



**DEPOLAMA TANKI İMALATINDA TOZALTI ARK
KAYNAĞI UYGULAMASI VE KAYNAK
BÖLGESİNİN İNCELENMESİ**

Yiğitcan ATILGAN

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr.Yakup KAYA**

**DEPOLAMA TANKI İMALATINDA TOZALTI ARK KAYNAĞI
UYGULAMASI VE KAYNAK BÖLGESİNİN İNCELENMESİ**

Yiğitcan ATILGAN

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

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Yakup KAYA**

**KARABÜK
Nisan 2022**

Yiğitcan ATILGAN tarafından hazırlanan “DEPOLAMA TANKI İMALATINDA TOZALTI ARK KAYNAĞI UYGULAMASI VE KAYNAK BÖLGESİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Yakup KAYA

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/04/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Hayriye ERTEK EMRE (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ali KALYON (YÜ)

Üye : Doç. Dr. Yakup KAYA (KBÜ)

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Yiğitcan ATILGAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEPOLAMA TANKI İMALATINDA TOZALTI ARK KAYNAĞI UYGULAMASI VE KAYNAK BÖLGESİNİN İNCELENMESİ

Yiğitcan ATILGAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Yakup KAYA

Nisan 2022, 71 sayfa

Bu çalışmada, depolama tankları imalatında sıklıkla kullanılan 10 mm kalınlığındaki ASTM A36 çeliği farklı parametreler kullanılarak tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Farklı kaynak akımlarının (450 A, 475 A, 500 A, 525 A ve 550 A) kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgesine etkisi tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleri ile incelenmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin yüzey ve yüzeyaltı/kesit, tahribatsız incelemelerinde sıvı penetrant (SP), manyetik parçacık (MT), ultrasonik (UT) ve radyografik (RT) muayene yöntemleri kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin makro-mikroyapı ve mekanik özelliklerini belirlemek için ise tahribatlı muayene yöntemlerinden optik mikroskop, mikrosertlik çalışmaları, çekme, eğme ve çentik darbe testleri uygulanmıştır.

Kaynaklı birleştirmelere uygulanan tahribatsız muayene yöntemleri sonucunda; sıvı penetrant ve manyetik parçacık testi yöntemlerinde kaynak yüzeyinde herhangi bir

süreksizliğe rastlanmamıştır. Ultrasonik ve radyografik muayeneler sonucunda ise 450 A ve 475 A kaynak akımında birleştirilen levhalarda kök nüfuziyet eksikliği gözlemlenmiştir. Kaynaklı birleştirmelere uygulanan tahribatlı muayene yöntemleri sonucunda ise; makroyapı görüntüleri incelendiğinde, 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen levhaların kök kaynaklarında eksik nüfuziyet gözlemlenmiş diğer kaynak akımlarında ise herhangi bir hataya rastlanmamıştır. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, kaynak metali-ITAB geçiş bölgelerinin birbirlerine benzer görüntüler sergilediği belirlenmiştir. Sertlik testleri sonucunda en yüksek sertlik değerleri, kaynak metalinden elde edilirken onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme takip etmiştir. Yapılan çekme testleri sonucunda, 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda kopma kaynak metalinde gerçekleşmiş diğer kaynak akımlarında ise kopma ana malzemede gerçekleşmiştir. Eğme testleri sonucunda, göz ile yapılan muayenede 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen levhaların kaynak bölgesinde yırtılma ve çatlak tespit edilmiş diğer kaynak akımlarında ise herhangi bir çatlak, yırtık vb. hata görülmemiştir. Çentik darbe test sonuçları incelendiğinde, en yüksek tokluk değerlerinin oda sıcaklığında (20°C), en düşük tokluk değerlerinin ise -20°C’de ölçüldüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : ASTM A36 çeliği, tozaltı ark kaynağı, tahribatsız muayene, tahribatlı muayene.

Bilim Kodu : 91511

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

APPLICATION OF SUBMERGED ARC WELDING IN STORAGE TANK MANUFACTURING AND INVESTIGATION OF WELDING ZONE

Yiğitcan ATILGAN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Yakup KAYA

April 2022, 71 pages

In this study, 10 mm thick ASTM A36 steel, which is frequently used in the production of storage tanks, was joined by submerged arc welding method using different parameters. The effects of different welding currents (450 A, 475 A, 500 A, 525 A and 550 A) on the weld area of the welded joints were investigated by non-destructive and destructive testing methods. Liquid penetrant (SP), magnetic particle (MT), ultrasonic (UT) and radiographic (RT) inspection methods were used for surface and subsurface/sectional, non-destructive testing of welded joints. In order to determine the macro-microstructure and mechanical properties of welded joints, optical microscopy, microhardness studies, tensile, bending and notch impact tests, which are destructive testing methods, were applied.

As a result of non-destructive testing methods applied to welded joints; liquid penetrating and magnetic particle testing methods no discontinuities were found. As a result of ultrasonic and radiographic examinations, it was observed that there was no

root penetration in the plates joined at 450 A and 475 A welding current. As a result of destructive testing methods applied to welded joints; When the macrostructure images were examined, incomplete penetration was observed in the root welds of the plates joined at 450 A and 475 A welding currents, and no errors were found in other welding currents. When the microstructure images were examined, it was determined that the weld metal-ITAB transition zones exhibited similar images. As a result of the hardness tests, the highest hardness values were obtained from the weld metal, followed by ITAB and base material, respectively. As a result of the tensile tests, weld metal rupture occurred in the plates joined at 450 A and 475 A welding currents, and the main material ruptured at other welding currents. As a result of bending tests, tearing and cracks in the welding area of the joined plates at 450 A and 475 A welding currents, cracks, tears, etc. in other welding currents. detected. no error found. When the notch impact test results were examined, it was determined that the highest toughness values were measured at room temperature (20 °C), and the lowest toughness values were measured at -20°C.

Key Word : ASTM A36 steel, submerged arc welding, destructive inspection, non-destructive testing

Science Code : 91511

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Yakup KAYA'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmaların yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Detay Kalite ekibine ve bu süreçte yanımda olan tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

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

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİ.....	3
2.1. YÖNTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	3
2.2. TOZALTI KAYNAĞI ÇEŞİTLERİ	5
2.2.1. Tandem Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi	5
2.2.2. Paralel Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi	5
2.2.3. Seri Kaynak Yöntemi	6
2.2.4. Band Elektrodla Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi	6
2.2.5. Kızgın Tel Yöntemi	6
2.2.6. Demir Tozu İlavesiyle Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi	7
2.3. TOZALTINDA DİKİŞ FORMUNU ETKİLEYEN PARAMETRELER.....	7
2.4. TOZALTI KAYNAĞININ AVANTAJLARI.....	8
2.5. TOZALTI ARK KAYNAĞININ DEZAVANTAJLARI	9
2.6. TOZALTI KAYNAĞININ UYGULAMA ALANLARI.....	9

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	10
ÇELİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ	10
3.1 ÇELİK VE SINIFLANDIRILMASI	10
3.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler	12
3.1.2 Orta Karbonlu Çelikler	12
3.1.3 Yüksek Karbonlu Çelikleri	12
3.2. KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ	13
3.3. ÇELİKLERE UYGULANAN KAYNAKLAR	13
3.4. ÇELİKLERE UYGULANAN TAHRİBATSIZ TESTLER	14
3.4.1. Sıvı Penetrant Testi	15
3.4.2. Manyetik Parçacık Testi	16
3.4.3. Ultrasonik Muayene	17
3.4.4. Radyografik Muayene	18
3.5. ÇELİKLERE UYGULANAN TAHRİBATLI TESTLER	19
3.5.1. Makro/Mikroyapı Çalışmaları	20
3.5.2. Sertlik Testi	20
3.5.3. Çekme Testi	21
3.5.4. Eğme Testi	22
3.5.5. Çentik Darbe Testi	23
BÖLÜM 4	25
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
4.1. KULLANILAN MALZEMELER	25
4.2. MALZEMELERİN KAYNAK İŞLEMİNE HAZIRLANMASI	26
4.3. KAYNAK YÖNTEMİ UYGULAMASI	27
4.4. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATSIZ TESTLERİ	30
4.4.1. Sıvı Penetrant Testi	30
4.4.2. Manyetik Parçacık Testi	30
4.4.3. Ultrasonik Muayene	31
4.4.4. Radyografik Muayene	32
4.5. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATLI MUAYENESİ	32

	<u>Sayfa</u>
4.5.1. MAKRO/MİKRO YAPI İNCELEMELERİ	33
4.5.2. Sertlik Testi.....	34
4.5.3. Çekme Testi.....	35
4.5.4. Eğme Testi.....	36
4.5.5. Çentik Darbe Testi.....	36
BÖLÜM 5	38
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	38
5.1. PENETRANT SIVI MUAYENESİ	38
5.2. MANYETİK PARÇACIK MUAYENESİ.....	41
5.3. ULTRASONİK MUAYENE	43
5.4. RADYOGRAFİK MUAYENE.....	45
5.5. MAKRO/MİKROYAPI İNCELEMELERİ	49
5.5.1. Makroyapı incelemeleri.....	49
5.5.2. Mikroyapı incelemeleri.....	51
5.6. SERTLİK TESTİ.....	55
5.7. ÇEKME TESTİ	57
5.8. EĞME TESTİ.....	60
5.9. ÇENTİK DARBE TESTİ.....	62
BÖLÜM 6	65
SONUÇLAR.....	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Tozaltı ark kaynağı (şematik ve fotoğraf olarak).....	4
Şekil 2.2. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi	7
Şekil 3.1. Fe-C faz diyagramı.	11
Şekil 3.2. Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması.	14
Şekil 3.3. Penetrant sıvıyla ultraviyole ışınları ile yapılan test resimleri.....	16
Şekil 3.4. Manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri.....	17
Şekil 3.5. Ultrasonik muayene yönteminin çalışma prensibi.	18
Şekil 3.6. X ışını ile radyografik muayene.....	19
Şekil 3.7. Çekme deneyinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri.....	22
Şekil 3.8. Eğme deneyi prensip şeması.	23
Şekil 3.9. Çentik darbe testi.	24
Şekil 4.1. Kaynak ağzı hazırlığı detayı.	27
Şekil 4.2. Levhaların puntalanmış görüntüsü.....	27
Şekil 4.3. Kaynak esnasında alınan görüntü.	28
Şekil 4.4. Kaynak sonrası alınmış olan görüntü.....	29
Şekil 4.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozaltı ark kaynak makinesi	29
Şekil 4.6. Sıvı penetrant muayene yönteminde kullanılan ürünler görseli	30
Şekil 4.7. Manyetik muayene yönteminde kullanılan cihaz görseli.....	31
Şekil 4.8. Ultrasonik muayene yönteminde kullanılan cihaz görseli.....	31
Şekil 4.9. Radyografik muayenede kullanılan cihaz görseli	32
Şekil 4.10. Numune hazırlama görseli	33
Şekil 4.11. Optik mikroskop görüntüsü	33
Şekil 4.12. Sertlik ölçümü iz görüntüsü	34
Şekil 4.13. Sertlik ölçme cihaz görüntüsü.....	34
Şekil 4.14. Çekme numunesi hazırlama görseli	35
Şekil 4.15. Çekme cihazı görseli.....	35
Şekil 4.16. Eğme testi şematik görseli	36
Şekil 4.17. Çentik darbe cihaz ve numune görüntüsü.....	37
Şekil 5.1. Sıvı penetrant yöntemi uygulama görüntüsü	39

Sayfa

Şekil 5.2. Sıvı penetrant muayene raporu.	40
Şekil 5.3. Manyetik parçacık testi uygulama görüntüsü	41
Şekil 5.4. Manyetik parçacık testi raporu.....	42
Şekil 5.5. Ultrasonik muayene yöntemi uygulama görüntüsü	43
Şekil 5.6. Ultrasonik muayene raporu.....	44
Şekil 5.7. Radyografik muayene yönremi sonuçları	46
Şekil 5.8. Radyografik muayene raporu.....	47
Şekil 5.9. Kaynaklı numunelerinin makroyapı fotoğrafları	50
Şekil 5.10. Ana malzeme mikroyapı görüntüsü.	51
Şekil 5.11. 450 A kaynak akımında birleştirilen levha mikroyapısı	52
Şekil 5.12. 475 A kaynak akımında birleştirilen levha mikroyapısı	53
Şekil 5.13. 500 A kaynak akımında birleştirilen levha mikroyapısı.....	53
Şekil 5.14. 525 A kaynak akımında birleştirilen levha mikroyapısı.....	54
Şekil 5.15. 550 A kaynak akımında birleştirilen levha mikroyapısı.....	54
Şekil 5.16. Kaynaklı numunelere uygulanan sertlik testi sonuçları.....	56
Şekil 5.17. Kaynaklı numunelerin çekme ve uzama grafiği	57
Şekil 5.18. Çekme testi sonrası kopma görüntüleri	58
Şekil 5.19. Eğme testi sonrası numunelerin görüntüleri	61
Şekil 5.20. Kaynak metali darbe tokluğu grafiği	62
Şekil 5.21. ITAB darbe tokluğu grafiği	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. ASTM A36 çeliğinin kimyasal bileşimi.	26
Çizelge 4.2. ASTM A36 çeliğinin mekanik özellikleri.....	26
Çizelge 4.3. Kaynak işlemlerinde kullanılan ilave metalin kimyasal bileşimi.....	26
Çizelge 4.4. Kaynak işlemlerinde kullanılan tozun kimyasal bileşimi... ..	26
Çizelge 4.5. Kullanılan kaynak parametreleri.....	28
Çizelge 4.6. Tozaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri.....	29

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: Karbon
Mn	: Mangan
Si	: Silisyum
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
Cr	: Krom
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Nb	: Niobyum
V	: Vanadyum
Ti	: Titanyum

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
AWS	: American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
TS	: Türk Standardı
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
LPG	: Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MIG	: Metal Inert Gas (Metal Inert Gaz)
MAG	: Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)

SAW : Tozaltı Ark Kaynağı

AC : Alternatif Akım

DC : Doğru Akım

WM : Kaynak Metali

BM : Ana Metal

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Depolama tankı imalatında; çelik tüketim oranı oldukça fazla olup, özellikle tanklar düz veya eğim verilmiş saclardan oluşur. Son yıllarda, depolama tanklarının ömrünü uzatmak amacı ile yüksek mukavemetli ince taneli çelik sacların ve hafif metallerin kullanımına yönelme artmışsa da; birçok malzemenin üretim maliyetleri ve seri imalat açısından düşük karbonlu çelik ihtiyacı da göz ardı edilmemiştir (İnternet, 2012-a).

ASTM A36 çelikleri; inşaat makineleri imalatı, iş makineleri üretimi, genel yapı sacları, muhtelif makine parçası imalatı, demiryolu ve kara araçları üretimi için genel yapı çelikleri yapımında sıklıkla kullanılmaktadır. ASTM A36 çeliği, tüm kaynak yöntemleriyle kolayca kaynaklanır: tozaltı metal ark kaynağı, örtülü ark kaynağı, gaz metal ark kaynağı (MIG/MAG kaynağı) ve oksii-asetilen kaynağı. ASTM A36 çeliği ayrıca yapısal uygulamalarda yaygın olarak civatalanır ve perçinlenir. Bu çalışmada ASTM A36 çeliklerinin birleştirilmesinde genellikle tercih edilen yöntemlerden biri olan tozaltı ark kaynak yöntemi kullanılmıştır (İnternet, 2012-a).

Tozaltı ark kaynağı işlemi ilk olarak National Tube tarafından Pennsylvania'da kurulmuş bir boru tesisi için geliştirilmiştir. Bu işlem orijinal olarak boruların dikey dikişlerinin kaynağı için geliştirilmiştir. Temel kullanımı 1930'ların sonlarında tersanelerde ve savunma sanayinde başladı. Bu yöntem, kaynakların en verimli kullanımlarından biri olduğu için bugün hala geçerlidir. Tozaltı ark kaynağı, 1933'ten beri Amerika Birleşik Devletleri'nde ve 1937'den beri Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. 1960'lı yıllarda Türkiye'de sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanımı başlamış ve çok sayıda LPG tüpü üretilmiştir (Kahraman ve Gülenç, 2016).

Tozaltı ark kaynağı yalnızca yatay kaynak için önerilen yöntemdir. Şu anda özel ekipmanlarla yatay ve dikey kaynak uygulamaları yapmak mümkündür, ancak bu yöntemle tavan kaynak uygulamaları yapmanın bir yolu yoktur. Boru kaynağı uygulamalarında borunun sabit dönüşü bu şekilde kaynak yapılmasına olanak sağlar. Tozaltı kaynak işlemlerinin uygulamaları inşaat, basınçlı kaplar ve paslanmaz çelik alanlarında yaygındır. Yüksek erime gücüne ve kaynak hızına uygun bir yöntem olması sebebiyle çeşitli türden çeliklerin kaynağı için de çok uygundur. Profil, kazan, basınçlı kap ve gemi üretimi ile dolgu kaynağı işlemlerinde aktif bir biçimde kullanılmaktadır (Anık, 2000).

Tozaltı ark kaynak işleminde 200-1000 amperlik bir akım ve 6-300 m/h kaynak hızı kullanılır. Yüksek tel yığıma özelliğine sahip bu yöntem ile kalın malzemenin tek pasoda kaynatılmasına imkan sağlamaktadır (Kaluç, 2004). Tozaltı kaynak methodunda kullanılan kaynak tozları, örtülü elektrotlardaki örtülü yapının görevini yapar. Ayrıca kaynak uygulamalarına fiziksel ve metalurjik bir katkı sağlar. Fiziksel olarak oluşan cüruf, kaynak havuzunu atmosferin etkilerinden korur, dikişlere uygun şekli verir ve hızlı soğumayı önler. Ana malzemeler ve kaynaklı teller de metalurjik olaylara katkıda bulunur. Ana malzeme, dolgu teli ve tozun bileşimi, dikişin kimyasal bileşimini etkileyen üç önemli faktördür. (Gunaraj vd. 1999, Yun Peng vd. 2001, Ogborn, 1993).

Bu çalışmanın amacı; ilerleyen zamanlarda bu ve buna benzer konularda yapılabilecek araştırmalara örnek oluşturması, bu koşullar altında kullanılan malzemelerin istenilen özellikleri sağlanması, çalışma ömrünün uzatılması, tatminkar mekanik özellikleri ve kolay kaynaklanabilir olan ASTM A36 çeliğinin başta depolama tankı endüstrisinde olmak üzere birçok alanda kullanımının 450 A, 475 A, 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımı değerlerinde kaynak işlemi yapılarak, kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgesine kaynak akımının etkisi tahtibatsız (sıvı penetrant (SP), manyetik parçacık (MT), ultrasonik (UT) ve radyografik (RT) muayene yöntemleri) ve tahribatlı (optik mikroskop, mikrosertlik çalışmaları, çekme, eğme ve çentik darbe testleri) muayene yöntemleri ile incelenmiştir.

BÖLÜM 2

TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİ

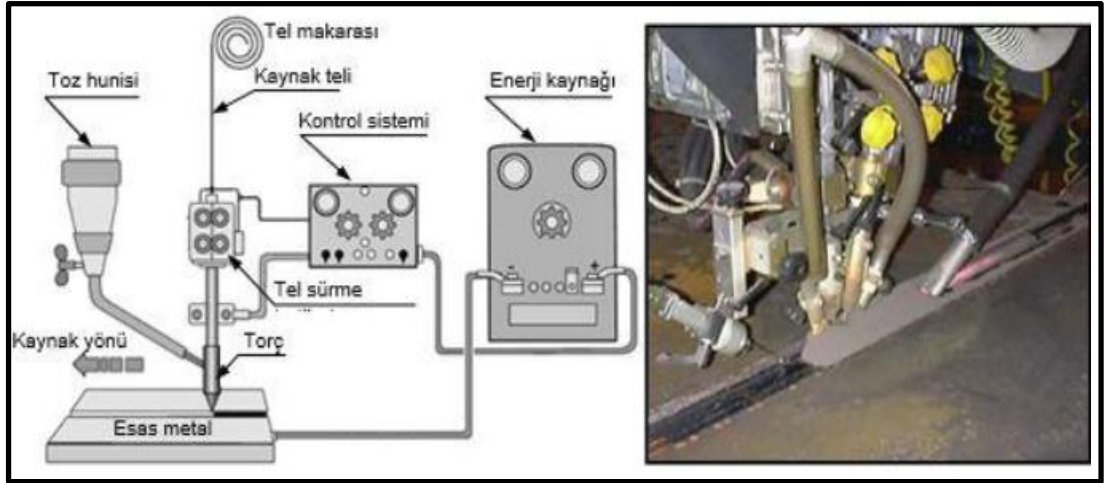
Tozaltı ark kaynağı, kaynak için gerekli ısının elektrot ve iş parçası arasında üretilen ark demeti tarafından üretildiği bir ark kaynağı işlemidir. Ark jeti, kaynak metal ve kaynak tozu (cüruf) ve dikişlere yakın ana metalde eriyen kaynak dikişleri ile korunur. Tozaltı ark kaynağında akım, erimiş metal ve cüruf arklarından ve kaynak havuzlarından akar. Ark ısıtma elektrodu, bir kaynak havuzu oluşturmak için akı ve ana metal eriterek kaynak ağzını doldurur. Atmosfer etkisinin kaynak havuzuna karışmasını engelleyen kaynak akısı, kaynak metalini deoksidize etmek için kaynak havuzu ile de etkileşime girer. Alaşımli çeliklerin tozaltı kaynağında kullanılan kaynak akısı, kaynak metalinin kimyasal bileşimini optimize eden alaşım elementleri içerebilir. Tozaltı ark kaynağı, otomatik bir kaynak işlemidir. Bazı tozaltı kaynak işlemlerinde, iki veya daha fazla elektrot aynı anda kaynak ağzını doldurabilir. Elektrotlar yan yana (ikiz sistemde) veya kaynak havuzunda sırayla uygulanabilir ve daha hızlı kaynak uygulamaları ve daha yüksek metal biriktirme oranları için kaynak havuzunun bağımsız olarak katılaşması için yeterli alan bırakır. (Erengin, 2009).

2.1. YÖNTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bu kaynak genellikle bir ark kaynağı türüdür. Bu kaynak türünde, çıplak tel ile iş parçası arasında bir ark oluşturulur ve tel besleyici tarafından otomatik olarak kaynak alanına taşınır ve toz yığınının altından kaynak alanına sürekli olarak girer. Bu nedenle bu tür kaynağa tozaltı kaynağı denir.

Ark bölgesi, bir akı tabakası, kaynak metali ve kaynağın yakınındaki ana metal ve erimiş akı (cüruf) ile korunur. Tozaltı ark kaynağında, erimiş metal ve erimiş cüruftan oluşan bir kaynak havuzundan bir elektrik akımı akar. Alaşımli çeliklerin kaynağında, kaynak metalinin kimyasal alaşım özelliklerini destekleyen alaşım elementlerinin dahil edilmesine özen gösterilmelidir. Genel olarak tozaltı kaynak yöntemi, otomatik kaynak yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bazı uygulamalar için, yüksek dolgu elde etmek için iki veya daha fazla elektrot kaynak bölgesine aynı anda sürülebilir. Şekil 2.1’de tozaltı ark kaynak donanımı görülmektedir.

Kaynak işlemi sırasında makine normal olarak hareket eder ve parçalar sabit kalır. Silindirik bir malzemeyi kaynak yaparken malzeme döner ve kafa tutulur. Uygulamada, makineler genellikle özel raylar üzerinde hareket eder. Sabit parçaları hareket ettirebilen torba kaynak makineleri, son zamanlarda endüstride büyük metal plakaların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Tozaltı ark kaynağı (şematik ve fotoğraf olarak).

Tozaltı ark kaynak yönteminin temel özellikleri,

- Yüksek kaliteli ve düzgün kaynak dikişi
- Yüksek kaynak hızları
- Kalın malzemelere uygulanabilirlik
- Yüksek dolgu metali yığıma oranı

- Yoğun nüfuziyet
- Özel koruyucu emniyet tedbirlerine gereksinim olmaması
- Kolay temizlenebilir cüruf.

