

T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEMİ İNŞA SANAYİNDE KULLANILAN GRADE A ÇELİĞİNİN
KAYNAK BÖLGESİNİN İNCELENMESİ

Fatih ATA

Danışman
Prof. Dr. Adnan ÇALIK

ISPARTA - 2021



© 2021 [Fatih ATA]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	3
1.2. Çalışmanın Kapsamı	4
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Kaynağın Tanımı ve Çeşitleri	9
2.1.1. Ergitme kaynağı	9
2.1.2. Basınç kaynağı	9
2.2. Kaynağın Temel Bileşenleri.....	10
2.2.1. Kaynak edilecek malzemenin kimyasal özellikleri.....	10
2.2.2. Kaynak kabiliyeti	12
2.2.3. Isı girdisi	13
2.2.4. Kaynak teknikleri	14
2.2.5. Kaynak pozisyonları.....	14
2.2.6. Kaynak makineleri	16
2.2.7. Kaynak ek malzemeleri.....	17
2.2.8. Kaynak metalini koruyucu örtü ve gazlar	18
2.2.9. Kaynak ağzı ve kaynak aralığı	19
2.2.10. Kaynak öncesi ve sonrası ısı işlemler	20
2.3. Gemi İnşa Sanayisinde Yaygın Kullanılan Kaynak Yöntemleri	20
2.3.1. Gazaltı kaynağı.....	21
2.3.1.1. Kısa devre iletimi	23
2.3.1.2. İri damla iletimi.....	24
2.3.1.3. Sprey iletimi	25
2.3.1.4. Darbeli (Pulse) akım geçişi	26
2.3.1.5. Korucu gazlar ve gaz karışımları	28
2.3.1.6. Kaynak ek metali	30
2.3.1.7. Gazaltı kaynak tekniğinin avantajları.....	30
2.3.2. Tozaltı kaynak yöntemi.....	31
2.3.2.1. Tozaltı kaynak telleri.....	32
2.3.2.2. Tozaltı kaynak tozları.....	32
2.3.2.3. Tozaltı kaynak tekniğinin avantajları	34
2.3.3. Plazma ark kaynak yöntemi	35
2.3.3.1. Mikro plazma tekniği	36
2.3.3.2. Makro plazma tekniği	37
2.3.3.3. Anahtar deliği (Keyhole) tekniği	37
2.3.3.4. Plazma ark kaynak yönteminin temel bileşenleri.....	38
2.3.3.4.1. Plazma kaynağı akım üreteçleri	38
2.3.3.4.2. Kaynak kontrol üniteleri	38
2.3.3.4.3. Plazma ve koruyucu gazlar	39
2.3.3.4.4. Plazma ark kaynağı torcu	39

2.3.3.4.5. Plazma ark kaynağı ve ergimeyen elektrodlar	39
2.3.3.4.6. Plazma ark kaynağı ek telleri	39
2.3.3.4.7. Plazma ark kaynak tekniğinin avantajları	40
3. MATERYAL VE YÖNTEM	41
3.1. Araştırma Metodolojisi	41
3.2. İş Akış Diyagramı	42
3.3. Materyal	43
3.4. Yöntem	44
3.4.1. Tozaltı kaynak tekniği ve uygulama parametreleri	45
3.4.1.1. Tozaltı kaynağı çift taraflı	45
3.4.1.2. Tozaltı kaynağı tek taraflı	48
3.4.2. Gazaltı kaynağı	50
3.4.3. Plazma Ark kaynağı	53
3.5. Tahribatlı Muayene İçin Deney Numunelerinin Hazırlanması	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	59
4.1. Kaynak Yöntemlerinin Isı Girdi Hesabı	59
4.2. Çekme Deneyi Bulguları	60
4.3. Üç Nokta Eğme Deneyi Bulguları	72
4.4. Darbe (Charpy V çentik) Deneyi Bulguları	76
4.5. Mikrosertlik Deneyi Bulguları	80
4.6. Makro ve Mikro Yapı Bulguları	84
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR	123
EKLER	128
EK A. Grade A çeliği sertifikası	129
ÖZGEÇMİŞ	130

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GEMİ İNŞA SANAYİNDE KULLANILAN GRADE A ÇELİĞİNİN KAYNAK BÖLGESİNİN İNCELENMESİ

Fatih ATA

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Adnan ÇALIK

Bu çalışmada Grade A çeliğinin kaynaklı birleştirmelerinde en çok kullanılan tozaltı kaynak yöntemi ve gaz altı kaynak yöntemin mevcut işletme şartlarındaki durumu incelenmiş, özellikle ince ($t \leq 8$ mm) et kalınlığındaki sacların birleştirmelerinde sorunlar yaşandığı görülmüştür. Grade A çeliği tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemlerine ek olarak plazma ark kaynak yöntemi ile kaynatılmıştır. Yapılan çalışmada her üç kaynak yönteminden elde edilen numunelerin kaynak bölgeleri hem makro hem de mikro boyutta mekanik ve metalürjik açıdan incelenmiştir.

Çalışmada tozaltı kaynak yöntemi tersane ortamındaki parametreler ile çift taraflı olarak kaynaklanmıştır. Tozaltı kaynak yöntemi bir de atölye ortamında kök aralığı verilerek tek taraflı yapılmıştır. Çift taraflı yapılan kaynaklı numunenin birisinde tersane ortamında sıklıkla karşılaşılan kaynak dikişinin merkezinde plazma kesimden kaynaklanan boşluk hatası olduğu görülmüştür. Çekme mukavemetleri 4 mm kök aralıklı ve tek taraflı tozaltı kaynağında 455 MPa, çift taraflı tozaltı kaynağında ise 454 MPa olarak bulunmuştur. Sinerjik ve robotik kaynak uygulanmış gazaltı kaynak yönteminde çekme mukavemeti 439 MPa olarak bulunmuştur. Gemi inşasında yaygın olarak kullanılan bu yöntemlere alternatif olarak özellikle literatürde ve uygulamalarda paslanmaz malzemeler üzerinde kullanılan plazma ark kaynak yöntemi Grade A çeliğinin kaynağında kullanılmış ve çekme mukavemeti olarak 471 MPa değeri bulunmuştur.

Tersane ortamında yapılan kaynaklı birleştirmelerde hatalardan kurtulma ve onarım maliyetini düşürmede otomasyon kaynak yöntemlerinin daha etkili olacağı ve bunun yanında Grade A çeliğinin plazma ark kaynağı ile yapılan birleştirmelerinin diğer yöntemlere kıyasla çok daha iyi mekanik ve metalürjik özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gemi inşa, Kaynaklı birleştirme, Grade A, Gazaltı kaynağı, Tozaltı kaynağı, Plazma ark kaynağı

2021, 130 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE WELDING AREA OF GRADE A STEEL USED IN THE SHIPBUILDING INDUSTRY

Fatih ATA

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Adnan ÇALIK

In this study, the most commonly used submerged arc welding method and gas welding method, used in welded joints of Grade A steel, were examined under current operating conditions of the industry, and it was observed that there were problems especially in joining sheets with thin ($t \leq 8$ mm) wall thickness. The Grade A steel was welded by submerged and gas arc welding methods and additionally by plasma arc welding of Grade A steel. In the study, the welding regions of the samples obtained from all three welding methods were examined in both macro and micro dimensions mechanically and metallurgically.

In the study, submerged arc welding method was welded bilaterally with parameters in the shipyard environment. The submerged arc welding method was made unilaterally by giving the root gap in the workshop environment. In one of the double-sided welded samples, it was observed that there was a gap error caused by plasma cutting in the center of the weld seam, which is frequently encountered in the shipyard environment. Tensile strengths were found as 455 MPa in 4 mm root spacing and single-sided submerged arc welding and 454 MPa in double-sided submerged arc welding. Synergic and robotic welding applied in gas welding method yielded tensile strength of 439 MPa. As an alternative to these widely used methods in shipbuilding, plasma arc welding method, which is used on stainless materials especially in literature and applications, was used in welding Grade A steel and its tensile strength was found to be 471 MPa.

It has been observed that automation welding methods will be more effective in eliminating defects and reducing repair costs in welded joints made in the shipyard environment, and in addition, the joints of Grade A steel created using plasma arc welding have much better mechanical and metallurgical properties compared to other methods.

Key Words: Shipbuilding, Welded joining, Grade A, Gas arc welding, Submerged arc welding, Plasma arc welding

2021, 130 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin yürütülmesinde desteğini ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Adnan ÇALIK’a, çalışma süresince bana desteklerinden dolayı değerli arkadaşlarım Muhittin GÜLER ve Ercan KAYA’ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin malzeme temini ve çalışma ortamının incelenmesinde desteklerinden dolayı Cemre Tersanesine ve değerli çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle plazma ark kaynak yöntemi üzerine yaptığımız çalışmalarda destekleri dolayısıyla Askayak çalışanı Murat TAŞOCAK’a ve Çemsan çalışanı Çetin MUMCU’ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Fatih ATA
ISPARTA, 2021

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ergitme ve Basınç kaynağı şematik gösterimi	10
Şekil 2.2. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler	13
Şekil 2.3. ITAB bölgesinde meydana gelen mikro yapı değişiklikleri	14
Şekil 2.4. Kaynak pozisyonları ve kısa gösterimleri	15
Şekil 2.5. Kaynak makinası örnekleri	16
Şekil 2.6. Robotik kaynak makinası	16
Şekil 2.7. S2 sınıfı tozaltı kaynak ek metalinin özellikleri	17
Şekil 2.8. TS 563-EN 499'a göre Örtülü Elektrod standart gösterimi	18
Şekil 2.9. Koruyucu gazların dikiş şekli ve nüfuziyete etkisi	19
Şekil 2.10. Kaynak ağzı ve kök aralığı ölçüleri	19
Şekil 2.11. Gazaltı kaynağı temel çalışma prensibi	21
Şekil 2.12. Kısa ark iletimi döngüsü	23
Şekil 2.13. İri taneli damla iletim	24
Şekil 2.14. Damla iletiminde kaynak akımının etkisi	25
Şekil 2.15. Darbeli(Pulse) geçişli iletimde akım karakteristiği	26
Şekil 2.16. Çeşitli parametrelere göre damla geçiş değişimi	27
Şekil 2.17. Koruyucu gazların dikiş formu ve nüfuziyete etkileri	29
Şekil 2.18. Tozaltı kaynağı çalışma prensibi	31
Şekil 2.19. Tozaltı kaynak teli ve tozlarının katolog gösterimi	33
Şekil 2.20. Çoklu tel beslemeli tozaltı kaynak uygulaması	34
Şekil 2.21. Plazma ark oluşumu	35
Şekil 2.22. TIG kaynağı arkı ve plazma arkı biçimsel gösterimi	36
Şekil 2.23. Anahtar deliği tekniği ve dikiş kesit görünümü	37
Şekil 3.1. Çalışma metodolojisi	41
Şekil 3.2. İş akış diyagramı	42
Şekil 3.3. Lazer ile numune kesim aşaması	44
Şekil 3.4. Kaynak öncesi hazırlanan numuneler	45
Şekil 3.5. Tozaltı (çift taraf) kaynağı	46
Şekil 3.6. Tozaltı (çift taraf) kaynağı 1. numune (a) ön ve (b) arka yüzü	47
Şekil 3.7. Tozaltı (çift taraf) kaynağı 2. numune (a) ön ve (b) arka yüzü	47
Şekil 3.8. Tozaltı (çift taraf) kaynağı 3. numune (a) ön ve (b) arka yüzü	47
Şekil 3.9. Tozaltı (tek taraf) kaynağı toz altlıklılı	48
Şekil 3.10. Tozaltı (tek taraf) kaynağı 1. Numune ön ve arka yüzü	49
Şekil 3.11. Tozaltı (tek taraf) kaynağı 2. Numune ön ve arka yüzü	50
Şekil 3.12. Tozaltı (tek taraf) kaynağı 3. Numune ön ve arka yüzü	50
Şekil 3.13. Gazaltı kaynağı (Robotik/Sinerjik)	51
Şekil 3.14. Gazaltı kaynağı 1. Numune ön ve arka yüzü	52
Şekil 3.15. Gazaltı kaynağı 2. Numune ön ve arka yüzü	52
Şekil 3.16. Gazaltı kaynağı 3. Numune ön ve arka yüzü	52
Şekil 3.17. Plazma ark kaynak platformu ve makinesi	53
Şekil 3.18. Plazma Ark kaynağı 1. numune ön ve arka yüzü	55
Şekil 3.19. Plazma Ark kaynağı 2. numune ön ve arka yüzü	55
Şekil 3.20. Plazma Ark kaynağı 3. numune ön ve arka yüzü	55
Şekil 3.21. Tahribatlı muayene için test numuneleri yerleşim planı	56
Şekil 3.22. Kaynak dikişlerinin freze tezgahında işlenmesi	57
Şekil 3.23. Tahribatlı muayene numunelerinin lazer kesim sonrası	57
Şekil 3.24. Çekme numunesi	58

Şekil 3.25. Eğme Numunesi.....	58
Şekil 3.26. Darbe (Charpy V çentik) numunesi	58
Şekil 4.1. Kaynak yöntemlerine göre ısı girdileri	60
Şekil 4.2. Çekme deneyi görseli.....	60
Şekil 4.3. Numunelerin akma mukavemetleri grafiği	62
Şekil 4.4. Numunelerin çekme mukavemetleri grafiği	63
Şekil 4.5. Numunelerin kopma mukavemetleri grafiği.....	63
Şekil 4.6. Numunelerin % uzama grafiği	64
Şekil 4.7. İdeal numunelerin akma mukavemeti	65
Şekil 4.8. İdeal numunelerin çekme mukavemeti grafiği	65
Şekil 4.9. İdeal numunelerin kopma mukavemeti grafiği	66
Şekil 4.10. İdeal numunelerin % uzama grafiği	66
Şekil 4.11. Tozaltı (tek taraf T3) numunesi kırılma görseli	68
Şekil 4.12. Tozaltı (çift taraf T1) numunesi kırılma görseli	68
Şekil 4.13. Gazaltı (G1_1) çekme numunesi kırılma görseli	69
Şekil 4.14. Plazma (P3) çekme numunesi kırılma görseli	69
Şekil 4.15. Grade A çekme numunesi kırılma görseli	70
Şekil 4.16. Grade A numunesi eğme sonrası	73
Şekil 4.17. Plazma ark numunesi eğme sonrası	73
Şekil 4.18. Gazaltı numunesi eğme sonrası	74
Şekil 4.19. Tozaltı (tek taraf) numunesi eğme sonrası.....	74
Şekil 4.20. Tozaltı (çift taraf) numunesi eğme sonrası	74
Şekil 4.21. Kep ve Kök maksimum eğme mukavemeti grafiği	75
Şekil 4.22. Tozaltı (çift taraf) T2 numunesi (a) eğme ve (b) çekme görseli	76
Şekil 4.23. Darbe deneyi cihazı.....	76
Şekil 4.24. Darbe deneyi sonuç grafiği	78
Şekil 4.25. +20 °C kırılma yüzeyleri.....	79
Şekil 4.26. 0°C kırılma yüzeyleri	79
Şekil 4.27. -20 °C kırılma yüzeyleri.....	79
Şekil 4.28. Sertlik alınan noktaların planı	80
Şekil 4.29. Kaynak yöntemlerine göre mikro sertlik değerleri	81
Şekil 4.30. Grade A mikro yapı görüntüsü	85
Şekil 4.31. Kaynak dikişi Kep görüntüleri.....	85
Şekil 4.32. Kaynak dikişi kök görüntüleri	86
Şekil 4.33. Kaynak dikişi makro kesit görüntüleri.....	87
Şekil 4.34. Kaynak dikişi (5x) mikro yapı görüntüleri	88
Şekil 4.35. Kaynak dikişi (10x) mikro yapı görüntüleri	91
Şekil 4.36. Kaynak dikişi (20x) mikro yapı görüntüleri	93
Şekil 4.37. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (5x) mikro yapı görüntüleri.....	95
Şekil 4.38. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (10x) mikro yapı görüntüleri.....	97
Şekil 4.39. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (20x) mikro yapı görüntüleri.....	99
Şekil 4.40. ITAB (5x) mikro yapı görüntüleri	102
Şekil 4.41. ITAB (10x) mikro yapı görüntüleri	104
Şekil 4.42. ITAB (20x) mikro yapı görüntüleri	106
Şekil 4.43. ITAB – Ana Malzeme Geçiş (5x) mikro yapı görüntüleri.....	108
Şekil 4.44. ITAB – Ana Malzeme Geçiş (10x) mikro yapı görüntüleri.....	110
Şekil 4.45. ITAB – Ana Malzeme Geçiş (20x) mikro yapı görüntüleri.....	112
Şekil 4.46. Plazma Ark kaynağı makro ve mikroyapı görüntüleri.....	114
Şekil 4.47. Gazaltı kaynağı makro ve mikroyapı görüntüleri	115
Şekil 4.48. Tozaltı (tek taraf) kaynağı makro ve mikroyapı görüntüleri	116

Şekil 4.49. Tozaltı (çift taraf) kaynağı makro ve mikroyapı görüntüleri	117
Şekil A.1. Grade A çeliğinin sertifikası	129



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Grade A çeliğinin özellikleri.....	12
Çizelge 2.2. Malzeme cinsine göre ark gerilimleri	28
Çizelge 2.3. Korucu gaz karşimleri ve özellikleri.....	29
Çizelge 3.1. Grade A çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri.....	43
Çizelge 3.2. Tozaltı (çift taraf) kaynağı parametreleri	46
Çizelge 3.3. Tozaltı (tek taraf) kaynağı parametreleri	49
Çizelge 3.4. Gazaltı kaynak tekniğikaynak parametreleri	51
Çizelge 3.5. Plazma Ark kaynak tekniği kaynak parametreleri	54
Çizelge 4.1. Kaynak yöntemlerine göre ısı girdileri	59
Çizelge 4.2. Çekme deneyi sonuçları.....	61
Çizelge 4.3. Kaynaklı birleştirme başına ortalama çekme deneyi sonuçları.....	62
Çizelge 4.4. İdeal parametrelili numunelerin çekme deneyi sonuçları	64
Çizelge 4.5. Isı girdisinin mekanik özelliklere etkisi	67
Çizelge 4.6. Üç nokta eğme sonuçları.....	72
Çizelge 4.7. Darbe deneyi sonuçları	77
Çizelge 4.8. Kaynaklı birleştirmelerde beklenen özellikler	80
Çizelge 4.9. Kaynak bölgesi mikro sertlik ölçüm değerleri.....	81
Çizelge 4.10. Plazma ark kaynak dikişi sertlik değerleri	83
Çizelge 4.11. Kaynak yöntemlerine göre karşılaştırmalı parametre ve özellikler ...	118

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test Kurumu)
DIN	Alman Endüstri Normları
DWT	Deadweight Tonnage (Geminin Taşıyabileceği En Çok Ağırlık)
EDS	Enerji Dispersive Spectrum (Enerji Dağılımlı Spektroskopi)
EN	European Norm(Avrupa Standartı)
FCAW	Özlü tel ile ark kaynağı
GMAW	Gaz Metal Ark Kaynağı
HSLA	High Strength Low Alloy (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli)
HPAK	Hibrit Plazma Ark Kaynağı
ISO	Uluslararası Standart Kuruluşu
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
LNG	Liquified Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)
LPG	Liquified Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MAG	Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)
MIG	Metal Inert Gas (Metal Asal Gaz)
MKE	Makine Kimya Endüstrisi Kurumu
OM	Optik Mikroskop
PA	Yatay Alın Kaynağı
SAW	Tozaltı kaynağı
SEM	Scanning Electron Microscope (Elektron Tarayıcı Mikroskop)
TEM	Transmission Electron Microscope (Geçirimli Elektron Mikroskobu)
TIG	Tungsten Inert Gas
TS	Türk Standardı
TURKAK	Türk Akreditasyon Kurumu
TW	Thermit Welding (Termit Kaynağı)
XRD	X-Ray Diffraction (X-Işımımı Yayınımı)
YMDA	Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli
Al	Alüminyum
C	Karbon
cm/dak	Santimetre/Dakika (Kaynak İlerleme Hızı)
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fç	Çekme Kuvveti
g/cm ³	Gram/Santimetreküp
HR _B	Rockell B Sertlik Birimi
HR _C	Rockell C Sertlik Birimi
kN	Kilo newton
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
MPa	Megapascal
N	Azot

Nb	Niobyum
Ni	Nikel
P	Fosfor
S	Kükürt
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
V	Vanadyum
°C	Derece Celsius
µm	Mikrometre



1. GİRİŞ

Gemi inşa sanayisi ülkemiz açısından gün geçtikçe artan bir öneme sahiptir. Dünya genelinde gemi inşa endüstrisi büyük taşıma kapasitesi ile ticaret alanında ve savunma sanayisinde ülkelerin önemli bir güç faktörü olarak görülmektedir. Gemi inşa sanayisinde çok çeşitli boyutlarda gemiler imal edilmektedir. Tekne ve yatlardan büyük yük ve yolcu gemilerine hatta son zamanlarda ülkemiz açısından büyük öneme sahip olan savunma (MİLGEM Projesi) ve petrol araştırma gemilerine kadar çok geniş bir yelpazede gemiler imal edilebilmektedir. Gemi inşa sanayisinde birçok endüstri kolu ortaklaşa çalışmakta ve nihai ürün hepsinin katkısıyla ortaya çıkmaktadır. Gemi inşa sektörü istihdam ve iş olanakları olarak da önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde 2002 yılında faal tersane sayısı 22 iken 2020 yılında 82 adettir. Yine 2004 yılı gemi inşa sektörü istihdam değeri 14700 kişi iken ağustos 2019'da 32458 kişi olarak kayıtlara geçmiştir. Gemi, yat ve yan sanayi ihracatının büyüklüğü 2019 yılı için 1.042 milyar dolar civarındadır (Deniz Ticaret Odası, 2020).

Gemi inşa sektörü geçmişten günümüze kadar birçok gelişme göstermiştir. Özellikle gemilerin inşasında kullanılan malzemeler açısından büyük değişiklikler yaşamıştır. İlk zamanlarda gemiler ahşap malzeme ağırlıklı yapılırken günümüzde çelik konstrüksiyon ağırlıklı olarak yapılmaktadır. Gemi inşa sektörü malzeme ve mühendislik alanında yaşanan tüm gelişmelerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Yukarıdaki verilerden de anlaşılacağı gibi gemi inşa sektörü büyük bütçeli ve maliyetli bir sektördür. Bu sektörde tutunabilmenin temel kuralı alınan işin belirli bir temrin süresi içerisinde ve istenen kalitede en az maliyetle bitirilmesidir.

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de gemi inşasında, tamir, bakım ve çelik konstrüksiyonların birleştirilmesinde kaynaklı birleştirmeler ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Kaynaklı birleştirmelerde kaliteli bir bağlantının yapılabilmesi için; Malzemenin kimyasal yapısı, malzemenin ısı girdisine karşı tepkisi, kullanılacak bağlantı türü, uygulanacak kaynak tekniği, kaynakta kullanılacak sarf malzemeler ve bunların özellikleri, kaynak öncesi ve sonrası yapılacak işlemler, kaynak parametreleri, kaynağı yapacak personelin teknik bilgi ve yetkinliği, istenen standart değerler gibi çok sayıda etken faktör devreye girmektedir. İyi bir kaynaklı birleştirme

elde etmek için kaynak bölgesiyle doğrudan ve dolaylı olarak etkileşimde olan tüm paydaş ve parametrelerin kontrol altında tutulması gereklidir.

Kaynaklı birleştirmelerde yaşanacak hatalar ve düzeltme süreçleri inşa sürecini hem zaman açısından hem de ek maliyet açısından zor duruma düşürmektedir. Bu bakımdan gemilerin üretiminde kalite ve ekonomiklik üreticilerin uluslararası piyasada varlığını sürdürebilmesi için en önemli unsurlar haline gelmektedir.

Gemi inşa sanayisinde kullanılan çok çeşitli çelik malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemeler ve kaliteleri çeşitli kuruluşlar tarafından belirlenmekte ve üretim için firmalar yetkilendirilmektedir. Ülkemizde gemi inşa sanayisi için kalite ve standartları belirleyen kuruluş Türk Loydu'dur. Türk Loydu gemi inşa sanayisinde kullanılan malzemeler ve birleştirmelerin tüm açılardan hangi kalitede olması gerektiğini belirlemektedir. Bu sınıflandırma gemi inşasında kullanılabilir malzemeler ve sınıfları (Grade) A, B, C, D, E ve F şeklindedir. Bu sınıflar dışında da kullanım alanlarına bağlı olarak çeşitli kompozisyonlardaki AISI 304, 309, 316 kalite gibi paslanmaz çelikler de kullanılmaktadır (Yılmaz ve Tümer, 2009; Deniz Ticaret Odası, 2020; İslam, 1997).

Gemi inşası çoğunlukla bloklar halinde yapılır ve aşama aşama birleştirilerek nihai ürün elde edilir. Üretim sürecinde birçok farklı kimyasal özellikteki malzeme bir biri ile kaynatılmak zorundadır. Farklı malzemelerin kaynaklı birleştirmeleri kaynak sürecinin daha hassas olması anlamına gelmektedir. Bu nedenle gemi inşasında kaynaklı birleştirmeler mühendislik çalışmalarda önemli bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklı birleştirmelerde kaynak işleminin sağlıklı olmasının yanı sıra kaynaktan sonra malzemedeki ve kaynak dikişinde oluşacak distorsiyonlar ve gerilmelerin de kontrol altına alınması gerekmektedir. Distorsiyonlar ve gerilmeler geminin kullanım ömrünü doğrudan olumsuz olarak etkilemektedir.

Gemi inşa sektöründe çok farklı kaynak yöntemi bir arada kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde elektrik ark kaynak yöntemi, gazaltı kaynak (TIG, MIG, MAG) yöntemi ve tozaltı kaynak yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında ısı girdisini en

aza indirmek ve kaynak bölgesindeki olumsuzlukları ortadan kaldırmak için hibrit kaynak teknikleri de kullanılmaktadır.

Gemi inşa sanayisindeki mühendislik çalışmalar kaynaklı birleştirmelerin sağlıklı olması, hataların ve olumsuz sonuçların ortaya çıkmaması, kaynaklı birleştirmelerde tekrar onarım ve düzeltme işlemlerinin en aza indirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu alanda yapılacak çalışmalar gemi inşa sanayisi için kritik önemdedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Ülkemiz için gün geçtikçe artan öneme sahip olan gemi inşa sanayisi, imalat endüstrisi içerisinde kaynaklı birleştirmelerin en çok kullanıldığı kısımdır. Gemi inşa sanayisinde çok çeşitli boyutlarda gemiler imal edilmektedir. Tekne ve yatlardan büyük yük ve yolcu gemilerine hatta son zamanlarda ülkemiz açısından (MİLGEM Projesi) savunma ve petrol araştırma gemilerine kadar çok geniş bir yelpazede imal edilebilmektedir. Gemi inşa sanayisinde birçok endüstri kolu ortaklaşa çalışmakta ve nihai ürün hepsinin katkısıyla ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde gemi imalatı (çeşitli boyutlarda), tamir, bakım ve çelik konstrüksiyonların birleştirilmesinde tüm dünyada olduğu gibi kaynaklı birleştirmelerin ağırlıklı olarak kullanıldığı alandır. Kaynak teknolojilerindeki gelişmeler gemi inşa sanayisini de doğrudan etkilemektedir. Bu bakımdan gemilerin üretiminde kalite ve ekonomiklik üreticilerin uluslararası piyasada varlığını sürdürebilmesi için en önemli unsurlar haline gelmiştir (Deniz Ticaret Odası, 2020).

Gemi inşasında yaygın olarak kullanılan Grade A (ASTM A131) sacının kaynaklı birleştirmelerinde çeşitli kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar, örtülü elektrod ark kaynak yöntemi, tozaltı kaynak yöntemi ve gazaltı kaynak yöntemleridir (İslam, 1997). Kaynak özetinde de belirtildiği üzere gemi inşa sanayisinde özellikle Grade A çeliğinin kaynak parametreleri üzerine başvurulabilecek çok az sayıda kaynak bulunmaktadır. Gemi inşa sanayisinde yaygın kullanılan Grade A sacının kaynaklı birleştirmesinde maliyetin düşürülmesi ve istenen kalitede kaynak dikişlerinin oluşturulması için kullanılan malzeme, kaynak yöntemi ve kaynak parametreleri çok önemlidir. Çelik malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde ısı girdisinden dolayı oluşan iç gerilmelerin ve çekmelerin yok edilmesi imkansızdır. Bunun yanında gerekli

tedbirler ve en uygun kaynak yöntemi ve parametreler seçilerek bu olumsuz etkiler en az seviyeye çekilerek maliyet ve sürdürülebilirlik iyileştirilebilir. Bu çalışmada Grade A sacının gazaltı, tozaltı ve plazma ark kaynak yöntemleri ile tespit edilen parametreler doğrultusunda yatay pozisyonda alın kaynağı yapılmıştır. Elde edilen kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri çeşitli muayene yöntemleri ile incelenmiştir. Toplanan veriler ışığında üç kaynak yöntemi için kaynak bölgelerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma ile kaliteli bir kaynak elde etmek için kaynak yöntemi ve parametre optimizasyonu ile sektöre kaynaklı birleştirmelerde maliyet ve zaman açısından fayda sağlanması amaçlanmıştır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma toplam beş bölümden oluşmaktadır. Birinci kısım olan giriş bölümünde çalışmanın konusunun genel durumu ve çalışmanın gerekliliği ve literatürde çalışma ile ilgili yapılan önceki araştırmaların özetleri yer almaktadır. İkinci kısımda kaynaklı birleştirmelerin temel karakteristiği hakkında bilgiler verilmiş ve gemi inşa sanayisinde en yaygın kullanılan kaynak yöntemlerinden deneysel çalışmanın konusu içerisinde olan kaynak yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü kısımda deneysel çalışmada kullanılan malzemenin özellikleri detaylı bir şekilde verilmiş ve deneysel çalışmanın aşamaları belirtilmiştir. Dördüncü kısımda; deney çalışması neticesinde elde edilen veriler tüm yönleri ile çizelgeler ve grafikler ile görselleştirilerek sunulmuştur. Son kısım olan sonuç ve öneriler kısmında ise deneysel sonuçların bilimsel kriterlere bağlı olarak değerlendirmesi yapılmış.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Gemi inşa sanayisinin en önemli kısmını kaynaklı birleştirmeler oluşturmaktadır. Bu nedenle gemi inşa sanayisinde kaynaklı birleştirme yöntemleri ve tekniklerinin tüm yönleri ile bilinmesi gerekmektedir. Özellikle gemilerde uzun zamandır yaygın olarak kullanılan ekonomik bir malzeme olan Grade A çeliğinin kaynaklı birleştirmelerinde ortaya çıkan sorunlar ve çözümleri için kaynak bölgesinin tüm yönleri ile araştırılması gerekmektedir. Bu alanda kaynaklarda önceden yapılmış çalışmalar;

Anık vd. (1991), tarafından yapılan çalışmada; gemi inşasında kullanılan kaynak yöntemlerinden örtülü elektrod ile ark kaynağı kullanılarak elektrik ark kaynak yönteminin optimizasyonu incelenmiştir. Çalışmada elektrik ark kaynak yöntemlerinin genel özellikleri, kaynak ekipmanları, kaynak teknikleri, kaynak hataları ve nedenleri ile yapılacak muayene teknikleri açıklanmıştır.

İslam (1997) tarafından yapılan çalışmada; Gemi inşasında kullanılan kaynaklı birleştirmeler, kaynak sıraları ve kaynak uygulamalarında dikkat edilmesi gereken hususlar araştırılmış, araştırmada gemi inşasının temel özellikleri ve kaynak proseslerinin uygulama sıraları tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada kalıntı gerilmelere etki eden tüm faktörlerin dikkate alınması, kaynaklı birleştirme temelli deformasyonların en aza indirilmesi için kaynak ağzı, dolgu metali seçimi ve kaynak yöntemlerinin doğru seçilmesi gerektiği sonucuna ulaşıldığı belirtilmiştir.

Asarkaya (2006); Gemi inşasında kullanılan kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmış araştırmada gazaltı ve tozaltı kaynak yöntemleri kullanılarak DH36 ve Grade A saclarının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek çekme dayanımının gazaltı kaynak yöntemi ile elde edilmiştir. Grade A çeliğinin tozaltı kaynağı ile yapılan kaynağında en yüksek uzama değerinin elde edildiği görülmüştür. Bunun yanında tokluk değeri olarak gazaltı kaynak yönteminin daha iyi olduğu görülmüştür. Çalışmada Kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için sac kalınlıklarına göre minimum kaynak formu verecek elektrod çapları, kaynak akımları, gerilimleri ve uygun kaynak ağızlarının tasarlanması gerektiği tavsiye edilmiştir.

Balık (2008)'de yaptığı; Gemi inşaatında kaynak sırası yöntem ilişkisi ve kaynak muayene planlarının incelenmesi adı altında gemi imalatında kullanılan kaynaklı birleştirmede pasolar arasındaki ve sıralama ve uzun kaynak dikişlerinde çarpılmaları ve distorsiyonları en aza indirmek için kaynak sıraları incelenmiştir. Bunun yanında kaynaklı birleştirmelerin muayenesinin nasıl yapılması gerektiği üzerine araştırma yapılmıştır. Çalışmada geminin kaynaklı bölgelerinde oluşan distorsiyonlar ve gerilmeleri en aza indirmek için kaynak sırası planlarının oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır. Kaynak sırası planlarının distorsiyonlar ve gerilmeleri giderecek biçimde tasarlanması gerektiği ve bu planın her imalat için ayrı olarak yapılması gerektiği bildirilmiştir.

Yılmaz ve Tümer (2009) tarafından yapılan; Gemi saclarının tozaltı ve özlü tel kullanılarak (MAG) kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özellikleri başlıklı çalışmada tozaltı ve gaz altı kaynak yöntemleri kullanılmıştır. Gaz altı kaynak yönteminde ek tel olarak özlü tel kullanılmış ve kaynak dikişinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen mekanik özelliklerin ana malzeme olan Grade A çeliğinin özelliklerinden daha iyi olduğu, en yüksek çekme dayanımının ve % uzamanın tozaltı kaynağında, özlü tel kullanılarak yapılan gazaltı (FCAW) kaynağında ITAB bölgesinin genişlediği ve bununla kaynak bölgesini olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Aynı zamanda kaynak yöntemlerinin kaynak bölgesindeki mikroyapıları da etkilediği ve mikro yapılarda farklılıklar olduğu görülmüştür.

McPherson (2010)'nın gemi inşasında kaynak sorunları üzerine yaptığı çalışmada uygulama sürecinde kaynaklı birleştirmelerde karşılaşılan hatalar üzerine genel bilgiler vermektedir. Çalışmada kaynak parametreleri kaynak sarf malzemeleri ve kaynak yöntemlerinin yetersiz bilgi ve yanlış kullanımları üzerine meydana gelen hatalar incelenmiştir.

Özakın (2010), AH ve DH Kalite gemi saclarının değişik kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonlarındaki mekanik özelliklerinin ve mikroyapılarının irdelenmesi adlı çalışmada AH36 VE DH36 kalite gemi saclarının elektrik ark kaynak yöntemi ve toz altı kaynak yöntemi kullanılarak yapılan birleştirmelerinin mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada Özellikle yapılması zor olan 3G ve 4G pozisyonları yerine, yapılması daha kolay olan 1G ve 2G pozisyonlarının genel olarak daha iyi sonuçlar

verdiği belirtilmiştir. Bu sebeple blok imalatı parçalar birbirine kaynatılırken mümkünse 1G ve 2G pozisyonlarında birleştirilmelerinin tercih edilmesinin daha iyi sonuçlar vereceği belirtilmiştir. Farklı pozisyonlar için farklı kaynak yöntemlerinin üstünlüklerinin olduğu vurgulanmıştır.

Wolfgang vd. (2012), tarafından yapılan çalışmada; Gemi saclarının kaynaklı birleştirmelerinin yorulma analizleri yapılmıştır. Çalışmada blok üretimde hatalı birleştirmelerden kaynaklı gerilmeler nedeniyle yorulma dayanımının düşük olduğu belirtilmiştir. Ön deformasyon ve gerilme artışı arasındaki ilişkileri elde etmek için tüm test kurulumunu içeren eşzamanlı doğrusal olmayan sonlu eleman hesaplamaları yapılmış ve deformasyon ve gerilim artışı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Hayat ve Uzun (2012) tarafından; çift fazlı çeliklerin gazaltı kaynağı ile masif ve özlü tel kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmede mikroyapı ve mekanik özellikler incelenmiştir. Çalışmada Grade A çeliği kullanılmış ve tek fazlı olan malzeme ısı işlemleri ile çift fazlı hale getirilmiştir. Elde edilen tek fazlı Grade A ve çift fazlı Grade A çeliği gazaltı kaynak yönteminde masif ve özlü tel kullanılarak kaynatılmış ve kaynak sonrasında ısı işlem uygulanmış ve numuneler mikroyapı ve mekanik özellikler açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda çift fazlı Grade A çeliğinin tek fazlı çeliğe göre daha yüksek dayanıma sahip olduğu, masif tel ile kaynatılan numunelerin ise özlü tel ile kaynatılan numunelere göre az miktarda daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Darbe enerjisini emmede ise 0°C’de tek fazlı çeliğin çift fazlı olana göre daha yüksek değere sahip olduğu görülmüştür.

Kaya (2014) tarafından yapılan; patlatmalı kaynak yöntemi ile üretilen Grade A gemi sacının paslanmaz çelik kompozitlerinin mikroyapı, mekanik özellikler ve korozyon özelliklerinin incelenmesi adlı çalışmada Grade A çeliği ile AISI 430 Ferritik , AISI 316L Östenitik, AISI 420 Martenzitik, AISI2304 Dupleks paslanmaz çelikleri patlatma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Grade A –Paslanmaz Çelik kompozitin ara yüzey karakterizasyonları incelenmiştir. Çalışma sonucunda kompozit malzemelerin birleşme ara yüzeylerinde Grade A dalgalanmaları olduğu ve bunun paslanmaz çelik malzemeye mekanik olarak kilitlenmeyi ve mekanik özelliklerin iyileşmesine katkıda bulunduğu görülmüştür. Hadde yönüne paralel Grade A numunelerin darbe geçiş sıcaklığının (-40 °C /-50°C) hadde yönüne dik (-10°C/-20°C) numunelere göre daha

düşük olduğu görülmüştür. Çalışmada korozyon testi için yapılan nötr tuz püskürtme deneyinde Grade A yüzeyinde kaplanan paslanmaz çelik türlerinin tümünde korozyon direncinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

İmdat (2017) tarafından yapılan; Grade A gemi sacının örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile su altı ve atmosferik şartlarda birleştirilmesi ve kaynaklı birleştirmelerin mekanik ve mikro yapı özelliklerinin karşılaştırılması yapılmış. Çalışmada Grade A sacının örtülü elektrod ile kaynağının su altı ve atmosferik şartlar altındaki mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda numunelerde gözle yapılan muayenesinde belirgin hatalara rastlanmamış, çentik darbe deneyinde ani soğumalarda numunelerin tokluk değerlerinde düşmeler meydana gelmiştir, çekme deneylerinde atmosferik şartlarda kaynatılan numunenin su altında kaynatılan numuneye göre daha yüksek uzamaya sahip olduğu görülmüş, su altı numunesinden çekme dayanımında %12 uzamada %30 daha düşük olduğu bildirilmiştir.

Gültekin (2019) tarafından yapılan; ergitmeli kaynak yöntemleriyle kaynatılan Grade A gemi sacının imalat aşamasında kaynak bölgesinin koroziyon karakteristiği adlı çalışmada ise Grade A gemi sacı tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilmiş ve kaynak bölgesinde oluşan korozyonlar incelenmiştir. Deniz suyu ortamında yapılan deneyler sonucunda tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde ortalama %11.6 - %21.6, gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde ortalama %6.6- %15 ve elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde ise ortalama %20- %30 arasında kırmızı pas görüldüğü bildirilmiştir.

Sebkan ve Akkaya (2020) tarafından yapılan; örtülü elektrod ark kaynağı ve gazaltı kaynağı kullanılarak birleştirilen gemi inşa çeliğinde kaynak bölgesinin içyapı ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi adlı çalışmada düşük ve orta mukavemetli gemi inşa çeliğinin örtülü elektrod ark kaynağı ve gazaltı kaynağı ile birleştirilerek mekanik özelliklerinin karşılaştırması yapılmıştır. Çalışmada gazaltı kaynağının kaynak bölgesinde örtülü elektrod kaynak yöntemine göre daha yüksek sertlik değeri elde etmişlerdir (210 HV – 195 HV). Yine gazaltı kaynak yönteminde akma ve çekme dayanımlarını sırasıyla 245 MPa ve 415 MPa olarak elde etmişlerdir. Örtülü elektrod ark kaynak yönteminde ise 242 MPa ve 413 MPa olarak bulmuşlardır. Çalışmada mikro yapı olarak gazaltı kaynağında daha ince taneli yapı elde edilmiştir.

Tokluk değerini ise ana yapıda 8.0 J gazaltı kaynak bölgesinde ise 9.3 J olarak bulmuşlardır. Gazaltı kaynağında tokluk değerinin daha yüksek olmasını yapının daha ince taneli hale gelmesi olarak yorumlamışlardır.

2.1. Kaynağın Tanımı ve Çeşitleri

Kaynak temelde, metal veya termoplastik malzemelerin birbiri ile birleştirilmesi için kullanılan bir imalat yöntemidir. Kaynaklı birleştirmelerde birleştirilecek malzemenin sadece birleşme bölgeleri eritilir ve bu kısma dolgu malzemesi eklenerek veya eklenmeden birleştirilir, daha sonra ek yeri kontrollü ve gerekli ise korunarak soğutulup sertleşmesi sağlanır, kaynak işlemi sadece ısı ile yapılmaz aynı zamanda basınç altında da yapılabilir. Genel olarak kaynak işlemi iki gruba ayrılır.

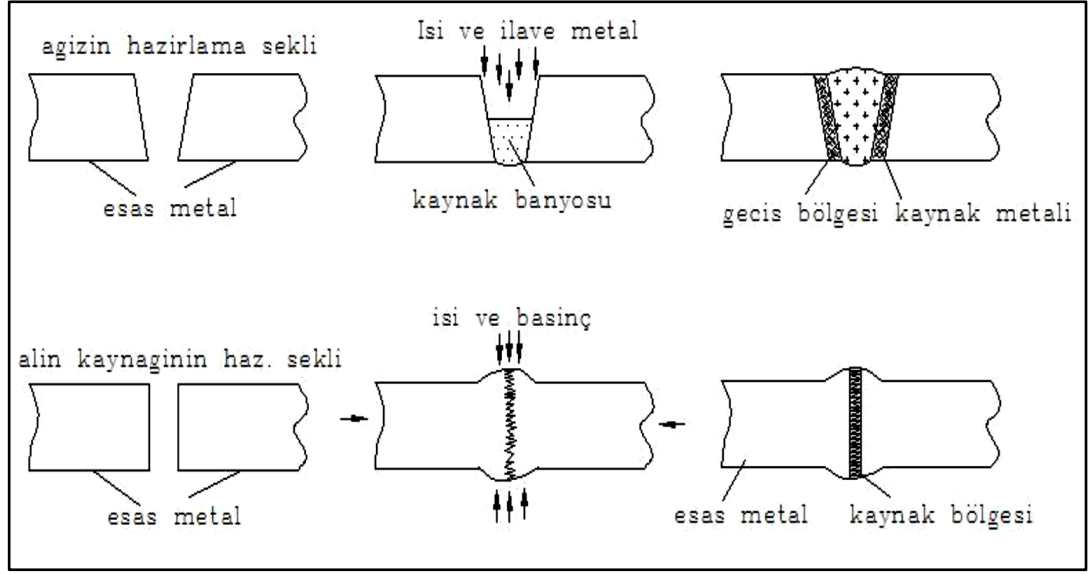
2.1.1. Ergitme kaynağı

Birleştirilecek malzemenin yalnızca ısı tesiri ile bölgesel olarak eritilip ilave metal katarak veya katmadan birleştirilmesidir (Şekil 1.1). Ergitme kaynak türleri ise;

- Oksi gaz kaynağı
- Elektrik ark (örtülü/örtüsüz elektrod) kaynağı
- Elektrik direnç kaynağı
- Gazaltı (TIG, MIG, MAG) kaynağı
- Plazma ark kaynağı
- Lazer ışın kaynağı
- Elektron ışın kaynağı
- Elektrocuruf kaynağı
- Termit kaynağı

2.1.2. Basınç kaynağı

Birleştirilecek malzemelerin genellikle ilave metal kullanmadan basınç altında ısıtılarak birleştirilmesidir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Ergitme ve Basınç kaynağı şematik gösterimi (Askaynak, 2007)

2.2. Kaynağın Temel Bileşenleri

Sağlıklı bir kaynaklı birleştirme için kaynak bölgesinde gerçekleşen fiziksel ve kimyasal faktörlerin iyi bilinmesi ve kontrol altında tutulması gereklidir. Temel olarak bilinmesi gerek hususlar;

- Kullanılacak ana malzemenin kimyasal özellikleri
- Malzemenin kaynak kabiliyeti
- Uygulanacak ısı girdisi
- Kaynak pozisyonu
- Uygulanacak kaynak tekniği
- Kullanılacak ısı üretici
- Uygulanacaksa ilave malzemenin kimyasal özellikleri
- Koruyucu örtü veya gaz ortamı
- Uygulanacaksa kaynak ağzı ve kök aralığı değerleri
- Gerekli ise kaynak öncesi ve sonrası ısı işlemler

2.2.1. Kaynak edilecek malzemenin kimyasal özellikleri

Kaynaklı birleştirmeler metal ve termoplastik malzemeler üzerinde yapılabilmektedir. Metal malzemeler genel olarak;

- Kristal yapıya sahiptir.

- Mukavemetleri yüksektir.
- Kolay şekillendirilirler.
- Tokluk değerleri yüksektir.
- Basma ve çekme dayanımları yaklaşık eşittir.
- Korozyon dayanımları düşüktür (alaşımalar ile artırılır).
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahiptirler.
- Mat görünümüne sahiptirler.

Kaynak edilecek ana malzemenin aşağıdaki özellikleri kaynak işleminde önem arz etmektedir (Vural vd., 2003; Kalpakjian ve Schmind, 2008; Dieter, 1988).

Kimyasal bileşim

- Sertleşme eğilimi
- Yaşlanma
- Gevrek kırılma
- Sıcak çatlama
- Kaynak metali karışım oranı

Metalürjik özellikler

- Segregasyon
- Kalıbkılar
- Tane büyüklüğü
- İçyapı
- Anizotropi

Fiziksel özellikler

- Genleşme özelliği
- Isıl iletkenlik
- Erime sıcaklığı
- Mukavemet
- Tokluk

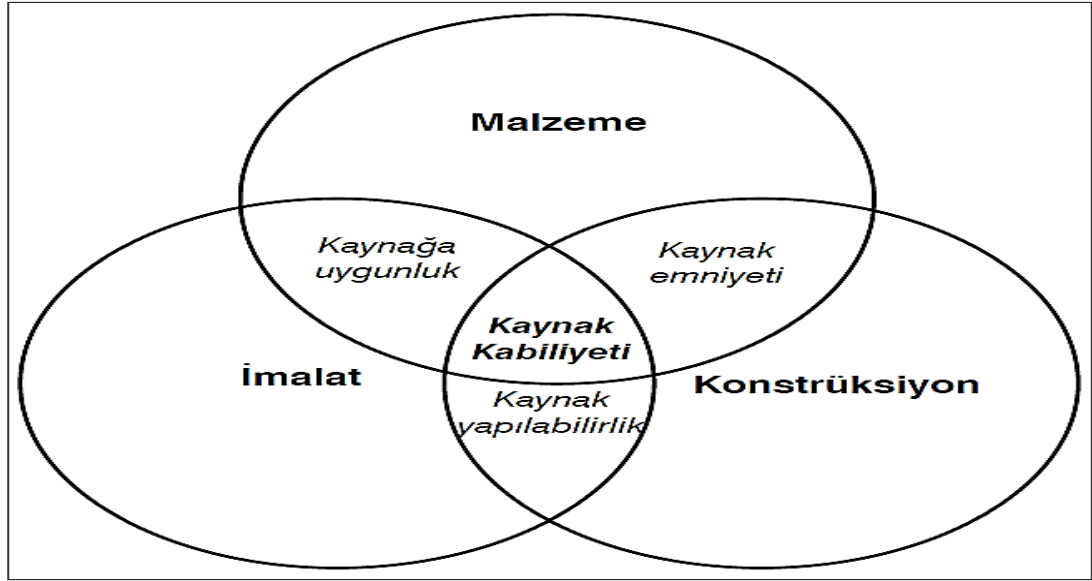
Bir malzemenin kaynak edilmeden önce kimyasal, metalürjik ve fiziksel özellikleri iyi bilinmelidir. Çizelge 2.1’de Grade A çeliğinin özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Grade A çeliğinin özellikleri (Anonim, 2021)

Fiziksel Özellikler	Metrik	İngiliz Birimi	Yorumlar
Yoğunluk	7.80 g/cc	0.282 lb/inç	ASTME Çelik Tipik
Mekanik Özellikler			
Gerilme Direnci	400-490 MPa	58.000 – 71100 psi	
Çekme Mukavemeti	220 MPa	31900 psi	
Kapmada uzama	%21 -%24	%21 -%24	200 mm – 50mm’de
Bulk Modülü	160 GPa	23200 psi	Çelik için tipik
Kayma Modülü	80.0 GPa	11600 psi	Çelik için tipik
Kimyasal Bileşim			
Demir, Fe	%97	%97	
Karbon, C	%0.26	%0.26	
Manganez, Mn	>=%0.65	>=%0.65	
Fosfor, P	%0.050	%0.050	
Kükürt, S	%0.050	%0.050	

2.2.2. Kaynak kabiliyeti

Metal veya alaşımların kaynak kabiliyeti, hiçbir özel tedbire başvurmadan, her türlü çalışma şartları altında, tatminkâr bir kaynak kalitesi elde edilebileceği anlamına gelir. Kaynaklı birleştirmelerde kaynak kabiliyeti kaynaklı birleştirmenin tüm seyrini doğrudan etkilemektedir. İyi bir kaynak kabiliyetine sahip malzemenin kaynaklı birleştirmesi de o derece sağlıklı ve kaliteli olacaktır. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler Şekil 2.2’de şematize edilmiştir.



Şekil 2.2. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler (Vural vd., 2003)

Kaynak kabiliyetini pratik olarak tespit etmek için Uluslararası Kaynak Enstitüsü'nün (IIW) IX nolu Kaynak Kabiliyeti Komisyonu'na göre malzemenin karbon eşdeğerliği;

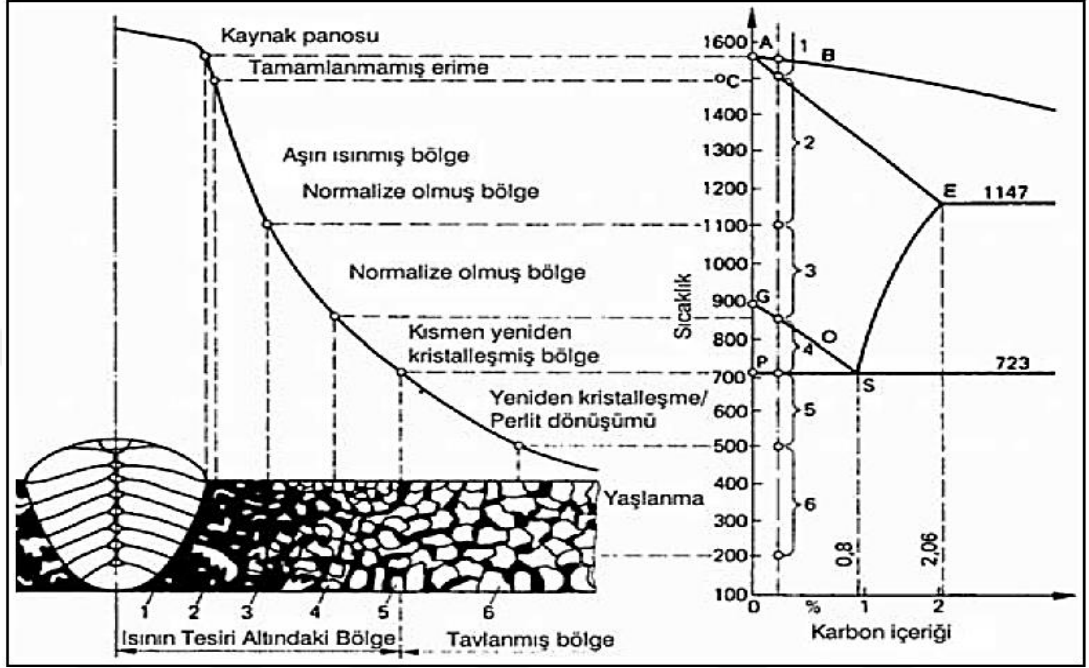
$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denklemde $C_{eş}$: Karbon eşdeğerliği, C: karbon oranı, Mn: Mangan oranı, Cr: Krom oranı, V: Vanadyum oranı, Ni: nikel oranı, Cu: bakır oranını göstermektedir. Karbon eşdeğerliği 0.45'in altında olan malzemeler iyi kaynak kabiliyetine sahip malzemelerdir. Bunun üzerindeki değerlere sahip malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde özel tedbirlerin alınması gerekir (Vural vd., 2003; Kalpakjian ve Schmind, 2008; Kurt, 2013;).

2.2.3. Isı girdisi

Metal malzemelerin kaynaklı birleştirmeleri için malzemenin birleşme bölgesine yüksek miktarda anlık ısı girdisi gereklidir. Böylece malzemenin sadece kaynak bölgesini etki eden ısı işlem yapılmış oluşun. Metal malzemelerin ısı etkisi altında mikro yapılarında değişiklikler meydana gelir. Bu değişiklikler kontrol altında olursa faydalı sonuçlar elde edilir. Bu yüzden kaynaklı birleştirmelerde ısı girdisi

kontrol altında olmalı ve mümkünse en az seviyede uygulanmalıdır. Şekil 2.3’de kaynak bölgesinin ısı girdisi karşısında mikro yapısında meydana gelen değişiklikler gösterilmektedir (Anık vd. 1991; Vural vd., 2003; Çalık, A. 2004; Kahraman ve Gülenç, 2013; Dünder, 2013; Kurt,2013; Fauthan, A. A. 2014).



