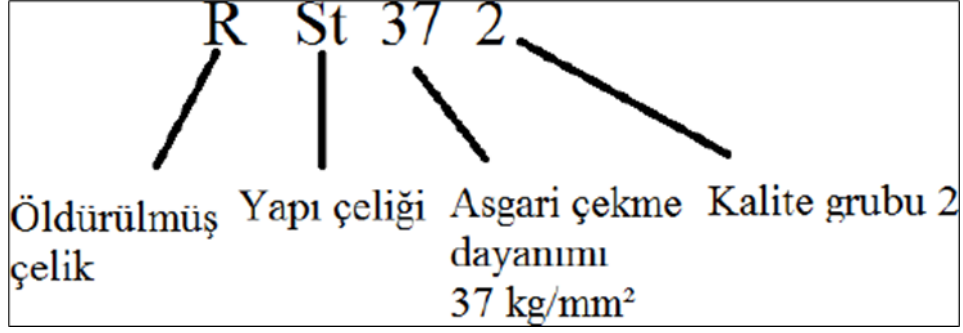
ÇELİKLER

Gelişen teknolojiye bağlı olarak üretimin artması sonucunda çeliklerin kullanımları artmaktadır. Çeliklerin yüksek mukavemet özelliklerine sahip olması ve diğer malzemelere nispeten daha ucuz olmasından dolayı çok sık tercih edilmektedir [4]. Paslanmaz çelik sadece iyi mekanik özelliklere sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda mükemmel korozyon direncine ve mükemmel mimari estetiğe sahiptir. İçinde aşındırıcı endüstriyel veya doğal ortam (kağıt fabrikaları, deniz yapıları, vb.) ve mimari estetik talebi yüksek binalar veya uzun bir tasarım ömrü (deniz köprüsü vb.), paslanmaz çelik ideal yapı malzemesidir [10].

Karbon elementi sonucunda özelliklerine sınırlama getirilen çelikler farklı alaşım elementleri (Si, V, Cr, vb.) farklı nitelik (süneklik, aşınma dayanımı vb.) ve imalat özellikleri (kaynak kabiliyeti, işlenebilirlik vb.) özellikler elde edilmektedir. Çelikler maximum % 2,06 oranında Karbon elementi içerebilmektedir. Çelikler farklı standartlara sahiptir ve bu standartlara göre adlandırılır [4].

Çizelge 3.1. Çelik gruplarına ait fiziksel özellikler [4].

Sınıfı (SAE/AISI)	Alaşım Elementleri	Yaygın Örnekler
10XX	C	1020, 1040, 1060
11XX	C, S	1120
2XXX	Ni	2130
3XXX	Ni+Cr	3140
4XXX	Mo+Cr+Ni	4140, 4340
5XXX	Cr	5160
6XXX	V	6150



Şekil 3.1. Numaralı kalite grubuna ait çelik açıklaması.

3.1. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çeliklerin keşfi Faraday'ın 1822 senesinde demirin içine krom kattığında oksidasyona karşı oldukça dayanıklı bir alaşım elde ettiğini fark etmiştir. İlerleyen yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda ise, 1838 senesinde Mallet krom ilave edilmiş çeliklerin bazı ortamlarda korozyon karşı daha dayanıklı olduğu keşfedilmiştir. Paslanmaz çeliklerinin daha dirençli yapmanın yollarından biri de karbon içeriğini azaltıp, Cr, Ni gibi alaşım element miktarını artırmaktır [7].

Günümüzde çelikler arasında en sık kullanılan hale gelen ve vazgeçilmez haline gelen paslanmaz çelikler esasında çeliklerin içine eklenen alaşım elementleri sayesinde bu özelliği kazanmaktadır. Alaşım elementleri olarak katılan Krom (Cr) ise çeliği paslanmazlık özelliği katmaktadır. Literatürde çeşitli veriler olmasına rağmen paslanmaz çelik en az % 12 oranında Cr içermelidir. Demir alaşımlara korozyon direnci katmak amacıyla yapılan Cr ilavesi sonucunda malzeme korozyona karşı dayanıklı hale gelmiş oluyor ve paslanmaz çeliklere olarak adlandırılıyorlar [9].

3.1.1. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri

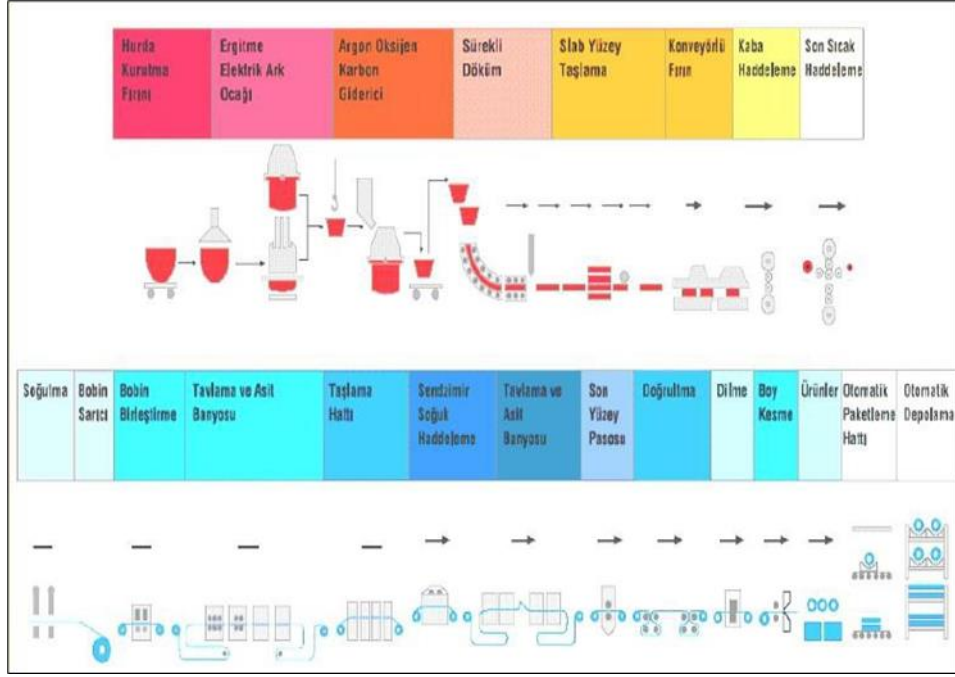
Paslanmaz çelikler imalat kolaylığı, mekanik dayanım, korozyon direnci gibi çeşitli üstünlükleri bunlardır. Bunlardan bazıları:

- İmalat Kolaylığı: Paslanmaz çeliklerin neredeyse hepsi sıkça ve soğuk şekillendirme, kaynak ve talaşlı imalata uygundur.

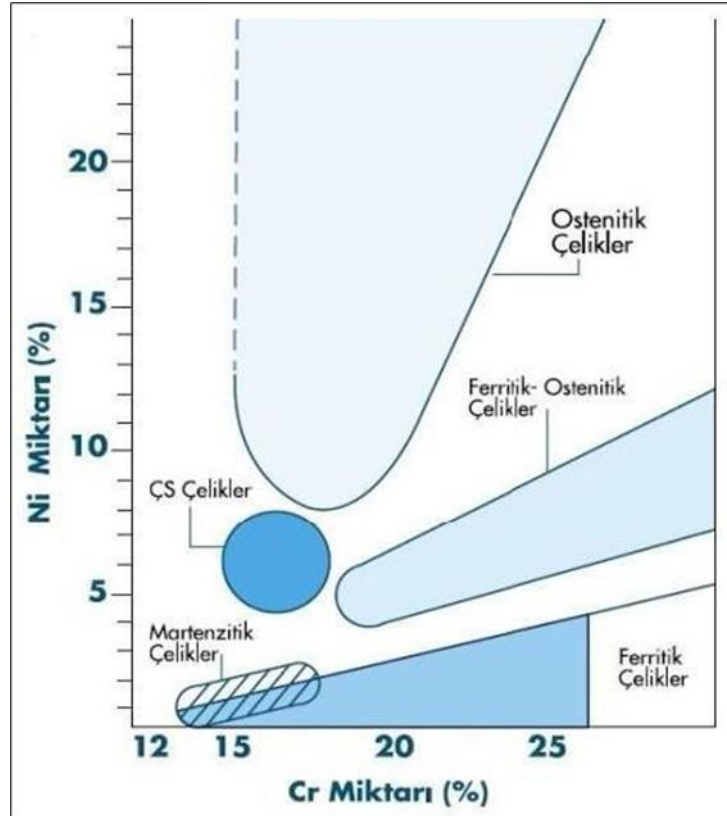
- Mekanik Dayanım: Soğuk pekleşme ile sertleştirilen paslanmaz çeliklerin dayanımı arttığından kalınlıklarında azaltma meydana gelerek de kullanılabilir. Buna bağlı olarak malzeme az kullanılır ve fiyat ve ağırlıkta düşüşler olur. Bazı paslanmaz çelik türlerinde ise ısıl işlem yöntemiyle çok yüksek bir dayanım kazandırmak mümkündür.
- Korozyon Dayanımı: Paslanmaz çeliklerin tüm türleri korozyona karşı dirençlidir. Yüksek alaşımlı çelikler asit, alkali çözeltiler ile klorür içeren ortamlara dayanıklıdır.
- Görünüm: Paslanmaz çelikler değişik yüzey kalitesinde üretilebilirler.
- Uzun Ömür: Paslanmaz çelikler bakımı kolay ve dayanıklı malzemelere olduklarından kullanım ömrü uzundur. Ömürleri dikkate alındığında ekonomik olarak da adlandırılabilirler [11].