Kaynak yönteminde birleştirilecek yüzeylerin uygun şekilde temizlenmesi gerekir, kaynak teli ve toz seçimi ve kaynak işlemini etkileyen tüm faktörler ile kaliteli kaynak metali üretilebilir. Tozaltı ark kaynağı esas olarak yüksek amperde çalıştığı için ön ısıtma gerekli değildir.

2.2. TOZALTI KAYNAĞI ÇEŞİTLERİ

2.2.1. Tandem Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi

Seri bağlı iki elektrotun aynı yönde hareket etmesi ile oluşan tozaltı kaynak yöntemidir. Bu yöntem özellikle boru hatlarının kaynaklarında kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın başlıca avantajları şu şekilde ifade edilebilir:

- Çatlamaya karşı emniyetlidir.
- Yüksek kaynak hızları elde edilir.
- Yüksek kaliteli dikişler elde edilir.
- Tekli veya toplu gözenek oluşma riski oldukça düşüktür.

2.2.2. Paralel Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi

Bu işlemde iki tel 90° açıyla yerleştirilir ve aynı torca bağlanır. Bu yöntemin avantajları şunlardır:

- Kaynak banyosunun parçayı delip, akma tehlikesi yoktur.
- Nüfuziyet kontrol altına alınabilir.
- Kaynak kapak yüksekliğini ve nüfuziyet derinliğini değiştirme olasılığı vardır. Bu husus dolgu gereken kaynak ihtiyaçlarında büyük öneme sahiptir.

2.2.3. Seri Kaynak Yöntemi

Bu yöntemde kaynak nüfuziyet oranı oldukça düşüktür. Yöntemde ana malzemeyle kaynak teli karışım oranlarının kontrolü mümkün olabilmektedir. Metodun isminden de anlaşılacağı üzere, arklar seri olarak bağlanır, iki farklı torç kullanılır. Akım üreticinin kollarının her biri ayrı ayrı elektrodla bağlanmıştır ve parçada ayrı bir bağlantı bulunmaz. Bundan dolayı iki elektrod arasında ortaya çıkan arkın etkisiyle parçadaki ergime çok az olur. Bu yöntemin sağladığı yararlar ise aşağıdaki gibidir:

- Seri kaynak tek telle yapılan kaynak metodu ile kıyaslandığında, ergime gücünün epey fazla olduğu anlaşılır.
- Toz tüketim oranı daha azdır.

2.2.4. Band Elektrodla Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi

Bu yöntemde tel şeklindeki elektrotlar yerine band elektrotlar kullanılır. Elektrotlar genellikle dikdörtgen şeklindedir ve elektrotun tüm kesiti üzerinde yaylar oluşur. Elektrotların hareketi üç yönde olabilir (yatay, dikey). Bant elektrotları kullanan tozaltı ark kaynağı işleminin ana özellikleri şunlardır:

- Maddi açıdan kazanç sağlar.
- Nüfuziyet nispeten azdır.
- Ergime gücü yüksektir.
- Kaynak pasoları gözenek bakımından yüksek mukavemete sahiptir.

2.2.5. Kızgın Tel Yöntemi

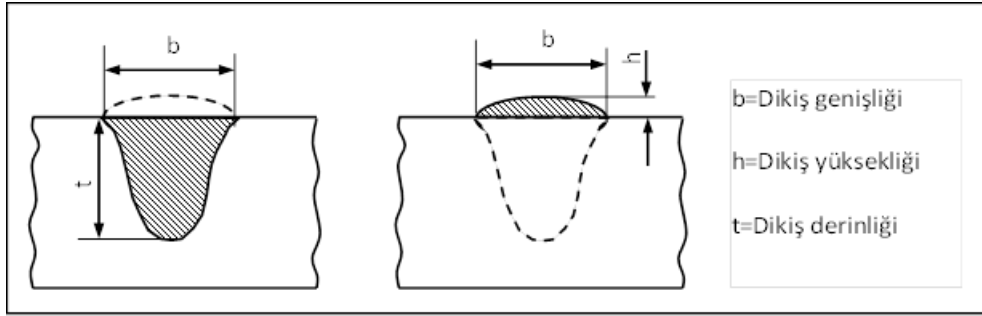
Paralel tozaltı kaynak yöntemine bir alternatiftir. Bu uygulamada tamamlayıcı metallere biri bir dirençle ısıtılarak kaynak havuzuna aktararak elektrik enerjisinin daha verimli elde edilmesi sağlar.

2.2.6. Demir Tozu İlavesiyle Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi

Demir tozu ilave edilerek tozaltı ark kaynağında, sabit kaynak değerleri ile ilave metal yığılma oranının büyük oranda artırılması mümkün olabilir. Ek olarak, yığılma oranını artırmak için, soğuk tel elektrotlar veya önceden ısıtılmış sıcak tel elektrotlar kullanılarak kaynak alanına dışarıdan nüfuz etmek için ek sistemler kullanılabilir. (Anık, 2000).

2.3. TOZALTINDA DİKİŞ FORMUNU ETKİLEYEN PARAMETRELER

Kaynak dikiş formu denilince; dikiş genişliği, kaynak kapağının yüksekliği ve köşe kaynaklarında kaynak boğaz ölçüleri anlaşılır. Dikiş formu incelendiği zaman dış, iç dikiş formu olmak üzere iki farklı form gözlemlenir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi.

Kaynak dikişinin formu, kaynaklı bağlantıda olması gereken mekanik özelliklerin sağlanması açısından oldukça önem arz eder. Dikiş formunu etkileyen unsurlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- **Akım şiddeti:** Akım şiddetini etkileyen amper değerinin artması ısıyı da arttırarak kaynak içi nüfuziyeti arttırmaktadır.
- **Akım yoğunluğu:** Akım yoğunluğunun (amper/mm^2) artması ile nüfuziyet ve kaynak kapak yüksekliği artmaktadır.

- **Kaynak hızı:** Kaynak ilerleme hızının optimum seviyesinde kaynak derinliği en ideal durumdadır. Kaynak ilerleme hızı arttıkça nüfuziyet ve kapak paso genişliği azalır.
- **Kaynak ağız şekli:** Kaynak ağız tasarımındaki farklılıklara göre dikiş formu değişkenlik gösterir. Kaynak ağız açısı arttıkça kaynak genişliği artmaktadır.
- **Serbest tel uzunluğu:** Kaynak telinin bir kısmı tel besleyicisinin dışına çıktığında, kaynak kapağının yüksekliği yükselir ve penetrasyon azalır.

2.4. TOZALTI KAYNAĞININ AVANTAJLARI

- Düz ve silindirik malzemelerin kaynağında, her malzeme kalınlığında ve ebatındaki boruların kaynaklarında kullanılabilen yüksek tel yığma hızına sahip olan bir yöntemdir.
- Kaynak yapımında el becerisi ön planda değildir. Kaynak hataları oluşmadan ve yüksek mekanik değerlere sahip kaynak dikişleri ortaya çıkar. Tozaltı ark kaynak yöntemi kapalı ve atmosfere açık alanlarda kullanımı uygundur.
- Kaynak sırasında sıçrıntı oluşmaz ve ark ışınları gözle temas etmez bu sebepten dolayı kaynak operatörü için gerekli olan koruyucu donanım daha azdır.
- Bu kaynak metodunda derin nüfuziyetli kaynak pasoları elde edilir. 20mm kalınlığındaki bir malzemeyi çift taraflı birer pasolu kaynak ile, kaynak ağız olmaksızın birleştirmek imkanı sağlar.
- Diğer yöntemleriyle kıyaslandığında geniş olmayan kaynak ağız açılarını kaynatmak daha olasıdır.
- Kaynak dikiş formu daha düzgün ve sıçrıntı bakımından daha temiz bir kaynak elde edilir.
- Elektrik enerjisi tasarrufu bakımından örtülü elektrod ark kaynak yöntemiyle kıyaslandığında 3 katı oranında enerji tasarrufu sağlar.

Krater hatalarından kaçınmak için tozaltı ark kaynak yönteminde kaynak öncesi, başlangıç bitiş plakaları puntalanır. Kaynak işlemi bu plakada başlar ve bu plakada son bulur. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra bu plakalar kesilerek krater hataları önlenmiş olur (Anık, 1991).

2.5. TOZALTI ARK KAYNAĞININ DEZAVANTAJLARI

- Bu metodun yatırım maliyeti oldukça yüksektir.
- Tozaltı ark kaynak yönteminin nem alma fizibilitesi oldukça yüksektir, bu nem kaynak dikişinde gözeneklere daha sonra çatlaklara sebep olabilir. Bu hatanın meydana gelmemesi için tozların kaynak yapılmadan önce kaynak fırınında 2-3 saat 300°C’de ısıtılması gerekir.
- Yüksek kaliteli kaynaklar elde edebilmek adına ana metal düzgün olmalı, yüzeyinde pas, kalıntılar ve yağ olmamalıdır.
- Tozaltı kaynağı 5mm’den ince malzemeleri delme riski olduğundan ince malzemelerde kullanımı uygun değildir.
- Tozaltı ark kaynak yöntem özel çalışmalar hariç, alın (PA) ve yatay iç köşe (PB) kaynakları için uygundur (Kahraman ve Gülenç, 2016).

2.6. TOZALTI KAYNAĞININ UYGULAMA ALANLARI

- Basınçlı kazan, kap ve tank üretiminde
- LPG tüp üretiminde,
- Spiral kaynaklı boru üretiminde
- Çelik yapıların üretiminde
- Profil (I, H, T) üretiminde
- Lokomotif ve otomobil sanayiinde
- Gemi inşa sanayiinde,

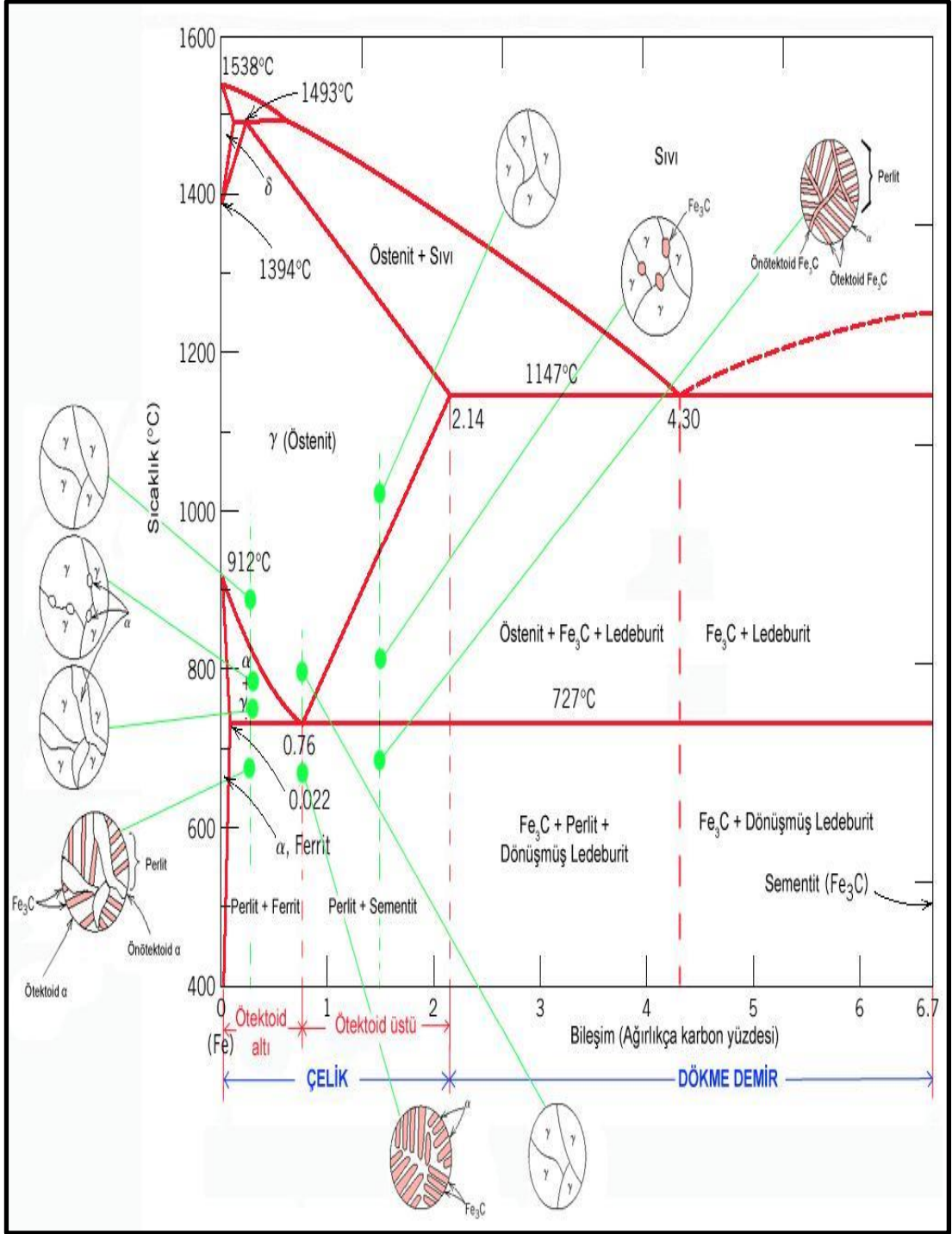
Tozaltı kaynağı özellikle basınçlı kap yapımında, yapının birleştirilmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır (Külahlı, 1998).

BÖLÜM 3

ÇELİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

3.1 ÇELİK VE SINIFLANDIRILMASI

Çelik, demir ve karbon birleşiminden oluşan bir alaşımdır, bu oran genellikle %0.2-2.1 oranında değişmektedir. Çelik alaşımlarındaki karbon içeriği, çeliklerin sınıflandırılmasında olumlu bir rol oynar. Demir-karbon denge diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir. Çeliğe farklı mekanik özelliklerini veren elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin iç yapısıdır. Çeliğe farklı miktarlarda alaşım elementleri eklenebilir ve iç yapısı farklı işlemlerle (restorasyon, normalleştirme vb.) kontrol edilir ve farklı özelliklerde çelikler üretilir. Çelik, kullanım alanına bağlıdır. Manganez (Mn), kükürt (S), fosfor (P) ve silisyum (Si), imalat sırasında hammaddelerden gelen ve çelikte belirli oranlarda bulunan elementlerdir. Çelik, demir cevheri veya hurdadan geri dönüştürülerek iki şekilde üretilir. Sıvı çelik üretildiğinde, döküm yoluyla külçe veya kütük şeklinde şekillendirilir veya sürekli döküm ile genişletilir. (Poweliet, 2006).



Şekil 3.1. Fe-C faz diyagramı (Anık, 2000).

3.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler

%0,20'ye kadar karbon içeren çelikler bu gruba dahil edilebilir. Ayrıca mekanik özelliklerini ön planda tutan yumuşak çelik olarak da bilinirler. Düşük karbonlu çelik, küresel çelik üretiminin en büyük payını oluşturuyor. İnşaat sektöründe ve temel yapısında kullanılan yassı ürünler ile çubuk ve profil çelikleri düşük karbonlu çelik grubuna aittir. Düşük karbonlu çelik, düşük karbon içeriği nedeniyle ısıtma işlemi yeterince sertleştirilemez. Ancak karbonlama, nitrürleme vb. Yüzey sertleştirme yöntemleri ile yüzey sertleştirilebilir (Lu vd. 2012).

3.1.2 Orta Karbonlu Çelikler

Bu gruptaki çelikler, karbon içeriği %0,20-%0,60 olan çeliklerdir. Karbon içeriğine bağlı olarak orta mekanik özelliklere sahiptirler. Bu pozisyonda yer alan çeliklerin ana özelliği, kullanım amacına göre ısıtma işlemi sertleştirilebilmeleridir. Bilhassa makine imalat sanayinin kullandığı çeliklerdir. İşleme kabiliyetleri ve şekil verme kolaylığı düşük karbonlu çeliklere göre daha düşüktür. Orta karbonlu çeliğin kaynaklanabilirliği de düşük karbonlu çeliğe göre daha düşüktür. Kaynak sırasında meydana gelen kontrolsüz ısıtma etkileri nedeniyle çeliğin yapısal değişimini etkileyecek ve iç yapıyı değiştirecektir. Bu nedenle malzemede kusurlara neden olabilir. Bu özelliklerden dolayı, özellikle alaşım elementleri içeren orta karbonlu çeliklerin kaynağında özel dikkat gösterilmelidir. (Lu vd. 2012).

3.1.3 Yüksek Karbonlu Çelikleri

%0,60'dan daha fazla karbon oranı olan çeliklerdir. Normal şartlarda yüksek mukavemet özellikleri sağlayan ve sünekliği düşük olan çeliklerdir. Isıtma işlemleriyle sertleştirilebilmeleri bu çelik grubunun yüksek sertlik kazanabilmesini sağlar. Bu bakımdan aşınma direnci yüksek ve kesici kabiliyete sahiptirler. İşlenebilirlik ve şekillendirilebilirlikleri, düşük ve orta karbonlu çeliklere göre daha düşüktür. Kaynaklanabilirlikleri de düşüktür ve daha özel kaynak teknikleri ile birleştirilebilirler. Bu gruptaki çelikler nispeten takım imalatında tercih edilirler. Yüksek karbonlu çeliklerin bileşimindeki karbon içeriğinin demir-karbon denge

şemasına göre %2 kadar yüksek olabileceği belirtilmekle birlikte, uygulamada bu değer %1,2-1.4 ile sınırlıdır. Özellikle yüksek karbonlu çelikler, düşük ve orta karbonlu çeliklere göre suyu daha kolay emebilir ve bunlarda martenzitik yapının sertliği daha yüksektir. (Lu vd. 2012).

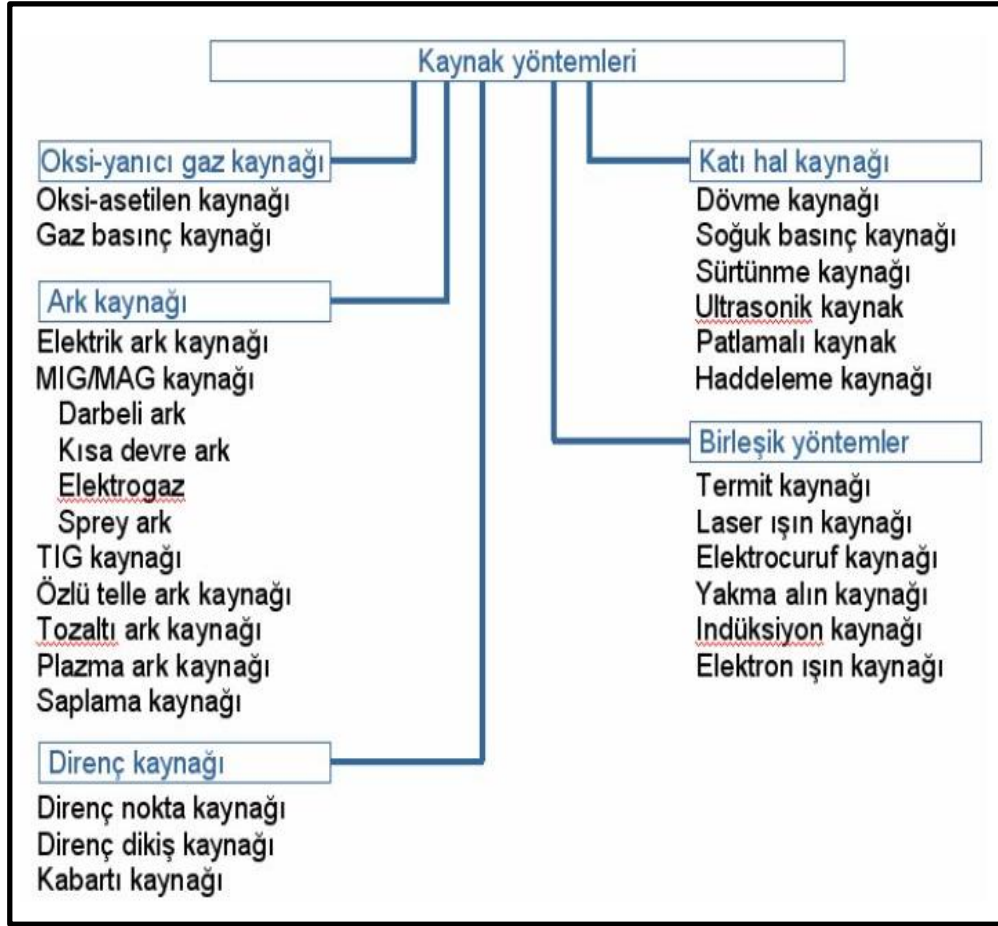
3.2. KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, depolama tank imalatında sıklıkla kullanılan ASTM A36 malzeme kullanılmıştır. ASTM A36 düşük karbonlu bir çeliktir. Düşük karbonlu çelikler, ağırlıkça % 0.3'ten az karbona sahip olarak sınıflandırılır. Bu, ASTM A36 çeliğinin kolayca işlenmesini, kaynaklanmasını sağlar, bu da genel amaçlı bir çelik olarak oldukça kullanışlı olmasını sağlar. Düşük karbon aynı zamanda ısıtma işleminin ASTM A36 çeliği üzerinde çok fazla etkisinin olmasını önler. ASTM A36 çeliği genellikle, manganez, kükürt, fosfor ve silikon gibi az miktarda diğer alaşım elementlerine sahiptir. Bu alaşım elementleri, ASTM A36 çeliğine istenen kimyasal ve mekanik özelliklerini kazandırmak için eklenir. ASTM A36 yüksek miktarda nikel (Ni) veya krom (Cr) içermediğinden mükemmel korozyon direncine sahip değildir.

1018, 1141 veya 4140 gibi çoğu AISI sınıfının aksine, Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (ASTM) A36 çeliği kimyasal bileşim tarafından belirtilmemiştir. Bunun yerine, ASTM A36, mekanik özelliklerle belirtilir. Bunun anlamı, çelik kare profil gibi çoğu kalitenin belirli yüzdelere uygun alaşımlar eklemiş olmasına rağmen, ASTM A36'nın belirli mekanik standartlara uyması gerektiği anlamına gelir. Örneğin, çelik çubuklar ve plakalar, inç kare başına minimum 36.000 pound akma dayanımına sahip olmalıdır. ASTM A36 çeliğinin uyması gereken bazı kimyasal bileşim gereksinimleri olsa da, en önemli özellik akma dayanımı gereksinimidir.

3.3. ÇELİKLERE UYGULANAN KAYNAKLAR

Kaynak türleri yapılış biçimi, kullanılan elektrodlar ve koruyucu olarak kullanılan materyalleri sebebiyle birçok sınıflara ayrılabilir. Günümüz teknolojisinde çok fazla kaynak türü kullanılmaktadır. Çeliklere ve demirdışı malzemelere uygulanan başlıca kaynak yöntemleri Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması (Korkmaz, 2010).

3.4. ÇELİKLERE UYGULANAN TAHRİBATSIZ TESTLER

Tahribatsız muayene, bir malzemeyi veya sistemi, kullanılabilirliğini etkileyen herhangi bir süreksizlik olup olmadığını belirlemek veya malzemenin özelliklerini sistem bütünlüğüne zarar vermeden değerlendirmek için test etmeye yönelik tüm test yöntemlerini içerir (Korkmaz, 2010).

