

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**FARKLI ÖZLÜ TELLER KULLANILARAK YAPILAN ROBOTİK
KAYNAK BİRLEŞTİRMELERİNİN MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alaaddin HOŞKUN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

AĞUSTOS-2021

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**FARKLI ÖZLÜ TELLER KULLANILARAK YAPILAN ROBOTİK
KAYNAK BİRLEŞTİRMELERİNİN MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Alaaddin HOŞKUN
(191222001)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Tuba KARAHAN

AĞUSTOS-2021

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum '**Farklı Özlü Teller Kullanılarak Yapılan Robotik Kaynak Birleştirmelerinin Mikro Yapı Özelliklerinin İncelenmesi**' adlı 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.(11/08/2021)

Alaaddin HOŞKUN

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamda benden hiçbir zaman bilgi ve birikimini esirgemeyen, beni yönlendiren ve desteğini eksik etmeyen tez danışmanım Dr. Tuba KARAHAN hocama teşekkür ederim. Her türlü teknolojik açıdan imkanları sağlayan, malzeme, ekipman ve cihaz tedariki sağlayan Gedik Holding firmasına teşekkürlerimi sunarım. Aynı zaman da tez çalışması hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen ve bütün testler aşamasında bize yardımcı olan Gedik Kaynak Ar-Ge Test Merkezi çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Benimle birlikte bu tez çalışmasında emek harcayan kıymetli eşim Merve HOŞKUN' a ve neşesiyle beni hayata bağlayan sevgili oğlum Ayaz Asaf HOŞKUN' a teşekkür ederim.

Maddi manevi desteklerini esirgemeyen babam ve annem Ayhan ve Nazmiye HOŞKUN' a her zaman destek olan kardeşim Onur HOŞKUN' a üniversite yıllarımdan dostum olan arkadaşım ve meslektaşım Alparslan TOPCU' ya her türlü desteğinden dolayı teşekkür ederim.

AĞUSTOS 2021

Alaaddin HOŞKUN

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
2.GAZALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ	4
2.1 Yöntemlerin Tarihsel Gelişimi	4
2.2 Yöntemlerin Sınıflandırılması.....	4
2.3 MIG-MAG Kaynağı.....	5
2.3.1 Kaynağın tanımı.....	5
2.3.2 MIG-MAG kaynak yöntemlerinde kullanılan gazlar	6
2.3.2.1 Asal gazlar	6
2.3.2.2 Aktif gazlar (CO ₂).....	7
2.3.2.3 Karışım gazlar	9
2.3.3 Kaynak tabancası (torcu) ve hortum paketi.....	10
2.3.4 Tel besleme	12
2.3.5 Kumanda tertibatı	13
2.4 Tungsten Asal Gaz Kaynağı (TIG).....	14
2.4.1 Tanımı.....	14
2.4.2 Avantajları ve kısıtlamaları.....	15
2.4.3 Kullanılan dolgu malzemeleri ve yardımcı gazlar	15
3. ÖZLÜ TEL ELEKTRODLAR	16
3.1 Rutil Özlü Tel Elektrodlar.....	19
3.2 Bazik Özlü Tel Elektrodlar.....	20
3.3 Metal Özlü Tel Elektrodlar	20
4. ARK KAYNAĞI ROBOTUNDA OLMASI GEREKEN ÖZELLİKLER.....	21
4.1 Çalışma Hacmi ve Serbestlik dereceleri	21
4.2 Hareketin Kesinliği	21
4.3 Ara Yüzleme	21

4.4 Programlama.....	21
5. ROBOTLU KAYNAK SİSTEMLERİ.....	23
5.1 Sanayi Robotları.....	23
5.2 Robot Sistemleri.....	26
5.3 Endüstriyel Robotların Genel Özellikleri.....	27
6. ROBOT SEÇİMİ.....	28
6.1 Çalışma Hacmi.....	28
6.1.1 Tamlık.....	28
6.2 Tekrarlanabilirlik.....	28
6.3 Yük Taşıma Kabiliyeti ve Hız.....	28
6.4 Kontrol Ünitesi.....	29
6.5 Yazılım.....	30
7. ÇELİKLERE GENEL BAKIŞ.....	31
7.1 Malzeme Kristal Yapısı.....	31
7.1.1 Kristal Tipleri.....	31
7.2 Demir-Karbon Grafiği.....	33
7.3 Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkisi.....	35
7.4 Isıl İşlemler.....	38
7.5 Sertleştirme Amaçlı Olmayan Isıl İşlemler.....	39
7.5.1 Difüzyon ve homojenleştirme tavlaması.....	39
7.5.2 Kaba tane tavlaması.....	39
7.5.3 Normalizasyon tavlaması.....	39
7.5.4 Yumuşatma ve küreleştirme tavlaması.....	40
7.5.5 Gerilim giderme tavlaması.....	40
7.5.6 Yeniden kristalleşme tavlaması.....	40
7.6 Sertleştirme Amaçlı Olan Isıl İşlemler.....	41
7.6.1 Yüzey sertleştirme işlemleri.....	41
7.6.2 Su Verme, sertleştirme.....	41
7.7 TTT Diyagramları (Su Verme).....	42
8. DENEYDE KULLANILAN SARF MALZEMELER.....	43
8.1 Ana Malzeme (S355J2N).....	43
8.2 ELCOR R 81 Ni ve ELCOR M 80 Ni Kaynak Telleri.....	45
9. DENEYLERDE KULLANILAN TEST PARÇALARININ MUAYENE YÖNTEMLERİ.....	47
9.1 Tahribatsız Muayene Yöntemleri.....	47
9.1.1 Görsel muayene.....	47
9.1.2 Radyografik muayene.....	48
9.1.3 Sıvı penetrant testi.....	48

9.1.4 Ultrasonik muayene	49
9.2 Tahribatlı Muayene Yöntemleri	50
9.2.1 Sertlik deneyi.....	51
9.2.2 Bükme deneyi	53
9.2.3 Çekme deneyi.....	54
9.2.4 Kırılma tokluğu deneyleri	55
10. DENEY PARÇALARI HAZIRLIKLARI	59
10.1 Kaynak Test Parçasının Kaynak Öncesi Hazırlığı.....	59
10.2 ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Kaynağında Kullanılan Parametreler	59
10.3 ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Kaynağında Kullanılan Parametreler	63
11. UYGULANAN TESTLER ve NUMUNELERİN HAZIRLANMASI.....	67
11.1 Görsel Muayene.....	67
11.2 Çentik Darbe Testi.....	67
11.3 Çekme Testi.....	70
11.4 Sertlik Testi.....	72
11.5 Makro ve Mikro Yapı İnceleme	72
12. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	75
12.1 Görsel Muayenenin Sonuçları.....	75
12.2 Çentik Darbe Testinin Sonuçları	75
12.3 Çekme Testinin Sonuçları.....	78
12.4 Sertlik Testinin Sonuçları.....	81
12.5 Makro Yapının Sonuçları	84
12.6 Mikro Yapının Sonuçları	85
13. GENEL SONUÇLAR	89
KAYNAKÇA.....	91
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

KISALTMALAR

A	: Akım
Ar	: Argon
CO₂	: Karbondioksit
DC	: Doğru Akım
EN	: Avrupa Standardı
He	: Helyum
HV	: Vickers Sertlik
ISO	: Uluslararası Standart
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
MIG	: Metal Inert Gaz
MAG	: Metal Aktif Gaz
TS	: Türk Standartı
TIG	: Tungsten Inert Gaz

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1: TIG Kaynak Çubuğundaki Kısa Kodlama Açıklaması [12].....	15
Tablo 8. 1: TS EN10025-2 Standardına Göre S355J2+N Kimyasal Bileşimi (%) [30]	44
Tablo 8. 2: TS EN10025-2 Standardına Göre S355J2+N Mekanik Özellikleri [30] ..	44
Tablo 8. 3: Kaynak Metalinin Kimyasal Bileşimi (%) [25].....	45
Tablo 8. 4: Mekanik Değerleri [25]	45
Tablo 8. 5: Kaynak Metalinin Kimyasal Bileşimi (%) [25].....	46
Tablo 8. 6: Mekanik Değerleri [25]	46
Tablo 10. 1: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel İçin Kaynak Öncesi Standartlara Uygun Olarak Yapılan Hazırlıklar.....	60
Tablo 10. 2: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel İçin Kaynak Detayları	61
Tablo 10. 3: ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel İçin Kaynak Öncesi Yapılan Hazırlıklar	64
Tablo 10. 4: ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel İçin Kaynak Detayları.....	65
Tablo 12. 1: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Test Sonuçları	76
Tablo 12. 2: ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Test Sonuçları	77
Tablo 12. 3: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Telin Sertlik Değerleri.....	82
Tablo 12. 4: ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Telin Sertlik Değerleri	83

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 : Gazaltı Kaynak Yöntemleri [9]	5
Şekil 2. 2:Çeşitli Asal Gaz ve Karışım Gaz Atmosferlerinde Oluşan Ark Gerilimi [26].	7
Şekil 2. 3:CO ₂ Atmosferinde Oluşan Tepkimeler [26].	9
Şekil 2. 4: MIG-MAG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar [27].	10
Şekil 2. 5:Otomatik Gaz Soğutmalı MIG-MAG Kaynak Torcu [11].	11
Şekil 2. 6: İki Makaralı ve Tel Düzeltme Tertibatlı Tel Sürme Mekanizması Şeması [11].....	13
Şekil 2. 7: Planet veya Dönel Tel Sürme Tertibatı Prensi Şeması [11].	13
Şekil 2. 8: TIG Kaynak Cihazın Şeması ve Kaynak Prosesi Detayı[12].....	15
Şekil 2. 9: TIG Kaynağında Kullanılan Gaz ve Gaz Karışımlarının Nüfuziyete Etkisi [12].	16
Şekil 3. 1: Özlü Tel Üretimi [4].	17
Şekil 3. 2: Özlü Elektrodlerde en çok Kullanılan Kesit Formları ve Dolgu Dereceleri [4]	19
Şekil 5. 1: Kaynaklı Birleştirmede Sanayi Robotlarının Kullanımı[14]	26
Şekil 5. 2: Çeşitli Robot Anatomileri İçin Çalışma Hacimleri a) Kutupsal, b) Silindirik c) Kartezyen [7].....	27
Şekil 6.1: Geometrik Konfigürasyon ve Çalışma Hacmine Göre Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması [28]	29
Şekil 7. 1:a) Hacimsel Kafes, b) Birim Hücre	31
Şekil 7. 2:Kristal Referans Eksenleri [33]	32
Şekil 7. 3:Sınırlı Demir-Karbon Sistemi. Kesikli Çizgiler Stabil Sistemi, Düz çizgiler ise metastabil sistemi gösterir[34].	35
Şekil 7. 4:Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler [35]	38
Şekil 7. 5:Normalizasyon Tavı Isıl İşlem Diyagramı [35].....	39
Şekil 7. 6: TTT Diyagramı [36]	42
Şekil 8. 1: Test Parçasının V-Kaynak Ağzı	44
Şekil 8. 2:Kaynak Test Parçası Görünümü.....	44
Şekil 9. 1:Ultrasonik Titreşimler Yardımı ile Hataların Tespiti [16].	50
Şekil 9. 2:Vickers Sertlik Deneyinin Prensi Şeması [16]	52
Şekil 9. 3:Brinell Sertlik Ölçme Deneyinin Prensi Şeması [16]	52
Şekil 9. 4:Çekme Test Deney Numunesi	55
Şekil 9. 5:Çentik Darbe Test Düzeneği [17].....	57
Şekil 9. 6:Çentik Darbe Test Numuneleri [17]	57
Şekil 10. 1:Test Parçasının Aparatlarla Sabit Tuturulması.....	59
Şekil 10. 2:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel İçin V-Kaynak Ağzı Şematik Gösterimi.....	60
Şekil 10. 3:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Telin Kaynağı Esnasından Bir Görüntü	62
Şekil 10. 4:Pasolar Arası Bir Kaynak Dikişinin Görüntüsü	62
Şekil 10. 5:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Kaynağının Dikiş Görüntüsü	63
Şekil 10. 6:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel İçin V-Kaynak Ağzı Şematik Gösterimi	63
Şekil 10. 7:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Telin Kaynağında Bir Görüntü.....	65
Şekil 10. 8:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Kaynağında Ara Pasolarında Bir Görüntü	66
Şekil 10. 9:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Kaynağının Dikiş Görüntüsü	66

Şekil 11. 1: Çentik Test Numuneleri.....	68
Şekil 11. 2: Çentik Darbe Test Cihazı	68
Şekil 11. 3: Test Numunelerini -30°C, -40°C ve -50°C'ye Soğutulması.....	69
Şekil 11. 4: Çentik Test Deneyi Esnasında Bir Görüntü.....	69
Şekil 11. 5: Çekme Test Numunesi	70
Şekil 11. 6: Her İki Numune İçinde Hazırlanan Çekme Test Numunesi	70
Şekil 11. 7: Çekme Test Cihazı	71
Şekil 11. 8: Çekme Testi Esnasında Bir Görüntü	71
Şekil 11. 9: Sertlik Test Cihazı	72
Şekil 11. 10: Makro ve Mikro Hazırlık Öncesi Numune Test Parçası	73
Şekil 11. 11: Zımparalama ve Parlatma için Kullanılan Cihaz	73
Şekil 11. 12: Dağlama Esnasından Bir Görüntü.....	74
Şekil 11. 13: Stereo Mikroskoptan Makro Görüntülerin Alınması.....	74
Şekil 11. 14: Işık Metal Mikroskop Cihazında Mikro Görüntülerin Alınması	74
Şekil 12. 1: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel ve ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Kaynağı Görüntüsü	75
Şekil 12. 2: ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel ve ELCOR R81 Ni Rutil Özlü Telin Çentik Test Grafiği.....	77
Şekil 12. 3: ELCOR R 81 Ni Rutil ve ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel kaynağının Çentik Testi Deneyi Sonrası Numune Görünümü	78
Şekil 12. 4: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Kaynağın Çekme Test Sonuçları	79
Şekil 12. 5: ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Telin Kaynağın Çekme Test Sonuçları	80
Şekil 12. 6: Çekme Testi Sonucunda Test Numunelerinin Görüntüsü.....	80
Şekil 12. 7: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel için Sertlik Değerlerinin Alındığı Noktalar	82
Şekil 12. 8: ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel için Sertlik Değerlerinin Alındığı Noktalar	83
Şekil 12. 9: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel ve ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Sertlik Grafiği ...	84
Şekil 12. 10: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel ve ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Kaynağının Makro Görüntüsü.....	85
Şekil 12. 11: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel ile Yapılan Kaynakta Ana Metalin (BM) Mikro Görüntüleri.....	86
Şekil 12. 12: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel ile Yapılan Kaynakta Isı Tesiri Altında Kalan Bölgenin (ITAB) Mikro Görüntüleri	86
Şekil 12. 13: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Kullanılarak Kaynak Yapılan Kaynak Metalin (WM) Mikro Görüntüleri.....	87
Şekil 12. 14: ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel ile Yapılan Kaynakta Ana Metalin (BM) Mikro Görüntüleri.....	87
Şekil 12. 15: ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel ile Yapılan Kaynakta Isı Tesiri Altında kalan Bölgenin (ITAB) Mikro Görüntüleri	88
Şekil 12. 16: ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel ile Yapılan Kaynakta Kaynak Metalinin (WM) Mikro Görüntüleri.....	88

FARKLI ÖZLÜ TELLER KULLANILARAK YAPILAN ROBOTİK KAYNAK BİRLEŞTİRMELERİNİN MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

MAG kaynağının kullanım alanları sahip olduğu avantajlar nedeniyle endüstride giderek artmaktadır. MAG kaynağındaki en önemli noktalardan bir tanesi de tel elektrod seçimidir. Uygun tel elektrod seçimi kaynak metalinin bileşimi, gerekli ve belirli mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamalıdır.

Bu çalışmada, yapı çeliği olan S355J2+N kalite malzemenin Robotik MAG kaynağı rutil özlü tel (ELCOR R 81 Ni) ve metal özlü telin (ELCOR M 80Ni) ile gerçekleştirilmiştir.

Farklı tipte özlü tel elektrodların, aynı malzeme üzerinde kaynak dikişinin mekanik özelliklerine etkilerini saptamak amacıyla çekme, sertlik, çentik darbe deneyleri yapılarak makro ve mikro yapıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Robotik MAG Kaynağı, özlü tel elektrodlar, Mekanik testler Metalografi.

MICROSTRUCTURE PROPERTIES INVESTIGATION OF THE ROBOTIC WELD JOINTS USING DIFFERENT CORED WIRES

ABSTRACT

The usage fields of the MAG welding is increasing due to its distinctive advantages. The selection of the wire electrode is one of the most important points of the MAG welding application. The wire electrode should satisfy required and specified mechanical and physical properties.

In the present study, the welding operation of the rutile-cored wire (ELCOR R 81 Ni) and metal-cored wire (ELCOR M80Ni) with S335J2+N structural steel was carried out using robotic MAG welding.

To determine the effects of different flux-cored wire electrode types on the mechanical properties of the welding seam on the same material, macro and microstructure analysis were performed and the tensile, hardness, notch impact tests were conducted.

Keywords: Robotic MAG welding, flux-cored electrode.

1.GİRİŞ

Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağı düşüncesi, 1920'li yıllarda ortaya çıkmış olup, ticari alanda ancak 1948 yılı itibari ile kullanılmaya başlanılmıştır[1].

MIG-MAG kaynağı, kaynaklı birleştirme için gerekli ısı enerjisi, ergiyen bir tel elektrod ile malzeme arasında tutuşan ark ile ortaya çıkan bir kaynak usulüdür. Sürekli beslenen bir tel elektrodun ergiyerek kaynak bölgesini doldurarak kaynak metalini oluşturmaktadır. Elektrod, kaynak banyosu ve ITAB (ısı tesiri altında kalan bölge), havanın olumsuz durumlarının kaynak torcundan iletilen gaz ya da karışım gazlar tarafından korunmaktadır. Bu kaynak usulü, kullanılan gazın cinsine göre adlandırılmaktadır. Bu kaynak usulünde kullanılan gaz soy gaz ise MIG (Metal Inert Gas), reaktif gaz kullanıldığı takdirde ise MAG (Metal Aktif Gas) olarak anılmaktadır [2].

Endüstriyel robotların birçok alanda kullanıldığını ve bunlardan biri de kaynak sektörü olduğu bilinmektedir. Robotik kaynak sistemleri kaynakçı sebebiyle birleştirmede oluşan hataların ortadan kalkmasına olanak sağlamaktadır. Kaynak robotları seri üretim imkânı, kaynak işlemi parametrelerinin belirlenmesi, uygulanması ve kontrolüne kolaylık sağlamaktadır. Robotik sistemlerin kullanılması, üretim sürelerinin kısılması, işlemlerin tekrarlanabilirliği ve kalitenin artması yoluyla sistemlerin verimini artırmaya izin vermektedir [3].

Güner, M. (2007) yaptığı çalışmasında, farklı elektrod tiplerini kullanarak MAG kaynak usulünde kaynak dikişinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmalarında ana metal olarak S235 alaşımsız ve düşük karbonlu yapı çeliği, kaynak bölgesini havanın olumsuz şartlarında korumak için %76 Ar + %20 CO₂ + %4 O₂ oranlarına sahip karışım gazı, kaynak metalini oluşturan sarf malzemeler olarak ise masif tel elektrod ile rutil bazlı özlü tel elektrod seçilmiştir. Numunelere çekme ve sertlik testi uygulayarak farklı elektrodların kaynak dikişinin üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Daha sonra da makro yapı analizleri yapılmıştır. Farklı parametrelerin kaynaklı bölgelerin nüfuziyet derinlikleri üzerinde ki etkisinin incelenmesi için makro yapıları incelenmiştir. Özlü telle yapılan kaynak dikişinin sertliği çıplak tel ile yapılandan daha

yüksek çıkmıştır. Buna neden olarak ana-ilave malzeme bileşiminin farklılığı, diğer yandan ön tavlama gibi benzeri kaynak öncesi işlemlere başvurulmamış olması gösterilebilir. Makro yapı fotoğrafları incelendiğinde genel olarak masif tel elektrod ile kaynak yapılmış numunelerin nüfuziyetinin, özlü tel ile kaynak yapılmış numunelerin nüfuziyetinden daha fazla olduğu gözlenmiştir [4].

Sönmez U. (2010), çalışmasında 10 mm kalınlığında St 37-2 (S235 JR) çelik sac levhalara 600 kaynak ağızı açılmış ve PA, PF ve PE kaynak pozisyonlarında, CO₂ koruyucu gaz ortamında, E 71 T-1 rutil özlü tel elektrodla, pasolararası sıcaklık sabit tutularak, alın kaynağı yapılmıştır. Kaynaklı birleştirilen parçaların dayanım ve mikroskobik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sırasıyla sertlik, çekme, kırma enerjisi (çentik darbe) dayanımlarıyla beraber radyografik muayeneleri ve son olarak ta mikroskobik incelemeleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda farklı kaynak pozisyonlarında elde edilen çekme dayanımları ve kırma enerjisi değerlerinin de farklı olduğu saptanmıştır. Sertlik değerlerinin IIW tarafından belirtilen sınırların altında olduğu belirlenmiştir. Radyografik muayene sonucunda PE kaynak pozisyonunda birleştirilen numunelerde, kaynak bölgesinde porozite (gözeneklilik) olduğu görülmüştür. Mikro-yapı fotoğrafları incelendiğinde; PF ve PE pozisyonlarında alın kaynaklı numunelerde soğuma hızının yüksek olması nedeniyle kaynak metalinde Widmannstaetten içyapısının olduğu tespit edilmiştir [5].

Çeliklere gaz altı kaynağının uygulanması adı altında yapılan çalışmasında St-52 malzemeye SG2 teli kullanılarak küt alın kaynağı ve levha üzeri dikiş çekilerek deneysel çalışma yapılmıştır. Bu uygulamalarda farklı gerilim, akım ve kaynak ilerleme hızı değerleri seçilmiştir. Sonrasında bu dikişlerin, yükseklik, genişlik, nüfuziyet derinliği ve yüzey temas açısı değerleri ölçülerek bu parametre değişimlerinin dikiş geometrisine etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak yapılan deneyler incelendiğinde kaynak geometrisinde net birim dikiş enerjisinin etkisinin büyük olduğu gözlemlenmiştir. Akım ve gerilim artırıldığında dikiş geometrisinin tüm değerlerinin arttığı fakat hız arttırıldığında dikiş geometrisinin tüm değerlerinin azaldığı belirtilmiştir. Bu bilgiler çerçevesinde manuel kaynakta ark uzunluğunun, kaynak ilerleme hızının ve torcun sabit tutulamamasından dolayı (torcun sağa ve sola manipülasyon yapması) kaynak genişliğini arttırdığı, bu nedenle çalışmanın kaynak robotu ile yapılması durumunda manuel kaynağa göre daha dar dikişler elde edilebileceği belirtilmiştir [6].

Robot kaynaklı birleştirmelerde mekanik ve mikro yapının incelenmesi adı altında yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, St 37/2 ve St 44/2 malzemelerinin OTC kaynak robotu ile birleştirilerek malzeme odaklı kaynak parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmış olup, kaynak makinesi yatay karakteristikle olduğu için amper arttıa tel hızı arttığı, buna bağlı olarak da kaynak kep yüksekliğinin arttığı belirtilmiştir. Gerilim arttırıldığında kaynağın genişliğinin arttığı bu paralellikte çentik oluşumu gözlemlenmiştir. Parametreler arttıa (Akım, Voltaj, kaynak ilerleme hızı) kaynakta makro yapısı üzerinde fiziki ölçü bozuklukları (yanma olukları) oluşturduğu gözlemlenmiştir [7].

Karaman, F. (2002) “Masif ve zlu Tel ile Yapılmış Gazaltı Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışmasında rutil zlu, bazik zlu tel ve masif teller ile yapılan kaynak dikişlerinin statik ve dinamik mukavemetleri, kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkilerini incelemiştir. Özlu tel ile yapılmış kaynak dikişlerinin mekanik özelliklerinin masif telle elde edilen mekanik özelliklere nazaran çok daha iyi olduğu, zlu tellerin kaynakta kullanılan yüksek akım yoğunluğu sebebiyle yüksek erime hızına sahip olduğu, zlu tel elektrod ile daha pürüzsüz yüzey elde edildiği grlmştir [8].

2.GAZALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ

2.1 Yöntemlerin Tarihsel Gelişimi

Kaynak edilecek kısmın gaz ile korunarak yapılan kaynak usulüne "gazaltı ark kaynağı" denir. Koruma gazı 1926 yılında ilk kez "Alexander" yöntemi olarak kendisinden söz ettirmektedir. Bu kaynak çeşidinde kaynak bölgesi, metanol gazıyla korunmaktadır. Bu kaynak çeşidinden başka yine aynı sene içerisinde kaynak bölgesinin havanın olumsuz şartlarından korunması için hidrojen gazı kullanılarak "ark atom" kaynak usulünün geliştiği ve oksijen-asetilen aleviyle kaynak bölgesinin korunarak "Arcogen" yöntemi 1928'de gelişmektedir. İlerleyen yıllarda yürütülen araştırmalar sonucunda koruma gazı olarak diğer elementlerle reaksiyona girmeyen helyum ve argon gibi soygaz ve reaktif bir gaz olan karbondioksit gazlarının kullanım alanı son derece genişlemektedir.

2.2 Yöntemlerin Sınıflandırılması

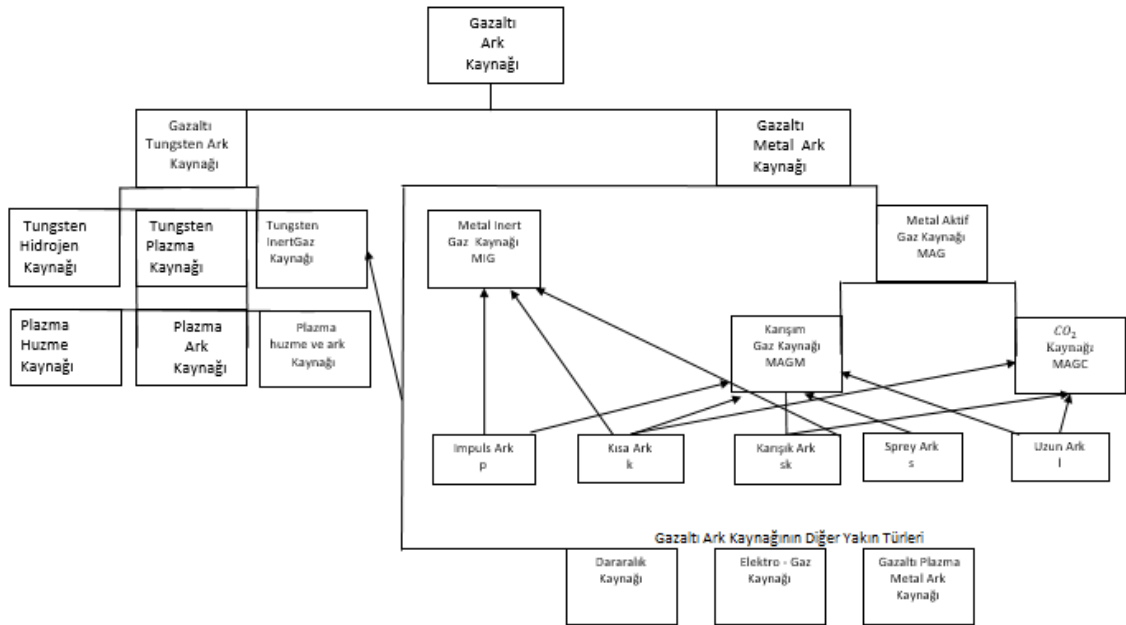
Koruyucu gaz, elektrod ve ark türüne göre gaz altı ark kaynak yöntemleri sınıflandırılmaktadır. Gazaltı ark kaynak yöntemlerinin bu ilkelere göre sınıflandırılması Şekil 2.1'de görülmektedir. İlk olarak sınıflandırma, elektrod çeşidine göre yapılmaktadır. Elektrolarda sınıflandırma 2 türlü yapılmaktadır. Bunlar; eriyen ve erimeyen elektrodlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Erimeyen elektrodlar tungstenden üretilmektedir. Bu yöntemin adı Gazaltı Tungsten Ark usulü olarak anılmaktadır.

Ergiyen elektrodlar hem akım taşıma işlemi görevi hem de kaynak bölgesini doldurma görevine sahiptir. Genellikle eriyen elektrodlar kaynağı yapılan parçalarla aynı kimyasal özellik göstermektedirler. Ergiyen elektrodla yapılan bu yöntem Gazaltı Metal Ark Kaynağı olarak isimlendirilmektedir.

Gazaltı Tungsten Ark Kaynağında bazı hallerde Argon-Hidrojen karışımları, yalnız çoğu uygulamalarda da soy (inert) gazlar kullanılmaktadır. İntert tanımı "reaksiyona isteksiz" demektir. Bu grupta bütün soy gazlar bulunmaktadır. Aşırı ısılarda başka

maddeler ile bileşik oluşturmazlar, ayrıca kaynak esnasında da reaksiyona girmeme özelliklerini korumaktadırlar.

Gaz altı metal ark kaynağı koruma gazlarının aktif ve aktif olmamalarına göre isimlendirilirler. Aktif gazaltında yapılan kaynak usulüne MAG ismi, aktif olmayan bir gaz altında yapılırsa MIG adı verilmektedir. Metal Aktif Gaz kaynağı, MAG- M ve MAG C olarak ikiye ayrılmaktadır. Eğer CO₂ ve O₂ karışım gazına Argon gazının ilave edilmesi durumunda MAG-M olarak adlandırılmaktadır. Bu iki gaza ilave olarak CO₂ katılarak kullanılması durumunda MAG-C ismini almaktadır. [9].



Şekil 2. 1 : Gazaltı Kaynak Yöntemleri [9]

2.3 MIG-MAG Kaynağı

2.3.1 Kaynağın tanımı

MIG-MAG kaynak usulünde, gerekli sıcaklık, ergiyen ve sürekli beslenen bir tel elektrodun taşıdığı akımla birlikte iş parçası arasında oluşturduğu ark yoluyla üretir. Kaynak edilecek bölgenin havadan etkilenmemesi için bir gaz ile koruduğundan ‘‘Gazaltı ark kaynak yöntemi’’ olarak adlandırılmaktadır[2].

