



**BASINÇLI KAP ÇELİKLERİNİN MAG KAYNAK
YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE
TAHRİBATSIZ/TAHRİBATLI MUAYENESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Ferhat YALÇIN

**Tez Danışmanı
Doç. Dr.Yakup KAYA**

**BASINÇLI KAP ÇELİKLERİNİN MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE
BİRLEŞTİRİLMESİ VE TAHRİBATSIZ/TAHRİBATLI MUAYENESİ**

Ferhat YALÇIN

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Yakup KAYA

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ocak 2023

Ferhat YALÇIN tarafından hazırlanan “BASINÇLI KAP ÇELİKLERİNİN MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE TAHRİBATSIZ/TAHRİBATLI MUAYENESİ” 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. 31/01/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Tansel TUNÇAY (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. Müslüm KUZU

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.”

Ferhat YALÇIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BASINÇLI KAP ÇELİKLERİNİN MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE TAHRİBATSIZ/TAHRİBATLI MUAYENESİ

Ferhat YALÇIN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Yakup KAYA

Ocak 2023, 63 sayfa

Bu çalışmada, basınçlı kapların üretiminde genellikle tercih edilen P265GH ve P355NH çelikleri MAG kaynak yöntemi kullanılarak, kendi aralarında ve birbirleri ile birleştirilmiştir. Birleştirmelerin kaynak bölgeleri tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleri kullanılarak incelenmiştir.

Kaynak bölgesinin tahribatsız olarak, yüzeysel ve yüzeyaltı/kaynak kesiti incelemeleri gözle (VT), ultrasonik (UT) ve radyografik (RT) testleri ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklerini de tahribatlı muayene yöntemlerinden optik mikroskop, mikrosertlik incelemeleri, çekme, eğme ve çentik darbe testleri ile incelenmiştir.

Kaynaklı numunelere uygulanan tahribatsız testler sonucunda; gözle muayene testinde kaynak yüzeylerinde herhangi bir kaynak hatası tespit edilmemiştir. Ultrasonik ve

radıyografık testler sonrasında da kaynaklı numunelerin yüzey altı/kesitinde herhangi bir süreksizliğe rastlanmamıştır.

Kaynaklı numunelere uygulanan tahribatlı testler sonrasında ise, kaynak metali tanelerinin iri ve kolonsal yapılı olduğu, ısı akış yönünde yönlendiği belirlenmiştir. Ayrıca, ITAB'ın ergime sınırı yakınlarında tanelerin kabalaştığı görülmüştür. Sertlik testleri sonucunda tüm kaynaklı birleştirmelerde en yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken onu ITAB'lar ve ana malzemelerin takip ettiği belirlenmiştir. Uygulanan çekme testleri sonucunda birleştirmelerin tümünde ana malzeme tarafında boyun vermiş ve yine ana malzeme tarafından sünek olarak kopma gerçekleşmiştir. Kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinde ise herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Eğme testleri sonucunda bütün birleştirmelerde kaynak bölgesinde göz ile görülebilir herhangi bir hataya (çatlak, yırtık vb.) rastlanılmamıştır. Çentik darbe testleri sonucunda kaynaklı numune kaynak metali ve ITAB darbe toklukları karşılaştırıldığında ITAB'ın kaynak metaline oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : MAG kaynağı, Basınçlı kap çeliği, Tahribatlı test, Tahribatsız test.

Bilim Kodu : 91511

ABSTRACT

M. SC. THESIS

JOINING OF PRESSURE VESSEL STEELS THROUGH MAG WELDING PROCESS AND NON-DESTRUCTIVE/DESTRUCTIVE TESTING

Ferhat YALÇIN

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

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Yakup KAYA

January 2023, 63 pages

In this study, P265GH and P355NH steels, which are generally preferred in the production of pressure vessels, were combined with each other and with each other using MAG welding method. The weld zones of the joints were examined using non-destructive and destructive testing methods.

Non-destructive, superficial and subsurface/weld section examinations of the weld zone were performed with visual inspection (VT), ultrasonic (UT) and radiographic (RT) tests. The microstructure and mechanical properties of the welded zone were also investigated by using destructive testing methods such as optical microscopy, microhardness examinations, tensile, bending and notch impact tests.

As a result of non-destructive tests applied to welded samples; In the visual inspection test, no welding defects were detected on the welding surfaces. After the ultrasonic

and radiographic tests, no discontinuities were found in the subsurface/section of the welded samples.

After the destructive tests applied to the welded samples, it was determined that the weld metal grains were large and columnar in structure and oriented in the direction of the heat flow. In addition, it was observed that the grains became coarser near the melting limit of HAZ. As a result of the hardness tests, it was determined that the highest hardness value was measured from the weld metal in all welded joints, followed by HAZ's and base materials. As a result of the applied tensile tests, all the joints elongation on the base material side and ductile rupture occurred on the base material. No damage was observed in the weld area of the welded samples. As a result of the bending tests, no visible defects (cracks, tears, etc.) were found in the weld area of all joints. As a result of the notch impact tests, when the impact toughness of the welded sample weld metal and HAZ were compared, it was determined that the HAZ was higher than the weld metal.

Key Word : MAG welding, Pressure vessel steel, destructive testing, non-destructive testing.

Science Code : 91511

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım,
Sayın Hocam Do. Dr. Yakup KAYA'ya

Malzeme temini, kaynak işlemleri ve testlerin gerekleŐtirilmesinde yardımlarını
esirgemeyen MESCİER A.Ő.'ye ve çalıŐanlarına,

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен 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
BASINÇLI KAP ÇELİKLERİ.....	3
2.1. BASINÇLI KAP ÇELİKLERİNİN TANIMI	3
2.2. BASINÇLI KAP ÇEŞİTLERİ.....	5
2.3. BASINÇLI KAPLARA ETKİYEN YÜKLER	6
2.3.1. İç ve Dış Basınç	6
2.3.2. Statik ve Dinamik Yük	7
2.3.3. Sıcaklık	7
2.3.4. Rüzgar.....	7
2.3.5. Ağırlık.....	7
2.3.6. Titreşim.....	8
2.4. BASINÇLI KAPLARIN KAYNAĞI.....	8
2.4.1. Kullanılan Kaynak Yöntemleri.....	8
2.4.2. Kaynak Kabiliyetleri.....	8
BÖLÜM 3	10
MIG-MAG KAYNAĞI.....	10

	<u>Sayfa</u>
3.1. YÖNTEMİN TANITIMI	10
3.2. ÇALIŞMA PRENSİBİ	10
3.3. KAYNAK DONANIMI	11
3.3.1. Kaynak Torcu ve Kablo Grubu.....	12
3.3.2. Kaynak Akım Üreteçleri.....	12
3.3.3. Tel Sürme Tertibatı.....	15
3.3.4. Koruyucu Gaz Ünitesi	15
3.4. DAMLA İLETİM MEKANİZMALARI.....	16
3.5. KAYNAK PARAMETRELERİ.....	17
3.6. MIG-MAG KAYNAĞININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	17
BÖLÜM 4	19
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
4.1. KULLANILAN MALZEMELER.....	19
4.2. MALZEMELERİN KAYNAK İŞLEMİNE HAZIRLANMASI VE BİRLEŞTİRİLMESİ	20
4.3. KAYNAK YÖNTEM SPESİSİFİKASYONLARI (WPS)	22
4.4. KAYNAKLI NUMUNELERİN TAHRİBATSIZ TESTLERİ.....	26
4.4.1. Gözle Muayene (VT) Testi.....	26
4.4.2. Ultrasonik Muayene (UT).....	26
4.4.3. Radyografik Muayene (RT).....	27
4.5. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATLI TESTLERİ.....	27
4.5.1. Mikroyapı İncelemeleri	27
4.5.2. Sertlik Testi.....	28
4.5.3. Çekme Testi.....	29
4.5.4. Eğme Testi.....	30
4.5.5. Çentik Darbe Testi.....	30
BÖLÜM 5	32
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	32
5.1. KAYNAKLI NUMUNELERE UYGULANAN TAHRİBATSIZ TESTLER.....	32
5.1.1. Gözle Muayene (VT) Testi.....	32
5.1.2. Ultrasonik Test (UT)	34

	<u>Sayfa</u>
5.1.3. Radyografik Test (RT).....	39
5.2. KAYNAKLI NUMUNELERE UYGULANAN TAHRİBATLI TESTLER.	45
5.2.1. Mikroyapı İncelemeleri	45
5.2.2. Sertlik Testi.....	50
5.2.3 Çekme Testi.....	52
5.2.4. Eğme Testi.....	55
5.2.5. Çentik Darbe Testi.....	56
BÖLÜM 6	58
SONUÇLAR	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. MIG-MAG kaynağı prensibi.....	11
Şekil 3.2. MIG-MAG kaynağı tezhizatı şeması.....	12
Şekil 3.3. Yatay karakteristiğe sahip bir makinenin I-V ilişkisi.	13
Şekil 3.4. Ark uzunluğunu içten ayar yardımı ile ayarlanması.	14
Şekil 4.1. Levhara açılan kaynak ağzı detayı.....	20
Şekil 4.2. Kaynak pasoları düzenlemesi şematik görüntüsü.	21
Şekil 4.3. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak makinesi görüntüsü.	22
Şekil 4.4. P265GH-P265GH birleştirmelere ait WPS.....	23
Şekil 4.5. P265GH-P355NH birleştirmelere ait WPS.....	24
Şekil 4.6. P355NH-P355NH birleştirmelere ait WPS.....	25
Şekil 4.7. Ultrasonik muayene yönteminde kullanılan cihaz görseli	27
Şekil 4.8. Zımparalama ve parlatma işlemlerinde kullanılan cihaz görseli	28
Şekil 4.9. Mikroyapı işlemlerinde kullanılan mikroskop.....	28
Şekil 4.10. Sertlik ölçümlerinde kullanılan cihaz görüntüsü.	29
Şekil 4.11. Çekme testlerinde kullanılan numune şematik resmi.	29
Şekil 4.12. Çekme testlerinde kullanılan cihaz görüntüsü.	30
Şekil 4.13. Eğme test numunesi görseli.	30
Şekil 4.14. Çentik darbe test numunesi görseli.	31
Şekil 4.15. Çentik darbe test cihazı görseli.	31
Şekil 5.1. P265GH-P265GH levhaların birleştirilmiş görüntüsü.....	33
Şekil 5.2. P265GH-P355NH levhaların birleştirilmiş görüntüsü.....	33
Şekil 5.3. P355NH-P355NH levhaların birleştirilmiş görüntüsü.....	34
Şekil 5.4. P265GH-P265GH kaynaklı numune ultrasonik test raporu.....	36
Şekil 5.5. P265GH-P355NH kaynaklı numune ultrasonik test raporu.....	37
Şekil 5.6. P355NH-P355NH kaynaklı numune ultrasonik test raporu.....	38
Şekil 5.7. P265GH-P265GH kaynaklı numune radyografik test görseli.	39
Şekil 5.8. P265GH-P355NH kaynaklı numune radyografik test görseli.	40
Şekil 5.9. P355NH-P355NH kaynaklı numune radyografik test görseli.	40
Şekil 5.10. P265GH-P265GH kaynaklı numune radyografik test raporu.....	41

Sayfa

Şekil 5.11. P265GH-P355NH kaynaklı numune radyografik test raporu.....	42
Şekil 5.12. P355NH-P355NH kaynaklı numune radyografik test raporu.....	43
Şekil 5.13. P265GH-P265GH kaynaklı numune mikroyapı görüntüsü.	46
Şekil 5.14. P265GH-P355NH kaynaklı numune mikroyapı görüntüsü.	47
Şekil 5.15. P355NH-P355NH kaynaklı numune mikroyapı görüntüsü.	48
Şekil 5.16. Kaynaklı numunelerin sertlik testi grafiği.	51
Şekil 5.17. Kaynaklı numunelere ait çekme testi grafiği.	52
Şekil 5.18. Çekme testleri sonrası kopma görüntüleri	53
Şekil 5.19. Eğme testi sonrası numunelerin görüntüleri.	55
Şekil 5.20. Numunelerin darbe tokluğu grafiği.....	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. P265GH ve P355NH çelik levhaların kimyasal bileşimi.....	19
Çizelge 4.2. P265GH ve P355NH çelik levhaların mekanik özellikleri.....	20
Çizelge 4.4. İlave telin kimyasal özellikleri.....	20
Çizelge 4.4. İlave telin mekanik özellikleri.....	20
Çizelge 4.5. Birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri.....	21

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C : Karbon

CO₂ : Karbondioksit

Cr : Krom

Fe : Demir

Mn : Mangan

Mo : Molibden

P : Fosfor

S : Kükürt

Si : Silisyum

KISALTMALAR

- AC : Alternatif Akım
AISI : Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü
ASTM: Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu
DC : Doğru Akım
EN : Avrupa Normu
ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
TS : Türk Standardı
LPG : Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MIG : Metal Inert Gaz
MAG : Metal Aktif Gaz
TIG : Tungsten Inert Gaz
VT : Gözle Muayene Testi
UT : Ultrasonik Test
RT : Radyografik Test
TL : Türk Loydu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Farklı endüstri kuruluşlarında büyük oranda gaz; sıkıştırılmış, sıvılaştırılmış ve basınç altında çözülmüş şekilde kullanılır. Kullanılan bu gazın nakliyesi ve depo edilmesinde basınçlı kap kullanılır. Sanayi kuruluşlarında kullanılan buhar için kazan gereklidir. İmalatçı ve kullanıcı, bu kazan ve basınçlı kapların görevini güvenle yapmasını talep etmektedir. Bunu sağlamak için her ülke kendi kontrol kuruluşlarını tesis etmiştir. Ülkemizde kontrol işlemi Türk Loydu ve TSE kurumlarında yürütülmektedir (Sayılğan, 1993).

Fabrikalarda çoğunlukla kullanılan basınçlı kap çeliği; gaz tankı, kazan, yüksek basınçlı hava tüpü, LPG tüpü, akışkan taşıyıcı boru, kompresör, kriyojenik tank, iç basınca dayanıklı kap, hidrolik/pnömatik akışkan devre, soğutma ünitesi, hidrofor sistemi vb. olarak sıralanabilir (Canlı, 2017). Gelişmekte olan üretim sektörünün ithalatı için gerekli standart ve kurallara uygun basınçlı kap ve kazan üretimi gereklidir (Sayılğan, 1993). Basınçlı kapların birleştirilmesinde, örtülü elektrot, TIG, MIG-MAG ve tozaltı ark kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise kullanılan P265GH ve P355NH basınçlı kap çelikleri MAG kaynağı ile birleştirilmiştir.

Günümüzde kaynak teknolojisi, önemli oranda yaygınlaşmış, bir veya daha fazla kaynak yöntemini herhangi bir atelye, fabrika, şantiyede vs. görebilmekteyiz. MIG-MAG kaynak yöntemi de, ergitmeli kaynak yöntemlerinden en çok tercih edilen kaynak yöntemidir (Anık ve Vural, 1996). MIG-MAG kaynak yöntemi, maliyeti ucuzlatmış, süresini azaltmış ve kaynak kalitesine kaynakçı etkisini de minimize etmiştir. Ek olarak bu kaynak yöntemi yarı otomatik veya otomatik kaynak yöntemleri olarak isimlendirilen modern kaynak yöntemlerindedir. Gelişmiş ülkelerde sıklıkla kullanılan yarı otomatik kaynak yöntemi olan MAG kaynak yöntemi son yıllarda ülkemizde de yaygınlaşmaktadır (Ören, 2002, Güner, 2007).

Bu çalışmada; basınçlı kap üretimine genellikle tercih edilen P265GH ve P355NH basınçlı kap çelikleri birbirleri ile ve kendi aralarında (P265GH-P265GH, P265GH-P355NH ve P355NH-P355NH) MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirmelerin kaynak bölgesi, tahtibatsız (gözle (VT), 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

BASINÇLI KAP ÇELİKLERİ

Birçok sanayi kuruluşunda önemli oranda gaz; sıkıştırılmış, sıvılaştırılmış ve basınç altında çözülmüş olarak kullanılır. Kullanılan bu gazın nakliyesi ve saklanmasında basınçlı kap kullanılır (Sayılğan, 1993 ve Habiboğlu, 1993). Basınçlı kap; akışkan taşıyan veya depolayan, iç ve dış basınca maruz kalan yüksek sızdırmazlığa sahip depo ve tanklardır. Basınçlı kaplarda genellikle iç basınç dış basınçtan daha fazladır (Küçüköner, 2019).

2.1. BASINÇLI KAP ÇELİKLERİNİN TANIMI

Basınçlı kap, yüksek sızdırmazlığa sahip depo ve tanklardır. TSE'ye göre basınçlı kap 50000 Pa (0,5 bar) veya daha yüksek basınçlı sıvı ve gazın imalatında, nakliyesinde veya saklanmasında kullanılan küre, silindir veya koni biçimli hacimlerin birleştirilmesinden meydana gelen atmosfere kapalı kaplardır.

Sanayi kuruluşlarındaki artan arzı karşılamak için buhar enerjisi, sıvı ve gaz yakıt ile endüstride kullanılan gazların, imalatı, nakliyesi ve saklanmasında kullanılan kazan ve basınçlı kapların görevini emniyetli şekilde yerine getirmesi imalatçı ve kullanıcıların talebidir. Ek olarak gelişen sanayi ve üretim tesislerinin ithalatının artması belirli standartlara ve kurallara uygun kazan ve basınçlı kap üretimine bağlıdır.

Bu açıdan basınçlı kapların tasarım, üretim ve kontrolü Ulusal/Uluslararası standartlara uyularak yapılmalıdır.

Dünyada basınçlı kapların tasarımı için farklı standartlar kullanılmaktadır. Basınçlı kap üretiminde kullanılan kazan ve basınçlı kaplarla ilgili standart ve kurallar şunlardır:

- TSE-kazan ve basınçlı kap kuralları
- TL-kazan ve basınçlı kap kuralları
- Almanya AD-basinçli kap kuralları
- Almanya TRG-basinçli gaz kabı teknik kuralları
- Almanya TRD-buhar kazanı teknik kuralları

Basınçlı ekipmanlar artan tehlike seviyesine göre iki gruba ayrılırlar:

Grup 1:

- Patlayıcı
- Kolay alevlenir
- Çok kolay alevlenir
- Alevlenir
- Çok toksik
- Toksik
- Oksitleyici

Grup 2 yukarıda yazılmayan diğer akışkanları kapsar.

Basınçlı kap imalatı ve tesliminde gerekli kontrollerin yapılmasına rağmen çalışma esnasında arıza olabilmekte ve tehlike oluşabilmektedir. Kullanım esnasında arıza ve hasara sebep teşkil edebilecek öğeler; erozyon, korozyon, kavitasyon vb etkiler, sıcaklık, yüksek basınç, yorulma, titreşim vb etkiler sebebiyle dayanımının azalması, güvenlik, kontrol ve kumanda sistemlerindeki problemler sebebiyle iş görememeleridir. Bu sebeplerden ötürü periyodik kontrollerin zamanında yapılması gereklidir.

İşçi sağlığı ve güvenliği yönetmeliği basınçlı kap kontrol ve periyodik incelemesini zorunlu hale getirmektedir. Aşınmış olduğu halde zamanında yenilenmeyen bir conta veya civata bile bazen büyük bir hasara neden olmaktadır.

Basınçlı kapların kontrolü mutlaka zamanında yapılmalıdır. Örneğin kalorifer kazanı boruları yaz aylarında havalar soğumadan test basıncında test edilmelidir ve sızıntı olan borular yenileriyle değiştirilmesi gerekir. Basınçlı kaplarda kullanıcı kaynaklı hatalardan oluşan arıza ve hasar da teknik personelin bilgi seviyesiyle ilgilidir. Bu personellere tamir, bakım, servis vb eğitimleri verilmelidir (Sayılğan, 1993 ve Habiboğlu, 1993).

Basınçlı kaplarda kullanılacak kaynak sarf malzemeleri (elektrot, dolgu teli, dolgu çubuğu veya toz), kaynak metali özellikleri ve korozyon direnci, ana malzemeyle uyumlu olmalıdır. Bu sarf malzemeler EN 12074 ve TS EN 13479 (2006) e uygun olarak sipariş ve teslim edilmelidir.

