



**YAPI ÇELİKLERİNİN MİG-MAG KAYNAĞINDA
SOĞUMA HIZININ KAYNAK KALİTESİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Ayşegül KÜÇÜKKELEŞ

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA**

**YAPI ÇELİKLERİNİN MİG-MAG KAYNAĞINDA SOĞUMA HIZININ
KAYNAK KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ayşegül KÜÇÜKKELEŞ

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA**

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

**KARABÜK
Ağustos 2024**

Ayşegül KÜÇÜKKELEŞ tarafından hazırlanan “YAPI ÇELİKLERİNİN MİG-MAG KAYNAĞINDA SOĞUMA HIZININ KAYNAK KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/08/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Harun ÇUĞ (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Hüseyin KURT (NEÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA (AMÜ)

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



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

Ayşegül KÜÇÜKKELEŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPI ÇELİKLERİNİN MİG-MAG KAYNAĞINDA SOĞUMA HIZININ KAYNAK KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ayşegül KÜÇÜKKELEŞ

Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:
Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA

Ağustos 2024, 75 sayfa

Bu çalışmada, MIG/MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen S355, S700 ve S960 yapı çeliklerinin; hızlı soğutma, normal şartlarda soğutma ve izolasyon örtüsüne sarılarak yavaş soğutma yöntemlerinin kaynak kalitesine etkisi incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda, kaynak dikişi incelenerek soğuma hızının kaynak dikişi kalitesine etkisi gözlemlenmiş ve her bir çelik malzemesi için en uygun soğuma hızı belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, yapı sektöründe kullanılan çelik malzemelerin kaynak kalitesini artırmak için kullanılabilir ve MİG/MAG kaynak yöntemi kullanılan diğer endüstriler için de değerli bilgiler sağlamaktadır.

Anahtar Sözcükler : Yapı çelikleri, S355, S700, S960, MİG-MAG Kaynağı,
Soğutma hızı, Kaynak kalitesi.

Bilim Kodu : 91415, 91511, 91514

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COOLING RATE ON WELD QUALITY IN MIG-MAG WELDING OF STRUCTURAL STEELS

Ayşegül KÜÇÜKKELEŞ

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

**Thesis Advisor:
Assist. Prof. Dr. Cevat ÖZARPA**

August 2024, 75 pages

In this study, the effect of cooling rate on the weld quality was examined in S355, S700 and S960 structural steels welded with the MIG/MAG welding method. Rapid cooling, cooling under normal conditions and slow cooling by wrapping in insulation sheath were compared. As a result of this study, the effect of the cooling rate on the weld seam quality was observed by examining the weld seam and the most appropriate cooling rate for each steel material was determined. The results of this study can be used to improve the welding quality of steel materials used in the construction industry and also provide valuable information for other industries using MIG/MAG welding methods.

Key Words : Structural steels, S355, S700, S960, MIG-MAG Welding, Cooling rate, Welding quality.

Science Code : 91415, 91511, 91514

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve akademik birikimleriyle katkı sağlayan saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA 'ya şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasında sac malzemelerin kesim aşamasında yardımlarını esirgemeyen iş arkadaşım Muhammed KOYUNCU 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında malzemelerin kaynaklanması, kesit alınması işlemlerinde yardımlarını esirgemeyen kaynak ustası İbrahim ACAR 'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında makro görüntülerin alınması için yardımlarını esirgemeyen KBÜ MARGEM kurumunda görevli Mevlüt KARACA ve Yunus AŞKIN hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim sürecinde destek ve yardımlarını esirgemeyen başta babam Mehmet Emin KÜÇÜKKELEŞ olmak üzere aileme ve kaynaklı imalat ile tanışmama fırsat veren ilk iş yerim ÖNDER METAL firması ve çalışanlarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GENEL BİLGİLER	1
1.1. SAC MALZEMELERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ.....	1
1.1.1. Sac Malzemelerin Kullanım Alanları	3
1.1.2. Sac Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	4
1.1.3. Sac Malzemelerin Çeşitleri ve Örnekler.....	5
1.2. KAYNAĞIN TANIMI VE TEMEL İLKELERİ	6
1.2.1. Kaynak İşleminin Farklı Sektörlerde Kullanımı.....	8
1.2.2. Kaynak Malzemeleri ve Ekipmanları	9
1.3. KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	10
1.3.1. Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağının Tanımı ve Uygulaması.....	10
1.3.1.1. Malzeme ve Ekipmanları	11
1.3.1.2. Avantaj ve Dezavantajları.....	12
1.3.1.3. Uygulama Alanları.....	13
1.3.2. Elektrik Ark Kaynağının Tanımı ve Uygulaması.....	14
1.3.2.1. Malzeme ve Ekipmanları	15
1.3.2.2. Kaynak Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları.....	16
1.3.2.3. Uygulama Alanları.....	19
1.3.3. Lazer Kaynağının Tanımı ve Uygulaması.....	20

	<u>Sayfa</u>
1.3.3.1. Ekipman ve Malzemeleri	21
1.3.3.2. Avantaj ve Dezavantajları	22
1.3.3.3. Uygulama Alanları	23
1.3.4. Elektrikli Direnç Kaynağının Tanımı ve Uygulaması	24
1.3.4.1. Ekipman ve Malzemeleri	25
1.3.4.2. Avantaj ve Dezavantajları	26
1.3.4.3. Uygulama Alanları	27
1.3.5. Plazma Kaynağının Tanımı ve Uygulaması	28
1.3.5.1. Ekipman ve Malzemeleri	29
1.3.5.2. Avantaj ve Dezavantajları	29
1.3.5.3. Uygulama Alanları	31
1.4. KAYNAK HATALARI VE ÇÖZÜM YOLLARI	31
1.4.1. Kaynak Hatalarının Çeşitleri	31
1.4.1.1. Çatlak Hatası	32
1.4.1.2. Gözenek Hatası	32
1.4.1.3. Deformasyon Hatası	32
1.4.1.4. Yetersiz Nüfuziyet Hatası	32
1.4.1.5. Yüzey Hatası	32
1.4.2. Kaynak Hatalarının Önlenmesi ve Düzeltilmesinin Yolları	33
1.5. KAYNAĞIN SOĞUMA HIZI	33
1.5.1. Kaynağın Soğuma Hızının Önemi	34
1.5.1.1. Mikro Yapı ve Sertliğe Etkisi	34
1.5.1.2. Gerilmelerin Oluşmasına Etkisi	35
1.5.1.3. Kaynak Dikiş Kalitesine Etkisi	35
BÖLÜM 2	36
UYGULAMA	36
2.1. LAZER TEZGAHININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ	37
2.2. YAPI ÇELİKLERİNİN ÖZELLİKLERİ	39
2.2.1. S355 Malzeme	40
2.2.2. S700 Malzeme	41
2.2.3. S960 Malzeme	42