2.3.2 MIG-MAG kaynak yöntemlerinde kullanılan gazlar

MIG ve MAG kaynak yöntemlerinde kullanılan gazlar aktif, inert (asal) ve bunların karışımı olan gazlar olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Özellikle demir alaşımlı malzemelerin kaynağında saf Karbondioksit veya Argon-Karbondioksit ve Argon-Oksijen karışımları kullanılmaktadır. Argon-Helyum karışımları genellikle alüminyum, magnezyum ve bakır-nikel alaşımlarının kaynağında kullanılmaktadır. Genellikle asal gazlar reaksiyona girmediklerinden demir olmayan metallerin kaynak edilmesinde kullanılmaktadır. Kullanılan gazlar TS EN 439 ‘‘Ark kaynağı ve kesme için korucu gazlar’’ standardından seçilmektedir[7].

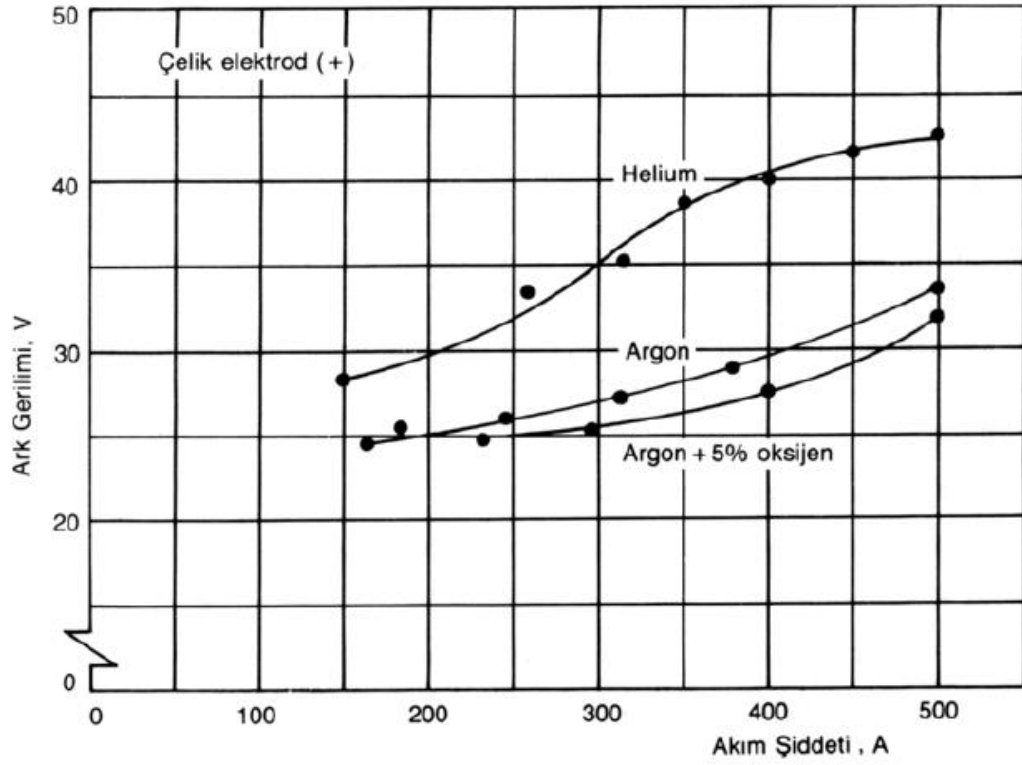
2.3.2.1 Asal gazlar

Asal gazlar, kabuğundaki her yerin elektron ile kaplı olması, başka bir deyiş ile dışındaki kabuğun kapalı olması sebebiyle farklı elementlerin atomlarıyla elektron alış verişinde bulunamadığından bir tepkime oluşturmamaktadırlar.

Diğer koruyucu gazlara göre argon gazının içinde bulunan arkın gerilim düşmesi daha azdır. Ayrıca argon gazının ısı iletme özelliğinin de de zayıf olması sebebiyle ark sütunu daha geniş ve özellikle dış kısımlarda sıcaklığı da düşüktür. Sütunun merkezinde gerek damla geçişi ve gerek ise metal buharları sebebiyle sıcaklık daha fazladır. Bu yüzden Argon gazı koruyucu olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nüfuziyet dikişlerin merkezinde derin, kenarlarında azdır. Şekil 2.2’de çeşitli asal gaz ve karışım gaz atmosferlerindeki ark gerilimleri gösterilmektedir [26].

Cu ve Al gibi metalleri kaynak etmek için uygun olan bu gaz, çelikler halinde, fakat başka gazlar ile karıştırılarak uygulandığında güzel sonuç vermektedir. Helyum gazının gaz sarfiyatını arttırmasındaki sebep havadan hafif olmasıdır. Örnek olarak; aynı şartlarda yatay pozisyonda argon gazının yaptığı korumayı yapmak için üç katı helyum gazına ihtiyaç vardır.

Helyum, ısıyı iyi geçirdiğinden, koruyucu gaz olarak kullanıldığında, derin nüfuzlu kaynak dikişleri oluşur. Argona göre ark geriliminin düşüşü de fazla olduğu için, helyum atmosferinde oluşan kaynak arkı daha fazla enerjilidir. Bu sebepten dolayı metaller kalın kesitli olsalar bile ön ısıtmaya gerek duyulmamaktadır [10].



Şekil 2. 2:Çeşitli Asal Gaz ve Karışım Gaz Atmosferlerinde Oluşan Ark Gerilimi [26].

2.3.2.2 Aktif gazlar (CO₂)

Karbondiyoksit gazı, özgül ağırlığı 1,997 kg/m³ olan kokusuz ve renksiz bir gazdır. Yaklaşık olarak havadan 1,5 kat daha ağırdır. Daha yüksek yoğunlaşma halinde bulunan karbondiyoksit gazı, asidik bir kokuya sahiptir. Basıncılı tüplerde kullanılır. Karbondiyoksit tüpleri 15°C’de yaklaşık olarak 65 atm de doldurulmaktadır. Bu koşullarda tüpün içeriği gaz sıvı durumdadır. Kullanım esnasında sıvı durumda olan karbondiyoksit, gaz durumuna geçmektedir. Karbondiyoksit, endüstri alanında metal yüzeylerin temizlenmesinde, yangın söndürme cihazlarında, sanayi sektöründe fazla ısınan cihazların soğutmasında kullanılırken, amonyak üretimi, alkolün fermantasyonu ve kireç taşının kalsinasyonunda da yan ürün olarak elde edilmektedir. Karbondiyoksit kullanım alanlarından olan kaynak işletmelerine çoğunlukla tüp içerisinde getirilmektedir. Çoğunluğu sıvı haldedir ve üst bölgesinde ise buharlaşmış gaz durumundadır ve bu gazın basıncı indikçe de sıvıdan buharlaşarak basıncı normale döndürür. Buharlaşma anında tüp her daim buharlaşma ısısına ihtiyaç duymaktadır. Standart bir tüpten bu sebepten dolayı aynı esnada çok fazla gaz çekebilme imkânı yoktur; çünkü buharlaşma ısısının çekilmesi sonucunda sıcaklık iner ve sıvı

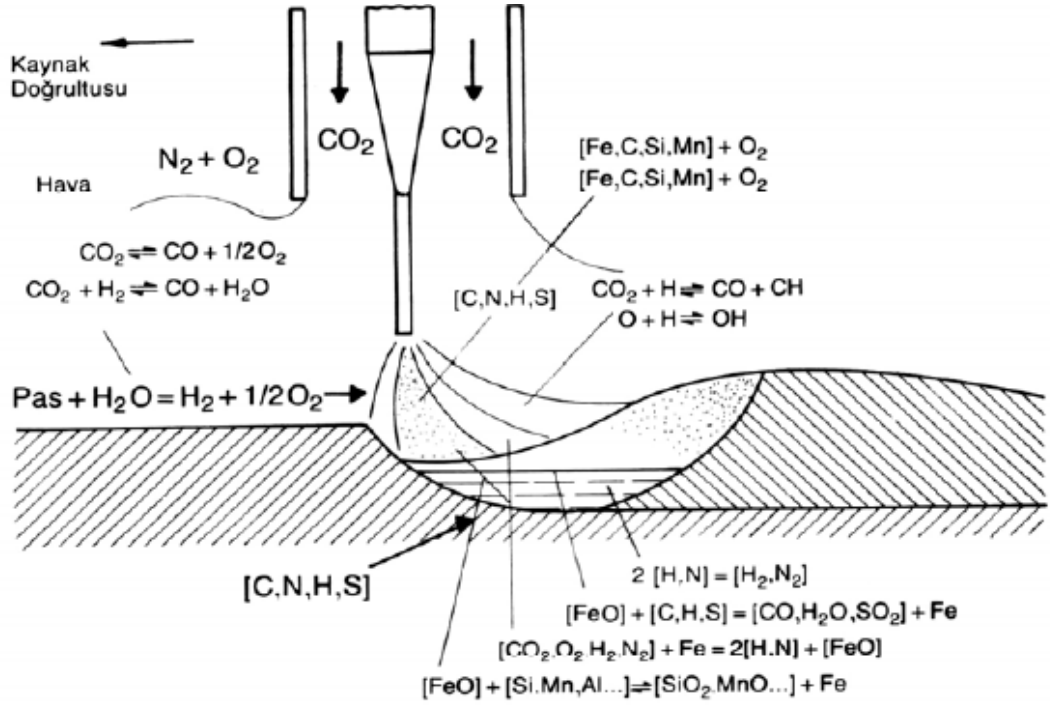
karbondioksit kar tanelerine dönüşür ve sonucunda detandörü ve çıkış borusunu tıkamaktadır. Bu sebepten dolayı bir tüpten daimi olarak 12 lt/dk'dan daha yüksek debiler çekilmemesi gereklidir. Sürekli olmamak şartıyla bu değer 17 lt/dk'ya kadar yükselebilmektedir. Bu debi den daha çok gazın ihtiyaç olduğu durumlarda, birden çok tüpün bir manifold la bağlantı yapılarak kullanılması gerekmektedir. [27].

Karbondioksitin tüp içerisinde büyük bir bölümünün sıvı halde bulunması sebebiyle kesinlikle yatay ya da eğik pozisyonda kullanılmamalıdır. Bu tüpler her zaman kullanım durumunda dik pozisyonda tutulmalıdır. Karbondioksit çok sayıda üstünlük dolayısıyla diğer aktif gazların kaynakta koruyucu gaz olarak kullanılmaya uygun olmadıklarından dolayı sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin gazaltı kaynağında birçok uygulama alanına sahiptir.

Karbondioksitin çelik kaynağında sağladığı ekstralar kaynak hızı yüksek olduğunda derin nüfuziyet ve kaynak gideri düşük şeklindedir. Karbondioksitle akım şiddeti ve ark gerilimi düşük olduğunda kısa ark, yüksek olduğunda ise uzun ark, damlalı metal geçişiyle kaynak yapmak mümkün olmaktadır.

Magnezyum, alüminyum ve alaşımları gibi kolaylık ile oksitlenebilen parçaların kaynaklarında karbondioksit gibi aktif gazların kullanılmamasına rağmen, bu gaz parçaların kaynak işleminde önemli faydalar sağlamaktadır.

Karbondioksit gazı, Argon gazı gibi mono atomik bir gaz olmadığından dolayı yüksek ark sıcaklığında Karbon Monoksit ve Oksijen olmak üzere ayrılmaktadır. Kaynak banyosunda bulunan elementlerle serbest durumdaki Oksijen birleşir; ark sütunu içinde iyonize olan gaz, kaynak banyosuna gelir ve belirli kısmı tekrar Karbondioksit haline geçer ve dolayısıyla ayrıştırma esnasında aldığı sıcaklığı tekrar verir ve bu da dikişte nüfuziyetin artmasını sağlamaktadır. Kaynak telinin bileşimince Mangan ve Silisyum kaybı karşılanmaktadır. Bu sebepten dolayı çelik malzemelerin kaynak işleminde, MIG kaynak yöntemi için üretilen teller MAG kaynak yöntemi için kullanılmaz. Şekil 2.3 'de CO₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar gösterilmektedir. MAG kaynağında, ince bir cüruf oluşur ve rahat kalkmaktadır [10].



Şekil 2. 3:CO₂ Atmosferinde Oluşan Tepkimeler [26].

2.3.2.3 Karışım gazlar

Ark atmosferinin tipi, karıştırılan gazlara ve kullanılan gazlara göre değişir. Helyum ve Argon karışımları Şekil 2.4'de gazlar koruyucu olarak belirtilmiş olan özellikleri karışım oranına göre gösterilmektedir Argon gazına, çeşitli oranlarda CO₂, az miktarda Oksijen katılarak karışım gazlar ortaya çıkarılmaktadır.

Argon gazı da tıpkı helyum gazı gibi atmosferde nötr bir karakter göstermektedir. Argon gazına Karbondioksit ya da Oksijen gibi aktif gazların karışımı ile ark atmosferine oksitleyici bir karakter kazandırmaktadır. Hidrojen gazının karıştırılması durumunda da redükleyici bir gaz atmosferi oluşmaktadır.

Argon gazına CO₂ ya da oksijen gazları karıştırılması ile oluşan ekzotermik reaksiyon sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı artar sonrasında yüzey gerilimi zayıflar. Bundan dolayı kaynak banyosunun akıcılığı artmış ve gazı giderilmiş olur. Ayrıca, koruyucu gazın oksijen içermesi düşük akım yoğunluklarında da ince taneli ve kısa devresiz damla geçişinin (Sprey ark) oluşmasına yardımcı olmaktadır..

Karbondioksit ve oksijen, çeliklerin MIG kaynağında argon gazına karıştırılmaktadır. Böylelikle oksijen, kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, eriyen elektrot

telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatmakta ve ince taneli bir metal geçişi sağlamaktadır [10].

Kaynak Usulü	Gazın karakteri	Gazın İşareti	Gazın Bileşimi	Kullanma Yeri
MIG	Asal	1.1	Ar % 100	Çelik haricinde bütün metal ve alaşımın
	Asal	1.2	He % 100	Cu ve Al alaşımları
	Asal	1.3	He % 25-75 Ar Kalanı	Cu ve Al alaşımları
Karışım Gazlar	Hafif Oksitleyici	M. 1.1	O_2 % 1...3 Ar Kalanı	Paslanmaz Çelikler
		M. 1.2	CO_2 % 2...5 Ar Kalanı	Paslanmaz Çelikler
		M. 1.3	CO_2 % 6...14 Ar Kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler (özlü elektrot ile)
	Oksitleyici	M. 2.1	CO_2 % 15...25 Ar Kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M. 2.2	CO_2 % 5...15 O_2 % 1...3 Ar Kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M. 3.1	CO_2 % 26...40 Ar Kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
	Kuvvetli Oksitleyici	M. 3.2	CO_2 % 5...20 O_2 % 4...6 Ar Kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M. 3.3	O_2 % 9...12 Ar Kalanı	Alaşımsız çelikler
		MAG	C	CO_2 100%

Şekil 2. 4: MIG-MAG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar [27].

Farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı sakın ve doğru bir arka kaynak yapabilmek için koruyucu gazlarda her gaza düzeyli bir akım şiddeti ve ark gerilimi uygulamak gerekmektedir.

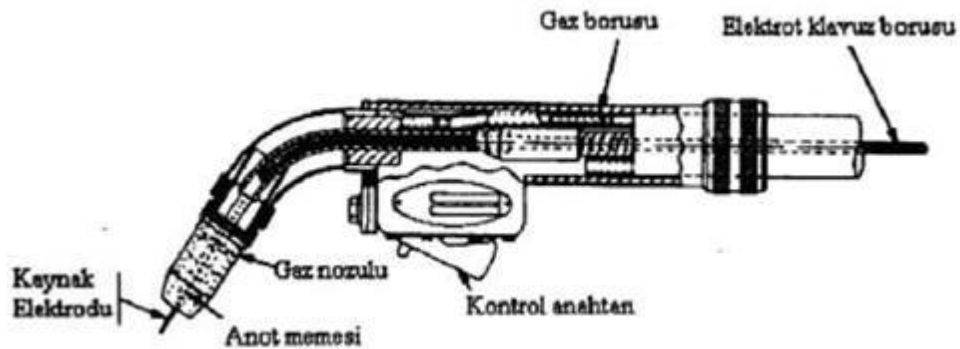
Bir takım alaşım ve metallerin kaynağında argon gazında çok düşük derecede bir safiyetsizlik bulunması, kaynak dikişlerinde nitrür, oksit ve gözenek oluşmasına sebep olmaktadır [26].

2.3.3 Kaynak tabancası (torcu) ve hortum paketi

Nozul (lüle) kullanılmasıyla koruyucu gaz akımı laminer olarak kaynak yapılan bölgeye gönderilmektedir. Kaynak esnasında oluşan sıçrıntılar nedeni ile nozulun iç kısmı çapak toplar ve gazın kaynak bölgesini tam olarak ulaşmasını engellemektedir. Bölge atmosferden tam korunamamış olmaktadır. Bu olaya sebebiyet vermemek için kaynak sırasında sıçrıntılarının nozul içerisinden bir aparat ile belirli aralıklarla

temizlenmesi ve yapışmaması için pastaya batırılarak veya yağlama yapılarak çapakların yapışması önlenmelidir. Nozulun ortasında dolgu teline elektrik akımının verildiği kontak memesi yerleştirilmiştir. Bu kontak memesinin çapı kullanılacak dolgu teline göre seçilmektedir. Kontak memenin dolgu telinin çapından çok büyük olması istenmemektedir. Teli beslemesinde düzensizliklere bu nedenle de arka karasızlıklara sebep olabilir. Tel besleme ünitesi cihaz üzerinde ise yaklaşık uzunlukları 3–5 m dir. Besleme ünitesi kaynak torcuna yakın yerleştirilirse bu durumda çok daha uzun hortum paketi kullanılabilir. Dolgu teli hortum paketi içerisinden kaynak torcuna bir kılavuz içerisinden gelmektedir. Çelik ve bakır teller için bu kılavuz malzeme çelikten olup, daha yumuşak dolgu telleri için örneğin alüminyum ve magnezyum gibi plastik kılavuz boru kullanılmaktadır. 250 Amperden sonraki makinelerin kaynak torcuna soğutma tertibatı takılır. Yüksek sıcaklıkta aşınma miktarı artarak telin geçtiği kontak memesini büyütür ve arkın kararlılığını bozmaktadır [7].

Kaynak kabloları, elektrik bağlantıları, akım kabloları ve max. akım şiddetinde dahi aşırı seviyede ısınmaması için uygun bir kesitte seçilmelidir. Kaynak kablolarına yüklemeye fazla yapıldığında kablolarında ısınmalara sebep olur ve kabloların dışında bulunan izolasyon yumuşama yapabilir ve yanabilir. Böyle durumlarla karşılaşmamak için bu şekil kablolar kullanılmamalı ve acilen değiştirilmelidir. Yoksa bu şekil kablolar kısa devrelere ve yangınlara sebep olur [2]. Şekil 2.5 'de Otomatik Gaz Soğutmalı MIG-MAG Kaynak Torcu örneği verilmiştir.



Şekil 2. 5:Otomatik Gaz Soğutmalı MIG-MAG Kaynak Torcu [11].

2.3.4 Tel besleme

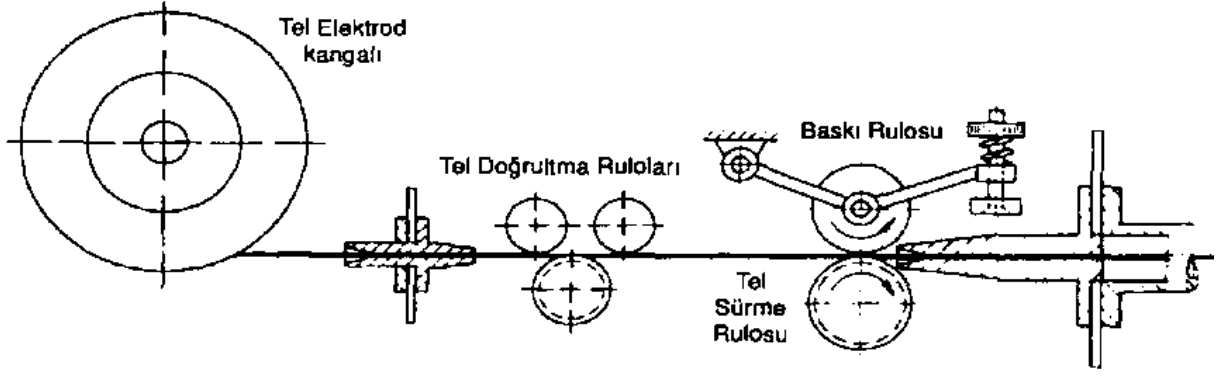
Tel elektrot sürme tertibatı, teli makaradan sağıp, ergiyen tel miktarını karşılayacak bir hızla ark bölgesine ilerleten bir mekanizmadır. Bu mekanizmanın örneği Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Kaynak akım üreticinin yatay karakteristikli doğru akım ve sabit gerilimli olması halinde tel sürme tertibatının motoru uygulanan akım şiddetine bağlı olarak sabit bir hızla dönmektedir.

Günümüzde en fazla bu tür kaynak akım üreteçleri tercih edilmektedir. Kalın tel elektrotların kullanılması halinde düşey karakteristikli sabit akımlı kaynak akım üreteçleri gerekli olmaktadır. Bu durumlarda tel sürme tertibatının motoru sabit devirde de tel sürme tertibatları çalışma prensibi bakımından, makaralı (rulolu) tertibatlar ve planet tertibatlar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

Makaralı tertibatlar da, tel iki veya dört makara arasından geçer; bunlardan alt makaralar arzu edilen tel besleme hızına eşit bir çevresel hızla dönerler ve üzerlerinde tel çapına uygun bir kanal açılmaktadır, genelde üst makaralar avara döner, bunların bazıları düz, diğer bazılarına ise kanal açılmıştır. Kullanılan elektrotun sert olması halinde makaralara teli kaydırmamaları için tırtıllar da açılmaktadır.

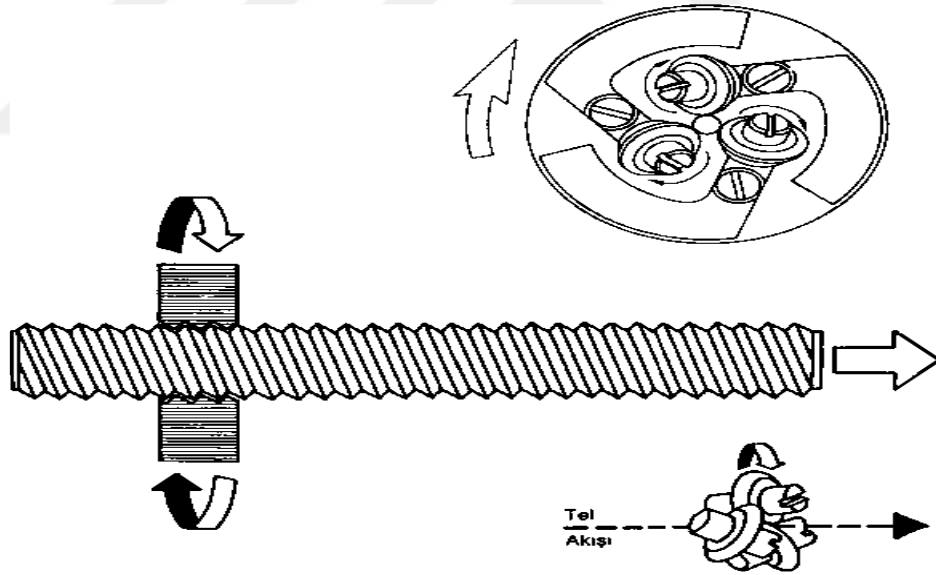
Tel sürme tertibatında makaraların tel üzerine yaptıkları basıncın iyi ayarlanması, tel tür ve çapına uygun profil de makaraların kullanılması gereklidir. Yumuşak malzemedен yapılmış kaynak telleriyle özlü elektrotlar halinde dört makaralı ve dördü de tahrikli tel sürme tertibatlarının kullanılması ile daha iyi sonuç alınmaktadır, zira bu durumda makara basıncının olabildiğince azaltılması gereklidir; doğal olarak bu tel elektrotların kullanılması halinde makaraların profili, tırtılların biçimi ve kalitesiyle makara basıncının ayarı da önemli bir değere sahiptir.

Tel bobinden sağılırken tam düz değildir ve bu şekilde tel kaynak bölgesine sevk edilirken, spiral kılavuz içinde sürtünme yaptığından sürme tertibatını zorlar ve bu da tel ilerletme hızının düzensiz olmasına neden olur ki bu olay da kaynak dikişinin kalitesini etkilemektedir. Makaralı tel sürme tertibatlarının yegâne sakıncası makaradan sağılan teli tam olarak doğrultamamalarıdır. Dört makaralı tertiplerde tel bir dereceye kadar düzelir, iki makaralı tertibatlar da, sürme mekanizmasından önce bir tel doğrultma makaraları grubuna gerek vardır. Sönmez, ark boyundan komut olarak hızını ayarlar.



Şekil 2. 6: İki Makaralı ve Tel Düzeltme Tertibatlı Tel Sürme Mekanizması Şeması [11].

Şekil 2.7’de gösterilen dönel veya planet sistemi tel sürme tertibatlarında eksenleri birbirlerine göre çarpık üç rulo vardır, tel bunların arasından geçer, ruloların bağlı olduğu gövde döndürülür ve bu şekilde ruloların temas noktası tel üzerinde bir helis çizer; tel dönmediği için de ilerleme hareketi yapmaktadır. Bu sistemin en büyük üstünlüğü tel elektrotu çok iyi bir şekilde doğrultmaktadır [11].



Şekil 2. 7: Planet veya Dönel Tel Sürme Tertibatı Prensip Şeması [11].

2.3.5 Kumanda tertibatı

Gerekli ayarlamalar yapıp (Akım, Volt, Tel besleme hızı,) tetiğe basıldığında koruyucu gaz tüpünden gelen sabit basınçtaki gaz ortamı ilk olarak nüfuz eder daha sonra kaynak tabancasından tel gelmeye başlamaktadır. Kaynak işlemi başlamış olur. Kaynak işleminin bitiminde de bu sıranın tersi oluşmaktadır.

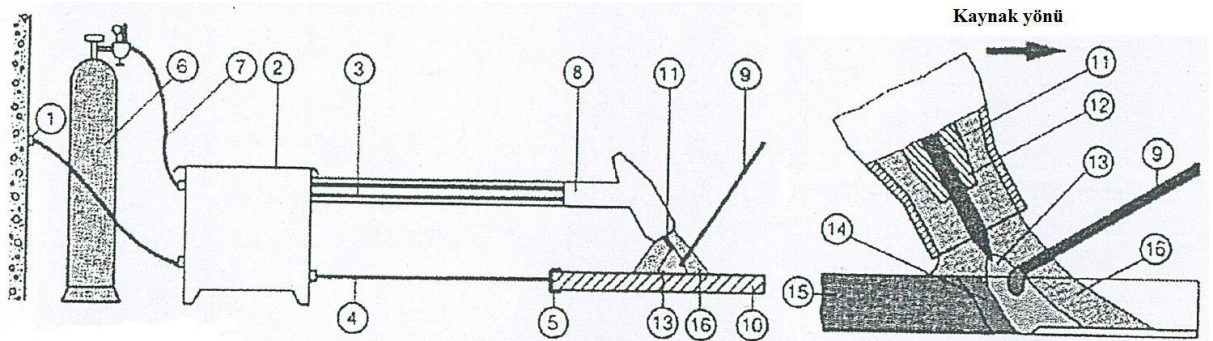
2.4 Tungsten Asal Gaz Kaynağı (TIG)

2.4.1 Tanımı

Tungsten İnert Gaz Kaynağı (TIG); Koruyucu asal gaz atmosferi altında kaynak tabancası içinde 3000-3500°C'ye kadar erimeyen sabit uzunlukta tungsten elektrodla iş parçası arasında ana malzeme yüzeyini ve ilave edilen kaynak telini ergiten arkın yandığı gaz altı kaynağı metodudur. Alüminyum, magnezyum vb. kaynağı esnasında yüzeyinde oksit tabakası oluşturan metaller haricindeki metallerin TIG kaynağında DC (-) akım kullanılmaktadır. Manuel (El ile), mekanize, otomatik yapılabilmektedir. Alüminyum, magnezyum gibi malzemelerin kaynağında ise alternatif akım (AC) kullanılmaktadır.

TIG kaynağı akım üreteçleri düşük tipte bir akım akım-gerilim karakteristiğine sahiptir ve dış ayar prensibine göre çalışmaktadır. Burada, gerilimdeki büyük değişiklikler (Ark boyundaki değişimler) akım şiddetini önemsiz miktarda değiştirmektedir. Böylece ayarlanan akım şiddetinde kaynak yapılmaktadır [12].

Şekil 2.8'de; şebeke bağlantısı (1), kaynak akım üreteci (2), kaynak akım kablosu (elektrod) (3), kaynak akım kablosu (iş parçası) (4), iş parçası bağlantısı (5), basınç düşürücü, gaz debisi ölçer ile birlikte koruyucu gaz tüpü (6), koruyucu gaz hortumu (7), kaynak tabancası (8), kaynak teli (elektrod) (9), iş parçası (10), tungsten elektrod (11), sıkma kovani ve akım kontak iletimi (12), ark (13), sıvı kaynak metali (14), katı kaynak metali (15), koruyucu gaz örtüsü (16) numara ile gösterilmektedir.



Şekil 2. 8: TIG Kaynak Cihazın Şeması ve Kaynak Prosesi Detayı[12].

2.4.2 Avantajları ve kısıtlamaları

TIG kaynağında kararlı ve kontrol edilebilir ark sayesinde, kaynağa uygun her türlü malzeme birleştirilebilmektedir. Bütün kaynak pozisyonlarda uygulanabilmektedir. TIG kaynağında ısı kaynağı (Ark) ve dolgu malzemesinin birbirinden ayrı olması dikiş başlangıç hatasını önleyerek dikiş kalitesinin son derece yükseltmektedir. Metal yığıma oranı düşük olması nedeniyle yavaş bir kaynaktır. Yüksek dikiş kaliteleri eğitimli kaynakçılar gerektirmektedir.