Basınçlı kaplarda İSG tehlikeleri:

- Patlama
- Parçalanma
- Boğulma-zehirlenme
- Yangın-patlama
- Kimyevi ve termal yanık

2.2. BASINÇLI KAP ÇEŞİTLERİ

Kullanılan alanlara göre basınçlı kap çeşitleri

- Boru hattı,
- Kazan,
- Kompresör,
- Hava tankı,
- LPG tankı,
- Hidrolik akışkan devresi,
- Hidrofor,
- Sanayi gaz tankı,

- Soğutma ünitesi,
- Pnömatik akışkan devresi,
- Gaz tüpü,
- Kriyojenik tank,
- Otoklavlar vb. (Küçüköner, 2019).

2.3. BASINÇLI KAPLARA ETKİYEN YÜKLER

Basınçlı kaplar genellikle yüksek basınçta çalıştığı için kullanım esnasında hayati risk taşıyabilmektedir. Bu riski minimize edebilmek ve basınçlı kapların çalışma şartlarında güvenle görev yapması çok önemlidir. Bu sebeplerden ötürü basınçlı kapların tasarımı esnasında, bu kaplara etkiyen tüm kuvvetler belirlenmeli ve etkileri önceden hesaplanmalıdır. Üretim sonrasında da ilgili standartlara göre gerekli kontroller yapılmalıdır. Bu kaplara etki eden kuvvetler aşağıdadır;

- İç ve dış basınç
- Statik ve dinamik yük
- Sıcaklık
- Rüzgar
- Ağırlık
- Titreşim

2.3.1. İç ve Dış Basınç

Basınçlı kap tasarımı esnasında ana parametrelerden biri de iç ve dış basınçtır. Tasarımda yalnız iç basınç etkisinde kalan kaplara sadece iç basınç, yalnız dış basınç etkisinde kalan kaplara ise sadece dış basınç etkisi hesaplanmaktadır.

2.3.2. Statik ve Dinamik Yük

Basınçlı kapların tasarımında kap yükü haricinde, örneğin kap nakliyesi esnasında oluşabilecek, statik veya dinamik yüklerin de hesaba katılması ve tasarım yükleri arasında olması gerekir.

2.3.3. Sıcaklık

Basınçlı kaplarda sıcaklık, tasarıma doğrudan etki etmemesine rağmen çevre faktörü olarak tasarımda hesaba katılması gerekir. Yüksek sıcaklıkta çalışan basınçlı kaplarda sıcaklık, farkı ısı gerilmeler meydana gelmesine neden olacaktır. Bu ortamda kullanılacak malzeme seçiminde termal genleşme katsayısı düşük olmasında dikkat edilmelidir.

2.3.4. Rüzgar

Farklı hızlarda meydana gelen türbülanslı akış, rüzgar olarak isimlendirilebilir. Yeryüzüne paralel hareket ettiği kabul görür ve yükseğe çıktıkça hızının arttığı bilinir. Rüzgar, dikey olarak çalışan basınçlı kaplar için dikkat edilmesi gereken bir faktördür ve ayak tasarımı esnasında rüzgarın yönü hesaba katılmalıdır. Rüzgar yükseklikte hızının arttığı bilinmektedir. Özellikle aşırı rüzgar alan yerlerde basınçlı kapların yüksekliğine dikkat edilmesi gerekmektedir.

2.3.5. Ağırlık

Basınçlı kap ağırlığı, bağlantı elemanları ağırlığından oluşur. Basınçlı kaplara bağlantı elemanı ve yükleme yapmadan ölçülen yüke boş/ölü yük denilmektedir. Basınçlı kap ağırlığı, eksen kaçıklığı yok ve yük bileşkesi de kabın ekseninde ise, yalnız basma gerilmesi oluşturur, bu gerilim de çoğunlukla önemsizdir.

2.3.6. Titreşim

Rüzgar, basınçlı kapların titreşimine neden olan ana faktörlerdendir. Titreşim, basınçlı kaplarda yorulma gerilmesine sebep olduğundan tasarım esnasında hesaba katılmalıdır.

2.4. BASINÇLI KAPLARIN KAYNAĞI

Basınçlı kap içinde sıvı veya gaz bulunması nedeniyle kaynaklı birleştirmeler yüksek kaliteli ve sızdırmaz olmalıdır. Basınçlı kap kaynağında istisnalar dışında alın kaynağı yapılmalı ve hatasız dikişler elde edilmelidir. Yapılan kaynaklar tahribatsız testler ile kontrol edilip ardından sızdırmazlık kontrolüne tutulmalıdır (Küçüköner, 2019).

2.4.1. Kullanılan Kaynak Yöntemleri

Basınçlı kap birleştirilmesinde genellikle ergitmeli kaynak yöntemleri seçilir. Bu yöntemler aşağıdadır; (Canlı, 2017).

- Örtülü elektrod
- MIG-MAG
- TIG
- Tozaltı ark kaynak yöntemidir.

2.4.2. Kaynak Kabiliyetleri

Kaynak kabiliyeti kaynaklanabilirlik açısından epeyce önemlidir. Bir malzeme kaynaklanırken alınacak tedbir düzeyini göstermektedir. Bir malzeme, yüksek kaynak kabiliyetine sahip ise herhangi bir özel tedbir almadan, her çeşit çalışma ortamlarında, tatminkar bir kaynak kalitesi elde edilebileceğini anlamındadır.

Basınçlı kap üretiminde kullanılan malzemeler çoğunlukla karbonlu çeliklerdir. Bunların kaynak kabiliyeti içerdiği karbon oranıyla ilgilidir. Karbon oranı artışıyla

kaynak kabiliyeti azalmaktadır. 0,25% az ve 0,55% orta karbon içeren çeliklerin kaynak kabiliyeti iyidir. Bu çelikler kaynak öncesi herhangi bir önlem olmadan kaynak edilebilirler. Ek olarak 0,55% üzeri karbon içeren çeliklerin kaynağı öncesi ön tav vb. özel önlemler gereklidir. Ayrıca kaynak edilecek malzemenin içerdiği mangan, silisyum, kükürt ve fosfor da kaynak kabiliyetini azaltmaktadır (Küçüköner, 2019).

BÖLÜM 3

MIG-MAG KAYNAĞI

3.1. YÖNTEMİN TANITIMI

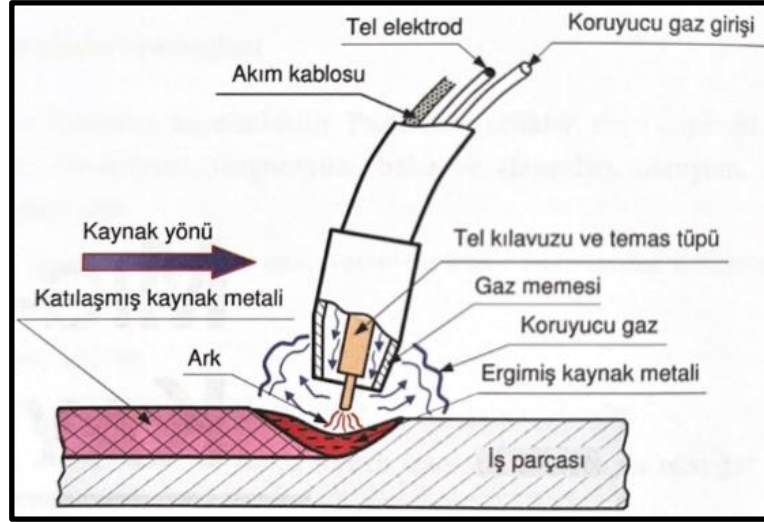
Kaynak için gerekli ısı, devamlı beslenen ve ergiyen bir tel elektrod ile kaynak metali arasında elde edilen arkla ve elektrod üzerinden geçirilen akımının da elektrodta meydana getirdiği direncin ısıtmasıyla oluşturulur. Elektrod çıplak bir tel olup, elektrod besleme sistemiyle kaynak bölgesine ayarlanan sabit hızda iletilir. Çıplak elektrod, kaynak metali, ark ve esas metalin kaynak bölgesine bitişik bölgeleri, atmosferin olumsuz etkilerinden nozuldan iletilen uygun bir gaz/gaz karışımıyla korunur.

Ergiyen elektrot ve sovgaz kullanılması sebebiyle metoda MIG (Metal Inert Gas) kaynağı denilir. Bu metotda düşük akım yoğunlu ve darbeli akım kullanma, farklı malzemelere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif bir gazın (CO₂) veya farklı gaz karışımlarının kullanılması gibi ilerlemeler elde edilmiştir. Bu ilerlemelerle, aktif koruyucu gaz kullanıldığında metoda MAG (Metal Active Gas) kaynağı denilmektedir. Bu isim farkı yalnız metodun ismini belirtirken problem çıkarmıştır ve bu sebeple farklı ülkeler metodu belirtirken farklı isimler kullanmaktadır. Bu metoda Amerika “GMAW-Gaz Metal Ark Kaynağı”, İngiltere ve Almanya da “MIG/MAG Kaynağı” ismi verilmiştir. Ülkemizde ise, “Ergiyen Elektrodla Gazaltı veya MIG/MAG Kaynağı” isimleri ile anılmaktadır (Eryürek, 2003).

3.2. ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bu metodla dışarıdan sağlanan gaz ile korunan, otomatik olarak devamlı beslenen ve ergiyen elektrod kullanılmaktadır. Kaynak opeatörünce ilk ayar yapılmasının ardından arkin elektriksel karakteristiği, iç ayar sistemi sayesinde otomatik olarak makina

tarafından ayarlanır. Bu sebeple yarı otomatik kaynakta kaynak operatörünce sağlanan elle kontrol, kaynak hızı, doğrultusu ve torc pozisyonudur. Uygun donanım tercih edilip, uygun ayarlar yapıldığında ark boyu ve ark şiddeti kaynak makinasınca otomatik olarak sabitlenir (İnternet, 2011). Şekil 3.1’de kaynağın şematik görüntüsü verilmiştir (Kahraman ve Gülenç, 2016).



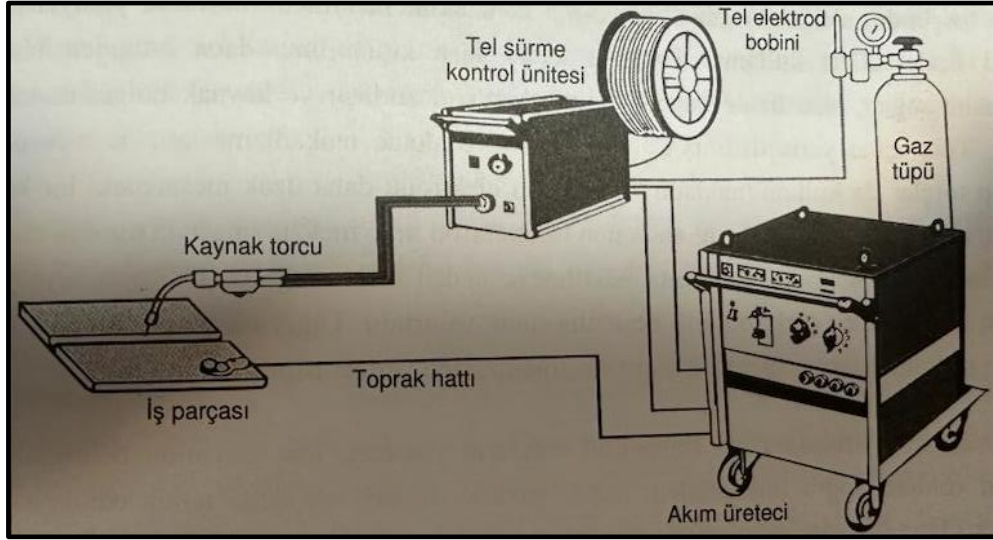
Şekil 3.1. MIG-MAG kaynağı prensibi.

3.3. KAYNAK DONANIMI

Kaynak teçhizatı 4 gruptan oluşur,

- a) Torc ve kablo seti
- b) Akım üretici
- c) Tel sürme mekanizması
- d) Koruyucu gaz sistemi

Şekil 3.2. MIG-MAG kaynağı teçhizatı şeması görülmektedir (Kahraman ve Gülenç, 2016).



Şekil 3.2. MIG-MAG kaynağı teçizatı şeması.

3.3.1. Kaynak Torcu ve Kablo Grubu

Torç kaynak makinasına, içinde tel elektrod kılavuzunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli ve kalın hortum ile irtibatlanmıştır. Bu kalın hortuma torç bağlantı paketi adı da verilir. Torç ve kablo grubu üç görevi yerine getirir. Koruyucu gazı ark bölgesine taşır, elektrodu temas tüpüne iletir ve güç ünitesinden gelen akım kablosunu temas tüpüne iletir. Kaynak torcunun tetiğine basıldığı zaman, önce ayarlanmış debide koruyucu gaz akışı başlar, kısa bir süre sonra ark oluşur ve ark oluşuktan çok kısa bir süre sonra da tel sürme tertibatı devreye girer. Kaynağa son verilmesi halinde ise, bu sıralamanın tersi oluşur. Büyük güçlü makinalarda ayrıca, soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışı da yine aynı kumanda tertibatı tarafından gerçekleştirilmektedir (Kahraman ve Gülenç, 2016).

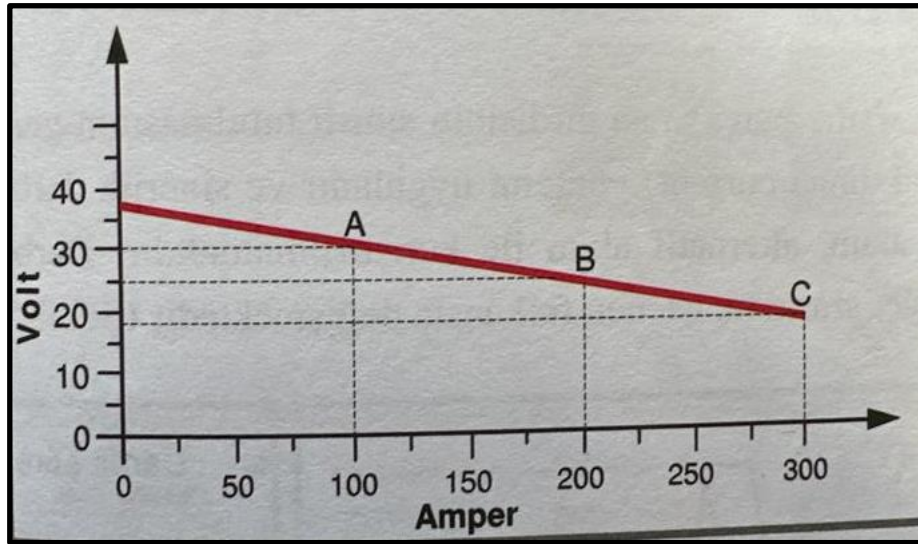
3.3.2. Kaynak Akım Üreteçleri

Kaynak güç üniteleri ark oluşturmak için elektrik gücünü elektroda ve iş parçasına iletir. MIG-MAG kaynağının büyük bir kısmında doğru akım kullanılır ve kural olarak elektrod daima pozitif kutuptadır. Bu nedenle güç ünitelerinin pozitif ucu torca, negatif ucu ise iş parçasına bağlanır. Çeliklerin kaynağında her iki kutuplama kullanılabilirse

de, daha derin nüfuziyet sağlandığından uygulamada genellikle ters kutuplama tercih edilir. Doğru kutuplama çok nadir olarak, nüfuziyetin çok az olmasının gerekli olduğu hallerde tercih edilir. Doğru akım güç üreteçleri dört gruba ayrılır.

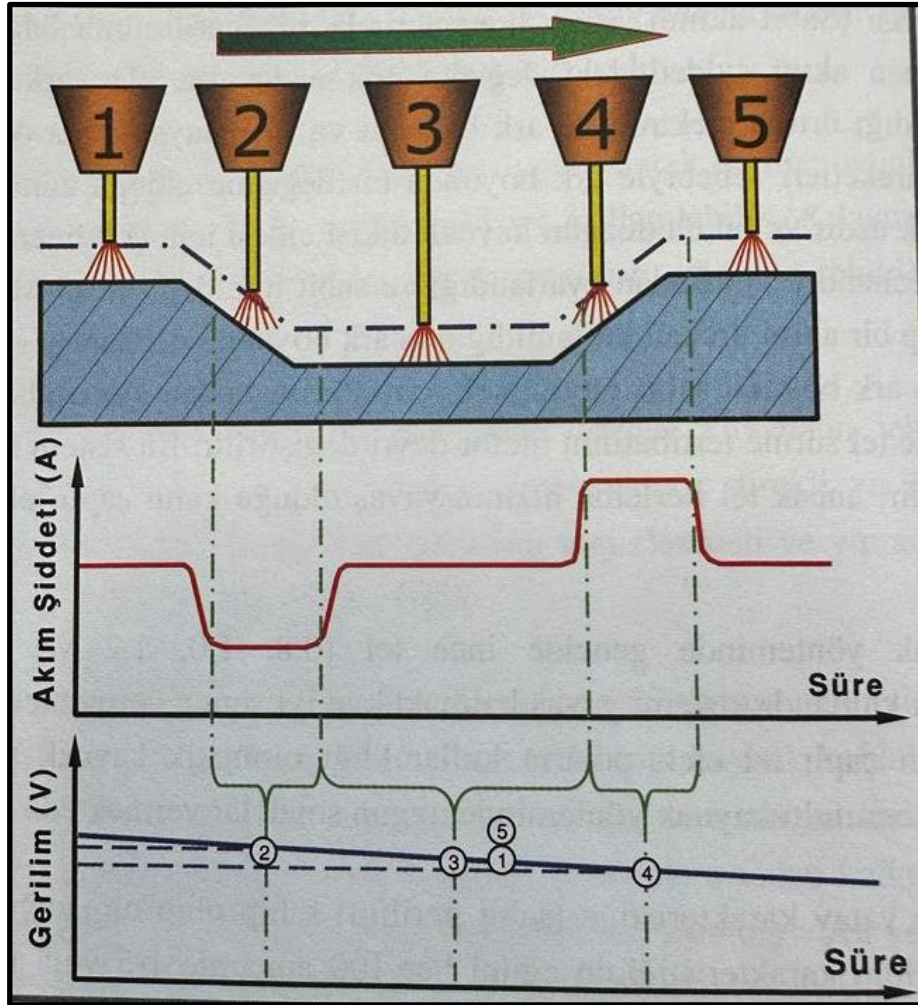
- Motor Generatör Tipi
- Redresör Türü
- Sinerjik Darbeli
- İnverter Türü Kaynak Akım Üreteçleri

MAG kaynağında kullanılan kaynak akım üreteçlerinin V-I karakteristiği örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağı ve TIG kaynağında kullanılan akım üreteçlerinden çok farklıdır. MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiklidir; sabit gerilimli diye de adlandırılan bu kaynak akım üreteçlerinde, gerilimin tamamen sabit tutulması mümkün olmadığı gibi aynı zamanda mahzurludur. Zira böyle bir üreteçte elektrod iş parçasına temas ettiğinde gerilim düşecek ve akım şiddeti sonsuz yükselecektir ve bu da elektrod ucunda ani bir patlamaya ve şiddetli sıçramaya neden olur; bu bakımdan bu tür kaynak akım üreteçlerinde her 100 Amper için azami 7 Volt kadar ark gerilimi düşümüne müsaade edilir; bu değer kaliteli üreteçlerde 2 ile 5 V arasındadır (Eryürek, 2003, Işık 2014). Şekil 3.3'te yatay karakteristiğe sahip bir makinenin I-V ilişkisi şematik olarak verilmiştir (Kahraman ve Gülenç, 2016).



Şekil 3.3. Yatay karakteristiğe sahip bir makinenin I-V ilişkisi.

