

**SU ALTI KAYNAK YÖNTEMİ İLE
BİRLEŞTİRİLEN DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK
MALZEMELERİN TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ
MUAYENESİ**

**2018
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Zahit ÇOLAK

**SU ALTI KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN DÜŞÜK KARBONLU
ÇELİK MALZEMELERİN TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ MUAYENESİ**

Zahit ÇOLAK

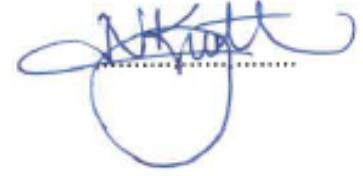
**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2018**

Zahit ÇOLAK tarafından hazırlanan “SU ALTI KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK MALZEMELERİN TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ MUAYENESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 21/12/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Prof. Dr. Mustafa BOZ (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ (SUBÜ)

...../...../2018

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

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





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

Zahit ÇOLAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SU ALTI KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK MALZEMELERİN TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ MUAYENESİ

Zahit ÇOLAK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Aralık 2018, 115 sayfa

Üç tarafı denizler ile çevrili olan ülkemizde off-shore uygulamalarında her türlü imalat ve tamiratın gerekliliği bir gerçektir. Bu çalışmada, off-shore uygulamalarında sıklıkla kullanılan Grade AH36 gemi sacı atmosferik şartlarda ve su altında katlamalı farklı derinliklerde örtülü elektrodla ark kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Su altında yapılan birleştirmelerde E 6013 rutil örtü tipli elektrod bantla kaplanmak suretiyle kullanılmıştır. Ayrıca 8 metre derinlik için ithal olarak temin edilen özel sualtı kaynak elektrodu (UW-CS-2/E7014) kullanılmıştır. Kaynaklı numuneler ilk olarak gözle muayene edilmiş, devamında tahribatsız muayeneye (sıvı penetrant, ultrasonik muayene ve radyografik test) tabi tutulmuşlardır. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi, eğme testi ve çentik darbe testi yapılmıştır. Kaynak bölgesinde meydana gelen yapısal dönüşümleri gözlemlemek için mikroyapı çalışmaları, ayrıca kaynak bölgesinde sertlik taraması yapılmıştır.

Su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelere yapılan tahribatsız muayene sonucunda kaynak yüzeyinde ve pasolar arasında cüruf kalıntısı, gaz boşluğu, yanma olukları, nüfuziyet azlığı gibi hatalara rastlanılmıştır.

Çekme testleri sonucunda, atmosferik şartlarda birleştirilen numunelerde kopma ITAB'da, su altında birleştirilen numunelerin tamamında kaynak metalinde meydana gelmiştir. Eğme testleri sonucunda, derinlik farkı arttıkça kaynak metalinde oluşan kalıntı, gaz boşlukları vb. gibi hatalardan dolayı belirli açılardan sonra olumsuz sonuçlanmıştır.

Çentik darbe test sonuçlarına göre, atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin su altı farklı derinliklerde birleştirilenlere göre daha iyi tokluk dayanımına sahip oldukları görülmüştür. Yapılan sertlik testleri sonucunda, en yüksek sertlik değerleri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzeme takip etmektedir. Mikroyapı incelemelerinde kaynak metalinin dentritik yapıda olduğu, ITAB'da ana malzemenin hadde yapısının bozulduğu ve bu bölgede kısmen tanelerin irileştiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Su altı kaynağı, gemi sacı, mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 915.3.019

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE TESTING OF THE LOW CARBON STEELS JOINED BY UNDERWATER WELDING

Zahit ÇOLAK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

December 2018, 115 pages

Requirements of manufacturing and repairing process in off-shore applications in our country surrounded on three sides by sea is a real. In this study, Grade AH36 steel ship plates frequently used for off shore applications were joined at both the atmospheric conditions and underwater at different depths through shielded metal arc welding process. Isolated rutile electrodes conforming to E6013 standard were used in welding process performed at underwater. Besides, the welding electrode (UW-CS-2/E7014) imported peculiarly in order to utilize for the depth of 8 m. The welded specimens firstly subjected to visual inspection and this were followed by a set of non-destructive tests (liquid penetration test, ultrasonic and radiographic test). Tensile, bending, impact toughness tests were also carried out in order to determine the mechanical properties of the welded joints. Microstructural examines were performed to observe the structural transformation and hardness tests were conducted on the weld zones.

Non-destructive test results showed that the specimens joined underwater had not weld defect such as slag remains on the weld surface and between the pass, gas porosities, grooves and the lack of penetration.

It was seen from the tensile test results that the specimens joined underwater fractured within the weld metal while the specimens joined at atmospheric conditions fractured within the HAZ (Heat Affected Zone). According to the bending test results, when the difference of depth increased, the tests resulted in negative at some angles due to defects like remains, gas porosities etc. on the weld metal.

With respect to impact toughness tests, the specimens welded at atmospheric conditions presented better toughness than the others welded at underwater. The maximum hardness value was measured from the weld metal and this was followed by the HAZ and base metal sequentially. Microstructure evolutions showed that structures of the weld metals were dendritic, rolled structure of the base metal in the HAZ was destroyed and partial grains growth were seen in this section.

Key Words : Underwater welding, ship steel, mechanical properties.

Science Code : 915.3.019

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, göstermiş olduğu hoőgörü ve sabrından dolayı değerli hocam Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tezin hazırlık aşamasında, ana malzemenin temininde yardımcı olan arkadaőım Sayın Hamdi AKTÜRK'e, Sualtı kaynağında tüm imkanlarıyla destek olan Sayın Avni DEMİRALP'e, deneysel çalışmalarda tecrübe ve desteklerini esirgemeyen Sayın Kadir İMDAT'a ve Arő. Gör. Yusuf AYAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, bu Yüksek Lisans Tez alıőmasını KBÜ-BAP-17YL-432 numaralı proje ile destekleyen, KBÜ Rektörlüğüne ve BAP komisyonuna teşekkür ederim.

Ve son olarak maddi ve manevi yardımı esirgemedен yanımda oldukları için ve benim bu günlere gelmemde büyük emeği olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
ÇELİKLER	4
2.1. ÇELİKLERİN GÜNÜMÜZDEKİ YERİ	4
2.2. ÇELİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	4
2.2.1. Çeliğin Yapısı.....	5
2.2.1.1. Çeliğin Kimyasal Özellikleri	5
2.2.1.2. Çeliğin Fiziksel Özellikleri	5
2.3. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	5
2.3.1. Çeliklerin Karbon Oranına Göre Sınıflandırılması	6
2.3.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler	6
2.3.1.2. Orta Karbonlu Çelikler	6
2.3.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler	6
2.3.2. Çeliklerin Kimyasal Bileşimine Göre Sınıflandırılması	7
2.3.2.1. Alaşimsız Çelikler.....	7
2.3.2.2. Paslanmaz Çelikler.....	7
2.3.2.3. Alaşımlı Çelikler.....	7

	<u>Sayfa</u>
2.3.3. Çeliklerin Başlıca Kullanım Alanları	8
2.4. GEMİ İNŞA SEKTÖRÜ	8
2.4.1. Gemi İmalat Sanayinin Önemi	9
2.4.2. Gemi İnşasında Kullanılan Başlıca Malzemeler	9
2.4.2.1. Gemi İnşasında kullanılan çelik malzemeler	10
BÖLÜM 3	12
ÖRTÜLÜ ELEKTRODLA ELEKTRİK ARK KAYNAĞI	12
3.1. KAYNAK ARKI.....	12
3.2. KAYNAK DONANIMI	12
3.2.1. Kaynak Makinaları	13
3.2.2. Kaynak Pensi ve Şasesi	14
3.2.3. Kaynak Kabloları	14
3.3. KAYNAK ELEKTRODLARI	15
3.3.1. Elektrodların sınıflandırılması.....	15
3.3.2. Elektrodların Standartta Gösterimi.....	16
3.3.3. Elektrik Ark Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları	18
BÖLÜM 4	19
SU ALTINDA KAYNAK.....	19
4.1. SU ALTI KAYNAK YÖNTEMİNİN TARİHÇESİ	19
4.2. MALZEME VE DONANIM.....	20
4.3. KAYNAK HAZIRLIĞI	21
4.4. SU ALTI KAYNAĞININ GÜÇLÜKLERİ	22
4.4.1. Su altı Kaynağının Uygulama Alanları	23
4.5. SU ALTI KAYNAĞINDA KULLANILAN ELEKTRODLAR	24
4.6. SU ALTI KAYNAĞININ AVANTAJLARI	25
4.7. SU ALTI KAYNAĞININ DEZAVANTAJLARI	26
4.8. SU ALTI KAYNAĞI ÜZERİNE LİTERATÜR TARAMASI.....	26
BÖLÜM 5	32
KAYNAKLI BAĞLANTILARA UYGULANAN TESTLER.....	32

	<u>Sayfa</u>
5.1. GENEL.....	32
5.1.1. Tahribatsız Muayeneler.....	32
5.1.1.1. Gözle Muayene.....	33
5.1.1.2. Sıvı penetrant Muayenesi.....	34
5.1.1.3. Manyetik Parçacık Muayenesi.....	36
5.1.1.4. Ultrasonik Muayene.....	38
5.1.1.5. Radyografik Muayene.....	39
5.1.1.6. Mikroskopik Muayene.....	43
5.1.2. Tahribatlı Muayeneler.....	44
5.1.2.1. Çekme Deneyi.....	44
5.1.2.2. Eğme Deneyi.....	45
5.1.2.3. Çentik Darbe Deneyi.....	47
5.1.2.4. Sertlik Ölçme Deneyi.....	48
BÖLÜM 6.....	51
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	51
6.1. KULANILAN MALZEMELER.....	51
6.2. MALZEMELERİN KAYNAĞA HAZIRLANMASI.....	53
6.3. DENEYLERDE KULLANILAN ELEKTRODLAR.....	54
6.4. SU ALTI KAYNAK UYGULAMASI.....	55
6.5. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATSIZ MUAYENESİ.....	57
6.5.1. Gözle Muayene.....	57
6.5.2. Sıvı Penetrant Muayenesi.....	58
6.5.3. Ultrasonik Muayene.....	58
6.5.4. Radyografik Muayene.....	58
6.6. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATLI MUAYENESİ.....	59
6.7. NUMUNE HAZIRLAMA.....	59
6.7.1. Çekme Deneyi.....	60
6.7.2. Eğme Deneyi.....	61
6.7.3. Çentik Darbe Deneyi.....	62
6.8. MAKRO/MİKRO YAPI İNCELEMELERİ.....	63

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	65
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	65
7.1. GÖZLE MUAYENE.....	65
7.2. SIVI PENETRANT MUAYENESİ	67
7.3. ULTRASONİK MUAYENE	69
7.4. RADYOGRAFİK MUAYENE	70
7.5. ÇEKME DENEYİ	71
7.6. EĞME DENEYİ.....	76
7.7. ÇENTİK DARBE DENEYİ.....	78
7.8. SERTLİK DENEYİ.....	82
7.9. MAKRO/MİKROYAPI İNCELEMELERİ	86
BÖLÜM 8	94
SONUÇLAR	94
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	100
EK AÇIKLAMALAR A SIVI PENETRANLA MUAYENE RAPORLARI	101
EK AÇIKLAMALAR B ULTRASONİK MUAYENE RAPORU	112
EK AÇIKLAMALAR C RADYOGRAFİK MUAYENE RAPORLARI	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Almanya’da çelik kullanımı.....	8
Şekil 3.1. Elektrik ark kaynak donanımı.....	13
Şekil 3.2. Düşey karakteristikli kaynak makinası diyagramı.....	14
Şekil 3.3. AWS A5.1’e göre örtülü elektrodla ait sınıflandırma.....	17
Şekil 4.1. Su altında örtülü elektrod ark kaynağının şematik gösterimi.....	21
Şekil 4.2. Tamamen ıslak ortamda gerçekleştirilen su altı kaynağı uygulaması.....	24
Şekil 4.3. Üzerleri kaplı su altı kaynak ve kesme elektrodla.....	24
Şekil 5.1. Sıvı penetrant yöntemi ile yüzey çatlaklarının belirlenmesi.....	34
Şekil 5.2. Manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri.....	37
Şekil 5.3. Ultrasonik titreşimler yardımı ile hataların tespiti.....	39
Şekil 5.4. Radyografik muayene yöntemi.....	40
Şekil 5.5. X ışını cihazları ve dijital panel görüntüleri.....	42
Şekil 5.6. Gama radyografi cihazları görünümü ve çalışma prensibi.....	43
Şekil 5.7. Plakalar için deney numunesi.....	45
Şekil 5.8. (a) borular ve (b) silindirik malzemeler için deney numunesi.....	45
Şekil 5.9. Alın kaynağı (a) yüzey eğme ve (b) kök eğme deney numunesi.....	46
Şekil 5.10. Enine yüzey eğme deneyi.....	46
Şekil 5.11. Çentik – darbe deneyi numunesi ve darbe deneyi cihazının şeması.....	47
Şekil 5.12. Brinell sertlik ölçme deneyinin prensip şeması.....	49
Şekil 5.13. Vickers sertlik deneyinin prensip şeması.....	49
Şekil 5.14. Rockwell sertlik deneyinin prensip şeması.....	50
Şekil 6.1. Deneysel akış şeması.....	52
Şekil 6.2. Kaynak ağzı açılmış parçaların şematik görünümü.....	53
Şekil 6.3. Kaynak ağzı açılmış parçaların kaynak öncesi fiyktürle sabitlenmesi.....	54
Şekil 6.4. İşlem öncesi kaynakçı hazırlığı.....	55
Şekil 6.5. Gekamac RKM350 ve Lincoln V260-S modeline sahip kaynak makinesi.....	56
Şekil 6.6. Su altı kaynak pensesi.....	56

Şekil 6.7. Çekme numuneleri genel görüntüsü.	60
Şekil 6.8. Eğme numuneleri genel görüntüsü.	61
Şekil 6.9. Çentik darbe deney numuneleri genel görüntüleri.	62
Şekil 6.10. Sertlik ölçüm cihazı görüntüsü.	63
Şekil 6.11. Metalografik incelemede kullanılan optik mikroskop görüntüsü.	64
Şekil 7.1. Kaynaklı numunelerin makro görüntüleri, a) atmosferik, b) 4 m, c) 8 m (E6013), d) 8 m (E7014) ve e) 16 m.	66
Şekil 7.2. Sıvı penetrant testi sonrası numune görüntüleri.	68
Şekil 7.3. Radyografik muayene filmleri.	71
Şekil 7.4. Grade AH36 gemi sacının çekme deneyi sonuçları.	72
Şekil 7.5. Çekme deneyi sonucu numunelerin görünüşü a) atmosferik, b) 4 m, c) 8 m (E6013), d) 8 m (E7014) ve e) 16 m.	73
Şekil 7.6. Grade AH36 ve kaynaklı numunelerin çekme test sonuçları.	74
Şekil 7.7. Eğme deneyi sonrası numune görüntüleri a) atmosferik, b) 4 m, c) 8 m (E6013), d) 8 m (E7014) ve e) 16 m.	77
Şekil 7.8. AH 36 ana malzemenin kırık yüzey görünüşleri.	78
Şekil 7.9. Kaynak metali kırık yüzey görüntüleri a) atmosferik şartlar, b) 4 m, c) 8 m (E6013, d) 8 m (E7014), ve e) 16 m.	79
Şekil 7.10. ITAB kırık yüzey görüntüleri (a) 4 m ve b) 16 m.	79
Şekil 7.11. Kaynak metali ve ITAB'ın darbe deneyinde kırılma bölgeleri.	80
Şekil 7.12. Grade AH36 ve farklı derinlik değerlerine göre darbe deney sonuçları. .	81
Şekil 7.13. Sertlik ölçme yönteminin şematik olarak gösterimi.	82
Şekil 7.14. Kaynaklı numunelere ait sertlik deneyi sonuçları.	84
Şekil 7.15. Kepten köke sertlik grafiği.	85
Şekil 7.16. Grade AH36 gemi sacı malzemesinin orijinal mikroyapı görüntüsü.	86
Şekil 7.17. Numunelerin kaynak metali, ITAB ve ana malzeme ile geçiş bölgelerinin makroyapı görüntüleri.	88
Şekil 7.18. Atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü.	89
Şekil 7.19. 4 m derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (E6013). ...	91
Şekil 7.20. 8 m derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (E6013). ...	91
Şekil 7.21. 8 m derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (E7014). ...	92
Şekil 7.22. 16 m derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (E6013). .	92

	<u>Sayfa</u>
Şekil Ek A.1 Sıvı penatrantla muayene raporları.....	102
Şekil Ek A.2. Ultrasonik muayene raporu.	103
Şekil Ek A.3. Radyografik muayene raporları.....	104



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Alaşımli ve alaşımsız çelikler arasındaki limitler.....	7
Çizelge 5.1. Çeşitli malzemeler için minimum penetrant bekleme süreleri.	36
Çizelge 6.1. Grade AH36 gemi sacının kimyasal bileşimi (ağırlıkça %) ve C _{eş} değeri.....	51
Çizelge 6.2. Grade AH36 gemi sacının mekanik özellikleri.....	51
Çizelge 6.3. E 6013 rutil örtülü elektrodun kimyasal bileşimi.	54
Çizelge 6.4. E 7014 rutil örtülü elektrodun kimyasal bileşimi.	55
Çizelge 6.5. Deneylerde kullanılan elektrodların mekanik özellikleri.....	55
Çizelge 6.6. Derinlik, paso sayısı ve akım değeri.	57
Çizelge 7.1. Kaynaklı numunelere ait sertlik deneyi sonuçları.....	83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Mg : Magnezyum

Al : Alüminyum

C : Karbon

Mn : Mangan

Si : Silisyum

Cu : Bakır

Mo : Molibden

Ni : Nikel

Cr : Krom

P : Fosfor

S : Kükürt

Nb : Niobyum

V : Vanadyum

Ti : Titanyum

N : Azot

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskobu)
NSS	: Notr Salt Spey (Nötr Tuz Püskürtme)
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
LPG	: Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
LNG	: Liquefied Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)
HSLA	: High Strength Low Alloy (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli)
YMDA	: Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli
DWT	: Deadweight Tonnage (Gemi Taşıyabileceği En Çok Ağırlık)
TW	: Thermit Welding (Termit Kaynağı)
FSW	: Friction Stir Welding (Sürtünme Karıştırma Kaynağı)
TIG	: Tungsten Inert Gas (Tungsten Inert Gaz)
MIG	: Metal Inert Gas (Metal Inert Gaz)
MAG	: Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
EDX	: Electron Diffraction Techniques (Elektron Kırınım Tekniği)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
TEM	: Transmission Electron Microscope (Geçirimli Elektron Mikroskobu)
MKE	: Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu
TURKAK	: Türk Akreditasyon Kurumu
EDS	: Enerji dispersif x-ışınları spektroskopisi
XRD	: X-Ray Diffraction (X-R Yayınımı)
OM	: Optik mikroskop
TFBB	: Transverse face bend test specimen for a butt weld (Alın kaynağı yüzey eğme deney numunesi)
TRBB	: Transverse root bend test specimen for a butt weld (Alın kaynağı kök eğme deney numunesi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Su altında kaynak özellikle A.B.D. Bahriyesi (Bir devletin deniz güçlerinin ve kuruluşlarının bütünü) ve kurtarma şirketleri tarafından geniş ölçüde uygulama alanına sokulmuş bir birleştirme yöntemidir. Başlıca kullanıldığı yerler; gemilerin acilen tamiri olmakla birlikte denizlerde petrol ve doğal gaz aramak için sondajların gelişmesiyle, sondaj platformları ve bunlara bağlı donanımın imal ve bakımında da yer almaktadır [1].

Su altı ark kaynağına, Birinci Dünya Savaşı sırasında İngiliz donanmasının gemileri üzerindeki geçici onarımları yapmak üzere 1917 yılında elektrik ark kaynağı ile başlanılmıştır [2]. Bu gelişmeler, su altında kaynak için özel cihaz ve ekipmanların kullanılması zaruretini doğurmuştur. Bu nedenle, yakın zamana kadar su altı kaynağı, kurtarma işlemi, gemilerin onarımı gibi yerlerde kullanılırken son 20 yıl içinde oldukça yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Özellikle 1973 yılında petrol ihraç eden ülkeler birliğinin (OPEC) petrol fiyatlarını arttırması kararı nedeni ile deniz altından petrol ve gaz çıkarılmasına olan ekonomik ilgi artmış, bu da su altı kaynağına olan gereksinimi arttırmıştır [1,3,4].

Örtülü elektrod ile su altında kaynak, pek çok açıdan çekici olmaktadır. Her ne kadar yapı çeliği kaynağının kalitesini sağlayan temel kurallar burada ihlal edilmiş gibi olsa da, hızlı bir tamiri gerektiren durumun yerine getirilmiş olması koşuluyla bunun üzerinde çoğu kez durulmamaktadır. Elverişlilik lehine mükemmellik feda edilmektedir. Kaldı ki geçici işlerin genelde mükemmel olmaları beklenmemektedir. Gerçek olan ise tamirin hızlı yapılabilmesidir. Gerçekten su altında kaynak pek çok durumda basit tamirleri düşük maliyetle yapma olanağı vermekle birlikte, edinilen sonuçlar “kullanılmaya elverişlilik” kuralının üzerine olmalıdır [3].

Suyun altında kullanılan örtülü elektrodla ark kaynağının, sadece oldukça düşük eşdeğer çeliklerin kaynağı için, sabitleme parçasının zorlanmalarının zayıf olmaları kaydı ile kabul edilebilir. Uygulamada bu denli elverişli koşullarla sık karşılaşılır [4].

Yakın zamanlara kadar su altında kaynak, yaş ortamda arkın oluşturulması ve devam ettirilmesi şeklinde her türlü ihtiyaca cevap verebilen bir yöntem olarak kullanılmıştır. Çok yakın zamanlarda ise yüksek atmosfer basıncı (HYPER BARIC) altında oda denilen kuru ortamda arkın oluşturulması ile kullanıma geçilmesi yaygın hale gelmiştir. Bu odaların büyüklüğü ihtiyaca göre değişmekle birlikte büyük olanları, kaynakçıların daha rahat çalışmasına ve dinlenmesine imkân vermektedir [3,4].

Bu çalışmada, ark kaynak yöntemi, kaynak işlemi ile ilgili parametre değerleri, olası durumda acil kurtarma ihtiyacı olarak kullanılan su altı kaynağı ve aynı zamanda petrol boru hatları ile platformların imalat, uygulama ve birleştirmelerinde kullanılan su altı ark kaynak yönteminin daha önceki yapılan bilimsel çalışmaları da gözden geçirilerek incelenmiş ve bu kaynak yönteminin önemi ve gerekliliği yinelenmeye çalışılmıştır. Bunun yanında deneysel çalışmada kullanılan malzemelerle ilgili kapsamlı bir literatür bilgisi verilmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmada, su altı ark kaynağı için kullanılan ekipman ve makinelerle, elektrod ve kaplamalarıyla ilgili literatür araştırması yapılarak, su altı ark kaynak işleminin zorluklarından bahsedilmiştir.

Bu çalışmada, genel olarak literatür ve yapılan deneysel çalışmalar olmak üzere iki ana başlık altında toplanmıştır. Çalışmanın literatür kısmı 5 alt başlık altında toplanmıştır. Bunlar; giriş, çelikler, örtülü elektrodla elektrik ark kaynağı, su altında kaynak ve kaynaklı bağlantılara uygulanan testlerdir. Çalışmanın altıncı bölümünde deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin fiziksel ve bazı mekanik özellikleri (Grade AH36) verilmiştir. Ayrıca kaynak işlemi şartları ve birleştirme esnasında kullanılan kaynak parametreleri ve kaynak işleminin gerçekleşme aşamaları ile yapılan deneyler için numune hazırlık aşamaları da bu bölüm içerisinde sunulmuştur.

Deneysel sonuçlar ve tartışma başlıklı yedinci bölümde, kaynaklı birleştirmelerin tahribatsız muayenelerinin (gözle muayene, ultrasonik muayene ve radyografik muayene) yanı sıra, kaynaklı numunelere uygulanan çekme, eğme ve çentik darbe deney sonuçları grafik üzerine aktarılarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu bölümde kaynaklı numunelerin kaynak bölgelerindeki (kaynak metali ve ITAB) sertlik ve mikroyapı değişimleri incelenerek irdelenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar yapılırken her bir tahribatlı ve tahribatsız test sonucu, farklı derinlikler dikkate alınarak, açık alanda (atmosferik şartlarda) yapılan kaynaklı birleştirmeler ile kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir. Ve bu bölümün son kısmında, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular; daha önce literatürde yapılmış benzer çalışma sonuçlarıyla benzerlik/farklılıkları bilimsel veriler ışığında aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın son bölümü olan sekizinci bölümde ise deneylerden elde edilen nihai sonuçlar, çalışmanın amacına uygun bir şekilde ve sayısal veriler ile desteklenerek sunulmuştur.

BÖLÜM 2

ÇELİKLER

Çelikleri çeşitli bakımlardan sınıflandırmak mümkündür. Ancak genellikle çelikler alaşımsız (sade karbonlu) ve alaşımlı olmak üzere iki büyük gruba ayrılabilir [5]. Kimyasal bir element olarak, demir metal grubuna dahildir ve kristal yapıdadır. Doğada saf haliyle bulunmaz. Daha çok diğer elementleri de içeren bileşikler halinde bulunur. Bu nedenle ana metal olarak sınıflandırılır [6]. Alaşımsız çelikler demir, karbon ve mangandan oluşmuşlardır. Bunların yanı sıra az miktarda silisyum, fosfor ve kükürt gibi elementler bulunsada bunlar çeliğin esasını meydana getirmezler. Alaşımlı çelikler karbon ve manganın dışında, çeliğin özelliklerini değiştirecek miktarda, nikel, krom, vanadyum, molibden ve wolfram gibi elementleri bünyelerinde bulundururlar [5,6].

2.1. ÇELİKLERİN GÜNÜMÜZDEKİ YERİ

Çelikler; geniş alana yayılan kullanım alanları ve yeniden kullanılabilmesi özelliklerinden dolayı, bugünün ve yarının endüstrisinde sürdürülebilir gelişmenin ana direklerinden biri olarak yerini korumaktadır. Kullanım alanları hemen hemen her mühendislik alanlarına uzanmaktadır. Aparat ve makine yapımı, köprü yapımı, çelik yapılar, güç santralleri, çevre teknolojileri, nakliye, ambalaj makineleri vb. gibi uygulamalarla liste hemen hemen sonsuza kadar uzanır [6].

2.2. ÇELİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Çeliğin geniş kullanım alanı ve uyarlanabilirliği şu şekilde karakterize edilir:

- Sıcak ve soğuk şekillendirmeye uygunluğu,
- Kaynak edilebilirliği,

- İşlenebilirliği,
- Sert ve aşınma dayanımlı olması,
- Korozyon dayanımı,
- Yüksek sıcaklıklarda ısıya ve deformasyona dayanımı [6].

Yukarıda sayılan karakterizasyon gerekçelerinden dolayı çelik yapısal olarak incelenir ve bir takım özellikleri bakımından detaylı incelenmesi gerekir.

2.2.1. Çeliğin Yapısı

Yapısı bakımından çelik iki alt başlıkta incelenebilir. Üretimi esnasında yapısına eklenen elementleri ifade edecek şekilde kimyasal özellikleri ve işlenebilirlik ile dayanım fonksiyonlarını belirten fiziksel özelliklerinden bahsedilebilir.

2.2.1.1. Çeliğin Kimyasal Özellikleri

Kimyasal bileşimine göre çelikler genel olarak alaşımsız ve alaşımlı çelikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Alaşımsız çelikler de kendi içinde kütle çelikleri, kalite çelikleri ve yüksek vasıflı çelikler gibi gruplara ayrılmaktadır. Alaşımlı çelikler de benzer biçimde kalite çelikleri ve yüksek vasıflı çelikler olarak iki ana gruba ayrılır [7].

2.2.1.2. Çeliğin Fiziksel Özellikleri

Fiziksel özellikleri bakımından kullanım yerleri dikkate alınarak yapılan sınıflandırma en çok kullanılan ve en pratik olan türüdür. Fiziksel özelliklerine göre çelikler genellikle yapı çelikleri ve takım çelikleri olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar [7].

2.3. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Metal alaşımları kimyasal bileşim olarak dikkate alındığında, demir esaslı ve demir dışı metaller olarak iki gruba ayrılırlar. Demir esaslı alaşımlar kimyasal bileşiminde demir elementinin ana bileşen olarak yer aldığı ana bileşenler olarak tanımlanır ve çelikler ile dökme demirleri kapsar.

2.3.1. Çeliklerin Karbon Oranına Göre Sınıflandırılması

Çelikler karbon oranına göre incelendiğinde genel olarak üç alt başlık altında toplanırlar. Bunlar düşük karbonlu, orta karbonlu ve yüksek karbonlu çeliklerdir.

2.3.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler

Düşük karbonlu çelikler tüm çelik türleri içerisinde en çok üretilen ve en geniş kullanım alanına sahip olan çelik türlerini oluşturur [6,8]. Bu çelikler genellikle ağırlıkça % 0,25'den daha az oranlarda karbon içerir ve martenzitik dönüşümü hedefleyen ısı işlemlere karşı duyarsızdırlar [7,8]. Bu çeliklerin mikroyapıları ferrit ve perlitten oluşur [8].

2.3.1.2. Orta Karbonlu Çelikler

Orta karbonlu çeliklerin karbon miktarı ağırlıkça % 0,25 ile % 0,6 arasındadır. Bu çeliklerin mekanik özellikleri, östenitleme, su verme ve sonrasında temperleme ısı işlemlerinin uygulanmasıyla iyileştirilebilir [6,7]. Bu çelikler çoğunlukla temperlenmiş durumda, yani içyapısı temperlenmiş martenzit olacak şekilde kullanılır. Krom, nikel, molibden gibi elementlerin kimyasal bileşime ilave edilmesiyle, bu tür çeliklerin ısı işlem kapasiteleri geliştirilebilir [8].

2.3.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler

Yüksek karbonlu çeliklerin karbon oranı ağırlıkça % 0,60 ile % 1,4 aralığında değişir ve karbonlu çelikler içerisinde en sert, en dayanıklı ancak en düşük sünekliğe sahip çeliklerdir [7]. Bu çelikler, neredeyse her zaman su verilip temperlenmiş halde kullanılır. Özellikle aşınma direnci gerektiren ve sert aynı zamanda keskin kenarlara sahip olması istenen uygulamalarda tercih edilir. Soğuk iş takım ve kalıp çelikleri yüksek karbonla birlikte krom, vanadyum, tungsten ve molibden gibi bazı alaşım elementlerini de içerir [8].

2.3.2. Çeliklerin Kimyasal Bileşimine Göre Sınıflandırılması

Çeşitli çeliklerin çalışma özellikleri; alaşım oranı, ergitme yöntemi, şekillendirme işlemi ve ısıtma işleminin kombinasyonlarına göre ayarlanabilir. EN 10020 standardına göre, çelik çeşitleri alaşımsız, paslanmaz ve alaşımlı çelikler olmak üzere üç sınıfa ayrılır [6].

2.3.2.1. Alaşımsız Çelikler

Alaşım elementlerinin toplamının belli bir kritik değerin altında olduğu çelik cinsleridir. Limit değerleri EN10020 standardında belirtilmiş, alaşımlı ve alaşımsız çelikler arasındaki limitleri belirten Çizelge 2.1’de verilmiştir.

2.3.2.2. Paslanmaz Çelikler

Karbon oranının ağırlıkça %1,2 veya daha az olduğu, krom oranının ise ağırlıkça %10,5 veya daha fazla değerlerde olduğu ve diğer alaşım elementlerinin de olduğu veya hiç olmadığı çelik türleridir [6,8].

2.3.2.3. Alaşımlı Çelikler

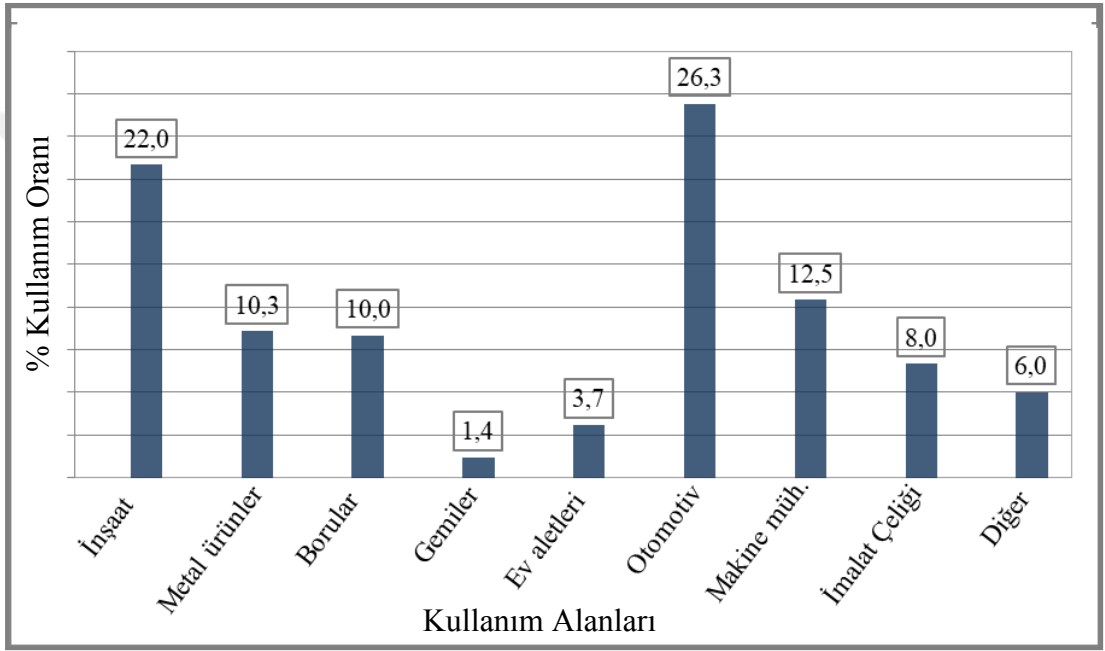
Bir bakıma paslanmaz çelik ve alaşımsız çeliklerin dışında kalan çelik türleridir. Genel tabirle alaşımlı çelikler Çizelge 2.1’de verilen sınır değerleri kadar veya en az bir alaşım elementinin ağırlıkça oranının daha üst seviyelerde olması durumuna uyan çelik türleridir [6].

Çizelge 2.1. Alaşımlı ve alaşımsız çelikler arasındaki limitler.

Elementler	Al	B	Bi	Co	Cr	Cu	La	Mn	Mo
Limit Değer (% Kütle)	0,30	0,0008	0,10	0,30	0,30	0,40	0,10	1,65	0,08
Elementler (Devamı)	Nb	Ni	Pb	Se	Si	Te	Ti	V	W
Limit Değer (% Kütle)	0,06	0,30	0,40	0,10	0,60	0,10	0,05	0,10	0,30

2.3.3. Çeliklerin Başlıca Kullanım Alanları

Demir çelik sektörünün gelişimi ve ilerleyişi hakkında Duesseldorf’da 2008 yılında yayınlanan “STEEL MANUEL” isimli kitapta geçen bir araştırmaya göre çeliğin başlıca kullanım alanları; metal ürünler, inşaat, borular, gemiler, ev aletleri, otomotiv, imalat çeliği ve makine mühendisliği ile diğer kısımlar olarak belirlenmiştir [6]. Buna dair elde edilen verilerin grafiği Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Almanya’da çelik kullanımı.

2.4. GEMİ İNŞA SEKTÖRÜ

Gemi, öngörülen bir görevin yerine getirilmesi için imal edilmiş hareketli bir su üstü veya su altı aracıdır. Dünya ticaret hacminin yaklaşık olarak % 95’inin deniz yolu taşımacılığıyla yapılıyor olması, teknik ve ekonomik yönden uzun ömürlü yapılar olan gemilerin önemini açıkça ortaya koymaktadır [5].

2.4.1. Gemi İmalat Sanayinin Önemi

Denizcilik sektörü birim taşıma maliyeti olarak alternatiflerine (kara yolu, demir yolu ve hava yolu taşımacılığı) nazaran ucuz olması, mal zaiyatının daha az olması, miktar ve ebat olarak bir defada daha çok yük taşınması vb. sebeplerle ülkeler arası ticarete en çok tercih edilen yoldur [5]. Bir gemi yüzen bir fabrika, depo veya otel olarak da düşünülebilir. Dolayısıyla, gemi inşaatında kullanılan malzemeler akla gelebilen bütün malzemeleri kapsayabilir. Örneğin yaşam mahallerinde kullanılan yanmaz panellerde, yanmaz izolasyon (yalıtım) malzemeleri (taş yünü veya cam yünü gibi) estetik bir kaplama (genellikle sentetik bir malzeme) içinde olduğu, kablolamada bakır ve plastik izolasyon malzemeleri kullanıldığı, mobilyada ağaç, kumaş ve köpük gibi malzemeler kullanıldığı, koridor zeminlerinde beton bulunduğu gözlenebilir [9].

Gemi inşaatında kullanılan malzemelerin teknik özelliklerinden söz ettiğimizde gemi üzerine gelecek çekme, basma ve kesme gerilmelerini karşılayabilme özelliği, sertliği (hardness), sünekliği ya da şekil değiştirme özelliği (dövülebilirlik) (malleability), kırılabilirliği (brittleness), yorulmaya karşı dayanımı (fatigue strength), kütleli yoğunluğu ve yanma dayanırlığı gibi özellikler anlaşılmalıdır [9]. Gemi inşaatı tekniği günümüze kadar oldukça hızlı ve başarılı bir şekilde gelişmiştir. Günümüzde gemi inşaatında elektrik kaynağı geniş ölçüde kullanılmakta; çelik, alüminyum ve suni malzemelerden yararlanılmaktadır [10].