2.4.3 Kullanılan dolgu malzemeleri ve yardımcı gazlar

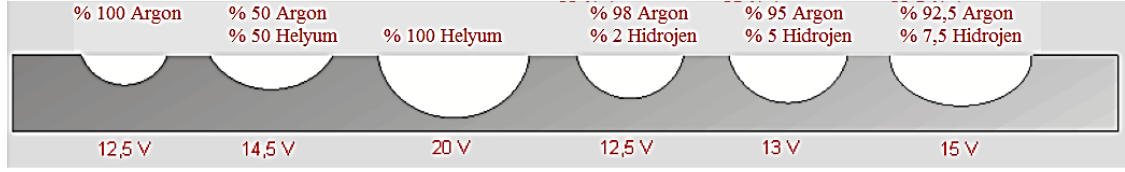
TIG kaynağı, çoğunlukla dolgu malzemesi kullanılarak yapılmaktadır. Yalnızca, kaynak ağızı bağlantı geçişi olan ince parçalarda, dolgu malzemesi kullanılmayabilmektedir. Kaynak sarf malzemeleri, alaşımsız ve ince taneli çeliklerin tungsten asal gaz kaynağında TS EN ISO 636 Kaynak sarf malzemeleri-Alaşımsız ve ince taneli çeliklerin tungsten asal gaz kaynağı için çubuklar, teller ve yığılmış kaynaklar-Sınıflandırma standardına uygun çubuklar, teller kullanılmaktadır. Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde kullanılan AWS/ASME SFA - 5.18 (TS EN ISO 636) standardına da uygun dolgu telleri, içeriğinde titanyum (Ti) ve alüminyum (Al) gibi mikro-alaşım ve deoksidasyon elementine sahiptir ve tungsten asal gaz kaynağı için TS EN ISO 636 standardında W 42 2 W2Ti kodu ile verilen TIG kaynak çubuğundaki kısa kodlamanın açıklaması aşağıdaki Tablo 2.1 'de verilmektedir.

Tablo 2. 1: TIG Kaynak Çubuğundaki Kısa Kodlama Açıklaması [12].

W	Kaynak prosesi tipi-Tungsten asal gaz kaynağı
42	420 MPa akma mukavemeti, 500-640 MPa kopma mukavemeti, % 20 uzama
2	-20 °C de 47 Joule çentik darbe mukavemeti
W2Ti	Kimyasal kompozisyon % 0,05 C, % 1,2 Mn, % 0,7 Si, % 0,06 Zr, % 0,1 Ti

TIG kaynağında koruyucu gaz olarak kullanılan helyumun ısı iletkenliği argondan fazladır. Şekil 2.9'da görüldüğü üzere Helyum kullanılarak yapılan TIG kaynağında

argona kıyasla daha yüksek ark gerilimine, daha yüksek kaynak hızına ve daha derin kaynak nüfuziyetine ulaşılmaktadır[12].



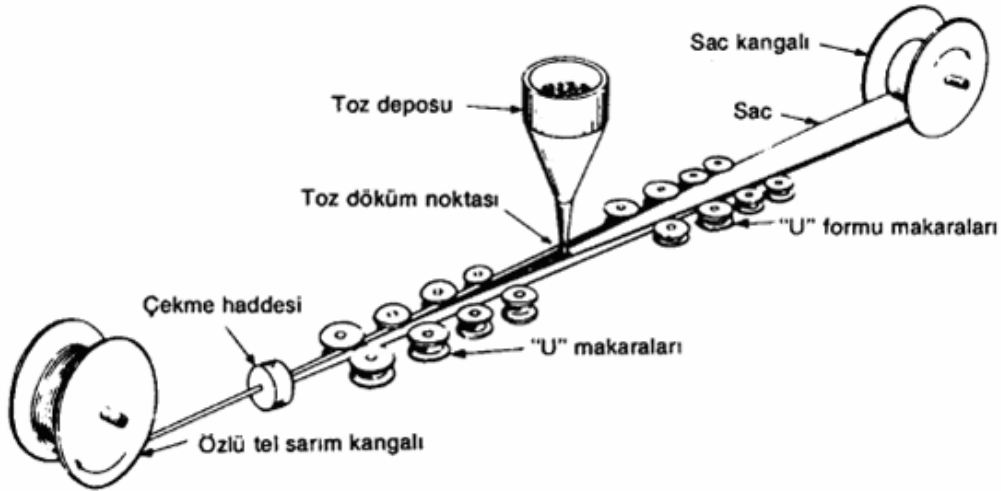
Şekil 2. 9: TIG Kaynağında Kullanılan Gaz ve Gaz Karışımlarının Nüfuziyete Etkisi [12].

3. ÖZLÜ TEL ELEKTRODLAR

Özlü tellerin verimliliği sebebinden dolayı son yıllarda kullanımı giderek artmıştır. Günümüz endüstrisinde başta otomotiv olmak üzere makine ve gemi imalatı

endüstrilerinde yaygın olarak kaynaklı imalat yöntemlerinin diğer imalat yöntemleri içerisindeki payı %70-80 arasındadır.

Kaynakta bilindiği gibi her kaynaklı sarf malzemenin kullanılan kaynak yöntemine göre kendine has avantajları ve dezavantajları vardır. Fakat kullanılan bu ürün birleştirme metodundaki teknolojik ilerleme ile üretim hızında bir artış, maliyet ve kalitede iyileştirmeler elde edilebilir. Yani günümüzde yeni bir teknoloji olan özlü tellerin kullanıldığı gazaltı ark kaynağı yöntemiyle gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde üretim artışı sağlanmaktadır. Özlü tel elektrodlar kaynak tekniğinde yeni avantajlar getirmektedir. Özlü telle yapılan kaynaklar yüksek ergime, sürekli kaynak işlemi, otomasyona uygunluğu, her pozisyonda kullanılması ve yüksek mekanik özelliklere sahip kaynak dikişlerin elde edilmesi açısından daha ekonomiktir. Özlü kaynak teli, içerisinde farklı element ve mineral toz bulunduran çaplı boru şeklindeki bir kaynak sarf malzemesidir. İçindeki özün amacı; belli bir kimyasal bileşimi sağlaması ile kaynaktaki hedeflenen belli özelliklere ulaşabilmektedir. Özlü telin üretim aşaması Şekil 3.1 de görülmektedir[18].



Şekil 3. 1: Özlü Tel Üretimi [4].

Bu elektrotların avantajları şöyledir;

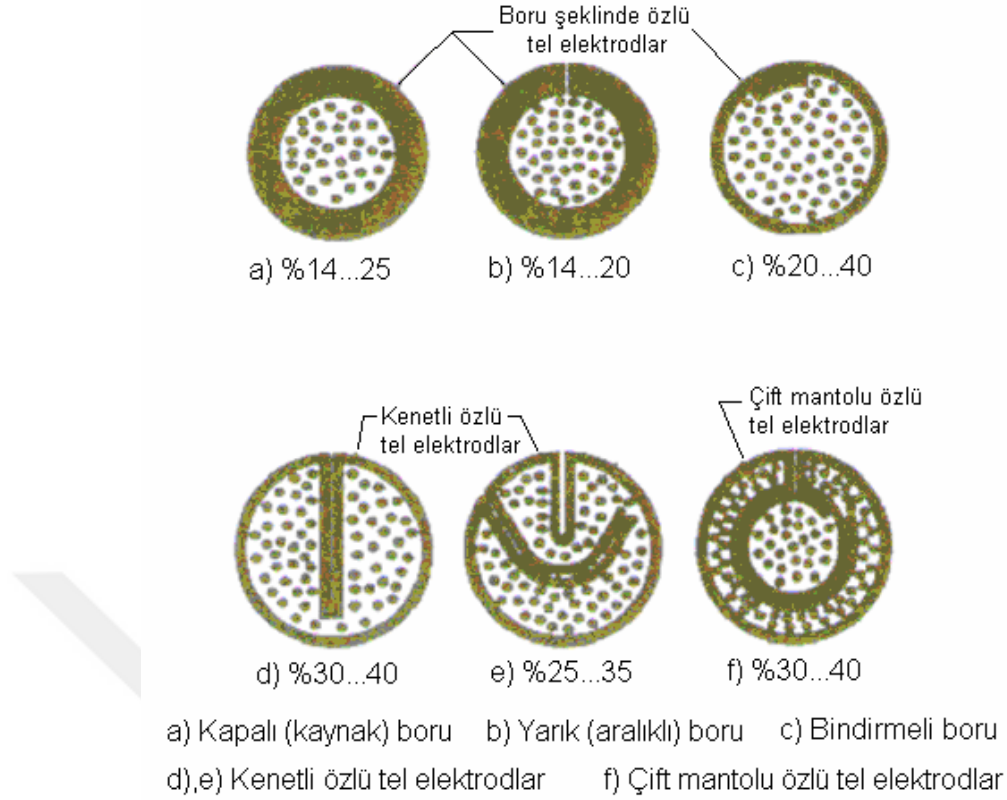
- Kaliteli kaynak metali oluşturulur.
- Pürüzsüz ve düzgün dikişlerle mükemmel dikiş görüntüsü oluştururlar
- Kolaylıkla mekanize edilirler.
- Dış ortamlarda kullanım için rüzgâra karşı daha düşük hassasiyetlidir.
- Yüksek ergime gücüne ve yüksek akım yoğunluğuna sahiptirler
- Her durumda kaynak yapılabilir.

- Bir takım özlü elektrotlar koruyucu gaza gerek duymazlar, buda tesisatın basitleşmesine olanak sağlar,
- Örtülü elektrotların bütün avantajlarına sahip olmakla birlikte, elektrot değiştirme zaman kaybı, kaçan kaybı gibi sınırlamaları yoktur [4].

Özden beklenen başlıca görevler şunlardır;

- Kaynağın korozyon ve mekanik özelliklerini korur.
- Kaynak banyosunun üstünü cüruf oluşturarak atmosferin olumsuz etkilerinde korur.
- Kaynak dikiş formunun oluşmasını sağlar.
- Kendinden korumalı özlü tellerde gaz korumasını sağlayarak sağlıklı bir kaynak oluşmasını sağlar.
- Kaynağı alaşımlandırma yapar ve özellik kazandırmaktadır [19].

Şekil 3.2’de Özlü elektrotlarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 2: Özlü Elektrodlarda en çok Kullanılan Kesit Formları ve Dolgu Dereceleri [4]

3.1 Rutil Özlü Tel Elektrodlar

Bu tür elektrotlarda, örtü ağırlığının yaklaşık %35 ini Titandioksit oluşturmaktadır. Örtü Titandioksitin yanı sıra Feldspat, Kuvartz, az miktarda Selüloz, yine az miktarda Ferromangan; bağlayıcı olarak da sodyum ve potasyum silikat içerir. Değişik örtü kalınlıklarında üretilen rutil elektrotlarda ergiyen kaynak metali, örtü kalınlığı arttıkça incelen damlalar halinde geçer ve aynı zamanda artan örtü kalınlığı dikişin mekanik özelliklerine de olumlu yönde etkimektedir. Bu tür örtüler, dikişi tamamen örten, oldukça kalın, rengi kahverengiden siyaha kadar değişen çabuk katılaşan bir cüruf oluşturmaktadır. Cürufun özellikleri, örtüyü meydana getiren maddelerin miktar ve türüne bağlıdır. Örtüye katılan feldspat ve asbest gibi silisim maddeler çok akıcı cüruf veren titandioksit ile karışarak cürufun uygun bir akıcılıkta kalmasını sağlamaktadır. Çalışma açısı 45 derecedir.

Bu tür elektrotlar ile hem doğru hem de alternatif akımda kaynak yapılabilir. Bu tür elektrotlar universal türlerdir, her pozisyonda kaynak yapmaya elverişlidirler;

gayet yumuşak bir ark ile sakin bir çalışma sağlarlar, aralık doldurma yetenekleri elektrod örtüsü kalınlařtıķa artmaktadır.

3.2 Bazık zlı Tel Elektrodlar

Bazık elektrotların rtülerinde hidrojen oluşturacak maddeler bulunmadığından kaynak sırasında, dikişin hidrojen kapma olasılığı çok azdır. Hidrojenin geçiş bölgesinde ince dikiş çatlaklarına neden olduğu göz önüne alınırsa bazık elektrotların kullanılmasının önemi kendini göstermektedir.

Bazık elektrotlar bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilirler. Aralık doldurma yetenekleri çok iyidir. Bu elektrotlarda yapılmış olan kaynak dikişleri gayet iyi mekanik özelliklere sahiptir. Bazık elektrodlar, sıfır derecenin altında dahi gayet iyi olan dikişler vermektedir[2].

3.3 Metal zlı Tel Elektrodlar

Metal zlı elektrotlarda istenilen alaşımlamayı sağlayacak miktar ve türde metal tozlarıyla çok az miktarda arkı dengeleyen maddeler bulunmaktadır. Bu tür zlı elektrodlar ile kaynak sonrası dikiş üzerinde cüruf oluşmadığından pasoları st üste çekmek olasıdır ve - 40 C'ye kadar tokluğunu koruyan kaliteli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Metal zlı elektrodlar son senelerde alaşımlı çıplak tel elektrotlara ciddi bir rekabet haline gelmişlerdir [4].

4. ARK KAYNAĞI ROBOTUNDA OLMASI GEREKEN ÖZELLİKLER

4.1 Çalışma Hacmi ve Serbestlik dereceleri

Robotun çalışma bölgesi, kaynak yapılacak olan malzemenin boyutuna yetecek şekilde olmalıdır. Eğer eldeki imkânlar buna yeterli değilse ek donanımlarla bunu çözeriz. Kaynak torcu yeterli hareketleri yapabilmelidir. Ayrıca, eğer iş istasyonunda iki parça tutucu bulunuyorsa ikisi de rahat bir şekilde hareket edebilmesi için robot uygun erişime sahip olmalıdır. Sistem üzerinde robotun hareketini kesebilecek hiçbir ek donanım olmamalıdır.

4.2 Hareketin Kesinliği

Kaynak işinin kalitesi robotun tamlığı ve tekrarlanabilirliği belirler. Kaynak işlerinin kesinlik gereksinimleri, boyut ve endüstrinin pratiğine bağlı olarak değişiklik gösterir ve en uygun robot seçilmeden önce her kullanıcı tarafından bu gereksinimler tanımlanmalıdır.

4.3 Ara Yüzleme

Robot, hücredeki diğer ekipmanlar ile birlikte çalışabilmek için yeterli giriş/çıkış ve kontrol yeteneklerine sahip olmalıdır. Bu diğer ekipmanlar, kaynak ünitesi, parça pozisyonerleri ve diğer otomasyon sistemleri ile haberleşme olanaklarıdır. Hücre kontrolörü, robotun hızı ve yörüngesi ile parça manipülatörünün operasyonu ve tel besleme hızı gibi kaynak parametrelerini koordine etmelidir. Aynı zamanda da otomasyon içindeki tıkanmada hemen etkilenmemelidir. Sadece ne bir önceki ve bir sonraki sistemlere bağlı çalışması ve aynı zamanda da bütün sistemle haberleşmesi genel olarak istenen bir olaydır.

4.4 Programlama

Robotun ark kaynağı için programlanabilmesi aşırı dikkat gerektirir. Şekilleri düzgün olmayan kaynak yolu için, robotun yolu boyunca fiziksel olarak hareket ettirildiği programlama ve gösterme metodunu kullanmak uygundur. Düz (doğrusal) kaynak yolları için robotun, uzaydaki iki nokta arasındaki interpolasyonu gerçekleştirecek

yeteneğe sahip olması gereklidir. Bu, programcının kaynak başlangıç ve bitiş noktalarını belirlemesine ve robotun noktalar arasındaki düz çizgi yörüngeyi hesaplamasına izin verir. Dairesel kesitli parçaların programlarında parça sabit robot hareketli yoksa parça hareketli robot sabit bir şekilde kaynak yapımı daha önceden tasarlanmalı ve daireSEL kaynaktan doğrusala geçişlerinde bekleme yapılmamalıdır [7].



5. ROBOTLU KAYNAK SİSTEMLERİ

Sanayi robotlarının kullanılmasının temeli, üretimde olan maliyetleri düşürmektir. Ayrıca insan açısından yapılması zor olan işleri daha kolay ve kısa sürede gerçekleştirmektir. Bu sayede insan kendine yakışan-bilek gücü değil, beyin gücü gerektiren işlere kaydırılabilecektir.

Endüstriyel robotların kullanımı ise 1954 tarihinde, mucit George Devol'ın programlanmış nesne taşınması üzerine aldığı patentle olmuştur. Ayrıca bu mühendisin girişimci Joseph Engelberger ile bir araya gelmesi ile de ilk endüstriyel robot şirketi Unimation kuruldu. Firmanın ilk robotu ise 1961 yılında General Motors otomotiv fabrikasında, bir döküm makinasındaki parçaların yerinden çıkartılması amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Takip eden yıllarda hidrolikle hareket ettirilen Unimates robotların büyük çoğunluğu parça taşıma ve araç gövdesi punta kaynağı işlerinde kullanılmak üzere satılmaktadır [22].

5.1 Sanayi Robotları

Günümüzdeki çalışma şartlarından dolayı ve piyasadaki rekabet ortamında, yapılacak olan işin hem kalitesi hem de mükemmel olması çok büyük bir önem kazanmıştır. Günümüzdeki bu şartlardan dolayı robot kullanmakla hem işçilikten kar edilmekte hem de malzemenin kar edilmektedir. Aynı zamanda ise sürekli üretim sağlanmaktadır. Böylelikle bünyesinde robot bulunduran firmaların aralarındaki rekabetleri daha fazla olmaktadır. Ayrıca bunlardan hariç, robotlar insanları uzun süren işlerden ve insanları yavaşlatan işlerden, zehirleyici ortam ve şartlardan kurtarmaktadır. Şekil 5.1' de görüldüğü gibi çalışma şartları çok dar olan alanlar da daha fazla işlerin yapılmasını sağlamaktadır. Birçok üretime etkili olmayan robotların, geliştikleri süre zarfında her zaman memnuniyetle karşılanmamışlardır, toplumsal krizlere de yol açmışlardır. Eğer buna örnek verecek olursak dokuma sektöründe çalışan personellerin otomatik dokuma tezgâhlarının gelişmesiyle işsiz kalmalarının gösterilmektedir.

Lakin teknolojik gelişmelerin hemen sonrasında gelecek olan nesil çok daha iyi koşullarda çalışmış ve mesai süresini azaltmak amacıyla, daha fazla boş zaman elde etmektedir. Son yıllarda yapılan bir araştırmaya göre son 130 yılda insan başına üretkenlik yaklaşık 25 kat artmaktadır. Üretkenlik artmasının 1/2 si yani 13 katı fiziki ürün artışı, diğer kalan yarısı ise insanların çalışma sürelerinin yarı yarıya düşmesi şeklindedir. Fiziki ürün artışı ancak, esnek üretim, hemen üretim ve otomasyon ile gerçekleşebilmektedir. Şuan insanlar çalıştıkları sürenin yarısını çalışıp 13 kat daha fazla huzurlu yaşamak sadece sanayi devrinin makineleşme, günden güne robot kullanımının artması ve otomasyon sayesinde gerçekleşmektedir.

Robotların bu zamana kadar farklı tanımları yapılmaktadır. Webster sözlüğünde robot, "genellikle insanların gerçekleştirdikleri işlevleri yerine getiren otomatik araçlar" olarak tanımlanmıştır. Fakat buradaki tanıma göre bir çamaşır makinesi de robot sayılabilmektedir. Robotun, Amerikan Robot Enstitüsü tarafından yapılan tanımlaması ise, "ürünlerin, parçaların ve araçların hareket edebilmesi için tasarlanmış olan birçok fonksiyonlu ve programlanabilen manipülatör veya farklı görevleri yerine getirebilmek için değişik programlı hareketleri gerçekleştirebilen özel araç" şeklindedir.

Sanayi robotunun en geniş tanımı ve robot tiplerinin sınıflandırılması TS EN ISO 8373 Manipülasyon yapan sanayi robotları- Terimler standardında belirtilmiştir. Bu standarda göre bir robot şöyle tanımlanmaktadır:

"Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya hareket edebilen manipülatör." [14]

Robot kolların modern imalat tarihi 1940'lı yılların sonlarından itibaren başladığı görülmektedir. Bu yıllarda servo kontrollü kollar, ilk olarak nükleer maddelerin taşınması sırasında teknisyenlerin korunması amacıyla kullanılmaya başlanan usta-köle robot kolu sistemleri ile bağlantılı olarak geliştirilmeye başlanmaktadır.

Endüstriyel robot konusundaki büyük atılımlardan birisi 1969 yılında Victor Scheinman tarafından bir araştırma prototipi olarak tasarlanan Stanford Kolu'dur. 6 serbestlik derecesine sahip, tamamen elektrikli bu robot kol zamanının en ileri teknolojisi olan bir DEC PDP-6 bilgisayar ile kontrol edilmekteydi. Bu robot kolun bir prizmatik, beş döner eklemden oluşan insansı olmayan kinematik yapısı robotun

hareketi esnasında hesaplanması gereken robot kinematik denklem hesaplarının bilgisayar tarafından kısa sürede yapılmasını sağlayacak kadar basittir. Robotun sürücü sistemi; doğru akım (DA) elektrik motorlar, harmonik ve düz dişli kutuları, pozisyon ve hız geri beslemeleri için gerilim ve hızölçerlerden oluşmaktadır [23].

1973 yılında ASEA (şu anki ABB) firması ilk mikro-bilgisayar kontrollü, tamamen elektrikli endüstriyel robot olan IRB-6'yı piyasaya sürdü. Bununla birlikte sürekli yörünge hareketi gerektiren gazaltı kaynağı ve malzeme işleme gibi birçok endüstriyel imalat yöntemi robotlarla uygulanabilir hale geldi [24].

Endüstriyel robot alanında seri robot yapılarının kütle ve ataletlerinin azaltılması çabaları başlıca araştırma hedeflerinden olagelmektedir. Bunda araştırmacılar için en önemli örnek teşkil eden insan kolunun ağırlığının, taşıyabildiği yüke olan oranının 1/1'den bile iyi olmasının payı büyüktür. 2006 yılında robot üreticisi KUKA firması 7 serbestlik derecesine ve ileri tork kontrolü gibi yeteneklere sahip LBR isimli hafif robotlarının prototipini tanıtmaktadır.

Endüstriyel robotları insan becerikliliği seviyelerine yaklaştıracak yeni adımlardan bir tanesinin de yakın zamanda tanıtılmaya başlayan iki kollu robot tasarımlarının olacağı çok açıktır. Robot yeteneklerinin insanla robotun güvenli bir şekilde birlikte çalışabilirliğini destekleyecek şekilde hızla gelişmekte olduğu da göz önünde bulundurulursa; halen yoğun insan işçiliği gerektiren işyerlerinde de üretim kapasitesinin, verimliliğinin ve ergonomik kalitenin artacağı yeni üretim yöntemlerinin devreye alınması mümkün olmaktadır [21].



Şekil 5. 1: Kaynaklı Birleştirmede Sanayi Robotlarının Kullanımı[14]

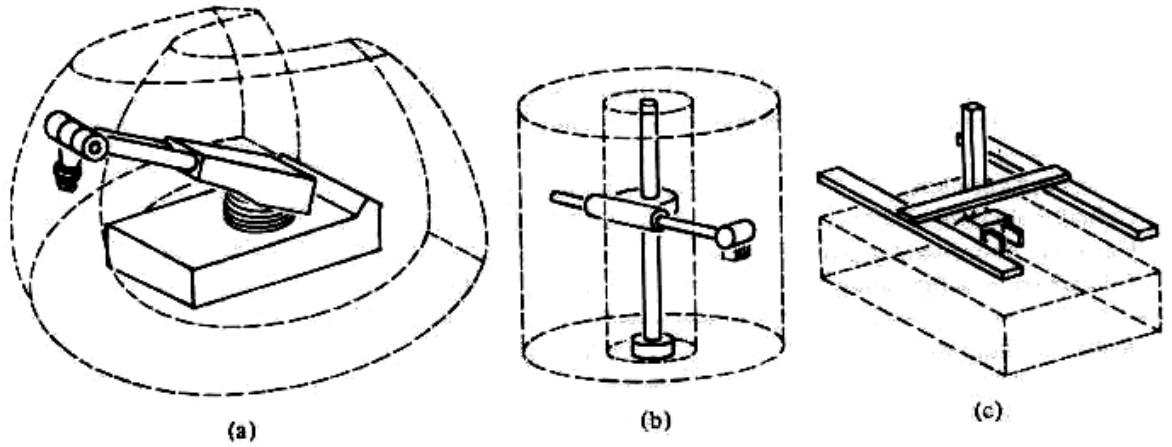
5.2 Robot Sistemleri

Endüstride kullanılan robotlar, sistemin büyük parçası olmak zorundadırlar. Bu kullanılan sistemde robotla birlikte kullanılan parametreler, amaçlanması gereken hedefler sistemin vermesi gereken şartlar ve gerekli bileşenler belirtilmelidir. Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'nün (IEEE)'nin tanımına göre sistem , "Birbiriyle etkileşim içinde bulunan farklı yapılardan veya alt bileşenlerden meydana gelen ve bir bütünlük oluşturan tümleşik yapıdır". Farklı bir görüş açısına göre ise sistem belli bir amaca hizmet eden, yapısı ve sınırları tanımlanmış bir araçtır. Beraber görev yapan alt sistemlerin veya parçaların bütünü sistem olarak tanımlanmaktadır. Sistemler, bazı özel fonksiyonları gerçekleştirmek için alt sistemlerden oluşabilmektedirler. Robotlu sistemler için bunlar denetim, görüntü algılama, konveyör, vs. gibi alt sistemler olabilmektedir. Alt sistemler, kendi içlerinde bir bütün olmakla birlikte daha büyük bir sistemin parçasıdırlar. Alt sistemler, sistem hiyerarşisi içinde birden fazla sistemin parçası olabilmektedirler [14].

5.3 Endüstriyel Robotların Genel Özellikleri

Robotlar; tasarlanan hareketleri veya yardımcı fonksiyonları fiziksel olarak hiçbir yapıya müdahale etmeden programlanabilir. Programları diğer giriş çıkışlarla tanımlanarak tam olarak otomasyon sağlanarak çok amaçlı olarak kullanılabilirler. Sistem içerisinde kontrol sistemlerine ve mekanik yapıya müdahale ederek gerekli değişiklikleri yapılabilir veya mevcut sistemlere adapte edilmektedir. Robotların gidilen koordinat hareketlerini eksenler gerçekleştirmektedir.

Şekil 5.2’de fiziksel yapılandırma, çalışma hacimlerinin şekli üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Kutupsal koordinat robotunun çalışma hacmi kısmen küreseldir; silindirik koordinat robotunun silindirik, kartezyen koordinat robotunun çalışma hacmi dikdörtgen prizma ve eklemlili-kol robotunun çalışma hacmi ise yaklaşık küreseldir. Her robot sisteminin çalışma hacmi şeklinin büyüklüğü, kol bileşenleri ve eklem hareketlerinin sınırları tarafından etkilenmektedir. Robot seçimi, yapılacak işin hacmine uygun olarak seçilmelidir. Sistemi ne kadar çok karmaşık ve büyük yaparsak ona göre eklemlerin boyutlarının artması ve bu sistemi ayakta tutabilecek gövdenin ataleti, sistemi hareket ettirecek motorların gücü artacak ve sistemin maliyeti yükselmiş olacaktır [7].



Şekil 5. 2: Çeşitli Robot Anatomileri İçin Çalışma Hacimleri a) Kutupsal, b) Silindirik c) Kartezyen [7]

6. ROBOT SEÇİMİ

6.1 Çalışma Hacmi

Robotun erişebileceği ve her türlü konum uzaysal hacimdir. Burada önemli olan robotun fiziken büyük olması değil işlevsel olmasıdır. Robotun mümkün olduğu kadar geniş bir çalışma alanına sahip olması temenni edilir. Ancak burada müşteri isteği göz önüne alınarak kendilerine en uygun robotu seçmeleri gerekmektedir. Çünkü bir robotun çalışma alanının genişlemesi demek, aynı zamanda robotun uzunlarının artması dolayısıyla ataleti, enerji tüketim miktarının, gerekli motor gücünün ve robot fiyatının artması da demektir[14].

Çalışma hacminin şekli “çalışma alanı” olmaktadır ve konfigürasyon ile birlikte robotun fiziksel görünümünü sınıflandırmaktadır. Konfigürasyon ve bunlarla ilgili çalışma alanları Şekil 6.1’ de gösterilmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi maksimum teorik çalışma alanı, fiziksel konfigürasyon ve robotun sınırlamalarına bağlı olarak kısıtlanmaktadır[26].

6.1.1 Tamlık

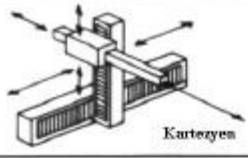
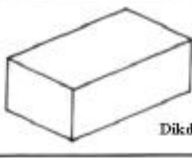


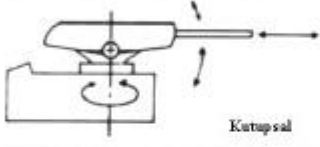

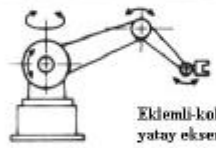

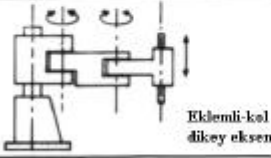
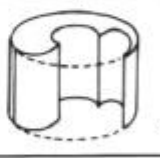
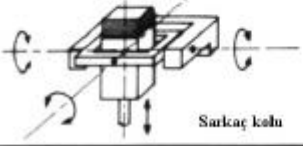

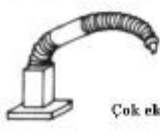

Bu sistemlerde tamlık çalışma alanı içerisinde istenilen noktaya, robotun bilek sonunu götürebilme yeteneğidir Robotun tamlığı uzaysal çözülüm cinsinden ifade edilebilir çünkü hedef bir noktaya erişebilme yeteneği her eklem hareketi için robotun kontrol artımlarını hangi seviyede tanımlayabildiğine bağlıdır. Tamlık, verilen bir hedef noktaya ulaşabilmek için robotun program yapılabilirliği ile ilişkilidir. [7].