	<u>Sayfa</u>
2.3. KAYNAK YÖNTEMİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR.....	43
2.4. KAYNAK İŞLEMİNİN UYGULANMASI	44
2.5. MAKRO GÖRÜNTÜLERİNİN ALINMASI.....	47
2.5.1. S355 Malzeme - Su İle Hızlı Soğutma	48
2.5.2. S355 Malzeme - Normal Soğutma	50
2.5.3. S355 Malzeme - İzolasyon Örtüsü ile Yavaş Soğutma	51
2.5.4. S700 Malzeme - Su İle Hızlı Soğutma	54
2.5.5. S700 Malzeme - Normal Soğutma	56
2.5.6. S700 Malzeme - İzolasyon Örtüsü ile Yavaş Soğutma	58
2.5.7. S960 Malzeme - Su İle Hızlı Soğutma	60
2.5.8. S960 Malzeme - Normal Soğutma	61
2.5.9. S960 Malzeme - İzolasyon Örtüsü ile Yavaş Soğutma	63
BÖLÜM 3	66
SONUÇLAR	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. NF PRO fiber lazer kesim makinesi.	37
Şekil 2.2. NF PRO fiber lazer kesim makinesinin teknik özellikleri.	38
Şekil 2.3. Üzerine markalam işlemi yapılmış S700 ve S960 malzeme test plakası... 38	
Şekil 2.4. ROKAS marka GWM 360V hava soğutmalı gazaltı kaynak makinası.	43
Şekil 2.5. ER 110S-G dolgu malzemesi.	43
Şekil 2.6. İki malzemenin birbirine puntalama işleminin görüntüsü.	44
Şekil 2.7. Kaynak işleminin gerçekleştirilmesi ve kaynak işlemi sonrası görüntüler	45
Şekil 2.8. Su ile hızlı soğutma yöntemi uygulaması.	45
Şekil 2.9. Normal soğutma yöntemi uygulaması.	46
Şekil 2.10. İzolasyon örtüsüne sarılarak soğutma.	46
Şekil 2.11. Alın soğutma yöntemlerinin işaretlenmesi ve kesit alma işleminin uygulanması	47
Şekil 2.12. Nikon ShuttlePix cihazı	47
Şekil 2.13. S355 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçası.	48
Şekil 2.14. S355 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.	49
Şekil 2.15. S355 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçası.	50
Şekil 2.16. S355 malzeme - normal soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü.	51
Şekil 2.17. S355 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait görüntüsü.	52
Şekil 2.18. S355 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.	53
Şekil 2.19. S700 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçası.	54
Şekil 2.20. S700 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.	55
Şekil 2.21. S700 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçası.	56

Şekil 2.22. S700 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.	57
Şekil 2.23. S700 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait görüntüsü.	58
Şekil 2.24. S700 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.	59
Şekil 2.25. S960 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçası.	60
Şekil 2.26. S960 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü.	61
Şekil 2.27. S960 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçası.	62
Şekil 2.28. S960 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.	63
Şekil 2.29. S960 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait görüntüsü.	64
Şekil 2.30. S960 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Çalışma çizelgesi.	36
Çizelge 2.2. Yapı çeliklerinin gösteriminde kullanılan semboller.	39
Çizelge 2.3. S355 malzemenin kimyasal bileşim oranları.	40
Çizelge 2.4. S355 malzemenin mekanik özellikleri.	40
Çizelge 2.5. S700 malzemenin kimyasal bileşim oranları.	41
Çizelge 2.6. S700 malzemenin mekanik özellikleri.	41
Çizelge 2.7. S960 malzemenin kimyasal birleşim oranları.	42
Çizelge 2.8. S960 malzemenin mekanik özellikleri.	42
Çizelge 2.9. ROKAS marka GWM 360V hava soğutmalı gazaltı kaynak makinasının teknik özellikleri.	43
Çizelge 2.10. ER 110S-G marka dolgu malzemesinin kimyasal birleşim oranları.	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al : alüminyum

B : bor

C : karbon

Cr : krom

Cu : bakır

EN : European Norm (Avrupa Normu)

Fe : demir

J : joule

MAG: Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)

MIG : Metal Inert Gas (Metal İnert Gaz)

Mn : mangan

Mo : molibden

N : azot

Nb : niobyum

Ni : nikel

P : fosfor

S : kükürt

Si : silisyum

Ti : titanium

TS : Türk Standardı

V : vanadyum

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

Kaynak, malzemeleri birbiri ile birleştirmek için kullanılan bir imalat yöntemidir. Bu yöntemde genellikle çalışma parçalarının kaynak yapılacak kısmı eritilir ve bu kısma dolgu malzemesi eklenir, daha sonra ek yeri soğutulularak sertleşmesi sağlanır.

Kaynak teknolojisi 20. Yüzyılın erken dönemlerinde artan talebi karşılayabilmek için hızla gelişerek güvenilir ve ucuz yöntemler arasına katılmıştır. Savaşların ardından, manuel metotlar, yarı-otomatik ve otomatik yöntemleri içeren çeşitli modern kaynak teknikleri gelişmiştir. Hâlen kaynak bilimi gelişmeye devam etmektedir. Robot kaynağı, endüstride yaygın bir yer edinmiştir, yeni kaynak metotları ve kaynak kalite ve özelliklerinin geliştirilmesi, maliyetlerin düşürülmesi için araştırma ve geliştirme çabaları devam etmektedir.

1.1. SAC MALZEMELERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Sac malzemeler; genellikle inşaat, sanayi ve mühendislik sektörlerinde kullanılan çeşitli mekanik ve yapısal özelliklere sahip metallerdir. Sac malzemeler genellikle çelik, alüminyum veya pirinç gibi malzemelerden imal edilirler ve uygulama alanı olarak çok geniş bir alana sahiptirler.

Sac malzemelerin genel özellikleri şunlardır;

- Sac malzemeler, çeşitli malzemelerden üretilir. Üretiminde en yaygın karbon çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, pirinç ve bakır kullanılır. Her bir malzeme sahip olduğu özel özelliklerden kaynaklı farklı uygulamalarda tercih sebebi olabilir.

- Sac malzemeler sertlik, esneklik, mukavemet, dayanıklılık ve şekillendirilebilirlik gibi çeşitli yapısal ve mekanik özelliklere sahiptir. Bu özellikler sac malzemenin kullanılacağı alana bağlı olarak seçilir.
- Sac malzemeler, farklı kalınlıklarda üretilebilir. Sac malzemenin kalınlığı, malzemenin dayanıklılığına ve kullanım amacına göre seçilir. Kalın sac malzemeleri, çelik yapı veya ağır yük taşıyan parçalar için kullanılırken, ince sac malzemeleri ağır yük taşımayan parçalar veya dekoratif ürünler için kullanılmaktadır.
- Sac malzemeler iyi şekillendirilebilirler. Sac malzemeler genellikle rulo veya plakalar halinde üretilir, istenen şekli elde edebilmek için kesme, bükme, delme, kaynaklama ve çeşitli işlemler ile şekillendirilebilirler. Bu özellik sayesinde çeşitli alanlardaki uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilmesini sağlar.
- Sac malzemeler, çeşitli koruyucu kaplamalara uygundur. Sac malzemelerine daha dayanıklı olabilmesi veya korozyonu önlemek için kaplama veya koruyucu yüzey işlemleri uygulanabilir. Bu kaplamalardan bazıları; galvanizleme, toz kaplama ve boyama işlemleridir. Böylelikle sac malzemeler koruyucu bir tabaka ile çevresel etkilere karşı korunur ve kullanım ömrü uzatılır.
- Sac malzemeler, çeşitli sektörlerde kullanılabilir; otomotiv ve ağır sanayi sektöründe şasi, iş makinası elemanları gibi gövde parçalarının üretiminde kullanılırken beyaz eşya sektöründe dış panel üretiminde, inşaat sektöründe çatı veya cephe kaplamasında ve mobilya sektöründe aksesuar ürünlerinde kullanılmaktadır [1].

Sac malzemeler, çeşitli özellikler ve farklı sektörlerde uygulanabilirliği sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiziksel dayanıklılık, yapısal sağlamlık ve kolay şekillendirilebilirlik gibi önemli özellikleriyle farklı sektörlerde işlevsellik sağlar. Sac malzemenin kullanılacağı ürünün projesi içerisindeki gerekli standartlara uygun olarak seçilerek kullanılmalıdır.

1.1.1. Sac Malzemelerin Kullanım Alanları

Sac malzemeler, çeşitli uygulama alanlarına sahip olan ve sanayi, inşaat ve mühendislik sektörlerinde yaygın olarak tercih edilen ve kullanılan malzemelerdir. Sac malzemelerin farklı özellikleri ve işlevselliği çeşitli uygulamalarda tercih sebebidir.

