

**TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİYLE
BİRLEŞTİRİLEN BASINÇLI KAP ÇELİKLERİNİN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

2017

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Aslı CANLI

**TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİYLE
BİRLEŞTİRİLEN BASINÇLI KAP ÇELİKLERİNİN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Aslı CANLI

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Eylül 2017**

Aslı CANLI tarafından hazırlanan “TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN BASINÇLI KAP ÇELİKLERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. 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. 11/09/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU (GÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yakup KAYA (KBÜ)

.....

...../...../2017

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

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

.....

Fen Bilimleri 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.”

Aslı CANLI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN BASINÇLI KAP ÇELİKLERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Aslı CANLI

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Yakup KAYA

Eylül 2017, 78 sayfa

Bu çalışmada, basınçlı kapların imalatında sıklıkla kullanılan P355NL2, P460 ve S355J2 çelikleri, tozaltı ark kaynak yöntemi ile kendi aralarında ve birbirleri ile birleştirilmişlerdir. Kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgesinin makro/mikroyapı incelemeleri, sertlik, çekme, eğme ve çentik darbe testleri yapılarak değerlendirilmiştir.

Sertlik ölçümleri sonucunda aynı tür malzemelerin birleştirilmesinde en yüksek sertlik değerlerinin kaynak metalinde olduğu tespit edilmiştir. Farklı malzemelerin sertlik testleri sonucunda ise kaynak metali sertliğinin ITAB'ın birinden düşük, diğerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ana malzeme sertliklerinin hem benzer hem farklı birleştirmelerin kaynağında en düşük sertlik değerini verdiği görülmüştür.

Yapılan çekme testleri sonucunda, tüm numunelerde kopma ana malzemeden gerçekleşmiş ve bütün bağlantı dayanımları, ana malzemelerden daha yüksek bulunmuştur. Eğme testleri sonucunda, göz ile yapılan muayenede herhangi bir çatlak, yırtık vb. hata görülmemiştir. Yapılan çentik darbe test sonuçları incelendiğinde, en yüksek tokluk değerlerinin oda sıcaklığında (20 °C), en düşük tokluk değerlerinin ise -20 °C’de ölçüldüğü ve en yüksek darbe tokluğunun P355NL2-S355J2 kaynak metalinde olduğu görülmüştür. Genel olarak sıcaklık azaldıkça malzemelerin darbe direncinin de azaldığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Basınçlı kap çeliği, tozaltı kaynağı, mikroyapı, mekanik özellikleri

Bilim Kodu : 915.3.019

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE PRESSURE VESSEL STEELS TO COMBINED WITH SUBMERGED ARC METHOD

Ash CANLI

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Yard. Doç. Dr. Yakup KAYA

September 2017, 78 pages

In this study, the steels P355NL2, P460 and S355J2, which are frequently used in the manufacture of pressure vessels, are joined with themselves and each other by submerged arc welding. Macro/microstructure investigations of weld zone of welded joints were evaluated by hardness, tensile, bending and notch impact tests.

As a result of the hardness measurements, it was determined that the highest hardness values were found in the weld metal when the same type of materials were combined. As a result of the hardness tests of different materials, it was determined that the hardness of weld metal is lower than one of ITAB and higher than the other. It was also found that the hardness of the base material gives the lowest hardness value at the weld of both similar and different joints.

As a result of the tensile tests, rupture occurred from the base material in all specimens, and all joining strengths were found to be higher than the base material. As a result of the bending tests, there was no visible any cracks, tears, etc. no mistakes were found. When the notch impact test results are examined, it is seen that the highest toughness values are measured at room temperature (20 °C), the lowest toughness values are measured at -20 °C, and the highest impact toughness is found in the P355NL2-S355J2 weld metal. In general, as the temperature decreases, the impact toughness of the materials decreases.

Key Words : Pressure vessel steel, submerged arc welding, microstructure, mechanical properties

Science Code : 915.3.019

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında her türlü ilgi ve desteğini esirgemeyen, iş yaşantım ile birlikte yürüttüğüm tez aşamamda halden anlayarak hafta sonu dahi değerli vakitlerini feda eden Yüksek lisans tez hocam; Yrd. Doç. Yakup KAYA'ya ve engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım çok değerli hocam; Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN'a sonsuz teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Tezimin he aşamasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Öğretim Üyeleri, kıymetli Hocalarım Sayın Doç. Dr. Ahmet DURUTLU, Doç. Dr. Behçet GÜLENC ve Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Öğretim Üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Tahribatlı ve tahribatsız testlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen TSE Uzman Yardımcısı Şenol PARLAK, mühendislik tecrübesi ve arkadaşlığı ile tez aşamasında yanımda olan Neslihan KOÇDUR'a, mikroyapı ve tez aşamasında tüm çalışmalarımda yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Kadir İMDAT'a çok teşekkür ederim.

Bu tez KBÜ-BAP-16/2-YL-098 no.lu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında Karabük Üniversitesi tarafından desteklenmiştir, bu vesileyle Karabük Üniversitesi Rektörlüğüne ve eğitim hayatımda engin bilgilerini asla esirgemeyen, desteklerini hayatın her aşamasında gördüğüm İmalat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine çok teşekkür ederim.

Son olarak sevgili aileme eğitim ve çalışma hayatım boyunca maddi, manevi tüm desteklerini esirgemeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
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 KAPLAR	3
2.1. BASINÇLI KAPLARIN TANIMI VE GEÇMİŞİ.....	3
2.2. BASINÇLI KAPLARIN TASARIM VE STANDARTLARI.....	3
2.2.1. Basınç.....	5
2.2.1.1. Çalışma Basıncı.....	5
2.2.1.2. Olağan Tasarım Basıncı	5
2.2.1.3. İzin Verilen En Büyük Çalışma Basıncı.....	5
2.2.2. Sıcaklık.....	6
2.2.3. En Küçük Et Kalınlığı.....	6
2.2.4. Rüzgar	7
2.2.5. Statik Veya Dinamik Yükleme.....	7
2.2.6. Ağırlık	7
2.3. BASINÇLI KAP ÇEŞİTLERİ	7
2.4. BASINÇLI KAPLARDA MALZEME VE YENİM PAYI.....	8
2.4.1. Malzeme	8
2.4.2. Yenim.....	10

2.5. BASINÇLI KAPLARDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ	11
2.5.1. Kazan ve Basınçlı Kaplarda Kaynak Bağlantısı.....	12
2.5.2. Kaynağa Elverişli Malzemeler	13
2.5.3. Kaynak Bağlantılarının Fayda Ve Sakıncaları	14
BÖLÜM 3	15
TOZALTI ARK KAYNAĞI.....	15
3.1. YÖNTEMİN TARİHÇESİ	16
3.2. YÖNTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ	17
3.3. TOZALTI ARK KAYNAĞININ UYGULANMA ALANLARI	19
3.4. TOZALTI ARK KAYNAĞININ PRENSİPLERİ.....	20
3.5. TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ	21
3.5.1. Tandem Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi.....	21
3.5.2. Paralel Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi.....	22
3.5.3. Seri Kaynak Yöntemi	22
3.5.4. Band Elektrodla Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi.....	23
3.5.5. Kızgın Tel Yöntemi.....	23
3.5.6. Demir Tozu İlavesiyle Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi	24
3.6. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA ARK TUTUŞTURMA YÖNTEMLERİ	24
3.7. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK TELLERİ.....	26
3.8. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK TOZLARI.....	27
3.8.1. Kaynak Tozlarının Sınıflandırılması	29
3.8.2. Kaynak Tozundan Beklenen Özellikler	29
3.9. TOZALTINDA DİKİŞ FORMUNU ETKİLEYEN PARAMETRELER.....	30
3.10. TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI.....	32
3.11. TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİNİN DEZAVANTAJLARI	32
BÖLÜM 4	34
ULUSAL VE ULUSLARARASI YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	34
4.1. BASINÇLI KAP ÇELİKLERİ KULLANILARAK YAPILAN KAYNAK VE MİKROYAPI ÇALIŞMALARI	34
4.2. FARKLI MALZEMELER KULLANILARAK YAPILAN TOZALTI ARK KAYNAK ÇALIŞMALARI.....	37

BÖLÜM 5	43
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	43
5.1. KULLANILAN MALZEMELER	44
5.2. MALZEMELERİN KAYNAĞA HAZIRLANMASI	45
5.3. KAYNAK YÖNTEMİ UYGULAMASI.....	46
5.4. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI İÇİN NUMUNE HAZIRLAMA	48
5.4.1. Makro/Mikroyapı İncelemeleri	48
5.4.3. Çekme Testi	51
5.4.4. Eğme Testi	51
5.4.5. Çentik Darbe Testi	52
BÖLÜM 6	55
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	55
6.1. MAKRO/MİKROYAPI İNCELEMELERİ.....	55
6.1.1. Makroyapı incelemeleri.....	55
6.1.2. Mikroyapı incelemeleri	57
6.2. SERTLİK TESTİ.....	59
6.3. ÇEKME TESTİ.....	66
6.4. EĞME TESTİ	70
6.5. ÇENTİK DARBE TESTİ	71
BÖLÜM 7	74
SONUÇLAR.....	74
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kazan kaynak dikişlerinin dağılımı.	13
Şekil 3.1. Kaynak usulleri	15
Şekil 3.2. Ergitme kaynakları.....	16
Şekil 3.3. Tozaltı ark kaynağı (şematik ve fotoğraf olarak).....	18
Şekil 3.4. Elektrik ark ve tozaltı ark kaynağında ısı bilançosu	19
Şekil 3.5. Tek elektrodlu ve tandem tozaltı ark kaynak yöntemleri.....	21
Şekil 3.6. Paralel iki elektrodlu ve tandem, iki elektrodlu tozaltı ark kaynak yöntemleri.....	22
Şekil 3.7. Tozaltı ark kaynak yöntemlerinin şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.8. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi.	30
Şekil 4.1. Tozaltı ark kaynağı yapılmış bir duplex paslanmaz çelikte kaynak bölgesinin mikroyapısı.	36
Şekil 4.2. Zr-Ti mikro alaşımlı kaynak metallerindeki mikroyapı görüntüleri.....	38
Şekil 4.3. Kaynaklı numunelerin optik mikroyapısı.	40
Şekil 4.4. 2205 DSS kaynaklı birleşmelerin mikroyapıları.....	42
Şekil 5.1. Yapı çeliği tam adlandırma örneği.....	43
Şekil 5.2. Kaynak hazırlığı detayları.....	45
Şekil 5.3. Parçaların puntalanarak kaynaga hazırlanması.....	46
Şekil 5.4. Kaynak esnasında alınan görüntü	47
Şekil 5.5. Kaynak sonrası alınmış olan görüntü.....	47
Şekil 5.6. Tahribatlı testler için çıkarılan numunelerin çizimleri.....	48
Şekil 5.7. Mikroyapıların görüntülendiği cihaz.	49
Şekil 5.8. Sertlik ölçümünde kullanılan numune örneği.....	50
Şekil 5.9. Yatay doğrultuda yapılan ölçüm noktaları.....	50
Şekil 5.10. Vickers sertlik ölçümü.....	50
Şekil 5.11. Çekme numunesi örnekleri	51
Şekil 5.12. Eğme testi için hazırlanan numune görüntüleri.	52

Şekil 5.13. Eğme test cihazı görüntüsü.	52
Şekil 5.14. Çentik darbe numuneleri.	53
Şekil 5.15. Çentik darbe cihazı.	53
Şekil 5.16. Test sıcaklığının ayarlanması.	54
Şekil 6.1. Kaynaklı numunelerinin makroyapı fotoğrafı	56
Şekil 6.2. Ana malzeme mikroyapı görüntüleri	57
Şekil 6.3. P355NL2-P355NL2 kaynaklı numunesinin mikroyapı fotoğrafları	58
Şekil 6.4. P355NL2-P460 kaynaklı numunesinin mikroyapı fotoğrafları	58
Şekil 6.5. P460-P460 kaynaklı numunesinin mikroyapı fotoğrafları.....	58
Şekil 6.6. P355NL2-P355NL2 numunesinin sertlik ölçüm grafiği.....	60
Şekil 6.7. P355NL2-P460 numunesinin sertlik ölçüm grafiği.....	61
Şekil 6.8. P355NL2-S355J2 numunesinin sertlik ölçüm grafiği....	62
Şekil 6.9. P460-P460 numunesinin sertlik ölçüm grafiği.....	63
Şekil 6.10. P460-S355J2 numunesinin sertlik ölçüm grafiği.....	64
Şekil 6.11. S355J2-S355J2 numunesinin sertlik ölçüm grafiği....	65
Şekil 6.12. Kaynaklı numunelerin çekme ve uzama grafiği.....	67
Şekil 6.13. Çekme testi sonrası numune görüntüsü....	68
Şekil 6.14. Kaynaklı numunelerin örnek kopma yüzey görüntüsü....	69
Şekil 6.15. Eğme testi esnasındaki görüntü.....	70
Şekil 6.16. Eğme sonrası numunelerin görüntüsü.....	70
Şekil 6.17. Kaynak metaline ait çentik darbe grafiği.....	71
Şekil 6.18. ITAB'a ait çentik darbe grafiği.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Standartlara göre gövde cidar kalınlık formülü.	4
Çizelge 2.2. Çeşitli malzemeler için esneklik modülü değerleri.....	9
Çizelge 2.3. Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin uygulanma yerleri... ..	9
Çizelge 2.4. Karbon ve düşük alaşımlı çelikler için izin verilen gerilim değerleri..	10
Çizelge 2.5. Isıl genleşme katsayısı değerleri.... ..	10
Çizelge 3.1. Kaynak tellerindeki alaşım elemanı oranları.	26
Çizelge 3.2. Tellerin kimyasal bileşim ve özellikleri.....	27
Çizelge 3.3. Kaynak dikiş formunu etkileyen faktörler	31
Çizelge 5.1. Testlerde kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri.....	44
Çizelge 5.2. Testlerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.....	44
Çizelge 5.3. Testlerde kullanılan kaynak tozlarının kimyasal analizleri.. ..	44
Çizelge 5.4. Testlerde kullanılan kaynak tellerinin kimyasal kompozisyonu.....	45
Çizelge 5.5. Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri.....	47
Çizelge 6.1. P355NL2-P355NL2 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri..	60
Çizelge 6.2. P355NL2-P460 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri.....	61
Çizelge 6.3. P355NL2-S355J2 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri... ..	62
Çizelge 6.4. P460-P460 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri.. ..	63
Çizelge 6.5. P460-S355J2 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri.. ..	64
Çizelge 6.6. S355J2-S355J2 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri.....	65
Çizelge 6.7. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımı ve uzama değerleri.....	67
Çizelge 6.8. Kaynak metalinin farklı sıcaklıklardaki darbe sonuçları.... ..	71
Çizelge 6.9. ITAB'ın farklı sıcaklıklardaki darbe sonuçları.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Mg : Magnezyum

Al : Alüminyum

C : Karbon

Mn : Mangan

Si : Silisyum

Cu : Bakır

Mo : Molibden

Ni : Nikel

Cr : Krom

P : Fosfor

S : Kükürt

Nb : Niobyum

V : Vanadyum

Ti : Titanyum

N : Azot

KISALTMALAR

SEM	: Scanning Electron Microscope (Elektron Tarayıcı Mikroskop)
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
LPG	: Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
TIG	: Tungsten Inert Gas (Tungsten Inert Gaz)
MIG	: Metal Inert Gas (Metal Inert Gaz)
MAG	: Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
TURKAK	: Türk Akreditasyon Kurumu
XRD	: X-Ray Diffraction (X-R Yayınımı)
OM	: Optik mikroskop
ASME	: American Society Of Mechanical Engineers
PVC	: Polivinil klorür
HI-HIV	: Sade Karbonlu Çelik çeşidi
SAW	: Tozaltı Ark Kaynağı
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
GBF	: Tane Sınırı Ferrit
FSP	: Ferrit Yan Plak
AF	: Asiküler Ferrit
WM	: Kaynak Metali
BM	: Ana Metal
DSS	: Duplex Paslanmaz Çelik
PWHT	: Kaynak Sonrası Isıl İşlem
AOD	: Argonda Oksijenle Karbonsuzlaştırma
VOD	: Vakumda Oksijenle Karbonsuzlaştırma

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Basınçlı kaplar yüksek sızdırmazlık gerektiren tank ve depolar şeklinde tanımlanabilir. TSE'ye göre, "Basınçlı kap, 0.490×10^5 Pa (0.5 Atü) ve daha yüksek basınçlı gaz ve sıvıların üretiminde, taşınmasında veya depolanması işleminde kullanılan küre, silindir formuna sahip küre, koni veya silindir biçimli hacimlerin birleştirilmesinden elde edilen atmosfere dirençli kaplardır." Bir başka deyişle, dıştan ve içten basınç dayanımı istenen kap olarak tanımlanabilirler.

Endüstri tesislerindeki ihtiyacı karşılamak amacıyla artan buhar enerjisi, yakıtle endüstride kullanılmakta olan gazların; üretimi, nakliyesi ve depolanma işleminde kullanılmakta olan kazanla basınçlı tankların istenilen güvenlik gereksinimini ve görevini yerine getirmesi gerekmektedir. Bu uygulama hem üretici hem de kullanıma ihtiyaç duyan tedarikçi firma tarafından istenmektedir. Nihayetinde gelişen imalat sanayinde ithalat için gerekli standarda ve ilgili kurallara uygun olan kazanları ve basınçlı kapları üretmek zorunluluk gerektiren bir gerçektir.

Sanayide sıklıkla kullanılan basınçlı kap çelikleri gaz tankları, kazanlar, yüksek basınçlı hava tüpleri, LPG tüpleri, akışkan taşıyıcı borular, kompresörler, kriyojenik tanklar, iç basınca dayanıklı kaplar, hidrolik ve pnömatik akışkan devreleri, soğutma üniteleri, hidrofor sistemleri vb. olarak sıralanabilir.

Basınçlı kapların birleştirilmesinde tozaltı ark kaynağı, MIG-MAG kaynağı, örtülü elektrot kaynağı, TIG kaynağı kullanılır. Bu çalışmada sanayide tehlikeli madde taşıyan araçların yapımında kullanılan P355NL2, P460 ve S355J2 basınçlı kap çelikleri, kaynak işlemlerinde en çok tercih edilen tozaltı ark kaynak yöntemi tercih edilmiştir.

Bugünün sanayisinin uyguladığı, yüksek ergime gücü ile yüksek kaynak hızlarına sahip, kaynak yöntemlerinin ilk sırasında tozaltı ark kaynağı olduğu bilinmektedir. İlk olarak 1933 yıllarında ABD’de kullanılan tozaltında ark kaynak yöntemi, 1937 yılından sonra Avrupa’da uygulama alanına girmiştir. Demir alaşımları ve demir kaynağı için oldukça elverişli olan bu yöntem ile ısıntma kazanları ile profil, gemi ve yüksek basınçlı kap üretimi ve aynı zamanda dolgu işlemleri için de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1].

Tozaltı ark kaynağında, arkın oluşumu koruyucu atmosferi için tozaltında oluşturulması ile uygulanan bir kaynak yöntemidir. Tozaltı ark kaynak yönteminde kaynak metali; ana malzeme, ilave metal ve kaynak tozunun kimyasal reaksiyonu sonucu meydana gelir [2,3]. Kaynak arkı, tel besleme ünitesinden kaynak bölgesine iletilen örtüsüz elektrodla iş parçasının arasında oluşur [4]. Kaynak arkı eriyebilen bir toz kütlesi tarafından korunur. Kaynak uygulamasının yarı-otomatik ya da otomatik türde uygulanabilmesi, oldukça yüksek oranda metal yığıma oranı, iyi görünüme sahip kaynak dikişleri eldesi [5], derin nüfuziyet ile enerji ekonomisi ve kaynak hızı gibi üstün nitelikleri bilinmektedir [6].

Bu çalışmada ise ülkemiz sanayisinde kullanılan P355NL2, P460 ve S355J2 basınçlı kap çelikleri kendi aralarında ve birbirleri birbirleri ile 6 farklı kombinasyonda tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak işleminin yapıldığı, mikroyapı ve mekanik özelliklerini kıyaslanıp eldeki mevcut bilgiler kullanılarak değerlendirme yapılmıştır.

Yapılan testlerin değerlendirilmesi, basınçlı kaplarda kullanılacak olan malzemelerin belirlenen şartlarda ne derece kullanılabilir olduklarının belirlenmesinde etkili olmuştur. Çalışmalar, firmalar ve üniversitemiz atölyeleri kullanılarak uygulamalı olarak yapılmış ve çalışmalar raporlandırılmıştır.

Bu çalışmanın ileride bu ve benzer konularda yapılabilecek çalışmalara örnek teşkil etmesi, bu şartlar altında kullanılan malzemelerin arzu edilen özellikleri sağlaması, çalışma ömrünün artırılması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

BASINÇLI KAPLAR

2.1. BASINÇLI KAPLARIN TANIMI VE GEÇMİŞİ

Farklı üretim tesislerinde büyük miktarda gaz, sıvılaştırılmış ve basınç altında çözülmüş şekilde kullanılır. Bu kullanılan gazların depolanması ve taşınması için basınçlı kaplar kullanılmaktadır.

Bu basınçlı kapların emniyet ve görevi yerine getirmesi kullanıcı ve imalatçı firmalar tarafından istenilmektedir. Bu amaçla belirli aralıklar ile basınçlı kapların muayeneleri yapılmalıdır. Muayeneler için her ülke kendi bünyesinde kontrol müesseseleri oluşturmuştur. Bu nedenle basınçlı kapların tasarım, imalat ve kontrolleri ilgili standartlara uygun olarak yapılmalıdır [7].Ülkemizde basınçlı kapların kontrolünü ve muayenesini T.S.E ve Türk Loydu kurumları yapmakta ve takip etmektedir.

2.2. BASINÇLI KAPLARIN TASARIM VE STANDARTLARI

Günümüzde ASME (American Society Of Mechanical Engineers), Başta AD Merkblätter olmalı birlikte, Avrupa, ABD ve Rusya gibi endüstri sanayisi gelişmiş ülkelerin 19 farklı tasarım standardı uyguladığı bilinmektedir. Bu standartlardaki temel farklılık, basınçlı kapların üretiminde kullanılan malzemeler için kabul edilebilir olan emniyet gerilmesinden kaynaklanmaktadır. Bugünlerde ülkemizde en yaygın kullanılan yakıt kazanları ve basınçlı kaplarla ilgili standart ve kurallar şu şekilde sıralanabilir:

- TSE Türk Standartları Enstitüsü – Kazanlar ve Basınçlı Kap Kuralları

- TL Türk Loydu - Kazanlar ve Basınçlı Kap Kuralları
- Almanya AD-Merkblaett – Basınçlı Kaplar için Kurallar
- Almanya TRG – Basınçlı Gaz Kapları İçin Teknik Kurallar
- Almanya TRD – Buhar Kazanları için Teknik Kurallar
- ABD ASME – Kazanlar ve Basınçlı Kap Kuralları

Basınçlı kapların, insan sağlığına ve güvenliğine olumsuz etkiyecek tehlikeler içerdiklerinden dolayı kullanım esnasında oluşabilecek sorunların öncesinde tespit edilip çözülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, basınçlı kap tasarımında ayrıntılı bir analiz yapılmalı ve sistem üzerinde etkili olabileceği düşünülen tüm parametreler tespit edilip hesaplamalara dahil edilmelidir.

İmalat sektörünün değişik alanlarında kullanılmakta olan basınçlı kapların tasarımında farklı kurallar uygulanmakta olup bu durumda basınçlı kapların hem üretimi hem de birleştirilmesi süreçlerinde sorunla ortaya çıkmaktadır. Bu tasarım kurallarının temel farkı, kullanılacak malzemenin öngörülen tasarım gerilmeleridir. Tasarımın bir bölgede yapılıp, farklı bir bölgede üretimi yapılan ve başka bir bölgede de birleştirilmesi yapılan bir çeşit basınçlı kap için, tasarım kurallarının hangisibaz alınarak işlemin gerçekleştirileceği konusunda sorunlar oluşmaktadır. Bu tip sorunların ortadan kaldırılması, sadece bir tek tasarım kuralının kabul edilmesi ile mümkün olabilmektedir.

2002’de yürürlüğe giren EN 13445 standardı da basınçlı tank dizayn ve imalatında yaygınlaşarak kullanılmaya başlanmıştır. Aşağıda yer alan Çizelge 2.1’de farklı standartlarda et kalınlığının hesaplanması irdelenmiştir.

Çizelge 2.1. Standartlara göre gövde cidar kalınlık formülü.

	EN 13445	AD Merk.	ASME VI
Gövde Cidar Kalınlığı	$e = \frac{P \cdot D_i}{4f \cdot z - P}$	$s = \frac{D_a \cdot p}{40 \frac{K}{S} \cdot v + p}$	$t_r = \frac{P_d \cdot R}{2S_m E_1 + 0.8P_d}$

Bir basınçlı kap tasarımı yapılacağına ürünün kullanılacağı işletmenin kullanım

sıcaklığı ve ortam basıncı ile kap ölçüleri, başlık türü, malzemenin özelliği, iç parçalar, aşınma payı, boru bağlantı tipleri, giriş-çıkış boyutları ve bölgesel iklim koşulları gibi tasarım koşullarının öncelikle belirlenmesi gereken unsurlardır.

Bu tasarım kriterlerinden başka yerleşim, temel koşullar vb. diğer etkenler de göz önüne alınmalıdır. Ayrıca tasarıma ekonomik yönden yaklaşmak gerekir. Bütün bu durumların ötesinde tasarım mühendisi kap ölçümlerini standart malzemelerle üretilebilecek biçimde belirlemesi gerekmektedir.

Basıncılı kap için etki eden tüm kuvvetlere iç veya dış tasarım yükü olarak adlandırılır. Tasarım işlemine başlamadan evvel, kabın çalışma koşullarındaki gerçek tasarım değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yük belirleme işleminden sonra, bu yüklerin sisteme etkileyecek olan değerleri incelenmelidir. Bu incelemeler esnasında geliştirilmiş standartların, deneysel sonuçların ve teorik yaklaşımların dikkate alınması kaçınılmaz olmalıdır.

Basıncılı kaba etki eden ve tasarım esnasında dikkate alınması gereken ilgili koşullar şu şekilde sıralanabilir:

2.2.1. Basınç

Katı, sıvı ve gaz (açık hava) halindeki maddeler temas ettikleri bütün yüzeylere kuvvet uygular ve birim yüzeye dik biçimde etkileyen bu kuvvete basınç adı verilir. Basınç skaler bir büyüklüktür ve P ile gösterilir.