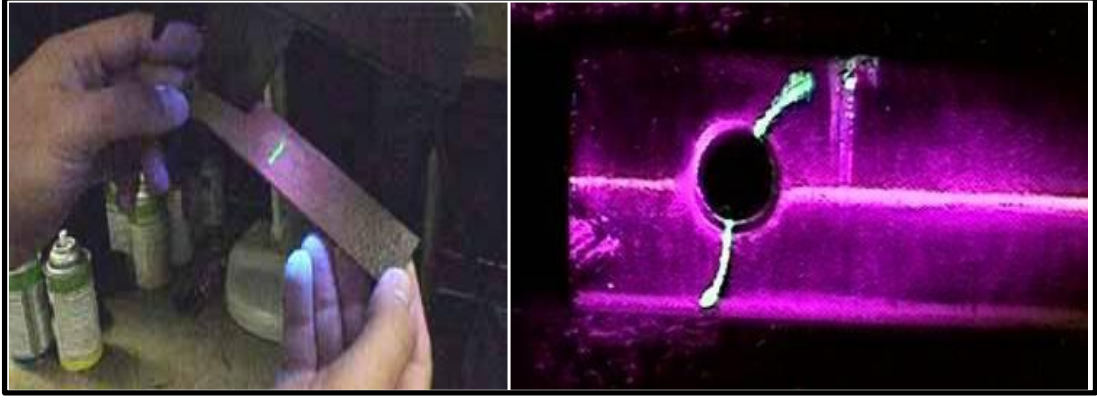
Kaynak sırasında, kaynak ve ısıdan etkilenen bölgelerde kusurların görünmemesi veya kabul edilebilir sınırlar içinde olması istenir. Aksi takdirde malzemenin kür şartlarındaki dayanıklılığı etkilenecek ve beklenmeyen hasarlar meydana gelebilir. Kaynaklardaki hataları tespit etmek için istenen kaynak kalitesi, malzeme, kaynak dikişi kalınlığı, kaynak yöntemi, kullanım yeri, kaynak türü vb. ve beklenen kaynak

pozisyonuna göre en uygun tahribatsız muayene yöntemi seçilmelidir (Kahraman, 2010).

3.4.1. Sıvı Penetrant Testi

Penetrasyon testi yöntemi, malzeme türünden bağımsız olarak, çatlama boşlukları vb. yüzeyde veya yüzeyde açık. Malzeme süreksizliklerini tespit etmek için kullanılır. Test alanı mekanik ve/veya kimyasal olarak temizlendikten sonra kurutulur ve yüzeye bir penetrant (kırmızı veya florosil) uygulanır. Maddenin yüzeydeki açık süreksizliklere nüfuz etmesi biraz zaman alır. Yüzeydeki penetrant uygun bir sıvı ile temizlenir ve kurutulur, penetrantı aralıklı olarak emer ve yüzeye dağıtır ve beyaz rengi sayesinde kontrast oluşturarak gözle veya büyüteç ile görülmesi hataya neden olur (Seçim, 2011).

Operasyonun ayrıntılarını, kullanılan penetrantın türü ve penetrant süresi belirlemektedir. Bu, penetrant testinin süreksizliğin içinde içermesi için geçen süredir. Bu sürenin ardından yüzeyde kalan penetranta dikkatli bir şekilde temizlik işlemi uygulanır. Bu işlemde dikkat edilecek unsur, süreksizliğin içinde kalan penetrantın dışarı çıkmasına olanak sağlanmamasıdır. Bu ikinci temizlik işleminden sonra “developer” olarak adlandırılan kimyasal madde yüzeye uygulanır. Developer şayet süreksizlik varsa içine ihtiva etmiş olan penetrantı dışarı çıkararak gözlemlenebilir hale gelmesini sağlar. Bu şekilde renk kontrastından dolayı basit bir şekilde tespit edilebilir. Bu işlemlerin sonunda gerekli yorumlamalar gerçekleştirilir. Kontrolün sonucu kayıt altına alınıp, raporlandıktan sonra developer ve kalan penetrant yüzeyden temizlenerek işlemin sonuna gelinir (Onursal, 2010).



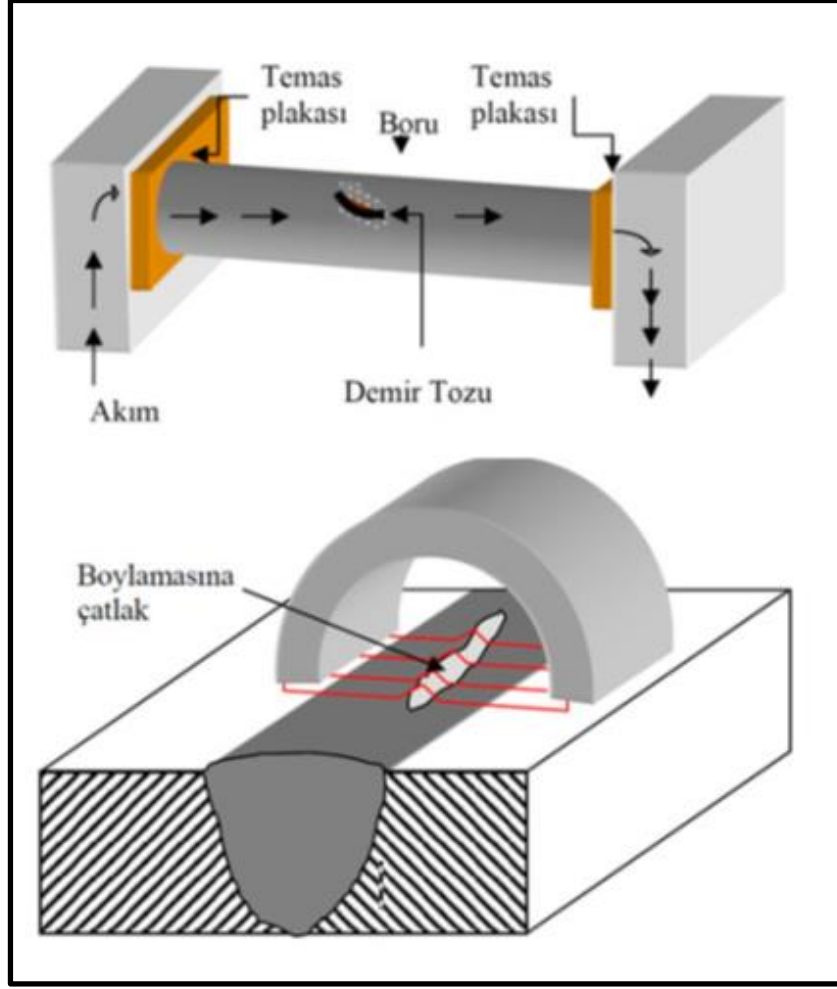
Şekil 3.3. Flüoresan penetrant (girici) sıvıyla ultraviyole ışınları altında yapılan test resimleri (İnternet, 2006).

3.4.2. Manyetik Parçacık Testi

Bu yöntem, bir ferromıknatısın (demir, nikel, kobalt gibi yüksek manyetik malzeme) manyetize edilmesi durumunda manyetik akının değişmesi veya yüzeyin süreksizliğinde kesilmesi prensibine dayanmaktadır (Kaya, 1992).

Manyetik parçacık muayenesi çelik konstrüksiyon, otomobil, petrokimya, enerji santralleri ve havacılık gibi çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Denizaltı denetimi (okyanus yapıları ve denizaltı boru hatları), manyetik parçacık denetiminin kullanılabileceği başka bir alandır. (Anonim, 2004).

Manyetik alan, önce sabit bir mıknatıs veya bir elektromıknatıs kullanılarak test parçasından bir elektrik akımı geçirilerek oluşturulur. Bu, malzemede manyetik kuvvet çizgileri oluşturur. Bu hatlar arasında bir kırılma olması durumunda, alan çizgisi kırılmanın üzerinden atlar ve yoluna devam eder, bu da kırılmaya karşı güçlü olan boş bir manyetik alan oluşmasına neden olur. Süreksizliği görselleştirmek için test yüzeyine ince demir tozu serpin. Yoğun sızıntı alanı süreksizlikteki demir tozunu toplayarak süreksizliği görünür kılar. Bu nedenle süreksizliğin yeri, şekli ve boyutu belirlenir. (Kökdemir, 2007). Şekil 3.4'te manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri verilmiştir.



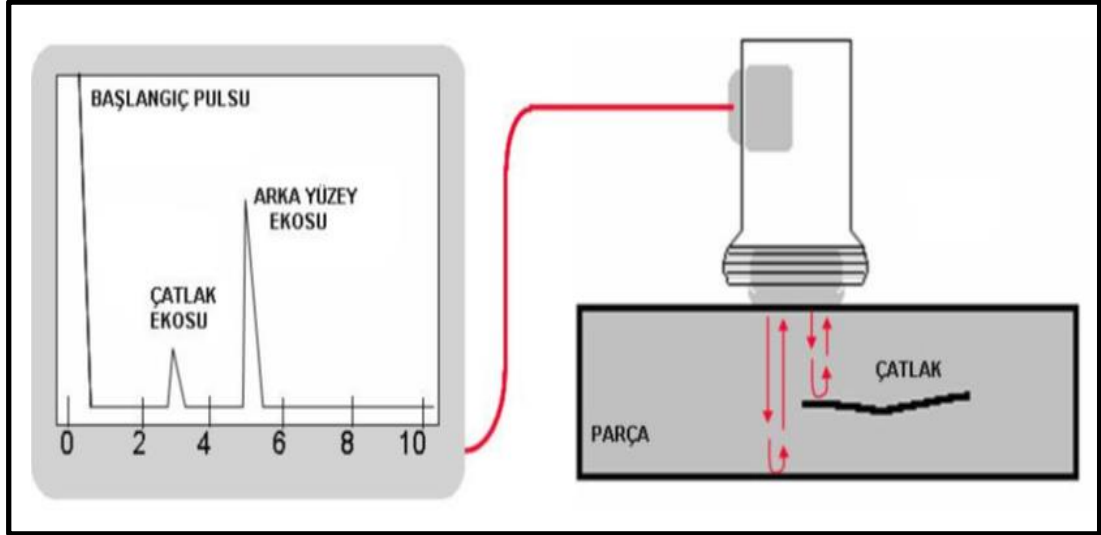
Şekil 3.4. Manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri (İnternet, 2006).

3.4.3. Ultrasonik Muayene

Ultrasonik dalgaların metal içi hata tip ve özelliklerinin tespit edilmesi için kullanılması ilk defa 1931 yılında bir Alman patenti ile başlamıştır. İlk ticari ekipmanlarla, 1940'lı yıllarda endüstriyel alanda çalışmaya başlamıştır. Elektronik aletler teknolojisinin ilerlemesi bu methodun kullanışlı bir muayene metodu olarak öne çıkmasına etken olmuştur. Bulduğumuz yıllarda bu yöntem sıklıkla tercih edilen bir muayene yöntemi haline gelmiştir (İnternet, 2012-b).

Ultrason ($f = 0.14-10$ MHz) ters piezoelektrik etki ile üretilir ve prob sayesinde malzemeye nüfuz etmesini sağlamak için kısa darbeler üretir. Ses dalgası arka duvara çarptığında malzemedен yansıma yapmaktadır. Yankı oluşur oluşmaz pasif dönüştürücüye ulaştığında tekrar elektrik sinyaline dönüştürülerek ultrasonik test

cihazına iletilir (Şekil 3.5.). Sinyal gücüne dayalı olarak uçuş süresi ekseninde bir giriş oluşturur. Aşağıdaki resim, ekranın sağ arka duvarından gelen yankıyı göstermektedir. Ekranın solundaki sinyal mesafesi, bu yankının başladığı yerden gelen darbedir. Arka duvarın beklenen eko konumundan önce yani bu ekonun solunda ekranda başka bir eko görülürse malzemede bir süreksizlik olduğu anlaşılır. (Seçim, 2011).



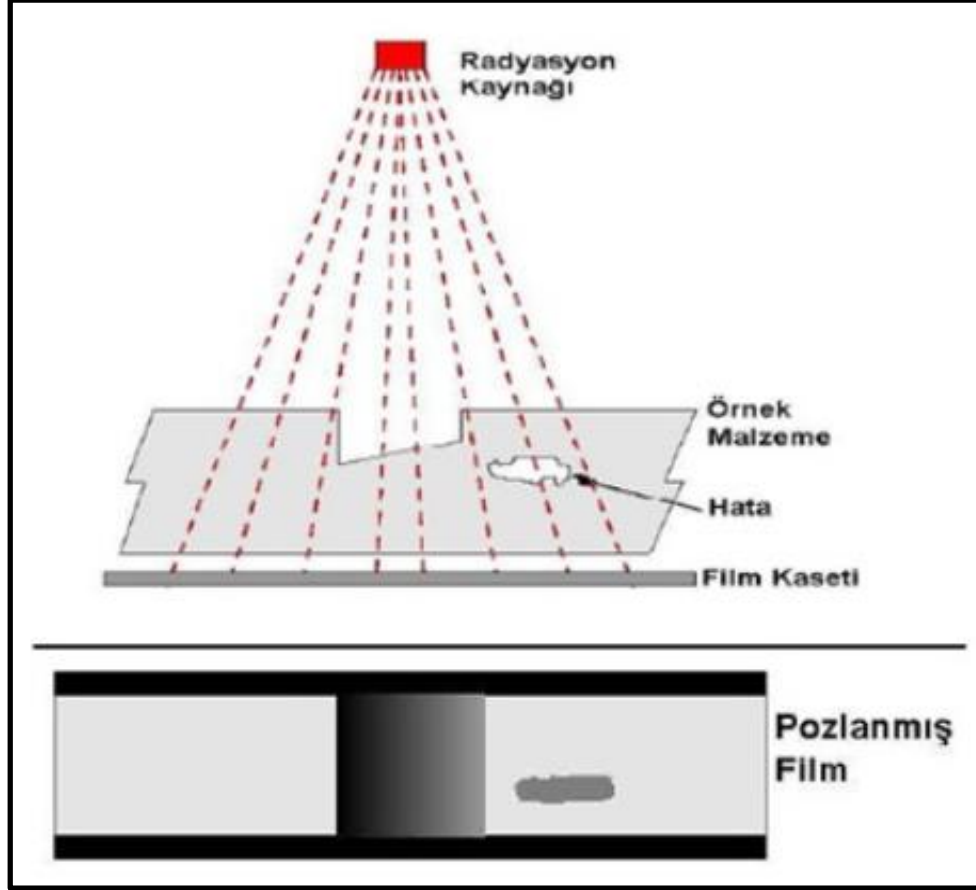
Şekil 3.5. Ultrasonik muayene yönteminin çalışma prensibi (Kökdemir, 2007).

3.4.4. Radyografik Muayene

Radyografik muayene, X veya Gama ışınları yardımı ile muayene edilecek malzeme parçalarının bir film yüzeyinde görüntü elde edilmesidir. X ışınları ve gama ışınları yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır. Bu dalgaların lineer yayılım, zayıflama, iyonlaşma ve iletim özellikleri radyografik araştırma yöntemlerinde kullanılmaktadır. (Yasar, 2010).

Bu işlemde elektronik cihazlar aracılığıyla X ışınları üretilmektedir. Gama ışınları radyoaktif elementler kullanılarak üretilir. Bu ışınlar, malzeme ile temas edip içinden geçer, bu ışınların bir kısmı malzemenin et kalınlığı ve yoğunluk özelliklerine bağlı olarak bir kısmı absorbe edilir. Malzeme tarafından emilemeyen enerji filme geri yansıtılır, filmde görülen koyu renkler bu noktalara çok fazla enerjinin girdiğini gösterir. Malzemedeki boşluklar, çatlaklar ve boşluklar gibi süreksizlikler, o noktada malzemenin kalınlığının azalmasına neden oldukları için film üzerinde koyu şekiller

olarak kabul edilir. Öte yandan, malzemede tungsten gibi ağır metal kalıntılarının bulunması, film üzerinde parlak beyaz bir renk oluşmasına neden olur. (Şekil 3.6) (Özkırmaz, 2009).



Şekil 3.6. X ışını ile radyografik muayene (Anonim, 2004).

3.5. ÇELİKLERE UYGULANAN TAHRİBATLI TESTLER

Malzemelerin mukavemet, süneklik ve sertlik gibi mekanik özellikleri temel olarak içyapı özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle malzemelerin içyapı özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak oldukça önemlidir. Malzemelerin mekanik özellikleri çeşitli ısıtım yöntemleri ile iyileştirilebilir. Malzemelerin mekanik özellikleri açısından beklentiyi karşılayabilmeleri için ısıtım metodunun doğru seçilmesi oldukça önemlidir. Tahribatlı muayene yöntemleri ile ısıtım yönteminin doğru olup olmadığı kontrol edilebilmektedir. Tahribatlı malzeme muayenesi isminden de anlaşılacağı gibi malzemeye tahribat vererek kalıcı şekil değişikliklerine uğratar, bu tahribat işlemi

mekanik deneylerle gerçekleştirilir. Malzemelerin basma ve çekme mukavemetleri, uygulanan yük şiddetine karşı gösterdiği kopma direnci ile tespit edilir. Malzemelerin kopma mukavemetleri uygulanan yüklemelere karşı gösterdikleri direnç sayesinde tespit edilir. Malzemelerin eğilmeye karşı dirençleri ise iki mesnet parçası arasına yüklenen kuvvete karşı gösterdiği mukavemet ile tespit edilir (Özakın, 2010).

3.5.1. Makro/Mikroyapı Çalışmaları

Makro kesit/yüzeyaltı özelliklerinin tespit edilmesi, birleştirmeden alınan numune kesitin maksimum 10x büyütme ile gözlemlenmesidir. Bu test yöntemi sayesinde köşe kaynaklarında efektif boğaz yüksekliği, kaynak boğaz yüksekliği, köşe ve alın kaynaklarında nüfuziyet, süreksizlikler (ergime noksanlığı, gözenek, çatlak, kalıntılar vb.) tespit edilebilir.

Mikro kesit özelliklerinin incelenmesi, kaynaklı birleştirmeden alınan numune kesitin 10x büyütmeden daha fazla büyütme ile gözlemlenmesidir. Bu test yöntemi ile tane yapısı, tane boyutu incelemesi, kaynak ısısının etkisiyle oluşan faz değişimleri, kılcal çatlaklar tespit edilebilir. Numunelerin hazırlık işlemleri makro testinden farklı olarak daha dikkat edilerek yapılması gerekir (numunenin dağlama süresi, zımparalama ve keçe ile parlatılmasına dikkat edilmesi vb.).

3.5.2. Sertlik Testi

Bir malzemenin kesilmeye, çizilmeye, delinmeye ve aşınmaya karşı gösterdiği mukavemete sertlik adı verilir. Bilimsel şekilde açıklandığında ise malzemenin dislokasyon hareketlerine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği mukavemete sertlik olarak ad verilir. Sertlik değerleri bütün metallerde özellikle de çeliklerde uygulanan ısı işlem veya soğuk şekillendirme yöntemleri ile geniş aralıklarda farklılık gösterebilir. Sertlik değerleri malzemelerin iç yapısı hakkında yorumlar yapılabilmesine olanak sağlar. Bu amaçla sertlik testi uygulaması oldukça sık tercih edilen bir yöntemdir. Sertlik testinde değer, bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca veya kesici takıma karşı gösterilen mukavemet ölçülerek tespit edilir (Özakın, 2010). Sertlik ölçme yöntemleri;

- Brinell sertlik testi
- Rockwell sertlik testi
- Mikro-sertlik deneyi.
- Vickers sertlik testi

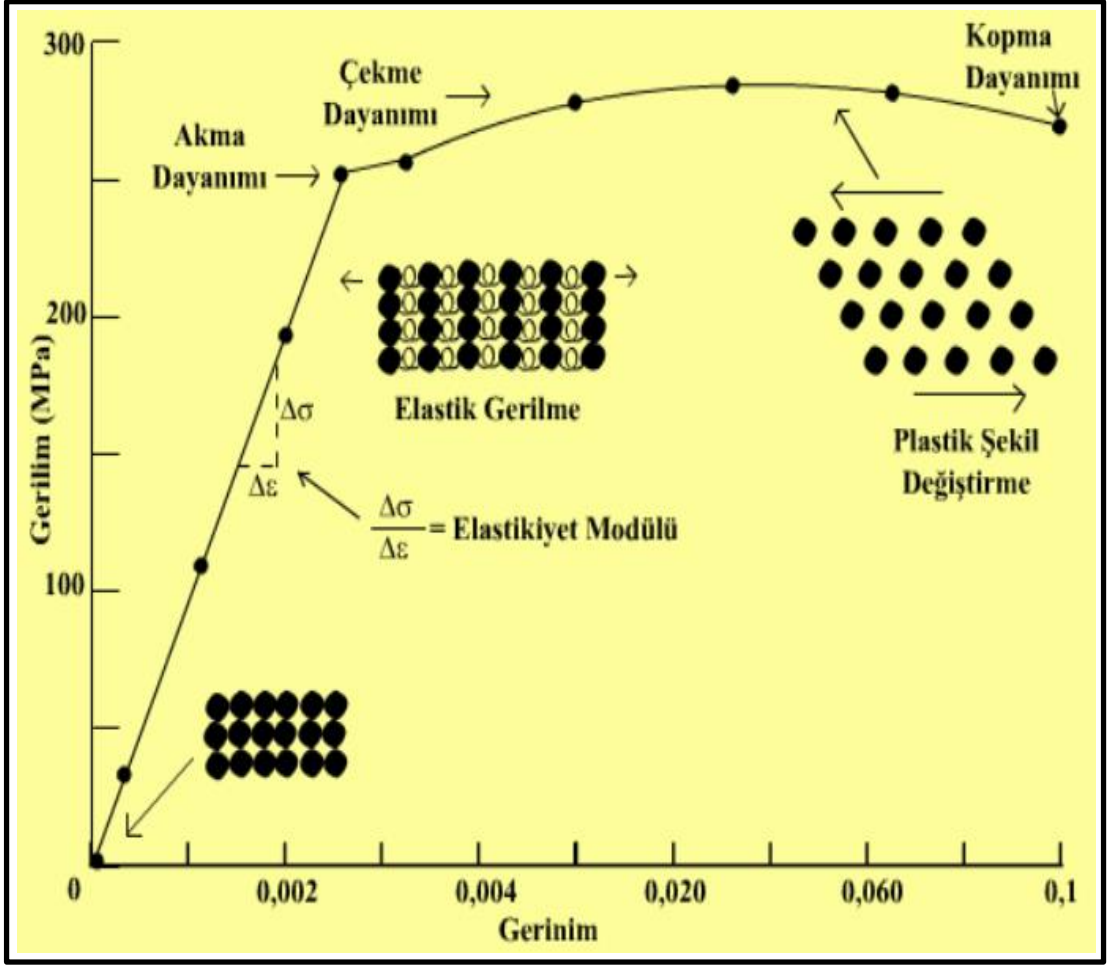
Bu çalışmanın bir parçası olarak, Vickers sertlik testi kullanılarak kaynaklı numunelerin sertlik testi yapılmıştır.

3.5.3. Çekme Testi

Malzemelerin mukavemeti için tasarım özelliklerini belirlemek ve malzemeleri özelliklerine göre sınıflandırmak amacıyla çekme testi kullanılır. Çekme deneyi, hazırlık aşamasında ilgili standartın verdiği numune ölçülerinde hazırlanan deney numunesinin tek ekseninde, belirlenmiş bir hızla ve sabit sıcaklıkta kopma olayı görülünceye kadar çekilme işlemidir. Test esnasında, numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti yüklendiğinde, o sırada da numunenin uzama oranı kaydedilir (Kurt, 2008).

Çekme deneyi uygulanan malzemenin mekanik özelliklerinin doğru olarak belirlenebilmesi için; numune malzemenin özelliklerini tam anlamıyla tanımlamalıdır, nasıl imal edildiğinin (kaynak, döküm, sıcak dövme veya haddeleme soğuk dövme) bilinmesi, numunenin çıkarılış şeklinin doğru olması gerekmektedir. Çekme testinde test numunesi yüke maruz bırakıldığında numunede uzama ikiye ayrılır; Elastik uzama: yük altındaki numunede akma sınırına gelene kadar bir miktar uzama görülür. Yükleme işlemi sonlandırıldığında bu uzama kaybolur ve numune eski şekline döner. Plastik uzama: akma sınırını aşan yük malzemedeki kalıcı şekil değişikliği meydana getirir. Yani yükleme sonlandırıldığında numunenin eski şekline dönmesi mümkün değildir (Asarkaya, 2006).