2.4.2. Gemi İnşaatında Kullanılan Başlıca Malzemeler

Gemi imalat sanayi, çelik sanayi, makine imalat sanayi, elektrik-elektronik sanayi, boya sanayi ve lastik-plastik sanayi gibi pek çok sanayi kollarınca da beslenen bir sanayi dalı olması münasebetiyle çok yönlü bir alandır [3,5,11]. Bu nedenle bir gemi, yüzen bir fabrika olarak düşünülebilir. Ayrıca 20. yüzyılda gemilerde motor kuvvetinden istifade edilmeye başlanmış ve buna bağlı olarak da gemi inşa sektörü hızla gelişmiştir [10]. Dolayısıyla, gemi imalatında kullanılan malzemeler akla gelebilen malzemelerin tümünü kapsayabilir. Prensip olarak ticaret gemilerinin ana malzemesi çeliktir [5]. Ahşap, çelik, cam takviyeli plastik, betonarme gibi değişik

malzemelerin kullanımı teknik olarak mümkündür. Gemilerin yapıldığı ve tamir edildiği tersanelerde başlıca şu malzemeler kullanılır; metaller (ağırlıklı olarak çelikler, paslanmaz çelik, alüminyum alaşımı ve diğer malzemeler), ahşap ve suni maddeler ve yardımcı malzemeler (Betonarme vb.) [3,5,11].

2.4.2.1. Gemi inşasında kullanılan çelik malzemeler

Çelik; demir ingotlarından (külçelerinden) ısıtılarak işlemler uygulanarak, saflaştırma ve şekillendirme işlemleriyle elde edilir. Ana unsurları büyük ölçüde demir ve kontrollü miktarda karbondur. Üretimde metal bazlı olmayan kükürt, silikon ve fosfor gibi maddelere ilişkin miktarların en azda tutulması oldukça önemlidir [5].

Çelik malzemelerin teknik karakteristikleri kimyasal yapı değişikliği ile temin edilir. Örneğin çekme mukavemeti özelliği, çelikteki karbon miktarı değiştirilerek veya kimyasal yapıya krom, nikel, manganez gibi alaşım maddeleri katılarak değiştirilebilir. Genelde karbon miktarının artırılması çeliğin sertliğini artırır [9].

Gemi inşaatında çoğunlukla kullanılan çelik; fiyat, özellikler ve bulunabilirlik yönünden uygun olan yumuşak çelik (mild steel) malzemedir. Soğuk ve sıcak şekil vermeye ve kaynağa uygun olan bu malzemenin işleme sıcaklıklarındaki mekanik özelliklerinde önemli bir değişim gözlenmez. Ancak çok düşük sıcaklıklarda malzeme darbe sertliğini kaybeder, kırılganlık kazanır ve bünyede kılcal çatlaklar (brittle fracture) meydana gelebilir [11].

Bir çelik malzemenin gemi inşaatında kullanılabilmesi için, öncelikle gemiyi belgeleyecek olan klas kuruluşu tarafından denetlenmiş, test edilmiş ve damgalanmış olması gerekir. Klas kuruluşları gemi inşaatında kullanılan çelikleri belirli bir gruptandırmaya tabi tutmuş ve bunlara A'dan E'ye kadar değişen harf sembolleri vermiştir. A ve B yumuşak çelik malzeme türleridir. Klas kuralları, hangi çelik malzemelerin hangi şartlar altında kullanılacağını ve mekanik özelliklerinin neler olması gerektiğini net ve açık bir şekilde belirtmektedir [3,5,9].

Genelde gerilmelerin yüksek olduğu büyük tanker ve dökme yük gemileriyle, ağırlığın önemli olduğu savaş gemileri, Ro-Ro gemileri, feribotlar ve yolcu gemilerinin konstrüksiyonlarında yüksek gerilim çelikleri kullanılır. Benzer şekilde soğutularak sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve soğutularak sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) taşıyan gemilerin tanklarında soğuk ortamlarda kırılma eğilimi olmayan çelik malzemeler ve tanklarında korozif etkisi yüksek maddeler taşıyan tankerlerde ise korozyona mukavemetli çelik malzemeler kullanılır [3,5,9].



BÖLÜM 3

ÖRTÜLÜ ELEKTRODLA ELEKTRİK ARK KAYNAĞI

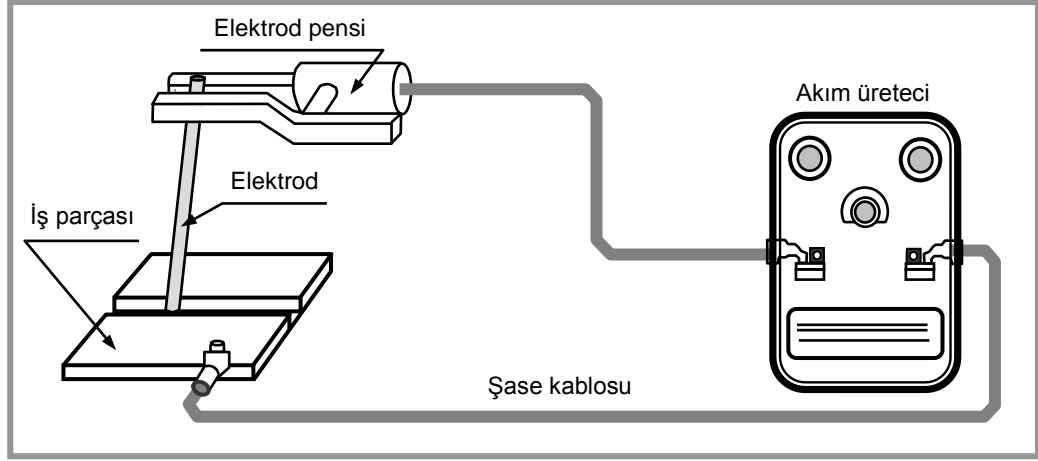
Örtülü elektrodla ark kaynağı, (Shielded metal arc welding), metallerin birleştirilmesinde avantajları nedeniyle sıkça kullanılan ve kullanımı kolay, ergitmeli bir kaynak yöntemidir. Çok yönlü ve basit bir yöntem olan örtülü elektrodla ark kaynağı gerek üretim, gerekse tamirat aşamalarında, Ülkemizde ark kaynak yöntemleri arasında en çok kullanılan kaynak yöntemlerinden birisidir [3,4,12].

3.1. KAYNAK ARKI

Ark; kızgın bir katottan yayılan elektronların, yüksek bir hızla anodu bombardıman etmesi neticesinde oluşur. Bu bombardıman çarpma sonunda nötr moleküllerin iyonize olmasına sebep olduğundan, kuvvetli bir sıcaklık yükselmesi meydana gelir. Ortaya çıkan toplam enerjinin % 85'i ısı ve % 15'i de ışık enerjisine dönüşmektedir [4,13,14].

3.2. KAYNAK DONANIMI

Elektrik ark kaynak donanımı, kaynak işleminin başarılı bir şekilde yapılması için çok önemlidir. Kullanılan malzeme ne kadar kaliteli olursa olsun, eğer kaynak donanımında bir arıza varsa yapılan işlem kaliteli olmaz. Birleştirme işlemi yaparken kullanılan kaynak donanımının kısımları; kaynak pensi, şase kablosu ve pensesi, elektrik bağlantı kabloları, kaynak maskesi, kaynak akım üretici (kaynak makinesi), elektrod gibi kısımlardan oluşmaktadır. Bu kısımlar Şekil 3.1'de ayrıntılı şekilde belirtilmiştir [3,4,15].



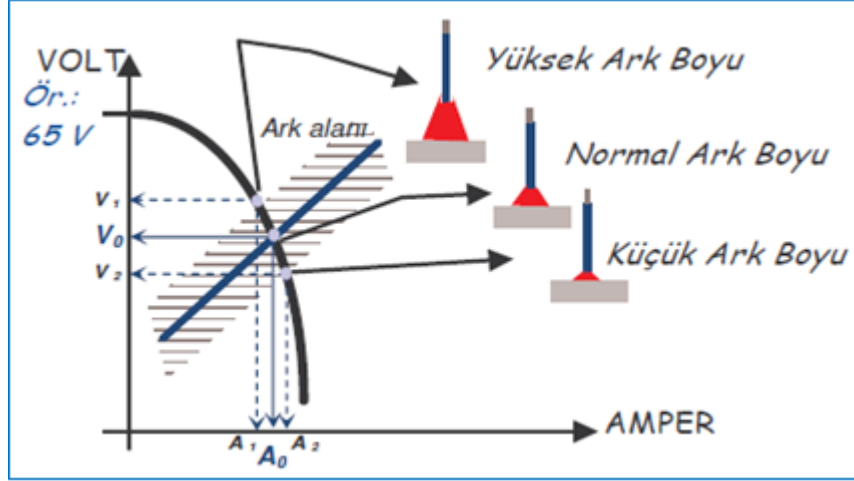
Şekil 3.1. Elektrik ark kaynak donanımı.

3.2.1. Kaynak Makinaları

Elektrik ark kaynağında kullanılan akım üreticilerinin görevi, kaynak arkı için gerekli elektrik enerjisini sağlamanın yanı sıra, her akım üreticinin uygulanan kaynak yöntemine göre, aşağıda belirtilmiş olan önemli koşulları da yerine getirmesi gerekir.

- Şebeke gerilimini, sınırlandırılmış boşa çalışma gerilimine çevirmek (Şebeke tarafından beslenen kaynak makinaları).
- Kaynak akım şiddeti ayar donanımına sahip olmak ve çalışma anında ayarlanmış kaynak akım şiddetini sabit tutmak.
- Boşa çalışma gerilimi ayarına sahip olmak.
- Çalışma anında kararlı bir ark oluşunca boşa çalışma gerilimini, olabildiğince kısa bir zaman biriminde ark gerilimine düşürmek [3,16].

Bu özellikler, kaynak akım üreticinin statik ve dinamik karakteristikleri sayesinde gerçekleşir. Bir kaynak makinasının statik ve dinamik karakteristikleri tamamen elektrik karakteristikleridir ve makinanın seçilmiş bir kaynak yöntemi için uygun olup olmadığını belirler. Statik karakteristik, makinanın akım şiddeti ile gerilimi arasındaki bağıntıyı gösterir [16,17]. Düşey karakteristikli elektrik ark kaynak makinaları da denilen bu makinalarda, örtülü kaynak elektrodu ve TIG kaynak uygulamaları yapılabilir. Şekil 3.2’de örtülü elektrodla ark kaynağında kullanılan düşey karakteristik diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.2. Düşey karakteristikli kaynak makinası diyagramı.

3.2.2. Kaynak Pensi ve Şasesi

Örtülü elektrodla ark kaynağında, elektrodu tutma görevlerini yerine getirmek için geliştirilmiş, üzerinde farklı çaplar ve pozisyonlar için farklı çap ve açıda kanallar bulunan bir elemandır. Elektrik iletkenliğinin iyi olması için bakır ve alaşımlarından yapılırlar. Pensler elektrodu iyi tutmalı, hafif olmalı ve yalıtkanlığı iyi sağlanmış olmalıdır [5].

Kaynak şasesi ise kaynak pensesine benzer bir işlevi olup kutuplar arası elektrik iletimini sağlayarak ark oluşumuna yardımcı olur. Bu nedenle elektrik ark kaynağı yapılan kaynak uygulamalarının tümünde pense ve/veya torç bağlantısı olması gerektiği gibi parçanın iyi bir şekilde kaynak şasesiyle bağlantısının sağlanmış olması gerekir.

3.2.3. Kaynak Kabloları

Kaynak akımı, makineden kaynak pensine ve mengeneye kablolarla iletilir. Kabloların iyi bir bükülme özelliği, kaynak makinesine uygun kesiti, yeterli yalıtımı olmalıdır. Kabloların uçları, kaynak pensi, mengene ve başlıklara lehimlenerek sabitlenmelidir. Kabloların sıcak parçalara temasından kaçınılmalıdır.

3.3. KAYNAK ELEKTRODLARI

Örtülü elektrodalarda, çıplak kaynak telinin üzerine sarma, daldırma veya ekstrüzyonla geçirilmiş bir örtü maddesi (kabuk) mevcuttur. Böylece örtülü elektrod elde etmek için, yukarıda zikredilmiş usullerin hepsi tatminkâr neticeler vermesine rağmen, bugünün endüstrisi birçok üstünlükleri dolayısı ile imalât tekniği bakımından ekstrüzyon usulünü tercih etmektedir [3,5,18].

3.3.1. Elektrodların sınıflandırılması

Elektrodlar evvela birleştirme ve doldurma kaynağında kullanılmak üzere ikiye ayrılır. Birleştirme kaynağı elektrodlarında mukavemet ve süneklik, doldurma kaynağı elektrodlarında ise sertlik aranır.

Birleştirme kaynağında kullanılan elektrodlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Karbon elektrodlar,
- Yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodlar,
- Dökme demirin kaynağında kullanılan elektrodlar,
- Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan elektrodlar,
- Bakır ve alaşımlarının kaynağında kullanılan elektrodlar.

Örtülü elektrodlar, örtülerinin barındırdıkları esas bileşenin türüne, curuflarının asitlik veya bazlık durumuna göre iki farklı gruba ayrılırlar [18].

Deneysel çalışmalarımızda kullanmış olduğumuz elektrod türü rutil örtü tipli elektrodur. Elektrodun örtü bileşenleri ve kullanım özelliklerine kısaca göz atalım.

- *Rutil Örtü Tipli Elektrod:* Bu tip elektrodalarda örtü ağırlığının takriben % 35'ini titan teşkil eder. Titanın yanı sıra örtü feldspat, kuvarz, az miktarda selüloz ve ferromangan ve bağlayıcı olarak da sodyum ve potasyum silikat ihtiva eder. Muhtelif örtü kalınlıklarında imal edilen rutil elektrodalarda ergiyen kaynak metali örtü kalınlığı arttıkça incelen damlalar halinde geçer ve aynı zamanda artan örtü kalınlığı

dikişin mekanik özelliklerine de müspet yönde tesir eder. Bu tip örtüler dikişi tamamen örten, oldukça kalın, rengi kahverenginden siyaha kadar değişen, çabuk katılacak bir cüruf meydana getirir. Cürufun özellikleri örtüyü meydana getiren maddelerin miktar değişmesine bağlıdır [5,7,18].

3.3.2. Elektrodların Standartta Gösterimi

Örtülü elektrodlar çeşitli ülkelerin standartlarına göre farklı biçimde kodlanırlar. Ülkemizde elektrod üreticileri TS'nin yanı sıra ISO, DIN, AWS/ASTM standartlarına göre de elektrodlarını kodlamaktadırlar. Tüm standartlarda kodlamada elektrod örtüsünün türü, çekme ve akma mukavemeti, kopma uzaması, kaynak pozisyonu, akım durumu ve belirli sıcaklıklardaki çentik-darbe dayanımı çeşitli simgelerle gösterilmektedir. Elektrodların standart bir biçimde kodlanması ile çeşitli standartlara göre hazırlanmış elektrod kodlarını çok basit bir biçimde çözmek mümkündür. Aşağıda elektrod standartları için verilmiş kısaltmaların açıklamaları verilmiştir.

AWS : American Welding Society (Amerikan Kaynak Derneği),

ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerikan malzeme deneme topluluğu standartları),

EN : European Norm (Avrupa Normu),

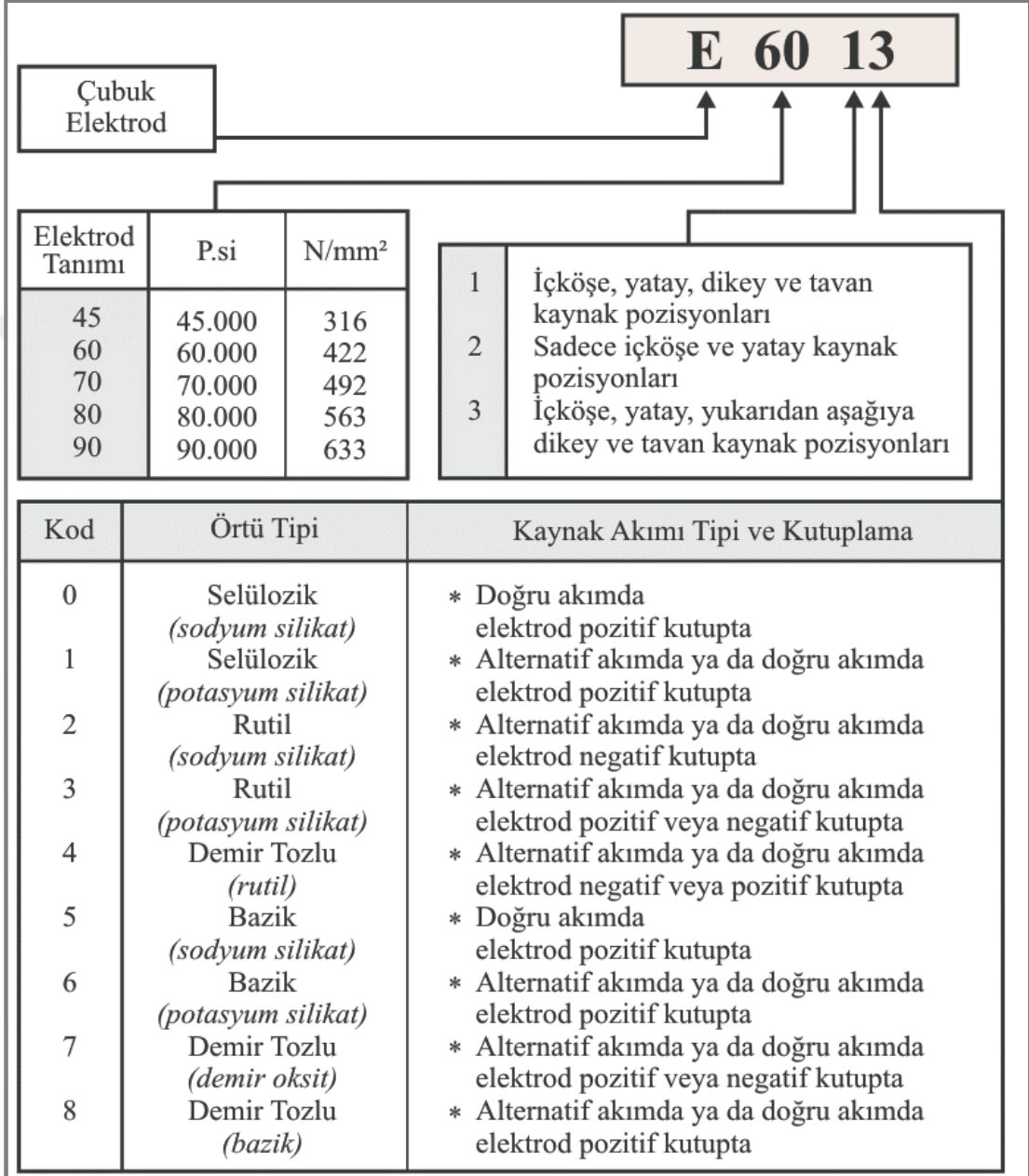
TS : Türk Standartları,

DIN : Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü),

ISO : International Organization for Standardization (Uluslararası standartlar organizasyonu).

Çok geniş bir literatür içeren standartlardaki gösterimlerinde kaynak elektrodları günümüzde en yaygın şekli ile AWS ve EN standartları ile ifade edilmektedirler. Bunun yanı sıra ülkemizde TS standartları da kullanılmakta ancak genellikle TS'nin EN ile birlikte görmekteyiz. Zaten Türk Standartları EN'ü aynen kabul etmektedir. Bazı ürünler ve literatürlerde artık kullanılmamakla birlikte DIN standartları ile de açıklamalar bulunmaktadır (Şekil 3.3) [19].

Ülkemizde en son elektrod standartları, 2009 yılında TS EN ISO 2560 “Kaynak sarf malzemeleri-Alaşım-sız ve ince taneli çeliklerin elle yapılan metal ark kaynağı için örtülü elektrodlar-Sınıflandırma” olarak yayımlanmıştır.



Şekil 3.3. AWS A5.1'e göre örtülü elektrodalara ait sınıflandırma.

3.3.3. Elektrik Ark Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

- Yönteminin Avantajları:

- Örtülü elektrotla ark kaynağı, çok yaygın ve kullanımı kolay bir kaynak yöntemidir.
- Yöntem kolaylıkla açık ve kapalı alanlarda uygulanabilir.
- Düşük maliyetli uygulanabilirlik özelliğine karşın, oldukça kaliteli sonuçlar alınabilir.
- Elektrodun ulaşabildiği her noktada ve pozisyonda kaynak yapmak mümkündür.
- Diğer kaynak yöntemleri ile ulaşılamayan dar ve sınırlı alanlarda kaynak yapmak mümkündür.
- Kaynak makinasının güç kaynağı uçları uzatılabildiği için uzak mesafedeki bağlantılarda kaynak yapılabilir.
- Kaynak ekipmanları hafif ve taşınabilirdir.
- Pek çok malzemenin kimyasal ve mekanik özelliklerini karşılayacak örtülü elektrod türü mevcuttur. Bu nedenle kaynaklı birleştirmeler de ana malzemenin sahip olduğu özelliklere sahip olabilir.
- Bu kaynak yöntemi ile demirdışı malzemeler de birleştirilebilir.
- Yöntem ile kaynak işleminin yanında, kesme işlemi de gerçekleştirilebilir.
- Örtülü elektrod güç kaynaklarının bazılarıyla, TIG kaynağı da yapmak mümkündür.

- Yönteminin Dezavantajları:

- Örtülü elektrod ark kaynağının metal yığılma hızı ve verimliliği pek çok ark kaynak yönteminden düşüktür.
- Elektrodlar belli boylarda çubuklar şeklindedir, bu nedenle her elektrod tükendiğinde kaynağı durdurmak gerekir.
- Her kaynak pasosu sonrasında, kaynak metali üzerinde oluşan curufu temizlemek gerekir.
- Otomatik ve yarı otomatik makinelerin kullanımı imkânsızdır [4].

BÖLÜM 4

SU ALTINDA KAYNAK

4.1. SU ALTI KAYNAK YÖNTEMİNİN TARİHÇESİ

Su altında kaynak işlemlerine I. Dünya Savaşı sırasında İngiliz donanmasının gemileri üzerindeki geçici tamir/onarımlarını yapmak üzere 1917 yılında örtülü elektrodla ark kaynağı ile başlanmıştır. Bu tamir/onarımlar gemi gövdesi üzerinde bulunan perçin başlarının etrafındaki sızıntıları önlemek amacıyla taşımaktaydı. 1932 yılında Moskova kaynak laboratuvarında su altı kaynak denemeleri yapılırken aynı yıl içinde Almanya'da "Dortmund-Noerder Nüttevein" su altında kullanılacak kaynak elektrodu ile ilgili patent almak için müracaat etmiştir. 1933 yılında ise dalgıçlar, Wilhelmshafen gemi tersanesinde, su altında kaynak uygulamalarına başlamışlardır [1-4].

Öncelikle bu dalgıçlar denizin 4 metre derinliğine inerek normal örtülü elektrod ark kaynak aletlerini denemişler fakat bu denemelerden pek olumlu sonuç alamamışlardır. Deniz suyunun iyi bir elektrolit ve iletken olması dolayısıyla bazı problemlerin ortaya çıktığı belirtilmiştir. Deniz suyunun iletken olması, elektrod pensinin ve kablo bağlantılarının açık kısımlarının elektrik akımını iletmesine neden olmaktadır. Bu yüzden elektrod tutucusu, dalgıç kaynakçının madeni başlık veya elbisesine temas etmesi durumunda elektrik çarpması tehlikesi mevcuttur. Deniz suyu kaynak işlemi esnasında elektroliz sebebi ile bazı elemanların ayrışma ve toplanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle normal şartlarda örtülü elektrodla ark kaynağında kullanılan kaynak pensleri, su altında 1-2 saatlik çalışmanın sonunda kullanılamaz hale gelmektedirler [1].

Bu olumsuzluklar su altı kaynağında kullanılmak için özel cihaz ve ekipmanların kullanılması zorunluluğunu doğurmuştur. Bu nedenle, yakın zamana kadar su altı

kaynağı, acil kurtarma işlemi, gemilerin onarımı gibi yerlerde kullanılırken, son zamanlarda kullanımları oldukça yaygınlaşmıştır [1,3]. Özellikle son yıllarda petrol fiyatlarının artması ile deniz altından petrol ve gaz çıkarılmasına olan ilgi artmış, bu da su altı kaynağına olan gereksinimi daha da arttırmıştır.

Son zamanlarda yukarıda sayılan olumsuzluklardan dolayı, kaynakçı dalgıçların su altındaki kaynak uygulamalarını en az hatayla yapabilmelerini hedefleyen bir takım ekipman ve cihazların üretilmesi ile yöntemin kullanımı yaygınlaştırılmıştır.

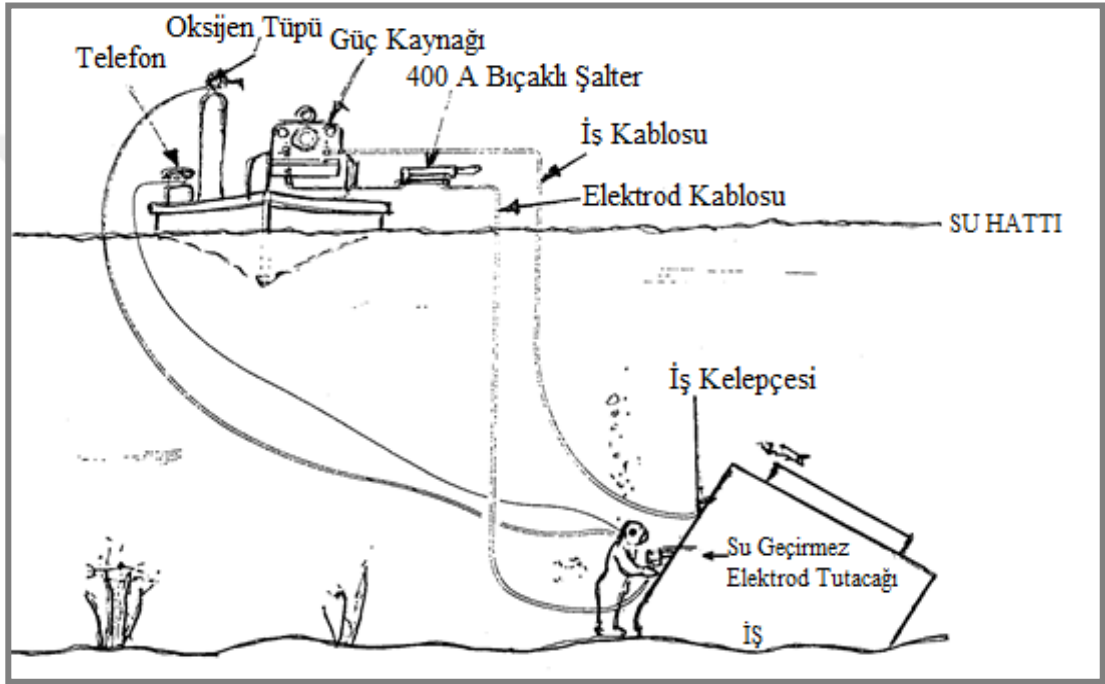
4.2. MALZEME VE DONANIM

Su altında ark, atmosferik şartlarda olduğu gibi elektrodla iş parçası arasında temasla tutuşur, ancak onu bu halde tutmak, çok daha zordur. Ergime halindeki elektrodun ucunda, atmosferik şartlarda oluşandan daha derin bir krater meydana gelir. Bu krater sayesinde kısmen ergimiş elektrodun tekraren tutuşturulması hayli güç olur [20].

Su altı kaynak yöntemi için gerekli olan teçhizatı şu şekilde sıralanabilir;

- Helle (su altı telefonu),
- Yüksek basınç kompresörü,
- Alçak basınç kompresörü,
- Maske,
- Palet,
- şinorker (Ağızlık),
- Yaş ve kuru elbiseler,
- Yüzerlik ceketi,
- Regülatör,
- Kurşun ağırlık,
- Satıhtan ikmalli profesyonel dalış takımları,
- Su altı kaynak makineleri ve kesme makineleri ile diğer ilgili malzemeler,
- Yapılacak için türüne göre gerekli diğer tüm malzeme ve araç-gereçleri kullanır [21].

Bu yöntemde aynı zamanda dalgıç olan kaynakçı, su altında (Şekil 4.1) arki tutmaz. Bunun yerine kaynakçı, bağlantı kısmına elektrodu yerleştirir, akım verir bu esnada elektrod uygun basınç ve açıda tutulur ve böylelikle elektrod kendi kendine tükenir [2,3]. Kaynakçı için hazırlanmış bir oluk olmaksızın düz bir paso kaynak yapmak neredeyse imkansızdır. Bu yöntemde bazen çok paso yapmak gereği duyulabilir. Bu durumda iki veya üçüncü pasodan sonra kaynak ağzı taşmakta ve oluk formu bozulduğu için kararsız bir hal almaktadır [3].



Şekil 4.1. Su altında örtülü elektrod ark kaynağının şematik gösterimi.

4.3. KAYNAK HAZIRLIĞI

Kaynak tesisatındaki tüm bağlantılar, metal kısımlar ile suyun temas etmemesi için tamamen yalıtılmalıdır. Eğer yalıtımda deniz suyuna kaçak olur ise metal iletkenle temas haline geçeceğinden akım düşecek ve elektrod ergimeyecektir. Ayrıca bakır kablunun kaçak kısmında elektroliz nedeni bir bozulma meydana gelecektir [3,22].

Su altı kaynak elektrod tutucularının (pens) iç kısmında, elektriği elektroda iletmek için bronz bir çubuk vardır. Bu çubuk ayrıca kabloya lehimle sabitlenmiştir. Elektrod, elektrod tutucusuna takıldığı zaman, içerideki bronz çubuk metal tapaya

sıkışarak elektrodu tutmaktadır. Piyasada ıslak ortam kaynağı için özel elektrodlar bulunmasının yanında, açık atmosferik şartlarda kullanılan elektrodların bir kısmı özel olarak kaplanarak su altında da kullanılmaktadır. Eğer normal örtülü bir elektrod su altında kullanılırsa kısa sürede örtüsü bozulmakta ve/veya dökülerek işlevini yitirmektedir. Bu nedenle elektrod örtüsünün suya karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu amaçla, su geçirmez bant, lak veya plastik malzemeler (bant gibi) ile parafin kullanılmaktadır. İzole bant, doğrudan elektrodun üzerine sarılmakla birlikte, gemi lakı veya parafin ile yalıtıldığında daha iyi sonuç alınmaktadır [3,4]. Elektrodlar suya karşı vernikle izole edildikten sonra kolay tutuşmayı sağlamak için çekirdek telinin uçları vernikten temizlenmelidir. Bu yalıtım, elektrod örtüsünü kısa süre için koruyacağı için, dalgıç kaynakçı her seferinde yanına sadece birkaç elektrod almalıdır. Bununla birlikte bazı elektrod türleri, su altına iner-inmez hemen kullanılmak koşuluyla verniksiz olarak da kullanılabilirler.

4.4. SU ALTI KAYNAĞININ GÜÇLÜKLERİ

Su altı kaynağını gerçekleştiren personel hem kaynakçı hem de dalgıç olmak zorundadır. Bu iş için genellikle dalgıçlar tercih edilir ve bu kişiler kaynak eğitimine tabi tutulurlar. Çünkü kaynakçı eğitimi, dalgıç eğitimine göre çok daha kısa sürer. Su altında çalışma yapmanın güçlükleri, teçhizattan, klasik dalgıç donanımından, emniyet önlemlerinden ve görüş koşullarının kötü oluşundan ileri gelmektedir. En önemli emniyet önlemlerinin başında, dalgıç kaynakçının çalışma yapacağı derinliğe göre su altında geçirilecek süresinin sınırlaması gelir. Ayrıca, su altında mesafe tahminlerini zorlaştıran durum ışığın su altında kırılma olayıdır. Su, kaynak ışınlarını absorbe ettiğinden, buralarda kullanılacak maske camları atmosferik şartlardakilerden daha açık olmalıdır.

Bunlardan başka su altında görüş kabiliyetinin azalmasının daha başka nedenleri de vardır. Bunlardan bazıları; suların farklı sebeplere bağlı bulanıklığı, arkin ve ergime banyosunun etrafında meydana gelen hareketli bir buhar ve gaz cebi ile elektrod türüne göre olan dumanların çıkışıdır. Su altında su buharı ve gazların bulunması, kaynak esnasında oluşan kabarcıkların yukarı çıkma istekleri dolayısıyla görme kabiliyetinin zayıflaması, belirli bir yere kaynak yapma ihtimalini zayıflatmaktadır.

Bu nedenle bu ve benzeri durumlarda genellikle temaslı (kontaklı) elektrodlar tercih edilmektedir [2,3].

Su altında çalışma şartları zordur. Sürekli ıslak ve basınç altında çalıştıkları için her an vurgun yeme, oksijensiz kalma, şuur kaybı ve üşütmeye bağlı tehlike ve kalıcı olabilecek hastalıklarla karşı karşıya gelebilirler. Su altında çalışanlar kendileri gibi suyun altında çalışan diğer su altı teknikerleri ile sürekli bir iletişim ve işbirliği içinde koordineli olarak çalışmak zorundadırlar. Aynı anda su üstünde yani gemi vb. araçlardaki mühendis, işçi ve gemi personeli ile de işbirliği ve iletişim sağlayarak koordineli bir çalışma içerisindedirler. Bu mesleğin en belirgin hastalıkları halk dilinde vurgun olarak da bilinen ortam basıncının değişmesinden kaynaklanan dekompresyon hastalıkları ile dalış esnasındaki basıncın kulak zarlarında yarattığı farklılıklardan kaynaklanan rahatsızlıkları içeren barotzomya hastalıklarıdır [21].

4.4.1. Su altı Kaynağının Uygulama Alanları

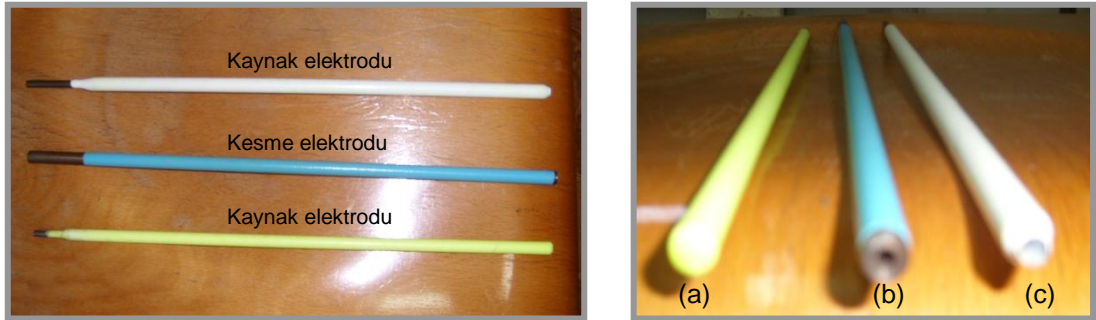
Genellikle, liman inşaatı ve onarımlarında, köprü ayaklarının yapımında, kanal havuzlarının inşaatında, gemi ve denizaltıların onarımlarında, su altındaki boru hatlarının bağlantı yerlerinin yapım ve onarımı gibi yerlerde su altı kaynağı uygulanır. Bu tür kaynak, tamamen ıslak ortamda (Şekil 4.2) veya su içinde ancak noktasal olarak sudan korunmuş yerlerde ya da yine su içinde kuru ortamda ve yüksek basınç altında yapılır. Su altı kaynağı atmosferik koşullarda yapılan kaynağa nazaran özellikle elastisite açısından düşük mekanik özellikler vermeye meyillidir. Bu nedenle, son zamanlara kadar su altı kaynağı yalnızca geçici onarım ve kurtarma operasyonlarında kullanılmaktadır [23].



Şekil 4.2. Tamamen ıslak ortamda gerçekleştirilen su altı kaynağı uygulaması.

4. 5. SU ALTI KAYNAĞINDA KULLANILAN ELEKTRODLAR

Çap ve örtü türü fark etmeksizin, su altında kullanılacak elektrodlar (özel su altı elektrodları hariç), sızdırmazlık sağlayan bir yapışkan sıvı veya vernikle kaplanmalıdır. Genellikle selüloz asetat bu amaç için uygundur. Aseton içinde bir selüloid eriyiği de (litrede 240 g) elektrodların daldırma ile kaplanarak yalıtılmaları için kullanılması tavsiye edilen malzemeler arasındadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Üzerleri kaplı su altı kaynak ve kesme elektrodları.

Phenolik veya vinylik vernikler ya da gomalak, kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. Ancak phenolik verniklerle birlikte gomalak, yanma esnasında elektrodun ucunda kömürlü kalıntılar meydana getirirler. Bu durumda kaynakçıyı rahatsız eder. Selülozik vernikler, kalıntı bırakmaksızın iyi yanarlar ancak tam ve sürekli koruma olmaz; bu nedenle daldırmadan sonra kısa sürede kullanılmalıdırlar. Vinylik vernikler ise sızdırmazdırlar. Yanarken bir nevi talaş meydana getirirler; ancak oluşan bu talaş parça parça ayrıldığından pratikte kaynakçıyı rahatsız etmez [3,4,22].