3.1.2. Paslanmaz Çeliklerin Üretimi

Paslanmaz çeliklerin üretimi maliyetlidir. Ayrıca Uzmanlık ve tecrübem gerektiren bir prosesi vardır. Paslanmaz çeliklerinin üretiminde dünyanın yaklaşık % 80'nin kullandığı yöntem olan ‘‘Elektrik ark ocağı / argon oksijen karbon giderme’’ yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem 1970’li yıllarda geliştirilerek kullanılmaya başlanmıştır [12].



Şeki 3.2. Paslanmaz çeliklerin üretim aşaması [12].



Şekil 3.3. Değişik paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları [3].

Paslanmaz çelikler ise 5 ana türde sınıflandırılmaktadır.

- Ferritik paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Östenitik-Ferritik (Çift Fazlı) paslanmaz çelikler
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler
- Östenitik paslanmaz çelikler [13].

Çizelge 3.2. Paslanmaz çelik grubuna ait fiziksel özellikler [13].

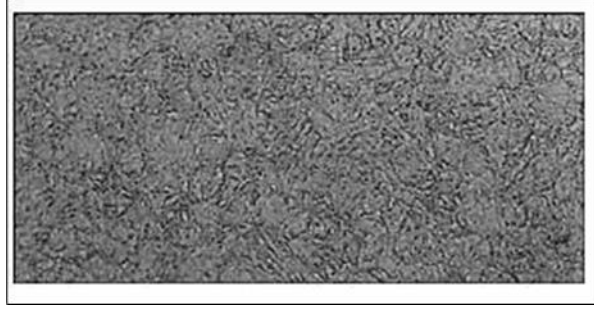
Fiziksel özellikler	Östenitik paslanmaz çelikler	Ferritik paslanmaz çelikler	Martenzitik paslanmaz çelikler	Çökeltme ile sertleşebilen paslanmaz çelikler
Elastisite Modülü (GPa)	195	200	200	200
Yoğunluk (g/m^3)	8,0	7,8	7,8	7,8
Isıl Genleşme Katsayısı ($\mu m/m^{\circ}C$)	16,6	10,4	10,3	10,8
Isıl İletkenlik (W/mk)	15,7	25,1	24,2	22,3
Özgül Isı ($J/k^{\circ}K$)	500	460	460	460
Elektriksel Direnç ($\mu\Omega cm$)	74	61	61	80
Ergime Aralığı ($^{\circ}C$)	1375-1400	1425-1530	1425-1530	1400-1440
Manyetik Geçirgenlik	1,02	600-1100	700-1000	95

3.1.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Krom oranı %16-30 arası değişmektedir. Nikel içermemektedirler. Karbon oranı ise yaklaşık olarak %0.02-0.12 arasındadır. Ferritik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında ferrit yapıdadır. Paslanmaz çelikler oda sıcaklığında manyetik özellik gösterirler ve bu özellikleri yaklaşık olarak 780 oC'ye kadar korurlar. Ferritik paslanmaz çelikler düşük

maliyette üretim ve iyi korozyon direnci sağlarlar. Ferritik paslanmaz çeliklerinin çeşitli kullanım alanları vardır.

- 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 [9].



Şekil 3.4. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı [9].

3.1.4. Çökelme Sertleşmesi Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler

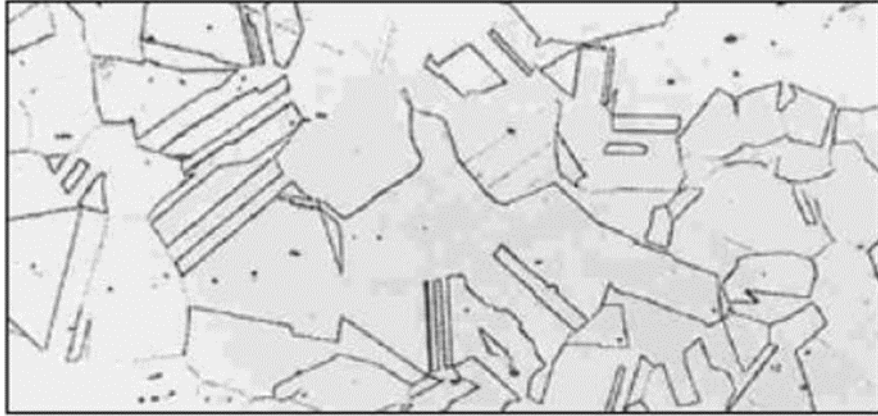
Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler molibden, bakır, titanyum gibi alaşım elementleri içeren ve bu elementlerinin bir veya bir kaçını içererek çökelme sertleşmesi oluşturan paslanmaz çeliklerdir. Çökelme sertleştirilmesi prensip olarak hızlı soğutma işleminin takip eden bir yaşlandırma işlemidir. Bu işlemlerden sonra çelik martenzitik paslanmaz çelik ve AISI 304 gibi östenitik paslanmaz çelik korozyon özelliklerine sahip olabilmektedir. Yapısal değişimine ve özelliklerine bağlı olarak 3 farklı türü vardır.

- Yarı östenitik çökelme paslanmaz çelikler
- Östenitik çökelme paslanmaz çelikler
- Martenzitik çökelme paslanmaz çelikler [13].

3.1.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler arasında en çok kullanılan olan östenitik paslanmaz çelikleridir. Bu çeliklerinin çok sık tercih edilmesindeki etkenler ise çok iyi şekillendirilebilirlik ve kaynakedilebilirlik özelliklerinin olmasıdır [8].

Bu karışım aslında sadece Cr değil aynı zamanda Ni elementi de içermektedir. Yaklaşık olarak %16.5 Cr ve %12 Ni içermektedir. Korozyon direnci yüksek malzeme olarak bilinmektedir. 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 [14].



Şekil 3.5. Östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı [14].

Östnenitik paslanmaz çelikler piyasalarda en çok kullanılan çelik türlerindedir.

Östenitik paslanmaz çelikler çok farklı kullanım alanlarına sahiptirler.

Çizelge 3.3. Östenitik paslanmaz çelikleri kullanım alanları [8].

AISI Kalite	Uygulamaları
301	Yüksek dayanım, yüksek süneklik ve yüksek pekleşme hızına ihtiyaç duyulduğu yerlerde kullanılır. Tren yolu arabaları, uçak parçaları gibi
302	Genel amaçlı östenitik paslanmaz çeliğidir. Yiyecek, süsleme, pişirme donanımları, mücevherler ve petrol rafinelerinde kullanılır.
304	Kaynak sırasında oluşan karbür çökmesini sınırlamak için tip 302'nin düşük modifikasyonudur. Kimyasal ve yiyecek işleme donanımları, oluklar, yağmur oluk saçları gibi yerlerde kullanılır.
314L	Kaynak sırasında oluşan karbür çökmesini daha çok sınırlamak için tip 304'ün daha düşük karbon modifikasyonudur. Depolama tanklarının üretiminde kullanılmaktadır.
309	Yüksek sıcaklık dayanımı ve oksitleme direncine sahip olmasından dolayı uçak ısıtıcıları, fırın parçaları, tavlama kapakları gibi yerlerde kullanılmaktadır.
310	Tip 309'dan daha çok ısı direnci ve oksitlenme direnci özelliğine sahiptir. Gaz türbin bıçakları, yakma makineleri, ısı toplayıcılar gibi makine elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır.
316	Tip 304'den daha yüksek sürünme dayanımı ve korozyon direncine sahiptir. Kaynak fiçileri, ketçap pişirme tencereleri gibi yerlerde kullanılırlar.
316L	Tip 316'dan daha fazla karbon modifikasyonu sayesinde taneler arası karbür çökmesinin önlemek zorunda olunan kaynaklı yapılarda kullanılır. Yoğun kaynak gerektiren yerlerden kullanılır.

Çizelge 3.4. Mekanik özellikler [13].

	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı %0.2(N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
201	Tavlı	793	379	55		B 90
201	Tam Sertleştirilmiş	1275	965	4		C 41
202	Tavlı	724	379	5		B 90
301	Tavlı	758	276	60		B 85
301	Tam Sertleştirilmiş	1275	965	8		C 41
302	Tavlı	620	255	55	65	B 82
302B	Tavlı	655	276	50	65	B 85
303	Tavlı	620	241	50	55	B 84
304	Tavlı	586	241	55	65	B 80
304L	Tavlı	552	207	55	65	B 76
304N	Tavlı	586	241	30		
304LN	Tavlı	552	207			
305	Tavlı	586	255	55	70	B 82
308	Tavlı	586	241	55	65	B 80
308L	Tavlı	551	207	55	65	B 76
309	Tavlı	620	276	45	65	B 85
310	Tavlı	655	276	45	65	B 87
312	Tavlı	655		20		
314	Tavlı	689	345	45	60	B 87
316L	Tavlı	538	241	55	70	B 80
316F	Tavlı	586		55	65	B 76
317	Tavlı	620		55	70	B 80
317L	Tavlı	86		50	55	B 85
321	Tavlı	599		55	55	B 80
347/348	Tavlı	634		50	65	B 84
329	Tavlı	724		25	50	B 98
330	Tavlı	550		30		B 80

3.1.5.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğunun kaynak kabiliyeti iyidir ve birçok kaynak yöntemi ile (ark kaynağı, direnç kaynağı, sürtünme kaynağı vb.) kaynak edilebilirler. Östenitik paslanmaz çeliklerinin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak için genellikle yararlıdır. Östenitik paslanmaz çelikler kaynak proseslerinde genellikle temel 3 sorun ile karşılaşmaktadır.

