

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DÜŞÜK ALAŞIMLI YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER İÇİN
KULLANILAN KAYNAK SARF MALZEMELERİNDE EKŞİ
SICAKLIKLARDA ÇENTİK DARBE DAYANIMININ ARTTIRILMASI VE
CTOD DEĞERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Abdullah Koray PEHLİVAN**

**Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalı
Savunma Teknolojileri Yüksek Lisans Programı**

OCAK 2020

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**DÜŞÜK ALAŞIMLI YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER İÇİN
KULLANILAN KAYNAK SARF MALZEMELERİNDE EKŞİ
SICAKLIKLARDA ÇENTİK DARBE DAYANIMININ ARTTIRILMASI VE
CTOD DEĞERİNE ETKİSİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdullah Koray PEHLİVAN
(171202005)**

**Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalı
Savunma Teknolojileri Yüksek Lisans Programı**

Tez Danışmanı: Dr.Öğr. Üyesi Zeynep TAŞLIÇUKUR ÖZTÜRK

OCAK 2020



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz Savunma Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı 171202005 numaralı öğrencisi Abdullah Koray PEHLİVAN'ın "Düşük Alaşımli Yüksek Mukavemetli Çelikler İçin Kullanılan Kaynak Sarf Malzemelerinde Eksi Sıcaklıklarda Çentik Darbe Dayanımının Arttırılması Ve Ctod Değerine Etkisi" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 24.01.2020 tarih ve 2020/01 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oybirliği ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak Kabul edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 04.02.2020

1)Tez Danışmanı: Dr. Öğr Üyesi Zeynep T. ÖZTÜRK

2) Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sunullah ÖZBEK

3) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Tuba KARAHAN

[Signature]
[Signature]
[Signature]

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “DÜŞÜK ALAŞIMLI YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER İÇİN KULLANILAN KAYNAK SARF MALZEMELERİNDE EKSİ SICAKLIKLARDA ÇENTİK DARBE DAYANIMININ ARTTIRILMASI VE CTOD DEĞERİNE ETKİSİ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya 'da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

(10/01/2020)

Abdullah Koray PEHLİVAN

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım sırasında her türlü bilgi birikimini, maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Sayın Zeynep TAŞLIÇUKUR ÖZTÜRK'e Yüksek lisans çalışmalarım sırasında çalışmakta bulunduğum fabrikada ki gerek çalışma alanları gerekse deneysel işlemler sırasında yardımları dokunan başta Gedik Holding Ar-Ge Müdürü, Ali Selçuk KESKİNKILIÇ'a Gedik Holding Ar-Ge Müdür Yardımcısı, Hakan BAYKAL'a Gedik Holding Arge Şefi, Filiz KUMDALI ACAR'a, Gedik Holding Ar-Ge baş kaynakçısı Haydar ADAY'a, ve tüm desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Ocak / 2020

Abdullah Koray PEHLİVAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 GİRİŞ.....	1
2 DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLER VE KAYNAK YÖNTEMİ.....	5
2.1 Düşük Alaşımli Çelikler.....	5
2.2 Kaynak Yöntemi.....	6
2.2.1 Kaynak işlem cinsine göre.....	7
2.2.2 Üretim cinsine göre.....	7
2.2.3 Kaynağın amacına göre.....	8
2.3 Kaynak Türleri.....	8
2.3.1 Elektrik ark kaynağı.....	8
2.3.2 Gaz altı ark kaynağı.....	10
2.3.3 Örtülü elektrot ark kaynağı.....	13
2.3.4 Toz altı elektrik ark kaynağı.....	14
2.3.5 Özlü tel ile ark kaynağı.....	15
2.4 Kaynak Elektrotları.....	16
2.4.1 Örtülü elektrotlar.....	16
2.4.2 Elektrot Üretimi.....	19
2.4.3 Kaynak Elektrotlarına Uygulanan Testler.....	21
2.5 Kaynak elektrotlarına uygulanan mekanik testler.....	21
2.5.1 Çekme testi.....	21
2.5.2 Çentik darbe deneyi.....	25
2.5.2 CTOD (Crack Tip Opening Displacement) testi.....	30
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	34
3.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	34
3.2 Kullanılan Alet ve Cihazlar.....	35
3.3 Deneyin Yapılışı.....	39
3.4 Karakterizasyon Çalışmaları.....	44
4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	46
5 KAYNAKÇA.....	55

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Benardos kaynak yöntemi	1
Şekil 1.2: Zerener kaynak yöntemi	2
Şekil 1.3: Slavianoff kaynak yöntemi	2
Şekil 2.1: Düşük alaşımlı levha çelikleri	6
Şekil 2.2: Ergitme ve Basınç kaynağının gösterimi.....	7
Şekil 2.3: MIG/MAG kaynağının gösterimi.....	11
Şekil 2.4: Plazma Ark Kaynağı	12
Şekil 2.5: Basit olarak TIG kaynağının gösterimi.....	13
Şekil 2.6: Örtülü Elektrik Ark Kaynağı.....	13
Şekil 2.7: Toz Altı Ark Kaynağı	15
Şekil 2.8: Özlü tel elektrod kaynağı yapılan parçanın ark bölgesi.....	16
Şekil 2.9: Kaynak Elektrotunda Çekirdek Tel Üretim Şeması	20
Şekil 2.10: Kaynak Elektrotu Üretim Süreci Akış Şeması.....	20
Şekil 2.11 Lama tipi dikdörtgen şeklindeki çekme deney numunesinin ASTM E8 standardında tanımlanmış şekli	22
Şekil 2.12: Çekme Testinin okunması	24
Şekil 2.13: Tokluk Alanı.....	25
Şekil 2.14: Çentik darbe deneyinin şematik olarak gösterimi.....	26
Şekil 2.15: ASTM E23 standardına göre hazırlanmış darbe deneyi numuneleri.....	27
Şekil 2.16: Tavlanmış düşük karbonlu çelik için tipik sünek kırılma geçiş eğrisi....	27
Şekil 2.17: Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi	28
Şekil 2.18: Charpy darbe metodunun gösterimi.....	29
Şekil 2.19: İzod Darbe Metodunun gösterimi	29
Şekil 2.20: a) Charpy ve b) İzod darbe deneyinde numunenin cihaza yerleştirilmesi	30
Şekil 2.21: Charpy ve izod darbe deneyinin şematik görünümü	30
Şekil 2.22: Üç tip kırık davranışı gösteren yüke karşı çatlak açıklığı yer değiştirme eğrileri	32
Şekil 2.23: CTOD Testinin tipik test düzeni	32
Şekil 3.1: GeKa Tempo B65 Bazik Elektrotu	34
Şekil 3.2: Gedik Kaynak Makinesi	35
Şekil 3.3: Kronometre.....	36
Şekil 3.4: Çekme Test Cihazı	36
Şekil 3.5: Çentik Darbe Test Cihazı	37
Şekil 3.6: CTOD Test Cihazı	37
Şekil 3.7: Termometre	38
Şekil 3.8: CO ₂ Tüpü	38

Şekil 3.9: Isı Ölçer	39
Şekil 3.10: GeKa Tempo B65 bazik elektrotu ile yapılan deney çalışması	42
Şekil 3.11: Çekme testine sokulan deney numunesi	44
Şekil 3.12: CTOD Testine sokulmuş deney numunesi	45
Şekil 4.1: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin çekme ve akma dayanımlarının grafik olarak gösterimi	47
Şekil 4.2: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerinin darbe enerjilerinin grafik olarak gösterimi	48
Şekil 4.3: Çentik darbe deneyi sonrası numunelerin kırılma yüzeyleri (a) 6356, (b) 6357, (c) 6360.....	48
Şekil 4.4: CTOD testi öncesi makro fotoğrafları a) 6356 b) 6357 c) 6360	50
Şekil 4.5: Üç elektrotun CTOD testindeki kırılma değerleri	52



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 ASTM E8 standardında lama tipi deney numunesi için tanımlanmış boyut değerleri.....	23
Çizelge 3.1: S355JR çeliğinin % kimyasal bileşimi	34
Çizelge 3.2: Kaynak metalinin (S355JR) % bileşimi	35
Çizelge 3.3: Kaynak metalinin (S355JR) mekanik değerleri	35
Çizelge 3.4: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynağı yapılan tipik kaynak dikişinin % bileşimi.....	40
Çizelge 3.5: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynağı yapılan tipik kaynak dikişinin mekanik özellikleri	40
Çizelge 3.6: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin % kimyasal bileşimi.....	40
Çizelge 4.1: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin mekanik özellikleri	46
Çizelge 4.2: CTOD Test Değerleri	49
Çizelge 4.3: Numune Bilgileri	49
Çizelge 4.4: CTOD testi sonuçları ve çatlak boyu ölçümleri	51

KISALTMALAR

CTOD : Crack Tip Opening Displacement

J : Joule

MPa : Megapascal

°C : Celcius

A : Amper

V : Voltaj

ITAB : Isı Tesiri Altındaki Bölge

kN : Kilonewton

mm : Milimetre

ÖZET

DÜŞÜK ALAŞIMLI YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER İÇİN KULLANILAN KAYNAK SARF MALZEMELERİNDE EKŞİ SICAKLIKLARDA ÇENTİK DARBE DAYANIMININ ARTTIRILMASI VE CTOD DEĞERİNE ETKİSİ

Bu çalışmada asıl amaç, düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılan bazik elektrotların, eksi sıcaklıklardaki darbe direncini arttırmak ve CTOD testi ile incelenmesidir.

Bilindiği üzere elektrik ark kaynağı en universal kaynak yöntemidir. Bu çalışmamızda kaynak yöntemi olarak örtülü elektrik ark kaynağı kullanılmıştır. Kaynak için doğru akım seçilmiştir. Örtülü elektrotların kaynak bölgesine oldukça fazla yararı bulunur. Kaynak arkını ve malzemeyi diğer gazlardan korur. Çalışmada bazik elektrot kullanılmasının sebebi; bazik elektrotlar düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında ve eksi sıcaklıkta kullanılan donanım yapılarının kaynağında da kullanılmasıdır. Her iki şartı da iyi şekilde sağlar ve güzel kaynak dikişleri verir.

S355 JR çeliğinin GeKa Tempo B 65 bazik elektrotu ile kaynak yapılmasıyla oluşan kaynak dikişinin mekanik özelliklerini ve darbe direncini incelemek amacıyla çekme, çentik darbe ve CTOD testleri yapılmıştır. Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrot, üç numuneye de uygulanan yükler arasında en yüksek yüke dayandığı gözlemlenmiştir. Bu direnç karşısında diğer elektrotlara göre çatlağın büyümesine daha az izin vermiştir. CTOD test sonucunun, çentik darbe deney sonucu ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. En iyi çentik darbe direncine sahip olan Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrot, CTOD testinde de en iyi CTOD değerine sahip olmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Kaynaklı birleştirme, düşük alaşımlı çelik, eksi sıcaklık, bazik elektrot, darbe direnci*

ABSTRACT

INCREASING NOTCH IMPACT RESISTANCE MINUS TEMPERATURES IN WELD CONSUMABLES USED FOR LOW ALLOY HIGH STRENGTH STEELS AND ITS EFFECT ON CTOD VALUE

The main purpose of this study is to investigate the basic electrodes used in the welding of low alloyed high strength steels in order to increase the impact resistance at minus temperatures and CTOD test.

As it is known, electric arc welding is the most universal welding method. In this study, covered electric arc welding was used as the welding method. Direct current is selected for welding. The covered electrodes have a considerable benefit to the welding zone. Protects welding arc and material from other gases. The reason for the use of basic electrode; basic electrodes are used in the welding of low alloyed high strength steels and in the welding of hardware structures used at minus temperature. It meets both requirements well and gives beautiful weld seams.

Tensile, notch impact and CTOD tests were carried out to examine the mechanical properties and impact resistance of the weld seam formed by welding with S355 JR steel's GeKa Tempo B 65 basic electrode. It has been observed that the electrode with code 6357, the Si amount of which has been reduced, is based on the highest load among the loads applied to all three samples. In the face of this resistance, it allowed the crack to grow less than other electrodes. The CTOD test result was observed to be in line with the notch impact test result. Having the best notch impact resistance, the Si amount of 6357 coded electrode has been reduced, and also the best CTOD value in CTOD test.

Key Words: *Welded joint, low alloy steel, minus temperature, basic electrode, impact resistance*

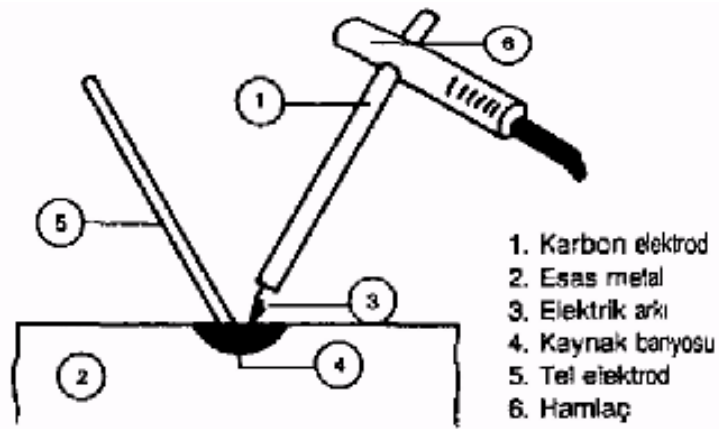
1 GİRİŞ

Kaynağın geçmişi oldukça eskiye dayanır. MÖ 1400 yıllarında demirci kaynağının kullanıldığı yapılan araştırmalar sonucu gün yüzüne çıkmıştır. Hatta küçük altın yuvarlak kutular, basınçlı kaynak kucak ek yerleri ile birlikte yapılmıştır. Demir Çağı'nda, Mısırlılar demir parçalarını birbirine kaynakladılar. O zamana bakıldığında, o zamanda yapılan eski el yapımı araçlara ve eski Ahid'de de metal işlerine oldukça fazla rastlanılmaktadır. Bu zamanlara denk olarak yapılan eski eserleri dünyadaki birçok müzede görmek mümkündür [1].

Kaynak yönteminin endüstriyel uygulamaları ise, 19. yüzyılın ikinci yarısında başlamıştır. 1801 yılında Sir Humphrey Davy adlı bilim insanı yüksek voltaj geçen bir devrenin uçlarını birleştirerek arkı bulmuş ve bu alanda ilk çalışmaları başlatmıştır [2].

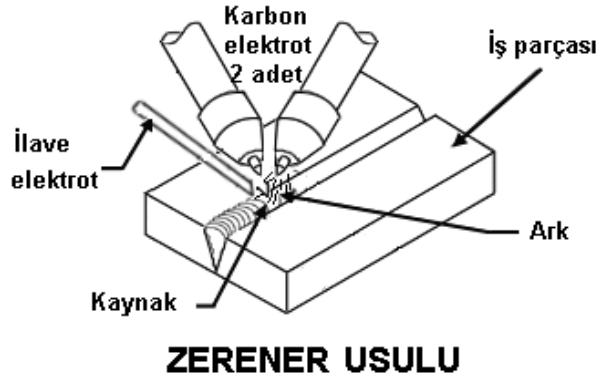
1865 yılında Wilde, ilk kez iki metali elektrik ark kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Metal kaynağında ilk elektrot kullanımı 1881 yılında De Meritens, tarafından pil depolama kaplarının birleştirilmesinde kullanmıştır [2].

1885 yılında Benardos kaynak yöntemi keşfedilmiştir. Benardos karbon bir elektrot ile iş parçası arasında ark oluşturmuş ve bir tel elektrot kullanarak kaynak yapmıştır. Şekil 1.1'de Benardos kaynak yöntemi gösterilmiştir.



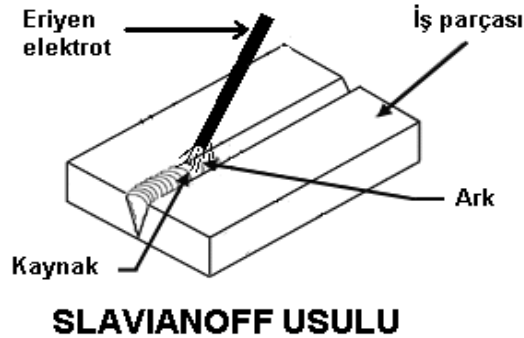
Şekil 1.1: Benardos kaynak yöntemi [3]

1889 yılında Zerener arkı güçlendirmek amacıyla ilk kez çift karbon elektrot kullanmıştır. Şekil 1.2’de Zerener kaynak yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Zerener kaynak yöntemi [3]

1890 yılında Slavianoff tarafından ilk defa metal çubuk elektrotu keşfedilmiştir. Bu yöntem gelecek yıllarda örtülü elektrot adıyla geliştirilmiştir. Şekil 1.3’te Slavianoff kaynak yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 1.3: Slavianoff kaynak yöntemi [3]

Bu tür kaynak yöntemlerinin kaynak dikişleri aslında o kadar da sağlam olmamıştır. Ortamdaki azot ve oksijen kaynak dikişlerine zarar verdiği için, kaynak dikişleri istenilen mekanik özelliklere sahip olamamıştır. Bu yöntemler ile elde edilen kaynak dikişleri, havadaki oksijen ve azotun olumsuz etkilerinden korunmadığı için, düşük mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Kaynak banyosunu havanın zararlı etkilerinden korumak amacıyla; 1904 yılında İsveçli bilim adamı Oscar Kjelberg tarafından ilk örtülü elektrot geliştirilmiştir [4].

Kaynak yöntemlerinin asıl gelişimi 1.ve 2. Dünya savaşlarında olmuştur. Savaş malzemelerinin geliştirilmesine devletler oldukça fazla destek vermiştir. Almanya,

ABD ve İngiltere bu devletlerin başını çekmektedirler. Tabii bu gelişimi kolaylaştıran en önemli unsur, endüstriyel gelişmelerin oldukça hızlı ilerlemesidir.

1. Dünya savaşında kaynak oldukça fazla kullanılmaya başlanılmıştır. Çünkü kaynak oldukça ucuz bir yöntem olarak ortaya çıktı, birçok gemi ve ekipman, perçin ve cıvata ile birleştirildi. O zamanlarda kaynak ile ilgili en büyük askeri gelişme 1920 yılında İngiltere tarafından ilk kaynaklı birleştirme gemisi “Fulgar” üretilerek sağlanmıştır [1].