Şekil 2.3. ITAB bölgesinde meydana gelen mikro yapı değişiklikleri (Vural vd., 2003)

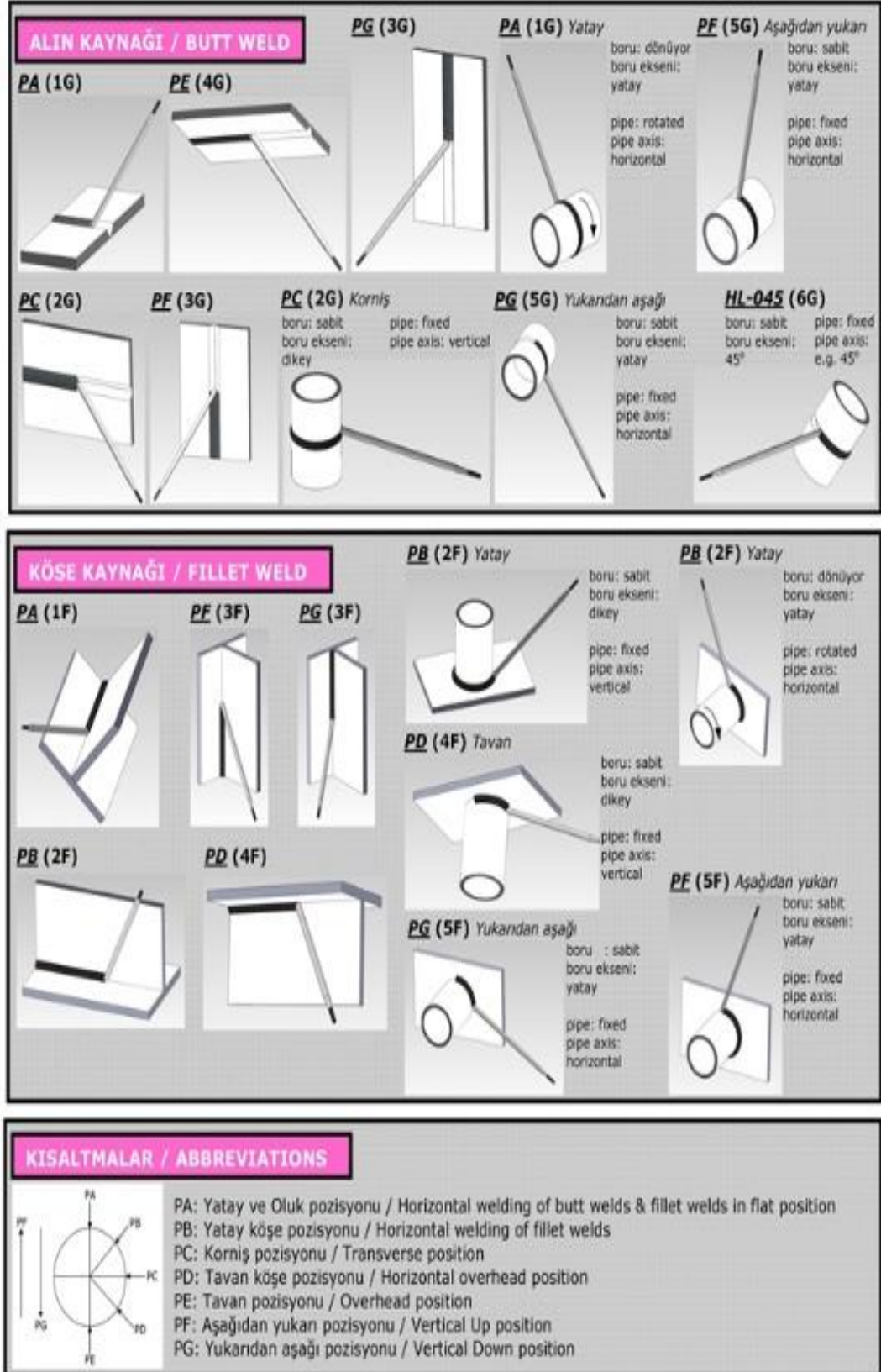
2.2.4. Kaynak teknikleri

Kaynaklı birleştirme yapılacak malzemenin özellikleri, kaynak kabiliyeti, kaynak dikişinin uzunluğu, kaynak miktarı gibi hususlar göz önüne alınarak kaynak tekniği belirlenir. Kaynak teknikleri elektrik ark kaynağı, gazaltı kaynağı, tozaltı kaynağı gibi tekniklerdir. Her tekniğin kendine özgü yapısı vardır. Burada, yapılacak birleştirmenin özellikleri ve tekniğin avantajları belirleyici olmaktadır. Gemi inşasında yaygın olarak kullanılan kaynak teknikleri 3. Bölümde detaylı olarak incelenecektir.

2.2.5. Kaynak pozisyonları

Kaynak pozisyonları kaynak işleminde dikişin kalitesi ve diğer parametrelerin ayarlanması için bilinmesi gereken hususlardan birisidir. Her kaynak pozisyonuna göre kaynaktaki ısı girdisi, ek metal özellikleri, koruyucu gaz ortamı ve örtü gibi

parametreler değişiklik gösterecektir. Şekil 2.4’de kaynak pozisyonları gösterilmektedir (Anık vd., 1991; Dündar, 2013).



Şekil 2.4. Kaynak pozisyonları ve kısa gösterimleri (Baylan, 2021)

2.2.6. Kaynak makineleri

Kaynak işleminde özellikle elektrik arkı ile ısı üretilen kaynak tekniklerinde elektrik arkı için gerekli akım ve gerilimi düzenleyen makinelerdir. Kullanılan kaynak tekniğine göre kaynak makineleri de değişiklik göstermektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Kaynak makinası örnekleri (Askaynak, 2021)

Kaynak makinaları genel olarak redresör tipi, transformatör tipi ve inverter tipi olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Akım türü bakımından ise doğru akım (DC) kaynak makinaları ve alternatif akım (AC) kaynak makinaları olarak adlandırılmaktadırlar. Teknolojideki gelişmelerle kaynak makinalarının fonksiyonları da artmaktadır. Özellikle mekanize ve robotik kaynak makinaları çok fonksiyonlu olarak çalışmaktadır. Şekil 2.6’da robotik kaynak makinası gösterilmektedir (Anık vd., 1991; Dünder, 2013).



Şekil 2.6. Robotik kaynak makinası (Fronius, 2021)

2.2.7. Kaynak ek malzemeleri

Kaynak metali bir miktar ana malzeme ve ek malzemenin birleşimi ile oluşan yapıdır. Kaynak metalinden beklenen en önemli özellik tokluk ve mukavemettir. Kaynak metalinin özellikleri mikroyapı, tane boyutu, çökme ve yaşlanma gibi dinamiklerden etkilenmektedir. Kaynak ek malzemelerinde genellikle ana malzemenin özelliklerinde veya ona yakın malzemeler kullanılır. Bazı durumlarda ise malzemenin kaynak bölgesine ekstra özellik kazandırmak için alaşım elementleriyle (Ti, Nb, V, vb.) desteklenen alaşımlı malzemeler kullanılabilir. Ek malzeme kaynaklı birleştirmeden beklenen özelliklere göre belirlenir. Kaynak ek metalinin üretici firmalar tarafından deneysel olarak tüm özellikleri test edilir ve standartlara uygun olarak sınıflandırılırlar. Şekil 2.7’ de tipik bir tozaltı kaynak ek metalinin özellikleri gösterilmektedir (Kahraman ve Gülenç, 2013).

Klasifikasyonu

TS EN 756 : S2 (L-860 ile S 35 2 AB S2)

AWS A5.17 : EM12

Genel Tanımı

Çekme dayanımı 520 N/mm²'ye kadar olan orta ve yüksek mukavemetli çeliklerin tozaltı kaynak yöntemi ile kaynağında kullanılan yüzeyi bakır kaplı kaynak telidir.

Kimyasal Analizi (%) - Tipik

C	Si	Mn	S	Cu
0.10	0.07	0.90	0.025	< 0.30
0.05 *	0.25 *	1.20 *	0.020 *	< 0.15 *

(*) LincolnWeld 860 tozaltı tozunun kullanılması ile elde edilen tipik kaynak metali değerleridir.

Mekanik Özellikleri (kaynak sonrası) - Tipik

Akma Dayanımı : 370 - 440 N/mm ²	LincolnWeld 860 tozu ile : Akma Dayanımı : 430 N/mm ²
Çekme Dayanımı : 450 - 530 N/mm ²	Çekme Dayanımı : 490 N/mm ²
Uzama (L=5d) : 25 - 30 %	Uzama (L=5d) : 25 %
	Çentik Darbe Dayanımı : 50 J (-20°C)

Not: Akma ve çekme dayanımı değerleri geniş bir aralıkta verilmiş olup bu fark tozaltı kaynağında kullanılabilecek tozların farklı özelliklerde olmasından kaynaklanmaktadır. Sağda yer alan tipik değerler, LincolnWeld 860 tozaltı tozu kullanımına aittir.

Kullanım Alanları ve Kaynak Edilebilen Malzemeler

	DIN	EN
Genel Yapı Çelikleri	St 33, St 34, St 37, St 44, St 44-2, St 44-3, St 52, St 52-3	S185, S235, S275, S355
İnce Tanelli Çelikler	StE 255 - StE 355 WSiE 255 - WSiE 355	S255N - S355N P255NH - P355NH
Boru Çelikleri	StE 210-7 - StE 360-7 StE 290-7 TM - StE 360-7 TM X42, X46, X52 (API 5LX)	L210 - L360NB L290MB - L360MB
Kazan ve Basınçlı Kap Çelikleri	17 Mn 4, 19 Mn 6 H1, H11	P295GH, P355GH P235GH, P265GH
Yüksek Isı Çelikleri	St 35-8, St 45-8	P235G1TH - P255G1TH
Gemi Sacları	A, B, C, D	-
Dökme Çelikler	GS-38, GS-45	GE200, GE240

Onaylar ve Sertifikalar (LW-860 ile)

CE, GOST, NAKS, SEPRO, TSE, TÜV

ABS (3M,3YM)

BV (A3YM)

DNV (III YM)

GL (3YM)

LRS (3M,3YM)

TL (3YM)

RINA (3Y42)

LW 761 Tozu ile :

TL (3YM)

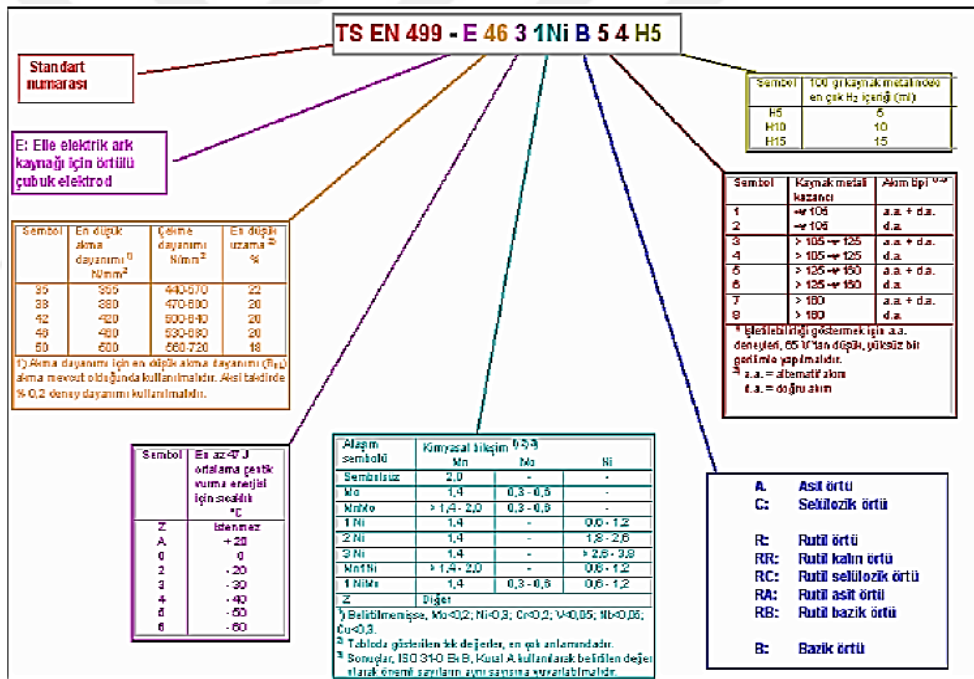
LW 780 Tozu ile :

ABS (3M,3YM) GL (3YM)

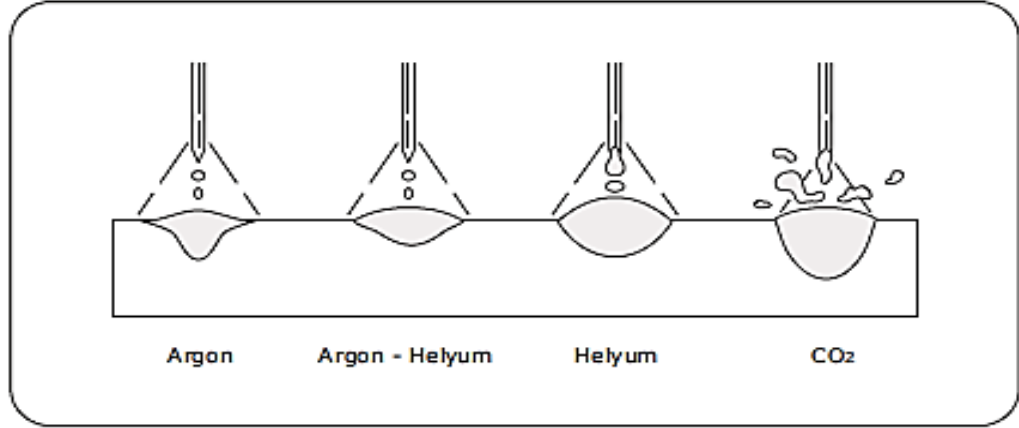
Şekil 2.7. S2 sınıfı tozaltı kaynak ek metalinin özellikleri (Askaynak, 2021)

2.2.8. Kaynak metalini koruyucu örtü ve gazlar

Koruyucu örtü ve gazların temel görevleri kaynak metalinin atmosfer şartlarından olumsuz etkilenmemesi ve ek olarak kaynak metaline mekanik ve metalürjik katkılar sağlayarak kalitesini artırmaktır. Örtüler elektrodların üzerine kaplanır ve kaynak esnasında ısıнын etkisi ile yanarak oluşan arkın kararlılığını sağlarlar. Kalan kısmı ise cüruf oluşturur ve kaynak metalini korur. Kaynak metali üzerinde oluşan cüruf kaynak metalinin kontrollü soğumasını sağlarken kaynak bölgesine içerisindeki elementler vasıtasıyla katkıda bulunurlar. Örtüler kaynatılacak malzemenin ve kullanılacak kaynak tekniğine göre çeşitlilik gösterirler. Üretici firmalar ürettikleri örtüler hakkında gerekli teknik bilgileri sunarlar. Şekil 2.8’de TS 563-EN 499’a göre Örtülü Elektrod sınıflandırması standart yazımı gösterilmektedir.



kullanımları mevcuttur. Koruyucu gazlar dikişin transfer şekli ve nüfuziyeti üzerine de etkilidirler. Koruyucu gazlar ark karakteristiği ve kaynak metalinin mekanik özelliklerindeki etkilemektedirler. Şekil 2.9’da koruyucu gazların dikiş şekli ve nüfuziyete etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Koruyucu gazların dikiş şekli ve nüfuziyete etkisi (Kahraman ve Gülenç, 2013)

2.2.9. Kaynak ağzı ve kaynak aralığı

Kaynaklı birleştirmenin türüne göre kaynak dikişinin mukavemetini ve kaynak nüfuziyetini artırmak için kaynak ağzı açılır ve kaynak aralığı bırakılır. Kaynak ağzı ve kaynak aralıkları deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmiş değerlerdir. Şekil 2.10’da kaynak ağzı ve kaynak aralığı ile ilgili bilgiler gösterilmiştir.

KAYNAK AĞZI ÖLÇÜLERİ				
Sac kalınlığı mm	Kaynak Ağzı	Elektrot Çapı mm	Akım Şiddeti Amper	Ark genilimi Volt
0,75 - 1	Küt Alın Dikişi 0 mm	1	18 - 28	20
1 - 1,5	Küt Alın Dikişi 0 mm	1,5 - 2	28 - 45	20 - 22
1,5 - 2	Küt Alın Dikişi 0,5-3 mm	2 - 2,5	38 - 63	22 - 25
2 - 2,5	Küt Alın Dikişi 0,5-3 mm	2 - 2,5	50 - 80	23 - 26
3 - 4	Küt Alın Dikişi 0,5-3 mm			
6 - 10	V - Dikişi 60° 0-3 mm	3,25 - 6	120 - 300	26 - 35
10 - 20	X - Dikişi 60° 0-3 mm	5 - 8	240 - 450	30 - 40

Şekil 2.10. Kaynak ağzı ve kök aralığı ölçüleri (Anonim, 2013)

2.2.10. Kaynak öncesi ve sonrası ısıl işlemler

Bazı malzemeler çatlamadan kaynaklanan kaynak hatalarına daha duyarlıdırlar. Isı bu malzemeler üzerinde daha az sünek olmaları, ana metal ve kaynak metali üzerinde kaynak işlemi bittikten sonra soğuma esnasında kalıntı gerilmelerin oluşmasına sebep olur. Ayrıca bu çeliklerin ısı tesiri altındaki bölgelerinde (ITAB) hızlı soğuma nedeniyle martenzit oluşumu meydana getirir. Martenzit oluşumu tane yapısında hidrojenin yerleşebileceği alanlar oluşturur ve ani çatlamalara sebep olur. Bu tip metallerin belirli sıcaklıkta ve sürede kaynak prosedürlerine uygun olarak ısıнын eşit olarak dağılımının sağlandığı bir ön ısıl işleme tabi tutulması gereklidir. Ön ısıl işlem aynı zamanda ani soğumanın önüne geçer ve ısı tesiri altındaki bölgede daha sünek bir tane yapısı (perlit) oluşumunu destekler. Ayrıca malzeme üzerindeki büzülme gerilimini sınırlandırır ve martenzitik yapı oluşumunu azaltır. Benzer olarak, belirli bir kaynak prosedüründe kaynak sonrası ısıl işlemde uygulanmalıdır. Kaynak sonrası ısıl işlem artık gerilmeyi azaltır ve çözünmüş hidrojeni kaynaktan uzaklaştırarak soğuk çatlamadan kaynaklanan kaynak hatalarının önüne geçer (Kahraman ve Gülenç, 2013).

2.3. Gemi İnşa Sanayisinde Yaygın Kullanılan Kaynak Yöntemleri

Gemi inşa sanayisinde kullanılan kaynaklı birleştirme yöntemleri çok çeşitlilik göstermektedir. Gemi gövdesi yapımında ağırlıklı olarak kullanılan yöntemler;

Elektrik Ark kaynağı (elektrod)

Gazaltı kaynağı

- MIG
- MAG

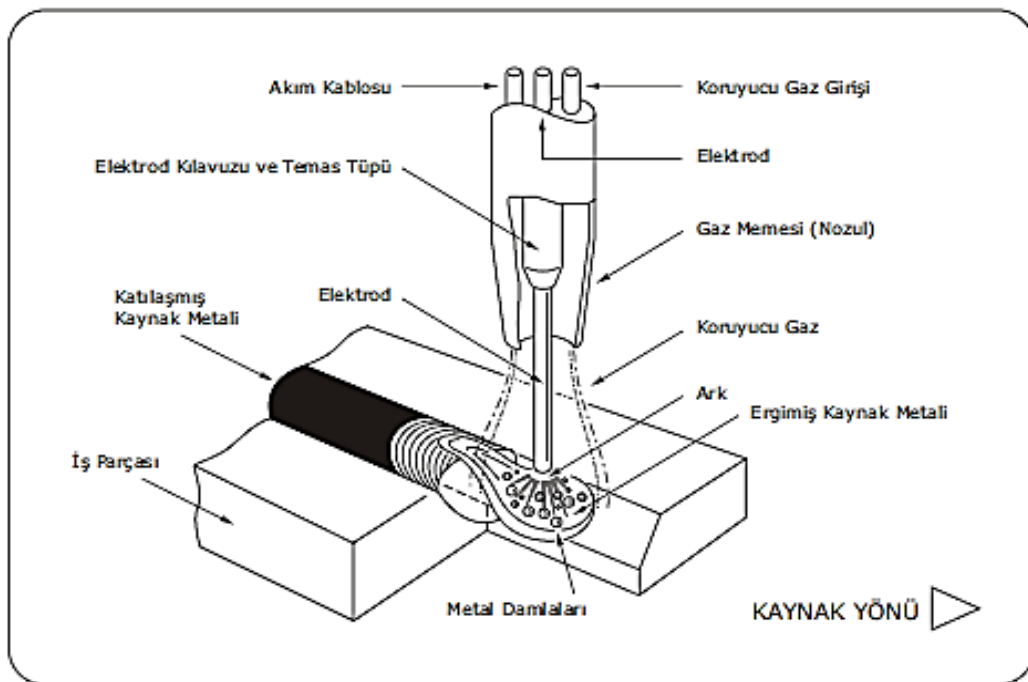
TIG

Tozaltı kaynağı

Bu kaynak türlerinin yanında özel malzemelerin kaynağı için çeşitli kaynak yöntemleri de kullanılmaktadır. Özellikle kaynak hatalarını azaltmak ve kaynak maliyetini düşürmek için yeni kaynak yöntemleri de denenmektedir. Bu yöntemlerden birisi olan plazma ark kaynağı' da bu çalışmada kullanılmıştır.

2.3.1. Gazaltı kaynağı

Gazaltı kaynağının temel çalışma prensibi bir akım üretici ve buna entegre halde kaynak bölgesine sürekli beslenen ek kaynak metali ve kaynak bölgesini koruyan bir gaz ortamının birleşimidir (Şekil 2.11). Kaynaklı birleştirme koruyucu bir gaz ortamının altında yapıldığı için bu adla anılmaktadır. Bu kaynak yönteminde kaynakçı tarafından başlangıçta tel sürme hızı, ark gerilimi ve koruyucu gaz debisi ayarları yapılır. Kaynak sürecinde ise manuel kaynaklarda kaynakçının hareketlerine göre arka stabilitesini korumak için akım ve gerilim değerleri üreteç tarafından ayarlanır.



Şekil 2.11. Gazaltı kaynağı temel çalışma prensibi (Askaynak, 2007)

Kaynak ek metali kesintisiz bir şekilde bir tel sürme ünitesinden kaynak bölgesine gönderildiği için uzun süreli kesintisiz kaynak yapma imkanı sağlamaktadır. Bu nedenle otomasyon ve robotik kaynak üniteleri ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Gazaltı kaynak yönteminde kaynak donanımı dört ana bölümden oluşmaktadır;

- Torç (Torch)ve kablo
- Kaynak ek metali besleme ünitesi
- Akım üretici
- Koruyucu gaz ünitesi

Torç ve kablolar koruyucu gazı kaynak bölgesine verilmesine, kaynak ek metalinin kaynak bölgesini iletir ve üreteçten gelen akımı ek tel üzerinden ana malzemeye aktararak arkın oluşmasını sağlar. Kaynak işlemi kaynak torcu üzerinde bulunan bir tetik tertibatıyla başlatılır. Tetiğe basıldığında aynı anda kaynak bölgesine ek tel, akım ve koruyucu gaz gönderilir ve kaynak başlar. Gazaltı kaynak yönteminde akım gerilim ve tel sürme hızı arasındaki ilişki ark stabilitesi ve kaynak kalitesi için önemli olan üç unsurdur. Bu üç değişken arasındaki ilişkiler kaynak ünitesi tarafından otomatik olarak ayarlanmaktadır. Bu üç değişken arasındaki ilişkiyi düzenlemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir Yan vd. (2010). Bunlar;

- Konvansiyonel üniteler
 - Sabit gerilim ve sabit hızlı tel besleme ve değişken akım
 - Azalan gerilim ve akım ile değişken tel beslem hızı
- Sinerjik üniteler (GMAW-P)

Gazaltı kaynak yöntemi gün geçtikçe gelişmektedir. Gazaltı kaynak yönteminde sıklıkla karşılaşılan hatalar ek tel erime hatası, yetersiz nüfuziyet ve ark boyundaki dalgalanmalardır. Sinerjik üniteler bu tür sorunlara çözüm amaçlı geliştirmiştir. Sinerjik üniteler ek tel kaynak bölgesine ulaştığında tel uç kısmında erime meydana gelir bu eriyiğin kaynak bölgesine aktarılması için ek akım darbesi verir ve erime ve ek metal aktarımını kolaylaştırılır. Sinerjik üniteler akım, gerilim ve tel sürme hızı arasındaki dengeyi kaynak esnasındaki değişimlere göre ideal şekilde tutmaya çalışır. Bu ünitelerde kaynak parametreleri kaynak öncesinde ayarlanır. Bu değerler malzeme türü, ek tel yapısı, ek tel çapı, kaynak ilerleme hızı ve kaynak pozisyonu gibi parametrelere göre ayarlanır.

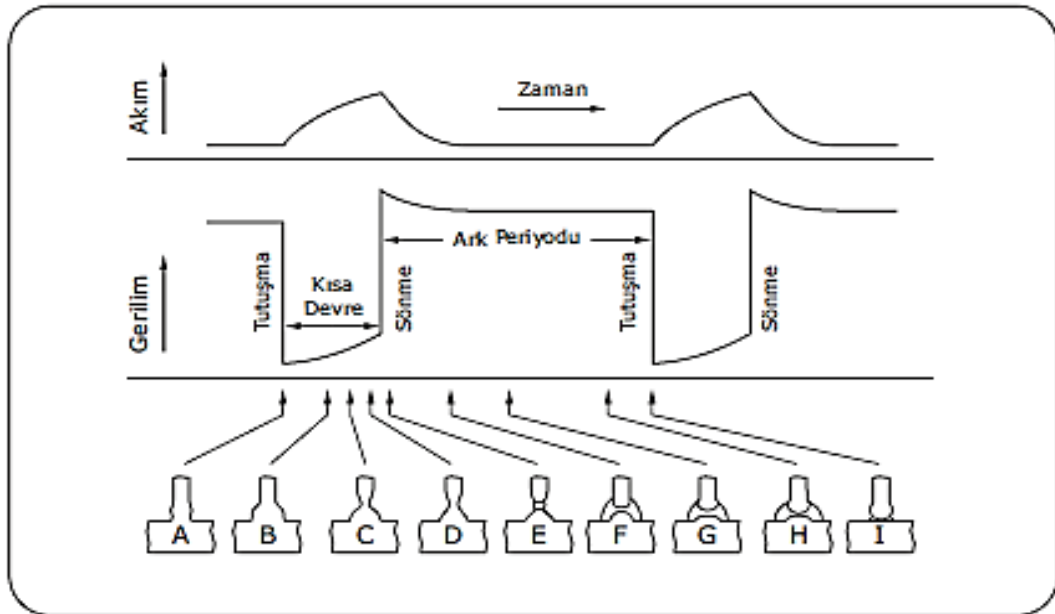
Sinerjik kaynak makinalarının konvansiyonel makinalara göre en büyük avantajı kaynak bölgesine aktarılan ısı girdisinin az olmasıdır. Bu da kaynak sonrası oluşan gerinim ve gerilimlerin azalmasına neden olmaktadır. Sinerjik üniteleri sıçramaların az olduğu, kaynak yığma yüksekliğinin daha fazla ve hızlı kaynak yapma imkanı sağlamaktadır (Palani ve Murugan, 2006; Kurt, 2013).

Gazaltı kaynağında ek metalin iletimi üç farklı şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar; Kısa devre iletimi, İri damla iletimi ve Sprey iletimidir ek metal iletiminde etken olan özellikler;

- Kaynak akım tipi ve şiddeti
- Elektrod çapı
- Elektrodun yapısı
- Serbest elektrod uzunluğu
- Koruyucu gaz

2.3.1.1. Kısa devre iletimi

Bu iletim türü düşük akım ve küçük ek tel çaplarında meydana gelir. Kısa devre iletimi büyük kök açıklığını birleştirmek için küçük ve hızlı katılaşılan kaynak dikişleri oluşturmak için kullanılırlar (Şekil 2.12).



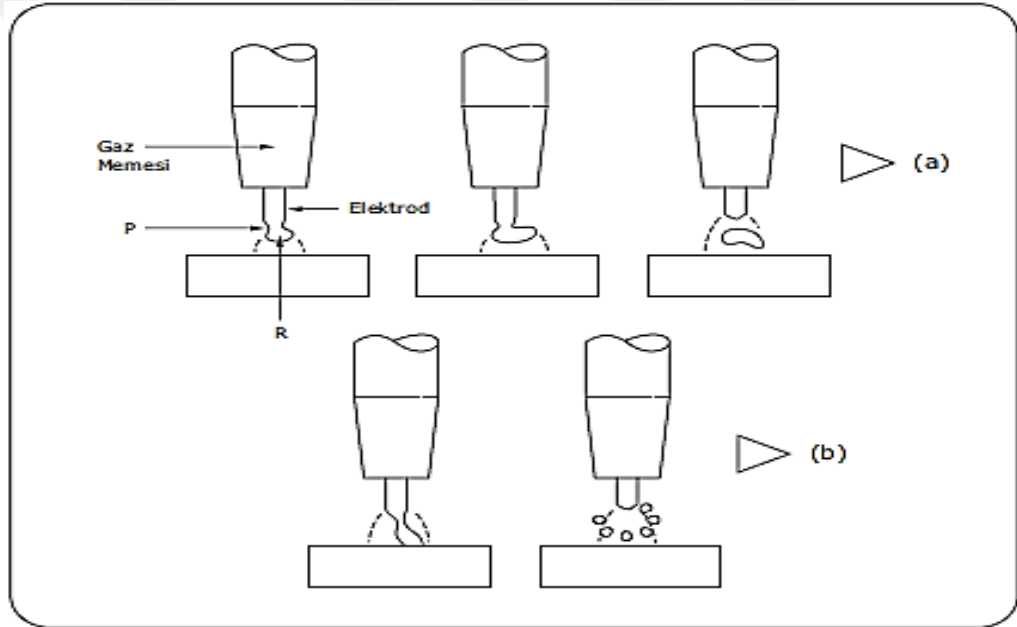
Şekil 2.12. Kısa ark iletimi döngüsü (Kahraman ve Gülenç, 2013)

Bu iletiminde akım, ek tel ana malzemeye değdiği sürece iletilir. Torç ve kaynak bölgesi arasında başka bir metal aktarımı olmaz sadece ek telin malzemeye temas ettiği kısımda erime meydana gelir ve aktarım burada gerçekleşir. Ek tel kaynak bölgesine temas ettiğinde akım artar gerilim düşer temas kesildiğinde akım düşer ve gerilim tekrar artar. Bu döngü saniyede 20-200 kez gerçekleşir. Kısa devre iletiminde ek metal aktarımını kolaylaştırmak için ergimiş metalin yüzey gerilimini azaltmak için

kullanılan koruyucu gazın önemi büyüktür. Koruyucu gazın özelliklerinin değişimi damla büyüklüğünü ve periyot aralığını önemli ölçüde etkilemektedir.

2.3.1.2. İri damla iletimi

Doğru akımda elektrod pozitif kutupta iken gerçekleşir. İri damlalı iletimde koruyucu gazın cinsi çok fazla etki etmemektedir. İri taneli damla iletiminde kaynak akımı kısa devre iletimine göre daha yüksektir. Bu iletimde ark boyu çok kısa ise ark ucunda büyüyen damla kaynak bölgesine temas ettiğinde bölgeye aşırı ısı girdisi verir ve sıçramalara neden olur. Bu durumda ark boyunun yeteri kadar yüksek olması gereklidir (Şekil 2.13).

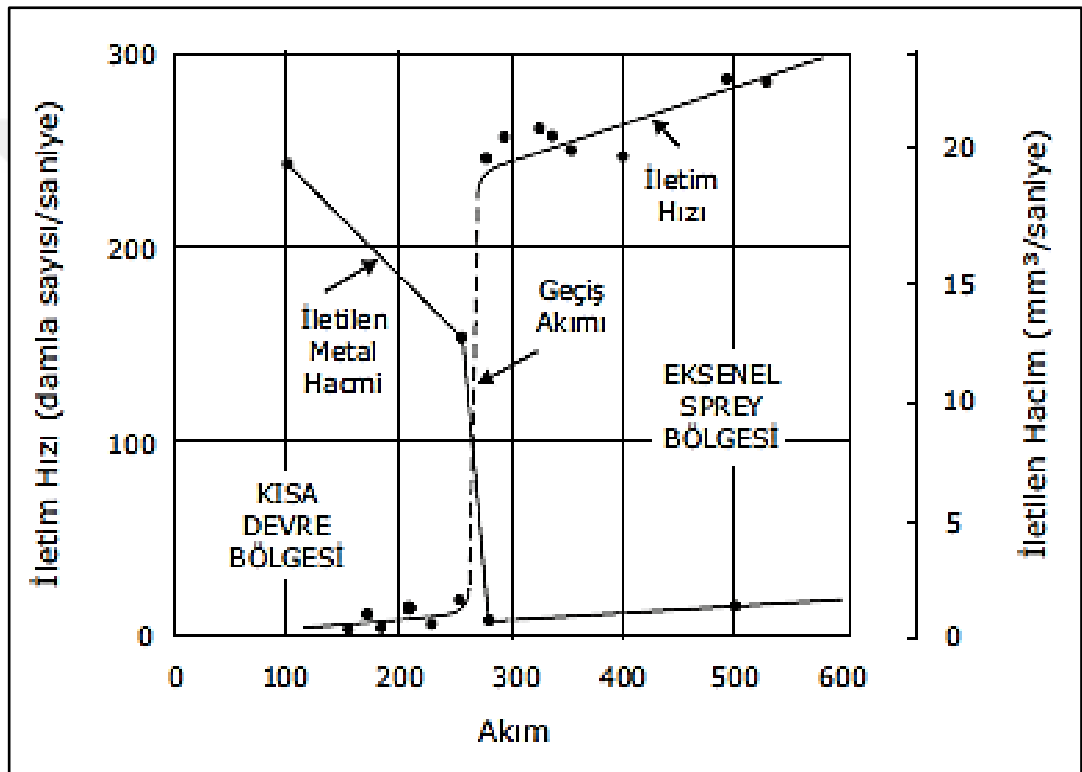


Şekil 2.13. İri taneli damla iletim (Kurt, 2013)

Ark boyu yükseldiğinde gerilim artacağından dolayı yetersiz ergime, aşırı dikiş taşması ve yetersiz nüfuziyet meydana gelir. Burada ergimiş damlanın ek telden ayrılması ya damlanın birikip büyüyerek ana malzemeye teması sonucu kısa devre yaparak yada yer çekimi kuvveti ile ek telden ayrılacak kadar büyümesi ile gerçekleşir. Bunun nedeni P'nin tek başına R' kuvvetini yenememesidir. İri damlalı iletimde koruyucu gaz olarak asal gazlar kullanılırlar. CO₂ kullanımında Şekil 2.13b' olduğu gibi sıçrama çok olacaktır.

2.3.1.3. Sprey iletimi

Bu iletim argon gazı koruyucu ortamında aksenal olarak sapmanın az olduğu sprej tipi damla geçişi şeklinde meydana gelir. Sprej tipi bir iletim elde etmek için akım değeriinin geçişi akımından yüksek olması ve ek telin pozitif kutupta olması gereklidir (Şekil 2.14). Sıvı metalin yüzey gerilimine bağılı olarak geçişi akımının şiddeti ek tel çapı ve serbest tel uzunluğu ile ters orantılı olarak değışim gösterir. Burada koruyucu gaz ortamının özellikleri de sprej aktarımını etkiler.

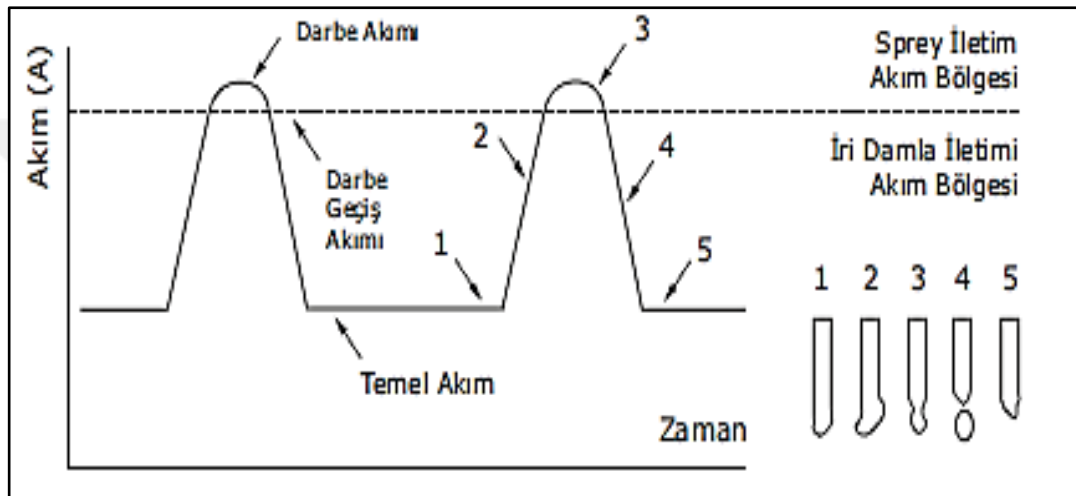


Şekil 2.14. Damla iletiminde kaynak akımının etkisi (Askaynak, 2007)

Sprej iletimin oluşturduğu parmak şeklindeki nüfuziyet etkisi önemli özelliklerindendir. Parmak biçimindeki nüfuziyet derin olabilmekle beraber manyetik alanlardan etkilenmektedir. Bu nedenle nüfuziyetin istenen bölgede yer alması için tedbirler alınması gereklidir. Sprej ark oluşturmak için yüksek akım miktarına ihtiyaç duyulduğu için bu iletim yöntemi ince malzemelerin kaynağında kullanılamamaktadır. Bunun yanında bu yöntem yüksek yığıma hızı nedeniyle düşey ve tavan kaynak pozisyonlarında da kullanılamamaktadır.

2.3.1.4. Darbeli (Pulse) akım geçişi

Bu yöntem sinerjik ünitelerin sağladığı bir özelliktir. Sprey iletim ve iri taneli iletimin iyi olan özelliklerini kullanmaya yöneliktir. Bu yöntemde üreteçten iki akım gönderilmektedir (Şekil 2.15). Birinci akım sabit şiddette ve ek tel ucunda damla oluşturacak şekilde yüksek enerji vermeden arkın devamlılığını sağlar, diğeri ise sabit akıma fasılalı şekilde eklenen darbe (Pulse) akımıdır. Darbe akımı ergiyen ek metalin sprej şeklinde aktarımını sağlar.

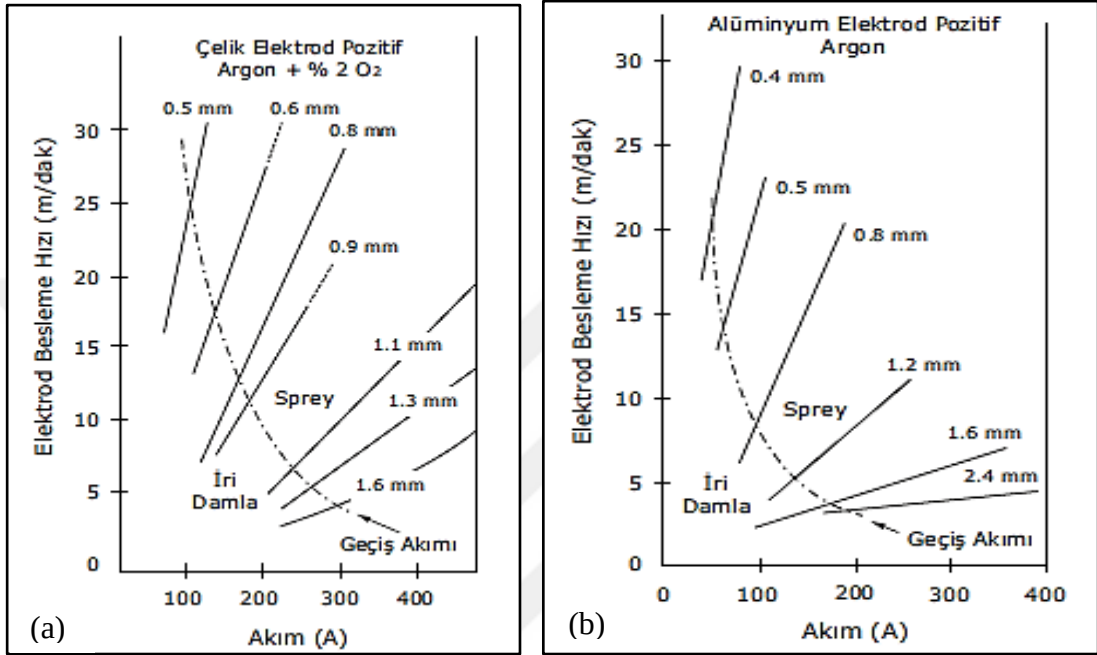


Şekil 2.15. Darbeli(Pulse) geçişli iletimde akım karakteristiği (Askaynak, 2007)

Bu iletimde daha düşük ısı girdi değerleri ile spre y iletim sağlanır. Böylece spre y iletim yöntemi ile her tür metal malzemenin etkin bir şekilde kaynatılmasını sağlar. Gazaltı kaynağının özelliklerini ve kalitesini belirleyen çeşitli parametreler vardır. Bu parametreler kısaca;

- Tel besleme hızı ve buna bağlı olarak akım değeri
- Kutuplama
- Kaynak gerilimi (ark boyu)
- Kaynak ilerleme hızı
- Serbest tel uzunluğu
- Torç (Torch) açısı
- Kaynak pozisyonu
- Korucu gaz karışımı
- Ek tel çapı ve yapısı

Gazaltı kaynağı ile yapılan bir kaynaklı birleştirmede yukarıda belirtilen hususların kaynak dikişi ve kaynak bölgesine olan etkilerinin iyi bilinmesi gereklidir. Bu parametreler üzerine çok sayıda deneysel çalışma yapılmıştır; örneğin kaynak akım değeri ve ek tel besleme hızına bağlı olarak kaynak metali geçiş formu değişimi Şekil 2.16a ve Şekil 2.16b' de gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Çeşitli parametrelere göre damla geçiş değişimi (Askaynak, 2007)

Gazaltı kaynağının kalitesini doğrudan etkileyen bir diğer parametre ise kaynak gerilimidir. Kaynak gerilimi ark boyu ile bağlantılı bir değerdir ve genellikle kaynak makinaları tarafından başlangıç ayarından sonra ark boyuna göre otomatik ayarlanan bir değerdir. Kaynak gerilimi gazaltı kaynağında kontrol altında tutulması gereken önemli değerlerden birisidir. Kaynak gerilimi koruyucu gaz ortamının sağlıklı olması ve damla geçişlerinin biçimini doğrudan etkiler. Kaynak gerilimi için malzeme cinsine göre çeşitli değer tabloları oluşturulmuştur. Çizelge 2.2'de örnek değerler verilmiştir.

Çizelge 2.2. Malzeme cinsine göre ark gerilimleri (Askaynak, 2007)

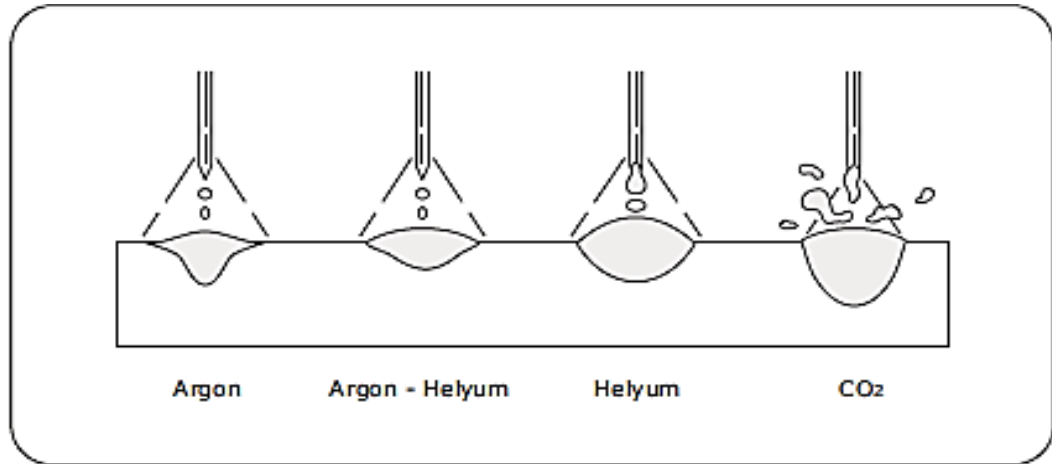
Metal	Sprey ** ve İri Damla İletimi (1.6 mm çapında elektrod)					Kısa Devre İletimi (0.8 mm çapında elektrod)			
	Argon	Helyum	% 25 Ar % 75 He	Ar+O ₂ (% 1-1.5 O ₂)	CO ₂	Argon	Ar+O ₂ (% 1-1.5 O ₂)	% 75 Ar % 25 CO ₂	CO ₂
Alüminyum	25	30	29	-	-	19	-	-	-
Magnezyum	26	-	28	-	-	16	-	-	-
Alaşsızsız Çelik	-	-	-	28	30	17	18	19	20
Düşük Alaşımlı Çelik	-	-	-	28	30	17	18	19	20
Paslanmaz Çelik	24	-	-	26	-	18	19	21	-
Nikel	26	30	28	-	-	22	-	-	-
Nikel-Bakır Alaşımı	26	30	28	-	-	22	-	-	-
Nikel-Krom-Demir	26	30	28	-	-	22	-	-	-
Bakır	30	36	33	-	-	24	22	-	-
Bakır-Nikel Alaşımı	28	32	30	-	-	23	-	-	-
Silisyum Bronzu	28	32	30	28	-	23	-	-	-
Alüminyum Bronzu	28	32	30	-	-	23	-	-	-
Fosfor Bronzu	28	32	30	23	-	23	-	-	-

2.3.1.5. Korucu gazlar ve gaz karışımları

Koruyucu gazların temel görevi kaynak metalini atmosfer şartlarının olumsuz etkilerine karşı korumaktır. Bunun yanında koruyucu gazlar;

- Kaynak arkının karakteristiği
- Kaynak dikişinin nüfuziyeti ve dikiş şekli
- Kaynak sürecinde ek metal transferinin biçimi
- Kaynak ilerleme hızı
- Yanma olukları
- Temizleme
- Kaynaklı bölgenin mekanik özellikleri

Üzerine etkileri olmaktadır. Gazaltı kaynak yönteminde çoğunlukla asal gazlar kullanılmaktadır. Bu gazlar; Argon (Ar) ve Helyum (He)'dur. Bu asal gazlar tek başına kullanılabildiği gibi karışım şeklinde de kullanılabilirler. Şekil 2.17'de koruyucu gazların dikiş formu ve nüfuziyet üzerine etkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Koruyucu gazların dikiş formu ve nüfuziyete etkileri (Kahraman ve Gülenç, 2013)

Koruyucu asal gazların yanında karışım bazı gazlarda kullanılmaktadır. bu gazlar; Karbondioksit (CO_2), Oksijen (O_2) ve Hidrojen (H_2)'dir. Bu gazlar tek başlarına kullanılmazlar ve genellikle Argon(Ar) gazı ile karışım şeklinde kullanılmaktadırlar. karışım gazlar kaynak bölgesine istenen özellikleri kazandırmak için kullanılırlar. Örneğin Argon ile % 1-5 O_2 ilavesi yanma oluklarının oluşumunu azaltır. Çizelge 2.3'de malzeme cinsi , koruyucu gaz karışımı ve bu karışımın üstünlükleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Korucu gaz karışımları ve özellikleri (Askaynak, 2007)

Ana Metal	Koruyucu Gaz	Üstünlükleri
Alaşsız Çelikler	% 75 Ar + % 25 CO_2	3 mm kalınlıklara kadar yüksek kaynak hızları ve en az distorsiyon ve az sıçrama sağlar.
	% 75 Ar + % 25 CO_2	3 mm'den kalın parçalarda en az sıçrama ve temiz kaynak görüntüsü sağlar. Düşey ve tavan pozisyonlarında iyi bir banyo kontrolü elde edilir.
	CO_2	Daha derin nüfuziyet ve daha yüksek kaynak hızı elde edilir.
Paslanmaz Çelikler	% 90 He + % 7.5 Ar + % 2.5 CO_2	Korozyon direnci üzerinde kötü bir etkisi yoktur. Isı tesiri altındaki bölge dar olup yanma oluğu oluşmaz. En az distorsiyon sağlar.
Düşük Alaşımlı Çelikler	% 60-70 He + % 25-35 Ar + % 4.5 CO_2	En az reaktivite, mükemmel tokluk, mükemmel ark kararlılığı, ısılatma özelliği ve dikiş profili sağlar. Çok az sıçrama oluşur.
	% 75 Ar + % 25 CO_2	Orta derecede tokluk, mükemmel ark kararlılığı, ısılatma özelliği ve dikiş profili sağlar. Çok az sıçrama oluşur.
Alüminyum, Magnezyum, Nikel ve Bunların Alaşımları	Argon Argon + Helyum	Sac parçalarda Argon başarılı bir şekilde kullanılır. 3 mm'den büyük kalınlıklarda ise Argon + Helyum karışımı tercih edilir.

Aynı zamanda argon gazına CO_2 gazı ilavesi dikiş formunun düzgün olmasını sağlamaktadır. Gaz altı kaynağında CO_2 kullanımı yüksek hızda kaynak yapma ve

nüfuziyetin artmasına yardımcı olur. Gazaltı kaynağı kullanılan gazın asal veya aktif gaz olması durumuna göre MIG veya MAG olarak adlandırılırlar.

2.3.1.6. Kaynak ek metali

Gazaltı kaynağında kaynak ek metali yani kaynak telleri hem kaynak arkını oluşturmak için elektrik akımını iletir hem de oluşan ark ile birlikte ergiyerek kaynak metalini oluştururlar. Gazaltı kaynak yönteminde temelde iki tür kaynak teli kullanılır;

Masif kaynak teli

Özlü kaynak teli

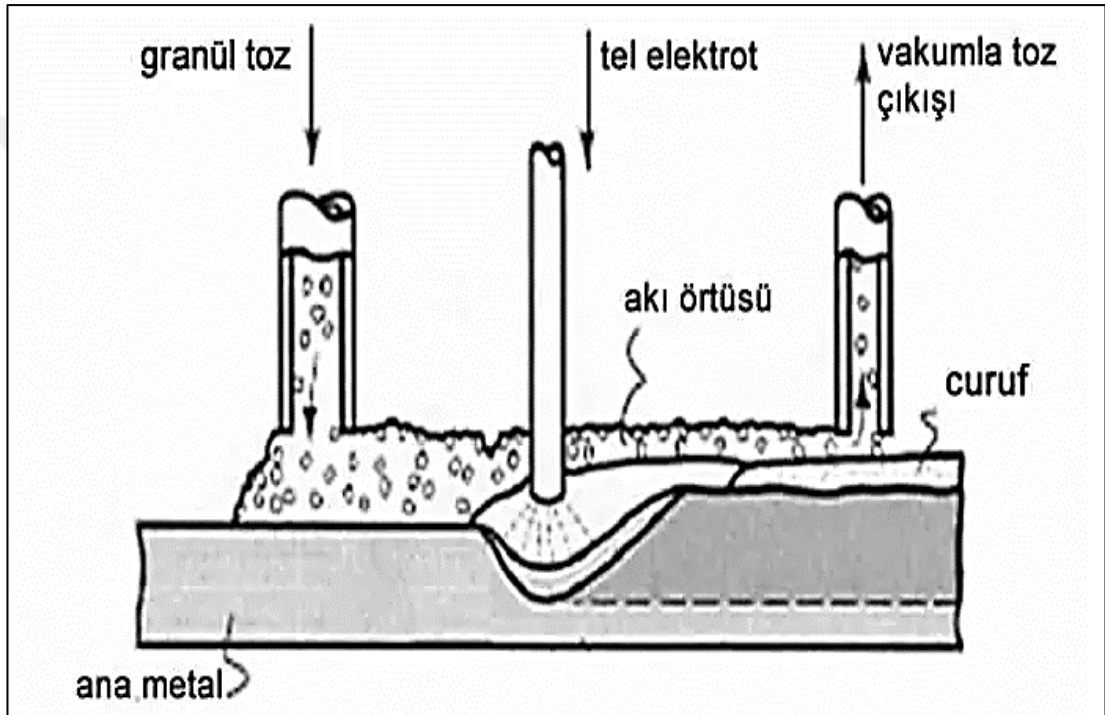
Masif tel üretimin başlangıç aşamasında alaşım elementlerinin katıldığı çekme yöntemi ile üretilen dışı ince bakır kaplı makaralara sarılı tellerdir. Özlü teller ise içerisine dekapan ve alaşım elementlerinin doldurulduğu tüp şeklindeki makaraya sarılı tellerdir. Özlü tellerin içerisindeki dekapan malzeme ve alaşım elementleri elektrik ark kaynağında kullanılan örtülü elektrodlarınkine benzer görev yapmaktadır. Masif telle yapılan kaynaklarda kaynak dikişi üzerinde cüruf oluşmaz ve koruyuculuk sadece gaz ortamı tarafından sağlanır. Özlü tellerde ise özlü telin içerisine konulan cüruf yapıcı malzemeler sayesinde dikiş üzerinde cüruf oluşur ve dikişi korur.

2.3.1.7. Gazaltı kaynak tekniğinin avantajları

- Gazaltı kaynak tekniğinde ek metal bir makara halinde kullanıldığı için örtülü elektrod kaynağına göre daha hızlıdır.
- Cüruf olmadığı için pasolar arasında temizlik yapılmasına gerek yoktur. Aynı zamanda cürufun kaynak metaline karışarak hatalara yol açması yoktur.
- Küçük çaplı teller kullanıldığı için daha fazla kaynak metali yığılma ve daha düşük ısı girdisi oluşturur.
- Kaynak metali içerisinde daha düşük hidrojen (H_2) bulundurur ve hidrojen kaynaklı hataların az olmasına sebep olur.
- İnce malzemelerin kaynağında örtülü elektrod kaynağına göre daha iyidir.
- Hem manuel hem de robotik kaynak uygulamalarında kullanıma elverişlidir.

2.3.2. Tozaltı kaynak yöntemi

Tozaltı kaynak yöntemi adından da anlaşılacağı gibi kaynak arkının ve kaynak metali ergimesinin koruyucu bir toz örtü altında gerçekleştiği kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi yarı veya tam mekanize kaynak yöntemidir. Genellikle kalın malzemelerin uzun kaynak dikişleri yapılması gerektiğinde ve östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılırlar. Tozaltı kaynak yöntemi yatay pozisyonda yapılacak kaynak uygulamaları için kullanılır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Tozaltı kaynağı çalışma prensibi (Asarkaya, 2006)

Tozaltı kaynağı yüksek enerjili kaynak yöntemlerindendir. Tozaltı kaynak yöntemi ile tek pasoda 85 mm çift pasoda 180 mm kalınlığa kadar olan malzemeler kaynatılabilir. Bu kaynak yöntemi geniş dikiş formu ve derin nüfuziyet elde etmek için ideal bir kaynak yöntemidir.

Tozaltı kaynağı iki ana bölümden oluşur birisi kaynak için gerekli olan enerjiyi sağlayan akım üretici diğeri ise kaynak torcu, kaynak ek telini besleme ünitesi, toz besleme ünitesi ve toz toplama ünitesi üzerinde bulunduran kaynak traktöründen oluşmaktadır. Traktör üzerinde kaynak için gerekli olan parametreleri ayarlama ve görmek için birde kontrol paneli vardır (Asarkaya, 2006; Kahraman ve Gülenç, 2016).

2.3.2.1. Tozaltı kaynak telleri

Tozaltı kaynağında ek tel aynı gazaltı kaynak tellerine benzer şekilde masif tel olarak üretilir. Farkı yüksek kaliteli çelikler kullanılır ve tel bileşimindeki mangan miktarı fazladır. Tozaltı ek tellerinin çapları 1.2 mm ile 12 mm arasında değişir. Tozaltı kaynağında kaynak telleri kaynak akımını rahatlıkla aktarması amacıyla gazaltı tellerinden olduğu gibi ince bakır tabakası ile kaplıdır.

Tozaltı kaynak telleri kaynatılacak malzeme cinsine göre çeşitli alaşım elementleri ile katılır ve kaynak metaline ek özellikler katarlar. Bu kaynak telleri de diğer kaynak sarf malzemelerinde olduğu gibi belirli standartlara göre üretilirler ve üretici firmalar tarafından özellikleri açısından kataloglanırlar.