- Isının etkisi altında kalan bölgede "Krom Karbür" oluşması sonucu meydana gelen
- Hassas yapı,
- Kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu,
- Yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "Sigma Fazı" oluşumu riskleridir [9].

3.2. AISI 304 Paslanmaz Çelikler

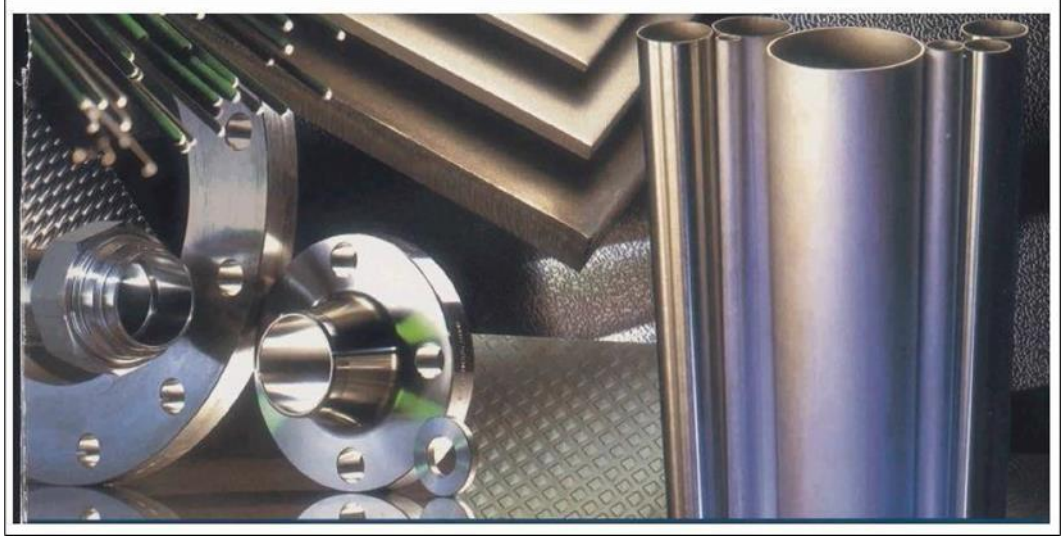
AISI 304 paslanmaz çelikler en temel paslanmaz çelik türlerinden olup oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir AISI 304 tipi paslanmaz çelik östenitik paslanmaz çelik sınıfına girmektedir. Fiyatına göre iyi korozyon direnci, mekanik özellik ve kaynak kabiliyeti verdiği için ötürü sıklıkla tercih edilmektedir. AISI 304 tipi paslanmaz çelikler en yaygın kimya, petrokimya, ev aletleri ve gıda sanayisi gibi sektörlerde kullanılmaktadır [12].

Çizelge 3.5. AISI 304 paslanmaz çelik kimyasal özellikleri [8].

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mn
0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	18.2	10.0	2.0

Çizelge 3.6. AISI 304 mekanik özellikleri.

Mekanik Özellikler	Değerler
Çekme Mukavemeti	500-700 Mpa
Akma Mukavemeti	≥190 Mpa
Sertlik, Brinell (HB)	≤ 215



Şekil 3.6. Çeşitli paslanmaz çelik ürünleri.

3.2.1. Genel Özellikleri

- Östenit paslanmaz çelik sınıfindalardır.
- Malzeme iyi kaynakedilebilir ve şekillendirilebilir.
- Manyetik özelliği yoktur ve korozyona karşı dirençlidir [12].

3.3. HARDOX 400 ÇELİĞİ

Hardox çelikleri, aşınmaya karşı yüksek direnç, özel aletlerle işleme imkanı, iyi kaynaklanabilirlik, yüksek mekanik özellikler ve darbe yüklerine karşı direnç gibi etkenlerden ötürü tercih edilmektedir [15].

Günümüz en önemli problemlerinden biri olan aşınmanın Almanya'da yapılan araştırmalara göre endüstriye verdiği zarar her yıl için 2 milyar euro üzerinde olduğu belirtilmektedir. Endüstride kullanılan makine parçalarının çevre ve birbirleri ile teması sonucu aşınma meydana gelmektedir. Aşınma sonucu makine parçaları orijinal ölçülerini kaybetmekte ve bu durum sonucunda verimlilikleri düşmektedir. Aşınma sadece verimi düşürücü etken değil, aynı zamanda makine parçaları üzerinde meydana gelen korozyon, iç gerilme, yorulma gibi etkenler de parça verimini düşürmektedir. Hardox 400 serisi malzemelerde ise yüksek aşınma direncine sahip olduklarından

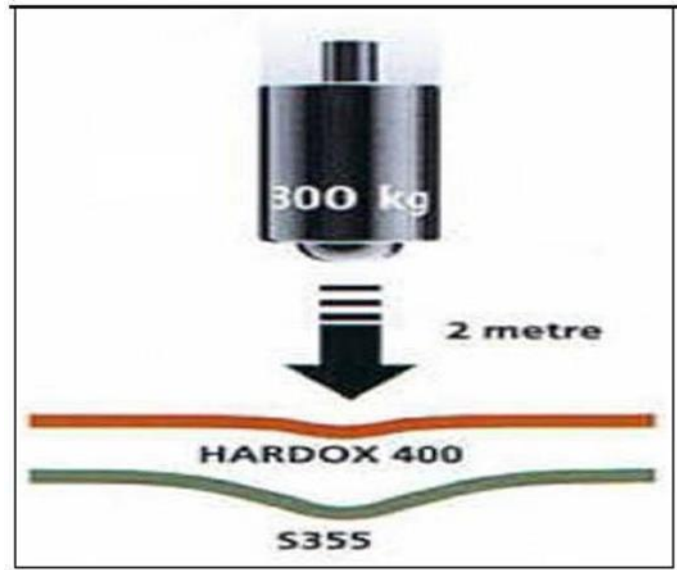
piyasalarda artık sıklıkla kullanılan malzeme konumuna gelmiştir. Hardox çelikleri sert olması aşınma direncinin iyi bir ölçüsüdür. Bu çeliklerin plastik esnekliği ve çarpma mukavemetleri yüksektir. Aşınma direncine etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; malzeme cinsi, kimyasal içerik, sertlik, elastik modülü, ısıl işlemler gibi faktörlerdir. Ayrıca aşınmaya maruz kalan sistem elemanları ve çalışılan ortamda aşınma şiddetini belirleyen etkenlerdir [5, 16].

Çizelge 3.7. Hardox çeliği kimyasal analizi (% ağırlık) [17].

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B
Hardox 400	0.13	0.30	0.95	0.012	0.002	0.25	0.04	0.06	0.002
Hardox 450	0.20	0.39	0.80	0.005	0.005	0.45	0.01	0.05	0.001

Çizelge 3.8. Hardox çelikleri mekanik özellikleri [18].

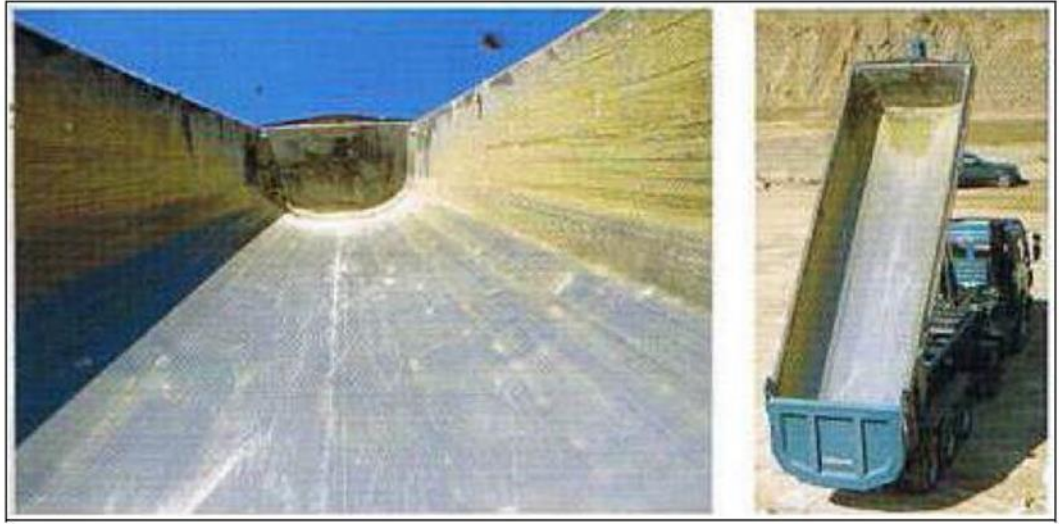
Çelik	Akma Dayanımı Mpa	Çekme Dayanımı Mpa	Sertlik HB	Yüzde Uzama %	Darbe Özeliği -40 °C
Hardox 400	370-430	1000	370-430	10	45
Hardox 450	1200	1400	425-475	10	40



Şekil 3.7. Hardox 400 ve sıradan yüksek dayanımlı levhasının karşılaştırılması [3].

HARDOX levha, yüksek mukavemeti sebebiyle daha iyi boyutsal stabiliteye sahip olduğundan, daha az bir kalıcı deformasyon gösterir. Levha kalınlığını azaltmak ta mümkün olup, bunun sonucunda taşıma kapasitesi arttırılmış olur.