Selülozik elektrodlar, bol miktarda duman çıkararak görüşü tamamen yok ettiği gibi çok sayıda kötü dikişler verir ve cüruf tam olarak temizlenemez. Diğer yandan bazik elektrodlar, kaynak ağzının dibine kaynakçının elektrodla bastırmasına karşı zayıftırlar. Bu durumda ısıl darbenin etkisiyle, örtü parça parça dökülür. Bu elektrodlarla yapılan kaynaklarda dikişin yüzeyine çıkan hava kabarcıkları mevcuttur. Bu nedenlerle su altı kaynak işlemlerinde genellikle oksit veya rutil elektrodlar tavsiye edilir.

Su altı kaynaklarında genellikle atmosferik şartlara göre daha kalın çaplı ($\phi 5$ ve $\phi 4$ mm) elektrodlar kullanılır. Böylelikle; -zamandan kazanma -pasolar arasında cüruf temizleme gereksiniminin olmaması ve -birleştirme boyunca elektroda kılavuzluk edecek bir oluğa gereksinim duyulmayacaktır. Su altında kaynak esnasında, ilk pasodan sonra yol gösterici oluk kaybolduğundan, sonraki pasolarda kaynak işlemi gerçekten güçtür.

4. 6. SU ALTI KAYNAĞININ AVANTAJLARI

- Su altı kaynak yöntemi acil tamir işlerinde alternatifsizdir.
- Kaynak bağlantılarının düşük mukavemetine rağmen, deneyimler, bu kaynakların kullanılabilir olduklarını göstermiştir.
- Kaynak işlemleri birçok pozisyonda yapılabilir.
- Su altında kaynak işlemlerinin yanında kesme işlemleri de yapılabilir.
- ITAB atmosferik kaynak işlemlerine göre daha dar bir alanda meydana gelir.

- Elektrik ark kaynağının yanında diğer bazı yöntemler de (TIG, MIG-MAG ve plazma ark) su altında başarı ile uygulanabilir.
- Bazı durumlarda kaynak işlemi su altında kapalı kabin içerisinde gerçekleştirilebilir.
- Su altı kaynak yöntemi tamir amacının dışında bazı üretim işlerinde de (tekneler, sondaj kuleleri, boru hatları vb) kullanılabilir.

4. 7. SU ALTI KAYNAĞININ DEZAVANTAJLARI

- Su altı kaynak personeli hem kaynakçı hem de dalgıç olmak zorundadır.
- Su altı kaynak yönteminde kaynak bölgesi sertliği, çoğu zaman kabul edilemez değerlere ulaşmaktadır.
- Kaynak öncesi hazırlık aşaması daha karmaşıktır.
- Su altı kaynağında, parçaların yüzey hazırlığı/alıştırılması ve özellikle de cürufun temizlenmesi oldukça güçtür.
- Kaynakların kalitesi kaynakçıların beceri düzeyine son derece bağlıdır.
- Kaynak ekipmanları daha pahalıdır.
- Kaynak yaparken gözlemlenmek zordur [4].

4. 8. SU ALTI KAYNAĞI ÜZERİNE LİTERATÜR TARAMASI

Świerczyńska vd. [24] 4 mm kalınlığında S235JR malzemeleri su altı şartlarında konteyner içerisinde kendinden korumalı özlü tel kullanarak birleştirmişler ve kaynak metaline difüze eden hidrojeni ölçmüşlerdir. Çalışmalar esnasında kaynak hızını değişken olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında, kaynak metaldeki yayılabilir hidrojen muhtevasını, serbest tel uzunluğu, kaynak akımı, ark voltajı, kaynak hızının ve su tuzluluğunun etkisinin önemini belirleyen Plackett-Burman tasarımına gliserin yöntemi kullanılarak belirlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda kaynak metaldeki yayılabilir hidrojen muhtevasının ölçümlerinin sonuçları 25.85 ila 44.12 ml / 100 g arasında olduğunu rapor etmişlerdir.

Arias ve Bracarense [25]; konvansiyonel koşullarda (suda yapılan korumalı kaynaklar) ve su altı kaynak koşullarında (su altı ıslak kaynak) üretilen

kaynaklardaki yorulma çatlaklarının yayılımı özellikleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarında yorulma çatlak büyüme oranları (da/dN), gözenek yoğunluğu ve dağılımı, kaynak prosesi ve çevre ile ilgili değişken faktörlere önemli ölçüde bağımlılık gösterdiğini tespit etmişlerdir. Yorulma çatlak yayılma hızındaki değişimler, çatlak yayılımının kararlı bölgesinde hız analizi ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışma sonucunda, su altı ıslak kaynak prosedürünün, açık ortamda yapılanlardan, düşük uygulamalı streslerde kullanılmak üzere uygun olan, yorulmaya karşı dirençli kaynak metali ürettiğini tespit etmişlerdir.

Shannon vd. [26]; lazer kaynak yöntemiyle çelik kaynağı uygulaması yapmışlar, kaynakların kalitesini değerlendirmek ve lazer / su / malzeme etkileşimini anlamak için BS 4360 43A ve 50D çeliğinin su altı alın kaynağı uygulamasında 1.2 kW karbondioksit lazer kullanılarak bir araştırma yapmışlardır. Yüksek hızlı bir kamera kullanarak, eriyik havuzunun zamansal davranışı ve bir sulu ortam tarafından çevrelenmiş “plazma” dinamikleri izlenmiş, çeşitli odak uzaklığı optiklerinin ve su derinliğinin bir fonksiyonu olarak sudaki lazer ışınının zayıflamasını karakterize etmek için deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ayrıca enerji girdisi koşullarının, kaynak dikişi görünümü ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Çalışmalar, Lazer ışınının su ile etkileşimi sonucunda, odaklanmış ışının suyu anında buharlaştırdığı ve ışını iş parçasına yönlendirdiği bir dalga-kılavuz mekanizması ürettiği belirlenmiştir. Su altı kaynak pasoları, kaynak sırasında bir “kuru bölge” oluşmasına bağlı olarak bir dizi kaynak enerji girdisi üzerinde sağlam mikroyapılar sergilediği ve kaynakların metalurjik analizleri incelendiğinde ise mekanik özelliklerin atmosferik şartlardaki sonuçlara benzer olmasına rağmen, sertlikte hafif bir artış gösterdiği rapor edilmiştir.

Wang vd. [27]; su altı ark kaynak baloncuğunun görsel algılama yöntemiyle karakterizasyonu üzerine yaptıkları çalışmalarında, farklı kaynak koşullarında ark kabarcık ve proses kararlılığı arasındaki ilişkiyi araştırmak için yüksek hızlı video kamera sistemi kullanmışlardır. Kaynak işlemleri için 8 mm kalınlığında orta karbonlu çelik (Q235) malzemeler ve ilave metal olarak da 1.2 mm çapında özlü tel

(AWS A5.36 E81T1-C1A4- Ni2) kullanılmıştır. Kaynak işlemleri sahilde kaynak (onshore welding), geleneksel su altı ıslak kaynak (UWW: underwater wet welding) ve mekanik kısıtlama destekli ıslak kaynak (MC-UWW: mechanical constraint assisted UWW) olmak üzere üç farklı ortamda gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucunda; kaynak esnasında uygulanan mekanik kısıtlamanın ark kabarcığı ayrılmasına karşı direnç gösterdiği ve kaynak bölgesinin daha iyi korunması için kaynak havuzu yüzeyine daha büyük bir ark baloncuğunu tuttuğunu, ayrıca kısıtlama tertibatının ark stabilitesi ve kaynak kalitesi üzerinde önemli bir rol oynadığını belirlemişlerdir. Mikroyapı analizleri sonucunda, aynı kaynak parametreleri altında gerçekleştirilen birleştirmelerde, kaynak metalindeki kırılma mikroyapısının sıralamasın geleneksel ıslak kaynak < mekanik kısıtlama destekli ıslak kaynak > sahilde kaynak şeklinde olduğu rapor edilmiştir.

Yine Wang vd. [28]; ultrasonik titreşimin mikroyapısal değişime etkisi ve su altı ıslak kaynak bağlantısının mekanik özellikleri üzerine yaptıkları bir çalışmalarında, su altında birleştirme amacıyla doğrudan üst üste bindirilmiş iş parçasının ultrasonik titreşimini kullanarak kaynak kalitesini iyileştirmek için hibrit bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu amaçla özlü tel ile ark kaynak yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın amacı; kaynaklı bağlantıdaki kaynak mikroyapısı ve mekanik özelliklerinin ultrasonik titreşimden nasıl etkilendiğini ortaya koymak olarak belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda kaynak metali mikroyapılarının ötektoid öncesi ferrit (proeutectoid ferrit), ferrit levhaları (ferrite side plate) ve asiküler ferritten (acicular ferrite) oluştuğu sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucu belirlenen bir başka sonuç ise ultrasonik titreşimin kaynak havuzu katılaşması sırasında birincil östenit tanesinin büyüklüğünü ve morfolojisini etkilediğidir.

Ayrıca ultrasonik titreşim kullanılarak kaynak metali içinde daha ince sütunsal mikroyapılar elde edilerek yüksek gerilme mukavemeti ve darbelere karşı mükemmel denge sağlanabileceği ve sonuç olarak yönteme ultrasonik titreşimin eklenmesinin, su altı ıslak kaynak sırasında kaynak metalinin gerilme mukavemetini ve darbeye dayanıklılığını iyileştirdiği rapor edilmiştir.

Başka bir çalışmasında Wang vd. [29]; su altı özlü tel ark kesme işleminin sıcaklık alanı üzerinde sayısal çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada su altı kesim deneyi, özlü tel kesme yöntemi kullanılarak yapılmış ve su altı kesme işlemi sırasında sıcaklık alanını araştırmak için deneysel ve sayısal analizler yapılmıştır.

Çalışma sonuçlarına göre özlü tel ile su altında kesme işlemi sırasında hesaplanan termal döngülerin deneysel sonuçlar ile uyumlu oldukları ve çalışmadaki model ve sınır koşullarının su altında kesme için de geçerli olduğunu belirtmişlerdir. Hesaplanan $t_{8/5}$ değerinin 0,5 saniyeden ve açık havada ark kesme işleminden daha kısa olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, kesme boşluğu yakınındaki ısıdan etkilenen bölgenin (HAZ) kesme mekanizmasının belirlenmesi için, kesme parametrelerinin optimizasyonunun önemi vurgulanmıştır.

Feng vd. [30]; su altı ıslak özlü tel ark kaynağında baloncuk oluşumunun dinamik davranışları üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, ıslak kaynak işlemi esnasındaki kabarcık değişim davranışları yüksek hızlı kamera yöntemine dayanan görsel algılama ile belirlenmeye çalışılmıştır. Islak kaynak işlemi sırasında dört tipik kabarcık oluşum modu ve bunlara karşılık gelen kaynak elektrik bilgisi, ark karakteristikleri ile birlikte kabarcık davranışlarını tanımlamak için kullanılmıştır.

Sonuçlar, su altı ıslak kaynağın kabarcık oluşumunun kararsız ve karmaşık olduğunu ve daha kararlı bir koruyucu etki elde etmek için kaynak parametrelerini ayarlayarak kontrol gerektirdiğini göstermiştir. Ayrıca, bazı kaynak parametreleri için varyasyon katsayısı, kaynak görünümü ve kabarcık oluşum modu arasında uygun bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Son olarak ıslak su altı özlü tel kaynağında, daha kararlı bir kaynak işlemi gerçekleştirmek için kaynak parametrelerinin iyi ayarlanması gerektiğini böylelikle gerçek kabarcık gelişim sürecinin optimize edilebilir ve kontrol edilebilir olduğunu rapor etmişlerdir.

Shi vd. [31]; dubleks paslanmaz çelik (S32101) malzemeleri su altı ıslak özlü tel ark kaynağında gözenek ve mikroyapı oluşumlarını incelemişlerdir. Bu işlem için bir basınç odası (hyperbaric chamber) kullanmışlardır. Gözeneklik ve mikroyapının 20 ve 60 m su derinliklerinde kaynak parametreleri ile değişimi karşılaştırılmalı olarak

analiz edilerek mikroyapılarda gözeneklilik ve östenit morfolojisi arasındaki ilişki tartışılmıştır. Çalışmalar sonucunda kaynak parametreleri düşürülerek soğutma hızının arttırılabileceği, sonuçta oluşan mikroyapıların düzeltilebileceği sonucuna varılmıştır. Daha düşük kaynak hızı kullanılarak, ergimiş havuz yüksek sıcaklıkta daha uzun süre tutulacak böylelikle gazların kaynak metalini terk etmesine yardımcı olunarak, kaynakların gözenekliliği azaltılabilecektir. Düşük kaynak gerilimi mikroyapının ince olmasını sağlayacak böylelikle gözeneklilik önlenebilecektir.

Sonuç olarak, 20 m su derinliğinde daha yüksek kaynak akımı ile yapılan kaynakların daha düşük gözenekliliğe sahip olduğu (aynı kaynak hızında) rapor edilmiştir.

Li vd. [32]; yüksek karbonlu çelik (Q460) malzemeleri östenitik ilave malzemeler (özel olarak geliştirilmiş Ni bazlı dolgu maddesi ve ticari olarak elde edilen ER308) kullanarak, su altında özlü tel ark kaynağı ile birleştirmişler ve birleştirmelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda, Nikel bazlı ilave tel kullanılarak birleştirilen su altı kaynaklarından sağlam bir kaynak elde edilirken, ticari olarak elde edilen ER308 sarf malzemesinin kullanıldığı birleştirmelerden sağlam birleştirmeler elde edilememiştir. Ni-bazlı kaynak metali, Q460 ana metal ile seyreltilebilme özelliğine sahipken, östenitik paslanmaz çelik kaynak metaliyle karşılaştırıldığında mükemmel mekanik özellikler sağlamıştır. Östenitik kaynak metali iki parça arasındaki gerilim seviyesini azaltarak ITAB'ın hidrojen absorpsiyonunu en aza indirir, böylece hidrojen kaynaklı çatlama karşı duyarlılığı azaltır. Son olarak Q460 malzemelerin su altında kaynağı için Ni-bazlı özlü teller kullanılarak yüksek çekme mukavemetine ve mükemmel sünekliğe sahip birleştirmelerin elde edildiği rapor edilmiştir.

Tsai ve Masubuchi [33]; su altı kaynaklarında hızlı soğutma mekanizmaları üzerine yaptıkları çalışmalarında, su altı 'ıslak kaynak' ile ilişkili iki doğal problem, hızlı soğutma ve hidrojen gevrekliğinin şuan için çözümsüz kaldığını söylemişlerdir. Hızlı soğutmanın neden olduğu kaynak kusurlarının genellikle su altı kaynaklarında ortaya çıktığını belirtmişler, hızlı soğutma problemlerine çözüm üretmek için temel

mekanizmaların anlaşılmasının büyük önem taşıdığını ifade etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda iki önemli tespitte bulunmuşlardır. Bunlar;

- Normal kaynak şartlarında ark gücünün değiştirilmesi, su altı kaynağındaki ince bir plakanın kaynağında soğutma problemini etkili bir şekilde azaltmaz. Bununla birlikte, kalın bir plakanın kaynaklanması için mümkün olan en yüksek kaynak akımı tavsiye edilir.
- Kaynak hızı, ısıdan etkilenen bölgede soğutma oranını büyük ölçüde etkiler. Böylece yavaş kaynak hızı, soğutma hızını etkili bir şekilde azaltabilir. Ekonomik fizibilite limiti dahilinde mümkün olan en düşük su altı kaynağında kaynak yapılmasının soğutma problemini bir dereceye kadar azaltabilir.

BÖLÜM 5

KAYNAKLI BAĞLANTILARA UYGULANAN TESTLER

5.1. GENEL

Bir kaynağın güvenilir olabilmesi için, kaynaklı bağlantıda hiçbir kaynak hatasının bulunmaması gerekmektedir. Bu bakımdan kaynaklı bağlantılarda kaynak dikişlerinin kontrolü çok önemlidir. Kaynak dikişlerinde iki ana grup hataya rastlanabilir. Birinci gruba girenler dış hatalar olarak adlandırılır ve çıplak göz ya da büyüteç yardımı ile görülebilir. İkinci gruba giren hatalar ise göz kontrolü ile saptanması olanaksız olup iç hatalar diye adlandırılır. Bunlar ancak x ışınları ile ultrasonik, radyografik vb. gibi yöntemler ile tespit edilebilirler. Kaynaklı bağlantıların değerlendirilmesinde uygulanan muayene yöntemleri esas olarak tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri olarak iki ana grupta toplanabilir.

5.1.1. Tahribatsız Muayeneler

Kaynak işlemi sırasında, kaynak dikişinde ve ITAB'da hataların oluşmaması veya kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması istenmektedir. Aksi takdirde, malzemenin servis koşullarında dayanımı olumsuz olarak etkilenecek ve beklenmeyen hasarlara neden olabilecektir. Kaynaklı birleştirmelerde oluşan hataları tespit edebilmek için, -istenilen kaynak kalitesine -malzemeye -kaynak dikişinin kalınlığına -kaynak yöntemine -kullanım yerine ve -beklenen hatanın tipi ve konumuna bağlı olarak en uygun tahribatsız muayene yöntemi seçilmelidir. Kaynak dikişlerinde rastlanabilecek hatalar; gaz boşluğu, kalıntı, yan duvarda kaynama eksikliği, yetersiz nüfuziyet, çatlak, yanma oluşu, taşma, düzensiz kaynak yüzeyi ve kökte sarkma olarak özetlenebilir. Bu hataların tespit edilmesi için gözle muayene, radyografi, ultrasonik, girdap akımları, magnetik parçacık ve sıvı penetrantla muayene gibi çeşitli tahribatsız yöntemler kullanılmaktadır [34].

5.1.1.1. Gözle Muayene

Gözle muayene ile kaynak yüzeyi kalitesinin uygunluğu kontrol edilir. Kaynak fazlalığı, yanma olukları, aksenel kaçıklık, dikişin konumu, parça yüzeydeki ark izleri ve oyuklar gözle 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 [34]. 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 gözle 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.

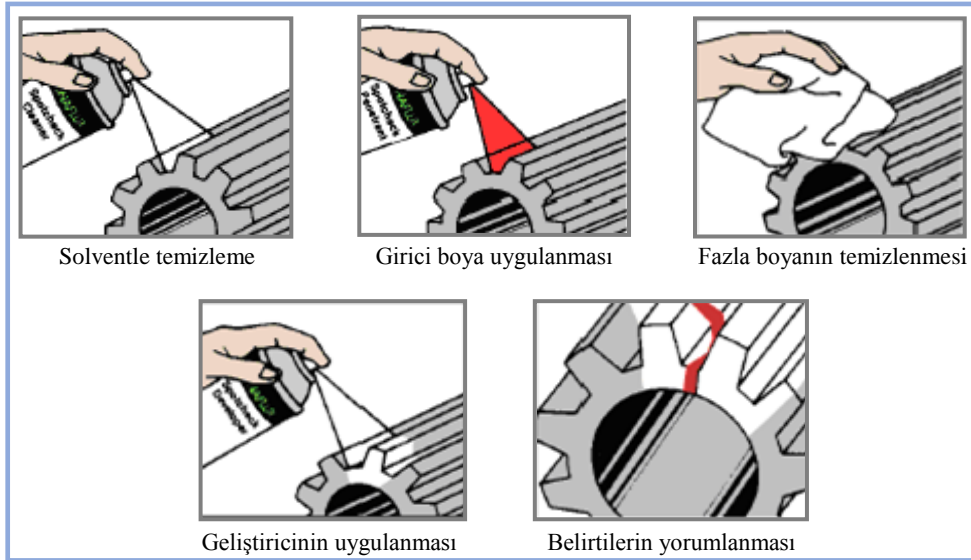
Gözle muayene sonucunda: -Yanma olukları -uygun olmayan dikiş boyutları -iç köşe dikişlerinin asimetrisi -yüzey çatlakları -yüzeye çıkmış gözenekler -kraterler -yeniden başlama noktaları ve -kök pasoda nüfuziyet azlığı/fazlalığı gibi hatalar rahat bir biçimde tespit edilebilir. Ancak yöntemin etkinlik derecesi kişiden kişiye değişebilir [35].

5.1.1.2. Sıvı penetrant Muayenesi

Sıvı penetrantla muayene yöntemi, malzemenin cinsine bağlı olmaksızın, yüzeyde veya yüzeye açık olan çatlak gözenek vb. malzeme süreksizliklerinin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Sıvı penetrant yöntemi metal, seramik ve cam gibi çeşitli malzemelere uygulanabilmektedir. Basit, ucuz ve pratik bir yöntemdir.

Özellikle dış saha uygulamalarında enerji kaynağına ihtiyaç duyulmamasından ötürü oldukça avantajlıdır. Sadece yüzeye açık hataların belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Sızdırmazlık istenilen yerlerde, petrol boru hatlarının kaynaklarında ve diğer kaynaklı bağlantılarda çok tercih edilen bir yöntemdir [34].

Yöntem genellikle kırmızı renkli boyalı bir sıvının yüzeye bağlantılı olan bir süreksizliğin içine çekilmesi ve daha sonra aynı bölgeye uygulanan geliştirici maddenin süreksizliğin içindeki boyayı yüzeye çekip indikasyon oluşturması esasına dayanır (Şekil 5.1). Sıvı penetrant muayenesi için gerekli uygun çalışma sıcaklığı 16 – 52C°'dir.



Şekil 5.1. Sıvı penetrant yöntemi ile yüzey çatlaklarının belirlenmesi.

Sıvı penetrant ile yapılan muayeneler genel olarak altı aşamadan oluşmaktadır.

- *Yüzey hazırlığı:* Boyanın süreksizliklere girebilmesi için muayene başlamadan önce yüzeyler her türlü kir, yağ, toz, pas vb. temizlenmelidir. Temizleme solventle, su buharı ile, deterjanla ve mekanik olarak yapılabilir. Ayrıca temizlenen yüzey kuru olmalıdır.
- *Penetrantın uygulanması:* Bu aşamada muayene yapılacak bölge tamamen penetrant sıvısı ile kaplanır. Uygulanan penetrant kapiler etki sayesinde yüzeye bağlantılı olan süreksizliklerin içine çekilir. Uygulanan Penetrantın süreksizliklerin içerisine nüfuz edebilmesi için belli bir süre beklemek gerekmektedir. Bekleme süresi metal malzemelerde ortalama 5-20 dk arasında değişmektedir. Çizelge 5.1'de malzemelere göre bekleme süreleri verilmiştir.
- *Fazla Penetrantın temizlenmesi:* Bekleme süresinin sonunda süreksizliklere girmemiş olan fazla penetrant yüzeyden temizlenir. Bu temizleme işlemi su ile veya solventle yapılabilir. Burada dikkat edilecek nokta sadece yüzeydeki fazla penetrantı kaldırmak için temizleme yapılmalıdır. Gereğinden fazla yapılan temizleme işlemi süreksizliklerin içine girmiş olan penetrantı da temizleyeceğinden istenmeyen bir sonuç doğuracaktır.
- *Geliştiricinin uygulanması:* Fazla penetrant yüzeyden temizlendikten sonra dördüncü aşama olan geliştirici muayene bölgesine uygulanır. Geliştirici yüksek derecede emiciliğe sahip beyaz renkli bir tozdur. Bu toz uygulandığında süreksizliklerin içine girmiş olan penetrantı emerek yüzeye çıkartır ve çok kısa bir süre içerisinde yüzeyde gözle görünebilen indikasyonların oluşmasına sebep olur. Geliştiricinin uygulanması ile ortaya çıkan belirtiler her zaman gerçek boylarından daha büyüktür.
- *Yorumlama:* Bu aşamada geliştiricinin uygulanmasıyla yüzeyde görünen indikasyonların nedenleri belirlenmeye çalışılır. İndikasyonların yorumlanması sırasında en önemli unsur görünebilirliğin maksimum seviyede olması için ortamın ışık şiddetinin istenilen düzeyde olmasıdır. Renk kontrastlı görünebilir penetrant boya kullanımlarında uygun ve kaliteli bir muayene için ortamın ışık şiddeti en az 1000 lüks olmalıdır. Floresan boyalar için ise kara ışık şiddetinin en az 800 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

olması gerekmektedir. Muayenenin 3. aşamasında yapılan fazla Penetrantın temizliği işleminin yetersiz yapılması durumunda ilgisiz indikasyonlara, muayene yüzeyinde bulunan kirler ise sahte indikasyonlara sebebiyet verebilir. Bunları gerçek indikasyonlardan ayırmak tamamen muayenecinin tecrübesine kalmış bir iştir. Bu etapta yapılan değerlendirmeler sonucunda muayenesi yapılan malzemede süreksizlik gözlenmedi ise kabul kararı, süreksizlik gözleniyor fakat tamir edilebilir seviyede olduğu düşünülüyorsa onarım kararı ve standartlarda hata sınırları içerisinde bir süreksizlik gözlemleniyorsa malzemeye ret kararları verilir.

- *Son temizlik:* Sıvı penetrant muayenesinin son aşaması malzemeyi muayeneye başlamadan önceki temizlik şartlarına geri getirmektir. Muayeneden sonra penetrant ve geliştirici kalıntılarının korozyona sebebiyet vermemesi için malzemeye iyi bir son temizlik yapmaktır [36].

Çizelge 5.1. Çeşitli malzemeler için minimum penetrant bekleme süreleri.

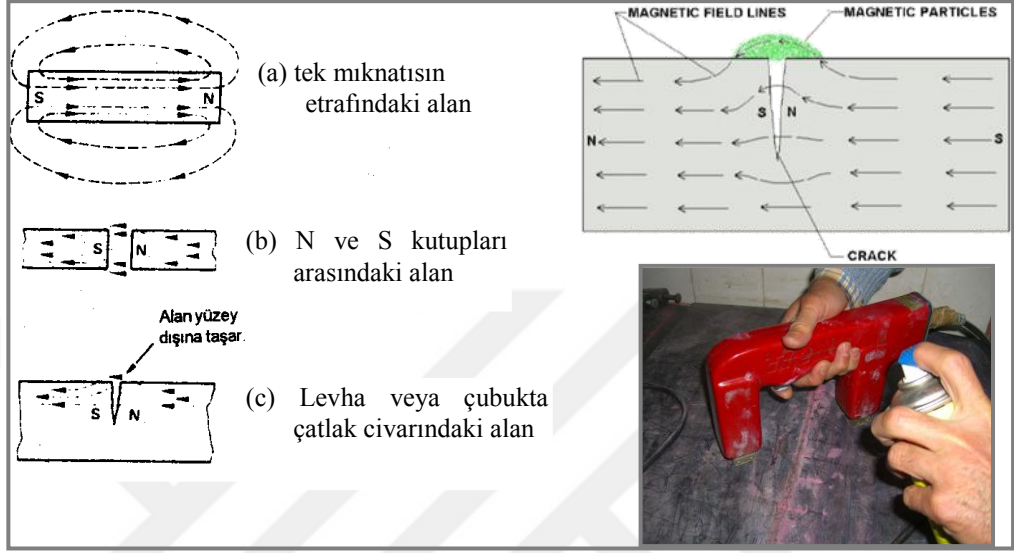
Malzeme	Üretim yöntemi	Devamsızlık cinsi	Bekleme Süresi (dk)
Alüminyum	Döküm	Gözenek, soğuk döküm	5
	Dövme	Bindirme	10
	Kaynak	Yetersiz erime, gözenek	5
	Tüm yöntemler	Çatlaklar	10
Magnezyum	Döküm	Gözenek, soğuk döküm	5
	Dövme	Bindirme	10
	Kaynak	Yetersiz erime, gözenek	10
	Tüm yöntemler	Çatlaklar	10
Çelik	Döküm	Gözenek, soğuk döküm	10
	Dövme	Bindirme	10
	Kaynak	Yetersiz erime, gözenek	20
	Tüm yöntemler	Çatlaklar	20

5.1.1.3. Manyetik Parçacık Muayenesi

Çelikler gibi ferro-manyetik malzemelerin muayenesinde, yüzey çatlaklarının ortaya çıkarılmasında kullanılacak diğer bir yöntem de manyetik toz ile muayenedir. Bu teknikte çatlak içinde bir manyetik alan oluşturulur ve bu alan demir oksit tozlarını çekmek için kullanılır [34].

Çubuk şeklinde bir mıknatısı göz önüne alındığında (Şekil 5.2). Mıknatıs içinde kuvvet çizgileri çubuğun bir ucundan diğer ucuna doğru, yani S'den N kutbuna doğru gider. Aynı zamanda mıknatısın etrafında da bir manyetik alan mevcuttur. Çubuk üzerine serpilen demir tozu kuvvet hatlarının birbirine yaklaştığı kutuplarda

toplanır. Eğer bir mıknatıs diğer mıknatısın yanına, mıknatısın N kutbu ilk mıknatısın S kutbunun karşısına gelecek şekilde yaklaştırılırsa, kuvvet hatları iki mıknatısın arasından geçer. Demir tozları bu yeni düzenleme üzerine serpilecek olursa, N ve S kutupları arasındaki boşluğun etrafında ve içinde toplanırlar.



Şekil 5.2. Manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri.

Bir kaynakta, mevcut çatlığa dik açıda etkiyen bir manyetik alan oluşturarak çatlığın mıknatıslar arasındaki aralığa benzer bir şekilde davranması sağlanabilir. Böyle bir durumda kuvvet hatları çatlaktan geçer ve aynı zamanda yüzeyin dışına doğru da sızar. Kaynak üzerine serpilmiş demir oksit tozları manyetik alana sızdığı noktada toplanır ve böylece çatlığın mevcudiyetini ortaya çıkarır.

Kaynaklı bağlantıda manyetik alan oluşturmak için mıknatıs veya elektro mıknatıs kullanılabilir. Genelde muayene edilen alandan bir akım geçirilir. Çatlağı ortaya çıkarmak için kullanılan sıvı veya "mürekkep", genellikle gazyağına karıştırılmış manyetik demir oksit tozlarından meydana gelmiştir. Tozlar ultraviyole ışığı altında görebilmek için bir flüoresan bileşiği ile kaplanabilirler. Gazyağının kullanılmasına itirazlar olduğu takdirde; manyetik tozlar kaynak yüzeyinin üzerinde bir bulut oluşturacak şekilde bir körükten püskürtülürler. Bu ikinci yöntem V bağlantılarında kök pasosunun muayenesinde özellikle çok yararlıdır. Çünkü bu durumda bir sonraki pasoyu çekmeden evvel kaynak ağzının temizlenmesine ihtiyaç yoktur.

Manyetik parçacıkla muayene yöntemi, yüzeyde veya yüzeye çok yakın (1- 2 mm) olan malzeme süreksizliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Uygulama alanı sadece mıknatıslanabilen malzemelerle sınırlıdır [37].

5.1.1.4. Ultrasonik Muayene

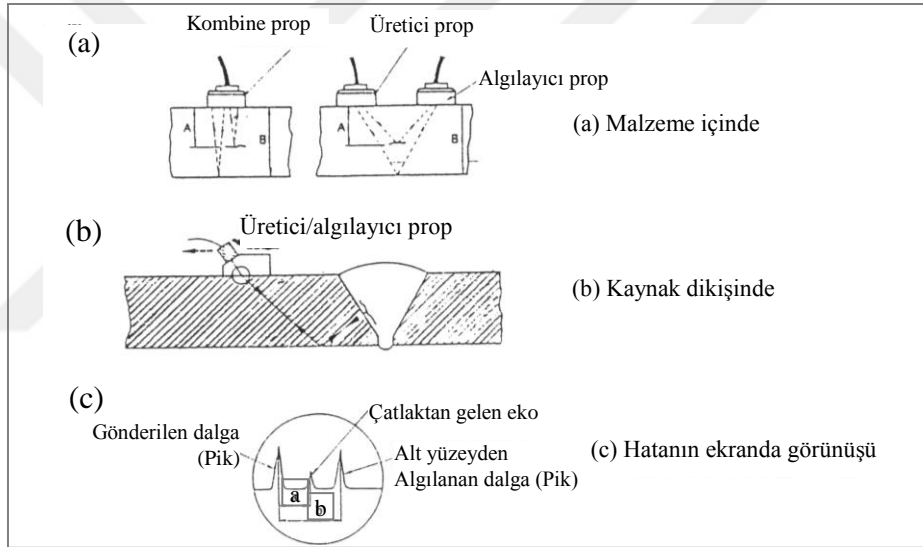
Ultrasonik test yüksek frekanslı ses dalgalarının bir prob vasıtası ile test edilecek malzemeye gönderilmesi ve bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansması esasına dayanır. İnsan kulağının duyabileceği maksimum ses frekansı 20 kHz (saniyede 20 bin titreşim)'dir. Tahribatsız muayenede kullanılan ultrasonik ses dalgaları genellikle 1-5 MHz mertebesindedir. Dolayısıyla insanın işitme kabiliyetinin üzerindeki frekanslardır. Ses aslında bir titreşim enerjisidir. Ultrasonik test yönteminde kullanılan titreşimler piezoelektrik kristaller vasıtasıyla üretilmektedir. Proba gelen elektrik enerjisi probun içinde yer alan piezoelektrik 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 piezoelektrik kristaller vasıtasıyla bir önceki işlemin tam aksi şeklinde elektrik sinyallerine dönüştürülür ve katod 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.

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.

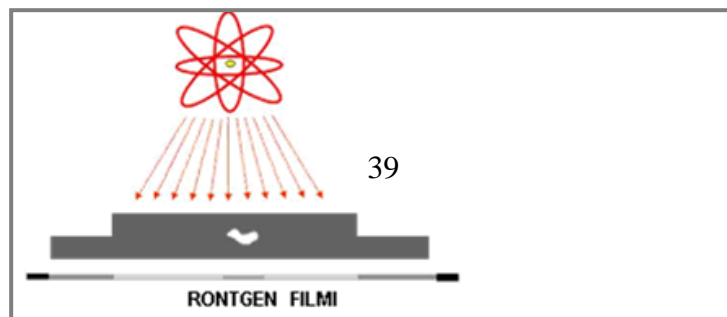
Bir ultrasonik dalganın tespit edebileceği en küçük hata boyutu dalga boyunun yarısına eşittir. Yüksek frekanslı dalgaların ayırt ediciliği de yüksektir yani birbirine çok yakın olan birden fazla hatayı ayrı ayrı belirleyebilir. Düşük frekanslı ultrasonik dalgaların ise ayırt edici özelliği zayıftır. Bu yüzden yakın birçok hatayı tek bir hata gibi algılayabilirler [34]. Şekil 5.3'te ultrasonik titreşimler yardımı ile hataların tespitinin yapıldığı görülmektedir [38].



Şekil 5.3. Ultrasonik titreşimler yardımı ile hataların tespiti.

5.1.1.5. Radyografik Muayene

Radyografik muayene, şeffaf olmayan malzeme yüzeylerinin muayenesinde kullanılan bir yöntemdir. Eğer bir metal veya plastik içerisindeki gizli hataların incelenmesi istenirse, ışıktan daha fazla nüfuz edebilen bir enerji şekli kullanılması gerekir. X ışınları santimetrelerce kalınlıktaki çeliğin içerisinde geçip bir radyografik film veya flüoresan ekran üzerinde hatalar kolaylıkla görülebilir (Şekil 5.4) [34].



Şekil 5.4. Radyografik muayene yöntemi.

Radyografik muayene metal ve metal olmayan tüm malzemelerin yüzeyinde veya iç bölgelerindeki her türlü hataların tespitinde yaygın olarak kullanılan bir tahribatsız muayene yöntemidir. Bu yöntemle malzemenin iç bölgelerinde ve yüzeyinde bulunan her türden çatlakların, gaz boşluklarının, çekme boşluklarının, yapısal kusurların, inklüzyonların, hatta malzemelerdeki yoğunluk farklılıklarının belirlenmesi mümkündür. Yöntem genel olarak radyasyonun malzemenin içinden geçebilme yeteneğinden faydalanır. Muayene edilecek malzemenin arkasına bir film yerleştirilir ve gama kaynağı veya X- ışını cihazı ile bir süre ışınlama yapılır. Radyasyon malzeme içinden geçtikten sonra filme ulaşır ve filmi karartır. Işınlamanın filmi karartması için belirli bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Film karartma süresi malzemenin yoğunluğuna, malzemenin kesit kalınlığına ve radyasyon kaynağının gücüne bağlıdır. Süreksizliklerin olduğu kısımlardan radyasyon daha yoğun geçtiği için film bu bölgelerde daha çok kararacak ve diğer bölgelerle ton farkı oluşturacaktır. Film banyo işlemi sonunda bu ton farklılıkları süreksizlik belirtisi olarak görünecektir.

Gama ve X- ışınlarının genel özellikleri:

- Girici özelliğe sahip ışınlardır. Yani maddeye nüfuz etme kabiliyetleri vardır.
- Elektromanyetik dalgalardır.
- Kısa dalga boyu ve yüksek enerjiye sahiptirler.
- Doğrusal olarak yayılırlar ve hızları 100.000 km/saat'tir.

- 5 duyu organı ile algılanamazlar, yani renkleri kokusu tadı yoktur.
- Kütleleri ve elektrik yükleri yoktur
- Uzun süre maruz kalınması durumunda canlılarda ciddi tahribatlara yol açabilirler [39].

- X Işınları ile radyografik muayene

X- ışınları yüksek hızla hareket eden serbest elektronların bir atoma çarpması sonucu meydana gelir. X- ışının karakteristik x ışını ve sürekli X ışını şeklinde iki çeşidi vardır.

X ışınları önem sırası ile aşağıdaki malzemelerin muayenesinde kullanılır. Hafif alaşımlar, çelikler, diğer metaller ve plastiklerin muayenesinde kullanılır. Atom ağırlıkları az dolayısı ile geçirgenliği fazla olan Al ve Mg X ışınlarıyla muayeneye çok uygundur. Bu metallerin kusurları küçük ve daha ucuz cihazlarla muayene edilebilir. X ışınlarıyla; iri gözenekler gerilme çatlaklar (Mg), kendini çekme çatlakları, haddelenmiş veya dökülmüş metalde gaz çıkmasının sebep olduğu ufak gözenekler gibi kusurların muayenesi yapılmaktadır. Hassas yapıldığında metal kalınlığının % 1/2 ile 1 büyüklüğündeki boşluklar tespit edilir.