MIG-MAG kaynağı akım üreteçlerinde içten ayar diye adlandırılan ark boyu ayarı vardır. Bu makinelerde ark gerilimi, tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Tel ilerleme motorunun hızı, seçilen bir devirde döneceğinden tel ilerleme hızı sabittir. Kaynak işlemi esnasında herhangi bir sebeple ark boyu uzadığı zaman akım şiddeti büyük miktarda azalır. Bu olay şematik olarak Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Ark boyunun artması akım şiddetinin düşmesine, dolayısıyla tel ergime miktarının azalmasına neden olur. Bu sırada sabit hızla gelen tel, arkı normal konumuna döndürür. Ark boyu kısaldığında akım şiddeti yükselir, tel ergime miktarı artar, sabit gelen tel hızı arkı normal boyuna döndürdüğü içinde akım ve gerilim değerleri uygun değerlere seyreder (Kahraman ve Gülenç, 2016).



Şekil 3.4. Ark uzunluğunu içten ayar yardımı ile ayarlanması.

3.3.3. Tel Sürme Tertibatı

Tel sürme tertibatı teli makaradan, eriyen tel miktarını karşılayacak bir hızla ark bölgesine sevk eden bir mekanizmadır. Elektrod besleme ünitesi (tel besleyici) bir elektrik motoru elektrod makaraları ve elektrod doğrultusunu ve basıncı ayarlayan aksesuarlardan meydana gelmiştir. Elektrod besleme motoru genellikle doğru akımla çalışır. Elektrodu torç yoluyla iş parçasına iter. Motor hızını geniş bir aralıkla değiştiren bir kontrol devresinin olması gerekir. Sabit hızlı elektrod besleyicileri normal olarak sabit gerilimli güç üniteleri ile birlikte kullanılırlar (Eryürek, 2003, Işık 2014).

Besleme motoru elektrod besleme makaralarını tahrik eder. Bu makaralar, elektrod kaynağından elektrodu çekme ve kaynak torcu içinde itme yoluyla elektroda kuvvet iletir. Tel besleme ünitelerinde iki makaralı veya dört makaralı düzenler kullanılabilir.

Akım üreticinde bulunan tel ilerleme motoruna ek olarak, torç içinde ikinci bir tel iletletme motoruna sahip itme-çekme sistemli kaynak donanımları da mevcuttur. Birinci ünite tein itilmesini, ikinci ünite de telin çekilmesini sağlar. Bu tip donanım, telin daha uzun mesefelere düzgün hızda beslenebilmesine olanak sağlar. Bu cihaz ince ve alüminyum gibi çok hafif tellerin rahatlıkla kullanılmasına olanak sağlar (Kahraman ve Gülenç, 2016).

3.3.4. Koruyucu Gaz Ünitesi

Kaynak sırasında sabit gaz akış hızı sağlayan bir sisteme ihtiyaç vardır. Gaz regülatörleri, gazın temin edildiği kaynaktaki basınç değişimlerine bağlı olmaksızın, buradaki gaz basıncını sabit bir çalışma basıncına dönüştürür. Regülatörler tek veya iki kademeli olabilecekleri gibi bir debimetreye de sahip olabilirler (Eryürek, 2003).

Bütün gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MIG-MAG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekecektir. Koruyucu gaz, ergimiş kaynak banyosu içindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini engellemek, azot ve hidrojen gibi diğer

zararlı gazların kaynak metaline sıvı kaynak banyosunda çözümlenerek girmesini önlemek işlevlerini yerine getirir. Ergimiş halde hemen hemen tüm metaller havadan oksijen ve azot absorbe ederler ve ergimiş metalde çözünen bu gazlar katılaştıran kaynak metalindeki elementler ile birleşir, yeni bileşikler oluştururlar. Bu olay kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler, çeşitli kaynak hatalarının oluşmasına neden olur.

MIG-MAG kaynağında soygazlar, aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlardaki karışımları kullanılır. Genel olarak soygazlar diğer elementlerle etkileşime girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve soygaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında uygulama alanı bulmaktadır. Kaynak işlemi için yapılan gaz seçiminde çeşitli etmenlerin göz önünde bulundurulması gerekir (İnternet, 2023).

Bunlar:

- Kaynatılan metal veya alaşımın kimyasal yapısı
- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi
- Kaynak hızı
- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi
- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler
- Kaynak banyosunda oluşan oksitlerin temizlenme yöntemi
- Elde edilebilirlik ve gazın maliyeti

3.4. DAMLA İLETİM MEKANİZMALARI

MIG-MAG kaynağında metal damlalar elektrotdan iş parçasına dört temel iletim mekanizmasıyla geçer:

- Kısa devre iletimi (kısa ark)
- İri damla iletimi (uzun ark)
- Sprey iletimi
- Darbeli ark

3.5. KAYNAK PARAMETRELERİ

Kaynak nüfuziyetini, dikiş geometrisini ve genel kaynak kalitesini etkileyen kaynak değişkenleri aşağıda verilmiştir:

- Kaynak akımı (elektrod besleme hızı)
- Ark gerilimi (ark boyu)
- Kaynak hızı
- Serbest elektrod uzunluğu
- Elektrod açıları
- Kaynak pozisyonları
- Elektrod (tel) çapı

Yeterli kaliteye sahip kaynak dikişleri elde edebilmek için bu değişkenlerin etkilerini iyi bir şekilde anlamak ve bunları kontrol etmek gerekir. Bu değişkenler birbirinden bağımsız değildir. Birinin değiştirilmesi, arzu edilen sonucu elde edebilmek için diğerlerinin veya birkaçının değiştirilmesini gerektirir. Herbir uygulamada en uygun ayarları seçmek için önemli ölçüde yetenek ve tecrübe gerekir. Kaynak değişkenlerinin en uygun değerleri aşağıdaki faktörler göz- önüne alınarak seçilir (Eryürek, 2003).

- Esas metalin tipi
- Elektrod bileşimi
- Kaynak pozisyonu
- Kaynak bağlantısının kalitesi ile ilgili istekler

3.6. MIG-MAG KAYNAĞININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

MIG-MAG kaynak yöntemi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaynak yönteminin yaygın olarak kullanılmasındaki üstünlükleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

- Yüksek erime hızı

- Derin nüfuziyet
- Her pozisyonda kaynak yapılabilmesi
- Ara vermeden kaynak yapılabilmesi
- Demir esaslı ile demir dışı metaller ve alaşımlarının; uygun koruyucu gaz, elektrod ve kaynak değişkenleri seçmek şartıyla kaynak yapılabilmesi
- Uygulamanın kolay olması
- Ekonomik bir kaynak yöntemi olması
- Yarı otomatik bir kaynak yöntemi olması
- Gerekli ekip ve donanım sağlandığında tam otomatik kaynak yapılabilme.

MIG-MAG kaynağının dezavantajları ise şunlardır:

- Gazaltı kaynak ekipmanları, örtülü elektrod ark kaynağı ekipmanlarına göre daha karmaşık, daha pahalı ve taşınması daha zordur.
- Gazaltı kaynak torcu iş parçasına yakın olması gerektiği için örtülü elektrod ark kaynağı gibi ulaşılması zor alanlarda kaynak yapmak kolay değildir.
- Sertleşme özelliği olan çeliklerde gaz altı kaynağı ile yapılan kaynak birleştirmeleri çatlamaya daha eğilimlidir. Çünkü örtülü elektrod ark kaynağında olduğu gibi kaynak metalinin soğuma hızını düşüren bir curuf tabakası yoktur.
- Gazaltı kaynağı, gaz korumasını kaynak bölgesinden uzaklaştırabilecek hava akımlarına karşı ek bir koruma gerektirir. Bu nedenle, örtülü elektrod ark kaynağına göre açık alanlarda kaynak yapmaya uygun değildir (Aran ve Temel, 2004).

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, basınçlı kap üretiminde genellikle tercih edilen P265GH ve P355NH çelikleri, P265GH-P265GH, P265GH-P355NH ve P355NH-P355NH grupları halinde MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. MAG kaynak yönteminin farklı birleştirme grupları kaynak bölgesi üzerine etkileri tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Kaynaklı numunelerin yüzey ve yüzeyaltı kusurlarının belirlenmesi için tahribatsız muayene yöntemlerinden gözle (VT), ultrasonik (UT) ve radyografik (RT) muayene teknikleri uygulanmıştır. Bunlara ek olarak kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için ise tahribatlı muayene yöntemlerinden mikrosertlik çalışmaları, çekme, eğme ve çentik darbe testleri gerçekleştirilmiştir. İlâveten kaynak bölgesindeki yapısal değişimi incelemek için kaynaklar üzerinde mikroyapısal çalışmalar yapılmıştır.

4.1. KULLANILAN MALZEMELER

Deneysel çalışmalarda 200x120x8 mm ebatlarında P265GH ve P355NH çelik levhalar kullanılmıştır. Kullanılan basınçlı kap çeliklerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 4.1’de, Çizelge 4.2’de ise mekanik özellikleri görülmektedir. Kaynak işlemlerinde kullanılan 1.2 mm kalınlığındaki, Lincoln LW71 özlü ilave metalin Çizelge 4.3’te kimyasal bileşimi, Çizelge 4.4’de ise mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. P265GH ve P355NH çelik levhaların kimyasal bileşimi.

Malzeme	C	Mn	Si	Mo	Cr	P	S	Fe
<i>P265GH</i>	0.145	0.932	0.017	0.013	0.028	0.010	0.003	Kalan
<i>P355NH</i>	0.180	1.618	0.378	0.005	0.211	0.015	0.008	Kalan

Çizelge 4.2. P265GH ve P355NH çelik levhaların mekanik özellikleri.

	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
<i>P265GH</i>	308	428	32
<i>P355NH</i>	380	569	26

Çizelge 4.3. İlave telin kimyasal bileşimi.

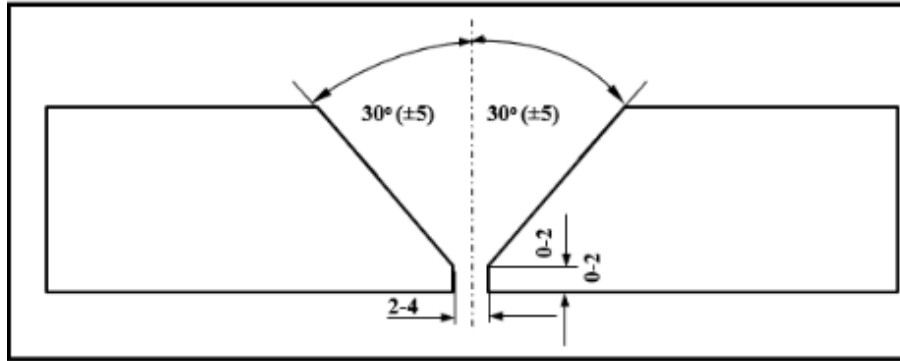
	C	Mn	Si	P	S
<i>LW71</i>	0.06	1.29	0.37	0.02	0.01

Çizelge 4.4. İlave telin mekanik özellikleri.

	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
<i>LW71</i>	390-490	490-620	22-29

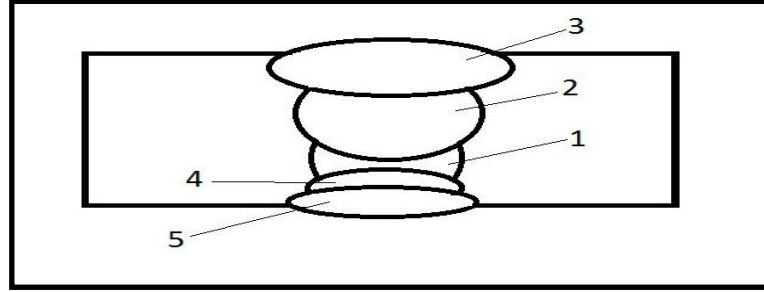
4.2. MALZEMELERİN KAYNAK İŞLEMİNE HAZIRLANMASI VE BİRLEŞTİRİLMESİ

P265GH ve P355NH basınçlı kap çelikleri, MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmeden önce, CNC freze ile gerekli ölçülerde kesilmiş (200x120) ve levhaların yüzeyleri oksit, pas veya yağlı atıklardan arındırılması için tel fırça ve üstübü yardımı ile temizlenmiştir. Sonrasında ise EN ISO 15609-1 standartlarına uygun olarak Şekil 4.1’de görülen V kaynak ağzı levhalara (ölçüler mm olarak verilmiştir) açılmıştır.



Şekil 4.1. Levhara açılan kaynak ağzı detayı.

Levhaların boyutlandırılması, kaynak ağzı açılması ve temizlik aşamalarından sonra da aralarında en az 2 mm kalacak şekilde puntalanarak sabitlenmiştir. MAG kaynak yöntemi ile birleştirme işlemleri, 15 lt/dk CO₂ koruyucu gaz kullanılarak, PA (yatay) pozisyonda ve 5'er pasoda gerçekleştirilmiştir. Pasolar arası geçiş sıcaklığının en fazla 200° C olmasına özen gösterilmiştir. Şekil 4.2'de kaynak pasoları düzenlemesi görülmektedir.



Şekil 4.2. Kaynak pasoları düzenlemesi şematik görüntüsü.

Kaynak işlemleri, Çizelge 4.5'te verilen kaynak parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde kullanılan Magmaweld marka MIG-MAG kaynak makinesinde Şekil 4.3'te görülmektedir.

Çizelge 4.5. Birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri.

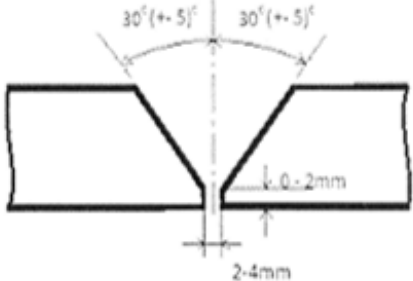
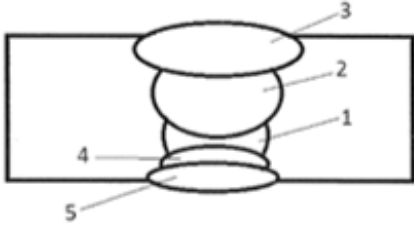
Paso	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım türü	Kaynak hızı (cm/dak)	Isı girdisi (KJ/cm)
1	170-180	24.5-25	DC (+)	38	5.9 - 6.3
2	200-210	25-25.5		39	6.9 - 7.4
3				24	11.2 - 12
4				36	7.5 - 8
5				30	9 - 9.6



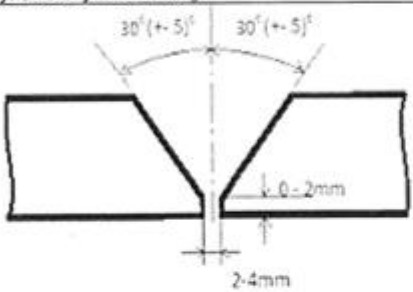
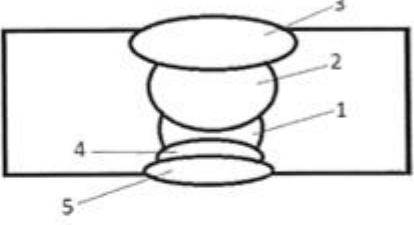
Şekil 4.3. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak makinesi görüntüsü.

4.3. KAYNAK YÖNTEM SPESİSİFİKASYONLARI (WPS)

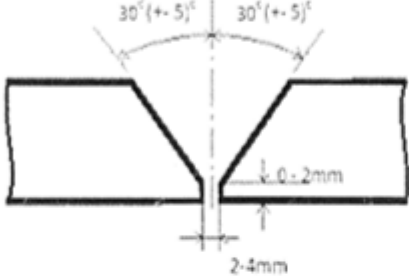
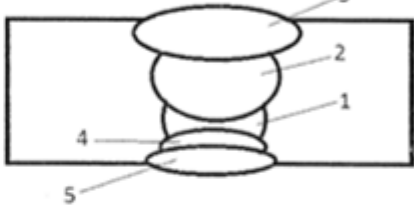
MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen basınçlı kap çeliği numune gruplarının WPS'leri Şekil 4.4. (P265GH-P265GH), Şekil 4.5 (P265GH-P355NH) ve Şekil 4.6'da (P355NH-P355NH) verilmiştir.

KAYNAK YÖNTEM SPESİFİKASYONU WELDING PROCEDURE SPECIFICATION		WPS No: P265NH- P265NH							
		Tarih: Date							
Yöntem Testi No: WPQR No	-	Malzeme Spesifikasyonu: Material Specification	ISO 15608 Group 1.1, 1.2, 1.4 EN 10028-2 P265GH						
İlgili Standart: Applicable Code	EN ISO 15609-1	Kalınlık aralığı : Thickness range (mm)	t = 8mm t =136:3st±16						
Kaynak Yöntemi/Uygulama: Welding Process / Type	136 fluxcored MAG welding	Dış Çap Aralığı: Outside Diameter Range (mm)	N/A						
Kaynak Tipi Joint Type: BW	Alın Kaynağı X Butt Weld Köşe Kaynağı Fillet Weld	Plaka X Plate Boru Pipe	Kaynak Pozisyonu: Welding Position PA						
Kaynak Dizayını / Joint Design		Kaynak Sırası / Welding Sequence							
									
Paso Run	Yöntem Process	Dolgu Teli/Filler Metal		Akım Aralığı Current Range (A)	Volta j Aralığı Voltage Range(V)	Akım Tipi Type of Current/ polarity	Kaynak Hızı om/dak.	Isı girdisi KJ/cm	
		Çap Size	Sınıf Class	Marka Trade Name					
1	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	170-180	24,5-25	DC (+)	38	5,9 – 6,3
2	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	39	6,9 – 7,4
3	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	24	11,2 – 12,0
4	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	36	7,5 – 8,0
5	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	30	9,0 - 9,6
X Gas / □ Flux: X shielding □ backing		%99,9 CO2 (Karbondikoksit)		Kök Destek Parçası: Backing	Evet/Yes □ Hayır/No				
Gaz Debisi: X shielding Gas Flow Rate □ backing		14-16 lt/dak		Kök Destek Malzemesi: Backing Material	136 weld metal for 4. pass				
Tungsten Elektrod tip/çap: Tungsten Electrode Type/Size		--		Arkadan Yarma: Back Gauging	Taşlama / Grinding				
Kaynak Ağzının Hazırlanması: Method of Prep. and Cleaning		Taşlama ve Zımparalama Grinding & Brushing		Arkadan Yarma Yöntemi: Method of Back Gauging	X Evet/Yes □ Hayır/No				
Ön Isıtma: Preheat Temperature		Min 25°C		Diğer Bilgiler: Other Info.	X Düz/Stringer □ Dalgalı/Weave Paso/Bead				
Pasolar Arası Sıcaklık: Interpass Temperature		Max.200 °C							

Şekil 4.4. P265GH-P265GH birleştirmelere ait WPS.

		KAYNAK YÖNTEM SPESİFİKASYONU WELDING PROCEDURE SPECIFICATION			WPS No: P355NH-P265NH				
Yöntem Testi No: WPQR No		-			Tarih: Date				
İlgili Standart: Applicable Code		EN ISO 15609-1			ISO 15608 Group 1.1, 1.2, 1.4 EN 10028 P355NH-P265GH				
Kaynak Yöntemi/Uygulama: Welding Process / Type		136 fluxcored MAG welding			Kalınlık aralığı : Thickness range (mm) t = 8mm t = 136.3 ≤ t ≤ 16				
Kaynak Tipi Joint Type: BW		Alın Kaynağı X Butt Weld Köşe Kaynağı Fillet Weld			Plaka X Plate Boru Pipe				
Kaynak Dizaynı / Joint Design		2-4mm			Kaynak Pozisyonu: Welding Position PA				
									
Paso Run	Yöntem Process	Dolgu Teli/Filler Metal			Akım Aralığı Current Range (A)	Voltaaj Aralığı Voltage Range(V)	Akım Tipi Type of Current/ polarity	Kaynak Hızı cm/dak.	Isı girdisi KJ/cm
1	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	170-180	24,5-25	DC (+)	38	5,9 – 6,3
2	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	39	6,9 – 7,4
3	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	24	11,2 – 12,0
4	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	36	7,5 – 8,0
5	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	30	9,0 - 9,6
X Gas / □ Flux: X shielding □ backing		%99,9 CO2 (Karbondiksit)			Kök Destek Parçası: Backing		Evet/Yes □ Hayır/No		
Gaz Debisi: Gas Flow Rate		X shielding □ backing			14-16 lt/dak		Kök Destek Malzemesi: Backing Material		136 weld metal for 4. pass
Tungsten Elektrod tip/çap: Tungsten Electrode Type/Size		-			Arkadan Yarma: Back Gauging		Taşlama / Grinding		
Kaynak Ağzının Hazırlanması: Method of Prep. and Cleaning		Taşlama ve Zımparalama Grinding & Brushing			Arkadan Yarma Yöntemi: Method of Back Gauging		X Evet/Yes □ Hayır/No		
Ön Isıtma: Preheat Temperature		Min 25°C			Diğer Bilgiler: Other Info.		X Düz/Stringer □ Dalgalı/Weave Paso/Bead		
Pasolar Arası Sıcaklık: Interpass Temperature		Max.200 °C							

Şekil 4.5. P265GH-P355NH birleştirmelere ait WPS.