Hardox levhalar yüksek mukavemet özelliğine sahip olması sayesinde daha iyi boyutsal stabiliteye sahiplerdir. Bu yüzden daha az kalıcı defarmasyona uğrarlar. Levha kalınlıkları azaltılarak taşıma kapasiteleri arttırılabilir [5].



Şekil 3.8. Hardox aşınma levhasından imal edilmiş bir amper kasası [5].



Şekil 3.9. Hardox aşınma levhasından imal edilmiş kepçe ve kırıcı [5].

3.3.1. Hardox Çeliği Kaynak Edilebilirliği

HARDOX aşınma levhalarının tüm kaliteleri çok düşük alaşım elementleri ihtiva ederler ve dolayısıyla karbon eşdeğerleri düşüktür. HARDOX 400 ve HARDOX 500 mükemmel kaynak edilebilme sayesinde geleneksel ergitme kaynağı yoluyla, HARDOX ile ve diğer tüm kaynağa uygun konstrüksiyon levhaları ile kaynak edilebilir [19].

Hardox çelikleri Tablo 1 de gösterildiği gibi çok düşük alaşım elementleri içerir ve bu yüzden karbon eş değeri düşüktür. Bu malzemelerin mükemmel kaynak edilebilirliği sayesinde diğer tüm kaynağa uygun konstrüksiyon malzemelerle imal edilebilirler. Karbon eşdeğeri düşük bir çelik, yüksek olana göre daha iyi kaynak edilebilme özelliğine sahiptir [19].

3.3.2. Hardox Mekanik Özellikleri

Hardox aşınma levhaları ağır aşınma şartlarına dayanacak şekilde imal edilmiştir. Hardox'un gerçek ömrü ise çalışma şartlarına ve temas ettiği yüzeyle ilişkilidir. Minerellerin bir yerden başka yere taşınma sırasında meydana gelen farklı gerilmelere, yuvarlanma, devrilme gibi etkenler sonucunda oluşan büyük aşınmalara ancak Hardox 400-500 türü çelikler dayanmaktadır. Bu yüzden bu çelikler kamyon vb. hafriyat taşıma makinelerinde kullanılmaktadır.

Hardox 400 çeliğinin en önemli özelliği ise tam sertleştirilmemiş olmamasıdır. Bu yüzden Hardox çeliği plastik esnekliği ve çarpma mukavemeti yüksektir. Levhalarının bu sertliğe erişmesi için su verme işlemi sırasında yüksek verimle su verilerek elde edilir. Çeliğin bünyesinde alaşım elementlerinin az olmasına rağmen bu işlem sonucunda yüksek sertliğe ulaşabilirler. Bunun sonucu olarak da bu levhalar bükülebilir, kaynak edilebilir ve kolay şekillendirirler [16].

Çizelge 3.9. Hardox 400 çeliği mekanik özellikleri.

Kalınlık(mm)	Sertlik (HBW)	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)
3-130	370-430	1000	1250	10

Çizelge 3.10. Hardox 400 çeliği dayanım özellikleri.

Darbe Özellikleri	Enerji (Joule)	Sıcaklık (°C)
Charpy V 10*10	45	-40

3.3.3. Hardox Çeliğinin Uygulama Alanları

Dayanıklılığı ve iyi yapısıyla yol yapım, gemi inşaatı, ormancılık gibi çoğu sektörde kullanılmaktadır. Ekskavatör kepçelerinde, küreme kenarlarında, maden ekipmanları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.10. Hardox 400 çeşitli kullanım alanları [5].



Şekil 3.11. Hardox'dan imal edilmiş kepçe [5].



Şekil 3.12. Hardox kullanım alanları [5].

BÖLÜM 4

GAZ ALTI KAYNAK YÖNTEMİ

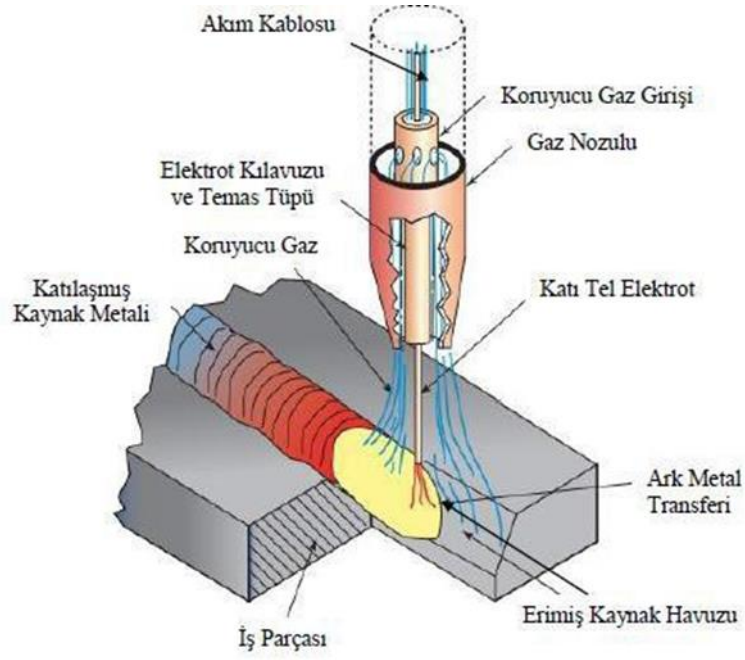
4.1. GAZ ALTI KAYNAK TARİHÇESİ

Bu yöntemle kaynak ilk defa 1926 senesinde Alexander yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. İlk olarak ortaya çıkan bu yöntemde kaynak bölgesi metanol gazı ile korunmaktaydı. Yine aynı sene içerisinde ark atom yöntemi olarak bilinen kaynak bölgesinin hidrojen gazı ile korunduğu kaynak yöntemi ve 1928 yılında ise Arcogen olarak bilinen oksii-asetilen aleviyle koruma sağlanan yöntemler geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda ise koruyucu gazlar olarak soygazlar kullanılmaya başlandı. Bu soygazlara örnek olarak helyum, argon verilebilir. Ayrıca soygazların yanı sıra CO₂ gibi aktif gazlarda kullanılmaya başlanmıştır [20].

Gaz altı kaynak yöntemlerinden MIG kaynağının ilerlemesi ise 1947 senesinde ilk satılabilir kaynak makinesi üretimi ile başlamıştır. İlk zamanlarda maliyetinin yüksek olmasında ötürü bu kaynak yöntemi önemli kaynak işlemlerinde kullanılmaktaydı. Soy gazlardan sonra CO₂ koruyucu gaz olarak kullanılması ise 1952 yılında Rusya'da denenmiştir [4].

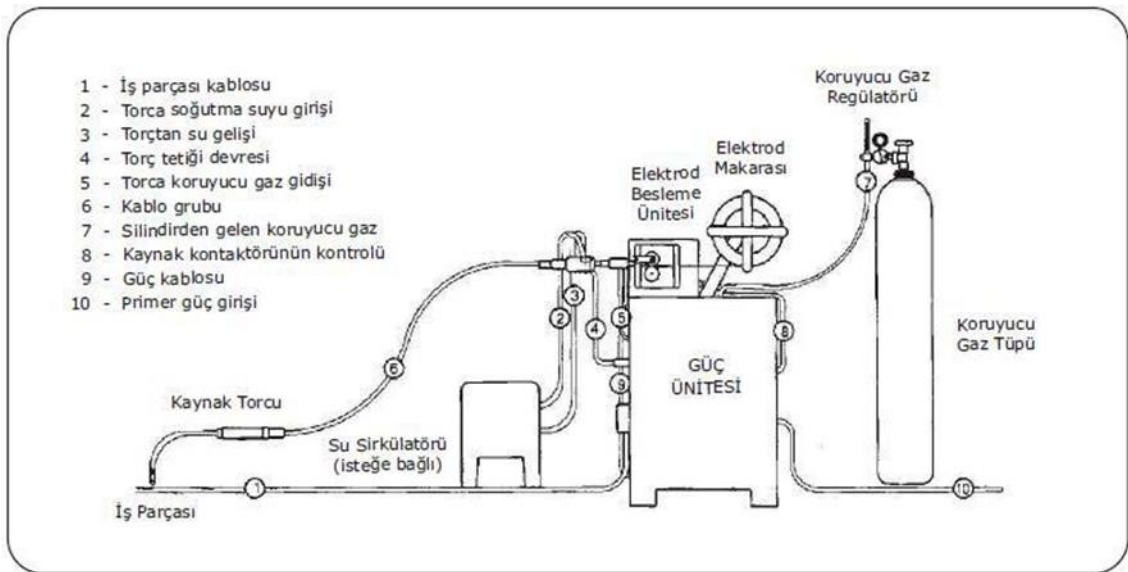
4.2. KAYNAK YÖNTEMİ

Bu kaynak yöntemi temelde 2 grup halinde incelenebilir. İlki tükenmeyen tungsten elektrotla yapılan tungsten Inert Gas kelimesinin baş harflerinden oluşan TIG kelimesi ile bilinen kaynak yöntemidir. Bu yöntemde gerekli olan ısı bir tungsten elektrot ile iş parçası tarafından oluşturulan ark tarafından sağlanmaktadır. Kaynak çevresi ise lüle tarafından gönderilen Helyum veya Argon koruyucu gazları ile korunmaktadır [21].