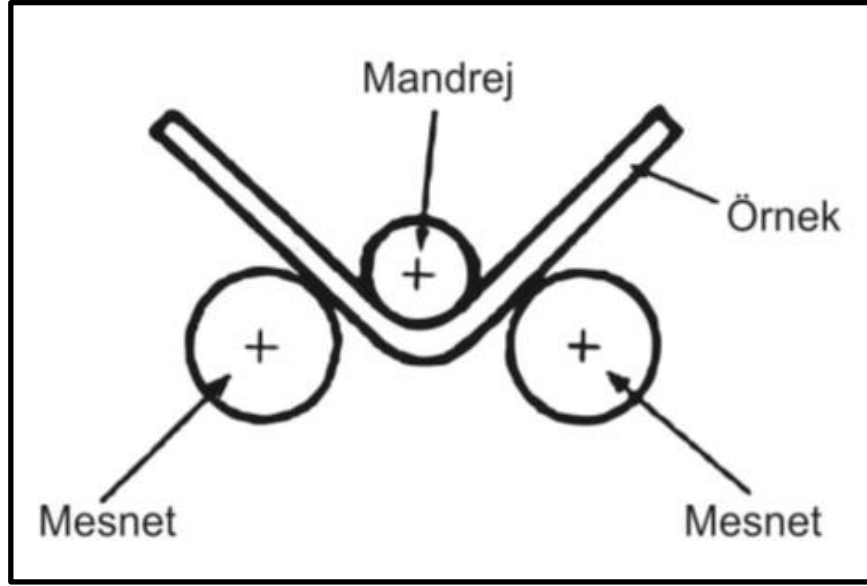
Çekme testi sonucunda malzemenin elastik modülü, elastik limiti, çekme mukavemeti, akma noktası, uzama, kesit daralması, tokluk gibi özellikleri gerilme-gerinim diyagramından belirlenir. (Şekil 3.7) (Özakın, 2010).



Şekil 3.7. Çekme deneyinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri (Asarkaya, 2006).

3.5.4. Eğme Testi

Bu testte kaynak bağlantısı, 90° çaplı bir mandrel kullanılarak kaynak dikişine dik bir kuvvet uygulanarak iki mesnet üzerine yerleştirilen numuneleri bükerek deforme olma özelliğine sahiptir (Asarkaya, 2006). Şekil 3.8’de eğme deneyi şematik olarak gösterilmiştir.

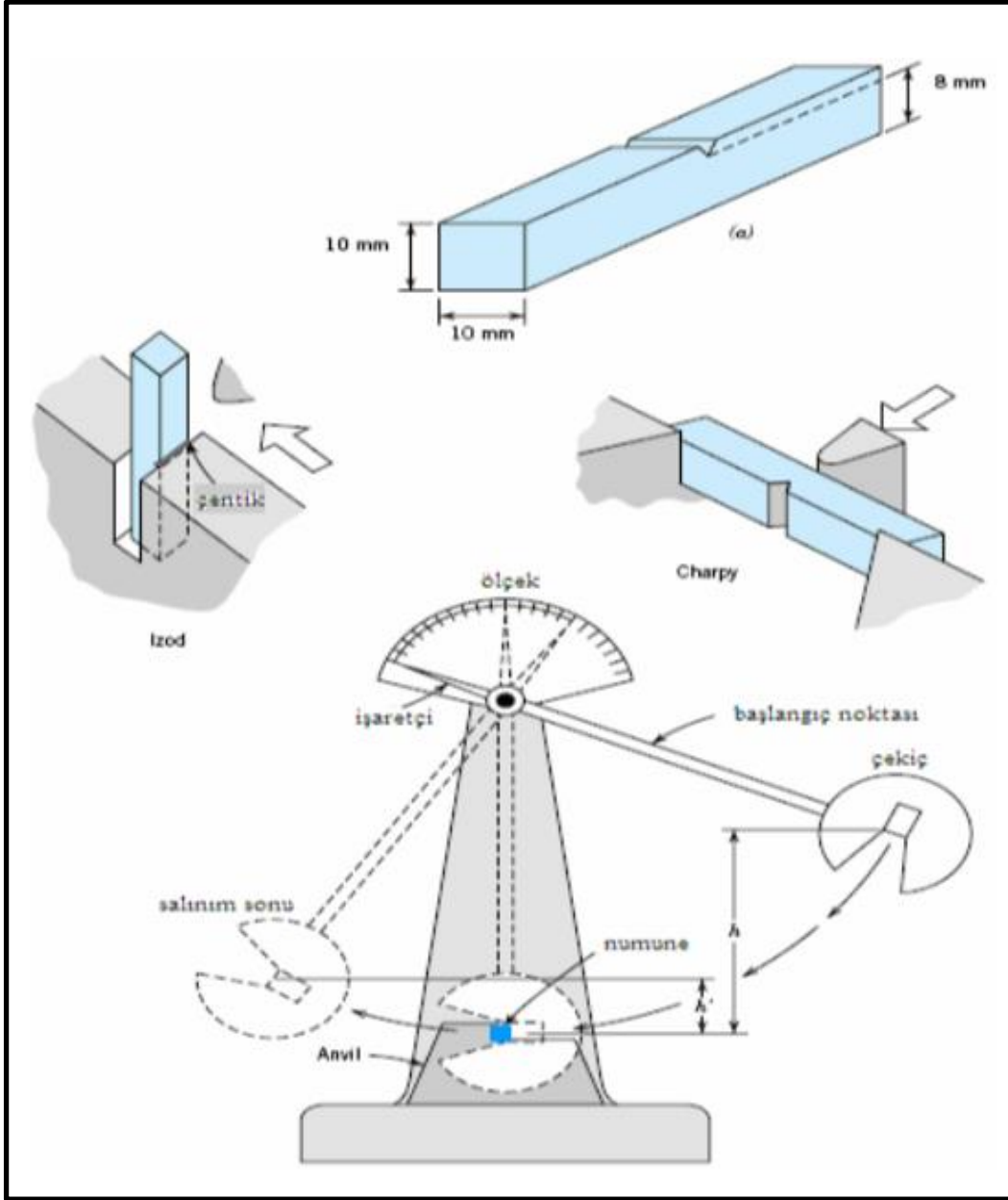


Şekil 3.8. Eğme deneyi prensip şeması (İnternet, 2012-c).

3.5.5. Çentik Darbe Testi

Çentik darbe testinin amacı, malzemenin çalışma şartlarında karşılaşılabileceği gerilim birikimini yapay yolla malzemeye ileterek malzemenin bu durumda sönümleyebileceği enerjiyi belirlemektir. Test edilen malzemelerin ani yük altındaki dayanımları daha yavaş yüklenen durumlardakine göre daha düşüktür. Deneyin sonuçları malzemeleri sınıflandırmak için kullanılır. Bunlar tasarım odaklı mühendislik hesaplamalarında kullanılmaz. Testi çalıştırmak için numune, belirli bir boyut ve belirli bir çentik şekli ile hazırlanır. (Şekil 3.9) (Asarkaya, 2006). Çentik darbe testi iki türde yapılır.

- İzod darbe deneyi
- Charpy darbe deneyi



Şekil 3.9. Çentik darbe testi (Süzen, 2009).

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, depolama tank imalatında sıklıkla kullanılan ASTM A36 çelikler farklı kaynak akımları (450 A, 475 A, 500 A, 525 A ve 550 A) kullanılarak tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Farklı kaynak akımlarının kaynak bölgesi üzerine etkileri tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleri ile incelenmiştir. Kaynaklı numunelerin yüzey ve yüzeyaltı kusurlarının belirlenmesi için tahribatsız muayene yöntemlerinden sıvı penetrant (SP), manyetik parçacık (MT), ultrasonik (UT) ve radyografik (RT) teknikleri uygulanmıştır. Bunlara ek olarak kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için ise tahribatsız muayene yöntemlerinden mikrosertlik çalışmaları, çekme, eğme ve çentik darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kaynak bölgesindeki yapısal değişimi incelemek için kaynaklar üzerinde makro/mikroyapısal çalışmalar yapılmıştır.

4.1. KULLANILAN MALZEMELER

Deneysel çalışmalarda 400x150x10 mm ebatlarında ASTM A36 çelik levhalar kullanılmıştır. ASTM A36 levhaların kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 4.2’de verilmiştir. Kaynak işlemlerinde kullanılan ilave metalin kimyasal bileşimi Çizelge 4.3’te, tozun kimyasal bileşimi ise Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.1. ASTM A36 çeliğinin kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim (%)				
C		Mn	P	S
d≤40 mm max.	40<d≤60 mm. max.			
0.25	0.26	0.80-1.20	0.030 max.	0.030 max.

Çizelge 4.2. ASTM A36 çeliğinin mekanik özellikleri.

Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	
250	400-550	A80 min.	A200 min.
		21	18

Çizelge 4.3. Kaynak işlemlerinde kullanılan ilave metalin kimyasal bileşimi.

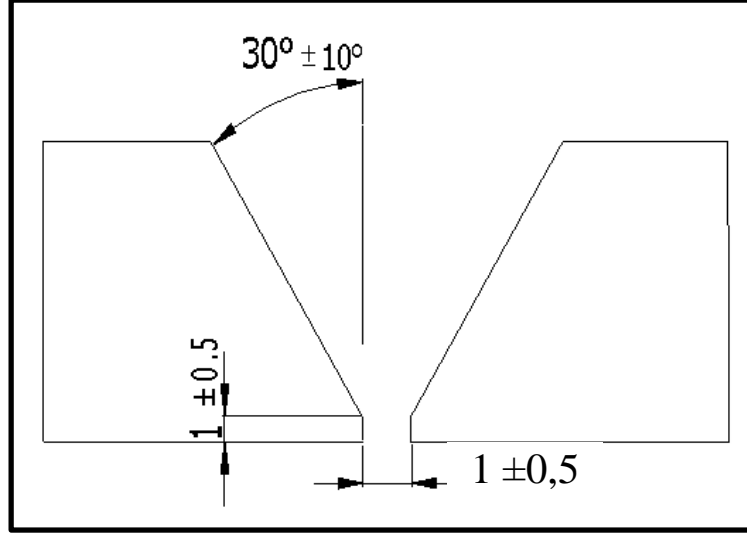
Malzeme	Kimyasal Bileşim (%)				
	C	Si	Mn	P	S
3.20 mm	0.04	0.25	1.3	<0.025	<0.020

Çizelge 4.4. Kaynak işlemlerinde kullanılan tozun kimyasal bileşimi.

Malzeme	Kimyasal Bileşim (%)				
	C	Si	Mn	P	S
Magmaweld SF124	0.05	0.25	1.3	<0.025	<0.020

4.2. MALZEMELERİN KAYNAK İŞLEMİNE HAZIRLANMASI

ASTM A36 levhalar, Tozaltı kaynak işlemine katılmadan önce, bağlantı yüzeyi oksit, pas veya yağlı kirlilikler kalmayacak şekilde temizlendi. Kaynak yapılacak malzemelerin kaynak hazırlığı Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kaynak ağızı hazırlığı detayı.

İlk olarak, plakalar, Şekil 4.2'de gösterildiği gibi, örtülü ark kaynağı kullanılarak aralarında 1 mm mesafe olacak şekilde sabitlenmiştir. Paslı numuneler kaynak öncesi paslanmaz çelik fırça ile paslarından arındırılmıştır.



Şekil 4.2. Levhaların puntalanmış görüntüsü.

4.3. KAYNAK YÖNTEMİ UYGULAMASI

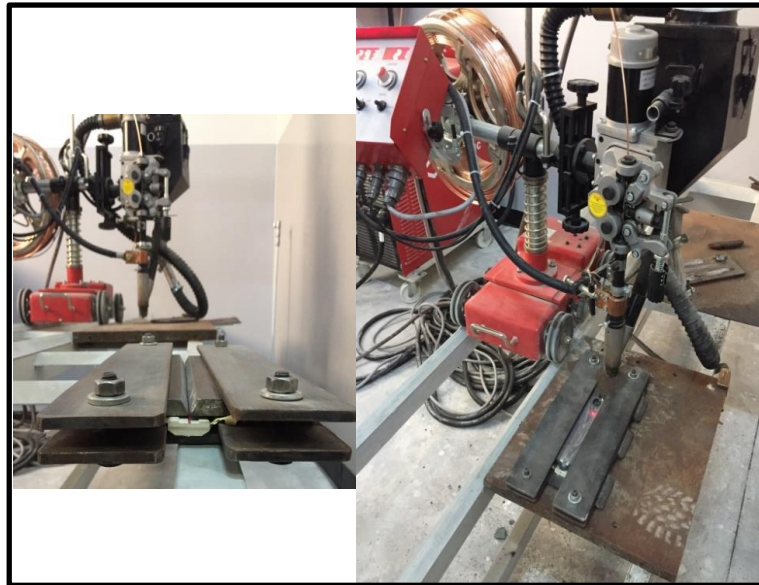
Kaynak işleminden önce levhalar ters çevrilerek örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile kök paso atılmıştır. Sonrasında ise yüzeyleri temizlenen levhalar tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı akım değerleri kullanılarak tek paso olarak birleştirilmiştir.

Tozaltı ark kaynak işlemleri, Karabük Üniversitesi-Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Kaynaklı İmalat Labotatuvarında gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi esnasındaki kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Birleştirilen levhalar, kaynak sonrasında açık havada soğumaya bırakılmıştır. Tel ve toz tipi tüm kaynaklar için sabit tutulmuş olup 3.2 mm çapında tel kullanılmıştır. Koruyucu toz olarak da özellikle depolama tankları, gemi yapımı, çelik yapı ve makine üretiminde, köşe kaynaklarının iç ve alın birleştirilmelerinde, tek tel beslemeli ve tandem kaynak yöntemlerinde uygulama için piyasaya sunulmuş SF124 tozaltı kaynak tozu kullanılmıştır.

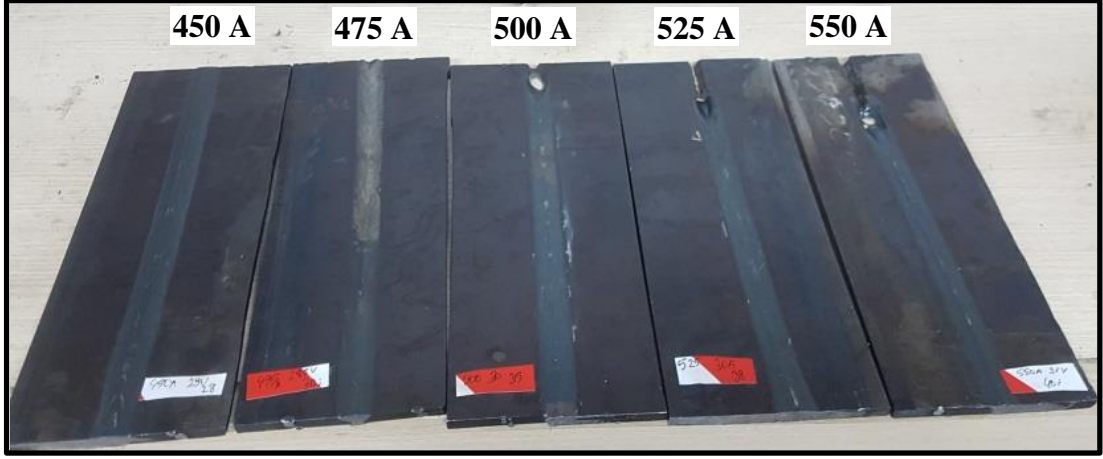
Çizelge 4.5. Kullanılan kaynak parametreleri.

Dolgu malzeme çapı (mm)	Akım tipi	Akım (A)	Volt (V)	Tel hızı (cm/min)
3.20	DC +	450	29	28
		475	29,5	30
		500	30	35
		525	30,5	38
		550	31	40

Şekil 4.3'te kaynak esnasında alınan görsel ve Şekil 4.4'te tozaltı ark kaynağı sonrası numune görseli verilmiştir.



Şekil 4.3. Kaynak esnasında alınan görüntü.



Şekil 4.4. Kaynak sonrası alınmış olan görüntü.

Şekil 4.5'te kullanılan kaynak makinası görüntüsü ve Çizelge 4.6'da kaynak makinesinin teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozaltı ark kaynak makinesi.

Çizelge 4.6. Tozaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri.

Model	Besleme Gerilimi	Kaynak Akımı	Sigorta Akımı	Akım Aralığı
Gecamac Power SAW 1000	400 V 3 faz 50/60 Hz	1000 A-44 V	80 A	100-1000 A

4.4. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATSIZ TESTLERİ

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı kaynak akım değerlerinde birleştirilen levhalar, ilk olarak uzman kaynak mühendisi tarafından gözle kontrolü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kaynaklı levhaların her biri sıvı penetrant, manyetik parçacık, ultrasonik ve radyografik muayene testlerine tabi tutulmuştur.

4.4.1. Sıvı Penetrant Testi

Kaynaklı levhaların sıvı penetrant muayenesinde, BETA marka BT-68 penetrant, developer olarak BT-70, cleaner olarak ise BT-69 kullanılmıştır. Bekleme süresi 20 dakika, gelişme süresi 20 dakika olup, yüzey temizleme kumaş ile yapılmıştır. Şekil 4.6'da deneysel çalışmalarda kullanılan ürünlerin görseli verilmiştir.



Şekil 4.6. Sıvı penetrant muayene yönteminde kullanılan ürünlerin görseli.

4.4.2. Manyetik Parçacık Testi

Kaynaklı levhaların manyetik parçacık testi magnaflux marka manyetik muayene cihazı kullanılarak, uzman manyetik muayene operatörü (NDT Level 2) tarafından gerçekleştirilmiş ve raporlanmıştır. Şekil 5.7'de muayene aşamalarında kullanılan cihaz görseli verilmiştir.



Şekil 4.7. Manyetik parçacık testinde kullanılan cihaz görseli.

4.4.3. Ultrasonik Muayene

Kaynak metali, ITAB ve ana malzeme'nin ultrasonik test methodu 60° ve 70° açılarındaki prob yardımıyla Krautkramer USM36 ultrasonik test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Muayene EN 1712, EN 1713 ve EN 1714 test prosedürü ve yöntem 1 kabul şartları 2 normları esas alınarak, test yapılan levhalar ultrasonik test konusunda gerekli belge sahibi (NDT Level 2) uzman tarafından gerçekleştirilmiş ve raporlanmıştır. Şekil 4.8'de kaynaklı levhaların ultrasonik muayene işleminde kullanılan cihaz gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Ultrasonik muayene yönteminde kullanılan cihaz görseli.

4.4.4. Radyografik Muayene

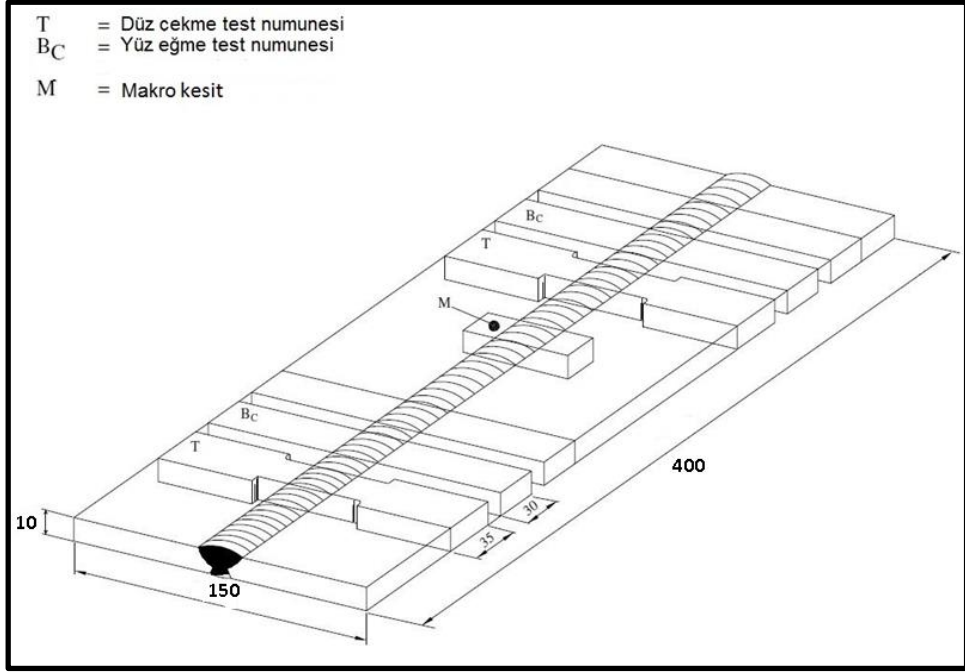
Levhaların radyografik muayenesi Detay Kalite firmasında bulunan radyografik muayene cihazında, test konusunda gerekli belge sahibi (NDT Level 2) uzman tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca film sonuçları, film değerlendirme ekranında karanlık bir odada yorumlanmıştır, Şekil 4.9’da deneysel çalışmalarda kullanılan cihaz görseli verilmiştir.



Şekil 4.9. Radyografik muayenede kullanılan cihaz görseli.

4.5. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATLI MUAYENESİ

Tahribatsız muayene yöntemleri uygulanan kaynaklı levhalar sonrasında tahribatlı muayene için hazırlanmıştır. Kaynaklı levhalar su soğutmalı şerit testere kullanılarak herhangi bir ısı girdisi oluşturulmayacak şekilde makro-mikro, sertlik, çekme, eğme ve çentik darbe çalışmaları için numuneler hazırlanmıştır. Şekil 4.10’da şablon olarak numune hazırlama gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Numune hazırlama görseli.

4.5.1. MAKRO/MİKRO YAPI İNCELEMELERİ

Makro/mikro yapı fotoğrafları almak için kullanılan numuneler, standart metalografik numune hazırlama kurallarına göre kaba zımpara kağıdı ile zımparalanmıştır. 3 mikron elmas pasta ile parlatılmış ve ardından %2 Nital solüsyonu ile dağlanmış. Mikroyapı çalışmalarında Inverted marka optik mikroskop kullanılmıştır. Şekil 4.11’de mikro yapıların görüntülediği cihaz verilmiştir.



Şekil 4.11. Optik mikroskop görüntüsü.

4.5.2. Sertlik Testi

Kaynaklı numunenin sertlik ölçümü, kaynak metali, ITAB ve ana metal dahil olmak üzere kaynağın enine kesitinden alınmıştır. Sertlik ölçümleri Şekil 4.12’de görüldüğü gibi ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.12 Sertlik ölçümü iz görüntüsü.

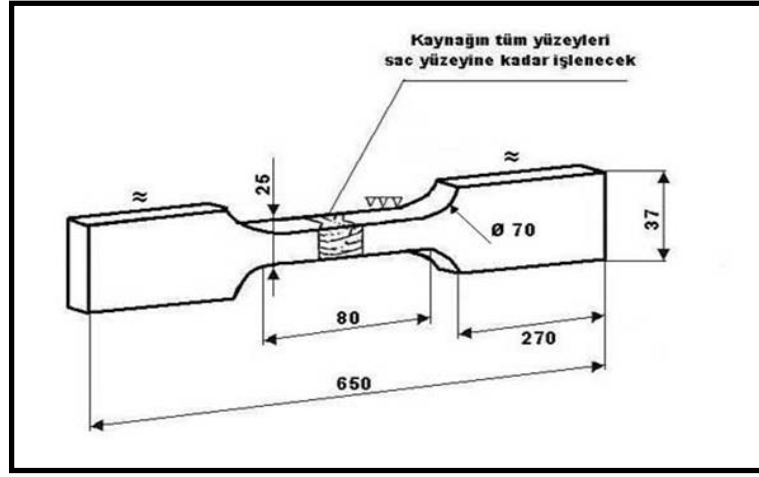
Sertlik deneyleri, Hardway HV 10AP model tam pinomatik değişken yüke sahip olan cihazla gerçekleştirilmiştir. Sertlik testi uygulamalarında Vickers sertlik değerleri kullanılmış ve ölçümlerde 10 kg yüke tabi tutulmuştur. Şekil 4.13’te sertlik ölçümünde kullanılan cihazın fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4.13. Sertlik ölçme cihaz görüntüsü.