2.2.1.1. Çalışma Basıncı

Basıncılı kabın olağan çalışma koşullarında etkilendiği basınçtır. PS ile gösterilir. Genellikle iç basınçın, azami çalışma basıncını geçmesi uygun görülmez. Fakat, çalışma basıncının da kısa sürelerle % 10 oranında aşılabilir olması mümkündür.

2.2.1.2. Olağan Tasarım Basıncı

Basıncılı kap tasarımı sürecinde göz önünde bulundurulmuş ana parametrelerden biridir.

Sadece iç basınca maruz kalan basınçlı kapların tasarımı sürecinde tasarım basıncı olarak yalnız iç basınç, sadece dış basınca maruz kalan basınçlı kapların tasarımı esnasında ise tasarım basıncı yalnız dış basınç, iç ve dış basınç etkileri altında çalışan basınçlı kapların tasarımı sürecinde de tasarım basıncı bu iki basınç değerinin farkına eşit olarak kabul edilir. Büyük olmayıp yüksek basınca maruz kalmayacağı bilinen basınçlı kapların en büyük çalışma basıncının %10 veya 2.1 kg/cm^2 (hangisi daha büyük ise) daha fazlası tasarım basıncı olacak şekilde düşünülerek kullanılmalıdır. Tasarım sürecinde değerlendirilen en küçük tasarım basıncının 3.5 kg/cm^2 den daha az olamayacağı bilinmelidir.

2.2.1.3. İzin Verilen En Büyük Çalışma Basıncı

Yenime (aşınma payı) uğramış (yenim payı yok varsayılarak), tasarım sıcaklığı altında, olağan çalışma koşullarında ve iç basınca ek olarak rüzgar, dış basınç, hidrostatik basınç vb. gibi ek yükler altında izin verilen en büyük çalışma basıncı genellikle flanş, boru bağlantı ağzı vb. gibi küçük elemanlar yerine gövde veya başlık kısımları göz önüne alınarak belirlenir. İzin verilen en büyük çalışma basıncı belirlenen koşullar altındaki basınçlı kabın en zayıf elemanı için izin verilen iç basınçtır.

2.2.2. Sıcaklık

Tasarım sıcaklığı, genellikle bir tasarım yükü olmayıp ağırlıkla çalışma ortamının system üzerine etkileri için yapılacak olan analizinde dikkate alınması gereken bir faktördür. Yüksek ısıya sahip koşullarda çalışacak olan basınçlı kapların ısı değişkenliği, basınç kabı üzerine sıcaklık gradyanına neden olur. Fakat her koşulda ısıl gerilmeler hesaplanarak toplam gerilmelere dahil edilir. Basınçlı kaba gelen akışkanın herhangi bir hata nedeniyle daha çok sıcak gelme olasılığı varsa bu durumun da göz önüne alınması gerekir.

2.2.3. En Küçük Et Kalınlığı

Kabul edilebilir olan en küçük et kalınlıkları; 1.6 mm yenim payı içinde olmak üzere

karbon çeliği için 6.4 mm ve paslanmaz çelik için 4.75 mm olarak önerilir. Ayrıca EXCEL formatında farklı standartlara göre tablolar oluşturularak basınçlı kabın, istenilen malzemenin özelliklerine göre kabul edilebilir minimum et kalınlıklarının kolayca hesaplanması sağlanabilmektedir [8].

2.2.4. Rüzgar

Rüzgar, değişken hızlarda gerçekleşen çok yüksek bir hava akış türüdür. Yeryüzüne paralel olduğu kabul edilmektedir. Rüzgarın hızı, V , yer yüzeyine sürtünmesi durumundan etkilenir ve yüksekliğe çıktıkça artar.

2.2.5. Statik Veya Dinamik Yükleme

Sistemde, bulundurduğu yük koşullarının dışında, dinamik ya da statik yüklemeler var ise bu yüklerin de genel tasarım yük toplamına ilave edilmesi gerekir. Bilhassa, basınçlı kapların bir yerden farklı bir noktaya taşınımı esnasında, oluşabilecek titreşimler nedeniyle düşük veya uzun süreli, statik ve dinamik yüklemelerin olacağı unutulmaması gerekmektedir.

2.2.6. Ağırlık

Ağırlık (ölü yükler); Geren ve Tunç'a göre [8], basınç kabı ve bağlantı ekipmanlarının ağırlık durumlarından kaynaklanır. Basınç tankına bağlantı ve herhangi bir şekilde yükleme olmadan alınan yük değerine ölü yük değeri adı verilir. Eğer basınç kabı operasyon sırasında ise bu tür yük değerine operasyonel ölü yük değeri denir.

2.3. BASINÇLI KAP ÇEŞİTLERİ

Basınçlı kap çeşitleri kullanıldıkları alanlara göre aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kompresörler,
- Gaz tüpleri,

- Boru hatları,
- LPG tankları,
- Kazanlar,
- Hava tankları,
- Hidrolik akışkan devreleri,
- Sınai gaz tankları,
- Soğutma üniteleri,
- Kriyojenik tanklar,
- Otoklavlar (iç basınca dayanıklı kaplar),
- Pnömatik akışkan devreleri,
- Hidrofor (basınçlandırma sistemleri) vb.

2.4. BASINÇLI KAPLARDA MALZEME VE YENİM PAYI

2.4.1. Malzeme

Malzeme seçiminde birinci planda maliyet unsurları düşünülür ayrıca hammadde alımı, malzemenin imalatı, kaynak kabiliyeti, işlenebilirliği de göz önüne alınmalıdır. Malzeme seçiminde; malzemenin özellikleri, korozyon dayanımı, işletmenin sıcaklığı ile basıncı, çekme dayanımı, akma gerilmesi, emniyet ve aşınma katsayısı, hidrojen etkisi, kırılma analizi ve ticari inceleme faktörleri de göz önüne alınması gerekir. Basınçlı kap imalatında genel anlamda kullanılmakta olan malzeme türü karbonlu çeliklerden oluşur. Bunun yanı sıra bazı özel koşullarda demir dışı metaller (Ni, Al, v.b.), ostenitik çelikler ve ferritik çeliklerde kullanılmaktadır.

En yaygın metalik kaplama malzemeleri; ferritik alaşım türleri, nikel ve kurşundan oluşur. Metal dışı kaplama malzemelerini ise ısı yalıtımında kullanılan malzemeler, sığağa dayanımlı malzeme türleri, kauçuk, cam ve plastiklerden oluşmaktadır. Basınçlı kaplarda kullanılacak malzeme seçiminde işletme basıncı ve içinde depolanacak ürünün özellikleri göz önüne alınmalıdır. Karbon çeliği için kullanımı 425 °C sıcaklık ile sınırlandırılmıştır. Bu değerin aşıldığı sıcaklıklar için basınçlı kabın uzun süre kullanılması önerilmez.

Akışkanın, kap üretiminde kullanılacak metal üzerindeki aşınma etkisi kesinlikle incelenmelidir. Aşınma etkisi çok olan bir akışkanın depolanması durumunda karbon çeliği ana gövde içine yenime dirençli ve yüksek alaşımli kaplama metali konulabilir. Çeşitli malzemeler için esneklik modül değerleri Çizelge 2.2’de, yaygın olarak kullanılan karbon ve düşük alaşımli çeliklerin uygulanma yerleri Çizelge 2.3’te, sıcaklıklara göre izin verilen en büyük gerilim (çekme koşulu için) değerleri Çizelge 2.4’te ve ısıl genişleme katsayıları Çizelge 2.5’te gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Çeşitli malzemeler için esneklik modülü değerleri.

SICAKLIK, °C	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
MALZEME	E S N E K L İ K M O D Ü L Ü , E , (Kg/mm ²)x10 ³															
Karbon Çeliği (Karbon miktarı %0,30 veya daha az), %3,5 Ni	19,6	19,5	19,2	19,0	18,7	18,2	17,7	16,9	14,9	12,2	10,5	8,9				
Karbon Çeliği (Karbon miktarı % 0,30’dan fazla)	21,0	20,7	20,3	19,9	19,4	18,8	18,2	17,3	16,0	14,5	12,6	10,2	7,8			
C-Mo ve Düşük Kromlu (%3 Cr) Çelikler	21,0	20,7	20,4	20,1	19,8	19,3	18,9	18,4	17,7	16,9	15,7	13,9	10,9			
Orta Kromlu (%5-9 Cr) Çelikler	19,3	19,0	18,8	18,6	18,4	18,0	17,6	17,2	16,8	16,4	15,9	15,3	14,6	13,8	12,9	
Östenitik Paslanmaz Çelikler (TP304, 310, 316, 321, 347)	19,9	19,4	19,0	18,7	18,5	18,0	17,6	17,2	16,7	16,3	15,9	15,4	15,0	14,6	13,8	12,9
Düz Kromlu Çelikler (%12,17,27 Cr)	20,5	20,2	19,9	19,5	19,1	18,4	17,7	16,8	15,6	14,3	12,6	10,7	8,5			

Çizelge 2.3. Karbon ve düşük alaşımli çeliklerin uygulanma yerleri.

ŞEKİL	ANMA ALAŞIMI	ŞARTNAME NO.		ÇEKME DAY. (kg /mm ²)	AKMA DAY. (kg /mm ²)	UYGULAMA YERİ	NOTLAR
		ASTM	DIN #				
Levha	C	SA-283-C	St 37-2	38,67	21,09	Yapı çeliği. Bazı sınırlamalarla (Bak Not 1) basınçlı kaplarda kullanılabilir.	1
	C	SA-285-C	H II	38,67	21,09	Sabit servislerdeki kazanlar ve diğer basınçlı kaplar	2,6
	C-Si	SA-515-55	H II	38,67	21,09	Orta ve yüksek sıcaklık servislerinde	3
	C-Si	SA-515-60	H III	42,19	22,50	"	3
	C-Si	SA-515-65	H IV	45,70	24,61	"	3
	C-Si	SA-515-70	19Mn5	49,22	26,72	"	3
	C-Si	SA-516-55	Ast 41	38,67	21,09	Orta ve düşük sıcaklıktaki servislerde	3,8
	C-Si	SA-516-60	Ast 45	42,19	22,50	"	3,8
	C-Si-Mn	SA-516-65	Ast 45	45,70	24,61	"	3,8
C-Si-Mn	SA-516-70	Ast 52	49,22	26,72	"	3,8	
Flanş ve Fitting	C-Mn-Si	SA-105-B	19Mn5	49,22	25,31	Yüksek sıcaklıktaki servislerde	2,3
	C-Si	SA-181-I	RSt 42-2	42,19	21,09	Genel servislerde	2,3
	C-Mn	SA-350-LF1	-	42,19	21,09	Düşük sıcaklıktaki servislerde	-
Cıvata	C-Mn	SA-53-B	St 45	42,19	24,61	Genel servislerde	2,3,4,7
	C-Mn	SA-106-B	St 45,8	42,19	24,61	Yüksek sıcaklık servislerinde	3
Saplama Boru Somun	%1Cr-%1/2Mo	SA-193-B7	42CrMo4	87,89	73,82	Yüksek sıcaklık servislerinde	-
		SA-194-2H	C 45	38,67	-	Yüksek sıcaklıktaki somunlar	-
		SA-307-B	5D	38,67	-	Genel kullanım için cıvata	5

* Tablo'da belirtilen dayanım değerleri ASTM'e uygun malzemeler için verilmiştir.

Çizelge 2.4. Karbon ve düşük alaşımlı çelikler için izin verilen gerilim değerleri.

SICAKLIK(°C) MALZEME	ISIL GENLEŞME KATSAYISI, mm/m (Her °C için) $\times 10^{-3}$, (20 °C ile aşağıdaki sıcaklık arası)																
	-100	-50	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Karbon Çeliği, C-Mn, Düşük Kromlu (%3 Cr) Çelikler	-10,3	-10,6	11,3	11,5	11,9	12,2	12,6	12,8	13,1	13,5	14,0	14,2	14,4	14,6	14,8	14,9	15,1
%5Cr-Mn ile %9Cr-Mn Çelik- ler	-10,1	-10,4	10,8	11,0	11,2	11,3	11,7	12,1	12,2	12,4	12,6	12,8	13,0	13,1	13,3	13,5	13,7
%12,17,27 Cr Çelikler	-9,4	-9,5	9,9	10,1	10,3	10,4	10,8	11,0	11,2	11,3	11,5	11,7	11,9	12,1	12,2	12,4	12,4
Östenitik Pas- lanmaz Çelikler (%18Cr-%8Ni)	-16,0	-16,2	16,6	16,7	17,1	17,3	17,5	17,6	17,8	18,0	18,2	18,4	18,5	18,7	18,9	19,1	19,1

Çizelge 2.5. Isıl genleşme katsayısı değerleri.

MALZEME		METAL SICAKLIĞI, °C									
ASTM No	DIN Karşıtı	-20	340	375	400	425	450	475	500	525	550
		* İZİN VERİLEN GERİLİM DEĞERLERİ, Kg/mm ²									
SA-283-C	St 37-2	8,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA-285-C	H II	9,70	9,28	8,50	7,28	6,12	4,92	-	-	-	-
SA-515-55	H II	9,70	9,28	8,50	7,28	6,12	4,92	3,73	2,74	2,11	-
SA-515-60	H III	10,55	9,98	9,14	7,73	6,40	5,00	3,73	2,74	2,11	-
SA-515-65	H IV	11,46	10,76	9,77	8,16	6,61	5,06	3,73	2,74	2,11	-
SA-515-70	19Mn5	12,30	11,60	10,41	8,58	6,89	5,20	3,73	2,74	2,11	-
SA-516-55	ASt 41	9,70	9,28	8,50	7,28	6,12	4,92	3,73	2,74	2,11	-
SA-516-60	ASt 45	10,55	9,98	9,14	7,73	6,40	5,00	3,73	2,74	2,11	-
SA-516-65	ASt 45	11,46	10,76	9,77	8,16	6,61	5,06	3,73	2,74	2,11	-
SA-516-70	ASt 52	12,30	11,60	10,41	8,58	6,89	5,20	3,73	2,74	2,11	-
SA-105	17Mn4	12,30	11,60	10,41	8,58	6,89	5,20	3,73	2,74	2,11	-
SA-181-I	RSt42-2	10,55	9,98	9,07	7,73	6,33	5,00	3,73	2,74	2,11	-
SA-53-B	St 45	10,55	9,98	9,14	7,73	6,40	5,00	3,73	-	-	-
SA-106-B	St 45.8	10,55	9,98	9,14	7,73	6,40	5,00	3,73	2,74	2,11	-

* Tabloda belirtilen gerilim değerleri ASTM'e uygun malzemeler içindir.

Basınçlı kaplar konusunda, değişik malzemelerle çok sayıda farklı çözüm bulunmaktadır. İstenen yüksek emniyet gerekliliği için bu tür basınçlı kapların ağırlıkları genel olarak yüksek çıkmaktadır.

Kompozit malzemedan üretilen basınçlı kaplar aynı büyüklükteki bütünüyle çelikten imal edilen kaplara göre çok daha hafif olabilmektedir. Örnek olarak cam elyafla kaplanmış alüminyum gövde verilebilir. Bu kombinasyon, alüminyum ile cam elyafla maksimum malzeme özelliklerinin kullanılmasına olanak tanımaktadır.

2.4.2. Yenim

İstenen ömrü boyunca, basınçlı kapların ve parçalarının yenim (aşınma payı), nedeniyle incelmeyle karşılaşmaları durumunda, malzeme kalınlığı, tasarım

bağıntıları sonucunda bulunan kalınlığından daha çok olmalıdır.

“ASME Boiler and Pressure Vessel Code” içerisinde buhar, su veya basınçlı hava servislerinde kullanılan ve en küçük kalınlıkları 6 mm’den az olan kaplar için aşınma payı, hesaplanan levha kalınlığının 1/6’sından az olamayacağını belirten bir kural bulunmaktadır.

Diğer kaplar için yenim hızı tasarımcı tarafından tahmin edilmelidir. Yenim etkisi bilinmez ise, yenim payı tasarımcının deneyimine göre saptanır. Genellikle kaplar ve borular için senede 0.15 mm yenim hızı yeterlidir.

Basınçlı kabın istenen ömrünün saptanması ekonomik bir sorudur. Büyük kaplar genellikle daha uzun (15-20) yıl küçük kaplar ise daha kısa (8-10) yıl çalışma ömrüne göre tasarlanırlar. Basınçlı kabın çeşitli bölümlerine değişik yenim etkisi oluyorsa kabın her tarafında aynı yenim payını hesaplanan kalınlığa eklemek gerekmez.

Yenim hızını ölçmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanı yenim problemleri ve ultrasonik kalınlık ölçme cihazlarının kullanılmasıdır.

Yenim etkisindeki kaplarda boşaltma deliği bulunmalıdır. İç yenim erozyon veya mekanik aşınmayla karşılaşan bütün basınçlı kaplarda adam giriş veya kontrol deliği olmalıdır. Yenimi önlemek amacıyla, yenime dirençli malzemeler kap malzemesinin bütünü olarak değil yalnızca iç kaplama olarak kullanılır. Mekanik aşınmayla karşılaşan kaplarda, kabın bu bölümü, kaynakla veya civata ile bağlanmış çarpma plakaları ile korunmalıdır. Yenim olan kaplarda, iç parçalar kap gövdesine sürekli kaynak edilmeli ve boşluklar ile dar ceplere izin verilmemelidir [9].

2.5. BASINÇLI KAPLARDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Basınçlı kaplarda genellikle tozaltı ark kaynağı, MIG-MAG kaynağı, örtülü elektrot kaynağı ve TIG kaynağı kullanılır. Tozaltı ark kaynağı silindir ve bombe kaynaklarında kullanılır. Yöntem oldukça hızlıdır. Kullanılan tozların hem koruma

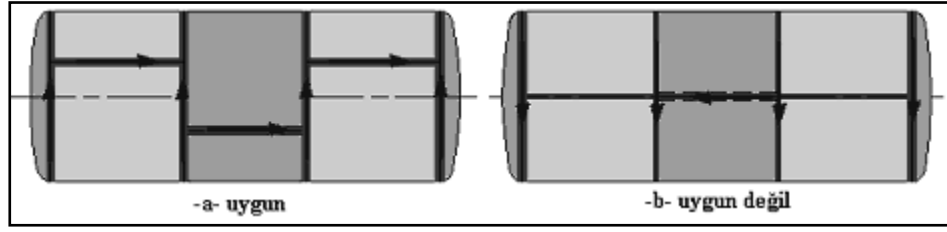
hem de dikişi alaşımlandırma görevi vardır. Aynı zamanda soğuma hızında da etkilidir. TIG kaynağı ise genel olarak silindire/küreye kaynaklanması gereken boru, kapak, nozul gibi elemanların kaynaklanmasında kullanılır. Elektrik ark kaynağıysa üretimden ziyade tamir amaçlı olarak kullanılır. Tahribatsız muayene ile belirlenen hata işaretlenir ve o bölgenin kaynağı kazınır. Elektrik ark kaynağıyla tekrar doldurulup teste gönderilir. Üretim aşamasında uygulanan tüm tamir işleri tutulan dosyaya kayıt edilmek zorundadır. MIG-MAG kaynağıysa hem tamir hem üretim amaçlı kullanılır. Dikiş kalitesini artırmak için özlü teller sıklıkla kullanılır [7].

2.5.1. Kazan ve Basınçlı Kaplarda Kaynak Bağlantısı

Kaynak; çelik konstrüksiyon, kazan, depo, gemi inşaati ve makine endüstrisinde parça, eleman imalatında kullanılmaktadır. Köprü, bina, vinç, uçak vb.'de çelik sac, çeşitli profiller ve boruların bağlantılarında kaynak çok kullanılır. Gaz, hava, su, sıcak su depolarında ve buhar kazanlarında kaynak bağlantıları tercih edilir. Makine imalatında, özellikle az sayıda yapılacak elemanlarda kaynak bağlantısı daha elverişli ve ekonomiktir.

Kazan ve basınçlı kaplarda kaynak dikişlerinden mutlak sızdırmazlığın yanı sıra yüksek emniyette istenir. Bu tip bağlantılarda yalnız alın kaynağı kullanılmalıdır. Ancak bazı özel hallerde köşe kaynağı kullanılmasına müsaade edilebilir. Bağlantılarda köşe kaynağı kullanılması halinde çift taraflı köşe kaynağı tercih edilmelidir. Kaynak dikişleri tahribatsız muayene metodları ile kontrol edilmeli, kazan ve basınçlı kaplar işletmeye alınmadan önce basınç ve sızdırmazlık testine tabii tutulmalı, kaynak dikişlerinde hiçbir dikiş hatasının olmamasına dikkat edilmelidir.

Basınçlı kapların yapımında, uçlarda sac kullanılması ve tam kenarlarda köşe kaynağı yapılması eğilme zorlanmalarından dolayı uygun bir konstrüksiyon değildir. Konstrüksiyonun aşağdaki şekildeki gibi uygulanması daha doğrudur. Şekil 2.1'de uygun ve uygun olmayan kaynak görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.1. Kazan kaynak dikişlerinin dağılımı.

Kazan ve basınçlı kapların imalinde standart boydaki sac levhalar kaynak edilerek birleştirilir. Bu gibi durumlarda aynı noktaya birkaç dikişin gelmesini önlemek için uzunlamasına kaynak dikişleri kaydırılmalıdır.

2.5.2. Kaynağa Elverişli Malzemeler

Kaynak edilecek malzemelerin kaynağa uygun özelliklere sahip olması mukavemete etki eder. Bazı önemli malzemelerin kaynak yapılabilme bakımından özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

a) Karbonlu Çelikler: Bu çeliklerin kaynak olabilme kabiliyeti karbon ve alaşım miktarına bağlıdır. Yaklaşık olarak karbon miktarı % 0,3 olan çelikler kolayca kaynak edilebilir. Karbon ve (veya) alaşım miktarı arttıkça, kaynak olabilme kabiliyeti azalır. Silisyum, mangan, fosfor ve kükürt malzemenin kaynak olabilme özelliğini düşürür. Bakır, nikel, krom, molibden ve vanadyumun kaynak yönünden bir zararı yoktur.

b) Kır Dökme Demir: Tamir zorunluluğu olduğu hallerde kır dökme demir kaynak edilir. İnce cidarlı parçalarda gaz ergitme, kalın cidarlı parçalarda ark kaynağı kullanılmaktadır. Büyük parçaların kaynağında kaynaktan önce parçaların düzgün bir şekilde ön ısıtmaya tabii tutulması uygun olur.

c) Temper Döküm: Karbonu alınmış beyaz temper döküm kaynak edilir.

d) Demir Olmayan Malzemeler: Saf alüminyum ve ısıtılabilir alaşımların büyük bir kısmı, bütün kaynak metodları ile kaynak edilebilir. Magnezyum

miktarının %5'ten fazla olması halinde kaynak işlemi zorlaşır. Prinç, bronz, kızıl döküm tecrübeli bir kaynakçı tarafından tatmin edici bir şekilde kaynak edilebilir.

e) Suni Malzemeler (Plastikler): Termoplastik malzemeler, özellikle PVC sıcak hava akımında kolayca kaynak edilebilir.

2.5.3. Kaynak Bağlantılarının Fayda Ve Sakıncaları

Öncelikli olarak kaynak bağlantılarının faydalarına değinecek olursak; çeşitli çelik konstrüksiyonlarda kaynak bağlantıları perçin bağlantılarına göre daha ucuz ve yaklaşık olarak % 15-% 20 kadar daha hafiftir. Bağlantısı yapılan parçalar üzerine perçin ve civata bağlantılarında olduğu gibi delikler açılmadığından malzemede zayıflama söz konusu değildir. Kaynak bağlantılarının temizlenmesi ve korozyona karşı mukavemeti perçin ve civata bağlantılarına göre daha uygundur. Kaynak bağlantıları, perçin ve civata bağlantılarındaki gibi çıkıntılar bulunmadığından görünüş bakımından daha iyidir. Kaynak konstrüksiyonları, döküm konstrüksiyonlarına göre, daha çok büyük dişli çarklar, kayış kasnakları, dişli kutuları ve benzerleri için % 50 oranında daha hafiftir. Kaynak aparat ve makineleri kolaylıkla taşınabildiğinden büyük imalatların yerinde yapılmasına olanak sağlar ve böylece nakliye masraflarından tasarruf edilir.

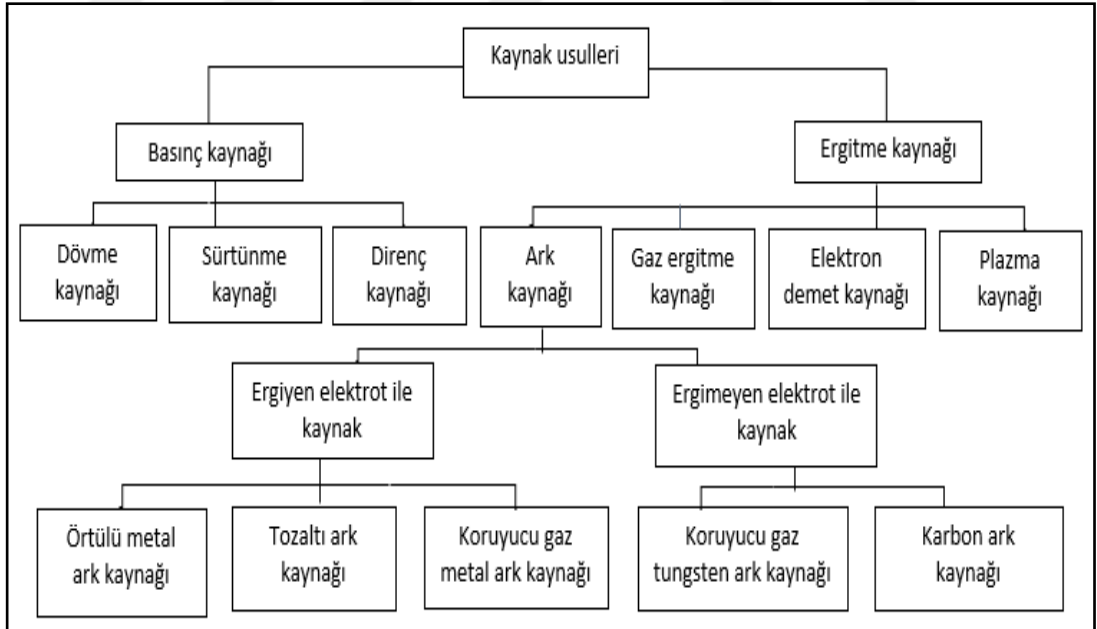
Belirtilen bu faydalı taraflarının yanı sıra işlem yapılırken sakıncaları da göz ardı edilmemelidir. Kısaca sakıncalı taraflarına değinecek olursak; kaynak ancak aynı cins malzemelerin bağlantısında kullanılır. Kaynak bağlantılarındaki yüksek sıcaklıklar nedeniyle tehlikeli ısıl gerilmeler ve bunun sonucu deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Kaynak kalitesi, dolayısıyla konstrüksiyon mukavemeti ağırlıkla malzemeye, kaynak yöntemine ve personele bağlıdır. Kaynak bölgesindeki iç gerilmelere, zorlanma sonucu oluşan dış gerilmelerin eklenmesiyle çok eksenli gerilme hali, bunun sonucunda da aniden meydana gelen gevrek kırılma olabilir. Sonuç olarak yapılacak tank ve depolar için kullanılacak saclar St 37, St 50 çeliğinden imal edilebilir. 30 kg/cm² basınca kadar kazanlarda HI-HIV olarak gösterilen çelikler kullanılır. Daha yüksek basınçlarda çalışan kazanlarda ise 17 Mn 4, 19 Mn 5 gibi alaşımlı çelikler kullanılır [9].