6.2 Tekrarlanabilirlik

Robotlarda veri olarak girilen bir nokta ile robot uç noktası arasındaki maksimum hata miktarına tekrarlanabilirlik denir. Genel olarak kullanılan robotlarda tekrarlanabilirlik değerinin 0,1mm - 0,2mm arasında oluşu yeterli olmaktadır. Husisi olarak ark kaynağı uygulamasını ele alırsak tekrarlanabilirlik değerinin kaynakta kullanılmış tel çapının yarısından küçük olması istenmektedir.

6.3 Yük Taşıma Kabiliyeti ve Hız

Robotun minimum hızda çalışırken taşıyabileceği max. yük miktarına max. yük taşıma kapasitesi denir. Robotun maksimum hızda çalışırken taşıyabileceği max. yük değerine nominal yük taşıma kabiliyeti denir. Bu yük taşıma kapasitesi verileri taşınan malzemenin şekli ve boyutuna bağlıdır [14].

Konfigürasyon	Çalışma hacmi
 Kartezyen	 Dikdörtgenel
 Silindirik	 Silindirik
 Küresel	 Küresel
 Eklemlü-kol yatay eksen	 Küresel
 Eklemlü-kol dikey eksen	 Silindirik
 Sürüç kolu	 Kısmi küresel
 Çok eklemlü kol	 Küresel

Şekil 6.1: Geometrik Konfigürasyon ve Çalışma Hacmine Göre Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması [28]

6.4 Kontrol Ünitesi

Kontrol ünitesinin kullanım esnekliği kullanıcı açısından önem taşımaktadır. Kullanıcı, robotun takip etmesi gereken eksen üzerinde referans noktalarını ve bu noktalardaki kaynak değerlerini robotun kendi programındaki komutlar ile belirler.

Robotun takip etmesi gereken yörüngeyi, kontrol ünitesi bu verileri baz alarak yapılacak kaynak işlemini öğrenmiş olmaktadır. Ortaya çıkan bu değerlere ve geri besleme sinyallerine göre bütün parametrik değerler kontrol ünitesince belirlenmektedir.

6.5 Yazılım

Programı yapan personel robotun koordinatlarını sıra ile hareket ettirerek robotu istenilen pozisyona getirir. Programlama sekmesinin basitliği yazılımla ilişkilidir.

Yapılan yazılımda çok sekmeli koordinat sisteminin (takım koordinat sis, kartezyen koodinat sis.) tercih edilmesi, programlamayı kolay ve zevkli bir iş haline çevirir. Bunun yanı sıra robotu kullanan kişinin kendi sistemini oluşturması gibi ekstra hususlar önemlidir. Yazılımlar uygulamaya özel komutlarda içermelidir. Örnek olarak ark kaynağı uygulamasında salınım komutu çok elverişli bir komuttur. Bunlara ek olarak öteleme, atlama gibi komutlar ile program sayısı ve program satır sayısı düşürülebilmektedir.

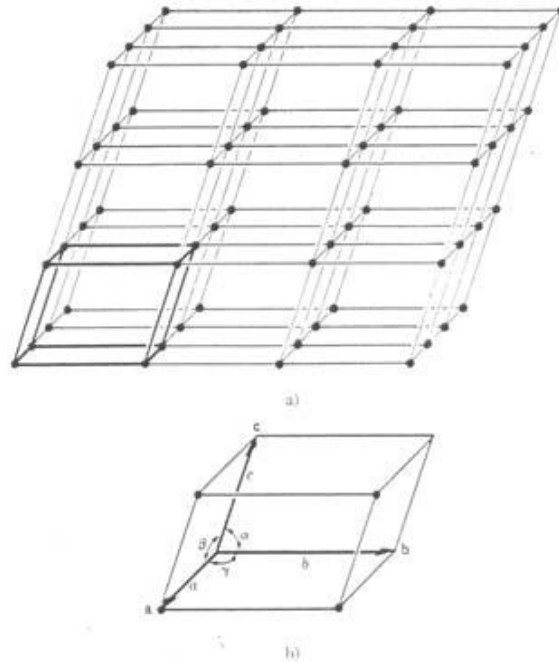
Robotların nerdeyse hepsi günümüzde on-line olarak programlanmaktadır. On-line programlamada tekrarlanabilirlik önemlidir. Gelecekte bu sistemlerde önemli olan diğer konuya mutlak hatadır. Bu mutlak hata ilerleyen teknolojilerde kullanılarak CAD-CAM kontrollü off-line programlamada önemli bir yer edinecektir [14].

7. ÇELİKLERE GENEL BAKIŞ

7.1 Malzeme Kristal Yapısı

Atomların dizilme şekillerine bağlı olarak malzemelerin mikro yapıları ve özellikleri değişir. Atomların diziliş şekillerini amorf, moleküler ve kristal yapı olmak üzere üç grupta inceleyebiliriz.

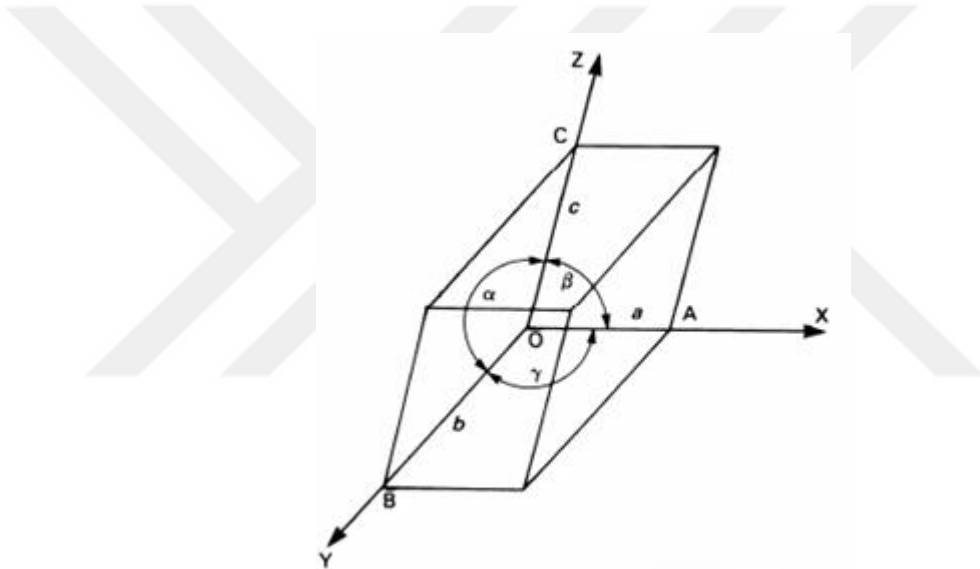
Atomlar düzensiz bir şekilde dizilmişlerse böyle yapıya amorf yapı adı verilir. Kuvvetli bağlarla bağlanmış atomlardan oluşan moleküller, birbirleriyle zayıf bağlarla bağlanarak bir arada bulunuyorsa bu yapıya moleküler yapı denir. Atomların üç boyutlu olarak belirli bir geometrik düzene göre dizilmeleri sonucu meydana gelen yapıya kristal yapı denir. Atomlar arası bağ kuvvetleri nedeni ile üç boyutlu olarak belirli bir geometrik düzene göre atomların dizilmeleri sonucu oluşan yapıya hacimsel kafes adı verilir. Hacimsel kafes küçük birçok birim hücreden oluşmuştur. Birim hücre hacimsel kafesin tüm geometrik özelliklerini taşır. Şekil 7.1’ de de görülmektedir. Birim hücrenin köşelerinde veya tercihli diğer bazı noktalarında atomlar bulunur.



Şekil 7. 1:a) Hacimsel Kafes, b) Birim Hücre [33]

7.1.1 Kristal tipleri

Simetri derecelerine göre kristallerin yedi sınıfı vardır. Bunlar triklin, monoklin, romboedral (veya trigonal) ortorombik, tetragonal, kübik ve hekzagonaldır. Bu yedi sınıf Miller sistemi kullanılarak altı parametrenin belirlenmesiyle tanımlanabilir. Kafes noktalarından birisi merkez, yani koordinat sisteminin başlangıcı olarak alınırsa, bunu çevreleyen kafes noktaları uygun konumlandırılmış eksenler üzerindeki koordinatlarla verilir. Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Koordinat eksenleri OX; OY ve OZ dir. O merkezine eksenler üzerindeki en yakın kafes noktaları A, B ve C olup merkeze uzaklıkları a, b ve c olsun, Eksenler arasındaki açılar α , β , ve γ dir. Şekil 7.2’ de Kristal referans eksenleri görülmektedir.



Şekil 7. 2:Kristal Referans Eksenleri [33]

Tetragonal, kübik ve hekzagonal kristal sistemleri önemlidir ve bunlar Miller sisteminde:

$$\text{Tetragonal } a = b \neq c; \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

$$\text{Kübik } a = b = c; \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

$$\text{Hekzagonal } a = b \neq c; \quad \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 60^\circ \text{ şeklinde verilir.}$$

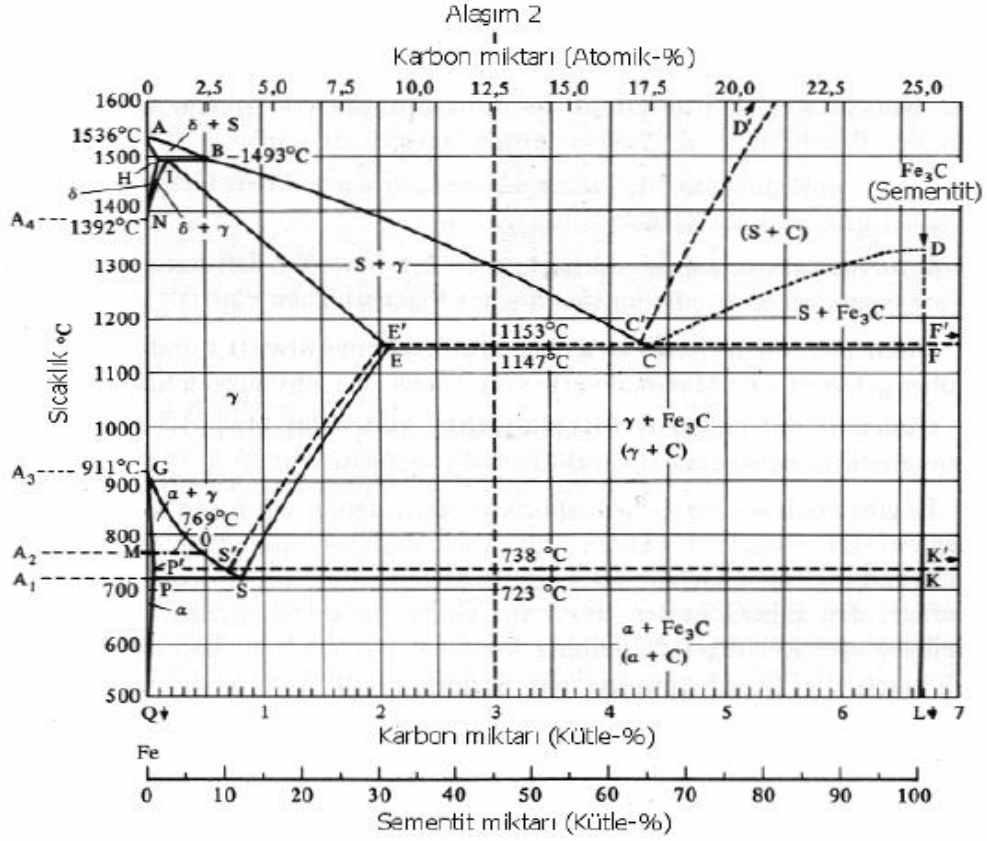
Hekzagonal sistemin tanımı için alternatif bir yöntem mevcut olup buna Miller-Bravais sistemi denir. Bu sistem dört referans eksenini kullanır. Sistemde eşit uzunlukta

bulunan üç eksen ile bunlara dik bir eksen vardır. Aynı düzlemler arasında 120° lik açı vardır. Miller Bravais sisteminin birim hücresi, Miller sisteminin üç birim hücresine eşittir[33].

7.2 Demir-Karbon Grafiği

Demirin en önemli alaşım elementi karbondur. Demirin karakterini ve özelliklerini değiştirmek için oldukça az miktarlar bile yeterli gelmektedir. Daha sonra hiçbir işleme tabi tutulmayan yoğrulabilir (dövülebilir ve haddelenebilir) Fe esaslı alaşımlar %0 ile 2,06 C içermektedir; bu tür düşük miktarlarda karbon içeren Fe esaslı alaşımlara çelikler denir. %0,35 C a kadar çelikler sertleşebilir değil iken daha yüksek karbon miktarlarında su verme yoluyla cam gibi sertleşebilmektedir. %2,06 den fazla C içeren çelikler normalde yoğrulamaz, çünkü kırılırlar. Bu nedenle döküm halinde kullanılır; bu tür yüksek miktarlarda karbon içeren Fe esaslı alaşımlara dökme demir denir. Karbonun demir üzerindeki önemli etkisi, çeliklerin çekme mukavemetinin haddelenmiş konumda her %0,1 C için 90 N/mm^2 ve akma mukavemetinin $40-50 \text{ N/mm}^2$ seviyesinde artmasından anlaşılabilir. Aynı değerde mukavemeti artırmak için %1 Mn, Si veya Cr gerekmektedir. Bu karbonun diğer alaşım elementlerine göre yaklaşık 10 misli daha fazla etki yaptığını göstermektedir (arayer-yeralan yabancı atom farkı). Karbon, demir içerisinde ya elementel karbon (grafit, temper kömürü) ya da demir ile kimyasal bileşik yapmış Fe_3C (demirkarbür, sementit adıyla daha yaygın bir şekilde anılır; bu isim ilgili fazın sert olması nedeniyle semente olmaktan, yani çimentolaşmaktan gelir) olarak iki şekilde bulunmaktadır. Bu nedenle demir-karbon alaşımlarında kristalizasyon ilişkileri, birbirinden farkı çok az olan iki faz diyagramı ile gösterilmektedir: demir demirkarbür sistemi (Fe- Fe_3C) ve demir-grafit sistemi (Fe-C). Saf demir-karbon alaşımları pratikte Fe- Fe_3C sistemine göre kristalize olmaktadır. Çok yavaş soğutmada, ardarda yapılan birkaç ergitme ve katılaşma sonrası, yüksek sıcaklıkta uzun süreli tavlama sonrası ve silisyumun varlığında demirkarbür (Fe_3C) özellikle karbonca zengin alaşımlarda bileşenleri olan Fe ve C a ayrılmaktadır. Tavlama sırasında alaşımlar termodinamik denge doğrultusunda değiştikleri için Fe- Fe_3C sistemi metastabil (yarı kararlı), Fe-C sistemini ise stabil (kararlı) olarak adlandırılır. Şekil 7.3’de kalın çizgiler ile gösterilen eğriler metastabil olan Fe- Fe_3C sistemine, kesikli çizgiler ile gösterilen ise stabil olan Fe-C sisteme tekabül etmektedir. Burada yalnız metastabil sistemden bahsedilecektir.

Saf demir-karbon alaşımları pratikte Fe- Fe₃C sistemine göre kristalize olmaktadır. Çok yavaş soğutmada, ardarda yapılan birkaç ergitme ve katılaşma sonrası, yüksek sıcaklıkta uzun süreli tavlama sonrası ve silisyumun varlığında demirkarbür (Fe₃C) zellikle karbonca zengin alaşımlarda bileşenleri olan Fe ve C a ayrışmaktadır. Tavlama sırasında alaşımlar termodinamik denge doğrultusunda değiştikleri için Fe-Fe₃C sistemi metastabil (yarı kararlı), Fe-C sistemini ise stabil (kararlı) olarak adlandırılır. Şekil 7.3 'de kalın çizgiler ile gösterilen eğriler metastabil olan Fe- Fe₃C sistemine, kesikli çizgiler ile gösterilen ise stabil olan Fe-C sisteme tekabül etmektedir. Burada yalnız metastabil sistemden bahsedilecektir. Şekil 1'de verilen denge diyagramında saf demir sol sınırı, demirkarbür ise sağ sınırını oluşturmaktadır. Demirkarbr, daha sıklıkla kullanılan adıyla sementit (Fe₃C) %6,67 C içermektedir. Kafes yapısı çok karmaşıktır. Rombik birim kafesinde (a = 4,517 Å, b = 5,079 Å, c = 6,73 Å) 4 molekül Fe₃C, yani 12 demir ve 4 karbon atomu bulunmaktadır. 4 Fe atomu C atomunu tetrahedral (tetraeder) şeklinde çevrelemektedir. Her bir tetrahedral, karşılıklı olarak kenar boyunca veya köşelerde birbirleri ile bağlıdır. Sementit oldukça serttir (HV =800 kp/mm²), yoğunluğu demirden daha azdır (ρ_{Fe} = 7,86 g/cm³, ρ_{Fe₃C} = 7,4 g/cm³) ve oda sıcaklığında manyetikdir. Isıtma ile bu mağnetizm 215 °C de kaybolmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda sementit, demir ve karbona ayrışır. Bu nedenle Fe₃C nun ergime noktası tam olarak bilinmemektedir. Demir-karbon diyagramında 1330 °C ile gösterilse de ergime noktası daha yüksek sıcaklıklarda bulunmaktadır. Demir-karbon grafiğinde kararlı fazlar bulunmaktadır. Otektoid elik; % 0.8 C içeren çeliğe otektoid elik adı verilir. Bu kompozisyonun altındaki çeliklere otektoid altı elikler(C oranı < % 0.8 %), bu bileşimden daha fazla C içeren çeliklere otektoid üstü elikler(C oranı > % 0.8) adı verilir[34]. Şekil 7.3' de Demir-Karbon diyagramı görülmektedir.



Şekil 7. 3:Sınırlı Demir-Karbon Sistemi. Kesikli Çizgiler Stabil Sistemi, Düz çizgiler ise metastabil sistemi gösterir[34].

7.3 Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkisi

Karbon

Çeliğin sıcak ve soğuk işleme kabiliyetleri, artan karbonla düşmektedir. Soğuk işlemede % 0,8 C, sıcak işlemede ise % 2,0 C sınır olarak kabul edilmektedir. Çeliklerin talaşlı imalat ve kaynak kabiliyetleri de artan karbonla düşme göstermektedir. % 0,20'ye kadar karbonlu çelikler, en iyi kaynak edilebilirler. Yüksek karbonlu çeliklerin kaynağında özel yöntemler kullanılmaktadır.

Silisyum

Silisyum; cevherden ve oksijen giderme için kullanılan maddelerin artıklarından demire geçmektedir. Çelik içinde eriyik halinde bulunmakta ancak mikroskop altında görülmemektedir. Çeliğin silisli sayılabilmesi için % 0,40'dan fazla silisyum ihtiva etmesi gerekmektedir. Silisyum; çekme ve akma mukavemetlerini, sertleşme derinliğini ve yay özelliğini artırmaktadır[35].

% 1'in üzerindeki silisyum kırılmalığa yol açmaktadır. % 12-18 Si'lu dökme çelikler, aside dayanıklılık istenen yerlerde kullanılmaktadır. Silisyum miktarı arttıkça çeliğin dövülebilme ve kaynak kabiliyeti de azalmaktadır.

Mangenez

Mangenez de, cevherden ve oksijen giderme maddelerinden demire geçmektedir. Normal bir çelikte % 1'e kadar manganez bulunabilir. Yapıda eriyik halde ve MnS halinde bulunan manganez, birçok durumlarda silisyumun aksine hareket etmektedir. Manganez, % 7'ye kadar çeliğin çekme ve akma mukavemetlerini, % 1'e kadar da dövülebilirlik ve ateşe dayanıklılık kabiliyetlerini artırmaktadır.

Fosfor

Düşük sıcaklıklarda soğuk kırılmalığa yol açıklarından çelikte fosfor sınırının en fazla % 0,05 olması istenir. Bu da silisyum ve manganez gibi çelikte erimesine rağmen mikroskop altında görülemez.

Kükürt

Kükürt, sülfürlü cevherlerden ve yakıtlardan demire geçmektedir. Çelikte sıcak kırılmalılık yaptığından en fazla % 0,05 olması istenir. Bu durum otomat çelikleri için geçerli değildir. Zira bu tip çeliklerde kırılmalı talaş ile yüksek kesme hızlarına ulaşmak için % 0,2-0,3 S istenir.

Oksijen

Çelik üretimi sırasında çeliğe geçmekte ve oksijen giderici maddelerle giderilmektedir. Sıcak kırılmalığa yol açtığından % 0,07'den fazlası istenmez.

Azot

Çelik üretimi sırasında kullanılan havadan geçmektedir. 600°C'de yapıya girerek akma mukavemetini yükseltmekte ancak uzama ve çentik darbe mukavemetini çok düşürmektedir. Çeliğin yaylanması hızlandırmakta ve bunun sonucunda kaynak dikişlerinde kırılmalılık oluşturmaktadır.

Hidrojen

Nemli cevherlerden ve yakıt gazlarından çeliğe geçebilen hidrojen, az miktarda dahi olsa çok zararlıdır ve kırılmalıya yol açmaktadır. Hidrojen, yavaş veya vakum altında soğutma gibi yöntemlerle çelikten alınmaktadır.

Krom

Krom, çeliklerde ostenit alanını daraltmakta ferrit alanını ise genişletmektedir. % 20 Cr'lu bir çelik tamamen HMK ferritik yapıdadır ve oda sıcaklığına kadar hiçbir dönüşüm göstermemektedir. Düşük kromlular, belli sıcaklık aralığında ostenit kristalleri gösterirlerse de bu sıcaklık aralığının altında tekrar ferrite dönüşmektedir.

Nikel

Kromun aksine ostenit sahasını genişleten bir elementtir. Ostenitik bir yapıya sahip olan çelikler, yüksek korozyon direnci, yüksek çekme mukavemeti, yüksek sıcak mukavemet, düşük akma mukavemeti ve -200°C gibi düşük sıcaklıklarda yüksek süneklilik gibi özellikler gösterirler ve sertleştirme ısıl işlemine tabi tutulamazlar. Normal soğuma ile oluşan martensitik çelikler, aşınmaya dayanıklı yerlerde kullanılırlar ve sadece taşlanarak işlenebilirler.

Molibden

Molibden, özellikle yüksek sıcaklıklarda çekme dayanımını artırmaktadır. Kaynak kabiliyetini olumlu yönde etkilemesine karşın dövülebilirliği azaltmaktadır.

Vanadyum

Ostenit alanını daraltan elementlerden olan vanadyum, iyi bir karbür yapıcı olduğundan çeliklerde çekme, akma ve özellikle yüksek sıcaklıklardaki mukavemeti artırmaktadır. Gerek imalat ve gerekse takım çeliklerine olumlu etkileri olan vanadyum, hız çeliklerinin kesme mukavemetini de artırmaktadır. Vanadyum, imalat ve sıcağa dayanıklı çeliklerde krom ile kullanılırken hız ve sıcak iş takım çeliklerinde volfram ile kullanılmaktadır.

Volfram(Tungsten)

Volfram, çok iyi bir karbür yapıcı olduğundan mukavemeti, sertliği, kesme kabiliyetini ve dayanıklılığı oldukça önemli oranlarda yükseltmekte ve yüksek sıcaklıklarda

mukavemetin muhafazasını sağlamaktadır. Bu nedenle volfram, hız ve sıcak iş takım çeliklerinde vazgeçilemez bir alaşım elementidir.

Kobalt

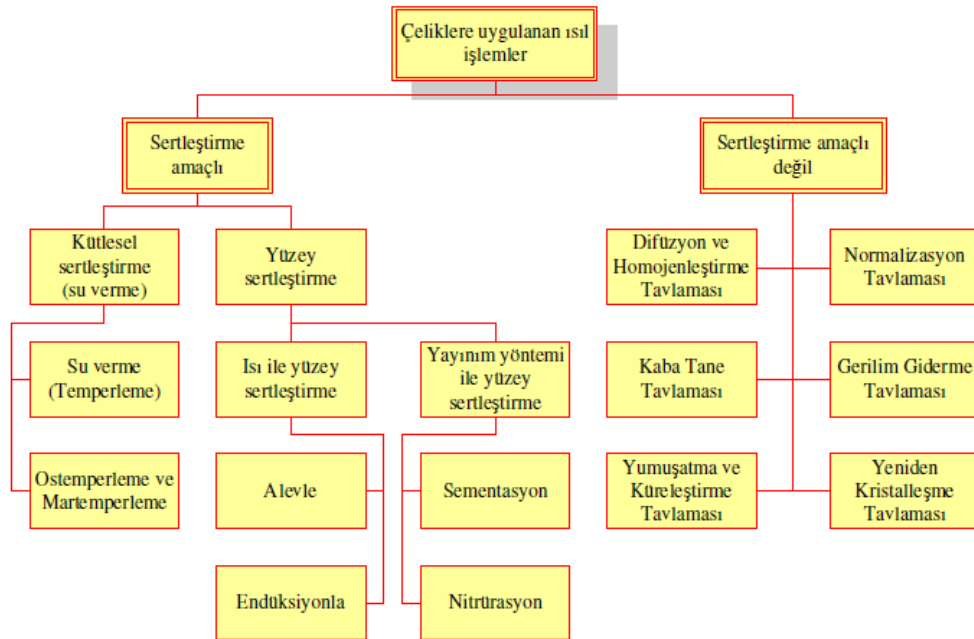
Bu element de mukavemet ve sertliği çok artırmaktadır. Hız çelikleri ve sürekli mıknatıslı çeliklerde kullanılan kobaltın çelikteki tutumu nikel benzemektedir ve ostenit alanını genişletmektedir. Kobalt, kuvvetli bir karbür yapıcı olduğu için de sıcakta mukavemeti artırmaktadır.

Alüminyum

Alüminyum elementi, çelik içinde silisyum gibi hareket etmektedir. Yüksek miktarlarda kullanıldığında çeliği kaba taneli yapan alüminyum, sıcakta tufallaşma dayanımını artırmaktadır.

7.4 Isıl İşlemler

Isıl işlem, malzemeyi belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıp bu sıcaklıkta belirli bir süre tuttuktan sonra kontrollü olarak soğutma işlemidir. Isıl işlemdeki amaç, malzemeyi oluşturan atomların yüksek sıcaklıkta hareketlilik kazanıp yeni konumlara yayılmalarından dolayı atom hareketlerini kontrol altına alarak malzemeye istenen özellikleri veren mikro yapıyı kazandırmaktır[35]. Çeliklere uygulanan ısıl işlemler Şekil 7.4’ de mevcuttur.



Şekil 7. 4:Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler [35]

7.5 Sertleştirme Amaçlı Olmayan Isıl İşlemler

7.5.1 Difüzyon ve homojenleştirme tavlaması

Difüzyon ve homojenleştirme tavlamasının amacı, parçayı mümkün olan en yüksek sıcaklığa ısıtıp yine parçayı bu sıcaklıkta belli bir süre tutarak malzeme içinde katılaşma sırasında ortaya çıkan segregasyonları (bölgesel bileşim farklılıklarını) yayılım yoluyla gidermek olarak açıklanabilir.

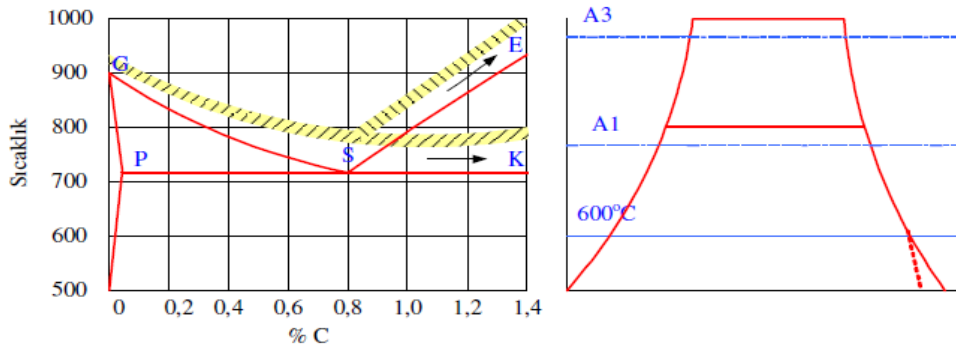
7.5.2 Kaba tane tavlaması

Kaba tane tavlamasının amacı, çeliğin tane boyutunu büyütürken malzemeyi yumuşatmak ve talaşlı imalat kabiliyetini artırmaktır.

Çelik; ostenit sahası içinde, normalizasyon sıcaklığının üzerinde ısıtılmakta ve birkaç saat süreyle bu şekilde tutulmaktadır. Belirli sıcaklığa kadar çok yavaş soğuma sağlanmakta ve daha sonra malzeme havada soğumaya bırakılmaktadır. Bu işlem sonunda çok iri tane yapısına sahip olan çelik, talaşlı imalat sonrasında normalizasyon işlemine tabi tutularak ince taneli bir yapı elde edilebilmektedir.

7.5.3 Normalizasyon tavlaması

Normalizasyon tavlamasının amacı, küçük ve düzgün dağılmış taneli ferrit ve perlit içeren bir mikro yapı elde etmektir. Haddeme ve dövme gibi plastik şekillendirme yöntemleri ile oluşturulan homojen olmayan tane boyutuna ve döküm sonrası oluşan iri tanelere sahip malzemelere uygulanmaktadır. Şekil 7.5’ de Normalizasyon tavı ısıtım işlem diyagramı görülmektedir.



7.5.4 Yumuşatma ve küreleştirme tavlaması

Yumuşatma ve küreleştirme tavlamasının amacı, % 0,5'ten çok C içeren çeliklere talaşlı imalat, haddeleme, bükme, çekme gibi şekillendirme işlemleri öncesinde en yumuşak ve sünek hali kazandırmaktır. Böyle bir yapı, C'un yayılımı ile ferritik yapı içinde küresel sementit tanecikleri oluşturarak sağlanmaktadır. C'un ferrit içindeki yayılım hızı, ostenit içindekinden hızlı olduğu için uygulamada kullanılan sıcaklık 723°C civarındadır.