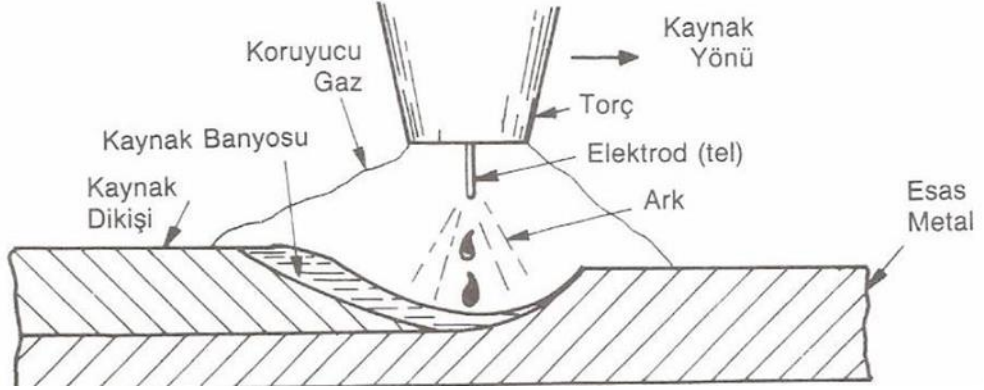
Şekil 4.1. Gaz altı kaynağı [20].

İkinci yöntem ise kaynak için gerekli olan ısının tükenmeyen elektrot ile değil tükenen bir elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı kaynak yöntemidir. Bu yöntemde ise atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen gaz veya karışım gazları vasıtasıyla korunur. Kaynak bölgesinde koruma çok önemlidir, çok küçük bir hava girişinde dahi kaynak bölgesinde hatalarla karşılaşılabilir [22].



Şekil 4.2. Gaz altı kaynak donanımı [23].

Bu kaynak yöntemlerin isimlendirilmesinde ise kullanılan koruyucu olarak kullanılan gaza göre de isimleri değişmektedir. Eğer kaynak işleminden TIG kaynağındaki gibi inert gazlar kullanılıyorsa MIG yani Metal Inert Gas olarak adlandırılır. Eğer koruyucu olarak CO₂ gibi gazlar kullanılıyorsa ismi, MAG Metal Active Gas yani Metal Active Gas olarak anılır [22].



Şekil 4.3. MIG - MAG kaynak yönteminde kaynak bölgesi [24].

4.3. AVANTAJLARI

- Endüstride kullanılan çoğu metal ve alaşımlarının kaynağında kullanılabilir.
- Sonsuz tel elektrotu olduğundan ötürü elektrot bitme ve elektrot uzunluk sorunları ile karşılaşmamaktadır.
- Toz altı kaynak yönteminden farklı olarak tüm eksenlerde kaynak yapılabilir.
- Metal yığılma hızı elektrik ark kaynağına göre oldukça yüksektir.
- Kaynak hızları da elektrik ark kaynağına göre iyidir.
- Daha derin nüfuziyet elde edilebilir.
- Kaynak pası temizliği neredeyse hiç yok denecek kadar azdır. Bu da kaynak temizlik süresinden tasarruf edilmesini sağlar [4].

4.4. DEZAVANTAJLARI

- Kaynak ekipmanları elektrik ark kaynağına göre pahalıdır. Ayrıca ekipmanlar karmaşıktır ve bir yerden bir yere taşınması zordur.
- Kaynak torcunun 10-20 mm mesafeden tutulması gerektiğinden ulaşılması sıkıntı olan yerlerde kaynak işlemi yapılmasını zorlaştırır.
- Kaynak yönteminde atmosferle temas istenmediğinden kaynak yönteminin kapalı mekanlarda yapılması gerekmektedir [4].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELİKLERİ

Deneyde kullanılan malzemeler seçiminde sektörde sıklıkla kullanılan paslanmaz çelikler ve St 47 çeliğinin yanı sıra yüksek aşınma dayanımına sahip olması ile bilinen Hardox tipi çeliklerdir. Hardox çeliklerinin adlandırılmasında sertlik değerleri esas alınarak kullanılmaktadır. Hardox çeliklerinin diğer çeliklere üstünlükleri yüksek aşınma direncine sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Kaynak edilen diğer çelikler ise piyasa sıklıkla kullanılmakta olan paslanmaz çelikler kullanılmıştır. Paslanmaz çelikler normal çeliklere ek olarak en az yaklaşık %12 Krom (Cr) elementi içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu çeliklerin kaynak edilebilirliklerinin yüksek çeliklerdir. Bu deneysel çalışmada kaynak edilen Hardox çeliği ve paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri, aşınma, darbe tokluk ve sertlik özellikleri incelenmiştir. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Çizelge 5.1. AISI 304 paslanmaz çelik kimyasal özellikleri [8].

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mn
0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	18.2	10.0	2.0

Çizelge 5.2. AISI 304 Mekanik Özellikleri [12].

Mekanik Özellikler	Değerler
Çekme Mukavemeti	500-700 Mpa
Akma Mukavemeti	≥ 190 Mpa
Sertlik, Brinell (HB)	≤ 215

Çizelge 5.3. Hardox çeliği dayanım özellikleri.

Darbe Özellikleri	Enerji (Joule)	Sıcaklık (°C)
Charpy V 10*10	45	-40

Çizelge 5.4. Hardox çeliği kimyasal analizi [17].

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B
Hardox 400	0.1 3	0.30	0.95	0.012	0.002	0.25	0.04	0.06	0.002
Hardox 450	0.2 0	0.39	0.80	0.005	0.005	0.45	0.01	0.05	0.001

Çizelge 5.5. Hardox çeliği mekanik özellikleri [18].

Çelik	Akma Dayanımı Mpa	Çekme Dayanımı Mpa	Sertlik HB	Yüzde Uzama %	Darbe Özeliği -40 °C
Hardox 400	370-430	1000	370-430	10	45
Hardox 450	1200	1400	425-475	10	40

5.2. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Sertifikalı kaynakçılarla Hardox çeliği ile Hardox çeliği kaynak edilmiştir. Kaynak işlemi sırasındaki parametreler ise 7.49m/dk tel hızı 20.8 V ve 165 A ile işlem yapılmıştır. Koruyucu gaz olarak ArCO₂ gazı kullanılmıştır. Kaynak sırasında kullanılan kaynak teli ise paslanmaz Si307 tipi teldir. Bu çalışmada 4 mm kalınlığında hardox çelikleri ile paslanmaz çelikleri kaynak edilmiştir. Kaynak edilen plakaların büyüklüğü ve hassas olmasından ötürü plakalardan gerekli numuneleri hazırlamak için tel erezyon işlemine tabi tutularak numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 5.1. Hardox ve paslanmaz çelik kaynaklı hali.

Kaynak edilen parçalardan deney numune parçası elde edilmek amacıyla tel erezyon işlemi yapılmıştır. Bu işlemin tercih edilmesindeki amaç ise parçalardan numune çıkarılırken ısıl değişim meydana gelmesini engelleyerek parçanın mekanik özelliklerini korumaktır.



Şekil 5.2. Tel erezyon işlemi.



Şekil 5.3. MIG kaynak işlemi sonrası tel erozyon sonrası çekme numuneleri.

5.3. MİKROYAPI İÇİN ÖRNEK HAZIRLAMA

Kaynaklı numuneler tel erozyon ile kesilmiş ve daha sonra kesme makinesi yardımıyla mikroyapı çalışması için küçük parçalara ayrılmıştır. Kesim işleminden sonra numuneler soğuk reçineye alınmıştır. Numunelerin yüzey kalitesini arttırmak amacıyla zımparalama işlemi yapılmıştır. Numuneler 600, 800, 1000, 1200'de zımparalanmıştır. Daha sonra sırasıyla 6 mikron, 3 mikron ve 1 mikron elmas yardımıyla parlatılmıştır. Çözeltinin içeriği ise, 10 gram oksalik asit ve 100 ml saf sudan oluşmaktadır.



Şekil 5.4. Zımparalama makinesi.



Şekil 5.5. Mikroyapı numunesi.

Güç kaynağı (+) ve polar (-) asiti ile hazırlanan çözeltiliye numuneler bırakılmıştır. 13,8 V DC gerilim ile ortalama 2 Amper akımda 15 saniye boyunca dağlama işlemi uygulanmıştır. Dağlama işleminden sonra metalografi laboratuvarında mikroskop yardımıyla 200X, 500X, 1000X büyütme ile mikroyapı görüntüleri alınmıştır.

5.4. SERTLİK NUMUNESİ HAZIRLANMASI

Test numunelerinin sertlik ölçümü Q250-M kullanılarak yapılmıştır. Sertlik testi evrensel standartlara sahip olunan Vickers yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Sertlik testi için 10 adet numune hazırlanmıştır. Mikrosertlik test cihazı ile ana metal ve kaynak metalinden sertlik değerleri alınmıştır. Sertlik işlemi sırasında plakaya 500 g yük uygulanmıştır. Testler esnasında kullanılan sertlik test cihazı Şekil 5.6'da görülmektedir. Testler Karabük'te bulunan Demir Çelik Enstitüsü Araştırma Laboratuvarları'nda yapılmıştır.



Şekil 5.6. Q250-m Universal mikrosertlik cihaz.