Teknolojinin gelişimiyle X ışınlarıyla muayenede yeni görüntüleme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en önemlisi dijital X ışını radyografisidir. Dijital X ışını yönteminde, X ışını cihazına ek olarak birde cihaza entegre dijital panel bulunmaktadır. Panel X ışını cihazına 30–70 cm mesafede tam karşısına konumlandırılır. Muayene edilecek malzeme panel ile X ışını cihazının arasında yerleştirilir ve bu şekilde Pozlama yapılarak muayene gerçekleştirilir. Bu panel sayesinde ışınlanmanın sona ermesiyle beraber filmde oluşması beklenen kontrast aynı anda bilgisayar ekranından görüntülenebilmektedir. Dijital radyografinin klasik filimli radyografiye göre önemli avantajları vardır bunlar;

- X ışını şütlama zamanları önemli ölçüde azalmaktadır.
- Aynı işi daha düşük dozlarda yapmaktadır.

- Görüntü bilgisayar ekranına düştüğü için film kullanılmamaktadır. Dolayısıyla hem maliyet hem işçilik azalmaktadır.
- Görüntü analizlerini ve veri yönetimini çağın şartlarına uygun hale getirmiştir.
- Görüntü arşivleme ve aktarımı gibi verimli avantajlar sağlamaktadır.
- Daha emniyetli bir çalışma ortamı sağlamaktadır. Şekil 5.5'de X ışını cihazları ve dijital panel görüntüleri verilmiştir [34,40].



Şekil 5.5. X ışını cihazları ve dijital panel görüntüleri.

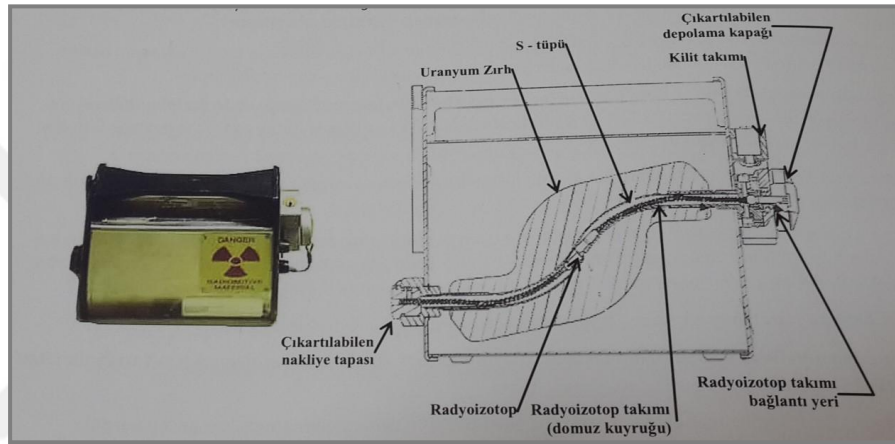
- Gama ışınları ile muayene

Gama ışınları X ışınlarına göre daha düşük dalga boylarına sahip olmasına karşın malzemeye nüfuz edebilme özelliği bakımından x ışınlarına kıyasla oldukça iyidir. Gama ışınları çok girici olduklarından menzil mesafeleri yüksektir ve havada yüzlerce metre gidebilirler. Yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alanda saptırılamazlar [34].

Gama kaynaklarında radyoaktif madde kullanılmasından dolayı kesintisiz bir radyasyon yayını söz konusudur. Bu sebepten dolayı kaynak kalın bir zırh içerisinde muhafaza edilmektedir. Zırh malzemesi olarak genelde çok yoğun bir element olduğu için fakirleştirilmiş uranyum kullanılır.

Gama radyografisinde kaynak sadece ışınlama yapılacağı zaman dışarıya çıkar diğer

zamanlarda her daim zırh içerisinde. Muayenenin başlayabilmesi için kaynağın cihazın içerisinden dışarı çıkması gerekmektedir. Bu işlemi emniyetli bir mesafeden yapabilmek için uzun bir sürgü kablosu cihaza bağlanır. Sürgü kablosunun içinde kaynağı dışarı itmeye ve ışınlama bitikten sonra tekrar cihazın içine çekmeye yarayan bir mekanizma vardır. Bu kablo sayesinde kaynak muhafazasından dışarı çıkarılır, ışınlama başlar, bir süre devam eder, süre sonunda kaynak cihazın içeri çekilir, ışınlama biter ve kaynak emniyete alınmış olur. Şekil 5.6'da Gama radyografi cihazları çalışma görünümü verilmiştir [40].



Şekil 5.6. Gama radyografi cihazları görünümü ve çalışma prensibi.

5.1.1.6. Mikroskopik Muayene

Kaynaklı numunelerin tahribatsız muayene yöntemlerinden birisi de mikroskop ile bağlantı bölgelerini incelemektir. Kaynaklı bağlantılar optik mikroskop (metal mikroskobu) ve elektron mikroskobu (SEM) ile incelenebilirler. Optik mikroskop ile numunedeki fazların özellikleri, faz dağılımları, tane sınırları, kayma bantları, ikizler, gözenekler, kalıntı ve çatlaklar kolayca ayırt edilebilir. Optik mikroskop ile orijinal numunelerin, ısıl işlem uygulanmış ve kaynaklı numunelerin mikro yapılarını incelemek mümkündür. Bu tür mikroskoplarda büyütme sınırlı olduğundan çoğu kaynaklı numuneler elektron mikroskobu ile daha iyi görüntülenebilirler ve bağlantı özellikleri hakkında daha fazla bilgi verebilirler [34].

5.1.2. Tahribatlı Muayeneler

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

- Kaynak dikişi, kaynaklanmış ısıdan etkilenmiş bölge ve ana metal ile kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini saptamak.
- Malzemelerin kaynak yapılabirlik 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 [34]. Burada sadece çalışma konumuzla ilgili olanlar detaylandırılmıştır.

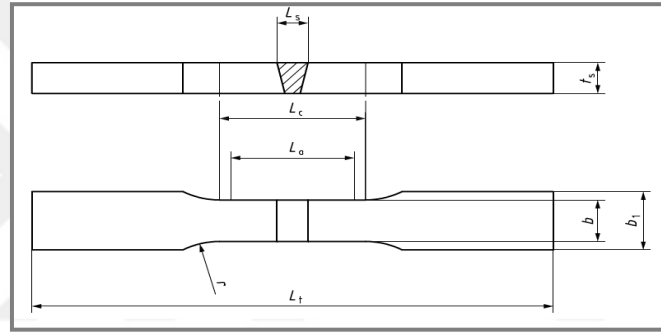
5.1.2.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, bir malzemenin çekme zorlamaları esnasında karakteristik değerinin tayin edilmesini sağlar. Bu deney kontrol edilmesi gerekli olan malzemeden yapılmış standarta uygun bir çekme deneyi numune parçası üzerinde tatbik edilir [34]. TS EN ISO 4136:2012; Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler-Enine çekme deneyini vermektedir.

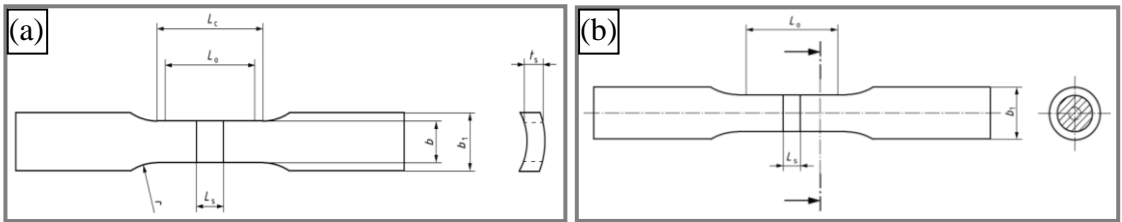
Kaynaklı bir birleştirmeden enine olarak alınan bir deney numunesine kopana kadar artan bir çekme yükünün sürekli uygulanmasıdır. Aksi belirtilmedikçe, deney (23±5 °C) ortam sıcaklığında yapılmalıdır. Deney numunesi, talaşlı imalattan sonra kaynak eksenine deney numunesinin paralel uzunluğunun ortasında kalacak şekilde, imal

edilen mamulün kaynaklı birleştirme yerinden veya kaynaklı deney parçasından enlemesine alınmalıdır.

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 (Şekil 5.7 ve Şekil 5.8) [41].



Şekil 5.7. Plakalar için deney numunesi.



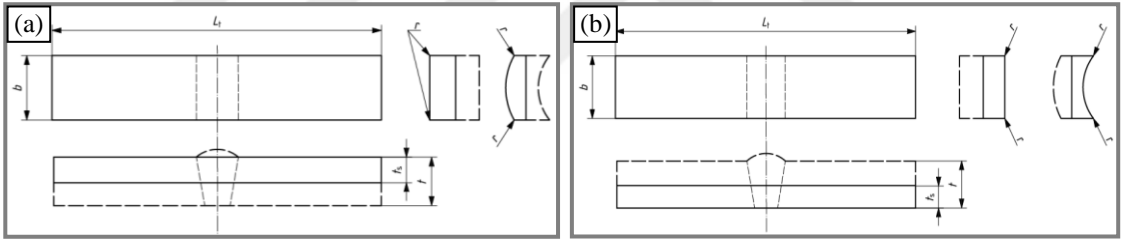
Şekil 5.8. (a) borular ve (b) silindirik malzemeler için deney numunesi.

5.1.2.2. Eğme Deneyi

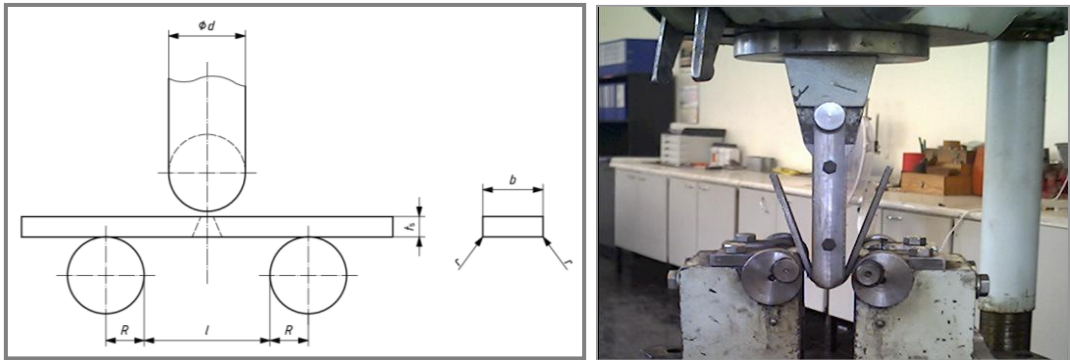
İki destek üzerine serbest olarak yerleştirilen daire veya dikdörtgen kesitli bir deney parçasının ortasına bir kuvvet uygulandığında meydana gelen şekil değişimine eğme denir. Eğme deneyi sonucunda malzemeleri şekil değiştirme özellikleri hakkında edinilen bilgilerin yanında eğilme dayanımı, esneklik modülü ve eğilme miktarı gibi

değerler de hesaplanır [34]. TS EN ISO 5173; Metalik malzemelerde kaynak dikişleri üzerinde tahribatlı muayeneler-Eğme deneylerini gösterir.

Bu standard, birleştirmenin yüzeyindeki veya yakınındaki sünekliliğini ve/veya birleştirme yüzeyinde veya yüzeye yakın kusurların mevcut olup olmadığını değerlendirmek için, alın kaynakları ve giydirmeli alın kaynaklarından (giydirilmiş plakalar ve giydirme kaynakları) alınan deney numuneleri üzerinde yapılan enine kök, yüzey ve kenardan eğme deneylerinin yapımı için kullanılan bir metodu kapsar (Şekil 5.9). Bu standard, deney numunesinin boyutlarını da verir. Bu standard, ayrıca eğme deneyi ile ilgili olarak, esas metal ve/veya ilâve metalin fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli bir farklılık olduğunda, heterojen gruplar için, enine eğme deneyleri yerine kullanılacak boyuna kök ve yüzey eğme deneyleri için kullanılan bir metodu da kapsar [42]. Şekil 5.10'da enine yüz eğme deneyinin şematik ve fotoğraf görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.9. Alın kaynağı (a) yüzey eğme ve (b) kök eğme deney numunesi.

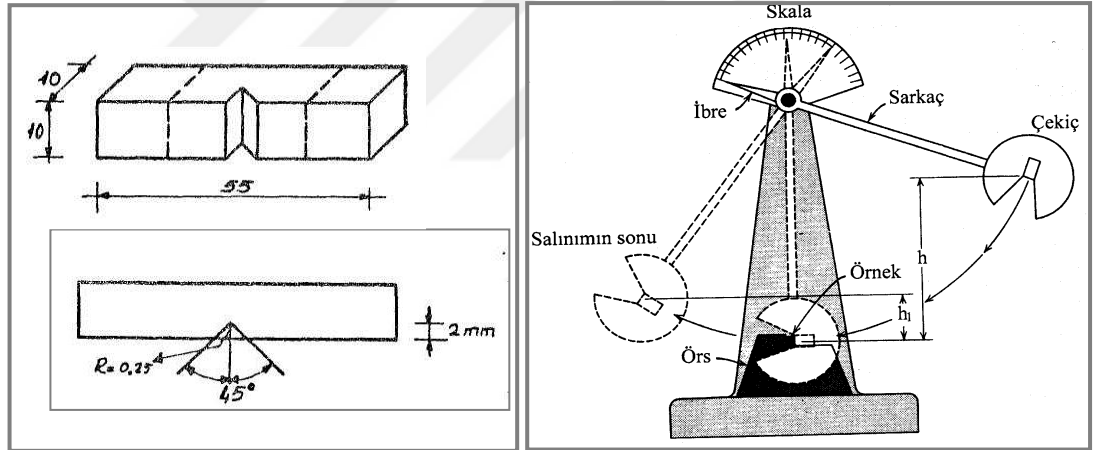


Şekil 5.10. Enine yüzey eğme deneyi.

5.1.2.3. Çentik Darbe Deneyi

Bazı makine parçaları veya yapı elemanları darbeli yüklere maruz kalırlar. Bu elemanların çarpma dayanımları yavaş yükleme durumundaki statik mukavemet değerlerinden çok daha düşüktür. Darbe deneyleri, malzemelerin çarpma dayanımlarını veya kırılma enerjilerini ölçmek için yapılır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar çentik tokluğunun bir ölçüsü olup, malzemelerin sınıflandırılması için kullanılırlar. Başka bir deyişle darbe deneyinden elde edilen sonuçlar tasarıma yönelik mühendislik hesaplarında doğrudan kullanılamazlar.

Vurma deneyi, ani yüklemeler koşullarında ana metal, kaynak ve ısıdan etkilenen bölgelerin kırılması için gerekli kırılma enerjisini bulmak için yapılır. Deney için numune Şekil 5.11’de verilen boyutlara uygun olarak hazırlanır [43].



Şekil 5.11. Çentik – darbe deneyi numunesi ve darbe deneyi cihazının şeması.

Malzemelerin kırılma enerjileri sıcaklık karşısında da değişim göstermektedir. Malzemelerin kırılma enerjisi sıcaklık düştükçe düşer. Kırılma enerjisinin farklı sıcaklıklarda yapılmasıyla malzemenin geçiş sıcaklığı belirlenir. Geçiş sıcaklığı malzemenin sünek kırılmadan gevrek kırılmaya geçişin olduğu sıcaklıktır. Bu genellikle malzemede % 50 gevrek % 50 sünek kırılmanın olduğu noktadaki sıcaklık olarak bilinir.

Bir malzemede geçiş sıcaklığının düşük olması istenir. Çünkü o malzemenin kullanıldığı ortam sıcaklığı çok düşük olabilir. Bu durumda oda sıcaklığında normal bir darbe (kırılma) direnci gösterse bile geçiş sıcaklığının altında kırılma riski önemli ölçüde artacaktır. Bu nedenle tasarım mühendisleri bu durumu dikkate alarak geçiş sıcaklığı düşük olan malzeme seçimi yapmak zorundadırlar.

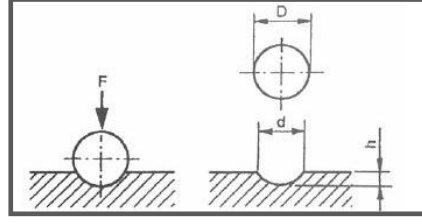
Metalik malzemelerin geçiş sıcaklıkları ve darbe dirençleri kristal yapılarına göre değişir. Çoğunlukla YMK yapılı malzemelerin kırılma dirençleri daha fazladır. HMK yapılı malzemelerde daha belirgin bir geçiş sıcaklığı tespit edilebilir. Malzemenin sertlik ve dayanımı yüksek olması o malzemenin kırılma direncinin daha az olabileceğine işaret eder. Kırılma enerjisi (veya direncini) artırılması için o malzemenin yüksek süneklik göstermesi gerekir [34,43].

5.1.2.4. Sertlik lme Deneyi

Bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Bilimsel anlamda ise, bir malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç sertlik olarak ifade edilir. Sertlik deneyinde, bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca veya kesici takıma karşı gösterdiği direnç ölçülür. Batıcı uçlar bilye, piramit veya koni biçiminde olup, genellikle sertleştirilmiş elik, sinterlenmiş tungsten karbür veya elmas gibi, sertliği deney malzemesinden çok daha yüksek olan malzemelerden yapılıdır. Sertlik ölümünde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Örneğin sertlik örneklerinin lme ve oturma yüzeylerinin düzgün ve birbirine paralel olmaları gerekir. Günümüzde en çok Brinell, Vickers ve Rockwell sertlik lme yöntemleri kullanılmaktadır [34].

- Brinell sertlik deneyi:

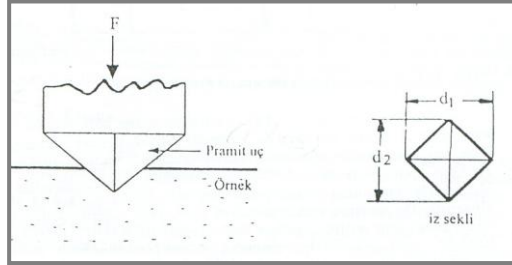
Bu deneyde sertleştirilmiş elik veya tungsten karbürden yapılan bir bilye belirli bir yük ile malzemenin yüzeyine bastırılır ve malzeme yüzeyinde meydana gelen izin çapı ölçülür. Uygulama süresi 10 ile 15 sn arasında değişir. Brinell sertlik deneyi prensip şeması şekil 5.12’de görülmektedir [44].



Şekil 5.12. Brinell sertlik ölçme deneyinin prensip şeması.

- Vickers sertlik deneyi

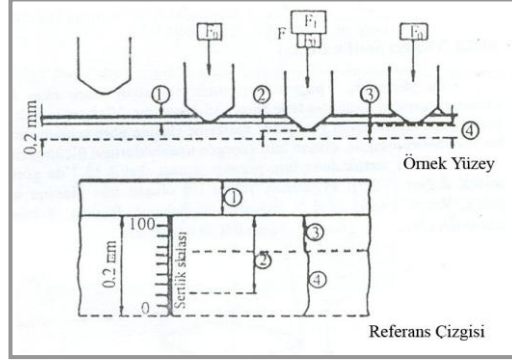
Bu yöntemde, piramit biçiminde ve tabanı kare olan batıcı uç kullanılır. Elmadan yapılan piramidin tepe açısı 136 derecedir. Vickers sertlik deneyi; söz konusu batıcı ucun malzemenin yüzeyine, malzeme cinsine göre seçilen bir yük altında, belirli bir süre batırılması ile oluşan izin köşegen uzunluklarının ölçülmesinden ibarettir. Vickers sertlik deneyinin prensip şeması Şekil 5.13’de görülmektedir. Burada “d” izin ortalama köşegen uzunluğu olup, $d = (d_1 + d_2)/2$ formülü ile hesaplanır [44].



Şekil 5.13. Vickers sertlik deneyinin prensip şeması.

- Rockwell sertlik deneyi

Rockwell sertlik deneyinde, standart batıcı bir uç genelde 10 kg gibi küçük bir yükü malzeme yüzeyine bastırılır ve oluşan izin dip noktası başlangıç noktası olarak alınır. Daha sonra yük yüksek bir değere çıkarılıp, tekrar önceki değerine indirilir. Uçun batma derinliğinde meydana gelen artışa göre Rockwell sertlik değeri belirlenir. Batıcı uç olarak ya elmas koni ya da çelik bilye kullanılır. Rockwell sertlik deneyinin prensip şeması Şekil 5.14’de gösterilmiştir [45].



Şekil 5.14. Rockwell sertlik deneyinin prensip şeması.

Çok sert malzemelerin Rockwell sertliği koni biçimindeki elmas uç kullanılarak 150 kg'lık yük altında ölçülür ve sonuçlar RSD-C simgesi ile belirtilir. Yumuşak malzemelerin Rockwell sertliğinin ölçümünde ise batıcı uç olarak çelik bilya kullanılır ve 100 kg'lık yük altında elde edilen sonuçlar RSD-B simgesi ile gösterilir. Bir malzemenin Rockwell cinsinden ölçülen sertlik değeri 100 rakamını aşarsa batıcı uç olarak bilya kullanılması tavsiye edilmez. Çünkü bilya kullanılması hem bilyanın deforme olmasına, hem de ölçüm hassasiyetinin azalmasına neden olur.

TS EN ISO 9015-1:2011, Metalik malzemelerdeki kaynaklar üzerinde tahribatlı deneyler-Sertlik deneyi-Bölüm 1: Ark kaynaklı birleştirmelerde sertlik deneyini içerir. Bu standard, metalik malzemelerin ark kaynaklı birleştirmelerinin enine kesitindeki sertlik deneylerini tarif eder.

TS EN ISO 9015-2:2011, Metalik malzeme kaynaklarında tahribatlı deneyler-Sertlik deneyi-Kısım 2: Kaynaklı birleştirmelerde mikro sertlik deneyini içerir. Bu standard, metalik malzemelerin ark kaynaklı birleştirmelerinin mikro sertlik deneylerini kapsar.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın amacı, genellikle su ile temas eden konstrüsiyonlarda kullanılan ve özellikle de gemi imalat sanayinde büyük bir öneme sahip, Grade AH36 gemi sacının farklı ortamlarda kaynak kabiliyetini araştırmaktır. Bu amaç ile çalışmada Grade AH36 gemi sacı atmosferik şartlarda ve su altında birleştirilerek kaynaklı birleştirmelerin metalürjik benzerlik/farklılıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Su altı kaynak işlemleri üç farklı derinlikte (4, 8 ve 16 m) ve üzeri kaplanmış rutil (E 6013) elektrodla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 8 m derinlikte rutil elektrodun yanında su altı kaynağı için özel üretilmiş E 7014 (AWS 70XX) kaynak elektrodu (UW-CS-2) kullanılarak aynı kaynak parametrelerinde bir birleştirme yapılmış ve bu iki elektrodun kaynak bölgesine (kaynak metali ve ITAB) vermiş olduğu metalürjik etkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Buradan hareketle öncelikle deneysel çalışmalar için izlenecek kaynak prosedürü, sonrası için de yöntem testleri belirlenmiştir. Şekil 6.1’de deneysel çalışmalarda takip edilen bu akış şeması verilmiştir.

6.1. KULANILAN MALZEMELER

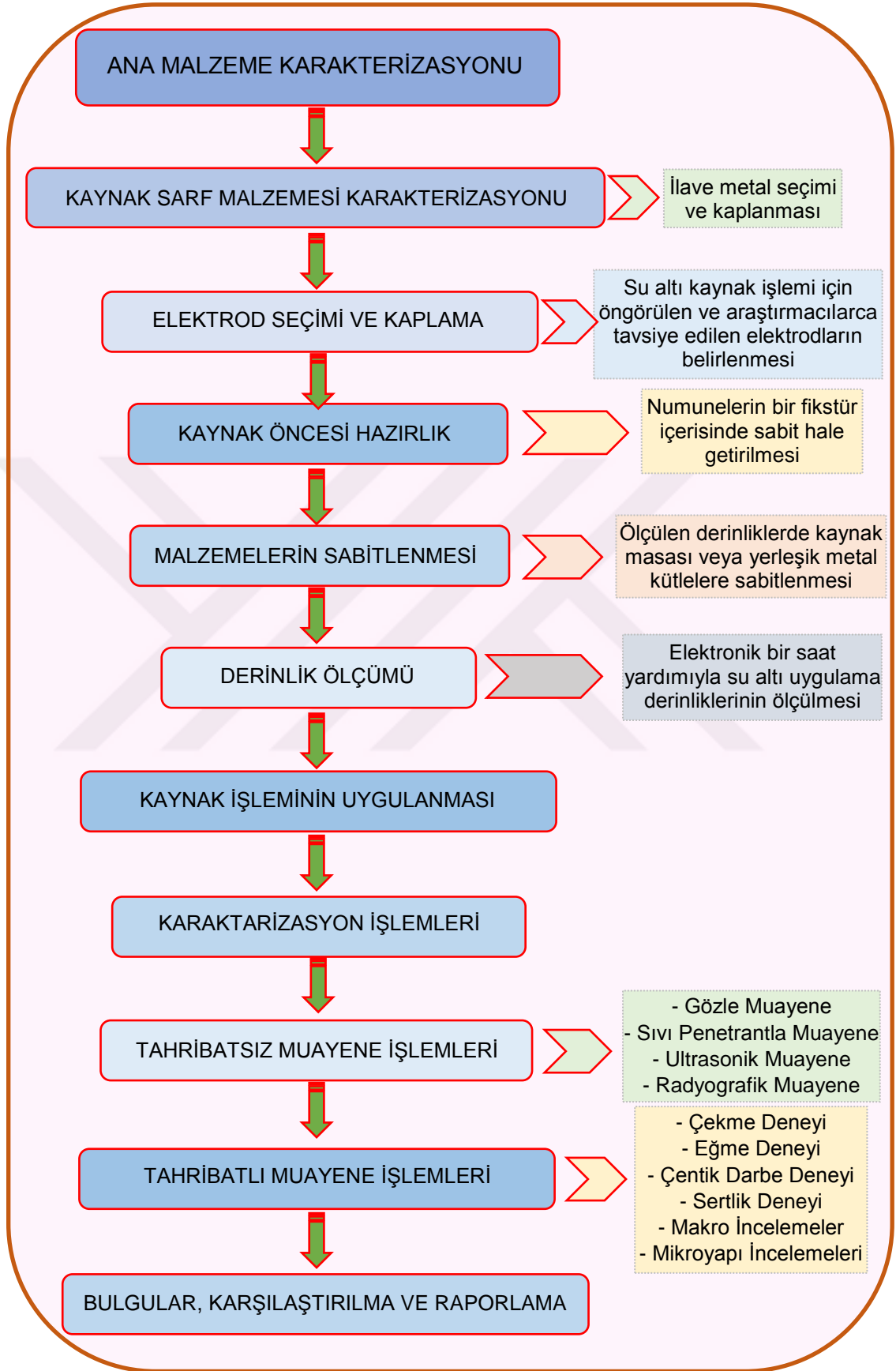
Birleştirme işleminde kullanılan Grade AH36 gemi sacının kimyasal bileşimi Çizelge 6.1’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Grade AH36 gemi sacının kimyasal bileşimi (ağırlıkça %)ve C_{es} değeri.

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Cu	Cr	Ni	Mo	Fe	C_{es}
Grade A	0.18	0.50	0.90	0.035	0.035	0.015	0.02	0.35	0.20	0.40	0.08	Kalan	0.43

Çizelge 6.2. Grade AH36 gemi sacının mekanik özellikleri.

Malzeme	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
Grade A	540	355	23



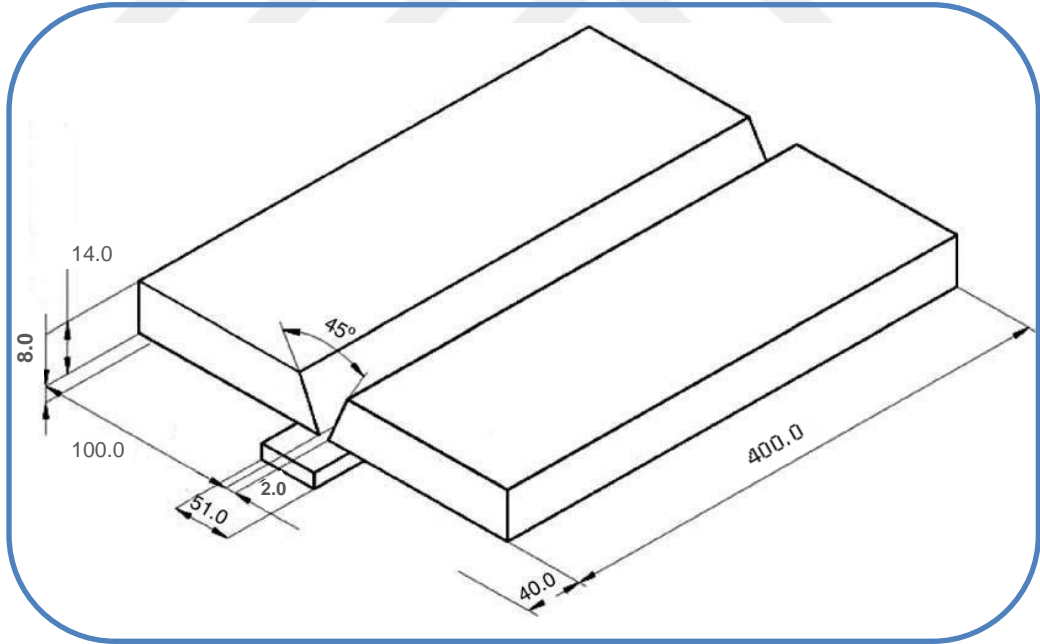
Şekil 6.1. Deneysel akış şeması.

6.2. MALZEMELERİN KAYNAĞA HAZIRLANMASI

Ereğli demir çelik fabrikasından temin edilen 6000x1500x14 mm ebatlarındaki Grade AH36 gemi sacı sulu kesim şerit testere ile 400x100x14 mm boyutlarında kesilerek deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

Kaynak işlemi için kullanılacak olan elektrod çapları göz önünde bulundurularak kök paso ve dolgu işleminde ark boyu da düşünülerek her bir parçaya 22,5° ve birleştirilecek parçalar yan yana koyulduğunda toplamda 45° açı olacak şekilde kaynak ağzı açılmıştır (Şekil 6.2).

Parçalar atölye ortamında bir kaynak fikstürü aracılığıyla seramik altlık kullanarak aynı türden malzemeler yardımıyla uç noktalarından puntalamak suretiyle kaynağa hazır hale getirilmişlerdir (Şekil 6.3).



Şekil 6.2. Kaynak ağzı açılmış parçaların şematik görünümü.



Şekil 6.3. Kaynak ağzı açılmış parçaların kaynak öncesi fikstürle sabitlenmesi.

6.3. DENEYLERDE KULLANILAN ELEKTRODLAR

Deneysel çalışmalarda AWS A5.1 standardına göre imal edilen E 6013 kodlu elektrodla uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Atmosferik şartlarda kullanılan elektrodların örtüsü suyla temas etmesi halinde bozunuma uğrayarak kaynak işlemini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle su altında kullanılan elektrodlara, piyasada kullanılan bir bant (koli bandı) yardımıyla suyla temasını önlemek amacıyla kaplama uygulaması yapılmıştır. Bunun yanında 8 metre derinlikte yapılan çalışmanın birisi için AWS A5.1 standardına göre imal edilmiş E 7014 rutil elektrodu UW CS-1 kodlu kaplama uygulaması yapılmış olarak temin edilmiş (özel sualtı elektrodu) ve kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan E 6013 ve E 7014 standardına sahip rutil örtü tipli elektrodların kimyasal bileşimleri sırasıyla Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 6.5’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. E 6013 rutil örtülü elektrodun kimyasal bileşimi.

C	Si	Mn	Fe
0.06	0.40	0.55	Kalan

Çizelge 6.4. E 7014 rutil örtülü elektrodun kimyasal bileşimi.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Fe
0.15	0.90	1.25	0.035	0.035	0.20	0.30	0.30	0.08	Kalan

Çizelge 6.5. Deneyleerde kullanılan elektrodların mekanik özellikleri.

Elektrod	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
E 6013	420	510	22
E 7014	460	540	25

6.4. SU ALTI KAYNAK UYGULAMASI

Kaynak işlemi uygulaması endüstriyel dalgıç tarafından İstanbul'da bulunan tersaneler bölgesinde (Haydarpaşa) gerçekleştirilmiştir. Uygulama, imalat sonunda gemiyi suyla buluşturmak için kullanılan bir rampanın (duba) su zeminine doğru uzanan ayaklarına parçaları sabitlemek suretiyle yapılmıştır. Her bir numune için elektronik derinlik ölçen bir saat yardımıyla üç farklı derinlik parametresi (4 m, 8 m ve 16 m) ölçülmüş ve rampaya ilgili derinliklerde sabitlenmiştir. Şekil 6.4'te kaynak işlemi uygulaması için tam donanımlı bir dalgıç kaynakçının dalış öncesi son hazırlıkları verilmiştir.



Şekil 6.4. İşlem öncesi kaynakçı hazırlığı.

Kaynak makinesi su altı kaynağı için elektrod üreticisi ve literatürün desteklediği 350 A maksimum değerde çalışabilecek kapasitede seçilmiştir. Uygulama için sualtı kaynaklarında GeKaMac RKM350 kaynak makinesi, atmosferik kaynaklarda ise Lincoln INVERTEC V260-S marka ve model kaynak makinesi kullanılmıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. GeKaMac RKM350 ve Lincoln V260-S modeline sahip kaynak makinesi.

Su altında kaynak açık ortamda yapılan kaynak işlemine benzese de uygulamanın deniz suyunda gerçekleştiriliyor olması ve tuzlu suyun elektrik iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle gelişmiş kaynak ekipmanlarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle Şekil 6.6'da görüldüğü gibi dalgıç kaynakçı özel olarak tasarlanmış kaynak pensesi kullanmaktadır.



Şekil 6.6. Su altı kaynak pensesi.

Atmosferik şartlarda ve su altında kaynatılan parçalarda bir takım akım ve paso sayısı değişimi söz konusu olmuştur. Suyun sıcaklığının açık alandan düşük olması ve derinlikle artan basınç değer değişim farkı gibi etkenler, kaynak paso sayısında büyük fark oluşumu gerçekleştirmemiş olsa da akım değerinde hissedilecek bir değişim oluşturmuştur. Elektrod, akım değeri değişkenleri, derinlik farkındaki durum farklılıkları ve paso sayıları Çizelge 6.6’da sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Derinlik, paso sayısı ve akım değeri.

Elektrod çapı	Atmosferik	4 metre	8 metre	16 metre
φ 3,25 mm (E 6013)	4 paso	4 paso	5 paso	5 paso
φ 4 mm (E7014)	-	-	5 paso	-
Akım (A)	140 A	160 A	180 A	200 A

Öncelikle kaynak işlemlerine atmosferik şartlarda başlanmış, akabinde sırasıyla su altında 4 m, 8 m ve 16 m derinliklerdeki kaynak işlemleri yapılmıştır. Kaynak ile birleştirilen parçaların kalınlıkları fazla olduğundan işlemler hem su altında hem de atmosferik şartlarda, V kaynak ağzına çok pasolu olarak gerçekleştirilmiştir.

6.5. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATSIZ MUAYENESİ

Kaynaklı malzemelerin tamamının (hem açık atmosferde hem de su altında farklı derinliklerde birleştirilen) tahribatsız muayeneleri (gözle, sıvı penetrant, ultrasonik ve radyografik testler) kaynak işlemleri bittikten 3 gün sonra, alanında yetkinliğe sahip uzmanlara yaptırılmıştır. Uygulama test sıralaması ise gözle, ultrasonik, radyografik ve sıvı penetrant şeklinde olmuştur.

6.5.1. Gözle Muayene

Birleştirme işlemi gerçekleştirildikten sonra literatürde belirtilen “TS EN ISO 17637; 2011, ergitme kaynaklarının tahribatsız muayenesi-ergitme kaynaklı birleştirmelerin gözle muayenesi” başlıklı standart çerçevesince gözle muayene işlemi uygulanmıştır. Öncelikle gözle muayenede kaynak yüzeyi kalitesinin uygunluğu kontrol edilmiştir. Ayrıca kaynak fazlalığı, eksik paso, kökte sarkma, yanma olukları, aksenal kaçıklık,

dikiş konumu, yüzeydeki ark izleri ve makro çatlakların oluşup/oluşmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

6.5.2. Sıvı Penetrant Muayenesi

Gözle muayene edilen kaynaklı numuneler bir diğer tahribatsız muayene yöntemi olan sıvı penetrantla muayene uygulamasına tabi tutulmuştur. Uygulama literatürde belirtildiği üzere “TS EN ISO 23277; 2014, kaynakların tahribatsız muayenesi-kaynakların penetrant muayenesi-kabul seviyeleri” başlıklı standart çerçevesince uygulanmış ve raporlanmıştır. Bu muayene yöntemi ile atmosferik şartlarda ve su altı farklı derinliklerde birleştirilen numunelerin yüzeyinde, yüzeye açık olan çatlak gözenek vb. malzeme süreksizliklerinin tespit edilmesi için kullanılmıştır. Test işlemi kaynaklı numuneleri kendi aralarında kıyaslama amaçlı olarak yapılmış olup kabul veya ret değerlendirilmesi yapılmamıştır.