		KAYNAK YÖNTEM SPESİFİKASYONU WELDING PROCEDURE SPECIFICATION		WPS No: P355NH- P355NH					
Yöntem Testi No: WPQR No		-		Malzeme Spesifikasyonu: Material Specification					
İlgili Standart: Applicable Code		EN ISO 15609-1		ISO 15608 Group 1.1, 1.2, 1.4 EN 10028-3 P355NH					
Kaynak Yöntemi/Uygulama: Welding Process / Type		136 fluxcored MAG welding		Dış Çap Aralığı: Outside Diameter Range (mm)					
Kaynak Tipi Joint Type: BW		Alın Kaynağı <input checked="" type="checkbox"/> Butt Weld Köşe Kaynağı <input checked="" type="checkbox"/> Fillet Weld		Kaynak Pozisyonu: Welding Position					
Kaynak Dizaynı / Joint Design									
Kaynak Dizaynı / Joint Design		Kaynak Sırası / Welding Sequence							
Paso Run	Yöntem Process	Dolgu Teli/Filler Metal			Akım Aralığı Current Range (A)	Voltaj Aralığı Voltage Range(V)	Akım Tipi Type of Current/ polarity	Kaynak Hızı cm/dak.	Isı girişi KJ/cm
		Çap Size	Sınıf Class	Marka Trade Name					
1	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	170-180	24,5-25	DC (+)	38	5,9 – 6,3
2	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	39	6,9 – 7,4
3	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	24	11,2 – 12,0
4	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	36	7,5 – 8,0
5	136	1,2 mm	E71T	LINCOLN LW71	200-210	25-25,5	DC (+)	30	9,0 - 9,6
X Gas / <input type="checkbox"/> Flux: <input checked="" type="checkbox"/> shielding <input type="checkbox"/> backing		%99,9 CO2 (Karbondoksit)			Kök Destek Parçası: Backing		Evet/Yes <input type="checkbox"/> Hayır/No		
Gaz Debisi: <input checked="" type="checkbox"/> shielding Gas Flow Rate <input type="checkbox"/> backing		14-16 lt/dak			Kök Destek Malzemesi: Backing Material		136 weld metal for 4. pass		
Tungsten Elektrod tip/çap: Tungsten Electrode Type/Size		--			Arkadan Yarma: Back Gauging		Taşlama / Grinding		
Kaynak Ağzının Hazırlanması: Method of Prep. and Cleaning		Taşlama ve Zımparalama Grinding & Brushing			Arkadan Yarma Yöntemi: Method of Back Gauging		X Evet/Yes <input type="checkbox"/> Hayır/No		
Ön Isıtma: Preheat Temperature		Min 25°C			Diğer Bilgiler: Other Info.		X Düz/Stringer <input type="checkbox"/> Dalgalı/Weave Paso/Bead		
Pasolar Arası Sıcaklık: Interpass Temperature		Max.200 °C							

Şekil 4.6. P355NH-P355NH birleştirmelere ait WPS.

4.4. KAYNAKLI NUMUNELERİN TAHRİBATSIZ TESTLERİ

MAG kaynak yöntemi birleştirilen basınçlı kap çelikleri öncelikle kaynak mühendisi tarafından gözle kontrolü yapılmıştır. Sonrasında ise basınçlı kap çelik numuneler, gözle (VT), ultrasonik (UT) ve radyografik (RT) muayene testleri uygulanmıştır.

4.4.1. Gözle Muayene (VT) Testi

Kaynaklı numunelerin gözle muayene testinde yüzeysel süreksizlikler belirli şartlar altında gözle tespit edilmesidir. Yeterli miktarda ışık altında (en az 350 lüx, tavsiye edilen 500 lüx) ve belirli mesafeden belirli açıyla (60 cm mesafe, 30°'den büyük açı) çıplak gözle ve/veya büyüyeç kullanılarak kontrol edilmesini içermektedir. Gözle muayene kaynak sonrası ilk muayene yöntemi olması, diğer yöntemlere kıyala maliyetinin az olması ve hızlı sonuçlandırılması açısından oldukça önemli bir muayene yöntemidir. Diğer tahribatsız muayene yöntemlerinin gerekli olup olmadığına ve hangi yöntemin kullanılmasına karar verilmesinde etkilidir.

Bu teknik metal veya metal olmayan malzemeler için kullanılabilir. Kontrol edilecek malzeme yüzeyine gözle ulaşım mümkün değilse yardımcı endoskopik aletlerde (ayna, kamera, videoskop, fiberoskop vb.) kullanılabilir. Bu muayene ile yüzeysel kaynak hatalarından; yüzey çatlakları, yanma oluğu, gözenek, krater, başla/bitiş hatası, dikiş geometrisi hatası, nüfuziyet azlığı/fazlalığı, eksenel kaçıklık vb. tespit edilebilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı ise inspektörün muayene kalitesine göre sonuç vermesidir.

4.4.2. Ultrasonik Muayene (UT)

Kaynaklı numunelere uygulanan ultrasonik muayene Stescan 140 Sn:1401480C cihazı ve Sa04-70 probu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7). Testler TS EN ISO 17640 standartlarına uygun olarak yapılmış, TS EN ISO 11666 kabul standartları baz alınarak NDT Level 2 belgesine sahip uzman tarafından uygulanmış ve rapor edilmiştir.



Şekil 4.7. Ultrasonik muayene yönteminde kullanılan cihaz görseli.

4.4.3. Radyografik Muayene (RT)

Kaynaklı numunelerin radyografik muayenesinde Gamma-Ray Ir 192/30Ci marka cihaz kullanılarak 10x16 Afga D5 makra filmlere basılmıştır. Radyografik testler TS EN ISO 5817 standartına göre, NDT Level 2 sahip uzman tarafından uygulanmış ve rapor edilmiştir.

4.5. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATLI TESTLERİ

Tahribatsız testlerde kullanılan numuneler, testler sonrasında tahribatlı testlerde de kullanılmıştır. Kaynaklı numunelere tahribatlı testlerden makro-mikro, sertlik, çekme, eğme ve çentik darbe testleri uygulanmıştır.

4.5.1. Mikroyapı İncelemeleri

Kaynaklı levhaların mikroyapı incelemeleri için numuneler çıkarılmıştır. Numuneler standard metalografik numune hazırlama aşamalarından geçirilmiştir (zımparalama). Sonrasında parlatma işlemine tabi tutulmuş ve dağlama aşaması için hazı hale getirilmiştir. Zımparalama ve partlarma işlemlerinde Şekil 4.8’de görülen Prest Megapol P262 model cihaz kullanılmıştır. %2 Nital (%98 saf su + %2 Nitrik Asit) karışımı ile dağlanan numuneler Şekil 4.9’da görülen optik mikroskop (Nikon Epiphot 200) ile tane yapısı incelenmiştir.



Şekil 4.8. Zımparalama ve parlatma işlemlerinde kullanılan cihaz görseli.



Şekil 4.9. Mikroyapı işlemlerinde kullanılan mikroskop.

4.5.2. Sertlik Testi

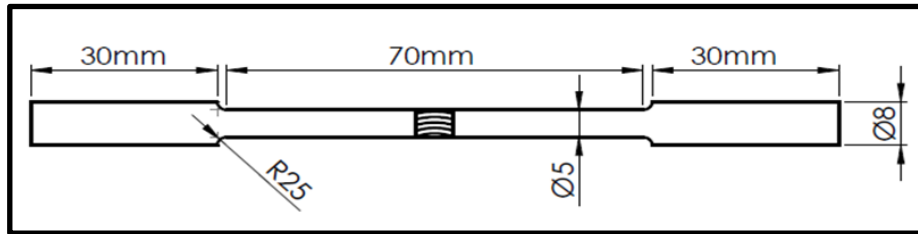
Kaynaklı numunelerin sertlik ölçümleri kaynak metali, ITAB ve ana malzemedan 3'er adet noktadan gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri vickers yöntemi ile 500 gr yük uygulanarak, Şekil 4.10'da görseli verilen Shimadzu HMV cihaz kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.10. Sertlik ölçümlerinde kullanılan cihaz görüntüsü.

4.5.3. Çekme Testi

Çekme testlerinde kullanılan numune ölçülendirmeleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Çekme testleri TS EN ISO 4136 standartlarına göre Şekil 4.12’de görseli verilen 5 ton kapasiteli Shimadzu Ag-Sı marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 1 mm/dk çekme hızı kullanılan testler, her kaynaklı birleştirmeden 3’er adet numuneye uygulanmış ve sonuçların ortalaması tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Çekme testlerinde kullanılan numune şematik resmi.



Şekil 4.12. Çekme testlerinde kullanılan cihaz görüntüsü.

4.5.4. Eğme Testi

Eğme testleri TS EN ISO 5173 standartına uygun olarak kaynak kep ve kökü freze tezgahında alınan 120x12x8 mm boyutlarında ki (Şekil 4.13) numunelere uygulanmıştır. Her bir baynaklı birleştirme için 3 adet eğme testi yapılmıştır.



Şekil 4.13. Eğme test numunesi görseli.

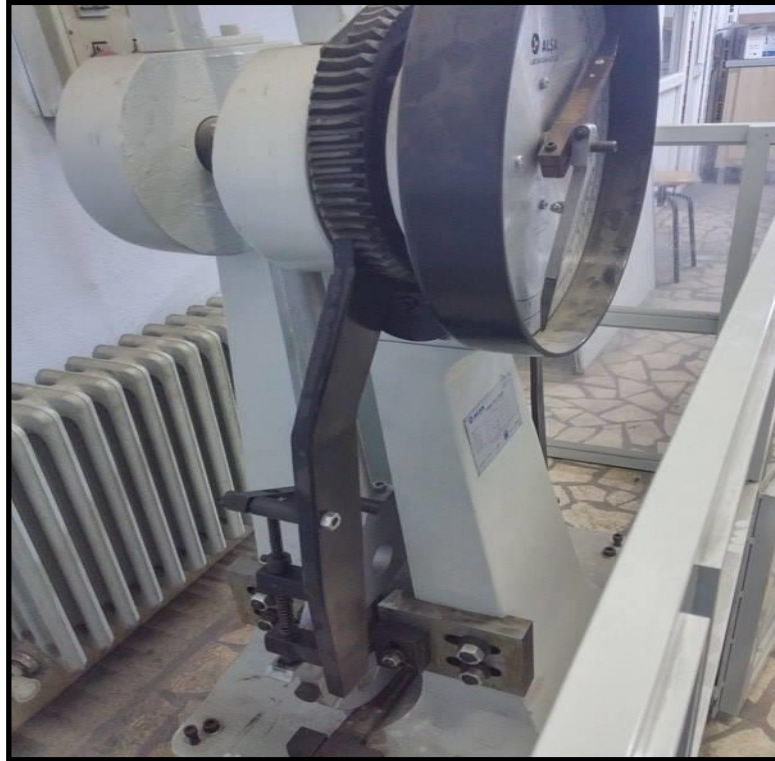
4.5.5. Çentik Darbe Testi

Çentik darbe testleri kaynak metali ve ITAB'dan alınan 3'er adet numuneye uygulanmıştır. 55x10x8 mm boyutlarında hazırlanan numune görseli Şekil 4.14'te

verilmiştir. Çentik darbe testleri Şekil 4.15’de görseli verilen cihaz kullanılarak oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 4.14. Çentik darbe test numunesi görseli.



Şekil 4.15. Çentik darbe test cihazı görseli.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

5.1. KAYNAKLI NUMUNELERE UYGULANAN TAHRİBATSIZ TESTLER

5.1.1. Gözle Muayene (VT) Testi

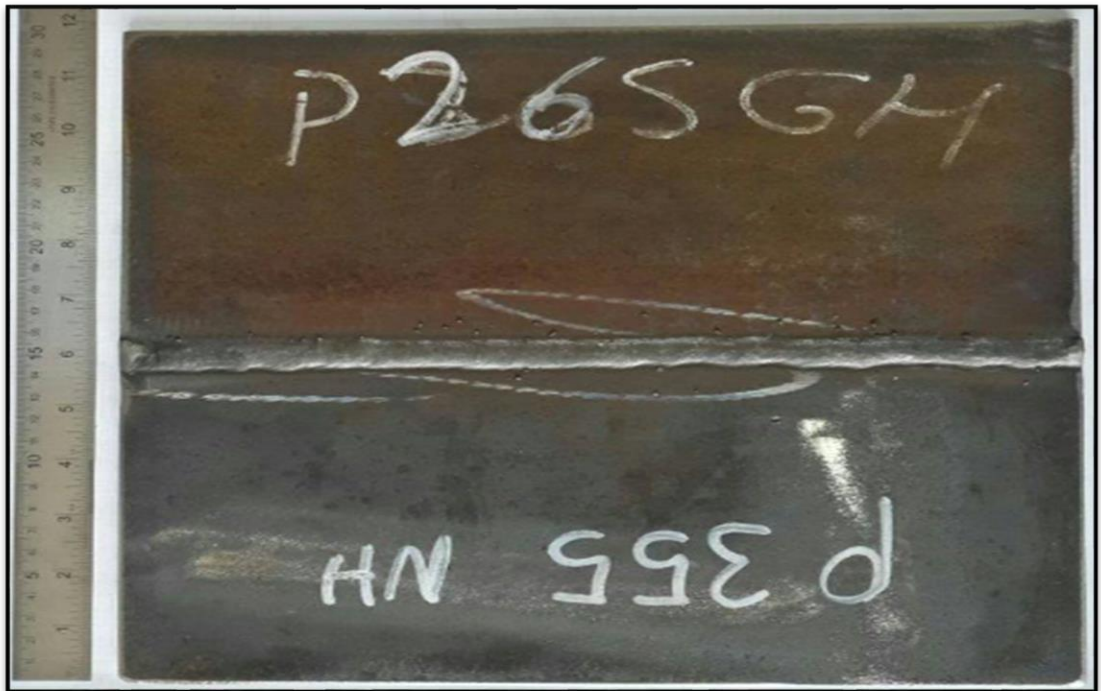
Kaynaklı numunelerin yüzeysel kusurlarını tespit etmek için gözle muayene testi uygulanmıştır. Gözle muayene uygulanan kaynaklı numunelere Şekil 5.1-5.3'te verilmiştir. Gözle muayene testleri gerekli şartlarda (ışık, mesafe ve açı) tahribatsız muayene uzmanı (NDT Level 2) tarafından yapılmış ve yorumlanmıştır.

Kaynaklı numelerin gözle muayene testi sonrasında, kaynak yüzeylerinde standart toleransı dışında herhangi bir yüzeysel hata (gözenek, mikro/makro çatlak, yanma oluşu, boşluk vb.) olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş P265GH-P265GH, P265GH-P355NH ve P355NH-P355NH basınçlı kap çeliği numunelerin yüzeysel olarak uygun olduğu herhangi bir yüzeysel hata içermediği anlaşılmıştır.

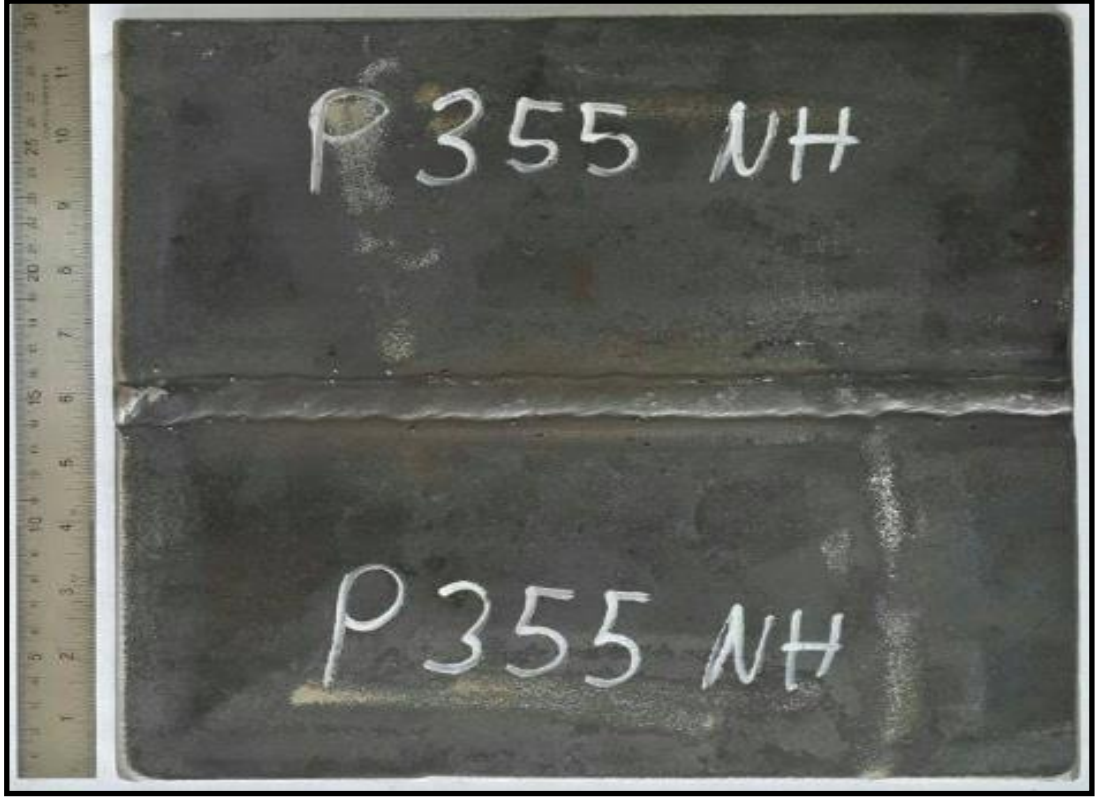
Akay (2012) X60, X65 ve X70 çeliklerinin tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve kaynak bölgesi etidü konulu yüksek lisans tezinde ve Akay vd. (2013) benzer konulu araştırmalarında kaynaklı birleştirmelere uygulanan gözle muayene testleri sonrasında kaynaklı numunelerde standard toleransı dışında herhangi bir yüzeysel kusura (yüzeysel çatlak, nüfuziyet azlığı/fazlalığı, yanma oluşu vb.) rastlanmadığı ve kaynakların standard toleransları dahilinde kabul edilebilir olduğu bildirilmiştir.



Şekil 5.1. P265GH-P265GH levhaların birleştirilmiş görüntüsü.



Şekil 5.2. P265GH-P355NH levhaların birleştirilmiş görüntüsü.



Şekil 5.3. P355NH-P355NH levhaların birleştirilmiş görüntüsü.

Çolak (2018) sualtı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş düşük karbonlu çeliklerin tahribatsız/tahribatlı muayenesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelere uygulanan gözle muayene testi sonucunda atmosferik şartlarda yapılan birleştirmelerde yüzeysel hatalardan kaynak kepi azlığı/fazlalığı, eksen kaçıklığı, yüzeysel çatlak, yanma oluşu, açısız çarpılma vb. kaynak hatasına rastlanılmadığı bazı kaynaklarda ise başlama/bitiş hatası tespit edildiği rapor edilmiştir. Sualtı kaynaklarında (4 m, 8 m ve 16 m) ise yanma oluşu kaynak hatası tespit edildiği bildirilmiştir.

5.1.2. Ultrasonik Test (UT)

MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen P265GH ve P355NH basınçlı kap çeliği numunelere NDT (Level 2) uzmanı tarafından kesit/yüzey altı kaynak hatası kontrolü için ultrasonik testler uygulanmıştır. Ultrasonik testler sonucu verilen uzman raporları Şekil 5.4-5.6'da görülmektedir.