1920 ile 1940 yılları arasında örtülü elektrotlar ve alternatif akım çalışmaları oldukça hızlanmış ve artmıştır. Bu dönemde elektrik ark kaynağı en çok kullanılan kaynak yöntemi olmuştur.

1930 yılında New York Donanması tarafından saplama kaynağı geliştirildi. Saplama kaynağı inşaat endüstrisi ve ayrıca gemi inşaatı için giderek daha fazla kullanılıyordu. Bu süre zarfında, Amerikan Ulusal Boru Şirketi boğulmuş ark kaynağı adı verilen bir kaynak işlemi geliştirdi. Bu yöntem, gemi yapımı sektöründe, daha gelişmiş toz altı ark kaynağı ile saplama kaynak işleminin yerini almıştır [2]. Savunma inşaatı sırasında 1938’de tersanelerde ve mühimmat fabrikalarında toz altı ark kaynağı kullanılmıştır.

Zaman ilerledikçe ve dünya silahlanmaya ve savunmaya aynı zamanda daha dayanıklı yapılar yapmak adına kaynağa duyulan ilgi artmıştır. İkinci Dünya Savaşında oluşan ihtiyaçlardan dolayı magnezyumdan imal edilen uçakların kaynağı için geliştirilen TIG/WIG kaynak yöntemi, sanayide neredeyse tüm yarı otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılmaya başlandı. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte yarı otomatik sistemler yerini, tam otomatik sistemlere bırakmıştır [1].

1960’lı yılların başında elektrocüruf kaynağı, ağır parçaların düşey pozisyondaki kaynaklarında ilk olarak tercih edilen kaynak yöntemi idi. Elektrocüruf kaynağı ile birlikte, düşey pozisyonda kaynağı yapılan ince saclar için, yeni bir kaynak yöntemi arayışlarına girilmiştir. Yeni araştırmalar ile birlikte elektrocüruf kaynak makinasının adaptasyonu ile koruyucu gaz altında özlü elektrotların kullanılmasını esas alan yeni metod geliştirildi. Aynı zamanda MIG VE MAG kaynak yöntemleri araştırmalar sonucu bulunan düşey pozisyonda yapılan kaynak yöntemlerindedir [4].

Bu dönemde artık kaynak uzay alanında kullanılmaya başlandı. Hem Amerika hem de Rusya kendi uzay araştırmalarında, uzay mekiilerinde ve geliştirilmesinde metal kaynaklarını oldukça sık kullanmıştır.



2 DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLER VE KAYNAK YÖNTEMİ

2.1 Düşük Alaşimli Çelikler

Çelikler, içerisindeki alaşım elementlerinin miktarına göre çelikler yüksek veya düşük alaşimli çelikler olarak ayrılırlar. İçerisindeki alaşım elementlerinin miktarı %5'ten düşük ise düşük alaşimli çelikler. İçerisindeki alaşım elementlerinin miktarı %5'ten fazla ise yüksek alaşimli çelikler olarak adlandırılırlar. Çelikler içerisindeki karbon miktarına göre düşük karbonlu, orta karbonlu ve yüksek karbonlu olmak üzere üçe ayrılırlar [5].

Karbon çeliklerine birçok alaşım elementi eklenir her elementin farklı etkisi bulunur. İstenilen mekanik, manyetik, elektriksel özelliğe göre farklı alaşımlar eklenir. Düşük alaşimli çeliklerin hepsi kaynaklanabilir [6].

Düşük karbonlu çeliklerin içeriğinde %0.30'a kadar karbon bulunur. Bu çelik sınıfının çoğu, sac veya şerit gibi yassı haddelenmiş metallere oluşur ve çoğu zaman soğuk haddelenmiş ve tavllanmış halde bulunurlar. Bu çelikler çok düşük karbon içerdiklerinden kolayca şekillendirilebilirler. İçerisinde en fazla %1.5Mn bulunur [7].

Düşük alaşimli çelikler genellikle; Köprü ve bina profillerinde, gemi ve otomotiv sektöründe yapısal levha olarak, boru ve boru hatlarında, ray parçalarında, beyaz eşyalarda ve döner şaft-mil parçalarında kullanılırlar [5]. Şekil 2.1'de düşük alaşimli levha çelikleri verilmiştir.



Şekil 2.1: Düşük alaşımlı levha çelikleri [5]

Düşük alaşımlı çeliklerin kaynak kabiliyeti oldukça yüksektir. Düşük alaşımlı çeliklerinin kaynak kabiliyetinin iyi olmasının bir sebebi de yüksek mangan içeriğidir. Düşük alaşımlı çeliklerin bazıları, söndürme ve temperlenmiş veya normalleştirme gibi ısı işlemden geçmiş olabilir. Bu yüzden elektrot seçimi çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır [8].

Kaynak işlemlerinin karmaşıklığı ve ısı girişlerinin sınırlamaları ve sonuç olarak soğutma oranları nedeniyle, kaynak metalinin düşük sıcaklıktaki dayanıklılığı ana metalinkinden daha düşüktür [9].

2.2 Kaynak Yöntemi

Kaynak, iki metali veya termoplastik malzemeleri ısı ve basınç yardımıyla ve araya bir malzeme katarak veya katmayarak uygulanan bir birleştirme yöntemidir.

Bu yüzden kaynak Metal kaynağı ve Plastik kaynağı olarak ikiye ayrılır.

Metal kaynağı: Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye "metal kaynağı" adı verilir [1].

Plastik kaynağı: Termoplastik malzemelerin ısı ve basınç yardımıyla ve araya aynı cins bir malzeme katarak veya katmayarak birleştirilmesi yöntemine "plastik kaynağı" denir. Plastik kaynağı sadece termoplastik malzemelere uygulanır, termoset malzemelere uygulanmaz [1].

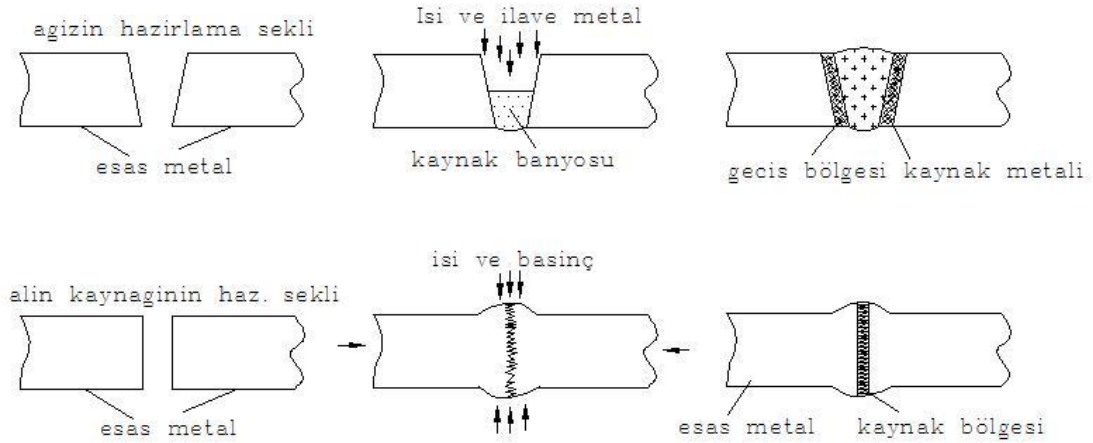
Kaynağı yapılan iki malzemenin kaynak bölgeleri sıcaklık yardımıyla sıvı hale getirilerek kaynak banyosu oluşturulur. Daha sonra kaynak banyosu soğuyarak kaynak dikişi oluşur. İki malzemenin birleşmesiyle meydana gelen kaynak dikişinin mekanik ve kimyasal özellikleri ana malzemenin özellikleriyle benzer yapıdadır. Kaynak işlemi yapılmadan önce birçok faktör gözden geçirilerek bazı önemler alınmalıdır. Bu faktörler; kaynağı yapılacak olan malzemenin özellikleri, kaynak yönteminin seçimi ve kaynakta oluşan olaylardır. Ergitme esaslı kaynak yöntemlerinde kaynak bölgesinin genellikle yardımcı malzemelerle korunması zorunludur. Seçilen ilave malzemelerin ise, olabildiğince ana malzeme ile aynı ergime aralığında olması kaynak güvenliği açısından önemlidir [10].

2.2.1 Kaynak işlem cinsine göre

Ergitme Kaynağı; Malzemeyi sadece sıcaklık ile belirli bir bölgesini eritip, ilave metal ekleyerek ya da eklemeyerek birleştirme yöntemidir.

Basınç Kaynağı; Malzemeyi genellikle ekstra bir metal ekmeden basınç altında bir bölgeyi ısıtarak birleştirme yöntemidir [3].

Şekil 2.2’de Ergitme ve Basınç kaynağının gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.2: Ergitme ve Basınç kaynağının gösterimi [3]

2.2.2 Üretim cinsine göre

El Kaynağı: El kaynağında kaynak aleti elle kumanda edilir.

Mekanik Kaynak: Kaynak aleti manuel olarak kullanılır. Ancak yardımcı aletler mekanik çalışır.

Yarı Otomatik Kaynak: Kaynak işlemini kaynakçı yapar. Kaynak otomatik olarak devam eder.

Tam Otomatik Kaynak: Kaynağı kaynakçı başlatır ve durdurulur. Ancak daha önceden belirlenmiş programa göre sürer [10].

2.2.3 Kaynağın amacına göre

Birleştirme Kaynağı: İki veya daha fazla parçayı bütün bir hale getirmek için uygulanan işleme denir.

Doldurma Kaynağı: İş parçasının eksik bir kısmını kapatmak veya genişletmek amacıyla, belirli bir bölgede malzemeyi kaynak etmektir [11].

Günümüzde çok fazla kaynak tekniği mevcuttur ve günümüzdeki sorun birleştirmenin nasıl yapılacağı değil, en doğru kaynak yönteminin seçilmesidir. Her yöntemin kendine has özellikleri bulunur ve en uygun seçim için birçok faktörün incelenmesi ve analiz edilmesi gerekir. Maliyet, korozyon dayanımı, mukavemet, ömür, üretim kolaylığı, gibi faktörler önemsenmelidir. [1]

2.3 Kaynak Türleri

MÖ 4000 yılından beri iki parçayı birleştirmek için kaynak uygulaması kullanılır. Süre gelen yıllarda farklı şekillerdeki veya farklı kimyasal yapıdaki malzemelerin birleştirilmesi gerekiyordu, bunun sonucunda kaynak teknolojisi giderek gelişmiş ve alternatif olmayan bir birleştirme yöntemi olmuştur [12].

Tez kapsamında, deneysel çalışmalarda yararlanılan Elektrik Ark Kaynağı yöntemi bahsedilecektir.

2.3.1 Elektrik ark kaynağı

Elektrik ark kaynağı metalleri birleştirmek için kullanılan en yaygın füzyon işlemidir. Yoğun ısının uygulanmasıyla, iki parça arasındaki bağlantıdaki metal eritilir ve ara erimiş bir dolgu metaliyle karışmaya neden olur. Metali eritmek için gereken sıcaklık 5000°C den fazladır. Bu sıcaklık kaynak yapılacak parça ile bağlantı boyunca hareket eden bir elektrot arasında oluşan elektrik arkı tarafından üretilir. Soğuma ve katılaşma üzerine, metalurjik bir bağ olur. Bağlantıdaki son kaynak her iki parçanın metalleriyle aynı mukavemet özelliklerini gösterir [13].

2.3.1.1 Kaynakta ark

Ark; kızgın bir katottan dağılan elektronların, yüksek bir hızla anoda doğru sıçramasıyla oluşur. Bu sıçramayla birlikte oluşan çarpma sonunda nötr moleküllerin iyonize olmasına sebep olduğundan dolayı, şiddetli bir sıcaklık yükselmesi gözlenir. Ortaya çıkan toplam enerjinin %85'i ısı ve %15'i de ışık enerjisine dönüşmektedir [4].

Güç, enerjinin bir şekilden diğerine dönüşme hızıdır. Kaynak arkında, elektrik enerjisinin neredeyse tamamı ısıya dönüştürülür. Bu ısının sadece küçük bir kısmı ark tarafından etrafa yayılan mor ötesi radyasyonu ve parlak ışığı üretmek amacıyla kullanılır. [3]. Isı girdisinin formülasyonu (2.1)'de verilmiştir.

$$Q = \frac{\eta \times I \times V \times t}{S \times 1000} \quad (2.1)$$

Q: Isı girdisi (J/mm)

D: Kaynak verimi

I: Akım (A)

V: Voltaj (V)

t: Kaynak süresi (saniye)

S: Kaynak parçasının uzunluğu (mm)

Buna göre, ark kaynağı ısı girdisini etkileyen ana faktörler ark akımı, ark gerilimi ve kaynak hızı ve kullanılan kaynak yönteminin kaynak verimidir [3].

Elektrot malzemeye temas ettiği zaman kısa devre meydana gelir. Malzemeye dokunduğu noktada, yüksek akım yoğunluğu, ile açığa çıkan ısı, metalin kaynama sıcaklığına kadar kızmasına ve katodun elektron yaymasına sebep olur. Sıcaklık artışı ve katottan anoda elektron sıçraması başlar. Bu esnada akım artar ve nötr moleküller de parçalanarak iyonize olur. Sıcaklık yaklaşık 4000°C ye kadar çıkar. (+) yüklü iyonların hızı 1m/sn iken (-) yüklü iyonların hızı 100 m/sn dir [3].

2.3.1.2 Ark kaynak işlemleri

Amerikan Kaynak Derneği şu anda ticari olarak kullanılan en az 20 farklı metal birleştirme işlemi tanımlamıştır. Bu işlemlerin çoğu elektrik ark kaynağı altında sınıflandırılır ve birlikte ele alındığında, bu ark kaynağı işlemleri ticari olarak

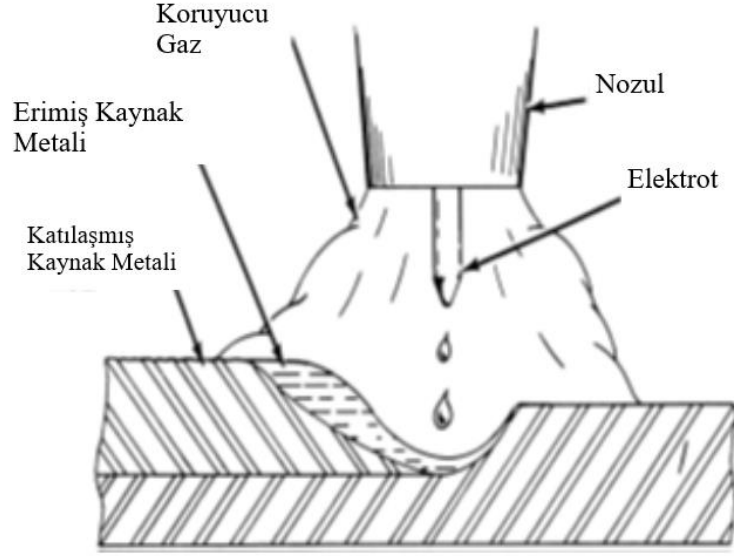
biriktirilen en büyük miktarda kaynak ve dolgu metalini oluşturur. Belirli bir ark kaynağı seçimi işlemi, kaynaklanacak ana metalin kalınlığı ve tipi, istenen kaynağın ebadı ve gücü, kaynak hızı veya hacmi, maliyeti, kaynaklanacak malzemenin konumu (örneğin dikey veya yatay) dahil olmak üzere birçok faktöre bağlıdır [13].

Elektrik ark kaynağının birçok çeşidi vardır.

2.3.2 Gaz altı ark kaynağı

2.3.2.1 MIG/MAG

MIG/MAG kaynak yöntemlerinde oluşan ark, eriyen bir elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir. Koruyucu gaz, inert bir gaz kullanıldıysa, Metal İner Gaz Ark Kaynağı (MIG), koruyucu gaz aktif bir gaz olursa, Metal Aktif Gaz Ark Kaynağı (MAG) olarak isimlendirilir. MIG/MAG kaynak yöntemlerinde, kaynak redresörleri yardımıyla doğru akım kullanılarak kaynak işlemi yapılır. Şekil 2.3'te MIG/MAG kaynağının gösterimi verilmiştir. Koruyucu gaz olarak CO₂, farklı oranlarda Karbondioksit ve argon gaz karışımları ve helyum gazı tercih edilir. Saf argon koruyucu gaz atmosferi (saf argon MIGW) altında MIG kaynağı, yüksek mukavemetli ve yüksek tokluğa sahip kaynaklı bir bağlantı elde etmek için uygundur. Bununla birlikte, saf argon MIGW'nin ark kararsızlığı ve kaynak boncuğuna sığ nüfuz etmesi nedeniyle kaynak yapısına pratik olarak uygulanması zordur [14]. Karışım gaz kullanımı aynı zamanda gözenek oluşumunu ve sıçramayı azaltır. MIG/MAG kaynak yöntemleri basit bir şekilde uygulanır ve aynı zamanda çeşitli alanlarda kullanılabilir. Bunlar arasında; Çok ince levhalar dışında, nerdeyse her kalınlıktaki çelik ve demir dışı metal alaşımlarının kaynağında kullanılabilir [12].