2.3.2.2. Tozaltı kaynak tozları

Tozaltı kaynağında kullanılan tozlar örtülü elektrotlardaki örtü ve gazaltı kaynağında kullanılan koruyucu gazların görevini yerine getirmektedir. Tozlar kaynak metalini havanın olumsuz etkilerinden koruduğu gibi içerisindeki alaşım elementleri vasıtası ile kaynak metaline süneklik, mukavemet artışı gibi mekanik özellikler katar. Şekil 2.19'da kaynak tozlarının katalog gösterimi verilmiştir.

Normları

TS EN ISO 14171-A	: S2
EN ISO 14171-A	: S2
AWS A5.17	: EM 12

Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi % (Tipik)

C	Si	Mn	Cu ¹
0.12	0.10	1.0	<0.30

1 :Bakır kaplı

Kaynak Metalinin Mekanik Değerleri (Tipik)

Tozaltı Kaynak Tozu	AWS A5.17	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (Lo=5do) (%)	Çentik Dayanımı ISO-V(J)			
					0°C	-20°C	-30°C	-40°C
ELIFLUX BAR	F6AZ-EM12 F6PZ-EM12	400	500	30	60	---	---	---
ELIFLUX BFB	F7 A4-EM 12	460	525	30	---	70	55	50
ELIFLUX BFF	F7 A4-EM 12	410	520	24	---	---	70	60
ELIFLUX BBR-AG	F7 A2 EM12	410	490	32	50	50	50	---
ELIFLUX BMS	F7 AD-EM 12	390	485	30	---	69	---	---
ELIFLUX PIPE	F6 A0-EM 12	460	550	26	---	75	---	50
ELIFLUX BAB-S	F7A4-EM12	430	525	29	---	---	---	60

Kaynak Metalinin Kimyasal Analizi % (Tipik)

Tozaltı Kaynak Tozu	C	Si	Mn
ELIFLUX BAR	0.07	0.60	1.35
ELIFLUX BFB	0.07	0.35	1.50
ELIFLUX BFF	0.05	0.20	1.00
ELIFLUX BBR-AG	0.10	0.35	1.20
ELIFLUX BMS	0.04	0.45	1.27
ELIFLUX PIPE	0.07	0.40	1.35
ELIFLUX BAB-S	0.08	0.40	1.50

Kaynak Edilebilen Çelikler

- Yapı Çelikleri; S 355 JR
- Boru Çelikleri; L 360
- Kazan Sacları; P 295 GH, P 355 GH
- Gemi Çelikleri; A, B, D, E
- İnce Taneli Çelikler; P 355N, S355N

Kullanıldığı Yerler ve Özellikleri

- Çelik konstrüksiyon, spiral boru imalatı ve basınçlı kapların kaynağı ile alaşımsız yapı çeliklerinin ve gemi saclarının kaynağında, çekme dayanımı 500N/mm²'ye kadar olan genel yapı çeliklerinin, alaşımsız veya orta dayanımlı çeliklerin tozaltı kaynak yönteminde kullanılan üzeri bakır kaplı masif telidir.

Şekil 2.19. Tozaltı kaynak teli ve tozlarının katalog gösterimi (Askaynak, 2011)

Kaynak tozları kaynatılacak malzemenin yapısı, kullanılacak tel ve kaynak dikişinden beklenen özelliklere göre değişim göstermektedir. Kaynak tozlarında genellikle alaşım elementi olarak C, Mn, Si ve Mo gibi elementler kullanılmaktadır. Tozlar kullanılmadan önce kurutma fırınlarında ortalama 300 °C'de kurutulmalıdırlar (Asarkaya, 2006; Kahraman ve Gülenç,2016).

Tozaltı kaynağı mekanize bir kaynak yöntemidir. Bu nedenle kaynak parametresi olarak kaynak başlangıcında Kaynak Akımı, Kaynak Gerilimi ve Kaynak İlerleme Hızı parametreleri ayarlanır. Kaynak akımı kaynatılacak malzemenin kimyasal bileşimi, malzemenin kalınlığı ve kullanılacak ek telin çapına bağlı olarak belirlenir. Diğer kaynak yöntemlerine göre tozaltı kaynağında aynı çaplardaki ek tel de kullanılan akım miktarı daha yüksektir. Kaynak gerilimi ise kaynak arkının ve kararlılığının

sürdürülmesi için önemlidir. Gerilim belirlemede kaynakta serbest tel uzunluğu ve kaynak ark boyu önemli parametrelerdir. Ark gerilimi kaynak nüfuziyetine de dolaylı olarak etki etmektedir. Kaynak ilerleme hızı ise kaynak akımı, kaynak metali biriktirme ve dikiş formu gibi özelliklere göre belirlenen bir parametredir. Tozaltı kaynağında tel beslemesi elde edilmek istenen dikiş formuna bağlı olarak tek telli, tandem ve çok telli olarak yapılmaktadır. Eğer oluşturulmak istenen dikiş geniş ve ek metalin miktarı fazla ise tandem veya çok telli besleme kullanılabilir. Şekil 2.20’ de çoklu tel tozaltı kaynağı beslemesi gösterilmektedir (Anık, 1991).



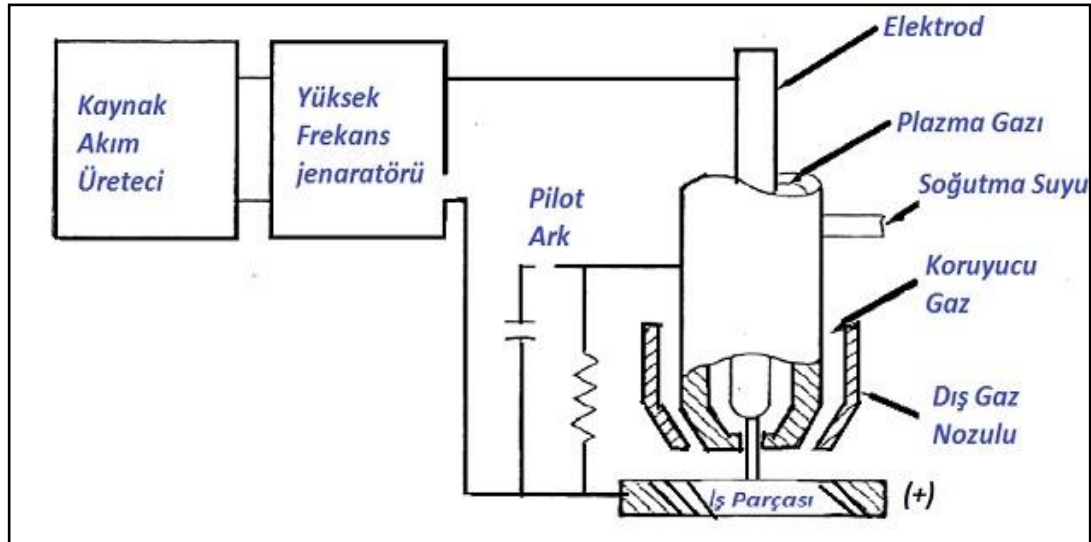
Şekil 2.20. Çoklu tel beslemeli tozaltı kaynak uygulaması (Anonim, 2020)

2.3.2.3. Tozaltı kaynak tekniğinin avantajları

- Seri üretime elverişli bir kaynak tekniğidir.
- Kaynak dikişleri diğer yöntemlere göre daha sert ve dayanıklıdır.
- Mekanize bir kaynak türüdür.
- Toz karışımları sayesinde düşük kaliteli tellerle kaliteli malzemeler kaynatılabilir.
- Otomasyon olarak uzun ve kalın malzemelerin kaynağı kolaylıkla kaynatılabilir.
- 10 mm kalınlığın altındaki malzemelerde kaynak ağzı açmaya gerek yoktur.
- Sade bir yapısı olduğu için kullanım kolaylığı vardır.

2.3.3. Plazma ark kaynak yöntemi

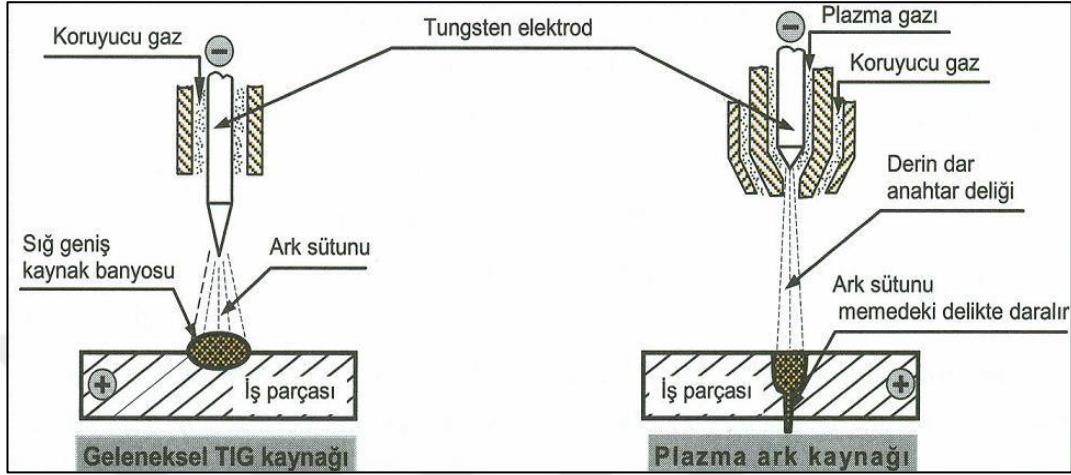
Plazma teknolojisi 1900'lü yıllardan günümüze metallerin kesilmesi ve kaynaklı birleştirilmelerinde giderek artan öneme sahip ve sürekli geliştirilen bir yöntemdir. Plazma teknolojisi kaynak bölgesinde ısı girdisini azaltmak ve ITAB' da olumsuz etkileri en aza indirmek için yapılan çalışmaların bir sonucu olarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Plazma iyonize olmuş gaz kütesidir. Plazma elde etmek için gazın pozitif iyonları ile negatif elektronlarına ayrışması gerekir. Bu ayrışmayı sağlamak içinde yüksek miktarda ısıya ihtiyaç vardır. Plazma ark kaynak yönteminde plazma sütununu; plazma kaynak torcunun içerisinde bulunan ergimeyen bir elektrod (çoğunlukla Tungsten) ile oluşturulan yüksek enerjili pilot ark üzerine gönderiler asal gazın iyonlaşması ve torç ağzından kaynak bölgesine doğru akış oluşturması ile meydana gelir (Hsiao vd., 2007). Plazma oluşturmak için genellikle Argon gazı kullanılır. Gaz, nozul içerisinden ark bölgesine yüksek basınçta gönderilir. Torç ucundan kaynak bölgesine doğru plazma fazında hareket ederken iyonlaşmış yapı tekrar nötrleşmek için yeniden bağ kurmaya başlar ve bu süreçte ortama ısı verir. Elde edilen bu ısı ile kaynak bölgesinde ergime oluşturulur ve bu sayede kaynaklı birleştirme yapılır (Topal, 2019). Şekil 2.21'de plazma ark kaynak yönteminin şeması görülmektedir.



Şekil 2.21. Plazma ark oluşumu (Şahin, 2008)

Plazma ark yöntemi metal malzemelerin kesim işlemleri, malzeme yüzey kaplama işlemleri ve malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde endüstriyel boyutta yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle paslanmaz çeliklerde kullanımı yaygındır.

Plazma ark yöntemi oldukça dar ve yüksek enerjili bir ısı sütunu oluşturduğu için diğer gazaltı kaynak yöntemlerine kıyasla çok daha verimli bir yöntemdir (Das vd., 2018; Zhang, vd., 2001; Hsiao vd., 2007). Şekil 2.22’de plazma ark kaynak yöntemi ile TIG kaynak yönteminin karşılaştırmalı şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.22. TIG kaynağı arkı ve plazma arkı biçimsel gösterimi (Topal, 2019)

Teknik açıdan plazma ark yöntemi TIG kaynak yöntemine benzer iki yöntem arasındaki fark TIG kaynağındaki konik şekilli ark plazma ark yönteminde plazma fazdaki bir gaz akışı ile sütun haline getirilmiştir. TIG kaynak yönteminden bir diğer farkı ise koruyucu gaz akışının yanında iç nozuldan gelen ve plazmayı oluşturan ikinci bir gaz akışının olmasıdır. Plazma ark kaynak yöntemi verim ve nüfuziyet açısından TIG kaynak yöntemine göre daha üstündür (Topal 2019; Şahin 2008; Yüksel 2019). Plazma ark kaynak yöntemi temel olarak üç teknikte uygulanmaktadır. Bu teknikler;

- Mikro plazma tekniği
- Makro plazma tekniği
- Anahtar deliği(Keyhole) tekniği

2.3.3.1. Mikro plazma tekniği

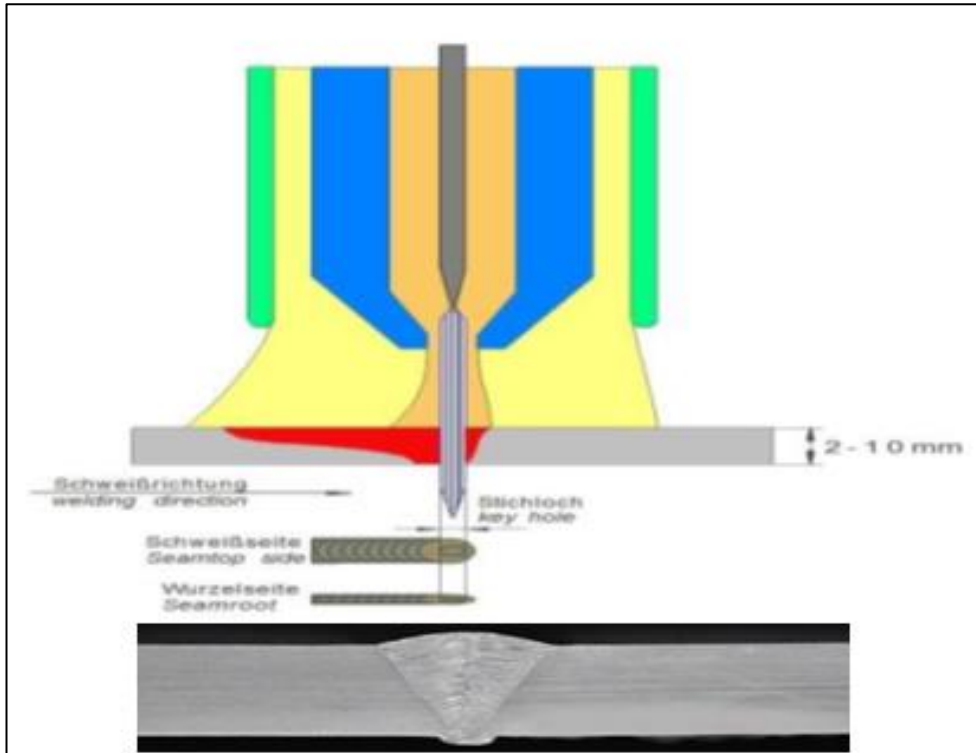
Çok düşük akım (0,1 -120 A) değerlerinde çalışan manuel bir ergitme kaynak yöntemidir. Çok düşük akım şiddetlerinde arkı kontrol altında tutmak zordur. Mikro plazma yönteminde düşük akımda oluşturulan plazma sütunu kolaylıkla kararlı halde tutulabilmektedir. İnce malzemelerin (0,1-1mm) kaynağında malzemenin çarpılma olmadan kaynatılmasını sağlar. Mikro plazma tekniğinde kaynak dikişleri çok dardır.

2.3.3.2. Makro plazma tekniği

Mikro plazma tekniğine göre daha yüksek akım değerlerinin (120 – 400 A) kullanıldığı bir tekniktir. Kaynak tekniği olarak TIG kaynağına benzer bir tekniktir. Plazma arkının enerjisi daha yüksek olduğu için kalın malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte ihtiyaç olması durumunda ek tel kullanılabilir.

2.3.3.3. Anahtar deliği (Keyhole) tekniği

Bu teknikte yüksek akım değerlerinde kullanılır. Malzeme kalınlığına göre plazma gaz hızı, akım şiddeti ve kaynak hızının ayarlanması ile plazma sütunundaki akış malzeme boyunca geçer ve malzemede bir delik oluşturur. Plazma sütunu kaynak dikişi yönünde ilerledikçe plazma akışı delik kenarındaki ergimiş malzemeyi kaynak yönünün tersine doğru ittirmeye başlar. Ergiyen malzeme plazma sütununun gerisinde soğuyarak katılaşır ve kaynak dikişini oluşturur. Kaynak banyosunun maksimum hacmi ve kökteki dikiş profili, büyük lde ergimiş kaynak metalinin yüzey gerilimi, plazma arkının akım şiddeti ve iyonize olmuş plazma gazının hızı tarafından kontrol edilir. şekil 2.23’de keyhole tekniğinin şeması ve dikiş görünümü verilmiştir.



şekil 2.23. Anahtar deliği tekniği ve dikiş kesit görünümü (Zhang ve Ma, 2001)

Anahtar deliği tekniğindeki akım şiddeti kesme değerlerinin hemen altında olan değerlerdir. Anahtar deliği tekniğinde en önemli parametre plazma gaz hızıdır ve genellikle 0.12 l/dak’ dan yüksek hızlar kullanılmaz. Anahtar deliği tekniği tam nüfuziyetli bir kaynaklı birleştirme sağlar. Anahtar deliği yatay pozisyonda (PA) ve 1.5 -10 mm kalınlığındaki malzemelerde uygulanan bir tekniktir (Şahin, 2008; Das, vd. 2018; Topal, 2019; Yüksel, 2019).

2.3.3.4. Plazma ark kaynak yönteminin temel bileşenleri

Manuel veya mekanize olarak kullanılabilen plazma ark kaynak yönteminin temel bileşenleri

- Akım üretici
- Kaynak kontrol ünitesi
- Plazma ve koruyucu gazlar
- Kaynak torcu(Torch)
- Torç soğutma ünitesi
- Kaynak ek teli

2.3.3.4.1. Plazma kaynağı akım üreteçleri

Plazma ark kaynağında kullanılan akım üreteçleri TIG kaynağı üreteçlerinde olduğu gibi düşey karakterli gerilim ve akım üreteçleridir. Bu akım üreteçleri 0.1 A’den 400 A’ e kadar güç verebilecek üreteçlerdir. Plazma ark kaynağında hem DC hem de AC akım kullanılmaktadır. Plazma ark kaynak üreteçlerinin boşa çalışma gerilimleri (65-80 V) yüksektir.

2.3.3.4.2. Kaynak kontrol üniteleri

Plazma kaynağında kullanılan plot ark, plazma gaz hızı, akım değeri, gerilim değeri, koruyucu gaz debisi ve kaynağın başlatılıp sonlandırılana kadar kaynak parametrelerini kontrol eden elektronik kontrol ünitesidir. Kontrol ünitesi plazma arkının kararlı bir şekilde sürdürülmesi için gerekli değişkenleri ayarlar.

2.3.3.4.3. Plazma ve koruyucu gazlar

Plazma ark kaynağında asal gazlar ve bunların karışımları kullanılır. Aktif gazlar kullanıldığında tungsten elektrodun eriyerek bitmesi gibi olaylar gerçekleşmektedir. Plazma ark kaynağında genellikle hem plazma gazı hem de koruyucu gaz olarak Argon (Ar) ve Helyum (He) asal gazları veya bunların karışımı kullanılmaktadır.

2.3.3.4.4. Plazma ark kaynağı torcu

Plazma kaynağında kullanılan torçlar diğer gazaltı kaynak torçlarına nazaran daha karmaşık torçlardır. Kaynak torçları hem elle kullanım için hem de mekanize kullanım için farklı şekillerde üretilmektedir. Torç içerisinde tungsten elektrod tam merkezde ve nozul ile elektrod arasındaki radyal boşluk hassas bir şekilde ayarlanmıştır. Torç merkezindeki elektrodun çevresinden plazma gazının geçerek çıktığı bir meme ve memeyi çevreleyen koruyucu gazın akışını sağlayan nozuldandır.

2.3.3.4.5. Plazma ark kaynağı ve ergimeyen elektrodlar

Plazma ark kaynağı tekniğinde kullanılan elektrodlar TIG kaynak yöntemindeki ergimeyen elektrodların özelliklerine sahiptir. Plazma ark kaynağı elektrodları saf tungsten, toryum ve zirkonyum ile alaşımlandırılarak üretilirler. Bu elektrodlar EN 26848 ve AWS A5.12 standartlarına göre sınıflandırılmışlardır. TIG kaynağı elektrodlarına göre boyları daha uzun şekilde üretilirler.

2.3.3.4.6. Plazma ark kaynağı ek telleri

Plazma ark kaynağında kullanılan teller aynen TIG kaynak yönteminde kullanılan ek tellerin özelliklerine sahiptir. Elle yapılan plazma ark tekniği için çubuk şeklinde üretilirler. Mekanize olarak kullanımlar için makaraya sarılı tel halinde üretilirler. Kaynak tellerinin seçimi kaynatılacak olan malzemeye göre yapılır (Şahin, 2008; Topal, 2019; Yüksel, 2019).

2.3.3.4.7. Plazma ark kaynak tekniğinin avantajları

- Yüksek ark stabilitesi sayesinde dengeli bir ısı girdisi sağlar.
- Kaynak bölgesinde dar alanda ergime meydana getirir.
- Lazer kaynağına kıyasla daha yüksek toleransa sahiptir.
- Torç yüksekliğinden bağımsız olarak dar ve düzgün bir ark oluşturur.
- Isı girdisi az olduğu için malzemede çarpılmalar daha azdır.
- Dikiş genişliği dardır.
- Kaynak hataları daha azdır.
- Ek kaynak metaline daha az ihtiyaç duyar.
- Ark güvenli bir şekilde başlatılır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Metodolojisi

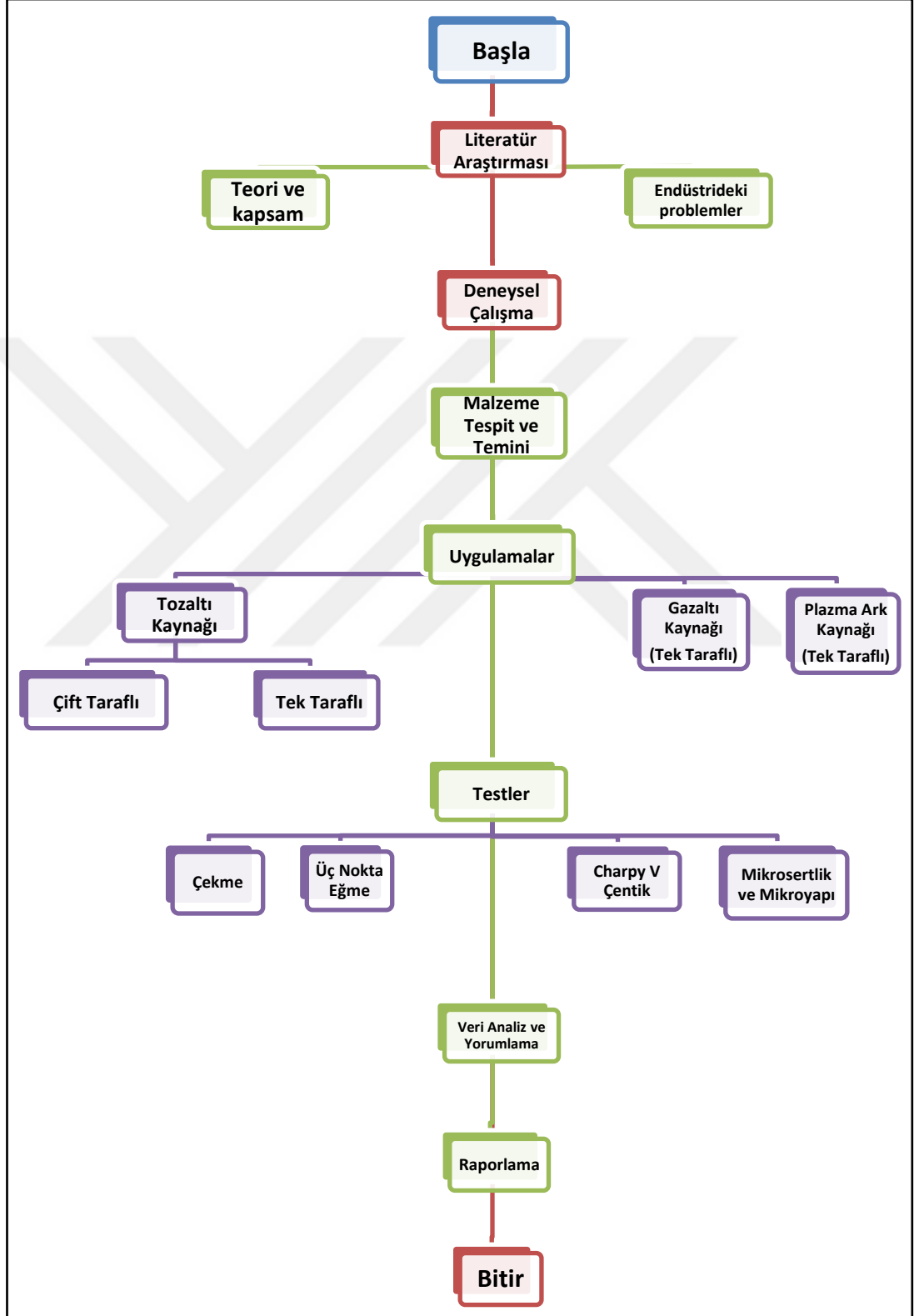
Tez çalışmamızında kullanmış olduğumuz araştırma metodolojisi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma metodolojisi

3.2. İş Akış Diyagramı

Çalışmamızın iş akışı Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. İş akış diyagramı

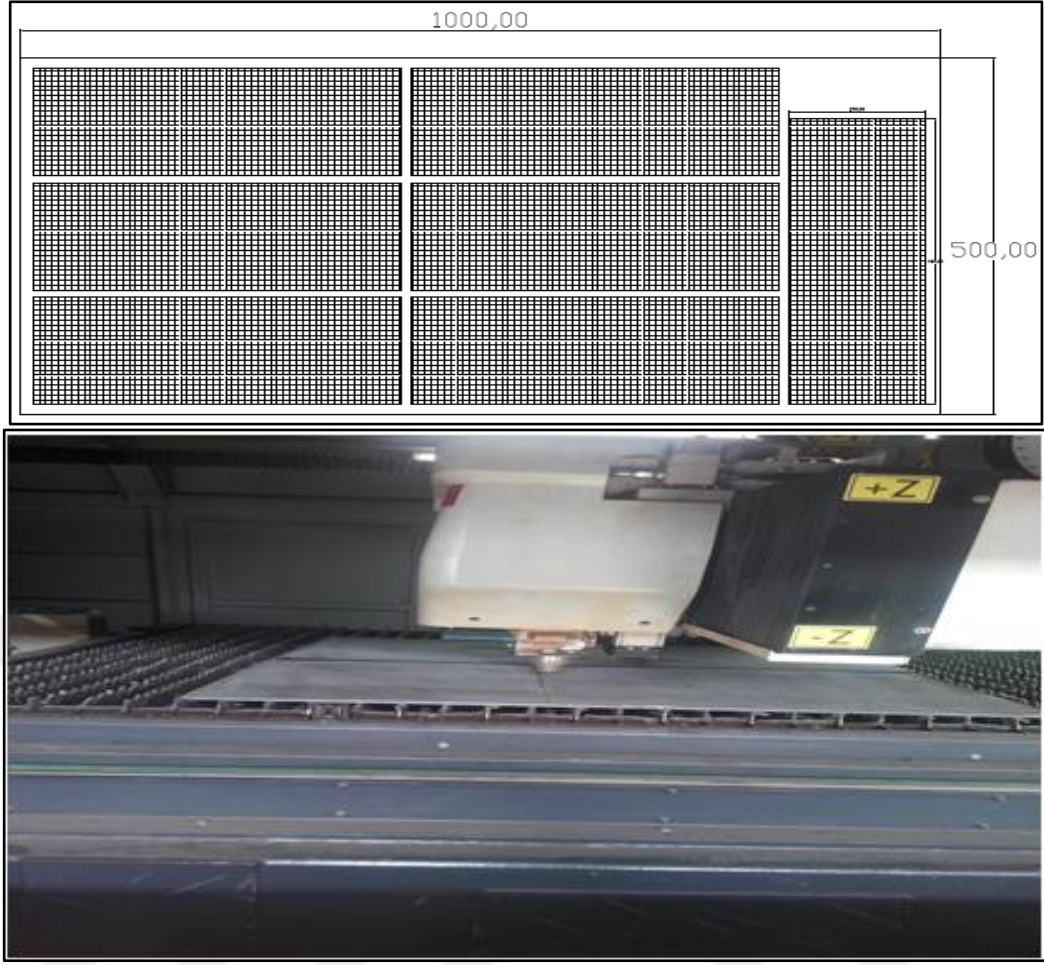
3.3. Materyal

Bu çalışmanın deneysel kısmında malzeme olarak gemi inşa sanayisinde yaygın olarak kullanılan Grade A (ASTM A131) çeliği kullanılmıştır. Grade A çeliğinin mekanik ve metalürjik özellikleri Çizelge 3.1’ de gösterilmiştir. Grade A gemi sacı maliyet açısından ekonomik malzeme olduğu için gemi inşasında yaygın olarak geçmişten günümüze kullanılmaktadır. Aynı zamanda yaptığımız saha araştırmalarında Grade A sacının özellikle ince (kalınlık ≤ 8 mm) et kalınlığındaki birleştirmelerinde kaynak hatalarının ve kaynak ısı girdisinden dolayı malzemede çarpılma ve distorsiyon hatalarının fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle deneysel çalışma için 8 mm kalınlığındaki Grade A çeliği seçilmiştir.

Çizelge 3.1. Grade A çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Özellikler		Değer (Ağırlık)	
Karbon (C)		% 0.16	
Manganez (Mn)		% 0.55	
Fosfor (P)		% 0.012	
Kükürt (S)		% 0.012	
Silisyum(Si)		% 0.18	
Mekanik Özellikler		Değer	
Çekme Mukavemeti (+20°C)		440-500 MPa	
Akma Mukavemeti (+20°C)		300-350 MPa	
Uzama (+20°C)		% 25-33	
Darbe Enerjisi	+20°C	27 J	
	0°C	27 J	
	-20°C	27 J	

Deney numuneleri tersane ortamında 8x2000x8000 mm boyutlarından 8x500x1000 mm boyutlarına plazma kesim yöntemi kullanılarak kesilmiştir. Ayrıca tersane ortamında yapılan çift taraflı tozaltı kaynak uygulaması için 8x150x400 mm boyutlarında plazma kesim tekniği ile kesilmiştir. Tek taraflı tozaltı, gazaltı ve plazma kaynak teknikleri için kullanılacak numuneler 8x500x1000 mm boyutundan 8x150x400 mm (Şekil 3.3) boyutlarına lazer kesim tekniği ile kesilerek oluşturulmuştur.



Şekil 3.3. Lazer ile numune kesim aşaması

3.4. Yöntem

Bu deneysel çalışmada üç farklı kaynak tekniği kullanılmıştır. Kullanılan kaynak teknikleri;

- Gazaltı (MIG) kaynak tekniği
- Tozaltı kaynak tekniği
- Plazma ark kaynak tekniği

Üç farklı kaynak tekniğinin uygulamasında kaynak akımı parametresinde değişiklikler yapılmıştır. Her kaynak tekniğinde en az üç numune üzerinde çalışılmıştır. Sadece tozaltı kaynak tekniğinde altı numune kaynatılmıştır. Tozaltı numunelerinin üç adedi tersane ortamında işletme şartlarında çift taraflı kaynatılmış diğer üç numune ise atölye şartlarında tek taraflı kaynatılmıştır. Kaynak işleminden önce numunelere gerekli temizleme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kaynak öncesi hazırlanan numuneler

8x150x400mm boyutlarındaki plakaların kaynak bölgesi temizlenmiş ve yatay pozisyonda gerekli sabitlemeler yapılarak herhangi bir altlık kullanılmadan 1G pozisyonunda kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.4.1. Tozaltı kaynak tekniği ve uygulama parametreleri

3.4.1.1. Tozaltı kaynağı çift taraflı

Tozaltı kaynak tekniği Cemre Tersanesi'nde çalışma ortamında ESAB LAF 1000 DC marka ve model kaynak makinası ile Çizelge 3.2'de belirtilen parametrelerde kaynatılmıştır. Kaynak işleminde herhangi bir altlık kullanılmamıştır. Uygulamada GeKa ELİFLUX BFB (TS EN ISO 14174) marka ve model tozaltı kaynak tozu kullanılmıştır. Kaynak ek teli olarak 2.4 mm çapında GeKa S2 TS EN ISO 14171-A Marka ve model kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak işleminde kaynak başlangıç hatalarından kurtulmak için kaynatılacak numunelerin kaynak uçlarına aynı kalınlıkta kulaklar puntalanmıştır.

Çizelge 3.2. Tozaltı (çift taraf) kaynağı parametreleri

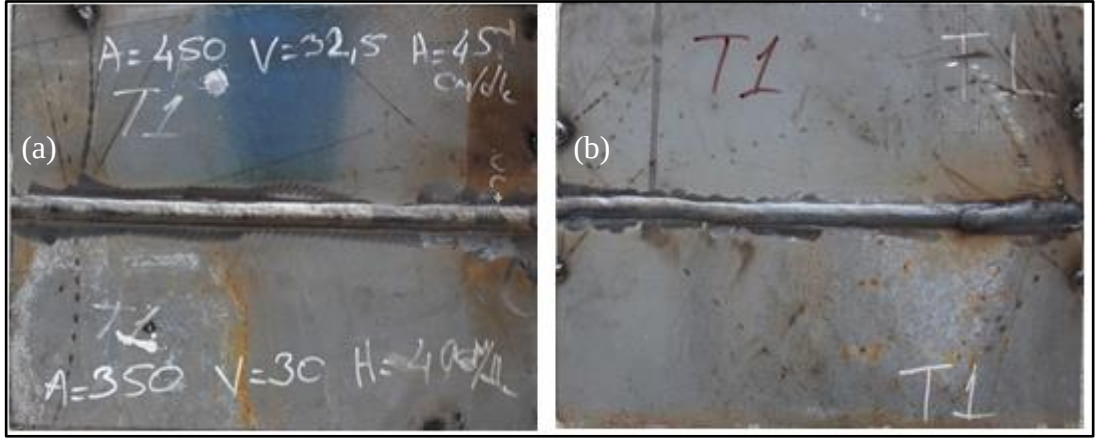
Tersane Ortamında Yapılan Kaynak Parametreleri			
Paramatereler	Değeri		
Yöntem	Tozaltı Kaynağı		
Kaynak Makinesi Marka Model	ESAB LAF 1000 DC		
İmalat Türü	Mekanize Kaynak		
Ana Malzeme	A - GRADE GEMİ İNŞAA SACI		
Kaynak Akım Türü	DC		
Kutuplama (-/+)	Parça (-) Torch (+)		
Koruyucu Toz (Marka/ Model)	GeKa ELİFLUX BFB (TS EN ISO 14174)		
Koruyucu Toz Kimyasal Bileşim	C: 0.07 / Mn: 1.5 / Si: 0.35		
Kaynak Pozisyonu	PA - Çift Taraflı		
Dikiş Türü	Alın Dikiş (I - Dikiş)		
Ek Tel / Dolgu Metali (Marka/Model)	GeKa S2 TS EN ISO 14171-A		
Ek Tel / Dolgu Metali (Çap, mm)	2.4		
Ek Tel Kimyasal Bileşim	C: 0.12 / Mn: 1.0 / Si: 0.10 / Cu: <0.30 / Bakır kaplı		
Kaynak Aralığı (mm)	YOK		
	1. Uygulama	2. Uygulama	3. Uygulama
Çalışma Gerilimi(V) Ön /Arka	30 / 32.5	30 / 32.5	30 / 32.5
Kaynak Akımı (A)	350 / 450	320 / 420	370 / 470
Tel Sürme Hızı (cm/dak)	Otomatik	Otomatik	Otomatik
Kaynak Hızı (cm/dak)	40 / 45	38 / 43	40 / 45

Kaynak işleminde çift taraflı kök aralığı verilmeden ve kaynak ağzı açılmadan yatay pozisyonda (PA/1G) alın kaynağı yapılmıştır (Şekil 3.5).

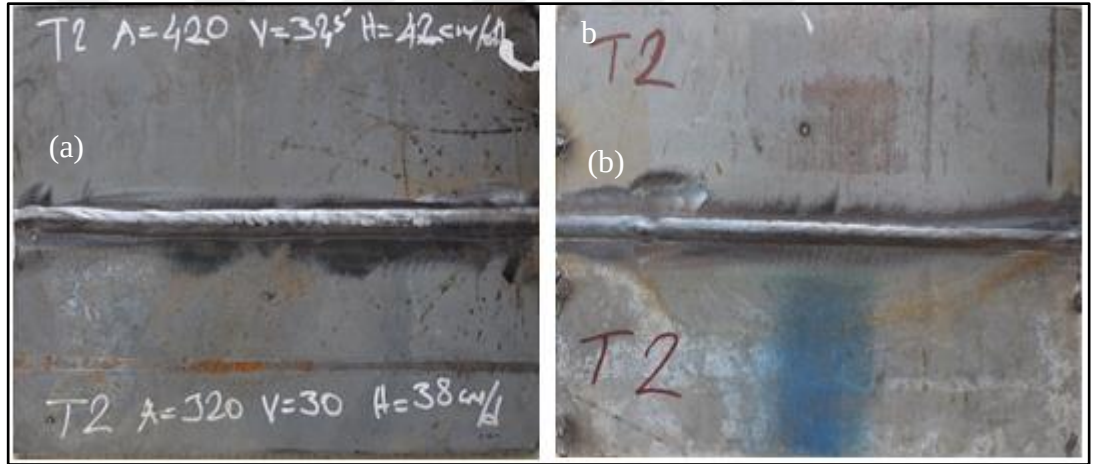


Şekil 3.5. Tozaltı (çift taraf) kaynağı

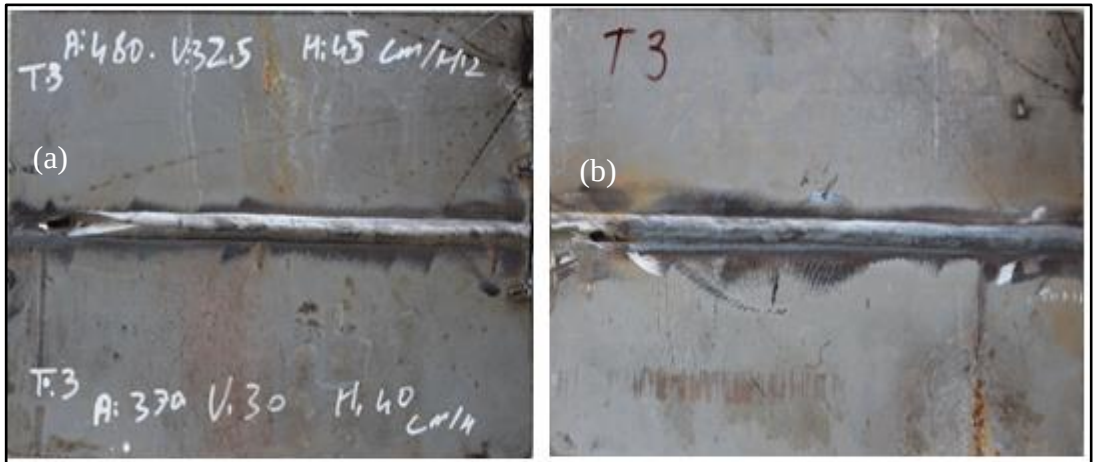
Çift taraflı tozaltı kaynak uygulaması tersane ortamında yapılmış ve kaynaklı birleştirme sonrası görseller Şekil 3.6 ile Şekil 3.8 arasında verilmiştir.



Şekil 3.6. Tozaltı (çift taraf) kaynağı 1. numune (a) ön ve (b) arka yüzü



Şekil 3.7. Tozaltı (çift taraf) kaynağı 2. numune (a) ön ve (b) arka yüzü



Şekil 3.8. Tozaltı (çift taraf) kaynağı 3. numune (a) ön ve (b) arka yüzü

3.4.1.2. Tozaltı kaynağı tek taraflı

Atölye ortamında yapılan tozaltı kaynak uygulaması İstanbul Tuzla İTOSB Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Metal İşleri atölyesinde yapılmıştır. GeKaMac PoWer SAW 1000 marka/model kaynak makinası kullanılmıştır (Şekil 3.9).



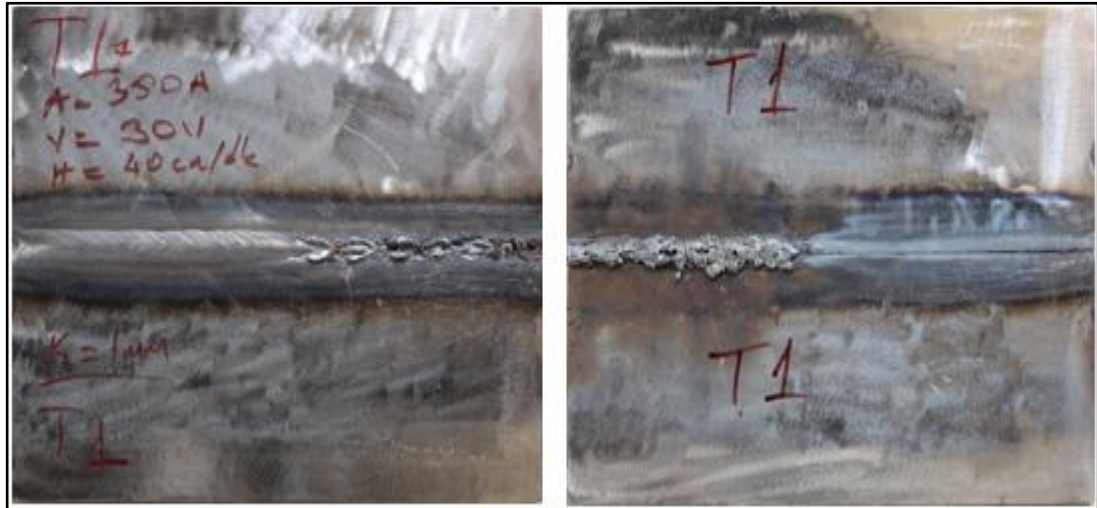
Şekil 3.9. Tozaltı (tek taraf) kaynağı toz altlıklı

Burada yapılan kaynak uygulamasın da sabit akım ve gerilim değerinde üç farklı kaynak aralığında yapılmıştır. Kaynak işleminden önce gerekli temizlik işlemleri detaylı olarak yapılmıştır. Kaynak başlangıç hatalarından kurtulmak için numunenin kenarlarına kulaklar kaynatılmıştır. Kaynak aralığı verildiği için kaynak işleminde kullanılan GeKa ELİFLUX BFB (TS EN ISO 14174) kaynak tozundan altlık oluşturulmuştur. Kaynak öncesinde gerekli sabitlemeler yapılmıştır. Kaynak işleminde 2.4 mm çapında ve GeKa S2 TS EN ISO 14171-A marka/model kaynak ek teli kullanılmıştır. Kaynak aralığı olarak 1 mm, 2.4 mm ve 4 mm aralık kullanılmıştır. Kaynak işleminde 30 V kaynak gerilimi, 350 A kaynak akımı ve 40 cm/dak ilerleme hızı verilmiştir. Kaynak parametrelerinin detayları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

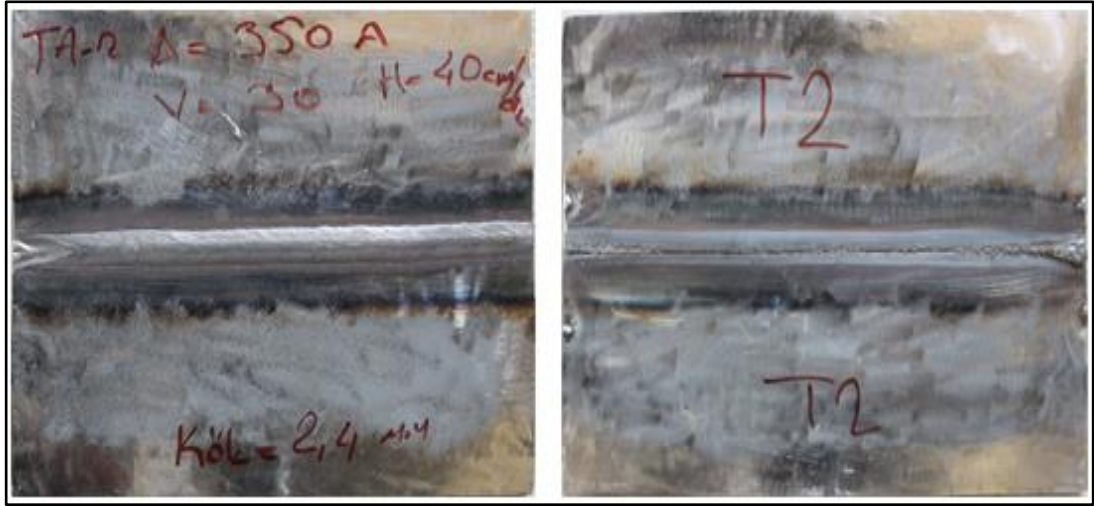
Çizelge 3.3. Tozaltı (tek taraf) kaynağı parametreleri

Atölye Ortamında Yapılan Kaynak Parametreleri			
Parametreler	Değeri		
Yöntem	Tozaltı Kaynağı		
Kaynak Makinesi Marka Model	GeKaMac PoWer SAW 1000		
İmalat Türü	Mekanize Kaynak		
Ana Malzeme	A - GRADE GEMİ İNŞAA SACI		
Kaynak Akım Türü	DC		
Kutuplama (-/+)	Parça (-) Torch (+)		
Koruyucu Toz (Marka/ Model)	GeKa ELİFLUX BFB (TS EN ISO 14174)		
Koruyucu Toz Kimyasal Bileşim	C: 0.07 / Mn: 1.5 / Si: 0.35		
Kaynak Pozisyonu	PA - Tek Taraflı Tek Paso		
Dikiş Türü	Alın Dikiş (I - Dikiş)		
Ek Tel / Dolgu Metali (Marka/Model)	GeKa S2 TS EN ISO 14171-A		
Ek Tel / Dolgu Metali (Çap, mm)	2.4		
Ek Tel Kimyasal Bileşim	C: 0.12 / Mn: 1.0 / Si: 0.10 / Cu: <0.30 / Bakır kaplı		
	1. Uygulama	2. Uygulama	3. Uygulama
Kaynak Aralığı (mm)	1	2.4	4
Çalışma Gerilimi (V) Ön /Arka	30	30	30
Kaynak Akımı (A)	350	350	350
Tel Sürme Hızı (mm/dak)	Otomatik	Otomatik	Otomatik
Kaynak Hızı (cm/dak)	40	40	40

Uygulama sonrası elde edilen kaynaklı birleştirmelerin görselleri Şekil 3.10 ile Şekil 3.12 arasında gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Tozaltı (tek taraf) kaynağı 1. Numune ön ve arka yüzü



Şekil 3.11. Tozaltı (tek taraf) kayağı 2. Numune ön ve arka yüzü

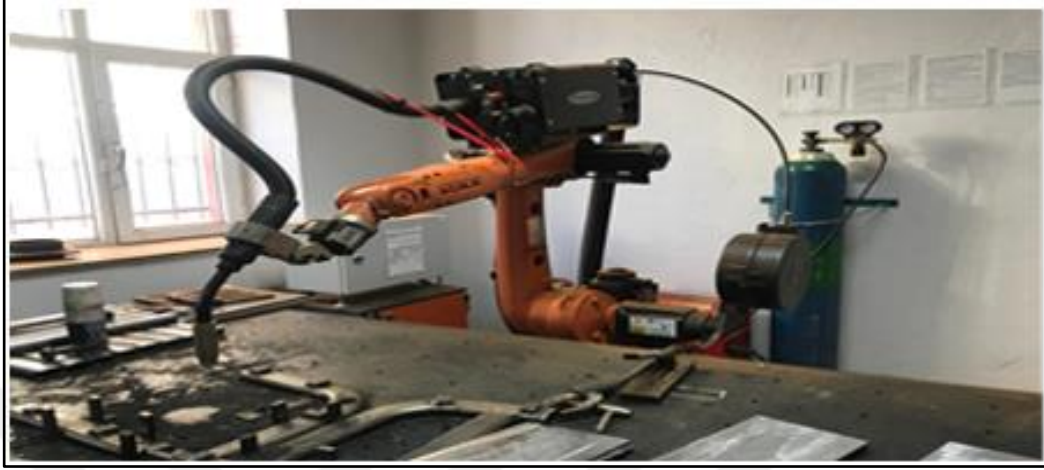


Şekil 3.12. Tozaltı (tek taraf) kayağı 3. Numune ön ve arka yüzü

3.4.2. Gazaltı kaynağı

Gazaltı kaynak tekniği kaynak uygulaması İzmit Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Metal Teknolojisi alanında Robotik Kaynak atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminde Fronius TransPulse Synergic 3200 marka/model kaynak makinası ile KUKA KR 10 R1420 marka/model robot kolu kullanılmıştır. Bu yöntemde de kaynak öncesi gerekli temizlik işlemleri yapılmış ve malzeme sabitlenmiştir. Kaynak işleminde üç farklı akım değeri 241 A, 280 A ve 299 A kullanılmıştır. Kaynak ilerleme hızı olarak 28.8 cm/dak. İlerleme hızı kullanılmıştır. Kaynak kök aralığı olarak 1 mm'lik aralık bırakılmıştır. Kaynak tekniğinde daha az ısı girdisi sağlaması açısından sinerjik kaynak makinası ve sprej iletim kullanılmıştır.

Koruyucu gaz olarak Linde firmasının ürettiği Corgon 20S2 => Ar + %20 CO₂, %2 O₂ karışım gaz kullanılmıştır. Şekil 3.13’de robotik kaynak kolunun görünümü verilmiştir.



Şekil 3.13. Gazaltı kaynağı (Robotik/Sinerjik)

Gaz debisi 12 l/dak olarak seçilmiştir. Kaynak ek teli olarak Askaynak SG2 (TS EN ISO 14341-A / G42 3CM G3Si1) marka/model kullanılmıştır. Bu kaynak tekniği ile ilgili detaylı parametreler Çizelge 3.4’ te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Gazaltı kaynak tekniğikaynak parametreleri

Gazaltı Kaynak Tekniği Uygulanan Kaynak Parametreleri			
Paramatereler Adı	Değeri		
Yöntem	Gazaltı Kaynağı (MIG)		
Kaynak Makinesi Marka Model	Fronius TransPulse Synergic 3200		
Robot Kaynak Kolu Marka/Model	KUKA KR 10 R1420		
İmalat Türü	Robotik Kaynak		
Ana Malzeme	A - GRADE GEMİ İNŞAA SACI		
Kaynak Akım Türü	DC		
Kutuplama (-/+)	Parça (-) Torch (+)		
Koruyucu Gaz	Corgon 20S2 => %20 CO ₂ , %2 O ₂		
Kaynak Pozisyonu	PA		
Dikiş Türü	Alın Dikiş (I - Dikiş)		
Ek Tel / Dolgu Metali (Marka/Model)	SG2 (TS EN ISO 14341-A / G42 3CM G3Si1)		
Ek Tel Kimyasal Bileşim	C: 0.08 / Mn: 1.5 / Si: 0.85 / Bakır kaplı		
Ek Tel / Dolgu Metali (Çap, mm)	1		
Kaynak Aralığı (mm)	1		
	1. Uygulama	2. Uygulama	3. Uygulama
Çalışma Gerilimi (V)	23.3	20.7	24
Kaynak Akımı (A)	280	241	299
Tel Sürme Hızı (cm/dak)	16.6	13.1	18.2
Kaynak Hızı (cm/dak)	28.8	28.8	28.8
Koruyucu Gaz Hızı (l/dak)	12	12	12

Gazaltı kaynak tekniği uygulaması sonrası numunelerin görselleri Şekil 3.14 ile Şekil 3.16 arasında verilmiştir.