5.5. MİKROYAPI ANALİZİ

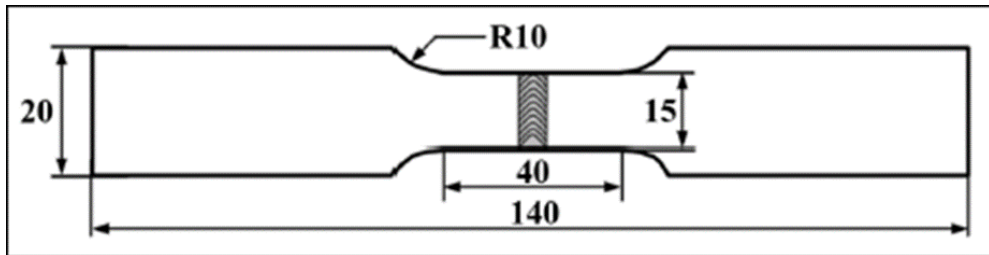
Numunelerin optik mikroskop görüntüleri ve SEM görüntüleri, "Nikon Eclipse MA200" optik mikroskop cihazı ve "Carl Zeiss Ultra Plus Gemini" Femme" marka SEM cihazı ile yapılmıştır. Görüntü işlemi Karabük'te bulunan Demir Çelik Enstitüsü Araştırma Laboratuvarları'nda yapılmıştır.



Şekil 5.7. Nikon Eclipse MA200 optik mikroskop.

5.6. ÇEKME TESTİ

Çekme testi için numuneler iki parça halinde tel erozyon ile kesilerek hazırlanmıştır. Numuneler DIN EN ISO 6892-1 standartlara uygun olarak 3 adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Numunenin teknik resmi Şekil 23'de görülmektedir. Çekme testi, 100 kN MTS 370 üzerinde 0.067 dak/mm hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme testi işlemi Landmark test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Test cihazı Şekil 5.10' da görülmektedir. Testler Karabük'te bulunan Demir Çelik Enstitüsü Araştırma Laboratuvarları'nda yapılmıştır.



Şekil 5.8. Çekme testi numunesi.



Şekil 5.9. Landmart çekme testi cihazı.



Şekil 5.10. Çekme testinde kopan parça.



Şekil 5.11. Kopan parça.

5.6. DARBE ÇENTİK TESTİ

Test numuneleri darbe çentik testine tabi tutulmuştur. EN'ye göre 10045-1 standardı farklı kalitelerdeki paslanmaz çelik tertibatlar, çentikli standardın altında hazırlanan 10 adet numune 20 °C (oda sıcaklığı) test edilmiştir. Numuneler darbe çentik cihazında test edildi. Testler Karabük'te bulunan Teknoloji Fakültesi Araştırma Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Test cihazı Şekil 5.12'te gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Darbe çentik test cihazı.

BÖLÜM 6

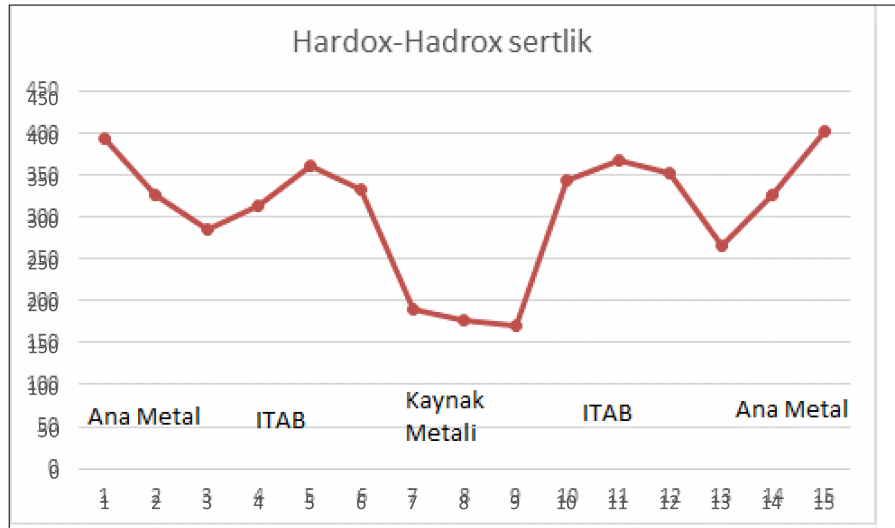
SONUÇLAR

6.1. SERTLİK SONUÇLARI

Elde edilen kaynaklı numunelerden sertlik testi numuneleri çıkarıldı ve standartlara uygun olarak Vickers sertlik deneyi yapıldı.

6.1.1. Hardox-Hardox Kaynaklı Bağlantı Sertlik Sonuçları

Numune üzerinde ana metalden başlayarak sırasıyla ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) sınır, ITAB, kaynak sınırı, kaynak ve diğer ana metal olmak üzere eşit aralıklarla ve bölgelere denk gelecek şekilde 15 ayrı noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır.



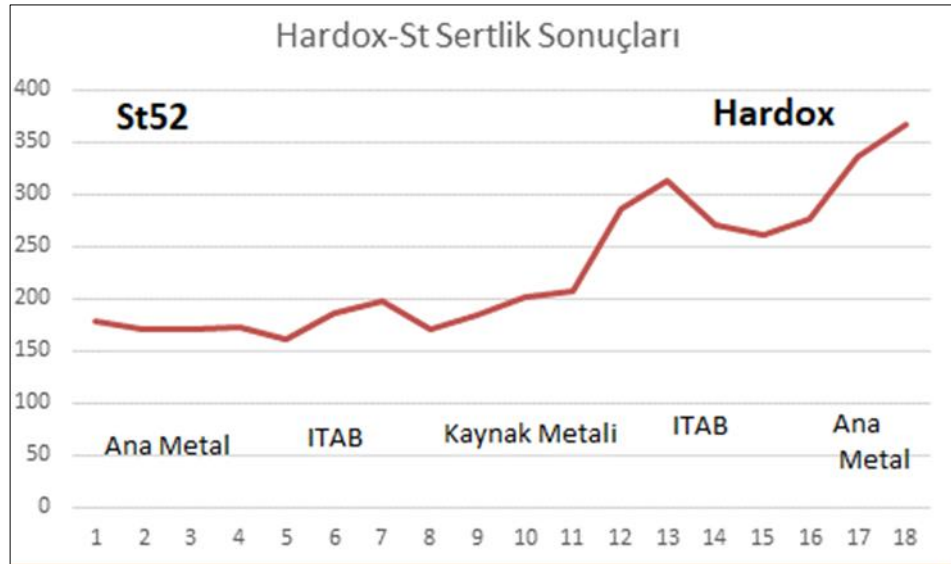
Şekil 6.1. Hardox-Hardox sertlik sonuçları.

Yapılan testler sonucunda en yüksek sertlik değerinin 403 HV ile ana metalde olduğu gözlemlenmiştir. ITAB ve ITAB geçişlerinde ise ana metalden sonraki en yüksek

sertlik değerlerini erişilmiştir. Burada ITAB sınırı için ortalama olarak 330 HV ve ITAB içinse ortalama 365 HV sertlik ölçülmüştür. Sertlik değerlerinin düzgün değişmeme sebebi ise kaynak esnasında oluşan ısının homojen dağılmaması ve ani soğumadan kaynaklanmaktadır.

6.1.2. Hardox-St47 Kaynaklı Bağlantı Sertlik Sonuçları

Numune üzerinde ana metalden başlayarak sırasıyla ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) sınır, ITAB, kaynak sınırı, kaynak ve diğer ana metal olmak üzere eşit aralıklarla ve bölgelere denk gelecek şekilde 18 ayırdan sertlik ölçümü yapılmıştır.



şekil 6.2. Hardox-St sertlik sonuçları.

Ana metalden yapılarak ölçülen test sonuçlarında en yüksek sertlik değer ana metalde 368 HV olarak ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri de yine ana metallere biri olan St47’de ölçülmüştür. ITAB bölgesinde ise ortalama olarak 270 HV sertlik değeri ölçülmüştür. ITAB sınırlarında ise iki farklı ana metale bağlı olarak değişmekte olup sırasıyla ortalama 190 HV ve 310 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak metalinde ise 200 HV sertlik değeri ölçülmüştür. Sertlik değerlerinin düzgün değişmeme sebebi ise kaynak esnasında oluşan ısının homojen dağılmaması ve ani soğumadan kaynaklanmaktadır.

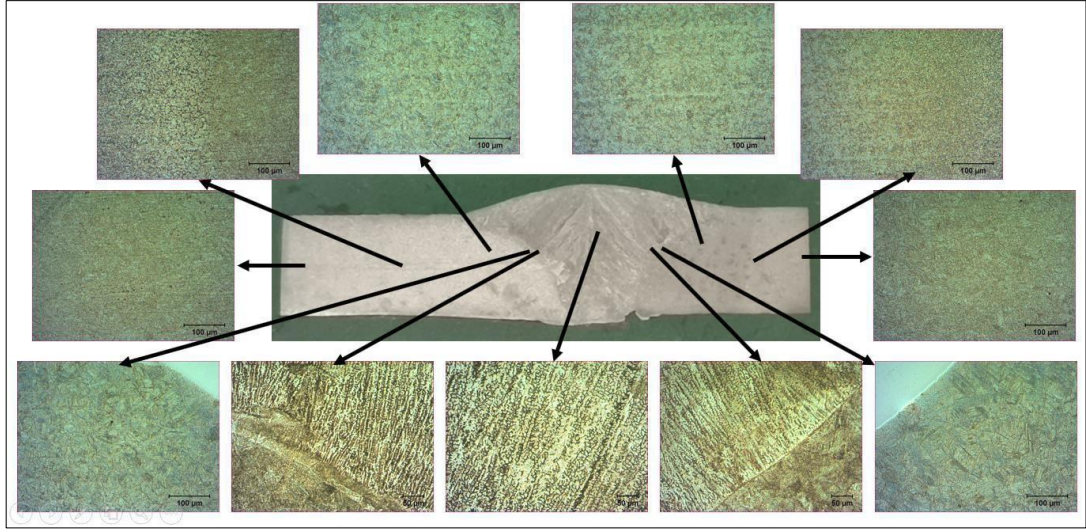
6.1.3. Hardox-AISI304L Paslanmaz Çelik Kaynaklı Bağlantı Sertlik Sonuçları

Numune üzerinde ana metalden başlayarak sırasıyla ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) sınır, ITAB, kaynak sınırı, kaynak ve diğer ana metal olmak üzere eşit aralıklarla ve bölgelere denk gelecek şekilde 15 ayrı noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır.