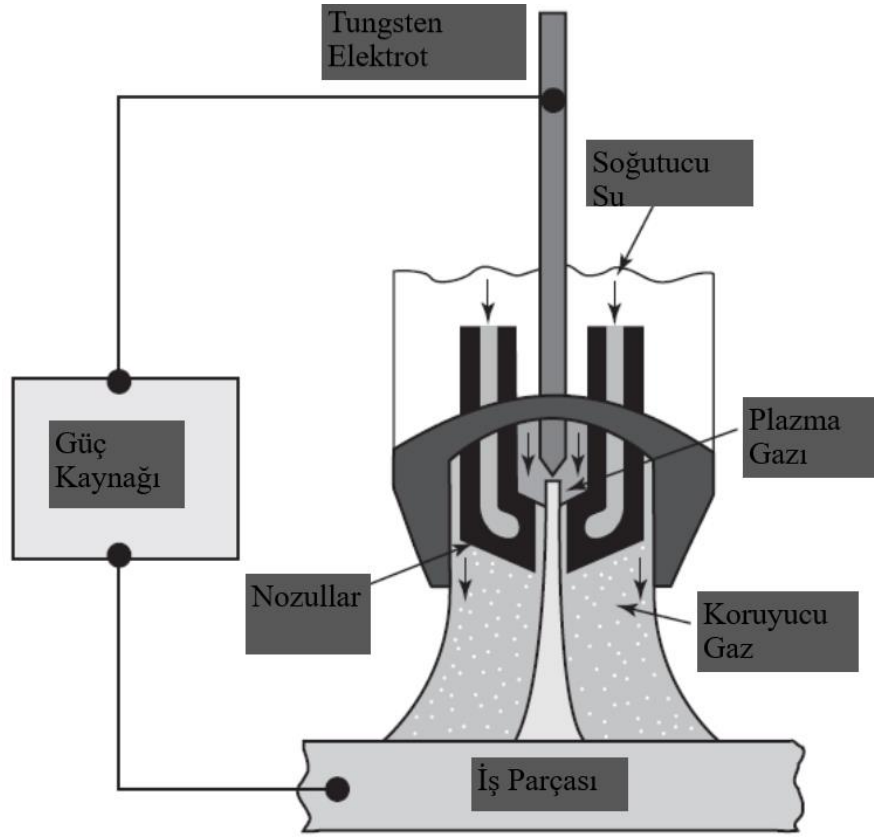


Şekil 2.3: MIG/MAG kaynağının gösterimi [13]

2.3.2.2 Plazma ark kaynağı

Plazma kaynağı TIG kaynağına benzemektedir. Plazma arkında oluşan sıcaklık yaklaşık 40000°C'dir. Geçmişten günümüze kadar ısı kaynağı olarak kullanılmış olan serbest elektrik arkı, plazma arkının gelişmesinin öncüsü olmuştur. Bir elektrik arkı büzölmüş olarak ve iki soğutulmuş bir memeden iyonize gaz ile gönderildiğinde plazma ark olarak tanımlanır [15].

TIG kaynak yöntemiyle kaynağı yapılabilen metallerin çoğu plazma ark kaynağı ile de başarılı bir şekilde kaynaklanabilir. Plazma arkı, bir plazma ark kaynağı (PAW) tabanca memesinin kullanımı gibi dış koşullar tarafından daraltılan özel bir ark şeklidir [16]. Ancak, lazer ışını kaynağı ve elektron ışını kaynağı ile karşılaştırıldığında, Plazma ark enerji yoğunluğu daha küçük olduğu için daha düşük kaynak hızında çalışır. Bu nedenle, plazma ark enerji yoğunluğunu artırmak, kaynağı iyileştirmenin bir yoludur. Elle kaynak genellikle ergitme tekniği ile yapılır ve dolayısıyla TIG kaynağına benzer [17]. Şekil 2.4'te Plazma Ark Kaynağı şematik olarak gösterilmiştir. Çok ince metal parçalarının kaynağı da TIG kaynak yöntemiyle çok daha basit ve güvenli bir şekilde yapılabilir. Plazma ark kaynağı birçok farklı uygulamalarda kullanılır ve ince metallerden yapılan karışık parçaların kaynağında iyi kaynak dikişleri verir [15].

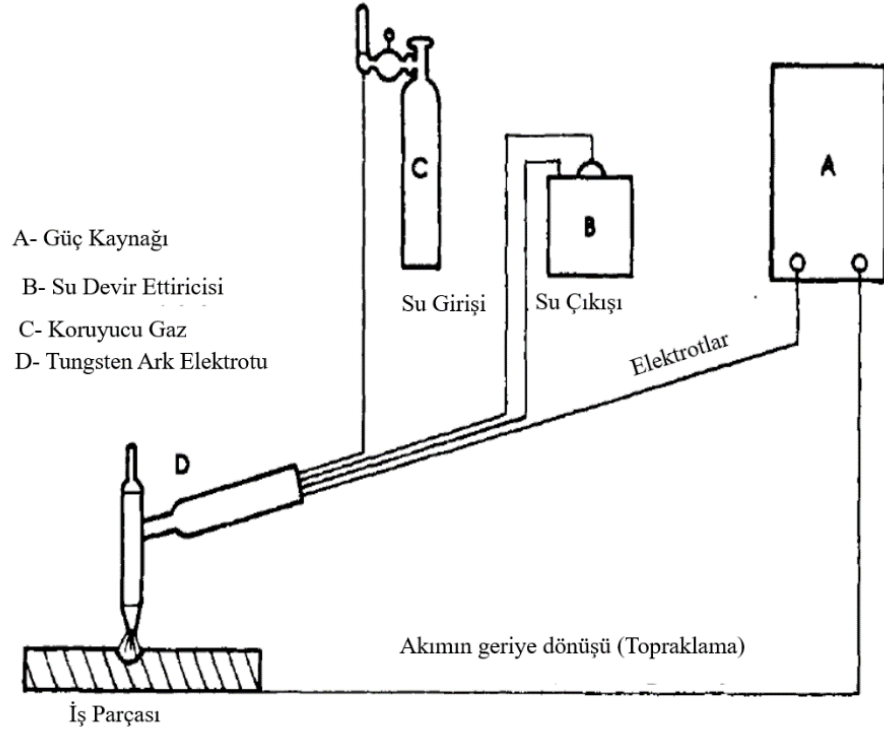


Şekil 2.4: Plazma Ark Kaynağı [16]

2.3.2.3 TIG

TIG kaynak yönteminde; metali ergiten ısıyla, tungsten elektrot ile iş parçası arasında ark oluşturulur ve kaynak bölgesi helyum veya argon gibi bir soy gazla korunur. TIG kaynağının şematik gösterimi Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Kaynak teli, kaynak bölgesine yandan veya ön taraftan sokulur [12].

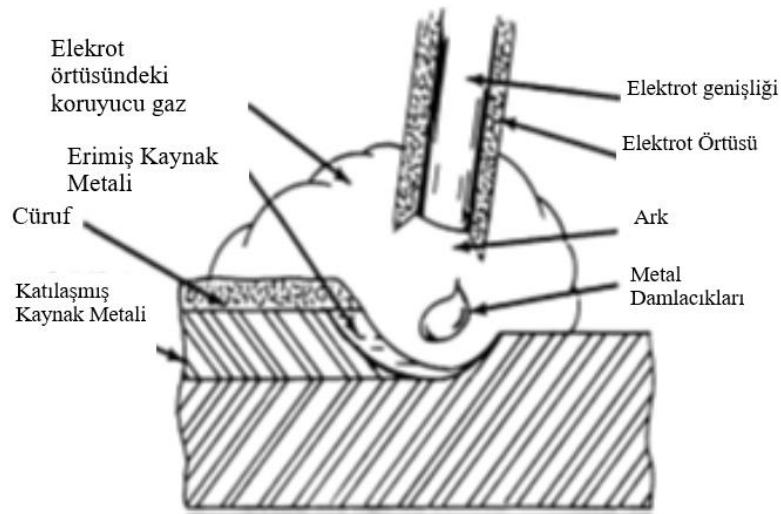
Elektroların düzgün bir şekilde muhafaza edilebilmesi amacıyla soy gazlar kullanılır. Endüstriyel açıdan TIG kaynak yönteminin tercih edilmesinin en büyük sebebi, ısı girdisi ile kaynak metali miktarının birbirine bağlı olmamasıdır. Bu sayede, TIG kaynak yöntemi ince parçalarda kullanılabilir [12].



Şekil 2.5: Basit olarak TIG kaynağının gösterimi [18]

2.3.3 Örtülü elektrot ark kaynağı

Örtülü elektrot ark kaynağı uygulamasında ark, iş parçası ve eriyen elektrot arasında oluşur. Elektrotun eridiği esnada üzerinde bulunan örtü kısmı eriyip gazları ortaya çıkararak hem kaynak bölgesini hem de arkı korur [12]. Şekil 2.6'da Örtülü Elektrik Ark Kaynağı gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Örtülü Elektrik Ark Kaynağı [13]

Meydana gelen gazlar ve cüruf yardımıyla ark bölgesi ve kaynak metali yabancı etmenlere karşı korunur. Elektrot örtüsüne katılan alaşım elementleri yardımıyla, kaynak dikişi alaşımlandırılır. Örtülü elektrot ark kaynağı diğer elektrot kaynak yöntemlerine göre teknolojide daha eskidir. Kaynak araçlarının ucuz ve kurulumu daha kolaydır. Güç kaynağı, torç ve elektrot kablosu kullanılarak, kaynak düzeneği rahatça hazırlanır [12].

Kaynak akısı, erimiş metali çevreden korumak, ark stabilitesi sağlamak ve kaynak havuzunu daha düzgün kaynak ve daha iyi boncuk şekli ve geometrisi için cüruf tabakası sağlamak ve temizleme gibi birçok işlevi yerine getirir [19].

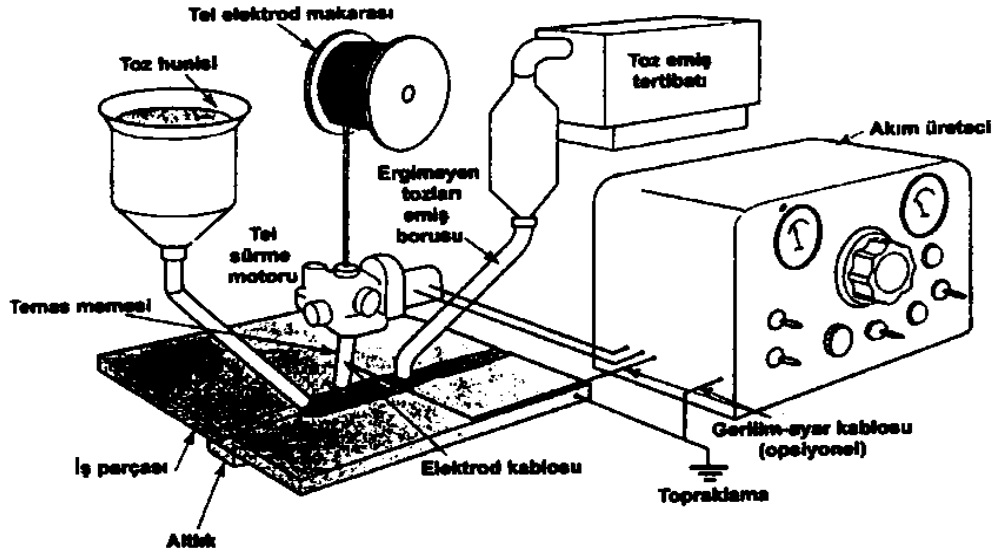
2.3.4 Toz altı elektrik ark kaynağı

Bu kaynak yönteminde oluşan ark, otomatik olarak kaynak yerine sürülen elektrot ile iş parçası arasında oluşur ve ayrı bir kanaldan kaynağın yapıldığı alana düşen toz yığını altında işlevini sürdürür. Kaynak arkı toz yığının altında oluşur [15].

Avantajları

- 1) Kaynak hızının yüksek olmasıyla birlikte, kaynak parametreleri düzgün seçildiğinde hatasız ve güzel kaynak dikişleri elde edilebilir.
- 2) Kaynak tozu kaynak ark kısmını koruduğundan dolayı maske kullanımına ihtiyaç duyulmaz.
- 3) Kaynak sırasında zararlı metal tozlan ve duman çıkarmaz.
- 4) Sıçrama kaybı yoktur.
- 5) Derine işleme kabiliyeti iyi olduğundan dolayı daha dar ve daha derin kaynak pozisyonlarında rahatça kaynak yapılabilir.
- 6) Kaynak tozu, kaynak dikişinin özelliklerini değiştirecek şekilde ayarlanabilir. Bu şekilde ucuz ve alaşımsız bir elektrotla alaşımlı bir toz kullanarak istenilen özelliklere sahip daha ekonomik kaynak dikişleri oluşturulabilir [15].

Şekil 2.7' de Toz Altı Ark Kaynağı şematik olarak gösterilmiştir.



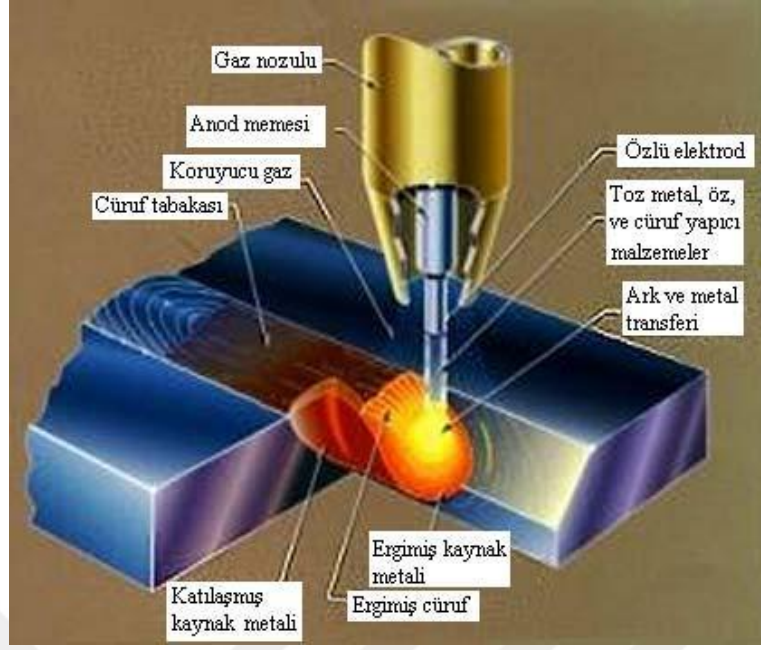
Şekil 2.7: Toz Altı Ark Kaynağı [12]

2.3.5 Özlü tel ile ark kaynağı

Özlü teller, ağırlıkça toz oranı ve bu tozun cinsine göre sınıflandırılırlar. Kullanılacakları alana ve üretim sürecine bağlı olarak özlü teller %13 ila %50 arasında toz içerirler. Bu tozlar genellikle bazik, asit veya rutil tiptir ve yumuşak, yarı-sert, sert, alçak ve yüksek alaşımlı olan tüm çeliklerin kaynağında kullanılabilir [15]. Şekil 2.8'de Özlü tel elektrod kaynağı yapılan parçanın ark bölgesi gösterilmiştir.

Avantajları:

- 1) Düzgün ve pürüzsüz kaynak dikişleri ortaya çıkmaktadır.
- 2) Otomasyona karşı uygundur.
- 3) Bazı uygulamalarda koruyucu gaza ihtiyaç duyulmaz.
- 4) Doğal koşullara karşı hassastır.
- 5) Kaynağı hızlıdır.
- 6) Alaşımlandırılabilir.
- 7) Oluşan cüruf kaynak havuzunu temizlemektedir.
- 8) Yüksek akım yoğunluğuna ve yüksek ergime noktasına sahiptir [20].



Şekil 2.8: Özlu tel elektrod kaynağı yapılan parçanın ark bölgesi [21]

2.4 Kaynak Elektrotları

Elektrot; kaynak işlemi esnasında üzerinden kaynak akımının geçmesini sağlayan, iş parçasına bakan tarafıyla iş parçası arasında kaynak arkını oluşturan ve gerektiğinde ergiyerek kaynak ağzını dolduran kaynak malzemesine denir [5].

Kaynak dikişi kaynakta oldukça önemlidir. Kaynak dikişini önemli kılan faktör kaynak dikişinin kimyasal ve mekanik yapısıdır. Kaynak dikişinin kimyasal ve mekanik yapısını, kullanılan elektrot belirler. Bu tez kapsamında Elektrik Ark Kaynağında kullanılan Örtülü Elektrotlardan bahsedilecektir.

2.4.1 Örtülü elektrotlar

Bir elektrotun kaynak karakteristikleri tamamen bu örtünün bileşimi ile değiştirilebilir. Elektrot örtüsü kaynakta; arkı daha kolay oluşturarak daha hızlı tutuşmasını sağlar. Ayrıca örtülü elektrotlarla yapılan kaynaklar hem doğru akımla hem alternatif akımla da yapılabilir. Örtülü elektrotlar aynı zamanda kaynak bölgesini gazdan havadan ve nemden koruyarak kaynak dikişinin kimyasal yapısının bozulmasını engeller [4].

Örtülü elektrotlar kendi içerisinde birçok çeşit barındırır. Bunlar; Bazık, Asidik, Oksit, Selülozik ve Rutil örtülü elektrotlardır.

2.4.1.1 Rutil örtülü elektrotlar

Örtü ağırlığının %35'nin TiO_2 in oluşturduğu rutil elektrotlar, dikişi tamamen örten bir yapıya sahiptir. Farklı örtü kalınlıklarında üretilmiş olan rutil elektrotlarda örtü kalınlığı arttırılarak kaynak dikişinin mekanik özellikleri arttırılabilir. Rutil elektrotlar aynı zamanda cüruf oluşturabilen ve hem doğru akım ile hem de alternatif akım ile kaynağı yapılabilir. Örtü yapısından dolayı oksijen içeriği fazla değildir. Bu sayede daha iyi kaynak dikişleri elde edilir [4].

2.4.1.2 Asidik örtülü elektrotlar

Bu tür elektrotların örtüsünde demiroksit, kuartz, ferromangan ve diğer deoksidan maddeler bulunur. Bir elektrotun verimliliği, kaplama ile demir tozu karıştırılarak büyük ölçüde iyileştirilebilir. Asit elektrotların verimliliği, yüksek demir tozu içeriği nedeniyle iyidir. Asit elektrotlar pürüzsüz, parlak kaynak boncukları üretir. Cüruf yavaş yavaş katılaştır, gözenekli ve çıkarılması kolaydır. Kaynak metali rutil ve bazik elektrotlar tarafından üretilenlerden daha düşük akma dayanımına ve nihai çekme dayanımına, ancak daha yüksek bir kopma dayanımına sahiptir. Elektrotlar bu tip mükemmel kaynak özellikleri gösterir [22].

2.4.1.3 Oksit örtülü elektrotlar

Oksit örtülü elektrotların bileşimi magnetit (Fe_3O_5), kuartz (SiO_2), kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), kaolen ve camsuyundan oluşur. Yüksek akım yüklenme özeliğine sahiptirler; yatay ve oluk pozisyonlarında tercih edilir, çünkü metal ve cüruf akıcı hale gelebilir. Düşük karbonlu çeliklerin kaynağı için son derece uygundur. Oksit örtülü elektrotlar kaynak aralarını iyi dolduramazlar ancak oksit elektrotlarla güzel görünümlü ve güzel dikişler elde edilir [4].