Şekil 3.14. Gazaltı kaynağı 1. Numune ön ve arka yüzü



Şekil 3.15. Gazaltı kaynağı 2. Numune ön ve arka yüzü



Şekil 3.16. Gazaltı kaynağı 3. Numune ön ve arka yüzü

3.4.3. Plazma Ark kaynağı

Plazma ark kaynak uygulaması ÇEMSAN Endüstriyel Proses ve Otomasyon San. Tic. AŞ.'nin atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminde NERMATİC 450 marka kaynak makinası ve SAF FRO SEAM MATIC IT 62 marka/model kaynak platformu kullanılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Plazma ark kaynak platformu ve makinesi

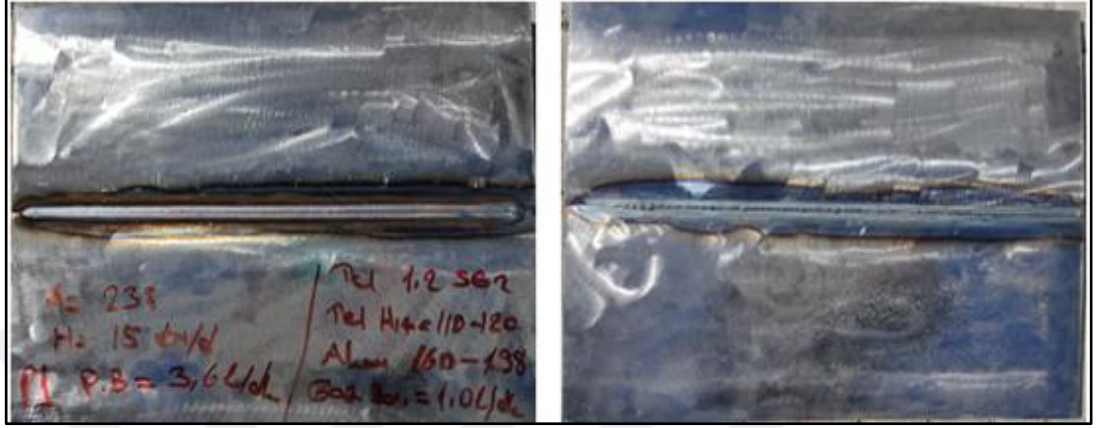
Kaynak işleminden önce parçalar temizlenmiş ve kaynağa hazır hale getirilmiştir. Parçalar kaynak platformunun bakır altlığı üzerine yerleştirilerek platformun mengeneleri ile sabitlenmiştir. Platform üzerinde kök koruması için gaz hattı bulunmaktadır. Kaynak işleminde plazma gazı için ARGOHID 5 (Ar + %5 H₂) karışım gazı kullanılmıştır. Hem kök hem de dikiş koruyucu gazı olarak Saf Argon (Ar) gazı kullanılmıştır. Kaynak torcu (Torch) meme çapı 3 mm'dir. Torç içerisindeki tungsten elektrod çapı: 4 mm ve 45° dar ağızlı olarak bilenmiştir. Kaynak işlemi üç paso olarak yapılmıştır. Kaynak parametreleri hakkında detaylı bilgi Çizelge 3.5' de verilmiştir. Birinci pasoda; Anahtar Deliği (Keyhole) tekniği kullanılarak parçalar ek telsiz olarak birleştirilmiştir. Kaynak akımı 238 Amper, kök ve dikiş koruyucu gaz debisi 20 lt/dak. ve kaynak ilerleme hızı 15 cm/dak olarak belirlenmiştir. Bu teknikte üç numune üzerinde sadece plazma gaz debisi değiştirilerek işlem yapılmıştır. Diğer parametreler sabit tutulmuştur. Plazma gaz debisi; P1 3.6 lt/dak, P2 3.9 l/dak ve P3 3.3 l/dak olarak seçilmiştir. İkinci pasoda; 1.2 mm çaplı Askaynak SG2 (TS EN ISO 14341-A / G42 3CMG3Si1) marka/model ek tel kullanılmıştır. Bu pasoda 160 – 198 amper darbeli (Pulsed) akım kullanılmış akım frekansı 5 Hz, kaynak hızı 15 cm/dak, tel sürme hızı 110 – 120 cm/dak ve plazma gaz debisi 1 l/dak olarak belirlenmiştir. Bu pasoda tek taraflı olarak birinci pasoda

telsiz birleştirme dikişinin üzerine telli dikiş atılmıştır. Plazma ark kaynak uygulamasında kullanılan diğer parametreler Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Plazma Ark kaynak tekniği kaynak parametreleri

Plazma Ark Kaynak Tekniği Uygulanan Kaynak Parametreleri			
Parametreler	Değer		
Yöntem	Plazma Ark Kaynağı		
Kaynak Makinesi Marka Model	NERMATIC 450		
Kaynak Platformu Marka/Model	SAF FRO SEAM-MATIC IT 62		
İmalat Türü	Tam Mekanize Plazma Ark Kaynağı		
Ana Malzeme	A - GRADE GEMİ İNŞA SACI		
Kaynak Akım Türü	DC		
Kutuplama (-/+)	Parça (-) Torch (+)		
Elektrod Türü / Çapı	Tungsten Elektrod / Ø4 mm		
Elektrod Uç Açısı	45° Dar Ağız		
Torç Meme Çapı (mm)	Ø3		
Torç Yüksekliği (mm)	10 - 20		
Plazma Gazı	ARGOHID 5 (% 95Ar + %5 H ₂)		
Koruyucu Gaz	Saf Argon (%99,995 Ar)		
Kaynak Pozisyonu	PA		
Kaynak Sırası	1. Paso: KeyHole(Telsiz) 2. Paso: Telli Dikiş 3. Paso: Telsiz Düzeltme		
Dikiş Türü	Alın Dikiş (I - Dikiş)		
Ek Tel / Dolgu Metali (Marka/Model)	SG2 (TS EN ISO 14341-A / G42 3CM G3Si1)		
Ek Tel Kimyasal Bileşim	C: 0.08 / Mn: 1.5 / Si: 0.85 / Bakır kaplı		
Ek Tel / Dolgu Metali (Çap, mm)	Ø1.2mm		
Kaynak Altlığı	Bakır Altlık		
Kaynak Aralığı (mm)	Yok		
	1. Uygulama	2. Uygulama	3. Uygulama
1. Paso (Keyhole) için Parametreler:			
Çalışma Gerilimi (V)	28-32	28-32	28-32
Kaynak Akımı (A)	238	238	238
Ek Tel	Yok	Yok	Yok
Kaynak Hızı (cm/dak)	15	15	15
Plazma Gaz Debisi (l/dak)	3.6	3.9	3.3
Kök Koruyucu Gaz Debisi (l/dak)	20	20	20
Koruyucu Gaz Debisi (l/dak)	20	20	20
2. Paso (Ek Telli) için Parametreler:			
	1. Uygulama	2. Uygulama	3. Uygulama
Çalışma Gerilimi (V)	28-32	28-32	28-32
Kaynak Akımı (A) (Pulsed)	160 / 198	160 / 198	160 / 198
Pulse Frekans (Hz)	5	5	5
Ek Tel	SG2 / Ø1.2 mm	SG2 / Ø1.2 mm	SG2 / Ø1.2 mm
Kaynak Hızı (cm/dak)	15	15	15
Plazma Gaz Debisi (l/dak)	1.0	1.0	1.0
Kök Koruyucu Gaz Debisi (l/dak)	0	0	0
Koruyucu Gaz Debisi (l/dak)	20	20	20
3. Paso (Telsiz) için Parametreler:			
	1. Uygulama	2. Uygulama	3. Uygulama
Çalışma Gerilimi (V)	28-32	28-32	28-32
Kaynak Akımı (A) (Pulsed)	160 / 198	160 / 198	160 / 198
Pulse Frekans (Hz)	5	5	5
Ek Tel	Yok	Yok	Yok
Kaynak Hızı (cm/dak)	15	15	15
Plazma Gaz Debisi (l/dak)	1.0	1.0	1.0
Kök Koruyucu Gaz Debisi (l/dak)	0	0	0
Koruyucu Gaz Debisi (l/dak)	20	20	20

Üçüncü pasoda; ek tel kullanılmadan dikiş formunu düzeltmek ve dikişi homojen olarak yaymak için 160 – 198 amper darbeli (Pulsed) akım, 15 cm/dak kaynak hızı ve 1 l/dak plazma gaz debisi kullanılarak düzeltme işlemi yapılmıştır. Kaynak işlemi sonrası numunelerin görselleri Şekil 3.18 ile Şekil 3.20 arasında verilmiştir.



Şekil 3.18. Plazma Ark kaynağı 1. numune ön ve arka yüzü



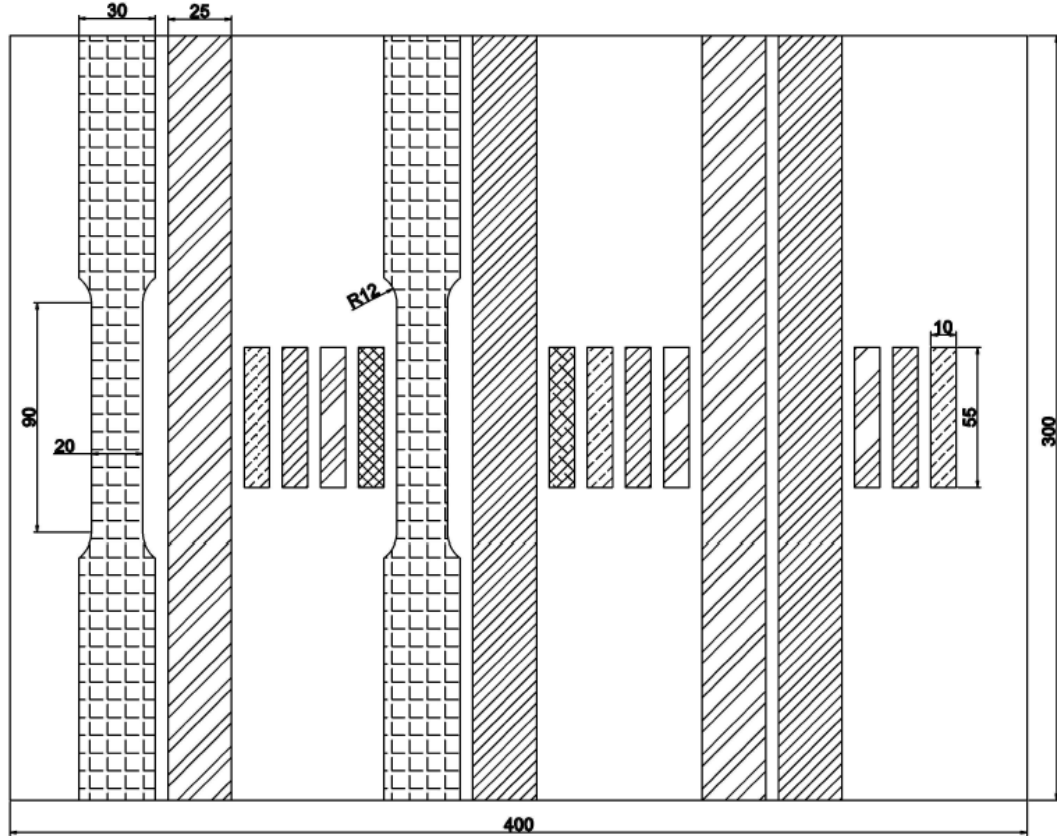
Şekil 3.19. Plazma Ark kaynağı 2. numune ön ve arka yüzü



Şekil 3.20. Plazma Ark kaynağı 3. numune ön ve arka yüzü

3.5. Tahribatlı Muayene İçin Deney Numunelerinin Hazırlanması

8x150x400 mm boyutlarındaki numuneler; tozaltı kaynak tekniği için 6 adet, gazaltı kaynak tekniği için 3 adet ve plazma ark kaynak tekniği için 3 adet olmak üzere toplam 12 adet numune kaynaklı olarak birleştirilmiştir. Deney numunelerinin planlama çizimleri Şekil 3.21’de verilmiştir.



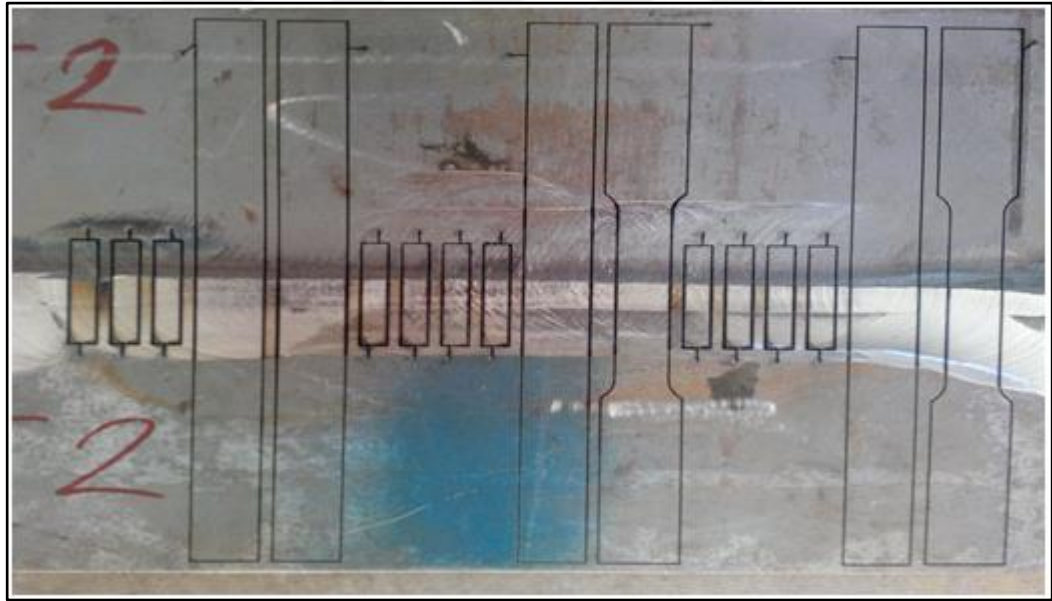
Şekil 3.21. Tahribatlı muayene için test numuneleri yerleşim planı

Her bir kaynaklı birleştirilmiş numune için 2 adet çekme numunesi (ISO 6892-1), 2 adet kök eğme numunesi (TS EN ISO 5173), 2 adet kep eğme numunesi (TS EN ISO 5173), 3 adet +20 °C Charpy V çentik numunesi (TS EN ISO 9016), 2 adet 0°C Charpy V çentik numunesi (TS EN ISO 9016), 2 adet -20°C Charpy V çentik numunesi (TS EN ISO 9016), 1 adet mikroyapı numunesi ve 1 adet mikro sertlik numunesi çıkarılmıştır. Charpy V çentik numunelerinin tamamı kaynak metalinden çıkarılmıştır. Şekil 3.21’de numunelerin planlama çizimi gösterilmiştir. Numunelerin kaynak dikiş yüzeyleri freze tezgahında talaş kaldırma yöntemi ile alınmış ve malzeme yüzeyi tesviye edilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Kaynak dikişlerinin freze tezgahında işlenmesi

Kaynak dikişleri freze tezgahında tesviye işleminden sonra mekanik testler için gerekli numuneler Şekil 3.21’ belirtilen ölçü ve sıralamada lazer kesim ünitesinde kesim işlemi yapılmıştır. Şekil 3.23’de lazer kesim yapılmış numuneler gösterilmiştir. Numunelerin hassas boyutlarda çıkarılması için lazer kesim yöntemi tercih edilmiştir.

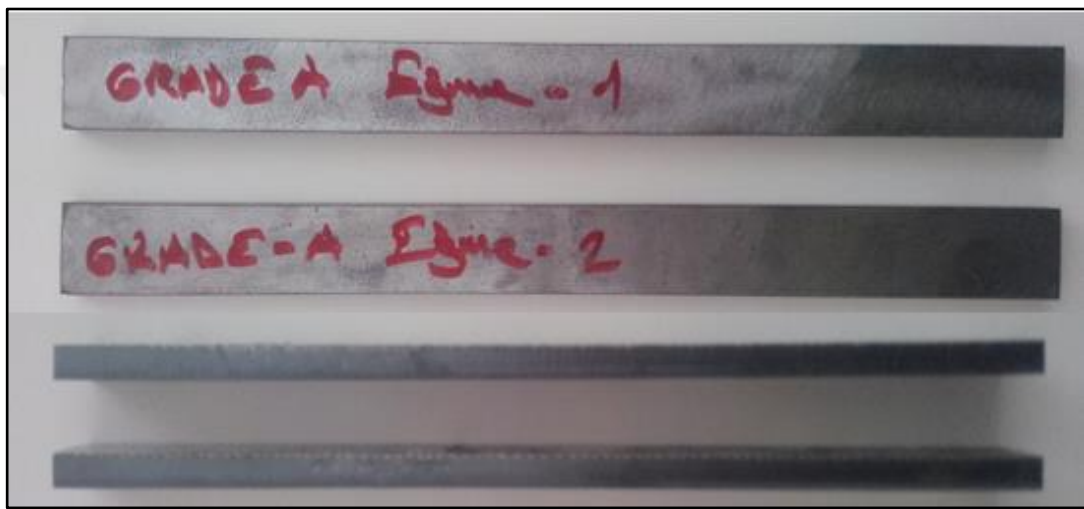


Şekil 3.23.Tahribatlı muayene numunelerinin lazer kesim sonrası

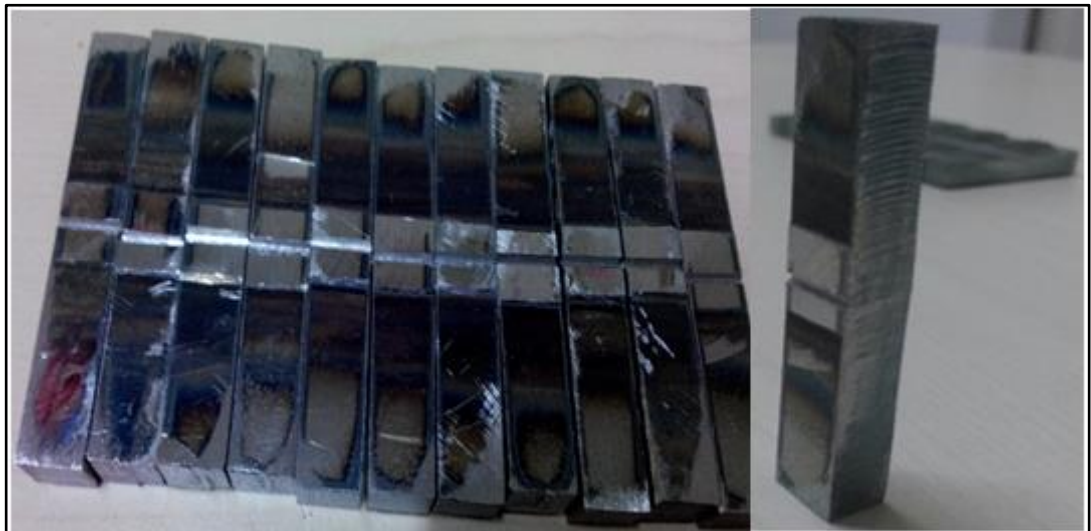
Lazer kesim işleminden sonra numuneler çıkarılmış ve numunelerinin kesim bölgeleri lazer kesim izleri gidermek ve yüzey hassasiyeti için 60, 100, 200 ve 1000 numara zımpara ile zımparalanmıştır. Yapılan işlem örneği Şekil 3.24’de gösterilmiştir. Hazırlanan numunelerin görselleri Şekil 3.24 ile Şekil 3.26 arasında gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Çekme numunesi



Şekil 3.25. Eğme Numunesi



Şekil 3.26. Darbe (Charpy V çentik) numunesi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bölüm 3.1’de özellikleri belirtilen Grade A (ASTM A131) gemi inşa çeliğinden 8 mm kalınlığındaki malzeme aynı bölümde belirtilen boyutlarda kaynak numuneleri hazırlanmış, Bölüm 3.2’de yöntem kısmında belirtilen kaynak yöntemleri ile uygulama parametreleri doğrultusunda kaynaklı birleştirmeleri yapılmıştır. Kaynaklı birleştirilen numuneler malzemenin mekanik özelliklerini incelemek için tahribatlı muayene numuneleri standartlara uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlanan çekme, eğme, Charpy V çentik numunesi, mikro sertlik numunesi ve mikroyapı numuneleri üzerinde standartlara uygun olarak deneyler yapılmış ve elde edilen veriler bu bölümde çizelge ve grafikler ile gösterilmiştir.

4.1. Kaynak Yöntemlerinin Isı Girdi Hesabı

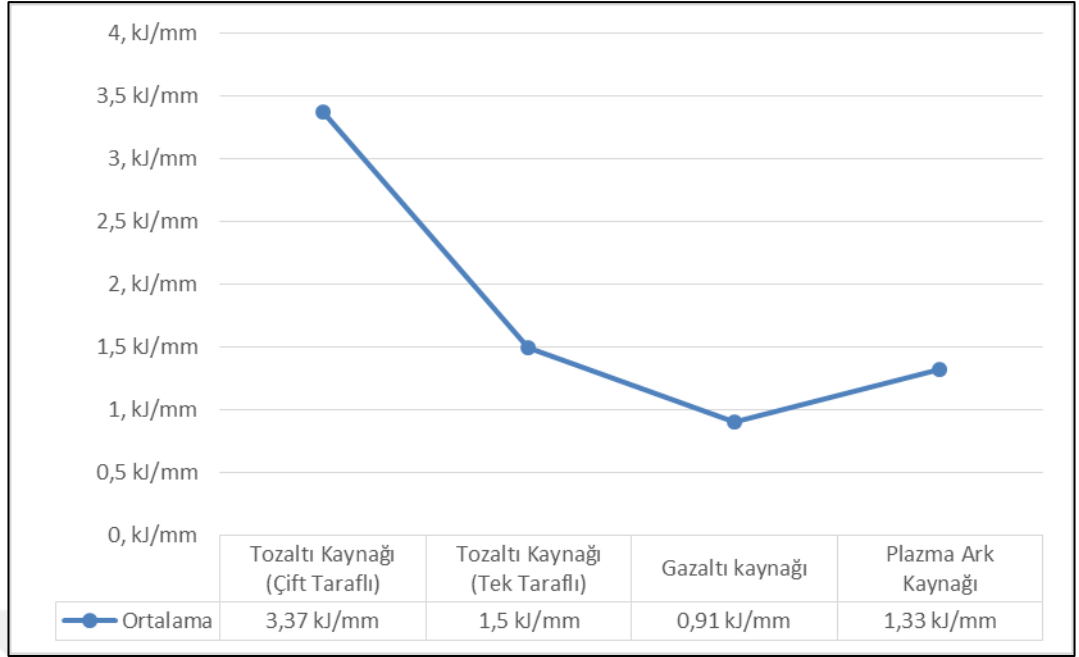
Kaynaklı birleştirmelerde kaynak bölgesine uygulanan ısı girdileri denklem 4.1’e göre hesaplanır.

$$Q_w = \frac{U \cdot I \cdot \eta \cdot 60}{V \cdot 1000} \quad (4.1)$$

Denklemde; Q_w : kaynak ısı girdisi (kJ), U : kaynak gerilimi (Volt), I : kaynak akımı (Amper), η : kaynak ark verimi (Tozaltı kaynağı 0.95 Gazaltı kaynağı 0.7, Plazma Ark kaynağı 0.5), V : kaynak hızı (mm/dak) ifade etmektedir (Cengiz, 2017). Yaptığımız kaynak uygulamalarının verilerine göre kaynak bölgesine uygulanan ısı girdileri Denklem 4.1’e göre hesaplanmış ve Çizelge 4.1 ile Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kaynak yöntemlerine göre ısı girdileri

Kaynak Tekniği	1. Uygulama	2. Uygulama	3. Uygulama	Ortalama
Tozaltı Kaynağı (ÇT)	3.35 kJ/mm	3.25 kJ/mm	3.52 kJ/mm	3.37 kJ/mm
Tozaltı Kaynağı (TT)	1.5 kJ/mm	1.5 kJ/mm	1.5 kJ/mm	1.5 kJ/mm
Gazaltı kaynağı	0.95 kJ/mm	0.73 kJ/mm	1.05 kJ/mm	0.91 kJ/mm
Plazma Ark Kaynağı	1.33 kJ/mm	1.33 kJ/mm	1.33 kJ/mm	1.33 kJ/mm



Şekil 4.1. Kaynak yöntemlerine göre ısı girdileri

4.2. Çekme Deneyi Bulguları

Çekme deneyi Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Merkezinde; 100 kN'luk MTS Landmark marka çekme cihazında +20 °C sıcaklıkta yapılmıştır (Şekil 4.2). Çekme hızı 1 mm/dak olarak alınmıştır.



Şekil 4.2. Çekme deneyi görseli

Tüm kaynak yöntemleri ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyi sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çekme deneyi sonuçları

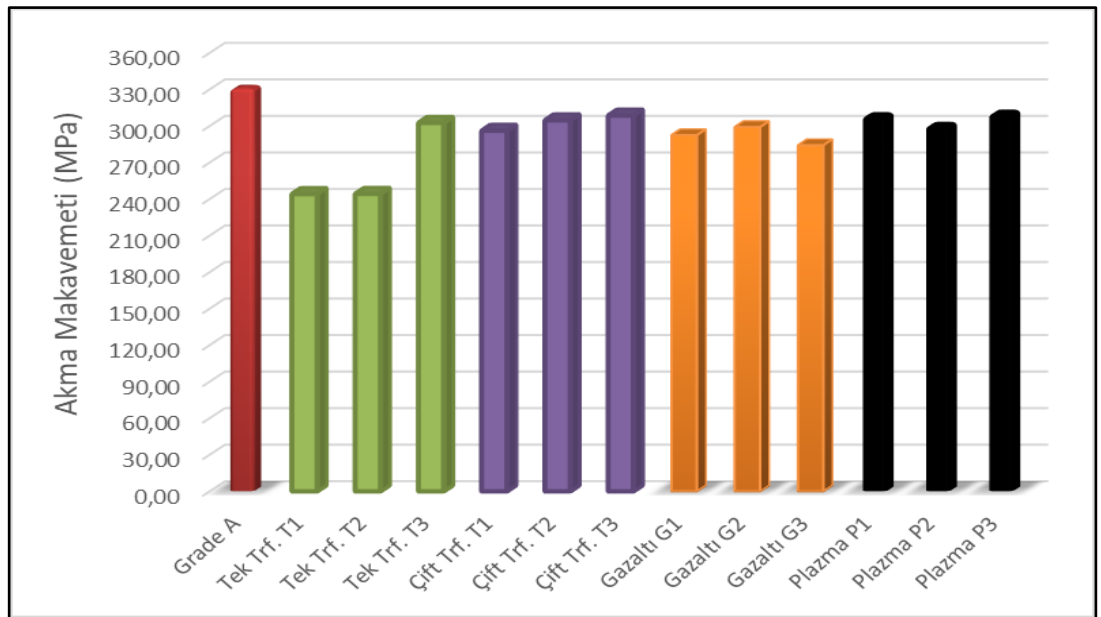
Sıra No	Kaynak Yöntemi	Numune Adı	Gerilim (V)	Akım (A)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Uzama Oranı %
1	Ana Malzeme	Grade A_1	----	----	335,96	473,20	413,25	31,20
2	Ana Malzeme	Grade A_2	----	----	325,72	458,60	363,90	29,60
3	Tozaltı	Tek Trf. T1_1	30	350 k.a=1 mm	254,31	305,60	152,82	3,50
4	Tozaltı	Tek Trf. T1_2	30	350 k.a=1 mm	233,85	248,20	124,06	3,00
5	Tozaltı	Tek Trf. T2_1	30	350 k.a=2,4 mm	257,50	359,00	324,56	5,20
6	Tozaltı	Tek Trf. T2_2	30	350 k.a=2,4 mm	230,94	294,10	146,48	2,70
7	Tozaltı	Tek Trf. T3_1	30	350 k.a=4 mm	291,74	451,70	343,85	24,40
8	Tozaltı	Tek Trf. T3_2	30	350 k.a=4 mm	313,34	458,40	374,22	24,60
9	Tozaltı	Çift Trf. T1_1	30 32,5	350 450	295,61	448,00	352,32	25,00
10	Tozaltı	Çift Trf. T1_2	30 32,5	350 450	296,52	459,00	328,19	27,00
11	Tozaltı	Çift Trf. T2_1	30 32,5	320 420	306,97	458,60	360,44	24,10
12	Tozaltı	Çift Trf. T2_2	30 32,5	320 420	302,31	427,00	380,43	11,00
13	Tozaltı	Çift Trf. T3_1	30 32,5	370 470	316,16	457,00	336,37	23,40
14	Tozaltı	Çift Trf. T3_2	30 32,5	370 470	300,87	452,80	339,19	21,60
15	Gazaltı	Gazaltı G1_1	28,80	280	280,58	416,90	312,97	15,60
16	Gazaltı	Gazaltı G1_2	28,80	280	304,32	461,10	360,23	20,90
17	Gazaltı	Gazaltı G2_1	28,80	241	291,55	359,20	178,98	5,30
18	Gazaltı	Gazaltı G2_2	28,80	241	306,68	396,90	353,71	8,10
19	Gazaltı	Gazaltı G3_1	28,80	299	264,78	311,10	155,06	3,30
20	Gazaltı	Gazaltı G3_2	28,80	299	303,59	403,10	318,30	9,20
21	Plazma Ark	Plazma P1_1	28-30	238 3,6 l/dak	315,94	470,50	357,60	23,90
22	Plazma Ark	Plazma P1_2	28-30	238 3,6 l/dak	300,99	465,90	352,77	24,70
23	Plazma Ark	Plazma P2_1	28-30	238 3,9 l/dak	296,79	440,30	341,28	24,20
24	Plazma Ark	Plazma P2_2	28-30	238 3,9 l/dak	304,19	454,30	366,61	25,50
25	Plazma Ark	Plazma P3_1	28-30	238 3,3 l/dak	321,47	473,80	374,85	26,60
26	Plazma Ark	Plazma P3_2	28-30	238 3,3 l/dak	299,55	468,80	366,48	24,10

Kaynaklı birleştirmelerin her bir kaynak yöntemine göre ortalama çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

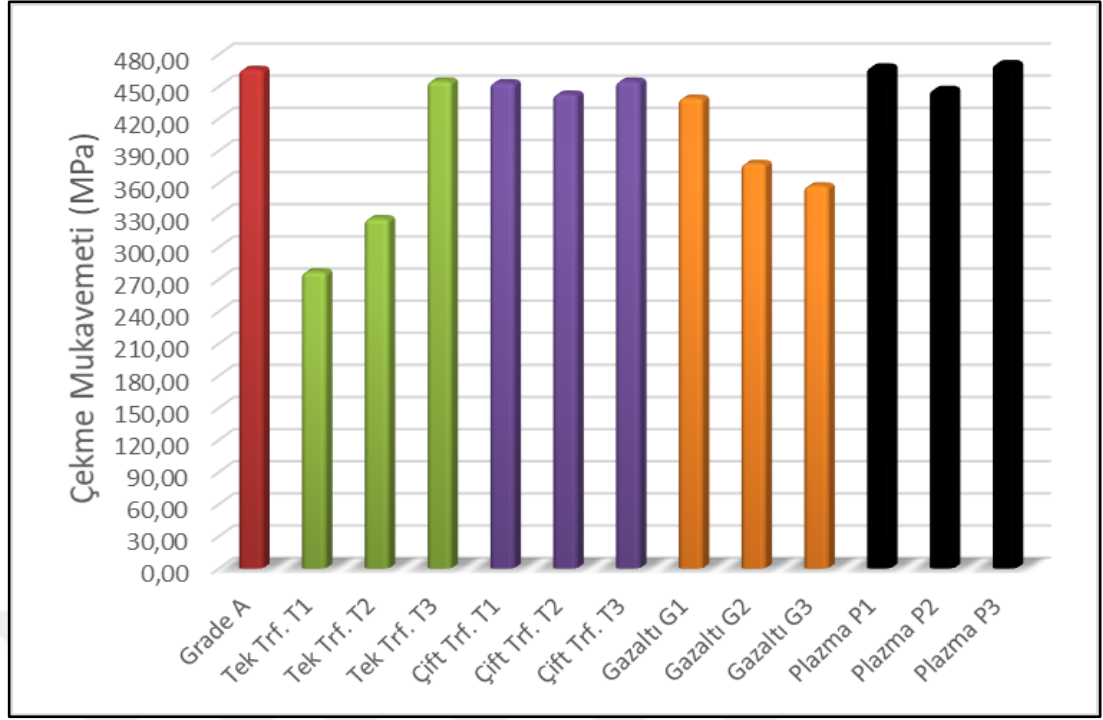
Çizelge 4.3. Kaynaklı birleştirme başına ortalama çekme deneyi sonuçları

Sıra No	Kaynak Yöntemi	Numune Adı	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Uzama Oranı %
1	Ana Malzeme	Grade A	330,84	465,90	388,58	30,40
2	Tozaltı	Tek Trf. T1	244,08	276,90	138,44	3,25
3	Tozaltı	Tek Trf. T2	244,22	326,55	235,52	3,95
4	Tozaltı	Tek Trf. T3	302,54	455,05	359,04	24,50
5	Tozaltı	Çift Trf. T1	296,06	453,50	340,25	26,00
6	Tozaltı	Çift Trf. T2	304,64	442,80	370,43	17,55
7	Tozaltı	Çift Trf. T3	308,51	454,90	337,78	22,50
8	Gazaltı	Gazaltı G1	292,45	439,00	336,60	18,25
9	Gazaltı	Gazaltı G2	299,12	378,05	266,34	6,70
10	Gazaltı	Gazaltı G3	284,18	357,10	236,68	6,25
11	Plazma Ark	Plazma P1	308,47	468,20	355,18	24,30
12	Plazma Ark	Plazma P2	300,49	447,30	353,94	24,85
13	Plazma Ark	Plazma P3	310,51	471,30	370,66	25,35

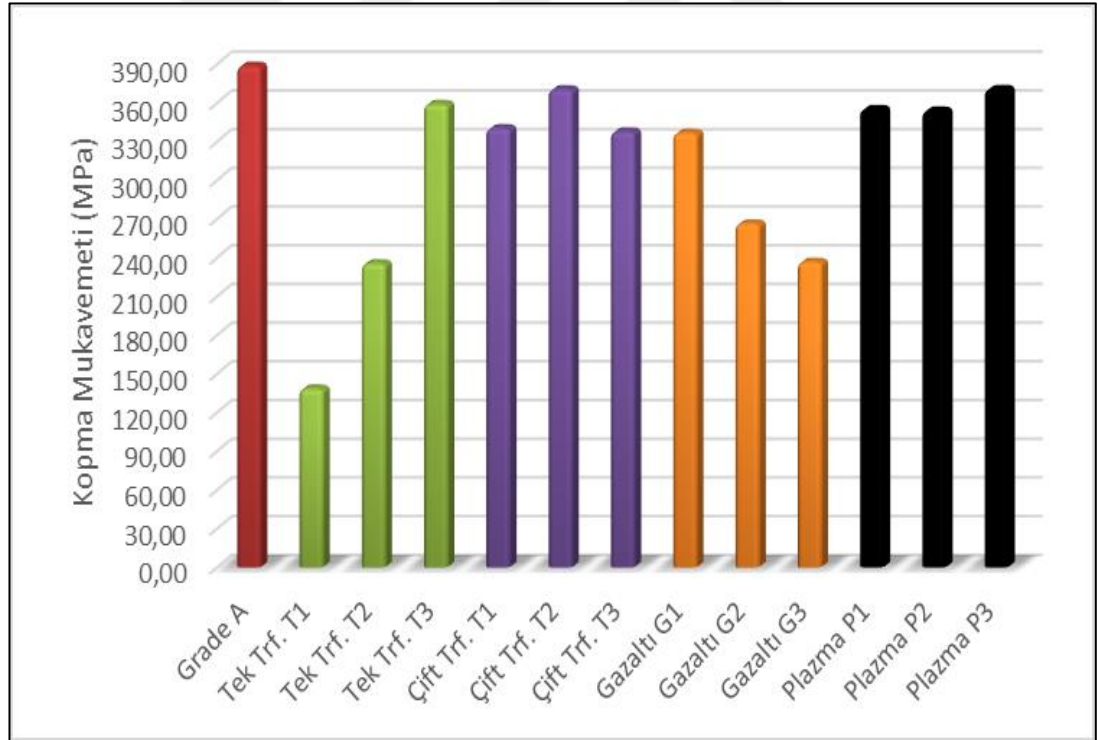
Çekme deneyi sonucu elde edilen akma mukavemeti (Şekil 4.3), çekme mukavemeti (Şekil 4.4), kopma mukavemeti (Şekil 4.5) ve yüzde (%) uzuma (Şekil 4.6) grafikleri verilmiştir.



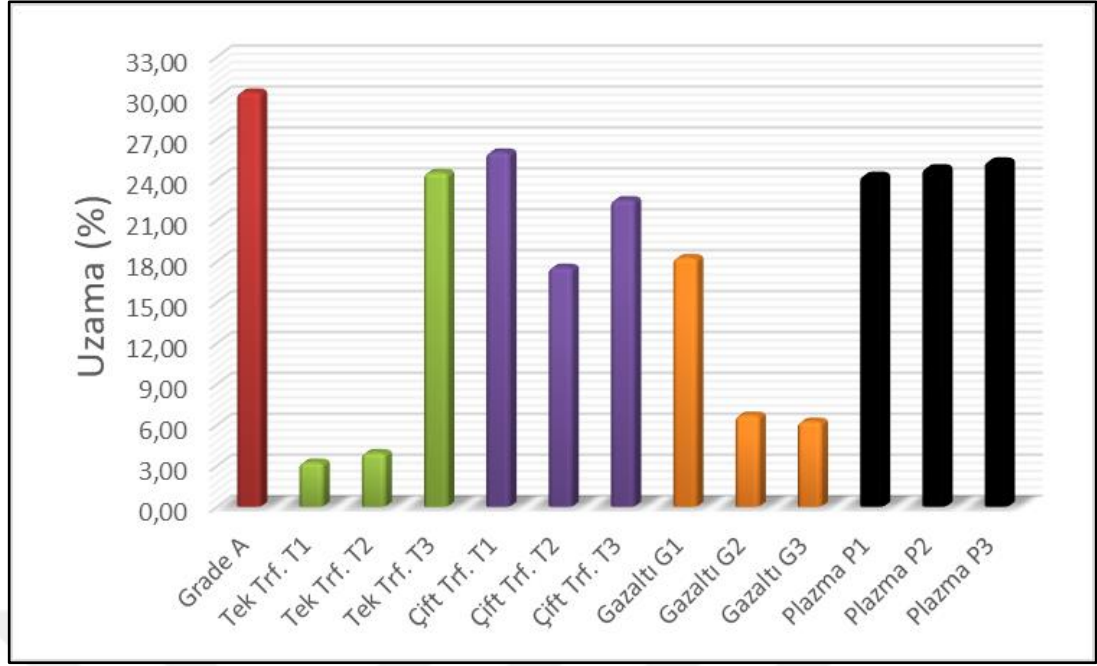
Şekil 4.3. Numunelerin akma mukavemetleri grafiğı



Şekil 4.4. Numunelerin çekme mukavemetleri grafiği



Şekil 4.5. Numunelerin kopma mukavemetleri grafiği



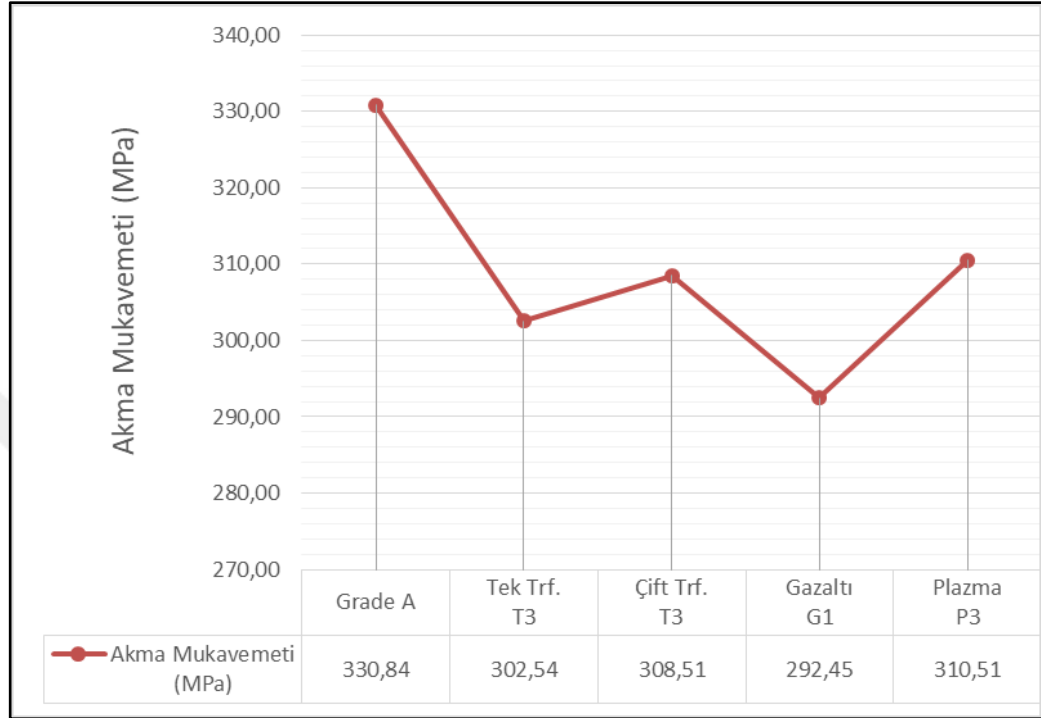
Şekil 4.6. Numunelerin % uzama grafiği

Verilerde görüldüğü gibi kaynaklı birleştirmelerde yetersiz nüfuziyet ve kaynak hatalarından kaynaklı olarak çekme deneyi verilerinde farklılıklar oluşmuştur. Bu çalışmada kaynak tekniklerinde en az işçilik maliyeti ve kaynak hatalarından arındırma üzerine çalışma yapılmıştır. Bu nedenle her bir kaynaklı birleştirmede farklı akım parametreleri uygulanmıştır. Uygulanan parametreler Bölüm 3.2’de çizelgeler halinde verilmiştir. Çalışma sonucunda ideal olarak kabul ettiğimiz numunelerin çekme deneyi verileri ortalaması alınmış ve Çizelge 4.4’te verilmiştir

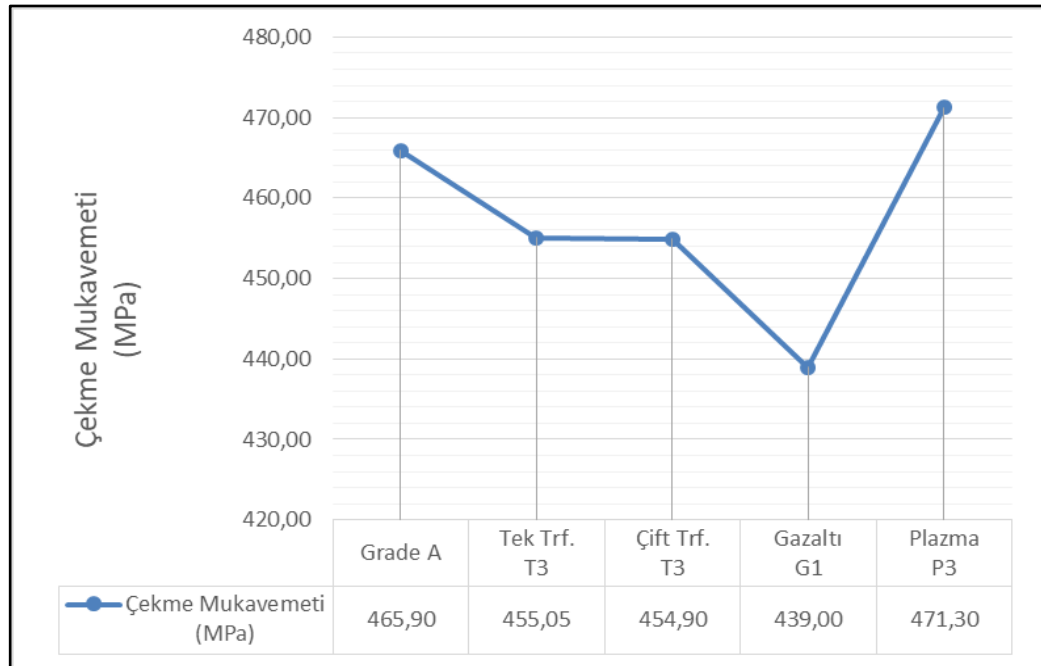
Çizelge 4.4. İdeal parametrelili numunelerin çekme deneyi sonuçları

Sıra No	Kaynak Yöntemi	Numune Adı	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Uzama Oranı %
1	Ana Malzeme	Grade A	330,84	465,90	388,58	30,40
2	Tozaltı	Tek Trf. T3	302,54	455,05	359,04	24,50
3	Tozaltı	Çift Trf. T3	308,51	454,90	337,78	22,50
4	Gazaltı	Gazaltı G1	292,45	439,00	336,60	18,25
5	Plazma Ark	Plazma P3	310,51	471,30	370,66	25,35
Çizgisel Değişim Grafiği						

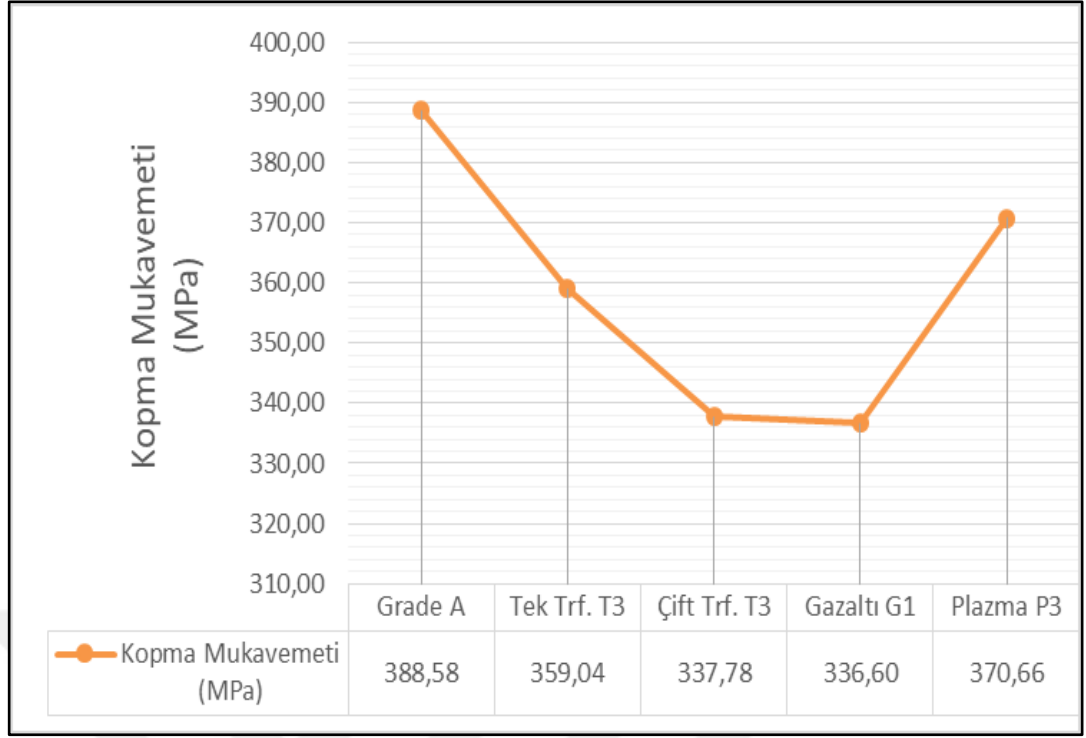
İdeal parametrelili numunelerin mekanik özellikleri akma mukavemeti Şekil 4.7’de, çekme mukavemeti Şekil 4.8’de, kopma mukavemeti Şekil 4.9’da ve yüzde uzama Şekil 4.10’da grafik halinde verilmiştir.



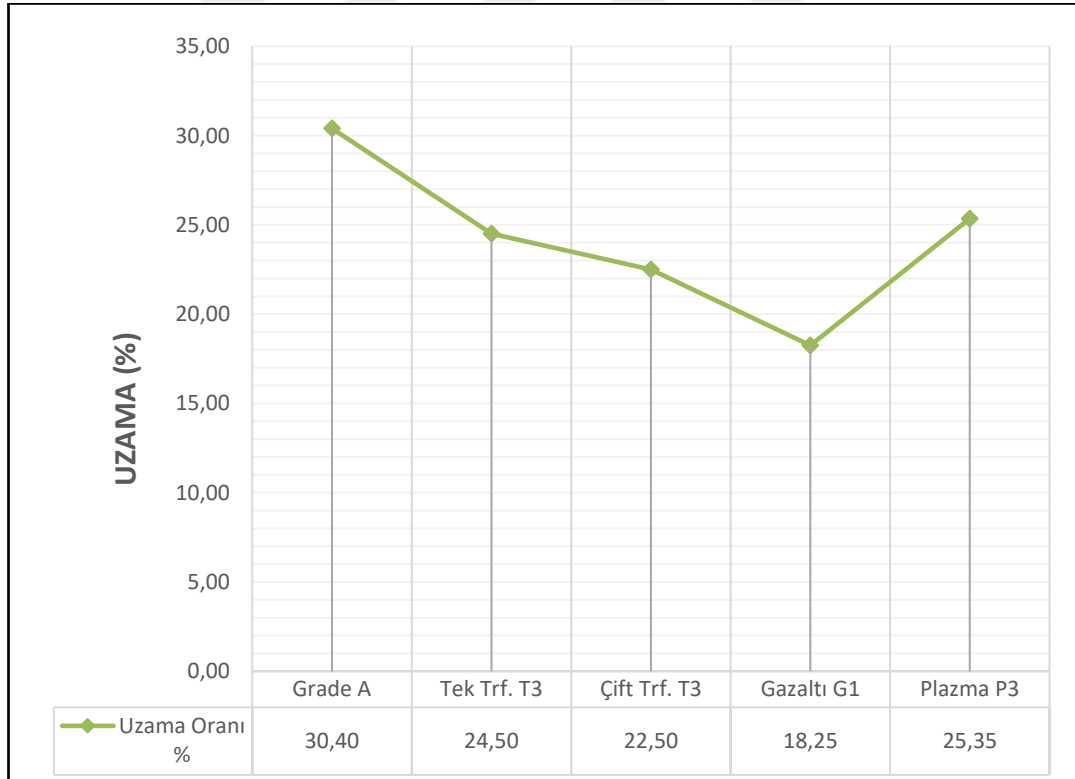
Şekil 4.7. İdeal numunelerin akma mukavemeti



Şekil 4.8. İdeal numunelerin çekme mukavemeti grafiği



Şekil 4.9. İdeal numunelerin kopma mukavemeti grafiği



Şekil 4.10. İdeal numunelerin % uzama grafiği

Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde Grade A sacının çekme mukavemetinin 465.90 MPa olduğu görülmektedir. Literatürde (Şahin, 2008) de belirtildiği gibi kaynaklı birleştirmelerde çekme dayanımı kaynak bölgesine uygulanan ısı girdisinden

olumsuz etkilenir ve genellikle düşüş eğilimindedir. Çizelge 4.5'te ısı girdisinin mekanik özelliklere olan etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Isı girdisinin mekanik özelliklere etkisi (Şahin, 2008)

Özellikler	Meydana Gelen Değişim
Akma Dayanımı	↓ 30%
Çekme Dayanımı	↓ 10%
Yüzde Uzama (Sünme)	↑ 10%
Çentik Darbe Dayanımı	↑ 10%, $15 < H < 50$ kJ/in için ↓ 30%, $50 < H < 110$ kJ/in için
Sertlik	↓ 10%

Ana malzeme çekme sonuçları üretici firmanın sertifika değerleri arasında olduğu görülmektedir. Diğer numuneler içerisinde kaynak yöntemleri açısından en yüksek çekme dayanımı Plazma Ark kaynak yönteminde olduğu görülmektedir. Plazma ark kaynak yöntemi ile elde edilen numunenin çekme mukavemeti 471.30 MPa olarak elde edilmiştir. Bu değer plazma ark kaynak yönteminin diğer yöntemlere göre daha kontrollü ve kaynak hatalarından arındırılmış bir yöntem olmasından ve bu yöntemde ısı girdisi daha dar bir sütun halinde kaynak bölgesine aktarılmasından kaynaklanmaktadır. Yine plazma ark kaynak yönteminde Keyhole tekniği kullanılmış ve bu yöntemde kaynaklı birleşme işlemi malzemenin hiç bir ek malzeme kullanılmadan plazma sütunu ile delinerek koruyucu gaz ortamında ergimiş malzemenin birleştirilmesi ile gerçekleşmesinden dolayı birleşme ortamında ana malzemeden başka bir malzemenin bulunmaması kaynak dikişinin kaynak hatalarından ve farklı malzemelerin uyumsuzluğundan arındırılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonucunda kopma görselleri tozaltı tek taraflı birleştirme Şekil 4.11'de, tozaltı çift taraflı birleştirmenin Şekil 4.12'de, gazaltı tek taraflı Şekil 4.13'de, plazma ark tek taraflı Şekil 4.14'de ve ana malzeme Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Tozaltı (tek taraf T3) numunesi kırılma görseli



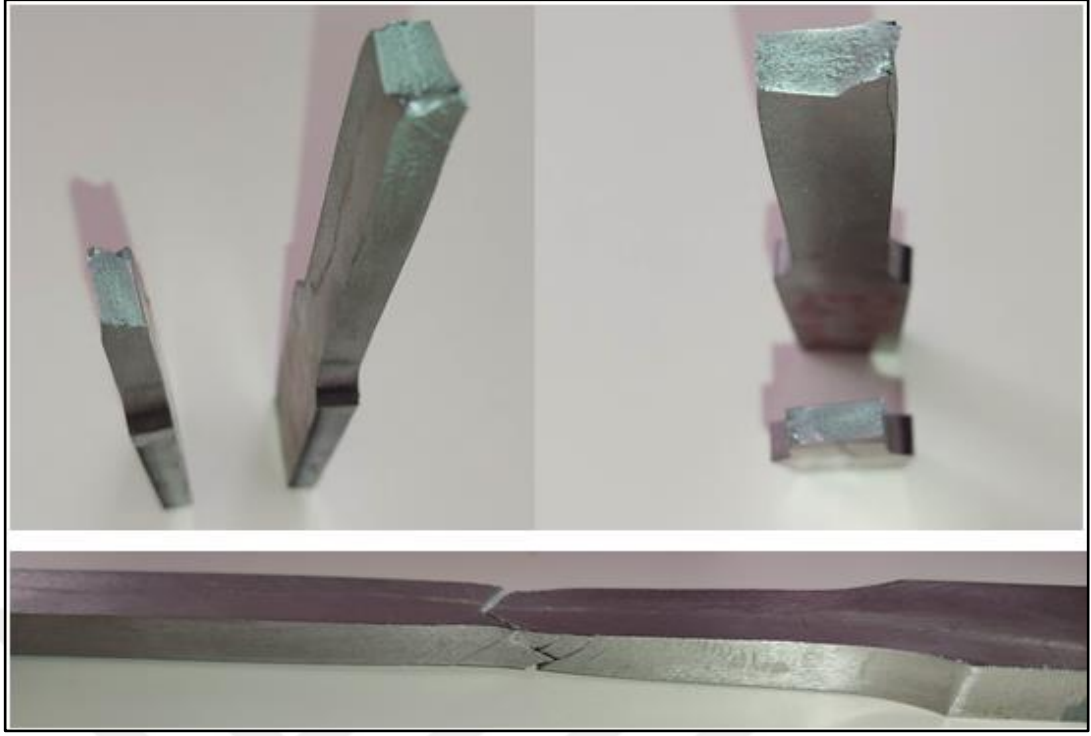
Şekil 4.12. Tozaltı (çift taraf T1) numunesi kırılma görseli



Şekil 4.13. Gazaltı (G1_1) çekme numunesi kırılma görseli



Şekil 4.14. Plazma (P3) çekme numunesi kırılma görseli



Şekil 4.15. Grade A çekme numunesi kırılma görseli

Gazaltı kaynak yönteminin ise en düşük çekme mukavemeti getirdiği görülmüştür. Gazaltı kaynak tekniğinde elde edilen çekme mukavemeti 439.00 MPa'dır. Gazaltı kaynak yönteminde kopmalar kaynak metaline daha yakın bölgede ITAB'da gerçekleşmiştir. Bunun nedeni gazaltı kaynak yönteminde ITAB bölgesinde ana malzeme ile kaynak metali arasında difüzyonun yetersiz olmasıdır. Şekil 4.13 numunelerin kopma yüzeyleri incelendiğinde tane yüzeylerinden sünek bir kopma olduğu görülmektedir (Şekil 4.13). Literatürde; Yüksel (2019) GMAK kaynak yöntemi ile HPAK kaynak yöntemlerini karşılaştırdığı çalışmada mekanik özelliklerin HPAK (Hibrit Plazma Ark Kaynağı) kaynak yöntemi ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde GMAK (Gazaltı Metal Ark Kaynağı) kaynak yöntemine göre daha yüksek çıktığını bildirmiştir. Numunelerde kırılmaların GMAK yönteminde ITAB bölgesinde gerçekleştiğini bildirmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar bu açıdan önceki yapılan çalışmalarla desteklenmektedir.

Tozaltı kaynak yöntemlerinden tersane ortamında yapılan kaynaklı birleştirme sonuçlarında çekme mukavemeti 454.90 MPa olarak bulunmuştur. Tersane ortamında yapılan kaynaklı birleştirme Çizelge 3.2'de belirtilen parametrelerde ve çift taraflı olarak yapılmış ve kaynak aralığı verilmeden yapılmıştır. Tozaltı kaynak yönteminin atölye ortamında tek taraflı yaptığımız uygulamasında Çizelge 3.3'de verilen

parametreler kullanılmış ve kaynaklı birleştirme tek taraflı olarak farklı kök aralıklarında yapılmıştır. Atölye ortamında yapılan toz altı kaynaklı birleştirmede çekme mukavemeti 455.05 MPa olarak bulunmuştur. Atölye ortamında yapılan tozaltı kaynağı yönteminde kaynak kök aralığı 4 mm olan numunede en yüksek sonuç elde edilmiştir. Bu yöntemde toz altlık kullanılmıştır. Ve tersane ortamında çift taraflı olarak yapılan kaynaklı birleştirme uygulamasında elde edilen sonuçlara yakın ve az da olsa daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni kaynak bölgesine uygulanan ısı girdisi olarak görülmektedir (Çizelge 4.5). Çift taraflı uygulamada kaynak bölgesine daha fazla ısı girdisi uygulanmaktadır ve bu da malzemenin çekme dayanımına olumsuz yansımaktadır.

Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırıldığında; Asarkaya (2006) farklı kalınlıktaki Grade A sacı üzerine yaptığı çalışmada; gazaltı kaynak yönteminde elde ettiği değer 420-430 MPa ve tozaltı kaynak yönteminde çekme dayanımı 360-380 MPa olarak bulmuştur. Bizim çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar bu değerlerden daha yüksektir. Bunun nedeni çalışmada kullanılan kaynak parametreleri ve makinalarının farklılığı ile kaynak uygulamalarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Yılmaz ve Tümer (2009) yaptıkları çalışmada; tozaltı kaynak tekniği ve özlü tel kullanılan gazaltı kaynak tekniğini karşılaştırmış ve tozaltı kaynağında çekme dayanımını 436 MPa, gazaltı kaynak yönteminde ise 432 MPa olarak bulmuştur. Yüzde uzama değerlerini ise tozaltı kaynak tekniğinde %19 gazaltı kaynak tekniğinde ise %18 olarak bulduğunu bildirmiştir. Ayrıca literatürde Grade A sacının plazma ark kaynak yöntemi ile yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Veriler açısından uyguladığımız yöntem ve parametrelerin doğruluğu ve uygunluğu görülmektedir.

Deney numuneleri akma mukavemeti açısından Şekil 4.7'deki grafik incelendiğinde kaynaklı numunelerin akma dayanımlarının ana malzemedan daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise Çizelge 4.5'te belirtilen ısı girdisinin etkisi olarak görülmüştür ve elde edilen değerlerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür.

Yüzde uzama değerleri tüm kaynak yöntemlerinde ana malzemedan düşük olarak bulunmuştur. Literatürde bu konuda yapılan çalışmaların genelinde bu şekilde olduğu

görülmüştür. Nedeni olarak da kaynak bölgesine uygulanan ısıнын etkisi gösterilmektedir. Yüzde uzama değerleri açısından numuneler arasında ana malzemeye en yakın değer plazma ark kaynak yönteminde elde edilmiştir. Bunun nedeni ise plazma ark kaynak yönteminde kaynak bölgesinde ısı girdisinin daha dar olması ve oluşan kaynak metalindeki malzeme yapısının ana malzemeye en yakın olmasıdır. En düşük uzama değeri ise gazaltı kaynak yönteminde elde edilmiştir. Değerin düşük olmasının nedeni ise ısı girdisinin etkisi ve kaynak metali ile ana metal arasındaki yetersiz difüzyondan kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3. Üç Nokta Eğme Deneyi Bulguları

Üç nokta eğme deneyi çekme deneyi yapılan cihazda yapılmıştır. Deneyde mesnet aralığı olarak 105 mm kullanılmıştır. Eğme işlemi kaynaklı metallerin üç nokta eğme standardına uygun olarak numunelerin kaynak dikişlerinden Kep ve Kök yüzeylerinden ayrı ayrı yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Üç nokta eğme sonuçları

YÖNTEM	KODU	KEP EĞME		KÖK EĞME		GENİŞLİK (mm)	KALINLIK (mm)	MESNETLER ARASI MESAFE (mm)
		Kök M. Yük (N)	Kep Eğme Mukavemeti (MPa)	Kök M. Yük (N)	Kök Eğme Mukavemeti (MPa)			
ANA MALZEME	GRADE A	7827,2	793,1	7827,2	793,1	25	8	105
GAZALTI	G1	7650,4	753,1	6970,4	686,2	25	8	105
GAZALTI	G2	7472,2	735,6	4727,6	465,4	25	8	105
GAZALTI	G3	8737,8	860,1	8487,5	835,5	25	8	105
PLAZMA	P1	9375,0	922,8	9044,6	890,3	25	8	105
PLAZMA	P2	9257,9	911,3	8956,5	881,7	25	8	105
PLAZMA	P3	9744,9	959,3	9484,1	933,6	25	8	105
TOZALTI Tek Trf.	T1	5381,8	529,8	4842,7	476,7	25	8	105
TOZALTI Tek Trf.	T2	8215,2	808,7	4320,9	425,3	25	8	105
TOZALTI Tek Trf.	T3	8033,6	790,8	8352,7	822,2	25	8	105
TOZALTI Çift Trf.	T1	9999,0	984,3	9794,2	964,1	25	8	105
TOZALTI Çift Trf.	T2	9204,0	906,0	9371,8	922,5	25	8	105
TOZALTI Çift Trf.	T3	7986,1	786,1	9013,8	887,3	25	8	105

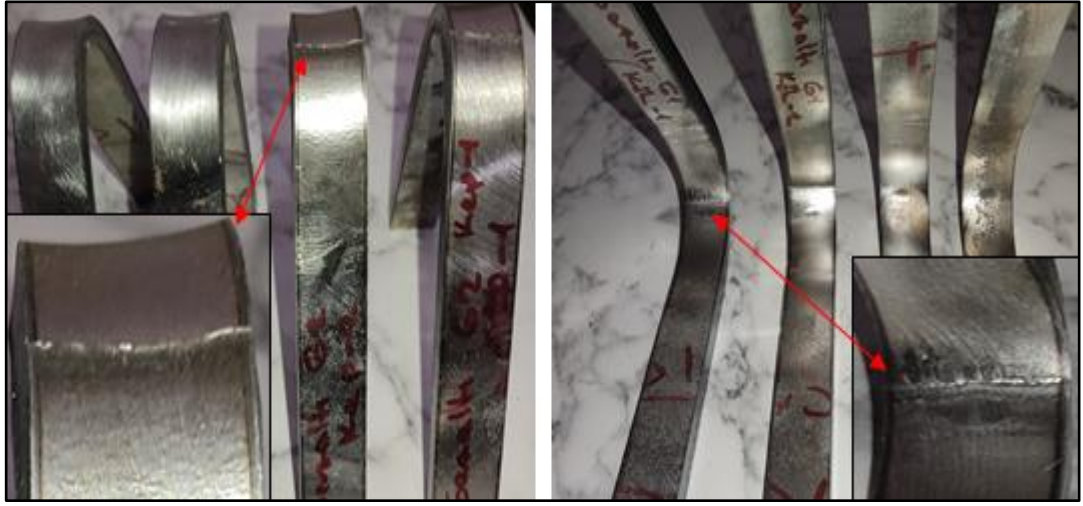
Sonuçlar incelendiğinde numunelerde kaynak hatası dışında kaynak bölgelerinde çatlama ve yırtılma olmamıştır. Eğme numunelerinde yetersiz nüfuziyet olan numunelerde kök bölgelerinde yırtılma meydana gelmiştir. Tüm numunelerde kaynak dikişi üst bölgesine (Kep) yapılan eğme işleminde hiçbir çatlak ve yırtılma meydana gelmemiştir. Görseller Şekil 4.16 ile Şekil 4.20 arasında verilmiştir.



Şekil 4.16. Grade A numunesi eğme sonrası



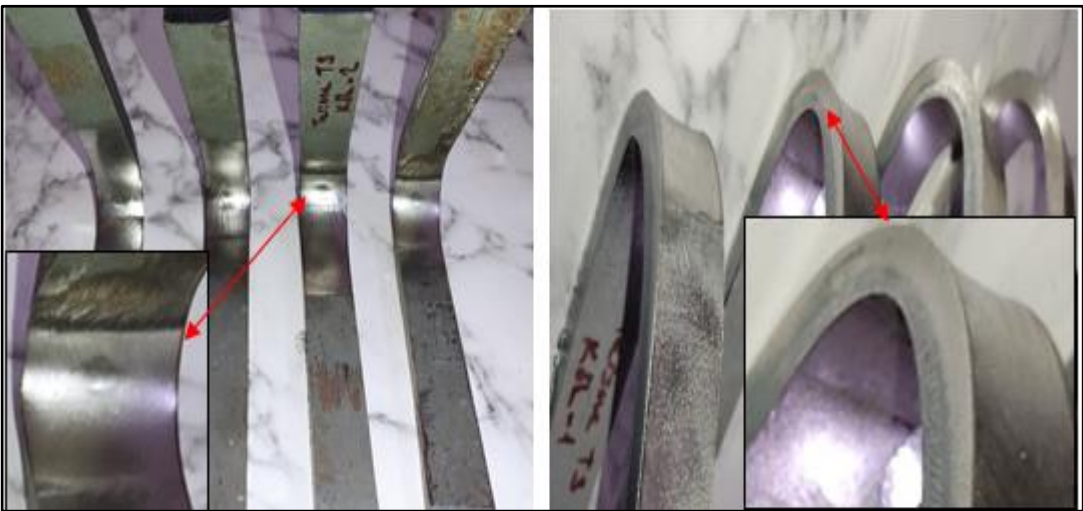
Şekil 4.17. Plazma ark numunesi eğme sonrası



Şekil 4.18. Gazaltı numunesi eğme sonrası

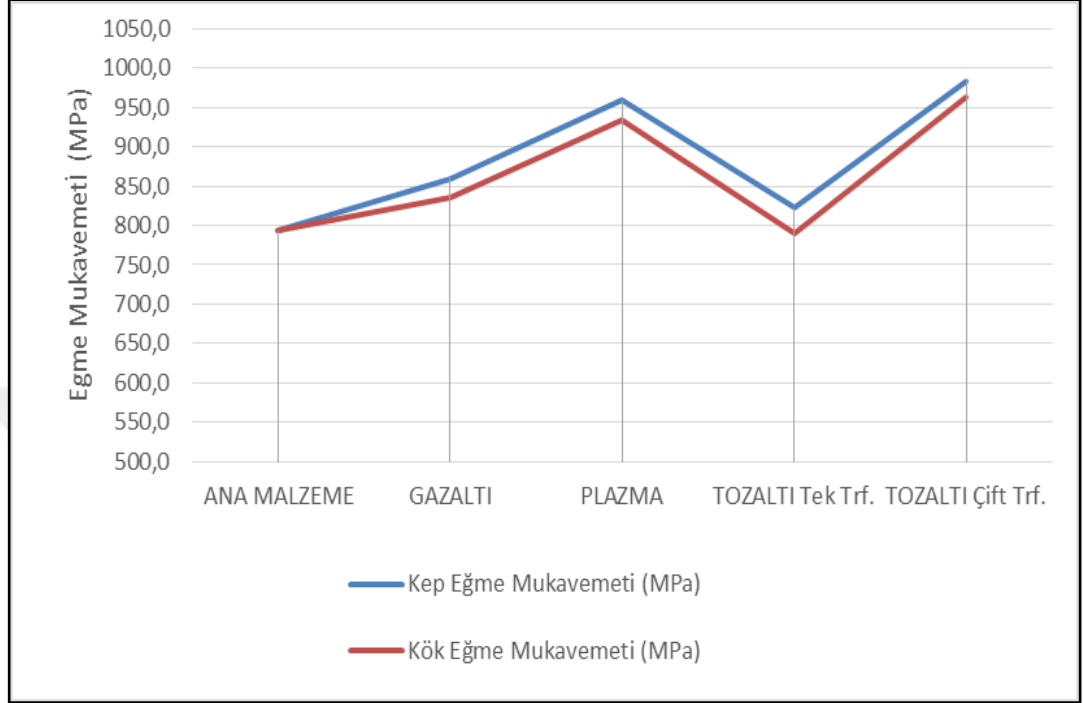


Şekil 4.19. Tozaltı (tek taraf) numunesi eğme sonrası



Şekil 4.20. Tozaltı (çift taraf) numunesi eğme sonrası

Eğme mukavemetleri açısından sonuçlar incelendiğinde (Şekil 4.21) hatasız tüm numunelerin mukavemet değerlerinin ana malzeme mukavemet değerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise malzemede ısı ile oluşan yapı değişikliğidir.



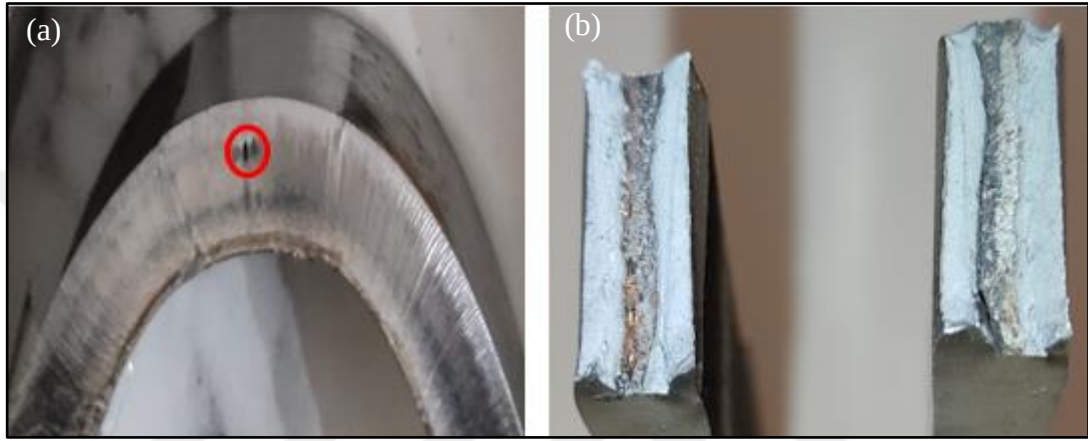
Şekil 4.21. Kep ve Kök maksimum eğme mukavemeti grafiği

Eğme işleminde uygulanan maksimum yük açısından incelendiğinde Kep bölgelerinde yapılan eğme sonuçları ana malzeme ve Kök bölgelerinden daha yüksektir. Bunun nedeni tek taraflı kaynakta Kep bölgesinde kaynak dikişinin daha geniş ve nüfuziyetin daha yüksek olmasıdır.

Eğme gerilmesi açısından bakıldığında plazma ark kaynak yöntemi hem kök hem de kep tarafında plazma ark kaynak yönteminde tek taraflı kaynak yapılmasına rağmen çift taraflı kaynak yapılan tozaltı kaynak yöntemine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Nedenin ise plazma ark kaynak yönteminde daha az ısı girdisi ve daha hatasız homojen bir kaynak dikişinin elde edilmesi olduğu düşünülmektedir.

Plazma ark kaynak yönteminde kök yüzeyine göre kep yüzeyinde daha yüksek eğme gerilmesi elde edilmiştir. Bunun nedeni kaynak tek taraflı yapılması ve kep tarafında ek olarak bir kapak pasosunun çekilmesidir. Tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak elde edilen T2 numunesi çekme deneyinde kaynak bölgesinden kopmuştur (Şekil 4.22b).

Burada birleştirme alın altına kök aralığı verilmeden çift taraflı kaynak yapılmıştır. Kaynak bölgesinde plazma kesimden kaynaklı yüzey yanma kalıntıları nedeniyle kaynak dikişinin orta kısmında boşluk ortaya çıkmıştır. Bu durum çekme deneyinde kaynak bölgesinde kopmaya neden olmuştur. Fakat eğme deneyinde ise Şekil 4.22a’da görüldüğü gibi kırılma gerçekleşmemiş bunun yanında kaynak dikişinin ortasında küçük bir yırtık şeklinde kendisini göstermiştir. Eğme yükü ve eğme gerilmeleri açısından hatasız numunelerden daha düşük bir sonuç elde edilmemiştir.



Şekil 4.22. Tozaltı (çift taraf) T2 numunesi (a) eğme ve (b) çekme görseli

4.4. Darbe (Charpy V çentik) Deneyi Bulguları

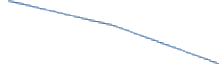
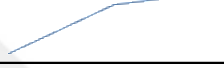
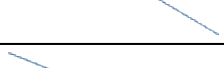
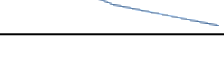
Darbe deneyi; hazırlanan her bir kaynaklı birleştirme numunesi için Türk Loyd’u tarafından belirtilen standart (ISO 9016) gereği kaynak metalinden farklı bölgelerden +20°C, 0 °C ve -20°C sıcaklıklarda ve her biri için 3’er adet darbe deney numunesi hazırlanmıştır. Toplamda ana malzemede dahil 107 adet numune hazırlanmıştır. Test Instron 9350 Drop Tower tam otomatik test cihazında yapılmıştır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Darbe deneyi cihazı

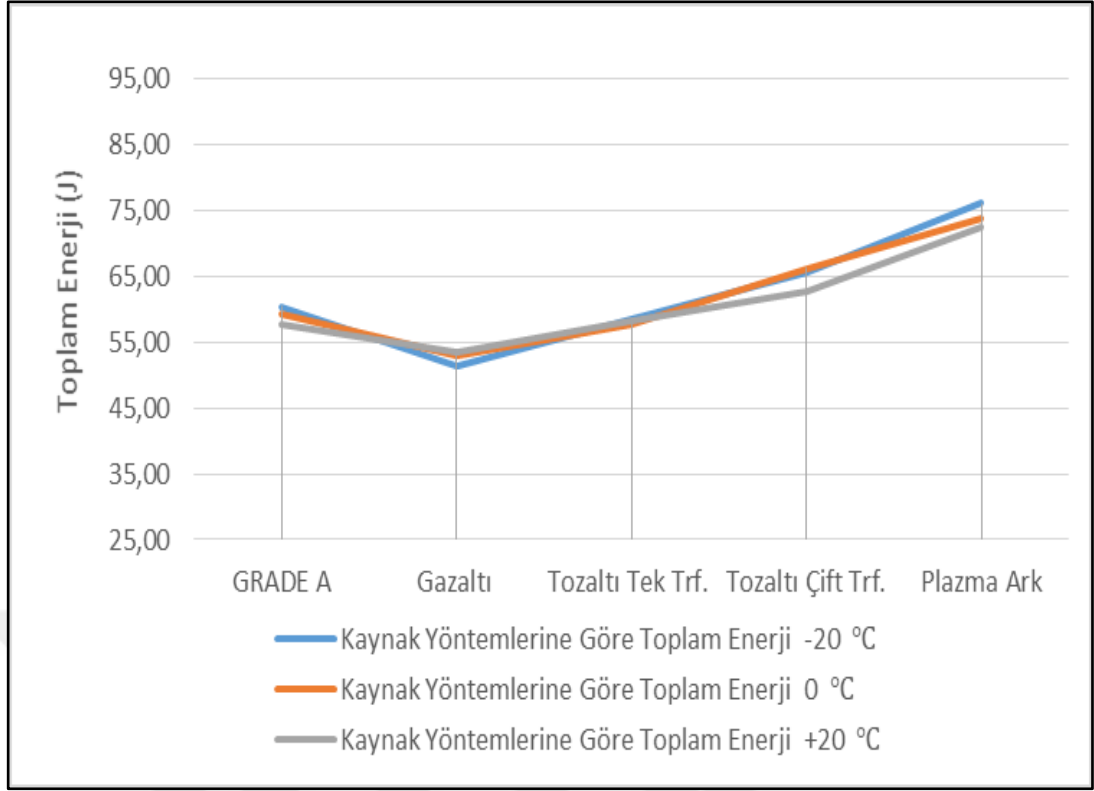
Darbe deneyleri önce +20°C yapılmış sonrasında Şekil 4.23'deki görseldeki gibi numuneler cihazın soğutuculu test haznesindeki taraklara yerleştirilmiş ve sıvı azot gazı kullanılarak önce 0°C test sıcaklığına getirilerek 15 dakika numunelerin sıcaklık değerinin dengeye gelmesi için beklendikten sonra deneye başlanmıştır. 0°C testleri bittikten sonra -20°C numuneleri için sıcaklık değeri -20 °C'ye getirilmiş ve yine 15 dakika beklendikten sonra deney yapılmıştır. Her numune değişiminde cihaz kendi sensörleri vasıtasıyla sıcaklık değerini otomatik olarak ayarladıktan sonra testi yapmıştır. Darbe deneyi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.7' verilmiştir.

Çizelge 4.7. Darbe deneyi sonuçları

Numune Adı	Kaynak Yöntemlerine Göre Toplam Enerji			Sıcaklığa göre değişim Grafiği
	-20 °C	0 °C	+20 °C	
GRADE A	60,43	59,35	57,78	
Gazaltı	51,44	52,93	53,38	
Tozaltı Tek Trf.	58,49	57,64	58,11	
Tozaltı Çift Trf.	65,56	66,13	62,64	
Plazma Ark	75,99	73,69	72,53	

Darbe tokluğu malzemelerde sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterdiği daha önce yapılan çalışmalardan bilinmektedir. Yine kaynak metali ITAB ve ana malzemede de bölgedeki ısı farklılıkları ve buna bağlı olarak oluşan mikroyapıdaki değişimlere bağlı olarak farklılıklar gösterdiği belirtilmektedir. Darbe deneyi sonucu elde edilen numunelerin toplam enerji değerleri Türkiye'de gemi inşa sektörünün standartlarını ve asgari kabul değerlerini belirleyen Türk Loydu tarafından belirtilen numune boyutlarına göre numunemizin kalınlığı 8 mm olduğu için cihazdan elde edilen tokluk değerlerin 5/6'sı alınmıştır.

Deney sonuçları incelendiğinde sıcaklığa bağlı olarak küçüğe olsa tokluk değerlerinde bir değişim olduğu görülmektedir. Bu değişimler Şekil 4.24'teki grafikte de gösterilmektedir.



Şekil 4.24. Darbe deneyi sonuç grafiği

Tokluk değeri en düşük gazaltı kaynak yönteminde elde edilmiştir. Nedeni olarak bu kaynak yönteminde ısı girdisinin düşük olması ve kaynak metalindeki inklüzyonlar, segragasyonlar ve difüzyonun yetersizliği olduğu düşünülmektedir. Tozaltı kaynak yöntemlerinden atölye ortamında yapılan tek taraflı ve kök aralıklı birleştirmelerin çift taraflı yapılan tozaltı kaynak yöntemine göre daha düşük tokluk değerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni çift taraflı birleştirmede ikinci tarafa uygulanan dikişin kaynak bölgesine bir ısı işlem etkisi yapması olduğu düşünülmektedir. Bu durum literatürde (Asarkaya, 2006; Yılmaz ve Tümer, 2009; Yılmaz, 2018; Gültekin, 2019) birden fazla kaynak pasosunun malzemede ısı işlem etkisi yaptığı ve bu etki ile kaynak dikişindeki tokluk değeri olumlu yönde etkilendiği bildirilmektedir.

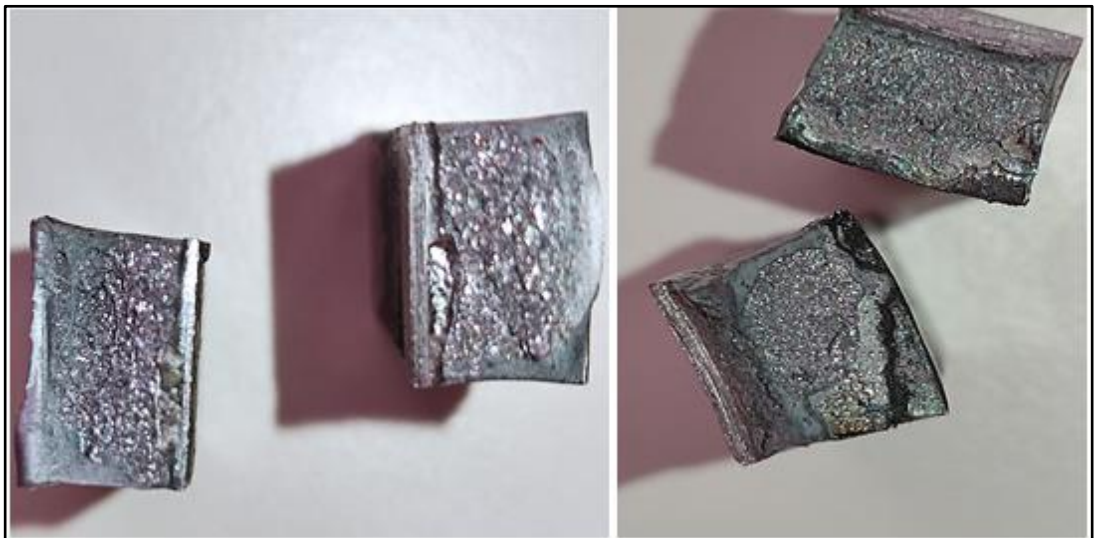
Çalışmada en yüksek tokluk değeri plazma ark kaynak yönteminde elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak uygulanan parametreler ve kaynak dikişinin homojen yapıda ve içyapı hatalarından arındırılmış olması düşünülmektedir. Bunun yanında Keyhole tekniği ile yapılan birleştirmenin üzerine ek tel kullanılarak yapılan kapak dikişinin ısı etkisi de tokluk değerinin daha iyi olmasına neden olmuştur. Numunelerin farklı sıcaklıklardaki örnek kırılma yüzeyleri Şekil 4.25 ile Şekil 4.27 arasındaki şekillerde gösterilmektedir.



Şekil 4.25. +20 °C kırılma yüzeyleri.



Şekil 4.26. 0 °C kırılma yüzeyleri



Şekil 4.27. -20 °C kırılma yüzeyleri

Deney sonuçları Çizelge 4.8’de belirtilen ve Türk Loydu (Türk Loydu, 2018) tarafından istenen minimum gereksinimlerle kıyaslandığında (Çizelgede Grade A sacı kırmızı ile çizilen kısımdır) deney sonuçlarının istenen değerlerin üzerinde olduğu ve çalışma sonuçlarının doğru ve geçerli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.8. Kaynaklı birleştirmelerde beklenen özellikler (Türk Loydu, 2018)

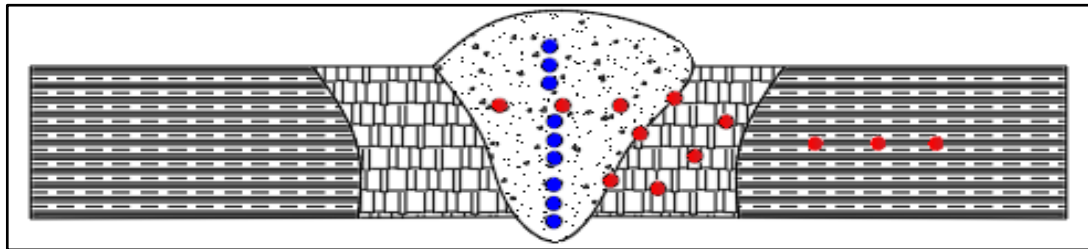
Kalite Derecesi (1)	Çekme mukavemeti [N/mm ²]	En az çentik darbe enerjisi [J] (2)		En az eğme açısı Mandrel çapı=3xnumune kalınlığı	
		Pozisyonlar			Test sıcaklığı [°C]
		PA, PC, PE (d, h-v, o)	PF, PG (v-u, v-d)		
1	≥ 400	47 (33)	34(24)	+ 20	İlk çatlak oluşuncaya kadar 120°, en çok 3 mm uzunluğa kadar olan az sayıdaki gözeneklerin varlığı kabul edilir (kırık yüzeyinde)
2				± 0	
3				- 20	
2Y	≥ 490	47 (33)	34(24)	±0	
3Y				- 20	
4Y				- 40	
2Y40	≥ 510	47 (33)	41(29)	0	
3Y40				- 20	
4Y40				- 40	

(1) Daha yüksek kalite dereceleri için 1.2'ye bakınız.

(2) Uç testin ortalaması; minimum tekil değerler ve tekrar testleri için 2.4 ve 2.5'e bakınız.

4.5. Mikrosertlik Deneyi Bulguları

Mikro sertlik ölçümleri TTS Matsuzawa HWMMT-X3 cihazında yapılmıştır. Ölçümler Vickers (HV) sertlik ucu kullanılarak ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri Kaynak Dikişi, Kaynak Dikişi ve ITAB Geçiş Çizgisi, ITAB ve Ana Malzeme bölgelerinden en az üç adet olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sertlik alım planlaması Şekil 4.28’de gösterilmiştir.

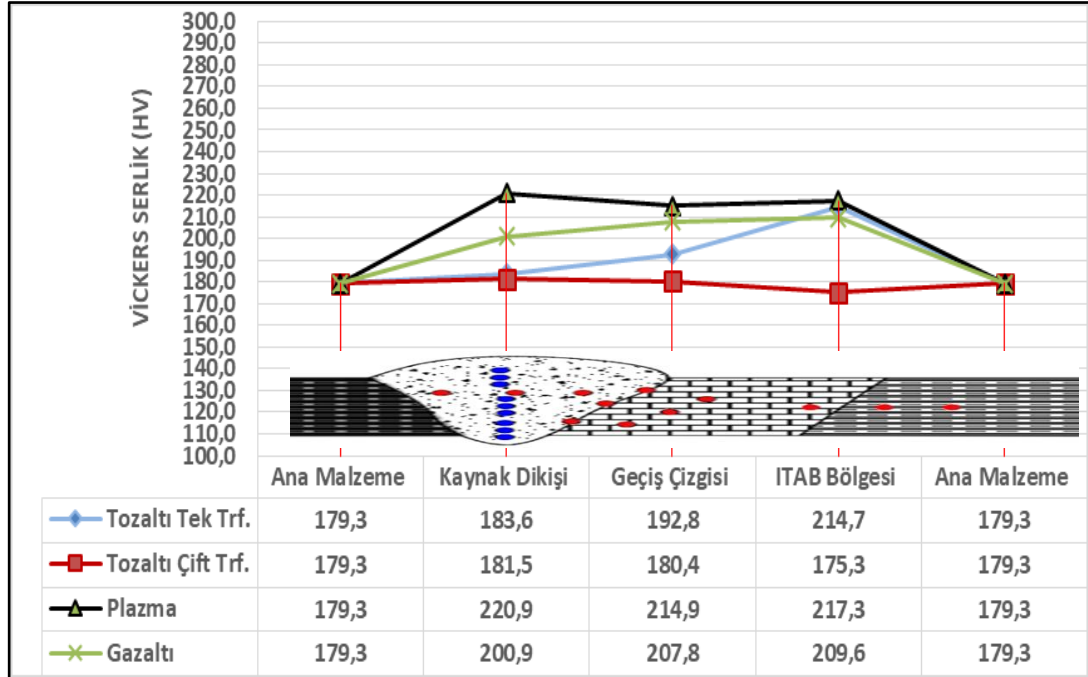


Şekil 4.28. Sertlik alınan noktaların planı

Mikrosertlik deneyi sonuçları Çizelge 4.9’da toplu olarak verilmiştir. Mikrosertlik değerlerinin daha iyi anlaşılması için elde edilen veriler Şekil 4.29’da grafik halinde görselleştirilmiştir.

Çizelge 4.9. Kaynak bölgesi mikro sertlik ölçüm değerleri

Sıra No	Numunenin Adı	Kaynak Dikişi Sertlik (Hv)	Geçiş Çizgisi Sertlik (HV)	ITAB Bölgesi Sertlik (Hv)	Ana Malzeme Grade A (HV)	Değişim Grafiği
1	Tozaltı Çift Trf. T1	142,9	153,9	165,5	179,3	
2	Tozaltı Çift Trf. T2	219,9	209,6	215,7	179,3	
3	Tozaltı Çift Trf. T3	181,8	177,7	144,9	179,3	
4	Tozaltı Çift Trf. T3	181,5	180,4	175,3	179,3	
9	Tozaltı Tek Trf. T1	182,2	164,7	196,8	179,3	
10	Tozaltı Tek Trf. T2	179,8	208,8	222,5	179,3	
11	Tozaltı Tek Trf. T3	189,0	204,8	224,9	179,3	
12	Tozaltı Tek Trf.	183,6	192,8	214,7	179,3	
5	Gazaltı G1	189,1	193,8	194,5	179,3	
6	Gazaltı G2	216,4	215,4	219,8	179,3	
7	Gazaltı G3	197,3	214,3	214,5	179,3	
8	Gazaltı	200,9	207,8	209,6	179,3	
13	Plazma P1	229,1	214,6	227,2	179,3	
14	Plazma P2	217,4	203,9	205,8	179,3	
15	Plazma P3	216,3	226,4	219,1	179,3	
16	Plazma	220,9	214,9	217,3	179,3	



Şekil 4.29. Kaynak yöntemlerine göre mikro sertlik değerleri

Mikro sertlik sonuçları incelendiğinde en yüksek sertlik değerlerinin kaynak dikişi bölgesinde en düşük değerlerin ise ana malzeme bölgesinde olduğu görülmüştür. Bu veriler literatür açısından değerlendirildiğinde de düşük alaşımlı çeliklerde ısının etkisi ile ana malzemeden kaynak dikişine doğru olan karbon taşınımı nedeniyle kaynak dikişinde diğer bölgelere göre daha çok karbon bulunmasıdır (Yılmaz ve Tümer, 2009). Dikiş bölgesinde artış gösteren karbon, dikişin daha sert olmasına neden olmaktadır. ITAB bölgesinde ısı bölgesindeki geçiş nedeniyle tane irileşmesi gerçekleştiği için bu bölgedeki sertlik değeri dikiş bölgesinden düşük fakat ana malzeme bölgesinden daha yüksektir.

Yılmaz ve Tümer (2009), tarafından yapılan çalışmada Grade A sacının tozaltı ve özlü tel ile gazaltı kaynak teknikleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ana malzeme sertlik değerini 145 HV, tozaltı kaynak tekniği için kaynak dikişi bölgesinde 162 HV, ITAB'da ise 150 HV olarak elde etmişlerdir.

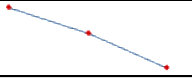
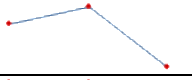
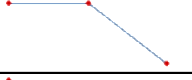
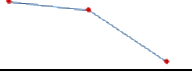
Yılmaz ve Tümer (2009), tarafından yapılan çalışmada Grade A sacının tozaltı ve özlü tel ile gazaltı kaynak teknikleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ana malzeme sertlik değerini 145.0 HV, tozaltı kaynak tekniği için kaynak dikişi bölgesinde 162.0 HV, ITAB'da ise 150.0 HV olarak elde etmişlerdir. Özlü tel kullanılarak yapılan gazaltı kaynak tekniğinde kaynak dikişi bölgesinde 179.3 HV, ITAB bölgesinde ise 170.0 HV olarak elde etmişlerdir. Kaynak teknikleri arasındaki farkların kaynak bölgesine etki eden enerji girişinin farklılığından kaynaklandığı ve enerji girişi artışının kaynak bölgesinde sünek fazların oluşmasına ve sertlik düşüşlerine neden olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Yaptığımız çalışmada gazaltı ve tozaltı kaynak tekniğinin sonuçları kıyaslandığında tozaltı kaynağının dikiş bölgesi sertlik değeri 181.5 / 183.6 HV iken gazaltı kaynak tekniğinin kaynak dikişi sertlik değeri 200.9 HV olarak elde edilmiştir. Kaynak bölgesine olan ısı girdisi değerleri açısından tozaltı kaynağında daha fazla ısı girdisi olmuştur. Aynı zamanda tersane ortamında yapılan tozaltı kaynak uygulamasında çift taraflı kaynak uygulaması yapılmış ve ikinci tarafa yapılan dikişin önceki dikişe ve ITAB bölgesine ısı işlem etkisi yaptığından dolayı sertlik değeri gazaltı kaynak yöntemine göre daha düşük çıkmıştır.

Yılmaz ve Tümer (2009), tarafından yapılan uygulamanın genel sonuçları bizim yaptığımız çalışmaya göre farklılık göstermektedir. Yılmaz ve Tümer (2009)

çalışmasında ana malzemeyi 145.0 HV değerinde ölçerken bizim çalışmamızda ana malzemenin sertlik değeri ortalama olarak 179.3 HV olarak ölçülmüştür.

Plazma ark kaynak yönteminde elde edilen sertlik değerleri diğer yöntemlere göre biraz daha yüksektir. Bunun nedeni kaynak esnasında plazma sütunu dar bir alanda yüksek enerji ile kaynak bölgesini kesmesi ve bu bölgeye enerji geçişinin sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Yine kaynak bölgesinde dar alanda enerji girişi olduğundan kaynak dikiş ve ITAB bölgesi diğer yöntemlere göre küçüktür. Enerji girişi olan bölgenin dar olması nedeniyle soğumada daha hızlı olduğundan dolayı plazma ark kaynağında tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemlerine göre sertlik daha yüksek olmuştur. Bunun yanında plazma ark kaynak yönteminde Keyhole yönteminin üzerine ek tel kullanılarak kapak pasosu atıldığı için kaynak sütunu boyunca sertlik değerlerinde özellikle kök bölgesinde büyük düşüşler görülmüştür. Bunun nedeni olarak kapak pasosunun kaynak sütunu üzerine tavlama yapmasıdır. Yine bu ısıl etkinin kök kısmındaki dar bölgede sertliğin yaklaşık % 60 oranında düşmesine neden olmuştur (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Plazma ark kaynak dikişi sertlik değerleri

Sıra No	Numunenin Adı	Kaynak Dikişi Sertlik (HV)	Kaynak Sütunu Orta Bölge (HV)	Kaynak Sütunu kök bölge (HV)	Değişim Grafiği
1	Plazma P1	229,1	176,9	105,4	
2	Plazma P2	217,4	231,9	180,4	
3	Plazma P3	216,3	215,5	112,2	
4	Ortalama	220,9	208,1	132,6	

Tozaltı kaynak uygulamasında tersane ortamı ve atölye ortamında yapılan iki uygulama kıyaslandığında atölye ortamında yapılan uygulamanın kaynak dikiş bölgesinde elde edilen sertlik değeri 183.6 HV iken tersane ortamındaki uygulamadaki sertlik değeri 181.5 HV'dir. Atölye ortamında yapılan uygulama tek taraflı şekilde yapılmasına rağmen sertlik değerinde bariz bir artış yaşanmamıştır. Atölye ortamında yapılan tozaltı kaynak uygulamasında ITAB bölgesinde ölçülen sertlik değeri 214.7 HV şeklindedir ve kaynak dikişinin sertlik değerinden daha yüksektir. Bu nedenle

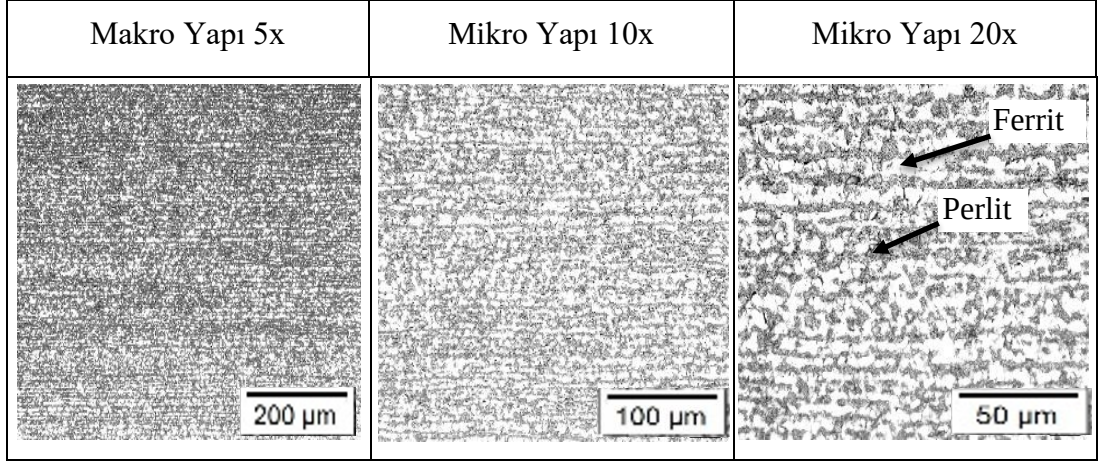
ITAB bölgesinde çatlamları önleme için kaynak sonrasında tavlama yapılması uygun olacaktır.

Çalışmamız önceki çalışmalarla kıyaslandığında ölçümler arasındaki bu farklılığın kullanılan ana malzemenin kimyasal bileşimi, kaynak uygulamasında kullanılan dolgu metalleri, kaynak tekniği uygulamasında kullanılan makinalar ile sertlik ölçümünde kullanılan makinalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Türk Loydu tarafından belirlenen sertlik standardı ise akma dayanımı 420 MPa'dan daha düşük çeliklerde sertlik değeri 350 HV değerinin üstüne çıkmaması yönündedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde çalışmamızda elde edilen değerler geçerlidir.

4.6. Makro ve Mikro Yapı Bulguları

8x10x55 boyutlarındaki mikro yapı numuneleri ATM GMBH Brillant220 marka hassas kesme cihazı ile kesilerek ATM GMBH Opal 410 marka sıcak bakalit cihazında bakalite alınmıştır. Bakalite alınma işlemi sonrasında ATM GMBH Saphir 520 marka tam otomatik hassas zımpara cihazı ile 60 / 180 / 320 / 600 / 800 / 1200'lük SiC zımparalarla 25-30 N yük altında 250 dev/dak aynı yönlü olarak zımparalanmıştır. Zımpara işleminden sonra aynı cihazda 9 µm / 6 µm / 3 µm / 1 µm boyutlu elmas çözeltiler ile parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler %3'lük Nital dağlama çözeltisi içerisinde 10 s dağlanmıştır. Dağlama işleminin hemen ardından numuneler saf su içerisine daldırılarak dağlama işlemi durdurulmuştur. Nital çözelti içerisinde dağlanan numuneler Olympus BX51TRF-6 marka optik mikroskop ile incelenerek kaynak dikişi, kaynak dikişi sınırı, ITAB ve ana malzeme bölgeleri ve bunların bir biri arasındaki geçiş bölgelerindeki mikro yapı fotoğraflanmıştır.

Grade A gemi çeliğinin yapısı incelendiğinde yapı düz haddelenmiştir. Mikro yapı hadde yönüne paralel olarak yönelmiş şekildedir. Ana matrisin ferrit ve perlit yapılardan oluştuğu görülmekte, aynı zamanda tane sınırlarında segragasyonlar ve inklüzyonlar olduğu görülmektedir. Şekil 4.30'da Grade A gemi çeliğinin çeşitli büyütme oranlarında mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.30. Grade A mikro yapı görüntüsü

Tozaltı (Çift taraflı - Tek taraflı) kaynak tekniği, gazaltı (Sinerjik-robotik) kaynak tekniği ve plazma ark kaynak tekniği ile birleştirilen numune gruplarının kaynak dikiş (KEP) makro görüntüleri Şekil 4.31’ da verilmiştir. Makro görüntüler incelendiğinde tozaltı kaynak yönteminde tek taraflı yapılan birleştirmenin dikiş görüntüsünün diğerine göre biraz daha iç bükey olduğu ve dikiş kenarlarında kısmen yanma olukları olduğu görülmektedir.

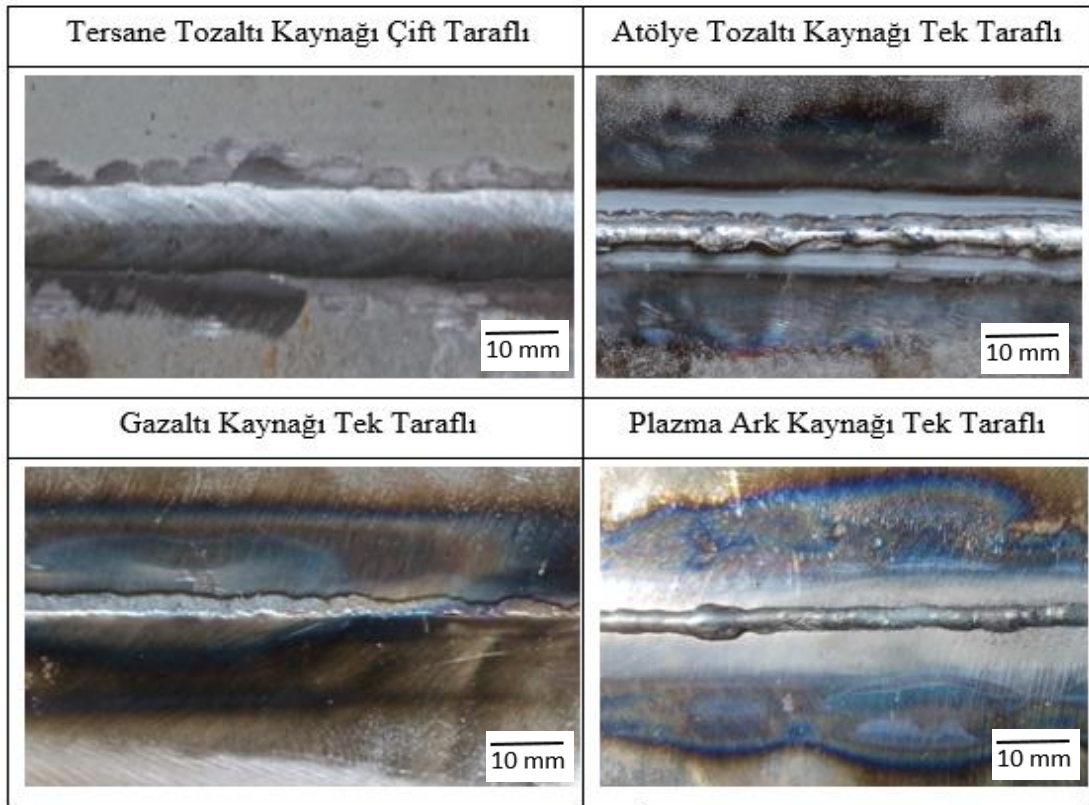


Şekil 4.31. Kaynak dikişi Kep görüntüleri

Bunun nedeni olarak kaynak kök aralığı verilerek birleştirme yapılması nedeniyle ısı girdisinin kaynak ile ana malzeme noktasında daha yüksek olması ve ısı enerjisi girdisinin dar bölgede yoğunlaşmasından dolayı olduğu düşünülmektedir.

Gazaltı kaynak tekniği ile yapılan birleştirmeler incelendiğinde kaynak dikişi üst bölgesinin (Kep) diğer yöntemlere göre daha yüksek ve dış bükey olduğu görülmektedir. Bunun nedeni sinerjik kaynak yönteminde ısı girdisinin düşük olması ve enerjinin kaynak bölgesine ek tek üzerinde gönderilmesi nedeniyle kaynak metali biriktirme kabiliyetinin yüksek olmasıdır. Bu yöntemde kaynak dikişi etrafında azda olsa kaynak metalinin damlacıklar halinde sıçramalar yaptığı görülmektedir.

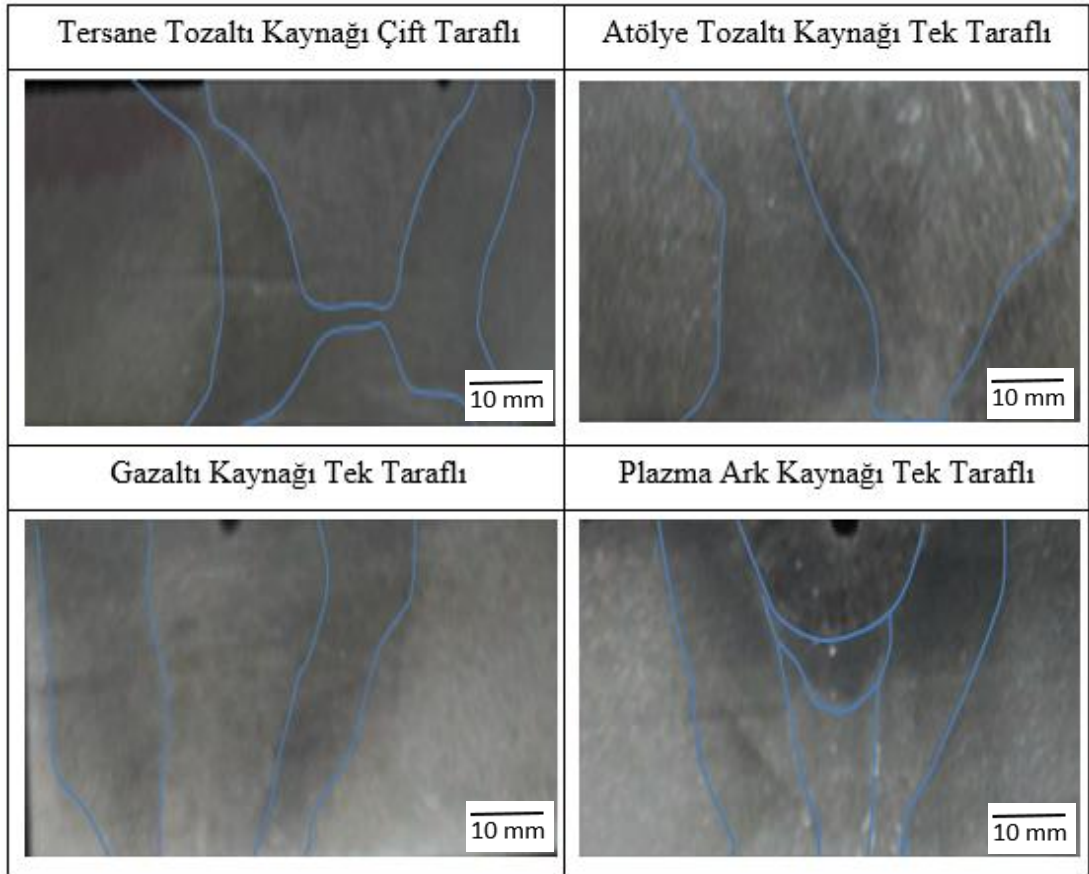
Plazma ark kaynak yönteminin kaynak dikişi incelendiğinde kaynak dikişinin dış bükey olduğu ve kaynak dikişinin genişlik ve yükseklik olarak ideal yapıda ve homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Bunun yanında kaynak dikişinde yanma olukları ve sıçramalar da bulunmamaktadır. Estetik açıdan ise en iyi dikiş görünümü plazma ark kaynak yönteminde elde edilmiştir. Kaynak dikişlerinin kök görüntüleri Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. Kaynak dikişi kök görüntüleri

Kaynak dikişlerinin kök bölgelerinin makro görüntüleri incelendiğinde nüfuziyet olarak tozaltı tek taraflı, gazaltı ve plazma ark kaynak yöntemlerinde yeterli sonuçlar elde edildiği Şekil 4.32’de görülmektedir. Tozaltı kaynak tekniği ile yapılan çift taraflı birleştirme dikiş görünümü olarak üst kısım aynı olmakla birlikte nüfuziyet açısından ne kadar yeterli olduğu doğrudan anlaşılmamaktadır.

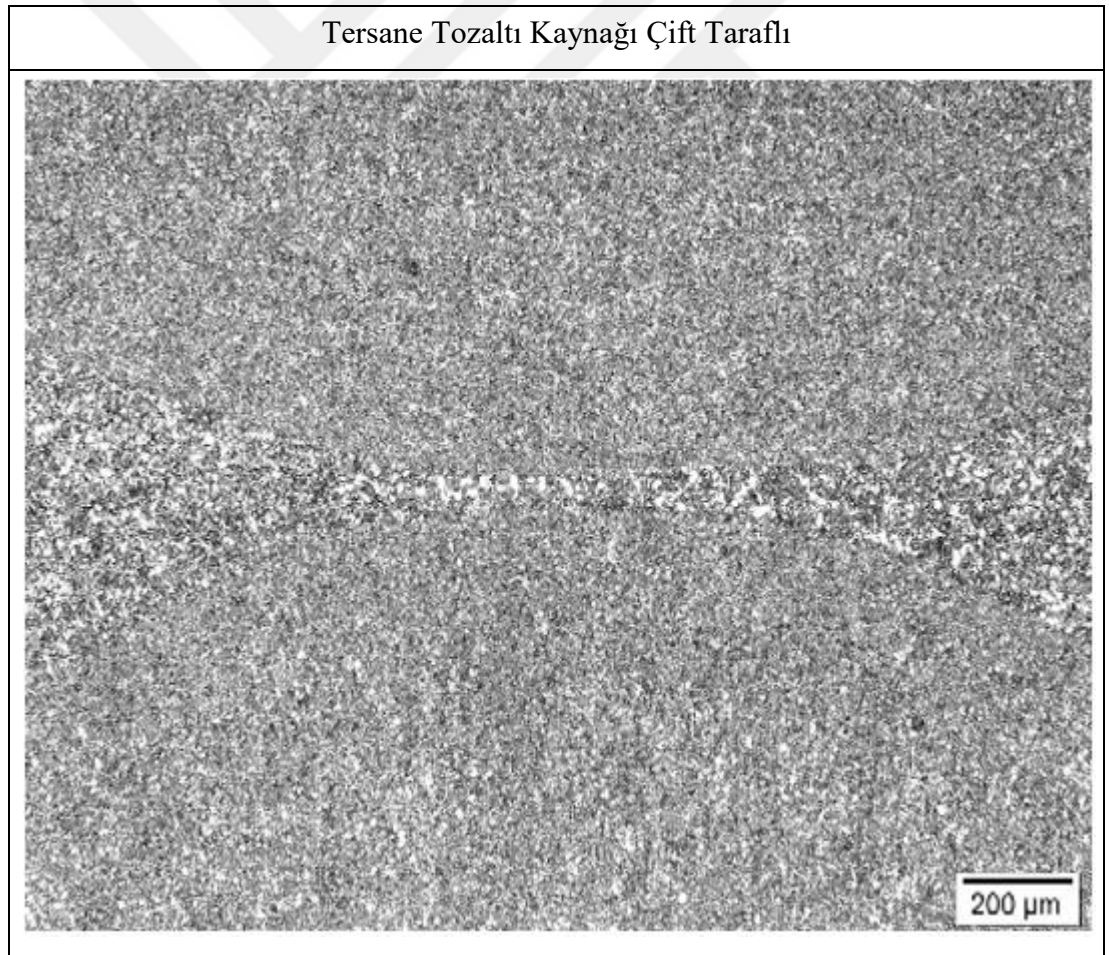
Kaynak dikişlerinin makro kesit görüntüleri (Şekil 4.33) incelendiğinde tersane ortamında yapılan çift taraflı tozaltı kaynağında kaynak dikişinin merkezinde birleşmeyen kısım kaldığı görülmektedir. Bu durum mekanik özellikleri kötü etkilemiştir. Yaptığımız saha araştırmalarında çift taraflı birleştirmelerde orta kısımda kaynak boşluklarının oluşma oranının yüksek olduğu görülmüştür. Bizim çalışmamızda da benzer bir kaynak hatası olduğu görülmüştür. Bu tür bir hata Türk Loydu tarafından da kabul edilmeyen bir hatadır ve kaynak işleminin düzeltilmesi gerekmektedir. Diğer yöntemler incelendiğinde nüfuziyet açısından herhangi bir sorun olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.33. Kaynak dikişi makro kesit görüntüleri

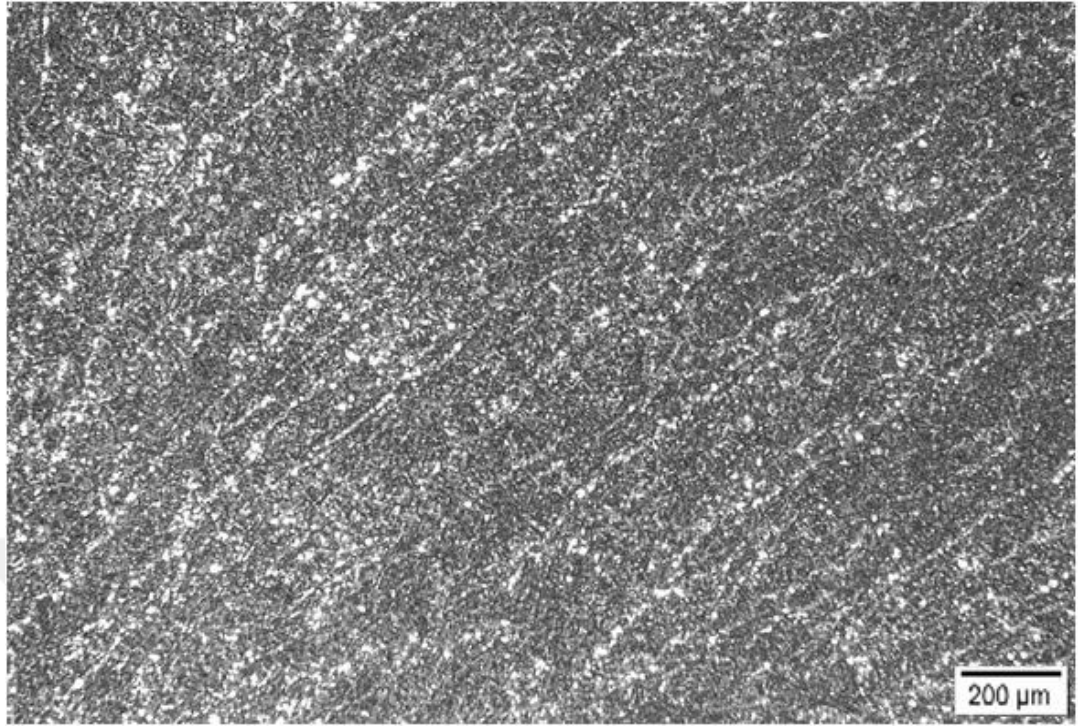
Kaynak dikişı açısından en dar yapı plazma ark kaynak yönteminde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni plazma ark kaynak yönteminde kaynak bölgesi herhangi bir ek malzeme kullanılmadan plazma sütunu ile kesilerek birleştirilmesinden dolayıdır. Bunun yanında plazma ark kaynak yönteminde kapak dikişı atıldığı için kaynak bölgesinde birden fazla ısı bölgesi olduğu görülmüştür. Literatürde belirtildiği üzere kaynak dikişlerinde çoklu pasolar bir önceki üzerinde ısı işlem etkisi yapmakta ve bölgenin sertliğini düşürmektedir. Bu durum sertlik sonuçları açısından da böyledir. Plazma ark kaynak dikişinin üst kısmının sertlik değeri 216 HV iken kök bölgesinin sertlik değeri 112 HV olarak ölçülmüştür.