BÖLÜM 3

TOZALTI ARK KAYNAĞI

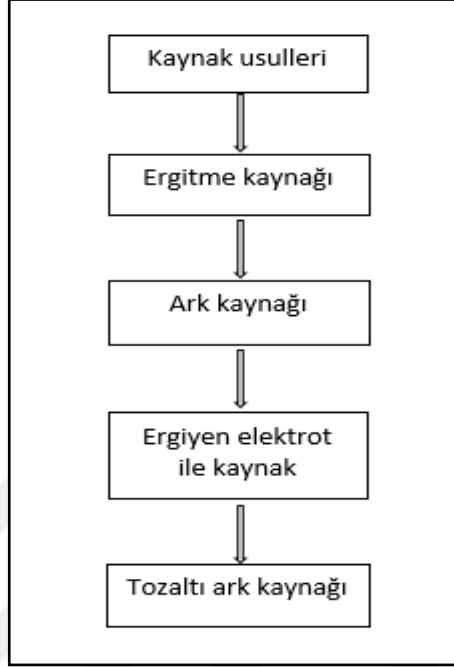
Kaynak usullerini çeşitli açılardan sınıflandırılabilir. Bunlardan ilki, uygulandığı malzeme türüne göre plastik malzeme kaynağı ve metal kaynağıdır. Bunun haricinde, doldurma ve birleştirme kaynağı gibi amacına göre sınıflandırma veya manuel kaynak, yarı otomatik ve tam otomatik kaynak ve mekanize kaynak olmak üzere kaynak yöntemi bakımından da sınıflandırma yapılabilir.

Diğer bir sınıflandırma türü ise ergitme kaynağı ve basınç kaynağı olmak üzere işlem türüne göre yapılır. Şekil 3.1’de bu sınıflandırma gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kaynak usulleri.

Kaynaklı birleştirme usulleri ergitmeli ve ergitmesiz (basınç) kaynağı olarak ikiye ayrılmakta olduğu Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında ergitmeli kaynak yönteminden tozaltı ark kaynak yöntemi ele alınmıştır.



Şekil 3.2. Ergitme kaynakları.

3.1. YÖNTEMİN TARİHÇESİ

Tozaltı ark kaynağı (Submerged Arc Welding-SAW) yöntemi ilk olarak, Pensilvanya’da kurulan bir boru fabrikası için National Tube firması tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde ilk başlarda boruların boyuna dikişlerinin kaynağını yapmak üzere tasarlanmıştır. Temel kullanımı 1930’ların sonlarında tersanelerde ve savunma sanayinde başlamıştır. Yöntemin en verimli kaynak uygulamalarından biri olması ile günümüzde güncelliğini halen daha muhafaza etmektedir. Tozaltı ark kaynak yöntemi, 1933 yılından itibaren Amerika’da yaygın kullanıma başlanılmış, 1937’den itibaren de Avrupa’da uygulama alanı bulmuştur. Türkiye’de ise sıvılaştırılmış petrol gazlarının kullanılmaya başlanmasıyla çok miktardaki LPG tüpünü imal etmek için 1960 yıllarında uygulanmaya başlanmıştır [10].

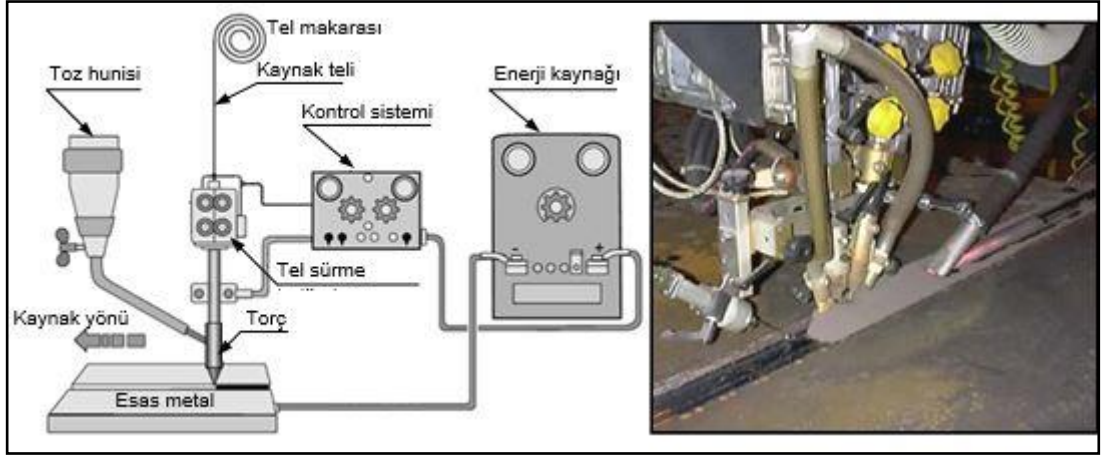
3.2. YÖNTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bu kaynak genel olarak, bir çeşit ark kaynağı türüdür. Bu kaynak türünde ark, bir tel sürme tertibatı aracılığıyla otomatik olarak kaynak bölgesine iletilen çıplak tel ile iş parçası arasında ve yine aynı şekilde kaynak bölgesine sürekli olarak gelen toz yığını altında gerçekleşmektedir. Bu nedenle bu kaynak türüne tozaltı ark kaynağı denilmiştir.

Ark bölgesi kaynak tozu tabakası ile, kaynak metali ve kaynağa yakın ana metal ile ergiyen kaynak tozu (curuf) tarafından korunmaktadır. Tozaltı ark kaynağında elektrik, ergimiş metal ile ergimiş curuftan oluşan kaynak banyosundan geçmektedir. Arkta oluşan ısı elektrodu, kaynak tozunu ve ana malzemeyi eriterek kaynak ağzını dolduran kaynak banyosunu oluşturmaktadır. Aynı zamanda koruyucu görevi de yapan kaynak tozunun ayrıca, kaynak banyosu ile tepkimeye girerek kaynak metalini deokside etmektedir. Alaşımli çelikler için kaynak esnasında kullanılanmakta olan kaynak tozlarında, kaynak metalinin kimyasal alaşım değerlerini destekleyen alaşım elementlerinin bulunmasına özen gösterilmelidir.

Genel olarak tozaltı ark kaynak yöntemi otomatik bir kaynak yöntemi olarak uygulama alanına sahiptir. Bazı uygulamalarında iki ya da daha fazla elektrod yüksek dolgu eldesi amacıyla aynı anda kaynak ağzına sürülebilmektedir. Şekil 3.3'te tozaltı ark kaynak donanımı görülmektedir.

Kaynak sürecinde genel olarak makine hareket eder, parça sabit tutulur. Silindirik malzemelerin kaynağında ise malzeme döner, kafa sabit tutulur. Çoğu durumda, uygulamada otomatik makinalar özel raylar üzerinde hareket ederler. Endüstride son zamanlarda büyük sacların birleştirilmesinde sabit parça üzerinde hareket edebilen seyyar kaynak makinaları sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 3.3. Tozaltı ark kaynağı (şematik ve fotoğraf olarak).

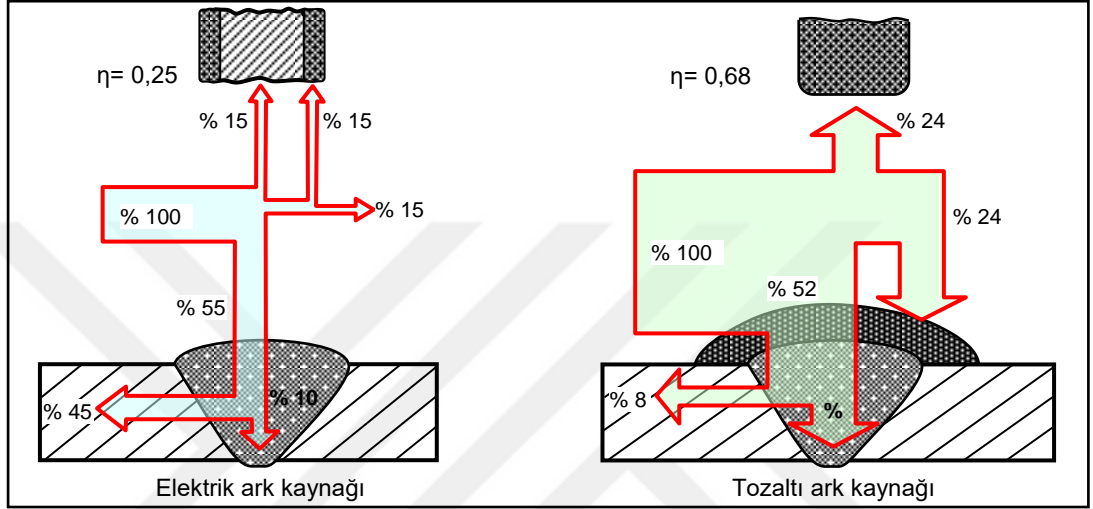
Tozaltı ark kaynak yöntemi, sadece yatay kaynak dikişleri için uygundur. Her ne kadar bugün özel teçhizatlarla korniş ve dik kaynak uygulamaları yapabilmeye olanağı olsa da, tavan kaynağı uygulamasını bu yöntem ile yapabilmeye olanağı yoktur denilebilir. Boru kaynağı uygulamalarında, mütemadiyen borunun döndürülmesiyle bu yöntemle kaynak yapmak mümkün hale gelmektedir. Tozaltı ark kaynak yönteminin uygulama alanları yapı, basınçlı kap ve paslanmaz çelikler üzerinde yaygın kullanıma sahiptirler.

Tozaltı ark kaynak yönteminin temel özellikleri;

- Yüksek kaliteli ve düzgün kaynak dikişi
- Yüksek kaynak hızı ve kaynak gücü
- Kalın malzemelere uygulanabilirlik
- Yüksek metal yığılma oranı
- Derin nüfuziyet
- Özel koruyucu emniyet tedbirlerine gereksinim olmaması
- Kolay temizlenebilir curuf.

Kaynak yönteminde birleşmesi istenen yüzeyler iyi temizlenmeli, aynı zamanda kaynak teli ve tozu ile parametreler uygun seçilmesiyle kaliteli bir kaynak metali elde edilmesi mümkün olur. Bu kaynak metodu genellikle yüksek akım değerlerinde çalıştığından ön ısıtma ihtiyacı arz etmez.

Elle yapılmakta olan ark kaynağında çevreye ışık ve ısı enerjisi olarak elektrik enerjisi kaybı çoktur. Şekil 3.4'te elektrik ark ve tozaltı ark kaynağında ısı bilançosu verilmiştir. Tozaltı ark kaynak yönteminde elektrik enerjisinin büyük bölümü kaynak işlemi için kullanılmakta ve bu nedenle büyük enerji tasarrufu sağlanmaktadır.



Şekil 3.4. Elektrik ark ve tozaltı ark kaynağında ısı bilançosu [10].

3.3. TOZALTI ARK KAYNAĞININ UYGULANMA ALANLARI

Tozaltı ark kaynağı, düşük karbonlu çelik (< % 0.3 C) varillerin kaynağı için oldukça uygundur. Ön tav ve kaynak sonrası ısıl işlemlerle orta karbonlu çelik türleri, alaşımlı çelikler, bazı dökme demirler, bakır alaşımları ve nikel alaşımları kaynaklanabilirler. Yöntemin yaygın olarak kullanıldığı bazı kaynaklı uygulamalar;

- Dolgu kaynakları
- Çelik konstrüksiyonlar
- LPG tüpleri imalatı
- Köprü ve vinç imalatı
- Profil (I, H, T) yapımında
- Kazan, depo, tank imalatı
- Açık ve kapalı profillerin imalatı

- Basınçlı kap imalatı
- Ağır makina imalatı
- Gemi inşaatı
- Yuvarlak, boyuna, içten, dıştan, spiral boru kaynakları
- Metal kaplama işlemleri

3.4. TOZALTI ARK KAYNAĞININ PRENSİPLERİ

- Örtüsüz ve sürekli bir tel elektrodla ergiyik metal banyosunu havann olumsuz etkilerden koruyan bir tür kaynak tozu (Flux) kullanılmaktadır.
- Ark, kaynak teli ile iş parçası arasında meydana gelir ve bir toz örtüsü ile korunduğundan görülmez.
- Tozaltı ark kaynak yöntemi ile yüzey kaplama işlerinde zaman zaman özlü tellerden de yararlanılmaktadır.
- Yöntemin bütün ekonomik avantajlarının kullanılabilmesi için kaynak ağızları uygun şekilde seçilmeli ve hassas olarak hazırlanmalıdır. Bu yapıldığı takdirde kök hataları ve yanıklar içermeyen düzgün ve kaliteli dikişler elde edilir.
- Bu sistemlerde tel besleme makaraları ve kaynak başlığı, ark bölgesi yakınlarında birlikte çalıştıklarından büyük çaplı teller ile kaynak yapmak mümkündür.
- Tozaltı ark kaynağında ark tümüyle kaynak tozunun altında gömülü olduğundan çok yüksek kaynak akımlarının uygulanması sıçramaya neden olmaz.
- Genel olarak telin her “mm” çapı için 100/120 amper akım kullanılır. Yani 5 mm çapında telin akım değeri 500/600 amperdir.
- Tozaltı ark kaynağı genellikle 500-1500 amper akım bölgesinde ve çoğu zaman 1000 amperlik akımla gerçekleştirilmesine karşın 150 ampere kadar düşen ya da 5000 ampere kadar çıkan akım değerlerinin kullanıldığı durumlarda vardır.
- Tozaltı ark kaynağında hem alternatif akım (AC) hem de doğru kullanılabilir. Alternatif akım (AC) ile ulaşılan yığıma oranları, doğru akım pozitif kutupta elde edilenlere oranla daha yüksektir.
- Tozaltı ark kaynak yönteminde, tek elektrodla kaynak yöntemlerinin yanında Şekil 3.5. (a), birbirinden ayrı akım taşıyan iki tel elektrodla (Tandem sistemleri) Şekil 3.5. (b), iki elektrod paralel olarak bir akım memesi içerisinde ortak bir tel sürme makarası tarafından iletilerek, kaynak arkı birbirine seri olarak bağlanmış

iki elektrod ve tel elektrod yerine bant şeklinde elektrodlar kullanılarak yöntem daha etkin bir biçimde kullanılabilir [10].

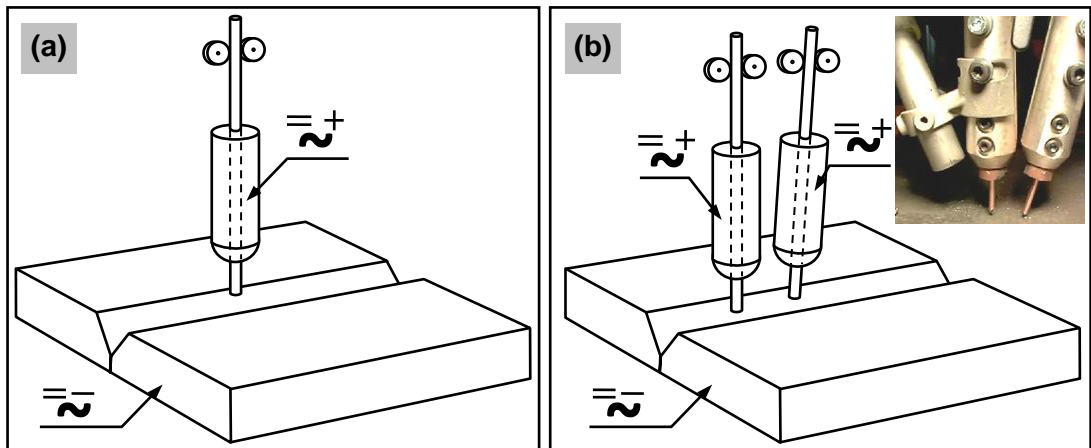
3.5. TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ

3.5.1. Tandem Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi

Birbirini izleyen ve aynı yörüngede hareket eden iki elektrod ile yapılan bir tozaltı ark kaynak yöntemidir. Bu yöntem bilhassa payplaynların (boru hattı, boru yolu) kaynaklı birleştirilmelerinde kullanılmaktadır. Bu yöntemin sağladığı başlıca avantajlar şu şekilde ifade edilebilir:

- Çatlamaya karşı emniyetlidir.
- Yüksek kaynak hızları elde edilir.
- Yüksek kaliteli dikişler elde edilir.
- Gözenek teşekkülü nadirdir.

Şekil 3.5 a'da tek elektrodlu (single wire) tozaltı ark kaynak yöntemi şematik ve Şekil 3.5 b'de ise tandem tozaltı ark kaynak yöntemleri şematik ve fotoğraf olarak verilmiştir.



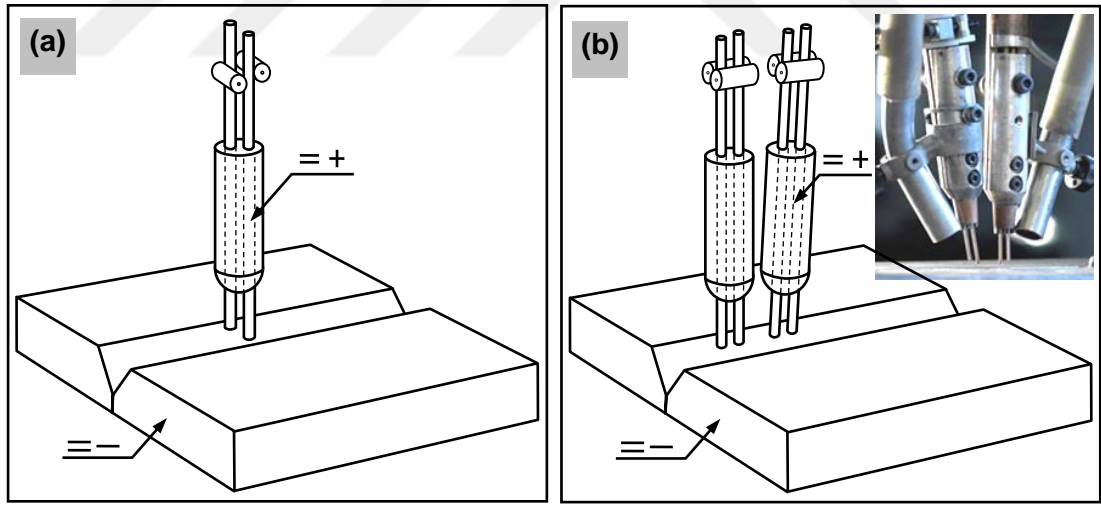
Şekil 3.5. a) Tek elektrodlu (single wire) ve b) tandem tozaltı ark kaynak yöntemleri.

3.5.2. Paralel Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi

Bu yöntemde iki tel kaynak dikişne dik bir düzlemededir ve aynı kafaya bağlı olarak çalışırlar. Bu yöntemin sağladığı avantajlar şunlardır:

- Kaynak banyosunun parçayı delip, akma tehlikesi yoktur.
- Nüfuziyet kontrol altına alınabilir.
- Dikiş yüksekliği ve nüfuziyet oranını değiştirme olasılığı vardır. Bu husus dolgu kaynaklarında büyük öneme sahiptir.
- İki parça arasında köprü kurabilme sınırı daha yüksektir. İki parça arasındaki aralık 1,5 mm'ye kadar çıkabilir.

Şekil 3.6 a'da paralel iki elektrodlu (paralel twin wire) tozaltı ark kaynak yöntemi şematik ve Şekil 3.6 b'de ise tandem iki elektrodlu (tandem twin wire) tozaltı ark kaynak yöntemi şematik ve fotoğraf olarak verilmiştir.



Şekil 3.6. a) Paralel iki elektrodlu ve b) tandem, iki elektrodlu tozaltı ark kaynak yöntemleri.

3.5.3. Seri Kaynak Yöntemi

Bu yöntemde nüfuziyet çok az miktarda olur. Yöntemde ana malzemeyle kaynak teli karışım oranlarının kontrolü mümkün olabilmektedir. Yöntemin adından da anlaşıldığı üzere, arklar seri bağlanmış olup, iki ayrı kaynak kafası kullanılır. Akım

üreticinin her bir ucu bir elektroda bağlanmıştır ve parçada ayrıca bir bağlantı yoktur. Böylece iki elektrot arasında meydana gelen arkın etkisiyle parçadaki ergime çok az olur.

Bu yöntemin sağladığı avantajlar ise şunlardır:

- Seri kaynağın tek telle yapılan kaynağa nazaran, ergime gücü yüksektir.
- Toz sarfiyatı daha azdır.
- Giriş (nüfuziyet) az olduğu için, ince sacların ve kaplanmış sacların kaynağı için uygun bir yöntemdir.

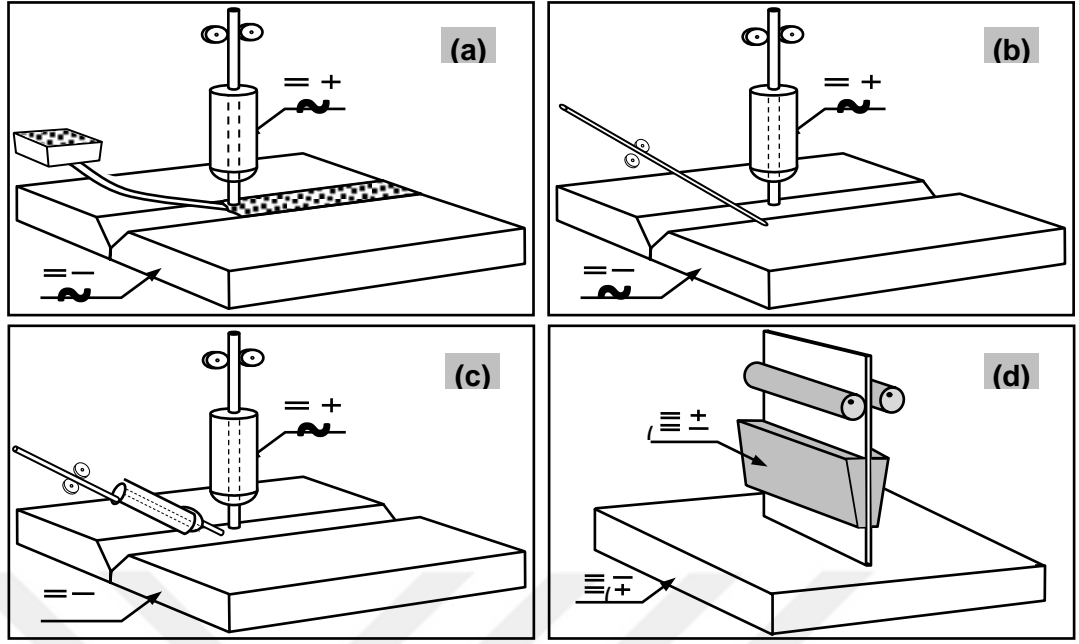
3.5.4. Band Elektrodla Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi

Bu yöntemde tel formundaki elektrod yerine band formunda şerit elektrod kullanılır. Bant elektrodlar genellikle dikdörtgen forma sahiptir ve oluşan ark elektrodun bütün kesitinde oluşmaktadır. Elektrodun hareketi enine, boyuna ve çapraz biçimde olabilir. Band elektrodla yapılan tozaltı ark kaynağının başlıca özellikleri şunlardır:

- Yüksek bir ekonomi sağlanır.
- Nüfuziyet nispeti azdır.
- Ergime gücü yüksektir.
- Kaynak dikişi gözenek bakımından yüksek bir emniyete sahiptir.

3.5.5. Kızgın Tel Yöntemi

Tandem kaynak yönteminin farklı bir seçeneğidir. Bu uygulamada tellerden biri elektrik direnciyle ısıtılarak kaynak banyosuna iletilir ve bu şekilde elektrik enerjisinden tasarruf sağlanması amaçlanır.



Şekil 3.7. Tozaltı ark kaynak yöntemlerinin şematik gösterimi.

Şekil 3.7’de verilen görsellerde; (a) Demir tozu ilavesiyle, (b) soğuk elektrodla, (c) sıcak elektrodla ve (d) bant elektrodla yapılan kaynak uygulamaları ifade edilmiştir.

3.5.6. Demir Tozu İlavesiyle Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi

Demir tozu ilavesi ile tozaltı ark kaynağında sabit kaynak parametrelerinde kaynak depozitosu büyük ölçüde arttırılabilir. Ayrıca, depozito oranını arttırmak için, dışarıdan ilave bir sistemle soğuk tel elektrod veya önceden ısıtılmış sıcak tel elektrod kaynak bölgesine gönderilebilir. Şekil 3.7 (a) demir tozu ilaveli (iron powder/chopped wire) (b) soğuk elektrodla (cold wire), (c) sıcak elektrodla (hot wire) ve (d) bant elektrodla (strip) tozaltı ark kaynak uygulamalarının şematik gösterimi verilmiştir.

3.6. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA ARK TUTUŞTURMA YÖNTEMLERİ

Tozaltı ark kaynağında kaynak işlemine başlanıldığında kaynak makinesi üreticisinin tavsiye ettiği bir yöntem ile arkın tutuşması sağlanır. Arkın kolay ve etkin bir biçimde tutuşması için bazı tertibatlar üretici firmalar tarafından makinenin üzerine

monte edilebileceği gibi, bu tertibatlar sonradan uygulayıcı tarafından da elde edilerek makinelere montajlanabilir.