Ultrasonik test sonuçlarına göre, MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş P265GH-P265GH, P265GH-P355NH ve P355NH-P355NH basınçlı kap çeliği numunelerde yüzey altı/kesit kaynak hatasında (çatlak, kalıntı, gözenek, yanma çentiği vb.) rastlanmadığı tespit edilmiştir. Tahribatsız test uzmanı raporunda kaynaklı numunelerin uygun olduğu, kaynak yüzeyi altı/kesiti kaynak hatası içermediği bildirilmiştir.

Akay (2012) X60, X65 ve X70 çeliklerinin tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve kaynak bölgesi etidü konulu yüksek lisans tezinde ve Akay vd. (2013) benzer konulu araştırmalarında kaynaklı birleştirmelere uygulanan ultrasonik testler sonrasında kaynaklı numunelerde herhangi bir yüzey altı kusura (yanma çentiği, nüfuziyet eksikliği, gözenek, porozite, çatlak vb.) rastlanmadığı ve kaynakların kabul edilebilir olduğu bildirilmiştir.

Çolak (2018) sualtı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş düşük karbonlu çeliklerin tahribatsız/tahribatlı muayenesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelere uygulanan ultrasonik testler sonrasında kaynaklı numunelerde yüzey altı yanma oluşu, kalıntı, gözenek, penetrasyon eksikliği, çatlak vb. kaynak hatasına rastlanılmadığı rapor edilmiştir.

Küçüköner (2019) tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen basınçlı kap çeliği ve dublex paslanmaz çeliklerin tahribatsız/tahribatlı testlerle incelenmesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelere uygulanan ultrasonik testler sonucunda kaynaklı numunelerde standartlara uymayan herhangi bir kaynak hatası (yanma oluşu, kalıntı, gözenek, çatlak, penetrasyon eksikliği, çatlak vb.) tespit edilmediği belirtilmiştir.

Çayırhan (2019) robotik MAG kaynak yöntemiyle birleştirilen P355GH ve AISI 2205 dublex paslanmaz çeliklerin birleştirilebilirliği konulu yüksek lisans tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelere uygulanan ultrasonik testler sonucunda numunelerde gözenek, çatlak, yetersiz ergime, penetrasyon eksikliği, gaz boşluğu vb. kaynak hatasına rastlanılmadığı bildirilmiştir.

 MONTGEMSA MÜHÜRÜZLÜK HİZMETLERİ TİCARİET LTD.ŞTİ. TEL: 0 224 241 15 30 FAX: 0 224 247 62 19 CAD. 3233 BAĞLARBAŞI/İSTANBUL/TÜRKİYE WWW: http://www.montgemma.com.tr		ULTRASONIC EXAMINATION REPORT ULTRASONİK TESTİ RAPORU		REPORT NO 3 DATE :													
PROJECT NAME / Proje adı		P265-265		REQ. NO & DATE : emri no & Tarih													
EQUIPMENT NAME /Ekipman adı		STESCAN140 SN:1401480C		NDT031													
CALIBRATION:		K1+K2 Reference Block (3mm SDH)															
MATERIAL OF CALIBRATION BLOCK:		ST52		PROBE													
DIMENSIONS OF CALIBRATION BLOCK:		-		NO	PROBE TYPE												
WELDING PROCESS/ Kaynak yöntemi		138 FLUXCORED MAG WELDING		1	SA04 - 70												
JOINT DESIGN Kaynak ağzı dizaynı		K	X	V	J												
MATERIAL TYPE / Metal tipi		ISO 15608 GROUP 1, 1.1, 2, 1.4 EN10028-2 P265 GH		PIPE DIAMETER / Boruçapı													
DRAWING NUMBER / Resim no		-															
SURFACE CONDITION / YÜZEY DURUMU		-	MACHINED / BLENDED	-	CAST / DÖKÜM												
		-	GRINDING / TAŞLAMA	X	WELD / KAYNAK												
					HEAT TREATED / ISİTİLMİŞ												
					ROLLED / RULAN												
					COORDINATES												
ITEM NO	WELD NO / KAYNAK NO	BORU ÇAPı	WELDER NO/KAYNAKCI NO	TEST RANGE mm	PROBE NO	ACOUSTIC COUPLING	SOUND LEVEL dB	MAX dB	LENGTH OF DEFECT mm	LOCATION OF DEFECT mm		DEPTH T	TYPE OF DISCONTINUITY	RESULT	WALL THICKNESS mm	TOTAL LENGTH OF JOINT (mm)	
1	P265-265	-	-	85	1	OIL	45	+6	-	X	X	Y	-	ACCEPTED	-	1	Ad
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
WELD NO EXTENSIONS KAYNAK NUMARASI EKLERİ		A	POROSITY / GÖZENEK		B	SLAG INCLUSION / CÜRUP KALINTISI		C	LACK OF FUSION / VAPEZME NOKSANLIĞI		TOTAL #		1 Ad				
		D	INCOMPLETE PENETRATION / GÖZLEMEYEN NOKSANLIĞI		E	CRACK / ÇATLAK		FC	UNDERCUT / YANMAK OLUŞU								
TEST SPECIFICATION TEST STANDARTI		TS EN ISO 17640		OPERATOR		CLIENT		THIRD PARTY REPRESENTATIVE									
ACCEPTANCE CRITERIA / KABUL KRİTERİ		TS EN ISO 11656		NAME	DURUMUNDA	NAME											
				LEVEL	T	SİNG											
				SIGN	[Signature]	DATE											

Şekil 5.4. P265GH-P265GH kaynaklı numune ultrasonik test raporu.

SURFACE CONDITION / YÜZEY DURUMU		ROLLING / ROLAJMAN	CAST / DÖKÜM	WELD / KAYNAK	HEAT TREATED / ISK. İŞLEM GÖRMEZ	ROLLED / İNCELEZİMEZ	COORDINATES										
ITEM NO	WELD NO / KAYNAK NO	BORU ÇAP	WELDER NO/KAYNAKCI NO	TEST RANGE mm	PROBE NO	ACOUSTIC COUPLING	SOUND LEVEL dB	MAX dB	LENGTH OF DEFECT mm	LOCATION OF DEFECT mm		DEPTH T	TYPE OF DISCONTINUITY	RESULT	WALL THICKNESS mm	TOTAL LENGTH OF JOINT (M)	
1	P265-355	-	-	85	1	OIL	45	+6	-	X+	X-	Y	-	ACCEPTED	8	1	Ad
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
WELD NO EXTENSIONS / KAYNAK NUMARASI EKLERİ		A	POROSITY / GÖZENEK / İNCEKLEME		B	SLAG INCLUSION / ÇORLUF KALINTISI		C	LACK OF FUSION / YAPISMA NOKSANLIĞI		TOTAL #		1 Ad				
TEST SPECIFICATION / TEST STANDARTI		TS EN ISO 17640		OPERATOR		CLIENT		THIRD PARTY REPRESENTATIVE									
ACCEPTANCE CRITERIA / KABUL KRİTERİ		TS EN ISO 11666		NAME	SURNAME	NAME	SIGN										
				SIGN	DATE												

Şekil 5.5. P265GH-P355NH kaynaklı numune ultrasonik test raporu.

MONTENSAK MÜHÜRLEME HİZMETLERİ TİCARET LTD ŞTİ. TEL: 0 224 345 10 30 FAX: 0 224 247 82 19 HİRRİYET CAD. 3235 SADLARBAŞI BURSA/TÜRKİYE Web: http://www.montensak.com.tr		ULTRASONIC EXAMINATION REPORT ULTRASONİK TESTİ RAPORU		REPORT NO: 2 DATE :	
PROJECT NAME / Proje adı		P355-355		REQ. NO & DATE / emri no & Tarih	
EQUIPMENT NAME /Ekipman adı		STESCAN140 SN:1401480C		NDT001	
CALIBRATION:		K1+K2 Reference Block (3mm SDH)			
MATERIAL OF CALIBRATION BLOCK:		ST52		PROBE	
DIMENSIONS OF CALIBRATION BLOCK:		-			
WELDING PROCESS/ Kaynak yöntemi		138 FLUXCORED MAG WELDING			
JOINT DESIGN Kaynak ağızı dizaynı		K X V J DİĞER			
MATERIAL TYPE / Metal tipi		ISO 15608 GROUP 1.1.1.2.1.4 EN10028-2 P265 GH		PIPE DIAMETER / Boru çapı	
DRAWING NUMBER / Resim no		-			
SURFACE CONDITION / YÜZEY DURUMU		CAST / DÖKÜM		HEAT TREATED / ISLEMLENME DURUMU	
WELDED / BİRLİKTE		WELDED / KAYNAK		ROLLED / HAREKLENDİRİLMİŞ	
COORDINATES		X		Y	
ITEM NO		WELD NO / KAYNAK NO		BORU ÇAPı	
		WELDER NO/KAYNAKCI NO		TEST RANGE mm	
		PROBE NO		ACOUSTIC COUPLING	
		SOUND LEVEL dB		MAX dB	
		LENGTH OF DEFECT mm		X + X . Y	
		Depth T		TYPE OF DISCONTINUITY	
		ACCEPTED		REJECTED	
		WALL THICKNESS mm		TOTAL LENGTH OF JOINT (mm)	
1		P355-355		-	
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
WELD NO EXTENSIONS KAYNAK NUMARASI EKLERİ		A FOROSITY / GÖZENEK INCOMPLETE D PENETRATION / NGÜLÜZİYET NOKSANLIĞI		B SLAG INCLUSION / ÇORUĞ KALINTISI	
		E CRACK / ÇATLAK		C LACK OF FUSION / YAPISIZLIK NOKSANLIĞI	
		FC UNDERCUT / YANMA OLUĞU		TOTAL #	
		1 Ad			
TEST SPECIFICATION TEST STANDARDI		TS EN ISO 17640		OPERATOR	
		NAME		CLIENT	
		LEVEL		THIRD PARTY REPRESENTATIVE	
ACCEPTANCE CRITERIA / KABUL KRİTERİ		TS EN ISO 11666		NAME	
		SIGN		DATE	

Şekil 5.6. P355NH-P355NH kaynaklı numune ultrasonik test raporu.

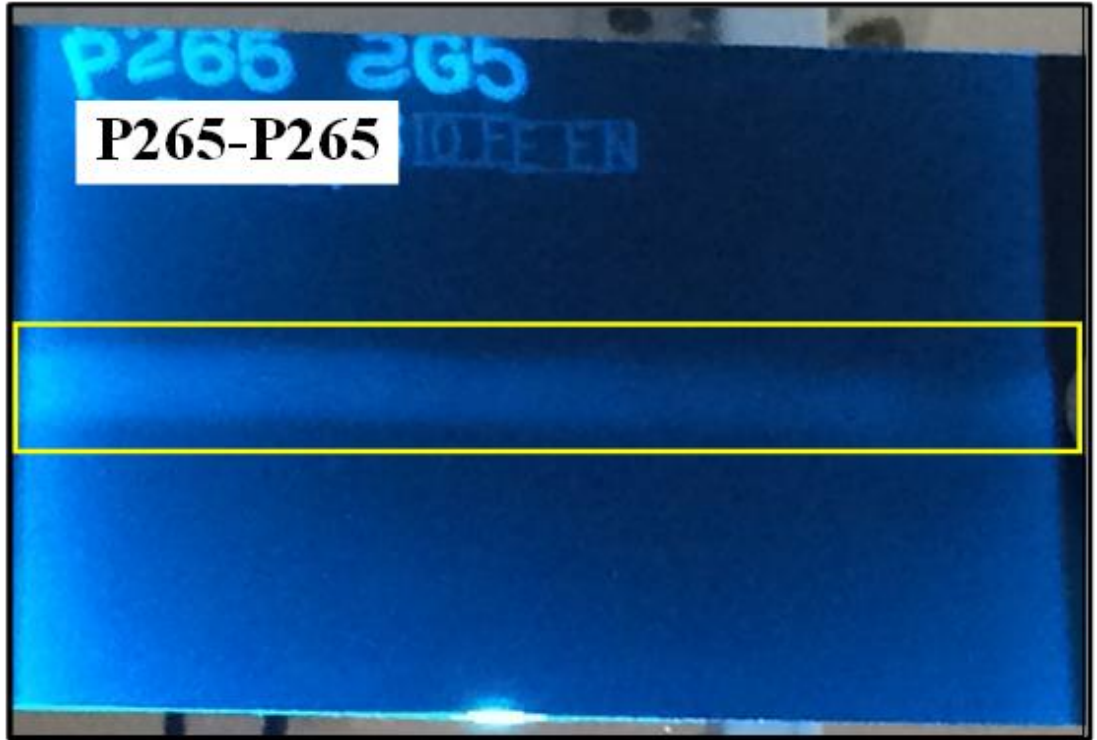
Özkan (2019) S355J2N yapı çeliklerinin kaynak sonrası gerilimlerinin giderilmesi için uygulanan ısıtma işleminin etkilerinin tahribatsız/tahribatlı testlerle incelenmesi konulu

yüksek lisans tez çalışmasında, kaynaklı birleştirmelere uygulanan ultrasonik testler sonrasında numunelerde herhangi bir yüzey altı kaynak hatasına (boşluk vb.) rastlanılmadığı tespit edilmiştir.

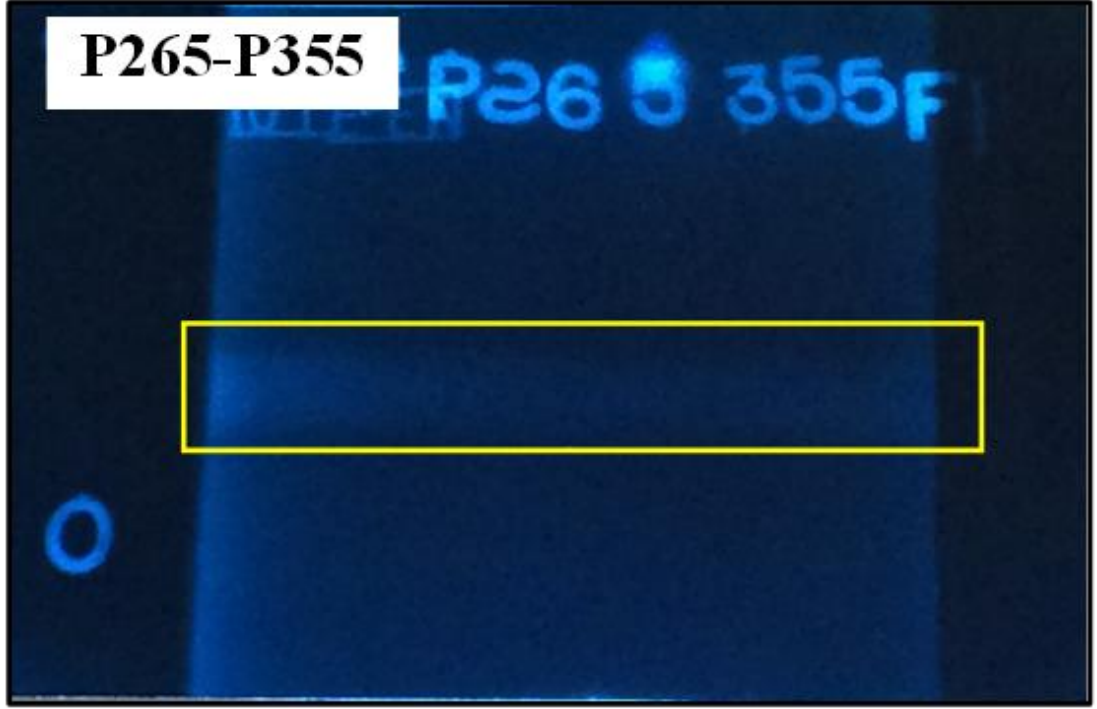
Atılğan (2022) tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ASTM A36 (depolama tankı imalatı) çeliklerinin kaynak bölgesinin incelenmesi konulu tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelere uygulanan ultrasonik testler sonrasında 450A ve 475A kaynak akımları ile birleştirilen numunelerde kökte nüfuziyet eksikliği tespit edildiği, 500A, 525A ve 550A kaynak akımlarında birleştirilen numunelerde ise kalıntı, çatlak, yanma oluşu, gözenek vb. süreklilik tespit edilmediği rapor edilmiştir.

5.1.3. Radyografik Test (RT)

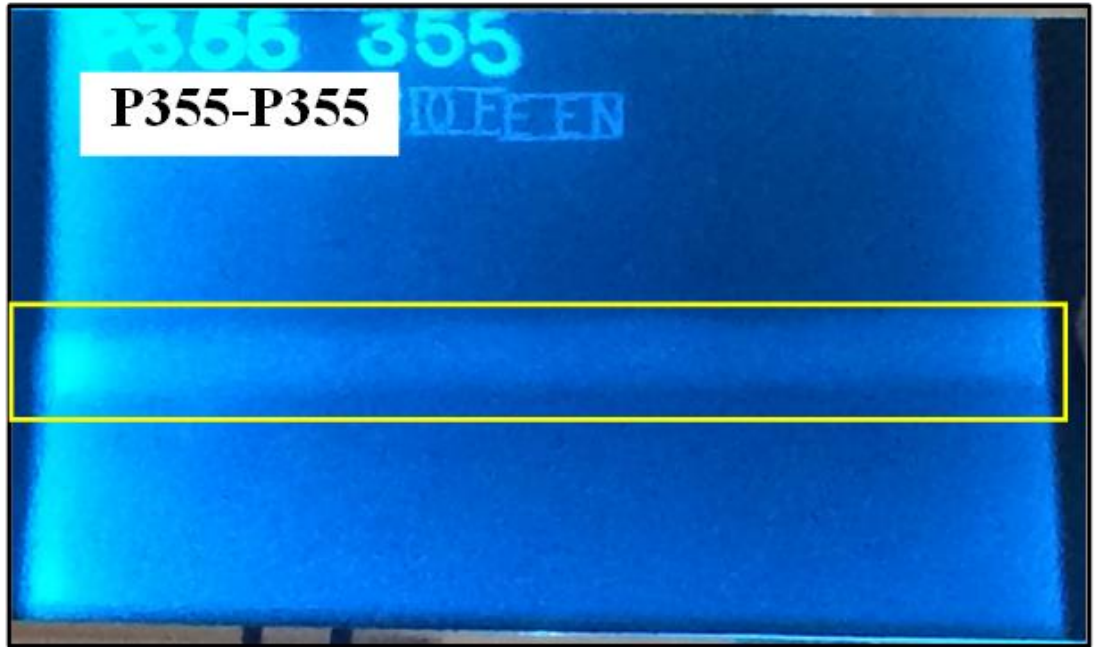
MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş basınçlı kap çeliği (P265GH-P265GH, P265GH-P355NH ve P355NH-P355NH) numunelere tahribatsız muayene uzmanı tarafından uygulanan radyografik testlerin görselleri Şekil 5.7-5.9'da uzman onaylı raporları ise Şekil 5.10-5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.7. P265GH-P265GH kaynaklı numune radyografik test görseli.



Şekil 5.8. P265GH-P355NH kaynaklı numune radyografik test görseli.



Şekil 5.9. P355NH-P355NH kaynaklı numune radyografik test görseli.