2.4.1.4 Bazik örtülü elektrotlar

Kalsiyum florür ile kaplanmış bazik elektrotlar yaygın olarak ark kaynağında kullanılır [23]. Higroskopik bir yapıya sahip olan bazik elektrotlar aynı zamanda yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Bazik elektrotların, her tür kaynak pozisyonlarında kullanımı mümkündür. Aralık doldurma kabiliyeti fazladır. $0^\circ C$ nin altındaki yapı parçalarının kaynağında dahi çok iyi kaynak dikişleri verir [24].

Bazik elektrotlara yaklaşık 500°C’de bir kurutma işlemi uygulanır. Bu tip elektrotlar, higroskopik bir yapıya sahip olduklarından dolayı kullanımlarından önce mutlaka fırınlarda kurutma işlemine tabii tutulmalıdırlar [4].

Bazik elektrotların kanyağında ark boyu diğer elektrotların kaynağına göre daha kısa olmalıdır. Eğer uzun ark olursa gözenek dizeleri oluşabilir. Ark boyu elektrot çekirdek çapının yarısından büyük olmamalıdır [25].

Bazik elektrot kaynak yönünde mümkün olduğu kadar dik açıda tutulmalıdır. Aynı zamanda kaynak eğimi de 80-90° arasında olmalıdır [25].

Bazik elektrotlar birçok kullanım alanına sahiptir;

- 1) Bileşimi bilinmeyen karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde,
- 2) İçerisinde yüksek karbon, kükürt, fosfor ve azot bulunan çeliklerde,
- 3) Farklı oranlarda karbon içeren çeliklerin birleştirmesinde,
- 4) Dinamik yükleri taşıyacak olan parçaların kaynağında kullanılırlar [4].

Bazik elektrotların görevi aşağıda belirtilmiştir;

- 1) Elektrotun örtüsü kalsiyum, toprak alkali metallerin karbonatları ve kalsiyumflorür den oluşur.
- 2) Yüksek mukavemetli çeliklerde ve kalın parçaların kaynağında oldukça fazla kullanılır.
- 3) Eksi sıcaklıklarda kullanılabilir.
- 4) Sıcak ve soğuk çatlamalara karşı dayanıklıdır.
- 5) Nüfuziyetleri az, dikiş profili konkavdır [4].

Bazik örtülü elektrotun nem derecesi

Bazik elektrotlar kolayca nem kapabilirler. Nem kaptığı durumlarda yapılması gereken bir fırın içerisinde 30 dakika süreyle 250°C bekletilerek nemin uçması sağlanmalıdır. Eğer nem bazik elektrottan uzaklaştırılmazsa örtüdeki nem kaynak dikişine geçerek boşluklar oluşturup ve hidrojen gevrekleşmesine sebep olur [4].

Bazik elektrotta kaynak akım şiddeti

Örülü elektrotlarda kaynak parçasının dikiş kısmının mukavemetini etkileyen en büyük faktörü kaynak akım şiddetidir. Kaynak akım şiddetinin artması, diğer değişkenler sabit kalmak koşulu ile eriyen miktarını arttırarak kaynak dikişinin nüfuziyetini kolaylaştırır. Bazik elektrotların kaynağı doğru akım ile yapılır. Eğer kaynakta bazik elektrotlar kullanılıyor ise, gerekenden biraz daha fazla kaynak akım şiddeti kullanılmalıdır. Bu sayede kaynak dikişinde gözenek oluşumu engellenir [26].

Bazik elektrotta kaynak hızı

Bazik elektrot ile yapılan kaynaklar, rutil ve asit karakterli elektrotlara kıyasla daha yavaş yapılmalıdır, eğer hızlı yapılırsa cüruf kaynak metalini örtemez. Bu tür elektrotlarda kaynak hızı rutil ve asit elektrotlarının kaynak hızından yaklaşık olarak %67 kadar daha yavaş olmalıdır. Bu neden ile kaynak dikişi diğer elektrotlarla yapılanlardan daha geniş olur [4].

2.4.1.5 Selülozik elektrotlar

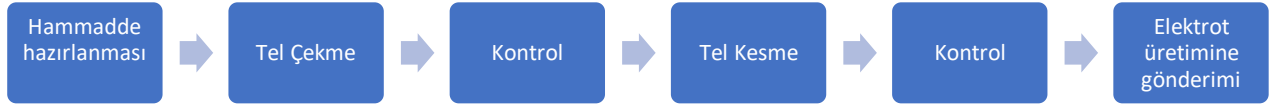
Örtülerinde yandıkları zaman gaz haline geçen organik maddeler bulunur. Selülozik elektrotlarındaki örtünün %30'u selüloz ve %5'i nemden oluşmaktadır. Bu sayede elektrot kurutma işlemine tabii tutulmaz. Selülozik elektrotlar bazik elektrotlar gibi her pozisyonda kullanılabilirler. Kaynak dikişi oldukça iyidir. Doğal gaz ve petrol boru hatları, gemi inşaat endüstrisi, depolama tankı ve kazan üretimi ve çelik köprü inşaatları gibi birçok alanda tercih edilir [16].

2.4.2 Elektrot Üretimi

Elektrotlar üretilirken birçok aşamadan geçerler. Elektrot üretim süreci uzundur. Örtülü elektrotlar çekirdek ve örtü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Bu iki kısmın üretimi ayrı ayrı yapılır.

Hammadde, yarı mamul ve malzeme depolardan çekilerek üretim alanına getirilir. Çekirdek tel ilk olarak rulolara sarılı halde gelir. Tel sargıdan çıkartılarak ve üzerine kimyasal sıkılarak çekilir. Daha sonra çekirdek tel tekrar rulolara sarılarak tel kesme alanına gönderilir. Kontrolden geçip hatalı oldukları anlaşılan ürünler sistemden dışarıya alınır. Şekil 2.9'da Kaynak Elektrotunda Çekirdek Tel Üretim şeması gösterilmiştir.

Tel kesme işleminde tekrar makine yardımıyla sargıdan çıkartılan çekirdek telin belirlenen ebatlara uygun şekilde kesimi yapılır. Kesimi yapılan hatasız ürünler bir kaptan toplanır. Aynı şekilde kontrolden geçip hatalı oldukları anlaşılan ürünler sistemden dışarıya alınır. Hatasız ürünler ise kaynak elektrotu üretim alanına gönderilir. Şekil 2.10'da Kaynak Elektrotu Üretim Süreci Akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.9: Kaynak Elektrotunda Çekirdek Tel Üretim Şeması



Şekil 2.10: Kaynak Elektrotu Üretim Süreci Akış Şeması

Hammadde, yarı mamul ve malzemeler depodan çekilerek üretim alanına getirilir. Örtülü elektrotun üzerindeki örtünün reçetesi hazırlanmalıdır. Bunun için yaş karışım hazırlama işlemi yapılmalıdır. Bu yaş karışım hazırlamada elektrotun hangi alanda kullanılacağı, elektrotun cinsi ve boyutu önemlidir. Bu faktörlere bağlı olarak daha önceden hazırlanmış ve belirlenmiş olan örtü reçetesinin kimyasal bileşimine göre tanklarda yaş karışım hazırlanır. Hazırlanan yaş karışım ileri ki safhada presleme işlemine tabii tutulmak için gönderilir.

Presleme işleminde elektrotun iki kısmı birbirine ısıyla preslenir. Yani önceden hazırlanmış yaş karışım ile üretilmiş olan çekirdek tel ısıyla preslenerek birleştirilir. Ürünlerin kontrolü sağlandıktan sonra fırınlama işlemine gönderilirler.

Fırınlama işlemi elektrotların cinsine göre farklılık gösterir. Elektrotun kullanım alanına göre fırınlama işlemleri farklı yerlerde farklı ısılarla ve farklı sürelerde yapılır. Aynı zamanda eski tip fırınlama sisteminin yanında yeni tip doğal gazlı fırınlama sistemleri de vardır. Fırınlanıp herhangi bir hata bulunmayan elektrotlar markalama işlemine gönderilir. Hatalı olan ürünler ise kontrol edilip sistemden dışarıya alınır.

Markalama işleminde elektrotun cinsi kullanım alanı ve üretim numarasına göre adlandırılması yapılır. Markalanan elektrotlar ambalajlama alanına gönderilir. Hatası tespit edilen ürünler ise sistemden dışarıya alınır. Ambalajlama alanına gelen elektrotlar kutulara konular ve dışı ısı yardımıyla ambalajlanarak kapatılır. Hatalı olan ürünler sistemden dışarıya alınır. Hatasız ürünler ise depoya gönderilerek elektrot üretimi yapılmış olur.

2.4.3 Kaynak Elektrotlarına Uygulanan Testler

Kaynak elektrotlarının kullanılacağı alana uygunluğunu, kaynak başarısını ve kaynak dayanımı ölçmek için belirli testlere tabii tutulur. Bunların en başında gelenler mekanik testlerdir. Kaynak elektrotları, başarılı kaynak yapması için belirli faktörler vardır. Bu faktörler mekanik değerleri, kaynak yapabileceği metale uygunluğu ve kullanılacağı alana uygunluğu, kaynak pozisyonu uygunluğudur. Bu faktörlere uygunluğunu onaylamak amacıyla kaynak elektrotlarına testler yapılır. Bu tez kapsamında kaynak elektrotuna mekanik test yapıldığından dolayı mekanik testlerden bahsedilecektir.

2.5 Kaynak elektrotlarına uygulanan mekanik testler

Kaynak elektrotlarına uygulanan mekanik testlerde çekme testi ve darbe enerjisi testi en popüler testlerdir. Bu testlerin uygulanmasındaki amaç kaynaklanacak parçanın kullanılacağı alana göre oluşacak olan kaynak dikişinin sağlam ve dayanıklı olmasıdır. Bunun yanında birkaç faktörde yerine getirilmesi istenir. Örneğin; parça eksi sıcaklıklarda kullanılacak ise kaynak elektrotunun bu sıcaklıklarda kullanılacak olan parçaya uygun olması ve aynı zamanda istenilen sıcaklık değerinde istenilen mekanik değerleri vermesi gerekir. Örneğin; Bu çalışmada -60°C deki sıcaklıkta bazik elektrotun istenilen darbe enerjisini sağlaması gerekir. Bu çalışmanın amacı da bu darbe enerjisini arttırmaktır.

2.5.1 Çekme testi

Tek eksenli çekme testi, nihai mukavemet, akma mukavemeti, %uzama, %azalma alanı ve Young modülü gibi malzeme parametrelerine ulaşmak için temel ve evrensel bir mühendislik testi olarak bilinir. Çekme testi, başarısız olana kadar bilinen boyutlara (ölçü uzunluğu ve enine kesit alanı) sahip standart bir germe numunesine

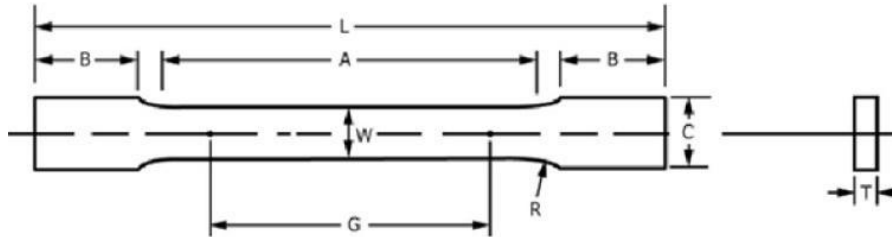
belirli bir uzama hızında uzunlamasına veya eksenel yük uygulanarak gerçekleştirilir [27].

Birçok mühendislik bileşeni hizmet halindeyken çeşitli yüklemelere maruz kalır. Bu gibi durumlarda, mühendislik bileşeninin malzemelerinin özelliklerini, sonuçta ortaya çıkan herhangi bir deformasyonun aşırı olmayacağı veya başarısızlığın olmayacağını bilmesi gerekir. Bu ancak, gerilme-şekil değiştirme ilişkileriyle incelenerek sağlanabilir [28].

Birim şekil değiştirmenin tanımı; Malzemeye kuvvet uygulandığı zaman iç çaptaki daralmanın kuvvet uygulanmadan önceki iç çapın arasındaki farkın oranıdır.

Çekme testinde sıklıkla kullanılan iki adet standart bulunur. Bunlar; ISO 6892-1 ve ASTM E8 standartlarıdır. Şekil 2.11’de Lama tipi dikdörtgen şeklindeki çekme deney numunesinin ASTM E8 standardında tanımlanmış şekli gösterilmiştir. Metal malzemeler için oda sıcaklığında uygulanan çekme testini ayrıntılı olarak tanımlanır. Standartlar aynı zamanda, testte kullanılması gereken yardımcı elemanların tanımlanmasıyla birlikte, deneyde uygulanacak metodu, kullanılan hesaplamaları, sonuçları gösterir [30].

Bu çalışmada ASTM E8 standardı esas alınmıştır.



Şekil 2.11 Lama tipi dikdörtgen şeklindeki çekme deney numunesinin ASTM E8 standardında tanımlanmış şekli [30]

Çizelge 2.1 ASTM E8 standardında lama tipi deney numunesi için tanımlanmış boyut değerleri. [30]

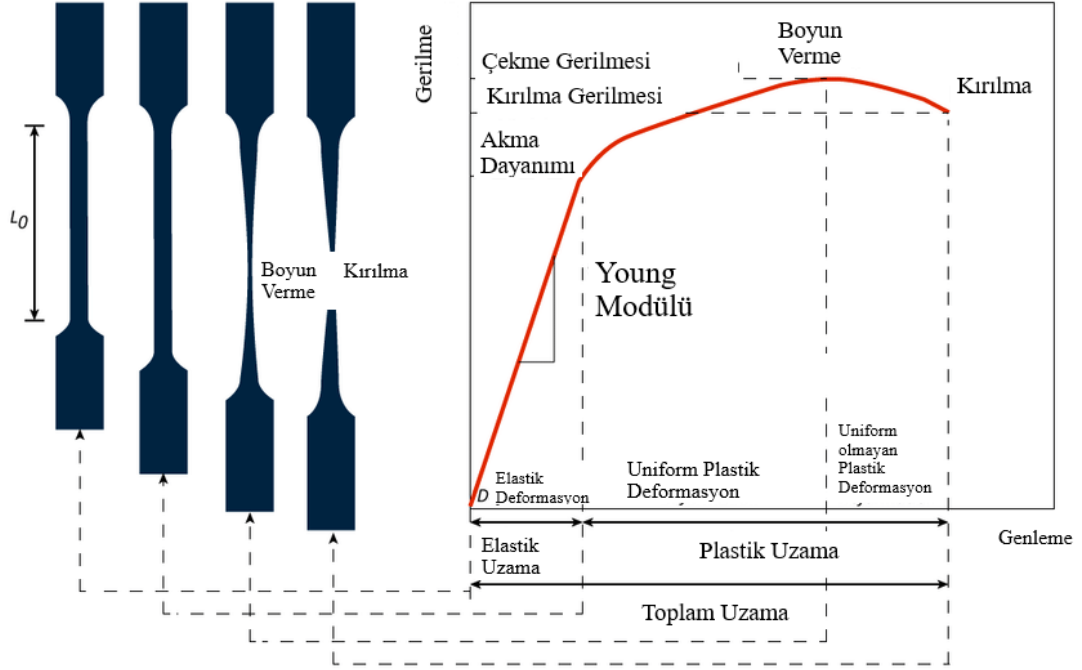
	Numune Boyutu	(mm)
G	İlk ölçü uzunluğu	200,0 ± 0,2
W	Gövde genişliği	40,0 ± 2,0
T	En küçük numune kalınlığı	5
R	En küçük numune kavis yarıçapı	25
L	Numune toplam uzunluğu	450
A	En küçük numune gövde uzunluğu	225
B	Numune kavrama uçları uzunluğu	75
C	Gövde genişliği	50

Çekme Testi ile malzemelerin mekanik özellikleri gözlemlenebilir. Bu özellikleri;

- 1) Akma Dayanımı
- 2) Çekme Dayanımı
- 3) Elastisite Modülü
- 4) Yüzde Kopma Büzülmesi
- 5) Yüzde Kopma Uzaması
- 6) Kopma Dayanımı
- 7) Tokluk
- 8) Rezilyans
- 9) Poisson Oranı [31]

Şekil 2.12’de Çekme Testinin nasıl okunması gerektiğini gösterilmiştir.

Deneysel çalışmada, sadece akma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, yüzde kopma uzaması ve tokluk gibi parametrelere bakıldığı için sadece bu parametreler açıklanacaktır.

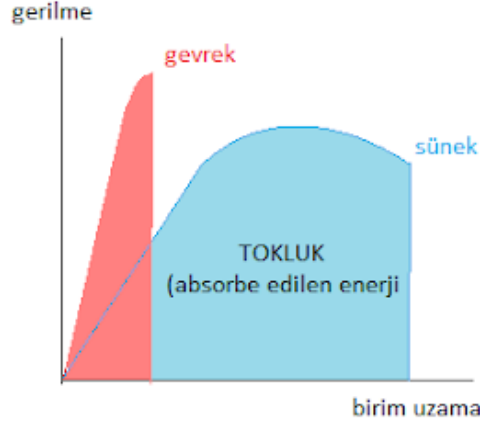


Şekil 2.12: Çekme Testinin okunması [27]

Elastisite Modülü: Hooke kanunu deformasyon yasası olarak bilinir ve elastik deformasyonun olduğu bölümdeki, gerilme gerinim diyagramının eğimi, Elastisite Modülü (Young modülü), “E” olarak adlandırılır. Elastisite modülünün birimi N/mm^2 dir [27].

Akma Dayanımı: Bir malzemenin plastik şekil değiştirmeye başladığı andaki gerilme değerine akma dayanımı denir. Bu değer; akma gerilmesinin, numunenin ilk kesit alanına bölünmesi suretiyle hesaplanır [29].