Uygulamada arkın tutuşmasını önleyen en önemli etken; arkın kesilmesi ve tekrar başlatılması istenilen durumlarda tel elektrodun uç kısmının ergimiş ve curufun küre biçiminde bu bölgede katılmış olmasından kaynaklanır; ki bu curuf yeterli derecede iletken olmadığı için arkın tutuşmasına engel olmaktadır. Günümüz sanayisinde arkın tutuşmasını sağlamak amacıyla çeşitli yöntem ve düzenekler geliştirilmiş olup, bunların en önemlileri şu şekilde sıralanabilir;

- ***Elektrod ucunun sivriltilmesi ile arkın başlatılması:*** Kaynak elektrodunun ucu sivrileştirilerek iş parçası ile temas etmesi halinde bu noktadaki akım yoğunluğunun çok yüksek olması arkın kolay oluşumunu sağlar.
- ***Sürtme ile arkın başlatılması:*** Elektrodun ucu iş parçasına değdirilir ve bu esnada hareket mekanizması devreye alınır ve hemen kaynak akımı devreye sokulur. Elektrod ve parça arasındaki hareket nedeni ile elektrodun ucu parçaya sürtünmeye başlar ve devre kapandığında ark oluşumu gerçekleşir.
- ***Çelik yünü ile arkın başlatılması:*** 10-12 mm çapında çelik yünden yapılmış ufak küreciklerin elektrod ucu ile iş parçası arasına yerleştirilmesidir. Akım devresi kapatıldığında akım bu topu geçer ve kürecik hemen ergiyerek ark oluşturur.
- ***Özel tel sürme tertibatı ile arkın oluşturulması:*** Tel sürme mekanizması, teli iş parçasına değecek şekilde yaklaştırır ve bu esnada kaynak akım devresi kapatılır. Kısa devre ile kumanda alan tel, tel sürme tertibatı teli hafifçe geri çeker ve ark oluşumunu sağlar. Bu işlemlerden sonra tel sürme durumu tekrar normal işlevini sürdürmeye devam edecek şekilde ilerletilir.
- ***Yüksek frekans ünitesi yardımı ile arkın başlatılması:*** Bu yöntem TIG kaynak yönteminde de olduğu şekilde kaynağa başlanıldığında otomatik olarak bir yüksek frekans akımı devreye alarak işlemi başlatır ve kaynak arkı oluşunca yüksek frekans akımı devreden çıkarılarak kaynak işlemine devam edilir [10].

3.7. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK TELLERİ

Tozaltı ark kaynağında kaynak metali içerisine katılması planlanan alaşım elementleri, kaynak telinden veya kaynak tozundan ilave edilebilir.

Tozaltı ark kaynağında kullanılan kaynak telleri genel olarak yüksek kaliteli çelik teller olarak adlandırılabilir. Bu tellerin çapları 1.2 ile 12 mm arasında değişmektedir. Tozaltı ark kaynak tellerinin yüzeyleri tamamen düz, yağ, pislik ve pastan temizlenmiş olmaları gerekmektedir. Tellerin paslanmasını önlemek ve kaynak esnasında kontakt lülesinden tele akım geçişini kolaylaştırmak için bu teller, üzerleri bakır veya bronz kaplı olarak piyasaya sürülür. Kullanılan bu tellerin yanında, değişik amaçlar için üretilen, sert dolgu ve benzeri amaçlı, tozaltı ark kaynağı özlü telleri de mevcuttur. Tozaltı ark kaynağında kullanılan kaynak telleri içerdikleri mangan miktarlarına göre sınıflandırılırlar. Kaynak tellerindeki alaşım elemanı oranları ise Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Düşük manganlı	% 0.30-0.60 Mn
Orta manganlı	% 0.90-1.25 Mn
Yüksek manganlı	% 1.75-2.25 Mn

Çizelge 3.1. Kaynak tellerindeki alaşım elemanı oranları.

Alaşım elemanı	% Sınırları	Etkisi
C	0.05-0.25	Sertliği artırır, çekme dayanımını yükseltir.
Si	0.05-0.45	Deokside eder, işlenebilme kabiliyetini yükseltir, uzamayı artırır.
Mn	0.5-3.0	Sertliği kısmen yükseltir, çekme ve çentik darbe dayanımını yükseltir, uzamayı artırır.
Mo	0.5-1.0	Isıya dayanımı artırır.
Cr	1.0-2.9	Sertliği yükseltir, ısıya dayanımı artırır.
Ni	1.0-2.0	Süşük çalışma sıcaklıklarında dayanımı artırır.

Genel olarak bu tellerin bileşiminde karbon (C), mangan (Mn), silisyum (Si), kükürt (S) ve fosfor (P) bulunur. Tozaltı ark kaynağında en çok kullanılan S1, S2 ve S3 tellerinin kimyasal bileşimleri, uygulama alanları ve kaynak edilen metaller çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Tellerin kimyasal bileşim ve özellikleri.

Kaynak Teli	Kimyasal Bileşim (%)					Uygulama Alanları	Kaynak Edilen Alaşımalar
	C	Mn	Si	<P	<S		
S1	0.08	0.50	0.4	0.025	0.025	Gemi yapım endüstrisi, Çelik yapılar, Depolama tankı Üretim,	Yapı çelikleri, Boru çelikleri, Kazan sacları, Gemi sacları
S 2	0.10	1.10	0.10	0.025	0.025	Gemi yapım endüstrisi, Çelik yapılar, Depolama tankı üretimi, Basınçlı kazan, Basınçlı depolama tankı üretimi	Yapı çelikleri, İnce taneli yapı çelikleri, Boru çelikleri, Kazan sacları, Gemi sacları,
S 3	0.10	1.50	0.15	0.025	0.025	Gemi yapım endüstrisi, Çelik yapılar, Depolama tankı üretimi, Basınçlı kazan, Basınçlı depolama tankı üretimi	Yapı çelikleri, İnce taneli yapı çelikleri, Boru çelikleri, Kazan sacları, Gemi sacları,

Kullanılacak kaynak telin seçiminde, kaynak tozu özelliklerinin göz önüne alınması gereklidir. Bu nedenle, kaynak metalinin bileşiminin tespiti işleminde, hem ilave telin bileşimi, hem de koruyucu tozun bileşimi göz önüne alınarak seçim yapılması gerekmektedir. Telin seçiminde;

- Alaşımız bir tel ile alaşımlı bir kaynak tozu kombinasyonu seçmek,
- Alaşımız bir tel kullanmak,
- Alaşım elemanı ihtiva eden bir örtü ve alaşımsız bir telden ibaret olan kompoze tellerin kullanımına özen gösterilmelidir [10].

3.8. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK TOZLARI

Tozaltı ark kaynak tozları istenen özelliklere bağlı olarak çeşitli şekillerde ve oranlarda karıştırılmış taneli mineral bileşiklerdir. DIN 32 522'ye göre tozaltı ark

kaynak tozları 7 klasta toplanmıştır. Bu klaslar:

Klas 1: Alaşım-sız ve düşük alaşım-lı çeliklern birleştirme işleminde kullanılan tozlardır. Si ve Mn'in geçiş/yanma davranışı rakamlarla ifade edilebilir.

Klas 2: Alaşım-sız ve düşük alaşım-lı çeliklerin birleştirme kaynağında kullanılan tozlardır. Si ve Mn'in geçiş/yanma davranışı rakamla ifade edilirken Mo ve diğer elemanların Geçiş/yanma davranışı sadece sembolleriyile verilir.

Klas 3: %5'in üzerinde Cr içeren yüksek sıcaklığa dayanıklı çeliklerin birleştirme kaynağına, alaşım-sız ve düşük alaşım-lı çeliklerin uygun ilave metalle dolgu kaynağında kullanılan tozlardır.

Klas 4: Sert dolgu tozu olup Si ve Mn'in Geçiş/yanma davranışı rakamla ifade edilirken C, Cr, Mo gibi elemanlar sadece sembolleriyile verilir.

Klas 5: Paslanmaz ve ısıya dayanıklı Cr'lu ve Cr-Ni'li çeliklerin birleştirme ve dolgu kaynağında kullanılan tozlar olup geçiş/yanma davranışı Si, Mn, Cr, Nb, C sırasıyla rakamla ifade edilir.

Klas 6: Paslanmaz ve ısıya dayanıklı Cr'lu ve Cr-Ni'li çeliklerin birleştirme ve d^löu kaynağı için Cr içermeyen tozlar olup geçiş/yanma davranışı Si, Mn, Cr, Nb, C sırasıyla rakamla ifade edilir [11].

Tozaltı ark kaynağında kullanılan kaynak tozları, örtülü elektrodlerdeki örtünün fonksiyonunu yerine getirir. Kaynak işlemine fiziksel ve metalurjik bakımdan tesir eder. Kaynak tozları fiziksel olarak kaynak banyosunu atmosferden korur, kaynak dikişine uygun bir form verir ve çabuk soğumasına mani olur. Kaynak tozları, kaynak metalinin alaşımlandırılmasına, dikişin gözeneksiz olmasına ve kaynak metalinin iğyapısının hatalardan arındırılmış olmasına etki eder.

Kaynak tozu tanelerinin boyutu tozun performansını etkiler. Tozaltı ark kaynağındaki kaynak tozu, kaynak esnasında oluşan gazların dikişi terk etmesine izin

verecek nitelikte olmalıdır. Tozu oluşturan tanelerin boyutu küçüldükçe, oluşan gazların dışarı çıkması zorlaşmaktadır. Kaynak hızlarının yüksek olduğu durumlarda orta ve iri taneli tozların, yüksek akım şiddetleri ile çalışırken ince taneli tozların kullanılması yararlıdır. Toz örtüsü yüksekliğinin fazla olması gazların dışarı çıkamayarak gözenek oluşturmaya neden olur. Örtü yüksekliğinin gerektiğinden az olması da tozun koruyuculuk görevini yerine getirememesine sebep olur.

3.8.1. Kaynak Tozlarının Sınıflandırılması

Tozaltı ark kaynağında kullanılan tozlar muhtelif şekillerde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma aşağıdaki şekilde yapılabilir.

A - Kaynağın amacına göre

- a) Hızlı kaynak tozları
- b) Derin nüfuziyet kaynak tozları
- c) İnce sac kaynağı tozları
- d) Aralık doldurma kaynak tozları

C - Kimyasal karakterine göre

- a) Asit karakterli tozlar
- b) Bazik karakterli tozlar
- c) Nötr karakterli tozlar

B - İmal şekline göre

- a) Erimiş kaynak tozları
- b) Sinterlenmiş kaynak tozları
- c) Aglomera (topak) kaynak tozları

D - Mangan miktarına göre

- a) Yüksek manganlı tozlar
- b) Orta manganlı tozlar
- c) Mangansız tozlar

3.8.2. Kaynak Tozundan Beklenen Özellikler

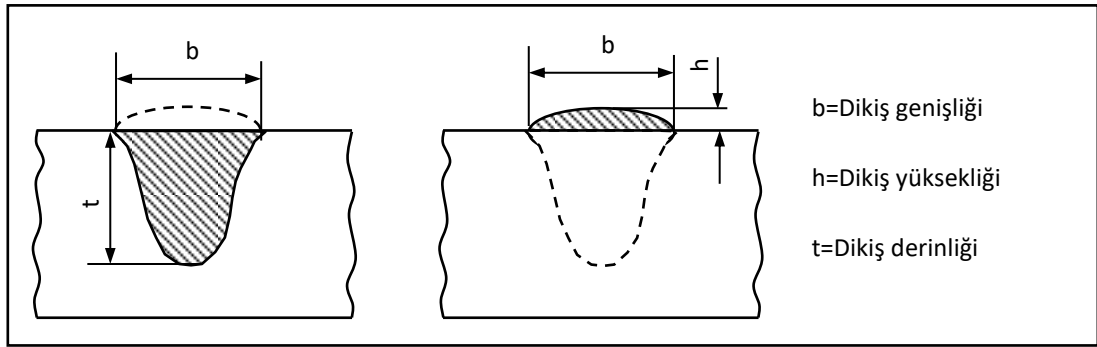
İyi bir kaynak tozunun bir takım özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler şu şekilde sıralanabilmektedir;

- Kök pasoların ve dar aralıkların kaynağında curufu kolay temizlenebilmelidir.

- Kaynak işlemi sırasında arkın kararlılığını sağlamalıdır. Bilhassa alternatif akım ile kaynak yapılırken, akımın yön değiştirmesi anında arkın sönmesini önlemelidir.
- Tozlar, çeşitli kaynak hatalarına sebep olabilecek organik maddeleri ihtiva etmemelidir.
- İstenilen kimyasal bileşim ve mekanik özelliklere sahip bir kaynak dikişi sağlamalıdır.
- Kaynak dikişinde, herhangi bir gözenek ve çatlak oluşumuna sebep olmamalıdır.
- Tozların nem çekme miktarı mümkün mertebe düşük olmalıdır [10].

3.9. TOZALTINDA DİKİŞ FORMUNU ETKİLEYEN PARAMETRELER

Kaynak dikiş formu denilince; dikiş genişliği, dikiş yüksekliği ve derinliği anlaşılır. Dikiş formu incelendiği zaman iç ve dış dikiş formu olarak iki form gözlemlenir (Şekil 3.8.).



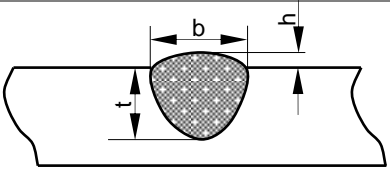
Şekil 3.8. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi.

Dikiş formu, kaynaklı bağlantıdan beklenen özellikler bakımından oldukça önemlidir. Dikiş formuna etki eden faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- a) *Akım şiddeti:* Akım şiddetinin artmasıyla beraber özellikle iç dikiş formu değişmekte ve nüfuziyet artmaktadır.

- b) *Akım yoğunluğu*: Akım yoğunluğunun artmasıyla (amper/mm^2) nüfuziyet ve dikiş yüksekliği artmaktadır.
- c) *Kaynak hızı*: Kaynak hızının optimum değerinde nüfuziyet en fazladır. Kaynak hızı arttıkça nüfuziyet ve dikiş genişliği azalır.
- d) *Kaynak ağzı şekli*: Kaynak ağzı açısındaki değişmelere göre dikiş formu etkilenmektedir. Ağız açısı arttıkça nüfuziyet artmakta, dikiş yüksekliği azalmaktadır.
- e) *İş parçasının bulunduğu düzlemdaki eğimi*: İş parçası, bulunduğu yatay düzlemde 6° 'ye kadar bir eğime sahip olması pek önemli değildir. Bu eğim artar ise nüfuziyette ve dikiş yüksekliğinde değişimler söz konusudur.
- f) *Serbest tel uzunluğu*: Kaynak telinin memeden dışarıda kalan kısmının artmasıyla dikiş yüksekliği artarken nüfuziyette azalma görülür. Çizelge 3.3'te gazaltı ve tozaltı ark kaynağında kaynak dikiş formunu etkileyen faktörler verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kaynak dikiş formunu etkileyen faktörler [10].

TOZALTI ARK KAYNAĞI					
GAZALTI KAYNAĞI					Toz Tüketimi
	Nüfuziyet t (mm)	Dikiş Genişliği b (mm)	Dikiş Yüksekliği h (mm)		
Akım Şiddeti I (A)	arttıkça	artar	artar	artar	değişmez
Tel Sürme Hızı V (m/dak)	arttıkça	artar	artar	artar	değişmez
Ark Gerilimi U (V)	arttıkça	azalır	artar	azalır	artar
Elektrod Çapı (mm)	arttıkça	azalır	artar	artar	artar
Kaynak Hızı (m/dak)	arttıkça	azalır	azalır	azalır	azalır
Akım Cinsi/Kutuplama	D.C. (+)	azalır	azalır	azalır	azalır
	D.C. (-)	artar	artar	artar	artar
Serbest tel boyu (mm)	arttıkça	azalır	artar	artar	artar
Toz tane boyu	arttıkça	azalır	artar	azalır	artar

3.10. TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI

- Düz ve silindirik parçaların kaynağında, her kalınlık ve boyuttaki boruların kaynaklarında kullanılabilen yüksek kaynak hızına ve yüksek metal yığıma hızına sahip bir yöntemdir.
- Kaynağın yapımında el becerisinin önemli bir fonksiyonu yoktur.
- Hatasız ve yüksek mekanik dayanımlı kaynak dikişleri verir.
- Tozaltı ark kaynağı kapalı ve açık alanlarda uygulanabilir.
- Kaynak esnasında sıçrama olmaz ve ark ışınları görünmez, bu nedenle kaynak operatörü için gereken koruma daha azdır.
- Yöntemde derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. İki taraftan birer paso ile 20 mm kalınlığındaki bir sacı, kaynak ağzı açmadan kaynatmak mümkündür.
- Diğer yöntemlere göre küçük kaynak ağzı açılarını kaynak yapmak mümkündür.
- Düzgün ve çapaksız bir kaynak dikişi elde edilir.
- Akım şiddetinin yüksekliği büyük bir kaynak banyosu oluşturur ve yüksek derecede derin bir nüfuziyet sağlar.
- Örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağında, elektrik enerjisinin % 25'inden, tozaltı ark kaynağında ise % 68'inden doğrudan kaynak için yararlanılmaktadır. Bu da enerjinin ekonomik kullanıldığını gösterir.
- Tozaltı ark kaynaklarında, kaynak başlangıcı ve kaynak sonu hatalarını önlemek için kaynak başlangıç ve bitiş kısımlarına, daha sonra kesilip atılmak üzere ilave parçalar puntalanır ve kaynak bu hurda parça üzerinden başlatılır ve yine hurda parça üzerinde bitirilir. Böylece kaynak başlangıç ve bitiş (krater) hatalarından kaçınılmış olur.

3.11. TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİNİN DEZAVANTAJLARI

- Yöntemin ilk yatırım maliyeti yüksektir.
- Tozaltı ark kaynağı 5 mm'den ince malzemelerde yanma yapabileceği için genellikle uygun değildir. Kaynak yapılabilecek en ince sac kalınlığı ise 1.2 mm'dir.
- Tozaltı ark kaynak tozları havadan nem almaya eğilimlidir, bu da kaynakta gözeneğe neden olur. Bu nedenle tozları kurutma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Tozlar, kaynaktan önce 2-3 saat 300 °C’de ısıtılmalıdır. Bu konudaki en iyi seçim, üretici firma tavsiyelerine uyulmasıdır.

- Curuf kaynak dikişi üzerinden temizlenmelidir, bu bazı uygulamalarda zor bir işlem olabilir. Çok pasolu kaynaklarda, kaynak dikişine curuf kalıntısı olmaması için curuf her paso sonrası temizlenmelidir.
- Yüksek kalitede kaynaklar elde edebilmek için ana metal düzgün olmalı, yüzeyinde yağ, pas ve diğer kirlilikler olmamalıdır.
- Yöntem özel bazı uygulamalar hariç, düz, yatay pozisyondaki alın kaynakları ve köşe kaynakları için uygundur. [10].



BÖLÜM 4

ULUSAL VE ULUSLARARASI YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Tozaltı ark kaynağı ve basınçlı kap yapımında kullanılan çelikler hakkında ulusal ve uluslararası yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

4.1. BASINÇLI KAP ÇELİKLERİ KULLANILARAK YAPILAN KAYNAK VE MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

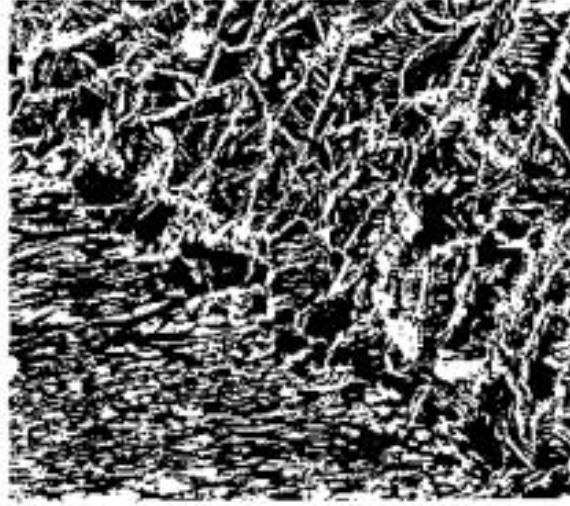
Usta [12], yaptığı çalışmasında kalın cidarlı basınçlı kapların, tasarım ve üretiminde yapılan kaynaklı birleştirme noktaları ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), TS 377 standardına göre belirlenen basınçlara dayanıp dayanmadığını araştırmıştır. Kalın cidarlı basınçlı kaba yüksek basınç uygulandığında ITAB'ın yeterli dayanımı göstermesi gerektiği, ısıtma kazanı, buhar kazanı, hava tankı olmak üzere seçilen basınçlı kaplar TS 17020 standardına göre muayene edileceği bildirmiş, ayrıca basınçlı kapların kaynaklı bölgelerinin uygun olduğunu belirtmiştir.

Kayakök [13], yaptığı çalışmada basınçlı kap üretiminde kullanılan tozaltı ve gazaltı kaynaklarını kaynak ağzı, nüfuziyet ve ekonomik yönden incelemiştir. Tozaltı ark kaynak yöntemleri maliyet açısından gazaltı kaynak yöntemlerine göre oldukça yüksek olduğunu, bu yüzden kaynak seçiminde gazaltı kaynak yöntemi ekonomik yönden daha fazla tercih edildiğini, fakat üretim aşamasında maliyet tek başına düşünülmediğini bildirmiştir. Ayrıca üretimde en kısa zamanda en ucuz ürün elde etmek amacı güdüldüğünü ve bunun için parçaların kaynağı yapılırken iki kıstası göz önünde bulundurmak gerektiğini belirtmiştir.

Acar [14], yaptığı çalışmada petrol depo tanklarının imalatı ile montajı ve kaynaklı bağlantılarının tahribatsız muayenesini incelemiştir. Petrol depo tanklarının imalatı ile montajı ve kaynaklı bağlantılarının tahribatsız muayene işlemi, montaj edilen gövde

saclarında, öncelikle dikey kaynaklar tamamlanması gerektiğini, gövde saclarındaki yatay kaynaklara, gövde sacının üzerine bir üst sıra gövde sacı monte edilmeden başlanılmaması gerektiğini, gövde saclarının kaynaklarında, önce bir yüzeyden kök paso ve iki sıra kaynak yapılmasını, diğer yüzeyden karbon ile ilk yapılan kök paso alınacak ve taşlama yapılarak kaynak ağzı temizlenmesini, daha sonra bu taraftan kaynağa devam edilmesi gerektiğini, gövde saclarının montajında, yeterli sayıda montaj elemanı (göğüs mastarı, kama, klips, şim vs.) kullanılacak, saclar üzerindeki kaynaklar tamamlanmadan, bu montaj elemanları sökülmemesi gerektiğini bildirilmiştir. Ayrıca montaj elemanlarının dizaynı ve konumları, kaynağın sürekli bir şekilde yapılmasına engel teşkil edecek nitelikte olmamasını, tankın montajı başlamadan önce, gövdenin montajı esnasında, tankın rüzgâr hasarına karşı korunması için öngördüğü metotları, geçici germe kazığı ve halatı kullanmanın her zaman yeterli veya kabul edilebilir olacağı düşünülmemesi gerektiğini belirtmiştir.

Karlsson [15], çalışmasında Duplex paslanmaz çeliklerinin tozaltı ark kaynağı sonrasında mikroyapı görüntülerini incelemiştir. Duplex paslanmaz çelikler, günümüzde tamamen AOD (Argonda Oksijenle Karbonsuzlaştırma) ve VOD (Vakumda Oksijenle Karbonsuzlaştırma) çelik üretim teknikleri kullanılarak üretilirler. Bu tip paslanmaz çelik türleri üstün özellikleri nedeniyle değişik form ve boyutlarda sanayinin hizmetine sunulmakta ve ısı eşanjörü, petrol, gaz ve deniz suyu boruları ile bağlantı elemanlarında, jeotermal uygulamalarda büyük çapta kullanılmaktadırlar. Duplex paslanmaz çelikler basit anlamda ferrit ve östenit şeklinde iki ayrı fazı bünyelerinde bulundurmaktadırlar. Dolayısıyla, ferritik-östenitik veya östenitik-ferritik paslanmaz çelikler olarak tanınmaktadırlar. Daha önce de belirtildiği üzere ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin en iyi özelliklerini taşıdıkları söylenebilir. Böylece iki fazlı ince taneli, yüksek mukavemetli ve iyi korozyon dirençli bir çelik ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.1'de tozaltı ark kaynağı yapılmış bir duplex paslanmaz çelikte kaynak bölgesinin mikroyapı fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.1. Tozaltı ark kaynağı yapılmış bir duplex paslanmaz çelikte kaynak bölgesinin mikroyapısı. Sağ yukarı bölge kaynak metal, sol alt bölge esas metal (ferrit koyu, ostenit beyaz) .

Bonnefois çalışmasında [16], yüksek alaşımlı Duplex paslanmaz çeliğin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğini incelemiştir. Kaynağı 10 mm'nin üzerindeki kalınlıklara sahip duplex ve süperduplex paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek dolgu oranından dolayı en ekonomik kaynak yöntemi tozaltı ark kaynağı olmaktadır. Yüksek alaşımlı duplex paslanmaz çeliklerin bu yöntem ile kaynağında, çeliğin türü, kullanılan tozun baziklik derecesi, kaynak metalinin oksijen bileşeni ve bağlantının mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin dikkate alınması gerektiğinden bahsetmiştir.

Heuser çalışmasında [17], Duplex çeliklerinin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirmesi sonucunda mukavemetini değerlendirmiştir. Tozaltı ark kaynağında en uygun değerde ısı girdisine önem verilmesi gerektiğini, zira ITAB'daki östenit dönüşüm değerinin kaynağın parametreleri ile yakından ilgili olduğunu belirtmiştir. Bu tür çelikler için tozaltı ark kaynağı uygulamalarında herhangi bir ön tavlama ihtiyacı duyulmamasına rağmen kaynağa ara verildiği zaman kaynak bölgesi soğumuş olacağı ve yeni ergiyik banyoya yeterli tepkiyi vermesi gözetilerek özellikle kalın parçalar kullanılması halinde yeniden bir tavlama ihtiyacı doğmaktadır. Pasolar arası geçiş sıcaklığı 200 °C'yi geçmemelidir. Genel olarak yüksek baziklik derecesine sahip kaynak tozları çatlama emniyeti bakımından önerilmiştir.