Kaynaklı numelere uygulanan radyografik testlere ait görüntüler incelendiğinde, kaynak yüzey altı/kesit hatası (gözenek, çatlak vb.) tespit edilmemiştir. Sonuç olarak tahribatsız test uzmanı tarafından onaylanan raporda ise, MAG kaynak yöntemi ile

RÖNTGENSAN MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ TEL: +90 224 241 36 36 (GSM) FAX: +90 224 241 32 19		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT RADYOGRAFIK KONTROL RAPORU				REPORT NO / RAPOR NO: 1	SHEET NO / SAYFA NO: 1/1	JOB ORDER NO / İZİN KODU: NDT/001											
CUSTOMER / MÜŞTERİ:	REFERENCE DRWG NO / REFERANS RESİM NO: P 265-355	MATERIAL SPECIFICATION / MALZEME SPEŞİFİKASYONU: ISO 15608 GROUP 1.1, 1.2, 1.4 EN 10025-2 P265GH	TEST SPECIFICATION / TEST STANDARTI: TS EN ISO 17536-1	ACCEPTANCE CRITERIA / KABUL KRİTERİ: TS EN ISO 5817	WELDING PROCES / KAYNAK YÖNTEMİ: 1/18 FLUX CORED GAS WELDING														
WORKING AREA / ÇALIŞMA ALANI: RRÖNTGENSAN	FILLER MATERIAL / DOLGU MALZEMESİ: LINCOLN LW71	JOINT DESIGN / KAYNAK BAĞLANTISI: X			R	S	V	Z	OTHER										
STAGE OF EXAMINATION / TEST AŞAMASI:	AFTER WELDING / KAYNAK SONRASI: X	AFTER HYDROTEST / SUYU İÇİME SONRASI: -	EQUIPMENT / CİHAZ: X RAY	KVP: MA	QAMMA RAY: -	IR: 192	30 Ci	FOCAL SPOT SIZE / NÜKLİYER LEHİNE BOYUTU: 3x2.5											
MATERIAL TYPE / MALZEME CİNSİ: PLATE	SOURCE-TO-FILM DISTANCE / FİLM KAYNAK MESAFESİ: 20 cm	EXPOSURE TIME / POZ SÜRESİ: 2.2 dk																	
RADIOGRAPHIC TECHNIQUES / RADYOGRAFIK YÖNTEMLER: PANORAMIC / PANORAMA	SINGLE WALL / SINGLE WEDGE / TEK DUVAR / TEK GÖRÜNTÜ: X	DOUBLE WALL / DOUBLE WEDGE / ÇİFT DUVAR / ÇİFT GÖRÜNTÜ: -																	
FILM TYPE & BRAND / FİLM TİPİ VE MARKASI: DS	ASPA: -	KODAK: -	FILM: -	USE: -	IMAGE QUALITY INDICATOR / GÖRÜNTÜ KALİTESİ BELİRTECİSİ: EN 92: X	SCREENS / FİLM KAPAKLARI: -	FRONT / ÖN: 0.010	BACK / ARKA: 0.015											
WELD NO EXTENSIONS / KAYNAK NUMARASI EKLEMLER: R	REPAIR / TAMİR: -	C/O: -	OUT-OUT / İZİN: -	RS: -	RE-SHOOT / FİLM YENİLEME: -	EF: -	EX: -	FILM EXTENDED / UZUNLUĞU FİLM: -											
Ab POROSITY / GÖZENİKLİK	Ac ALIGNED POROSITY / DÜZ GÖZENİK	Ad POROSITY GROUP / GÖZENİK GRUBU	Ba SLAG INCLUSION / ÇORUK KALINTISI	Bb SLAG LINE / ÇORUK AKTI	Bc WRAPPING FAULT / ELEKTROD DOLAŞIM HATALARI	C LACK OF FUSION / KAYNAK YOKSALLIĞI	D INCOMPLETE PENETRATION / KİMLİŞMEYEN KAYNAK	Da BURR THROUGH / AÇIK İZLENİM	Db ROOT BUCK BACK / KÖKTE GERMİ ÇERÇEME YOKSALLIĞI	Dc EXCESSIVE PENETRATION / AŞIRI KİMLİŞMEYEN KAYNAK	E CRACK / ÇATLAK	Ea LONGITUDINAL CRACK / BOYUNA ÇATLAK	Eb TRANSVERSE CRACK / ENERTE ÇATLAK	Ec CRATER CRACK / KAYNAK ÇATLAK	Fb BAD WELD SURFACE / KAYNAK YÜZÜ HATALARI	Fc UNDERCUT / YERİNE ÇUKUR	Ff FILM FAILURE / FİLM ÇEKİM HATALARI	K SPONGE CAVITY / ÇORUK BİLEŞİMİ	W METALLIC INCLUSION / METALLİK KALINTI
ITEM NO / SERİ NO	FILM IDENTIFICATION / FİLM TANIMI		WELD NO / KAYNAK NO	INSPECTOR AREA / İZLENİM ALANI	DENSITY / GÖZLÜK	WELD NO / KAYNAK NO	DIAMETER / ÇAP	THICKNESS / İZLENİM	WELDER CODE / KAYNAKÇI KODU	FILM SIZE / FİLM BOYUTU	EVALUATION / DEĞERLENDİRME	PRE EVAL / ÖN İZLENİM	FINAL / SON İZLENİM						
1	P 265-355		9-1	2-4	13	-	8mm	-	-	1	ACCEPTED / KABUL EDİLDİ	REJECTED / KABUL EDİLMEDİ	ACCEPTED / KABUL EDİLDİ	REJECTED / KABUL EDİLMEDİ					
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
FILM ERASED / VE ADEDİ	10K12	10K16	10K24	10K48	RADIOGRAPHER / FİLM ÇEKEN: EFKAN SEN	INTERPRETER / DEĞERLENDİREN: H. SABET GÜLÇİÇEK	CUSTOMER APPROVAL / MÜŞTERİ ONAYI: -		EMPLOYER APPROVAL / İZLENİM ÖZELİ: -										
	0	1	0	0	LEVEL / İZLENİM: II	LEVEL / İZLENİM: II													
					SIGNATURE / İMZA: [Signature]	SIGNATURE / İMZA: [Signature]													
					DATE / TARİH: 9/2/20	DATE / TARİH: 9/2/20													

R-NDT-F- 10-07 (1)

Şekil 5.11. P265GH-P355NH kaynaklı numune radyografik test raporu.

RÖNTGEN MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ TEL: +90 224 247 06 00 (4HI) FAX: +90 224 247 02 18		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT RADYOGRAFIK KONTROL RAPORU				REPORT NO RAPOR NO	3					
						SHEET NO SAYFA NO	1/1					
						JOB ORDER NO / İS EMR/MEYEMER NO	NDT/001					
CUSTOMER MÜŞTERİ	REFERENCE DRWG NO REFERANS RESİM NO	MATERIAL SPECIFICATION MALZEME SPEŞİFİKASYONU	TEST SPECIFICATION TEST STANDARTI	ACCEPTANCE CRITERIA KABUL KRİTERİ	WELDING PROCES KAYNAK YÖNTEMİ							
	P 355-355	ISC 15608 GROUP 1.1, 1.2, 1.4 EN 10028-2 P285GH	TS EN ISO 17636-1	TS EN ISO 5817	TIG FLUXCORED WIG WELDINGS							
WORKING AREA / ÇALIŞMA BİNAHALI	RRÖNTGENSAN	FILLER MATERIAL DOLGU MALZEMESİ	LINCOLN LW71	JOINT DESIGN KAYNAK AĞZI DİZAYNI	K X Y Z OTHER							
STAGE OF EXAMINATION TEST AŞAMASI	AFTER WELDING KAYNAK SONRASI	AFTER HYDROTEST BASINÇ TESTİ SONRASI	EQUIPMENT CİHAZ	KVP	EXPOSURE TIME POZ SÜRESİ	FOCAL SPOT SIZMA BOŞLUĞU						
	X	-	X RAY	MA	192	3x2.5						
MATERIAL TYPE MALZEME CİNSİ	PLATE	SOURCE-TO-FILM DISTANCE FİLM İLE KAYNAK İZİ MESAFESİ	20 cm	EXPOSURE TIME POZ SÜRESİ	2.2 dk							
RADIOGRAPHIC TECHNIQUES RADYOGRAFIK TEKNİKLER	PANORAMIC PANAORAMİK	SINGLE WALL / SINGLE IMAGE TEK CİHAZ / TEK GÖRÜNTÜ	X	DOUBLE WALL / SINGLE IMAGE ÇFT CİHAZ / TEK GÖRÜNTÜ	DOUBLE WALL / DOUBLE IMAGE ÇFT CİHAZ / ÇFT GÖRÜNTÜ							
FILM TYPE & BRAND FİLM TÜRÜ VE MARKASI	AGFA	KODAK	FUJI	OTHER	IMAGE QUALITY INDICATOR GÖRÜNTÜ KALİTESİ BELİRTİCİSİ	EN 482	X					
	D5	-	-	-	ASTM	-	-					
WELD NO EXTENSIONS KAYNAK NUMARASI ZARFI	R	REPAIR TAMİR	C/O	GUT-OUT KES	RS	RE-SHOOT FİLM ZEMBADE	EF					
Aa	Porosity / Gözenek	C	Lack of Fusion / Birlikten Yokluk	Eb	Transverse Crack / Dişine Çatlak	PRE EVAL ÖN DEĞERLENDİRME	FINAL / NEHAİ					
Ab	Worm Holes / Gaz Kanalları	D	Incomplete Penetration / Nispetli Yokluk	Ec	Crater Crack / Kırma Çatlak	ACCEPTED / KABUL EDİLDİ	REJECTED / KABUL EDİLMEDİ					
Ac	Aligned Porosity / Birlikten Gözenek	Da	Burn Through / Ağız Hava	Fb	Bad Weld Surface / Kötü Kaynak Yüzeyi	ACCEPTED / KABUL EDİLDİ	REJECTED / KABUL EDİLMEDİ					
Ad	Porosity Group / Gözenek Grupları	Db	Root Back / Root Açığı	Fc	Undercut / İncelemeli Çukurluk	ACCEPTED / KABUL EDİLDİ	REJECTED / KABUL EDİLMEDİ					
Ba	Slag Inclusion / Çamur Kalıntıları	Dc	Excessive Penetration / Aşırı Nispetli Yokluk	Fd	Film Failure / Film Zorunlu Hata	ACCEPTED / KABUL EDİLDİ	REJECTED / KABUL EDİLMEDİ					
Bb	Slag Line / Çamur Hatları	De	Crack / Çatlak	Ff	Film Failure / Film Zorunlu Hata	ACCEPTED / KABUL EDİLDİ	REJECTED / KABUL EDİLMEDİ					
Bc	Weaving Fault / Elverişsiz Salınım Hatası	Ea	Longitudinal Crack / Boyuna Çatlak	K	Shrinkage Caused / Çukurluk	ACCEPTED / KABUL EDİLDİ	REJECTED / KABUL EDİLMEDİ					
				W	Retallic Inclusion / Metalik Kalıntı	ACCEPTED / KABUL EDİLDİ	REJECTED / KABUL EDİLMEDİ					
ITEM NO / SIRA NO	FILM IDENTIFICATION FİLM TANIMI		DENSITY / YOĞUNLUK	VISIBLE DO NO GÖRÜNTÜ KALİTESİ BELİRTİCİSİ	DIAMETER / ÇAP	THICKNESS / KALINLIK	WELDER CODE / KAYNAKÇI KODU	FILM SIZE FİLM BAKTI	DEFECT TYPE HATA TÜRÜ	DEFECT LOCATION HATA BÖLGESİ	ACCEPTED / KABUL EDİLDİ	REJECTED / KABUL EDİLMEDİ
1	WELD NO / KAYNAK NO P 355-355		0.1	2-4	13	Ø 8mm	-	10 X 12	-		X	
2								10 X 16				
3								10 X 24				
4								10 X 48				
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
FILM EBADİ VE ADI	10X12	10X16	10X24	10X48	RADIOGRAPHER / FİLM ÇEKEN	EKAN SEN	INTERPRETER / DEĞERLENDİREN	H SAMET GÜLÇİÇEK	CUSTOMER APPROVAL MÜŞTERİ ONAYI	EMPLOYER APPROVAL İŞVEREN ONAYI		
	0	1	0	0	SIGNATURE / İMZA		SIGNATURE / İMZA					
					DATE / TARİH	3.2.20	DATE / TARİH	3.2.20				

Şekil 5.12. P355NH-P355NH kaynaklı numune radyografik test raporu.

Akay (2012) X60, X65 ve X70 çeliklerinin tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve kaynak bölgesi etidü konulu yüksek lisans tezinde ve Akay vd.

(2013) benzer konulu araştırmalarında kaynaklı birleştirmelere uygulanan radyografik testler sonrası numunelerde herhangi bir yzney altı kaynak kusuru (oyuk, kalıntı, çatlak, penetrasyon eksikliği, gaz boşluğu, gözenek vb.) bulunmadığını bildirmiştir.

Çolak (2018) sualtı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş düşük karbonlu çeliklerin tahribatsız/tahribatlı muayenesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelere uygulanan radyografik testler sonrasında atmosferik şartlarda birleştirilen numunelerde kök nüfuziyet eksikliği kaynak hatası tespit edildiği, su altında farklı derinliklerde birleştirilen numunelerde ise kök nüfuziyet eksikliği, gaz boşluğu, kalıntı, gözenek, yanma oluğu vb. kaynak hataları tespit edildiği bildirilmiştir. Ayrıca, sualtı kaynak derinliği arttıka oluşan kaynak hatalarının da arttığı rapor edilmiştir.

Doğan (2019) doğalgaz borularındaki kaynak hatalarının tahribatsız/tahribatlı testlerle incelenmesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelere uygulanan radyografik testler sonrasında 1. takım numunede cüruf hatası ve kapak paso düşüklüğu, 3. takım numunede yanma oluğu, 5. takım numunede gaz boşluğu ve kapak pasoda yanma oluğu, 7. takım numunede cüruf ve kapak düşüklüğu, 11. takım numunede gaz boşluğu ve kök pasoda yığılma, 15.takım numunede cüruf kalıntısı, 17.takım numunede kökte yanma ve cüruf kalıntısı tespit edildiği yapılan tamir işlemlerinden sonra tekrarlanan radyografik testlerde ise kaynak hatalarının giderildiği bildirilmiştir.

Küçüköner (2019) tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen basınçlı kap çeliği ve dublex paslanmaz çeliklerin tahribatsız/tahribatlı testlerle incelenmesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında numunelere uygulanan radyografik testler sonucunda herhangi bir kaynak hatası bulunmadığı rapor edilmiştir.

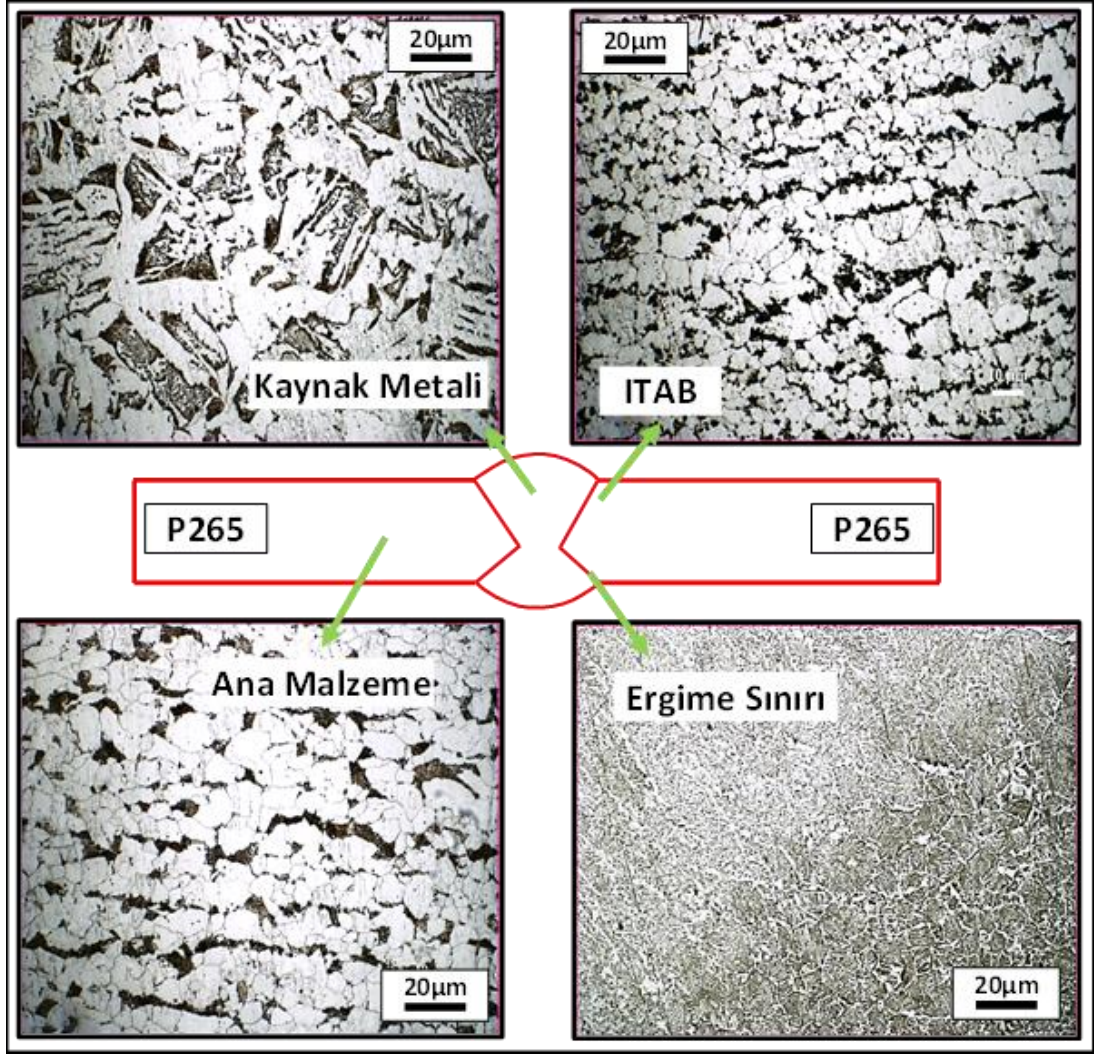
Özkan (2019) S355J2N yapı çeliklerinin kaynak sonrası gerilimlerinin giderilmesi için uygulanan ısıl işlem etkilerinin tahribatsız/tahribatlı testlerle incelenmesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında numunelere uygulanan radyografik testler sonrasında numunelerde herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmadığı bildirilmiştir.

Atılgan (2022) tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ASTM A36 (depolama tankı imalatı) çeliklerinin kaynak bölgesinin incelenmesi konulu tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelere uygulanan radyografik testler sonrasında 450A ve 475A kaynak akımları ile birleştirilen numunelerde kökte nüfuziyet eksikliği kaynak hatasına rastlanıldığı, 500A, 525A ve 550A kaynak akımlarında birleştirilen numunelerde ise çatlak, gözenek vb. yüzey altı kaynak hatasına rastlanılmadığı tespit edilmiştir.