4.5.3. Çekme Testi

Her kaynak malzemesi için 3 adet çekme testi numunesi alınmış olup, toplamda 15 adet kaynak çekme testi numunesi alınmıştır. Deneyde 600 kN yük kapasiteli Hardway/WAW 600 D çekme cihazı kullanılmıştır. Numune ölçüleri Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Çekme testi, oda sıcaklığında 5 mm/dk çekme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15'te çekme cihazının fotoğrafları verilmiştir.



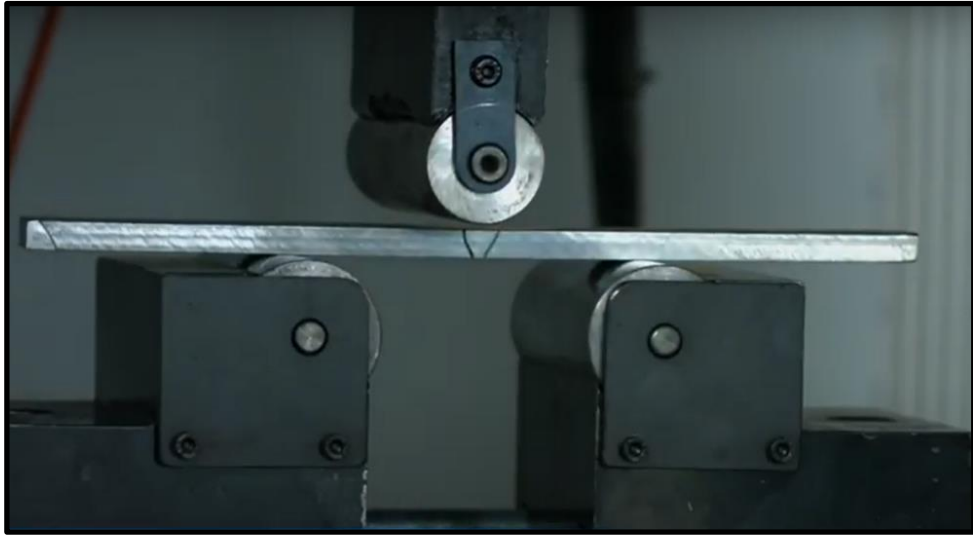
Şekil 4.14. Çekme numunesi hazırlama görseli.



Şekil 4.15. Çekme cihazı görseli.

4.5.4. Eğme Testi

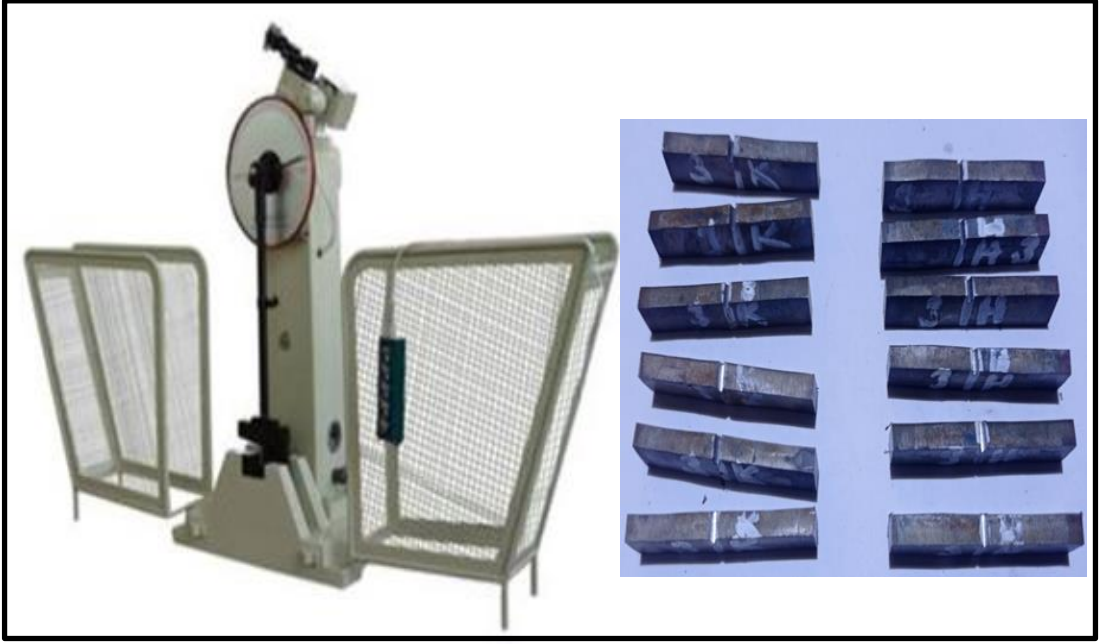
Eğme numuneleri için kaynaklı levhalardan kapak pasodan 3'er adet olmak üzere toplam 15 adet numune hazırlanmıştır. Eğme deney numune ölçüleri 130x40 mm ebatlarında hazırlanmış ve mandrel çapı 20 mm olarak belirlenmiştir. Eğme testi operasyonlarında, çekme deneylerini gerçekleştiren Hardway/WAW 600 D çekme testi cihazı kullanılmıştır. Testler oda sıcaklığında, 10 mm/dk eğme hızında uygulanmıştır. Şekil 4.16'da eğme testi görseli verilmiştir.



Şekil 4.16. Eğme testi görseli.

4.5.5. Çentik Darbe Testi

Çentik darbe testi için 55x10x5 mm boyutlarında, kaynak metali ve ITAB'dan olmak üzere 3'er adet numune hazırlanmıştır. Şekil 4.17'de çentik darbe numune örneği ve deneyin gerçekleştiği cihaz gösterilmiştir. Çentik darbe numuneleri charpy methodu uygulanarak 300 joule, izod methodu olarak 150 joule deney uygulama özelliğine sahip Hardway/JB 300 B test cihazı vasıtasıyla charpy yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Testler -20 °C, 0 °C ve 20 °C sıcaklarında uygulanmıştır.



Şekil 4.17. Çentik darbe cihaz ve numune görüntüsü.

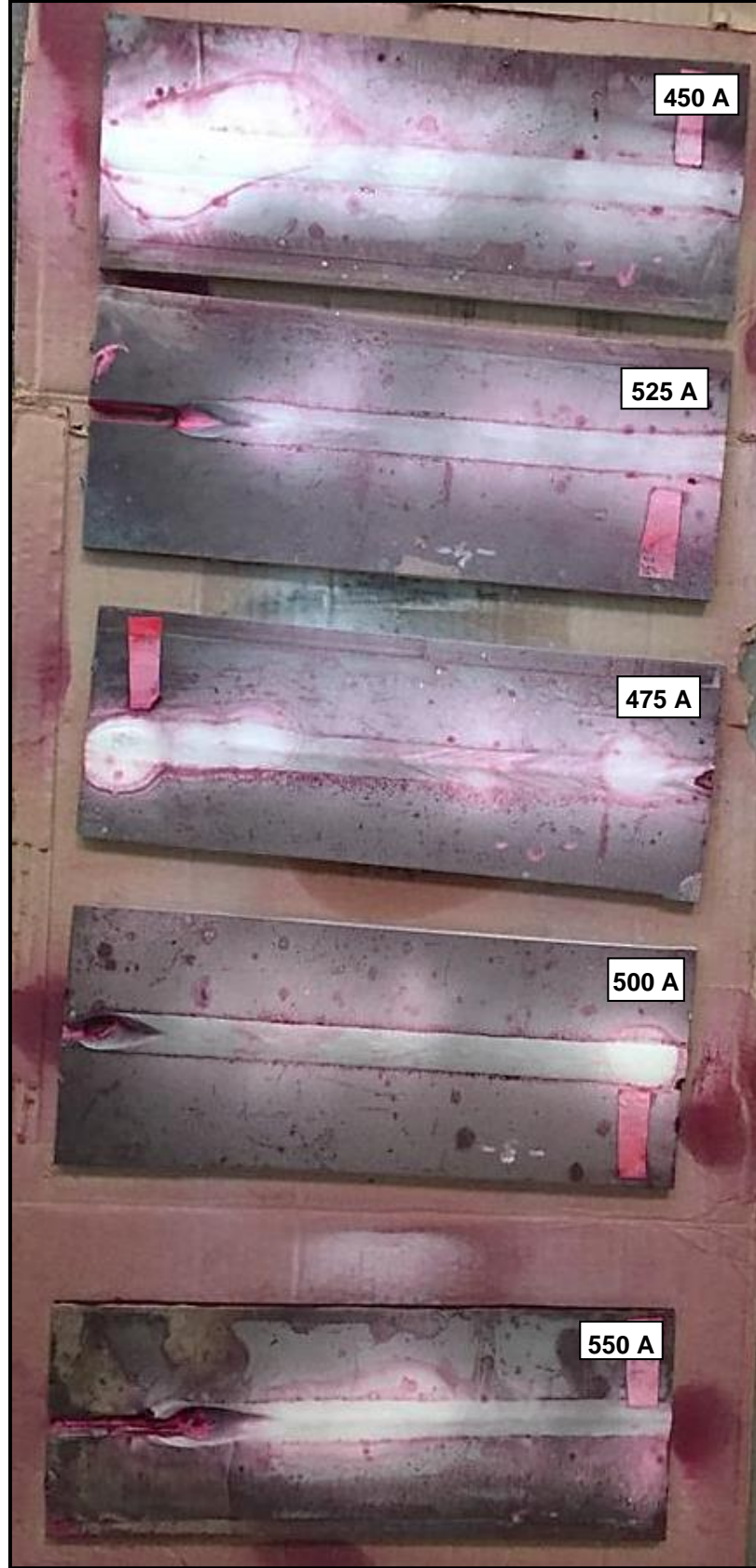
BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR



5.1. PENETRANT SIVI MUAYENESİ

Kaynaklı levhaların penetrant sıvı testi (NDT Level 2) tahribatsız muayene uzmanı tarafından yapılmış ve EN ISO 23277 standartı kapsamında raporlanmıştır. Şekil 5.1’de deneysel çalışmaların görseli verilmiştir.

Sıvı penetrant testi sonrası tahribatsız muayene uzmanı tarafından onaylanan rapor Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Sıvı penetrant yöntemi uygulama görüntüsü.

SIVI PENETRANT TEST RAPORU				Report No.	PT-001		
				Sheet/Page	1/1		
				Date	16.3.2020		
Surface Temperature : T<10 <input type="checkbox"/> 10≤T≤38 <input checked="" type="checkbox"/> T>38 <input type="checkbox"/>							
Surface Condition : AS IT IS <input checked="" type="checkbox"/> SAND BLASTED <input type="checkbox"/> GROUND <input type="checkbox"/> MACHINED <input type="checkbox"/>							
Welding Process : GTAW <input type="checkbox"/> SMAW <input type="checkbox"/> GMAW <input type="checkbox"/> SAW <input checked="" type="checkbox"/>							
Joint Type : FILLET <input type="checkbox"/> V <input checked="" type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>							
Penetrant Brand: BETA PROSES BT68		Dwell Time: 20 mins.		UV- Light Intensity: 500 lux			
Developer Brand: BETA PROSES BT70		Developer Time: 20 mins.					
Cleaner Brand: BETA PROSES BT69							
Sr. No	Description / Joint no	Thickness/ Length	Material Grade	Observation/ Type of Defect	Defect Location	Remarks	Result
1	TEST PARÇASI 1	10mm	ASTM A36				A
2	TEST PARÇASI 2	10mm	ASTM A36				A
3	TEST PARÇASI 3	10mm	ASTM A36				A
4	TEST PARÇASI 4	10mm	ASTM A36				A
5	TEST PARÇASI 5	10mm	ASTM A36				A
LEGEND for RESULT: A: Accepted R: Repair/ to be corrected							
LEGEND for TYPE OF DEFECTS: LC: Longitudinal Crack TC: Transverse Crack CC: Crater Crack MSP: Micro Surface Porosity							
PREPARED BY (HAZIRLAYAN)				APPROVED BY (ONAYLAYAN)			
NAME: Yiğitcan ATILGAN				NAME: Kerem ÇANAĞCI			
SIGN: 				SIGN: 			
DATE: 16.03.2020				DATE: 16.03.2020			

Şekil 5.2. Sıvı penetrant muayene raporu.

Sıvı penetrant testi sonrası kaynaklı levhalar incelendiğinde, kaynak yüzeylerinde çatlak, boşluk, gözenek ve yanma oluşu gibi yüzey kusurlarına rastlanmamıştır. Uzman tarafından onaylanan rapor da, kullanılan bütün kaynak akımlarında da (450 A, 475 A, 500 A, 525 A ve 550 A) yüzeysel hata olmadığı ve kaynakların uygun olduğu tespit edilmiştir.

Özkan (2019) yapı çeliklerinin kaynak sonrası tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu adlı yüksek lisans tez çalışmasında sıvı penetrant testi sonucunda kaynak yüzeyinde herhangi bir süreksizliğe rastlamadığını belirtmiştir.

5.2. MANYETİK PARÇACIK MUAYENESİ

Kaynaklı levhaların manyetik parçacık muayene testi (NDT Level 2) tahribatsız muayene uzmanı tarafından TS EN ISO 9934 standardı kapsamında uygulanmış ve raporlanmıştır. Şekil 6.3.'de deneysel çalışmaların görseli verilmiştir.



Şekil 5.3. Manyetik parçacık testi uygulama görüntüsü.

Manyetik parçacık testi sonrası tahribatsız muayene uzmanı tarafından onaylanan rapor Şekil 5.4'te verilmiştir.

MANYETİK PARÇACIK TEST RAPORU			Report No.	MT-001	
			Sheet/Page	1/1	
			Date	16.3.2020	
MATERIAL THK.: 10mm					
Magnetic force application: AC <input type="checkbox"/> DC <input checked="" type="checkbox"/> CONSTANTLY <input type="checkbox"/> HALF WAY <input type="checkbox"/> OTHER <input type="checkbox"/>					
Magnetic Particle Direction : CIRCULAR <input type="checkbox"/> LONGITUDNAL <input checked="" type="checkbox"/>					
EQUIPMENT TYPE: MAGMA FLUX					
Test Temperature: 23° C			Light Intensity: 500 lux		
Surface type: GROUND <input type="checkbox"/> SMOOTH <input checked="" type="checkbox"/> COARSE <input type="checkbox"/>					
Surface condition : WET <input type="checkbox"/> DRY <input checked="" type="checkbox"/> FLOURESCENT <input type="checkbox"/> CONTRAST PAINT <input type="checkbox"/>					
Welding Process: SAW			Heat Treatment: Before <input type="checkbox"/> After <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		
Joint Type: BW			Demagnetizasyon: Applied <input type="checkbox"/> Not Applied <input checked="" type="checkbox"/>		
Item No.	Weld/ Part No.	Weld/test Length	Deffect Type	Remarks	Result
1	TEST PARÇASI 1	400mm			A
2	TEST PARÇASI 2	400mm			A
3	TEST PARÇASI 3	400mm			A
4	TEST PARÇASI 4	400mm			A
5	TEST PARÇASI 5	400mm			A
Legend A: Accepted R: Repaired / to be corrected					
PREPARED BY (HAZIRLAYAN)			APPROVED BY (ONAYLAYAN)		
NAME: Yiğitcan ATILGAN			NAME: Kerem ÇANAKÇI		
SIGN:			SIGN:		
DATE: 16.03.2020			DATE: 16.03.2020		

Şekil 5.4. Manyetik parçacık testi raporu.

Manyetik parçacık testi sonuçları incelendiğinde, kaynak yüzeylerinde çatlak, gözenek, yanma oluğu gibi yüzey kusurlarına rastlanmamıştır. Uzman tarafından onaylanan rapor da, kullanılan bütün kaynak akımlarında da (450 A, 475 A, 500 A, 525 A ve 550 A) yüzeysel hata olmadığı ve kaynakların uygun olduğu tespit edilmiştir.

Özkan (2019) yapı çeliklerinin kaynak sonrası tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu adlı yüksek lisans tez çalışmasında manyetik parçacık testi sonucunda kaynak yüzeyinde herhangi bir çatlak, damar, gözenek vb. yüzeysel kusurlara rastlamadığını belirtmiştir.



5.3. ULTRASONİK MUAYENE

Farklı amper değerlerinde tozaltı ark kaynağı ile yapılan birleşimler, yüzeyaltı/kesit hatalarının tespiti için TS EN ISO 23279 standardı kapsamında ultrasonik teste tabi tutulmuştur. Şekil 5.5'te NDT uzmanı tarafından yapılan test aşamasından görüntü verilmiştir.



Şekil 5.5. Ultrasonik muayene yöntemi uygulama görüntüsü.

Ultrasonik muayene sonrası tahribatsız muayene uzmanı tarafından onaylanan rapor Şekil 5.6'da verilmiştir.

ULTRASONİK TEST RAPORU						Report No.	UT-001		
						Sheet/Page	1/1		
						Date	16.3.2020		
Weld Process		SMAW(111) <input type="checkbox"/> SAW (121) <input checked="" type="checkbox"/> GTAW (141) <input type="checkbox"/> GMAW (131/135) <input type="checkbox"/> Other							
Weld Joint Type		Butt Weld <input checked="" type="checkbox"/> Fillet Weld <input type="checkbox"/> Branch Weld <input type="checkbox"/> T-joint <input type="checkbox"/>		Joint Design		V <input checked="" type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> Other			
Test Standard		EN ISO 17840 <input checked="" type="checkbox"/> ASME SEC V <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>		Technique 1		Other <input type="checkbox"/>			
Evaluation Standard		EN ISO 11666 <input checked="" type="checkbox"/> ASME ... <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>		Other					
Heat Treatment Condition		Before <input type="checkbox"/> After <input type="checkbox"/> N/A <input checked="" type="checkbox"/>		Test Temperature		23 ° C			
Material Thickness		10		Material		ASTM A36			
INSTRUMENT USED			MAKE		MODEL/TYPE				
HATA DEDEKTÖRÜ			KRAUTKRAMER		USM 36				
ÖLÇÜ:	7" (Inch)	KAPASİTE:	8 GB, SD-Kart						
ÇÖZÜNÜRLÜK:	800 x 400 piksel	DARBE:	EN 60068 Kısm 2-27 Ekzen başına 1000 çevrim						
HIZ:	250 ... 16.000 m/s	KORUMA:	IP66 / IEC 60529						
PROB BAĞLANTILARI:	2 x LEMO – 1 veya 2 x BNC		ÇALIŞMA SICAKLIĞI:		-10 ... 55°C				
ITEM No.	WELD No. (Part No.)	Location / Dimension of Defect				Test Length (mm)	DEFECT TYPE	DEFECT LOCATION	EVALUATION
		I1 (Q1) mm	I2 (Q2) mm	HVL mm	b (t) mm				
1	TEST PARÇASI 1						Db	0-30	R
2	TEST PARÇASI 2						C	0-30	R
3	TEST PARÇASI 3						C	0-30	A
4	TEST PARÇASI 4						C	0-30	A
5	TEST PARÇASI 5						C	0-30	A
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
Notes:									
EVALUATION LEGEND: A= Acceptable R= To be Repaired									
DEFECT TYPE :									
Aa Gas cavity		Ba Slag inclusion		Db Single side root defect		Fa Excessive penetration			
Ab Elongated cavity		Bb Aligned slag inc.		Dc Incomplete penetration		Fb Imperfect shape			
Ac Aligned porosity		C Lack of fusion		E Crack		Fc Undercut			
Ad Clustered porosity		Da Root concavity		H Metallic inclusion					
PREPARED BY (HAZIRLAYAN)					APPROVED BY (ONAYLAYAN)				
NAME: Yiğitcan ATILGAN					NAME: Yiğitcan ATILGAN				
SIGN: 					SIGN: 				
DATE: 16.03.2020					DATE: 16.03.2020				

Şekil 5.6. Ultrasonik muayene raporu.

Ultrasonik muayene sonuçları incelendiğinde, 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda kökte nüfuziyet noksanlığı (yetersiz penetrasyon) gözlemlenmiştir. 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda ise süreksizlik (yanma çentikleri, kalıntı, gözenek, çatlaklar vb.) gözlemlenmemiştir. Uzman tarafından onaylanan rapor da, 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen

levhalar uygunsuz olduğu, 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımlarında birleştirilen levhaların ise uygun olduğu tespit edilmiştir.

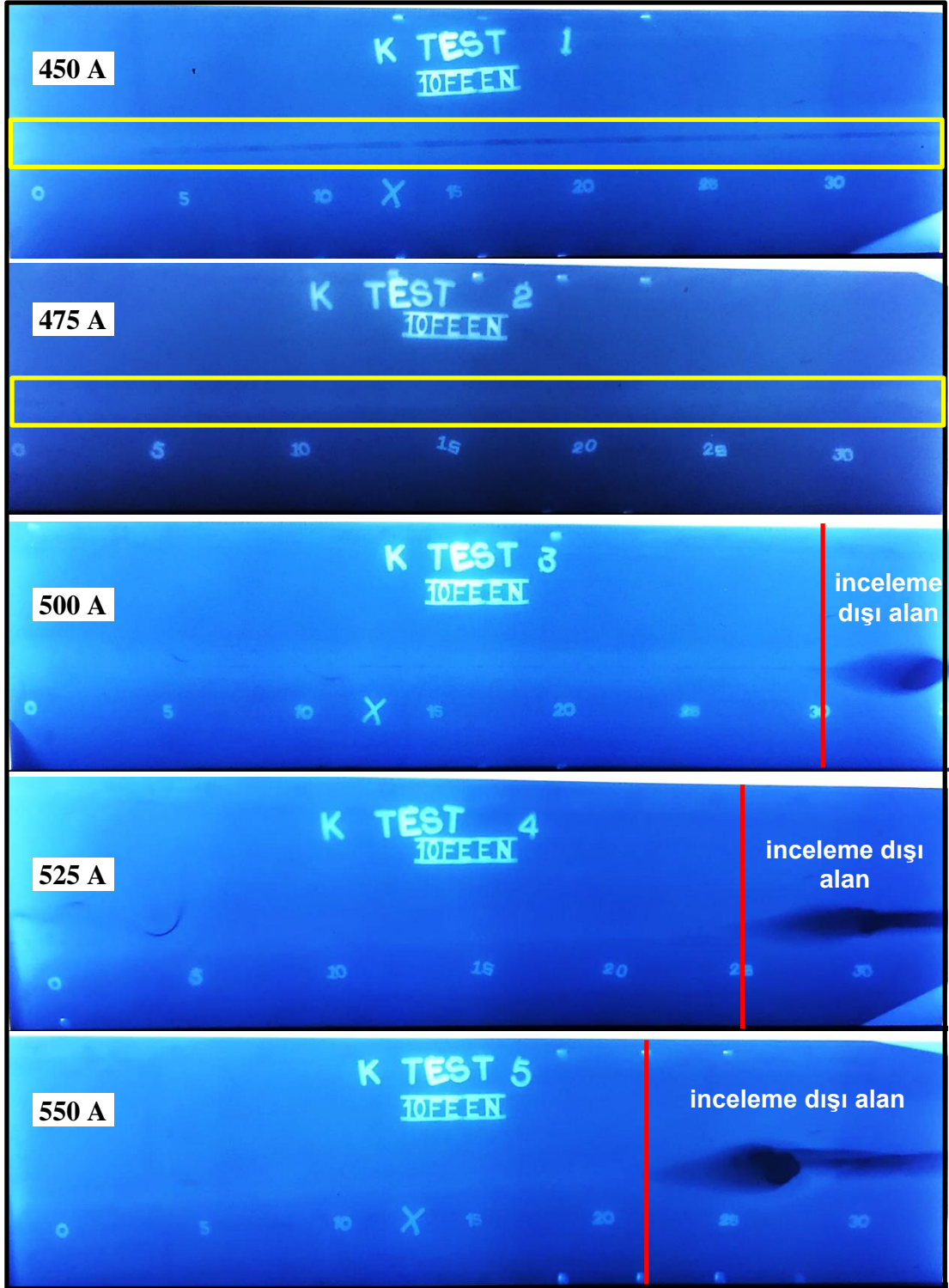
Akay (2012) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu yüksek lisans tez çalışması ultrasonik test ile incelemesinde kaynak dikiş bölgesinde çatlaklar, gözenekler, gaz boşlukları vb. kaynak hatasına rastlamadığını bildirmiştir.