6.5.3. Ultrasonik Muayene

Su altı ve atmosferik şartlarda birleştirilen numuneler “TS EN ISO 17640, 2017; kaynakların tahribatsız muayenesi-ultrasonik muayenesi-teknikler, deney sınırları ve değerlendirme” başlıklı standarda uyarak tahribatsız muayene işlemi uygulanmıştır. Testler Starmans DIO 1000 PA cihazda yapılmış ve 4 MHz 70° açılı prop ile ve kaynak metali+ITAB % 100 muayeneye tabi tutulmuştur. Yöntem tüm kaynaklı numunelere uygulanmış ve kaynaklı numunelerdeki çatlak, boşluk, katmer, gözenek, cüruf kalıntısı gibi herhangi bir süreksizliğin olup/olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu muayenedeki amaç kaynaklı numunelerde oluşan hataları birbirleriyle mukayese etmektir.

6.5.4. Radyografik Muayene

Su altı ve atmosferik şartlarda birleştirilen numuneler “TS EN ISO 17636-1; 2015, kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenesi-radyografik muayene-bölüm 1: filmli X ve gama ışını teknikleri” başlıklı standardına uyarak kaynaklı numunelerin % 100’nü kapsayacak biçimde radyografik muayeneye tabi tutulmuşlardır. Bu muayenenin

genel amacı kaynak bölgesinde (kaynak metal ve ITAB) gizli hataların bulunarak değerlendirilmesidir. Bu yöntemle malzemenin iç bölgelerinde ve yüzeyinde bulunan her türden çatlak, gaz boşluğu, çekme boşlukları, yapısal kusurlar ve inklüzyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu test, hem açık atmosferde hem de su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerde meydana gelen hataların çeşit ve miktarlarını belirlemek amaçlı yapılmıştır.

Bu muayenedeki amaç, muayene sonrası kaynaklı numunelerin ilgili standartlarda verilen kriterlere göre “kabul/ret” edilmesi olmayıp, sadece atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelerdeki değişkenlerin etkilerini belirlemektir. Bir başka ifade ile bu test, kaynaklı numunelerde oluşan hataları birbirleriyle mukayese amaçlı yapılmıştır. Zaten gerçekte su altında kaynaklar için bir kabul kriter standardına rastlanılmamıştır.

6.6. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATLI MUAYENESİ

Atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelere çekme, eğme ve çentik darbe testleri uygulanmıştır. Kaynaklı numunelere uygulanan bu testlerin amacı kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri ile kaynak değişkenlerinin (ortam ve su altı derinlik farkı) kaynak özelliklerine etkisini belirlemektir.

6.7. NUMUNE HAZIRLAMA

Kaynak işlemi sonucu 400x200x14 mm ebatlarında olan kaynaklı parçaların, kaynak başlangıç ve bitiş kısımlarından en az 20 mm’lik kısımları ıskarta olarak ayrılmıştır. Kaynak yönü takip edilerek her parçadan 3’er adet çekme, 2’şer adet eğme ve 1’er adet de metalografi ve sertlik işlemleri için numune hazırlanmıştır. Ayrıca her bir kaynaklı numunedan 4’er adet ITAB’dan, 4’er adet de kaynak metalinden olmak üzere toplam 8’er adet çentik darbe deney numunesi kesilmiştir. Atmosferik şartlar ile su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelerden elde edilecek verilerin ana malzeme ile kıyaslanabilmesi için AH36 malzemesinden 3 adet çekme, 2 adet eğme ve 4 adet çentik darbe test numunesi kesilmiştir. Böylece deneysel çalışmalar için

toplamda 18 adet çekme, 12 adet eğme, 44 adet çentik darbe ve 6 adet mikroyapı/sertlik deney numunesi sulu şerit testere yardımıyla kaba ölçülerde kesilmiştir.

6.7.1. Çekme Deneyi

Kaynaklı bağlantılara uygulanan çekme deneyi için “TS EN ISO 4136:2012; metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler-enine çekme deneyi” standardına göre yapılmıştır. Çekme numune ölçüsü çapı 8 mm, çene tutma kısmı ölçüsü 12 mm ve çekme boyu 75 mm olarak işlenmiştir (Şekil 6.7). Çekme deneyleri KBÜ, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Laboratuvarında bulunan AG-50 kN SHIMADZU Autograph çekme/basmacihazında ve 2 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

Atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelerden ilgili standartlara göre hazırlanan çekme numunelerinden 1'er adetinin görüntüsü Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.7. Çekme numuneleri genel görüntüsü.

Şekil 6.7’de verilen görsellerde a) atmosferik şartlarda birleştirilen numune (E 6013), b) 4 m derinlikte birleştirilen numune (E 6013), c) 8 m derinlikte birleştirilen numune (E 6013), d) 8 m derinlikte birleştirilen numune (E 7014) ve e) 16 m derinlikte birleştirilen numuneleri (E 6013) göstermektedir.

6.7.2. Eğme Deneyi

Su altı elektrik ark kaynak yöntemi ile üretilen numunelerin kaynak bölgesinde, 180° eğilme şartlarında çatlak, yırtılma, ayrılma hatası olup olmadığını belirlemek için yapılacak eğme testlerinde kullanılmak üzere “TS EN ISO 5173; Metalik malzemelerde kaynak dikişleri üzerinde tahribatlı muayeneler-Eğme deneylerini gösterir” başlıklı standardına uyularak her parametreden 2’şer adet eğme numunesi hazırlanmıştır. Eğme testleri çekme işlemlerinin gerçekleştirildiği cihazda (çeneler değiştirilerek), yapılmış ve her iki numune de kep eğme testine tabi tutulmuştur.

Eğme numuneleri hazırlanırken 200x20x14 mm ölçülerinde kaynak bölgesi ortada kalacak şekilde kesilmiş daha sonra kep ve kök çıkıntılarını ana malzemeyle bir seviyeye getirmek amacıyla 14 mm olan kalınlık iki yönlü şekilde frezelenmiş ve 5 mm’e düşürülmüştür. Şekil 6.8’de eğme numunelerine ait görseller verilmiştir.



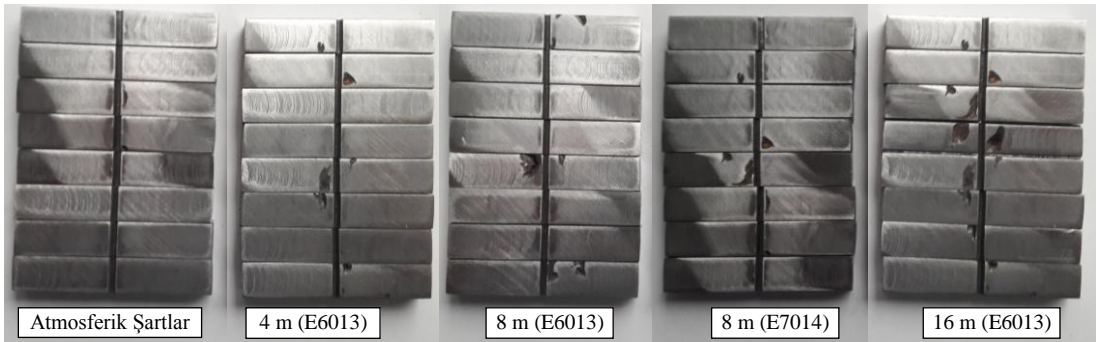
Şekil 6.8. Eğme numuneleri genel görüntüsü.

Şekil 6.8’de eğme testi için kesilerek, talaşlı imalat ile standartlara uygun ölçülerde hazırlanan a) atmosferik şartlarda, b) 4 m derinlikte, c) 8 m derinlikte (E 6013), d) 8 m derinlikte (E 7014) ve e) 16 m derinlikte birleştirilen numuneleri göstermektedir.

6.7.3. Çentik Darbe Deneyi

Su altı elektrik ark kaynak yöntemi ile farklı derinliklerde ve atmosferik şartlarda üretilen numunelerin kaynak metali ve ITAB'ının darbe dayanımını belirlemek için "TS EN ISO 9016:2012, metalik malzemelerde kaynaklar üzerinde tahribatlı deneyler -Vurma deneyleri" standardına uyularak her bir parametreden 8'er adet (4 adet kaynak metali, 4 adet ITAB) çentik darbe deney numunesi hazırlanmıştır.

Çentik darbe deney numuneleri hazırlanırken ilk etapta 70x14x10 mm ölçülerinde kaynak bölgesi ortada kalacak şekilde kesilmiştir. Daha sonra ITAB ve kaynak metalinin birleşim bölgesi belirlenmiş ve ona göre malzeme ölçüleri standartta belirtildiği üzere 55x10x10 mm ölçülerine düşürülmüştür. Kaynaklı numuneler ile ana malzemelerin standartlara göre V çentik açma işlemleri, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü (KDCE) Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MARGEM) laboratuvarlarında bulunan, YILMAZ marka çentik açma cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çentik darbe numunelerinin kırma işlemleri 450 Joule kapasiteli ZWICK ROELL RKP 450 tipi Charpy darbe cihazında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.9'da çentik darbe deney numuneleri genel görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.9. Çentik darbe deney numuneleri genel görüntüleri.

6.7.4. Sertlik Deneyi

Laboratuvarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçümlerindeki değer, plastik deformasyona karşı malzemenin göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanabilir.

Sertlik testi için hazırlanan numunelerde TS EN ISO 9015 (2011) nolu “Metalik malzeme kaynaklarında tahribatlı deneyler-sertlik deneyi-Kısım 2: Kaynaklı birleştirmelerde mikro sertlik deneyi” standardına uyulmuştur. Sertlik testi için ayrılan kaynaklı numuneler, klasik metalografik numune hazırlama işlemine (zımparalama, parlatma, % 2 nital ile dağlama) tabi tutulmuşlardır. Sertlik ölçümleri, KBÜ Teknoloji Fakültesi malzeme laboratuvarlarında bulunan, Şekil 6.10’da resmi verilen markası Shimadzu HMV olan cihazla HV türünden ölçüm yapılmıştır. Sertlik ölçme işlemlerinde 2000 g yük (HV_2) uygulanmış ve sonuçlar için her bölgeden gerçekleştirilen 3 ölçümün sonucunun ortalama değeri hesaplanarak ifade edilmiştir. Kaynak işlemleri çok pasolu olarak gerçekleştirildiği için ölçümler hem enlemesine (kaynak metalini, ITAB ve ana malzemeyi kapsayacak şekilde) hem de boylamasına (sadece kaynak metalinden kaynak kökünden kaynak kepine doğru) alınmıştır.



Şekil 6.10. Sertlik ölçüm cihazı görüntüsü.

6.8. MAKRO/MİKRO YAPI İNCELEMELERİ

Metalografi; optik mikroskop, elektron mikroskobu ve X ışınları gibi fiziksel tekniklerle malzemelerin içyapılarının incelenmesidir. Atölyede bulunan ve parçaların kaynağa hazırlık sürecinde kesim işlemini gerçekleştirdiğimiz sulu kesim şerit testere ile parçalar istenen ebatlarda kesilmiştir. Numunelerin yüzeyinin

çizilmemesi için su zımparası ile zımparalama uygulanmıştır. Bu işlem esnasında sırasıyla olmak üzere 180, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik silisyum karbür su zımparası ile ve her zımparalama arasında 90° çevrilerek gerçekleştirilmiştir.

İşlemi biten numunelere malzeme yüzeyini hazırlamada son basamak olan parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma işleminde amaç yüzeyi düzgün, çiziksiz bir yüzey elde etmektir. Parlatma işlemleri, dönen disk üzerine yerleştirilen ve sırasıyla 6, 3 ve 1 µm bir keçeyle gerçekleştirilmiş ve keçe üzerine sırasıyla 6, 3 ve 1 µm'lik elmas pasta emdirilmiştir. İşlem esnasında makinanın hızı 450 dev/dk'da kullanılmış olup, her numune için 5 dakika süreyle disk üzerinde yük uygulamaksızın tutulmuştur.

Parlatma işlemi sonuçlanan numuneler, mikroyapılarının görüntülenmesi için dağlama işlemi uygulanmıştır. Bu işlemde amaç tane sınırları ve ara yüzeyi daha iyi görebilmeyi hedefler. Bu amaç ile 2 ml HNO₃ (Nitrik Asit) ve 98 ml metanolden oluşan kimyasal solüsyonda 5 sn dağlama yapılmıştır. Mikroyapı için hazırlanan numuneler bilgisayara görüntü aktarabilen 1000 büyütme kapasiteli NIKON Epiphot 200 marka (Şekil 6.11) optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Bu işlem esnasında görüntülerin, ana malzeme, ITAB ve birleşme ara yüzeylerini içermesine özen gösterilmiştir. Ayrıca mikroyapı çalışmaları kaynaklı bölgelerin düzgün bir biçimde karakterize edilebilmesi için farklı büyütmelerde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.11. Metalografik incelemede kullanılan optik mikroskop görüntüsü.

BÖLÜM 7

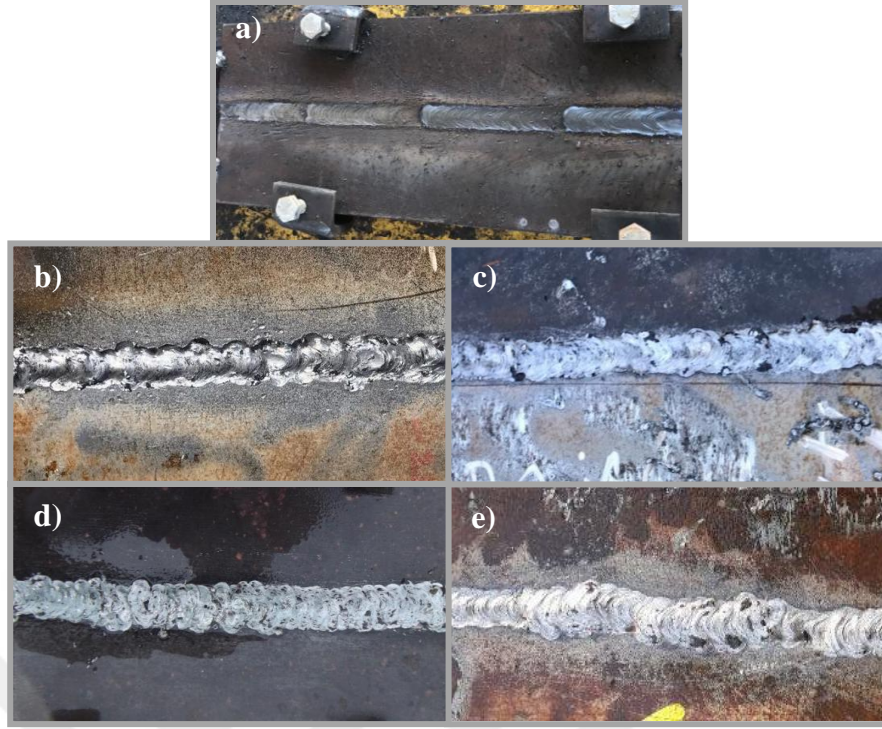
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Atmosferik şartlar ile su altında farklı derinliklerde örtülü elektrod ark kaynağı ile birleştirilen numunelere öncelikle hiçbir işlem yapılmaksızın sadece yüzeyleri temizlenerek tahribatsız testler uygulanmıştır. Kaynaklı numunelere tahribatsız test olarak sırasıyla olmak üzere gözle muayene, sıvı penetrant testi, ultrasonik test ve radyografik testler uygulanmıştır. Tüm bu testler, TS EN ISO/IEC 17025'e uygun TÜRKAK'dan akredite laboratuvarlarda ve alanında yetkinliğe sahip (Level I ve Level II ve Level III) muayenecilere yaptırılmıştır.

7.1. GÖZLE MUAYENE

Gözle muayene işleminde kaynak fazlalığı, yanma olukları, eksen kaçıklığı, dikişin konumu, yüzeydeki ark izleri ve oyukların olup olmadığı "TS EN ISO 5817 kaynak-çelik, nikel, titanyum ve bunların alaşımlarında ergitme kaynaklı (ışın kaynağı hariç) birleştirmeler-kusurlar için kalite seviyeleri) standartta belirtilen fiziksel ortam kullanılarak alanında uzman bir muayeneci tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.1'de gözle muayenesi yapılan kaynaklı numunelerin (hem atmosferik hem de su altında) kaynak yüzeylerinin görüntüleri verilmiştir.

Öncelikle atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numune gözle yapılan muayene sonucunda (Şekil 7.1a), kaynak yüzey hatalarından eksik veya fazla kaynak kepi, kökte çökme, eksen kaçıklığı, yanma olukları, makro çatlaklar, açısız çarpılma vb. kaynak hatalarına rastlanmazken, özellikle son pasodaki 2. ve 3. elektrodun başlatılması esnasında kısmi hataların (başlama/bitiş hatası) olduğu görülmüştür. Ayrıca malzeme yüzeylerinde sıçrama kalıntılarının meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.1. Kaynaklı numunelerin makro görüntüleri, a) atmosferik, b) 4 m, c) 8 m (E6013), d) 8 m (E7014) ve e) 16 m.

Şekil 7.1’de verilen görüntüler incelendiğinde su altında gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılarda farklı yüzey hatalarının varlığı tespit edilmiştir. Su altında 4 m derinlikte birleştirilen kaynaklı numunede (Şekil 7. 1b) eksik bir pasonun olduğu dikkat çekmektedir. Bu numune su altında kaynaklanan ilk numune olduğu için dalgıç kaynakçı paso eksikliğini su altında fark edememiştir. Açığa çıktığında sonraki derinliklerde 1 paso daha yapması gerektiği kanısına varmıştır. Eksik paso hatasının yanında bu numune de yoğun bir yanma oluşu olduğu görülmektedir. 8 m derinlikte (Şekil 7.1c ve d) hem E6013 hem de E7014 elektrod ile birleştirilen numunelerin yüzey görünüşleri 4 m derinlikte birleştirilen kaynağa göre daha iyi gözükmektedir. Bu numunelerde eksik dikiş hatası gözükmez iken, çok az miktarda yanma oluklarının varlığı görülmektedir. 16 m derinlikte birleştirilen (Şekil 7.1e) numunede ise diğer numunelerde olmayan kaynak kapak (kep) pasonun düzgün olmaması hatasının varlığı tespit edilmiştir. Burada kaynak kapak pasonun düz olmamasının sebebi olarak kaynak esnasında su altında görüş mesafesinin kötüleşmesi ve kaynak ağzının son pasoda kılavuzluk edememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Netice itibarı ile kaynak ağzı, kök paso ve ara pasolarda bir kılavuz görevi görmekte ve kaynağın kılavuz eşliğinde düzgün olması sağlanmaktadır.

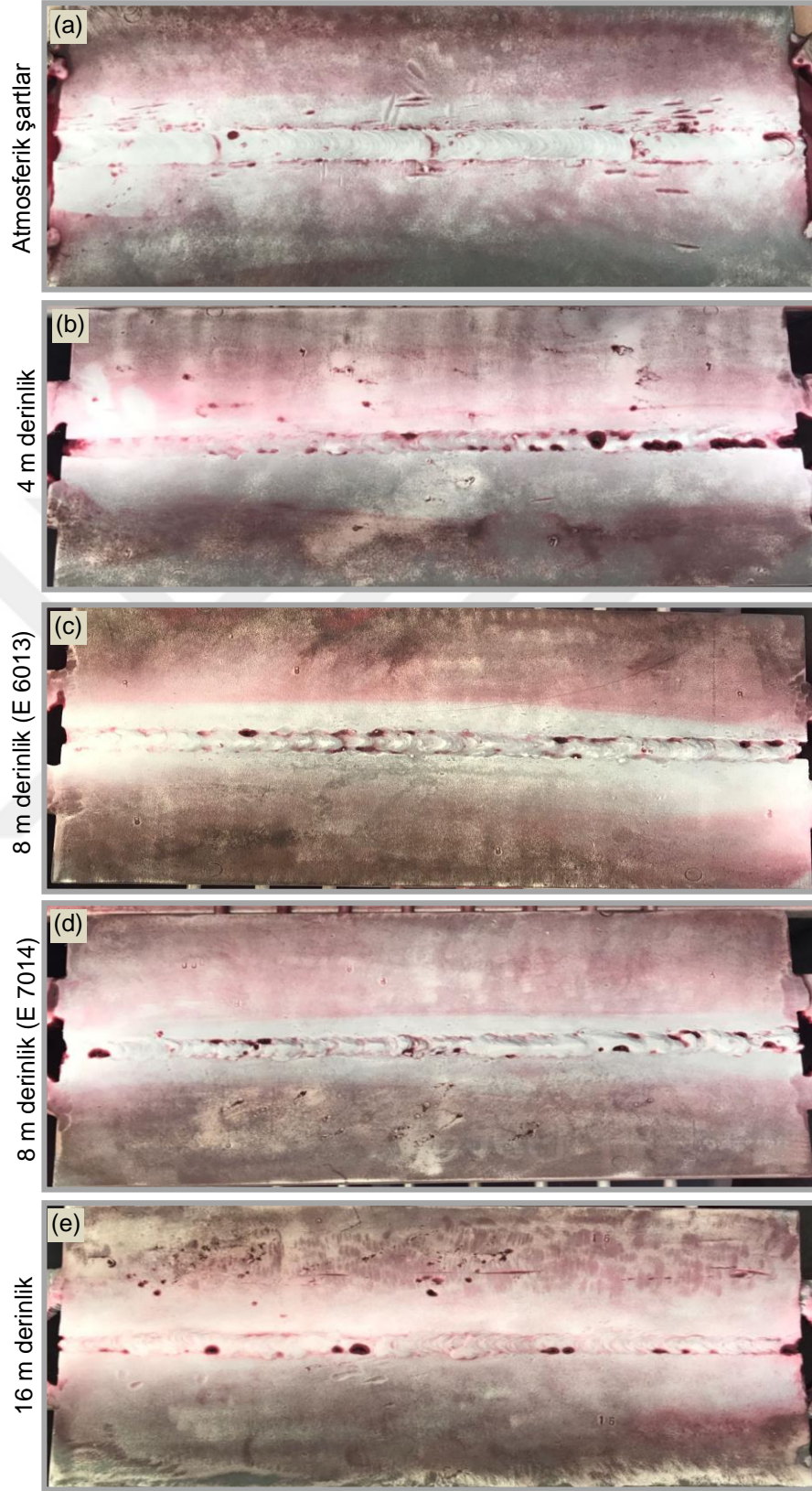
Ancak kapak pasoda kaynak ağız kısmen kaybolduğundan kaynak dikişinin düzgün oluşması zorlaşmaktadır. Literatürde [4], su altı kaynaklarının tek pasolu yapılmasının zamandan kazanma, pasolar arasında dikiş temizleme gereksiniminin olmaması ve birleştirme boyunca elektroda yol göstermek üzere bir oluğun idamesine gerek kalmaması avantaj olarak gösterilmektedir. Ayrıca su altında kaynak esnasında, belirli sayıdaki dikişten sonra yol gösterici oluk kaybolduğundan, çok pasolu kaynakların güç olduğu vurgulanmaktadır.

7.2. SIVI PENETRANT MUAYENESİ

Atmosferik ve su altında farklı derinliklerde örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelere gözle muayene sonrasında sıvı penetrant testi uygulanmış ve kaynaklı numunelerin test sonrası görüntüleri Şekil 7.2’de verilmiştir. Ayrıca uygulama sonrası elde edilen bulguların raporları atmosferik şartlar ve su altı farklı derinlik değerleri için sırasıyla Ek Açıklamalar A grubunda verilmiştir.

Şekil 7.2a’da atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numunenin görseli incelendiğinde, yüzeyde kaynak bitiş/başlangıç hatalarının yanında, az miktarda kısmi yanma oluklarının oluştuğu, ayrıca ana malzeme yüzeyinde çentik etkisi oluşturabilecek deformasyon (çekme) izlerinin varlığı görülmektedir. Bu izlerin cüruf kırma esnasında kontrolsüz vuruşlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 7.2 b, c, d ve e’de su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin görselleri incelendiğinde tüm numunelerde özellikle de 4 m derinlikte birleştirilen numunede olmak üzere çok miktarda dikiş kenarlarında yanma oluklarına rastlanılmıştır. 4 m derinlikte birleştirilen numunede bir kaynak pasosunun eksikliği gözle muayenede olduğu gibi burada da kendini göstermiş ve kaynak dikişinin eksikliği hatasıyla karşılaşılmıştır. Ayrıca su altında birleştirilen kaynaklı numunelerde yüzey boşluğu ve uç krater hatalarına rastlanılmıştır.



Şekil 7.2. Sıvı penetrant testi sonrası numune görüntüleri.

Sıvı penetrant muayeneleri genel olarak değerlendirildiğinde muayene raporlarından da anlaşıldığı gibi kaynaklı bağlantıların bir takım yüzeysel kusurlarına (kaynak başlangıç-bitiş bölgeleri, yanma olukları vb.) rastlanılmıştır. Ancak kaynaklı bağlantılarda makro ve mikro çatlaklara rastlanılmamış olması olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilir.

Gerek atmosferik şartlarda gerekse su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelerdeki yüzey hatalarının tahribatlı testlerde etkilerinin olmayacağı bir gerçektir. Çünkü kaynaklı bağlantılar 14 mm kalınlığında imal edildiği için mekanik test aşamasında kaynak kep ve kök kısımlarından ilgili standartlar gereği deneyler, talaş kaldırarak gerçekleştirilmiş böylelikle yüzey hatalarının tahribatlı test sonuçlarına etkileri ölçülememiştir.

7.3. ULTRASONİK MUAYENE

Su altı ark kaynak yöntemi ile farklı derinliklerde ve atmosferik şartlarda yapılan birleştirmeler, yüzey altı kusurların tespiti için ultrasonik muayene işlemine tabi tutulmuşlardır. Uygulama sonrası elde edilen bulguların raporları atmosferik şartlar ve su altı farklı derinlik değerleri için sırasıyla Ek Açıklamalar B’de verilmiştir. Öncelikle bu muayenedeki amaç, muayene sonrası kaynaklı numunelerin ilgili standartlarda verilen kriterlere göre “kabul/ret” edilmesi olmayıp, sadece atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelerdeki hataları belirlemek ve derinlik farkından dolayı oluşabilecek hataları kıyaslayabilmektir.

Yapılan ultrasonik muayene sonucunda, deniz kenarı atmosferik ortamda yapılan alın kaynak dikişinin, merkez eksende kısmen dar bir aralıkta kökte nüfuziyetsizlik hatasının olduğu tespit edilmiştir. Kaynaklı numunede nüfuziyet yetersizliği, yanma oluşu, gözenek oluşumu, kalıntı, çatlak vb. hataya rastlanılmamıştır.

Su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerde kaynak hataları olarak genellikle kökte nüfuziyetsizlik, yetersiz ergime, cüruf kalıntıları ve gaz boşluklarına rastlanılmıştır. Ekler kısmında verilen muayene raporu incelendiğinde su altı kaynaklarda derinlik arttıkça oluşan hata çeşidinin de arttığı kolaylıkla

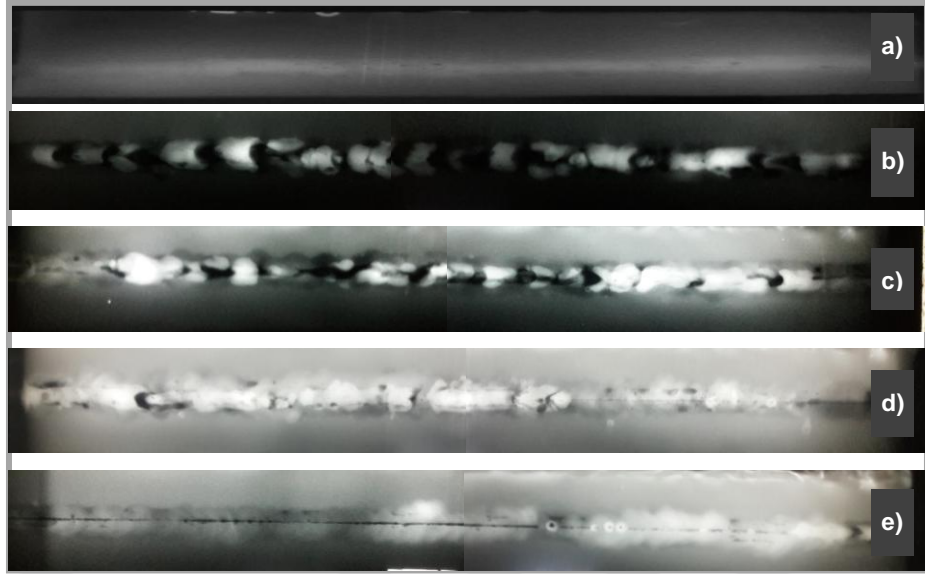
görülebilmektedir. Örneğin 4 m derinlikte birleştirilen numunede sadece yetersiz ergime, kökte nüfuziyetsizlik ve cüruf kalıntıları hatası görülürken, 16 m derinlikte birleştirilen numunede bu hataların yanında gaz boşluklarının da oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca su altında derinliğin artmasına bağlı olarak hata boyutlarının da değiştiği belirlenmiştir. Örneğin 4 m derinlikte birleştirilen numunede yer yer olan kaynak hataları derinlik arttıkça kaynaklı numunenin tamamında görülmüştür. Tüm bunların yanında derinlik arttıkça kaynak esnasında kaynak metalinde oluşan gaz boşluklarının basınçtan dolayı kaynak metalini terk etme ihtimalinin azaldığı bir gerçektir. Bu nedenle derinliğin az olduğu ortamlarda kaynak metalinde oluşan gazlar ortamı daha kolay terk edebilmekte dolayısıyla hatalar azalmaktadır.

7.4. RADYOGRAFİK MUAYENE

Deniz kenarında atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelere radyografik test uygulanmış ve test sonucu elde edilen görüntüler Şekil 7.3’de verilmiştir. Testler XX GHA 2505 X ray cihazında ve 3x3 odak boyutunda 1 dakika poz süresinde yapılmıştır. Çekim sonrası film banyo sıcaklığı 33 °C olarak seçilmiştir.

TS EN ISO 5817 (2014) “kaynak-çelik, nikel, titanyum ve bunların alaşımlarında ergitme kaynaklı (demet kaynağı hariç) birleştirmeler - kusurlar için kalite seviyeleri” standardına göre “bölgesel olarak oluşmuş gözenek, gaz gözeneği, eş dağılmış gözenek, kök ergime noksanlığı, pasolar arası ergime noksanlığı, ergime noksanlığı (yetersiz ergime), cüruf kalıntıları, düzenli dağılmış gözenek, gaz deliği, aşırı nüfuziyet, aşırı kaynak metali, sürekli yanma oluşu, kesintili yanma oluşu, yüzey gözeneği, çatlak, krater çatlağı vb. hatalar kontrol edilmektedir.

Şekil 7.3’de radyografik muayene sonucu elde edilen film görüntüleri verilmiştir. Bu görsellerde a) atmosferik şartlarda birleştirilen numune (E 6013), b) 4 m derinlikte birleştirilen numune (E 6013), c) 8 m derinlikte birleştirilen numune (E 6013), d) 8 m derinlikte birleştirilen numune (E 7014) ve e) 16 m derinlikte birleştirilen numuneleri (E 6013) göstermektedir.



Şekil 7.3. Radyografik muayene filmleri.

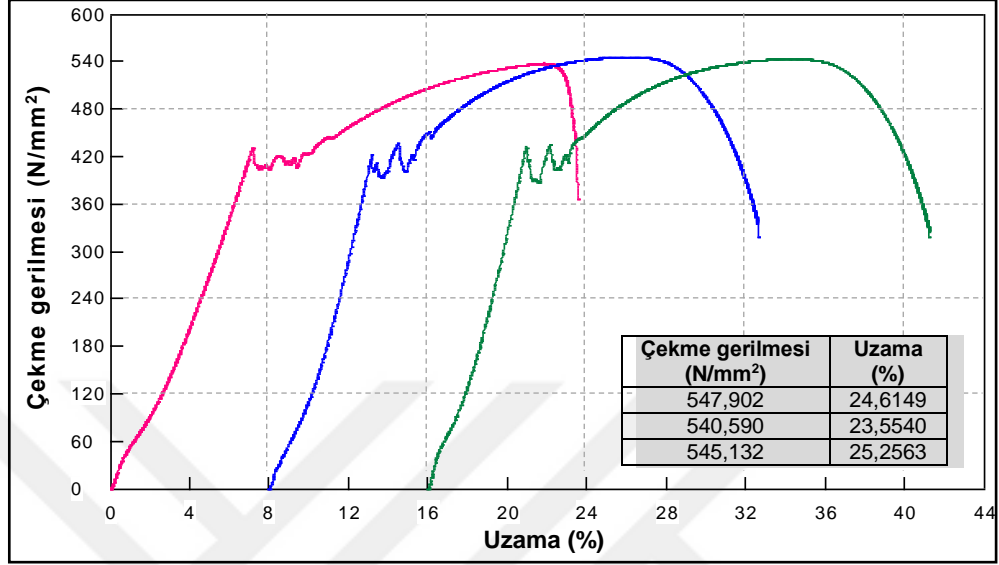
Radyografik muayene sonucunda Şekil 7.3’de verilen görsellerde görüldüğü üzere atmosferik şartlarda birleştirilen numunede sadece kökte nüfuziyet eksikliği hatasıyla karşılaşmıştır. Deniz kenarında yapılan bu kaynakta bu hatadan başka bir iç yüzey hatasına rastlanılmamıştır.

Su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelerde ise kökte nüfuziyet eksikliği hatasının yanında kötü kaynak yüzeyi, gözenek, gaz kanalları, cüruf kalıntısı, kümelenmiş cüruf kalıntısı ve yanma oluğu hatalarına rastlanmıştır. Muayene raporları incelendiğinde kaynak derinliği arttıkça oluşan hataların da arttığı açıkça görülmektedir. Bu sonuç neredeyse ultrasonik muayene sonuçlarını doğrularcasına benzerlik göstermektedir. Kaynaklı bağlantıların deney raporları sırasıyla Ek Açıklamalar C grubunda verilmiştir.

7.5. ÇEKME DENEYİ

Kaynaklı bağlantıların dayanımlarını belirlemek için öncelikle ana malzeme çekme testine tabi tutulmuş ve böylelikle kaynaklı bağlantıların performanslarını kıyaslayabilme imkanı sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan Grade AH36 gemi sacı için uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen veriler Şekil 7.4’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde Grade AH36 gemi sacı malzemesinin ortalama

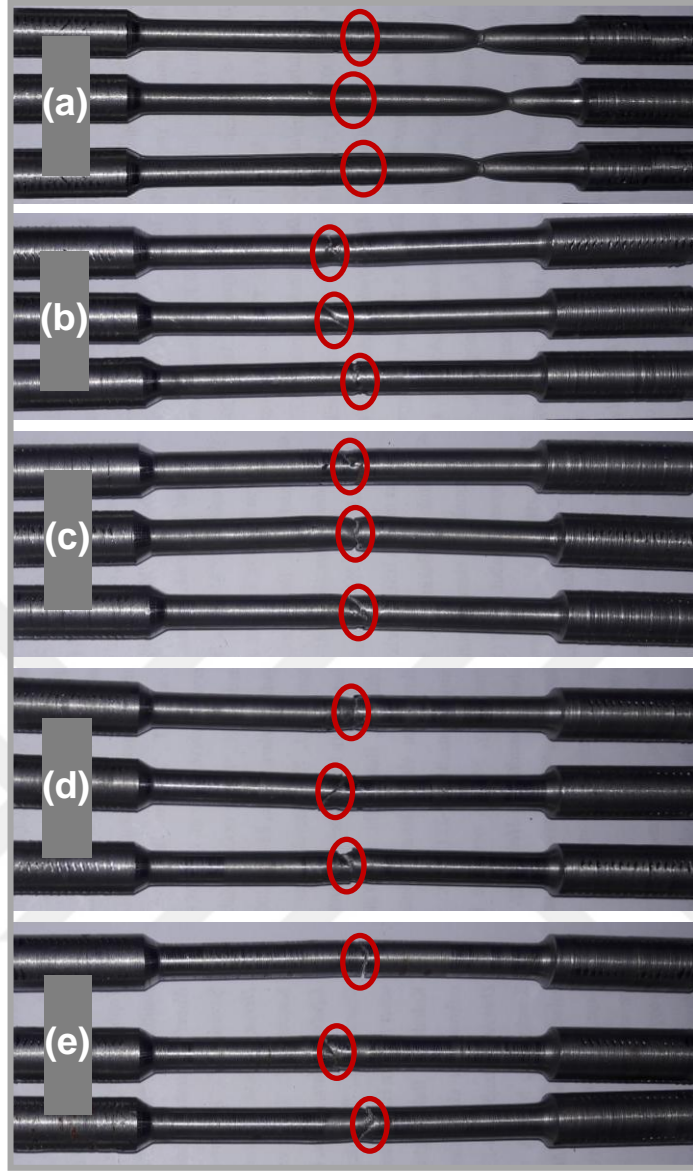
çekme dayanımının 544,541 N/mm² olduğu ve yüzde uzamasının da % 24,47 olduğu görülmektedir.



Şekil 7.4. Grade AH36 gemi sacının çekme deneyi sonuçları.

Deniz kenarında atmosferik şartlarda ve su altı katlamalı farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonrası kopma bölgeleri Şekil 7.5'te verilmiştir.

Şekil 7.5'te verilen kopmuş durumdaki çekme numuneleri incelendiğinde, atmosferik şartlarda deniz kenarında birleştirilmiş numunelerde (Şekil 7.5 a) kopmanın kaynak bölgesi dışından yani ana malzemedan gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca çekme testleri sonucunda, kopmuş kaynaklı numunelerin kırılma yüzeyleri üzerinde gözle yapılan incelemeler sonucunda kopmanın sünek türde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin kaynak bölgesinde kopmaya sebep olabilecek bir hatanın olmadığı, tahribatsız muayene uygulamalarında tespit edilen hataların da kaynağın mukavemetine olumsuz etkiye neden olmadığını göstermektedir. Çekme deneylerinde kopmanın ana malzemelerden olması memnuniyet verici bir kaynak işleminin gerçekleştirildiğinin göstergesi olarak değerlendirilebilir.