Sac malzemelerin bazı kullanım alanları şunlardır;

- Sac malzemeler inşaat sektöründe çatı kaplama, dış cephe kaplama ve yapısal çerçeveler gibi yapı elemanlarının üretiminde tercih edilir. Sac malzemelerin yapısal ve fiziksel dayanıklılık, kolay şekillendirilebilirlik özellikleri tercih edilmesinde önemli rol oynar.
- Sac malzemeler otomotiv sektöründe araç gövdesi, şasi, kapı ve jantlar gibi birçok parçanın üretiminde kullanılır. Sac malzemeler çeşitli özellikleri doğrultusunda dayanıklılık, hafiflik ve verimlilik sağlarken kolay şekillendirilebilirlik özelliği ile farklı tasarımlar oluşturulmasında kolaylık sağlar.
- Sac malzemeler, havacılık sektöründe yüksek mukavemetli ve hafif ürünlerin üretilmesinde önemli rol oynar. Sac malzemeler uçakların kanatları, iniş takımları, gövde panelleri ve içyapı parçalarının üretiminde kullanılır. Tercih edilen sac malzemenin hafifliği yakıt verimliliğini artırır iken, yüksek mukavemetli olması dayanıklılığını sağlar.
- Sac malzemeler, mobilya sektöründe masa tablası, sandalye, raf veya dekoratif paneller gibi birçok mobilya ve aksesuar parçalarının üretiminde kullanılır. Sac malzemelerin kolay şekillendirilebilirliği sayesinde farklı tasarım ve stiller oluşturulmasında büyük önem taşır.

Sac malzemelerinin başlıca özellikleri olan dayanıklılık, kolay şekillendirilebilirlik, işlenebilirlik, hafiflik ve koruyucu kaplama uygulanabilirliği sayesinde farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılır. Sac malzemeler birçok ürüne estetiklik ve işlevsellik sağlar. Ancak üretilecek ürünün gereksinimleri doğrultusunda sac malzemenin özellikleri ve kalınlığı seçilmelidir.

1.1.2. Sac Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Sac malzemeler çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılan ve özellikleri doğrultusunda tercih edilen malzemelerdir. Özellikleri ve uygulama alanları sac malzemelerin avantaj ve dezavantajlarını belirler.

Sac malzemelerin avantajlarından bazıları şunlardır;

- Sac malzemeler genellikle dayanıklı malzemelerdir ve kullanım ömürleri uzundur. Özellikle çelik sac malzemeler yüksek mukavemet ve dayanıklılık sağlayarak yapıların sağlamlık ve kullanım ömrünü uzatır.
- Sac malzemeler kolay şekillendirilebilir ürünlerdir. Kesme, bükme, delme ve kaynak gibi işlemler ile kolaylıkla şekil verilebilirler. Bu özelliği ile uygulama alanlarında esneklik sağlar.
- Sac malzemeler birçok sektörde uygulama alanına sahiptir. Sac malzemenin her bir özelliği başka sektörlerde tercih edilmesini sağlar.
- Sac malzemelerden alüminyum malzemeler hafiftir, otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde hafifliğin önemli olduğu uygulama alanlarında tercih edilir.
- Sac malzemeler genellikle geri dönüştürülebilir ürünlerdir. Geri dönüştürülebilir olmaları çevresel etkilerin azaltılmasında ve doğal kaynakların korunmasında yardımcı olur.

Sac malzemelerin dezavantajlarından bazıları şunlardır;

- Rulo levhalarda ruloların büyüklüğü; sac malzemeleri levha veya rulo şeklinde üretilir. Büyük rulolar halinde üretilmesi bu ürünlerin ebatları küçük olan projelerde kullanımında olumsuz etki eder.
- Sac malzemelerden bazıları korozyona elverişlidir. Korozyon riskini azaltmak için çeşitli koruyucu kaplamalar yapılabilir veya paslanmaz çelik gibi malzemeler kullanılabilir.
- Sac malzemeler kullanılan malzemenin kalitesi, türü, kalınlığı, üretim yeri ve işleme yöntemlerine bağlı olarak farklı maliyetlerde olabilirler.

- Sac malzemelerden metalik olan malzemelerin ısı iletkenlik özelliği bazı uygulama alanları ve ısı yalıtımı gerektiren durumlarda dezavantaj özellik olmaktadır.
- Sac malzemeler yüksek sıcaklık altında şekil değiştirilebilir veya yapısal özellikleri bozularak mukavemetlerini kaybedebilirler. Bu nedenle sac malzemelerin yüksek sıcaklık altında kullanımını esnasında dikkatli olunması gerekmektedir.

Sac malzemelerin avantaj ve dezavantaj özellikleri bu malzemenin kullanılacağı projeye, maliyete ve kullanım şartlarına göre dikkate alınmalıdır. Doğru malzeme seçimi ve doğru işlem uygulaması uygun üretime için önemli bir etmendir.

1.1.3. Sac Malzemelerin Çeşitleri ve Örnekler

Sac malzemeler çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılan malzemelerdendir. Sac malzemeler farklı özellikler ve çeşitli uygulama alanlarına sahiptirler.

Bu malzemelerin çeşitlerinden bazıları şunlardır;

- Çelik sac malzeme; en çok kullanılan sac malzemesidir. Genellikle alaşımli çelikten veya karbon çeliğinden üretilirler. Farklı kalınlık ve mukavemet özelliklerine sahip olan çelik sac malzemeleri birçok alanda kullanılır. Örnek olarak; galvaniz kaplamalı çelik sac çeşidi, dayanıklılığı ve korozyona karşı yüksek dirençli olmasından dolayı tercih edilir.
- Alüminyum sac malzeme; hafifliği ve korozyona karşı olan yüksek direnç özellikleri ile tercih edilme sebebidir. Otomotiv ve havacılık sektörü veya dekoratif ürünler gibi birçok sektörde kullanılırlar. Alüminyum sac malzemelerin diğer sac malzemelere göre avantajlarından biri de enerji tasarrufu sağlaması ve geri dönüşüme uygun olmasıdır.
- Bakır sac malzeme; yüksek korozyon direnci ve yüksek iletkenlik özelliği ile ısı ve elektrik iletimi gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Elektronik devreler, endüstriyel kazanlar ve soğutma sistemi gibi alanlarda kullanılırlar.

- Galvanizli sac malzeme; çelik sac malzemenin çinko kaplamasıyla elde edilir. Galvanizli sac malzeme kaplama sayesinde çelik sac malzemeye göre korozyona karşı daha dayanıklıdır. Bu özelliğinden dolayı genellikle dış cephe kaplamaları, boru hatları ve su depoları gibi çevresel faktörlerden koruyucu özellik gerektiren uygulama alanlarında tercih edilirler.
- Paslanmaz çelik sac malzeme; diğer sac malzemelerden yüksek korozyon direnci ve estetik görünümü ile ön plana çıkar. Endüstriyel makineler, endüstriyel mutfak tezgâhları ve kimyasala maruz kalan tanklar gibi birçok alanda kullanılır. Paslanmaz çelik sac malzemelerin yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direnci özellikleri ile uzun ömürlü malzemelerdir.

Belirtilen sac malzeme örnekleri, sac malzemelerin çeşitliliğini ve farklı alanlarda uygulanabilirliğini göstermektedir. Her bir sac malzeme türü özellikleri ile diğer sac malzemelerine göre avantaj veya dezavantaj oluşturmaktadır. Sac malzemenin kullanılacağı proje doğrultusunda doğru malzeme seçimi ve doğru uygulama şekli ile istenilen sonuçlar elde edilir.

1.2. KAYNAĞIN TANIMI VE TEMEL İLKELERİ

Kaynak işlemi iki veya daha fazla parçanın ısı, basınç veya elektromanyetik enerji kullanılarak birleştirilmesidir[2–4]. Önemli bir üretim yöntemi olan kaynak işlemi, imalat sektörü ve birçok sektörde kullanılmak da ve metal, plastik ve kompozit malzemelerin birleştirilmesinde uygulanmaktadır[3,5,6]. Kaynak işlemi yapılacak olan iki veya daha fazla parçanın birleştirilmesinde parçalar genellikle eritilerek veya sertleştirilerek bir bağlantı oluşturulur[7,8]. Kaynak işlemi, birleştirilen malzemelerin yapısal olarak bütünlüğünü sağlamak, mukavemeti arttırmak veya farklı yapıları bir araya getirmek için kullanılır [4].