4.2. FARKLI MALZEMELER KULLANILARAK YAPILAN TOZALTI ARK KAYNAK ÇALIŞMALARI

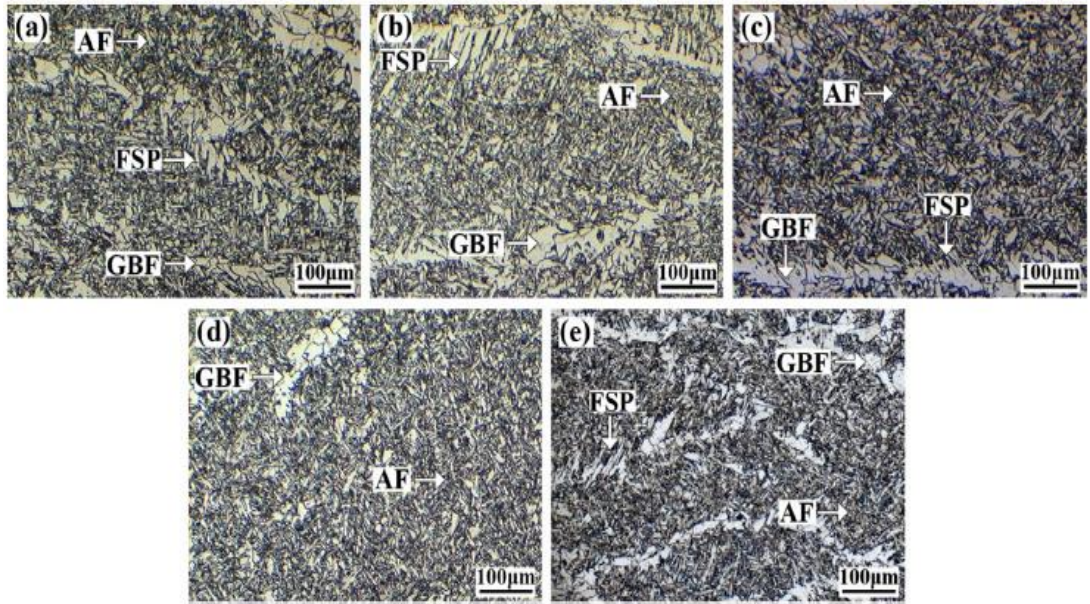
Erbay C. [18], yapmış olduğu çalışmada; Tozaltı ark kaynağında kaynak parametrelerinin mikroyapı ve nüfuziyete etkisini araştırmış, kullanılan kaynak parametreleri ile kaynak metali mikroyapısı, nüfuziyet parametreleri, kaynak metalindeki sertlik değişimleri ve kaynak metali ısı girdisi değişimleri ile bunlar arasındaki ilişkiyi tespit etmiştir.

Zhu ve Chao [19], tarafından yapılmış çalışmada, sonlu eleman kaynak simülasyon kodu (WELDSIM) kullanılarak detaylı üç boyutlu lineer olmayan termal ve termo mekanik analizler gerçekleştirilmiştir. Mekanik özellikleri net olarak bilinmeyen bir bölge olan ITAB'ın, modelleme ile mekanik özelliklerinin önceden tahmin edilmesi, birçok alanda kullanılan kaynaklı yapıların emniyetinin sağlanması açısından önemlidir.

Paniagua-Mercado vd. [20] çalışmalarında, toz altı ark kaynak yöntemi ile kaynaklanan AISI 1025 çeliginin mikro yapı ve çekme özelliklerine toz (flux) kompozisyonunun etkileri araştırılmıştır. Üç farklı toz kompozisyonu, düşük karbonlu elektrod ile kullanılmıştır. Çalışmada kaynak şartları sabit tutulmuştur. Çekme testleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Kaynakların makro/mikroyapı testleri optik ve taramalı elektron mikroskopunda (SEM) gözlemlenmiştir. Yüksek titanyum oksit içeren kaynakların tozlarında asiküler ferritin varlığı tespit edilmiştir. Yüzde uzama ve kesit daralmasının, inklüzyon hacim yüzdesinden etkilendiği belirtilmiştir. Çekme özellikleri ve mikro yapı bilgisayar programlarında tahmin edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Juan Pu, vd. [21] çalışmalarında, kaynak ağzına D36 çeliğini tozaltı ark kaynağı (FAB-SAW) ile birleştirmek için Zr-Ti alaşım tozları ekleyerek Zr-Ti mikro alaşımli kaynak metallere kalıntıları, mikroyapı ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, kalıntıların orta kısımları Zr, Al, T, MN oksitlerinden oluşurken, yüzey tabakalarının TiO (veya Ti_2O_3), ZrO_2 ve MnS içerdiğini göstermiştir. Çalışmaya göre ilk çöken ZrO_2 'ler, Al, Ti, Si, Mn oksitler için

çekirdeklenme bölgeleri olarak hareket edebilir ve 1.0 mm'den küçük boyutlardaki kalıntı oranını artırabilir. İnceltmiş boyut ve artan kalıntı yoğunluğu nedeniyle, mikroyapıdaki asiküler ferrit (AF) oranı önemli derecede artarken, tane sınırı ferrit (GBF) ve ferrit yan plak (FSP) oranı belirgin olarak azalmıştır. Kaynak metalinin -20 °C'de çekme özellikleri ve darbe tokluğu açık bir şekilde arttırılmıştır. AF'nin çekirdeklenmesi, TiO (ve ZrO₂) ile a-Fe arasındaki düşük kafes uyumsuzluğundan ve aynı zamanda MnS'nin yüksek etkisiz bir ara yüzey enerjisinden kaynaklanmıştır. Zr içeriği ağırlıkça% 0.09 olduğunda, kaynak metalindeki AF yüzdesi % 82'ye ulaştı ve % 25 uzamaya, 615 MPa üst çekme mukavemetine ve -20 °C'de 145 J darbe enerjisi sahip kaynak metali elde edilmiş olup Zr-Ti mikro alaşımlı kaynak metalleriindeki optik mikroyapı görüntüleri Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Zr-Ti mikro alaşımlı kaynak metalleriindeki mikroyapı görüntüleri (a) Zr-free; (b) 0.03 wt % Zr; (c) 0.09 wt % Zr; (d) 0.012 wt % Zr.

Kahraman ve arkadaşları [22] çalışmalarında, Tozaltı ark kaynağı (SAW) işleminde, $\Delta_{t_{8/5}}$ sıcaklığının, kaynak metalinin (WM) ve ısıdan etkilenen bölgenin (HAZ) mikroyapısının, boyutlarının ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kritik öneme sahip kaynak parametrelerine bağlı olarak geliştirilen ısı girdisine ve ana metalin (BM) sıcaklığına bağlı olduğu ve bunun içindeki herhangi bir değişikliğe karşı duyarlılığı üzerine çalışma yapmışlardır. Buna göre; eşit kaynak ısısı girdileri elde edildiğinde $\Delta_{t_{8/5}}$ değerleri aynı olduğunda, tüm kaynak parametreleri farklı olmasına

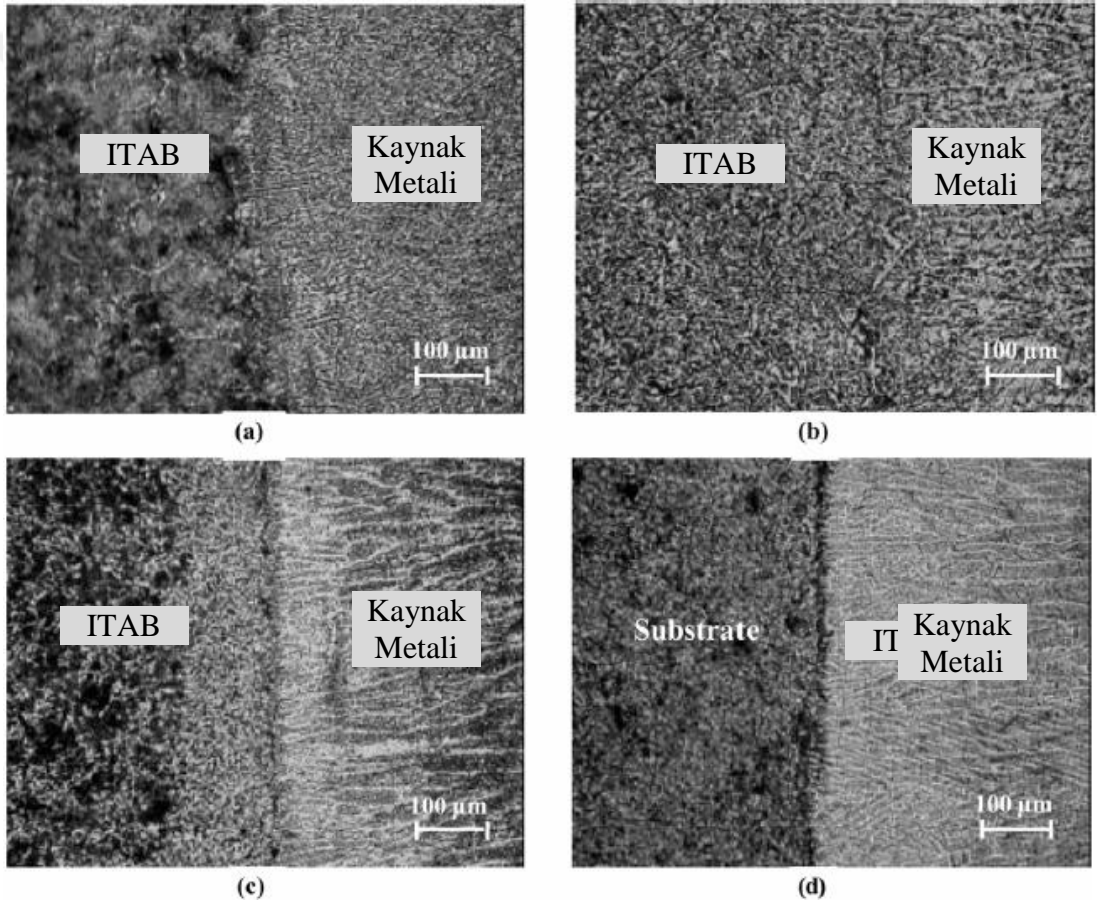
rağmen, kaynaklı konstrüksiyonun çentik darbe tokluğu ve sertlik değerlerinin birbirlerine çok yakındır. Tüm kaynak parametreleri aynı olmasına rağmen, $\Delta t_{8/5}$ ve dolayısıyla çentik darbe tokluğu ve sertlik değerleri içten ve dıştan kaynak arasındaki geçiş sıcaklığı farkından dolayı birbirinden farklıdır. Kaynak bölgesinin geçiş sıcaklığı, iç kaynaktan sonra bir süre kaynak makinesini durdurarak veya dış kaynak kafasını iç kaynaktan değiştirilebilir. İç kaynaktan sonra kaynak makinesini durdurmak suretiyle $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki çentik darbe tokluğundaki artış % 24.5 iken, bu değer dış kaynak noktasını değiştirerek elde edilen tokluktaki artış % 17.7'dir. Bu çalışma, çelik kaynakların mekanik özelliklerini iyileştirmek için geçiş sıcaklığının ve $\Delta t_{8/5}$ ile ifade edilen soğuma hızının önemini göstermektedir.

Lan ve arkadaşları [23] çalışmalarında, HSLA çelikleri üzerinde çoklu mikroalaşımli elektrot kullanılarak çok pasolu tozaltı ark kaynağı yapmış ve mikroyapı oluşumu ve kaynaklı parçadaki ilgili mekanik özellikleri incelemek için üç farklı ısı girdisi işlemine yer vermişlerdir. Kırılma mikro mekanizmasını göstermek ve kaynak sistemini optimize etmek için, mikroyapı yönlerinin farklı ısı girdileri ile kaynak metalinin darbe tokluğu ve HAZ bölgesi üzerindeki etkisi üzerine yoğunlaşmıştır. Test sonuçlarına göre çalışılan çelik için kaynak birleşiminde yüksek mukavemet ve tokluk dengesi elde etmek için kabul edilebilir kaynak parametreleri belirlenmiştir. Kaynak metalinde oluşan metalik olmayan kalıntıların boyut dağılımının optimum aralığı belirlenmiş ve bozulan HAZ tokluğunun temel nedenleri olduğu gösterilmiştir.

Gülenç ve Kahraman çalışmalarında [24], tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak yapılmış ve bu amaçla çeşitli teller ve tozlar kullanılmış olan aşınmış parçaları incelemiştir. Bu kaynaklı parçalar farklı yükler altında yıpranma testlerine tabi tutulmuş ve sertlik ve mikroyapı değişiklikleri incelenmiştir. Disk üstü aşınma test cihazı kullanılmış olup elde edilen sonuçlar, en sert kaynak metalinin en yüksek aşınma direnci göstermesine karşın, sertliği en düşük kaynak metalinin en az aşınma direnci gösterdiğini göstermiştir. Elde edilen kaynak sertliği ve aşınma direncinin, kaynak telinin ve tozunun kimyasal bileşimine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Özellikle üreticiler için büyük önem taşıyan Tozaltı ark kaynak yöntemini, kolay uygulanabilirliği, yüksek akım yoğunluğu ve aynı anda birden fazla tel kullanarak çok miktarda kaynak metali çöktürmesi yeteneği nedeniyle aşınmış parçaların restorasyonunda yaygın olarak kullanılır.

Şekil 4.3 (a,b)'de kaynaklı numunelerin kaynak metali mikroyapısı gösterilmektedir. Bu yapı, perlitli ve iğne benzeri ferritik yapıları göstermektedir. Şekil 4.3 (c,d)' de ise yüksek aşınma direncine sahip malzemelerin görüntüleri olan, esas olarak sütun halinde ince tanelerden oluşur.

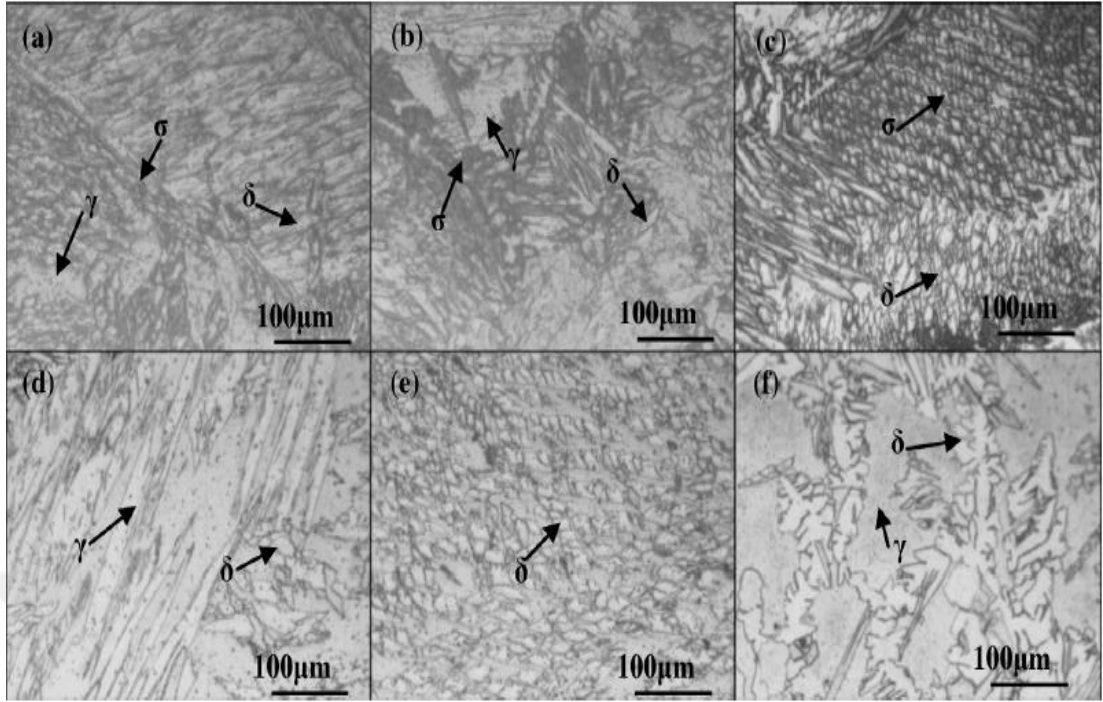


Şekil 4.3. Kaynaklı numunelerin optik mikroyapısı.

Nowacki ve Rybicki [25] çalışmalarında, UNS S31803 duplex çeliğinin tozaltı ark kaynağında ısı girdisinin alın kaynağı kusurları çeşidi ve sayısı üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Kusurlar bir radyografik yöntemle tespit edilmiştir. Miktar negatif test sonuçlarının RN'den komplet radyografik teste RC'ye oranındaki eksiklik oranı

için alınmıştır. Radyogramlar Polonya ve Avrupa Standartları temelinde sınıflandırılmıştır. Birleşimlerin mekanik özellikleri ve ferrit pay testinin değeri yapılmıştır. 2.5 ila 4.0 kJ / mm arasındaki ısı girdisi kullanarak test birleşimlerinin mekanik özelliklerine etkisi analiz edilmiştir. Kaynak kusurlarının yaratılmasında kaynak ısı girdisi etkisinin analizi için, kaynak ısısı girdisinin iki aralığı (2.5 kJ / mm ve 3 kJ / mm'e kadar) kullanılarak 10-32 mm kalınlıkta bir levha kaynağı gerçekleştirilmiştir. Doubleks çeliğin, 2,5 - 4,0 kJ / mm arasındaki ısı girişine sahip tozaltı ark kaynağının, birleşimlerin mekanik özellikleri üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı gösterilmiştir. Testler, ısı girişi 3.0 kJ / mm'e kadar olan kaynağın, birleşimlerin kaynak kusurlarını, örn. Cürufklar, 10-23 mm kalınlıktaki levhalar için penetrasyon eksikliği, ayrıca çatlaklar ve diğer kusurların varlığının tamamen azalttığını göstermiştir. Daha büyük kaynak ısı girişinin kullanımı dikiş kontrol ve onarım masraflarını düşüren en iyi dikiş kalitesi sağlamıştır.

Luo vd. [26] çalışmalarında, 2205 duplex paslanmaz çeliğe (DSS) uygulanan kaynak işlemi sonrası mikroyapı çalışmalarını incelemişlerdir. Kaynak sonrası ısı işlem (PWHT) uygulanmış ve uygulanmamış tozaltı ark kaynağı dikişlerindeki değişimi analiz etmek için OM, XRD ve mikrosertlik test yöntemleri kullanılmıştır. Araştırma sonuçları, ısıdan etkilenen bölge (ITAB) yakınında füzyon kenar bölgesinde fazın kaybolduğunu ve PWHT ile kaynak merkezinde γ' faz miktarı azalırken sonraki PWHT sırasında kaynaklı merkez bölgesinin arttığını göstermektedir. PWHT sonrası kaynak merkez bölgesinde bazı ikinci fazların birikme dağılımı da bulunmuştur. Çalışmaya göre füzyon kenarı bölgesinde ve kaynaklı orta bölgede PWHT olmaksızın ayrı ayrı iki mikro sertlik değeri bulunmuştur. Bununla birlikte, PWHT sırasında HAZ yakınlarındaki füzyon kenar bölgesindeki maksimum mikrosertlik değeri kaybolmuş ve kaynaklı merkez bölgesindeki değeri hala korunmaktadır. Bu durumun ikinci fazların, element difüzyonlarının ve partikül ayrımının PWHT sırasındaki değişimlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Kaynak sonrası ısı işlemden kaynaklanan 2205 DSS SAW birleştirmelerindeki ikinci faz transferini göstermek için bir gelişim mekanizması tanımlanmaktadır. Şekil 4.4'te kaynaklı uygulamaların ısı işlemli ve ısı işlemli mikroyapı çalışmaları görülmektedir.



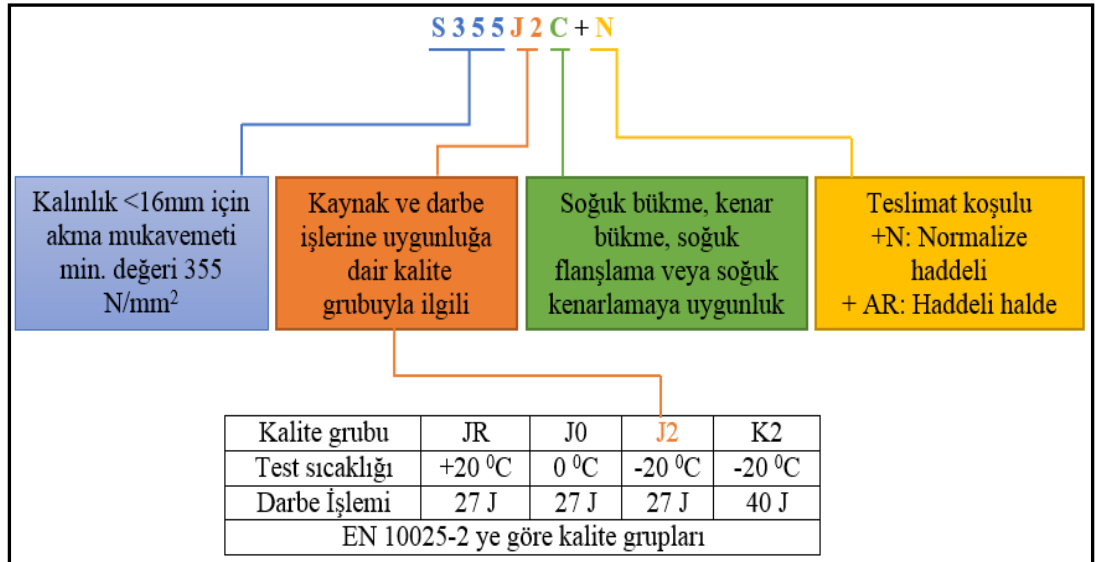
Şekil 4.4. 2205 DSS kaynaklı birleşmelerin mikroyapıları; (A) PWHTsiz kaynak merkezi bölgesi; PWHT olmadan füzyon kenarı; (C) PWHT ile kaynak merkezi bölgesi; (D) PWHT ile kaynak merkezi bölgesi; (E) PWHT ile kaynak merkezi bölgesi; (F) füzyon kenar bölgesi.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, basınçlı kap sanayinde büyük bir öneme sahip P355NL2, P460 ve S355J2 sacları kullanılmış ve bu farklı özelliklerdeki çelik malzemeler için tozaltı ark kaynak yöntemi ile kendileri ve birbirleri arasında olmak üzere 6 farklı kaynak numunesi olarak birleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla sertlik, çekme, eğme ve çentik darbe testi uygulanmıştır. Ayrıca, kaynak bölgesinde meydana gelen yapısal değişimler için, kaynaklı numuneler üzerinde makro/mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5.1’de örnek olması açısından testlerde kullanılan S355J2 yapı çeliğinin tam adlandırıldığı örnek mevcuttur.



Şekil 5.1. Yapı çeliği tam adlandırma örneği.

5.1. KULLANILAN MALZEMELER

Birleştirme işlemlerinde, 350x350x10 mm boyutlarında özel kesim P355NL2, P460 ve S355J2 sac levhaları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1’de, bu malzemelerin mekanik özellikleri ise Çizelge 5.2’de verilmiştir. Birleştirme işleminde kaynak tozu olarak kimyasal özellikleri Çizelge 5.3’de gösterilen LİNCOLN FX 860 tozaltı ark kaynak tozu ve kimyasal özellikleri Çizelge 5.4’de gösterilen AS S2 3.20 mm tozaltı ark kaynak teli kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Testlerde kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri.

Malzeme	Kimyasal Bileşim													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al (min)	Ti	V	Nb	Fe
P355NL2	0.18	0.50	1.10-1.70	0.020	0.005	0.10	0.50	0.08	0.30	0.020	0.03	0.10	0.05	Kalan
P460	0.20	0.60	1.10-1.70	0.025	0.015	0.30	0.80	0.10	0.70	0.020	0.03	0.20	0.05	Kalan
S355J2	0.20	0.55	1.60	0.030	0.030	-	-	-	0.055	-	-	-	-	Kalan

Çizelge 5.2. Testlerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.

Malzeme	Max. Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
P355NL2	490-630	22 min
P460	570-730	17 min
S355J2	470-630	22 min

Çizelge 5.3. Testlerde kullanılan tozun kimyasal analizleri.

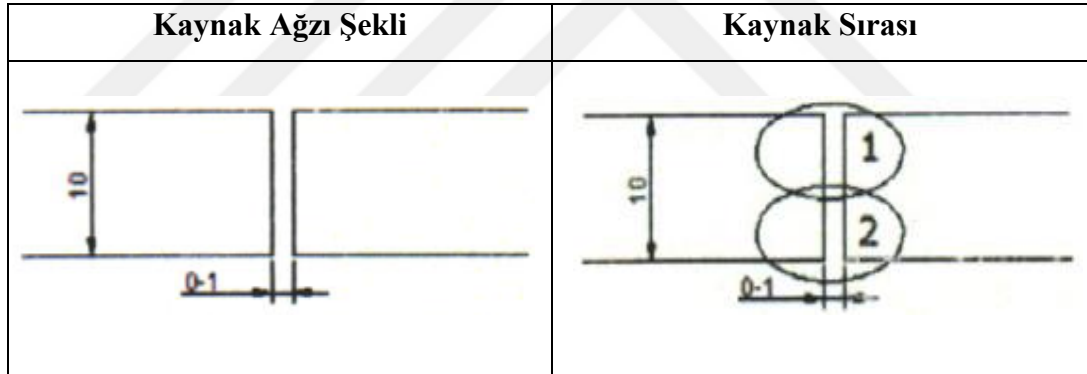
Malzeme	Kimyasal Bileşim				
	C	Si	Mn	P	S
AS S2 3.20 mm	0.04	0.25	1.3	<0.025	<0.020

Çizelge 5.4. Testlerde kullanılan kaynak telin kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	Kimyasal Bileşim				
	C	Si	Mn	P	S
LINCOLN FX 860	0.05	0.25	1.3	<0.025	<0.020

5.2. MALZEMELERİN KAYNAĞA HAZIRLANMASI

350x350x10 mm boyutlarındaki saclar, tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmeden önce, birleştirme yüzeyleri spiral el taşlama makinesine döner tel fırça takılmak suretiyle yüzeyinde herhangi bir oksit, pas ve yağ gibi pislikler kalmayacak şekilde temizlenmiştir. Kaynak yapılacak malzemelerin kaynak hazırlığı detayları Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Kaynak hazırlığı detayları.

Parçalar, öncelikle örtülü elektrik ark kaynak yöntemi ile aralarında 1 mm boşluk bırakılarak puntalanmıştır. Kaynak yapılacak parçaların her iki ucuna, kaynak başlangıç ve bitişlerindeki hataları en aza indirgeyebilmek için ilave parçalar Şekil 5.3’te gösterildiği gibi puntalanmıştır. Puntalanmış numuneler, kaynak öncesinde paslanmaz çelik tel fırça ile temizlenmiştir.



Şekil 5.3. Parçaların puntalanarak kaynağa hazırlanması.

5.3. KAYNAK YÖNTEMİ UYGULAMASI

Temizlenmiş olarak hazırlanmış saclar tozaltı ark kaynak yöntemi kullanılarak çift pasoda birleştirilmiştir. Kaynak işlemleri için her bir sac malzemesinin kendi arasında ve birbirleri arasında olmak üzere toplam 6 adet birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tozaltı ark kaynak işlemleri, Ankara-Başkent Organize Sanayi Bölgesinde Doğan Yıldız Mak. Müh. Ltd. Şirketinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemlerinin gerçekleştirildiği puntalanan parçalar bant eki kaynağı bölümündeki çenelere tutturularak tozaltı ark kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 5.5'te verilmiştir. Kaynak işlemlerine hurda parçalar ile başlanmış olup altlık kullanılmamıştır. Birleştirilen numuneler, kaynak sonrasında açık hava ortamında soğumaya bırakılmıştır. Tel, toz ve diğer kaynak parametreleri tüm kaynaklar için sabit tutulmuştur.