Tokluk: Bir malzemenin kopuncaya kadar kendi içerisinde absorbe ettiği toplam enerjiye denir. Şekil 2.13’te tokluk alanı gösterilmiştir. Sünek malzemeler, gevrek malzemelere kıyasla daha iyi tokluğa sahiptirler. Tokluk, gerilme genleme eğrisinin altında kalan alan hesaplanarak bulunur [29].



Şekil 2.13: Tokluk Alanı [32]

Çekme Dayanımı: Malzemeye uygulanan yük sürekli olarak uygulanırsa, gerilim-gerinin eğrisi, plastik deformasyon kısmında maksimum yüke ulaşacaktır. Maksimum yükün olduğu noktaya “çekme dayanımı” denir [27].

Yüzde Kopma Uzaması: Malzemede deney sonucunda oluşan uzama miktarı ile (kırık parçaların bir araya getirilmesiyle ölçülür) orijinal ölçü uzunluğunun yüzdesi olarak ifade edilir [33].

2.5.2 Çentik darbe deneyi

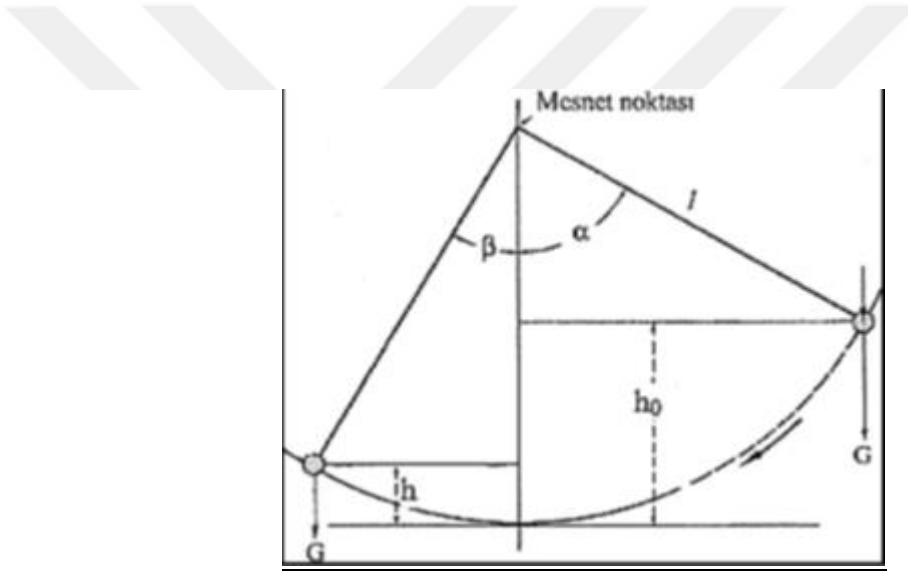
Darbe testi, bir malzemenin maruz kalabileceği en ağır yük koşullarını test etmek için en kullanışlı deneylerden birisidir. Şekil 2.14’te çentik darbe deneyinin şematik olarak gösterimi verilmiştir. Darbe testinden sonra, bir malzemenin kırılma direnci de bulunabilir. Aslında, kırılma direnci parametreleri doğrudan test edilen numune üzerine uygulanan eğilme kuvveti ile ilgilidir. Ancak, test aleti tarafından kaydedilen kuvvet aslında bükülme kuvveti değildir, ancak dönüştürücünün monte edildiği vurucu üzerine uygulanan kuvvettir [34].

Darbe Deneyi, metalik ve metalik olmayan malzemelerin dinamik zorlamalar altında kırılması için gereken enerji miktarını belirlemek için yapılır. Metalik malzemelerin gevrek kırılma göstereceği alanlarda mekanik özellikleriyle alakalı bir fikir elde etmek için yapılır. İlk çalışmalar askeri ve demiryolu uygulamalarına odaklanmıştır [35].

Metallerin mekanik özelliklerini gözlemlemede en çok çekme deneyi sonuçlarından yararlanır. Çekme deneyinde sünek olduğu ortaya çıkan malzeme çentikli darbe

deney sonuçlarına göre gevrek olabilir. Eksi sıcaklıklardaki durumlarda bu daha çok görülür [35].

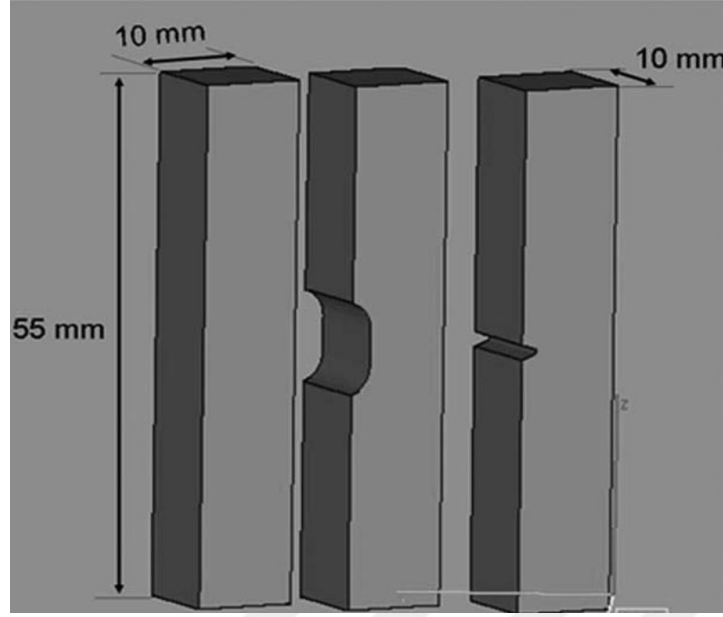
Metallerin çentikli darbe testi, yüksek hız yükleme koşullarında, ani kırılmaya sebep olduğu durumlarla alakalı bilgi verir. Metallerin darbe enerjileri tokluk ile bulunur. Malzemelerin kırılması gevrek veya sünek olarak gerçekleşir. Sünek malzemeler plastik deformasyona maruz kaldığı için gerilme genleme diyagramındaki eğri daha uzun ve daha büyük olduğundan dolayı toklukları daha fazladır. Gevrek malzemeler ise bunun tam tersidir. Plastik deformasyona maruz kalmadığı için gerilme gerinleme diyagramındaki eğri daha kısa ve daha küçüktür, bu yüzden tokluğu daha azdır. Tokluğu yüksek olan malzemelerin darbe enerjileri yüksektir, düşük olanların ise darbe enerjileri düşüktür [36].



Şekil 2.14: Çentik darbe deneyinin şematik olarak gösterimi [29]

Numune tabana yerleştirilir ve sarkaç serbest bırakılır, çentikli numuneye çarparak ve kırar. Sarkaç, numuneyi kırdıktan sonra fizik yasaları sebebiyle eski yüksekliğine çıkamaz ve belirli bir yüksekliğe çıkar. İlk yüksekliği ile son yüksekliği arasındaki farka bakılarak numunenin darbe enerjisi bulunur [36].

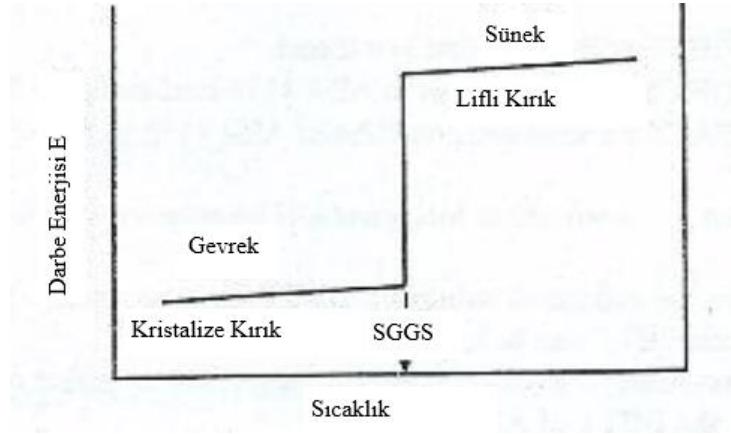
Bu çalışmada ASTM E23 standardı uygulanmıştır. Şekil 2.15'te ASTM E23 standardına göre hazırlanmış darbe deneyi numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 2.15: ASTM E23 standardına göre hazırlanmış darbe deneyi numuneleri [37]

2.5.1.1 Darbe enerjisine sıcaklığın ve mikro yapının etkisi

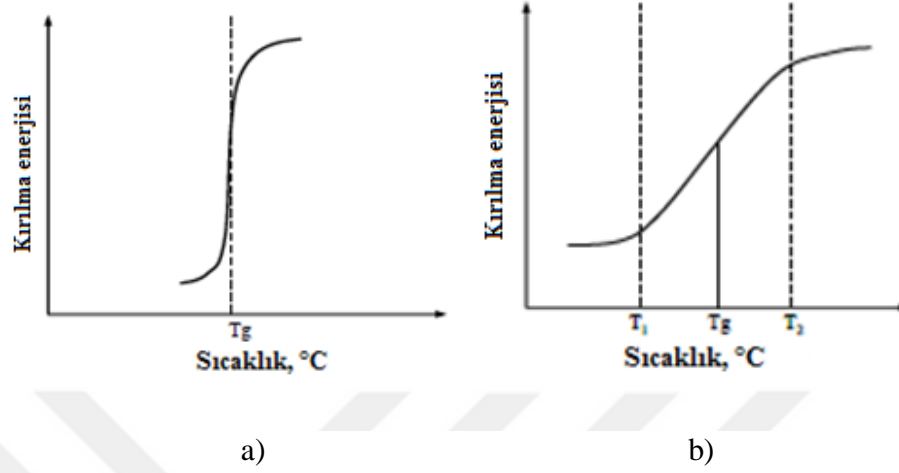
Çeliklerin sıcaklıkları azaldıkça darbe enerjileri azalır. Darbe enerjisinde büyük bir azalmanın görüldüğü sıcaklığa, şematik olarak Şekil 2.16' da gösterildiği gibi sünek-gevrek geçiş sıcaklığı (SGGS) denir [36].



Şekil 2.16: Tavllanmış düşük karbonlu çelik için tipik sünek kırılma geçiş eğrisi [36]

Sıcaklığın darbe direncine etkisini belirlemek amacı ile çeşitli sıcaklıklarda darbe deneyi yapılır. Sıcaklık azaldıkça, malzeme süneklikten gevrekliğe geçiş gösterir. Darbe direncinde azalma anidende olabilir veya belirli bir aralıkta da olabilir. Darbe

direncinin bir anda azaldığı sıcaklığa geçiş sıcaklığı (T_g) denir [38]. Şekil 2.17’de darbe direncinin sıcaklıkla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.17: Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi [38]

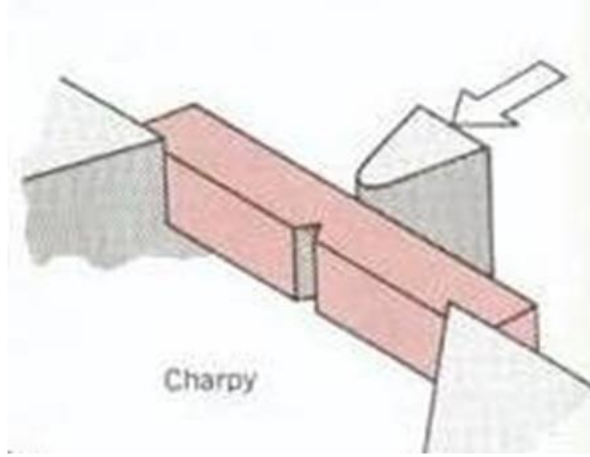
Çeliklerde karbon ve diğer alaşım elemanları belirli bir sıcaklıkta çentik tokluğunu etkiledikleri gibi geçiş sıcaklığını da etkilerler. Karbon miktarı geçiş sıcaklığını değiştirir. Çeliklere manganez eklenmesi geçiş sıcaklığını düşürür. Alüminyumun çeliklerde tane inceltici özelliğinin yanı sıra geçiş sıcaklığını da azaltır [38].

Küçük taneli çelikler, kaba tanelilerden daha iyi darbe enerjisine sahiptir. Tane boyutu ile geçiş sıcaklığı doğru orantılıdır. Çeliğin mikro yapısı çentik tokluğunda önemlidir. Mikro yapı bileşim ve mekanik özelliklerden bağımsız olarak çeliğin tokluğuna etki edebilir. Temperlenmiş martenzit veya beynitik yapı diğer mikro yapılara kıyasla en yüksek çentik tokluğu ve en düşük geçiş sıcaklığı sağlar [38].

2.5.1.2 Charpy darbe testi

Yatay ve basit kiriş halinde iki mesnedin arasında konulan numunenin daha önceden numunenin orta kısmına açılmış olan çentiğe, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılarak ve numunenin çentiğinden kırılarak, numunenin kırılması için harcanan enerjiyi bulma işlemine denir [29].

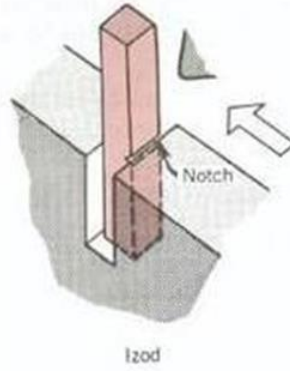
Charpy metodu ASTM E23 ve ISO 148 standartlarına uygun olarak yapılır. Şekil 2.18’de charpy deney metodunun gösterimi verilmiştir. Eksi sıcaklık deneyleri en fazla -80°C ’de yapılır [30].



Şekil 2.18: Charpy darbe metodunun gösterimi [38]

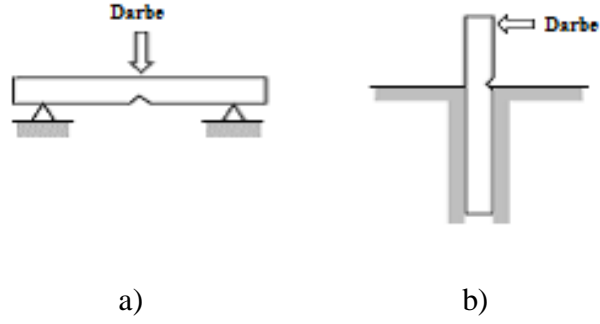
İzod darbe metodu

Dikey ve konsol halinde bir kavrama kısıncasına konulan numunenin yüzey kısmına, kavrama çenesinden belirli yükseklikte olan bir sarkaç vasıtasıyla darbe yapılır ve numunenin kırılması için harcanan enerji bulunur [29]. Şekil 2.19'da izod darbe metodunun gösterimi verilmiştir. Şekil 2.21'de charpy ve izod darbe deneylerinin şematik gösterimi birlikte verilmiştir.

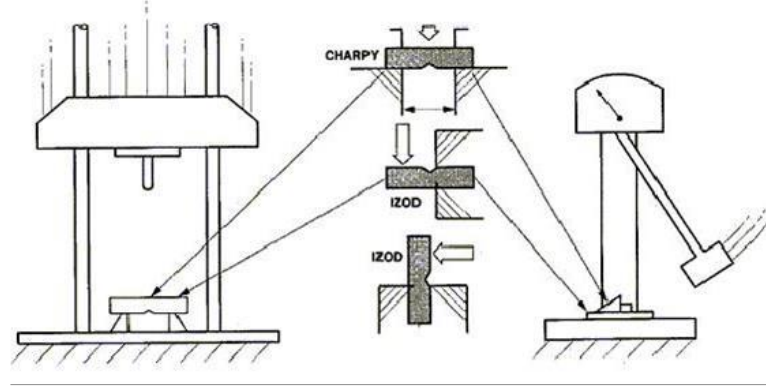


Şekil 2.19: İzod Darbe Metodunun gösterimi [38]

Şekil 2.20'de charpy ve izod darbe deneylerinde numunenin cihaza yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.20: a) Charpy ve b) İzod darbe deneyinde numunenin cihaza yerleştirilmesi [38]



Şekil 2.21: Charpy ve izod darbe deneyinin şematik görünümü [38]

2.5.2 CTOD (Crack Tip Opening Displacement) testi

Kırılma mekaniği, metalik malzemelerde çatlaklar içerebilecek tüm mekanik ve inşaat projeleri için ve özellikle kaynağı yapısal birleştirme işlemi olarak kullanan malzemeler için oldukça önemlidir. Bu metodoloji sadece tasarımı değil, inşa edilen yapıların hizmet ömrünü de artırabilir [39].

CTOD testi diğer adıyla “Çatlak Ucu Açıklığı” testi endüstride kullanılan en yaygın parametrelerden birisidir. Çünkü testler pratiktir ve yöntemler standartlaştırılmıştır. Örneğin; BS-EN-ISO-15653 standardı, kırılma tokluğunu incelemek için iyi bir standarttır [39].

Petrobras N-1678 standardı, 415 MPa ve 38-75 mm arasında kalınlığa sahip bir düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelik için, taban ve kaynaklı metaller için sırasıyla minimum 0.3 mm ve 0.25 mm arasında CTOD değerleri gerektirir [39].

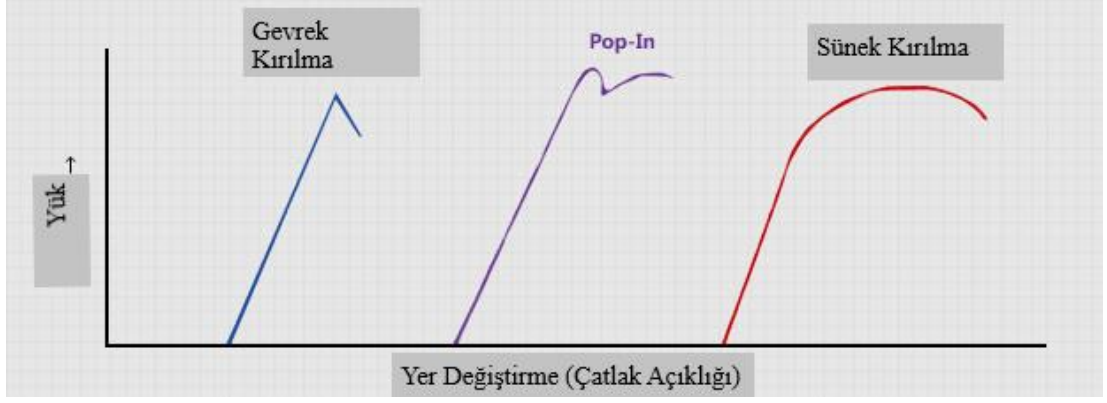
Çatlağın kütleşmesinin derecesi malzemenin tokluğu ile doğru orantılıydı. Bu gözlem araştırmacıların, çatlak ucundaki açılmayı kırılma tokluğunun bir ölçüsü olarak öngörmeyi sağladı. Bu parametreye CTOD adı denir [40].