7.5.5 Gerilim giderme tavlaması

Üniform olmayan ısıtma/soğutma, üniform olmayan şekil değişimi (soğuk şekil değiştirme) parçalar içinde gerilmelere yol açmakta ve bunlar da malzemede çarpılma ve çatlamalara neden olmaktadır. Malzeme bu uyumsuzlukları kısmen plastik kısmen de elastik şekil değiştirerek gidermeye çalışmakta böylece parçada elastik şekil değiştirmelere karşılık olan iç gerilmeler doğmaktadır. Elastik şekil değiştirmeyi plastik hale çevirecek olan her işlem, doğal olarak iç gerilmeleri de azaltmaktadır. Bunun için sıcaklığı artırarak elastik gerilme etkisi altındaki atomların yer değiştirmesini kolaylaştırmak ve böylece tane yapısında herhangi bir faz dönüşümü yaratmadan sadece akma sınırını geçici olarak çok düşük düzeye (örneğin 2-3 kg/mm² civarına) indirecek bir sıcaklığa parçayı ısıtıp daha sonra çok yavaş olarak soğutmaya "gerilim giderme tavı" adı verilmektedir. Tanımdan da anlaşılacağı gibi bu tavlamanın amacı; kaynak, döküm, plastik şekil verme ve ısıl işlemler sonucunda malzemede var olan iç gerilmelerin en az düzeye indirilmesidir. iç gerilmeler malzemenin maruz kaldığı gerilmelere ilave olurlar ve beklenen değerlerin altında kırılmaya yol açabilirler. Çeliklerde bu ısıl işlem, faz dönüşüm sıcaklığının altında (yaklaşık 550-650°C civarında) 25 mm parça kalınlığı başına 1 saat tutma süresi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Gerilim giderme işleminin başarılı olması için soğutmanın yavaş yapılması gerekmektedir.

7.5.6 Yeniden kristalleşme tavlaması

Soğuk şekil değiştirme sonucu tane yapısı bozulmuş, iç gerilmeler meydana gelmiş bir metal ve alaşımında yeni tanelerin oluşması, mekanik özelliklerini (yüksek dayanım, düşük süneklik ve tokluk) başlangıç durumuna getirmeyi sağlayan bir ısıl işlemdir.

Malzeme şekil değiştirmeden önceki özelliklerini tekrar kazandığı gibi yapısı da genellikle daha ince taneli olmaktadır.

7.6 Sertleştirme Amaçlı Olan Isıl İşlemler

7.6.1 Yüzey sertleştirme işlemleri

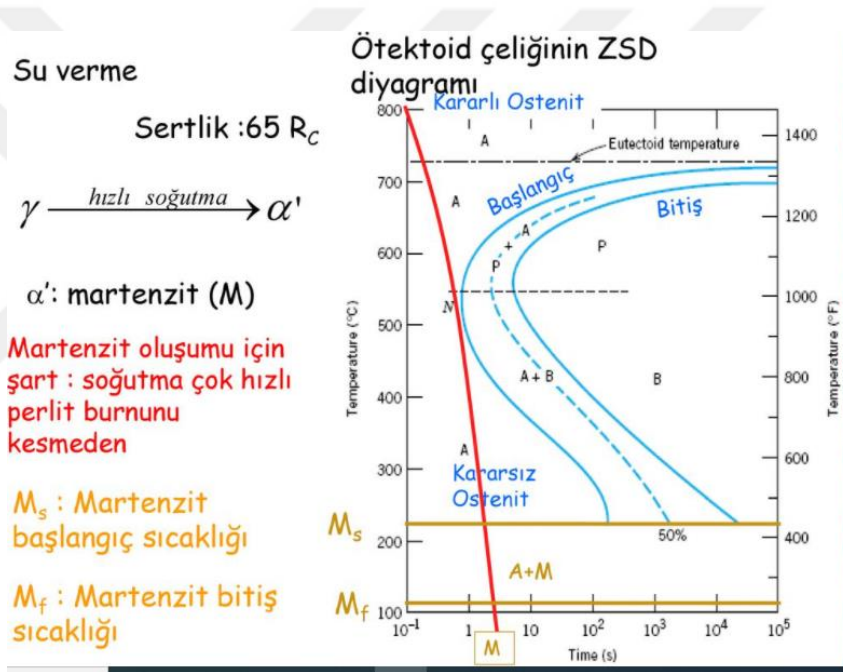
Birbirleri ile temas halinde çalışan makina parçalarının yüzeylerinin sert, iç kısımlarının ise sünek olması istenmektedir. Bu nedenle dış kısımları sertleştirilmiş, iç kısımları ise normalize durumunda olan çelikler tercih edilmektedir. Yüzey sertleştirme işlemleri Krank şaft, kamalı şaft, kem şaft, dişli, saplama, kavrama parçaları, zincir vb. parçalara uygulanmaktadır. Yüzey sertleştirme işlemleri sonucunda parçanın yüzey kısmında basma gerilmeleri, iç kısmında ise çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bu nedenle yüzeyi sertleştirilmiş parçaların aşınma dayanımlarının yanı sıra yorulma dayanımları da yüksektir.

7.6.2 Su verme, sertleştirme

Çelikler ısıtılma ve soğutulmaları esnasında yapı değişikliklerine uğramaktadır. Çelikte normal soğuma şartlarında Ostenit, Ferrit + Sementit'e ayrışmaktadır. Hızlı soğuma (su verme) esnasında ise ostenit martenzit yapıya dönüşmektedir. Ötektoid altı çelikleri $A3 + 50^{\circ}C$, ötektoid üstü çelikleri $A1 + 50^{\circ}C$ üzerine ısıtıp hızla soğutarak mevcut ostenitin martensit denilen çok sert ve iğneli görünüşte bir mikro yapıya dönüştürülmesine "sertleştirme" adı verilmektedir. Su verilmiş ötektoid altı çeliklerde, çok az (% 1) kalıntı ostenitin dışında tamamen martensitik yapı olduğu halde ötektoid üstü çeliklerde martensit ve sementit bulunmaktadır. Martensit, karbon çözüldürmüş ostenitin (YMK) düşük sıcaklıkta kafes dönüşümüne uğraması sonucu oluşmaktadır. Ostenit YMK bir yapıdadır ve ostenitten oluşan ferrit ise HMK bir yapıya sahiptir. Ostenit sahasındaki malzeme ani olarak soğutulursa ostenit içinde eriyik halinde bulunan karbon, ferrit kristali içerisine sıkışmaya mecbur bırakıldığında HMK ferrit kristali distorsiyona uğrayarak şeklini değiştirip tetragonal yapıda, içerisinde daha fazla karbon eritebilen bir yapı meydana gelecektir. Bu transformasyona "martensitik transformasyon", meydana gelen yapıya da "martensit" adı verilmektedir. Bu kristal kafesi, kayma düzlemleri bulundurmadığı için şekil değişimine karşı çok yüksek mukavemet göstermektedir[35].

7.7 TTT Diyagramları (Su Verme)

Östenit dönüşümü sırasında görülen ve öncelikle dönüşüm ürününün (perlit, sorbit, trostit, beyrit, martenzit) özelliklerini belirleyen olayların incelenmesinde, denge durumunda geçerli olan Fe-C diyagramından yararlanılamaz. Östenit dönüşümü, artan soğuma hızından etkilenmektedir. Ancak denge diyagramları, dönüşümün zamanla ilişkisini açıklayamamaktadır. TTT (Time Temperature Transformation) diyagramları, dönüşüm olaylarını sıcaklık ve zamana bağlı olarak gösterirler. Olaylar bazen çok uzun sürebileceğinden, zaman eksenini logaritmik bölümlüdür. Östenit dönüşümü, sürekli soğuma ve sabit sıcaklık durumlarında birbirinden ayrı olarak incelenir. TTT diyagramlarında kararsız yapılar mevcuttur[36]. Şekil 7.6' da TTT diyagramı görülmektedir.



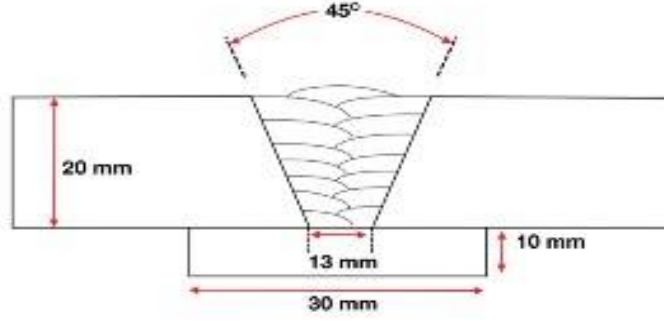
Şekil 7. 6: TTT Diyagramı [36]

8. DENEYDE KULLANILAN SARF MALZEMELER

8.1 Ana Malzeme (S355J2N)

Kaynak yöntemlerinin oluşturdukları artık gerilmelerin şiddeti malzemenin cinsine ve kalınlığına göre farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada EN 10025-2 standardına göre S355J2N yapı çeliği seçilmiştir. Tablo 7.2' de mekanik özellikleri gösterilmiştir. Yapı çeliklerinin kaynak kabiliyeti S355J2N yapı çeliği diğer yapı çeliklerine göre kaynak kabiliyetinin daha zayıf olmasına karşın distorsiyona karşı daha dirençlidir. Ayrıca S355J2N diğer yapı çeliklerine göre ısı işleme daha uygundur. S355J2, kaynak kabiliyeti daha düşük olduğu için diğer yapı çeliklerine göre daha fazla artık gerilme oluşturur. Bu sebeple normalize edilmiş, daha homojen bir iç yapıya sahip S355J2N yapı çeliği kullanılarak yapı çeliklerinde oluşan artık gerilmeler için daha genel bir kanı oluşturulabileceğinden tercih edildi [15].

Deneylede iki farklı elektrotun kıyaslamasını yapmak için aynı malzemedan yapılmış TS EN 10025-2 Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri - Bölüm 2: Alaşimsız yapı çeliklerinin teknik teslim şartları standardına göre S355J2+N çeliğini kullanılmıştır. İlgili çelikteki harf ve rakamların anlamı ise; S yapı çeliği, J2 -20°C de 27J darbe enerjisine ve N ise normalize edilmiş anlamına gelmektedir. Bu çelik parçadan 20x150x400 mm ebatlarında 45° açıyla kaynak ağzı açılmış olup ve altta çelik altlık kullanılmıştır. Şekil 8.1'de açıklığın 13 mm olmasının amacı tamamen kaynaklı bölgenin testleri yapılacağından dolayı geniş bir aralık tercih edildi. Tablo 8.1'de çeliğin kimyasal analizi görülmektedir.



Şekil 8. 1: Test Parçasının V-Kaynak Ağzı

Tablo 8. 1:TS EN10025-2 Standardına Göre S355J2+N Kimyasal Bileşimi (%) [30]

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cu
S355J2+N	0.22	0.55	1.60	0.03	0.03	0.55

Tablo 8. 2:TS EN10025-2 Standardına Göre S355J2+N Mekanik Özellikleri [30]

Kalınlık (mm)	Akma Mukavemeti R _{m0.2} (N / mm ²)	Çekme Mukavemeti R _m (N / mm ²)	Uzama (%)	Charpy-V-Çentik Değerleri Boyuna
3 < t < 100	315-355	490-630	Max 22	-20 C'de 27 Joule



Şekil 8. 2:Kaynak Test Parçası Görünümü

8.2 ELCOR R 81 Ni ve ELCOR M 80 Ni Kaynak Telleri

ELCOR R 81 Ni ve ELCOR M 80 Ni kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri sırasıyla Tablo 8.3 ve Tablo 8.5’de verilmiştir. Mekanik değerleri ise Tablo 8.2 ve Tablo 8.4 ‘te gösterilmiştir. ELCOR R 81 Ni kaynak teli için R, rutil olduğunu ve 81’de ki rakamlar ise; ilk rakam olan 8 mukavemeti ve 1 olan rakam ise, her pozisyonda kaynak yapılabileceğini göstermektedir. ELCOR M 80 Ni kaynak teli için M harfi, metal olduğunu ve 80’de ki rakamlar ise; ilk rakam olan 8 mukavemeti ve 0 olan rakam ise, düz pozisyonda (PA) kaynak yapılabileceğini göstermektedir.

ELCOR R 81 Ni

Tablo 8. 3:Kaynak Metalinin Kimyasal Bileşimi (%) [25]

Element	C	Si	Mn	Ni
%Ağırlık	0.05	0.5	1.3	0.9

Tablo 8. 4:Mekanik Değerleri [25]

Isıl İşlem	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Çentik Dayanımı		UZAMA (Lo=5do)(%)
			(ISO-V / - 40°C)	(ISO-V / - 30°C)	
İşlemsiz	Min.460	560-690	50J	80J	Min. 24

Kaynak Edilebilen Çelikler

- **EN:** S185, S235-S355, P235GH, P265GH, P295GH, P235T1/T1-P355N, L210-L485, S255-S500 (NL1,2), X42 –X80
- **ASTM:** A131, A106/A515/A714, A283/A285/A414/A662/A372, A369/A210/A106/A516/A573/A707, A516/A255/A299/A333/A350/A612

Kullanıldığı Yerler ve Özellikleri

- Düşük servis sıcaklıklarında orta ve yüksek dayanımlı çeliklerin kaynağı için üretilen rutil özlü kaynak telidir.
- Tüm pozisyonlarda kullanılabilir.
- Sakin ark, düşük sıçrama ve yüksek kaynak kabiliyetine sahiptir.
- Koruyucu Gaz: CO₂ [25]

ELCOR M 80 Ni

Tablo 8. 5:Kaynak Metalinin Kimyasal Bileşimi (%) [25]

Element	C	Si	Mn	Ni
%Ağırlık	0.05	0.5	1.2	1.0

Tablo 8. 6:Mekanik Değerleri [25]

Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Çentik Dayanımı (ISO-V / -45°C)	UZAMA (Lo=5do)(%)
Min. 500	560-720	Min. 47J	Min. 24

Kullanıldığı Yerler ve Özellikleri

- Yüksek nüfuziyetli metal özlü kaynak telidir.
- Alın ve köşe birleştirmeleri için uygundur.
- Sprey arkta daha geniş akım şiddet aralıklarında çalışabilir.
- Otomasyon kaynağı kullanımları için uygundur.
- Sıçrama kaybı minimumdur.
- Koruyucu gaz: Ar + %5-25 CO₂ (M21) [25]

9. DENEYLERDE KULLANILAN TEST PARÇALARININ MUAYENE YÖNTEMLERİ

9.1 Tahribatsız Muayene Yöntemleri

9.1.1 Görsel muayene

TS EN ISO 17637 Ergitme kaynaklarının tahribatsız muayenesi-Ergitme kaynaklı birleştirmelerin gözle muayene standardına göre görsel muayene ile kaynak yüzeyi kalitesinin uygunluğu kontrol edilir. Kaynak fazlalığı, yanma olukları, aksenel kaçıklık, dikişin konumu, parça yüzeydeki ark izleri ve oyuklar görsel muayenenin kapsamına girmektedir. Görsel muayenenin en büyük avantajı diğer muayene yöntemlerine göre oldukça ucuz olması ve çok hızlı bir şekilde sonuç alınabilmesidir. Genellikle çıplak gözle yapılmasına karşın gerektiğinde yardımcı aletlerde kullanılabilir. İki farklı görsel muayene tekniği vardır.

a) Doğrudan muayene: Muayene ortamı beyaz ışık şiddeti en az 350 lüks olmalıdır (500 lüks olması tavsiye edilir). Muayeneyi yapan operatör inceleme bölgesine 600 mm mesafede ve 30°'den daha küçük olmayan bir açı ile rahatlıkla yaklaşabiliyor olmalıdır.

b) Dolaylı muayene: Doğrudan görsel muayenedeki inceleme bölgesine erişimin zor olduğu durumlarda, bu muayene tekniğine başvurulur. Bu muayene yönteminde ayna, videoskop, kamera, fiberoskop gibi yardımcı aletler kullanılır.

Kaynak birleştirmelerine uygulanan tahribatsız muayeneleri radyografi ve ultrasonik hata tespitinden ibaret olduğunu düşünmek genelde yapılan bir yanıltır. Tecrübeli bir inspektör yukarıdaki tekniklerden herhangi birini kullanmadan evvel bağlantıyı gözle muayene etmelidir. Genelde hatalar çıplak gözle ortaya çıkabilir ve bu safhada düzeltilebilir veya tamir edilebilir [16].

9.1.2 Radyografik muayene

TS EN ISO 17636-1 Kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenesi - Radyografik muayene - Bölüm 1: Filmler X ve gama ışını teknikleri standardına göre radyografik muayene, kaynak bölgesindeki yüzey altında oluşabilecek gözenek, kalıntı, çatlak ve gaz boşlukları gibi hataları belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynaklı bölgenin iç yapısını gözleyebilmek için X-ışını veya Gamma-ışını kullanılır. Kaynak dikişi içerisinde bulunan hataların oluşturduğu yoğunluk farklarının film üzerinde oluşturduğu kontrastlar hata türünün tespitinde belirleyicidir. Vakum altındaki X-ışını tüpü içerisinde yüksek hızdaki elektron demetinin anod olan tungsten parçaya çarptırılmasıyla oluşan X-ışınları incelenecek olan parça üzerine yönlendirilir. Elektrik enerjisiyle çalışan X-ışını makinelerinden farklı enerji seviyelerinde X-ışınları elde edildiğinden film görüntü kalitesi Gamma-ışınlarına göre daha iyi olmaktadır. Gamma-ışınları yüzlerce radyoizotopun radyoaktivitesiyle meydana gelir. Yaygın olarak kullanılan radyoizotoplar Kobalt-60, İridium-192, Thulium-170 ve Sezyum-137'dir. Bu izotoplar güvenlik açısından kapsülde veya kurşun muhafaza içerisinde muhafaza edilir. Yüksek yoğunluk veya kalınlığa sahip malzemeler yüksek nüfuziyet enerjisine sahip Gamma-ışınları ile muayene edilir. X-ışını ve Gamma-ışını arasındaki en önemli kullanım farkını, oluşan radyasyon güç yoğunluğu belirlemektedir.

Malzeme tarafından soğurulan enerji miktarı malzemenin kalınlığı ve yoğunluğu ile orantılıdır. İnce olan malzemeler kalın malzemelere nazaran daha az, yoğunluğu yüksek olan malzemeler (çelik gibi) yoğunluğu düşük olan malzemelere (alüminyum) göre daha fazla enerji soğururlar.

Malzeme tarafından soğrulmayan enerji film üzerine yansır. Bu nedenle enerji kaybına uğrayan bölgeler daha beyaz görünür. Gözenek ve çatlaklar gibi süreksizlikler film üzerinde koyu renkte görünür [5].

9.1.3 Sıvı penetrant testi

TS EN ISO 3452-1-2 Tahribatsız muayene- Penetrant muayenesi- Bölüm 1: Genel kurallar-Tahribatsız muayene-Penetrantla muayene - Bölüm 2: Penetrant maddelerinin deneyi standardına göre yüzeydeki veya yüzeye açık hataların testinde kullanılan bir yöntemdir. Herhangi bir özel takım gerektirmeyen bir test yöntemidir. Bu yöntemde, renkli bir penetrant sıvısı hata tespiti yapılacak malzemenin yüzeyine

fırça ya da sprey şeklinde uygulanmaktadır. Daha sonra belirli bir süre beklenir. Sıvı penetrant yüzeyde veya yüzeye açık bir hata mevcut ise içerisine sızarak hatayı doldurur. Çözücü şeklinde veya kuru toz şeklindeki geliştirici eklenerek belirli bir süre daha beklenir ve sıvı penetrantı absorbe etmiş bölgede farklı tonda bir görüntü elde edilir.

9.1.4 Ultrasonik muayene

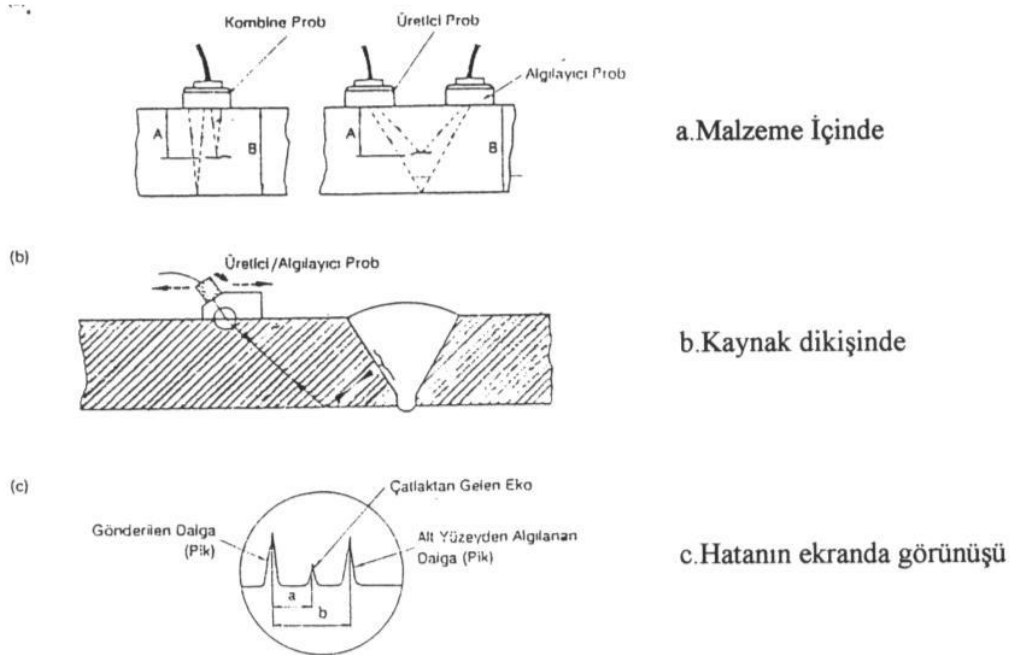
TS EN 11666 Kaynakların tahribatsız muayenesi - Ultrasonik muayene- Kabul seviyeleri standardına göre ultrasonik test, yüksek frekanslı ses dalgalarının bir prob vasıtası ile test edilecek malzemeye gönderilmesi ve bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansması esasına dayanır. İnsan kulağının duyabileceği maksimum ses frekansı 20 kHz (saniyede 20 bin titreşim)'dir. Tahribatsız muayenede kullanılan ultrasonik ses dalgaları genellikle 1-5 MHz mertebesindedir. Dolayısıyla insanın işitme kabiliyetinin üzerindeki frekanslardır. Ses aslında bir titreşim enerjisidir. Ultrasonik test yönteminde kullanılan titreşimler piezo-elektrik kristaller vasıtasıyla üretilmektedir. Proba gelen elektrik enerjisi probun içinde yer alan piezo-elektrik kristaller sayesinde ultrasonik ses dalgalarına dönüştürülerek malzemenin içine gönderilir. Ses dalgaları bir hataya çarptıkları zaman geri yansır bu yansıma sonucu prob tarafından algılanan ses dalgaları tekrar piezo-elektrik kristaller vasıtasıyla bir önceki işlemin tam aksi şeklinde elektrik sinyallerine dönüştürülür ve katot ışınları tüpü ekranında pik adı verilen ekolar şeklinde görüntülenir. Görüntülenen pikler yalnızca hatanın konumunu ve büyüklüğü hakkında bilgi vermektedir. Ultrasonik test uygulamalarında test parçası yüzeyi ile prob arasında hava boşluğu kalmadan tam bir temas sağlanmalıdır. Bu tam temasın kuru bir yüzeyde sağlanması mümkün değildir. Bu sebepten dolayı parça ile prob arasına bir temas sıvısı uygulanmalıdır. Temas sıvısı olarak yağ, su, gres ve gliserin kullanılabilir[16].

Ultrasonik dalga türleri;

- a) Boyuna dalga: Bu dalga türü katı, sıvı ve gaz gibi her ortamda oluşabilir. Titreşim ve yayılma yönü birbirine paraleldir. En yüksek ses hızına sahip dalga türüdür.
- b) Enine dalgalar: Bu dalga çeşidi sadece katı ortamlarda oluşabilir. Titreşim ve yayılma yönü birbirine diktir.
- c) Yüzey dalgaları: Malzemenin derinlerine inemez yüzeylerde yayılırlar.

d) Levha dalgaları: Yayılma yönü malzemenin yüzeyine paraleldir. Malzeme yüzeyini takip ederek metrelerce yayılabilirler. Bu nedenle ince levhalar ve tellerin muayenesinde yaygın olarak kullanılırlar.

Bir ultrasonik dalganın tespit edebileceği en küçük hata boyutu dalga boyunun yarısına eşittir. Yüksek frekanslı dalgaların ayırt ediciliği de yüksektir yani birbirine çok yakın olan birden fazla hatayı ayrı ayrı belirleyebilir. Düşük frekanslı ultrasonik dalgaların ise ayırt edici özelliği zayıftır. Bu yüzden yakın birçok hatayı tek bir hata gibi algılayabilirler. Şekil 9.1 'de ultrasonik titreşimler yardımı ile hataların tespitinin yapıldığı görülmektedir [16].



Şekil 9. 1: Ultrasonik Titreşimler Yardımı ile Hataların Tespiti [16].

9.2 Tahribatlı Muayene Yöntemleri

Tahribatlı deneyler aşağıda tanımlanan bilgileri sağlamak amacıyla kaynaklanmış parçalar üzerinde yapılmaktadır.

- Kaynak dikişi, edilmiş ısıdan etkilenmiş bölge ve ana metal ile kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini saptamak.
- Malzemelerin kaynak yapılabilirlik derecelerini belirlemek,
- Kaynakçının beceri düzeyini belirlemek.
- Kaynak metodlarının veya proses değişkenlerinin kaynak özelliklerine etkisini belirlemek.

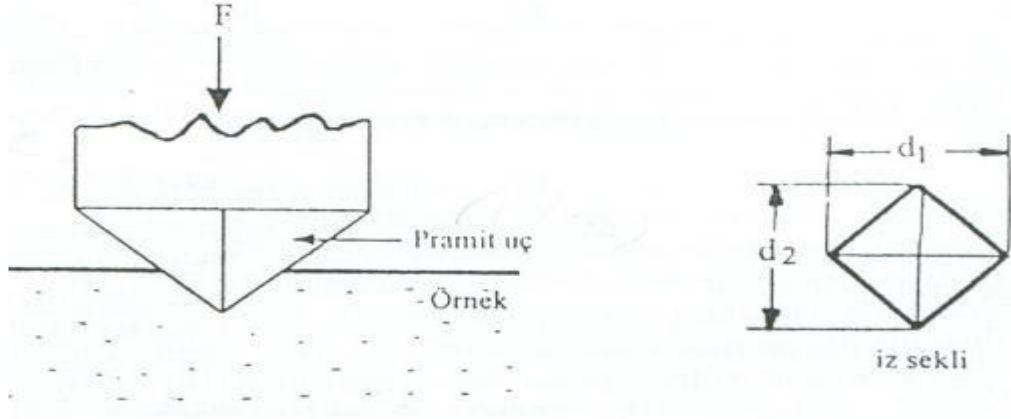
Deney parçası, belirlenmiş bir kaynak yöntemiyle birbirine kaynatılmış parça veya kaynatılmış bir yapıdan, üzerinde deney yapmak üzere kesip alınan parça olarak tanımlanabilir. Genel olarak kullanılan tahribatlı muayene yöntemlerini çekme deneyi, eğme deneyi, çentik darbe deneyi ve sertlik deneyleri olarak sıralamak mümkündür. Bu yöntemlerin her biri farklı standart ve kabul sınırları çerçevesince uygulanır. Tahribatlı muayene yöntemleri bilindiği üzere oldukça geniş uygulama alanına sahiptir. Burada sadece çalışma konumuzla ilgili olanlar detaylandırılmaktadır [16].

9.2.1 Sertlik deneyi

TS EN ISO 9015 Metalik malzemelerdeki kaynaklar üzerinde tahribatlı deneyler-Sertlik deneyi-Bölüm 1: Ark kaynaklı birleştirmelerde sertlik deneyi standardına göre kaynak kalitesini kontrole yönelik tahribatlı sertlik deneyleri genellikle mikro sertlik deneyleri olup, kaynaklı parçadan alınan numune üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde, çok ufak iz bıraktığı ve dolayısıyla lokal sertlik ölçümüne müsaade ettiği için genellikle daha yaygın olarak Vickers mikro sertlik deneyi uygulanır. Bu test ile kaynak bölgesinde oluşan ve çok dar olan değişik içyapıdaki bölgelerin sertliğinin ölçümü mümkündür. Mikro sertlik ölçümleri numune ebatları küçük ise bakalite veya soğuk kalıplama malzemelerine gömme, numune yeteri kadar büyük ise kalıplamadan zımparalama ve parlatma gibi işlemleri takiben yapılır. Bu ölçümler ile malzemenin sertlik değerleri ile mukavemet değerleri arasında lineer bir ilişki olduğundan sağlıklı bir şekilde kaynak bölgesinin mukavemet değerlerini tahmin etmek mümkündür.

- Vickers Sertlik deneyi

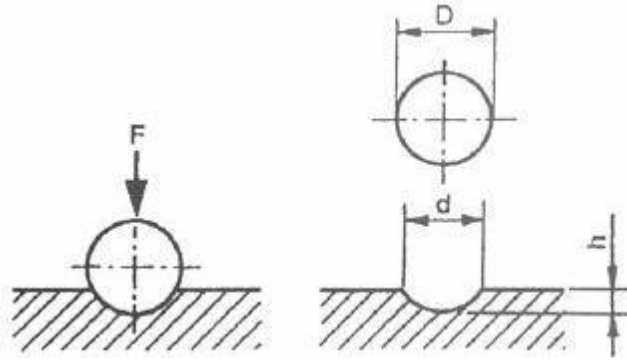
Bu deneyde, Şekil 9.2’de görüldüğü üzere piramit biçiminde ve tabanı kare olan sivri uç kullanılır. Elmastan olan piramidin tepe açısı 136 derecedir. Bu deneyi; söz konusu sivri ucun malzemenin yüzeyine, ürün cinsine göre seçilen bir ağırlık altında, belirli bir zaman batırılması ile oluşan izin köşegen uzunluklarının ölçülmesinden oluşmaktadır. Vickers sertlik deneyinin prensip şeması Şekil 9.2’de görülmektedir. Burada “d” izin ortalama köşegen uzunluğu olup, $d = (d_1 + d_2) / 2$ formülü ile hesaplanır [16].