Çizelge 5.5. Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri.

Paso Sayısı	Yöntem	Dolgu Malzeme Çapı (mm)	Akım Tipi	Akımı (A)	Voltaaj (V)	Kutuplama	Tel Hızı (mm/min)	İlerleme Hızı (mm/sn)
1	121	3.20mm	DC+	505	32	DCEP	330	7.75
2	121	3.20mm	DC+	505	32	DCEP	330	7.75

Şekil 5.4'te kaynak esnasında alınan görüntü ve Şekil 5.5'te tozaltı ark kaynağı sonrası numune görüntüsü verilmiştir.



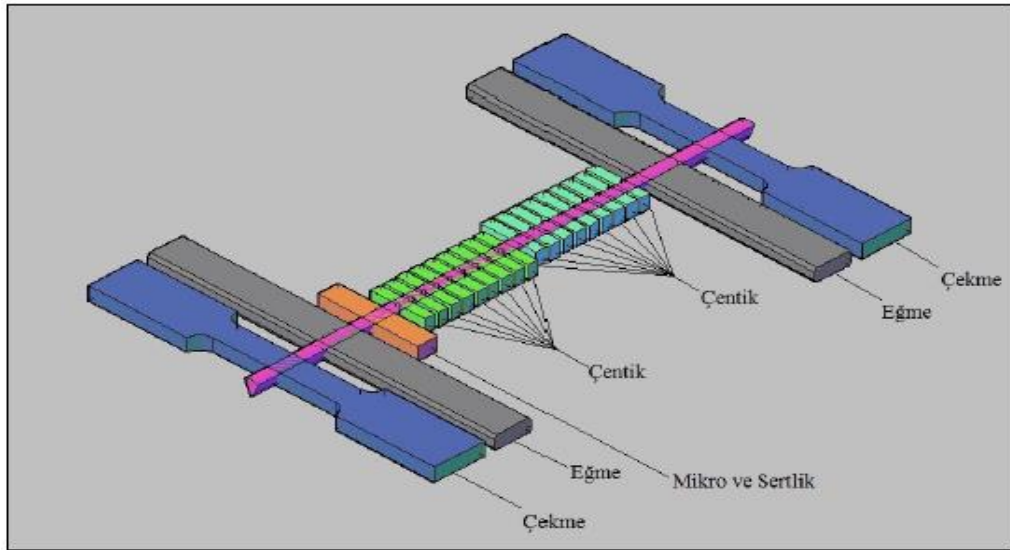
Şekil 5.4. Kaynak esnasında alınan görüntü.



Şekil 5.5. Kaynak sonrası alınmış olan görüntü.

5.4. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI İÇİN NUMUNE HAZIRLAMA

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş 6 adet (kendi ve birbirleri arasında) kaynaklı numune sulu şerit testere makinesi ile kesilmiştir. Kesilen numuneler ilgili standartların ölçülerine getirilmiştir. Kaynatılan her plakadan 2 adet çekme 2 adet eğme ve 18 adet çentik darbe (9 adet ITAB'dan, 9 adet kaynak dikişinden) test numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca makro/mikroyapı ve sertlik çalışmaları için, her bir numuneden 2 kep 2 kök olmak üzere tüm kaynaklı numunelerden toplamda 24 adet eğme, 12 adet çekme, 108 adet çentik darbe ve mikro analiz için 6 numune alınmıştır. Şekil 5.6'da, mekanik testler için çıkarılan numunelerin çizimleri şematik olarak verilmiştir. Kaba ölçülerde kesilen numuneler freze tezgâhında talaş kaldırma metodu ile istenilen standart ölçülerine getirilmiştir.



Şekil 5.6. Tahribatlı testler için çıkarılan numunelerin çizimleri.

5.4.1. Makro/Mikroyapı İncelemeleri

Makro/mikroyapı fotoğrafları için alınan numuneler standart metalografik numune hazırlanma kurallarına uygun olarak sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanmış, 3 mikron elmas solüsyonu ile parlatılmış daha sonra % 3 Nital çözeltisiyle dağlanmış. Numunelerin mikro yapılarının görüntülenmesinde Leica DFC320 dijital kamera bağlantılı Leica DM4000M optik

mikroskop kullanılmıştır. Şekil 5.7’de mikro yapıların görüntülediği cihaz görülmektedir.



Şekil 5.7. Mikro yapıların görüntülediği cihaz.

5.4.2. Sertlik Testi

Bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denilir. Ölçülen sertlik değerlerinden yararlanarak malzemenin içyapısı hakkında bilgiler elde edilir. Sertlik muayeneleri bu sebeple çok uygulanır. Sertlik testinde, bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca veya kesici takıma karşı gösterilen direnç ölçülür.

Sertlik ölçme yöntemleri;

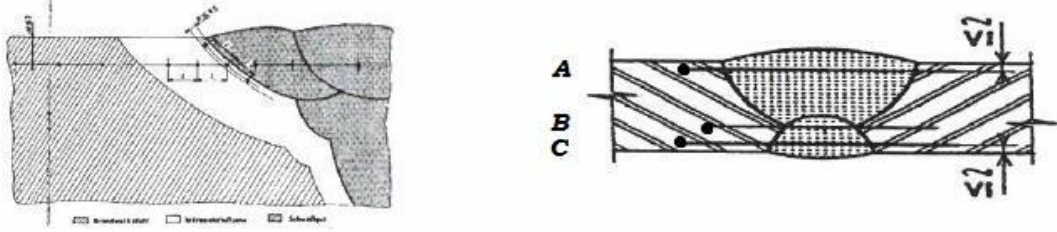
- Brinell sertlik ölçme yöntemi
- Rockwell sertlik ölçme yöntemi
- Vickers sertlik ölçme yöntemi
- Mikro-sertlik testi.

Bu çalışma kapsamında, kaynaklı numuneler üzerinde, sertlik testleri TS EN ISO 9015’e göre Vickers sertlik ölçme yöntemi ile 10 kg yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik testlerinde kullanılan örnek bir numune Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

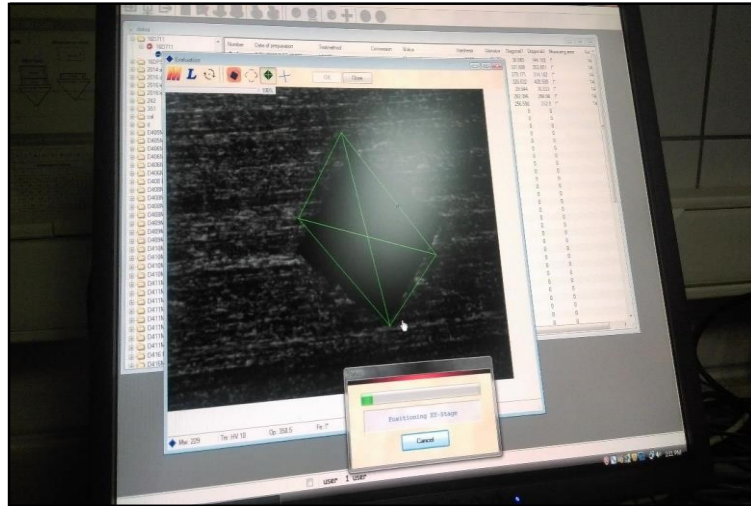


Şekil 5.8. Sertlik ölçümünde kullanılan numune örneği.

Sertlik ölçümleri, her numuneden 3'er adet olmak üzere toplamda 18 adet numune ile Şekil 5.9'da gösterilen biçimde belirtilen noktalardan yatay doğrultuda ve Şekil 5.10'da gösterildiği gibi Vickers sertlik yöntemi ile alınmıştır.



Şekil 5.9. Yatay doğrultuda yapılan ölçüm noktaları.



Şekil 5.10. Vickers sertlik ölçümü.

5.4.3. Çekme Testi

Kaynatılan her malzemedan 3 adet, toplamda ise 18 adet kaynaklı çekme numunesi alınmıştır. Çekme testi numune ölçüleri 10x25 mm olarak verilmiştir. Testlerde kullanılan çekme cihazı instron marka olup 600 kN yükleme kapasitesine sahiptir. Çekme testleri TS EN ISO 4136 'ya göre oda sıcaklığında ve 2 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme numunesi örnekleri Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Çekme numunesi örnekleri.

5.4.4. Eğme Testi

Eğme testi TS EN ISO 5173'e göre, numuneleri kaynatılan her malzemedan 2 adet kök, 2 adet kep olmak üzere 4 adet ve toplamda ise 24 adet eğme numunesi hazırlanmıştır. Kaynak kök ve kepleri freze tezgâhında işlenerek giderilmiştir. Eğme test numune ölçüleri 300x40x10 mm, eğme açısı 180° olarak hazırlanmış ve üst mandrel çapı 48,82 mm olarak seçilmiştir. Eğme testlerinde, çekme testlerde kullanılan instron marka 600 kN yükleme kapasitesine sahip çekme cihazı kullanılmıştır. Eğme testleri oda sıcaklığında, 5 mm/dk eğme hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.12'de eğme testi için yüzeyleri hazırlanan numune görüntüleri ve Şekil 5.13'te eğme cihazı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.12. Eğme testi için hazırlanan numune görüntüleri.

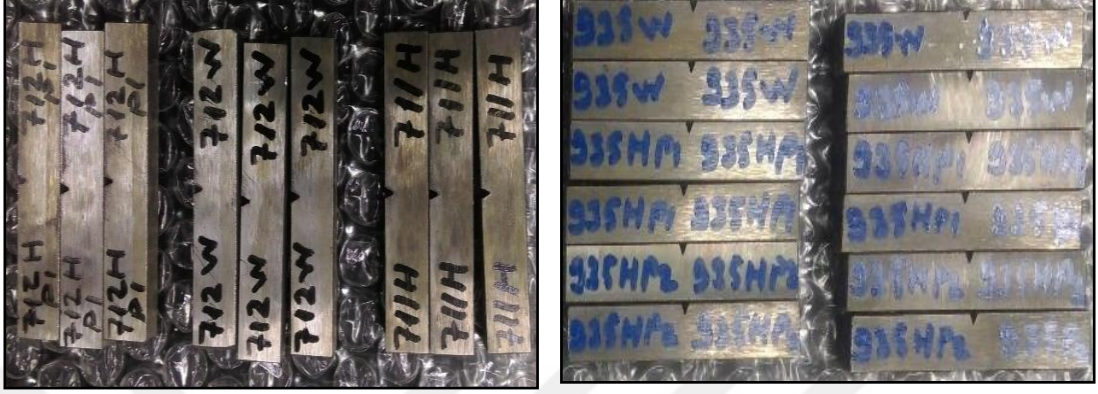


Şekil 5.13. Eğme test cihazı görüntüsü.

5.4.5. Çentik Darbe Testi

Darbe testinde amaç, malzemede muhtemelen bulunacağı düşünülen bir gerilim yoğunluğunun (gerilim birikiminin) darbe esnasında numuneye suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir. Darbeli yüklere maruz kalan malzemelerin göstereceği direnci ölçmek için yapılan bir testtir. Çentik darbe testi TS EN ISO 9016' ya göre uygun olarak standart

boyutlarda, kaynak bölgesi ve ITAB/ITAB'lardan olmak üzere her sıcaklık için 3'er adet toplamda 108 adet çentik darbe numunesi hazırlanmıştır. Şekil 5.14'te çentik darbe numune örnekleri Şekil 5.15'te testin yapıldığı cihaz görülmektedir.

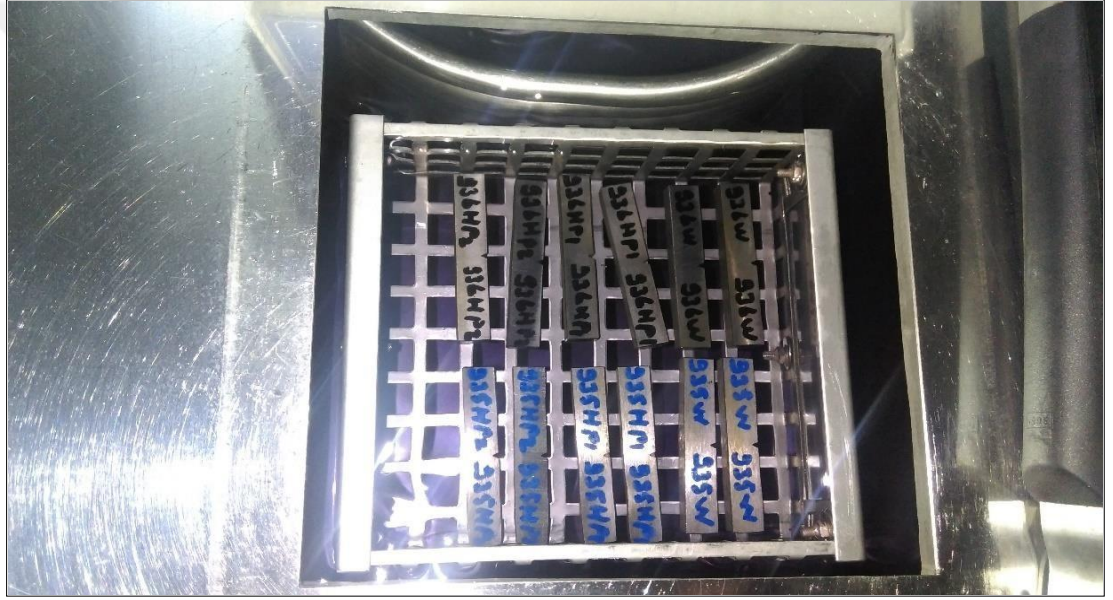


Şekil 5.14. Çentik darbe numuneleri.



Şekil 5.15. Çentik darbe cihazı.

Hazırlanmış olan çentik darbe numunelerine $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğutma işlemi yapılmıştır, $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki numuneler ise oda şartlarında test yapılmıştır. Test sıcaklıklarının cihazlar ile ayarlanması işlemleri de Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Test sıcaklığının ayarlanması.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. MAKRO/MİKROYAPI İNCELEMELERİ

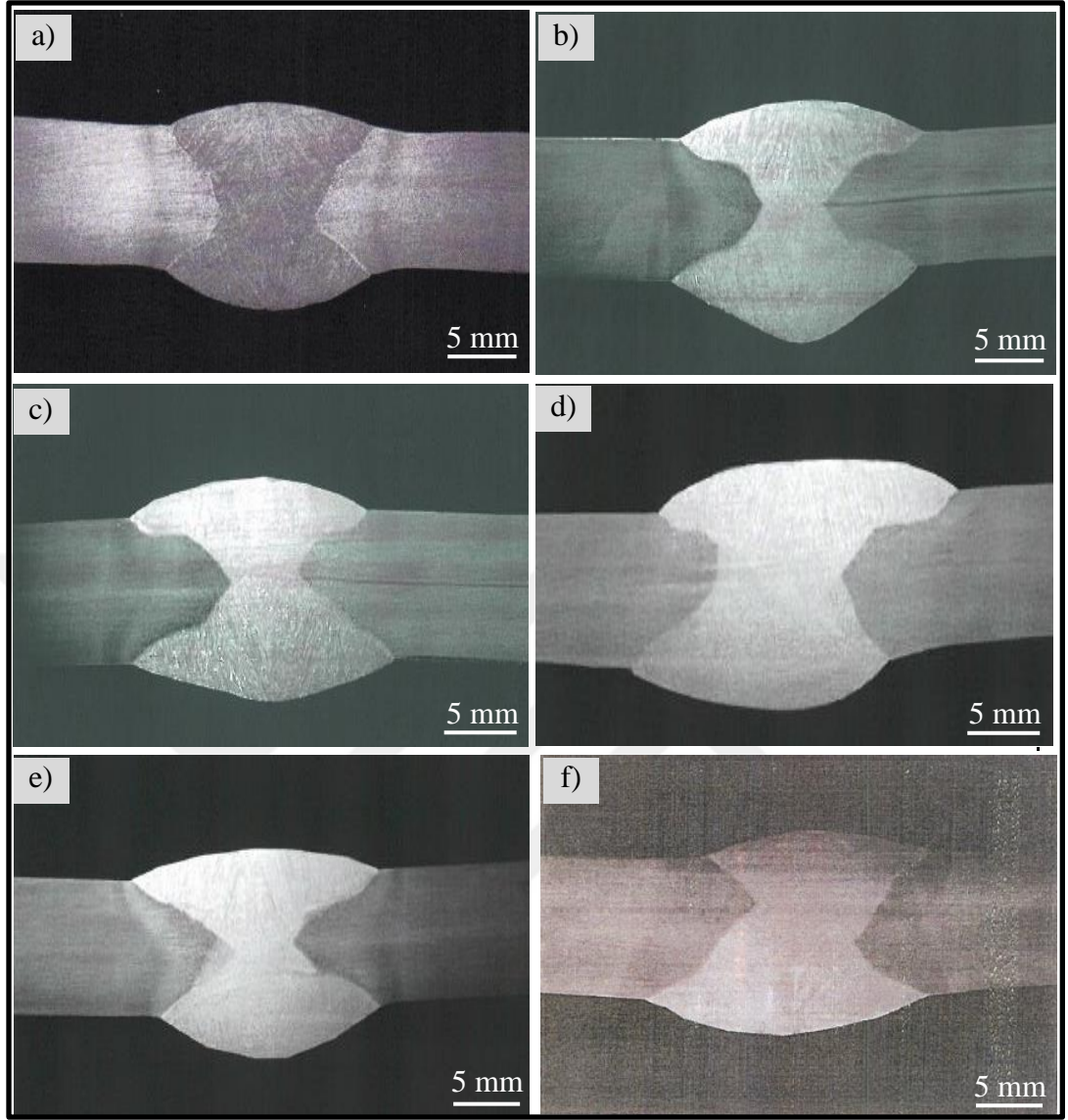
Yapılan kaynaklı birleştirmelere ait görüntüleri değerlendirmek için numunelerin makro ve mikroyapıları incelenmiştir.

6.1.1. Makroyapı incelemeleri

Makroskobik muayene, TS EN ISO 17639 “Metalik malzemelerdeki kaynaklarda tahribatlı muayene-Kaynakların makroskobik ve mikroskobik muayenesi” standardına göre yapılmakta olup, kaynaklı birleştirmenin genellikle enine kesitinin incelenmesi ile makroskobik özelliklerinin ortaya çıkarılmasında kullanılmaktadır [27].

Makroyapı incelemeleri, dağlanmış kaynaklı numunelerin çıplak gözle veya küçük bir büyütme ile incelenmesini kapsamaktadır. Şekil 6.1’de kaynaklı numunelerden görüntülenen makroyapı fotoğrafları verilmiştir. Numuneler % 5 Nital dağlayıcı ile dağlanmıştır.

Fotoğraflar incelendiğinde birleştirmelerin hiçbirinde kaynak bölgesinde çatlaklara, yırtılmalara, boşluklara, ergime /nüfuziyet azlığına, curuf kalıntılara ve yanma oluklarına rastlanılmamıştır. Makroyapı fotoğraflarında, kaynak bölgesinin kaynak metali, ITAB ve ana malzeme olarak belirgin bir şekilde ayırt edilebildiği görülmektedir.



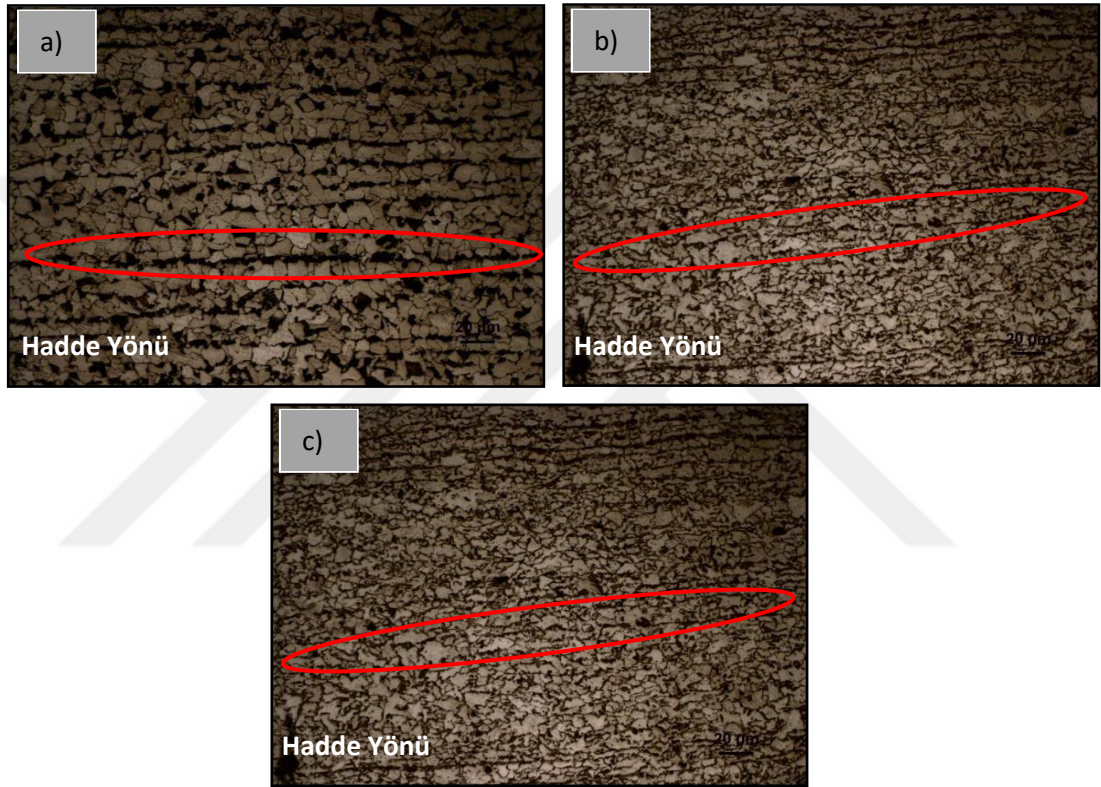
Şekil 6.1. Kaynaklı numunelerinin makroyapı fotoğrafları a) P355NL2-P355NL2, b) P355NL2-P460 c) P355NL2-S355J2 d) P460-P460 e) P460-S355J2 f) S355J2-S355J2

Makroyapı görüntüleri genel olarak incelendiğinde bütün kaynaklı numunelerin iki pasoda gerçekleştirildiği görülmüştür. Görüntülerde yanma oluğu, boşluk ve gözenek olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca yetersiz nüfuziyet ve aşırı nüfuziyet hatalarına rastlanılmamıştır. 6.1.a (P355NL2- P355NL2) birleştirmesinde gözle görülebilir bir kaynak hatasına rastlanılmamış, iki pasolu tozaltı ark kaynak yönteminde istenilen simetrik kaynak oluşmuştur. Şekil 6.1.b (P355NL2-P460), 6.1.c (P355NL2-S355J2) , 6.1.e (P460-S355J2) ve 6.1.f (S355J2-S355J2) kaynaklı birleştirmelerinde kök pasoda sarkma tespit edilmiştir. 6.1.d (P40-P460) de ise kök pasoda sarkma, aynı

eksen üzerinde bulunmama (high-low) ve iki paso arasında eksen kaçıklığı görülmüştür.

6.1.2. Mikroyapı incelemeleri

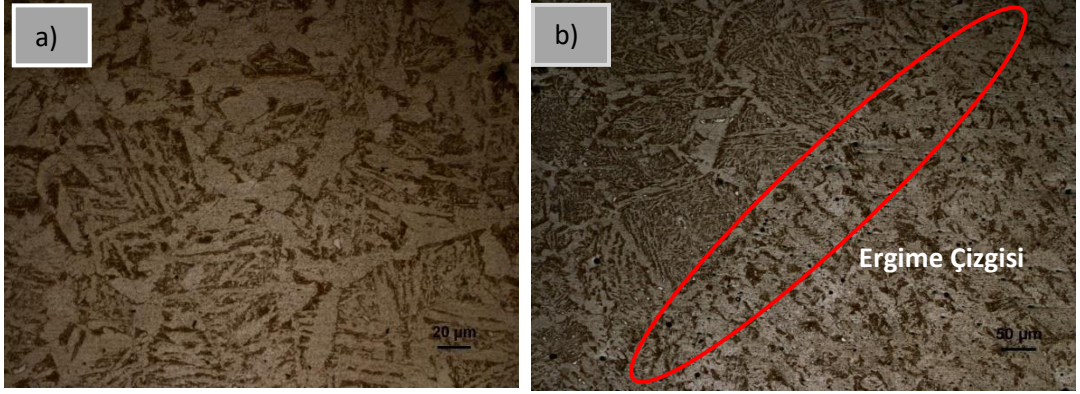
Şekil 6.2’de kaynak işlemlerinde kullanılan ana malzemelerin (P355NL2, P460 ve S355J2) mikroyapı fotoğrafları verilmiştir.



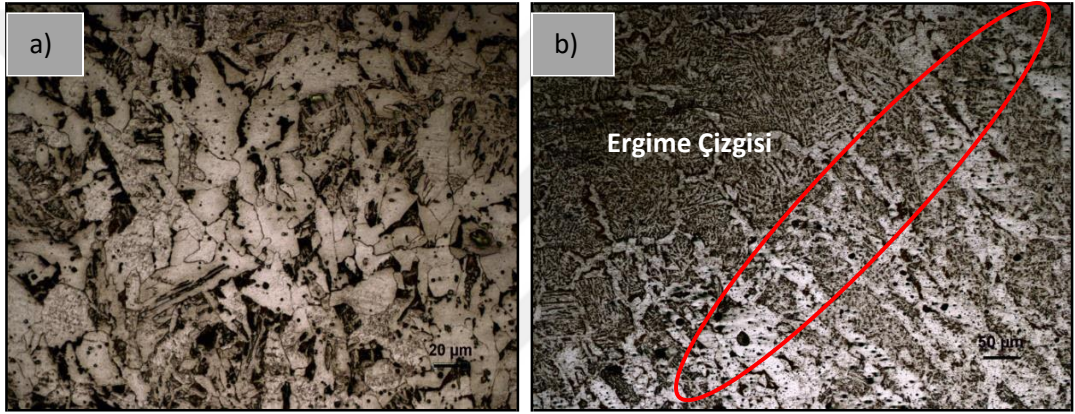
Şekil 6.2. Ana malzeme mikroyapı görüntüleri a) P355NL2 b) P460 c) S355J2

Ana malzeme mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde malzemelerin tipik eş eksenli, perlit ve ferritten oluşan, ince taneli bir yapıya sahip olduğu gözlenmektedir. Ayrıca hadde yönünde uzama gösteren oksit ve sülfür kalıntılarında oluştuğu düşünülen bantlaşma görülmektedir.