5.2. KAYNAKLI NUMUNELERE UYGULANAN TAHRİBATLI TESTLER

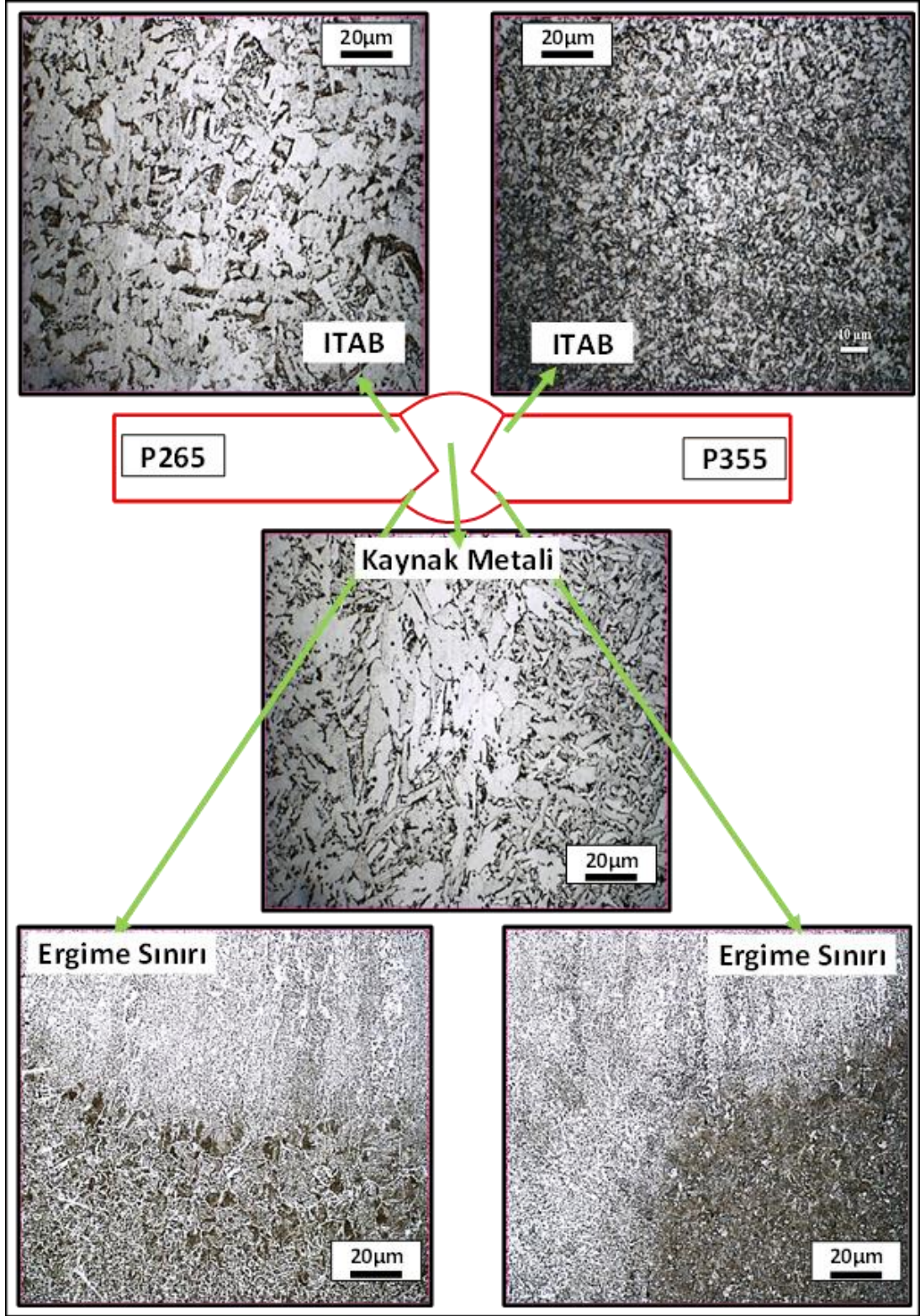
5.2.1. Mikroyapı İncelemeleri

MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen basınçlı kap çeliği numunelere ait kaynak bölgesi (ana malzemeler, ITAB'lar, geçiş bölgeleri ve kaynak metalleri) mikroyapı resimleri Şekil 5.13'te P265GH-P265GH, Şekil 5.14'te P265GH-P355NH ve Şekil 5.15'de ise P355NH-P355NH olmak üzere verilmiştir.



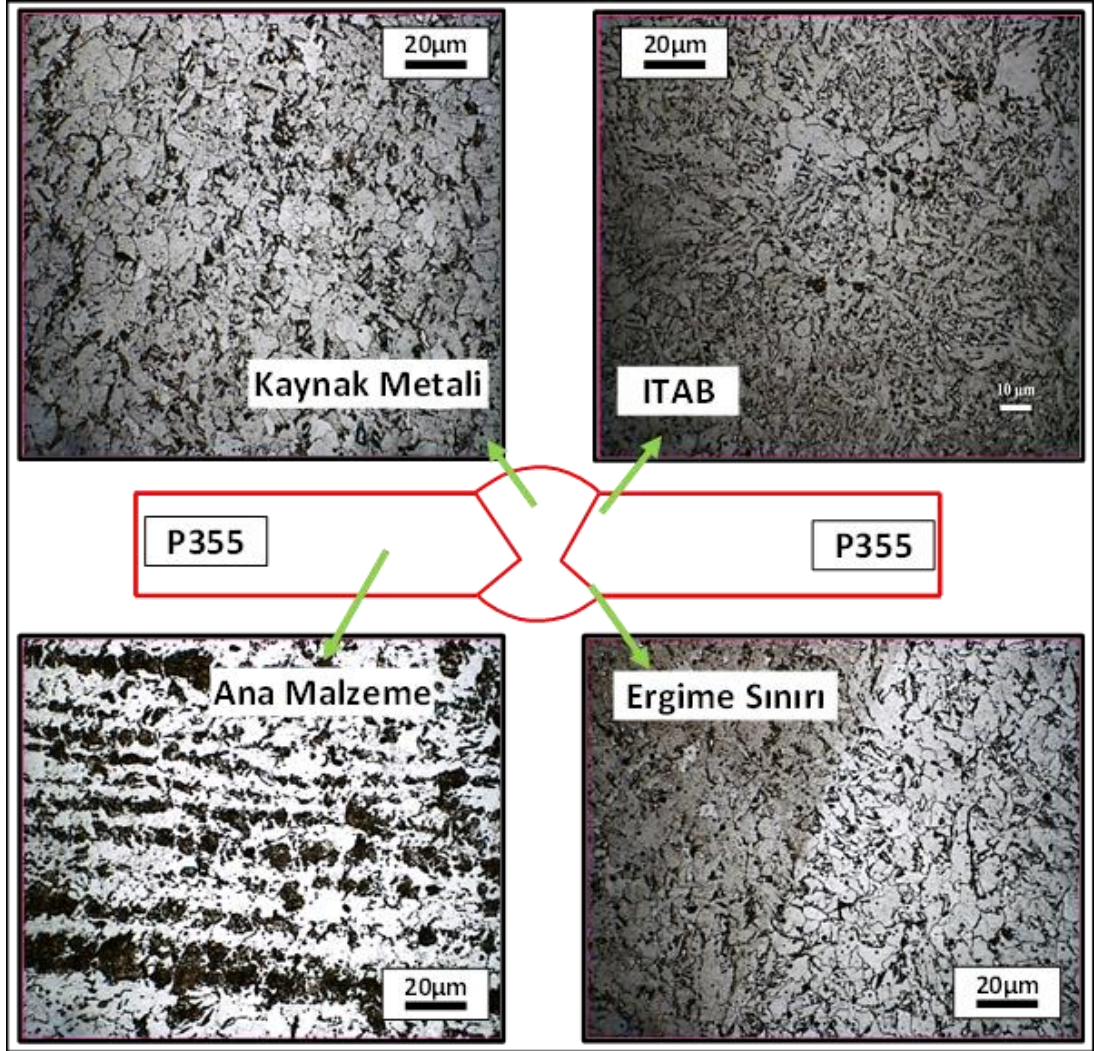
Şekil 5.13. P265GH-P265GH kaynaklı numune mikroyapı görüntüsü.

Şekil 5.13'deki MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş P265GH-P265GH basınçlı kap çeliği numune mikroyapı görüntüsü incelendiğinde, kaynak metali tanelerin iri ve kolonsal yapılı olduğu, ısı akış yönünde yönlendiği belirlenmiştir. Ayrıca, P265GH ITAB'ın ergime sınırı yakınlığında tanelerin kabalaştığı (P265GH ana malzemeye göre), ITAB'ın ana malzemeye yakın bölümlerinde ise ince taneli yapının oluştuğu görülmüştür. Ek olarak, kaynak metali-ITAB veya katı-sıvı metal sınırının yani ergime çizgisi de belirgin olarak görülmüştür. İlâveten, ana malzeme mikroyapısının açık renkli ferrit ve koyu renkli perlit tanelerinden meydana geldiği ve P265GH ana malzemede ferrit tanelerinin perlit tanelerine göre daha fazla olduğu, ek olarak tanelerin de hadde yönünde yönlendiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.14. P265GH-P355NH kaynaklı numune mikroyapı görüntüsü.

Şekil 5.14'deki MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş P265GH-P355NH basınçlı kap çeliği numune mikroyapı görüntüsü incelendiğinde, P265GH-P265GH birleştirme mikroyapısından farklı olarak, P355NH ITAB'ın tane yapısının daha fazla koyu renkli olan perlit tanelerinden oluştuğu daha az miktarda açık renkli ferrit taneleri içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca P265GH ergime sınırı tarafının P355NH ergime sınırı tarafına göre daha iri tanelerden oluştuğu görülmüştür.



Şekil 5.15. P355NH-P355NH kaynaklı numune mikroyapı görüntüsü.

Şekil 5.15'deki MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş P355NH-P355NH basınçlı kap çeliği numune mikroyapı görüntüsü incelendiğinde, P265GH-P265GH birleştirme mikroyapısından farklı olarak, P355NH ana malzeme mikroyapısının büyük oranda

koyu renkli perlit ve az miktarda açık renkli ferrit tanelerinden meydana geldiği ve bu tanelerinde hadde yönünde yönlendiği belirlenmiştir.

Bütün numunelerde (P265GH-P265GH, P265GH-P355NH ve P355NH-P355NH) ergime sınırının (ITAB/kaynak metali geçiş) net olarak görüldüğü, ana malzemelerden kaynak metali merkezine ilerledikçe tane yapısının irileştiği ve kaynak metali tanelerinin merkeze doğru ilerleyen dentritik kollu iri tanelerden oluştuğu tespit edilmiştir.

Akay (2012) tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen X60, X65 ve X70 çeliklerinin tahribatsız/tahribatlı muayenesi konulu yüksek lisans tezinde ve Akay vd. (2013) benzer konulu araştırmalarında kaynaklı numunelere uygulanan mikroyapı çalışmaları sonucunda, ana malzemelerin ferrit (beyaz) ve perlit (siyah) tanelerinden oluştuğu ve ITAB'da tane irileşmesi meydana geldiği bildirilmiştir.

Çelik (2013) MAG kaynak yönteminde kullanılan farklı tellerin kaynak metaline etkisi konulu yüksek lisans tezinde kaynaklı numunelere uygulanan mikroyapı çalışmaları sonucunda, St 37 düşük karbonlu ana malzemenin az miktarda perlit içeren ferrit esaslı yapıya sahip olduğu, ITAB'da tane irileşmesi oluştuğu ve kaynak metalinin ısı akış yönünde oluşan sutunsal ve dentritik tanelerden meydana geldiği rapor edilmiştir.

Canlı (2017) basınçlı kap çeliklerinin tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilmesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında kaynaklı numunelere uygulanan mikroyapı incelemeleri sonucunda, ana malzemelerin hadde yönünde uzayan eş eksenli ince taneli, ferrit ve perlitten meydana geldiği bildirilmiştir.

Kaya (2018) özlü tel MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen S235JR-S355JR yapı çeliklerinin birleştirilebilirliği konulu çalışmalarında, kaynaklı birleştirmelere uygulanan mikroyapı çalışmaları sonucunda, numunelerin hepsinde ana malzemenin kaynak metaline doğru ilerledikçe tanelerin irileştiği bildirilmiştir.

Çolak (2018) düşük karbonlu çeliklerin sualtı kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve tahribatsız/tahribatlı testleri konulu yüksek lisans tez çalışmasında kaynaklı

numunelere uygulanan mikroyapı çalışmaları sonucunda, AH36 gemi sacı ana malzemenin yoğun eş aksenal ferrit ve az miktarda perlit tanelerinden oluştuğu, ITAB'da tanelerin irileşmediği ve kolonsal formda meydana geldiği tespit edilmiştir.

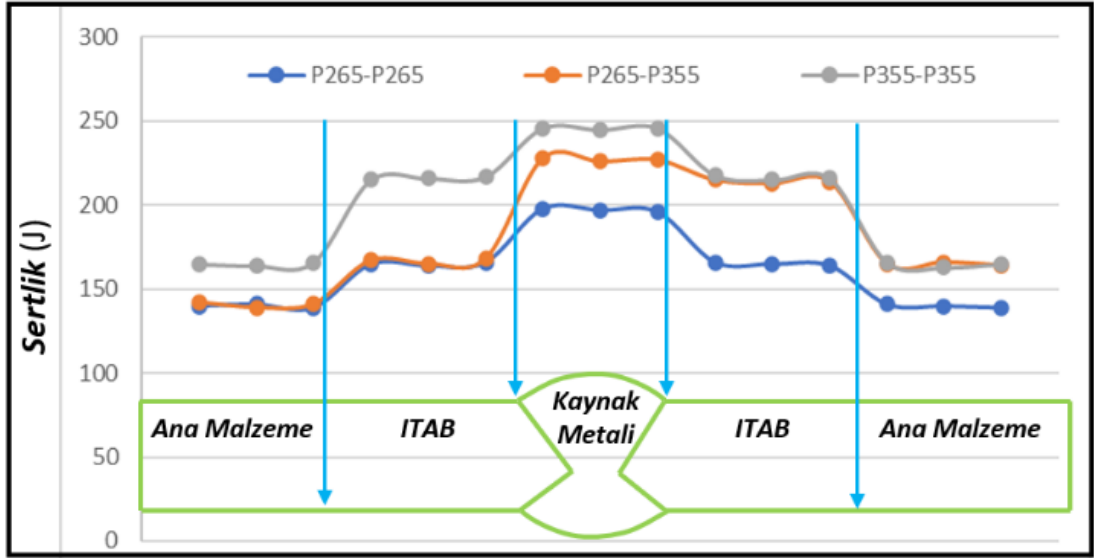
Küçüköner (2019) basınçlı kap çeliği ve duplex paslanmaz çeliklerin tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve tahribatsız/tahribatlı testler ile incelenmesi konulu yüksek lisans tez çalışmasında, Çayırhan (2019) P355GH basınçlı kap çeliği ve AISI 2205 duplex paslanmaz çeliklerin robotik MAG kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliği konulu yüksek lisans tez çalışmasında, numunelere uygulanan mikroyapı çalışmaları sonucunda, P355GH ana malzemenin hadde yönünde uzadığı , ince taneli ferrit ve perlit yapıdan meydana geldiği, ergime sınırı yakınlarında tanelerin irileştiği bildirilmişlerdir.

Atılgan (2022) ASTM A36 çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmesi konulu tez çalışmasında kaynaklı numunelere uygulanan mikroyapı incelemeleri sonucunda, ITAB'da tane irileşmesi meydana geldiği, kaynak metalinde ise ısı akış yönünde uzayan kolonsal formda tanelerden oluştuğu rapor edilmiştir.

5.2.2. Sertlik Testi

MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen basınçlı kap çeliği numunelerin kaynak bölgesine (kaynak metal, ITAB ve ana malzemeler) uygulanan sertlik testleri sonucunda elde edilen grafik 5.16'da verilmiştir.

Kaynaklı numunelere ait sertlik grafiği incelendiğinde, bütün birleştirmelerde en yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken (P355NH-P355NH 246±5 HV) onu sırasıyla ITAB'lar (P355NH ITAB 217±5 HV, P265GH ITAB 168±5 HV) ve ana malzemelerin takip ettiği (P355NH ana malzeme 166±5 HV, P265GH ana malzeme 141±5 HV) belirlenmiştir.



Şekil 5.16. Kaynaklı numunelerin sertlik testi grafiği.

P265GH-P265GH numune sertlik değerleri, kaynak metali 198 ± 5 HV, ITAB 166 ± 5 HV ve P265GH ana malzeme 141 ± 5 HV olarak ölçülürken, P355NH-P355NH numunede ise kaynak metali 246 ± 5 HV, ITAB 217 ± 5 HV ve P355NH ana malzeme 166 ± 5 HV olarak ölçülmüştür. Son olarak P265GH-P355NH numunede ise kaynak metali 228 ± 5 HV, P355NH ITAB 215 ± 5 HV ve P265GH ITAB 168 ± 5 HV olarak tespit edilmiştir.

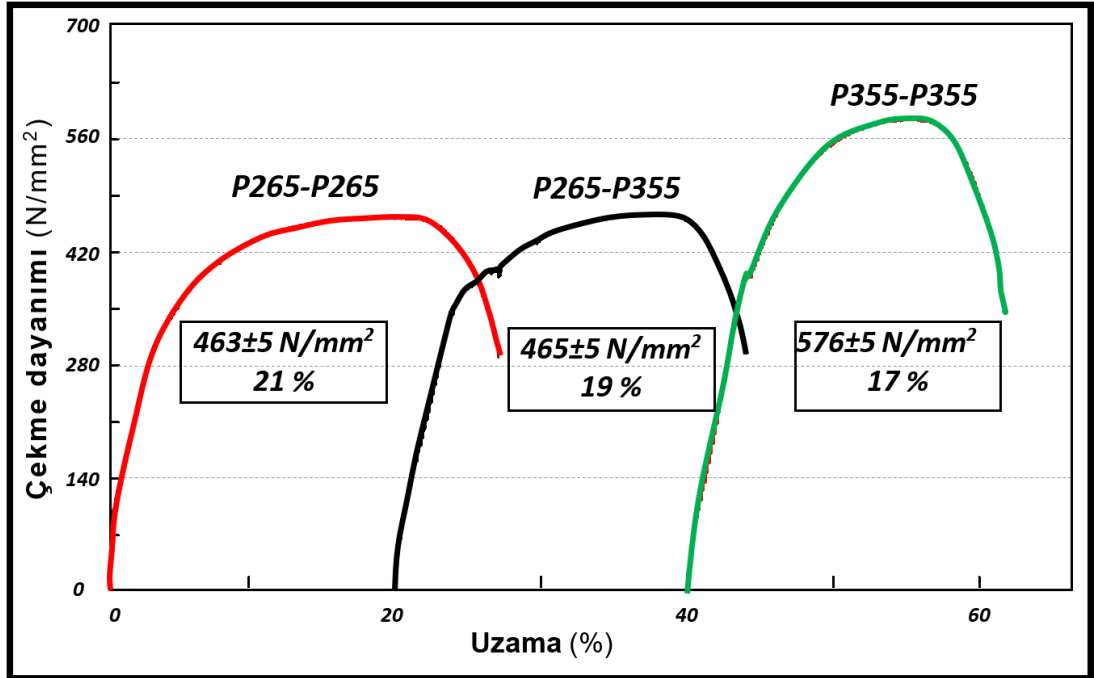
Canlı ve Kaya (2018) basınçlı kap çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mikroyapı/mechanik özellikleri konulu yüksek lisans tez çalışması sertlik testleri sonucunda, P355NL2-P355NL2 ve P460-P460 kaynaklı birleştirmelerde en yüksek sertliğin kaynak metallereinden elde edildiği, onu ITAB ve ana malzemelerin izlediği tespit edilmiştir. P355NL2-P460 kaynaklı birleştirmelerde ise ITAB sertliğinin ana malzemelerden yüksek olduğu, kaynak metalinin ise farklı malzemelerin ITAB sertlik değerleri arasında tespit edildiği bildirilmiştir.

Kaya (2018) S355JR-S355JR, S235JR-S235JR ve S235JR-S355JR yapı çeliklerinin MAG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği konulu çalışması, Yıldırım ve Kaya (2019) farklı kaynak akımları kullanılarak MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen S355JR yapı çeliklerinin mikroyapı/mechanik özelliklerinin incelenmesi konulu

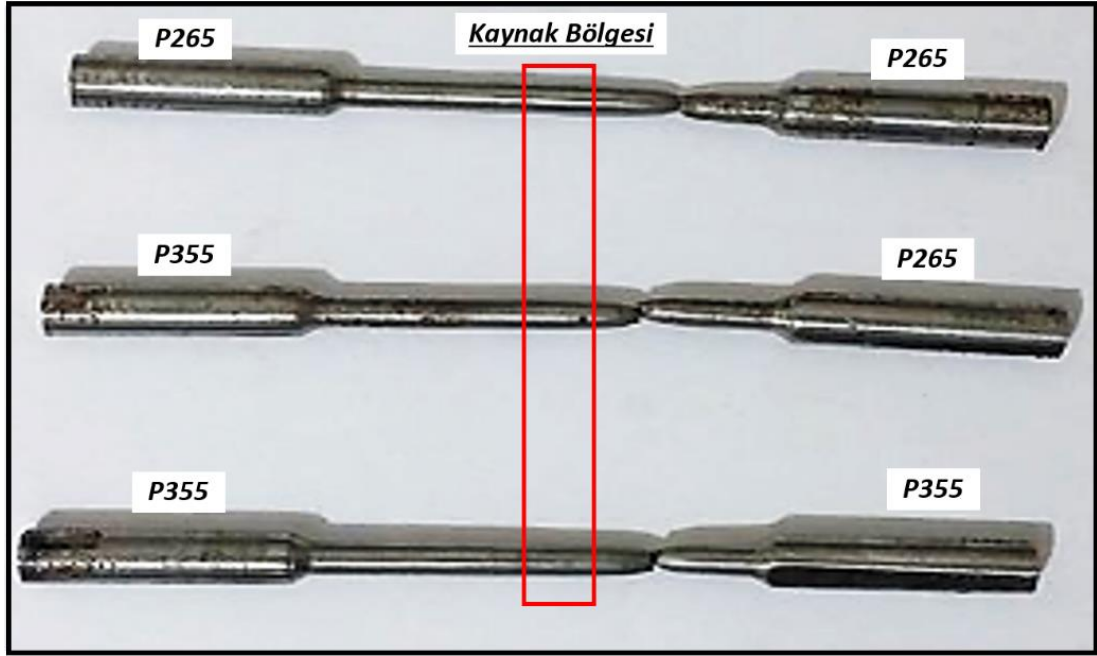
çalışmaları, Canlı vd. (2019) P355NL2-P355NL2, S355J2-S355J2 ve P355NL2-S355J2 basınçlı kap çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin incelendiği çalışmaları, Canlı vd. (2019) S355J2-S355J2, P460-P460 ve S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği çalışmaları sertlik testlerinde, en yüksek sertliğin kaynak metalinde tespit edildiği, onu ITAB ve ana malzeme izlemiştir.