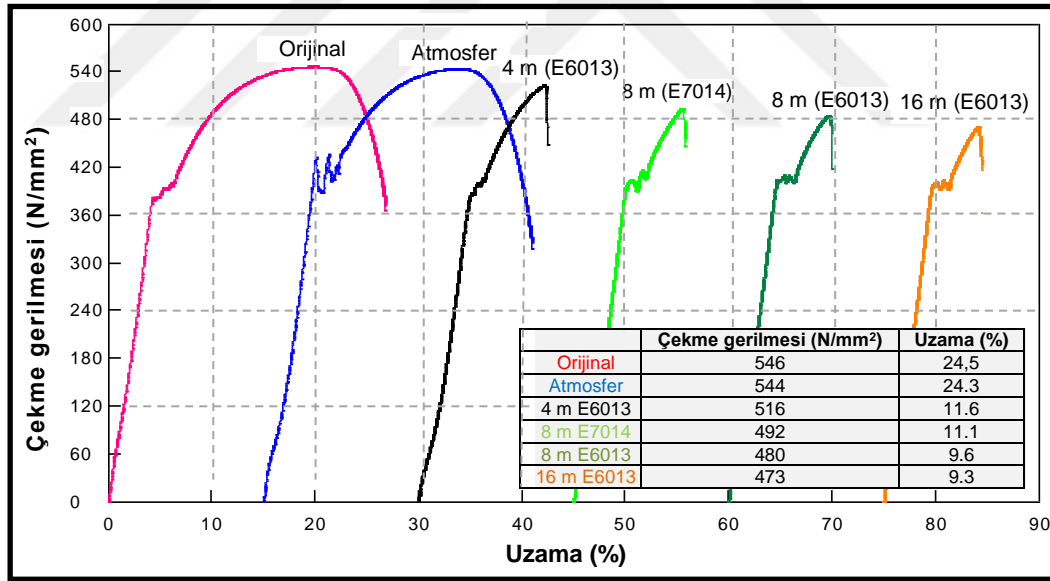
Şekil 7.5. Çekme deneyi sonucu numunelerin görünüşü a) atmosferik, b) 4 m, c) 8 m (E6013), d) 8 m (E7014) ve e) 16 m.

Su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin kırılma bölgeleri incelendiğinde, tüm numunelerde kopmanın kaynak metallere meydana geldiği Şekil 7.5 b, c, d ve e’de açıkça görülmektedir. Kırık yüzeyler üzerinde gözle yapılan muayene sonucunda kırılma türünün gevrek türde olduğu ve genellikle kırık yüzeyde irili/ufaklı cüruf kalıntısı ve/veya gaz boşluğunun olduğu görülmüştür. Hızlı soğumadan kaynaklanan gaz boşlukları ve cüruf kalıntılarının da çekme testi esnasında kopma için bir başlangıç oluşturduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca çok pasolu kaynaklarda pasolar arası temizliğin iyi yapılmaması da kaynak metalinde cüruf kalıntılara sebebiyet vermektedir. Literatürde [33], cüruf temizliğinin önemi

için, çok pasolu kaynaklarda sonraki pasoyu çekmeden önce cürufu tamamen çıkarmak için cüruf sökme aletlerinin gerekli olduğu vurgulanmıştır.

Arias ve Bracarense [25] normalden daha yüksek basınçtaki bir ortamda (hyperbaric chamber) V kaynak ağzı açılmış çelik malzemelere 3.25 çapında vernik ile kaplanmış (Tubolit VVE 815 vinyl) E6013 rutil elektrod ile 16 paso kaynak işlemi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda sualtı kaynağı sırasında çok hızlı katılma veya çok düşük sıcaklık nedeniyle, cürufun (oksitlerin) ergimiş metalin yüzeyine yükselmesi için yeterli zaman olmadığını, bu cürufların ergime sınırlarında bir çatlama sorunu oluşturabileceğini rapor etmişlerdir.

Şekil 7.6'da kaynak işlemlerinde ana malzeme olarak kullanılan Grade AH36 ve hem atmosferik şartlarda hem de su altında farklı derinliklerde birleştirilmiş kaynaklı numunelerin çekme test sonuçları grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7.6. Grade AH36 ve kaynaklı numunelerin çekme test sonuçları.

Şekil 7.6 dikkatli bir biçimde incelendiğinde göze çarpan en önemli faktör, grafiğin birbirlerine benzeyen iki tür (sünek ve gevrek) görünüm sergilemiş olmasıdır. Bunlardan ilki sünek davranış sergileyen orijinal malzeme ile atmosferik şartlarda birleştirilen numunelerden elde edilen grafikler, ikincisi ise gevrek davranış sergileyen su altında birleştirilen numune grafiklerinin birbirlerine benzer olmasıdır.

Şekil 7.6 incelendiğinde atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin ortalama 544 N/mm² çekme gerilmesi ve % 24.3 uzama değeri sunduğu görülmektedir. Bu değerler artı/eksi toleranslar dahilinde ana malzemenin çekme deneyi sonucu verdiği değerlerle benzer değerdir. Buna nazaran ana malzemeye göre su altında birleştirilen numunelerde çekme dayanımında daha az olmakla birlikte özellikle % uzama değerlerinde önemli ölçüde düşüş olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca su altında artan derinlikle birlikte çekme dayanımı ve % uzama değerlerinin ayrıca bir düşüş göstermiş olması gözden kaçmamaktadır. Kaynaklı numunelerin kopma yüzeyleri incelendiğinde bu durumun cüruf kalıntıları, gaz boşlukları vb kaynak hatalarından kaynaklandığı söylenebilir.

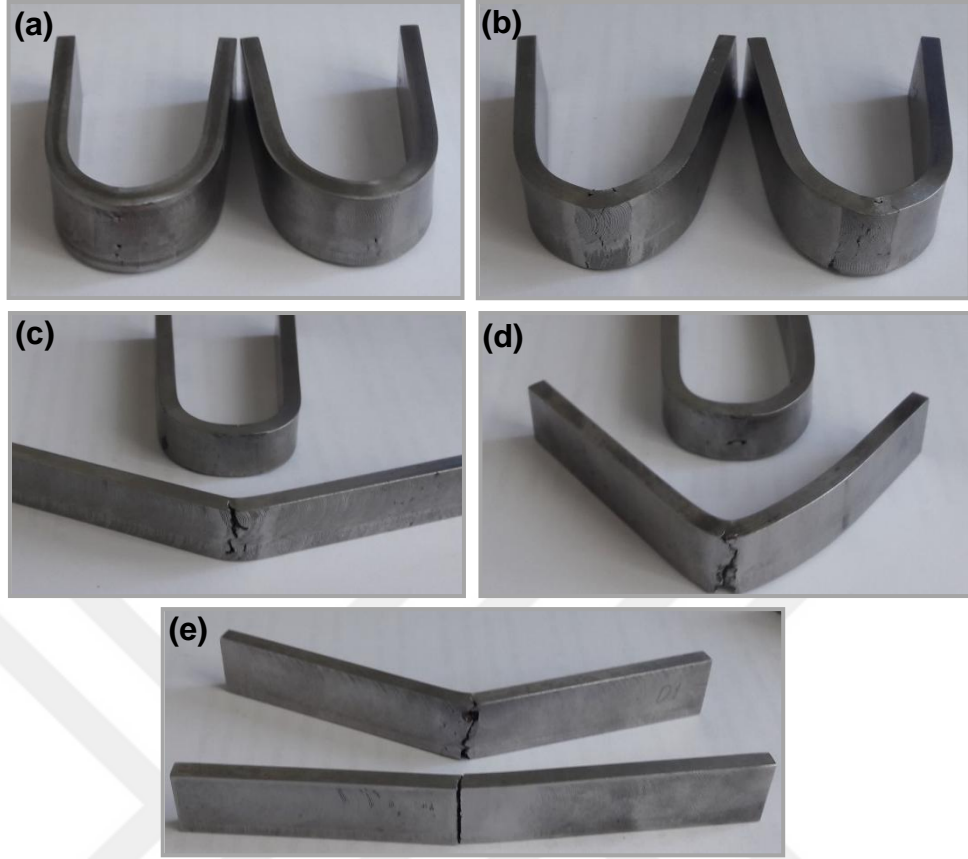
Deniz kenarında atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilmiş kaynaklı numunelerin orijinal ana malzemeye (AH 36) göre performansları (hem çekme dayanımı hem de % uzama olarak) kıyaslandığında atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin hem çekme dayanımı hem de % uzama olarak % 99'un üzerinde performans gösterdiği belirlenmiştir. Su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelere bakıldığında ise en yüksek performans % 94 çekme dayanımı ve % 47 uzama ile 4 m derinlikte birleştirilmiş numuneden elde edilmiştir. 8 m derinlikte orijinal su altı elektrodu (E7014) ile birleştirilen numuneden elde edilen performans çekme dayanımı için % 90, uzama için % 45 bulunurken aynı derinlikte E6013 elektrod ile birleştirilmiş kaynaklı numuneden çekme dayanımı olarak % 87, uzama olarak % 39 performans değerleri hesaplanmıştır. Burada orijinal elektrod (E7014) ile birleştirilmiş numunenin diğer elektrodla (E6013) birleştirilmiş numuneye göre daha düşük çekme test sonuçları verdiği görülmüştür. Son olarak 16 m derinlikte birleştirilmiş numunelerin performansına bakıldığında ana malzemeye göre çekme dayanımında % 86, uzama da ise % 37'lik bir başarıya ulaşıldığı görülmüştür. Kaynaklı bağlantılardan hesaplanan değerler incelendiğinde su altında derinlik arttıkça hem çekme mukavemetinin hem de % uzama değerlerinin azaldığı söylenebilir. Bu durum derinlik arttıkça artan su basıncının etkisiyle tane sınırlarında oluşan karbür kalıntılarının artışına yol açmakta dolayısıyla mukavemet ve uzama değerleri azalmaktadır.

Literatürde [8] demir karbon alaşımlarının kimyasal bileşimine karbon ve diğer alaşım elementlerinin ilave edilmesi, perlit ve beynit bölgelerine ait burun bölgeleri ile diğer kısımlarının sağa doğru kaymasına neden olduğu belirtilmiştir. İç yapıda tane sınırlarında karbür kalıntılarının artması ve hızlı soğumanın da etkisiyle su altında birleştirilen numunelerde ana malzemeye göre çekme sonuçlarında yaklaşık % 5-15 bir düşüş gözlenmiştir. Su altında birleştirilen numunelerde kaynak metalinin katılaşması esnasında hızlı soğumadan kaynaklı olarak cüruf yapıcı elementlerin kaynak metalinde kalıntı oluşumuna sebebiyet verdiği literatürde desteklenmektedir [3,4].

Li ve arkadaşları [32], ASTM Gr.65 (Q460) çelik malzemeleri özlü tel ark kaynak yöntemi ile Ni bazlı (UNS N02200) ve ER 308 ilave metal kullanarak su altında (underwater wet welded) ıslak ortamda birleştirmişler ve kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Kaynaklı bağlantılara yaptıkları çekme testleri sonucunda kopmanın kaynak metalinde meydana geldiğini ve ana malzemedeki ölçülen çekme dayanımı 543 MPa, uzama % 25 iken, bu değerlerin kaynaklı numuneden 518 MPa çekme dayanımı ve % 10-14 uzama olarak ölçüldüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, çatlakların birleşmenin ergime sınırında başladığını ve daha sonra kaynak metali içinde çoğaldığını, bu durum da kaynak metali içinde meydana gelen kopma ile sonuçlandığını rapor etmişlerdir.

7.6. EĞME DENEYİ

Deniz kenarında atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelere ilgili standartlar çerçevesince her numuneden 2'şer adet eğme numunesi hazırlanmış ve numunelerin her ikisine birden kep eğme testi uygulanmıştır. Uygulama sonucunda numunelerin görünüşü Şekil 7.7'de verilmiştir.



Şekil 7.7. Eğme deneyi sonrası numune görüntüleri a) atmosferik, b) 4 m, c) 8 m (E6013), d) 8 m (E7014) ve e) 16 m.

Şekil 7.7.a'da verilen görsellerde atmosferik ortamda birleştirilen numunenin kaynak yüzeyinde mevcut olan cüruf kalıntısından kaynaklı kısmi boşluklara rağmen 3 nokta eğme deneyinde 180° eğme deneyinin sorunsuz gerçekleştiği görülmektedir. Benzer şekilde 4 m derinlikte birleştirilen ve eğme deneyine tabi tutulan numunelerin 160° 'de gerçekleşen kaynak metalini ve ITAB'da oluşan yüzeysel çatlaklar dahi işlemin (180° 'ye eğme) tamamlanmasında herhangi bir sorun çıkarmamış ve eğme deneyi başarıyla tamamlanmıştır.

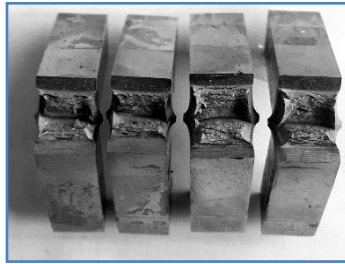
Şekil 7.7.c ve d'de verilen su altında 8 m (E 6013 ve E 7014) derinlikte birleştirilen numunelerden tesadüfi sonuçlar alınmıştır. Yani 8 m derinlikte yapılan kaynaklardan hazırlanan 2 adet eğme numunesinden 1'er taneleri 180° eğilmiş diğer 1'er taneleri ise küçük eğme açılarında hasara uğrayarak kaynak metalinden kırılmışlardır. Burada orijinal elektrod (E 7014) ile birleştirilen numunenin biraz daha yüksek eğme açısında hasar gördüğü gözlenmiştir. 16 m derinlikte birleştirilen numunenin eğme testlerinde ise her iki numune de çok küçük açılarda hasara uğramıştır.

Eğme testleri sonrasında kırık yüzeyler üzerinde yapılan gözle muayenede kırılmalara kaynak metalinde pasolar arasında kalan cüruf kalıntılarının ve gözeneklerin sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Gerek ultrasonik gerekse radyografik test sonuçları eğme test sonuçlarını doğrular niteliktedir.

Li ve arkadaşları [32], ASTM Gr.65 çelik malzemeleri özlü tel ark kaynak yöntemi ile farklı ilave metaller kullanarak su altında (underwater wet welded) ıslak ortamda birleştirdikleri çalışmada, kaynaklı numunelere eğme testleri uygulamışlardır. Eğme testleri sonucunda kep (yüz) eğme testlerinde numunelerin bükme açısı makro kusur olmadan 140°'ye kadar ulaşabilirken, kök eğme testlerinde bükme açısı 90° olarak gerçekleşmiştir.

7.7. ÇENTİK DARBE DENEYİ

Atmosferik şartlarda ve su altında katlamalı farklı derinliklerde örtülü elektrodla ark kaynak yöntemi birleştirilmiş numunelerin darbe tokluklarını belirlemek için ITAB ve kaynak metalinin merkezinden olacak şekilde 4'er adet numune, ayrıca 4 numune de Grade A gemi sacına uygulanmak üzere hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında toplam 44 adet numune hazırlanmıştır. AH 36 ana malzemenin darbe deney sonrası görüntüleri Şekil 7.8'de verilmiştir. Şekildeki ana malzeme kırık yüzeyleri incelendiğinde sünek tipi bir kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir.



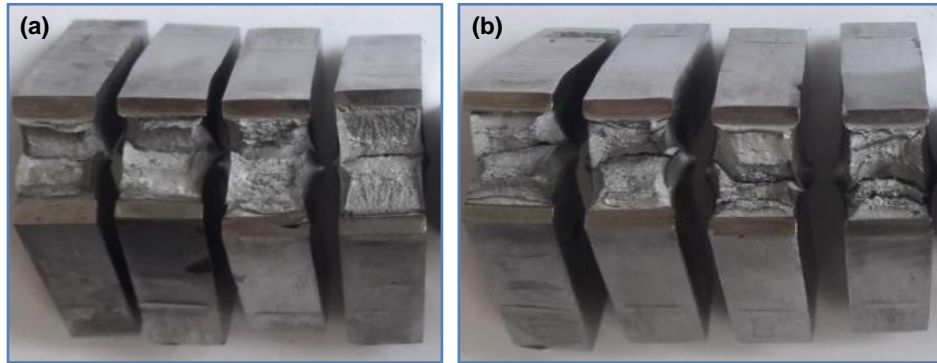
Şekil 7.8. AH 36 ana malzemenin kırık yüzey görüntüleri.

Şekil 7.9'da atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin darbe testi sonrası kaynak metallerinin kırık yüzeylerinden alınan görüntüler, Şekil 7.10'da ise su altında sadece 4 m ve 16 m derinliklerde birleştirilmiş (kırık yüzeyler birbirlerinin benzeri olduğundan burada sadece en

düşük ve en yüksek parametrelerde birleştirilmiş numuneler örnek olarak verilmiştir) kaynaklı numunelerin ITAB'larından darbe testi sonrasında elde edilen görüntüler verilmiştir.



Şekil 7.9. Kaynak metali kırık yüzey görüntüleri a) atmosferik şartlar, b) 4 m, c) 8 m (E6013, d) 8 m (E7014), ve e) 16 m.

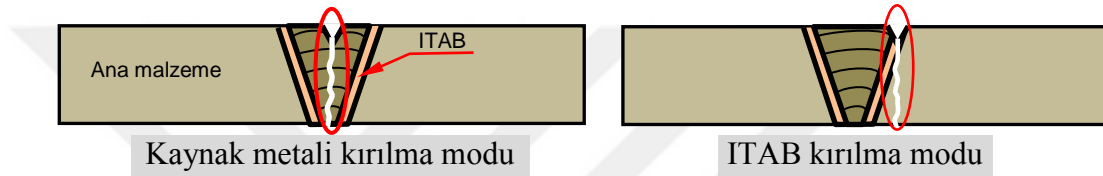


Şekil 7.10. ITAB kırık yüzey görüntüleri (a) 4 m ve b) 16 m.

Şekil 7.9'da verilen kaynak metali kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numune ile su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numune kırık yüzeylerinin farklılık gösterdiği görülmektedir. Burada atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numunenin kaynak metali yarı-sünek bir

kırılma davranışı sergilerken, su altında birleştirilmiş numunelerin kaynak metalleri ise daha gevrek bir kırılma yüzey görüntüsü sergilemiştir. Fotoğraflarda göze çarpan bir başka durum da su altında derinlik arttıkça kırık yüzeylerde meydana gelen cüruf kalıntısı, gözenek vb. hataların kaynak metalinde artmasıdır.

Şekil 7.10'da su altında 4 m ve 16 m derinlikte birleştirilmiş kaynaklı numunelerin ITAB kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde, kırılma tipinin sünek olduğu ve orijinal malzemeye (Şekil 7.8) benzerliği ile dikkat çekmektedir. Bu benzerliğin sebebi Şekil 7.11'de verilen şematik resim ile açıklanabilir.

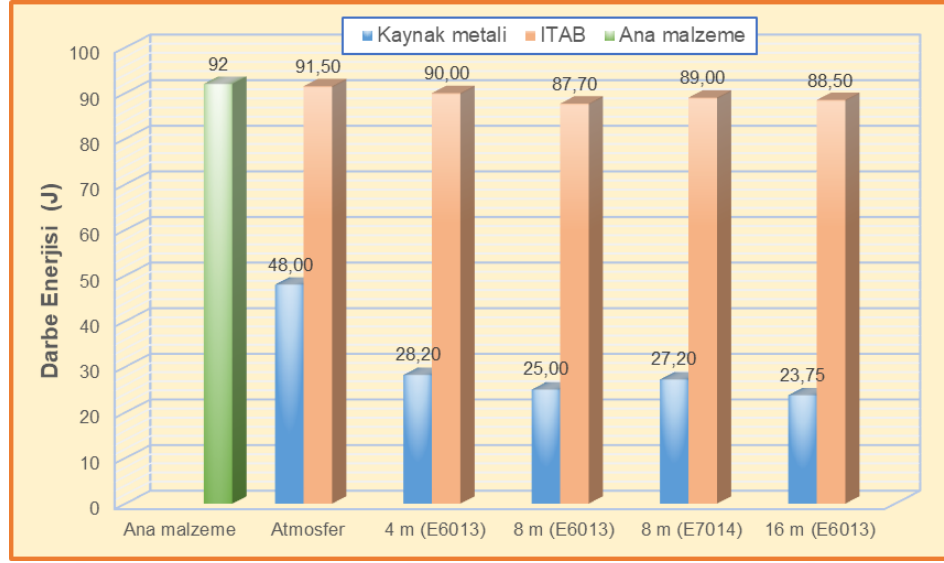


Şekil 7.11. Kaynak metal ve ITAB'ın darbe deneyinde kırılma bölgeleri.

Şekil 7.11'de verilen şematik resim incelendiğinde aslında ITAB'dan açılan çentiğin kırılma bölgesinin tam olarak ITAB değil, ITAB'a bitişik olan orijinal ana malzeme olduğu görülebilir. Su altında yapılan kaynaklarda hızlı soğumadan dolayı ITAB çok dardır. Bu yüzden kaynaklı numunelere standart çentik açıldığında çentiğin kendisinin bir kısmı kaynak metaline bir kısmı da bir fiil ITAB'a açılmaktadır.

Sonuç olarak darbe testi sonrasında kırılmanın tamamına yakını ana malzemeden veya ısıdan etkilenmeyen düşük sıcaklık bölgesinden gerçekleşmektedir. Dolayısı ile kaynaklı numunelerin kırık yüzeylerinden elde edilen kırık yüzey görüntülerinin birbirlerine benzerlik göstermesi gayet normaldir.

Şekil 7.12'de AH 36 ana malzeme ile deniz kenarında atmosferik şartlarda ve su altında katlamalı farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak bölgelerinden (kaynak metal ve ITAB) elde edilen darbe deney sonuçları (her bir sonuç, deneysel çalışmalardan elde edilen 4 değer aritmetik ortalamasıdır) grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7.12. Grade AH36 ve farklı derinlik değerlerine göre darbe deney sonuçları.

Şekil 7.12’de verilen çentik darbe deney sonuçları incelendiğinde kaynaklı numunelerin ITAB değerleri için darbe sönümlenme enerjisi birbirine yakın değerlerde seyrederken, kaynak metali sonuçlarında, atmosferik şartlarda birleştirilen numuneye su altı farklı derinliklerde birleştirilen numuneler arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Atmosferik şartlarda birleştirilen numunelerin kaynak metaline ait darbe deney sonucu 48 J bulunurken, su altında birleştirilen numuneler 4 m derinlikten başlayarak sırasıyla 28.20 J, 25.00 J, 27.20 J ve 23.75 J enerji absorbe etmişlerdir. Su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak metallerinden ölçülen tokluk değerlerin birbirlerinden farklı bulunmasının en büyük sebebi metalürjik/yapısal dönüşüm farklılıklarından ziyade kaynak metallerinde farklı miktarda ve boyutta oluşan gaz boşlukları ve cüruf kalıntılarıdır.

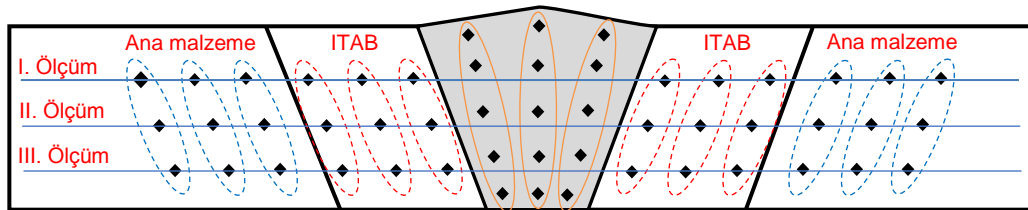
Atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin verimleri kıyaslandığında, su altında birleştirilen numunelerden, atmosferik şartlarda birleştirilmiş numunelere göre yaklaşık % 49-58 arasında bir başarı sağlanmıştır. Literatürde [4] kaynak metali için, atmosferik şartlarda birleştirilen bir numunenin darbe absorbe etme yeteneği, su altında birleştirilen numuneden yaklaşık % 50 oranında daha fazla olacağı belirtilmiştir.

Şekil 7.12’de verilen grafikte en dikkat çeken durumun ITAB’lardan ölçülen darbe tokluk değerlerinin ana malzemeye yakın bulunmasıdır. Ayrıca da atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin ITAB değerleri incelendiğinde de sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Su altında gerçekleştirilen kaynaklı numunelerin ITAB’larında derinliğin artmasına bağlı olarak darbe dayanımının azaldığı/arttığına dair bir bulguya rastlanılmamıştır. Kaynaklı numunelerin ITAB darbe değerlerinin birbirlerine ve ana malzemeye yakın çıkmasının sebebi Şekil 7.11’deki şematik resim üzerinden anlaşılabilir. Su altında birleştirilen numunelerin tümünde çentiğin ITAB’da olmasına rağmen nihai kırılmanın ana malzemeden gerçekleştiği tahmin edilmektedir.

Su altı farklı derinliklerde örtülü elektrodla ark kaynağı üzerine yaptığı çalışmasında İmdat K., [3] açık havada yapılan birleştirmelerin, su altında yapılan birleştirmelere göre neredeyse iki kat daha yüksek enerji sönümlenme kabiliyeti sunduğunu rapor etmiştir.

7.8. SERTLİK DENEYİ

Atmosferik şartlarda ve su altında ark kaynak yöntemiyle birleştirilmiş olan Grade AH36 gemi sacının mikroyapı/sertlik incelemeleri için atmosferik şartlarda birleştirilen parçadan 1 adet ve su altı farklı derinliklerde yapılan kaynaklı birleştirmelerden de 1’er adet olmak üzere toplamda 5 adet mikroyapı/sertlik incelemesi için numune hazırlanmıştır. Grade AH36 gemi sacının ortalama sertlik değeri 173 HV_{0,5} olarak ölçülmüştür. Şekil 7.13’de sertlik ölçme yöntemini ifade eden şematik gösterim verilmiştir. Çizelge 7.1’de ise yapılan çalışma sonucunda elde edilen değerlerin ortalama sonuçları verilmiştir.

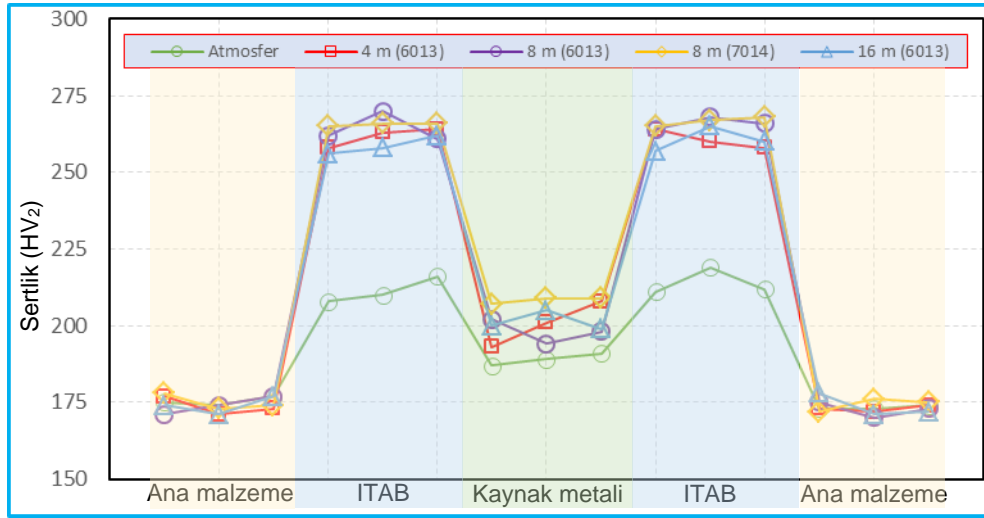


Şekil 7.13. Sertlik ölçme yönteminin şematik olarak gösterimi.

Çizelge 7.1. Kaynaklı numunelere ait sertlik deneyi sonuçları.

A Parçası (Atmosfer)				B Parçası (4 m E6013)							
Ana Malzeme	175	Kepten Köke	190	Ana Malzeme	177	Kepten Köke	207				
	174				171						
	177				173						
ITAB	208			Kepten Köke	193			ITAB	258	Kepten Köke	201
	209								263		
	216								264		
Kaynak Metali	187			Kepten Köke	187			Kaynak Metali	193	Kepten Köke	208
	189								201		
	191								208		
ITAB	211			Kepten Köke	192			ITAB	264	Kepten Köke	213
	219	260									
	212	258									
Ana Malzeme	173	Kepten Köke	192	Ana Malzeme	173	Kepten Köke	213				
	173				172						
	174				174						
C Parçası (8 m E6013)				D Parçası (8 m E7014)							
Ana Malzeme	171	Kepten Köke	212	Ana Malzeme	178	Kepten Köke	211				
	174				173						
	177				174						
ITAB	262			Kepten Köke	202			ITAB	265	Kepten Köke	207
	270								267		
	261								266		
Kaynak Metali	202			Kepten Köke	194			Kaynak Metali	207	Kepten Köke	209
	194								209		
	198								208		
ITAB	264			Kepten Köke	208			ITAB	265	Kepten Köke	215
	268	267									
	266	268									
Ana Malzeme	175	Kepten Köke	208	Ana Malzeme	172	Kepten Köke	215				
	170				176						
	173				175						
E Parçası (16 m E6013)											
Ana Malzeme	174	Kepten Köke	209	Ana Malzeme	171	Kepten Köke	205				
	171				177						
	177				177						
ITAB	256			Kepten Köke	200			ITAB	258	Kepten Köke	199
	258								264		
	264								264		
Kaynak Metali	200			Kepten Köke	200			Kaynak Metali	205	Kepten Köke	213
	205								205		
	199								199		
ITAB	257			Kepten Köke	213			ITAB	265	Kepten Köke	213
	265	260									
	260	260									
Ana Malzeme	178	Kepten Köke	213	Ana Malzeme	178	Kepten Köke	213				
	171				171						
	172				172						

Özellikle düşük alaşımli çeliklerde çatlama riski en fazla olan ITAB’da sertliğin 350 HV değerini aşmaması istenmektedir. Yapılan sertlik testlerinde bu değeri geçen herhangi bir değere rastlanmamıştır. Şekil 7.14’de sertlik deneylerine ait sonuçların grafiği verilmiştir. Verilen grafikte, atmosferik şartlarda birleştirilen numuneden elde edilen kaynak bölgesi (kaynak metali ve ITAB) genişliği ile su altında birleştirilen numunelerden elde edilen kaynak bölgesi genişliğinin farklı olduğu unutulmamalıdır.



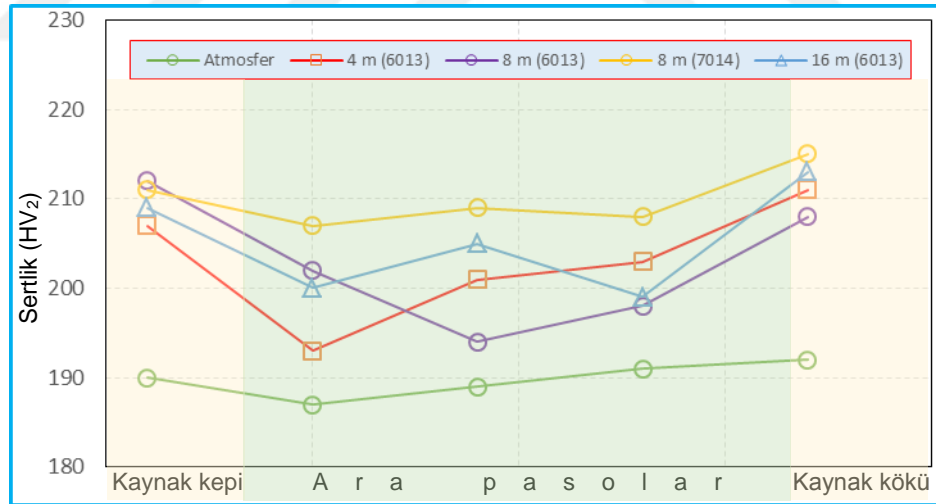
Şekil 7.14. Kaynaklı numunelere ait sertlik deneyi sonuçları.

Çizelge 7.1 ve Şekil 7.14’de verilen kaynak bölgesine ait sonuçlar incelendiğinde en yüksek sertliğin max 270 HV olarak ITAB’dan ölçüldüğü, ITAB’ı sırasıyla max 209 HV ile kaynak metali ve max 177 HV ile ana malzemenin takip ettiği görülmektedir. Grafikte, atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numune sertliğinin hem kaynak metalinde hem de ITAB’da su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelere göre daha düşük sertlik değerleri sergiledikleri açıkça görülmektedir. Su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numuneler kendi aralarında kıyaslandığında ise özellikle ITAB’larda, derinliğin ITAB sertliğini etkileyecek bir bulguya rastlanılmazken, kaynak metallere ise orijinal su altı kaynak elektrodu (E 7014) ile birleştirilmiş numunenin diğerlerine göre bir miktar (yaklaşık 5-10 HV) yüksek sertlik verdiği tespit edilmiştir.

Wang vd. [28]; özlü tel ile ark kaynak yöntemi ile E40 çelik malzemeleri geliştirdikleri bir tank içerisinde ultrasonik titreşim kullanarak ve kullanmaksızın ıslak kaynak işlemi gerçekleştirmişler ve ultrasonik titreşimin etkilerini incelemişlerdir. Sertlik çalışmaları sonucunda hem titreşimli hem de titreşimsiz birleştirilen kaynaklı numunelerde en yüksek sertliğin ITAB’da olduğunu, kaynak metali sertliklerinin ise ana malzemenin daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. ITAB’da sertlik artışının daha çok iri taneli bölgede meydana geldiğini, bunun sebebinin de katılma sırasında meydana gelen iğnemsiz (laht) martenzit olduğunu belirtmişlerdir.

Kaynak elektrodu üreticileri, elektrod metalinin bileşimini o denli ayarlamışlardır ki, ergiyen esas metal ile bir miktar karışmasına rağmen, soğuma sonucunda ergiyen bölgede bir sertleşme görülmez, buna karşın ergime bölgesine bitişik olan esas metalde (ITAB) bu kısım yüksek sıcaklığa kadar ısınmış ve soğumuş olduğundan bir sertlik yükselmesi ile karşılaşır [13]. Bir başka ifade ile elektrod üreticileri tarafından, kaynak metalinin bileşimi, hızlı soğuma halinde dahi sertleşme oluşturmayacak şekilde ayarlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan kaynak işlemlerinin tamamı çok pasolu olarak gerçekleştirilmiştir. Çok pasolu kaynaklarda sertlik ölçümünün yapıldığı pasonun, hatta bir paso içerisindeki sertlik alınan bölgenin sertlik değerlerinin farklılık göstermesi metalürjik açıdan normal karşılanabilir. Bu yüzden kaynaklı bağlantılardan enlemesine sertlik ölçümünün yanında sadece kaynak metalinden boylamasına da (kaynak kökünden kaynak kepine doğru) ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçları Şekil 7.15’de verilmiştir.



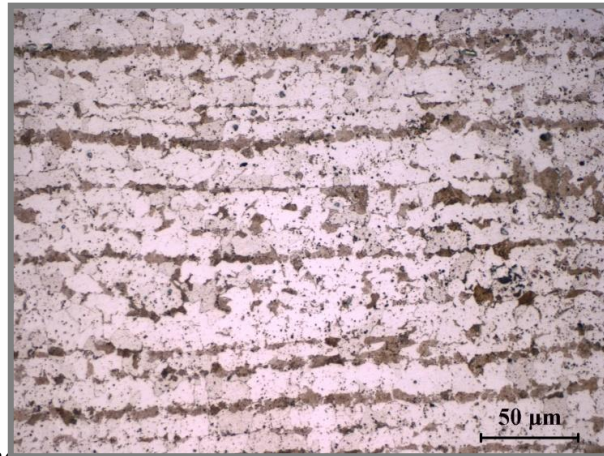
Şekil 7.15. Kepten köke sertlik grafiği.

Şekil 7.15’de verilen sertlik grafiği incelendiğinde atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numune sertliğinin su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerden daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca enlemesine yapılan ölçüm sonucunda en yüksek sertliğe sahip orijinal elektrod (E7014) ile birleştirilmiş numunenin sertliğinin burada da en yüksek sertliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil

7.13'de verilen grafikte göze çarpan bir başka durum da özellikle su altı kaynaklarda daha belirgin olmak üzere kaynak kep ve kök pasoların ara pasolara göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olmasıdır. Bu durumun, çok pasolu kaynak uygulamalarında bir önceki pasonun bir sonraki paso ile gelen ısı girdisiyle kısmen normalizasyon tavlama etkisine girmesiyle açıklanabilir. Literatürde [46] düşük karbonlu bir çelik malzemeye çok pasolu kaynak uygulaması ile elde edilen sonuca göre kökte bulunan ilk pasoların ince taneli izotrop, dış kapakları oluşturan son pasoların ise iri ve sütunsal taneli yönlenmiş yapıları oluşturduğu gözlemlendiği ifade edilmiştir. Bu açıklamalar ışığında kaynak metalinde kepten köke doğru yapılan sertlik çalışmalarında elde edilen ortalama sonuçlardaki farklılıkları açıklamak mümkün olmaktadır.