Kaynak işleminin temel ilkeleri şunlardır [9];

- Kaynak işlemi uygulanan malzemelerin uyumu; kaynak işlemin de birleştirilen parçaların birbiri ile olan malzeme uyumu önemlidir. Birbiri ile uyumlu olan malzemelerin birleştirilmesinde verimli bir kaynak dikişi elde edilebilir.

Üretilecek projenin standartları doğrultusunda kaynak işlemi uygulanacak olan malzemelerin seçimi ve uyumu önemlidir.

- Kaynak işlemi uygulayan operatörün işçiliği ve eğitimi; uygulanan kaynak işleminin kaliteli olmasında, kaynak işlemi uygulayan operatörün iyi eğitilmiş ve deneyimli olması önemli etkenlerden biridir. Kaynak işleminde kaynak yapılacak malzemelerin uygun şekilde hazırlanması, kaynak ekipmanının doğru kullanımı ve doğru tekniklerin uygulanması aşamalarında kaynak işlemi uygulayacak olan operatör önemlidir. Kaynak işlemi uygulayan operatörün işçiliğinin kaliteli olması, hataların ve kusurların azaltılmasını ve daha kaliteli bir kaynak elde edilmesini sağlar. Üretilecek projenin standartları doğrultusunda kaynak işlemi uygulayacak olan operatörün eğitiminin yeterliliği ve sertifikalandırılmış olması istenilebilmektedir.
- Kaynak işleminde güvenlik; kaynak işlemi sırasında yüksek sıcaklık ve tehlikeli maddeler gibi riskler bulunmaktadır. Üretim esnasında gerekli güvenlik tedbirleri alınmalı ve koruyucu ekipmanlar (kaynak şapkası, kaynak eldiveni, koruyucu kıyafet ve koruyucu kulaklık vb.) kullanılmalıdır. Operatörlerin güvenliğini sağlamak için iş güvenliği prosedürlerinin uygulanması gerekmektedir.
- Kaynak dikişinin sağlamlığı; Kaynak işlemi ile oluşturulan birleştirilmiş malzemelerin kaynak dikişinin mukavemetine dayanıklı olmalıdır. Ürünlerin imalat sürecinde ve kaynak malzemesinin seçiminde, bağlantının sağlamlığı ve mukavemeti önemli rol oynar.
- Kaynak dikişinin kalite kontrolü; imalat sürecinde uygulanan kaynak işleminin bütünlüğü ve kaynak bölgesinin kalitesi çok önemlidir. Kaliteli kaynak dikişi; mukavemet sızdırmazlık, sağlamlık gibi özelliklere sahip olmalıdır. Kaynak dikişinin kalite kontrol sürecinde tahribatsız muayene tekniklerinden görsel muayene, manyetik muayene ve ultrasonik muayene yöntemleri kullanılarak kaynak dikişi ve kaynak bölgesinin doğruluğu ve kalitesi kontrol edilmektedir. Uygulanan kaynak işleminin istenilen özellikleri, üretilecek projenin standartları doğrultusunda değişkenlik gösterebilmektedir [10].

Üretim sürecinde kaynağın tanımı ve ilkeleri, kaliteli kaynak dikişi elde edilmesinde önemlidir. Kaynak ilkelerin uygulanması, kaynak işlemi ile birleştirilen parçaların mukavemetini, bütünlüğünü ve kalitesini artırarak üretim sürecini verimli kılar.

1.2.1. Kaynak İşleminin Farklı Sektörlerde Kullanımı

Kaynak işlemi, parçaların birleştirilmesi için kullanılan bir yöntemdir ve çeşitli sektörlerde yaygın olarak uygulanmaktadır [11].

Bu sektörler ve uygulama alanlarından bazıları şunlardır [12];

- Havacılık ve uzay sektörü sertlik ve yüksek güvenlik gerektiren uygulamalarda kaynak işlemi yaygın olarak kullanılır. Uçak gövdesi, kanatları, motor parçaları gibi birçok parça kaynak işlemi ile birleştirilir. Kaynak işlemi, yüksek dayanıklı ve aynı zamanda hafif bağlantılar sağlayarak bu sektöre de ki ürünlerde aerodinamik performansı iyileştirmektedir.
- Kaynak işleminin en yaygın kullanıldığı sektörlerden birisi otomotiv sektörüdür. Araç şasisi, gövde panelleri, süspansiyon parçaları gibi birçok parça kaynak işlemi ile birleştirilmektedir. Kaynak işlemi, dayanıklı ve yüksek mukavemetli bağlantılar sağlayarak araçların güvenliğini ve performansını iyileştirmektedir.
- Kaynak işlemi inşaat sektöründe çok farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Köprüler, boru hatları, çelik yapılar iş makinası parçaları gibi birçok alanda kaynak ile birleştirme işlemi uygulanmaktadır. Kaynak işlemi yapıların veya ürünlerin sağlamlığını ve dayanıklılığını artırarak daha büyük kapsamlı projelerin gerçekleştirilmesini sağlar.
- Kaynak işlemi denizcilik sektöründe; gemi inşası veya onarımı, deniz yapıları ve liman ekipmanları gibi farklı uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak işlemi ile birleştirilen parçalar deniz suyu ve aşınmaya karşı daha dayanıklı bağlantı sağlar.
- Kaynak işlemi, enerji sektöründe nükleer santraller, hidroelektrik santraller, güneş enerji panelleri ve rüzgâr türbinleri gibi çeşitli enerji tesislerinde enerji

üretimi, iletimi ve dağıtımında kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklığa, yüksek basınca ve çevresel etkilere dayanıklı bir bağlantı sağlar.

Kaynak işlemi, endüstriyel üretim de mühendislik ve teknoloji alanında önemli bir yere sahiptir. Kaynak teknolojisinin gelişimi, çeşitli endüstrilerin ihtiyaçlarına karşılık vermek ve sürekliliği için önemlidir.

1.2.2. Kaynak Malzemeleri ve Ekipmanları

Kaynak işleminde kaynak malzemelerin ve ekipmanların doğru seçimi ve kullanımı kaliteli kaynak dikişi elde edilmesinde önemlidir [3].

Başlıca kaynak malzemeleri şunlardır;

- Elektrot; kaynak işleminde eriyerek metalin birleşmesini gerçekleştiren malzemelerdir. Kaynak yöntemine göre elektrot tipleri değişmektedir. Tungsten elektrotlar tungsten ark kaynağında kullanılırken tel elektrotlar gazaltı kaynağında kullanılır.
- Dolgu malzemeleri; kaynak işleminde dayanıklılığı arttırmak için eritilerek kaynak bölgesinin birleşmesini sağlar. Kullanılan dolgu malzemesi kaynak yöntemi, kaynak yapılacak malzeme ve uygulanacak projenin gereksinimlerine göre değişir.

Başlıca kaynak ekipmanları şunlardır;

- Kaynak makinesi; kaynak işleminin en temel ekipmanı kaynak makinesidir, uygulanan kaynak yöntemine göre kaynak makinesi farklılık gösterebilir. Ark kaynağında kaynak akımı ve gerilimi kontrol eden kaynak makinesi kullanılırken gazaltı kaynağında tel beslemeli ve gaz akış kontrolü sağlayan kaynak makinesi kullanılır.
- Kaynak masası veya döner tabla; kaynak yapılacak olan malzemelerin sabitlenmesinde ve kaynak işlemi sırasında kolay bir şekilde ulaşılabilmesi için kullanılır.

- Koruyucu ekipman; kaynak işlemi sırasında operatörün kaynak dumanı ve ışından koruması için kaynak maskesi ve koruyucu gözlük kullanması gerekir. Koruyucu ekipmanların kullanımı operatörün kaynak işlemini daha dikkatli ve güvenli bir şekilde uygulamasını sağlar.

1.3. KAYNAK YÖNTEMLERİ

Pek çok kaynak yöntemi mevcuttur [3,13]. Kaynak yöntemleri birleştirilmesi düşünülen parçaların en optimum şekilde birleşmesi için endüstride kullanım alanlarının ihtiyaçlarına göre belirlenmektedir [11,14].