Şekil 9. 2:Vickers Sertlik Deneyinin Prensi Şeması [16]

Brinell Sertlik deneyi:

Bu deneyde sertleştirilmiş çelik veya tungsten karbürden yapılan bilye belirli bir ağırlık ile malzemenin yüzeyine basılır ve malzeme yüzeyinde meydana gelen izin çapı ölçülür. Uygulama süresi 10 ile 15 sn arasında değişir. Brinell sertlik deneyi prensip şeması Şekil 9.3’de görülmektedir.



Şekil 9. 3:Brinell Sertlik Ölçme Deneyinin Prensi Şeması [16]

9.2.2 Bükme deneyi

Bükme deneyi kaynaklı parçaların gerek kaynak kalitesi (hatasız olup olmadığı) gerekse de sünekliği hakkında bilgi veren bir deneydir. Bu deneyde, kaynaklı parça öngörülen bir açığa kadar değişik konfigürasyonlarda (genellikle iki farklı şekilde) bükülür. Bunlar: 1) **yüz bükme** ve 2) **kök bükme** deneyleridir. Bükme işleminde numunenin dış yüzeyi çekme gerilmelerine maruz kalır. Dış yüzeye etkiyen bu çekme gerilmeleri kaynak bölgesi sünekliği düşük ise dış yüzeyde çatlama ve kaynak bölgesinde porozite veya kaynaklanmamış bölge var ise bu hataların açılmasına neden olur. Kaynaklı parçada herhangi bir hata mevcut değil ve kaynak bölgesi sünekliği yeterli düzeyde ise bükme işleminde dış yüzeyde herhangi bir çatlama gerçekleşmez.

Bu deney genellikle iki şekilde yapılabilir. Bunlardan ilki standart çekme cihazlarında üç veya dört nokta bükme deneyi (serbest bükme deneyi), ikincisi ise mandrel kullanılarak yapılan kılavuzlu bükme deneyidir. Bunlardan kılavuzlu bükme deneyi kaynak işleminin uygunluğunun ve kaynakçının yeterliliğinin tespitinde serbest bükme deneyinden daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bükme numunesi kalınlığı genellikle kaynaklı parçanın levha kalınlığı alınır. Ancak levha kalınlığının 38 mm'yi geçtiği veya mandrel genişliğinden büyük olduğu durumlarda kaynaklı parça birden fazla numuneye ayrılarak test edilmelidir.

Kılavuzlu bükme deneyi numuneleri kaynak eksenine dik bükme numunesi ve kaynak eksenine paralel bükme numunesi olmak üzere iki tip olabilir. Kaynak eksenine paralel bükme numunesi genellikle farklı malzemelerde yapılan kaynağın kalitesini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bu tip numune ile yapılan testte üç farklı bölgede (ana malzeme, kaynak dikişi ve IEB) aynı anda ve eşit miktarda uzama gerçekleşir. Bu şekilde, farklı bölgelerde farklı özelliklerden dolayı numune boyunca oluşabilecek heterojen bükülme olayı minimize edilmektedir. Ancak bu tip numune kullanıldığında dikkat edilmesi gereken bir husus, kaynak dikişinde olabilecek kaynak eksenine paralel porozite gibi hatalar üzerine etkiyecek gerilmelerin çok yüksek olmayacağı ve dolayısıyla çatlama oluşmayabileceğidir. Kaynak eksenine dik bükme numuneleri, yüz bükme (kaynak kökü içte), kök bükme (kaynak kökü dışta) ve yan bükme (kaynak kesiti üstte) olacak şekilde üç tip olabilir. Yan bükme numuneleri özellikle levha kalınlığı 10 mm'nin üzerinde olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Bu numune test edildiğinde kaynak kesitinin tamamı gerilmeye maruz kalır. Dolayısıyla bu numune, yüz bükme veya kök bükmede açılmayan özellikle levha kalınlığının merkezindeki

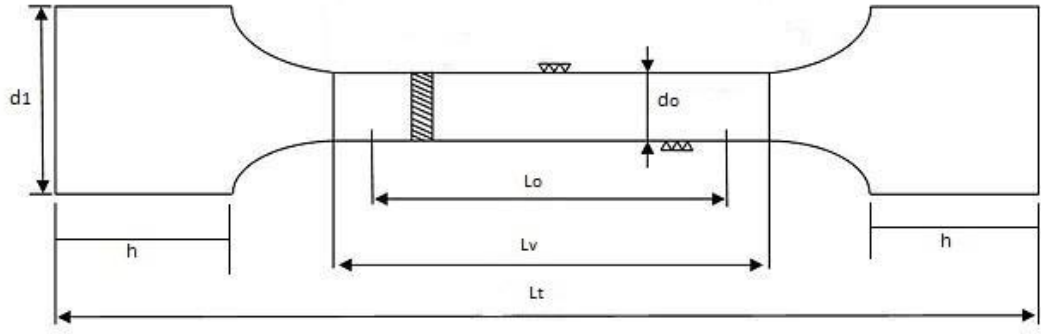
kaynak hatalarının açığa çıkarılmasında faydalıdır. Kaynak bölgesi ile ana malzemenin mukavemet değerleri birbirinden çok farklı ise kaynak eksenine dik bükme numunelerinin bükme testinde sağlıklı sonuç alınamayabilir. Kaynak bölgesi mukavemeti esas malzeme mukavemetinden çok yüksek ise kaynak bölgesinde plastik şekil değişimi olmaz, ana malzeme plastik şekil değiştirerek bükülür. Bu durum, kaynak bölgesi mukavemeti esas malzeme mukavemetinden çok düşük ise daha da karmaşıktır. Kaynak bölgesi plastik şekil değiştirirken baz malzeme elastik bölgede olacağı için kaynak bölgesinde hata olmasa da maksimum süneklik değeri aşıldığı için bu bölgede kırılma gerçekleşebilir ve deneyden sağlıklı sonuç alınamayabilir. Dolayısıyla, baz malzeme ile kaynak bölgesi mukavemet değerlerinin çok farklı olduğu durumlarda özellikle serbest bükme deneylerinde kaynak eksenine paralel bükme numuneleri tercih edilmelidir [29].

9.2.3 Çekme deneyi

Çekme deneyi, bir malzemenin çekme zorlamaları esnasında karakteristik değerinin tayin edilmesini sağlar. Bu deney kontrol edilmesi gerekli olan malzemeden yapılmış standarda uygun bir çekme deneyi numune parçası üzerinde tatbik edilir. TS EN ISO 4136:2012 Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler-Enine çekme deneyini vermektedir.

Kaynaklı bir birleştirmeden enine olarak alınan bir deney numunesine kopana kadar artan bir çekme yükünün sürekli uygulanmasıdır. Aksi belirtilmedikçe, deney (23 ± 5 °C) ortam sıcaklığında yapılmalıdır. Deney numunesi, talaşlı imalattan sonra kaynak eksenine deney numunesinin paralel uzunluğunun ortasında kalacak şekilde, imal edilen mamulün kaynaklı birleştirme yerinden veya kaynaklı deney parçasından enlemesine alınmalıdır. Şekil 9.4' de Test deney numunesi örneği gösterilmektedir.

Çelik malzemeler için çekme deneyi işleminde 8 mm'den fazla olan kalınlıklar için makaslamaya müsaade edilmez. Kaynaklı konstrüksiyondan veya deney parçasından deney numunesini kesmek için kesme yüzeylerini etkileyebilen ısıl kesme veya diğer kesme metotları kullanıldığında, kesimler deney numunesi nihai paralel uzunluk yüzeylerinden 8 mm veya daha büyük uzaklıktaki bir mesafede yapılmalıdır. Isıl kesme işlemi kaynaklı plaka veya deney parçasının orijinal yüzeyine paralel olarak yapılmalıdır [16].



Şekil 9. 4:Çekme Test Deney Numunesi [32]

9.2.4 Kırılma tokluğu deneyleri

Kırılma tokluğu, çatlak ilerlemesine malzemenin gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Çatlak ilerlemesi enerji gerektirir. Parçanın kullanımı esnasında çatlak ilerlemesi için gerekli itici güç, malzeme bünyesindeki depolanmış elastik deformasyon enerjisidir. Kırılma tokluğu deneylerinde ise çatlak ilerlemesi için gerekli enerji test cihazı tarafından sağlanmaktadır. Akma noktalarının altında aynı gerilme/akma mukavemeti oranlarında yüklenen yüksek mukavemetli malzemelerde düşük mukavemetli malzemelerden daha yüksek miktarda elastik deformasyon enerjisi depolanır. Dolayısıyla, aynı çatlak boyutunda iki malzemeden yüksek mukavemetli olanın çatlak ilerlemesinin gerçekleşmemesi için düşük mukavemetli olanın çatlak ilerlemesinin gerçekleşmemesi için düşük mukavemetli olan malzemeye oranla daha yüksek tokluğa sahip olması gerekmektedir..

Kırılma tokluğu analizleri, hangi şartlarda mevcut bir çatlağın büyümeye başladığını veya büyümekte olan bir çatlağın hapsedileceğini tespit etmek amacıyla yapılır. Malzemenin kırılma davranışına bağlı olarak lineer-elastik veya elastik-plastik kırılma mekaniği analizleri yapılır. Eğer, bir malzeme kırılmadan önce çok az plastik deformasyon gösteriyorsa, diğer bir deyişle gevrek kırılma gösteriyorsa, kırılma mekaniği analizlerinde düzlemsel deformasyon kırılma tokluğu (KIC) değeri kullanılır. Fakat malzeme kırılmadan önce önemli oranda akma gerçekleştiriyorsa elastik-plastik kırılma mekaniği analizi yapılmalıdır ve bu analizler için J-eğrisi ve CTOD gibi kırılma tokluğu ölçümleri gerekmektedir.

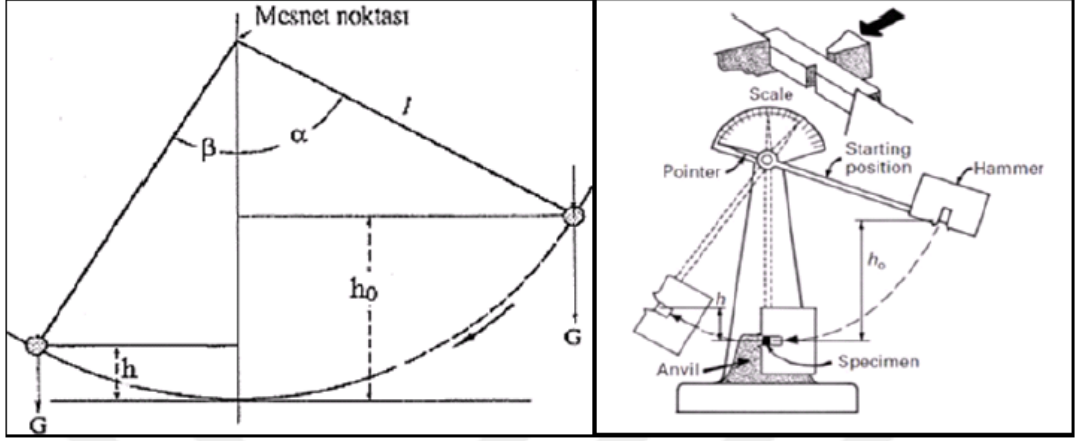
Kırılma tokluğu deneyleri kırılma mekaniği analizlerinde kullanılmak üzere veri elde etmek, sünek-gevrek geçiş sıcaklığını tespit etmek ve kaynak konstrüksiyonlu

üretimlerde kalite kontrolü yapmak gibi amaçlarla uygulanan testlerdir. Bu testler üç kategoride incelenebilir. Bunlar: (i) çatlak ilerlemesine direncin belirlenmesine, (ii) sıfır-süneklik geçiş sıcaklığının tespitine ve (iii) kalite kontrolüne yönelik olan kırılma tokluğu deneyleridir. Yaygın olarak uygulanan kırılma tokluğu deneyleri Charpy çentik darbe deneyi, düzlemsel deformasyon kırılma tokluğu deneyleri, dinamik yırtılma deneyi ve sıfır-süneklik geçiş sıcaklığı deneyidir. Aşağıda bu testler hakkında bilgi verilmektedir.

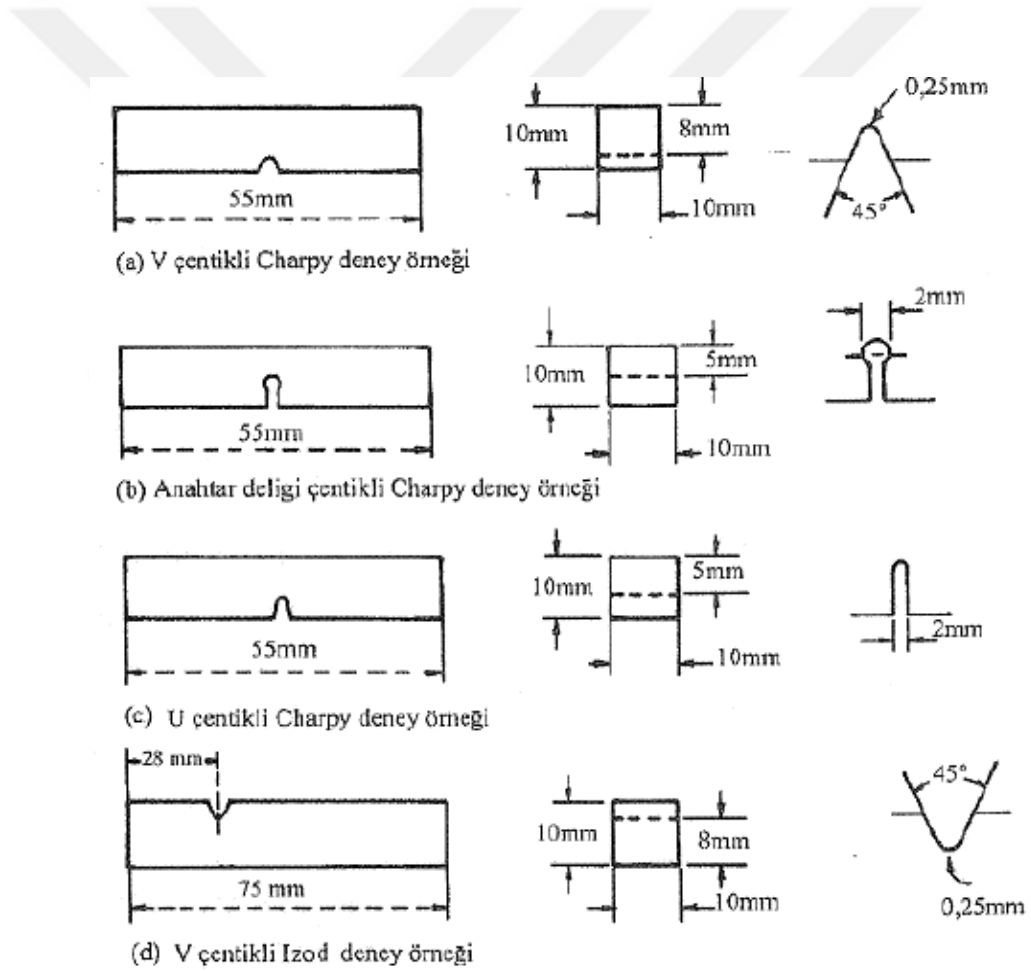
-Charpy Çentik Darbe Testi:

Charpy çentik darbe testi numuneleri çatlak ihtiva etmezler, bu numunelerde yalnızca çentik açılır. Dolayısıyla, daha kolay ve ekonomik olup, ürün kalite kontrolü amaçlı daha yaygın kullanılmaktadır. 1905 yılında, çeliklerin sünek-gevrek kırılma geçiş sıcaklığı aralığında kırılma davranışları üzerinde çentiklerin etkisini tespit etmek için geliştirilmiş olan bu deney, günümüzde çeliklerin kalite kontrolünde yaygın olarak uygulanmaktadır.

Bu teste, numuneyi kırmak için sarkaç şeklinde bir çekiç kullanılır. Şekil 9.5 deney düzeneğini şematik olarak göstermektedir. Numune istenilen sıcaklığa getirilip (ısıtılarak veya soğutularak) test cihazına yerleştirilirse birkaç saniyede kırılır. Cihazın kadransından numuneyi kırmak için harcanan enerji miktarı okunur. Bu kırma enerjisi tokluğun bir ölçüsü olarak kabul edilir. Deney sonuçları arasında farklılıklar olabileceği için en az üç numune aynı şartlarda test edilir ve ortalama tokluk değeri ile en düşük değer rapor edilir. Şekil 9.6 'da Çentik darbe test numuneleri gösterilmektedir. Bu deney metodu özellikle gemi inşaatı gibi uygulamalarda kullanılan çeliklerin sünek-gevrek geçiş sıcaklığının belirlenmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 9. 5:Çentik Darbe Test Düzenegi [17]



Şekil 9. 6:Çentik Darbe Test Numuneleri [17]

Bazı üretim şartnamelerinde kaynak işleminin kabulü için, çatlağın kaynak dikişi ve IEB bölgelerinde olduğu numuneler ile çentik darbe deneyi yapılması öngörülmektedir. Kaynaklı parçaların, özellikle kaynak bölgesi ile esas malzeme

mukavemet değerlerinin çok farklı olduğu durumlarda, Charpy entik darbe deneyinde sonuçların yorumlanmasında dikkatli olmak gerekmektedir. Örneğin, mukavemetin kaynak bölgesinde baz malzemedeki yüksek olması durumunda çentik ucu kaynaklı dikişinin merkezinde olsa dahi, çatlak tokluğu daha düşük olmasına rağmen daha düşük mukavemetli olan baz malzemeye sapmakta ve dolayısıyla kaynak bölgesinin değil baz malzemenin tokluk değeri tespit edilmektedir.

Dolayısıyla, bu durumlarda kaynaklı parçanın davranışını baz malzeme belirlemektedir. Bu sonuçların kaynak bölgesine ait değerler olarak kullanılması mümkün değildir. Fakat, bu durumda pratik hesaplamalarda kaynaklı parçanın davranışını belirleyen baz malzemenin tokluk değeri kullanılabilir [20].



10. DENEY PARÇALARI HAZIRLIKLARI

10.1 Kaynak Test Parçasının Kaynak Öncesi Hazırlığı

S355J2+N parçasında hem ELCOR R 81 Ni rutil hem de ELCOR M 80 Ni metal özlü tellerin kaynağı için kaynak ağzı 45° dereceyle ve 20x150x400mm ebatlarında parçalar kesildi. Kaynak öncesi kaynak yüzeyi taş motoruyla düzgün bir şekilde yağ, kir ve pas kalmayacak şekilde temizlendi. Kaynak işlemi tamamen deneyimli operatör tarafından MAG kaynak makinesi kullanılarak yapılmıştır. Her iki kaynak için Şekil 10.1’de görüldüğü gibi aparatlar yardımıyla sabitleştirildi. Ayrıca test malzemesinin alt kısmı metal altlık kullanıldı.



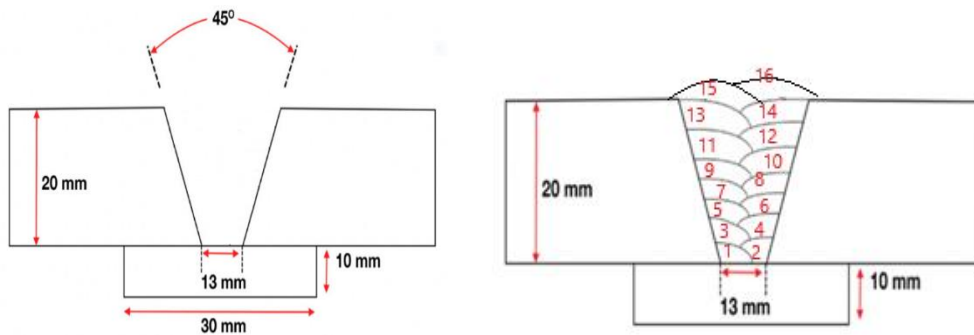
Şekil 10. 1: Test Parçasının Aparatlarla Sabit Tuturulması

10.2 ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Kaynağında Kullanılan Parametreler

Bir önceki konularda özlü telin genel özelliklerinden ve kaynakta kullandığımız ELCOR R 81 Ni rutil özlü telin mekanik ve kimyasal özelliklerine değinildi. Tablo 10.1 ’de ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel için kaynak öncesi standartlara uygun olarak yapılan hazırlıklar görülmektedir. Şekil 10.2 ‘de de V-Kaynak Ağzı Şematik Gösterimi verilmektedir.

Tablo 10. 1:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel İçin Kaynak Öncesi Standartlara Uygun Olarak Yapılan Hazırlıklar

Tarih	05.03.2021	Test Numarası	94
Firma Adı	GEDİK KAYNAK	Kaynakçı Adı	ROBOT
Ürün Adı	ELCOR R 81 Ni	Kaynak Pozisyonu	PA (ISO 6947)
Ürün Seri No	3822101319254	Birleştirme Tipi	ALLWELD
Dolgu Malz. Sınıfı ve Markası	RUTİL ÖZLÜ TEL (T 464 1 Nİ P C 1)	Kaynak Yöntemi	136 (ISO 4063)
Dolgu Malzemesi Boyutu (Ø mm)	1.2	Koruyucu Gaz / Toz	100% CO2 (EN ISO 14175-C1)
Ana Malzeme Spesifikasyonu	S355J2+N (ISO 15608 1.2)	Gaz Akış Debisi (l/dak)	15
Malzeme Kalınlığı (mm)	20	Kaynak Akım Tipi&Kutuplama	DC(+)
Kökte Oluk Açma/Altlık Detayları	mb	Kontak Meme-İş Malz. Mesafesi (mm)	20
Ön Isıtma Sıcaklığı (°C)	N/A	Torç Açısı (°)	30
Pasolararası Sıcaklık (°C)	Max 160	Tel Sürme Hızı (cm/dk)	N/A



Şekil 10. 2:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel İçin V-Kaynak Ağzı Şematik Gösterimi
Kaynak esnasında sisteme girilen akım değeri 330 A olarak girildi. Ancak robot voltaj kontrollü olduğundan dolayı sistemden alınan akım değerleri 228-249 A arasında

oluşmaktadır. ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel için kaynak detayları Tablo 10.2 'de gösterilmiştir. Her iki telin ısı girdisinde verim katsayısı 0.85 olarak seçilmiştir.

$$H=(V.I.\eta.60)/S$$

H=Isı girdisi (Joule/mm)

V=Kaynak Gerilimi (Volt)

I= Kaynak Akımı (Amper)

η =Ark Verimi (sabit sayıdır). Gazaltı kaynağı için bu verim 0.85'dir.

S=Kaynak Hızı (mm/dk) [31]

Tablo 10. 2:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel İçin Kaynak Detayları

Kaynak Detayları							
Paso Nosu	Yöntem	Ark Boyu	Gaz Debisi (l/dak)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (cm/dak)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	136	-10	15	237-243	32.0-35.0	32	1,21-1,36
2	136	-10	15	249-253	32.1-34.1	32	1.27-1.37
3	136	-10	15	247-252	31.4-35.4	40	0.99-1.14
4	136	-10	15	239-245	31.4-36.4	40	0.96-1.14
5	136	-10	15	239-245	31.2-35.2	40	0.95-1.10
6	136	-10	15	242-247	32.4-34.6	40	1.0-1.09
7	136	-10	15	238-242	30.5-36.7	40	0.93-1.13
8	136	-10	15	242-246	32.4-34.6	40	1.0-1.09
9	136	-10	15	239-245	31-7-35.7	40	0.97-1.12
10	136	-10	15	237-243	31.6-35.6	40	0.95-1.10
11	136	-10	15	237-243	31-7-35.7	40	0.96-1.11
12	136	-10	15	235-239	30.5-36.5	40	0.91-1.11
13	136	-10	15	230-238	33.0-35.0	40	0.97-1.06
14	136	-10	15	230-238	33.0-35.0	40	0.97-1.06
15	136	-10	15	238-242	31.8-35.8	37	1.04-1.19
16	136	-10	15	228-232	32.2-36.2	37	1.01-1.16

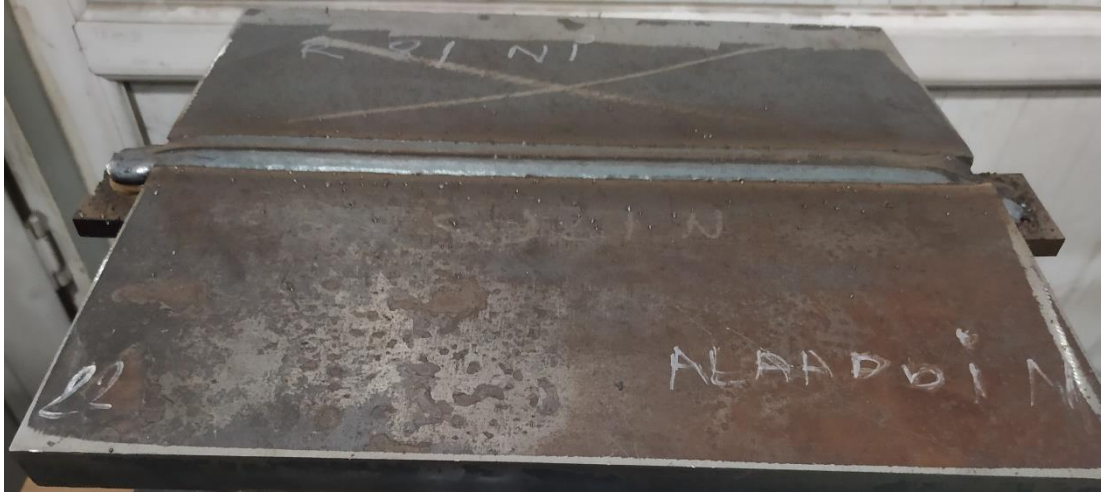
Şekil 10.3’de kaynak esnasında bir görüntü mevcuttur. Şekil 10.4’te pasolar arası kaynak dikişinin görüntüsü mevcuttur. Şekil 10.5’te ise ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel kaynağının dikiş görüntüsü mevcuttur.



Şekil 10. 3:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Telin Kaynağı Esnasından Bir Görüntü



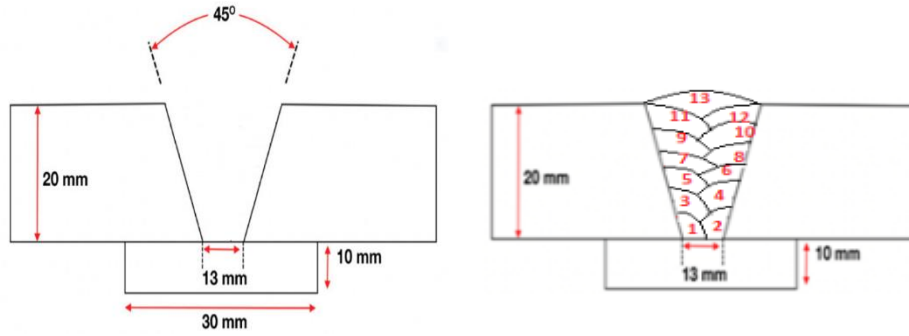
Şekil 10. 4:Pasolar Arası Bir Kaynak Dikişinin Görüntüsü



Şekil 10. 5:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Kaynağının Dikiş Görüntüsü

10.3 ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Kaynağında Kullanılan Parametreler

Bir önceki bölümlerde ELCOR M 80 Ni metal özlü telin genel özelliklerinden ve kaynakta kullandığımız ELCOR M 80 Ni metal özlü telin mekanik ve kimyasal özelliklerinden bahsedilmektedir. Tablo 10.3’de ELCOR M 80 Ni metal özlü tel için kaynak öncesi standartlara uygun olarak yapılan hazırlıklar görülmektedir. Şekil 10.6’da V-Kaynak ağzı şematik gösterimi mevcuttur.



Şekil 10. 6:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel İçin V-Kaynak Ağzı Şematik Gösterimi

Kaynak esnasında sisteme girilen akım değeri 330 A olarak girildi. Ancak robot voltaj kontrollü olduğundan dolayı sistemden alınan akım değerleri 234-247 A arasında oluşmaktadır.

Tablo 10. 3:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel İçin Kaynak Öncesi Yapılan Hazırlıklar

Tarih	08.06.2021	Test Numarası	WPS-198
Firma Adı	GEDİK KAYNAK	Kaynakçı Adı	ROBOT
Ürün Adı	ELCOR M 80 Ni	Kaynak Pozisyonu	PA (ISO 6947)
Ürün Seri No	51021885338	Birleştirme Tipi	ALLWELD
Dolgu Malz. Sınıfı ve Markası	T 50 4 M M 3 (TS EN ISO 17632-A)	Kaynak Yöntemi	136 (ISO 4063)
Dolgu Malzemesi Boyutu (Ø mm)	Ø1.2	Koruyucu Gaz / Toz	Max 82% Ar Max 18% CO2 (EN ISO 14175- M21)
Ana Malzeme Spesifikasyonu	S355J2+N (ISO 15608 1.2)	Gaz Akış Debisi (l/dak)	15
Malzeme Kalınlığı (mm)	20	Kaynak Akım Tipi&Kutuplama	DC(+)
Kökte Oluk Açma/Altlık Detayları	mb	Kontak Meme-İş Malz. Mesafesi (mm)	20
Ön Isıtma Sıcaklığı (°C)	N/A	Torç Açısı (°)	30
Pasolararası Sıcaklık (°C)	Max. 160	Tel Sürme Hızı (cm/dk)	N/A

Kaynak esnasında sisteme girilen akım değeri 280 A olarak girildi. Ancak robot voltaj kontrollü olduğundan dolayı sistemden alınan akım değerleri 245-282 A arasında oluşmaktadır. ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel için kaynak detayları Tablo 10.4'te gösterilmektedir.