7.9. MAKRO/MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Makro/mikroyapı çalışmaları atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilmiş kaynaklı malzemelerin kaynak bölgesinde (kaynak metali ve ITAB) meydana gelen farklılıkları birbirleriyle kıyaslayarak inceleyebilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deneysel çalışmada kullanılan Grade AH36 gemi sacı yapısı, kaynaklı malzemelerin yapısı ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmek için mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.16'de bu çalışmada kullanılan Grade AH36 gemi sacı malzemesinin orijinal mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



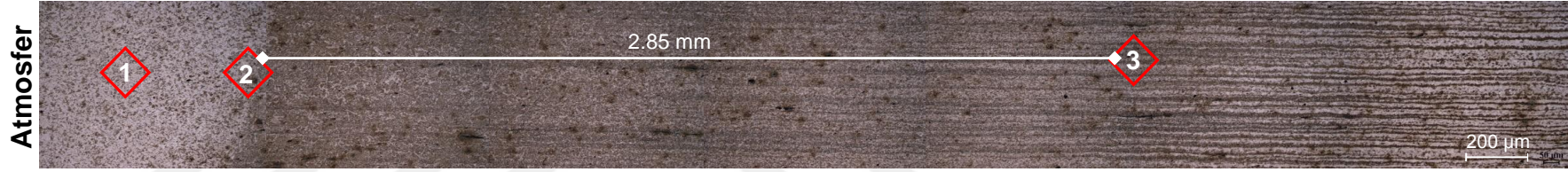
Şekil 7.16. Grade AH36 gemi sacı malzemesinin orijinal mikroyapı görüntüsü.

Şekil 7.16 incelendiğinde, yapının genel itibarıyla eş aksel ferrit ve perlitten

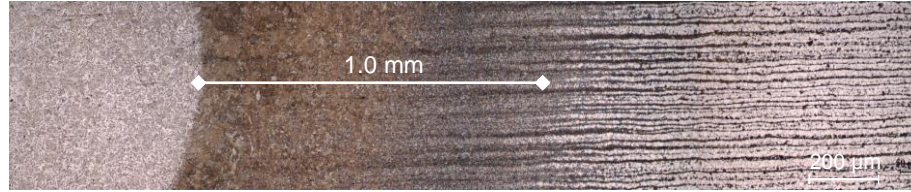
oluştugu, burada yapının büyük bir kısmının ferrit olduğu ve çok az miktarda perlitin varlığı (koyu renkli) göze çarpmaktadır. Ayrıca yapıda, hadde yönünde uzama gösteren oksit ve sülfür kalıntılarında olduğu düşünülen bantlaşmalar görülmektedir. Literatürde [5], Grade AH36 malzemenin mikroyapısının ferrit ve perlit tanelerinden oluşan bir yapıya sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca bir başka çalışmada [47] AH 36 malzemede meydana gelen bantlı yapının, termo-mekanik kontrol işlemi sırasında ortaya çıkan mikro-yapısal değişikliklerden kaynaklandığı rapor edilmiştir.

Atmosferik şartlarda ve su altında katlamalı farklı derinliklerde birleştirilen numunelere ait Şekil 7.17'de verilen makroyapı görselleri incelendiğinde kaynak metali, kaynak geçiş bölgeleri ve ITAB genişliği net olarak seçilebilmektedir. Deniz kenarında atmosferik şartlarda birleştirilen numunede ITAB genişliği 2.85 mm ölçülürken, su altında 4 m derinlikte birleştirilmiş numunede bu değer 1.0 mm, 8 metre derinlikte E6013 elektrod ile birleştirilmiş numunede 0.94 mm, yine 8 metre derinlikle E7014 elektrodla birleştirilmiş numunede 0.92 mm ve son olarak su altında 16 metre derinlikte birleştirilmiş kaynaklı numunede 0.81 mm olarak ölçülmüştür. Literatürde [46], ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) 727 °C sıcaklığa kadar ısınıp soğumuş olan bölge olarak tanımlanmış ve genişliğinin şartlara göre 1-3 mm aralığında olduğu ifade edilmiştir. Çalışma sonucu hem atmosferik şartlarda, hem de su altında farklı derinliklerde birleştirilmiş kaynaklı numunelerin ITAB'larından ölçülen uzunluklar literatürde verilen bilgiler ile örtüşmektedir.

Ayrıca literatürde [48], su altında kaynakta ITAB'ın genişliğinin, açık havada yapılan kaynaktakinin % 25 ila 50'si kadar olacağı belirtilmiştir. Su altında gerçekleştirilen kaynakların atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklara göre daha dar bir ITAB'a sahip olması suyun kaynak bölgesini hızlı soğumasıyla açıklanabilir.



4 metre

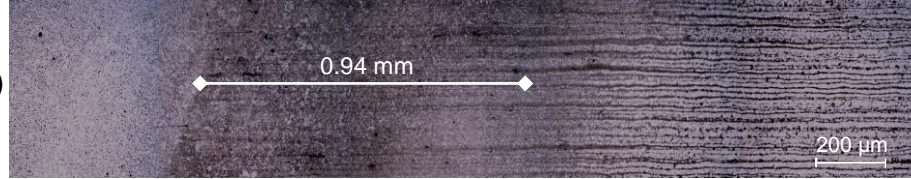


1 Kaynak metali

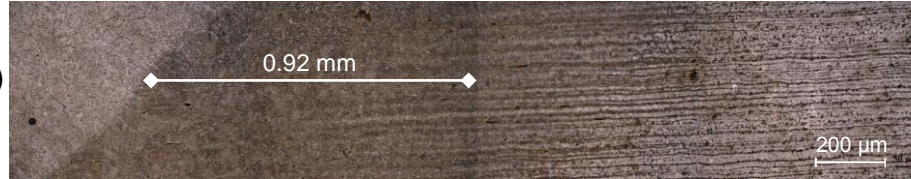
2 Kaynak metali-ITAB geçişi
(ergime sınırı)

3 ITAB-ana malzeme geçişi

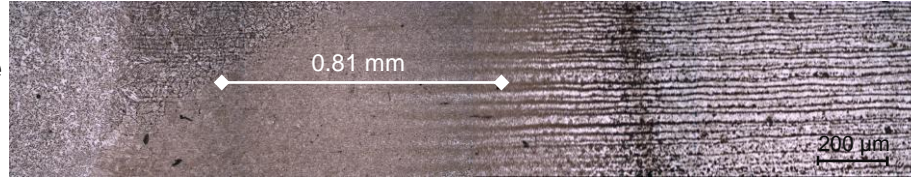
8 metre (E6013)



8 metre (E7014)



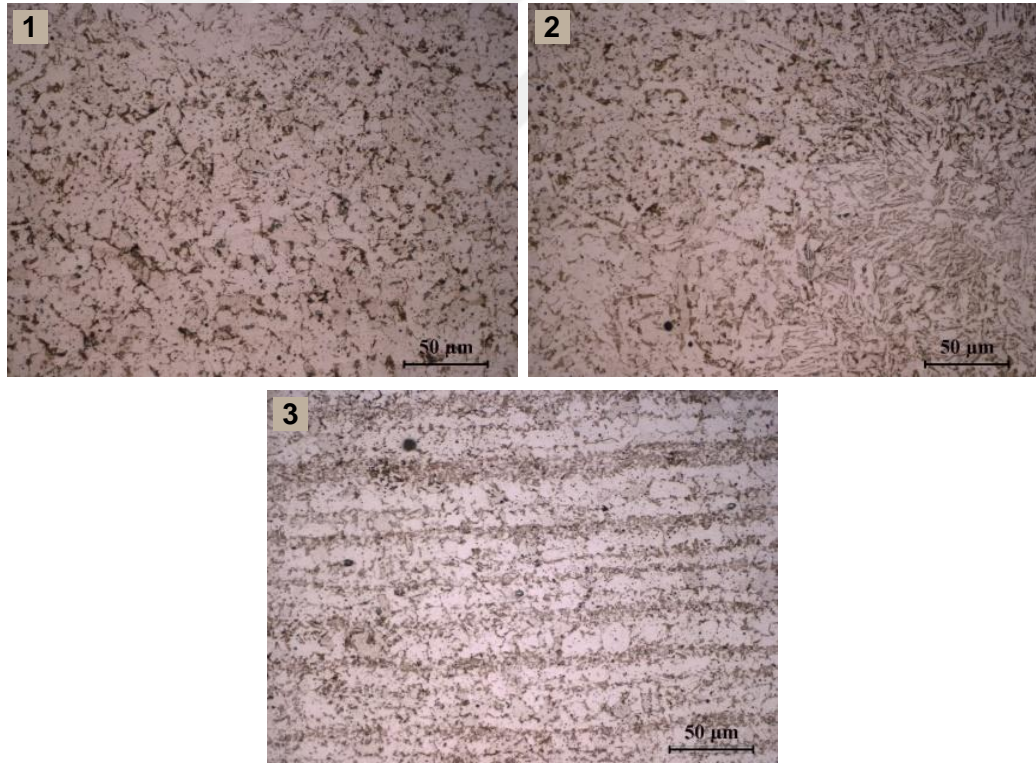
16 metre



Şekil 7.17. Numunelerin kaynak metali, ITAB ve ana malzeme ile geçiş bölgelerinin makroyapı görüntüleri.

Kaynaklı imalat sürecinde malzeme ark nedeniyle oluşan yüksek ısı girdisine maruz kalmaktadır. Literatürde [49] kaynaklı birleştirmelerde Fe-C denge diyagramında belirtilen A_1 (723 °C) sıcaklık çizgisinin üzerindeki sıcaklığa ısınan tüm alan ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) olarak tanımlanmıştır. Bu yüksek ısı girdisi soğumayı yavaşlatır ve yavaşlayan soğumanın etkisiyle daha kaba yapıların oluştuğu ITAB, kaynaklı bağlantıların optik görüntülerinden de görülmektedir (Şekil 7.17). ITAB yapılarının atmosferik şartlarda birleştirilen numunede daha geniş iken su altı farklı derinliklerde birleştirilen numunelerde daha dar bir alanı kapsadığı görülmektedir.

Şekil 7.18’da atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numunenin kaynak bölgesinin (1: kaynak metali, 2: kaynak metali-ITAB geçişi ve 3: ITAB-ana malzeme geçişi) mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.18. Atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü.

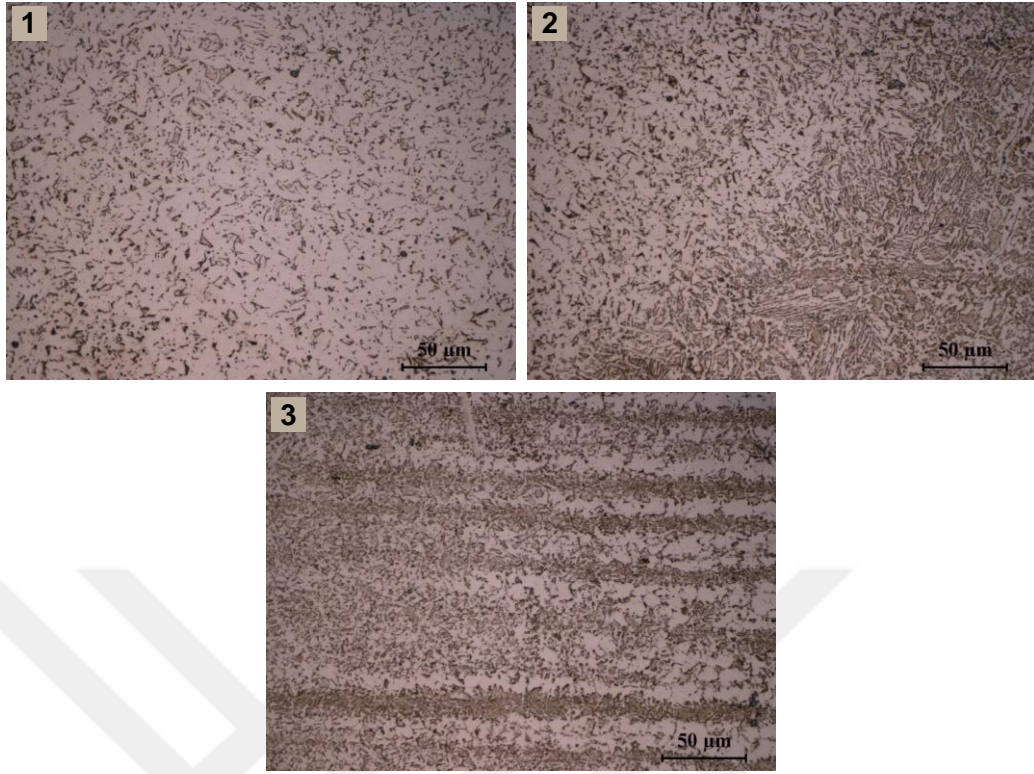
Şekil 7.18’da verilen 1 nolu resim incelendiğinde, kaynak metali merkezine yönelmiş, klasik kaynak metalindeki dentritik yapının hakim olduğu belirgin bir şekilde görülmektedir. Tanesel yapıyı şekillendiren ilk etmenin soğuma hızı olduğu

bilinmektedir. Yavaş soğuma iri tane, hızlı soğuma ise ince tane oluşumuna sebep olmaktadır. Literatürde [50], düşük karbonlu ve düşük alaşımlı kaynak metalinde soğuma hızına bağlı olarak oluşan yapıların, tane sınırı ferriti, widmanstatten ferrit, asiküler ferrit ve perlit olabileceği belirtilmektedir. Ana malzemenin karbon eşdeğerliğinin düşük olmasından ($C_{es}=0,43$) dolayı kaynaklı numunelerin genelinde de martenzit oluşumunun gerçekleşmediği düşünülmektedir. Çalışma sonucunda ağırlıklı olarak kaynak metalinde poligonal ferrit ve perlit taneleri olduğu gözlemlenmiştir.

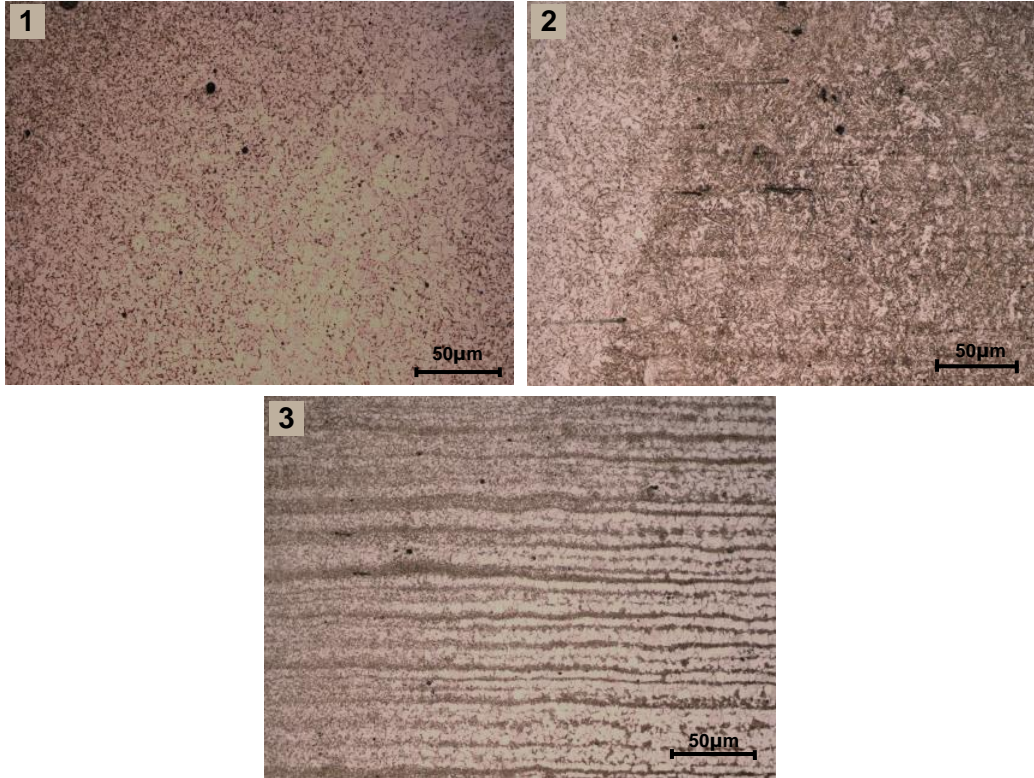
Isı tesiri altında kalan bölgede (Şekil 7.18-2), tane boyutunun büyüdüğü ve kolonsal formda olduğu görülmektedir. Mikroyapı görselleri incelendiğinde ana malzemeye ve kaynak metali mikroyapılarına göre tanelerin daha iri, ferrit ve perlit yapılarının olduğu gözlenmiştir. Bilindiği gibi bu bölge kaynak esnasında yüksek sıcaklıklara çıkmakta ve bu sıcaklığın etkisi ile taneler birleşerek daha büyük taneler haline dönüşmektedirler. Bu taneler ergime sınırından başlayarak ince taneli bölgeye kadar devam ederler ve ergime sınırından uzaklaştıkça da küçülürler. Literatürde [51] yüksek ısı girdisinin soğumayı yavaşlattığı ve bu yavaşlayan soğumanın etkisiyle ITAB'da daha kaba yapıların olduğu belirtilmiştir. Ribeiro ve arkadaşları [47] AH 36 malzemeleri tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve ısıdan etkilenen bölgenin poligonal ferrit, tane sınırı ferrit, hizalanmış / hizalanmamış ikinci faz ferrit, karbürlü ferrit ve martensit / östenit mikro bileşenlerini içerdiğini rapor etmişlerdir. Bu mikroyapısal değişiklikler, AH36 çeliğinin ısıdan etkilenen iri taneli bölgesindeki sıcaklığının Ac_3 sıcaklığının üzerinde olduğundan östenit tanelerinin büyümesini teşvik etmektedir.

Kaynak uygulaması çok pasolu olarak gerçekleştirildiği için bir sonraki kaynak pasosunun öncekine ısı girdisi uyguladığı bir gerçektir. İmdat vd., [48] su altında yaptıkları benzer bir çalışmada kaynak uygulaması çok pasolu olarak gerçekleştirildiği için sonraki kaynak pasosunun öncekine ısı girdisi uyguladığını bildirmişlerdir. Bu nedenle kaynak metalinin ısıl işlem deneyimli oluştuğunu ifade etmişlerdir.

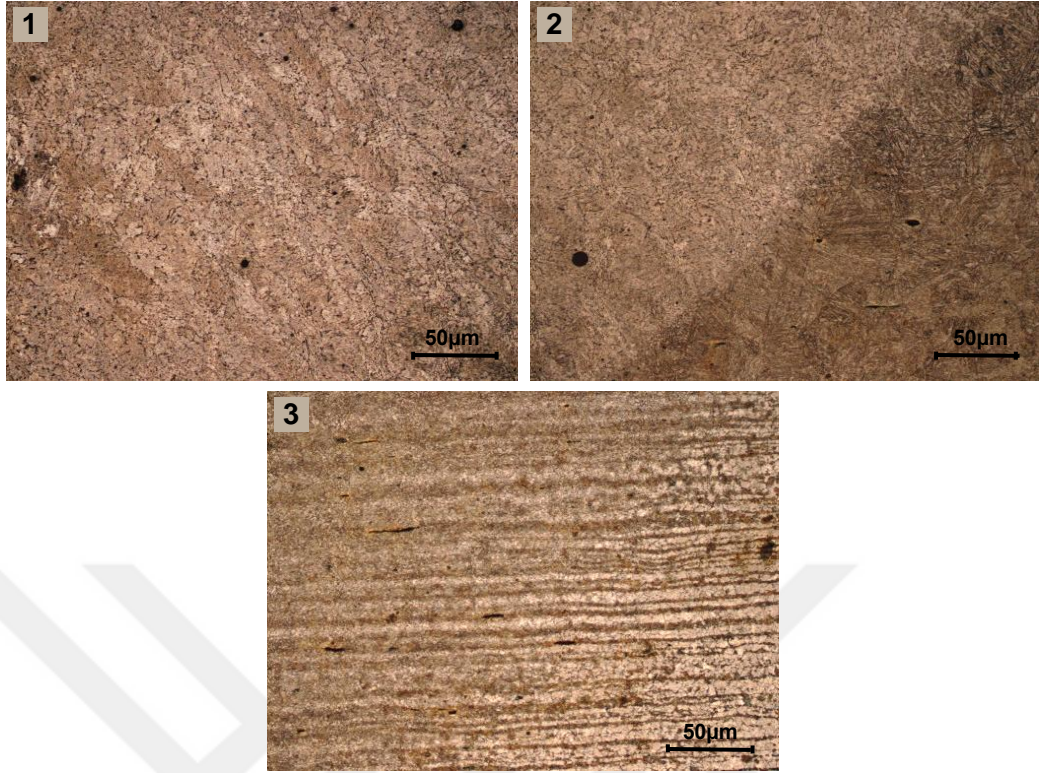
Su altı farklı derinliklerde birleştirilen numunelerin mikroyapı görselleri sırasıyla Şekil 7.19-22 aralığında verilmiştir.



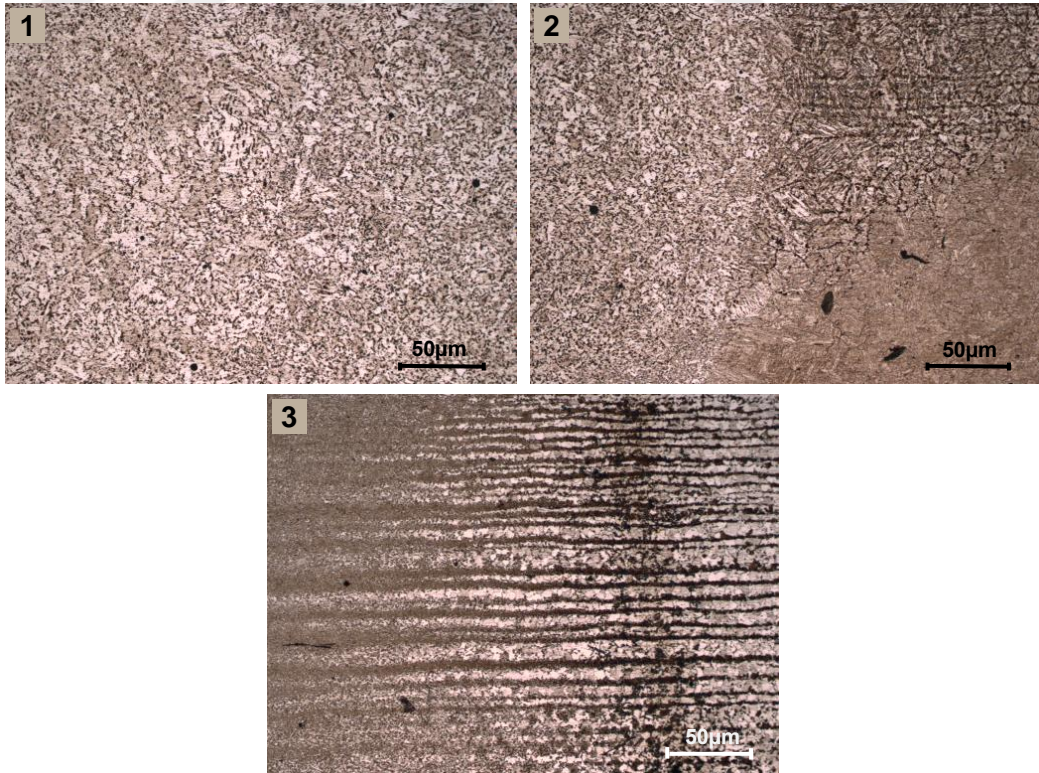
Şekil 7.19. 4 m derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (E6013).



Şekil 7.20. 8 m derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (E6013).



Şekil 7.21. 8 m derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (E7014).



Şekil 7.22. 16 m derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (E6013).

Su altında farklı derinliklerde E 6013 elektrod kullanılarak birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak metallerin mikroyapılarının tane ebadı hariç birbirlerine son derece benzediği görülmektedir. Bu numunelerin kaynak metalleri ağırlıklı olarak asiküler ferrit ve widmanstatten ferritten oluşurken, E 7014 elektrodu ile 8 m derinlikte birleştirilmiş numunenin mikroyapısının ağırlıklı olarak poligonal ferritten oluştuğu gözlenmektedir.

Su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelerde derinlik farkıyla oluşan basıncın da etkisiyle, kaynak metalinde yer yer cüruf kalıntılarının oluştuğu görülmektedir. Ayrıca bu kalıntıların derinlik farkının yükselmesiyle de kısmen artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Su altı kaynaklı numunelerin tümü çok pasolu olarak gerçekleştirildiğinden, derinlik artışına bağlı olarak kaynak metalinde oluşan tanelerin derinlik artışına bağlı olarak tane ebadının değişmesi (küçülmesi veya büyümesi) gerekliliği beklenen bir durumdur. Ve mikroyapı resimlerinde de her dört kaynak metali tanelerinin de farklı ebatlarda olduğu görülmektedir. Burada mikroyapı resminin alındığı yerin konumu göz ardı edilmemelidir. Çünkü her bir sonraki pasonun, her bir önceki pasonun bir kısmına ve/veya tamamına ısıtma işlemi uyguladığı ve bu ısıtma işleminin de tane ebadı üzerinde etkili olacağı unutulmamalıdır.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Grade AH36 gemi sacının rutil örtü tipli E6013ve E7014 standardına sahip elektrod ve örtülü elektrodla ark kaynak yöntemi kullanılarak atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirildiği bu çalışmada;

- Kaynaklı numunelere gözle yapılan muayene sonucunda, atmosferik şartlarda birleştirilen numunelerde kaynak yüzey hatalarına (eksik veya fazla kaynak kepi, kökte çökme vb) rastlanılmazken su altında birleştirilmiş numunelerde yanma oluklarına, cüruf kalıntılara ve kökte yetersiz birleşme hatasına rastlanılmıştır.
- Sıvı penetrant, ultrasonik ve radyografik muayene işlemleri sonucunda, sualtı ark kaynağında oluşabilecek cüruf kalıntıları, gaz boşlukları ve yanma olukları hatalarına rastlanılmıştır. Bu muayenelerde yüzey ve yüzey altı kusurlardan çatlaklara rastlanmamıştır.
- Çekme test sonuçlarına göre atmosferik şartlarda birleştirilen numunede kopma ana malzemedен olurken, su altında birleştirilmiş numunelerin tümünde kopma kaynak metalinden olmuştur. Su altında kaynak yapılan derinliğin artışına bağlı olarak çekme mukavemetlerinde bir miktar düşüş olduğu görülmüştür. Bu da kaynak metalindeki hataların daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Çekme deneyi sonuçlarına göre, 16 m derinlikte su altında gerçekleştirilen ve çekme değeri, en düşük kaynaklı numunedeki mukavemet düşüşü (atmosferik şartlarda birleştirilene göre) yaklaşık % 15 olarak belirlenmiştir.
- Eğme deneyi sonuçlarına göre atmosferik şartlarda ve su altında 4 m derinlikte birleştirilen numunelerin kep eğme testleri başarıyla gerçekleşmiştir.

Ancak su altında 8 m ve 16 m derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerden tesadüfi sonuçlar alınmıştır. Eğme numunelerinin kırık yüzeyleri incelendiğinde derinlik farkı arttıkça porozite, gaz boşluğu ve kalıntı miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir

- Çentik darbe deney sonuçlarına göre atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin, su altı farklı derinliklerde birleştirilenlere göre yaklaşık % 30 daha yüksek darbe dayanımı sergilediği tespit edilmiştir.
- Sertlik ölçümleri sonucunda, tüm numunelerin kaynak metali sertlik değerlerinin ITAB'dan düşük, ana malzemedan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kaynak metalinde dikey ekseninde kep ve kök pasodan ölçülen sertlik değerlerinin orta pasolardan ölçülen sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Makro/Mikroyapı çalışmalarına göre su altında birleştirilen tüm numunelerin atmosferik şartlarda birleştirilen numuneye nazaran neredeyse %25-50 oranında daha dar ITAB'a sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum suyun kaynak bölgesinin hızlı soğumasına etkisi olarak ifade edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Kalyoncu, R., "Su altı kaynak-kesme yöntemleri ve parametrelerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3–34 (1997).
2. Kasapoğlu, H., "Su altı Kaynak Tekniğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1–23 (1988).
3. İmdat, K., "Grade A Gemi Sacının Örtülü Elektrod Ark Kaynak Yöntemi İle Su Altı Ve Atmosferik Şartlarda Birleştirilmesi ve Kaynaklı Birleştirmelerin Mekanik/Mikroyapı Özelliklerinin Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 2–45 (2017).
4. Kahraman, N., Gülenç B., "Modern Kaynak Teknolojisi", 3. Baskı, *Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti.*, Ankara, (2016).
5. Kaya, Y., "Patlamalı Kaynak Yöntemi İle Üretilen Grade A Gemi Sacı-Paslanmaz Çelik Kompozitlerin Mikroyapı, Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 7–19 (2014).
6. Stahleisen, V., Edelstahl, D., "Steel Manuel", Çeviri Editörü, Hakan Koçak, 1. Baskıdan Çeviri, Çelik Rehberi, *Nakış Ofset*, 6–20 (2012).
7. Gavas M., Yaşar, M., Aydın M., Altunpak, Y., "Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri", 4. Baskı, *Sözkesen Matbaacılık Tic. Ltd. Şti.*, Ankara, 52–56 (2015).
8. Callister, W. D., Rethwish, D. G., "Materials Science and Engineering", Çeviri Editörü Kenan Genel, 8. Baskıdan Çeviri, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, *Nobel Akademik Yayıncılık*, Ankara, 150–155, 360–370 (2015).
9. Özalp, T., "Gemi Yapısı ve Elemanları", *Özarkadaş Matbaası*, İstanbul, 44–45 (1977).
10. Milli Eğitim Bakanlığı, "Gemi Yapımı", *MGEP*, Ankara, 4–5 (2012).
11. Hayat, F., "Masif ve Özlü Kaynak Telleri İle Birleştirilen Çift-Fazlı Çeliklerin Mekanik ve Mikroyapı Özellikleri", Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1–58 (2009).
12. Anık, S., Tülbentçi, K., "Elektrik ark kaynağı", *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, 5–19 (1986).
13. Anık, S., Tülbentçi, K., Kulaç, E., "Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı", *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, 35–113,194, (1991).
14. Ünlü, B. S., Sargın, F., Çivi, C., "Elektrik ark kaynağı ile farklı akımlarda birleştirilmiş TS-Fe 37 çeliğinin kaynak bölgesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", *III. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Manisa, 1082–1091 (2014).

15. Anık, S., "Kaynak Tekniği El Kitabı", *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, 44–59 (1996).
16. Gourd, L. M., "Fundamentals of Welding Technology", Çeviri Editörü Dikicioğlu, A., Bodur, O., Eryürek, B., Kaynak Teknolojisinin Esasları, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 80–92 (1996).
17. Eryürek, B. İ., "Kaynak teknolojisi", 3. Baskı, *FSF Matbaacılık*, Kocaeli, 1–46 (2008).
18. Ünlü, B. S., Sargın, F., Çivi, C., "Elektrik ark kaynağı ile farklı akımlarda birleştirilmiş TS-Fe 37 çeliğinin kaynak bölgesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", *III. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Manisa, 1082–1091 (2014).
19. Komaç, E., "Teknik Eğitim El Kitabı", *Eczacıbaşı Holding Yayını*, 2–12 (2009).
20. İnternet: Aktaşoğlu, C., "Su Altı Kaynağı", <https://Prezi.Com/Hn5uymbxlzqu/Sualt-Kaynak> (2018).
21. "Mesleki Eğitim | İstanbul Üniversitesi Teknik Bilimler MYO", <http://teknikbilimlermyo.istanbul.edu.tr/sualtiteknojisi/?p=6419> (2018).
22. Published By Direction Of Commander, "Underwater Cutting & Welding Manual", *Naval Sea Systems Command*, 1-25,1–20 (2002).
23. "Su altı Kaynağı | CNG İş Sağlığı ve Güvenliği", <http://www.cngisguvenligi.com/tag/sualti-kaynagi/> (2018).
24. Świerczyńska, A., Fydrych, D., and Rogalski, G., "Diffusible hydrogen management in underwater wet self-shielded flux cored arc welding", *International Journal Of Hydrogen Energy*, 42 (38): 24532–24540 (2017).
25. Arias, A. R. and Bracarense, A. Q., "Fatigue crack growth rate in underwater wet welds: out of water evaluation", *Welding International*, 31 (5): 348–353 (2017).
26. Shannon, G. J., Watson, J., and Deans, W. F., "Investigation into the underwater laser welding of steel", *Journal Of Laser Applications*, 6 (4): 223–229 (1994).
27. Wang, J., Sun, Q., Zhang, S., Wang, C., Wu, L., and Feng, J., "Characterization of the underwater welding arc bubble through a visual sensing method", *Journal Of Materials Processing Technology*, 251: 95–108 (2018).
28. Wang, J., Sun, Q., Wu, L., Liu, Y., Teng, J., and Feng, J., "Effect of ultrasonic vibration on microstructural evolution and mechanical properties of underwater wet welding joint", *Journal Of Materials Processing Technology*, 246: 185–197 (2017).
29. Wang, J., Shi, J., Wang, J., Li, W., Liu, C., Xu, G., Maksimov, S. Y., and Zhu, Q., "Numerical study on the temperature field of underwater flux-cored wire arc cutting process", *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 91 (5–8): 2777–2786 (2017).
30. Feng, J., Wang, J., Sun, Q., Zhao, H., Wu, L., and Xu, P., "Investigation on dynamic behaviors of bubble evolution in underwater wet flux-cored arc welding", *Journal Of Manufacturing Processes*, 28: 156–167 (2017).

31. Shi, Y., Hu, Y., Yi, Y., Lin, S., and Li, Z., "Porosity and Microstructure of Underwater Wet FCAW of Duplex Stainless Steel", *Metallography, Microstructure, And Analysis*, 6: (2017).
32. Li, H., Liu, D., Song, Y., Yan, Y., Guo, N., and Feng, J., "Microstructure and mechanical properties of underwater wet welded high-carbon-equivalent steel Q460 using austenitic consumables", *Journal Of Materials Processing Technology*, 249: 149–157 (2017).
33. Tsai, C.-L. and Masubuchi, K., "Mechanisms of rapid cooling in underwater welding", *Applied Ocean Research*, 1 (2): 99–110 (1979).
34. Kahraman, N., "Kaynak Hataları ve Muayenesi", Yüksek Lisans Ders Notu, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 63–129 (2018).
35. TS EN ISO 17637, "Ergitme kaynaklarının tahribatsız muayenesi-Ergitme kaynaklı birleştirmelerin gözle muayenesini kapsar", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2011).
36. TS EN ISO 23277, "Kaynakların tahribatsız muayenesi - Kaynakların penetrant muayenesi - Kabul seviyeleri'ni içerir", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2014).
37. TS EN ISO 17638, "Kaynakların tahribatsız muayenesi - Manyetik parçacık muayenesini içerir", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2014).
38. TS EN ISO 11666, "Kaynakların tahribatsız muayenesi - Ultrasonik muayene-Kabul seviyelerini içerir", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2010).
39. TS EN ISO 5579, "Tahribatsız muayene-Metalik malzemelerin film ve X- veya gamma ışınlarıyla radyografik muayenesi - Genel kuralları içerir", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2014).
40. TS EN ISO 17636-2, "Kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenesi - Radyografik muayene - Bölüm 2: Dijital dedektörler ile X ve gama ışını tekniklerini içerir", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2013).
41. TS EN ISO 4136, "Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler-Enine çekme deneyi", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2012).
42. TS EN ISO 5173, "Metalik malzemelerde kaynak dikişleri üzerinde tahribatlı muayeneler-Eğme deneylerini gösterir", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2010).
43. TS EN ISO 9016, "Metalik malzemelerde kaynaklar üzerinde tahribatlı deneyler - Vurma deneyleri", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2012).
44. TS EN ISO 9015-2, "Metalik malzeme kaynaklarında tahribatlı deneyler-Sertlik deneyi-Kısım 2: Kaynaklı birleştirmelerde mikro sertlik deneyini içerir", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2011).
45. TS EN ISO 9015-1, "Metalik malzemelerdeki kaynaklar üzerinde tahribatlı deneyler-Sertlik deneyi-Bölüm 1: Ark kaynaklı birleştirmelerde sertlik deneyini içerir", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2011).
46. Özden, N., "Kaynağın ısı işleme", *Nurettin Uycan Cilt Ve Basım Sanayii A.S.*, İstanbul, 14-23,90-93 (1985).
47. Ribeiro A. C. N., Henein H., Ivey D. G., Brandi S. D., Evaluation of AH36 microalloyed steel welded joint by submerged arc welding process with one and

- two wires, *Materials Research*, 19 (1) 143-152, 2016.
48. İmdat, K., Kaya, Y., and Kahraman, N., "Grade A Gemi Sacının Örtülü Elektrod Ark Kaynak Yöntemi ile Su altı ve Atmosferik Şartlarda Birleştirilebilirliğinin Araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 21 (3): 543–552 (2018).
 49. Yükler, A. İ., "Kaynak metali", *MÜTEF Matbaası*, İstanbul, 2–60 (1994).
 50. Oğuz, B., "Ark Kaynağı El Kitabı", *Murat Matbaası*, İstanbul, 562 (1975).
 51. Demirel, O., "Farklı Çeliklerin Ark Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmesi Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 75–90 (2017).