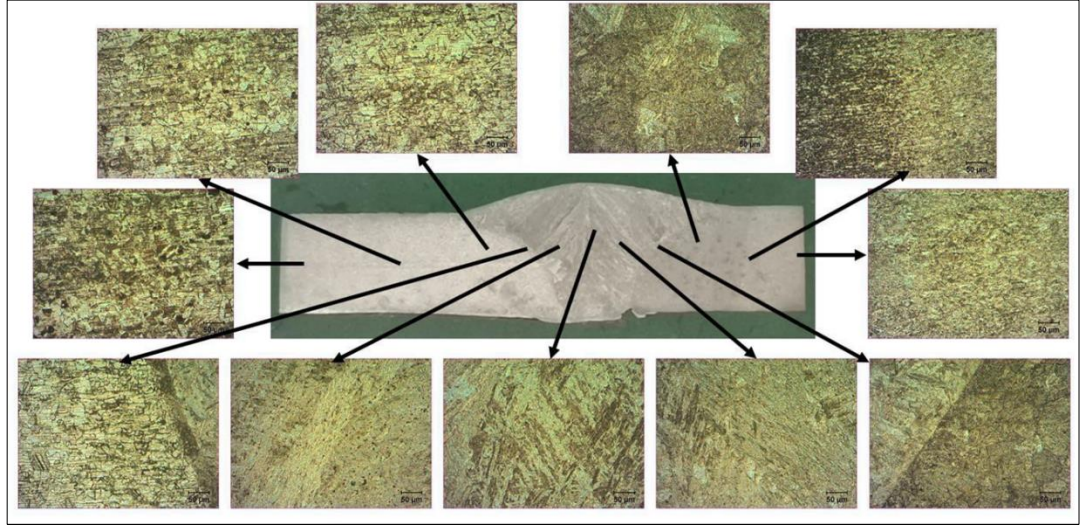


Şekil 6.3. Hardox-Paslanmaz sertlik sonuçları.

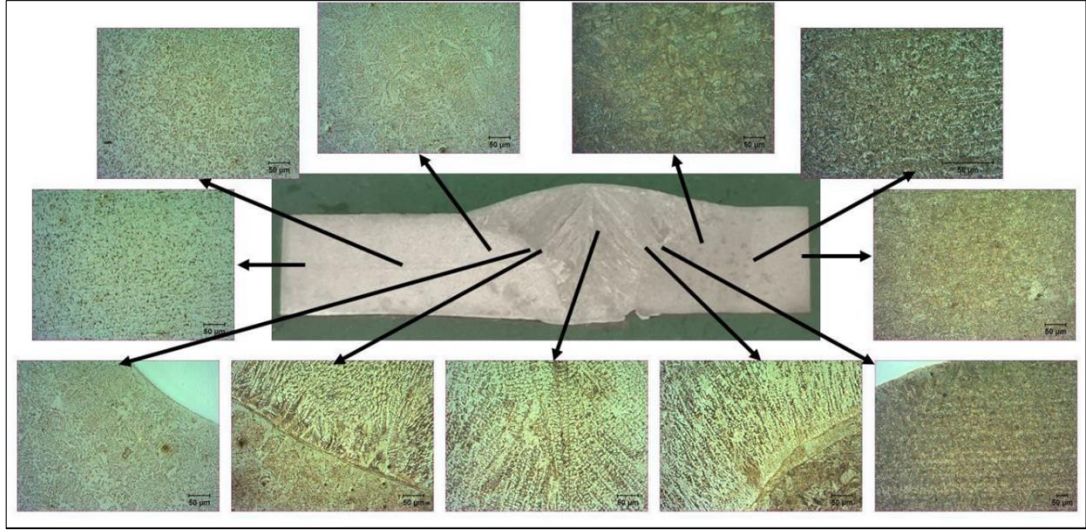
En yüksek sertlik değeri kaynak metali ile ana metal arasında meydana gelmiştir. Bu bölgede ölçülen sertlik değeri ise 388 HV'dir. Paslanmaz çelik metalinden ise ortalama 200 HV sertlik ile en düşük sertlik değeri elde edilmiştir. ITAB sınırlarından ise ortalama sırasıyla 180 HV ve 250 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak bölgesinde ise sertlik değeri ortalama 330 HV olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.4. Hardox-Hardox kaynağı mikroyapısı.



Şekil 6.5. Hardox-AISI 304L Paslanmaz kaynaklı bağlantı mikroyapısı.



Şekil 6.6. Hardox-St52 kaynaklı bağlantı mikroyapısı.

Yapılan incelemeler sonucunda Şekil 6.4’de görüldüğü gibi Hardox-Hardox kaynaklı yapısında ITAB’daki maksimum sertlik değerleri 350 HV’den düşük olduğundan kaynaklı bağlantıda martensit mikroyapısının varlığı beklenmemeli ve bu nedenle soğuk çatlakların oluşması için herhangi bir koşul yoktur. Öte yandan kaynaklı birleştirmede olumsuz martenzit yapı oluşmamasına rağmen ITAB ve WM’de istenmeyen sertlik ve mukavemet düşüşleri meydana geldi. Sertlik ve mukavemet düşüşü, çelik üretiminin birincil prosedüründen önemli ölçüde farklı olan, tek tek kaynaklı bağlantı bölgelerinin eşit olmayan ısıtma işlemi ve soğutulması ile açıklanabilir. Kaynaklı eklem bölgelerinin mekanik özelliklerinin eşitsizliği, homojen olmayan sıcaklık alanının ve elverişsiz termal döngünün varlığının bir sonucudur. Girilen ısının miktarına bağlı olarak, termo-mekanik işlemede geri dönüşü olmayan bozulmalar, ayrıca tokluğun azalması ve düzensiz sıcaklık döngüsü nedeniyle yumuşama meydana gelir. ITAB’daki daha düşük sertlik alanı, stres konsantrasyonu nedeniyle olası yorulma kırılması için özellikle tehlikeli görünen olası kırılma açısından kritik olabilir.

Şekil 6.5’de görüldüğü gibi Hardox-Paslanmaz çelik kaynağı sırasında oluşan mikroyapılar incelendiğinde mikroyapıda boşluk, çatlak ve yetersiz erime yoktur. Daha yüksek ısı girdisi, ferritte daha fazla doyma bölgesine karşılık gelen fazla karbon çözünmesi üretti ve ardından çöktü. Soğutma sırasında karbonun çözünürlüğü önemli ölçüde azaldığı için, soğutma sırasında taneler arası ve taneler arası çökeltiler

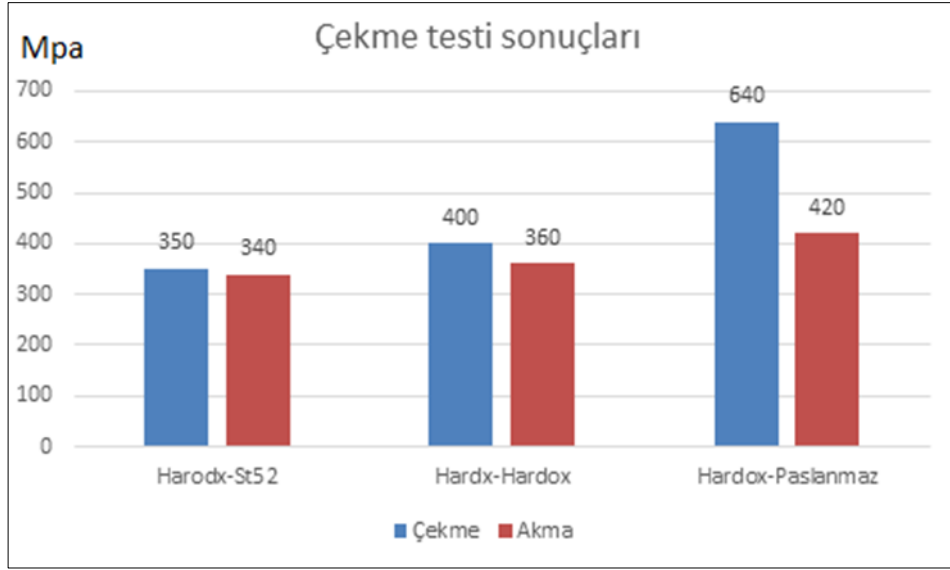
gözlemlenebilir. Martenzit tanelerin içinde ve arasında meydana gelebilir. Martenzit sınırlar içinde kalırken, sıcaklığın azalması ve difüzyon eksikliği nedeniyle tane içi çökelti görülmeyebilir. Daha geniş ITAB meydana gelebilir. Soğutma hızına ve karbon miktarına bağlı olarak latta tipi martensit, iğnemsiz ferrit ve widmanstätten ferrit oluşmaktadır.