Kaynak yöntemlerinin kaynak dikişlerinin mikroyapı görüntüleri çeşitli büyütme oranlarında Şekil 4.34’ de gösterilmiştir.

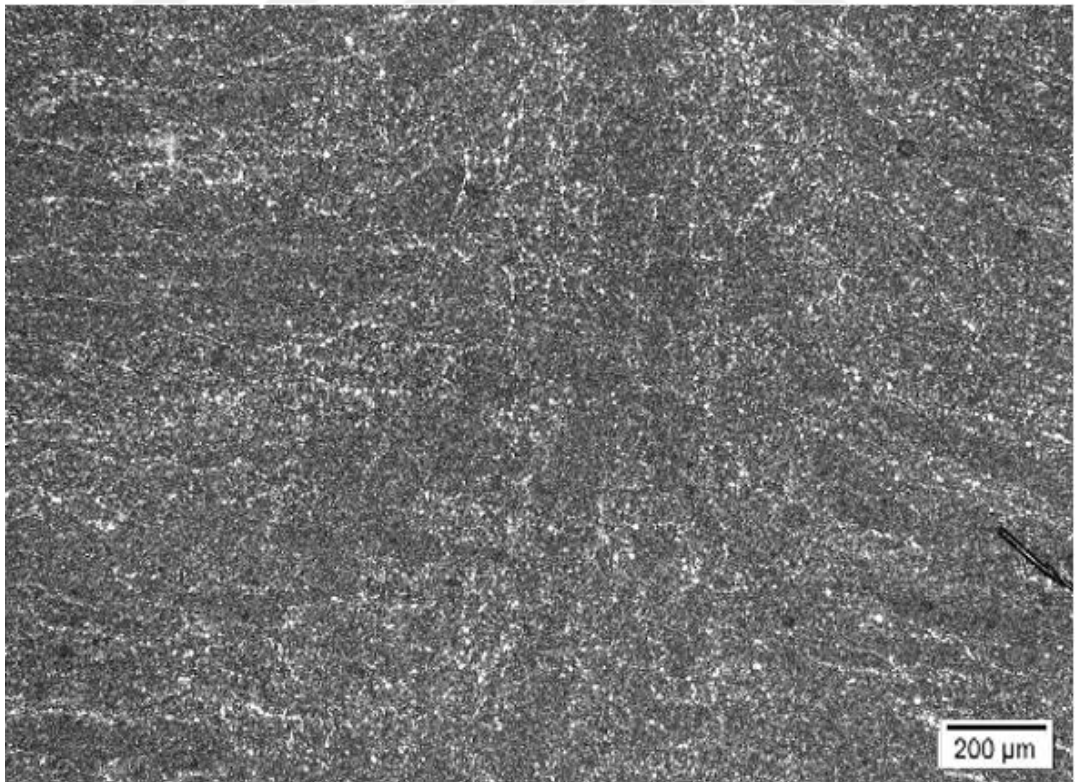


Şekil 4.34. Kaynak dikişı (5x) mikro yapı görüntüleri

Atölye Tozaltı Kaynağı Tek Taraflı

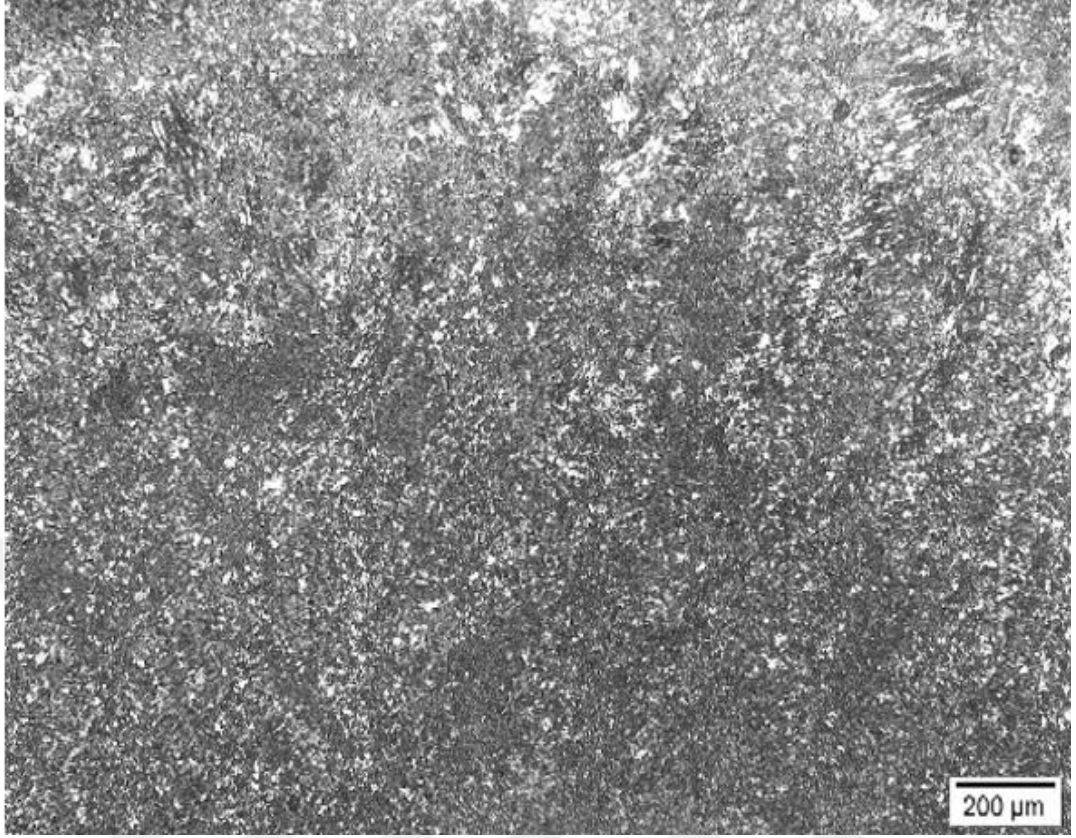


Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı



Şekil 4.34. Kaynak dikişi (5x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

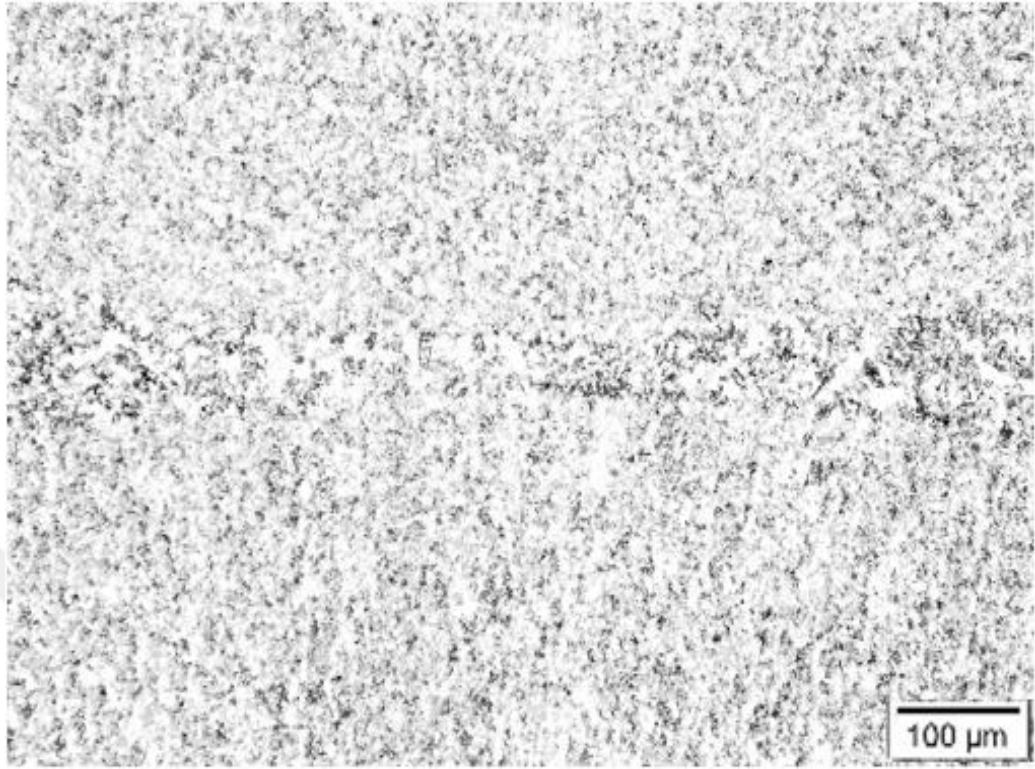
Plazma Ark Kaynağı Tek Taraflı



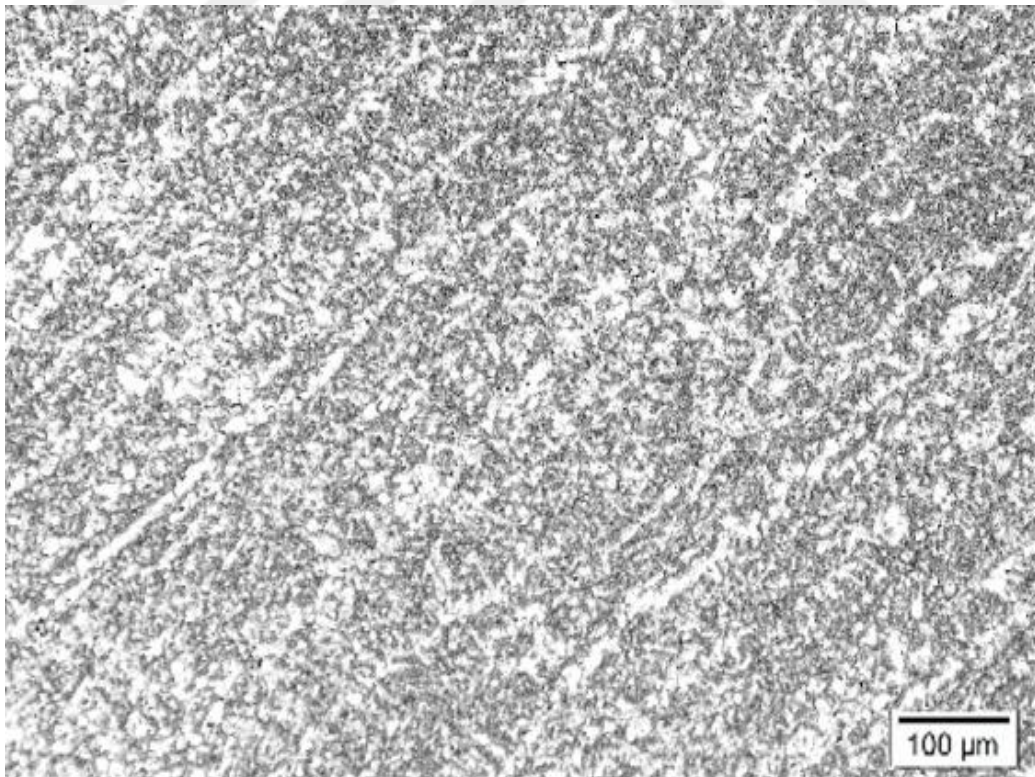
Şekil 4.34. Kaynak dikişi (5x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Şekiller incelendiğinde tozaltı kaynak yönteminin çift taraflı olan birleştirmesinin kaynak dikişi mikro yapısı daha küçük tane yapısında ve daha karmaşık bir yönelime sahiptir. Tek taraflı olanda ise yapı kaynak dikişi merkezine doğru yönelmiş dendritik ve kolonsal yapıdadır. Bunun nedeni ısı girdisinin yüksek olması ve soğuma hızının yavaş olmasıdır. Kaynak dikişlerinin 10x büyütme oranındaki görüntüleri Şekil 4.35’ de verilmiştir.

Tersane Tozaltı Kaynağı Çift Taraflı

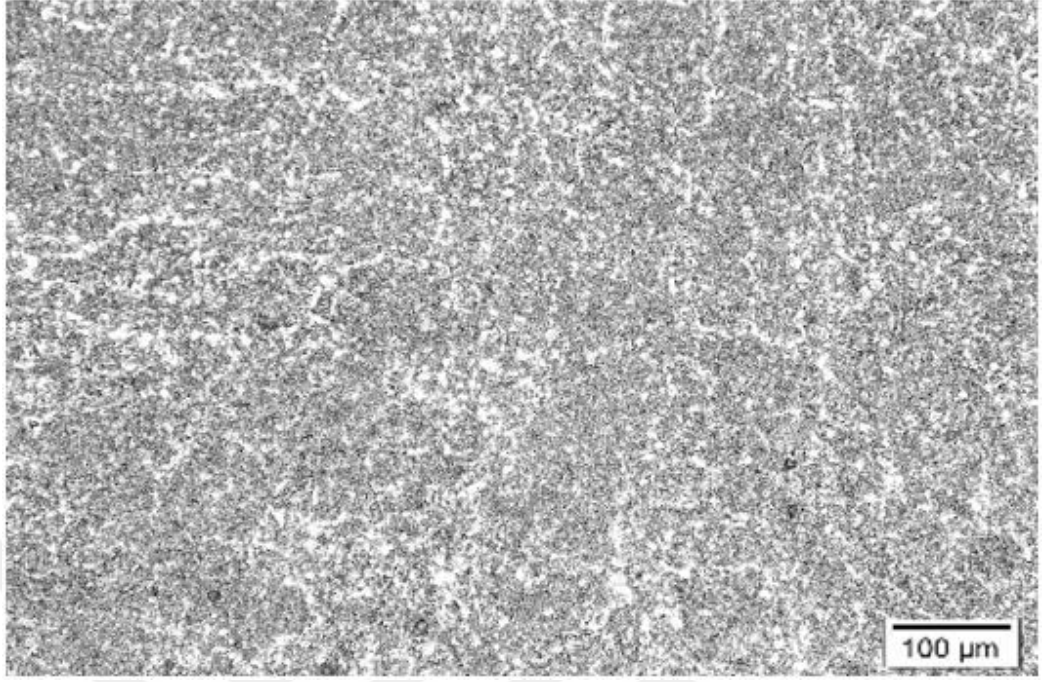


Atölye Tozaltı Kaynağı Tek Taraflı

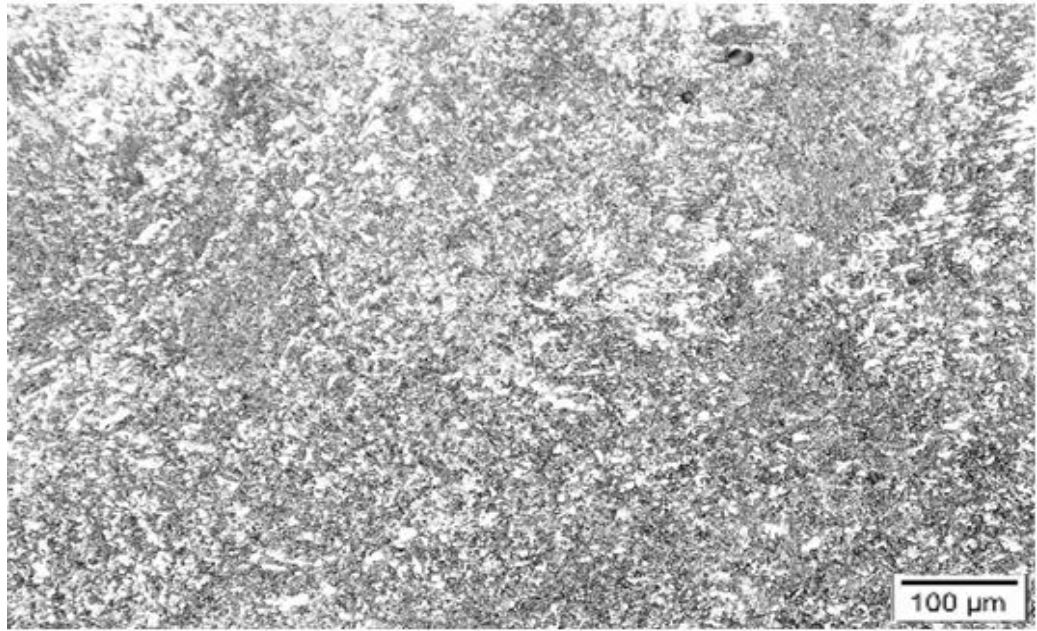


Şekil 4.35. Kaynak dikişi (10x) mikro yapı görüntüleri

Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı



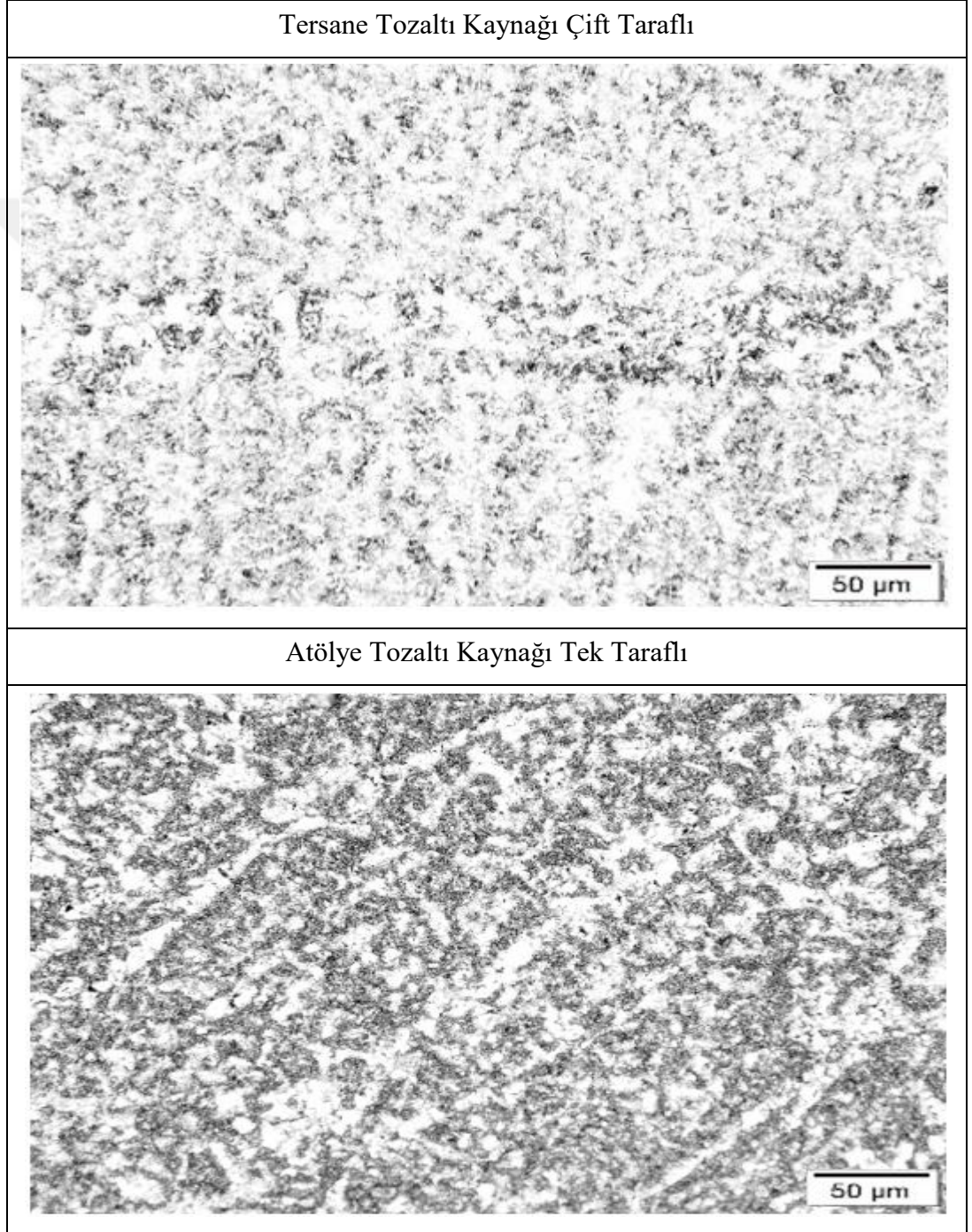
Plazma Ark Kaynağı Tek Taraflı



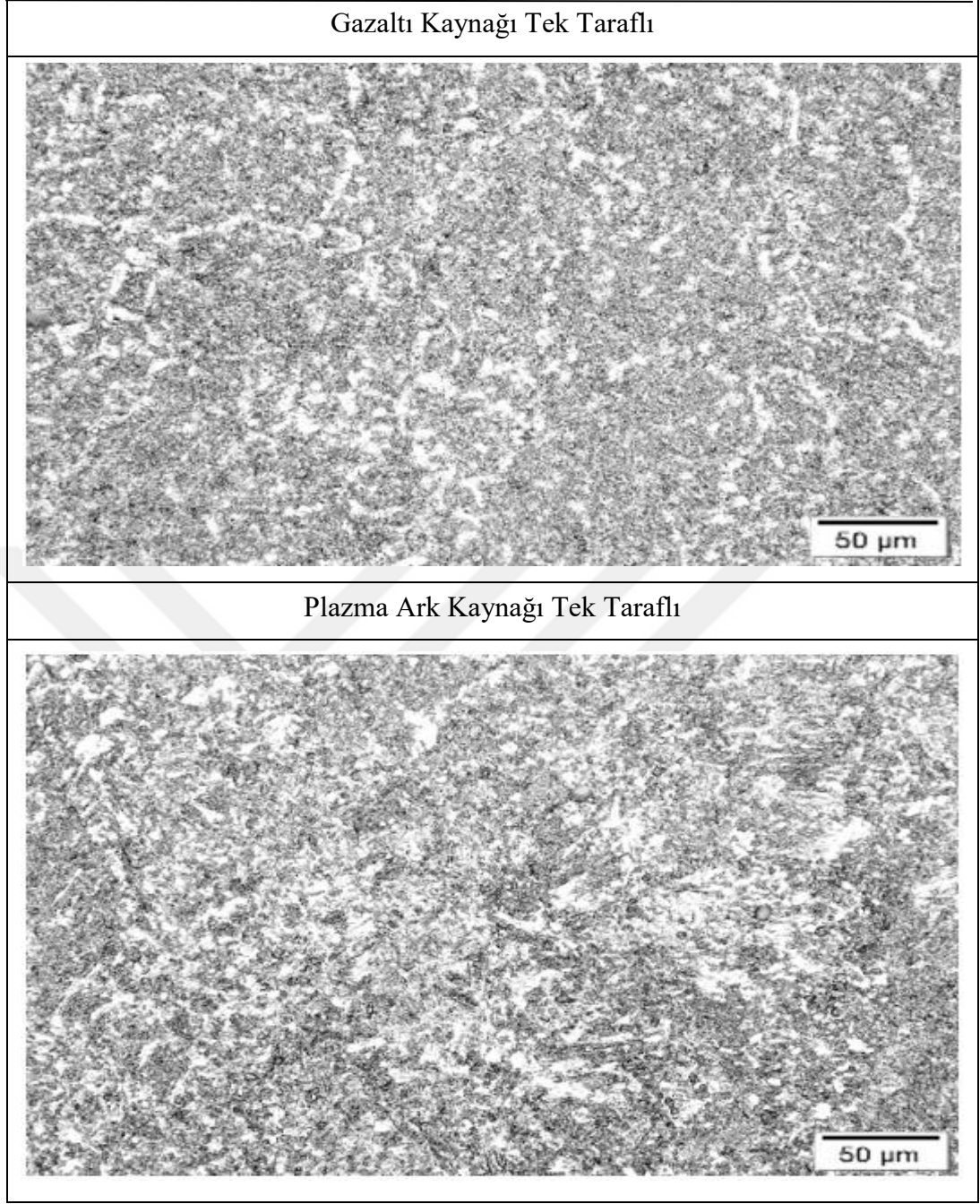
Şekil 4.35. Kaynak dikişi (10x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Gazaltı kaynak yönteminin dikiş mikro yapısı incelendiğinde yapının kaynak dikişi merkezine doğru dendritik ve kolonsal yapıda olduğu fakat tozaltı kaynak yöntemine göre daha küçük tane yapılı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak ısı girdisinin tozaltı kaynak yöntemine göre daha düşük olmasıdır. Plazma ark kaynak yönteminin kaynak dikişinin mikro yapısında tane yapısının nispeten küçük olduğu, yönlenmenin

oluşmadı ve diğer yöntemlere göre yapının daha homojen olduğu görülmektedir. Bu durum plazma ark kaynak yönteminde Keyhole tekniğinde ek malzeme kullanılmadan malzemenin plazma sütunu ile kesilerek birleştirilmesi olarak görülmektedir. Aynı zamanda ısı girdisi diğer yöntemlere göre daha düşük ve daha dar bir alanda gerçekleşmesidir. Şekil 4.36’da kaynak dikişlerinin 20x büyütme oranındaki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.36. Kaynak dikişi (20x) mikro yapı görüntüleri



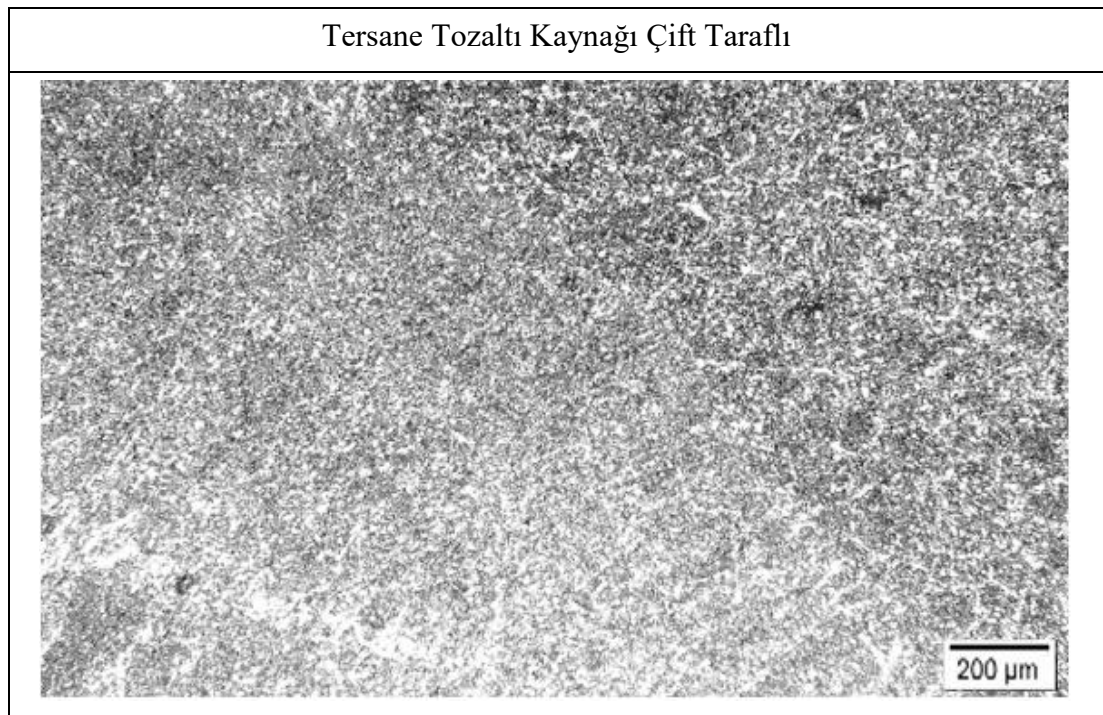
Şekil 4.36. Kaynak dikişi (20x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Kaynak dişlerinde enerji girişi ve soğuma hızlarına bağlı olarak farklı mikro yapılar oluşmaktadır. Çift taraflı tozaltı kaynak uygulamasında mikroyapının daha çok poligonal ferrit yapıda olduğu görülmektedir. Tek taraflı tozaltı kaynak uygulamasının mikro yapısı ise daha çok levhalı Widmanstatten ferrit ve kolonsal yapıda olduğu görülmektedir. Gazaltı kaynağı uygulamasında ise mikro yapı hem poligonal ferrit hem de levhalı Widmanstatten ferrit yapıdadır. Plazma ark kaynağı uygulamasında mikro yapı daha çok iğnesel ferrit şeklinde ve tane sınırlarında widmanstatten ferrit şeklindedir. Plazma ark kaynağında iğnesel ferrit yapının oluşması kaynak dikişinin

mekanik özelliklerinin daha iyi olmasına neden olmuştur. Çalışmamızda da dayanımı en yüksek olan numeneler plazma ark kaynak yöntemindedir.

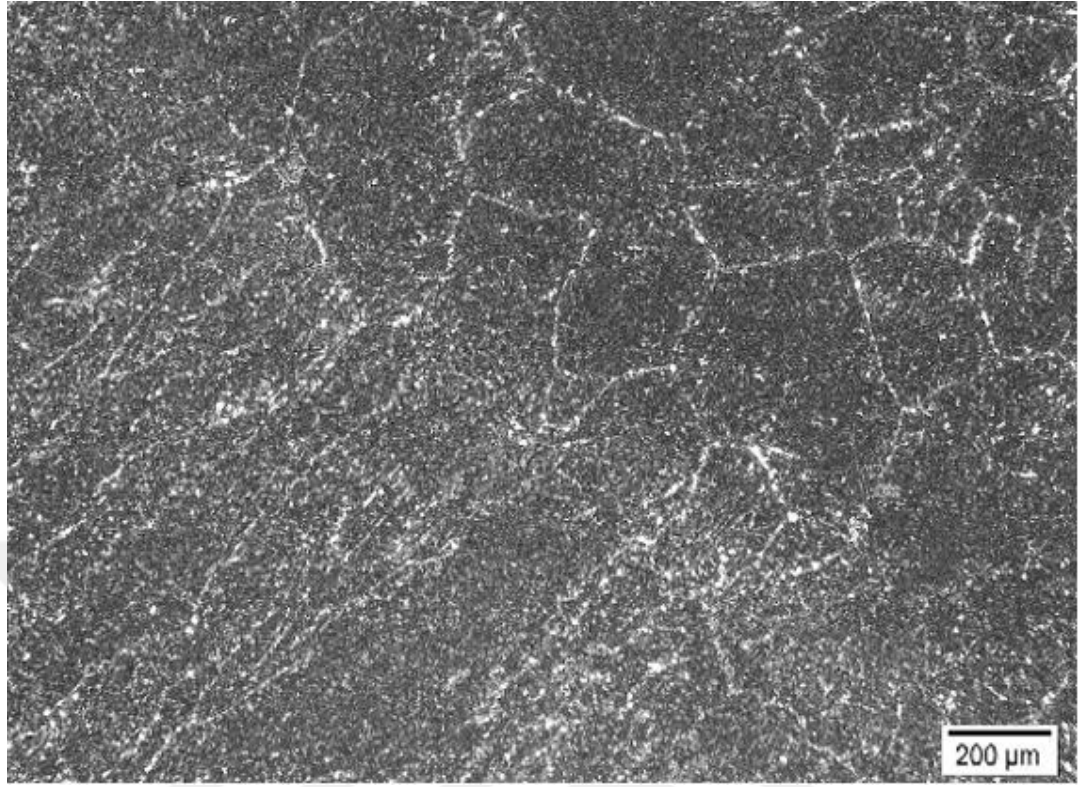
Tüm kaynak yöntemlerinin mikro yapılarının ferrit ve perlit yapıdan oluştuğu görülmektedir. Bunun yanında tane sınırlarında karbür adacıklarının ve segragasyonların olduğu görülmektedir. Tozaltı kaynak yönteminin çift taraflı kaynak uygulamasında bir numune haricinde tüm kaynak uygulamalarında mekanik özellikleri etkileyecek derecede inklüzyona rastlanmamıştır. Çift taraflı tozaltı kaynak uygulamasında karşılaşılan inklüzyonun nedeninin parçaların plazma kesim yüzeylerinde oluşan sert ve yanmış yapının kaynaklı birleştirmeden önce yeteri kadar temizlenmemiş olması olduğu düşünülmektedir.

Kaynak dikişi ile ITAB geçiş bölgesinin çeşitli büyütme oranlarındaki mikroyapı görüntüleri Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39 da gösterilmektedir. Bu bölgelerde tüm kaynak yöntemlerinde ferrit ve perlit yapısının bir bant halinde kümeleşmesi olan bantlaşma hatası olmadığı görülmektedir. Yine dikiş ile ana malzeme bağlanma bölgelerinde her hangi bir zafiyetin olmadığı görülmektedir. Kaynak dikişinden ITAB bölgesine geçişte tane yapılarında yönlenmiş dentritik yapıdan belirli bir yönü olmayan daha büyük yapıya geçiş yaptığı görülmektedir.

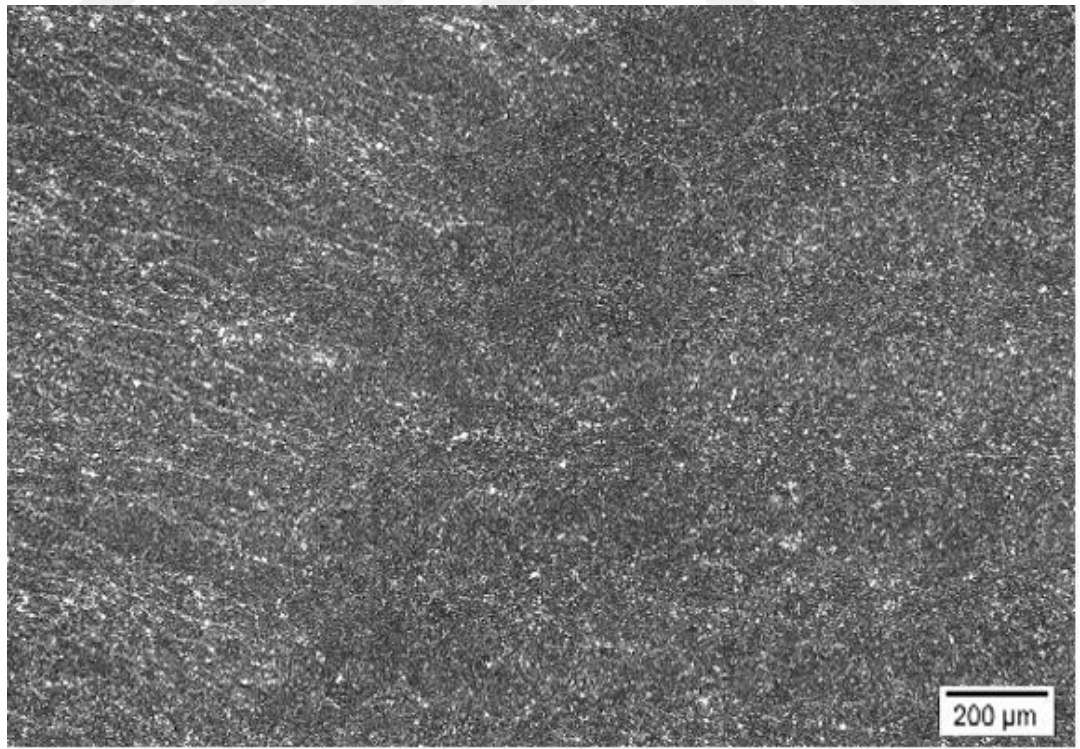


Şekil 4.37. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (5x) mikro yapı görüntüleri

Atölye Tozaltı Kaynağı Tek Taraflı

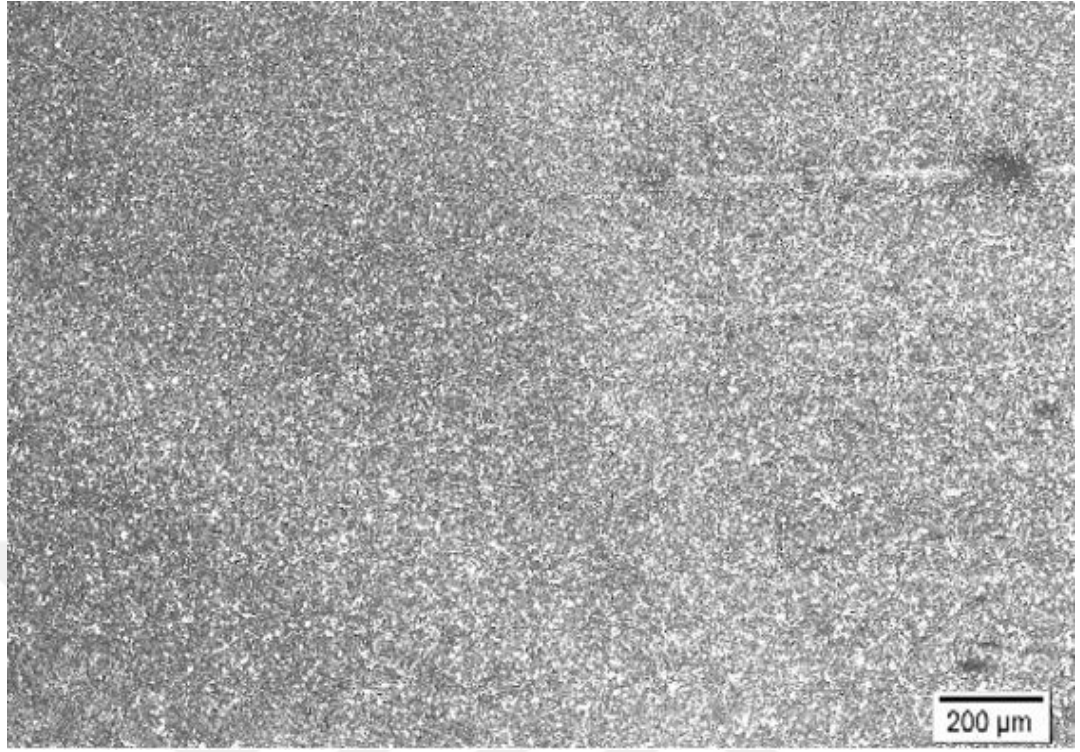


Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı



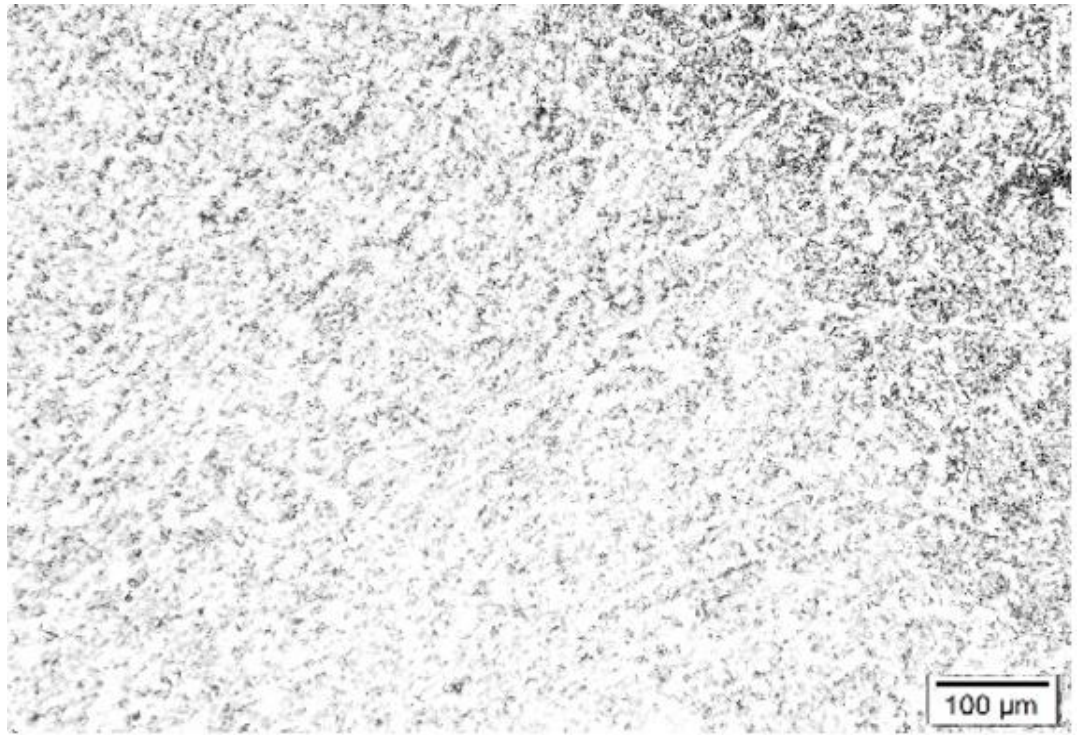
Şekil 4.37. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (5x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Plazma Ark Kaynağı Tek Taraflı



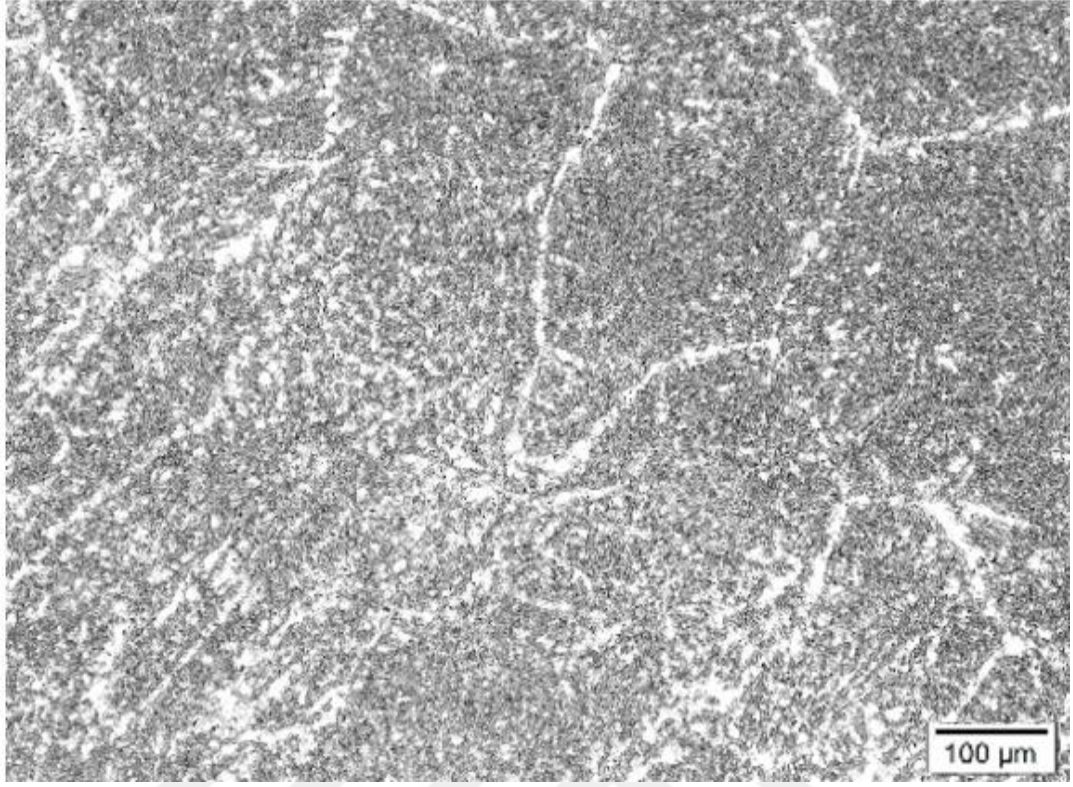
Şekil 4.37. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (5x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Tersane Tozaltı Kaynağı Çift Taraflı

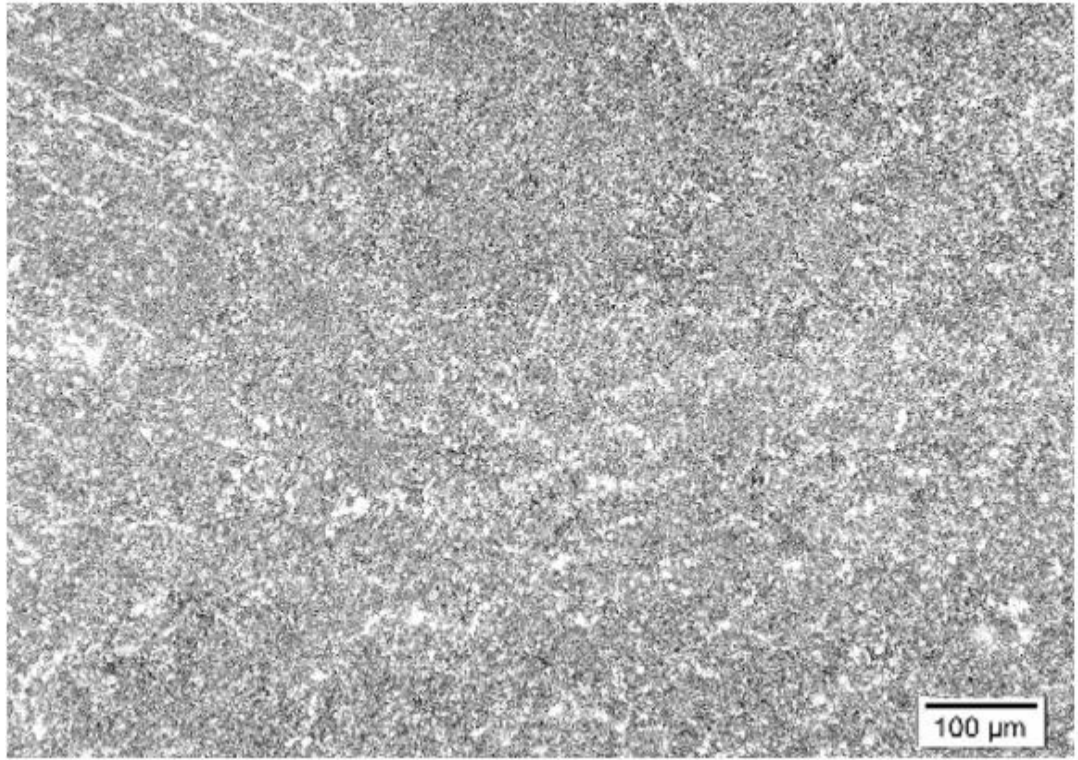


Şekil 4.38. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (10x) mikro yapı görüntüleri

Atölye Tozaltı Kaynağı Tek Taraflı

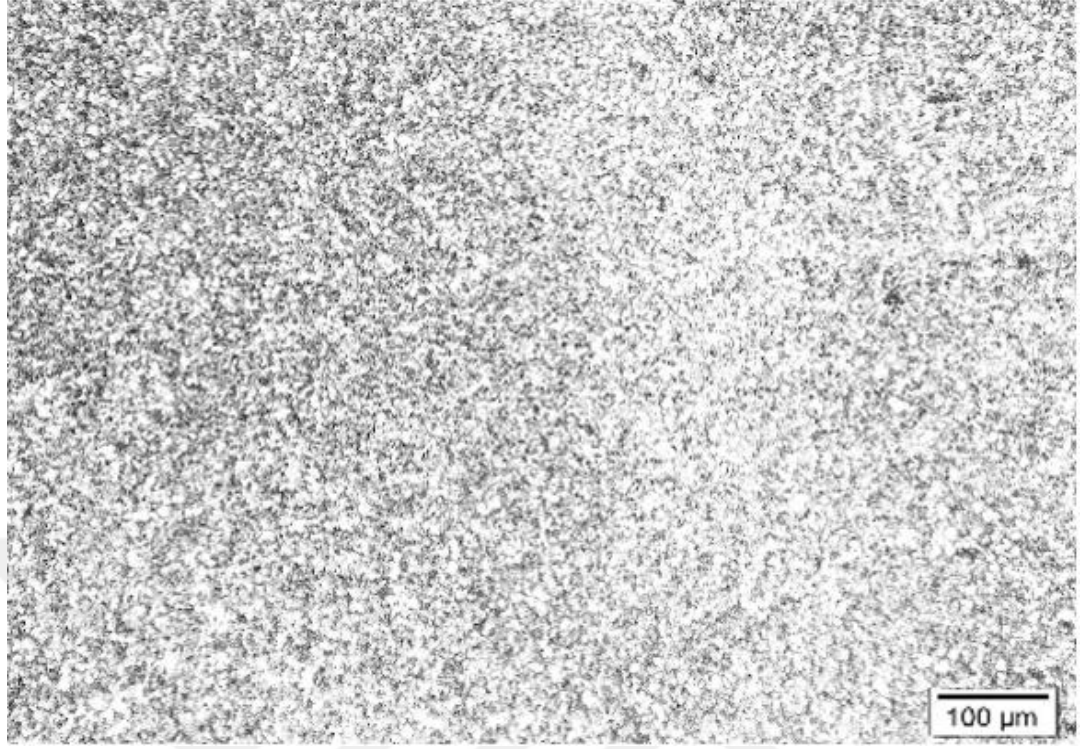


Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı



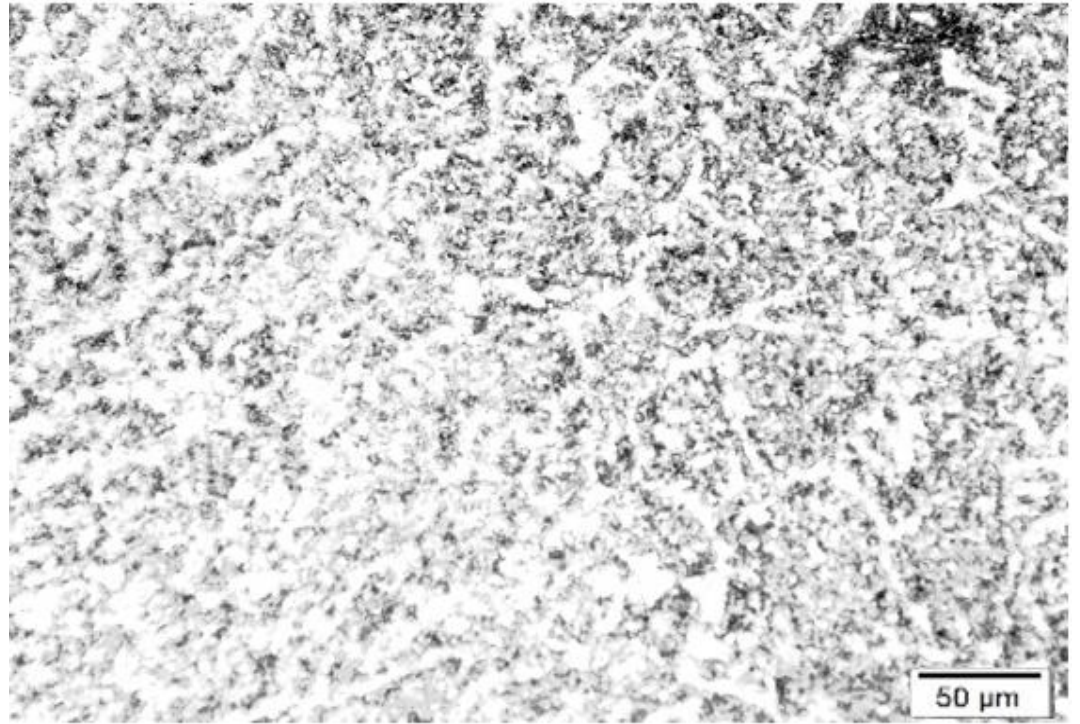
Şekil 4.38. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (10x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Plazma Ark Kaynağı Tek Taraflı



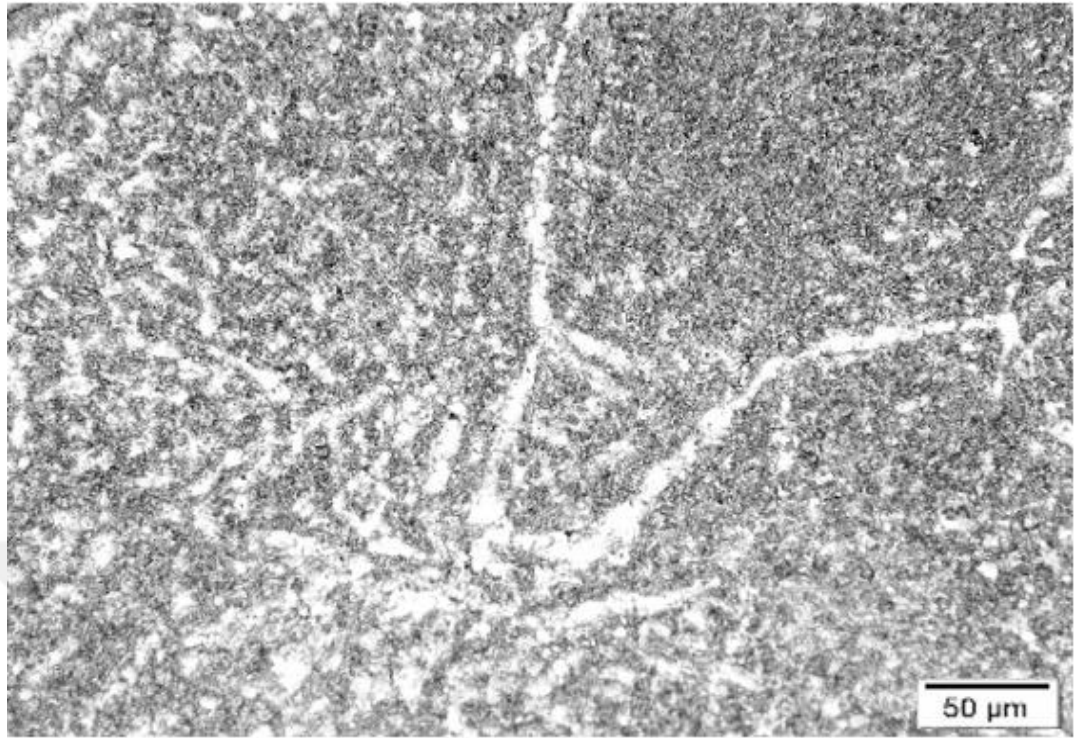
Şekil 4.38. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (10x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Tersane Tozaltı Kaynağı Çift Taraflı