ÖZGEÇMİŞ


Zahit ÇOLAK 1973 yılında Diyarbakır'da doğdu. 1988 yılında Karacailyas İlköğretim Okulundan, 1994 yılında Mersin Endüstri Meslek Lisesi Metal İşleri Bölümünden, 2000 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2002-2004 Bağcılar Hasan Kağnıcı İlköğretim Okulu Ders Öğretmeni, 2004-2005 Bağcılar Yenimahalle İlköğretim Okulu Ders Öğretmeni olarak çalıştı. 2013 yılında başlamış olduğu İş Güvenliği Uzmanlığına devam etmektedir.

e-mail: zahitcolak@hotmail.com



EK AÇIKLAMALAR A

SIVI PENETRANLA MUAYENE RAPORLARI

İş/Rapor No Job/Report No	İKE01-01	Rapor Tarihi Report Date	08.08.2017	Sayfa No Page No	1/2	Prosedür No Pro. No	ANDT-PT-PR04
Proje adı Project No	Sualtı Kaynak Test Parçaları - Atmosfer				Malzeme Material	Grade EH 36	
Müşteri Client	İcon Kaynak End.				Yüzey Durumu Surface condition	<input checked="" type="checkbox"/> Yumuşak <input type="checkbox"/> Kaba	
Kaynak Ağzı Weld prep.	<input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> I	Kaynak Bekleme Süresi Hours after welding		> 24 saat	Malz. Kaln. Materi. thick.	15 mm	
Kaynak Yönt. Welding groove	<input checked="" type="checkbox"/> Elek. Ark <input type="checkbox"/> Tozaltı <input type="checkbox"/> MIG <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> Özlü Tel <input type="checkbox"/> TIG		Isıl İşlem Heat Treated		<input type="checkbox"/> Evet <input checked="" type="checkbox"/> Hayır		
Gri alandaki bilgiler müşteri tarafından iletilmiştir / The gray box information is a client submit subject							
Test Standardı Examination Standard	<input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 3452-1		Kabul Kriteri Acceptance criteria		<input type="checkbox"/> EN ISO 23277 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2X <input type="checkbox"/> 3X		
Ön Temizlik Yöntemi Pre-cleaning method	Solvent ile		Muayene Sıcaklığı Test temperature		15°C		
Penetrant Tipi Penetrant type	<input type="checkbox"/> Tıf <input checked="" type="checkbox"/> Tıf		Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.		Chemetall S76 0900052663		
Ara Temizlik Intermediate cleaning	<input type="checkbox"/> Su Wi <input checked="" type="checkbox"/> Çözücü		Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.		Chemetall Ardox 907 PB 0900051850		
Geliştirici Developer	<input type="checkbox"/> Kuru Toz <input checked="" type="checkbox"/> Çözücü Bazlı		Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.		Chemetall LD7 0900049437		
Penetrasyon süresi Penetration time	30 dk		Geliştirme süresi Development time		10 dk		
Beyaz Işık / White light	1050 lx		Kısa Gösteriliş / Short form		IICe-2		
Ultraviyole ışık / UV- light	-		Son Temizlik / Final Cleaning		Solvent ile		
Süreksizlik No Imperf. No	Süreks. Tipi Imperf. Typ	Yeri Location	Açıklama Remarks	Kaynak No Weld No	Sürek. Tipi Impe. Typ	Yeri Location	Açıklama Remarks
1	5011	x : 380 mm	10 mm				
2	2017	x : 340 mm	Ø 3 mm				
3	2017	x : 90 mm	Ø 3 mm				
Sapmalar Deviations							
Test Kapsamı Extent of examination				Kaynak + ITAB, 100%			
Test Yeri Examination Place				AkademiNDT Laboratuvarı			
Muayeneyi yapan Examined By				Onay Approved By		Müşteri Client	
Ad soyad / Name	Osulcan KARAKCI						
Ünvan / Title	PT Seviye III						
Sertif. No / Certif.No	TüvNord 16-12254						
Muayn. tari. / Date	08.08.2017						
Akademi NDT Tahratsız Muayene ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. Yalı Mah. Topselvi Cad. MAI Residence No: 100 B Blok Kat: 8 D: 65 Kartal/İST. 0 216 504 66 38							

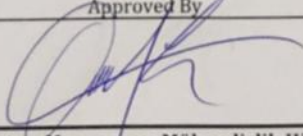
Şekil Ek A.1. Atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin muayene raporu (E6013).

İş/Rapor No Job/Report No	İKE01-01	Rapor Tarihi Report Date	08.08.2017	Sayfa No Page No	2/2	Prosedür No Pro. No	ANDT-PT-PR04
------------------------------	----------	-----------------------------	------------	---------------------	-----	------------------------	--------------



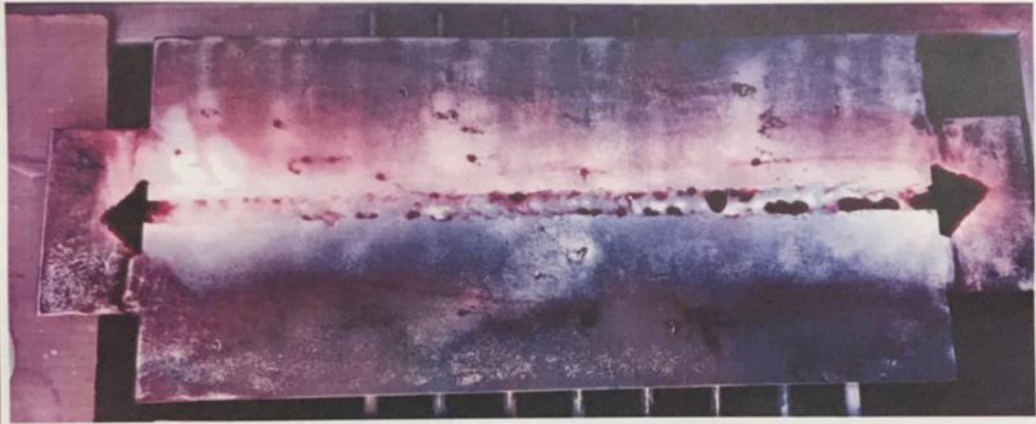
Muayeneyi yapan Examined By		Onay Approved By	Müşteri Client
Ad soyad / Name	Özkan KARAKI		
Ünvan / Title	PT Sınıf III		
Sertif. No / Certif. No	Tic. Sic. No: 26-1252		
Muayn. tari. / Date	08.08.2017		
Akademi NDT Tahribatsız Muayene ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. Yalı Mah. Topselvi Cad. MAI Residence No: 100 B Blok Kat: 8 D: 65 Kartal/İST. 0 216 504 66 38			

Şekil Ek A.2. Atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin muayene raporu devamı (E 6013).

İş/Rapor No Job/Report No	İKE01-02	Rapor Tarihi Report Date	08.08.2017	Sayfa No Page No	1/2	Prosedür No Pro. No	ANDT-PT-PR04
Proje adı Project No	Sualtı Kaynak Test Parçaları - 4 mt				Malzeme Material	Grade EH 36	
Müşteri Client	İcon Kaynak End.				Yüzey Durumu Surface condition	<input checked="" type="checkbox"/> Yumuşak <input type="checkbox"/> Kaba	
Kaynak Ağzı Weld prep.	<input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> I	Kaynak Bekleme Süresi Hours after welding		> 24 saat	Malz. Kalın. Materi. thick	15 mm	
Kaynak Yönt. Welding groove	<input checked="" type="checkbox"/> Elek. Ark <input type="checkbox"/> Tozaltı : <input type="checkbox"/> MIG <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> Özlü Tel : <input type="checkbox"/> TIG	Isıl İşlem Heat Treated		<input type="checkbox"/> Evet <input checked="" type="checkbox"/> Hayır			
Gri alandaki bilgiler müşteri tarafından iletilmiştir / The gray box information is a client submit subject							
Test Standardı Examination Standard	<input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 3452-1			Kabul Kriteri Acceptance criteria	<input type="checkbox"/> EN ISO 23277 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2X <input type="checkbox"/> 3X		
Ön Temizlik Yöntemi Pre-cleaning method	Solvent ile			Muayene Sıcaklığı Test temperature	15°C		
Penetrant Tipi Penetrant type	<input type="checkbox"/> Tıç <input checked="" type="checkbox"/> Tip	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.		Chemetall S76 0900052663			
Ara Temizlik Intermediate cleaning	<input type="checkbox"/> Su Wı <input checked="" type="checkbox"/> Çözücü	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.		Chemetall Ardox 907 PB 0900051850			
Geliştirici Developer	<input type="checkbox"/> Kuru Toz <input checked="" type="checkbox"/> Çözücü Bazlı	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.		Chemetall LD7 0900049437			
Penetrasyon süresi Penetration time	30 dk			Geliştirme süresi Development time	10 dk		
Beyaz Işık / White light	1050 lx			Kısa Gösteriliş / Short form	HCe-2		
Ultraviyole ışık / UV-light	-			Son Temizlik / Final Cleaning	Solvent ile		
Süreksizlik No Imperf. No	Süreks. Tipi Imperf. Typ	Yeri Location	Açıklama Remarks	Kaynak No Weld No	Sürek. Tipi Impe. Typ	Yeri Location	Açıklama Remarks
1	2025	x : 390 mm	10 mm	5	5011	x : 270 mm	7 mm
2	5012	x : 355 mm	30 mm	6	5011	x : 255 mm	5 mm
3	5012	x : 315 mm	20 mm	7	2017	x : 240 mm	2 mm
4	2017	x : 290 mm	Ø 10 mm	8	2017	x : 234 mm	2 mm
Sapmalar Deviations							
Test Kapsamı Extent of examination				Kaynak + ITAB, 100%			
Test Yeri Examination Place				AkademiNDT Laboratuvarı			
Muayeneyi yapan Examined By				Onay Approved By		Müşteri Client	
Ad soyad / Name	Dulcan KARAKCI						
Unvan / Title	PT Spesye III						
Sertif. No / Certif.No	Toulbord 15-12254						
Muayn. tari. / Date	08.08.2017						
Akademi NDT Tahribatsız Muayene ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. Yalı Mah. Topselvi Cad. MAI Residence No: 100 B Blok Kat: 8 D: 65 Kartal/İST. 0 216 504 66 38							

Şekil Ek A.3. 4 m derinlikte birleştirilen numunenin muayene raporu (E 6013).

İş/Rapor No Job/Report No	IKE01-02	Rapor Tarihi Report Date	08.08.2017	Sayfa No Page No	2/2	Prosedür No Pro. No	ANDT-PT-PR04
------------------------------	----------	-----------------------------	------------	---------------------	-----	------------------------	--------------



Muayeneyi yapan Examined By		Onay Approved By	Müşteri Client
Ad soyad / Name	Oğulcan KARAKCI		
Ünvan / Title			
Sertif. No / Certif.No			
Muayn. tari. / Date			
Akademi NDT Tahribatsız Muayene ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. Yalı Mah. Topselvi Cad. MAI Residence No: 100/B Blok Kat: 8 D: 65 Kartal/İST. 0 216 504 66 38			

Şekil Ek A.4. 4 m derinlikte birleştirilen numunenin muayene raporu devamı (E 6013).

İş/Rapor No Job/Report No	İKE01-03	Rapor Tarihi Report Date	08.08.2017	Sayfa No Page No	1/2	Prosedür No Pro. No	ANDT-PT-PR04
Proje adı Project No	Sualtı Kaynak Test Parçaları – 8 mt (E6013)				Malzeme Material	Grade EH 36	
Müşteri Client	İcon Kaynak End.				Yüzey Durumu Surface condition	<input checked="" type="checkbox"/> Yumuşak <input type="checkbox"/> Kaba C	
Kaynak Ağzı Weld prep.	<input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> İ	Kaynak Bekleme Süresi Hours after welding	> 24 saat		Malz. Kalın. Materi. thick.	15 mm	
Kaynak Yönt. Welding groove	<input checked="" type="checkbox"/> Elek. Ark <input type="checkbox"/> Tozaltı : <input type="checkbox"/> MIG <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> Özlü Tel : <input type="checkbox"/> TIG	Isıl İşlem Heat Treated	<input type="checkbox"/> Evet <input checked="" type="checkbox"/> Hayır				
Gri alandaki bilgiler müşteri tarafından iletilmiştir / The gray box information is a client submit subject							
Test Standardı Examination Standard	<input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 3452-1			Kabul Kriteri Acceptance criteria	<input type="checkbox"/> EN ISO 23277 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2X <input type="checkbox"/> 3X		
Ön Temizlik Yöntemi Pre-cleaning method	Solvent ile			Muayene Sıcaklığı Test temperature	15°C		
Penetrant Tipi Penetrant type	<input type="checkbox"/> Tıf <input checked="" type="checkbox"/> Tıp	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.	Chemetall S76 0900052663				
Ara Temizlik Intermediate cleaning	<input type="checkbox"/> Su Wı <input checked="" type="checkbox"/> Çözücü	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.	Chemetall Ardox 907 PB 0900051850				
Geliştirici Developer	<input type="checkbox"/> Kuru Toz <input checked="" type="checkbox"/> Çözücü Bazlı	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.	Chemetall LD7 0900049437				
Penetrasyon süresi Penetration time	30 dk			Geliştirme süresi Development time	10 dk		
Beyaz Işık / White light	1050 lx			Kısa Gösteriliş / Short form	IICe-2		
Ultraviyole ışık / UV- light	-			Son Temizlik / Final Cleaning	Solvent ile		
Süreksizlik No Imperfect. No	Süreks. Tipi Imperf. Typ	Yeri Location	Açıklama Remarks	Kaynak No Weld No	Süreks. Tipi Impe. Typ	Yeri Location	Açıklama Remarks
1	5011	x : 390 mm	5 mm	5	5011	x : 180 mm	18 mm
2	2017	x : 340 mm	3 mm	6	2017	x : 168 mm	5 mm
3	5011	x : 325 mm	7 mm				
4	5012	x : 275 mm	12 mm				
Sapmalar Deviations							
Test Kapsamı Extent of examination	Kaynak + ITAB, 100%						
Test Yeri Examination Place	AkademiNDT Laboratuvarı						
Muayeneyi yapan Examined By	Onay Approved By			Müşteri Client			
Ad soyad / Name	Doğan KARAKCI						
Ünvan / Title	PT Servis Ustası						
Sertif. No / Certif.No	TUV Nord 16-12254						
Muayn. tari. / Date	08.08.2017						
Akademi NDT Tahratsız Muayene ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. Yalı Mah. Topselvi Cad. MAI Residence No: 100 B Blok Kat: 8 D: 65 Kartal/İST. 0 216 504 66 38							


Şekil Ek A.5. 8 m derinlikte birleştirilen numunenin muayene raporu (E 6013).

İş/Rapor No Job/Report No	İKE01-03	Rapor Tarihi Report Date	08.08.2017	Sayfa No Page No	2/2	Prosedür No Pro. No	ANDT-PT-PR04
------------------------------	----------	-----------------------------	------------	---------------------	-----	------------------------	--------------



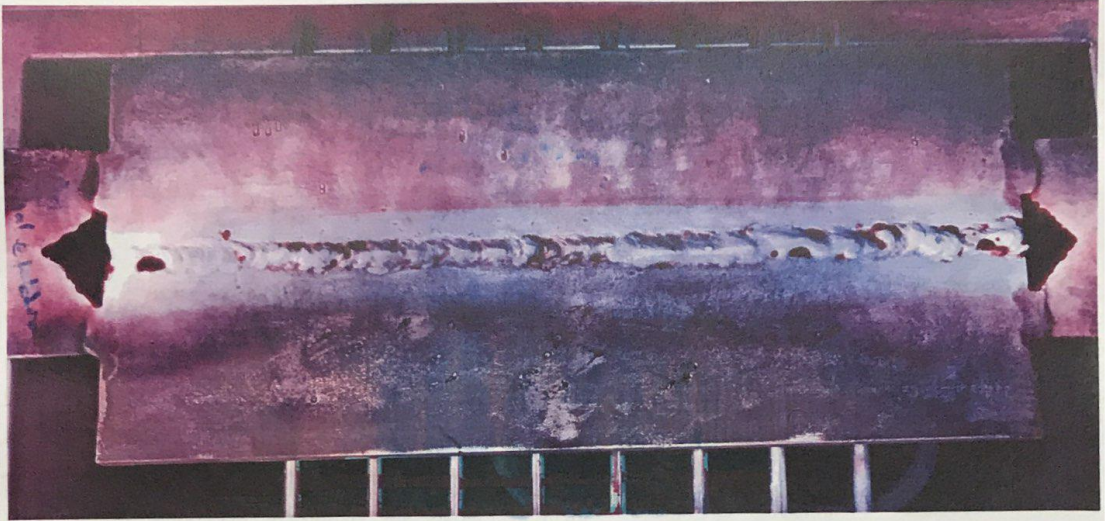
Muayeneyi yapan Examined By	Onay Approved By	Müşteri Client
Ad soyad / Name Ünvan / Title Sertif. No / Certif.No Muayn. tari. / Date	<i>[Signature]</i>	
Akademi NDT Tahratsız Muayene ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. Yalı Mah. Topselvi Cad. MAI Residence No: 100 B Blok Kat: 8 D: 65 Kartal/İST. 0 216 504 66 38		

Şekil Ek A.6. 8 m derinlikte birleştirilen numunenin muayene raporu devamı (E 6013).

İş/Rapor No Job/Report No	IKE01-04	Rapor Tarihi Report Date	08.08.2017	Sayfa No Page No	1/2	Prosedür No Pro. No	ANDT-PT-PR04
Proje adı Project No	Sualtı Kaynak Test Parçaları – 8 mt (E7014)			Malzeme Material	Grade EH 36		
Müşteri Client	İcon Kaynak End.			Yüzey Durumu Surface condition	<input checked="" type="checkbox"/> Yumuşak <input type="checkbox"/> Kaba C		
Kaynak Ağzı Weld prep.	<input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> I	Kaynak Bekleme Süresi Hours after welding	> 24 saat	Malz. Kalın. Materi. thick	15 mm		
Kaynak Yönt. Welding groove	<input checked="" type="checkbox"/> Elek. Ark <input type="checkbox"/> Tozaltı : <input type="checkbox"/> MIG <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> Özlü Tel : <input type="checkbox"/> TIG	Isıl İşlem Heat Treated	<input type="checkbox"/> Evet <input checked="" type="checkbox"/> Hayır				
Gri alandaki bilgiler müşteri tarafından iletilmiştir / The gray box information is a client submit subject							
Test Standardı Examination Standard	<input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 3452-1			Kabul Kriteri Acceptance criteria	<input type="checkbox"/> EN ISO 23277 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2X <input type="checkbox"/> 3X		
Ön Temizlik Yöntemi Pre-cleaning method	Solvent ile			Muayene Sıcaklığı Test temperature	15°C		
Penetrant Tipi Penetrant type	<input type="checkbox"/> Tıç <input checked="" type="checkbox"/> Tıp	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.	Chemetall S76 0900052663				
Ara Temizlik Intermediate cleaning	<input type="checkbox"/> Su Wc <input checked="" type="checkbox"/> Çözücü	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.	Chemetall Ardox 907 PB 0900051850				
Geliştirici Developer	<input type="checkbox"/> Kuru Toz <input checked="" type="checkbox"/> Çözücü Bazlı	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.	Chemetall LD7 0900049437				
Penetrasyon süresi Penetration time	30 dk			Geliştirme süresi Development time	10 dk		
Beyaz Işık / White light	1050 lx			Kısa Gösteriliş / Short form	IICe-2		
Ultraviyole ışık / UV- light	-			Son Temizlik / Final Cleaning	Solvent ile		
Süreksizlik No Imperfect. No	Süreks. Tipi Imperf. Typ	Yeri Location	Açıklama Remarks	Kaynak No Weld No	Sürek. Tipi Impe. Typ	Yeri Location	Açıklama Remarks
1	2017	x : 380 mm	Ø 5 mm	8	2017	x : 223 mm	Ø 2 mm
2	5011	x : 365 mm	5 mm	9	2017	x : 208 mm	Ø 3 mm
3	2017	x : 345 mm	Ø 4 mm	10	2017	x : 128 mm	Ø 13 mm (t. gözenek)
4	5011	x : 335 mm	6 mm	11	2017	x : 90 mm	Ø 2 mm
5	5011	x : 306 mm	8 mm	12	2017	x : 75 mm	Ø 3 mm
6	2017	x : 300 mm	Ø 2 mm	13	5011	x : 12 mm	11 mm
7	2017	x : 233 mm	Ø 3 mm				
Sapmalar Deviations							
Test Kapsamı Extent of examination				Kaynak + ITAB, 100%			
Test Yeri Examination Place				AkademiNDT Laboratuvarı			
Muayeneyi yapan Examined By				Onay Approved By		Müşteri Client	
Ad soyad / Name Özülker KARAKCI							
Ünvan / Title PT Sıvı U1							
Sertif. No / Certif.No TMMOB 16-12254							
Muayn. tari. / Date 08.08.2017							
Akademi NDT Tahratsız Muayene ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. Yalı Mah. Topselvi Cad. MAI Residence No: 100 B Blok Kat: 8 D: 65 Kartal/İST. 0 216 504 66 38							

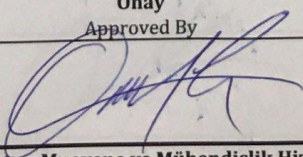
Şekil Ek A.7. 8 m derinlikte birleştirilen numunenin muayene raporu (E 7014).

İş/Rapor No Job/Report No	IKE01-04	Rapor Tarihi Report Date	08.08.2017	Sayfa No Page No	2/2	Prosedür No Pro. No	ANDT-PT-PR04
------------------------------	----------	-----------------------------	------------	---------------------	-----	------------------------	--------------



Muayeneyi yapan Examined By		Onay Approved By	Müşteri Client
Ad soyad / Name	Diyadin KIRICI		
Ünvan / Title			
Sertif. No / Certif.No			
Muayn. tari. / Date			
Akademi NDT Tahribatsız Muayene ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. Yalı Mah. Topselvi Cad. MAI Residence No: 100 B Blok Kat: 8 D: 65 Kartal/İST. 0 216 504 66 38			

Şekil Ek A.8. 8 m derinlikte birleştirilen numunenin muayene raporu devamı (E 7014).

İş/Rapor No Job/Report No	IKE01-05	Rapor Tarihi Report Date	08.08.2017	Sayfa No Page No	1/2	Prosedür No Pro. No	ANDT-PT-PR04
Proje adı Project No	Sualtı Kaynak Test Parçaları - 16 mt				Malzeme Material	Grade EH 36	
Müşteri Client	İcon Kaynak End.				Yüzey Durumu Surface condition	<input checked="" type="checkbox"/> Yumuşak <input type="checkbox"/> Kaba C	
Kaynak Ağzı Weld prep.	<input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> I	Kaynak Bekleme Süresi Hours after welding			> 24 saat	Malz. Kalın. Materi. thick.	15 mm
Kaynak Yönt. Welding groove	<input checked="" type="checkbox"/> Elek. Ark <input type="checkbox"/> Tozaltı : <input type="checkbox"/> MIG <input type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> Özlü Tel : <input type="checkbox"/> TIG	Isıl İşlem Heat Treated			<input type="checkbox"/> Evet <input checked="" type="checkbox"/> Hayır		
Gri alandaki bilgiler müşteri tarafından iletilmiştir / The gray box information is a client submit subject							
Test Standardı Examination Standard	<input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 3452-1			Kabul Kriteri Acceptance criteria	<input type="checkbox"/> EN ISO 23277 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2X <input type="checkbox"/> 3X		
Ön Temizlik Yöntemi Pre-cleaning method	Solvent ile			Muayene Sıcaklığı Test temperature	15°C		
Penetrant Tipi Penetrant type	<input type="checkbox"/> Tiç <input checked="" type="checkbox"/> Tip	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.			Chemetall S76 0900052663		
Ara Temizlik Intermediate cleaning	<input type="checkbox"/> Su W: <input checked="" type="checkbox"/> Çözücü	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.			Chemetall Ardox 907 PB 0900051850		
Geliştirici Developer	<input type="checkbox"/> Kuru Toz <input checked="" type="checkbox"/> Çözücü Bazlı	Markası / Şarj no. Brand name / Batch no.			Chemetall LD7 0900049437		
Penetrasyon süresi Penetration time	30 dk			Geliştirme süresi Development time	10 dk		
Beyaz Işık / White light	1050 lx			Kısa Gösteriliş / Short form	IICe-2		
Ultraviyole ışık / UV-light	-			Son Temizlik / Final Cleaning	Solvent ile		
Süreksizlik No Imperf. No	Süreks. Tipi Imperf. Typ	Yeri Location	Açıklama Remarks	Kaynak No Weld No	Sürek. Tipi Impe. Typ	Yeri Location	Açıklama Remarks
1	2017	x : 380 mm	4 mm	6	2017	x : 155 mm	4 mm
2	2017	x : 365 mm	4 mm	7	2017	x : 147 mm	4 mm
3	2017	x : 285 mm	5 mm	8	2017	x : 140 mm	4 mm
4	2017	x : 275 mm	3 mm	9	2017	x : 90 mm	5 mm
5	2017	x : 210 mm	3 mm				
Sapmalar Deviations							
Test Kapsamı Extent of examination				Kaynak + ITAB, 100%			
Test Yeri Examination Place				AkademiNDT Laboratuvarı			
Muayeneyi yapan Examined By				Onay Approved By		Müşteri Client	
Ad soyad / Name	Dönelen KARAYICI						
Ünvan / Title	PT Servis Ustası						
Sertif. No / Certif. No	TMMOB 26-12254						
Muayn. tari. / Date	08.08.2017						
Akademi NDT Tahribatsız Muayene ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. Yalı Mah. Töpselvi Cad. MAI Residence No: 100 B Blok Kat: 8 D: 65 Kartal/İST. 0 216 504 66 38							

Şekil Ek A.9. 16 m derinlikte birleştirilen numunenin muayene raporu (E 6013).

İş/Rapor No Job/Report No	İKE01-05	Rapor Tarihi Report Date	08.08.2017	Sayfa No Page No	2/2	Prosedür No Pro. No	ANDT-PT-PR04
------------------------------	----------	-----------------------------	------------	---------------------	-----	------------------------	--------------



Muayeneyi yapan Examined By		Onay Approved By	Müşteri Client
Ad soyad / Name	Doğukan KADAKLI		
Ünvan / Title			
Sertif. No / Certif.No			
Muayn. tari. / Date			
Akademi NDT Tahribatsız Muayene ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. Yalı Mah. Topselvi Cad. MAI Residence No: 100 B Blok Kat: 8 D: 65 Kartal/İST. 0 216 504 66 38			

Şekil Ek A. 10. 16 m derinlikte birleştirilen numunenin muayene raporu devamı (E 6013).



EK AÇIKLAMALAR B
ULTRASONİK MUAYENE RAPORU



MTM MARMARA METAL TEST MERKEZİ SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.

ULTRASONİK MUAYENE RAPORU
ULTRASONIC INSPECTION REPORT

Talep Eden : Zahit ÇOLAK Requested By		Rapor No: 0808-1/2017 Report No
Parça Adı: V Kaynak Ağızlı Alın Kaynaklı Parçalar Product Name	Parça Kodu: 4 metre, 8 metre, 8 metre orjinal elektrot, 16 metre ve deniz kenarı atmosferik ortam Product Code	Parça Adedi: 5 Product Quantity Pcs
Parça Boyutları :- Product Sizes	Resim No: - Drawing No	Muayene Tarihi: 31.07.2017 Inspection Date
Malzeme Türü ve Üretici: - Material Grade and Producer	Döküm No:- Heat No	Muayene Yeri: Kartal/İstanbul Inspection Place
Yüzey Durumu: Taş Motoru ile Temizlenmiş Sıcak Hadde Yüzey Surface Condition:	Muayene Aşaması: Kaynak Sonrası Test Stage	Muayene Bölgesi ve Kapsamı: Kaynak dikişi+ Isı tesiri altındaki bölge, %100 kontrol Scope of Test
Cihaz: Starmans DIO 1000 PA Equipment	Cihaz Seri No: 14-157 Equipment Serial No	Prob: 4 MHz 70° Açılı Prob TAB4-70-8x9 No: 362
Mesafe Kalibrasyonu: V2 Kalibrasyon Bloğu Distance Calibration	Hassasiyet Kalibrasyonu: Tek Delikli DAC Bloğu 3 mm Sensitivity Calibration	Frekans: 4Mhz Frequency
Yüzey Tarama Tekniği: Elle %10 Bindirme Tekniği Surface Scanning Tech.	Temas Sıvısı: UT JEL Contact Liquid	Kalibrasyon Kazancı: 55 dB Calibration Gain
Test Kazancı: 61 dB Test Gain	Cihaz Kalibrasyon Tarihi: 17.07.2017 Equipment Calibration Date	Cihaz Doğrulama Tarihi: 31.07.2017 Equipment Verification Date
Muayene Standardı: TS EN ISO 17640:2010 Test Standard		
Kabul Standardı: Sadece durum tespiti yapılacaktır. Acceptance Standard		Kabul Seviyesi: Sadece durum tespiti yapılacaktır. Acceptable Level
Tespit Edilen min. Hata Boyutu (Ø/dB): Sadece durum tespiti yapılacaktır. The minimum Detectable Defect Size		

Sonuç:

Deniz kenarı atmosferik ortamda yapılan alın kaynak dikişinin, merkez ekseninde kısmen dar bir aralıkta kökte nüfuziyetsizlik vardır.

4 metre derinliktesu altında yapılan alın kaynak dikişinin, merkez ekseninde çoğunlukla kökte nüfuziyetsizlik vardır. Buna ek olarak kaynak metalindeyer yer yetersiz ergime ve cüruf kalıntıları hataları mevcuttur.

8 metre(E 6013) derinlikte su altında yapılan alın kaynak dikişinin, merkez ekseninde boydan boya nüfuziyetsizlik vardır. Ayrıca kaynak metalinde yetersiz ergime, cüruf kalıntısı ve bölgesel gaz boşlukları mevcuttur.

8 metre (E 7014) derinlikte su altında orjinal elektrod ile yapılan alın kaynak dikişinin, merkez ekseninde hemen hemen boydan boya kökte nüfuziyetsizlik vardır. Buna ek olarak kaynak metalinde bölgesel olarak yetersiz ergime ve cüruf kalıntıları mevcuttur.

16 metre derinlikte su altında yapılan alın kaynak dikişinin, merkez ekseninde boydan boya kökte nüfuziyetsizlik vardır. Buna ek olarak kaynak metalinde yetersiz ergime, yoğun cüruf kalıntıları ve gaz boşlukları mevcuttur.

NOT: Bu muayenedeki amaç, muayene sonrası kaynaklı numunelerin ilgili standartlarda verilen kriterlere göre "kabul/ret" edilmesi olmayıp, sadece atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelerdeki hataları belirlemektir.

Kabul/Süreksizlik Yok Acceptance/Without Discontinuity <input type="checkbox"/>	Kabul/Kabul Edilebilir Süreksizlik Acceptance/Acceptable Discontinuities <input type="checkbox"/>	Red/Kabul Edilemez Süreksizlik Rejection/ Unacceptable Discontinuities <input type="checkbox"/>
--	--	--

Kontrol Eden
Tarkan BOZKURT
Metalurji ve Malzeme Y. Müh.
UT2+MT2
NDTC/2014-199
NDTC/2014-200



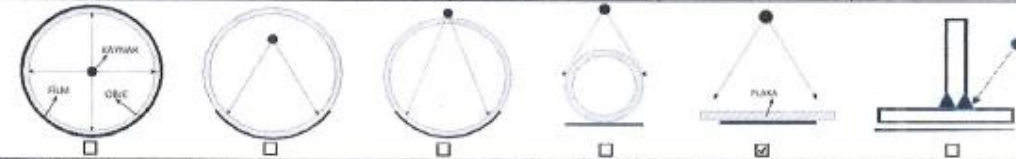
Firma Onayı
Tarkan BOZKURT
Şirket Müd.

MTM MARMARA METAL
TEST MERKEZİ SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.
Bağlarbaşı Mah. Alaturun Cad. Sakarya Sok.
No: 25/1 - Maltepe - İSTANBUL
Küçükçekircek Mah. C. No: 93/2 Tic. Sic. No: 941255
Mersis No: 0612065937200012

Şekil Ek B.1. Kaynaklı numunelerin ultrasonik raporu.

EK AÇIKLAMALAR C

RADYOGRAFİK MUAYENE RAPORLARI

	NDT GÖZETİM MÜMESSİLLİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ.																		
	KAYNAK DİKİŞİ RADYOGRAFİK MUAYENE RAPORU <i>Radiographic Inspection Report for Welding Seam</i>																		
Müşteri Customer	Zahit ÇOLAK		Muayene Prosedürü Inspection Procedure	P.12-01	Sayfa No Page	1/1													
Proje Adı Project Name	SU ALTI KAYNAK TEST PARÇALARI		Muayene Kapsamı Inspection Scope	100%	Rapor No Report No	0681 -2017-M													
Test Yeri Inspection Place	EKA NDT-Güzelyalı		Resim No Drawing No	Test Parçaları	Rapor Tarihi Report Date	09.05.2017													
Muayene Standardı Inspection Standard	TS EN ISO 17636-1		Yüzey Durumu Surface Condition	İşlem Görmemiş	İş Emri No Job Order No	295													
Değerlen. Standardı Evaluation Standart	Müşteri talebi üzerine değerlendirme yapılmamıştır.		Muayene Aşaması Stage Of Examination	Kaynak Sonrası	Teklif No Offer No	81-2017													
Ekipman Bilgileri/ Equipment Informations																			
Ekipman Adı/No Equipment Name/No	Kullanılan Cihaz Used Device	Cihazın Enerjisi/ Device Energy (C)		Odak Boyutu Focal Spot Size	Poz Süresi Exposure Time	Karşın Ekranlar Pb Screens													
X-Ray-001	XXGHA-2505	Ir-192	Se-75	X-Ray Kv mA	140 5.0	3x3 mm													
Isıl İşlem Heat Treatment	Çekim Sınıfı Shooting Class	Film Bilgileri/ Film Informations		IQI Tekniği/ IQI Tech.	Banyo İşlemleri/ Bath Process														
Isıl İşlem Görmemiş	Sınıf A	Film Markası Film Brand	Film Tipi/Film Type	EN <input checked="" type="checkbox"/> ASTM <input type="checkbox"/>	Otomatik Automatic	El ile Manual													
		KODAK	D4(MX-125) D5 (T200) D7 (AA 400)	İşim tarafı Source side	Film Tarafı Film side	Banyo Sıcak. Bath Temp.													
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	33 °C													
Film Çekim Sonuç Bilgileri/ Shooting Informations																			
Film Ebadı Film Size	10X12	10x16	10x24	10x36	10x48	30x40													
Film sayısı Film Count	0	0	0	0	5	0													
Toplam Film Total Film	5		0		5														
Uygun Film Suitable Film	0		5		0														
Tamir Filmi Repair Film	0		5		0														
Muayene Tarihleri Inspection Dates	09.05.2017		FFD 700 mm																
Değerlendirme Sembolleri Evaluation Symbols	KABUL Accepted	OK	TAMİR Repair	R	KES Cut-Out	C/O													
					FILM TEKRARI Re-Shoot	RS													
					EXTRA FILM Extra Film	EF													
Çekim Düzenlemesi Test Arrangement																			
Muayene Sonuçları / Inspection Results																			
According to		Hata Tipleri/ Defect Types			According to														
IW	6520-1				IW	6520-1													
Aa	2013	Porosity/Gözenek			Db	515													
Ab	2016	Worm Holes / Gaz Kanalları			Dc	504													
Ac	2014	Aligned Porosity/Sıralı Gözenekler			Ea	1011													
Ad	2013	Porosity Group/Gözenek Grubu			Eb	1021,1023,1024													
Ba	3012	Slag Inclusion/Çürük Kalıntısı			Ec	1046,1047,1054													
Bb	3011	Slag Line/Sıralı Çürük Hattı			Fb	517, 5091													
Bc	3013	Slag Group (Clustered)/Kümelenmiş Çürük Kalıntısı			Fc	5011,5012,5013													
C	4011	Lack Of Fusion/Yapışma Noksanlığı			ff	-													
D	402,4021,4013	Incomplete Penetration/Nüfuziyet Eksikliği			W	3041													
Da	510	Burn Through / Kök Pasoda İçe Doğru Patlama																	
Sıra No Serial No	Parça No Part No	Film Numarası Film No	Malzeme Cinsi Material Type	Kaynak Yönt. Welding Type	Kaynak Pozis. Welding Position	Kaynak Ağız Weld Joint	Kalınlık (mm) Thickness	Penetremetre ICJ	Görünen Tel Visible IQI	Yoğunluk Density	10x12	10x16	10x24	10x36	10x48	30x40	Hata Bölgesi Defect Loc.	Hata Tipi Defect Type	Değerlendirme Evaluation
1	ATMOSFER		St	Bak. Ark	PA	V	14 mm	10FEEN	13	2.0-3.0					X		402		
2	4 Metre		St	Su altı Bak. Ark	PA	V	14 mm	10FEEN	13	2.0-3.0					X		402,517 3012,5011		
3	8 metre (E6013)		St	Su altı Bak. Ark	PA	V	14 mm	10FEEN	13	2.0-3.0					X		402,517 2016,3012,5011		
4	8 metre (E7014)		St	Su altı Bak. Ark	PA	V	14 mm	10FEEN	13	2.0-3.0					X		402,517 2011,3012,5011		
5	16 metre		St	Su altı Bak. Ark	PA	V	14 mm	10FEEN	13	2.0-3.0					X		402,517 2011,3011,3013		
Personel Bilgileri/ Person. Infor.																			
Adı Soyadı / Name Surname		Filmi Çeken/Radiographer			Değerlendiren/ Evaluated by				Onay/ Confirmation				Müşteri/ Customer						
Seviye / Level		EKA NDT			EKA NDT				EKA NDT				EKA NDT						
Tarih / Date		09.05.2017																	
İmza / Signature																			
Güzelyalı Mah. Yakut Sok. No: 24/2 Pendik / İSTANBUL Tlc. Sicil No: 894179 Tuzla V.D. Vergi No: 326 028 5128 Tel: 0216 392 87 53-54 Fax: 0216 392 85 59 Gem: 0532 540 57 42 E-mail: info@ekandt.com.tr Web: www.ekandt.com.tr																			