1.3.1. Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağının Tanımı ve Uygulaması

Gazaltı kaynağı yönteminde, birleştirilecek malzemeler asetilen gazı ve oksijen gazının karışımı ile elde edilen yüksek sıcaklık ve enerji ile malzemeler eritilerek birleştirilir. Gazaltı kaynağı metallerin birleştirilmesinde kullanılan en yaygın kaynak yöntemidir ve birçok sektörde tercih edilmektedir [15].

Gazaltı kaynak yönteminin çalışma prensibi oldukça basittir. Asetilen gazı ve oksijen gazı gazaltı kaynak makinası aracılığıyla karıştırılır. Elde edilen gaz karışımı, alev oluşturan kontak memeden geçilerek yakılır. Bu alev yüksek sıcaklıkta metali eritir ve birleştirme işlemi gerçekleştirilir. Gazaltı kaynak yönteminde alevin yoğunluğu ve şekli kontrol edilebildiği için esnek bir kaynak yöntemidir.

Gazaltı kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göre bazı avantajları şunlardır;

- Yüksek sıcaklıkta çalışabilme özelliğine sahip olması çelik, paslanmaz çelik, bakır ve alüminyum gibi birçok farklı metalin birleştirilmesine olanak sağlar.
- Gazaltı kaynak makinası taşınabilirlik açısından avantaj sağlar ve saha koşullarında uygulanabilme olanağı sağlar.
- Kalın metal malzemelerin ve büyük parçaların kaynaklanması mümkündür.

Gazaltı kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göze bazı dezavantajları şunlardır;

- Uygulama işlemi sırasında açığa çıkan yüksek sıcaklık ve alev, gözleri ve cildi zararlı ışınlarla maruz bırakmaktadır. Kaynak işlemi sırasında oluşan duman da solunum esnasında zarar vermektedir. Bu nedenler ile kaynak işlemi sırasında uygun koruyucu ekipman kullanılması önemlidir.
- Gazaltı kaynağı işlemine başlamadan önce birleştirilecek malzemelerin temizlenmesi kritik önem taşır. Temizliği tam yapılmayan malzemelerin kaynak dikişi sağlıklı olmaz.

Özet olarak gazaltı kaynağı birleştirilecek malzemelerin yüksek sıcaklıkta gaz yardımı ile eritilerek birleştirildiği bir kaynak yöntemidir ve bu yöntem birçok endüstriyel sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak işlemi doğru ekipman ve uygun güvenlik önlemleri alınarak uygulandığında dayanıklı ve kaliteli bir bağlantı elde edilir.

1.3.1.1. Malzeme ve Ekipmanları

Gazaltı kaynak ekipmanları; gaz silindirleri, gaz kaynak hortumu, gazaltı kaynak makinesi ve gazaltı kaynak torcundan oluşurken kaynak teli dolgu metali olarak birleştirme işleminde kullanılır.

- Gaz silindirleri; gazaltı kaynağında kullanılan asetilen ve oksijen gazları basınç altında özel gaz silindirleri içerisinde depolanır ve kaynak işlemi sırasında güvenli olarak kullanımını sağlar. Asetilen gazı kırmızı renkli silindirlerde depolanırken oksijen gazı yeşil renkli silindirlerde depolanır.
- Gaz kaynak hortumu; gazaltı kaynağında kullanılan asetilen ve oksijen gazlarının kaynak makinesine güvenli bir şekilde iletilmesini gaz kaynak hortumları sağlar. Bu hortumlar yüksek basınca dayanacak şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir.

- Gazaltı kaynak makinesi; gazaltı kaynağının uygulanması için temel ekipman gazaltı kaynak makinesidir. Kaynak makinesi, asetilen ve oksijen gazlarını belirlenen oranda karıştırarak birleşme işlemi için gerekli olan alevi oluşturur.
- Gazaltı kaynak torcu; gazaltı kaynak torcu, kaynak makinesinden gelen gazların birleştiği noktada yüksek sıcaklıkta yanma gerçekleştirerek birleştirilecek malzemeleri eritir ve böylelikle birleştirme işlemi gerçekleştirilir. Alev şeklini ve büyüklüğünü ayarlayabilmek için farklı nozullar kullanılmaktadır.
- Kaynak teli; gazaltı kaynağında kullanılan kaynak teli, kaynak torcu tarafından eritilerek kaynak işleminde dolgu malzemesi olarak kullanılır. Kaynak telleri, kaynak işlemi yapılacak olan malzemelere ve uygulanan projeye göre farklı özellik ve bileşenlere sahip olabilir.

Etkili ve kaliteli bir kaynak dikişi için gazaltı kaynak ekipmanlarının ve malzemelerinin seçimi, bakımı ve doğru kullanımı, kaynak işlemi sırasında alınan güvenlik önlemleri ve koruyucu ekipmanlar önemli rol oynar.

1.3.1.2. Avantaj ve Dezavantajları

Gazaltı kaynağı, metallerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir kaynak yöntemidir. Gazaltı kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır [16].

Gazaltı kaynağının avantajları şunlardır;

- Gazaltı kaynağı, geniş uygulama alanına sahiptir; paslanmaz çelik, çelik, alüminyum ve dökme demir gibi birçok farklı metalin birleştirildiği bir kaynak yöntemidir. Ayrıca farklı kalınlıklar ve farklı geometrilere sahip parçaların kaynağını yapmak mümkündür.
- Gazaltı kaynağı, yüksek sıcaklıkta çalıştığı için kaynak işlemi hızlı gerçekleşir. Bu durum üretim sürecini hızlandırarak verimliliği artırır.

- Gazaltı kaynağı, metallerin eriyerek birleşmesi yöntemi ile gerçekleştirildiği için güçlü ve dayanıklı kaynak dikişi elde edilerek yüksek mukavemet ve sağlamlık sağlar.
- Gazaltı kaynağı, dış alanda kolaylıkla uygulanabilir ve esnek çalışma koşulları sağlar.

Gazaltı kaynağının dezavantajları şunlardır;

- Gazaltı kaynağı, yüksek sıcaklıkta çalıştığı için yoğun ısı üretir. Bazı malzemeler yüksek ısıdan deforme olabilir veya gerilme ve deformasyon oluşabilir.
- Gazaltı kaynağını uygulayabilmek için; gaz silindirleri, gaz kaynak hortumu, gazaltı kaynak makinesi ve gazaltı kaynak torcu ekipmanları gerekmektedir. Bu ekipmanların doğru kullanımı önemlidir ve bu ekipmanların bakımı ve tedariki zaman alabilmektedir.
- Gazaltı kaynağı yönteminde kullanılan ekipmanlar ve asetilen gazı maliyetli olabilmektedir. Gaz tüplerinin sürekli olarak değişmesi ve dolum işlemleri ek maliyet oluşturur.
- Gazaltı kaynak yönteminde yüksek sıcaklık ve basınç ile çalışıldığı için güvenlik önlemlerine dikkat edilmelidir. Oluşabilecek gaz sızıntısı veya yangın gibi risklere karşı gerekli önlemler alınmalı ve koruyucu ekipmanlar kullanılmalıdır.
- Gazaltı kaynağını uygulayan operatör uzman ve deneyimli olmalıdır. Operatör, kaynak işlemi yapılacak ürünün temizliği, kaynak bölgesinin doğru şekilde ve ısıda ısıtılması, kaynak parametrelerinin doğru ayarlanması ve kaynak bölgesinden sorumludur.

Gazaltı kaynak yönteminin avantaj ve dezavantajları incelendiğinde, uzman bir operatörün uygun önlemleri alarak ve doğru uygulama şekli ile gerçekleştirdiği kaynak işlemi sonucunda etkili bir kaynak yöntemi olduğu görülmektedir [17].