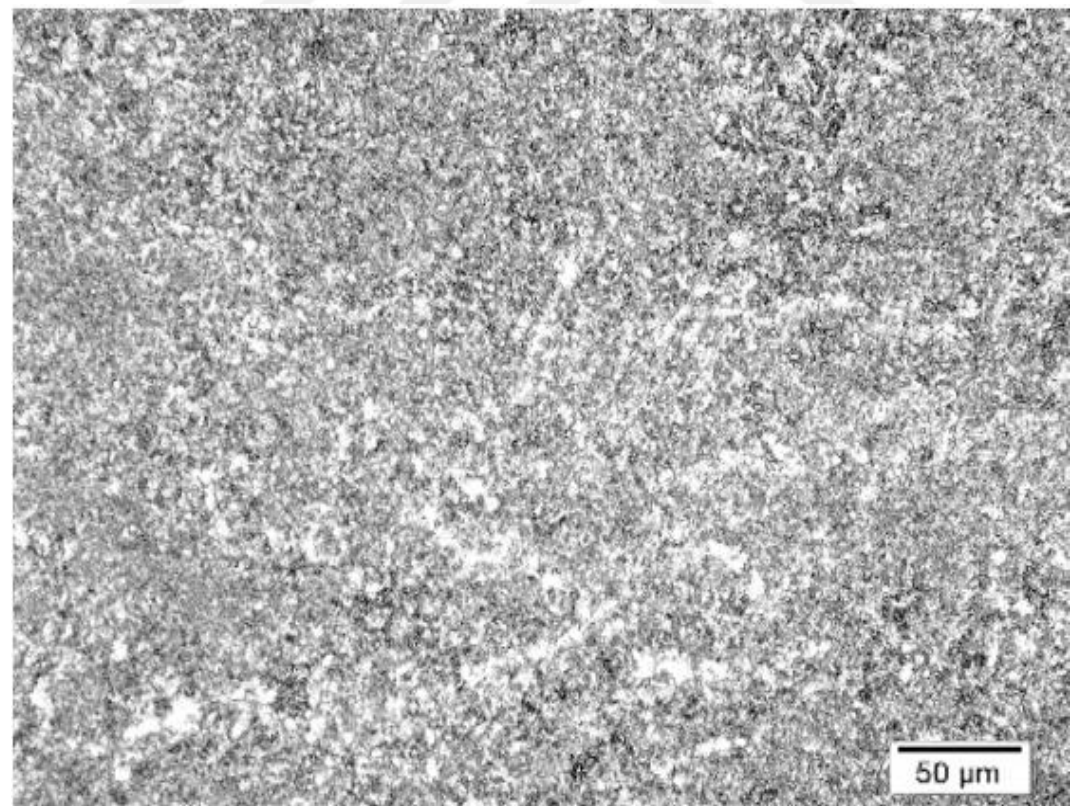


Şekil 4.39. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (20x) mikro yapı görüntüleri

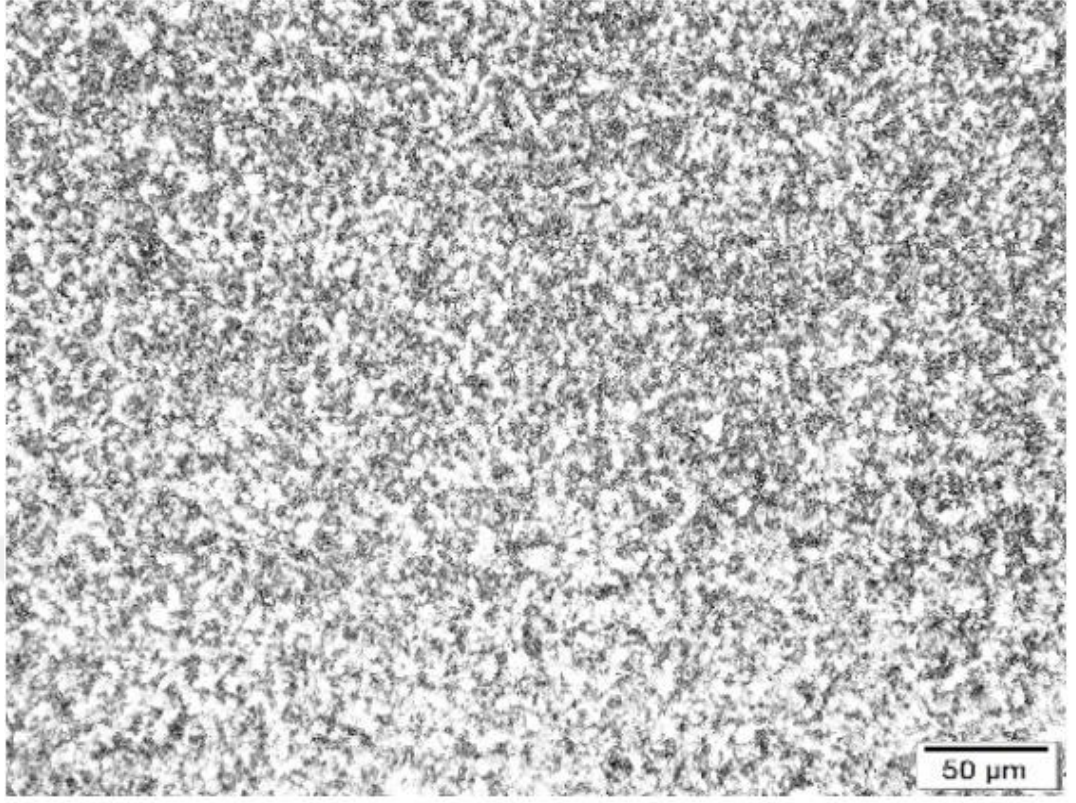
Atölye Tozaltı Kaynağı Tek Taraflı



Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı



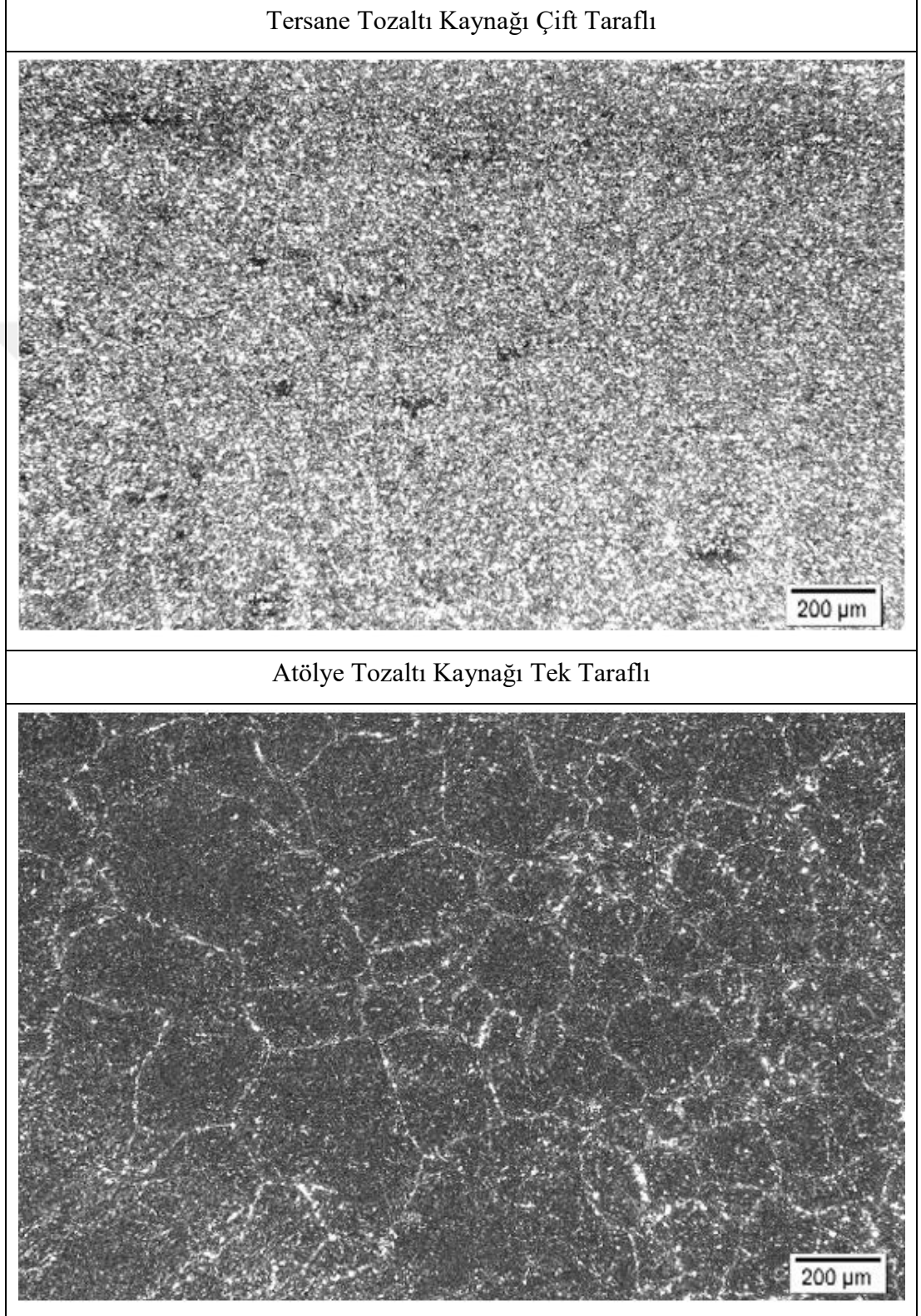
Şekil 4.39. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (20x) mikro yapı görüntüleri (Devam)



Şekil 4.39. Kaynak dikişi – ITAB geçişi (20x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

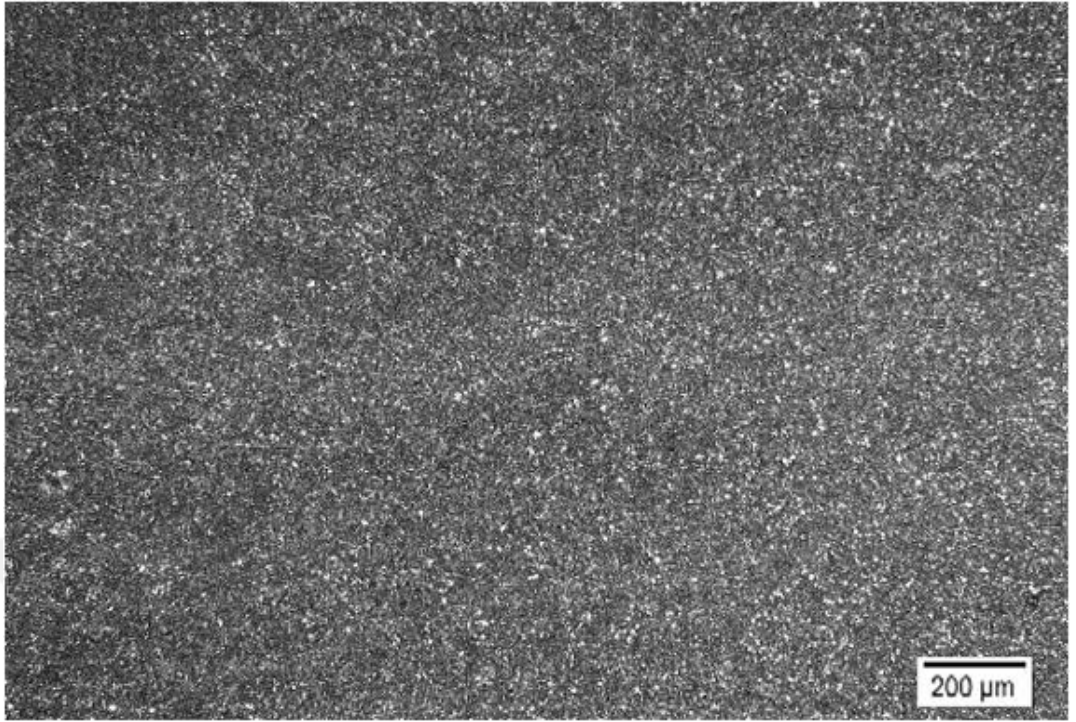
Kaynak yöntemlerine göre ITAB bölgeleri incelendiğinde tozaltı kaynak yöntemlerinde tane yapısının gazaltı ve plazma ark kaynak yöntemlerine göre daha büyük yapıda olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ısı girdisinin diğer yöntemlere göre daha fazla olmasıdır. Tozaltı kaynak yönteminde en büyük tane yapısı tek taraflı kök aralıklı yapılan birleştirmede elde edilmiştir. Bunun nedeni ise fazla ısı girdisinin malzeme içerisine dar bir alandan uygulanması ve buna bağlı olarak ısı transfer süresinin uzayarak soğumanın daha geç olmasıdır. ITAB bölgesinde iri tanelerin oluşması bu bölgenin sertliğini artırmakta ve mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Çalışmamızda elde ettiğimiz sertlik sonuçları da bu tezi doğrulamaktadır. Çalışmamızda tek taraflı tozaltı kaynak uygulamasında ITAB bölgesin sertlik değeri 214 HV iken kaynak dikişi sertlik değeri 183 HV olarak ölçülmüştür. Bu durum ITAB bölgesinde dayanımı düşürür ve kırılmalara neden olabilir. Bu yüzden kaynak işleminden sonra bir normalizasyon ısıl işlemi yapılmalıdır. ITAB bölgesinde en küçük tane yapısı plazma ark kaynak yönteminde elde edilmiştir. Bu durum kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerinin iyi olmasına katkıda bulunmaktadır. Yaptığımız mekanik testler sonucunda da en iyi mekanik

özellikler plazma ark kaynak yönteminde elde edilmiştir. Kaynak yöntemlerine göre Şekil 4.40 ile Şekil 4.42 arasında ITAB mikroyapı görselleri, Şekil 4.43 ile Şekil 4.45 arasında ise ITAB – Ana malzeme geçişi mikroyapı görselleri verilmiştir.

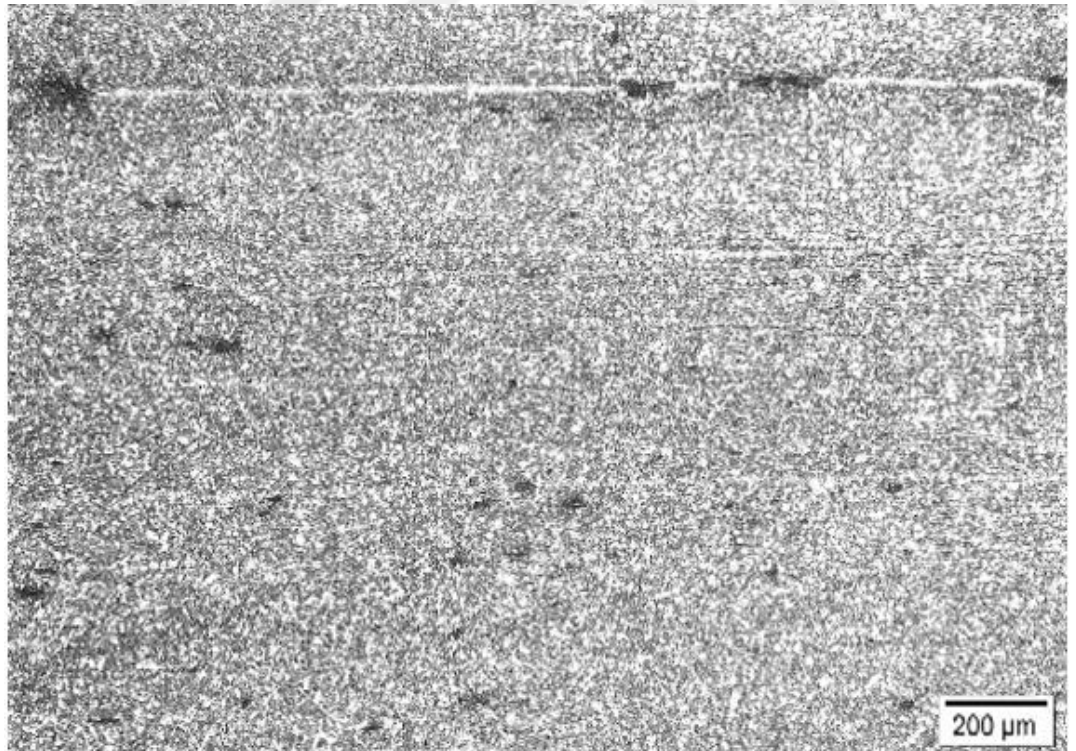


Şekil 4.40. ITAB (5x) mikro yapı görüntüleri

Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı



Plazma Ark Kaynağı Tek Taraflı

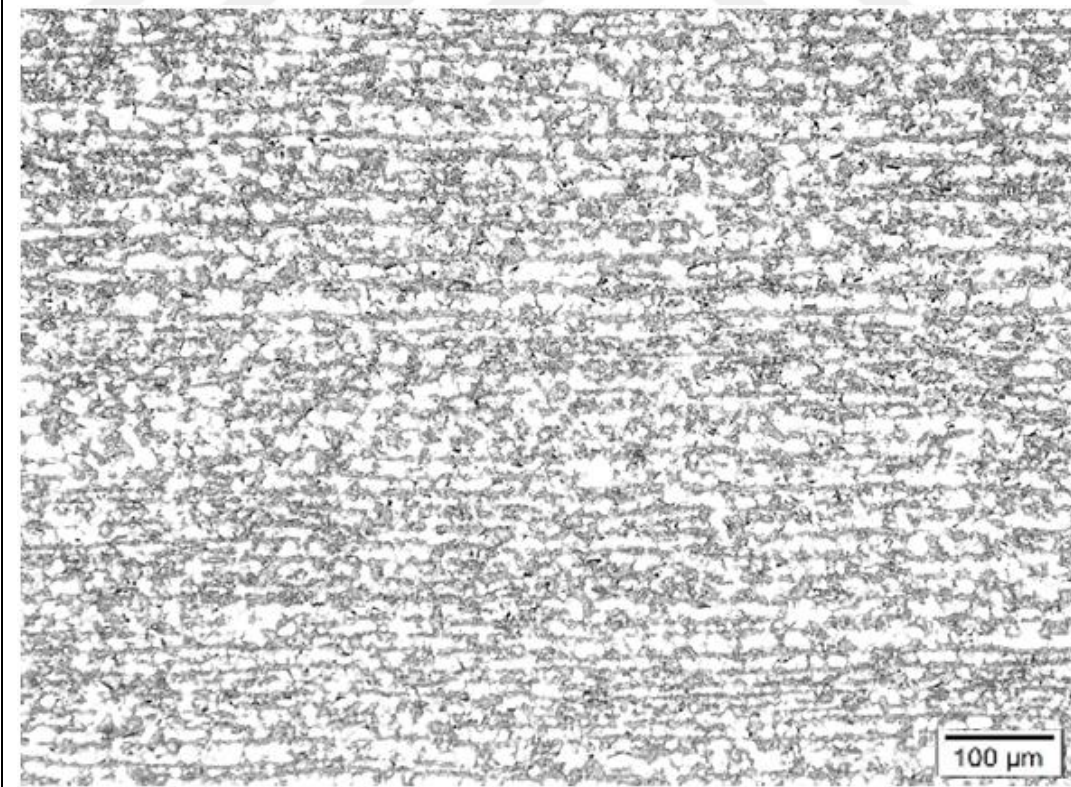


Şekil 4.40. ITAB (5x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Tersane Tozaltı Kaynağı Çift Taraflı

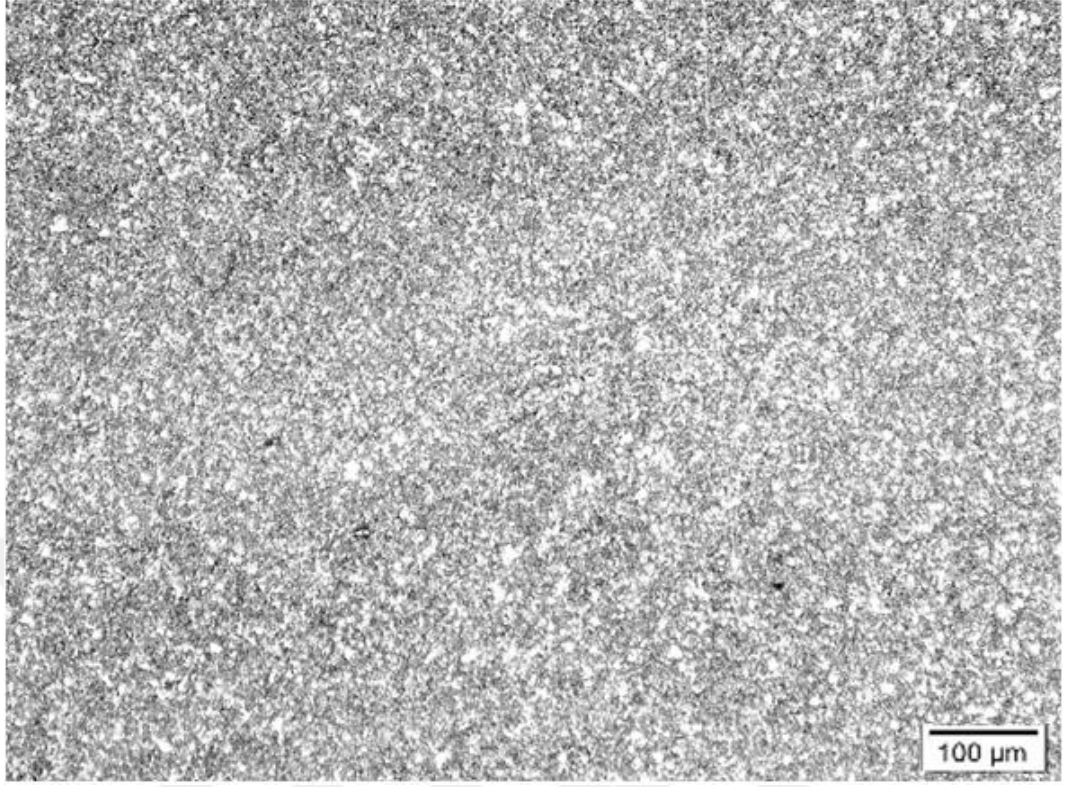


Atölye Tozaltı Kaynağı Tek Taraflı

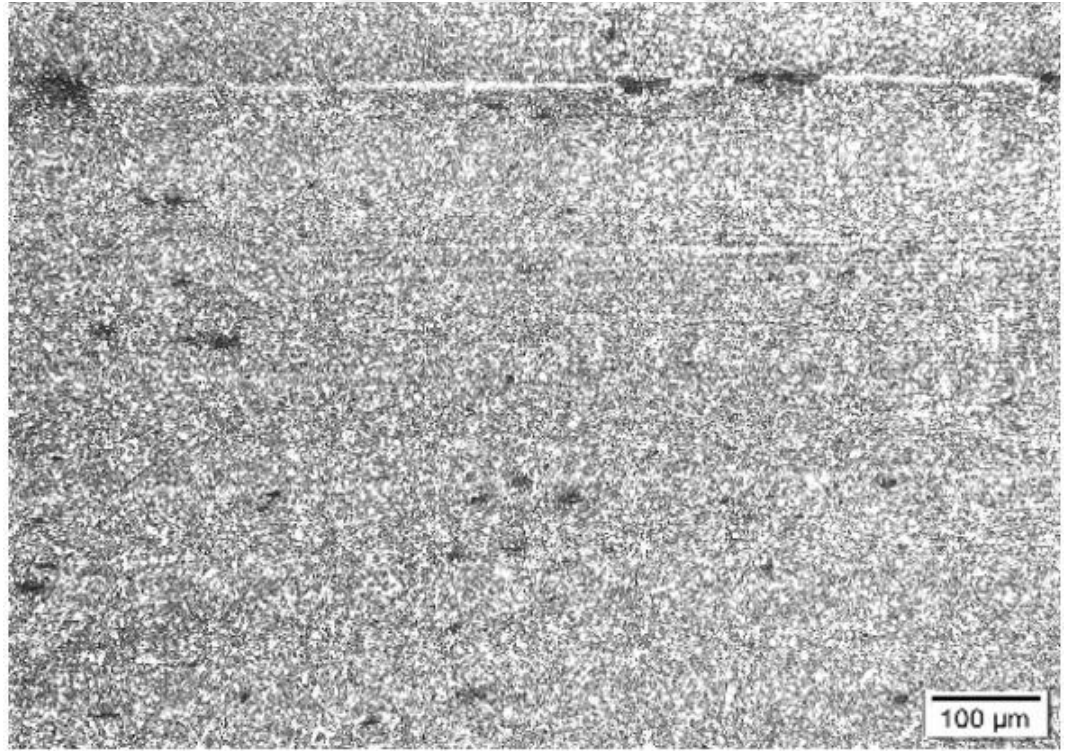


Şekil 4.41. ITAB (10x) mikro yapı görüntüleri

Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı

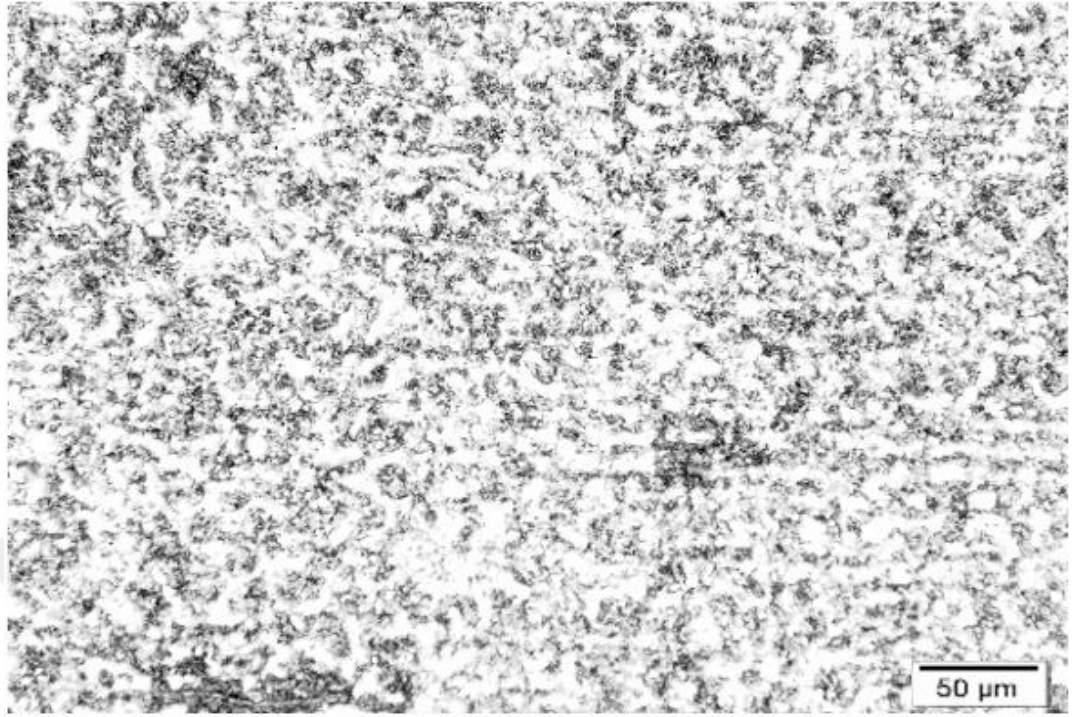


Plazma Ark Kaynağı Tek Taraflı

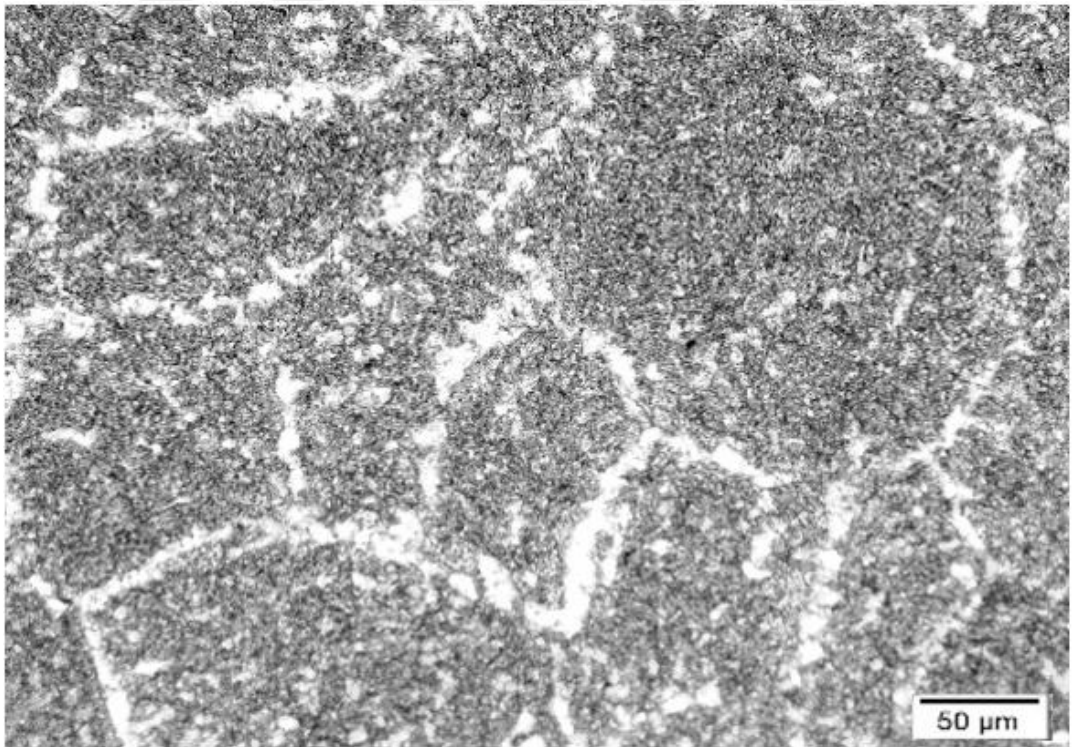


Şekil 4.41. ITAB (10x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Tersane Tozaltı Kaynağı Çift Taraflı

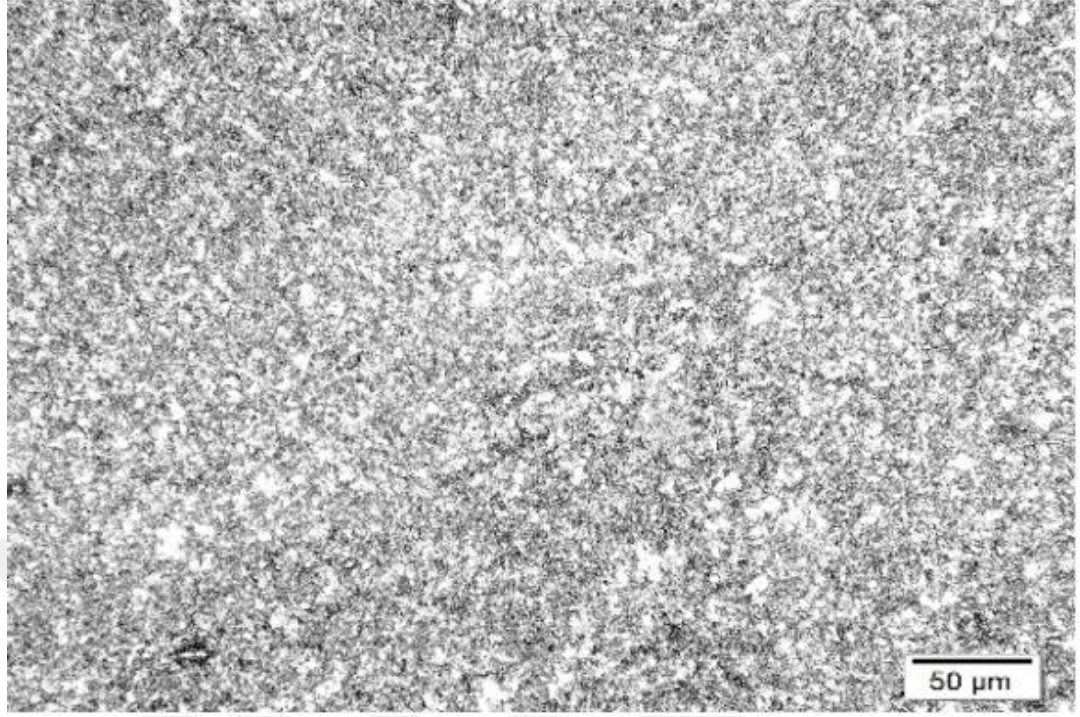


Atölye Tozaltı Kaynağı Tek Taraflı

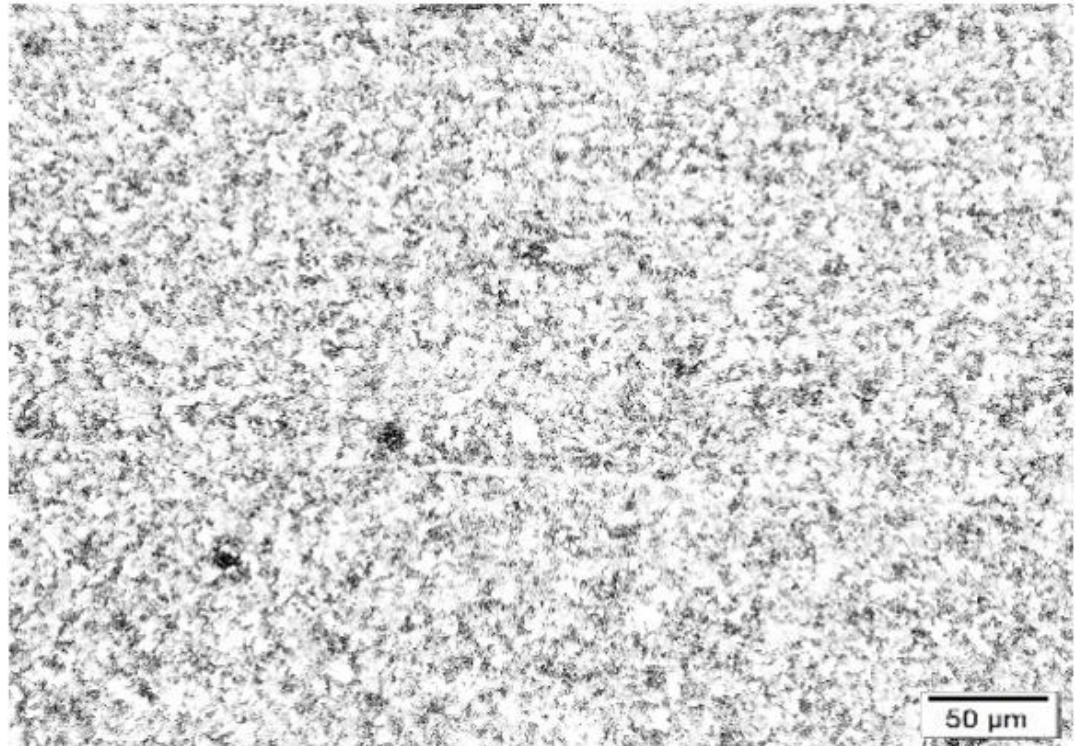


Şekil 4.42. ITAB (20x) mikro yapı görüntüleri

Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı

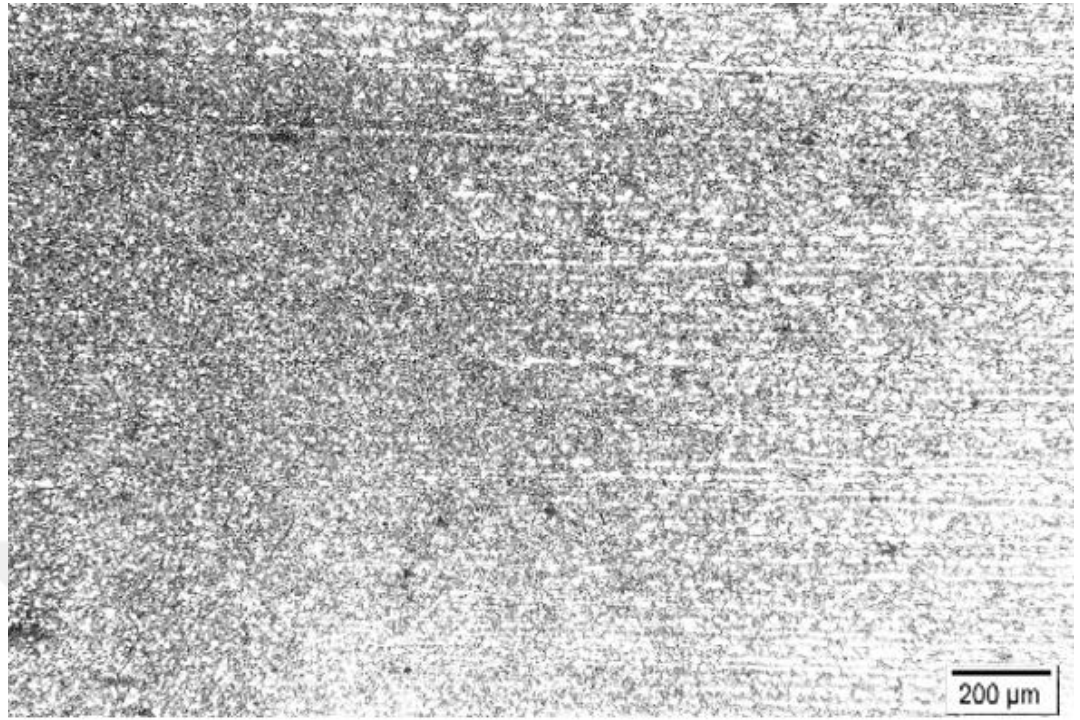


Plazma Ark Kaynağı Tek Taraflı

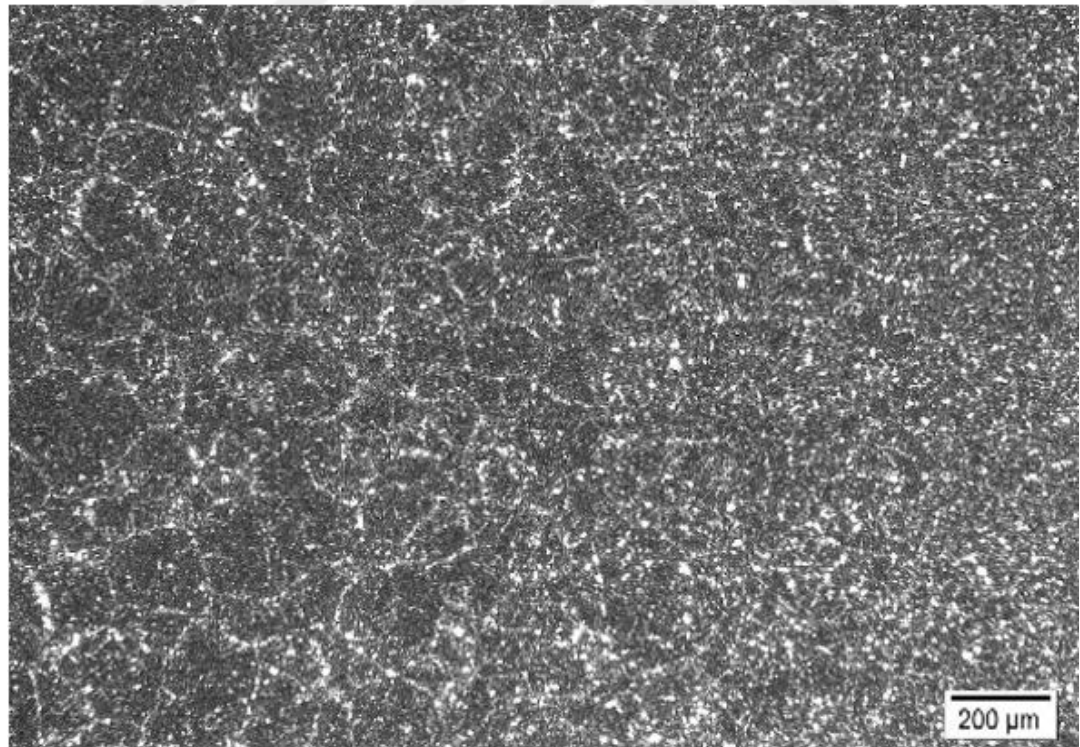


Şekil 4.42. ITAB (20x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Tersane Tozaltı Kaynağı Çift Taraflı

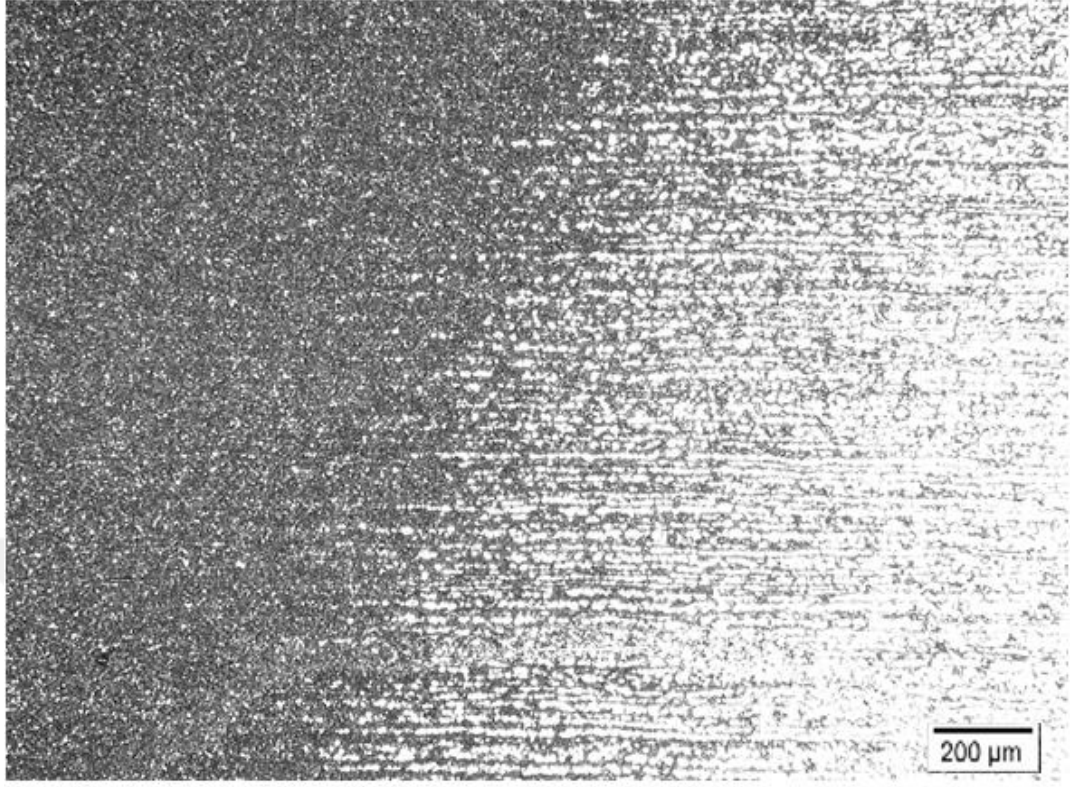


Atölye Tozaltı Kaynağı Tek Taraflı

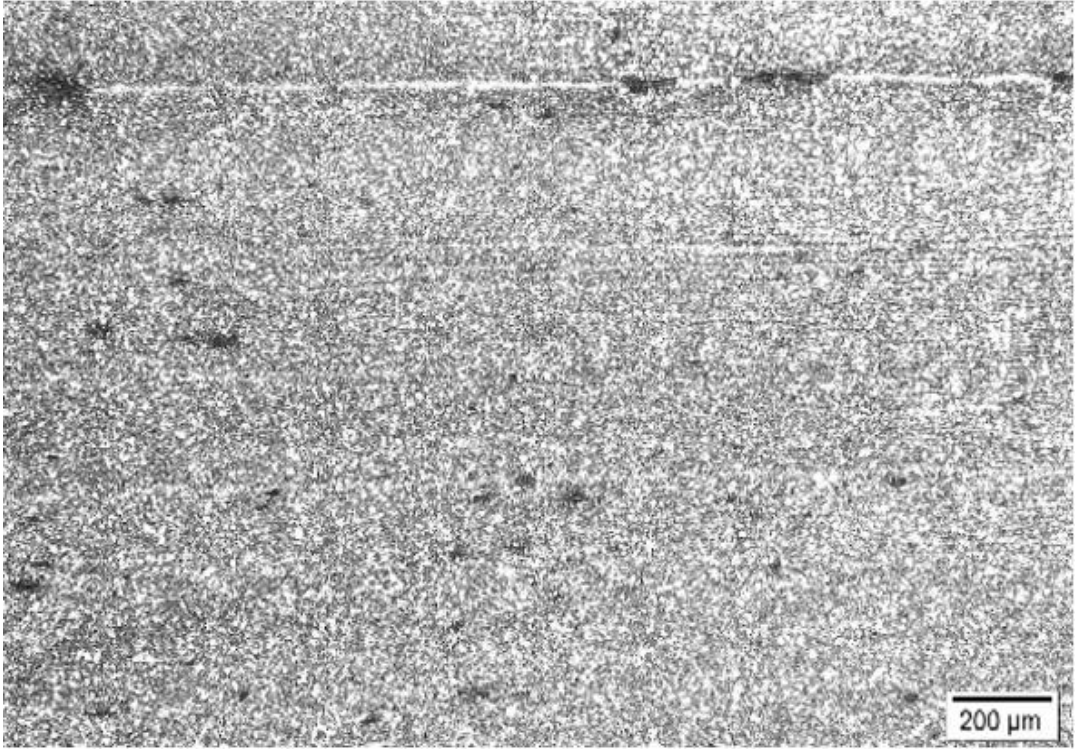


Şekil 4.43. ITAB – Ana Malzeme Geçiş (5x) mikro yapı görüntüleri

Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı

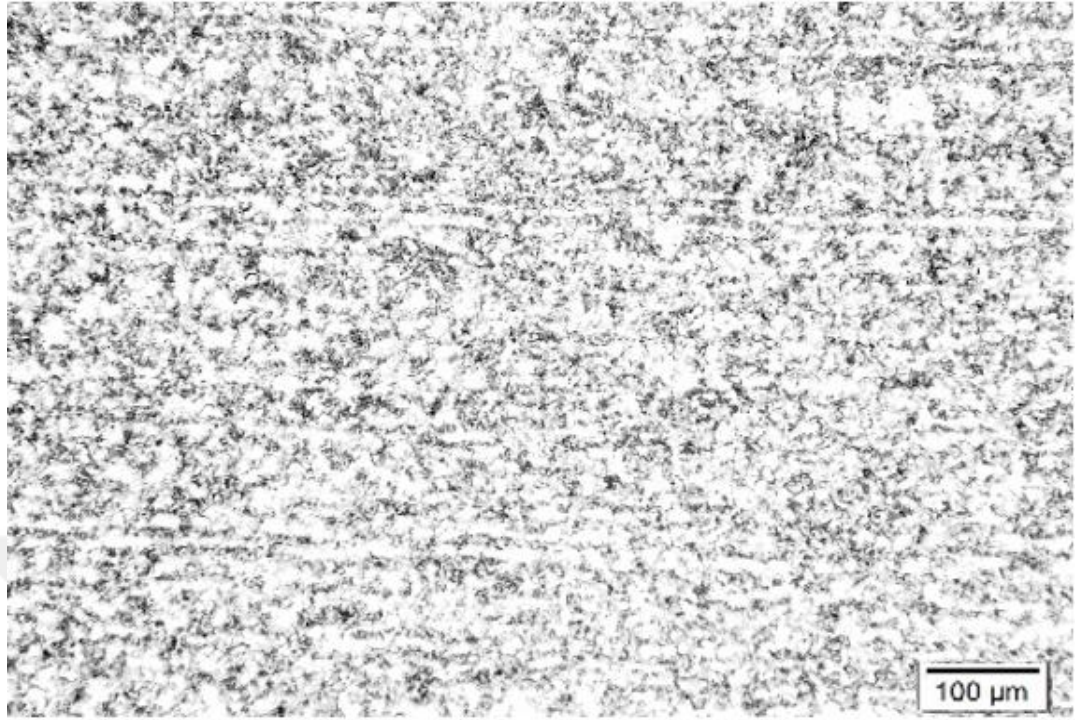


Plazma Ark Kaynağı Tek Taraflı

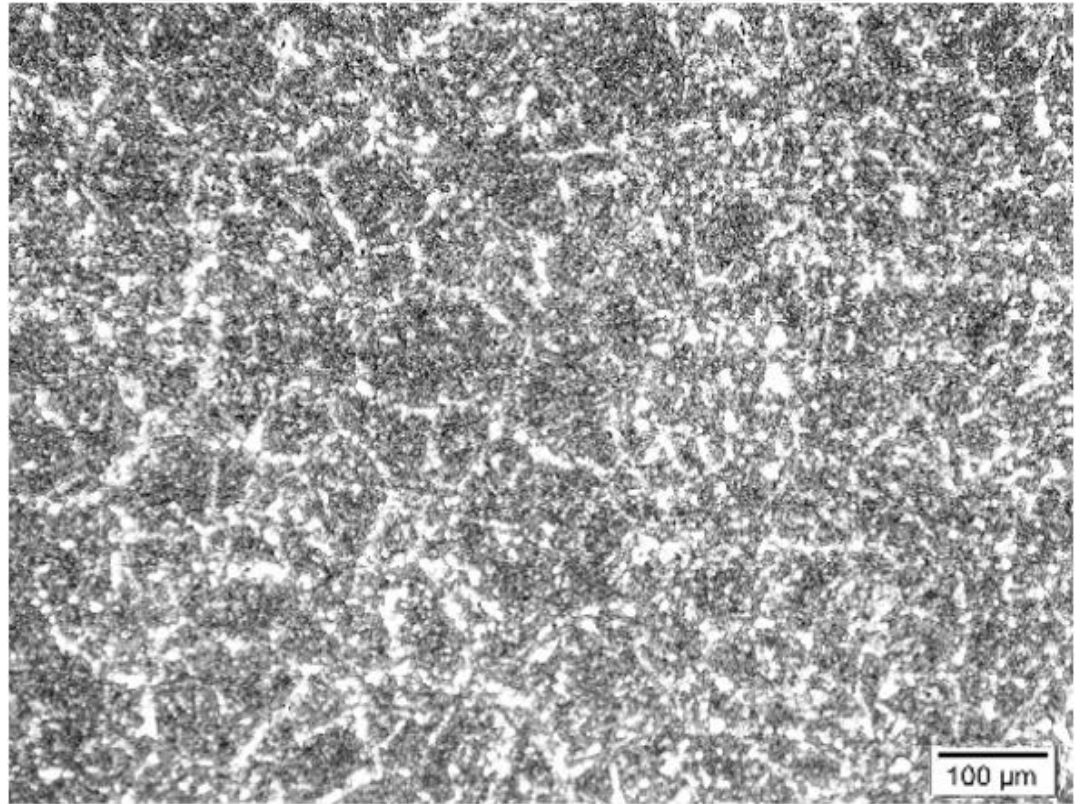


Şekil 4.43. ITAB – Ana Malzeme Geçiş (5x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Tersane Tozaltı Kaynağı Çift Taraflı