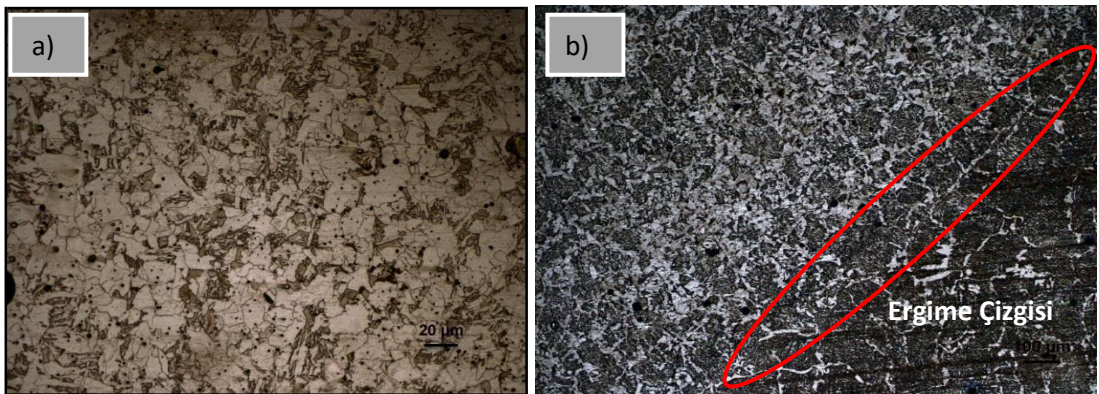
Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’te sırasıyla P355NL2-P355NL2, P355NL2-P460 ve P460-P460 kaynaklı numunelerin ITAB, kaynak metali ve ITAB–kaynak metali geçiş bölgelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.3. P355NL2-P355NL2 Kaynaklı numunesinin mikroyapı fotoğrafları a) kaynak metali b) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.



Şekil 6.4. P355NL2-P460 Kaynaklı numunesinin mikroyapı fotoğrafları a) kaynak metali b) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.



Şekil 6.5. P460-P460 Kaynaklı numunesinin mikroyapı fotoğrafları a) kaynak metali b) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.

Görüntüler genel olarak değerlendirildiğinde, tüm birleştirmelerde kaynak metalleri

ve ITAB-kaynak metali geçiş bölgelerinin birlerine benzer görüntüler sergilediği belirlenmiştir. Ayrıca, tel ve toz bileşimi etkileri hariç, tüm numunelerdeki ısı girdisi sabit olduğundan, gerek kaynak metalleri, gerekse ITAB tane boyutlarının birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin kaynak bölgeleri (ITAB, ergime sınırı ve kaynak metali) incelendiğinde kaynak metaline doğru incelen ferritik ve perlitik yapılar görülmektedir. Görülen beyaz alanlar “ferrit”, siyah olarak görülen alanlar ise ince taneli “perlitik” yapılarıdır. Ayrıca kaynak metali ve ITAB-kaynak metali geçiş bölgelerinin mikroyapı fotoğraflarında değişik oranlarda görülen ötektoid öncesi ferrit fazı, tane sınırlarında uzun ve/veya geniş boyutlarda widmanstatten yapılar ile tane içi widmanstatten yapılar görülmektedir.

Kaynaklı numunelerin geçiş bölgelerindeki mikroyapı görüntüleri genel olarak incelendiğinde, ITAB’da tane boyutunun irileştiği, kolonsal formda olduğu görülmektedir. Tozaltı ark kaynak yönteminde düşük hızlarda kaba ve kolonsal taneler elde edilirken, yüksek hızlarda daha düzensiz ve ince yapıları taneler elde edilmektedir [28].

Eroğlu ve Aksoy [29] yaptıkları çalışmada, yüksek enerji girdisinin soğumayı ve katılaşmayı yeterince yavaşlattığı, bu durumda oluşan yapıların daha fazla kabalaşmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kaynak metalinde oluşan tanelerin kaynak metali merkezine doğru yönlendikleri görülmektedir. Literatürde [30], düşük karbonlu ve düşük alaşımlı kaynak metalinde soğuma hızına bağlı olarak oluşan yapılar, tane sınırı ferriti, widmanstatten ferrit, asiküler ferrit ve perlit olabileceği belirtilmektedir. Çalışma sonucunda ağırlıklı olarak kaynak metalinde asiküler ferrit ve perlit taneleri olduğu gözlemlenmiştir.

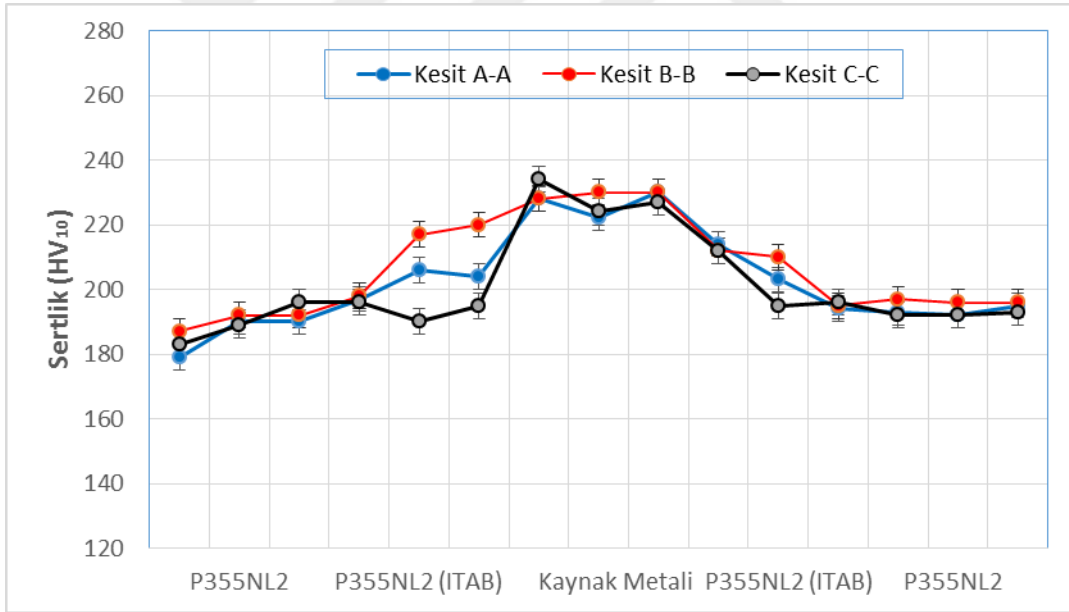
6.2. SERTLİK TESTİ

Bilindiği üzere, düşük karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında ITAB’da çatlama karşı emniyet için sertliğin 350 HV sertlik değerini geçmemesi gerektiği tavsiye edilmektedir. Tüm kaynaklı numunelerin ölçümlerinde, bu kritik değer altında sertlik ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Kaynaklı numunelerden alınan ölçümlere göre P355NL2-P355NL2 numunelerinden alınan değerler çizelge ve grafik ile birlikte verilmiştir. Çizelge 6.1’de kaynak bölgesinden yatay doğrultuda alınan sertlik ölçümleri değerleri ve Şekil 6.6’da ise sertlik ölçümlerinin grafiği verilmektedir.

Çizelge 6.1. P355NL2-P355NL2 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri.

Kesit	P355NL2-P355NL2														
	P355NL2			P355NL2 ITAB			Kaynak Metali			P355NL2 ITAB			P355NL2		
Kesit A-A	179	190	190	197	206	204	228	222	230	214	203	194	193	192	195
Kesit B-B	187	192	192	198	217	220	228	230	230	212	210	195	197	196	196
Kesit C-C	183	189	196	196	190	195	234	224	227	212	195	196	192	192	193



Şekil 6.6. P355NL2-P355NL2 numunesinin sertlik ölçüm grafiği.

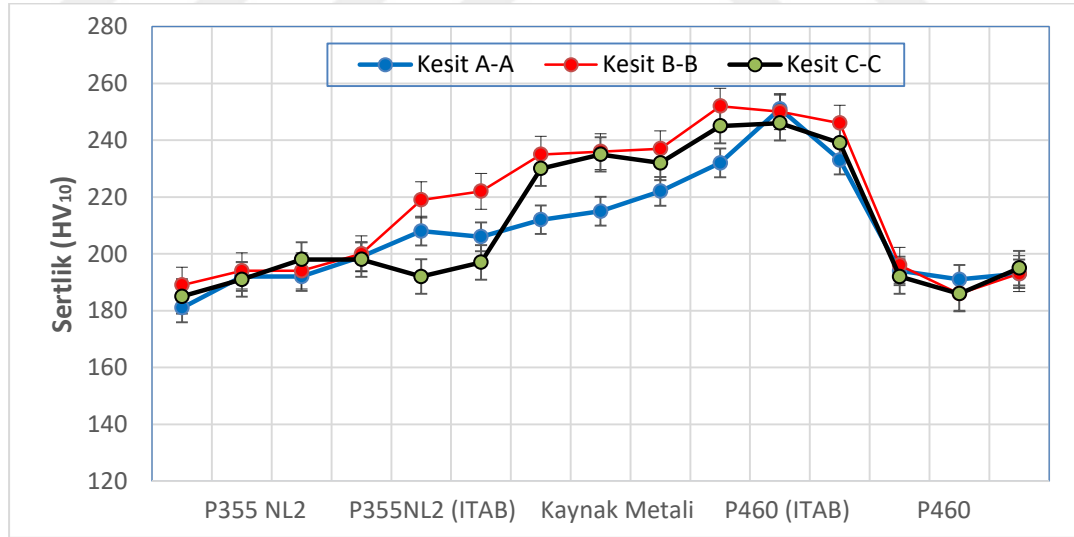
P355NL2-P355NL2 numunesinin sertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertliğin kaynak metalinden elde edildiği, onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği görülmüştür. P355 NL2 ana malzeme sertlik değerinin yaklaşık olarak 190 ± 5 HV

olduğu, ITAB sertliğinin ortalama 210 ± 5 HV olduğu ve kaynak metal sertliğinin ise ortalama 228 ± 5 HV olduğu tespit edilmiştir.

P355NL2-P460 numulerinden alınan değerler çizelge ve grafik ile birlikte verilmiştir. Çizelge 6.2’de kaynak bölgesinden yatay doğrultuda alınan sertlik ölçümleri değerleri verilmiştir. Şekil 6.7’de ise sertlik ölçümlerinin grafiği verilmektedir.

Çizelge 6.2. P355NL2-P460 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri.

Kesit	P355NL2-P460														
	P355NL2			P355NL2 ITAB			Kaynak Metali			P460 ITAB			P460		
Kesit A-A	181	192	192	199	208	206	212	215	222	232	251	233	194	191	193
Kesit B-B	189	194	194	200	219	222	235	236	237	252	250	246	196	186	193
Kesit C-C	185	191	198	198	192	197	230	235	232	245	246	239	192	186	195



Şekil 6.7. P355NL2-P460 numunesinin sertlik ölçüm grafiği.

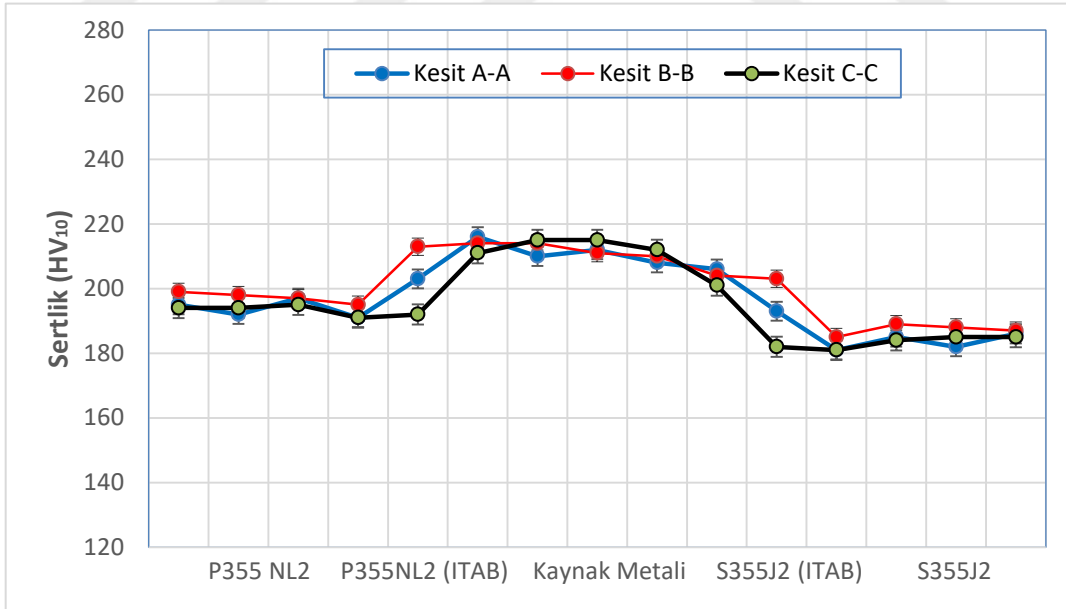
P355NL2-P460 numunesinin sertlik değerleri incelendiğinde ana malzemelerden kaynak metaline doğru ilerledikçe sertlik değerleri artmıştır. En yüksek sertlik değeri P460 ITAB bölgesinden ($250 \text{ HV} \pm 5$) elde edilmiştir. Kaynak metal sertliği ($236 \text{ HV} \pm 5$) ise P460 ITAB ve P355NL2 ITAB sertlik değeri ($219 \text{ HV} \pm 5$) arasında

belirlenmiştir.

P355NL2-S355J2 numulerinden alınan değerler çizelge ve grafik ile birlikte verilmiştir. Çizelge 6.3'te de kaynak bölgesinden yatay doğrultuda alınan sertlik ölçümleri değerleri verilmiştir. Şekil 6.8'de ise sertlik ölçümlerinin grafiği verilmektedir.

Çizelge 6.3. P355NL2-S355J2 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri.

Kesit	P355NL2-S355J2														
	P355NL2			P355NL2 ITAB			Kaynak Metali			S355J2 ITAB			S355J2		
Kesit A-A	195	192	197	191	203	216	210	212	208	206	193	181	185	182	186
Kesit B-B	199	198	197	195	213	214	214	211	210	204	203	185	189	188	187
Kesit C-C	194	194	195	191	192	211	215	215	212	201	182	181	184	185	185



Şekil 6.8. P355NL2-S355J2 numunesinin sertlik ölçüm grafiği.

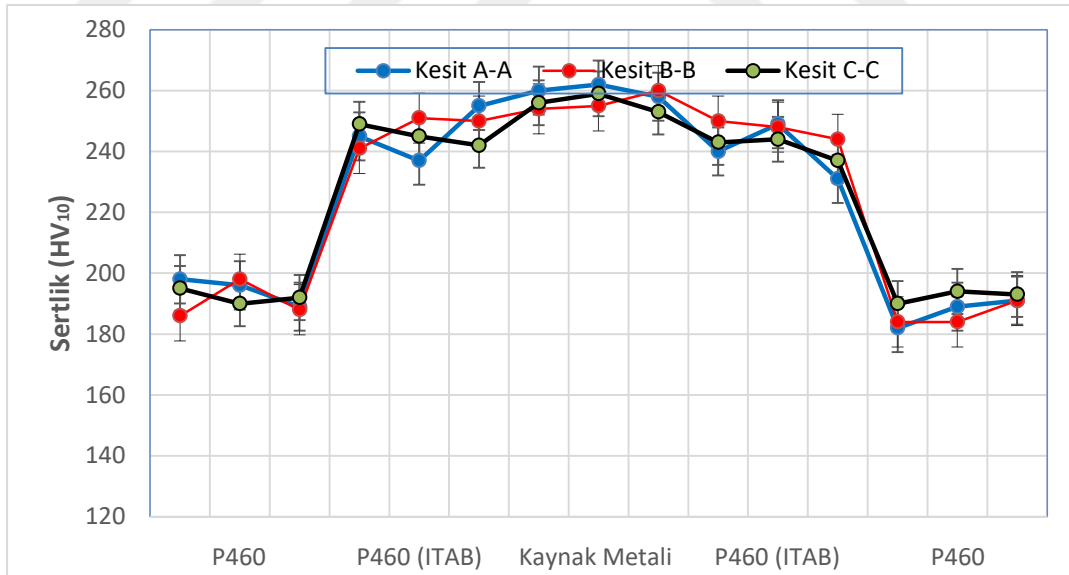
P355NL2-S355J2 numunesinin sertlik değerleri incelendiğinde ana malzemelerden kaynak metaline doğru ilerledikçe sertlik değerleri artmıştır. En yüksek sertlik değeri P355NL2 ITAB (213 HV \pm 5) bölgesinden elde edilmiştir. Kaynak metalinin sertliği (211

HV±5) ise P355NL2 ITAB ve S355NJ2 ITAB sertlik değeri (203 HV±5) arasında belirlenmiştir.

P460-P460 numulerinden alınan değerler çizelge ve grafik ile birlikte verilmiştir. Çizelge 6.4'te kaynak bölgesinden yatay doğrultuda alınan sertlik ölçümleri değerleri verilmiştir. Şekil 6.9'da ise sertlik ölçümlerinin grafiği verilmektedir.

Çizelge 6.4. P460-P460 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri.

Kesit	P460-P460														
	P460			P460 ITAB			Kaynak Metali			P460 ITAB			P460		
Kesit A-A	198	196	189	245	237	255	260	262	258	240	249	231	182	189	191
Kesit B-B	186	198	188	241	251	250	254	255	260	250	248	244	184	184	191
Kesit C-C	195	190	192	249	245	242	256	259	253	243	244	237	190	194	193



Şekil 6.9. P460-P460 numunesinin sertlik ölçüm grafiği.

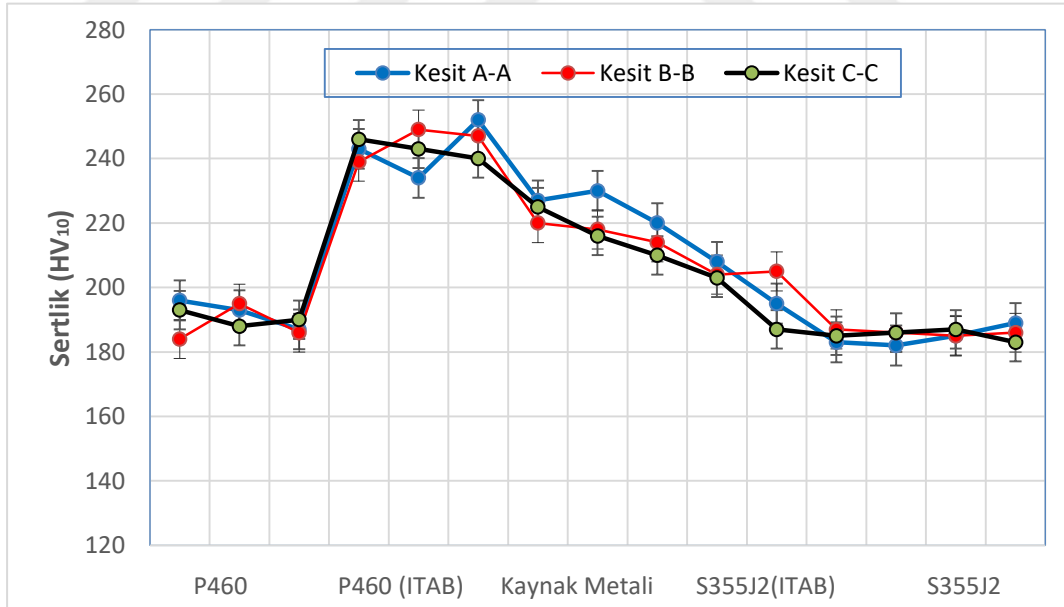
P460-P460 numunesinin sertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertliğin kaynak metalinden elde edildiği, onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği görülmüştür. P460 ana malzeme sertlik değerinin yaklaşık olarak 194±5 HV olduğu,

ITAB sertliğinin ortalama 240 ± 5 HV olduğu ve kaynak metali sertliğinin ise ortalama 255 ± 5 HV olduğu tespit edilmiştir.

P460-S355J2 numulerinden alınan değerler çizelge ve grafik ile birlikte verilmiştir. Çizelge 6.5'te kaynak bölgesinden yatay doğrultuda alınan sertlik ölçümleri değerleri verilmiştir. Şekil 6.10'da ise sertlik ölçümlerinin grafiği verilmektedir.

Çizelge 6.5. P460-S355J2 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri.

Kesit	P460-S355J2														
	P460			P460 ITAB			Kaynak Metali			S355J2 ITAB			S355J2		
Kesit A-A	196	193	187	243	234	252	227	230	220	208	195	183	182	185	189
Kesit B-B	184	195	186	239	249	247	220	218	214	204	205	187	186	185	186
Kesit C-C	193	188	190	246	243	240	225	216	210	203	187	185	186	187	183



Şekil 6.10. P460-S355J2 numunesinin sertlik ölçüm grafiği.

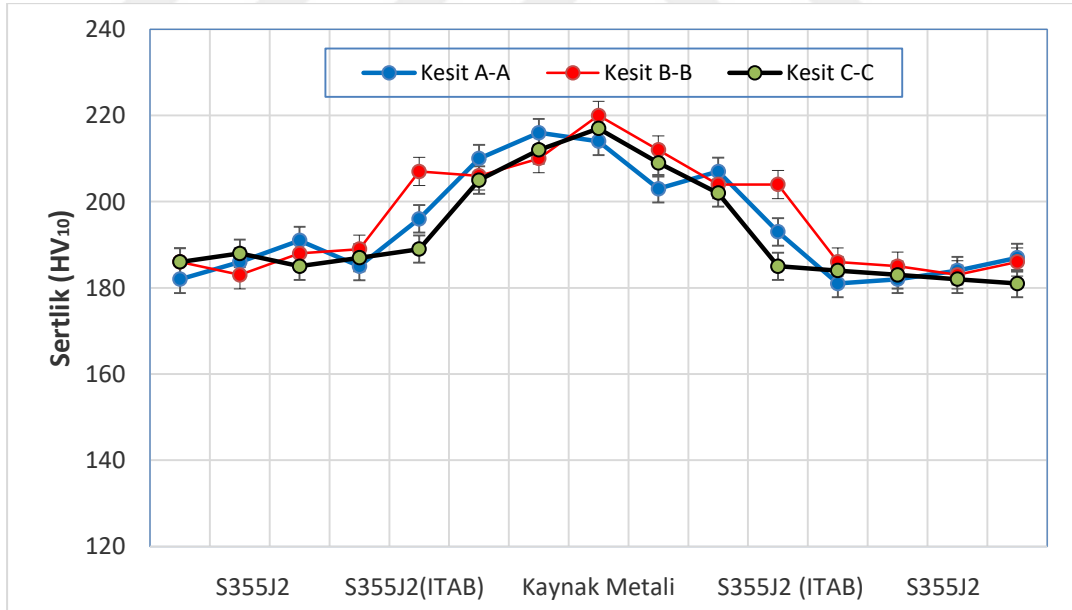
P460-S355J2 numunesinin sertlik değerleri incelendiğinde ana malzemelerden kaynak metaline doğru ilerledikçe sertlik değerleri artmıştır. En yüksek sertlik değeri P460 ITAB ($249 \text{ HV} \pm 5$) bölgesinden elde edilmiştir. Kaynak metali sertliği (218

HV±5) ise P460 ITAB ve S355NJ2 ITAB sertlik değeri (205 HV±5) arasında belirlenmiştir.

S355J2-S355J2 numulerinden alınan değerler çizelge ve grafik ile birlikte verilmiştir. Çizelge 6.6'da kaynak bölgesinden yatay doğrultuda alınan sertlik ölçümleri değerleri verilmiştir. Şekil 6.11'de ise sertlik ölçümlerinin grafiği verilmektedir.

Çizelge 6.6. S355J2-S355J2 numunesinden alınan sertlik ölçümleri değerleri.

Kesit	S355J2- S355J2														
	S355J2			S355J2 ITAB			Kaynak Metali			S355J2 ITAB			S355J2		
Kesit A-A	182	186	191	185	196	210	216	214	203	207	193	181	182	184	187
Kesit B-B	186	183	188	189	207	206	210	220	212	204	204	186	185	183	186
Kesit C-C	186	188	185	187	189	205	212	217	209	202	185	184	183	182	181



Şekil 6.11. S355J2-S355J2 numunesinin sertlik ölçüm grafiği.

S355J2-S355J2 numunesinin sertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertliğin kaynak metalinden elde edildiği, onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği görülmüştür. S355J2 ana malzeme sertlik değerinin yaklaşık olarak 185±5 HV

olduğu, ITAB sertliğinin ortalama 192 ± 5 HV olduğu ve kaynak metali sertliğinin ise ortalama 210 ± 5 HV olduğu tespit edilmiştir.

Sertlik değerleri genel olarak değerlendirildiğinde, aynı tőr malzemelerde en yőksek sertlik değerlerinin kaynak metalinden ölçüldüğü, onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği görülmüştür. Farklı malzemelerin sertlik testleri sonucunda ise ITAB sertlik değerlerinin ana malzemelerden yőksek ölçüldüğü, kaynak metali sertliğinin ise farklı malzemelerin ITAB sertlik değerleri arasında ölçüldüğü tespit edilmiştir.

Ada [31], Asarkaya [32], Durgutlu [3] ve Kaya ve arkadaşları [33], tozaltı ark kaynağı ile yaptıkları çalışmalarda tozaltı ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerde en yőksek sertliğin kaynak metalinde olduğunu ve onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiğini belirtmişlerdir.

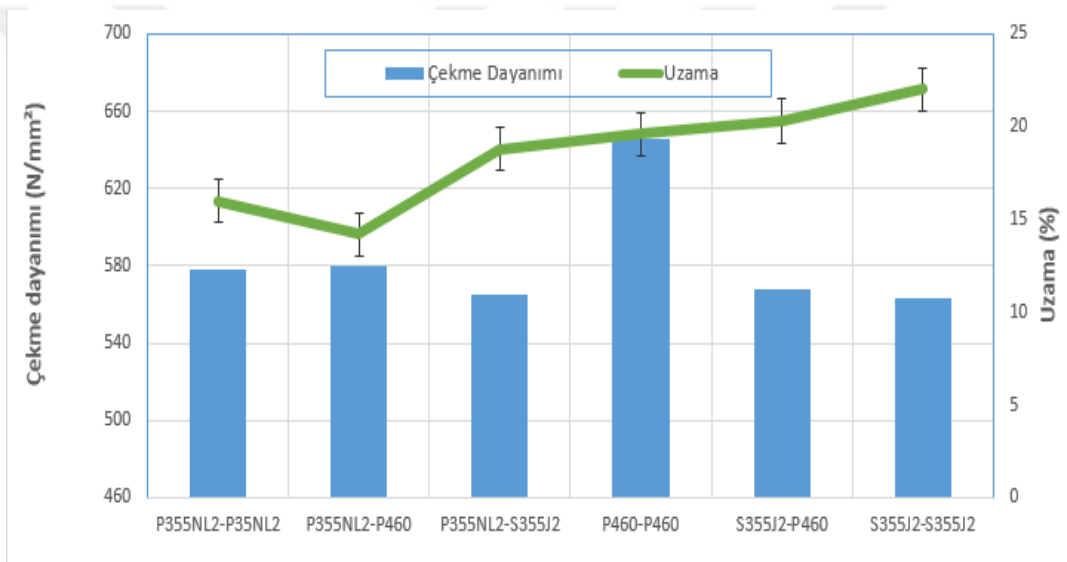
Kılınçer [34], farklı karbon oranına sahip çelikleri tozaltı ark kaynağı ile birleştirmiş ve % 0,22'den az karbon oranına sahip kaynaklı bağlantıların en sert bölgesinin kaynak metali olduğunu ve kaynak metalinden ana malzemeye doğru gidildikçe sertliğin azaldığını tespit etmiştir.