Tablo 10. 4:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel İçin Kaynak Detayları

Paso Nosu	Yöntem	Ark Boyu	Gaz Debisi (l/dak)	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (cm/dak)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1.	136	-10	15	241-245	25.0-29.0	32	0.96-1.13
2.	136	-10	15	245-249	29.0-33.0	32	1.13-1.31
3.	136	-10	15	245-251	23.7-29.7	32	0.93-1.19
4.	136	-10	15	250-254	29.7-31.7	32	1.18-1.28
5.	136	-10	15	250-256	24.1-28.5	32	0.96-1.16
6.	136	-10	15	256-258	29.3-31.3	32	1.20-1.33
7.	136	-10	15	263-269	23.0-27.0	32	0.96-1.16
8.	136	-10	15	270-274	26.0-32.0	32	1.12-1.40
9.	136	-10	15	276-280	22.3-26.3	32	0.98-1.17
10.	136	-10	15	285-287	25.3-31.3	32	1.15-1.43
11.	136	-10	15	274-284	22.2-26.6	32	0.97-1.20
12.	136	-10	15	280-286	27.4-29.4	32	1.22-1.34
13.	136	-10	15	278-280	25.0-29.0	32	1.11-1.29

Şekil 10.7’de ELCOR M 80 Ni metal özlü telin kaynağında bir görüntü mevcuttur.

Şekil 10.8’de pasolar arası bir görüntü Şekil 9.9’da ise dikiş görüntüsü mevcuttur.



Şekil 10. 7:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Telin Kaynağında Bir Görüntü



Şekil 10. 8:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Kaynağında Ara Pasolarında Bir Görüntü



Şekil 10. 9:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Kaynağının Dikiş Görüntüsü

11. UYGULANAN TESTLER ve NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

ELCOR M 80 Ni metal özlü ve ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel ile kaynak yapılan parçalara aynı testler uygulanmıştır. Bu testler standartlarıyla birlikte aşağıdaki gibi sıralanmıştır. Bir önceki bölümlerde testler hakkında genel bilgi verilmektedir. Bütün test ve kaynak Gedik Kaynak firmasında yapıldı.

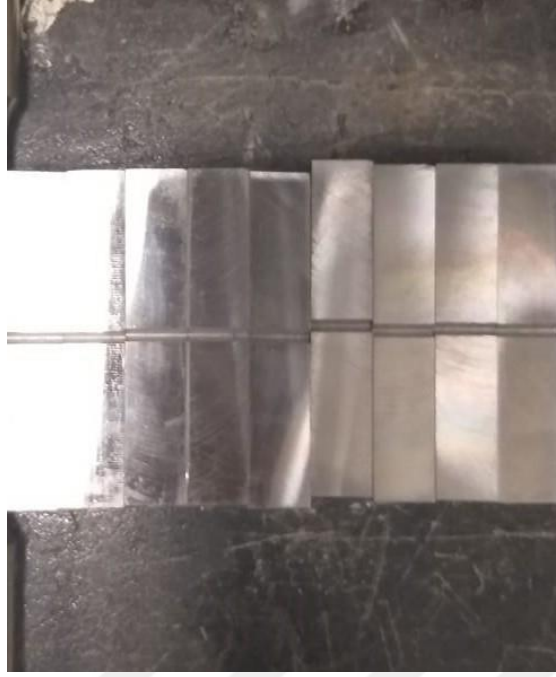
- Görsel Muayene (TS EN ISO 17637)
- Çentik Testi (TS EN ISO EN 148-1)
- Çekme Deneyi (TS EN ISO 6892-1)
- Sertlik Testi (TS EN ISO 9015)
- Makro ve Mikro Test (TS EN ISO 17639)

11.1 Görsel Muayene

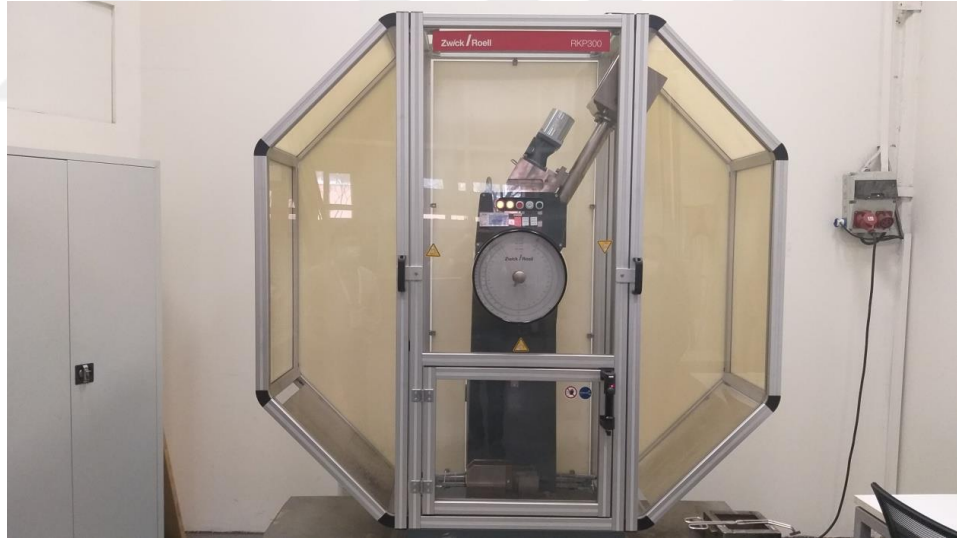
Görsel muayene TS EN ISO 17637 standardını göz önüne alınarak yapılmıştır. Genel kabul kriterleri ise; TS EN ISO 5817 seviye B'ye göre yapıldı. Kaynak sonrası bu görsel testimizde aşırı kaynak yüksekliği, yanma olukları, enine ve boyuna çatlaklar, gözenekler ve krater çatlağı vb. kusurlar görsel detaylı incelendi.

11.2 Çentik Darbe Testi

Bu testimizde hem ELCOR R 81 Ni rutil özlü hem de ELCOR M 80 Ni metal özlü tellerle kaynak edilmiş olan parçalardan TS EN ISO EN 148-1 standardına uygun Şekil 10.1'de görüldüğü gibi 9'ar adet çentik test numunesi çıkartıldı. 9 adet olmasının sebebi 3'er adet test numunemizi -30°C , -40°C ve -50°C çentik darbe enerjilerinin testini gerçekleştirdik. Ayrıca her bir sıcaklık için daha hassas bir veri almak için 3'er adet bazında gerçekleştirdik. İlgili parçalarımızı bahsettiğimiz sıcaklığa getirmek için Şekil 10.3'de görülen suyun içerisine koyulup üstüne kuru buz CO₂ koyduk ve civalı termometreyle sıcaklığın kontrolü gerçekleştirildi. Test parçaları test sıcaklığına ulaştınca 10 dakika bekletildikten sonra teste tabi tutuldu. Testlerimizi Gedik Kaynak firmasında Ar-Ge Merkezinde gerçekleştirdik. Şekil 11.2 ve Şekil 11.4'de görülen test cihazı olarak "Zwick Roell RKP" marka çentik darbe deney cihazı kullanıldı.



Şekil 11. 1:Çentik Test Numuneleri



Şekil 11. 2:Çentik Darbe Test Cihazı



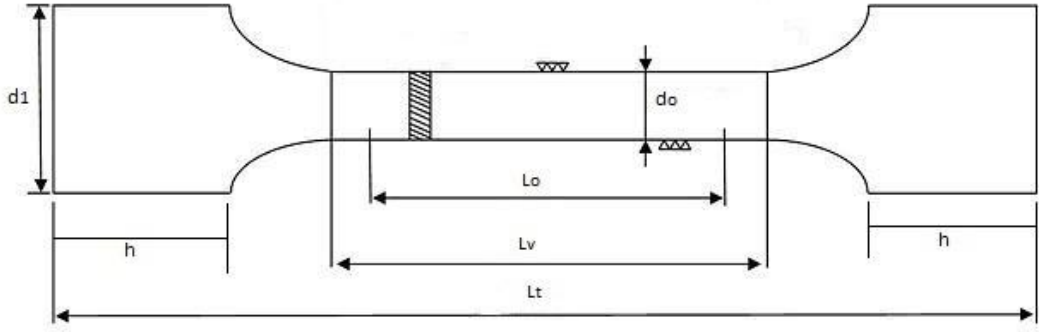
Şekil 11. 3:Test Numunelerini -30°C , -40°C ve -50°C 'ye Soğutulması



Şekil 11. 4:Çentik Test Deneyi Esnasında Bir Görüntü

11.3 Çekme Testi

Enine çekme testi her iki malzeme içinde TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir test için standartlara uygun Şekil 11.5’de gösterilen 1’er adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Şekil 11.6 ‘da her iki numune içinde hazırlanan test parçası görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 11. 5:Çekme Test Numunesi [32]

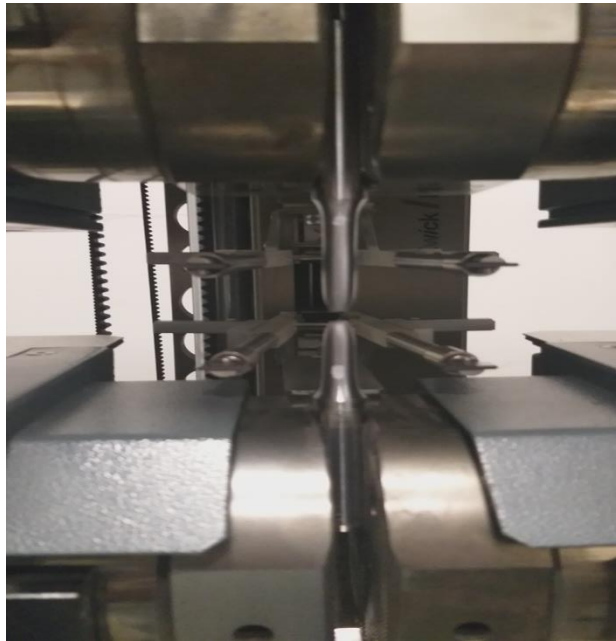
İlgili çekme testlerimizi Gedik Kaynak firmasının Ar-Ge Merkezinde bulunan kalibrasyonu yapılmış Şekil 11.7 ‘de gösterilen Zwick Roell Z600 marka test cihazını kullandık. Bu cihaz $F_{max}=600kN$ çekme kuvveti uygulamaktadır. Şekil 11.8’de çekme testi esnasından bir görüntü mevcuttur.



Şekil 11. 6:Her İki Numune İçinde Hazırlanan Çekme Test Numunesi



Şekil 11. 7:Çekme Test Cihazı



Şekil 11. 8:Çekme Testi Esnasında Bir Görüntü

11.4 Sertlik Testi

İlgili iki kaynağın makro ve mikro görüntüler alındıktan sonra tahribatlı testlerimizden biri olan sertlik testi gerçekleştirilmiştir. Sertlik testimiz TS EN ISO 9015 standartına göre malzemenin yüzey parlatılmış olup sağ ve sol olmak üzere ana metalden (BM) 4'er sertlik, ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) ise yine aynı şekilde sağ ve sol olmak üzere 4'er adet sertlik ve ana kaynak metalinde ise en üstten aşağıya doğru 5 adet sertlik değeri oluşturulmuştur. HV 10 sertlik işlemi, Şekil 11.9'da görülen otomatik sertlik cihazı "Emco Test DuraScan" markalı otomatik sertlik cihazı ile görüntü kontrollü, 10 kgf yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11. 9:Sertlik Test Cihazı

11.5 Makro ve Mikro Yapı İnceleme

Hem ELCOR R 81 Ni rutil hem de ELCOR M 80 Ni metal özlü tel kaynaklı parçalar TS EN ISO 17639 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. İlgili parçaların makro ve mikro testleri ana metal, ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) ve kaynak bölgesi kısımları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Şekil 11.10'da test numunesi görülmektedir.



Şekil 11. 10:Makro ve Mikro Hazırlık Öncesi Numune Test Parçası

Parçaların yüzey parlatma ve zımparalama işlemi Şekil 11.11’de görülen Metkon Forcipol 2V manuel cihazı kullanılmıştır.



Şekil 11. 11:Zımparalama ve Parlatma için Kullanılan Cihaz

Makro ve mikro için sırası ile 240, 320, 600, 800, 1200, 2000 ve 2500 zımpara kâğıtları kullanılarak zımparalama işlemi gerçekleştirildi. Daha sonra 3 mikronluk elmas pasta kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirildi. Makro ve Mikro yapı görüntüsü için Şekil 11.12’de görülen dağlama işlemi için %10 pikral çözeltisi içine konularak 10-15 dk bekletildikten sonra dağlama işlemi gerçekleşti. Dağlama işleminden sonra makro görüntüsü Şekil 11.13’de görülen Nikon SMZ7 makro cihazından alınmıştır. Ardından mikro yapı görüntüsü Leica Dmi 8 markalı Şekil 11.14’ de gösterilen ışık metal mikroskobu ile alınmıştır.



Şekil 11. 12:Dağlama Esnasından Bir Görüntü



Şekil 11. 13: Stereo Mikroskoptan Makro Görüntülerin Alınması



Şekil 11. 14:Işık Metal Mikroskop Cihazında Mikro Görüntülerin Alınması

12. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

12.1 Görsel Muayenenin Sonuçları

Görsel muayene standardına TS EN ISO 17637'e göre ergitme kaynaklı birleştirmelerin muayenesi göre yapılmıştır. Genel kabul kriterleri ise; TS EN ISO 5817 kusurlar için kalite seviyeleri B'ye göre gözlemlendi. Şekil 12.1' deki hem ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel hem de ELCOR M 80 Ni metal özlü telin görsel kontrolü sonucunda iki parçada da herhangi bir hata görülmedi. Kaynak esnasında kaynaklar arası pasalarda ELCOR R 81 Ni rutil özlü telin kaynağında kalın cüruf tabakası oluşturduğu görüldü.



Şekil 12. 1:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel ve ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Kaynağı Görüntüsü

12.2 Çentik Darbe Testinin Sonuçları

TS EN ISO 148-1 Charpy Vurma Deneyi standardına uygun olarak gerçekleştirildi. ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel ve ELCOR M 80 Ni metal özlü tele ait -30°C, -40°C ve -50°C'deki sonuçları sırası ile Tablo 12.1 ve Tablo 12.2'de görülmekte ve grafikleri Şekil 11.2'de görülmektedir. ELCOR R 81 Ni rutil özlü telin -30°C ortalama çentik enerji değeri 138J, -40°C'de ortalama değeri 74J ve -50°C'de ortalama değeri ise 51J olarak görüldü. ELCOR M 80 Ni metal özlü telin -30°C'de ki ortalama değeri 130J, -40°C'de ortalama değeri 116J ve -50°C'de ortalama değeri 100J olarak tespit edildi. Gedik Kaynak genel ürün kataloğunda ELCOR R 81 Ni rutil özlü telin -30°C de 80J olması gerektiği -40°C'de 50J olması gerektiği belirtilmektedir. ELCOR M 80 Ni metal özlü ise -45°C'de min.47J olarak belirtilmektedir. Test sonucunda alınan sonuçların katalog değerlerine uyumlu olduğu görüldü. ELCOR R 81 Ni rutil özlü telin -30°C'de çentik darbe enerjisi ELCOR M 80 Ni metal özlü telin çentik darbe

enerjisinden büyük olduğu tespit edildi. -40°C’de ELCOR M 80 Ni metal özlü telin çentik darbe enerjisi büyük bir farkla ELCOR R 81 Ni rutil özlü telindekinden büyük olduğu görüldü. ELCOR M 80 Ni metal özlü telin -50°C’de ki çentik darbe enerjisi ELCOR R 81 Ni rutil özlü telin çentik darbe enerjisinden daha büyük olduğu görüldü. Ayrıca dikkat edildiğinde iki kaynak teli için en büyük çentik darbe enerjisi sıcaklığı -30° C’de maksimum seviyededir. En düşük çentik darbe enerjisi iki kaynak teli içinde -50°C’de olduğu görülmektedir. Bunun temel sebebi sıcaklık düştükçe malzemenin darbe direncinin düşmesidir. Ancak iki tel arasında kıyaslama yapacak olursak düşük sıcaklıklarda ELCOR M 80 Ni metal özlü telin daha fazla darbe direncine sahip olduğunu görmekteyiz. Şekil 12.3’te testten sonraki görüntüleri mevcuttur.

Hem ELCOR R 81 Ni rutil özlü hem de ELCOR M 80 Ni metal özlü tel için yapılan çentik darbe deneyi test sonuçları aşağıdaki gibidir.

- ELCOR R 81 Ni rutil özlü telin çentik darbe test sonuçları

Tablo 12. 1:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Test Sonuçları

No	WPS NO	T _{Numune} (°C)	KV ₂ (J)	h (mm)	W (mm)	I (mm)
1	94	-30	137,91	10	10	55
2			155,78			
3			120,85			
4		-40	88,46			
5			70,21			
6			64,40			
7		-50	85,87			
8			34,49			
9			33,64			

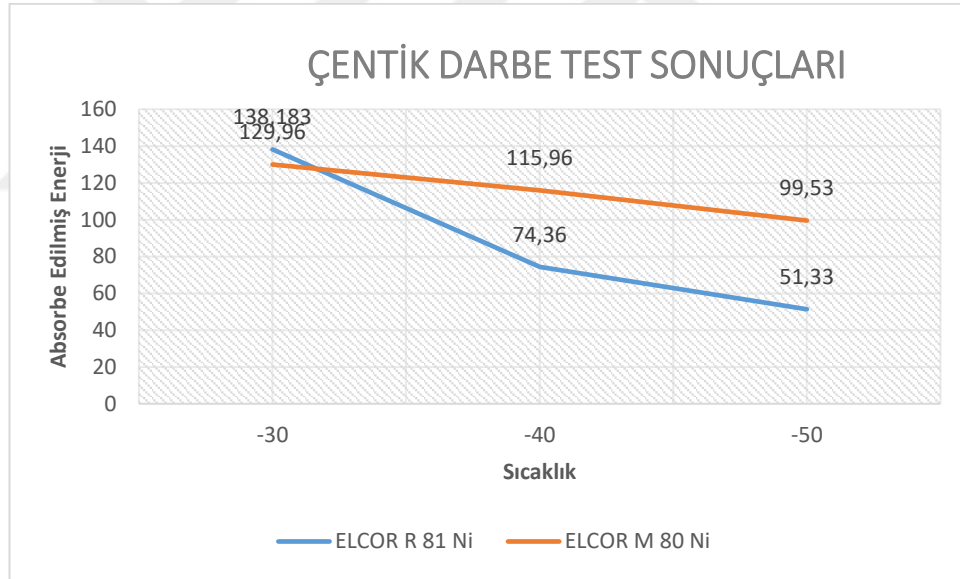
ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel için; -30°C’de ortalama çentik enerjisi 138J, -40°C’de ortalama çentik enerjisi 74J ve -50°C’de ortalama çentik enerjisi 51J olarak hesaplanmıştır.

- ELCOR M 80 Ni Metal özlü telin çentik darbe test sonuçları

Tablo 12. 2:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Test Sonuçları

No	WPS NO	T _{Numune} (°C)	KV ₂ (J)	h (mm)	W (mm)	I (mm)
1	198	-30	132,55	10	10	55
2			129,42			
3			127,90			
4		-40	124,37			
5			119,04			
6			104,48			
7		-50	115,53			
8			83,11			
9			99,94			

ELCOR M 80 Ni metal özlü tel için; -30°C’de ortalama çentik enerjisi 130J, -40°C’de ortalama çentik enerjisi 116J ve -50°C’de ortalama çentik enerjisi 100J olarak hesaplanmıştır.



Şekil 12. 2:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel ve ELCOR R81 Ni Rutil Özlü Telin Çentik Test Grafiği



Şekil 12. 3:ELCOR R 81 Ni Rutil ve ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel kaynağının Çentik Testi Deneyi Sonrası Numune Görünümü

12.3 Çekme Testinin Sonuçları

TS EN ISO 6892-1 mekanik malzemelerin çekme deneyi standardına uygun olarak gerçekleştirildi. ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel için Şekil 12.4’de ki değerlere bakıldığında %0.2 lik uzamaya karşı gelen akma mukavemeti $477,51 \text{ N/mm}^2$, kopma mukavemeti $579,44 \text{ N/mm}^2$ ve uzama (%) ise %24,16 olarak gerçekleştiği görüldü. ELCOR M 80 Ni metal özlü tel için ise; Şekil 12.5’de ki değerlere bakıldığında %0.2 lik uzamaya karşı gelen akma mukavemeti 501.39 N/mm^2 , kopma mukavemeti 563.89 N/mm^2 ve uzama boyu (%) ise %25.83 olarak görüldü. ELCOR R 81 Ni rutil özlü telin katalog değerlerine bakıldığında akma mukavemeti min. 460 N/mm^2 , kopma mukavemeti $560-690 \text{ N/mm}^2$ ve uzama boyu min %24 olduğu görüldü. ELCOR M 80 Ni metal özlü telin katalog değerlerine bakıldığında akma mukavemeti min. 500 N/mm^2 , kopma mukavemeti $560-720 \text{ N/mm}^2$ ve uzama boyu min %24 olduğu görüldü. Değerleri kıyaslayacak olursak hem ELCOR R 81 Ni rutil özlü telin hem de ELCOR M 80 Ni metal özlü telin akma mukavemeti, kopma mukavemeti ve uzama boyu katalog değerlerini sağladığı görüldü. İki tel arasında kıyaslama yapıldığında ELCOR M 80 Ni metal özlü telin akma mukavemeti ve uzama boyu değerlerinin ELCOR R 81 Ni rutil özlü tele göre daha mukavim olduğu sonucuna varıldı. Şekil 12.6 ‘da görüldüğü üzere kopma noktalarının tamamen sünek bir şekilde koptuğu görüldü. Ayrıca S355J2+N sac parçasının akma mukavemeti $315-355 \text{ N/mm}^2$, olarak bilinmektedir. Burada hem ELCOR R 81 Ni rutil hem de ELCOR M 80 Ni metal özlü telin akma mukavemet değerlerinin ana malzemenin akma mukavemetinden büyük

olduğu açık bir şekilde görüldü. Bu da bize iki telinde S355J2+N sacının rahat ve güvenli bir şekilde mühendislik açısında kaynağı yapılacağını göstermektedir. Yani çekme testinde hem ana malzemeli ve kaynaklı kısmı birlikte çekme testi yapılsaydı kopma ana malzemeden gerçekleşecekti. Bu tarz testlerde kopmanın daima ana malzemeden kopmasını istediğimiz için ilgili iki sonuç son derece iyi bir mukavemete sahip olduğunu göstermektedir.

Hem ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel hem de ELCOR M 80 Ni metal özlü tel kaynağı sonrası yapılan çekme test sonuçları aşağıdaki gibi sonuçlanmıştır.

- ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Çekme Test Sonuçları

Test report

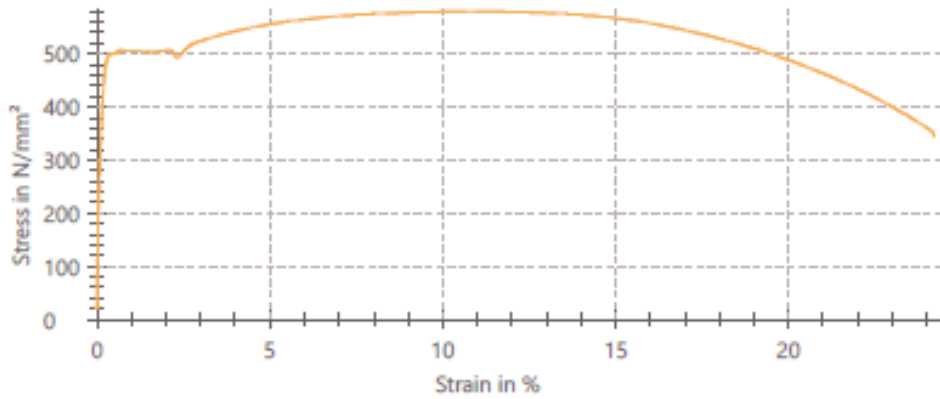
Customer : GEDİK KAYNAK (KALİTE)
Job no. :
Test standard : DIN EN ISO 6892-1
Type and designation :
Material : N/A
Specimen removal :
Specimen type :
Pre-treatment :
Tester :
Notes :
Machine data :

Test speeds : Method A(1) Speed, yield point : 0,00025 1/s
Pre-load : 20 MPa Test speed : 0,0067 1/s
Speed, Young's modulus : 0,00025 1/s

Test results:

Legend	No.	WPS NO	F _m kN	d ₀ mm	S ₀ mm ²	L ₀ mm	R _{p0.2} N/mm ²	R _m N/mm ²	A _{50mm} %
●	1	94-R 01	42,82	9,7	73,90	50,00	477,51	579,44	24,16

Series graph:



Şekil 12. 4:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Kaynağın Çekme Test Sonuçları

- ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Çekme Test Sonuçları

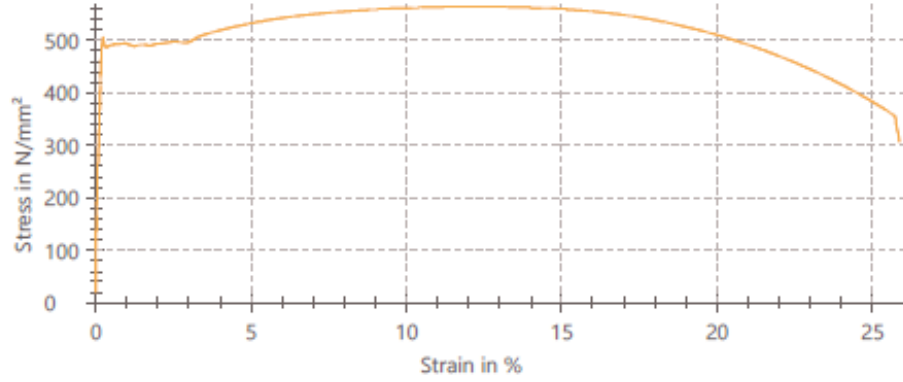
Test report

Customer : GEDİK KAYNAK (KALİTE)
 Job no. :
 Test standard : DIN EN ISO 6892-1
 Type and designation :
 Material : N/A
 Specimen removal :
 Specimen type :
 Pre-treatment :
 Tester :
 Notes :
 Machine data :
 Test speeds : Method A(1) Speed, yield point : 0,00025 1/s
 Pre-load : 20 MPa Test speed : 0,0067 1/s
 Speed, Young's modulus : 0,00025 1/s

Test results:

Legend	WPS NO	F _m	d ₀	S ₀	L ₀	R _{p0.2}	R _m	A _{50mm}
No.		kN	mm	mm ²	mm	N/mm ²	N/mm ²	%
1	198	44,29	10	78,54	50,00	501,38	563,89	25,83

Series graph:



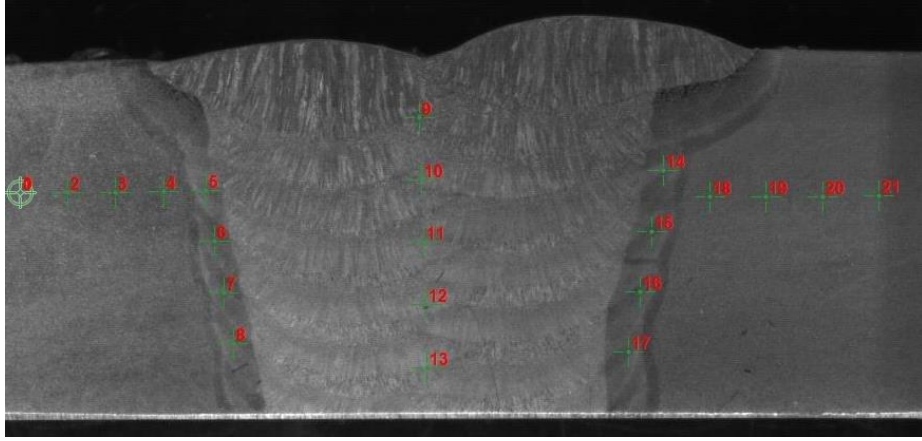
Şekil 12. 5:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Telin Kaynağın Çekme Test Sonuçları



Şekil 12. 6:Çekme Testi Sonucunda Test Numunelerinin Görüntüsü

12.4 Sertlik Testinin Sonuçları

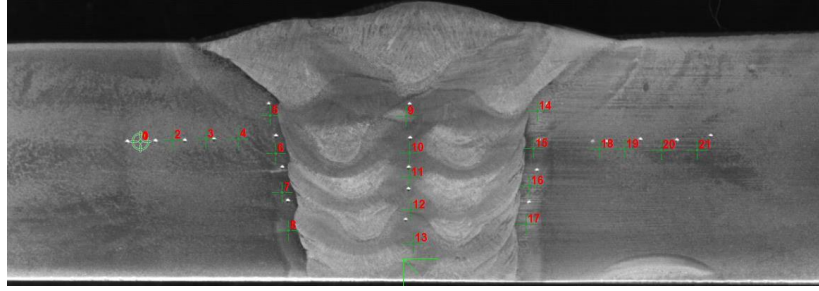
Sertlik testi ilgili test TS EN ISO 9015-1 standartına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Hem rutil zlü hem de metal zlü tel için ana metal (BM), ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak metalini (WM) olmak üzere 3 ayrı bölgeden sertlik değerleri alınmiştır. Şekil 12.7 ve Şekil 12.8'deki noktalardan alınan sonuçlara bakıldığında rutil zlü tel için Tablo 11.3'de ki ana malzeme ortalama sertlik değerleri sırasıyla 144 HV ve 155 HV geldiği, ısı tesiri altındaki (ITAB) ortalama sertlik değerleri sırasıyla 152 HV ve 151 HV geldiği ve kaynak metalinin (WM) ortalama sertlik değeri 181,6 HV olarak ölçülmüştür. Metal zlü tel için Tablo 12.4'de ki ana malzeme ortalama sertlik değerleri sırasıyla 148 HV ve 169 HV geldiği, ısı tesiri altındaki (ITAB) bölge ortalama sertlik değerleri sırasıyla 162 HV ve 211 HV geldiği ve kaynak metalinin (WM) ortalama sertlik değeri 183 HV olarak bulunmuştur. İki tel içinde kaynak metalinin (WM) sertlik değeri IIW belirlediği 350 HV sertlik değerini geçmediği görülmüştür. Metal zlü telin kaynak metal sertliği büyük bir fark olmamakla birlikte rutil zlü telin kaynak metalinin sertlik değerinden fazla olduğu görülmektedir. İki kaynak telinin de ortalama sertlik değerleri ana metalden büyük olduğu görülmüştür. Büyük olmasıda zaten kaynaklı imalattan beklediğimiz bir olaydır. Aynı Şekilde ısı tesiri altındaki bölgelerin sertlik değerleri her iki tel içinde ana metalden büyük olduğu görülmektedir. Çünkü ısı tesiri altındaki bölge çok yüksek sıcaklıklara maruz kaldığı için buralarda mekanik özellikleri ısının etkisi ile değişmektedir. Bundan dolayı ısı tesiri altındaki bölgelerin sertlik değeri ana malzeme sertliğinden büyük olur. Her iki tel arasında kıyaslama yapacak olursak kaynak metalinde aralarında çok kk bir fark ile metal zlü tel ile yapılan kaynak bölgesinin daha sert olduğu görülmüştür. Şekil 12.9'da da her iki tel için sertlik grafiği görülmektedir.