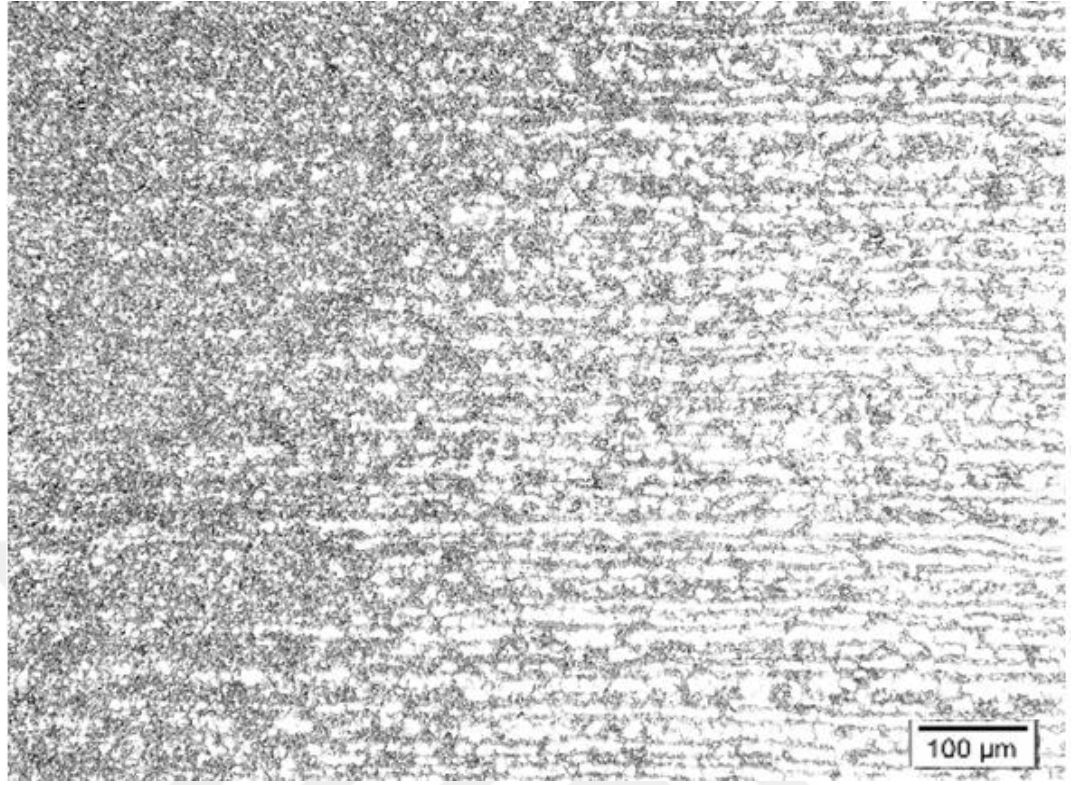


Atölye Tozaltı Kaynağı Tek Taraflı

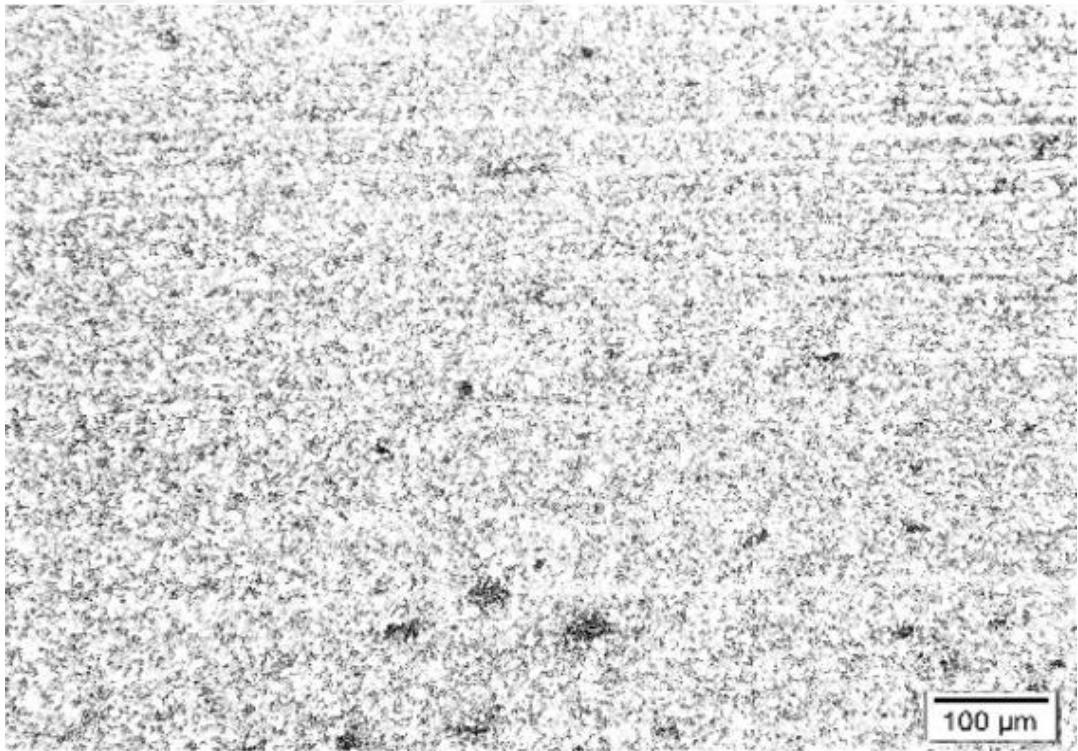


Şekil 4.44. ITAB – Ana Malzeme Geçiş (10x) mikro yapı görüntüleri

Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı

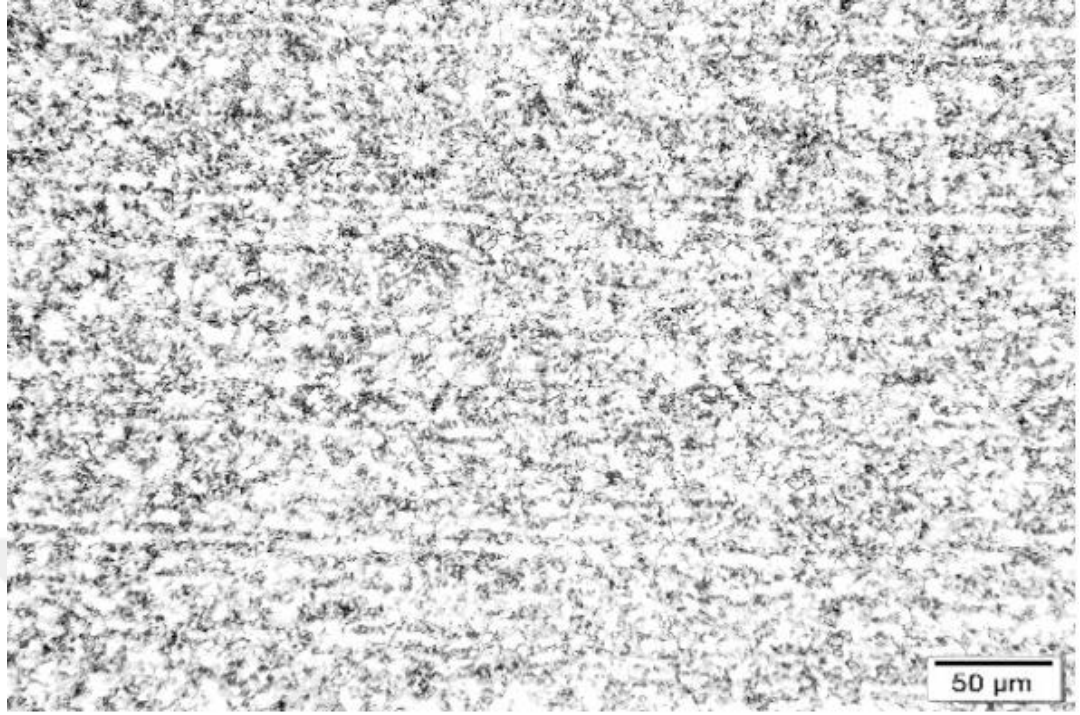


Plazma Ark Kaynağı Tek Taraflı

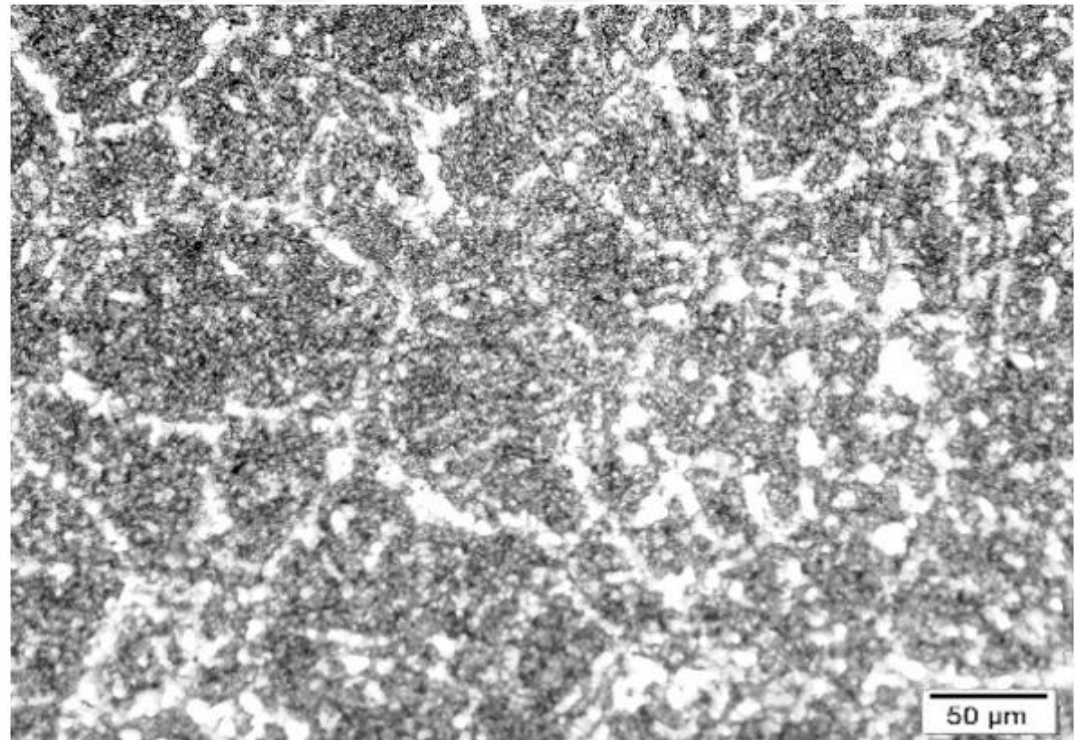


Şekil 4.44. ITAB – Ana Malzeme Geçiş (10x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

Tersane Tozaltı Kaynağı Çift Taraflı

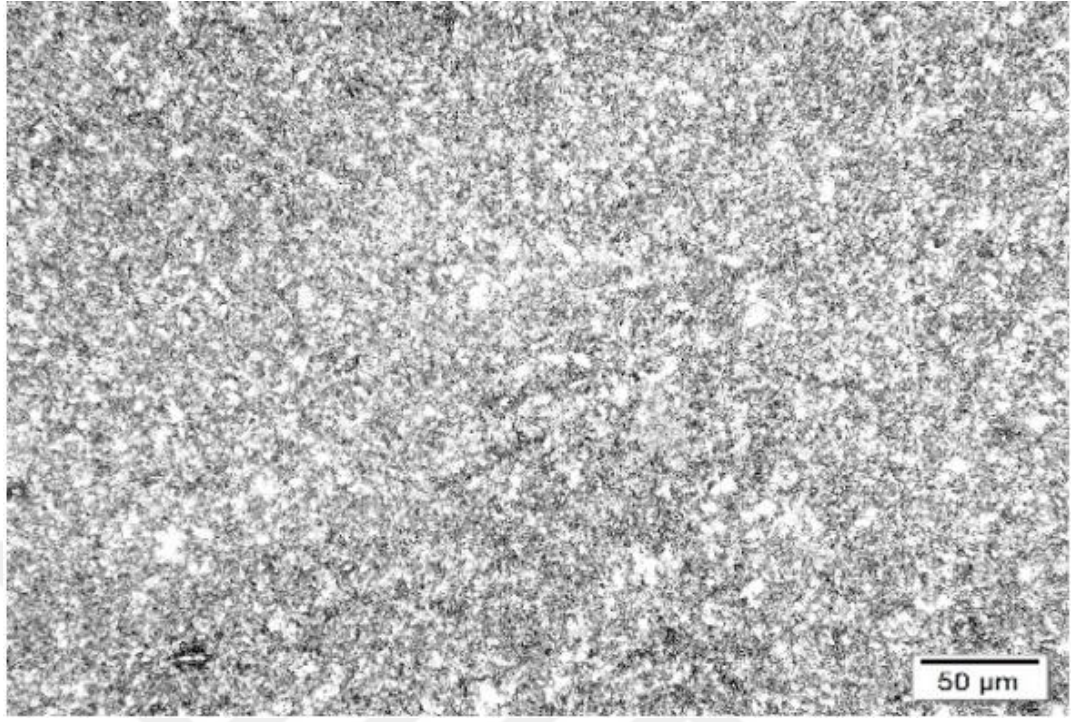


Atölye Tozaltı Kaynağı Tek Taraflı

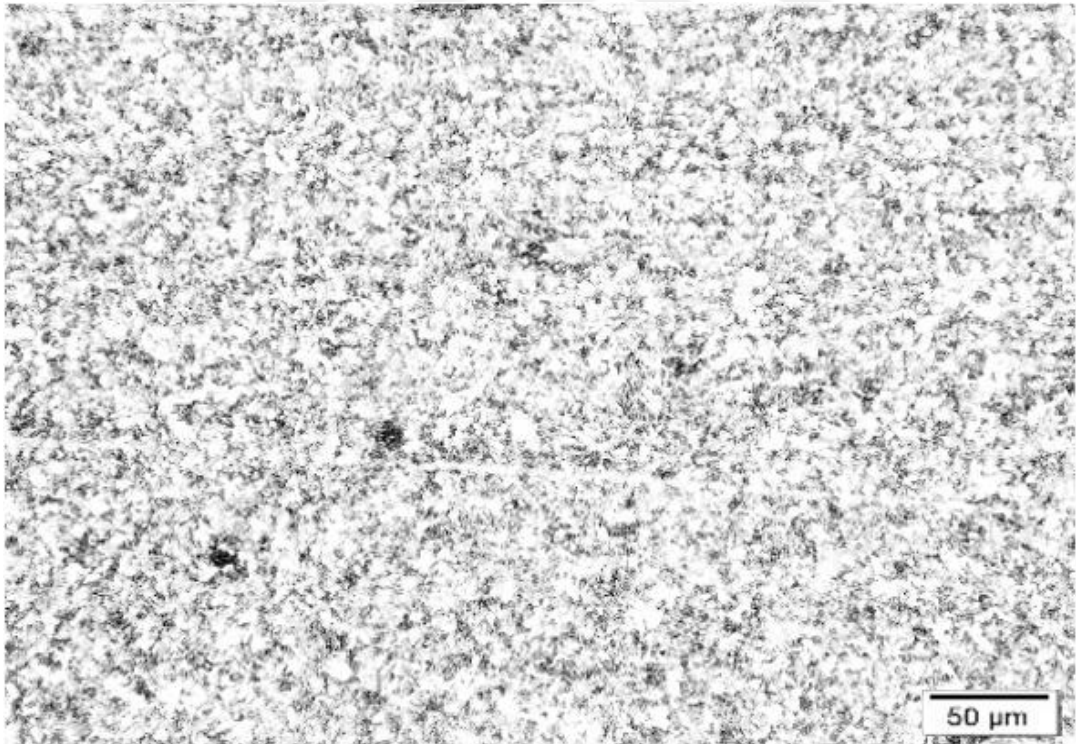


Şekil 4.45. ITAB – Ana Malzeme Geçiş (20x) mikro yapı görüntüleri

Gazaltı Kaynağı Tek Taraflı

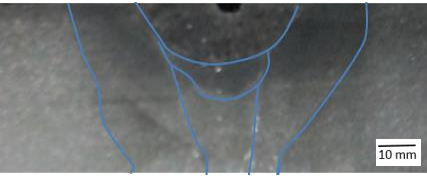
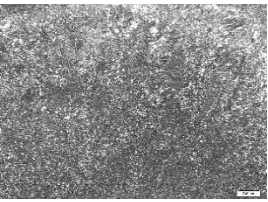
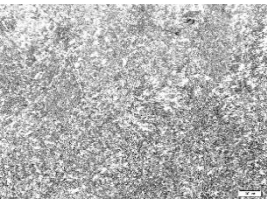
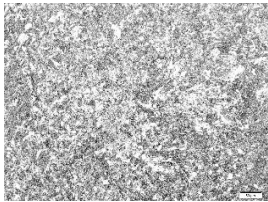
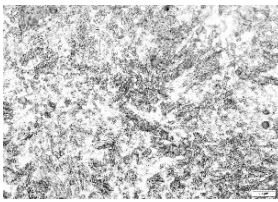
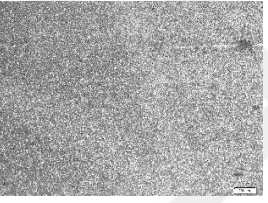
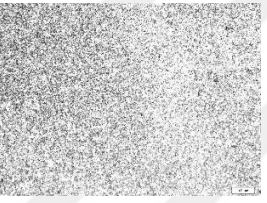
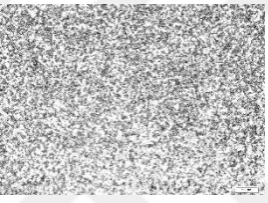
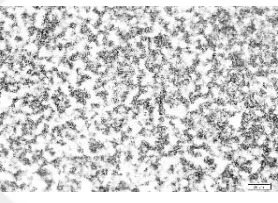
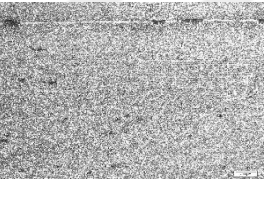
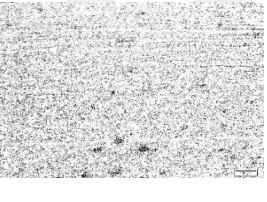
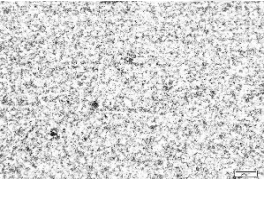
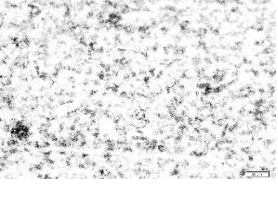
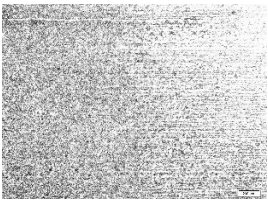
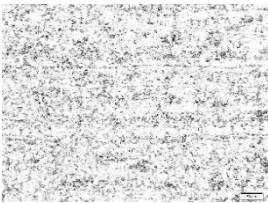
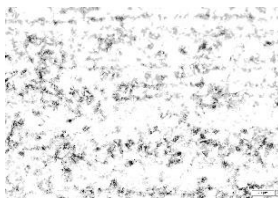
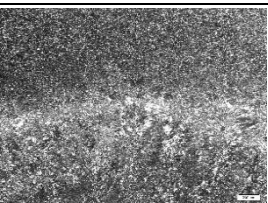
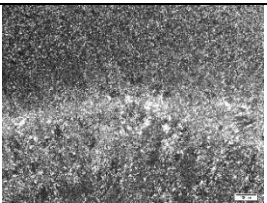
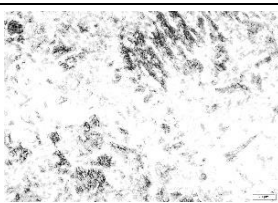


Plazma Ark Kaynağı Tek Taraflı

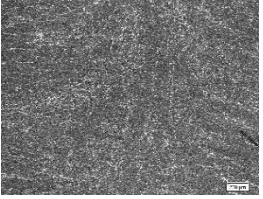
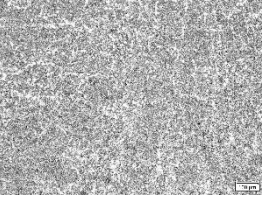
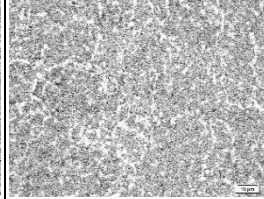
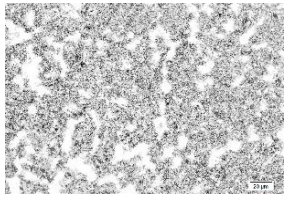
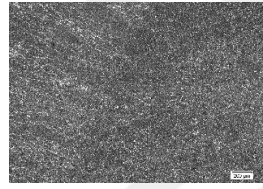
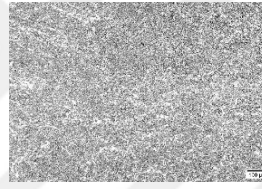
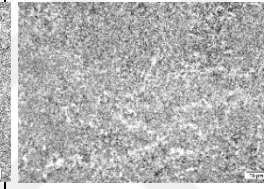
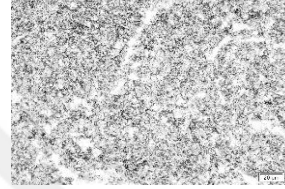
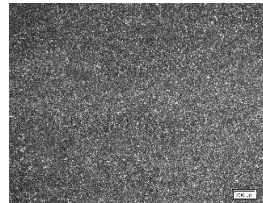
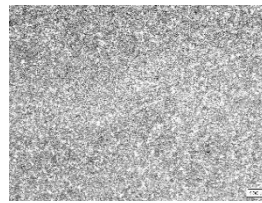
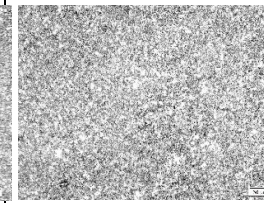
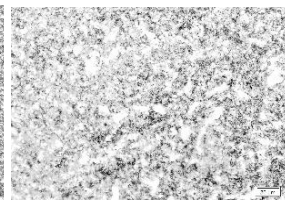
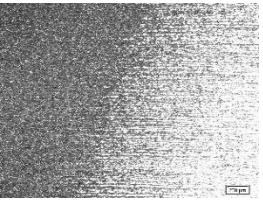
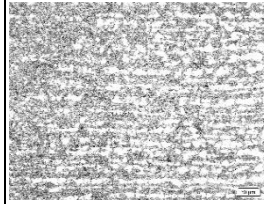
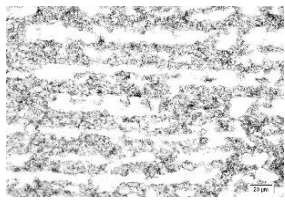


Şekil 4.45. ITAB – Ana Malzeme Geçiş (20x) mikro yapı görüntüleri (Devam)

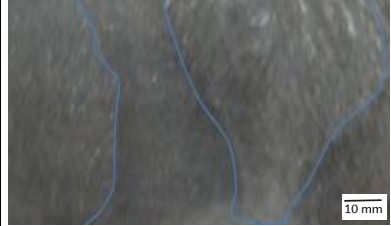
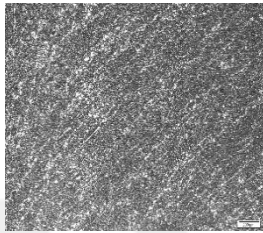
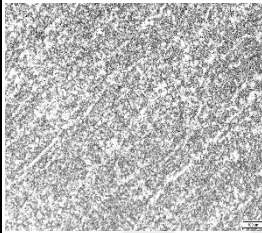
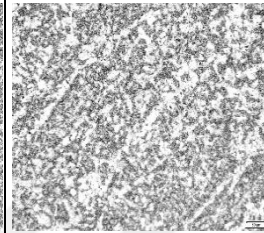
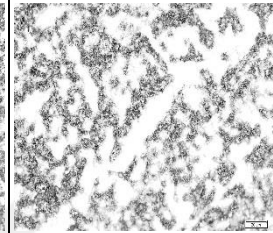
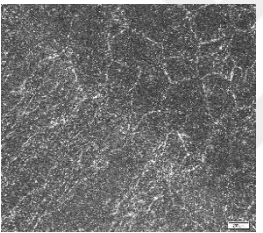
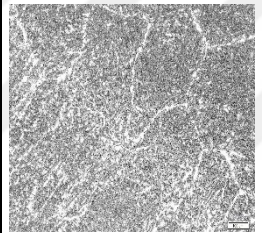
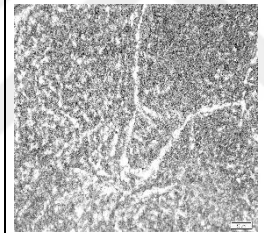
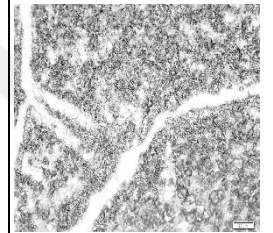
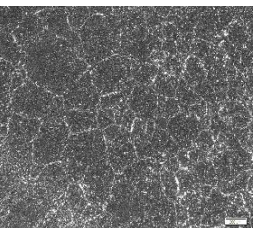
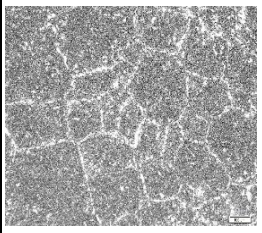
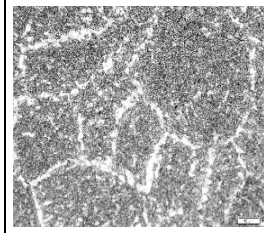
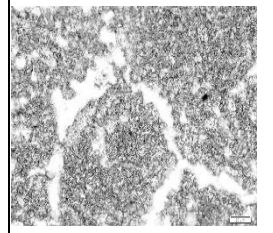
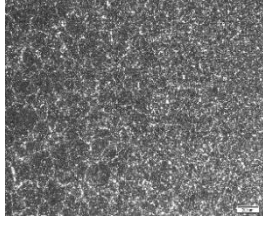
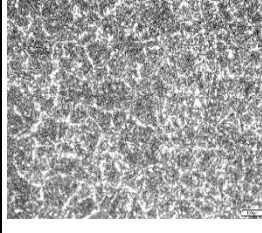
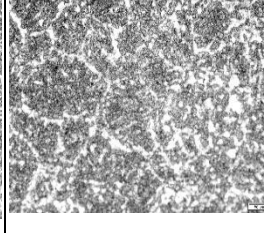
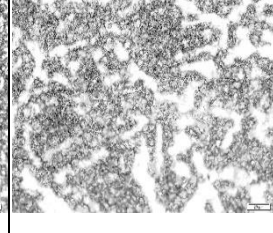
Çalışmada elde edilen makro ve mikroyapı görselleri kaynak yöntemi bazında toplu halde Şekil 4.46 ile Şekil 4.49 arasında verilmiştir.

Dikiş kep görünümü	Dikiş kök görünümü	Dikiş Makro kesit görüntüsü	
			
Kaynak Dikişi (5x)	Kaynak Dikişi (10x)	Kaynak Dikişi (20x)	Kaynak Dikişi (50x)
			
Dikiş-ITAB (5X)	Dikiş-ITAB (10X)	Dikiş-ITAB (20X)	Dikiş-ITAB (50X)
			
ITAB (5X)	ITAB (10X)	ITAB (20X)	ITAB (50X)
			
ITAB-A.Mlz.(5X)	ITAB-A.Mlz.(10X)	ITAB-A.Mlz.(20X)	ITAB-A.Mlz.(50X)
			
P. Stn. Dkş. Ort. (5X)	P. Stn. Dkş. Ort.(10X)	P. Stn. Dkş. Ort.(20X)	P. Stn. Dkş. Ort.(50X)
			

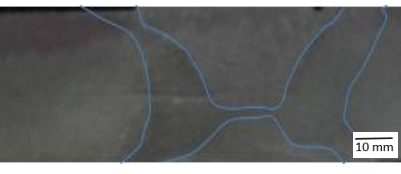
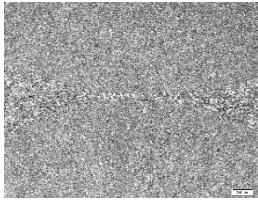
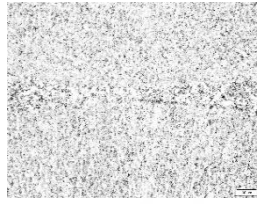
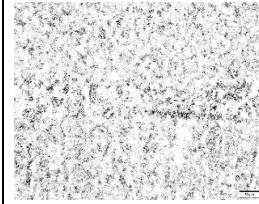
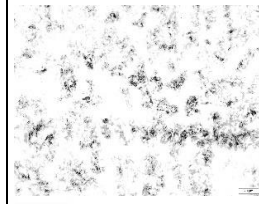
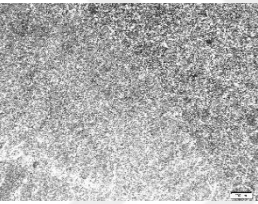
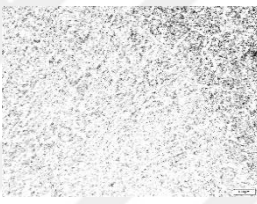
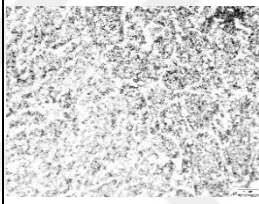
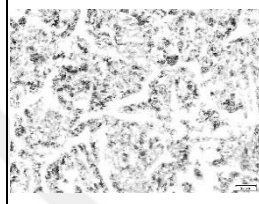
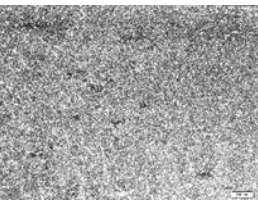
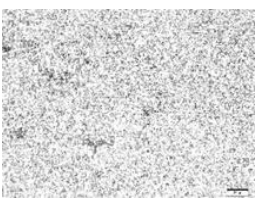
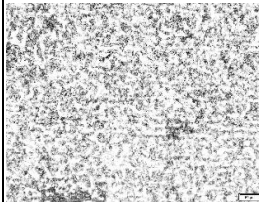
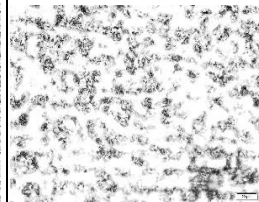
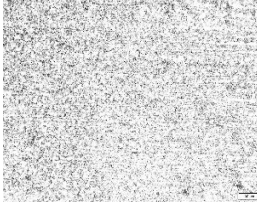
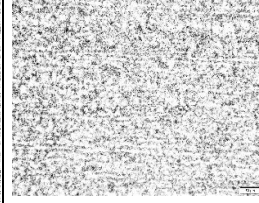
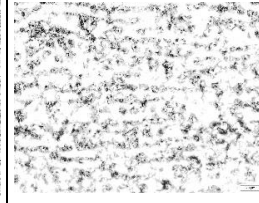
Şekil 4.46. Plazma Ark kaynağı makro ve mikroyapı görüntüleri

Dikiş kep görünümü	Dikiş kök görünümü	Dikiş Makro kesit görüntüsü	
			
Kaynak Dikişi (5x)	Kaynak Dikişi (10x)	Kaynak Dikişi (20x)	Kaynak Dikişi (50x)
			
Dikiş-ITAB (5X)	Dikiş-ITAB (10X)	Dikiş-ITAB (20X)	Dikiş-ITAB (50X)
			
ITAB (5X)	ITAB (5X)	ITAB (5X)	ITAB (5X)
			
ITAB-A.Mlz.(5X)	ITAB-A.Mlz.(10X)	ITAB-A.Mlz.(20X)	ITAB-A.Mlz.(50X)
			

Şekil 4.47. Gazaltı kaynağı makro ve mikroyapı görüntüleri

Dikiş kep görünümü	Dikiş kök görünümü	Dikiş Makro kesit görüntüsü	
			
Kaynak Dikişi (5x)	Kaynak Dikişi (10x)	Kaynak Dikişi (20x)	Kaynak Dikişi (50x)
			
Dikiş-ITAB (5X)	Dikiş-ITAB (10X)	Dikiş-ITAB (20X)	Dikiş-ITAB (50X)
			
ITAB (5X)	ITAB (10X)	ITAB (20X)	ITAB (50X)
			
ITAB-A.Mlz.(5X)	ITAB-A.Mlz.(10X)	ITAB-A.Mlz.(20X)	ITAB-A.Mlz.(50X)
			

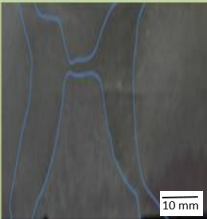
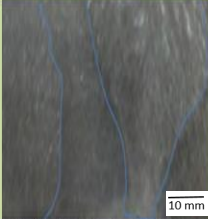
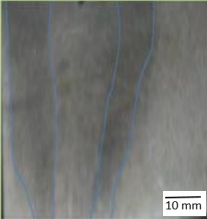
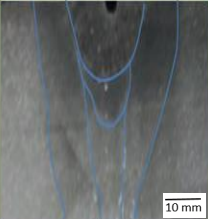
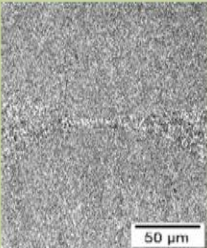
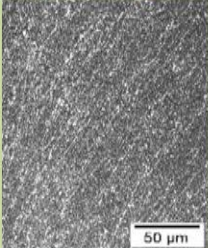
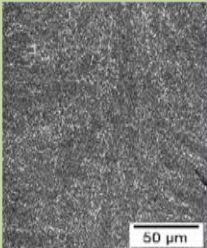
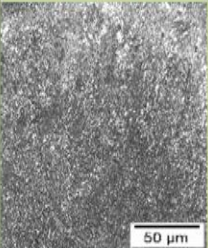
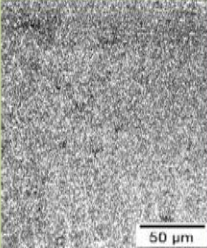
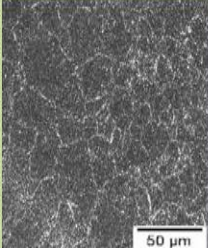
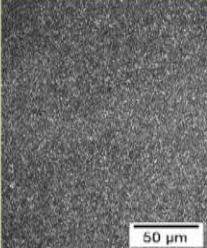
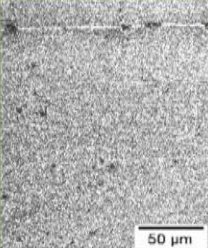
Şekil 4.48. Tozaltı (tek taraf) kaynağı makro ve mikroyapı görüntüleri

Dikiş kep görünümü	Dikiş kök görünümü	Dikiş Makro kesit görüntüsü	
			
Kaynak Dikişi (5x)	Kaynak Dikişi (10x)	Kaynak Dikişi (20x)	Kaynak Dikişi (50x)
			
Dikiş-ITAB (5X)	Dikiş-ITAB (10X)	Dikiş-ITAB (20X)	Dikiş-ITAB (50X)
			
ITAB (5X)	ITAB (5X)	ITAB (5X)	ITAB (5X)
			
ITAB-A.Mlz.(5X)	ITAB-A.Mlz.(10X)	ITAB-A.Mlz.(20X)	ITAB-A.Mlz.(50X)
			

Şekil 4.49. Tozaltı (çift taraf) kaynağı makro ve mikroyapı görüntüleri

Deneyisel çalışmada kullandığımız üç kaynak yönteminin mekanik özellikler ve mikro yapı bakımından kolay kıyaslanabilmesi için Çizelge 4.11’de önemli parametreleri, mekanik özellikleri ve mikroyapı görünümüleri verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kaynak yöntemlerine göre karşılaştırmalı parametre ve özellikler

Parametre / Özellik	Tozaltı Kaynak Tekniği		Gazaltı Kaynak Tekniği	Plazma Ark Tekniği
Dikiş Türü	(I) Çift Taraf	(I) Tek Taraf	(I) Tek Taraf	(I) Tek Taraf
Kaynak Pozisyonu	PA	PA	PA	PA
Paso	Çift	Tek	Tek	Çift
Akım Türü	DC	DC	DC	DC
Kök Aralığı (mm)	Yok	4	1	Yok
Ek Tel	S2	S2	SG2	SG2
Ek Tel Çapı	2,4	2,4	1	1,2
Koruyucu Toz/Gaz	Eliflux BFB	Eliflux BFB	Ar + %20CO ₂ + %20 ₂	%95Ar + %5 H ₂
Kor./Plazma Gaz/Toz Debisi (lt/dk)	Yeteri Kadar	Yeteri Kadar	12	3,3 - 3,9
Akım Değeri (A)	400	350	288	238
Gerilim (V)	30 - 32,5	30	23,3	28 - 32
Kaynak Hızı (cm/dk)	40 - 45	40	28,8	15
Kaynak Isı Girdisi (kJ)	3,37	1,5	0,91	1,33
Akma Dayanım(MPa)	308,51	302,54	292,45	310,51
Çekme Dayanımı(MPa)	454,9	455,05	439	471,3
% Uzama (%)	22,5	24,5	18,25	25,35
Maksimum Eğme Gerilmesi (MPa) KEP	984,3	822,2	860,1	959,3
Maksimum Eğme Gerilmesi (MPa) KÖK	964,1	790,8	835,5	933,6
Darbe Enerjisi (J) +20 C	62,64	58,11	53,38	72,53
Darbe Enerjisi (J) 0 C	66,13	57,64	52,93	73,69
Darbe Enerjisi (J) -20 C	65,56	58,49	51,44	75,99
Mikro Sertlik (HV) Ana Malzeme	179,3	179,3	179,3	179,3
Mikro Sertlik (HV) Kay. Dikişi	181,5	183,6	200,9	229,1
Mikro Sertlik (HV) ITAB	175,3	214,7	229,6	227,2
Kaynak Dikişi Makro Yapı				
Kaynak Dikişi Mikro Yapı (5x)				
ITAB Mikro Yapı (5x)				

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Grade A gemi inşa çeliği tozaltı kaynak yöntemi, gazaltı kaynak yöntemi ve plazma ark kaynak yöntemi ile uygun parametreler kullanılarak başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.

Tüm kaynak yöntemlerinde en önemli parametreler üzerinde çalışılmıştır. Tozaltı kaynak yönteminde akım ve kök aralığı üzerinde değişiklik yapılarak, gaz altı kaynak yönteminde akım parametresinde değişiklik yapılarak, plazma ark kaynak yönteminde de plazma gaz debisi üzerinde değişiklik yapılarak parametre optimizasyonu yapılmıştır.

Yapılan çekme deneylerinde ideal parametrelili numunelerin tamamında kopmalar ana malzeme bölgesinde gerçekleşmiştir. Bu durum yapılan uygulamaların kaynaklı birleştirmeler açısından geçerli olduğunu göstermektedir.

Uygulanan kaynak yöntemleri arasında akma ve çekme dayanımı açısından en iyi sonuçlar plazma ark kaynak yönteminde (Akma dayanımı 310 MPa, Çekme dayanımı 471 MPa) elde edilmiştir. Plazma ark kaynak yönteminin mikro yapısının iğnesel ferrit ağırlıklı ve ince taneli yapıda olması bu durumu desteklemiştir.

Yüzde uzama açısından kaynak yöntemleri içerisinde ana malzemeden sonra en yüksek değer % 26 ile çift taraflı birleştirme yapılan tozaltı kaynak uygulamasıdır. Plazma ark kaynak yönteminde ise elde edilen yüzde uzama değeri tozaltı kaynak yönteminden düşük olsa da % 25 ile bu değere çok yakındır.

Tüm kaynak yöntemleri içerisinde en düşük çekme dayanımı gazaltı kaynak yönteminde 439 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde akma dayanımı 292 MPa olarak en düşük değer Gazaltı kaynak yönteminde elde edilmiştir. Gazaltı kaynak yönteminde tel çapının 1 mm olarak kullanılması bu duruma yol açmıştır. Bu yöntemde daha büyük tel çapları kullanılması mekanik özellikleri iyileştirecektir.

Üç nokta eğme deneyinde tüm kaynak yöntemlerindeki ideal parametrelili numunelerde kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama ve yırtılma meydana gelmemiştir. Bu durum uygulanan parametrelerin geçerli ve uygun olduğunu göstermektedir.

Eğme deneyinde kep eğme numunelerinde en yüksek eğme gerilimi tozaltı ve plazma ark kaynağında elde edilmiştir. Plazma ark kaynağındaki eğme gerilmesinin tozaltı kaynak yöntemine göre nispeten düşük olmasının sebebi kullanılan kaynak dikişi koruma ortamının farklı olması ve ısı girdilerinin farklı olmasıdır.

Eğme gerilmeleri kök açısından kıyaslandığında en yüksek değer çift taraflı kaynak uygulanan tozaltı kaynağında 964 MPa olarak elde edilmiştir. Plazma ark kaynağı tek taraflı olmasına rağmen kök eğme sonucu olarak 933 MPa ile çift taraflı tozaltı kaynağına çok yakın bir değer vermiştir.

Kaynak uygulamaları darbe enerjileri açısından +20°C, 0°C ve -20°C üç farklı sıcaklıkta kaynak dikişleri üzerinde yapılmıştır. Kaynak yöntemleri bir biri arasında kıyaslandığında tüm sıcaklıklarda en yüksek değerler plazma ark kaynak yönteminde elde edilmiştir. En düşük değerler ise gazaltı kaynak yönteminde elde edilmiştir. Gazaltı kaynak yönteminde düşük değer elde edilmesinin nedeni kullanılan ek tel çapı ve kaynak hızı olmuştur.

Darbe enerjileri açısından tüm sıcaklıklarda ve tüm kaynak yöntemlerinde numuneler 51 J değerinin üzerinde çıkmıştır. Standart kuruluşu Türk Loydu Grade A sacı için +20°C, 0°C ve -20°C sıcaklıklarda minimum 27 J darbe enerjisi istemektedir. Bu açıdan bakıldığında tüm kaynak yöntemlerinin başarılı ve geçerli olduğu görülmektedir.

Charpy V çentik deneyi kırılma yüzeyleri açısından bakıldığında kaynak dikişleri nispeten sünek bir kırılma göstermiştir. Kırılma yüzeyleri açısından en sünek yapı plazma ark kaynak yönteminde görülmüştür.

Kaynak yöntemleri sertlik değerleri açısından değerlendirildiğinde tüm kaynak yöntemlerinde standart kuruluşu Türk Loydu tarafından belirtilen “420 MPa’dan daha düşük akma dayanımına sahip gemi çelikleri için sertlik değeri 350 HV değerinden

daha yüksek olamaz” durumuna uygun değerler elde edilmiştir. Tüm kaynak yöntemlerinde genel olarak en yüksek sertlik değerleri kaynak dikişinde elde edilmiştir. Bu durum kaynaklı birleştirmeler için beklenen bir durumdur.

ITAB bölgeleri açısından değerlendirildiğinde tek taraflı tozaltı kaynak yönteminde bir numunede ITAB bölgesinde kaynak dikişinden yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Bu durum kaynaklı birleştirmelerde istenmeyen bir durumdur ve sonuç olarak ITAB bölgesinde aşırı i gerilmeler nedeniyle kırılmalar oluşmaktadır. Bu olumsuz durumu gidermek için kaynak sonrasında gerilme giderme tavlaması yapılmalıdır.

Kaynak dikişlerinin kep ve kök bölgeleri sertlik açısından kıyaslandığında kep bölgelerinin daha sert olduğu görülmektedir. Plazma ark kaynak yönteminde ise kep ve kök bölgesi arasında sertlik düşümü % 40’ lara yakındır. Bu duruma plazma ark kaynağında ana dikiş üzerine kapak pasosu atılması neden olmuştur.

Tüm kaynak yöntemlerinde kaynak dikiş formları makro olarak incelendiğinde en iyi dikiş görünümü plazma ark kaynağında elde edilmiştir. Bu durum plazma ark kaynak yönteminin yüksek enerjili ve tam otomasyon bir kaynak yöntemi olmasından ve uygulanan parametrelerin tam yerinde olmasından kaynaklanmaktadır.

Grade A gemi inşa çeliğinin mikro yapısı incelendiğinde düz haddelenmiş, ana matrisin hadde yönünde ferrit ve perlit yapıdan oluştuğu grlmştir. Yine mikro yapıda tane sınırlarında inklüzyonlar ve segregasyonlar olduğu grlmştir.

Kaynak dikişleri makro yapısı incelendiğinde en dar dikiş formunun plazma ark kaynak yönteminde en geniş dikiş formunun ise tozaltı kaynak yönteminde elde edilmiştir. Bunun nedeni kaynak bölgesine olan enerji girişinin ve ek metal girdisinin farklıdır.

Tüm kaynak yöntemlerinin mikro yapıları incelendiğinde mekanik özellikleri kabul sınırları dışına itecek derece olumsuz etkileyecek hatalara rastlanmamıştır.

Yapılan araştırmalar sonucunda tersane ortamında ince sacların kaynağında en yaygın kullanılan çift taraflı tozaltı kaynağında iki kaynak dikişi arasında boşluk kalma hatası

ile büyük oranda karşılaşıldığı görülmüştür. Bu durumdan kurtulmak, maliyet ve işçilikten kazanmak için altlık kullanılarak tek taraflı kök aralıklı tozaltı kaynak yönteminin kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Tüm yöntemler içerisinde gemi inşa sektöründe hali hazırda kullanılmasa da plazma ark kaynak yönteminin hem mekanik özellikler hem de metalürjik özellikler açısından en iyi sonuçları vermesi nedeniyle Grade A gemi inşa çeliğinin kaynaklı birleştirmesinde kullanılacak en iyi yöntem olacağı görülmüştür.

Plazma ark kaynak yönteminin ilk yatırım maliyeti diğer yöntemlere göre biraz fazla olsa da süreç içerisinde diğer yöntemlerde oluşan kaynak hatalarının düzeltme maliyeti, kaynak sarf malzemeleri, işçilik ve en önemlisi işin teslim zamanı açısından düşünüldüğünde gemi inşa sektörü için iyi bir alternatif olduğu düşünülmektedir.

Yaptığımız çalışmada plazma ark kaynak yönteminde en önemli parametre olan plazma gaz debisi üzerinde araştırma yapılmıştır. Yapılacak yeni çalışmalarda plazma ark kaynak yönteminde diğer parametrelerin de çalışılması bu yöntemin uygunluğu ve optimizasyonu için uygun olacaktır.

İleriki çalışmalarda Grade A gemi inşa çeliği için plazma ark kaynak bölgesinin yorulma ve korozyon özelliklerinin araştırılması da literatür ve sektör açısından önemli bir kazanım olacaktır.

KAYNAKLAR

- Anık, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar*. Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul
- Anık, S., Tülbentçi, K. & Kaluç, E. (1991). *Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı*. Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul
- Anonim, (2010). Türkiye Sanayisine Genel Bakış: Gemi İnşa Sanayi. *Tüsiad*, 574 (10), 1–28.
- Anonim, (2013). *Gemi Yapımında Kaynak Standartları*. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara
- Anonim, (2021). <https://www.chncelik.com.tr/astm-a53-a106-grade-a-b-c-kimyasal-ve-mekanik-ozellikleri/> , (Son erişim tarihi: 25.04.2021)
- Asarkaya, M. (2006). *Gemi İnşasında Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Askaynak, (2007). *Kaynak Teknolojisi*. Veritas Basım Merkezi, Seyrantepe, İstanbul
- Askaynak, (2021). <https://www.askaynak.com.tr/urunler/kaynak-elektrodlari-telleri-ve-tozları/tozaltı-kaynak-telleri/as-s2> , (Son erişim tarihi: 06.02.2021)
- Askaynak, (2021). <https://www.askaynak.com.tr/urunler/kaynak-makineleri> , (Son erişim tarihi: 06.02.2021)
- Atabaki, M. M., Ma, J., Yang, G., & Kovacevic, R. (2014). Hybrid laser/arc welding of advanced high strength steel in different butt joint configurations. *Materials & Design*, 64, 573-587.
- Aytekin, C., Çalık, A. & Uçar, N. (2020). Elektrik Ark Kaynağı ile Birleştirilmiş Farklı Çeliklerin Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Çalışma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 15(1), 124-129.
- Balık, B. E. (2008). *Gemi İnşaatında Kaynak Sırası Yöntem İlişkisi ve Kaynak Muayene Planlarının İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Baylan, O. (2021). Kaynak Pozisyonları. <https://www.metaluzmani.com/kaynak-pozisyonlari-2/>, (Son erişim tarihi: 06.04.2021)
- Benlommouar, M.F., Badji, R., Hadji, Boutaghane, M. A. & Bensaid, N. (2015). *Microstructure and Mechanical Behavior of TIG Bimetallic Joints*. Scientific Proceedings XII International Congress, Mechines, Technologies, Materials, Septemper 16-19, Varna, Bulgaria, 1310-3946.

- Cengiz, M. H. (2017). *Hardox400 Çeliğinin Yüzeyinin Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Alaşımlandırılması ve Taguchi Metoduyla Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Choubey, A., & Jatti, V. S. (2014). Influence of heat input on mechanical properties and microstructure of austenitic 202 grade stainless steel weldments. *WSEAS transactions on applied and theoretical mechanics*, 9, 222-228.
- Çalık, A. (2004). *Elektron Işın Kaynağı Birleştirilmiş İki Farklı Çelik Malzemenin Kaynak Bölgesinin İncelenmesi*. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çalık, A., Karakaş, M. S. & Varol, R. (2012). Fatigue Behavior of Electron Beam Welded Dissimilar Metal Joints Welding. *Welding Journal*, 91, 50-52.
- Das, B., Yadaiah, N., Ozah, R., Chowdhury, S., Mondal, A. K. & Muralidhar, M. (2018). A Perspective Review on Estimation of Keyhole Profile during Plasma Arc Welding Process. *Materials Today*, 5(2), 6345-6350.
- Deniz Ticaret Odası, (2020). Denizcilik Sektör Raporu. 268, 114-144.
- Dieter, G. E. (1988). *Mechanical Metallurgy SI Metric Edition*. McGraw-Hill Book Co, Singapore.
- Dündar, C. (2013). Gemi İnşa Sanayiinde Kaynak Teknolojilerindeki Yenilikler. *Tersane*, 31, 26-30.
- Fauthan, A. A. (2014). *The Effect of Post Weld Heat Treatment (PWHT) Temperature on 316L Stainless Steel with Gas Metal Arc Welding (GMAW)/Metal Inert Gas (MIG)*. (Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Bachelor of Engineering Mechanical, Universiti Teknologi Petronas)
- Fronius, (2021). <https://www.fronius.com/tr-tr/turkey/kaynak-teknolojisi/Ueruenler/robotik-kaynak/migmag-BCsek-performans/laserhybrid/laserhybri>, (Son erişim tarihi: 06.02.2021)
- Gao, M., Zeng, X., Yan, J., & Hu, Q. (2008). Microstructure characteristics of laser–MIG hybrid welded mild steel. *Applied Surface Science*, 254(18), 5715-5721.
- GSI SLV & ODTU KTM. (2013). *Kaynak Teknoloji Test ve Mesleki Gelişim Merkezi Ders Notları*, Ankara.
- Gültekin, M. (2019). *Ergitmeli Kaynak Yöntemleriyle Kaynatılan Grade A Gemi Sacının İmalat Aşamasında Kaynak Bölgesinin Korozif Karakteristiği*. (Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Hayat, F. & Uzun, H. (2012). Microstructural and mechanical properties of dual-phase steels welded using GMAW with solid and flux-cored welding wires. *International journal of materials research*, 103(7), 828-837.

- Hsiao, Y. F., Tarn, Y. S. & Huang, W. J. (2007). Optimization of plasma arc welding parameters by using the Taguchi method with the grey relational analysis. *Materials and manufacturing processes*, 23(1), 51-58.
- Hsu, Y. F. & Rubinsky, B. (1988). Two-dimensional heat transfer study on the keyhole plasma arc welding process. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 31(7), 1409-1421.
- Ibrahim, I. A., Mohamat, S. A., Amir, A. & Ghalib, A. (2012). The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) Processes on Different Welding Parameters. *Procedia Engineering*, 41, 1502-1506.
- İmdat, K. (2017). *Grade A Gemi Sacının Örtülü Elektrod Ark Kaynak Yöntemi İle Su Altı ve Atmosferik Şartlarda Birleştirilmesi ve Kaynaklı Birleştirmelerin Mekanik ve Mikro Yapı Özelliklerinin Karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- İslam, Ç. (1997). *Gemi İnşasında Kaynaklı Birleştirmeler Kaynak Sırası ve Uygulamaları*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kahraman, N. & Gülenç B. (2016). *Modern Kaynak Teknolojisi*. Behçet Gülenç yayın evi, Ankara
- Kalpajian, S. & Schmind S. R. (2008). *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. Person Education South Asia Pte Ltd., Singapore
- Kaya, Y. (2014). *Patlatmalı Kaynak Yöntemi ile Üretilen Grade A Gemi Sacı-Paslanmaz Çelik Kompozitlerin Mikroyapı, Mekanik ve Korozyon özelliklerinin İncelenmesi*. (Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kim, H. S., Joo, W. Y., Seo, M. G., Jang, C. H. & Oh, S. J. (2017). *Effects of post weld heat treatment on mechanical properties and sensitization behaviour in heat affected zone of dissimilar metal weld in nuclear power plant*. 24th Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology Transactions, SMiRT-24, BEXCO, August 20-25, Busan, Korea
- Kurt, K. (2008). *DH 36 Gemi Sacının Farklı Kaynak Yöntemleri İle Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kurt, A. (2013). *Kaynak Metalurjisi* (Ders Notları). Ankara
- McPherson, N. A. (2010). Welding issues for ship structures. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 9(3), 31-41.
- Nam, T. H., An, E., Kim, B. J., Shin, S., Ko, W. S., Park, N. & Jeon, J. B. (2018). Effect of post weld heat treatment on the microstructure and mechanical properties of a submerged-arc-welded 304 stainless steel. *Metals*, 8(1), 26.

- Özakın, N. (2018). *AH ve DH Kalite Gemi Saclarının Değişik Kaynak Yöntemleri ve Kaynak Pozisyonlarındaki Mekanik Özelliklerinin ve Mikroyapılarının İrdelenmesi*". (Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Palani, P. K. & Murugan, N. (2006). Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(1), 1-10.
- Pasupathy, J. & Ravisankar, V. (2013). Parametric optimization of TIG welding parameters using Taguchi method for dissimilar joint (low carbon steel with AA1050). *Journal of Scientific & Engineering Research*, 4, 25-28.
- Sekban, D. M. & Akkaya, A. R. (2020) Örtülü Elektrod Ark Kaynağı ve Gazaltı Kaynağı Kullanılarak Birleştirilen Gemi İnşa Çeliğinde Kaynak Bölgesinin İy Yapı Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, (218), 54-64.
- Şahin, O. (2008). *Koruyucu Gaz Kaynağında Birim Dikiş Enerjisi-Isı Etkini Altındaki Alan İlişkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Topal, C. (2019). *Robotik Lazer Kaynak ve Plazma Ark Kaynak Yöntemleri İle Birleştirilen AISI410S Ferritik Paslanmaz Çeliğin Mekanik, Mikroyapı ve Kaynak Sonrası Isıl İşlem Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Türk Loydu, (2018). Kısım 3: Kaynak Kuralları. Tuzla, İstanbul
- Uzunali, U. Y. & Çuvalcı, H. (2015). *The Effect of Post Weld Heat Traetment on the Mechanical Properties of Tempered Mantensite and High Strength Steel Welded Joints*. ThE 2015 World Conress on Advances in Structural Engineering and Mechaics (ASEM15), Agust 25-29, Incheon, Korea
- Vural M., Piroğlu, F., Çağlayan, Ö. B. & Uzungider E. (2003). Yapı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği. *THM – Türkiye Mühendislik Haberleri*, 10, 426.
- Yan, B., Gao, H. M., & Ling, Q. (2010). Droplet transition for plasma-MIG welding on aluminium alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20(12), 2234-2239.
- Yılmaz, A. F. (2018). *Gemi İnşaatındaki Kaynaklı Bağlantıların Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin Optimizasyonu*. (Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yılmaz, R. & Tümer, M. (2009). Gemi İnşaa Saclarının Tozaltı ve Özlü Tel Kullanılarak MAG Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özellikleri, *TUBAV Bilim Dergisi*, 2(1), 57-66.
- Yüksel, C. (2019). *Hibrit Plazma Ark Kaynağı (HPAK), Gaz Metal Ark Kaynağı (GMAK) Ve Soğuk Metal Transfer Kaynağı (CMT) Yöntemleri İle Armax 500t*

Zırh Çeliğinin Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü)

Zhang, Y. M. & Ma, Y. (2001). Stochastic Modelling of Plasma Reflection During Keyhole Arc Welding. *Measurement Science and Technology*, 12(11), 1964.



EKLER

EK A. Grade A çeliği sertifikası



METINVEST										ПРАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ» PJSC "Azovstal Iron & Steel Works"									
вул. Лепорського, 1 м. Маріуполь, 87500, Україна, факс: +38 0629 52 70 00										СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА № 09-10546 QUALITY CERTIFICATE No									
										OT 01.07.2019 Лист 1 из 1 Листов Sheets									
вуд. Лепорського, 1 м. Маріуполь, 87500, Україна, факс: +38 0629 52 70 00										1, Leporsky St., Mariupol 87500 Ukraine, fax: +38 0629 52 70 00									
Свидетельство о приемочных испытаниях Acceptance Test Certificate										EN 10204-3.2									
Контракт № 103131/01-Ch2551 Contract No LOT 3										Заводской заказ № 400719-2449 Manufacturer's production order No									
Reference No																			
Заказчик фирма "МЕТИНВЕСТ ИНТЕРНЕШНЛ С.А." Customer Metinvest International S.A."																			
Вагон № RW - Car No 53056206										Количество товара, шт. Quantity of goods, pcs 28									
Наименование товара Прокат толстолистовой Description of goods Heavy plates																			
Марка стали BV A Grade of Steel										Нормативный документ BV Rules Правила BV EN 10029:2010 class B,N Normative document BS EN 10163-2:2004 class B-3									
Выплавка Конвертерный способ производства Steelmaking process Made by the BOF Process																			
Состояние поставки Горячекатаный Delivery condition As rolled																			
Маркировка AZOVSTAL, MADE IN UKRAINE, GRADE OF STEEL, DIMENSIONS, mm, CAST NO, TEST NO, Marking PLATE No, CENTRE.																			
Цветная маркировка TWO BLUE STRIPES. Color marking																			
Клеймо MARK OF THE WORKS, GRADE OF STEEL, CAST NO, TEST NO, PLATE NO, Hard stamp BVBRAND,																			
Позиция Плава № Партия № Размеры, мм Масса, т(ш) Item No Cast No Test No/ Product No Dimensions, mm Quantity, pcs Mass, t										Толщина Ширина Длина Количество, шт. Thickness Width Length Qty									
10 8298 6,9,11,12,3,1, 13,14,8,5,4,10,7										8 2500 12000 13 1.884 24.492									
10 8130 0440/ 2										8 2500 12000 1 1.884 1.884									
10 8298 5,9,11,8,10,6, 12,4,2,3,14,13,1, 7										8 2500 12000 14 1.884 26.376									
10										28 52.752									
Итого Total										28 52.752									
Результаты испытаний										Test results									
№ п/п s/n										Толщина Thickness									
Плава № Cast No										Ширина Width									
Test No/ Product No										Длина Length									
										Направление Direction									
										Температура испытания Temperature of test									
										Прочность Yield strength									
										Время сопротивления Time to fracture									
										Скорость деформации Strain rate									
1 0438										mm mm °C Rm N/mm² Rm N/mm² A ₅ %									
2 0440																			
3 0439																			
Химический состав, %										Chemical composition, %									
Плава № Cast No										C Mn Si S P sol. Al CE									
x0.01 x0.01 x0.01 x0.001 x0.001 x0.001 x0.01																			
1 8298										16 55 18 12 12 22 25									
2 8130										15 61 20 14 15 38 25									
CE=C+Mn/6																			
"On theoretical weight"																			

129

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :

Doğum Yeri ve Yılı :

Medeni Hali :

Yabancı Dili :

E-posta :

Taranmış
Fotoğraf
(3.5cm x 3cm)

Eğitim Durumu

Lise :

Lisans :

Mesleki Deneyim