6.3. ÇEKME TESTİ

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesi dayanımlarını belirlemek için; her kombinasyondan 2'şer adet olmak üzere, toplamda 12 adet numuneye çekme testi uygulanmıştır. Çekme sonuçları oranındaki fark %5'i geçtiğinde bir üçüncü numune çekme testine tabi tutulmuş ve sonuçlarda birbirine yakın olan 2 değer alınmıştır. Çekme testi sonucunda 6 adet kaynaklı numuneye ait elde edilen çekme dayanımı ve uzama değerinin ortalamaları izelge 6.7'de, kolay anlaşılabilirliği için oluşturulan grafik ise şekil 6.12'de oluşturulmuştur.

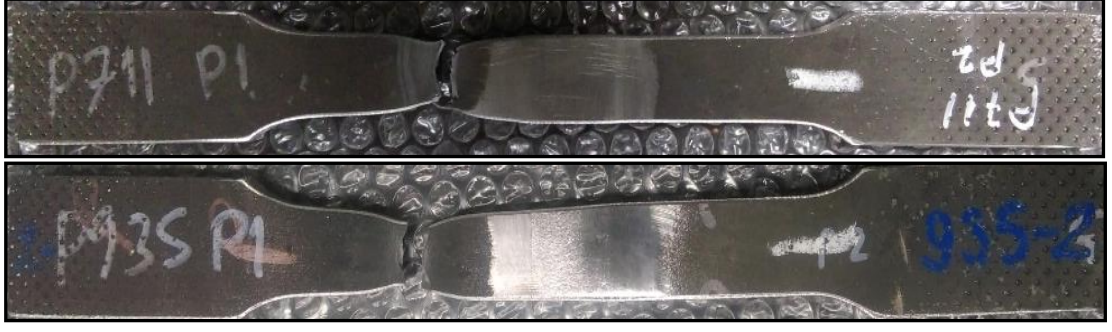
Çizelge 6.7. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımı ve uzama değerleri.

Kaynaklı Numuneler	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
P355NL2-P355NL2	578±5	16
P355NL2-P460	580±5	14,2
P355NL2-S355J2	565±5	18,8
P460-P460	646±5	19,6
S355J2- P460	568±5	20,3
S355J2-S355J2	563±5	22



Şekil 6.12. Kaynaklı numunelerin çekme ve uzama grafiği.

Üç farklı özelliklerdeki basınçlı kap çelikleri tozaltı ark kaynak yöntemi ile kendileri ve birbirleri arasında olmak üzere toplamda 6 farklı kaynaklı birleştirmelere uygulanan çekme testi sonucunda bütün numunelerde kopma kaynak bölgesi dışından gerçekleşmiştir. Şekil 6.13'te çekme testi sonrası örnek çekme numunelerinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.13. Çekme testi sonrası numune görüntüsü.

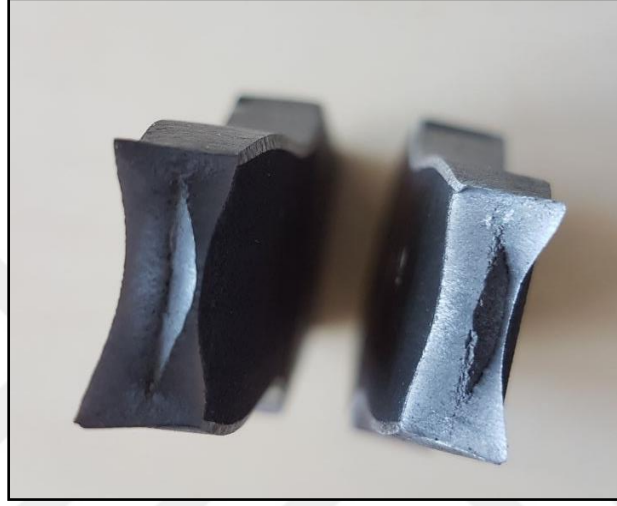
Çizelge 6.7'deki kaynaklı bağlantılara ait max. Çekme dayanım değerleri incelendiğinde, tüm değerlerin Çizelge 5.2'de verilen ana malzemelerin çekme dayanımı değerlerinin istenen aralıklarda olduğu görülmektedir. Tüm numunelerde kopmanın ana malzemelerde olduğu görülmüştür. Bu durum kaynaklı bölgenin çekme dayanımının, ana malzemenin çekme dayanımından daha yüksek değerlerde olduğunu göstermektedir.

Yapılan testlerde, çekme dayanım değerlerinin ana malzemedan daha yüksek değer vermesinin nedeni kaynak metalinin şekil değiştirmeye karşı gösterdiği dirençten kaynaklanmaktadır. Genellikle kaynak metali, ana malzemeye nazaran daha yüksek sertlik değerleri verir. Kaynaklı malzemenin sünekliliği genellikle kaynaklanan ana malzemeye nazaran daha düşük değerler verir. Bu durum özellikle başta kaynak metali olmak üzere ITAB'ı da içine alan kaynak bölgesinin daha az deformasyona uğramasına, dolayısıyla deformasyonun daha dar bir bölgede meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bilindiği üzere aynı bileşim ve farklı çekme boylarında yapılan çekme testleri sonucu, eğer çekme hızı sabit ise çekme boyu kısa olan malzeme hızlı pekleşmeden dolayı daha yüksek dayanım gösterir. Literatürde verilen bilgilerin, yapılan çalışma ile paralellik gösterdiği görülmektedir [2].

Bilindiği gibi tozaltı ark kaynak yönteminde, diğer kaynak yöntemlerine göre yüksek ısı girdisi meydana gelmektedir. Yüksek ısı girdisi de hızlı soğumayla, malzemenin sertliğinin artmasına sebep olmaktadır. Hem sertlik, hem de çekme dayanımı, metallerin plastik deformasyona direncini gösterdiklerinden, sonuç olarak bu iki değer kabaca orantılıdır. Bir başka ifadeyle, kopma işleminin, kaynak metali veya

ITAB yerine, sertliği düşük olan ana malzemededen olması bu sonucu doğrulamaktadır.

Şekil 6.14'te kaynaklı numunelerin örnek bir kopma yüzey görüntüsü verilmiştir. Çekme testleri sonucunda, kopmuş kaynaklı numuneler üzerinde, gözle yapılan incelemeler sonucunda kopma türlerinin genelde sünek türde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.14. Kaynaklı numunelerin örnek kopma yüzey görüntüsü.

Çalışmada, çekme numuneleri standartlara uygun olarak hazırlandığından, kaynaklı numunelerdeki kaynak bölgesinin sert olması nedeniyle deformasyon bu bölgelerin dışında meydana gelmektedir. Deformasyonun dar bir bölgede meydana gelmesi ise dayanımın yüksek değerler göstermesine neden olurken, kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinin düşük çıkmasına neden olmuştur. Daha önce benzer konuda yapılan çalışma sonuçları incelendiğinde, % uzamanın azalmasına sebep olarak, kaynaklı bölgenin çekme testi sırasında deformasyona uğramaması gösterilmiştir. Sonuç olarak, kaynaklı bölgenin deformasyona karşı göstermiş olduğu direncin, çekme mukavemetinin artmasına ve % uzama değerinin azalmasına neden olduğu belirtilmiştir [2].

6.4. EĞME TESTİ

Kaynaklı birleştirmelerde, kaynak dikişi ve çevresinin şekil değiştirme kabiliyeti ve kaynak dikişi ile esas metal arasında iyi bir bağlantı olup-olmadığı bu testlerle tespit edilmektedir. şekil 6.15'te eğme testi esnasındaki görüntü ve şekil 6.16'da eğme testi sonrasında görüldüğü gibi numunelere 180° olarak uygulanan kök ve kep eğme testlerinde, kaynak dikişi ve çevresinde çatlama, yırtılma gibi herhangi bir hatanın oluşmadığı göz muayenesi ile tespit edilmiştir. Bu durum, malzemelerin birleştirilmesinin uygun bir şekilde yapıldığını ve bu tür kaynaklı bağlantıların 180° eğilerek servis şartlarında kolaylıkla kullanılabileceğini göstermektedir. Yapılan bir araştırmada, tozaltı ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin 180°'ye kadar eğilmesi sonucunda, herhangi bir hasara uğramadan kalmaları, sünek bir kaynaklı bağlantı yapıldığının göstergesi olarak değerlendirilmiştir [32].



şekil 6.15. Eğme testi esnasındaki görüntü.



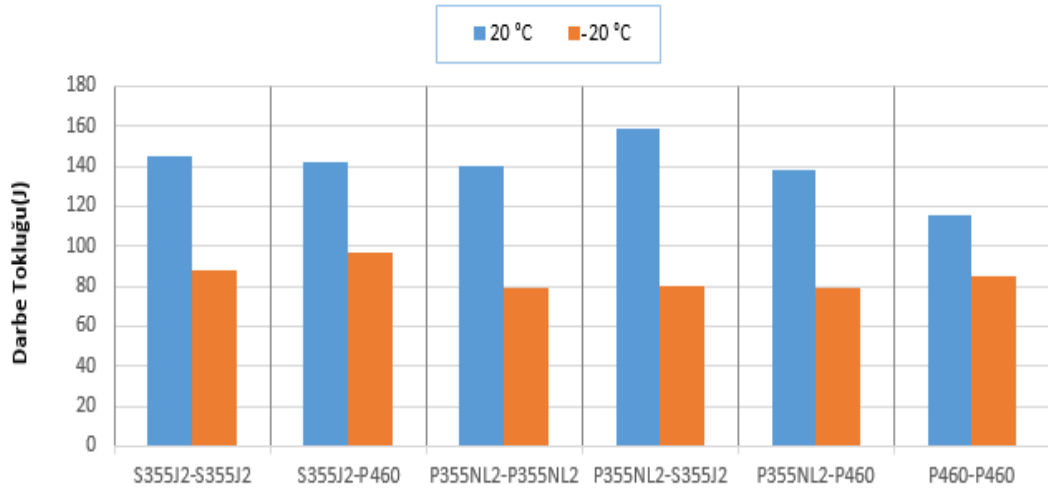
şekil 6.16. Eğme sonrası numunelerin görüntüsü.

6.5. ÇENTİK DARBE TESTİ

Çentik darbe testi, tozaltı ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin, hem kaynak metallere, hem de ITAB'larının iki farklı ortam sıcaklığında (-20 °C ve 20 °C) tokluk değerlerini belirlemek için yapılmıştır. Çizelge 6.8'de farklı sıcaklıklarda yapılan testlerden kaynak metaline ait sonucunun ortalamalarını, Şekil 6.17'de ise çizelgede verilen değerler neticesinde kaynak metaline ait sonuçların ortalamalarını oluşturulan grafikleri göstermektedir.

Çizelge 6.8. Kaynak metalinin farklı sıcaklıklardaki darbe sonuçları (J).

Sıcaklık (°C)	S355J2-S355J2	S355J2-P460	P355NL2-P355NL2	P355NL2-S355J2	P355NL2-P460	P460-P460
20 °C	145	142,2	140	158,2	138	115
-20 °C	88,2	97,1	78,6	79,6	79,5	84,5



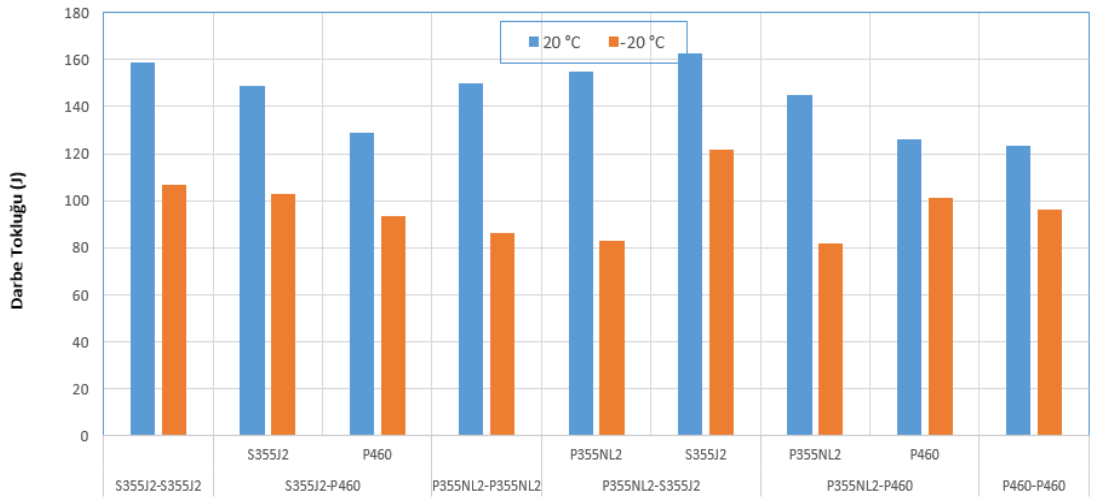
Şekil 6.17. Kaynak metaline ait çentik darbe grafiği.

Çizelge 6.9'da farklı sıcaklıklarda yapılan darbe testlerinden ITAB'a ait sonuçların ortalamalarını grafik olarak, Şekil 6.18'de ise çizelgede verilen değerler neticesinde oluşturulan grafikleri göstermektedir.

Çizelge 6.9. ITAB'ın farklı sıcaklıklardaki darbe sonuçları (J).

Sıcaklık (°C)	S355J2-S355J2	S355J2-P460		P355NL2-P355NL2	P355NL2-S355J2		P355NL2-P460		P460-P460
		S355J2	P460		P355NL2	S355J2	P355NL2	P460	
20	156,7	149	128,7	149,9	155	162,5	145	126	123,3
-20	106,5	103	93,5	86	83	121,7	82	101	96,5

Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9 incelendiğinde, en yüksek tokluk değerlerinin oda sıcaklığında (20 °C), en düşük tokluk değerlerinin ise -20 °C'de ölçüldüğü ve en yüksek darbe tokluğunun P355NL2-S355J2 kaynak metalinde olduğu görülmüştür. Genel olarak sıcaklık azaldıkça malzemelerin darbe direncinin de azaldığı görülmüştür. Malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak, darbe direncindeki düşme, aniden olabileceği gibi belirli bir sıcaklık aralığında da olabilmektedir.



Şekil 6.18. ITAB'a ait çentik darbe grafiği.

Literatürde Kurt [35], DH 36 gemi sacını farklı kaynak yöntemleriyle (elektrik ark, MIG-MAG ve tozaltı) birleştirmiş ve bağlantı dayanımlarını, çentik darbe testiyle, farklı sıcaklık ortamlarında (-40 °C, -20 °C, 0 °C, 20 °C, 40 °C) belirlemeye çalışmıştır. Çalışmalar sonucunda, darbe test sıcaklığının düşmesiyle, tüm yöntemlerde tokluk değerlerinin düştüğünü rapor etmiştir.

Kaçar ve Kökemli [36], düşük karbonlu çelik çiftleri, klasik GMAK yöntemiyle argon koruyucu gazı kullanarak ve kontrollü atmosfer ünitesinde aynı kaynak parametreleri kullanılarak birleştirmişler ve bağlantıların mekanik ve metalurjik özellikleri araştırmışlardır. Çalışma sonucunda altı farklı sıcaklıkta (-100 °C, -50 °C, 0 °C, 25 °C, 50 °C, 100 °C) çentik darbe testleri yapılmış ve sıcaklığın azalmasıyla, kaynak metallereinden ölçülen darbe tokluklarının düştüğünü rapor etmişlerdir.

Çentik darbe test sonuçları incelendiğinde, ITAB ve kaynak metalinden ölçülen tokluk değerlerinin, aynı bölgelerden ölçülen sertlik değerleri ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Yani bu bölgelerin sertlik değerleri arttıkça darbe toklukları azalmaktadır. Çetinkaya [37], yaptığı bir araştırmada sertliğin artmasıyla tokluğun azaldığını rapor etmektedir.

Kaya ve arkadaşları [33], tozaltı ark kaynağı ile birleştirilen farklı kalınlıktaki grade A gemi saclarının mekanik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada ITAB'ın tokluğunun kaynak metalinden daha yüksek olduğu ve ITAB'ın sertliğinin kaynak metalinden daha düşük olmasının bu sonucu doğurduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen çentik darbe sonuçları, sertlik sonuçları ile kıyaslandığında, sertliğin yüksek olduğu kaynak metallereinde tokluk değerleri düşük, sertliğin düşük olduğu ITAB'da ise tokluk değerleri yüksek çıkmıştır.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Başınçlı kapların imalatında sıklıkla kullanılan P355NL2, P460 ve S355J2 çeliklerinin, tozaltı ark kaynak yöntemi ile aynı tel ve toz çeşidi kullanılarak birleştirildiği bu çalışma sonucunda;

- Gözle muayene sonucunda tozaltı ark kaynağında sıklıkla rastlanılan kaynak hatalarına (yanma olukları, gözenek, dikişte taşma ve yetersiz nüfuziyet) rastlanmamıştır. Ayrıca makroyapı resimlerinde gaz boşluğu ve yetersiz ergime hatalarının olmadığı görülmüştür.
- Kaynaklı numunelerin geçiş bölgelerinde mikroyapı görüntüleri genel olarak incelendiğinde ITAB'da tanelerin irileştiği ve kaynak metalinde ise tanelerin ısı akışına ters yönde şekillendiği görülmektedir.
- Sertlik ölçümleri sonucunda aynı tür malzemelerin birleştirilmesinde en yüksek sertlik değerlerinin kaynak metalinde olduğu, onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği belirlenmiştir. Farklı malzemelerin sertlik testleri sonucunda ise kaynak metali sertliğinin ITAB'ın birinden düşük, diğerinden yüksek olduğu, ana malzemelerin ise hem kaynak metali hem de her iki ITAB'dan da düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Çekme testleri sonucunda kaynaklı numunelerin tümünde kopma kaynak metali veya ITAB'dan olmayıp, tüm birleştirmelerde dayanımı düşük olan ana malzemedен sünek kırılma şeklinde gerçekleşmiştir.
- Kaynaklı numunelere, her iki yönde uygulanan eğme testlerinde (kök ve kep eğme), kaynaklı numuneler 180°ye sorunsuz bir şekilde eğilebilmiş ve herhangi bir kaynak hatasına (çatlak, yırtılma) rastlanmamıştır.
- Çentik darbe testlerinde, sıcaklık azaldıkça malzemelerin darbe direncinin de azaldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Anık, S., Tülbentçi, K., “Kaynak Tekniği El Kitabı” , *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, 4-13 (1991).
2. Kahraman, N., Gülenç, B. and Durgutlu, A., “Tozaltı ark kaynağı ile kaynaklanan düşük karbonlu çeliklerde serbest tel uzunluğunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması”, *G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18 (3): 473-480 (2005).
3. Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., “Tozaltı ark kaynağında kaynak tozunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, *Gazi Üniv. End. Sanatlar Eğitim Fak. Dergisi*, 10(11):1-8 (2002).
4. Kahraman, N., Gülenç, B., “Modern Kaynak Teknolojisi Kitabı”, *Epa-Mat Basın Yayın Ltd. Şti*, Ankara, 30-36. (2009).
5. Ogborn, JS. 1993. Submerged Arc Welding. *ASM Handbook*, 6: 202-204.
6. Çetinkaya, C., “Orta karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği ve mekanik özelliklerin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 1(3-4): 61-67. (1998).
7. Kahraman, N., “URT418: Boru ve Basıncılı Kapların Kaynağı Ders Notları”, (2017).
8. Geren, N. ve Tunç, T. 1999. Basıncılı Kap Tasarım Kodları ve Çatlak Analizi. *Mühendis ve Makine Dergisi TMMOB Makina Mühendisleri Odası Aylık Yayın Organı*, 40 (479); 15-22.
9. Mestan F., “ Basıncılı kapların deneysel ve teorik olarak incelenmesi” , (2010).
10. Kahraman, N., Gülenç, B., 2017. Modern Kaynak Teknolojisi Kitabı. *Epa-Mat Basın Yayın Ltd. Şti*, Ankara, 30-36 (2016).
11. Külahlı, E., “Kaynak Bilimi”, *Oerlikon Yayını*, İstanbul, 2-23 (1988).
12. Usta M., “ Birbirinden farklı kalın cidarlı basıncılı kaplarda kaynaklı bölgelerin TS 17020 uygunluğunun araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ (2011).
13. Kayakök V., “ Tozaltı ve Mag kaynak yöntemlerinde kaynak ağzı- Nüfuziyet ilişkisinin incelenmesi ve ekonomik yönden kıyaslanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2009).
14. Acar, O., “ Petrol depolama tanklarının imalatı montajı ve kaynaklı bağlantılarının tahribatsız muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2009).
15. Karlsson, L., "Welding Duplex and 20. Süper Duplex Stainless Steels",

SVETSAREN, Vol. 48, No. 2, pp. 5- 12, Sweden, 1994.

16. Bonnefois, B., Soullignac, P., "Submerged Arc VVelding of High Alloyed Duplex Stainless Steel", *Joining/VVelding 2000, Proceedings of the International Conference IIVV*, pp. 245-252, 1-2 July 1991, The Hague, The Netherlands.
17. Heuser, H., "Schweissen von Duplex-Staehlen", *Jahrbuch Schweisstechnik'93*, pp. 69-78, DVS-Verlag, Düsseldorf.
18. Erbay C., "Tozaltı ark kaynağında kaynak parametrelerinin mikroyapı ve nüfuziyet etkisinin incelenmesi", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, (1999).
19. X.K. Zhu, Y.J. Chao *Effects of temperature-dependent material properties on welding simulation. *Computers and Structures* 80 (2002) 967–976.
20. Mercado- paniagua, A., Lopez-Hirata, V. and Munoz, M., "Influence of the chemical composition of flux on the microstructure and tensile properties of submerged-arc welds", *Journal of Marerials Processing Technology*, 169:346-351 (2005).
21. Pu, J., Yu, F. S. and Li, Y. Y., " Effects of Zr-Ti on the microstucture and properties of flux aided backing submerged arc weld metals", *Journal of Alloys and Compounds*, 692 (2017) 351e358.
22. Kahraman, Ş., Şirin, Y. Ş. and Kaluc, E., " Influence of the interpass temperature on t8/5 and the mechanical properties of submerged arc welded pipe", *Journal of Materials Processing Technology*, 238 (2016) 152–159.
23. Lan, L., Kong, X., Oiu, C. and Zhao, D., " Influence of microstructural aspects on impact toughness of multi-Pass submerged arc welded HSLA steel joints", *Materials and Design*, 90 (2016) 488–498.
24. Gulenç, B., Kahraman, N., " Wear behaviour of bulldozer rolles welded using a submerged arc welding process", *Materials and Design*, 24 (2003) 537–542.
25. Nowacki, J., Rybicki, P., " The influence of welding heat input on submerged arc welded duplex steel joints imperfections", *Journal of Materials Processing Technology*, 164–165 (2005) 1082–1088.
26. Luo, J., Dong, Y., Li, L. and Wang, X., " Microstructure of 2205 duplex stainless steel joint in submerged arc welding by post weld heat treatment", *Journal of Manufacturing Processes*, 16 (2014) 144–148.
27. TS EN ISO 17639, " Mekanik malzemelerdeki kaynaklarda- Tahribatlı muayene- Kaynakların makroskobik ve mikroskobik muayenesi", **Türk Standardları Enstitüsü**, Ankara, (Şubat 2014).
28. Durgutlu, A., Gülenç, B., ve Tülbenççi, K., " Ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete etkisi", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23:251-259 (1999).
29. Eroğlu, M. ve Aksoy M., "Enerji girişinin kaynak metali mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi" , *Bilim Günleri, Bildiriler Kitabı, Makine*

- Mühendisleri Odası*, Denizli, 434-439 (1999).
30. Yükler, İ., “Kaynak Metali”, *Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası*, İstanbul, 5264 (1994).
 31. Ada, H., “ petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen boruların Tozaltı ve spiral kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-69 (2006).
 32. Asarkaya, M., “Gemi insasında kullanılan kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Sakarya, 54-86 (2006).
 33. Kaya, Y., Kahraman, N., Durgutlu, A. Ve 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).
 34. Kılınçer, S., “Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12-22 (1998).
 35. Kurt, K., “DH 36 gemi sacının farklı kaynak yöntemleri ile mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 21-32 (2008).
 36. Kaçar, R., and Kokemli, K., “ Effect of controlled atmosphere on the Mig-Mag arc weldment properties” *MATERIALS & DESIGN*, 26 (6): 508-516 (2005).
 37. Çetinkaya, C., “Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (11): 1-8 (2002).

ÖZGEÇMİŞ

Aslı CANLI 1991 yılında Yozgat'ta doğdu; ilkokula 4,5 yaşında Yozgat'a bağlı Sarıfatma İlköğretim Okulunda başlayarak 4.sınıfa kadar burada devam etti. Daha sonra Ankara'ya taşınarak ilk ve orta öğrenimini burada tamamladı. Tuzluçayır Lisesi Fen Bilimleri Bölümü'nden mezun oldu. 2008 yılında Ahi Evran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2010 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği'ni kazandığı için Kimya bölümünü dondurdu ve eğitimine Karabük'te devam etti. 2014 yılında Fakülte 2.liği, Bölüm 1.liği ve onur belgesi olarak Üniversite eğitimini tamamladı. Rimet Makina A.Ş. de çalışmaya başladıktan 3 ay sonra teklif aldığı Türk Standardları Enstitüsünde (TSE) İnceleme Uzmanı olarak çalışmaya başladı. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği alanında Yüksek Lisans yapmaya başladı. Halen çalışma hayatı ile birlikte eğitimini sürdürmeye devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yakupabdal Mahallesi Serpmeler Kümeevleri 1297/1 Çankaya/ANKARA

Telefon : (543) 897 27 59

E-posta : canlaslan@gmail.com