Akay vd. (2013) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin incelenmesi konulu çalışmalarında kaynaklı birleştirmelerin, yüzeyaltı kusurların tespiti için ultrasonik muayene uygulamışlardır. Ultrasonik testler sonucunda, penetrasyon eksikliği, yanma çentikleri, boşluk oluşumu, tortu, çatlak vb. tozaltı ark kaynağı sırasında olabilecek hatalardan gözetilen standartlar kapsamında hiçbir hata gözlemlenmemiş ve kabul olduğunu rapor etmiştir.

Özkan (2019) yapı çeliklerinin kaynak sonrası tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu adlı yüksek lisans tez çalışmasında ultrasonic testi sonucunda boşluk vb. hacimsel hatalara rastlanılmadığı belirtilmiştir.


5.4. RADYOGRAFİK MUAYENE

Kaynaklı levhaların radyografik muayenesi, film değerlendirme ekranında, karanlık bir odada ve tahribatsız muayene uzmanı (NDT Level 2) tarafından TS EN ISO 17636 standardı gereğince gerçekleştirilmiş ve raporlanmıştır. Şekil 5.7’de deneysel çalışmaların görseli verilmiştir.



Şekil 5.7. Radyografik muayene yöntemi sonuçları.

Radyografik muayene sonrası tahribatsız muayene uzmanı tarafından onaylanan rapor Şekil 5.8'de verilmiştir.

		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT RADYOGRAFIK KONTROL RAPORU																			
GENEL	CONTRACTOR / MÜŞTERİ	PROJECT NAME / PROJE ADI	REFERENCE DWG NO / RESİM NO	JOB ORDER No / İŞ EMRİ NUMARASI	REPORT No / RAPOR No	SHEET No / SHEET No															
	YIGITCAN ATILGAN	TEST PARÇALARI	-	-	DTY20-RT-001	1 OF 1															
	EQUIPMENT/LINE No / EKİPMAN / HAT No	INSPECTION PROCEDURE / MUAYENE PROSEDÜRÜ	TEST SPECIFICATION / STANDARDI	TEST	ACCEPTANCE CRITERIA / KABUL KRİTERİ																
	-	PR-104.1.1.004	TS EN ISO 17636-1	-	TS EN ISO 10675-1																
WELD	WELD STRUCTURE DATE / KAYNAK YAPILIŞ TARİHİ	FILLER MATERIAL / MALZEME TİPİ		TEST PLACE / TEST YERİ																	
	-	A36		ÇÖLÜ / İZMİR																	
	WELDING PROCESS / KAYNAK YÖNTEMİ	SMAW (111) ELEKTRİK ARK	GTAW (141) TIG	GMAW (131) 135	SAW (121) TIGALTI	X OTHER / DİĞERLERİ															
	JOINT DESIGN / KAYNAK AĞZI DİZAYNI	V	X	X	K	J OTHERS / DİĞERLERİ															
RADIOGRAFIK	SURFACE CONDITION / YÜZEY DURUMU	WELD / KAYNAK	MACHINED / İŞLENMİŞ	GROUND / TAŞLANMIŞ	CAST / DÖKÜM	ROLLED / HADDELENMİŞ															
	STAGE OF EXAMINATION / KONTROL HEDENİ	BEFORE HEAT TREATED / İŞL. İŞLEM ÖNCESİ	AFTER HEAT TREATED / İŞL. İŞLEM SONRASI	AFTER HYDROTEST / BASINÇ TEST SONRASI	OTHERS / DİĞERLERİ																
	AS WELDED / KAYNAK SONRASI	X	AFTER 1st LAYER / PASO SONRASI	PREPARED EDGE / HAZIRLANMIŞ KENAR	OTHERS / DİĞERLERİ																
	SOURCE-TO-OBJECT DISTANCE / İŞN. KAYNAĞI PARÇA MESAFESİ	400 mm	OBJECT TO FILM DISTANCE / PARÇA FİLM MESAFESİ	50 mm-10 mm	EXPOSURE TIME / POZ SÜRESİ	-															
SHOT PARAMETERS ÇEKİM PARAMETRELERİ	EQUIPMENT / CİHAZ	X-RAY	MA	KVP	FOCAL SPOT SIZE / DOĞAK BOYUTU mm	-															
		GAMARAY	CI	80	1192	X Se75															
	RADIOGRAPHIC TECHNIQUES / RADYOGRAFIK TEKNİKLERİ	DOUBLE WALL/DOUBLE IMAGE / ÇİFT CİDAR/ÇİFT GÖRÜNTÜ	DOUBLE WALL/SINGLE IMAGE / ÇİFT CİDAR/TEK GÖRÜNTÜ	SINGLE WALL/SINGLE IMAGE / TEK CİDAR/TEK GÖRÜNTÜ	DOUBLE WALL/SINGLE IMAGE / ÇİFT CİDAR/TEK GÖRÜNTÜ	X															
	FILM / FİLM	KODAK	MX125	-	AGFA	D4	-	FUJI	D30	-	OTHERS / DİĞERLERİ	-									
IMAGE QUALITY INDICATOR / GÖRÜNTÜ KALİTE BELİRTECİ	ASTM	EN	SOURCE SIDE / İŞN. TARAFI	FILM SIDE / FİLM TARAFI	SCREENS / EKRANLAR PE	FRONT/ÖN	0,13	BACK/ARKA	0,13												
WELD NO EXTENSIONS / KAYNAK NUMARASI EKLERİ	R REPAIR / TAMİR	RS RE-SHOOT / FİLM TEKRAR	EX FILM EXTENDED / UZATILMIŞ FİLM	EVALUATION / RESULT - EXTENSIONS / DEĞERLENDİRME - BİRLERİ	A ACCEPTED / KABUL	R REPAIR / TAMİR															
C/O CUT-OUT / KES	EF FILM ADDITIONALLY REQUESTED / İSTENEN EXTRA FİLM			B HAS ACCEPTED INDICATION / KABUL EDİLEBİLİR BELİRTİ																	
ITEM No / No	FILM IDENTIFICATION / FİLM TAYİNİ		DİMETRY / YÖKÜLÜK	DİAMETER / ÇAP	THICKNESS / İNÇİLİK / KALINLIK	THICKNESS / İNÇİLİK / KALINLIK	VISIBLE CRACK NO. / GÖRÜLEBİLİR ÇATLAK NUMARASI	VISIBLE CRACK NO. / GÖRÜLEBİLİR ÇATLAK NUMARASI	VISIBLE CRACK NO. / GÖRÜLEBİLİR ÇATLAK NUMARASI	VISIBLE CRACK NO. / GÖRÜLEBİLİR ÇATLAK NUMARASI	FILM SIZE / FİLM BÜYÜKLÜĞÜ				EVALUATION / DEĞERLENDİRME		EVALUATION / RESULT / SONUÇ	ACCEPTED / KABUL	REPAIR / TAMİR		
	WELD NO. / KAYNAK NO	INSPECTED IN AREA / İNCELENDİĞİ ALAN									100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm				100mm	100mm
	1	TEST PARÇASI-1	0-35	2,77	-	10 mm	10 mm	12	-	-	1	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	R		
	2	TEST PARÇASI-2	0-35	2,73	-	10 mm	10 mm	12	-	-	1	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	R	
	3	TEST PARÇASI-3	0-35	2,81	-	10 mm	10 mm	12	-	-	1	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	A	
	4	TEST PARÇASI-4	0-35	2,74	-	10 mm	10 mm	12	-	-	1	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	A	
	5	TEST PARÇASI-5	0-35	2,83	-	10 mm	10 mm	12	-	-	1	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	100mm	A	
	6																				
	7																				
	8																				
	9																				
	10																				
	11																				
	12																				
	13																				
	14																				
	15																				
16																					
17																					
TYPES OF DEFECT / HATA TİPLERİ																					
Ae 3011	Porosity / Gözenek	Ba 3012	Slag Inclusion / Çuruf Kalıntısı	Db 402	Incomplete Penetration / Yetersiz Nüfuziyet	E 100	Crack / Çatlak	Ca	Shrinkage / Çökme												
Ah 3016	Wormholes / Kurf Oyuğu	Bb 3011	Slag Line / Çuruf Hatı	Fa 504	Excess Penetration / Fazla Nüfuziyet	Si	Misalignment / Eksen Kaçıklığı	H	Laps & Cold shuts / Soğuk Birleşme												
Ai 3013	Group Porosity / Grup Gözenek	C 401	Lack of Fusion / Birleşme Noksanlığı	Fb 514	Poor Profile / Kötü Yüzey	H 304	Metal Inclusion / Metal Enklüzyon	G	Hot Tears / Sıcak Yarıma												
Aj 3014	Linear Porosity / Sıralı Gözenek	Da 515	Root Concavity / Kök Çukurluğu	Fc 501	Undercut / Yanma Oluğu	Ff	Film Defect / Film Hatası	I	Insert / Ekleme												
FİLM EBRACI VE ANBİLİ	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000												
	DETAY KALİTE		RADIOGRAFIK FİLM ÇEKİMİ		İNTERPRETER DEĞERLENDİRME		Aİ REVIEW		CUSTOMER APPROVAL												
	NAME / AD-SOYAD		SALIM ÖZDEMİR		NURULLAH GÜZMAN		YETKİLİ İNŞEKTÖR KONTROLÜ		MÜŞTERİ ONAYI												
	SIGNATURE / İMZA		[Signature]		[Signature]		[Signature]		[Signature]												
DATE / TARİH		02.03.2020		02.03.2020		02.03.2020		02.03.2020													
Det. Çiz. No: DTY R 04 / Yayımlı / Revizyon / Revizyon Tarihi: 15.03.2018																					

Şekil 5.8. Radyografik muayene raporu.

Radyografik muayene sonuçları incelendiğinde, 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda kökte eksikliği gözlemlenmiştir. 500 A, 525 A ve 500 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda ise çatlak, gözenek vb. yüzey altı kusurlarına rastlanılmamıştır. Uzman tarafından onaylanan rapor da, 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalar uygunsuz olduğu, 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımlarında birleştirilen levhaların ise uygun olduğu belirtilmiştir.

Acar (2009) depolama tankı üretiminde kaynaklı birleştirmelerin tahribatsız muayenesi konulu yüksek lisans tez çalışması radyografik muayeneler sonucunda, petrol depolama tankına yapılan kaynaklı birleştirmelerin bazılarında çeşitli doğrultularda (yatay ve düşey) gözeneklere, dolguda curuf kalıntılara, kökte çekmeden kaynaklanan çatlaklara, bazı kaynak dikişlerinde yetersiz nüfuziyet bölgelerine, bazı kaynak dikişlerini kök kısımlarında yanma oluklarına ve çatlaklara rastlanılmadığı bildirilmiştir.

Akay (2012) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu yüksek lisans tez çalışması radyografik muayeneler sonucunda, kaynak bölgesinde herhangi bir çatlak, gözenek, gaz boşluğu vb kaynak hatalarının bulunmadığını bildirmiştir.

Akay vd. (2013) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin incelenmesi konulu çalışmalarında kaynaklı birleştirmelerin, yüzeyaltı kusurların tespiti için radyografik muayene testi uygulamışlardır. X-ray incelemesi sonucunda penetrasyon eksikliği, oyuklar, boşluk oluşumu, tortu, çatlak vb. tozaltı ark kaynağı sırasında hata gözlemlenmemiş ve kabul edilebilir olarak rapor edilmiştir.

Özkan (2019) yapı çeliklerinin kaynak sonrası tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu adlı yüksek lisans tez çalışmasında radyografik muayene sonucunda herhangi bir kusur görülmediği belirtilmiştir.

5.5. MAKRO/MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Kaynaklı birleştirmelerin görsel olarak değerlendirilmesi için numunelerin makro ve mikro yapıları incelenmiştir.

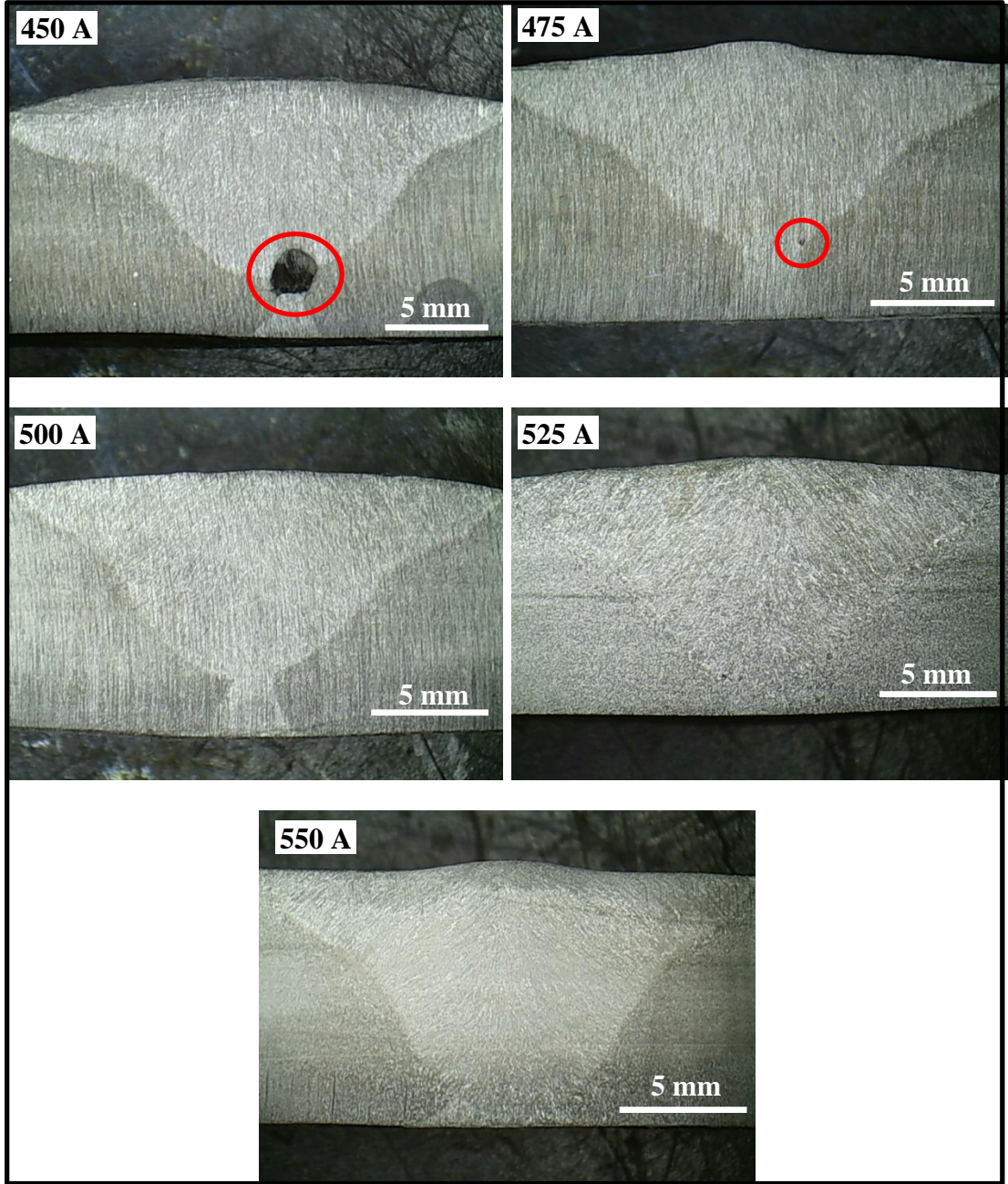
5.5.1. Makroyapı incelemeleri

Makroskobik muayene, TS EN ISO 17639 “Metalik malzemelerdeki kaynaklarda tahribatlı muayene”, “Kaynakların makroskobik ve mikroskobik muayenesi” standardına dayanarak gerçekleştirilmiştir. Kaynakla birleştirilen levhaların enine kesit alınarak çıkarılan makro görüntülerini inceleyerek özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (TS EN ISO 17639, 2014).

Makroyapı uygulaması, dağlanan kaynaklı numunelerin ekipman olmadan direkt insan gözü ile veya küçük bir yakınlaştırma yapılarak incelenmesini esas almaktadır. Şekil 5.9’da kaynaklı numunelerden elde edilen makroyapı fotoğrafları verilmiştir.

Makroyapı fotoğrafları incelendiğinde, 450 A kaynak akımında birleştirilen numunede, tek pasoda yapılan kaynağı kök pasoya nüfuz etmediği ve yaklaşık 2 mm çapında, 475 A kaynak akımında birleştirilen numunede ise yaklaşık 0.5 mm’lik bir ergime/nüfuziyet yetersizliği olduğu görülmüştür. Diğer kaynak akımlarında (500 A, 525 A ve 550 A) birleştirilen numunelerin kaynak bölgesinde ise çatlak, yırtılma, boşluk, yetersiz ergime, yetersiz nüfuziyet, cüruf ve yanma oluşu vb. kaynak hataları tespit edilmemiştir. Makroyapı fotolarında kaynak metali ve ana malzeme net olarak ayırt edilmektedir.

Ek olarak görüntülerden farklı kaynak akımlarında birleştirilen numunelerin tümünde tek pasolu kaynak işlemi ve kök paso işlemi yapıldığı görülmüştür. Ayrıca kaynak pasosu ve kök paso işlemlerinde simetri hatası oluşmadığı ve kök pasoda sarkma meydana gelmediği belirlenmiştir.



Şekil 5.9. Kaynaklı numunelerinin makroyapı fotoğrafları.

Akay (2012) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu yüksek lisans tez çalışması makroyapı incelemeleri sonucunda, kaynak bölgesinde kaynak hatasına rastlanılmadığını bildirmiştir.

Akay vd. (2013) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin incelenmesi konulu çalışmaları makroyapı incelemeleri sonucunda, kaynak bölgesinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmadığı belirtilmiştir.

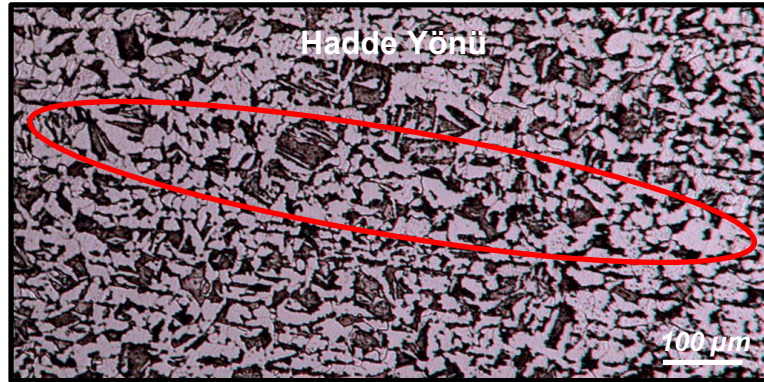
Canlı (2017) tozaltı ark kaynak yöntemi ile basınçlı kap çeliklerinin birleştirilmesi konulu çalışmaları makroyapı incelemeleri sonucunda, birleştirmelerin hiçbirinin kaynak bölgesinde çatlak, yırtılma, boşluk, ergime/nüfuziyet yetersizliği, curuf ve yanma oluşu vb. kaynak hatalarına rastlanılmadığı rapor edilmiştir.

Özkan (2019) yapı çeliklerinin kaynak sonrası tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu adlı yüksek lisans tez çalışmasında makroskobik incelemeler sonucunda herhangi bir kusur görülmediği belirtilmiştir.

Canlı vd. (2019) tozaltı ark kaynak yöntemi ile basınçlı kap çeliklerinin birleştirilmesi konulu çalışmaları makroyapı incelemeleri sonucunda birleştirmelerin kaynak bölgelerinde çatlak, gözenek, boşluk, cüruf ve yanma oluşu, yetersiz nüfuziyet ve aşırı nüfuziyet vb kaynak hatası tespit edilmediği bildirilmiştir.

5.5.2. Mikroyapı incelemeleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan ASTM A36 çelik ana malzemenin mikroyapı görüntüsü Şekil 5.10'da verilmiştir.

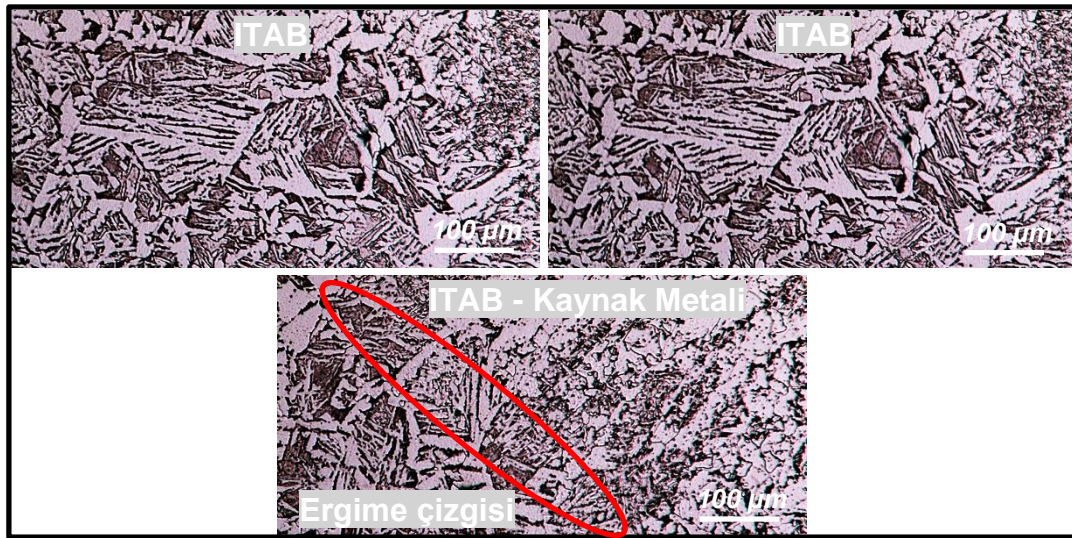


Şekil 5.10. Ana malzeme mikroyapı görüntüsü.

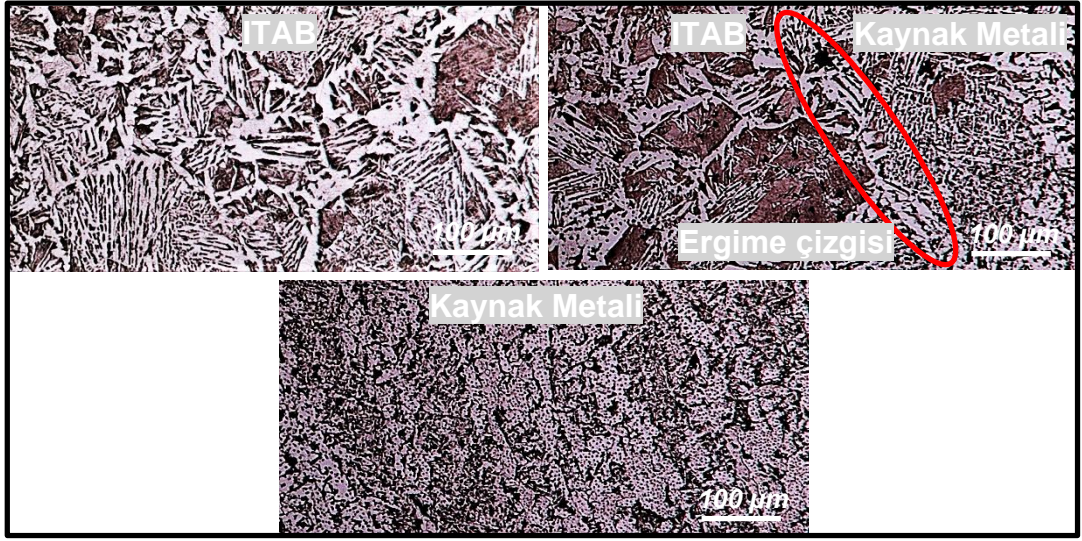
Ana malzeme mikroyapı görüntüsü incelendiğinde, ferlit ve perlit tanelerinden meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca, tanelerin hadde yönünde yönlendiği tespit edilmiştir.