Şekil 12. 7:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel İçin Sertlik Değerlerinin Alındığı Noktalar

Tablo 12. 3:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Telin Sertlik Değerleri

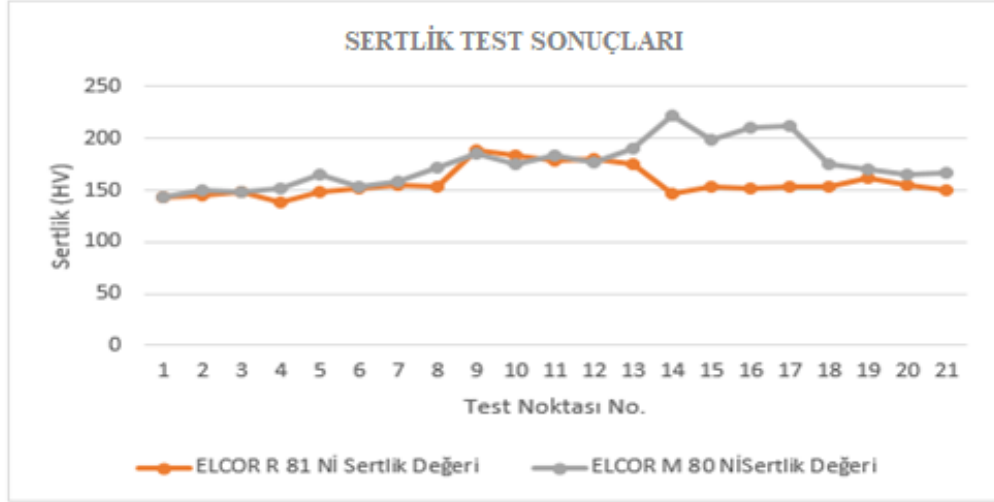
Test Noktaları	Sertlik Değeri(HV10)	Yöntem	Sertliğin Alındığı Bölüm
1	143	HV 10	Ana Malzeme
2	145	HV 10	Ana Malzeme
3	149	HV 10	Ana Malzeme
4	139	HV 10	Ana Malzeme
5	148	HV 10	ITAB
6	152	HV 10	ITAB
7	155	HV 10	ITAB
8	153	HV 10	ITAB
9	189	HV 10	Kaynak Metali
10	183	HV 10	Kaynak Metali
11	179	HV 10	Kaynak Metali
12	181	HV 10	Kaynak Metali
13	176	HV 10	Kaynak Metali
14	146	HV 10	ITAB
15	154	HV 10	ITAB
16	152	HV 10	ITAB
17	154	HV 10	ITAB
18	154	HV 10	Ana Malzeme
19	162	HV 10	Ana Malzeme
20	155	HV 10	Ana Malzeme
21	150	HV 10	Ana Malzeme



Şekil 12. 8:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel İçin Sertlik Değerlerinin Alındığı Noktalar

Tablo 12. 4:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Telin Sertlik Değerleri

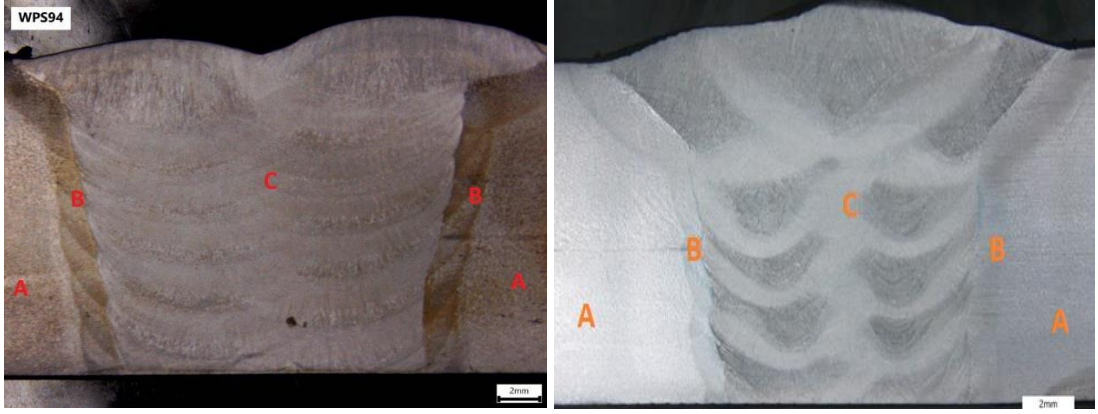
Test Noktaları	Sertlik Değeri(HV 10)	Yöntem	Sertliğin Alındığı Bölüm
1	144	HV 10	Ana Malzeme
2	150	HV 10	Ana Malzeme
3	148	HV 10	Ana Malzeme
4	151	HV 10	Ana Malzeme
5	165	HV 10	ITAB
6	154	HV 10	ITAB
7	158	HV 10	ITAB
8	171	HV 10	ITAB
9	186	HV 10	Kaynak Metali
10	176	HV 10	Kaynak Metali
11	183	HV 10	Kaynak Metali
12	177	HV 10	Kaynak Metali
13	191	HV 10	Kaynak Metali
14	222	HV 10	ITAB
15	199	HV 10	ITAB
16	211	HV 10	ITAB
17	212	HV 10	ITAB
18	176	HV 10	Ana Malzeme
19	170	HV 10	Ana Malzeme
20	165	HV 10	Ana Malzeme
21	166	HV 10	Ana Malzeme



Şekil 12. 9: ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel ve ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Sertlik Grafiği

12.5 Makro Yapının Sonuçları

Rutil özlü telle yapılan kaynak ile metal özlü tel ile yapılan kaynaklı parçaların makro görüntüleri incelendiğinde Şekil 12.10'da ki rutil özlü tel kaynak parçasının makro yapı görüntüsünde yanma oluklarına, cüruf kalıntılarına, yetersiz ergime, çatlaklara ve nüfuziyet noksanlığı rastlanmadığı görülmektedir. Sadece gözenek gözükmemektedir. Bu gözenekte rutil özlü telin cüruf oluşturma eğiliminden dolayı olmaktadır. Aynı şekilde Şekil 12.10'da ki metal özlü telle yapılan kaynaklı parçanın makro görüntüsünde de yanma oluklarına, cüruf kalıntılarına, ergime azlığına, çatlaklara, boşluklara ve düşük nüfuziyete rastlanmadığı görülmüştür. Her iki test parçasına bakıldığında kaynak pasolarının ayırt edilebildiği görülmüştür. Isı tesiri altındaki bölgenin rutil özlü telle kaynak yapılan numunede daha fazla genişliğe sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise ısı girdisinin daha fazla olmasıdır.



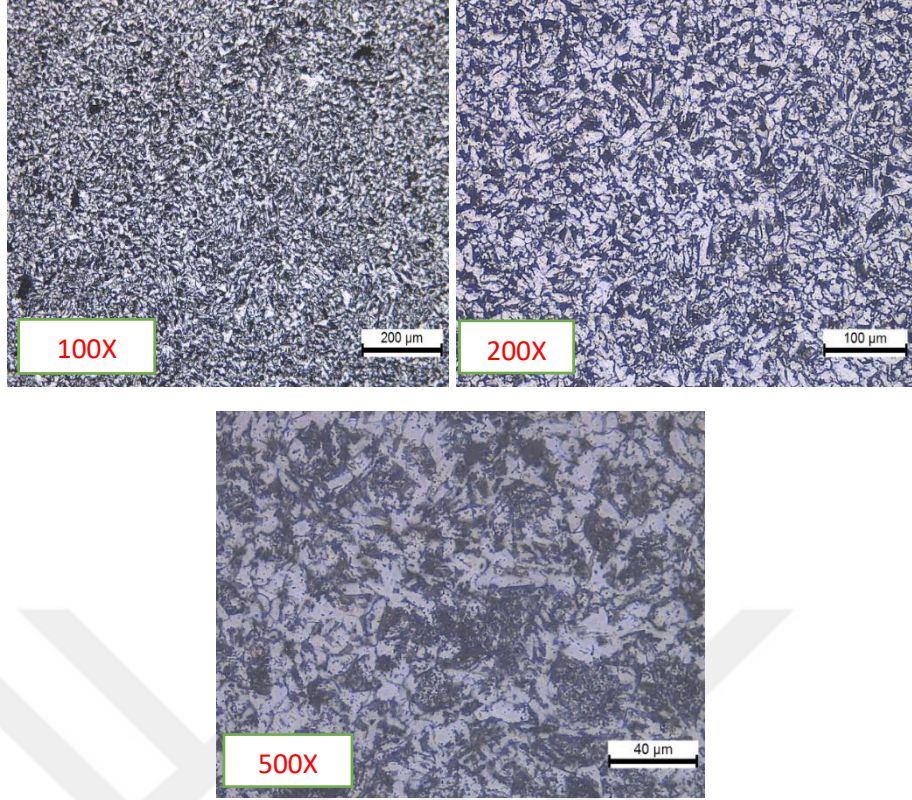
Şekil 12. 10:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel ve ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel Kaynağının Makro Görüntüsü

12.6 Mikro Yapının Sonuçları

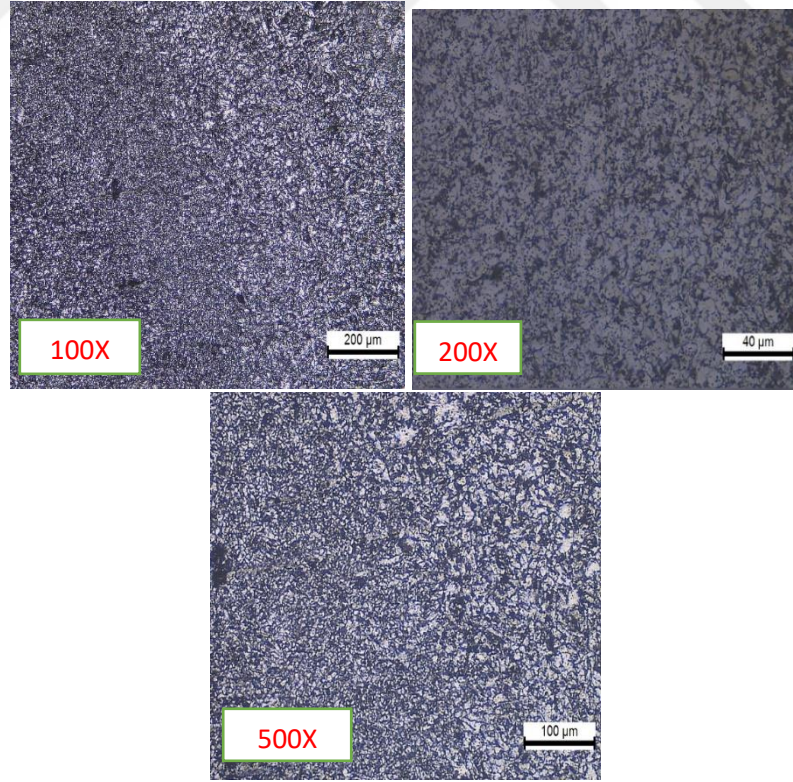
İki kaynak telinin kaynağından 100X, 200X ve 500X büyütmelerde görüntüler alınmıştır. Alınan görüntüler Şekil 12.11, Şekil 12.12, Şekil 12.13, Şekil 12.14, Şekil 12.15, Şekil 12.16 olarak gösterilmiştir.

Her iki telin kaynağında kullanılan ana malzemenin mikro yapısı incelendiğinde büyük taneli yapıda oldukları görülmektedir, ferrit yapısının ağır bastığı ve perlitik yapıda olduğu tespit edilmiştir. Metal özlü telin kaynağında ısı tesiri altındaki bölgede mikro yapının ince taneli olduğu, ferritik perlitik ve bazı bölgelerinde widmanstater ferritten oluştuğu tespit edilmiştir. Rutil özlü telin kaynağında ısı tesiri altındaki bölgenin mikro yapısına bakıldığında ince taneli olup ferrit ve perlitten oluştuğu tespit edilmiş fakat widmanstater ferrite rastlanmamıştır. Rutil özlü tel ile yapılan kaynakta ana kaynak metalinin mikro yapısına bakıldığında iri yapılu olduğu yoğun bir şekilde ferritten oluştuğu ve perlitten oluştuğu tespit edilmiştir. Metal özlü tel ile yapılan ana kaynak metalinin mikro yapısı incelendiğinde ferrit ve perlit yapılarının hemen hemen denk olduğu tespit edilmiştir.

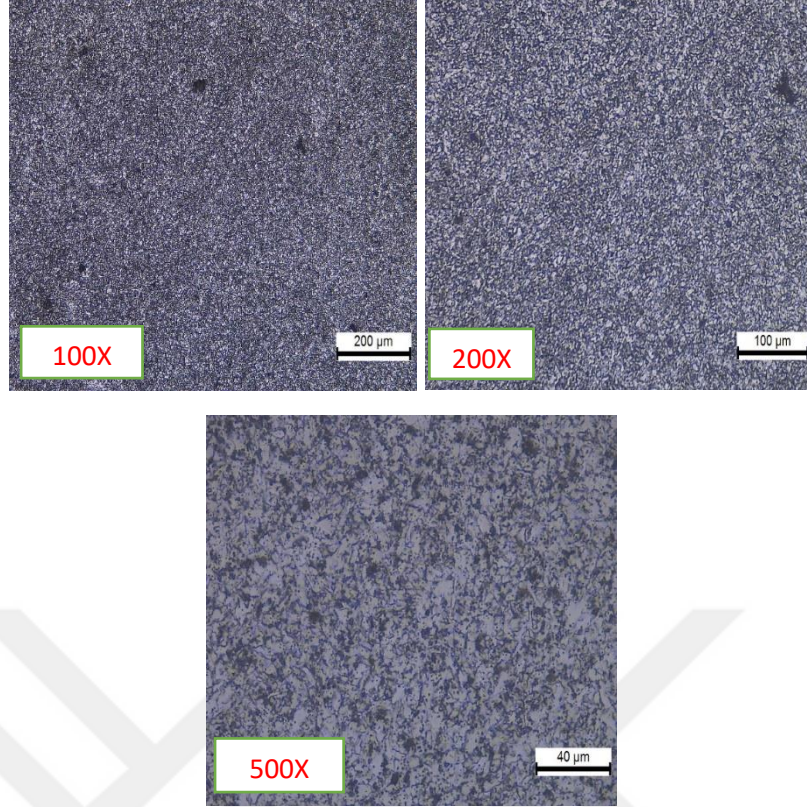
Mikro görüntüler ana metal (BM), ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak (WM) bölgesi olmak üzere her birinden 100X, 200X ve 500X büyütme ebatlarında 3'er adet mikro görüntüler alınmıştır. Sırasıyla ELCOR R 81 Ni rutil ve ELCOR M 80 Ni metal özlü tellerin mikro görüntüleri aşağıdaki gibidirler.



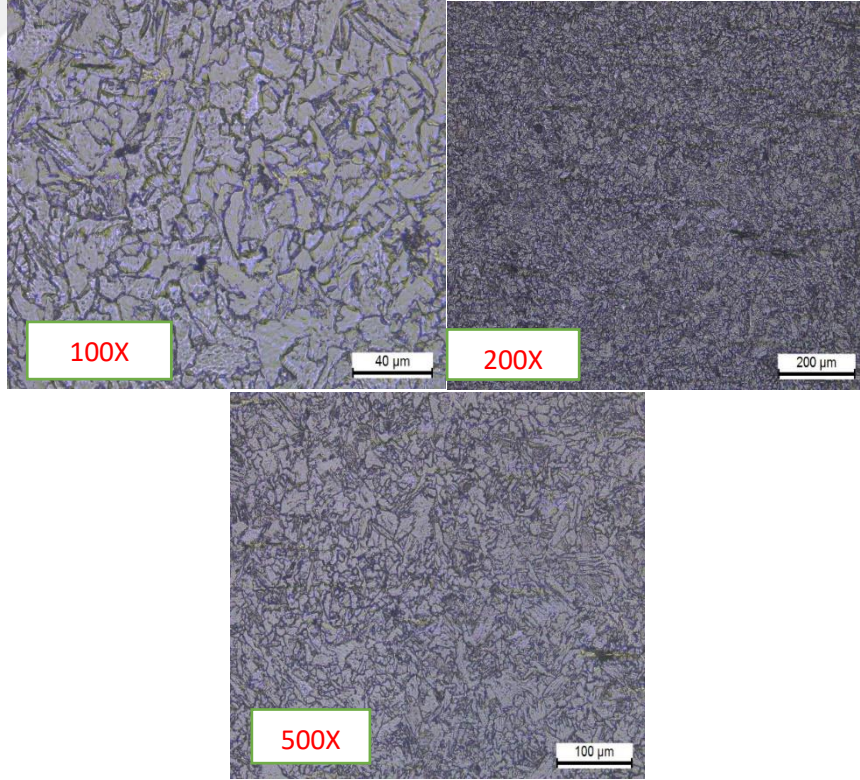
Şekil 12. 11:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel ile Yapılan Kaynakta Ana Metalin (BM) Mikro Görüntüleri



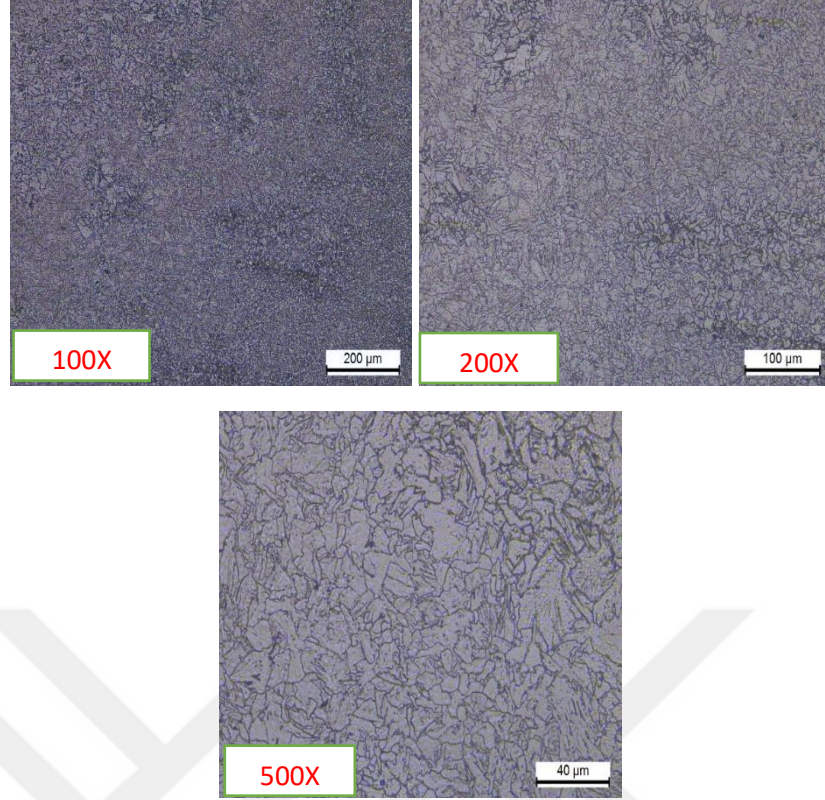
Şekil 12. 12:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel ile Yapılan Kaynakta Isı Tesiri Altında Kalan Bölgenin (ITAB) Mikro Görüntüleri



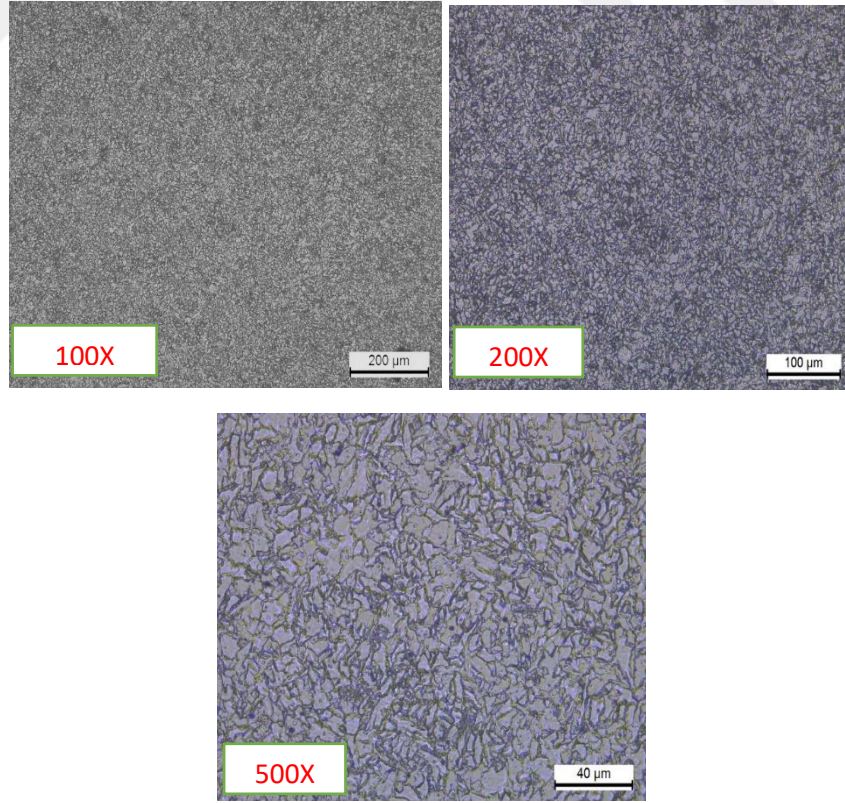
Şekil 12. 13:ELCOR R 81 Ni Rutil Özlü Tel Kullarılarak Kaynak Yapılan Kaynak Metali (WM) Mikro Görüntüleri



Şekil 12. 14:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel ile Yapılan Kaynakta Ana Metalin (BM) Mikro Görüntüleri



Şekil 12. 15:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel ile Yapılan Kaynakta Isı Tesiri Altında kalan Bölgenin (ITAB) Mikro Görüntüleri



Şekil 12. 16:ELCOR M 80 Ni Metal Özlü Tel ile Yapılan Kaynakta Kaynak Metalinin (WM) Mikro Görüntüleri

13. GENEL SONUÇLAR

Farklı özlü teller kullanılarak yapılan robotik kaynaklı birleştirmelerin mekanik ve mikro yapı özellikleri için değerlendirme sonuçları aşağıdaki gibidir.

- Görsel muayene incelemesinde hem rutil özlü tel ELCOR R 81 Ni için hem de metal özlü tel ELCOR M 80 Ni için hata olarak değerlendirilecek süreksizlik tespit edilmemiştir.
- Çekme testinde her iki özlü tele ait verilerin akma çekme mukavemetlerinin ana malzemedenden yüksek olduğu tespit edilmiştir. ELCOR M 80 Ni metal özlü telin ise akma mukavemetinin standartları karşılamakla birlikte ELCOR R 81 Ni rutil özlü telin akma mukavemetinden daha fazla olduğu görülmektedir. ELCOR R 81 Ni özlü telin çekme mukavemetinin standartları karşılamakla birlikte ELCOR M 80 Ni metal özlü telin çekme mukavemetinden daha fazla olduğu görülmüştür. Her iki tel için uzama miktarları standartları karşılamaktadır. Ancak ELCOR M 80 Ni metal özlü telin uzama miktarı %2 daha fazladır.
- ELCOR M 80 Ni metal özlü telle birleştirilen numunenin en yüksek yüzde uzamaya sahip olduğu görülmektedir.
- -30°C sıcaklıkta ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel ile birleştirilen numunenin çentik darbe enerjisi ELCOR M 80 Ni metal özlü tel ile birleştirilen numunenin çentik darbe enerjisinden bir miktar fazladır. -40°C ve -50°C sıcaklıklarda ELCOR M 80 Ni metal özlü tel ile birleştirilen numunelerin çentik darbe enerjisi ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel ile birleştirilen numunelerin çentik darbe enerjisinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Kaynak metali sertliğinin en yüksek ELCOR M 80 Ni metal özlü telde olduğu görülmüştür.
- ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel ile birleştirilen numunenin, rutil özlü telin cüruf oluşturma eğiliminden dolayı makro görüntüsünde gözenek oluştuğu görülmüştür.
- ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel ve ELCOR M 80 Ni metal özlü tel ile birleştirilen numunelerin mikro yapılarında genellikle perlit ve ferlit

yapıların olduğu görülmüştür. Kaynak metalinde ELCOR M 80 Ni metal özlü tel ile birleştirilen numunenin ELCOR R 81 Ni rutil özlü tel ile birleştirilen numuneye göre iri taneli olduğu görülmüştür.



KAYNAKÇA

1. Eryürek, İ. B. “Gazaltı Kaynağı”, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş, İstanbul, 1-46 (2003).
2. Kahraman, N. Gülenç, B. “Modern Kaynak Teknolojisi Kitabı”, Epa-Mat Basın Yayın Ltd. Şti, Ankara, 100-132 (2016)
3. Barcellona, A. Bruccoleri, M, D'Onofrio, C. Palmeri, D, Riccobono, R. “Improving of the productivity and the quality of a manufacturing robotized cell for MIG/MAG welding”, 35th International Matador Conference, Taipei, 119-130 (2007)
4. Güner, M. 2007, MAG Kaynağında Elektrod Tipinin (Çıplak Tel – Özlü Tel) Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
5. Sönmez, U. 2009, Gemi Saclarının Özlü Tel Elektrod İle Kaynağında Kaynaklı Birleştirmenin Dayanım Ve Mikroyapı Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
6. Geçmen, İ, 2006. Çeliklere gaz altı kaynağının uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
7. Ulubaş, B. 2009. Robot kaynaklı birleştirmelerde mekanik ve mikro yapının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
8. Karaman, F. 2002, Masif ve Özlü Telle Yapılmış Gazaltı Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
9. GEV MIG/MAG Kaynak, Modül 1.1 IIW NO:1.8.1 Revizyon No:003 Tarih: 12.12.2011.
10. Işık, A. 2014, MAG Kaynağında Özlü Tel Elektrod Tipinin Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
11. Uzun, Y. 2014, Konvansiyonel Ve Sinerjik Kaynak Makinaları İle Masif Ve Özlü Tel İle Kaynak Edilmiş St 37 Çeliğin Kaynak Dikişlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
12. Harman, M. 2019, Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Farklı Kaynak Yöntemleri Kullanılarak Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
13. Çelik, O. 2013, Gazaltı (MAG) Kaynağında Kullanılan Rutil, Bazik Ve Metal Özlü Tellerin Kaynak Metali Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
14. Gök, G.V. Afyon, Ç. “Kaynak Teknolojisi 2. Ulusal Kongresi”, 221-228

15. Özkan, E. 2019, Kaynak Sonrası S355J2N Yapı Çeliğinde Oluşan Gerilmeleri Gidermek İçin Uygulanan Isıl İşlemin Etkilerinin Tahribatlı -Tahribatsız Muayene Yöntemleri İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
16. Çolak, Z. 2018, Su Altı Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin Tahribatlı Ve Tahribatsız Muayenesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
17. Polat, İ. 2016, Geleneksel Gazaltı Kaynak Yöntemleri İle Robotik Kaynağın Kaynak Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
18. Y. Uzun.2014 ‘‘Konvansiyonel ve Sinerjik Kaynak Makinaları ile Masif ve Özlü Tel ile Kaynak Edilmiş ST37 Çeliğın Kaynak Dikişlerinin İncelenmesi’’ Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi
19. William D. Calliser David G. Rehwisch ‘‘Malzeme Bilimi ve Mühendisliğı’’ 8. Basım Kasım, 2015
20. Gürel Çam.2020, ‘‘ Kaynak Bilimi ve Teknolojisi’’ Kitap
21. Yuvalaklıoğlu, M.2018, Adaptif Robotik Ark Kaynağı Yöntemleri: Robotik Kaynak Ağızı Bulma Ve Kaynak Ağızı Takibinde Deneysel Çalışmalar, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
22. Westerlund, L. 2000. The Extended Arm of Man: A History of the Industrial Robot. Informationsförlaget, Stockholm, 170 s.
23. Scheinman, V.D. 1969. Design of a Computer Controlled Manipulator. Doktora Tezi Stanford University, Stanford.
24. Anonim, 2012b. History of Industrial Robots: From the first installation until today. International Federation of Robotics.
25. Gedik Kaynak Genel Ürün Kataloğu Ocak,2020, 187-188
26. Mert, T.2004, Kaynaklı Yapımlarda Robotik Uygulamalar ve Türkiye’deki Durumu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
27. Tülbentçi, K., (1990), MIG-MAG Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding, İstanbul.
28. Mair, G.M., Industrial Robotics, Prentice Hall, New York.
29. Gürel Ç, (2020), Kaynak bilimi ve teknolojisini, Kitap
30. TS EN 10025-2, (2019). Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri - Bölüm 2: Alaşimsız yapı çeliklerinin teknik teslim şartları
31. GEV Ergitme kaynaklarında yapı çeliklerinin davranışı, Modül:2.1, IIW No:2.5, Revizyon No:001, Tarih: 22.12.2012.
32. TS EN ISO 6892-1 Çekme Deneyi (2020). Metalik malzemeler -Çekme deneyi Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney yöntemi.
33. GEV Malzeme yapısı ve özellikleri, IIW NO:2.3 Revizyon No:001 Tarih: 17.03.2009.

34. GEV Alaşımlar ve faz diyagramları, IIW NO:2.4 Revizyon No:001 Tarih: 25.03.2009.

35. Dikeç, G., (2013), ‘Malzeme Bilgisi ve İmal Usulleri’ 35-181 Malzeme bilgisi ve imal usulleri, Yayın evi: Gedik Üniversitesi, ISBN no: 978-605-85572-0-8.

İnternet Kaynakları

36. <https://slideplayer.biz.tr/slide/12884869> alındığı tarih:17.08.2021