1.3.1.3. Uygulama Alanları

Gazaltı kaynak yöntemi metallerin birleştirilmesin de yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Birçok sektörde ve farklı uygulama alanlarında gazaltı kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır;

- Havacılık sektöründe yüksek mukavemet ve hafif malzemelerin kullanımı kritik önem taşır. Havacılık sektöründe sıklıkla kullanılan alüminyum ve titanyum gibi özel alaşım malzemelerin birleştirilmesinde gazaltı kaynak yöntemi tercih edilir. Uçak gövdeleri, kanatları, motor aksamları ve diğer parçalarını gazaltı kaynağı ile birleştirmek mümkündür.
- Otomotiv sektöründe gazaltı kaynağının geniş bir uygulama alanı vardır. Gazaltı kaynak yöntemi ile araç şasisleri, gövde parçaları ve birçok araç parçaları birleştirilir ve elde edilen dayanıklı kaynak dikişleri sayesinde araçların yapısal bütünlüğünü korunur.
- Denizcilik sektöründe gazaltı kaynağının geniş bir uygulama alanı vardır. Gemi üretimi ve onarımı süreçlerinde gemi gövdeleri, deniz altılar, platformlar ve birçok gemi parçaları gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilir. Gazaltı kaynak yöntemi ile elde edilen kaynak dikişi deniz suyuna karşı dayanıklı ve yüksek mukavemete sahip olduğu için gemilerin dayanıklılığını artırır.
- İnşaat sektöründe gazaltı kaynağı metal ve yapısal çelik konstrüksiyon alanlarında sıklıkla tercih edilir. Köprü ve viyadükler, çelik çerçeve ve yapısal bileşenler gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilir. Gazaltı kaynak yöntemi ile elde edilen kaynak dikişi dayanıklı olduğu için yapıların sağlamlığını artırır, güvenilirliğini sağlar.

Gazaltı kaynak yöntemi belirtilen endüstri alanları dışında birçok alanda ve tamirat atölyelerinde tercih edilir. Önemli olan gerekli güvenlik önlemleri alınarak, doğru ekipmanların kullanımı ile kaynak işleminin doğru bir şekilde uygulanmasıdır. Bu yöntem ile yüksek kaliteli ve güvenilir bir kaynak dikişi elde edilir [18].

1.3.2. Elektrik Ark Kaynağının Tanımı ve Uygulaması

Elektrik ark kaynağı yönteminde, elektriksel olarak iletken iki elektrot arasında oluşturulan elektrik arkının ürettiği ısı, metal yüzeyleri eriterek birleştirir. Bu yöntem çeşitli endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Elektrik ark kaynağının işleyiş adımları şu şekildedir;

- Elektrot seçimi; elektrik ark kaynağında anot olarak adlandırılan pozitif yüklü elektrot ve katot olarak adlandırılan negatif yüklü elektrot kullanılır. Kaynak yapılacak malzeme ve kaynak işlemine göre elektrot seçimi yapılır.
- Elektrotların uygulanması; elektrotların pozisyonu ve kaynak noktasına yakın bir şekilde yerleştirilmesi önemlidir. Anot ve katot elektrotlar kaynak makinesine takılır ve elektrotlar kaynak yapılacak malzemeye temas ettirilir.
- Ark oluşması; elektrik arkının oluşabilmesi için enerji kaynağı kullanılır. Enerji kaynağı, elektrotlara yüksek voltaj ve akım vererek elektrotlar arasında yüksek gerilim ve elektrik arkının oluşmasını sağlar. Oluşan elektrik arkı, elektrotlar arasında sürekli olarak ışık ve ısı oluşturur.
- Metalin erimesi ve birleşmesi; kaynak işlemi sırasında elektrik arkı metal yüzeyleri eritir ve eriyen metal malzeme, sıvı halden soğuyup katılaşması sürecinde kaynak bölgesinde birleşme sağlar.
- Kaynak bölgesinin soğuması; kaynak işlemi tamamlandıktan sonra kaynak bölgesi doğal şartlarda soğutulur. Parçaların birleştirilmesi kaynak bölgesinin soğuyup sertleşmesi ile tamamlanır ve sağlam bir kaynak dikişi elde edilir.
- Kaynak bölgesinin temizlenmesi; kaynak bölgesinde birleşme tamamlandıktan sonra kaynak bölgesi temizlenir ve fazla metal parçaları veya oksitlenmiş yüzey var ise çıkartılır[19].

Elektrik ark kaynak yöntemi, çeşitli endüstriyel sektörde geniş uygulama alanına sahip etkili kaynak yöntemidir.

1.3.2.1. Malzeme ve Ekipmanları

Elektrik ark kaynağı işleminin uygulanabilmesi için çeşitli ekipman ve malzemeler kullanılmaktadır. Bu ekipman ve malzemeler kaynak işlemini başarılı bir şekilde tamamlanmasını sağlarken güvenliğini de sağlar.

Elektrik ark kaynağı için gerekli temel ekipmanlar şunlardır;

- Elektrot; elektrik ark kaynak yönteminde anot ve katot olarak adlandırılan iki elektrot türünden oluşan elektrotlar kullanılır. Kaynak işlemi yapılacak olan malzemenin özelliğine ve kaynak işlemine uygun olarak kullanılacak elektrotlar seçilir. Genellikle kaplamalı elektrot veya kaplamasız elektrot olarak bulunurlar.
- Kaynak makinesi; elektrik ark kaynak yönteminde, kaynak işleminin gerçekleşmesi için gerekli temel ekipmandır. Kaynak makinesi, kaynak işleminin başlayabilmesi için gerekli voltaj ve akımı sağlayarak elektrik arkı oluşturur. Kaynak makinesi, genellikle güç kaynağı, kontrol panelleri ve akım regülatörleri gibi bileşenlerden oluşur.
- Kaynak teli; elektrik ark kaynak yönteminde kullanılan kaynak teli metalin eriyerek birleşmesini sağlar. Kaynak telleri farklı çaplarda ve farklı malzemelerden üretilir, uygulanacak projeye ve malzemeye göre seçilir. Kaynak makinesine bağlanarak elektrik arkının olduğu alanda beslenir.
- Koruyucu ekipman; elektrik ark kaynağı işlemi sırasında oluşan parlak ışıktan korunmak için kaynak makinesi veya gözlük kullanımı, güvenli bir şekilde kaynak işlemini tamamlamak için gereklidir. Elektrik ark kaynağı işlemi sırasında oluşan yüksek ısı ve etrafa sıçrayan kıvılcımlardan korunmak için koruyucu eldiven ve kıyafet kullanımı, güvenli bir şekilde kaynak işlemini tamamlamak için gereklidir [20].

1.3.2.2. Kaynak Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Elektrik ark kaynak yönteminin farklı çeşitleri ve farklı teknikleri bulunmaktadır. Her bir yöntemin avantaj ve dezavantajları vardır [21].

Kaplama Elektrotlu Elektrik Ark Kaynağı

Bu kaynak yönteminde özel kaplama malzemesi içeren elektrot kullanılır. Kaplama malzemesi kaynak işlemi sırasında erir ve metallerin birleşmesini sağlayarak kaynak bölgesini korur.

Kaplama elektrotlu elektrik ark kaynağının avantajları şunlardır;

- Yüksek mekanik mukavemet sağlar.
- Kaynak bölgesini paslanmaya karşı korur.
- Daha sabit bir ark oluşumu sağlar.

Kaplama elektrotlu elektrik ark kaynağının dezavantajları şunlardır;

- Kaplama malzemesinin maliyeti daha yüksektir.
- Kaynak işlemi sırasında daha fazla gaz ve duman oluşur.

Kaplamasız Elektrotlu Elektrik Ark Kaynağı

Bu kaynak yönteminde kaplamasız elektrot kullanılır. Kaplamasız elektrotlar kaynak bölgesini temizler ve daha yüksek kaynak akımı kullanımı sağlar.

Kaplamasız elektrotlu elektrik ark kaynağının avantajları şunlardır;

- Kaynak hızı daha yüksektir.
- Kaynak işlemi sırasında daha az gaz ve duman oluşur.
- Maliyeti daha düşüktür.

Kaplamasız elektrotlu elektrik ark kaynağının dezavantajları şunlardır;

- Paslanma riski daha yüksektir.
- Kaynak bölgesindeki mekanik özellikler daha düşüktür.

Tungsten Ark Kaynağı

Bu kaynak yönteminde tungsten elektrot kullanılır.