Canlı (2017) tozaltı ark kaynak yöntemi ile basınçlı kap çeliklerinin birleştirilmesi konulu çalışmaları mikroyapı incelemeleri sonucunda, ana malzemelerin tipik eş eksenli, ferrit ve perlitten meydana geldiği, ince taneli bir tane yapısına sahip olduğu ve hadde yönünde uzama gösteren oksit ve sülfür kalıntısı olduğu düşünülen bantlaşma görüldüğü bildirilmiştir.

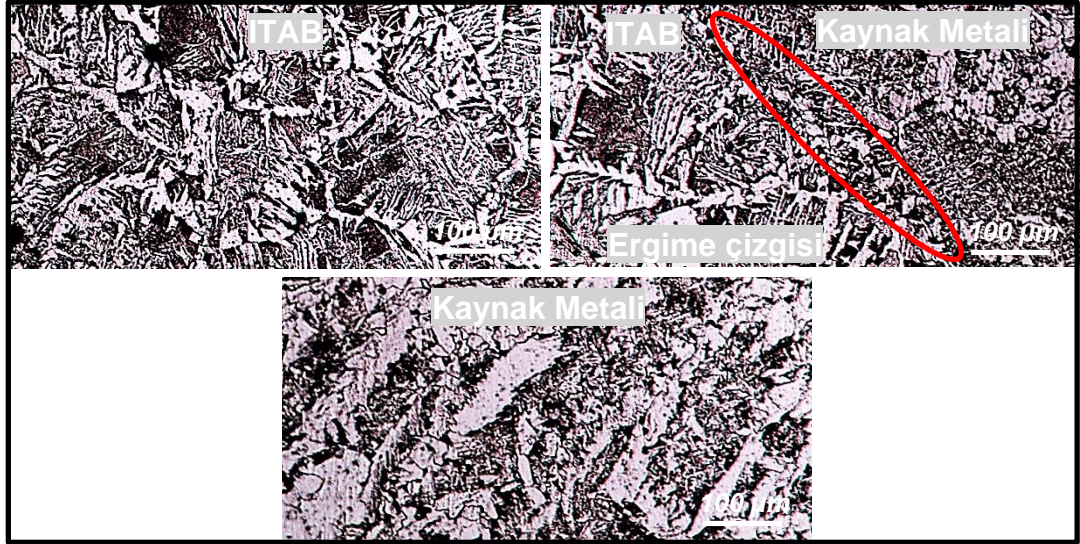
Farklı kaynak akımları kullanılarak tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen levhalara ait mikroyapı görüntüleri Şekil 5.11-5.15’ de verilmiştir.



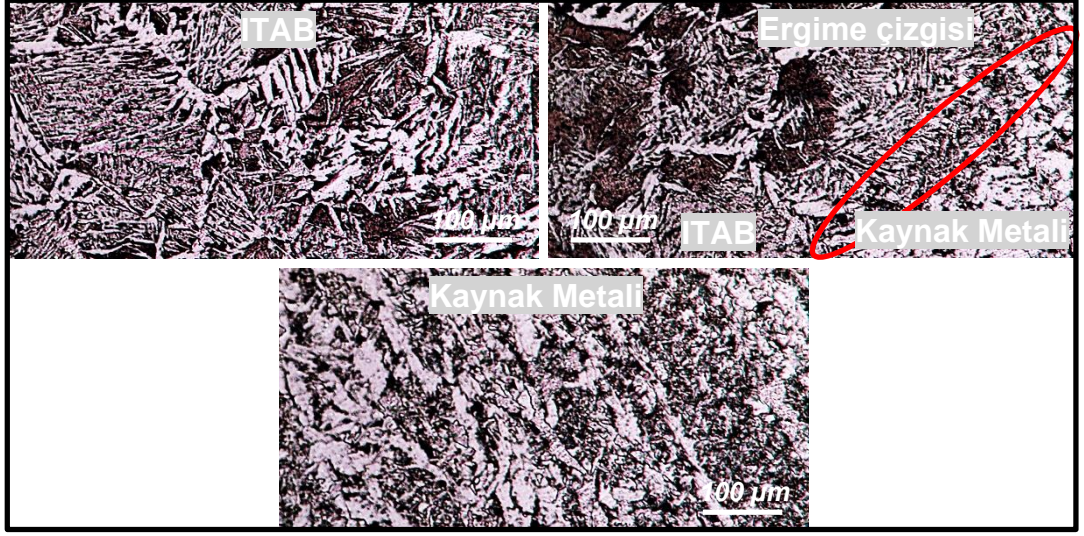
Şekil 5.11. 450 A kaynak akımında birleştirilen levha mikroyapısı.



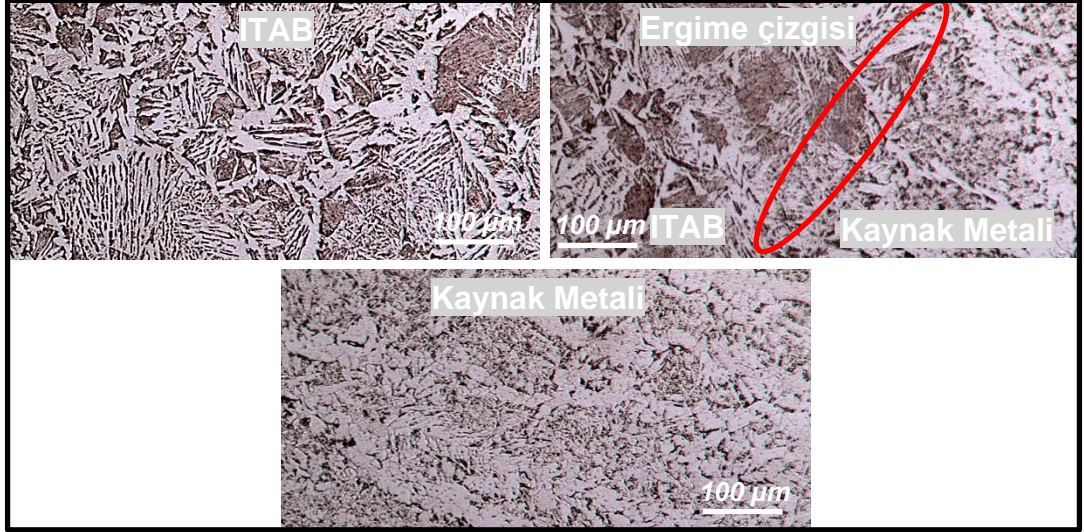
Şekil 5.12. 475 A kaynak akımında birleştirilen levha mikroyapısı.



Şekil 5.13. 500 A kaynak akımında birleştirilen levha mikroyapısı.



Şekil 5.14. 525 A kaynak akımında birleştirilen levha mikroyapısı.



Şekil 5.15. 550 A kaynak akımında birleştirilen levha mikroyapısı.

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, farklı kaynak akımları kullanılarak birleştirilen levhaların ITAB, kaynak metali ve ergime çizgisi sınırlarında benzer yapılar görülmüştür. Kaynak akımı artmasına paralel olarak artan ısı girdisine bağlı olarak ITAB tane boyutlarının az miktarda da olsa irileştiği gözlemlenmiştir. Görüntülerde beyaz taneler ferritik siyah taneler ise perlitik yapıya sahiptir. Ayrıca kaynak metalinde ötektoid öncesi ferrit ve widmanstaten yapılar da tespit edilmiştir.

Görüntüler genel olarak değerlendirildiğinde, ITAB’da tanelerin irileştiği görülürken kaynak metalinde ise tanelerin kolonsal yapıda olduğu ve ısı akış yönünde (ana malzemeye doğru) uzadığı gözlemlenmiştir.

Durgutlu vd. (1999) kaynak ilerleme hızının ark kaynağında nüfuziyet/mikroyapıya etkileri konulu çalışmaları mikroyapı incelemeleri sonucunda, düşük kaynak hızlarında kaba ve kolonsal taneli yapı oluşurken, yüksek kaynak hızlarında ise daha düzensiz ve ince taneli yapıların oluştuğu bildirilmiştir.

Yükler (1994) “Kaynak Metali” adlı ders notlarında, düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynak metalinde ferritik, widmanstatten ferrit ve perlitik yapıların oluşabileceği bildirilmiştir.

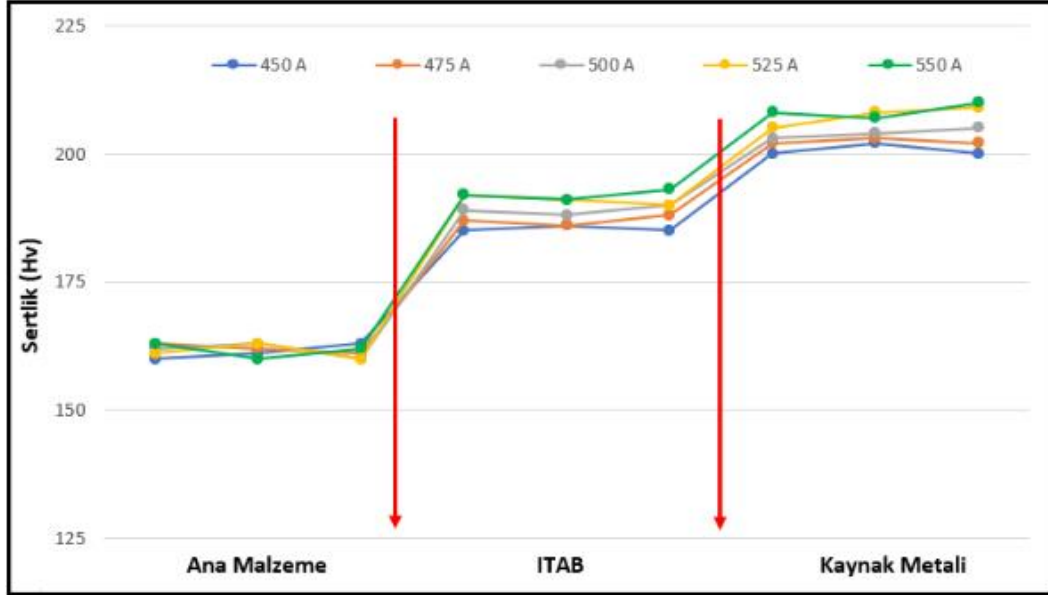
Eroğlu ve Aksoy (1999) kaynaklı birleştirmelerde ısı girdisinin mikroyapı/mechanik özelliklere etkileri konulu çalışmaları mikroyapı incelemeleri sonucunda yüksek ısı girdisinin soğumayı ve katılaşmayı yavaşlattığı ve daha fazla tane irileşmesine sebep olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kaynak metalinin iri ve kolonsal yapı tanelerden meydana geldiği ve bu tanelerin de kaynak metali merkezine doğru yönlendiği tespit edilmiştir.

Kaya vd. (2010) farklı kalınlıktaki gemi saclarının tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerin incelenmesi konulu çalışmaları mikroyapı incelemeleri sonucunda kaynak metalinde katılaşmanın sıcaklık gradyanı (G), kristal büyüme oranı (R) ve alaşımlara bağlı olarak değişeceği ve soğuma hızına bağlı olarak düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynak metalinde tane sınırı ferriti, widmanstatten ferrit, asiküler ferrit, perlit ve martensit yapıların oluşabileceği bildirilmiştir. Ayrıca mikroyapı çalışmaları sonucunda ağırlıklı olarak asiküler ferrit ve poligonal ferrit yapılardan meydana geldiği bildirilmiştir.

5.6. SERTLİK TESTİ

ISO 9015-1 standardı kapsamında düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında çatlamalara karşı koruma için sertliğin 350 HV’yi geçmemesi tavsiye

edilir. Yapılan sertlik testi sonucu tüm numuneler bu kritik değerin altında sertlik değerleri tespit edilmiştir. Tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen levhaların kaynak bölgesine yatay olarak uygulanan sertlik testleri sonucunda elde edilen grafik Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. Kaynaklı numunelere uygulanan sertlik testi sonuçları.

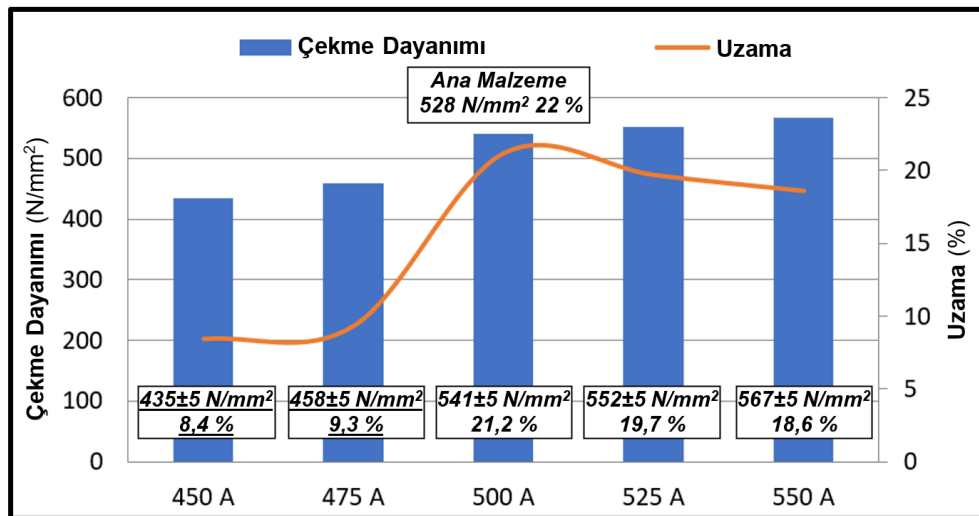
Farklı kaynak akımları ile birleştirilen levhaların sertlik değerleri incelediğinde, ölçülen sertlik değerlerinin birbirlerine yakın olmakla beraber 550 A kaynak akımı ile birleştirilen numunelerin daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Kaynak akımı artışına bağlı olarak sertlik değerlerinin artışı ısı girdisine bağlı olduğu düşünülmektedir. Tüm numunelerde kaynak metali sertlik değerlerinin ITAB ve ana malzemeye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek sertlik değeri kaynak metalinden elde edilmiştir, bunu ITAB ve ana malzeme takip etmiştir.

Kaynak metali sertliği, 450 A kaynak akımında 200-202±5 HV, 475 A kaynak akımında 202-203±5 HV, 500 A kaynak akımında 203-205±5 HV, 525 A kaynak akımında 205-209±5 HV ve 550 A kaynak akımında ise 207-210±5 HV ölçülmüştür. ITAB sertliği, 450 A kaynak akımında 185-186±5 HV, 475 A kaynak akımında 186-188±5 HV, 500 A kaynak akımında 188-190±5 HV, 525 A kaynak akımında 190-192±5 HV ve 550 A kaynak akımında ise 191-193±5 HV ölçülmüştür. Ana malzeme sertlik değeri 160±5 HV ölçülmüştür.

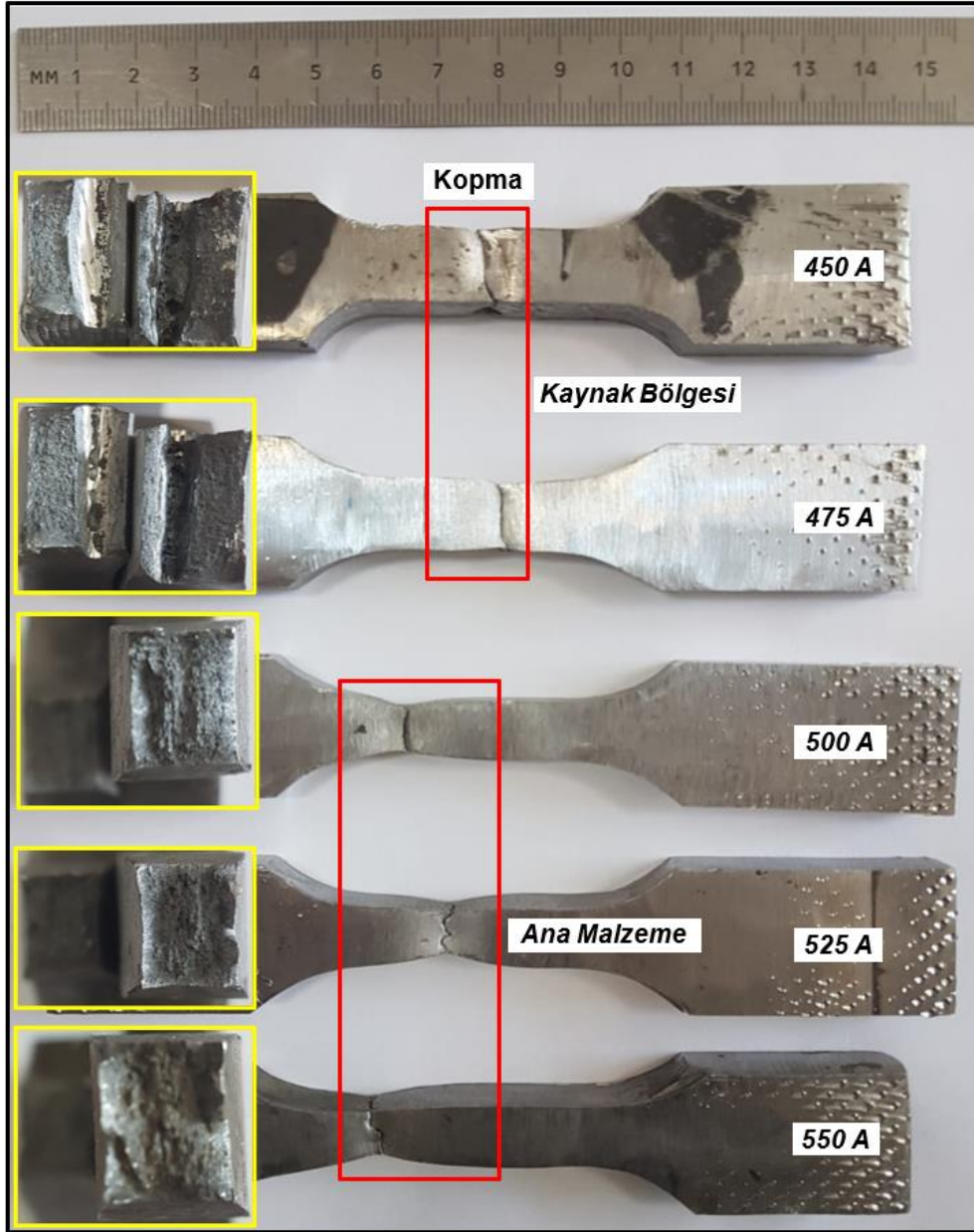
Kılınçer (1998) tozaltı ark kaynak yöntemi ile düşük karbonlu çeliklerin birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması konulu yüksek lisans tez çalışmasında, Durgutlu vd. (2002) kaynak tozunun tozaltı ark kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı/mechanik özelliklere etkisi konulu çalışmasında, Ada (2006) tozaltı ark kaynak yöntemi ile spiral boruların üretilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması konulu yüksek lisans tez çalışmasında, Asarkaya (2006) gemi imalatında kullanılan kaynak yöntemleri ve mekanik özelliklere etkileri konulu yüksek lisans tez çalışmasında, Kaya vd. (2010) farklı kalınlıktaki gemi saclarının tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerin incelenmesi konulu çalışmalarında, Akay (2012) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında ve Akay vd. (2013) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin incelenmesi konulu çalışmaları sertlik testleri sonucunda en yüksek sertlik kaynak metali olduğunu ve kaynak metalinden ana malzemeye doğru gidildikçe sertliğin düştüğünü rapor etmişlerdir.

5.7. ÇEKME TESTİ

Tozaltı ark kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen levhalara uygulanan çekme testleri grafiği 5.17’de ve testler sonrası kopma görüntüleri ise Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.17. Kaynaklı numunelerin çekme ve uzama grafiği.



Şekil 5.18. Çekme testi sonrası kopma görüntüleri.

Çekme testi sonuçları incelendiğinde, 450 A ve 475 A kaynak akımına birleştirilen levhalarda kopma kaynak bölgesinde gerçekleşirken 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda ise ana malzemede gerçekleşmiştir. 450 A (435 ± 5 N/mm²) ve 475 A (458 ± 5 N/mm²) kaynak akımlarında birleştirilen levhaların çekme dayanımlarının ana malzeme (528 N/mm²) çekme dayanımından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.6 ultrasonik muayene sonuçlarında, 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda kökte nüfuziyet noksanlığı (yetersiz penetrasyon) gözlemlendiği, Şekil 5.7 radyografik muayene sonuçlarında, 450 A ve 475 A kaynak

akımlarında birleştirilen levhalarda kökte eksikliği gözlemlendiği ve Şekil 5.9 makroyapı sonuçlarında ise 450 A kaynak akımında birleştirilen numunede, tek pasoda yapılan kaynağı kök pasoya nüfuz etmediği ve yaklaşık 2 mm çapında, 475 A kaynak akımında birleştirilen numunede ise yaklaşık 0.5 mm'lik bir ergime/nüfuziyet yetersizliği olduğu belirtilmişti, çekme testi sonuçları tahribatsız ve makroyapı çalışmaları sonuçlarını doğrulamaktadır.

500 A (541 ± 5 N/mm²), 525 A (552 ± 5 N/mm²) ve 550 A (567 ± 5 N/mm²) kaynak akımlarında birleştirilen levhaların kaynak bölgesi çekme dayanımlarının ise ana malzeme (528 N/mm²) çekme dayanımından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde önceki bölümlerde kaynaklı numunelere uygulanan tahribatsız ve makroyapı çalışmaları sonuçları da kaynak bölgesinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanmadığını belirtilmişti, çekme testi sonuçları da bu sonuçları desteklemektedir. Çekme testi sonrasında kaynak bölgesinden kopan numuneler yukarıda belirtilen kaynak hataları sebebiyle gevrek olarak kırılırken, ana malzemeden kopan numuneler ise kopma bölgesinden boyun vererek sünek olarak gerçekleşmiş, kaynak bölgesinde gözle görülebilir bir tahribat oluşmamıştır. 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımlarında birleştirilen numunelerde kopma bölgeleri, kaynak metalinde veya ITAB'da değil ana malzemede meydana gelmiştir (Şekil 5.18).

Ayrıca, 450 A ve 475 A kaynak akımında birleştirilen numuneler çekme testlerinde yukarıda belirtilen kaynak hatalarından dolayı 8,4 ve 9,3 % uzama göstermiştir. Ana malzeme % uzaması % 22 iken 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımlarında birleştirilen numuneler ise sırasıyla % 21,2, %19,7 ve % 18,6 % uzama sergilemiştir. Bu numunelerin ana malzemeye göre daha az % uzama sergilemesinin sebebi ise kaynak metali ve ITAB'ın kaynak akımı artışına paralel olarak artan ısı giridisine bağlı olarak sertlik değerlerinin ana malzemeye göre daha yüksek olması (Şekil 5.16) gösterilebilir.