CTOD testi Elasto-Plastik kırılma mekaniğinde çatlağın her aşamasını görmemizi başarılı bir şekilde analiz eder. Bu sayede genel olarak yapının tamamını anlamamıza yardımcı olur. Bir çatlağın dengesiz kırığı veya büyümesini tahmin etmek, kırık mekaniğinin en önemli konusudur. Elbette ki buda, seçilen yapıya göre en kullanışlı malzemeyi seçmemize olanak sağlar [41].

Kaynaklı bağlantılardaki minimum CTOD değerini kolayca tespit etmek için Yorgunluk CTOD test yöntemi geliştirilmiştir. Bu testte, bir CTOD test numunesi, kaynaklı eklemlerin herhangi bir yerinde bir yorgunluk çatlak taraması yapan döngüsel yükleme altında düşük sıcaklıkta test edilir. Bu yöntem, birkaç örnekle minimum CTOD değerini bulmayı mümkün kılar. Yeni yöntem, kırılma bölgesinin yeri, gevrekleşmenin nedeni ve diğer amaçlar üzerinde çalışmak için uygulanabilir [42].

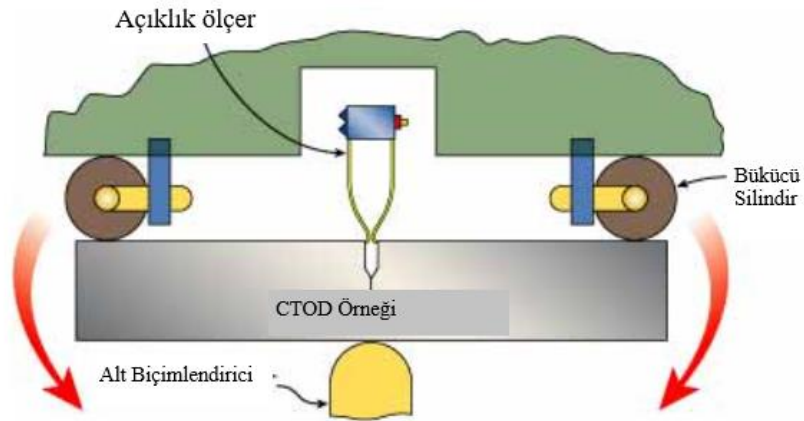
CTOD testi, başarısızlıktan önce bazı plastik deformasyonların meydana gelebileceği durumlarda kullanılan bir kırılma tokluk testidir. Yani bu test bir çatlağın uç açıklığının yer değiştirmesine olanak sağlar. Geleneksel olarak, doğru sonuçları sağlamak amacıyla daha önceden belirlenen sıcaklıkta üç test yapılır. Test parçasının kendisi orantılıdır her numunenin uzunluğu, derinliği ve kalınlığı birbiriyle alakası bulunur, böylece malzeme kalınlığı farkı gözetmeden tüm numuneler aynı oranlara sahiptir [43].

CTOD, hata oluşmadan önce ucun gerilmesine neden olan plastik deformasyon gösterebilen malzemeler üzerinde kullanılır. Bu yer değiştirmenin doğru ölçümü, testin esaslarından biridir. Bir CTOD testinde bir örnek hazırlamak için, numunenin ortasına bir çentik açılır ve sonra çentiğin tabanında dikkatlice gerçek bir yorgunluk çatlağı oluşturulur. Çatlak, işleme sürecinin sebep olduğu plastik deformasyonu belirten bir yerden geçebilecek boyutta olmalıdır [44]. Şekil 2.22’de üç tip kırık davranışı gösteren yüke karşı çatlak açıklığı eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 2.22: Üç tip kırık davranışı gösteren yüke karşı çatlak açıklığı yer değiştirme eğrileri [44]

Testte, numune 3 nokta bükülme alanına yerleştirilir ve çatlağın açtığı miktarı doğru bir şekilde ölçerek gerçekleştirilir. İşlenmiş olan çentiğin ağzında hassas olarak yerleştirilmiş iki bıçak kenarı arasında bulunan bir klipse monte edilen bir gerinim ölçerle gerinim hesaplanır. Çatlak ucu açıklığı uygulanan yüke karşı olarak çizilir. Bu testte kırık 3 farklı şekilde davranış gösterir; kırılğan kırık, pop-in ve sünek. İlk eğri, plastik deformasyonu az olan veya olmayan bir kırığı gösterir. İkinci eğri, çatlağın kırılğan bir şekilde başladığı ancak yakında daha sert sünek malzeme tarafından tutulduğu bir pop-in gösterir. Üçüncü eğri tamamen plastik veya sünek bir davranışı gösterir [44]. Şekil 2.23’de CTOD testinin tipik test düzeni gösterilmiştir.



Şekil 2.23: CTOD Testinin tipik test düzeni [43]

Bir eliđin mekanik özellikleri, sadece bireysel elik elemanların davranışını değerlendirmek için değil, aynı zamanda tüm bir yapının performansını tahmin etmek için de önemlidir [45].



3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deneysel Kullanılan Malzemeler

Bu deneysel çalışmada düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelik olarak S355JR çeliği kullanılmıştır. Kaynak yöntemi olarak da örtülü elektrik ark kaynağı seçilmiştir. Bu çeliğin üzerinde araştırması geliştirmesi yapılmış olan elektrot ise Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Geka Tempo B65 Bazik elektrotudur. İleriki kısımlarda daha detaylı bir şekilde çalışma parametrelerinin neden ve nasıl belirlendiği anlatılmaktadır.



Şekil 3.1: GeKa Tempo B65 Bazik Elektrotu

S355JR çeliğinin kodu TS EN 10025-2:2006 kalite standardına göre yapılmıştır. Bu koddaki “355” rakamı çeliğin akma mukavemetini temsil eder. Sonundaki JR kodu ise +20 °C’de ki çentik darbe dayanımını temsil eder. S355 çeliğinin 20°C’deki çentik darbe dayanımı 27J olduğu için JR kodu eklenmiştir. Kaynakta kullanılan S355JR düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliğin tipik kimyasal bileşimi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1: S355JR çeliğinin % kimyasal bileşimi

Çelik No	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%N	%Diğer
	max	max	max	max	max	max	max	
S355JR	0.24	0.55	1.60	0.04	0.04	0.4	0.012	

Çizelge 3.2: Kaynak metalinin (S355JR) % bileşimi [46]

C	Si	Mn	Ni	Mo
0.06	0.3	1.2	0.8	0.35

Çizelge 3.3: Kaynak metalinin (S355JR) mekanik değerleri [46]

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çentik Darbe Dayanımı -60°C (J)	% Uzama
Min. 550	630-750	Min. 47	Min. ±22

Deneyleerde kullanılan S355JR çeliğinin kalınlığı 20 mm, genişliği 180 mm, uzunluğu ise 400 mm'dir. Şekil 3.1 de gösterilen Tempo B 65 bazik elektrotunun çapı 3.20 mm ve uzunluğu 350 mm'dir.

3.2 Kullanılan Alet ve Cihazlar

Deneyleerde farklı amaçlar için birçok alet ve cihaz kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Gedik Kaynak Makinesi

Kaynağın yapılabilmesi için gerekli olan gerilimi ve şiddeti üretmesi için Şekil 3.2’de gösterilen kaynak makinesi (Gedik Welding RKM450) kullanılmıştır.



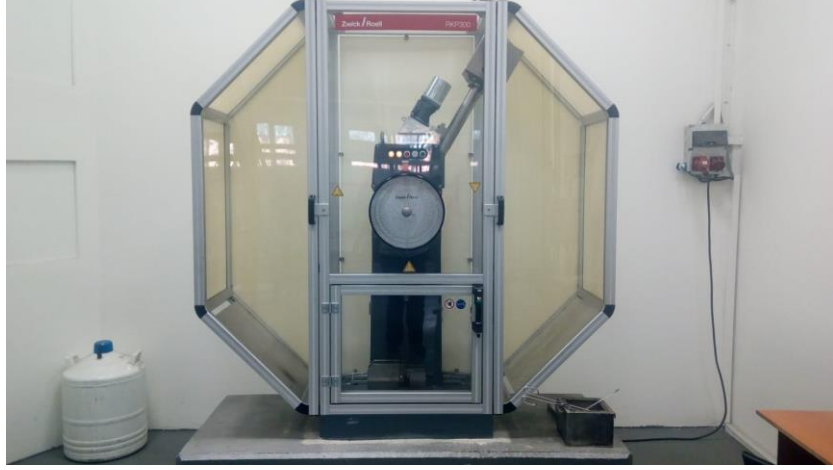
Şekil 3.3: Kronometre

Kaynak yapılırken kaynağa giren ısı girdisini hesaplamak amacıyla kaynak süresi Şekil 3.3’te gösterilen kronometre (CATIGA CG-03) yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3.4: Çekme Test Cihazı

Kaynağı yapılmış numunelerin mekanik özelliklerini ölçmek gözlemlemek amacıyla Şekil 3.4’de verilen çekme test cihazı (Zwick/Roell Z600) kullanılmıştır.



Şekil 3.5: Çentik Darbe Test Cihazı

Numunelerin eksi sıcaklıklardaki darbe enerjilerini incelemek amacıyla Şekil 3.5'te gösterilen çentik darbe test cihazı (Zwick/Roell RKP300) kullanılmıştır.



Şekil 3.6: CTOD Test Cihazı [47]

Numunelerin CTOD değerlerini bulabilmek amacıyla Şekil 3.6'ta gösterilen CTOD test cihazı (Instron 8802) kullanılmıştır.



Şekil 3.7: Termometre

Çentik darbe testinden önce numunelerin daha önceden belirlenmiş olan eksi sıcaklıklara inmesini kontrol etmek için Şekil 3.7’ de verilen termometre kullanılmıştır.



Şekil 3.8: CO₂ Tüpü

Çentik darbe testinden önce numunelerin daha önceden belirlenmiş olan eksi sıcaklıklara inmesini sağlamak amacıyla Şekil 3.8’de verilen CO₂ tüplerindeki CO₂ gazı kullanılmıştır.



Şekil 3.9: Isı Ölçer

Kaynak yapılırken kaynak arası paso sıcaklığını kontrol etmek amacıyla Şekil 3.9'da verilen lazerli ısı ölçer (LYK BGM 1650) kullanılmıştır.

3.3 Deneyin Yapılışı

Bu çalışmada, elektrik ark kaynağı yöntemi kullanılarak S355JR çeliğine Tempo B65 bazik elektrotu ile alın kaynağı yöntemiyle kaynak yapılmıştır. Kaynakta akım olarak DC (+) kullanılmıştır. Farklı reçeteye ve farklı kimyasal yapıya sahip elektrotlar seçilmiştir. 3 farklı kodlanmış elektrot tipi vardır. Bu kodlar; 6356, 6357, 6360'dır. 6356 kodlu elektrotun içerisine fazladan Si ilavesi yapılmıştır. 6357, kodlu elektrotun Si miktarı düşürülmüştür. 6360 kodlu elektrotun ise, içerisine tane inceltici olarak Ti eklenmiştir.

Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrotta ekstra olarak, verim sağlayıcı bileşenler, cüruf yapıcılar eklenirken Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotta ise alaşımlandırıcılar eklenmiştir. Tane inceltici olarak Ti ilavesi yapılan 6360 kodlu elektrot için ise ekstra olarak sadece tane inceltici görevi görmesi amacıyla eser miktarda Ti eklenmiştir.

Bazik elektrotlar higroskopik bir yapıya sahip olduklarından dolayı, kaynak işleminde kullanılmadan önce ısıtma işlemine tabi tutulurlar. Fırınlarda 2 saat boyunca 250°C'de tutulduktan sonra ön ısıtma fırınlarında kendi bileşimine ve örtü reçetesine göre farklı sıcaklıklarda muhafaza edilirler. GeKa Tempo B65 elektrolarının tipik kaynak dikişlerinin %bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 3.4 ve 3.5'te verilmiştir. Her elektrot için toplam 10 sıra kaynak yapılmıştır ve 9 sırada 3 paso çekilirken son kapatma sırasında 4 paso çekilmiştir.

Çizelge 3.4: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynağı yapılan tipik kaynak dikişinin % bileşimi

%C	%Si	%Mn	%Ni	%Mo	%Diğer
0.06	0.3	1.2	0.8	0.35	97.29

Çizelge 3.5: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynağı yapılan tipik kaynak dikişinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	%Uzama	Darbe Enerjisi (-60°C)
Min. 550	630-750	Min. 22	Min. 47

Üç elektrotun da kaynak dikişlerinin %kimyasal bileşimleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin % kimyasal bileşimi

Elektrot	%C	%S	%Mn	%P	%S	%C	%N	%Mo	%Cu	%Ti	%V	%Al
6357	0.065	0.47	1.3	0.01	0.05	0.035	0.96	0.192	0.065	0.008	0.017	0.001
6360	0.067	0.477	1.511	0.026	0.012	0.035	0.864	0.214	0.030	0.014	0.021	0.004
6356	0.078	0.63	1.45	0.019	0.007	0.047	0.96	0.2	0.057	0.011	0.017	0.004

Si miktarı azaltılan 6357 ile tane inceltici olarak Ti ilavesi yapılan 6360 kodlu bazik elektrotların deney parametreleri aynı olduğundan dolayı deney süreçleri birlikte işlenecektir. Elektrotlara 10 sıra kaynak yapılmıştır. 10 sıra kaynak yapılırken her pasonun ısı girdilerinin hesaplanması amacıyla kaynak hızı, kaynak amperi ve kaynak voltajı gözlemlenmiştir. Elektrotların ön ısıtma sıcaklığı 80°C iken pasolar arası sıcaklığı 130°C'dir. İki elektrotun da ısı girdileri Çizelge 3.7 ve 3.8'de verilmiştir. Her paso kaynağı sonrasında pasolar arası sıcaklığın 130°C'ye düşmesi

için 5 er dakika beklenilmiştir. Örtülü elektrot ark kaynağında kaynak verimi TS EN 1011-1 :2010 standardı referans alınarak (η) 0.8 olarak alınmıştır.

$$Q = \frac{\eta \times I \times V \times t}{S \times 1000} \quad (2.1)$$

Q: Isı girdisi (J/mm)

D: Kaynak verimi

I: Akım (A)

V: Voltaj (V)

t: Kaynak süresi (saniye)

S: Kaynak parçasının uzunluğu (mm)

Çizelge 3.7: 6357 kodlu elektrotun ısı girdisi değerleri

Sıra	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaynak süresi(saniye)	Isı girdisi(J/mm)
1	134	34.7	143	1.329
2	132	34.4	113	1.025
3	131	34.4	130	1.117
4	131	34.7	124	1.127
5	130	34	122	1.348
6	130	34.4	127	1.078
7	130	34	134	1.184
8	129	34.7	138	1.235
9	128	33.7	120	1.035
10	128	33.2	93	0.790

Çizelge 3.8: 6360 kodlu elektrotun ısı girdisi değerleri

Sıra	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaynak süresi (saniye)	Isı girdisi (J/mm)
1	132	37	123	1.200
2	133	35	110	1.024
3	130	34	125	1.104
4	131	34	134	1.193
5	131	34	132	1.175
6	131	35	127	1.164
7	129	34	134	1.174
8	129	35	138	1.245
9	129	33	115	0.978
10	128	33	68	0.565



Şekil 3.10: GeKa Tempo B65 bazik elektrotu ile yapılan deney çalışması

Si ilavesi yapılan 6356 kodlu bazik elektrota da aynı şekilde 10 sıra kaynak yapılmış ve her sıranın ısı girdisini hesaplamak amacıyla kaynak süresi, kaynak amperi ve kaynak voltajı gözlemlenmiştir. Elektrotun ön ısıtma sıcaklığı 100°C iken pasolar

arası sıcaklığı 130°C'dir. Si ilavesi yapılan 6356'nın ısı girdileri Çizelge 3.9'da verilmiştir. Her paso kaynağı sonrasında pasolar arası sıcaklığın 130°C'ye düşmesi için 5 er dakika beklenilmiştir.

Çizelge 3.9: 6356 kodlu elektrotun ısı girdisi değerleri

Sıra	Amper (A)	Voltaj (V)	Kaynak süresi (saniye)	Isı girdisi (J/mm)
1	129	35	113	1.020
2	126	34	113	0.968
3	122	34	118	0.978
4	122	33	111	0.949
5	132	34	118	1.058
6	131	34	125	1.112
7	132	33	125	1.088
8	131	33	121	1.045
9	132	33	119	1.036
10	126	33	65	0.54

Alaşımız çelikler için geçerli olan $C \leq \%0.22$ den az kuralı kaynak dikişi çevresinde kılcal çatlakların oluşma ihtimalini azaltır. Karbon oranının az tutulması ile kaynak esnasında kaynak dikişinde oluşan martenzit miktarının %30'u geçmemesi sağlanır. İçerisinde bu miktarda karbon bulunan martenzit, zaten oldukça sünek ve iyi şekillendirilme kabiliyetine sahip olduğu için kaynak esnasındaki ısıl genişmeden dolayı kaynak distorsiyonu çatlamlarına sebep olmaz. Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında, manganezin de etkisi hesaba katılarak karbon eşdeğeri terimi ortaya atılmıştır. Karbon eş değeri formülü (3.1)' de verilmiştir.

$$C_{eş} = C + Mn/6 + Cr+Mo+V/5 + Ni+Cu/15 \quad (3.1)$$

Bu formüle göre üç numunenin de $C_{eş}$ değerleri hesaplanmıştır. Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotun $C_{eş}$ değeri 0.44, Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrotun $C_{eş}$

değeri 0.398, Ti ilavesiyle birlikte ince taneli yapıya sahip olan 6360 kodlu elektrotun $C_{eş}$ değeri ise 0.432'dir. Bir çeliğin ön tavlama işlemine tabii tutulabilmesi için $C_{eş}$ değerinin 0.45'ten yüksek olması gerekir. Bu değerlere göre numunelerin ön tavlama işlemine tabii tutulmasına gerek yoktur.