Tungsten ark kaynağının avantajları şunlardır;

- Yüksek kaliteli kaynak dikişı elde edilir.
- Kaynak süreci kontrol edilebilir.
- Kaynak bölgesi temiz ve paslanmaya karşı dayanıklıdır.

Tungsten ark kaynağının dezavantajları şunlardır;

- Kaynak hızı daha yavaştır.
- Kaynak işlemini gerçekleştiren operatörün deneyimli olması gerekmektedir.
- Kullanılan ekipmanlar maliyetlidir.

Karbon Ark Kaynağı

Bu kaynak yönteminde karbon elektrot kullanılır ve yoğun ark oluşturulur.

Karbon ark kaynağının avantajları şunlardır;

- Kaynak hızı yüksektir.
- Uygulanabilir malzeme çeşitliliği fazladır.
- Daha derin penetrasyon sağlar.

Karbon ark kaynağının dezavantajları şunlardır;

- Isı girişı daha yüksektir bu yüzden malzemelerin deforme olma riski daha yüksektir.
- Kaynak işleminde daha fazla duman ve gaz oluşur.

Tozaltı elektrik Ark Kaynağı

Bu kaynak yönteminde ark oluşturabilmek için bir veya birden fazla telli elektrot kullanılır.

Tozaltı elektrik ark kaynağının avantajları şunlardır;

- Kaynak verimliliği yüksektir.
- Kaynak işlemi süreci otomatiktir.
- Yüksek kaynak hızı ile sürekli olarak kaynak yapabilme özelliği sunar.

Tozaltı elektrik ark kaynağının dezavantajları şunlardır;

- Kullanılan ekipmanlar daha maliyetlidir.
- Kaynak işlemi sırasında daha fazla duman ve gaz oluşur.

1.3.2.3. Uygulama Alanları

Elektrik ark kaynağı yönteminin, metal parçaların birleştirilmesi, onarım ve kaplama gibi çeşitli sektörlerde geniş bir uygulama alanı vardır. Bu uygulama alanları şunlardır;

- Metal işleme ve imalat sektöründe; metal parçaların birleştirilmesi, kaynaklı konstrüksiyonların yapımı, tanker üretimi ve boru hatlarının montajı gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen metal parçalar da kaliteli bir kaynak dikişi elde edilir.
- Otomotiv sektöründe; elektrik ark kaynağı araba şaseleri, gövde panelleri ve diğer metal parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen parçalar da yüksek mukavemetli kaynak dikişleri elde edilir ve otomotiv parçalarının dayanıklılığını artırır.
- Denizcilik sektöründe; elektrik ark kaynağı gemi yapımı ve onarımında kullanılır. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen gemi ve deniz araçlarının güvenli ve sağlam bir şekilde inşa edilmesini sağlar.
- Petrol ve gaz sektöründe; elektrik ark kaynağı petrol ve gaz sektöründe kullanılan boru hatları ve tank gibi ekipmanların üretim ve inşasında kullanılır.

Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen parçalar da yüksek mukavemetli ve sızdırmazlık özellikli kaynak dikişleri elde edilir.

- İnşaat sektöründe; elektrik ark kaynağı köprülerin ve çelik yapıların inşası, vinçlerin montajında kullanılır. Elektrik ark kaynağı ile inşa edilen yapılarda dayanıklı kaynak dikişleri elde edilir ve yapıların güvenliği sağlanır.

Örnek olarak gösterilen bu sektörler ve uygulama alanlarından görüldüğü gibi elektrik ark kaynağının uygulama alanı oldukça geniştir ve elektrik ark kaynağı ile sağlam, kaliteli ve güvenilir kaynak dikişleri elde edilir [22].

1.3.3. Lazer Kaynağının Tanımı ve Uygulaması

Lazer kaynak yöntemi metal ve ametal malzemelerin, lazer ışınlarının yoğunlaştırılarak malzemeye odaklanması sonucu birleştirilmesini sağlayan kaynak yöntemidir [23].

Lazer kaynak cihazının ürettiği yüksek enerjili lazer ışını birleştirme işlemi yapılacak malzemenin üzerine optik sistem yardımıyla odaklanır ve malzeme yüzeyinde yoğunlaştırılan lazer ışını malzeme yüzeyinde yüksek ısı oluşturur. Oluşan yüksek ısı malzeme yüzeyinde erime veya buharlaşma bölgesi oluştur böylelikle lazer ışını erimiş veya buharlaşmış malzemeyi etkileyerek birleştirme işlemini gerçekleştirir [24].

Lazer kaynak yöntemi genellikle hassasiyeti yüksek olan proje ve alanlarda kullanılır. Lazer kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır.

Lazer kaynağının avantajlarından bazıları şunlardır;

- Yüksek hassasiyet sağlar.
- Yüksek kaynak hızı sağlar.
- Kaynak bölgesi dardır.
- Isı etkisi azdır.
- Deformasyon riski azdır.

- Kaynak yüzeyi temizdir.
- Kontrol sağlanabilir.
- Uygulanabilir malzeme çeşitliliği fazladır [25].

Lazer kaynağının dezavantajlarından bazıları şunlardır;

- Ekipman maliyeti fazladır.
- Uygulanabilir malzeme kalınlığı sınırlıdır.
- Kaynak işlemi öncesi yüzey hazırlığı işlemi gerektirir [26].

Lazer kaynağının başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için gerekli olan ekipmanlar şunlardır; Lazer kaynak makinesi, odaklamak için optik sistem, lazer kontrol sistemi, lazer jeneratörü ve soğutma sistemi. Uygulamalara ve malzemeye göre kullanılan lazerler çeşitlilik gösterebilir [27].

Lazer kaynak yöntemi çeşitli sektörlerde, uygulama ve malzeme seçimini dikkate alınarak yaygın olarak uygulanmaktadır.

1.3.3.1. Ekipman ve Malzemeleri

Lazer Kaynağının başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için çeşitli ekipmanlar ve malzemeler gerekmektedir. Bu ekipmanlar ve malzemeler, kontrol edilebilirlik, yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilirlik sağlayarak yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lazer kaynağının uygulanabilmesi için gerekli olan ekipmanlar şunlardır;

- Lazer kaynak makinesi; lazer ışınını oluşturan ve kontrol edilmesini sağlar.
- Lazer jeneratörü; lazer ışınını oluşturan cihazdır.
- Optik sistem; lazer ışınını odaklama yönlendirme işlemlerinin gerçekleşmesini sağlar.
- Soğutma sistemi; lazer kaynak işlemi sırasında ısınan ekipmanların soğutulmasını sağlar.
- Kontrol sistemi; lazer kaynak işlemini yönetir ve kaynak parametrelerinin ayarlanmasını sağlar [28].

Lazer kaynağının uygulanabilmesi için gerekli olan malzemeler şunlardır;

- Elektrot; lazer ışınının enerjisini malzemeye iletir.
- Koruyucu gaz; lazer kaynak işlemi sırasında malzemeyi paslanmaya karşı korumak için kullanılır.
- Kaynak füzyonu; lazer kaynak işlemi sırasında eritilen ve birleştirilen malzemeleri temsil eder.
- Yüzey kaplama malzemesi; lazer kaynak işlemi ile birleştirilen kaynak dikişinin daha dayanıklı ve görüntü olarak daha iyi olmasını sağlar [29].

Lazer Kaynağı ekipmanları ve malzemeleri birleştirilecek malzemelerin kendi özelliklerine ve uygulamanın istenilen özelliklerine göre seçilmelidir. Kaynak işlemi sırasında kullanılan ekipmanların bakımı ve kalibrasyon işlemleri periyodik olarak yapılmalıdır [30].

1.3.3.2. Avantaj ve Dezavantajları

Lazer kaynak yöntemi çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılan bir kaynak yöntemidir. Uygulanacak sektör ve projelere göre avantaj ve dezavantajları vardır.