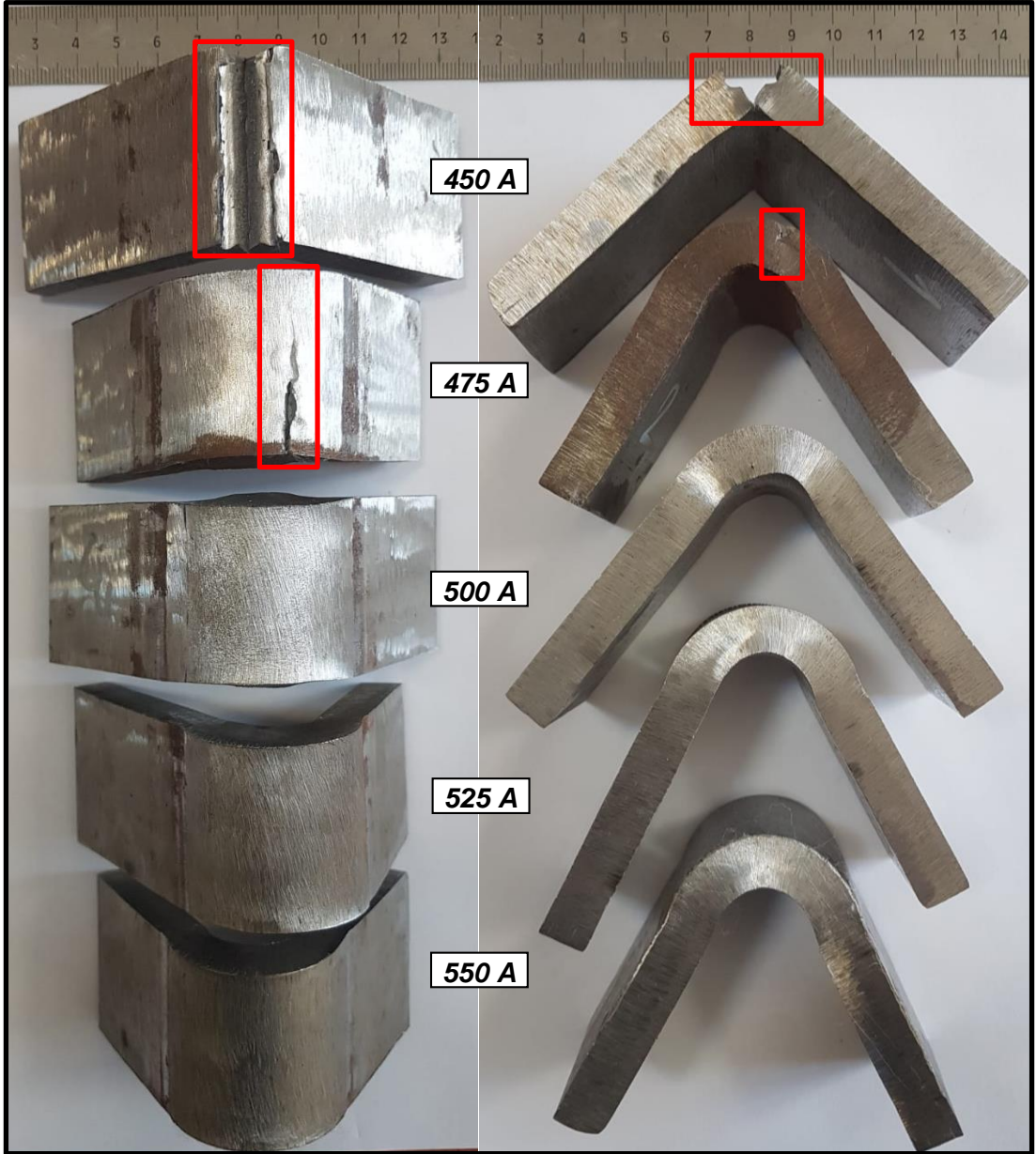
Kahraman vd. (2005) serbest tel uzunluğunun tozaltı ark kaynağında mikroyapı/mechanik özelliklere etkileri konulu çalışmalarında, Ada (2006) tozaltı ark kaynak yöntemi ile spiral boruların üretilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması konulu yüksek lisans tez çalışmasında, Kaya vd. (2010) farklı kalınlıktaki gemi saclarının tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerin

incelenmesi konulu çalışmalarında, Usta (2011) kaynakla birleştirilmiş farklı kalınlıklardaki basınçlı kap çeliklerinin standartlara uygunluğunun incelenmesi konulu çalışmasında, Akay (2012) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında, Akay vd. (2013) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin incelenmesi konulu çalışmalarında, Özkan (2019) yapı çeliklerinin kaynak sonrası tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu adli yüksek lisans tez çalışmasında ve Canlı vd. (2019) tozaltı ark kaynak yöntemi ile basınçlı kap çeliklerinin birleştirilmesi konulu çalışmaları çekme testleri sonrasında benzer sonuçlar bildirmişlerdir.

5.8. EĞME TESTİ

Farklı kaynak akımları kullanılarak tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş levhalara, ISO 5173 kapsamında kaynak pasosu ve kaynak pasosu çevresinin şekil değiştirme özelliklerini ve kaynak pasosu ile ana malzeme arası mekanik özelliklerini belirlemek için tek taraflı (kök) eğme testleri 180° eğme (üç nokta eğme) testleri yapılmıştır. Eğme testi sonrası numune görüntüleri Şekil 6.19'da verilmiştir.

Eğme testi sonrası numune görüntüleri incelendiğinde, 450 A ve 475 A kaynak akımları kullanılarak birleştirilen numunelerin kaynak bölgelerinde çatlama ve yırtılma görülürken, 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımları kullanılarak birleştirilen numunelerde ise herhangi bir çatlama, yırtılma vb. kaynak hatasına rastlanılmamıştır. Bu sonuçlar önceki bölümlerde numunelere uygulanan tahribatsız testler ve makroyapı çalışmaları ile de örtüşmektedir.



Şekil 5.19. Eğme testi sonrası numunelerin görüntüleri.

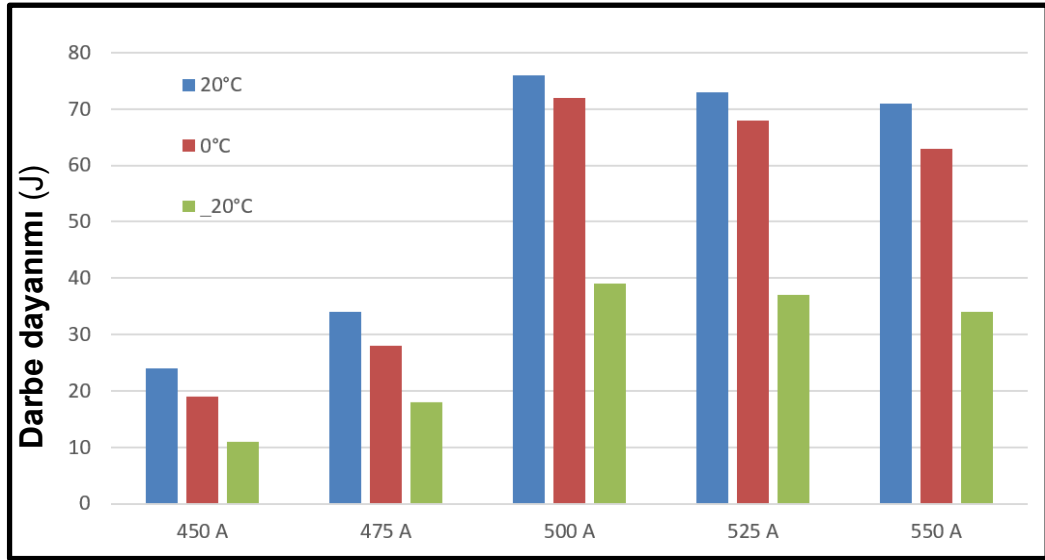
Sonuç olarak tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak 450 A ve 475 A kaynak akımların da birleştirilen numunelerin uygun olmadığı, 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımlarında birleştirilen numunelerin ise servis şartlarında eğilerek de kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen farklı malzemelere uygulanan eğme testleri sonucunda uygun kaynak parametreleri kullanıldığında numunelerde gözle

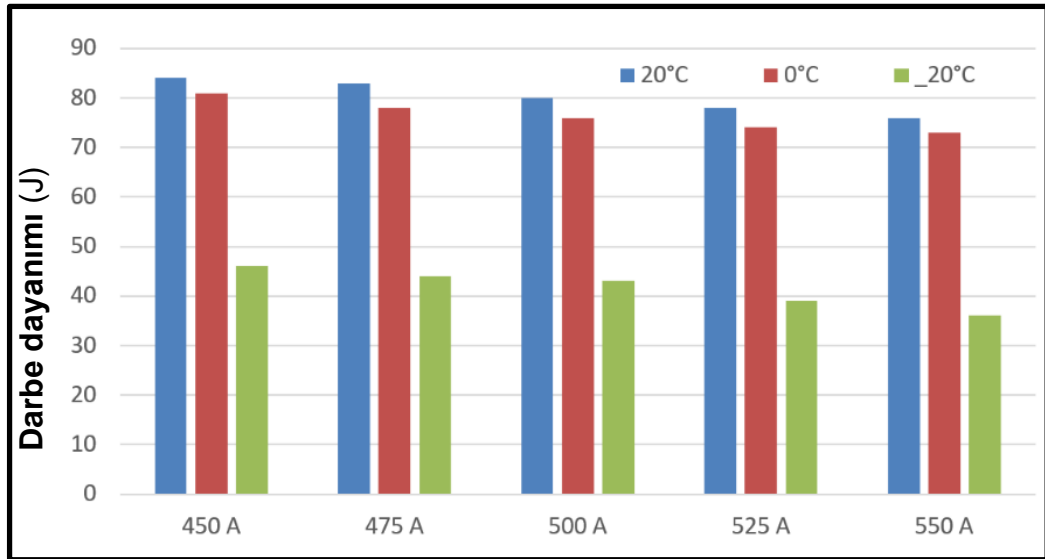
görülebilir bir hasar oluşmadığı bildirilmiştir (Asarkaya, 2006, Kurt, 2008, Akay, 2012, Akay vd. 2013, Canlı, 2017, Canlı ve Kaya 2018 ve Özkan, 2019).

5.9. ÇENTİK DARBE TESTİ

Çentik darbe testi, tozaltı ark kaynak methodu ile birleştirilmiş levhaların, kaynak metali ve ITAB'ının -20 °C, 0 °C ve 20 °C sıcaklıklarında darbe tokluklarını belirlemek değerlerini tespit etmek için gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.20'de kaynak metali 5.21'de ise ITAB darbe toklukları verilmiştir.



Şekil 5.20. Kaynak metali darbe tokluğu grafiği.



Şekil 5.21. ITAB darbe tokluğu grafiği.

Darbe tokluk grafikleri incelendiğinde, en yüksek tokluk değerlerinin 20°C (oda sıcaklığı) test sıcaklığında elde edildiği onu sırasıyla 0°C ve -20°C test sıcaklıklarında elde edildiği tespit edilmiştir. Test sıcaklıkları düştükçe kaynaklı numunelerin darbe tokluklarının da azaldığı belirlenmiştir. (Ana malzeme olarak kullanılan ASTM A36 çeliğinin oda sıcaklığı darbe tokluğu katalog değeri 105 J'dür. Kaynaklı numunelerin darbe toklukları ana malzeme darbe tokluğuna göre belirgin şekilde azdır. Bunun sebebi ise ana malzeme çentik darbe test numunesi standart boyutlarda 55x10x10 mm iken kaynaklı numunelerin frezelenerek 55x10x5 mm olarak hazırlanmasıdır.)

Kurt (2008) farklı kaynak yöntemleri ile gemi saclarının birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması konulu tez çalışmasında, Akay (2012) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu tez çalışmasında, Akay vd. (2013) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin incelenmesi konulu çalışmalarında ve Canlı vd. (2019) tozaltı ark kaynak yöntemi ile basınçlı kap çeliklerinin birleştirilmesi konulu çalışmaları çentik darbe testi sonuçları çekme testleri sonrasında test sıcaklığının azalması ile darbe tokluklarının düştüğü bildirilmiştir.

Kaynak metali darbe toklukları incelediğinde 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen numunelerde belirgin bir azalma olduğu görülmektedir. Bu azalmanın sebebi ise önceki bölümlerde (ultrasonik muayene, radyografik muayene, makro inceleme, çekme testi ve eğme testi) belirtildiği gibi bu kaynak akımlarında birleştirilen numunelerdeki kökte nüfuziyet noksanlığıdır (yetersiz penetrasyon). 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımlarında birleştirilen numunelerde ise sertlik ile ters orantılı sonuçlar tespit edilmiştir. ITAB darbe toklukları da benzer şekilde sertlik sonuçlarına ters orantılı olduğu görülmüştür. Kaynak metali ve ITAB darbe toklukları kıyaslandığında ITAB darbe tokluklarının kaynak metali tokluklarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Darbe toklukları sertlik testi sonuçları ile karşılaştırıldığında ise sertlik arttıkça tokluk değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Çetinkaya (1999) tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş düşük karbonlu çeliklerin mekanik özelliklerinin araştırılması konulu çalışmasında sertlik değerlerinin artmasıyla tokluk değerlerinin azaldığını bildirmiştir.

Akay (2012) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve tahribatlı/tahribatsız muayenesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında ve Akay vd. (2013) tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı çeliklerin birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin incelenmesi konulu çalışmaları çentik darbe testleri sonucunda kaynak metali tokluk değerlerinin ITAB tokluk değerlerden daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Canlı (2017) tozaltı ark kaynak yöntemi ile basınçlı kap çeliklerinin birleştirilmesi konulu çalışmaları yüksek lisans tez çalışmasında ve Canlı vd. (2019) tozaltı ark kaynak yöntemi ile basınçlı kap çeliklerinin birleştirilmesi konulu çalışmaları çentik darbe testleri sonucunda, sıcaklık azaldıkça kaynaklı numunelerin darbe dayanımının da azaldığı rapor edilmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Depolama tankı imalatında sıklıkla kullanılan ASTM A36 çelikleri, tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı kaynak akımları (450 A, 475 A, 500 A, 525 A ve 550 A) kullanılarak birleştirilmiş ve kaynaklı numunelere uygulanan tahribatsız ve tahribatlı testler sonucunda:

- Sıvı penetrant testleri sonucunda kaynak yüzeylerinde çatlak, boşluk, gözenek ve yanma oluşu gibi yüzey kusurlarına rastlanmamıştır.
- Manyetik parçacık testleri sonucunda kaynak yüzeylerinde çatlak, gözenek, yanma oluşu gibi yüzey kusurlarına rastlanmamıştır.
- Ultrasonik muayene sonucunda 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda kökte nüfuziyet noksanlığı (yetersiz penetrasyon) gözlemlenmiştir. 500 A, 525 A ve 550 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda ise süreksizlik (yanma çentikleri, kalıntı, gözenek, çatlaklar vb.) gözlemlenmemiştir.
- Radyografik muayene sonucunda 450 A ve 475 A kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda kökte eksikliği gözlemlenmiştir. Diğer kaynak akımlarında birleştirilen levhalarda ise çatlak, gözenek vb. yüzey kusurlarına rastlanılmamıştır.
- Makroyapı incelemeleri sonucunda 450 A ve 475 A kaynak akımında birleştirilen numunelerde ergime/nüfuziyet yetersizliği olduğu görülmüştür. Diğer kaynak akımlarında birleştirilen numunelerin kaynak bölgesinde ise çatlak, yırtılma, boşluk, yetersiz ergime, yetersiz nüfuziyet, cüruf ve yanma oluşu vb. kaynak hataları tespit edilmemiştir.

- Mikroyapı görüntülerinde ITAB'da tanelerin irileştiği, kaynak metalinde ise tanelerin kolonsal yapıda olduğu ve ısı akış yönünde (ana malzemeye doğru) uzadığı gözlemlenmiştir.
- Sertlik değerleri incelediğinde tüm numunelerde en yüksek sertlik değerleri, kaynak metalinden elde edilirken onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme takip etmiştir.
- Çekme testleri sonucunda 450 A ve 475 A kaynak akımına birleştirilen levhalarda kopma kaynak bölgesinde gerçekleşirken diğer kaynak akımlarında birleştirilen numunelerde ise ana malzemedede gerçekleşmiştir.
- Eğme testleri sonucunda 450 A ve 475 A kaynak akımları kullanılarak birleştirilen numunelerin kaynak bölgelerinde çatlama ve yırtılma görölürken, diğer kaynak akımları kullanılarak birleştirilen numunelerde ise herhangi bir çatlama, yırtılma vb. kaynak hatasına rastlanılmamıştır.
- Çentik darbe testleri sonucunda en yüksek tokluk değerlerlerinin 20°C (oda sıcaklığı) test sıcaklığında elde edildiği onu sırasıyla 0°C ve -20°C test sıcaklıklarında elde edildiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Acar, O., “Petrol depolama tanklarının imalatı montajı ve kaynaklı bağlantılarının tahribatsız muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1-166 (2009).

Ada, H., “Petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen boruların Tozaltı ve spiral kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-69 (2006).

Akay, A., “Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-99 (2012)

Akay, A., Kaya Y., Kahraman N., “Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi”, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, Karabük, 83-94 (2013)

Anık, S., Tülbentçi, K., “Kaynak Tekniği El Kitabı”, *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, (1991).

Anık, S., Vural, M. “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (2000).

Anonim, “Giriş”, Manyetik Parçacık Muayenesi Seviye 1 Eğitim Notları, *Tekkon Teknoloji ve Kontrol Ltd. Sti.*, Ankara, 2-8 (2004).

Asarkaya, M., “Gemi insasında kullanılan kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 54-86 (2006).

Canlı, A. “Östenitik paslanmaz çelik ve IF çeliğinin nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-78 (2017).

Çetinkaya, C., “Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2): 279-293 (1999).

Durgutlu, A., Gülenç, B., Tülbentçi, K., “Ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi”, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23(4): 251-259 (1999).

Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., “Tozaltı ark kaynağında kaynak tozunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 10 (11): 1-8 (2002).

Erengin, A., “Ark esaslı kaynak yöntemleriyle yapılan uygulamalarda, kutuplama durumu ile ilave malzeme-ergime verimi ilişkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2009).

Eroğlu, M., Aksoy M., “Enerji girişinin kaynak metali mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi”, *Bilim Günleri, Bildiriler Kitabı, Makine Mühendisleri Odası*, Denizli, 434-439 (1999).

Gunaraj, V., Murugan N., “Prediction and comparison of the area of the heat-affected zone for the bead-on-plate and bead-on-joint in submerged arc welding of pipes”, *Journal of Materials Processing Technology*, 95(1-3): 246-261 (1999).

İnternet A: https://en.wikipedia.org/wiki/A36_steel (2012)

İnternet B: Milli Eğitim Bakanlığı “Uçaklarda Tahribatsız Muayene” http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/525MT0004.pdf (2012).

İnternet C: Milli Eğitim Bakanlığı, “Metal Teknolojisi Tahribatlı Muayene” http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/tahribatli_muayene.pdf, (2012)

İnternet : Milli Eğitim Bakanlığı, “Metal Teknolojisi Tahribatsız Muayene” http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/meta/moduller/tahribatsiz_muayene.pdf, (2006).

Kahraman, N., “Kaynaklı bağlantılara uygulanan ısıl işlemler ve muayene yöntemleri”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Lisansüstü Ders Notları*, Karabük, 1-99 (2010).

Kahraman, N., Gülenç, B. Durgutlu, A., “Tozaltı ark kaynağı ile kaynaklanan düşük karbonlu çeliklerde serbest tel uzunluğunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3): 473-480 (2005).

Kahraman, N., Gülenç, B., 2017. Modern Kaynak Teknolojisi Kitabı. *Epa-Mat Basın Yayın Ltd. Şti*, Ankara, 1-325 (2016).

Kaluç, E., Kaynak Teknolojisi El Kitabı. Cilt 1: “Ergitme esaslı kaynak yöntemleri”, *Makine Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi*, Kocaeli, (2004).

Kaya, B., “Muayenede teknolojik gelişmeler”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 1-82 (1992).

Kaya, Y., Kahraman, N., Durgutlu, A., Gülenç, B., “Tozaltı ark kaynağı ile birleştirilen farklı kalınlıktaki grade A gemi saclarının mekanik özelliklerinin araştırılması”, *e-*

Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 1A0088, 5 (2): 348-357 (2010).

Kaya, Y., Canlı, A., “Tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilen basınçlı kap çeliklerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi” **IV. International Symposium on Multidisciplinary Studies (ISMS)**, Paris/France 27-28 Nisan (2018).

Kılınçer, S., “Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 12-22 (1998).

Kökdemir, E., “Alaşımsız yapı çeliği levhalarında kaynak dikişlerinin ultrasonik muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-126 (2007).

Korkmaz, Ö. E., “Uçaklarda kullanılan alüminyum malzemelerdeki korozyonun incelenmesi, önlenmesi ve tahribatsız muayene ile tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-115 (2010).

Külahlı, E., “Kaynak Bilimi”, **Oerlikon Yayını**, İstanbul, (1988).

Kurt, K., “DH 36 gemi sacının farklı kaynak yöntemleri ile mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 1-89 (2008).

Lu, L. H., Shen, D. J., Zhang, J. W., Guo, C. H., “TEM Analysis and Corrosion Resistance of the Ceramic Coatings on Q235 Steel Prepared by Hybrid Method of Hot-Dipping Aluminum and Plasma Electrolytic Oxidation”, **Applied Mechanics and Materials**, 152-154 40-45 (2012).

Ogborn, J. S., “Submerged arc welding”, **ASM Handbook**, Vol. 6, 1993, s. 202-204., (1993).

Onursal, M., “Uçaklarda kullanılan metal malzemelere uygulanan tahribatsız muayeneler”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-94 (2010).

Özakın, N., “AH ve DH kalite gemi saclarının değişik kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonlarındaki mekanik özelliklerinin ve mikroyapılarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 55-78 (2010).

Özkan, E., “Kaynak sonrası S355J2N yapı çeliğinde oluşan gerilmeleri gidermek için uygulanan ısıtılma işleminin etkilerinin tahribatlı-tahribatsız muayene yöntemleriyle belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Tekirdağ, 1-80 (2019)

Özkırılmaz, E., “Kaynaklı bağlantıların tahribatsız muayene yöntemiyle optimum kaynak değerlerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Mersin, 1-40 (2009).

Peng, Y., Chen, W., Xu, Z., “Study of high toughness ferrite wire for submerged arc welding of pipeline steel”, *Materials Characterization*, 47(1): 67-73 (2001).

Poweliet, D., Monroe, R., “Steel Founders” Society of America, Steel Alloys, *Crystal Lake, Illinois*, (2006)

Seçim, C., “Tahribatsız muayene yöntemleri ve uygulama alanları”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 1-54 (2011).

Süzen, A., “Gemi saclarının kaynak bağlantılarında kaynak parametrelerinin dikiş geometrisine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1-104 (2009).

TS EN ISO 17639, “Mekanik malzemelerdeki kaynaklarda- Tahribatlı muayene- Kaynakların makroskobik ve mikroskobik muayenesi”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, (Şubat 2014).

Usta M., “Birbirinden farklı kalın cidarlı basınçlı kaplarda kaynaklı bölgelerin TS 17020 uygunluğunun araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, 1-52 (2011).

Yasar, T., “Radyografi yöntemi ile kaynak dikişlerinde hata tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-79 (2010).

Yükler, İ., “Kaynak Metali”, *Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, İstanbul*, 52-64 (1994).

ÖZGEÇMİŞ

Yiğitcan ATILGAN ilk ve orta öğrenimini Özel Görkem İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2011 yılında Arif Nihat Asya Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp, 2017 Karabük Üniversitesi'nden mezun olmuştur. 2017'de Karabük Üniversitesi'nde İmalat Mühendisliği'nde yüksek lisans programına ve Orta Doğru Teknik Üniversitesi'nde Kaynak Mühendisliği eğitimine başlamıştır.2018 yılında Kaynak Mühendisliği eğitimini tamamladı ve halen bu alanda iş hayatına devam etmektedir.