Şekil 6.6’da görüldüğü gibi Hardox-St52 kaynağı birleştirilmesinin mikroyapısı incelendiğinde, sıcaklık düştükçe kırılma mekanizmasının düzgün tane içi kırılma şeklinde gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. homojen bir içyapının oluştuğu görülmektedir. 2 farklı fazın oluşumu, kaynak bölgesine enerji girişi yetersizliği

nedeniyle oluşan dengesiz ısı dağılımı ile açıklanabilir. ITAB’da homojen ve kusursuz bir içyapının oluştuğu gözlenmiştir.

6.3. ÇEKME SONUÇLARI

Standartlara göre hazırlanan çekme testi numuneleri Karabük MARGEM’deki çekme testi cihazında işleme tabi tutuldu. İşlem sırasında Hardox-Hardox, Hardox-St52 ve Hardox – AISI3041 paslanmaz çelik numuneleri çekildi. Yapılan testler sonucunda en yüksek dayanım değerine Hardox-Paslanmaz Çelik birleşiminde elde edilirken. En düşüğüne Hardox-St52 de ulaşıldı. Hardox-St47 birleştirilmesinde kopma işlemi St52 çeliği tarafında ITAB bölgesinde gerçekleşmiştir. Elde edilen ortalama değer yaklaşık 350 MPa olmuştur. Hardox-Hardox kaynağı yaklaşık 400 Mpa elde edilmiştir. En iyi dayanımı ise Hardox-Paslanmaz çelik kaynağı ise en dayanıklı kaynaklı bağlantı olmuştur ve yaklaşık 640 Mpa değer elde edilmiştir.



Şekil 6.7. Çekme testi sonuçları.

6.4. ÇENTİK DARBE TESTİ

Literatürde yapılan çalışmalar sonucunda da en iyi değerlerin Hardox ve paslanmaz çelik birleşiminden elde edildiği görülmüştür. Yapılan deneylerde de literatürler benzer verilen elde edilmiştir. Bilen'im yüksek lisans tez çalışmasında yapmış olduğu farklı bir paslanmaz çelik türü olan AISI 430 ile Hardox 450 yi birleştirmiş ve yaklaşık olarak 70 J bandında enerji sönümlemesi yaptığı saptanmıştır [3]. Bu çalışmada ise en yüksek darbe dayanımı yine paslanmaz çelikli birleştirmede elde edilmiştir. Yapılan testler sonucu yaklaşık olarak 68 J enerji sönümlenmiştir. Hardox-Hardox paslanmasında ise yaklaşık olarak 44 J ve Hardox –St52 de ise yaklaşık olarak 38 J ölçülmüştür.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada MIG kaynak yöntemi kullanılarak Hardox 400, AISI 304L tipi paslanmaz çelik ve St52 tipi çelik kullanılmıştır. Sertifikalı kaynakçılar ile Hardox çeliği ile Hardox çeliği kaynak edilmiştir. Kaynak işlemi sırasındaki parametreler ise 7.49m/dk tel hızı 20.8 V ve 165 A ile işlem yapılmıştır. Koruyucu gaz olarak ArCO₂ gazı kullanılmıştır. Kaynak sırasında kullanılan kaynak teli ise paslanmaz Si307 tipi teldir. Bu çalışmada 4 mm kalınlığında Hardox çelikleri ile paslanmaz çelikleri kaynak edilmiştir. Kaynak parametreleri sabit tutularak çeliklerin davranışları ve dayanımlarına bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar da ise,

Yapılan sertlik deneyleri sonucunda Hardox-Hardox birleştirmesinde en büyük sertlik değerini ortalama 403 HV ile ana metalde, sonrasında ITAB'da 365 HV ve ITAB sınırda 330 HV olarak saptanmıştır. Hardox-Paslanmaz çelik birleştirmesinde ise yine ana metalde 388 HV olarak ölçülmüştür. Paslanmaz çelikte 200 HV ve ITAB'da ortalama 230 HV olarak ölçülmüştür. Hardox-ST çeliğinde ise ana metalde 368 HV, ITAB ortalama 270, ITAB sınırları sırasıyla 190 HV ve 310 HV, kaynak metalinde ise 200 HV olarak ölçülmüştür.

Çekme testi sonuçlarına göre en dayanıklı bağlantı 640 Mpa ile Hardox-Paslanmaz çelik bağlantısı, Hardox- Hardox 400 Mpa ve Hardox- St yaklaşık olarak 350 Mpa olarak ölçülmüştür.

Darbe tokluk testinde ise en iyi sonuç Paslanmaz metali ile yapılan kaynakta elde edilmiş olup değeri 68 J iken sonrasında Hardox metali ile yapılan numunede 44 J, St çeliği yapılan numunede 38 J olarak ölçülmüştür.

7.2. ÖNERİLER

Sonraki çalışmalarda kaynak parametreleri, kaynak teli ve koruyucu gaz değiştirilerek bunların kaynak ve malzeme mekanik özelliklerine etkisi incelenebilir.

Yapılan testlere ilave olarak yorulma, eğilme, burkulma gibi testler uygulayarak sonuçları incelenebilir.

Deneyde kullanılan malzemeler ve kombinasyonları değiştirilerek malzeme mikroyapı ve mekanik özellikler incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Grupta, V., Sharma, V., Kumar, P. and Thakur, A., “Investigating the effect of ferritic filler materials on the mechanical and metallurgical properties of Hardox 400 steel welded joints”, *Mater. Today Proc.*, 39: 1640-1646 (2020).
2. Kaçar, R., Emre, H. E., İşineri, A. Ü., and Najafigharehtapeh, A., “Effects of welding methods on the mechanical properties of joining dissimilar steel couple”, *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, 33 (1):255-264 (2018).
3. Bilen, F. A., “Hardox 400-AISI 304 çelik çiftlerinin plazma transferli ark kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2006).
4. Adar, M., “Hardox-500 İle St-52 çeliğinin kaynak edilebilirliğinin mekanik testler ve istatistiksel yöntemlerle araştırılması”, *J. Chem. Inf. Model*, 53 (9): 1689-1699 (2019).
5. Uluocak, M. E., “Hardox 450 çeliklerinin mag kaynak bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2008).
6. Okay, T., Najafigharehtapeh, A., Emre Ertek, H. and Kaçar, R., “Investigation of the weldability of S235Jr - Hardox400 Steel”, *2nd Int. Iron Steel Symp.* (2005).
7. Kahraman, N., Gülenç, B. ve 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).
8. Yılmaz, R., “Östenitik paslanmaz çeliklerin lazer kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özellikleri”, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Derg.*, 4(3):598-605 (2017).
9. Gözütok, E., “Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında argon-hidrojen gaz karışımının kaynaklı birleştirmenin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2009).
10. Zheng, B., Wang, J., Gu, Y., Shu, G., Xie, J. and Jiang, Q., “Experimental study on stainless steel high-strength bolted slip-resistant connections”, *Eng. Struct.*, 231: 111778 (2021).

11. Aran, A. ve Temel, M. A., “Paslanmaz Çelik”, *Acar Matbaacılık*, İstanbul (2004).
12. Osmanoğlu, T., “AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin mikroyapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına soğuk deformasyonun etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2012).
13. Odabaş, C., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, *ASKAYNAK*, İstanbul (2007).
14. Özbey, S., “AISI 304L paslanmaz çeliğinin gliserin ve etanolamine çözeltileri içerisinde elektrolitik plazma yöntemiyle yüzeyinin sertleştirilmesi”, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2010).
15. Ulewicz, R. and Novy, F., “Fatigue resistance and influence of cutting technology on the mechanical properties of modern steels used in the automotive industry”, *Procedia Eng.*, 192: 899-904 (2017).
16. Tabur, M., “Bor karbür kaplanmış AISI 8620 ve Hardox 400 çeliklerinin abrasive aşınma davranışlarının incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-26 (2008).
17. Mazur, M. and Mikova, K., “Impact resistance of high strength steels”, *Mater. Today Proc.*, 3(4):1060-1063 (2016).
18. Ulewicz, R., Sztaniak, P., Novy, F., Trsko, L. and Bokuvka, O., “Fatigue characteristics of structural steels in the gigacycle region of loading”, *Mater. Today Proc.*, 4(5):5979-5984 (2007).
19. Özen, M., Ertek Emre, H., Najafigharehtapeh, A. and Kaçar, R., “Electric arc weldability of Hardox 400 steel”, *2. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu* (2016).
20. Erol, R., “Gaz altı ark kaynağı yönteminde proses parametrelerinin yapıdaki çarpılmaya etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik (2017).
21. Hatch, W. and Yamamura, K., “Holding technology”, *Asia in Japan's Embrace*, 97-112 (2012).
22. Buzluk, M., “Elektrik ve gazaltı ark kaynağında kalıntı gerilmelerin ölçülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).
23. Eryürek, İ. B., “Gazaltı Ark Kaynağı”, *ASKAYNAK*, İstanbul (2007).
24. Tülbentçi, K., “MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı”, *Gedik Eğitim Vakfı*, İstanbul (1990).

ÖZGEÇMİŞ

Arif SAVAŞ, ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Lise eğitimini Sivas Atatürk Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nde tamamladı. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği alanında eğitime başladı. 2017 yılında ÇAP programı kapsamında Makine Mühendisliği eğitimine başladı. 2019 yılında iki bölümden de mezun oldu. Şuan Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD tezli yüksek lisansını eğitime devam etmektedir. 2021 yılından beri Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi'nde çalışmaktadır.