5.2.3 Çekme Testi

Şekil 5.17’de P265GH-P265GH, P265GH-P355NH ve P355NH-P355NH basınçlı kap çeliklerinin MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerine uygulanan çekme testleri sonrasında elde edilen grafik verilirken, Şekil 5.18’de testler sonrasında kopma görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.17. Kaynaklı numunelere ait çekme testi grafiği.



Şekil 5.18. Çekme testleri sonrası kopma görüntüleri.

Şekil 5.17 ve 5.18 beraber incelendiğinde, birleştirmelerin tümünde ana malzeme tarafında boyun vermiş ve yine ana malzeme tarafından sünek olarak kopma gerçekleşmiştir. Kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinde ise herhangi bir hasar gözlenmemiştir. P265GH ve P355NH basınçlı kap çelikleri birleştirmelerinde, en yüksek çekme dayanımı P355NH-P355NH numuneden $576 \pm 5 \text{ N/mm}^2$ - 17 % elde edilirken, onu P265GH-P355NH numune $465 \pm 5 \text{ N/mm}^2$ - 19 % ve P265GH-P265GH numune $463 \pm 5 \text{ N/mm}^2$ - 21 % izlemiştir. Bütün birleştirmelerde kopmalar ana malzemelerde meydana gelmiş ve kaynaksız ana malzeme dayanımlarından (Çizelge 4.2'den P265GH ana malzeme 428 N/mm^2 - 32 % ve P355NH ana malzeme 569 N/mm^2 - 26 %) daha yüksektir.

P265GH-P265GH ve P265GH-P355NH numune çekme dayanımlarının birbirine benzer olduğu belirlenmiştir. Bu iki birleştirmede de kopma P265GH ana malzemede meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, P265GH-P355NH numunede kopmanın P265GH (428 N/mm^2) tarafında olması P355NH numune dayanımının daha yüksek (569 N/mm^2) olması ile açıklanabilir. Ek olarak kaynaklı numuneler kaynaksız numune çekme dayanımlarına göre daha iyi bir performans sergilemişlerdir.

Çizelge 4.2’de P265GH ana malzeme % uzaması % 32 iken, P355NH ana malzeme % uzaması % 26 olarak verilmiştir. P265GH-P265GH numunede % 21’e, P265GH-P355NH numunede % 19’a düşmüştür. P355NH-P355NH numunede ise uzama % 17’ye gerilemiştir. Kaynaklı numunelerde % uzama azalması sebebinin kaynak bölgesindeki sertlik artışı olduğu düşünülmektedir.

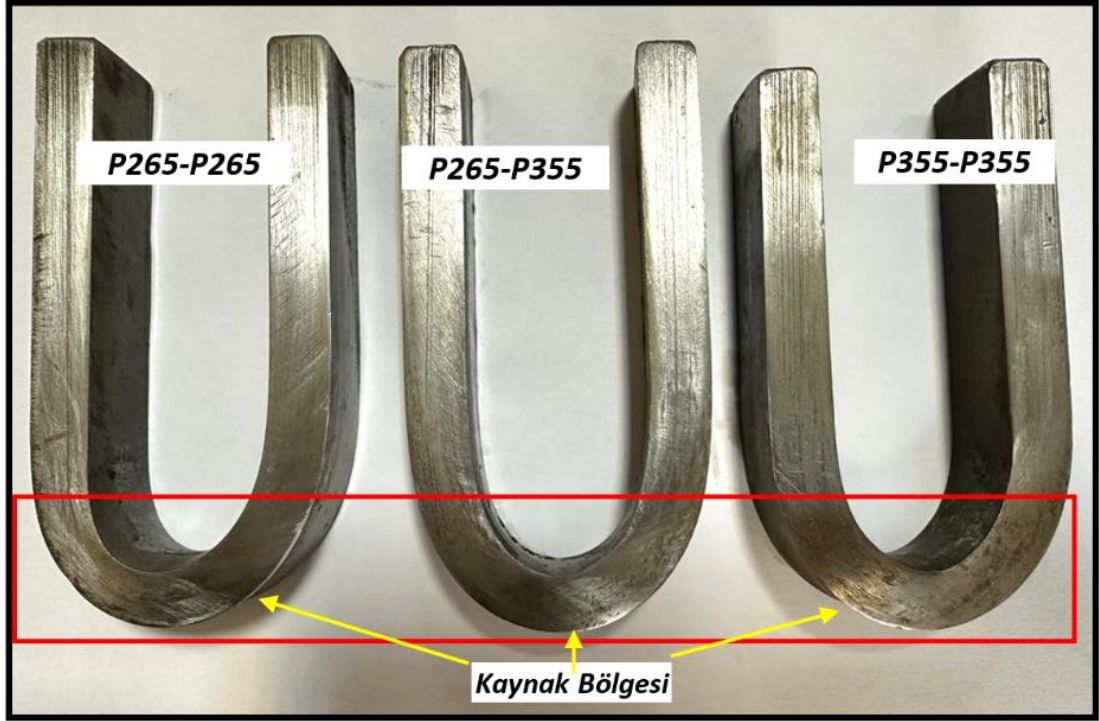
Kaya (2018) S355JR-S355JR, S235JR-S235JR ve S235JR-S355JR yapı çeliklerinin MAG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği konulu çalışması çekme testi sonrasında, kopmanın ana malzemede meydana geldiği ve farklı malzemelerin kaynaklı birleştirmelerine uygulanan çekme testi sonrasında çekme dayanımının, çekme dayanımı düşük olan ana malzemedan daha yüksek olmasının kaynağın başarısını gösterdiği rapor edilmiştir.

Canlı ve Kaya (2018) basınçlı kap çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mikroyapı/mechanik özellikleri konulu yüksek lisans tez çalışması, Yıldırım ve Kaya (2019) farklı kaynak akımları kullanılarak MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen S355JR yapı çeliklerinin mikroyapı/mechanik özelliklerinin incelenmesi konulu çalışmaları, Çayırhan (2019) P355GH basınçlı kap çeliği ve AISI 2205 duplex paslanmaz çeliklerin robotik MAG kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliği konulu yüksek lisans tez çalışması, Canlı vd (2019) P355NL2-P355NL2, S355J2-S355J2 ve P355NL2-S355J2 basınçlı kap çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin incelendiği çalışmaları, Canlı vd. (2019) S355J2-S355J2, P460-P460 ve S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği çalışmaları çekme testleri sonrasında kopmanın ana malzemede meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Atılgan (2022) ASTM A36 çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmesi konulu tez çalışması çekme testleri sonrasında kaynaklı ana malzemeye göre kaynaklı numunelerde % uzama azalması sebebinin kaynak bölgesinde ısı girdisine bağlı olarak sertlik değerlerinin artması olarak belirtmiştir.

5.2.4. Eğme Testi

MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen P265GH ve P355NH basınçlı kap çeliği numunelere tek taraflı (kök) 180° eğme eğme testleri uygulanmış ve test sonrası görüntüleri ise Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.19. Eğme testi sonrası numunelerin görüntüleri.

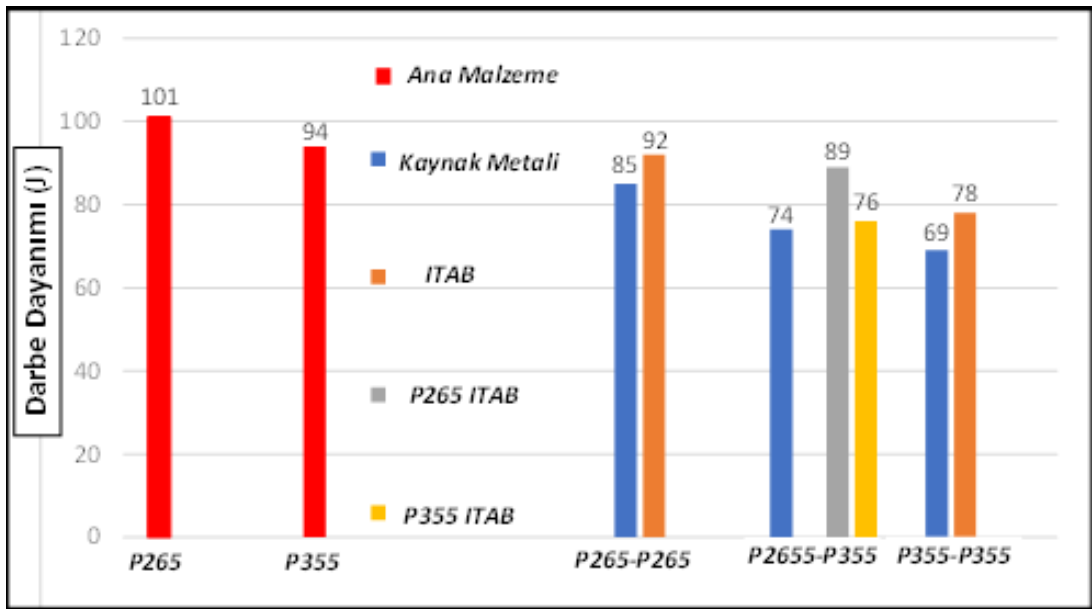
180° kök eğme testleri sonrası görüntüler incelendiğinde, bütün birleştirmelerde kaynak bölgesinde göz ile görülebilir herhangi bir hataya (çatlak, yırtık vb.) rastlanılmamıştır. Eğme testleri sonuçları göz önüne alınarak bütün birleştirmelerin kullanım şartlarında eğilmeye maruz kaldığında bile kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama veya yırtılma olmadan kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

Kaya (2018) S355JR-S355JR, S235JR-S235JR ve S235JR-S355JR yapı çeliklerini MAG kaynak yöntemiyle birleştirmişler, Canlı ve Kaya (2018) P355NL2-P355NL2, P460-P460 ve P355NL2-P460 basınçlı kap çeliklerini tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirmişler, Yıldırım ve Kaya (2019) S355JR yapı çeliklerini MAG kaynak yöntemiyle birleştirmişler, Canlı vd (2019) P355NL2-P355NL2, S355J2-S355J2 ve

P355NL2-S355J2 basınçlı kap çeliklerini tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirmişler, Canlı vd. (2019) S355J2-S355J2, P460-P460 ve S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerini tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirmişler ve kaynaklı numunelere uyguladıkları eğme testleri sonrasında eğme testleri sonrasında gözle görülebilir bir hasar oluşmadığını bildirmişlerdir.

5.2.5. Çentik Darbe Testi

Oda sıcaklığında yapılan çentik darbe testlerinde MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş basınçlı kap çeliklerinin darbe toklukları tespit edilmiştir. Ana malzemeler, kaynak metalleri ve ITAB'lara uygulanan çentik darbe testleri sonuçları Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.20. Numunelerin darbe tokluğu grafiği.

P265GH ana malzeme darbe tokluk değeri 101 J, P355NH ana malzeme değeri ise 94 J olarak ölçülmüştür (Ana malzeme tokluk değeri katalog değerlerine kıyasla daha küçüktür. Bunun sebebi çentik darbe standard numune boyutu 55x10x10 mm iken deneysel çalışmalarda kullanılan numune boyutunun ise 55x10x8 mm olmasıdır). Kaynaklı numune çentik darbe testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek darbe

tokluğunu P265GH-P265GH numune ITAB'ından (92 J) elde edilirken, en düşük darbe tokluğu P355NH-P355NH numune kaynak metalinden (69 J) elde edilmiştir.

P265GH-P265GH numune darbe tokluğu kaynak metalini 85 J, ITAB 92 J, P355NH-P355NH numune darbe tokluğu kaynak metalini 69 J, ITAB 78 J ve P265GH-P355NH numune darbe tokluğu kaynak metalini 74 J, P265GH ITAB 89 J, P355NH ITAB 76 J olarak ölçülmüştür. Kaynaklı numune kaynak metalini ve ITAB darbe toklukları karşılaştırıldığında ITAB'ın kaynak metaline oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Darbe tokluk değerleri bölüm 5.4.2 sertlik testi sonuçları ile kıyaslandığında sertlik artışına ters orantılı olarak darbe tokluğunun azaldığı görülmüştür.

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilen Canlı vd (2019) P355NL2-P355NL2, S355J2-S355J2 ve P355NL2-S355J2, Canlı vd. (2019) S355J2-S355J2, P460-P460 ve S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerine uygulanan çentik darbe testi sonucunda, kaynaklı numune ITAB darbe tokluk değerlerinin kaynak metalini tokluk değerlerine kıyasla daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen farklı malzemelerin kaynak bölgesi incelenmesi konulu yüksek lisans tezinde sertlik artması ile darbe tokluğunun azaldığı bildirilmiştir (Çetinkaya, 2002, Kaya vd. 2010, Canlı ve Kaya (2018), Atılğan, 2022).

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Basıncılı kap üretiminde yaygın olarak kullanılan P265GH ve P355NH çelikleri, MAG kaynak yöntemi ile farklı kombinasyonlarda (P265GH-P265GH, P265GH-P355NH ve P355NH-P355NH) birleştirilmiş ve kaynaklı numunelere tahribatsız/tahribatlı testler sonucunda,

- Gözle muayene testleri sonucunda kaynaklı numunelerin yüzeylerinde herhangi bir hata (gözenek, mikro/makro çatlak, yanma oluğu, boşluk vb.) olmadığı tespit edilmiştir.
- Ultrasonik muayene sonucunda kaynaklı numunelerin yüzey altı/kesitinde kaynak hatasına (çatlak, kalıntı, gözenek, yanma çentiği vb.) rastlanmadığı tespit edilmiştir.
- Radyografik muayene sonucunda kaynaklı numunelerin yüzey altı/kesitinde kaynak hatası (gözenek, çatlak vb.) tespit edilmemiştir.
- Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde kaynak metali tanelerinin iri ve kolonsal yapılı olduğu, ısı akış yönünde yönlendiği belirlenmiştir. Ayrıca, P265GH ITAB'ın ergime sınırı yakınlarında tanelerin kabalaştığı (P265GH ana malzemeye göre), ITAB'ın ana malzemeye yakın bölümlerinde ise ince taneli yapının olduğu görülmüştür.
- Sertlik değerleri incelendiğinde tüm kaynaklı birleştirmelerde en yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken (P355NH-P355NH) onu sırasıyla ITAB'lar (P355NH ITAB, P265GH ITAB) ve ana malzemelerin takip ettiği (P355NH ana malzeme, P265GH ana malzeme) belirlenmiştir.

- Çekme testleri sonucunda birleştirmelerin tümünde ana malzeme tarafında boyun vermiş ve yine ana malzeme tarafından sünek olarak kopma gerçekteşmiştir. Kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinde ise herhangi bir hasar gözlenmemiştir.
- Eğme testleri sonucunda bütün birleştirmelerde kaynak bölgesinde göz ile görülebilir herhangi bir hataya (çatlak, yırtık vb.) rastlanılmamıştır.
- Çentik darbe testleri sonucunda kaynaklı numune kaynak metali ve ITAB darbe toklukları karşılaştırıldığında ITAB'ın kaynak metaline oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Akay, A. 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. A., Kaya Y., Kahraman N., “Tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilen X60, X65 ve X70 çeliklerin kaynak bölgesinin etüdü”, **Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi/Karaelmas Science and Engineering Journal**, 3 (2) 34-42 (2013).

Anık, S., Vural, M. Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG), **Gedik Eğitim Vakfı Yayın No 3**, İstanbul, (1996).

Aran, A., Temel, M. A., Paslanmaz Çelik Yassı Mamül Üretimi, Kullanımı, Standartları, **Sarıtaş Teknik Yayın No:1 2. Baskı**, İstanbul, 1-113 (2004).

Atılğan, Y., “Depolama tankı imalatında tozaltı ark kaynağı uygulaması ve kaynak bölgesinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 1-88 (2022).

Baba, S., “Anizotropik kalın cidarlı basınçlı kapların serbest ve zorlanmış titreşim davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, **Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Samsun, 1-102 (2013).

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).

Canlı, A., İmdat, K., Yıldırım, M. S., Kaya, Y., “Basınçlı kap çeliklerinin tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin incelenmesi” **III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi Uygulamalı Bilimler Kitabı**, 4-7 Nisan Gaziantep-Türkiye, 412-419 (2019).

Canlı, A., Yıldırım, M. S., Kaya, Y., “Tozaltı ark kaynak yöntemiyle S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerinin birleştirilebilirliğinin araştırılması” **2nd International Turkish World Engineering and Science Congress**, November 7-10 Antalya-Türkiye, 809-816 (2019).

Çayırhan, G., “Dubleks paslanmaz çelik (2205) ve basınçlı kap (P355NHGH) çeliğinin robotik MAG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 1-124 (2019).

Çelik, O., “Gazaltı (MAG) kaynağında kullanılan rutil, bazik ve metal özlü tellerin kaynak metali özelliklerine etkisinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-96 (2013).

Çetinkaya, C., “Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (11): 1-8 (2002).

Çolak, Z., “Su altı kaynak yöntemi ile birleştirilen düşük karbonlu çelik malzemelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-134 (2018).

Doğan, A., “Mardin ili şehir içi doğalgaz borularındaki kaynak hatalarının tahribatlı ve tahribatsız muayeneyöntemleri ile incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman, 1-80 (2019).

Eryürek, B. İ., Gazaltı Kaynağı, *Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayını 2. Baskı*, İstanbul, 1-85 (2003).

Güner, M., “MAG kaynağında elektrod tipinin (çiplak tel-özlü tel) kaynak dikişi özelliklerine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-105 (2007).

Habiboğlu, H., Basınçlı Kapların İmalatı, Test Yöntemleri ve Periyodik Kontrol, *Türk Loydu Vakfı*, İstanbul, 1-278 (1993).

Işık, A. O., “MAG kaynağında özlü tel elektrod tipinin kaynak dikişi özelliklerine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-138 (2014).

İnternet : Ertürk, İ., Gazaltı Kaynak Yöntemleri, <https://docplayer.biz.tr/6329692-Gazaltı-kaynak-yontemleri.html> (2023).

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

Kaya, Y., “S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla MAG kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması” *Politeknik Dergisi*, 21 (3) : 597-602 (2018).

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).

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).

Küçüköner, H., “Dubleks paslanmaz çelik ve basınçlı kap çeliğinin tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin mekanik/mikro yapı özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 1-115 (2019).

Ören, E., “MAG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin İçköşe Dikiş Geometrisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-85 (2002).

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

Sayılgan, U., Basınçlı Kapların Tanımı, Tasarımı, Standartları, **Türk Loydu Vakfı**, İstanbul, 1-98 (1993).

Yıldırım, S., Kaya, Y., “Yapı çeliklerinin MAG kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak akımının etkisi” **III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi Uygulamalı Bilimler Kitabı**, 4-7 Nisan Gaziantep-Türkiye, 406-411 (2019)

ÖZGEÇMİŞ

Ferhat YALÇIN ilk öğrenimini Yunus Emre İlköğretim Okulunda, Orta öğrenimini Karabük Endüstri Meslek Lisesi Elektrik-Elektronik Bölümünde tamamladı. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde öğrenime başladı ve 2018 yılında mezun olmuştur. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve halen eğitime devam etmektedir.