Kaynak işlemleri tamamlandıktan sonra üç farklı kaynak parçaları gerekli mekanik testlerle incelenmesi amacıyla o testlerin numune standartlarına göre işlenir. Her test için ayrı ayrı numune boyutları oluşturulur. Numunelere sırasıyla, çekme, çentik darbe testi ve CTOD testi uygulanmıştır.

3.4 Karakterizasyon Çalışmaları

İlk olarak numuneler çekme testine sokulmuştur. Daha önceden de belirtildiği gibi numuneler işlenirken, ASTM E8 çekme testi standartına göre boyutlandırılmıştır. Numunelerin çekme testine sokulmasındaki asıl amaç; Kaynak sonrası oluşan kaynak dikişinin mekanik özelliklerinin istenilen ortama uygun olup olmadığını gözlemlemektir. Sırasıyla numuneler, 6357, 6360 ve 6356 olmak üzere çekme testine sokulmuştur. Bu testte numunelerin akma dayanımları, çekme dayanımları ve %uzama değerleri gözlemlenmiştir.



Şekil 3.11: Çekme testine sokulan deney numunesi

Çekme testinden sonra, numunelere çentik darbe deneyi uygulanır. Numuneler işlenirken çentik darbe deneyi standartlarından birisi olan ASTM E23 standardına

göre boyutlandırılmıştır. Numunelerin çentik darbe deneyine sokulmasındaki asıl amaç; Eksi sıcaklıklarda çeliklerin darbe dirençlerini gözlemlemektir. Sırasıyla numuneler, 6357, 6360 ve 6356 olmak üzere deneye sokulmuştur. İlk olarak deney numuneleri CO₂ yardımıyla bir kaptta -60°C' ye kadar soğutulmuştur. 10 dakika beklendikten sonra deneye başlanmıştır.

CTOD testi için ISO 15653 standardına göre hazırlanan numuneler CTOD testine sokulmuştur.



Şekil 3.12: CTOD Testine sokulmuş deney numunesi

4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Elektrik ark kaynağı ile kaynağı yapılan numunelere daha sonra çekme ve çentik darbe testleri uygulanıp kaynak dikiş yüzeyinin makro görüntüsü de çekilmiştir. Numunelere ilk olarak çekme testi uygulanmıştır. Tipik olarak GeKa Tempo B65 elektrotundan istenen minimum akma ve çekme dayanımı ve darbe dirençleri başarıyla sağlanmıştır. Her üç elektrotun da akma, çekme ve darbe dirençleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin mekanik özellikleri

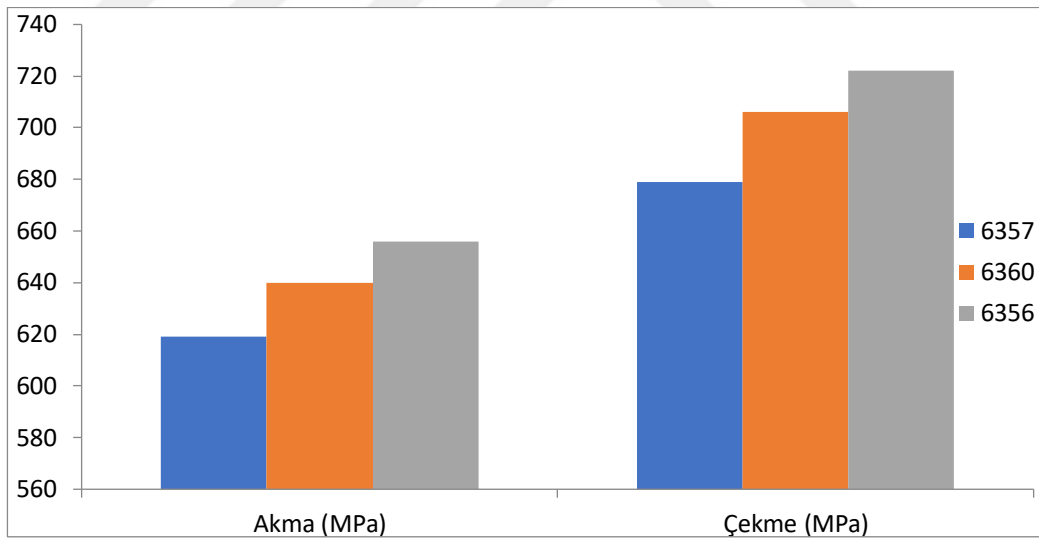
Elektrot	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Darbe Enerjisi (-60°C) (J)
6357	619	679	23	(±8) 79
6360	640	706	22	(±7) 63
6356	656	722	22	(±7) 62

Bu çizelgeye göre; Si miktarı azaltılan 6357’nin -60°C’deki akma ve çekme dayanımı değerleri en düşük iken darbe direnci değerleri en yüksektir. Si miktarı azaltılan 6357 grafit yapısına sahiptir. Kaynak dikişlerinde önemli detaylar arasında kaynak bölgesine giren ısı girdisi ve kaynak salınımı da yer alır. Bu faktörlere bakıldığı zaman Si miktarı azaltılan 6357’nin ısı girdisi değerleri, tane inceltici olarak Ti ilavesi yapılan 6360 ve Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotlara göre çok daha yüksektir.

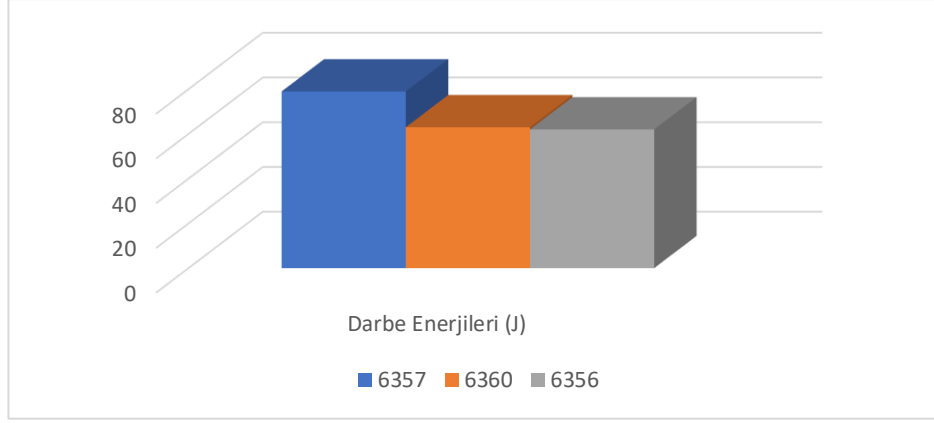
Ti ilavesiyle tane inceltmesi yapılmış olan 6360 kodlu elektrotta tane inceltici olarak eser miktarda Ti ilavesi yapılmıştır. Ti ilavesinin etkisi Çizelge 4.1’e bakıldığında görülebilmektedir. Ti ilavesiyle kaynak dikişinin akma ve çekme dayanımları Si miktarı azaltılan 6357’ye göre artış gösterirken darbe dirençlerinde düşüş meydana gelmiştir. Ti tane inceltici bir elementtir ve malzemelerin tane boyutları incelidikçe

çekme ve akma dayanımı artar. Ancak burada görülüyor ki çekme ve akma dayanımlarında artış gözükürken, %uzama ve darbe direnci miktarlarında düşüşler olmuştur. Si miktarı azaltılan 6357’de %uzama miktarı 23 mm iken, tane inceltici olarak Ti ilavesi yapılan 6360’da 22 mm, Si miktarı azaltılan 6357’de darbe direnci 79 J iken, Ti ilave edilmiş ince taneli 6360’da ise 63 J olmuştur.

Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotta Silisyumun tam olarak kaynak dikişine etkisi görülmek istendi. Bu yüzden Si ilavesi yapılan 6356’ya Si miktarı azaltılan 6357’ye göre %0.19 oranında Si ilavesi yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında Si ilavesi yapılan 6356 ile tane inceltici olarak Ti ilavesi yapılan 6360 elektrotları arasındaki sonuçlarda büyük farklılıklar olmadığı görülmüştür. Si ilavesi yapılan 6356 ve tane inceltici olarak Ti ilavesi yapılan 6360 arasındaki asıl fark akma ve çekme dayanımlarında görülmüştür. Tane inceltici olarak Ti ilavesi yapılan 6360 ve Si ilavesi yapılan 6356 için; Akma dayanımı 640 MPa’dan 656 MPa’a çekme dayanımı ise 706 MPa’dan 722 MPa’a yükselmiştir. %uzama ve darbe direnç değerleri neredeyse aynıdır. Her üç elektrotunda akma ve çekme dayanımları ve darbe dirençleri grafiksel olarak Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

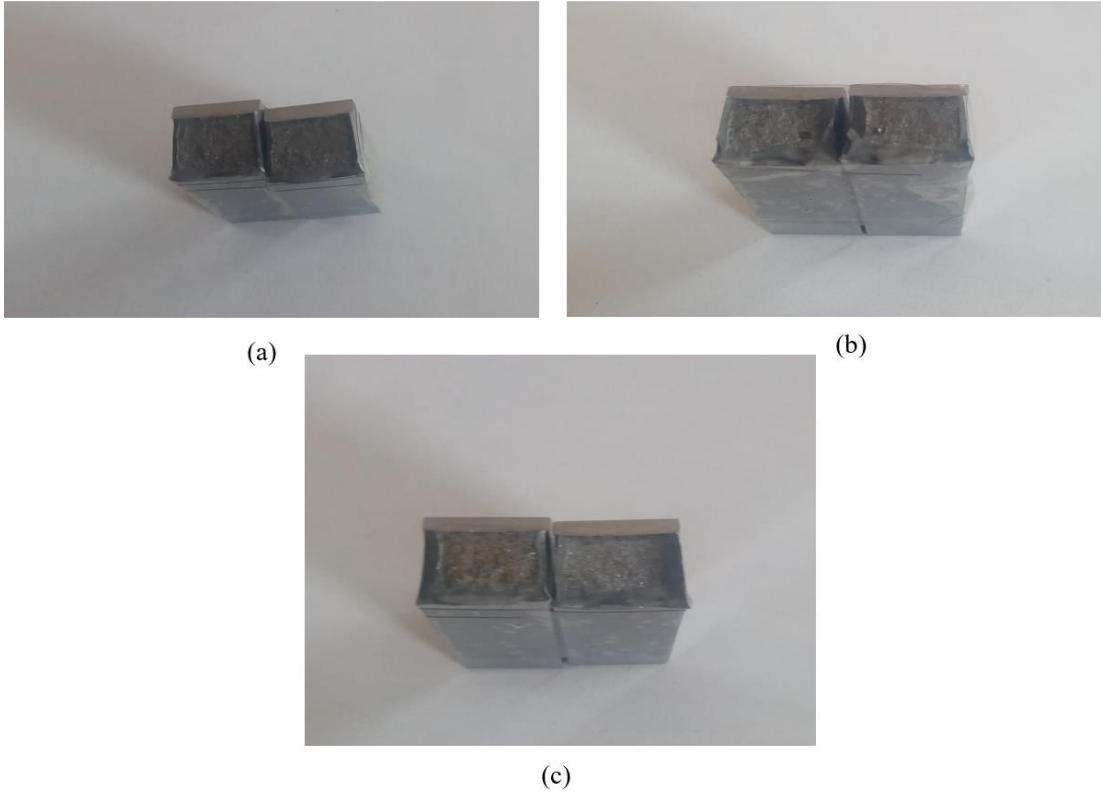


Şekil 4.1: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerin çekme ve akma dayanımlarının grafik olarak gösterimi



Şekil 4.2: GeKa Tempo B65 elektrotu ile kaynakları yapılmış olan numunelerinin darbe enerjilerinin grafik olarak gösterimi

Tüm elektrotları birlikte karşılaştıracak olursak Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrot en yüksek darbe enerjisine (79 J) sahip olmuştur. Tane inceltici kullanılan 6360 kodlu elektrotun darbe enerjisi 63 J, Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotun darbe enerjisi 62 J'dür. Şekil 4.3'te çentik darbe deneyi sonucunda üç numunenin kırılma yüzeyleri verilmiştir.



Şekil 4.3: Çentik darbe deneyi sonrası numunelerin kırılma yüzeyleri (a) 6356, (b) 6357, (c) 6360

Çentik darbe deneylerinin sonucunda elektrotların kırılma yüzeyleri incelendiğinde; Üç elektrotunda sünek olarak değil gevrek bir şekilde kırıldığı görülmüştür.

CTOD Testi -10°C’de ISO 15653 standardına göre yapılmıştır.

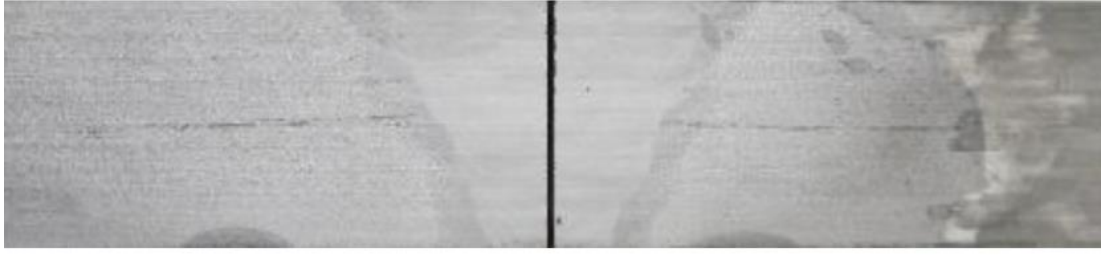
Çizelge 4.2: CTOD Test Değerleri

Oda Sıcaklığındaki Akma Dayanımı (MPa)	550	Test Sıcaklığındaki Akma Dayanımı (MPa)	572
Oda Sıcaklığındaki Çekme Dayanım (MPa)	630	Test Sıcaklığındaki Çekme Dayanımı (MPa)	656
Mesnet Mesafesi (mm)	64	Numune Tipi	SENB
Ön Çatlak Sıcaklığı	RT	Ön Çatlak Son Yüğü (N)	4750
Bıçak Tipi	Integral	Bıçak Kalınlığı (mm)	0
Test Hızı (mm/dak)	1.50	Yer Değıştirme Kontrolü	Yer değıştirme

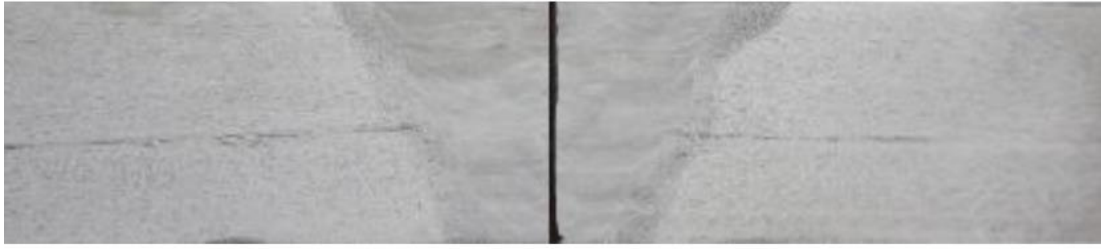
Çizelge 4.3: Numune Bilgileri

	6356	6357	6360
Çatlak Düzlem Konumu	NP	NP	NP
Çentik Pozisyonu	Kaynak Yeri	Kaynak Yeri	Kaynak Yeri
Kalınlık (mm)	15.90	15.87	15.89
Geniřlik (mm)	15.98	16.00	15.98
Boyutsal Kontrol	Geçerli	Geçerli	Geçerli

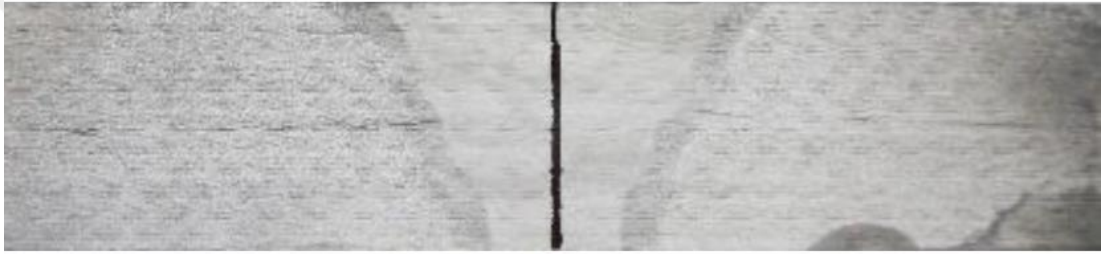
Her üç elektrotunda sırasıyla CTOD testi öncesi makro fotoğrafları Şekil 4.4’te verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.4: CTOD testi öncesi makro fotoğrafları a) 6356 b) 6357 c) 6360

Şekil 4.3'te verilen CTOD testi öncesi makro görüntüleri incelendiğinde; Si ilavesi yapılmış olan 6356 kodlu elektrotun kaynak bölgesi ve ITAB'ın çok dar olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi; Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotun kaynağındaki ısı girdisi değerlerinin düşük olmasıdır. Isı girdisi değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Si miktarı azaltılmış olan 6357 kodlu elektrotun kaynak bölgesi ve ITAB'ın oldukça geniş olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise; Si miktarı azaltılmış olan 6357 kodlu elektrotun kaynağındaki ısı girdisi değerlerinin yüksek olmasıdır. Isı girdisi değerleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

İçerisine tane inceltici olarak Ti katılmış olan 6360 kodlu elektrotun kaynak bölgesi ve ITAB'ın orta düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise; içerisine tane inceltici olarak Ti katılmış olan 6360 kodlu elektrotun kaynağındaki ısı girdisi değerlerinin orta seviyede olmasıdır. Isı girdisi değerleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

CTOD testi sonuçları ve çatlak boyu ölçümleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4: CTOD testi sonuçları ve çatlak boyu ölçümleri

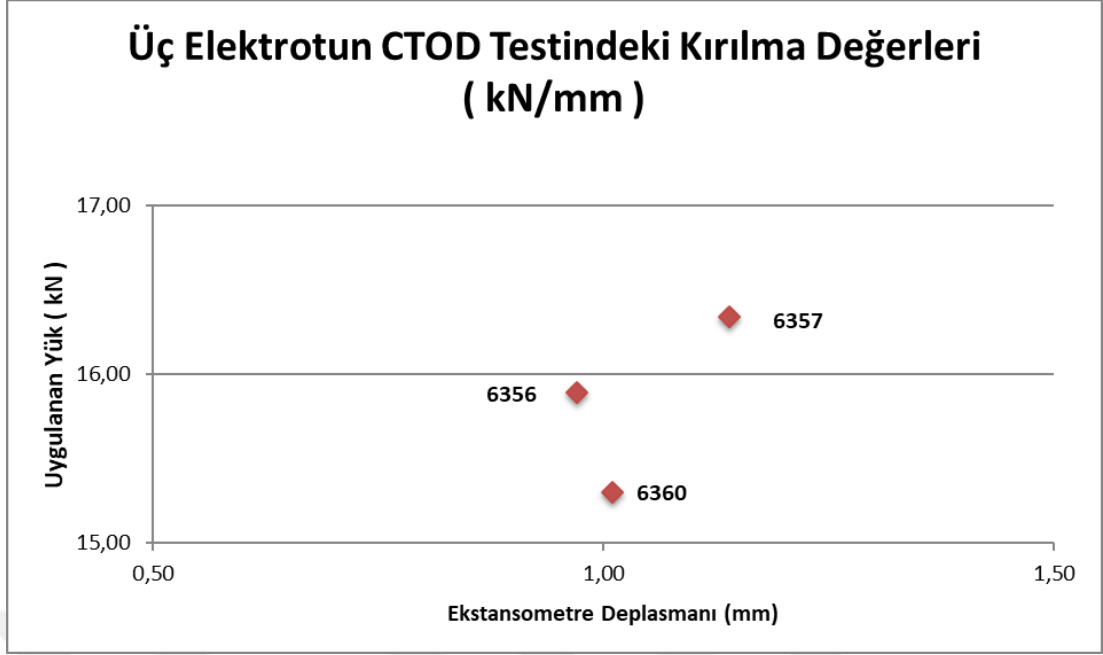
	6356	6357	6360
İşlenmiş Çentik Boyu (mm)	5.50	5.50	5.50
İlk Çatlak Boyu (mm)	8.09	7.98	8.24
Ön Çatlak Boyu (mm)	2.59	2.48	2.74
İlk Bağlı Çatlak Boyu (a ₀ /W)	0.51	0.50	0.52
Geçerlilik	Geçerli	Geçerli	Geçerli
Son Çatlak Boyu (mm)	8.61	8.52	8.77
Ortalama Çatlak Uzaması (mm)	0.51	0.54	0.54
Kırılma Tipi (C,U,M)	M	M	M
Ekstansometre Deplasmanı (mm)	0.97	1.14	1.01
CTOD Değerindeki Yük (kN)	15.89	16.34	15.30
CTOD Değeri (mm)	0.299	0.355	0.303

Bu sonuçlara göre en iyi CTOD değeri Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrotta gözlemlenmiştir. Daha önceden de en iyi çentik darbe direncine sahip olan elektrot Si miktarı azaltılan 6357'ydi.

CTOD Testi malzemenin kırılma mekaniğini görmemizi sağlayan, malzemenin çatlakların ilerlemesine gösterdiği direncini belirleyen bir testtir. Test numunesi üzerine önceden açılan çentik, bu çentiğe bağlı bir ölçüm cihazı ve yapılan eğme sonucunda çatlakların ilerlemesinin incelenmesi ile test yapılır. Test sırasında ve sonrasında çatlakların ne kadar ilerlediği ve ne şekilde ilerlediği gözlemlenir.

Testin asıl amacı malzemenin belli bir yük karşısında çatlayıp çatlamadığı değil, çatlak tespit edildikten sonra kritik olması için ne kadar zaman geçeceği ve çatlak tespiti için hangi yöntemin uygun olacağı ile ilgili bilgileri alabilmektedir.

Üç elektrotun da CTOD testindeki uygulanan yüke (kN) karşı, ekstansometre deplasmanına (mm) göre hesaplanan kırılma değerleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Üç elektrotun CTOD testindeki kırılma değerleri

Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotun CTOD deney numunesinin test sonuçları incelendiğinde, ilk çatlak boyu 8,09 mm iken, son çatlak boyu 8,61'dir. Ortalama çatlak uzaması 0,51 mm olmuştur. CTOD testinde Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrot numunesine uygulanan yük 15,89 kN iken numunenin ekstansometre deplasmanı 0,97 mm'dir.

Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrotunun CTOD deney numunesinin test sonuçları incelendiğinde, ilk çatlak boyu 7,98 mm iken, son çatlak boyu, 8,52 mm'dir. Ortalama çatlak uzaması 0,54 mm olmuştur. CTOD Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrot numunesine uygulanan yük 16,34 kN iken numunenin ekstansometre deplasmanı 1,14 mm'dir.

Ti ilavesiyle birlikte ince taneli yapıya sahip olan 6360 kodlu elektrotun CTOD deney numunesinin test sonuçları incelendiğinde, ilk çatlak boyu 8,24mm iken, son çatlak boyu 8,77 mm'dir. Ortalama çatlak uzaması 0,54 mm olmuştur. CTOD testinde Ti ilavesiyle birlikte ince taneli yapıya sahip olan 6360 kodlu elektrot numunesine uygulanan yük 15,30 kN iken, numunenin ekstansometre deplasmanı 1,01 mm'dir.

GENEL SONUÇLAR

Deney sonuçları genel olarak gözlenip incelendiğinde düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında malzemenin tane boyutunun incilmesi ve Si miktarının artırılmasıyla kaynak malzemesinin mekanik özelliklerinde sadece akma ve çekme dayanımlarına olumlu yönde etki ettiği, darbe direncine ise olumsuz yönde etki ettiği gözlemlenmiştir. Elbette buradaki tek parametre kimyasal bileşim değildir.

Tüm elektrotları birlikte karşılaştıracak olursak Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrot en yüksek darbe enerjisine (79 J) sahip olmuştur. Tane inceltici kullanılan 6360 kodlu elektrotun darbe enerjisi 63 J, Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotun darbe enerjisi 62 J'dür.

Si ilavesi ve tane inceltilmesinin darbe dirençlerine pozitif yönde etki etmemesinin bir sebebi de ısı çevrimleridir. Kaynak yapılırken kaynağa giren amper ve voltaj miktarıyla birlikte kaynak süresi ısı girdisini belirlenir ve ısı girdisi bu konuda önemli bir parametredir. Kaynak yapıldıktan sonra kaynak bölgesi pasolar arası sıcaklık değerine düşünceye kadar beklenir. Bu bekleme esnasında kaynak bölgesinden ısı çıkışları olur. Kaynak esnasında giren ısı soğuma esnasında kaynak bölgesinden çıkar. Isı girişi ve ısı çıkışı kaynak dikişinin mukavemeti açısından önemlidir.

Her üç elektrotunda çentik darbe deneylerinin sonucundaki kırılma şekillerine bakıldığında; Üç elektrotunda sünek olarak değil gevrek bir şekilde kırıldığı gözlemlenmiştir.

Kaynağın en az enerji ile yapılması gerektiğinden dolayı, kaynakta ısı girdisinin en düşük seviyede olması istenir. Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotun kaynağındaki ısı girdisi değerleri düşüktür. CTOD testi öncesi makro görüntüleri incelendiğinde; Si ilavesi yapılmış olan 6356 kodlu elektrotun kaynak bölgesi ve ITAB'ın çok dar olduğu gözlemlenmiştir. Si miktarı azaltılmış olan 6357 kodlu elektrotun kaynak bölgesi ve ITAB'ın geniş olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise; Si miktarı azaltılmış olan 6357 kodlu elektrotun kaynağındaki ısı girdisi değerlerinin yüksek olmasıdır. İçerisine tane inceltici olarak Ti katılmış olan 6360 kodlu elektrotun kaynak bölgesi ve ITAB'ın orta düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise; içerisine tane inceltici olarak Ti katılmış olan 6360 kodlu elektrotun kaynağındaki ısı girdisi değerleri orta düzeydedir.

Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrotun CTOD deney numunesinin test sonuçları incelendiğinde, ilk çatlak boyu 7,98 mm iken, son çatlak boyu, 8,52 mm'dir. Ortalama çatlak uzaması 0,54 mm olmuştur. CTOD testinde Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrot numunesine uygulanan yük 16,34 kN iken numunenin ekstansometre deplasmanı 1,14 mm'dir. Bu sonuca göre Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrotun deney numunesi en yüksek yük değerine dayanmıştır. Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrot, Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotun ve Ti ilavesiyle birlikte ince taneli yapıya sahip olan 6360 elektrot numunesine göre en düşük ilk ve son çatlak boylarına sahiptir. Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrotun ekstansometre deplasman değeri, Si ilavesi yapılan 6356 kodlu elektrotun ve Ti ilavesiyle birlikte ince taneli yapıya sahip olan 6360 elektrot numunesinin değerine göre en düşük seviyede olduğu gözlemlenmiştir.

Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrotun en iyi tokluk değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrotu ile Ti ilavesiyle birlikte ince taneli yapıya sahip olan 6360 kodlu elektrotun ortalama çatlak uzaması değerleri aynıdır. Ti ilavesiyle birlikte ince taneli yapıya sahip olan 6360 kodlu elektrotun kırılması için gerekli olan enerji miktarı, Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrotunun kırılması için gerekli olan enerjiden daha düşüktür.

Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrot, üç numuneye de uygulanan yükler arasında en yüksek yüke dayandığı gözlemlenmiştir. Bu direnç karşısında diğer elektrotlara göre çatlağın büyümesine daha az izin vermiştir.

CTOD testi sonucunun, çentik darbe deney sonucu ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. En iyi çentik darbe direncine sahip olan Si miktarı azaltılan 6357 kodlu elektrot, CTOD testinde de en iyi CTOD değerine sahip olmuştur.

Normal şartlarda kaynakta ısı girdisinin en düşük seviyede olması, kaynak dikişinin mukavemetine olumlu yönde etki gösterir. Bu çalışmadaki sonuçlar incelendiğinde; Si miktarı azaltılmış 6357 kodlu elektrot en yüksek ısı girdisine sahip olmasına rağmen, en yüksek çentik darbe direncine ve CTOD değerine sahiptir.

5 KAYNAKÇA

- [1] ANIK, Selâhaddin. (1991). KAYNAK TEKNİĞİ EL KİTABI. 1-12.
- [2] Cary, Howard B. (1998).Modern Welding Technology.
- [3]<<http://w3.bilecik.edu.tr/makine/wpcontent/uploads/sites/27/2016/12/kaynakteknigi-f%C3%B6y-notu.pdf>. >, Alıntı Tarihi: 18 12 2019.
- [4] ANIK, Selâhaddin, TÜLBENTÇİ, Kutsal ve KALUÇ, Erdiñç. ÖRTÜLÜ ELEKTROD İLE ELEKTRİK ARK KAYNAĞI. İSTANBUL, 1991. 3-92.
- [5]<<http://mme.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2017/07/Metalikmalzemeler-2hafta.pdf>. >, Alıntı Tarihi: 2019 12 19.
- [6] Mannan, Sam. (2012) Pressure System Design Chapter 12. *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*, 522.
- [7] Singh, Ramesh. Chapter 6 - Classification of Steels. Applied Welding Engineering. 2016, 57-64.
- [8] Singh, Ramesh. (2016) Effects of Alloying Elements Chapter 2. Applied Welding Engineering: Processes, Codes, and Standards. 219-220.
- [9] Jorge Carlos Ferreira Jorge, ve diğ erleri. (2018) Journal of Materials Research and Technology. V: 8, Influence of welding procedure and PWHT on HSLA steel weld metals. s.561-571
- [10] <<http://www.detayquality.com/teknik/46.pdf>.> Alıntı Tarihi: 2019 12 20.
- [11] İŞİK, Ali Oğuz. (2014) Mag Kaynağında Özlü Tel Elektrod Tipinin Kaynak Dikiş i Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi. Haziran.
- [12] ÇAPIN, Hasan Fehmi. (2014) S235 JR Alaş ımsız Çelik Boruların Dik Pozisyonda Orbital Kaynak Cihazı İle Birleşt irilmesi Ve Uygulamanın Optimizasyonu İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul, 5-30.
- [13] Antonini, JM. (2003) Health Effects Associated with Welding . 50-51.
- [14] Xuyang Chen, Gang Yu, Xiuli He, Shaoxia Li, Zhiyong Li. (2019) Development of novel MIG welding process with duplex current feeding. 2-4.

- [15] K lahlı, Emin. (1988) KAYNAK BİLİMİ. 2-5.
- [16] ZHANG, Z.D. (2018) CHAPTER 13 Variable polarity plasma arc welding. Welding and Joining of Magnesium Alloys. 1-4.
- [17] Li, Tian Qing Lu Chen, Yu Zhang, Xi Mou Yang, Yu Cheng Lei. (2019) Metal flow of weld pool and keyhole evolution in gas focusing plasma. 2-4.
- [18] Muncaster, Peter W. (1991) CHAPTER 3 Basic TIG welding requirements. A Practical Guide to TIG (GTA) Welding. 15.
- [19] Mahajan, Sumit ve Chhibber, Rahul. (2019) Design And Development Of Cao–Sio2–Caf2 And Cao–Sio2–Al2O3 Based Electrode Coatings To Weld Low Alloy Ferritic Steels For Power Plant Applications. 1-6.
- [20] G ls z, A. (2007)  z l  Tel Elektrotların  nemi ve Kaynak  zellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Universitesi.
- [21] Kahraman, Fatih. (2002) Masif Ve  z l  Telle Yapılmış Gazaltı Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Dokuz Eyl l Üniversitesi. İzmir. 45.
- [22] Houldcroft, J. ve John, R. (2001) A Guide to Fusion Welding and Associated Cutting Processes. Welding and cutting. 50-120.
- [23] Bj rgren, L Hedström, G Lindstedt. (1984) British Journal of Industrial Medicine Urinary fluoride concentration as an estimator of welding fume exposure from basic electrodes.
- [24] BAKANLIĐI, T.C MİLLİ EĞİTİM. (2011) Selülozik ve Bazik Elektrotlarla Kaynak. *Megep*. Ankara. s.11
- [25] OĞUZ, Burhan. (1989) Ark Kaynağı Elektrod Standartları.
- [26] ÇEVİK, Bekir. (2013)  rt l  Elektrot Ark Kaynağı Ve Mığ Kaynağında Akım Şiddetinin Kaynak N fuziyetine Etkisinin İncelenmesi. Düzce, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 2. 22-28.
- [27] Khayal, Osama. Atbara. (2019) Laboratory Experiments Tensile Testing. 2-4.
- [28] Bernt S.Aadn y, Reza Looyeh. (2019). Chapter 4 Theory of Elasticity. Petroleum Rock Mechanics. 41.
- [29] <<https://docplayer.biz.tr/362707-Cekme-deneyi-1-malzeme-muhendisligi-bolumu-1-deneyin-amaci.html>. >, Alıntı Tarihi: 25 12 2019.
- [30] Haldun DİZDAR, Bülent AYDEMİR, Cemal VATAN. (2018) ISO 6892-1 VE ASTM E8  ekme Deneysel Standartları Arasındaki Farklılıklar. Kocaeli. 2-6.
- [31] <<http://kisi.deu.edu.tr//mehmet.aktas/MMD-3.pdf>.> Alıntı Tarihi: 26 12 2019.

- [32] <www.maktoloji.com>, Alıntı Tarihi: 26 12 2019.
- [33] David R.H.Jones, Michael F.Ashby. (2019) Chapter 9 - Yield Strength, Tensile Strength, and Ductility. Engineering Materials., 155.
- [34] Valeria Pettarin, Patricia Frontini, Guillermo Eliabe. (2003) Inverse Method for the Analysis of Instrumented Impact Tests of Polymers.
- [35] Açıkbaş, NURCAN . (2014) Mühendislikte Deneysel Metodlar Dersi, Metalik Malzemelerin Deney Föyü Őeyh Edebalı Üniversitesi . Bilecik, 3-8.
- [36] <<https://web.itu.edu.tr/~arana/charpyfatigue.pdf>>, Alıntı Tarihi: 31 12 2019.
- [37] Evren Yasa, Jan Deckers, Jean-Pierre Kruth, Marleen Rombouts, Jan Luyten. Leuven. (2013) Charpy impact testing of metallic selective laser melting parts. 89-99.
- [38] <www.cdn.bartın.edu.tr> makine > darbedeneyleri >, Alıntı Tarihi 02 01 2020.
- [39] Julián A. Ávila, Vinicius Lima, Cassius O. F. T. Ruchert, Paulo Roberto Mei, Antonio J. Ramirez. (2016) Guide for Recommended Practices to Perform Crack Tip Opening Displacement., 290-302.
- [40]<http://kisi.deu.edu.tr/evren.toygar/FRACTURE%20MECHANICS/fracture_6news.week.pdf>, Alıntı Tarihi: 02 01 2020
- [41] Ay, İrfan. (1995) Uyumsuz Oluřum (Mismatching) Gösteren Kaynaklı Yapıların Kırılma Tokluğuna Etki Eden Faktörler ve Bu Yapılarda CTOD Tasarım Eğrisi Yorumu. Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi.
- [42] T.Ishikawa, K.Tanaka. (1984) Development Of Fatigue Ctod Test For Investigation Of Brittle Regions In Welded Joints.
- [43] <www.twi-global.com>, Alıntı Tarihi: 02 01 2020.
- [44] <www.wmtr.com>, Alıntı Tarihi: 02 01 2020.
- [45] Weiyong Wang, Venkatesh Kodur. (2020) Chapter 3 - Tensile test on steels at elevated temperatures. Material Properties of Steel in Fire Conditions. 44.
- [46] Gedik Holding. General Product Catalogue. 27.
- [47] <<http://www.tientai.com/en/companynews/info.aspx?itemid=417>>, Alıntı Tarihi: 10 01 2020.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Abdullah Koray PEHLİVAN

Doğum Tarihi ve Yeri: Kadıköy / 08.09.1995

E-posta: pehlivanabdullah34@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans: 2017, Cumhuriyet Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Yüksek Lisans: 2018 Gedik Üniversitesi, Savunma Teknolojileri (Devam ediyor)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Waternet Su Hizmetleri A.Ş. 03/2019 – 05/2019

Woongjin Eversky A.Ş. 06/2019 – 09/2019