Lazer kaynak yönteminin avantajları detaylı olarak şu şekildedir;

- Yüksek hız ve yüksek hassasiyet sağlar. Lazer ışını, malzemeyi hızla ısıtarak eritir ve kaynağın oluşmasını sağlar. Hızlı üretim yapılan uygulama alanlarından bu özellik tercih edilmektedir.
- Lazer kaynağı işleminde kaynak bölgesi dardır ve ısı etkisi az olduğu için malzemedeki deformasyon riski azdır. Bu özellik hassas parçaların birleştirilmesinde avantaj sağlar ve kaynak dikişi ile ürünün kalitesini artırır.
- Lazer kaynağının uygulanabilir malzeme çeşitliliği fazladır. Metal ve metal, metal ve plastik, plastik ve plastik gibi farklı malzemeler birleştirilebilir.
- Lazer kaynağında kaynak yüzeyi temizdir böylelikle temiz bir kaynak dikiş elde edilir ve genelde kaynak izi bırakmaz. Bu özellik sayesinde malzemenin son halinin daha estetik görünmesini sağlar ve ikinci bir işlem gerektirmez.

- Lazer kaynağı otomatik kontrol sistemleri ile bütünleşerek kaynak işlemi süreci tamamen kontrol edilebilir. Bu özellik tekrarlanabilirlik sağlar ve kaynak işlemini yapan operatörün hatasını en aza indirger [31].

Lazer kaynak yönteminin dezavantajları ise detaylı olarak şu şekildedir;

- Lazer kaynağında kullanılan ekipman ve malzemelerin başlangıç maliyetleri oldukça yüksektir.
- Lazer kaynak işleminde kullanılan enerji miktarı fazladır ve bu durum işletmenin gider masraflarını artırır.
- Lazer kaynak işleminde kaliteli bir kaynak dikişi elde edebilmek için toz, kir ve gazların olmadığı temiz bir çalışma ortamında uygulanması gerekmektedir.
- Lazer kaynak işlemini gerçekleştirecek olan operatörün deneyimli ve uzman olması gerekmektedir. Parametrelerin ayarlanması, lazerin kontrolü ve işlem sırasında kontrol edilmesi gerekmektedir [32].

1.3.3.3. Uygulama Alanları

Lazer kaynak yöntemi geniş bir uygulama alanına sahip olan bir kaynak yöntemidir. Lazer kaynak yönteminin çeşitli sektörlerde farklı uygulama örnekler vardır. Bu örnekler şunlardır;

- Lazer kaynak yöntemi otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomobil gövde ve şasiler gibi büyük parçaların birleştirilmesinde tercih edilen kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi sayesinde dayanıklı ve hafif bir kaynak dikişi elde edilir.
- Lazer kaynak yöntemi havacılık sektöründe hassas kaynak işlemlerinde tercih edilmektedir. Uçak gövdesi, kanatlar ve diğer yapı paralarında lazer kaynağı kullanılır ve hafif ve dayanıklı kaynak dikiş elde edilir. Ayrıca uzay araçlarının parçalarının da birleştirilmesinde lazer kaynak yöntemi tercih edilir.
- Lazer kaynak yöntemi tıp sektöründe cerrahi aletlerin ve implant üretiminde tercih edilir. Lazer kaynak yöntemi ile birleştirilen medikal cihazlar da hassas

ve kaliteli kaynak dikişi elde edilirken medikal cihazların dayanıklılığını arttırır.

- Lazer kaynak yöntemi ile elektronik devreler, bileşenler, devre kartları ve mikro elektrik parçalar birleştirilir. Lazer kaynak yöntemi ile hassas kontrol ve düşük ısı etkisi olduğu için elektronik parçaların hasar görmesini engeller.
- Lazer kaynak yöntemi takı ve saat üretiminde tercih edilen kaynak yöntemidir. Lazer kaynağı ile değerli metaller ve kıymetli taşlar birleştirilir. Bu yöntem sayesinde hassas kaynak işlemi gerçekleştirilir ve estetik açıdan görünür kaynak izi oluşmasının önüne geçilir [33].

1.3.4. Elektrikli Direnç Kaynağının Tanımı ve Uygulaması

Elektrikli direnç kaynak yönteminde elektrik enerjisi kullanılarak metal parçaların yüksek sıcaklıkta eritilmesi ve eriyen malzemelerin birleşmesini sağlar. Direnç kaynağının işleyişi şu şekildedir; birleştirilmek istenen metal parçalar birleştirilecek noktadan alt ve üst elektrotlar yardımı ile birbirlerine bastırılır. Kaynak elektrotlarının oluşturduğu yüksek akım kaynak noktasında yüksek ısı oluşturur ve metal parçaların birbiri ile temas ettiği noktadan malzemeleri eritir. Kaynak elektrotları kaynak işlemi sırasında malzemelere basınç uygulayarak erimiş olan malzemelerin birleşmesini sağlar. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra erimiş metal malzemeler soğuyarak birleşir ve dayanıklı bir kaynak dikişi oluşturur [34].

Elektrikli direnç kaynağı endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılır ve diğer kaynak yöntemlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır.

Elektrikli direnç kaynağının avantajlarından bazıları şunlardır;

- Hızlı ve verimlidir.
- Yüksek mukavemet sağlar.
- Doldurma malzemesine ihtiyaç yoktur.
- Uygulanabilir malzeme çeşitliliği fazladır.
- Kaynak dikişinin görünümü estetikdir.

- Otomatik olarak uygulanabilir [35].

Elektrikli direnç kaynağının dezavantajlarından bazıları şunlardır;

- Uygulanabilir malzeme seçeneği sınırlıdır.
- Kaynak işlemi öncesi yüzey temizliği gerektirir.
- Kullanılan enerji tüketimi fazladır.
- Uygulanabilir alanları sınırlıdır [36].

1.3.4.1. Ekipman ve Malzemeleri

Elektrikli direnç kaynağı işleminde kaliteli bir kaynak dikişi elde edebilmek için çeşitli ekipman ve malzemeler gerekmektedir. Bunlar; kaynak transformatörü, kontrol ünitesi, güç kaynağı, kaynak elektrotları, basınç sistemi ve soğutma sistemidir.

- Kaynak transformatörü; elektrikli direnç kaynak işlemi sırasında gereken elektrik akımının oluşmasındaki en temel ekipman kaynak transformatörüdür. Kaynak transformatörü elektrik enerjisini yüksek akım düşük voltajlı bir çıkışa dönüştürerek enerjinin kontrol altında olmasını ve uygun seviyede sabit bir akım oluşmasını sağlar.
- Kontrol ünitesi ve güç kaynağı; elektrikli direnç kaynağında elektrik akımının ve kaynak parametrelerini kontrolü için kontrol ünitesi ve güç kaynağı kullanılır. Kaynak transformatörünün istenilen akımı sağlayabilmesi için gerekli olan enerjiyi güç kaynağı sağlar. Kaynak parametrelerinin ayarlanması ve kontrol edilmesi ise kontrol ünitesi ile yapılmaktadır.
- Alt ve üst kaynak elektrotları; elektrikli direnç kaynağı için gerekli olan alt ve üst elektrotlar sayesinde elektrik akımı taşınarak yüksek sıcaklık elde edilir. Elektrotlar genelde yüksek iletkenliğe ve dayanıklılığa sahip bakır veya tungsten malzemelerden üretilir.
- Elektrot basınç sistemi; elektrikli direnç kaynak işlemi sırasında birleştirilecek olan malzemelerin üzerine elektrotlar yardımıyla uygulanan ve erimiş malzemelerin birleşmesini sağlayan basınç sistemidir. Bu sistem alt ve üst

elektrotun birleştirilecek malzemeye düzgün bir şekilde basınç uygulamasını sağlar.

- Soğutma sistemi; elektrikli direnç kaynak işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklıktan ekipmanların aşırı ısınıp zarar görmemesi için elektrotlar, kaynak transformatörleri ve diğer parçalar soğutma sistemi ile korunur.

1.3.4.2. Avantaj ve Dezavantajları

Elektrikli direnç kaynağı yönteminde elektrik akımı kullanılarak iki veya daha fazla parça arasında yüksek sıcaklık oluşturularak birleştirme işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemin diğer kaynak yöntemlerine avantaj ve dezavantajları vardır [37].

Elektrikli direnç kaynağı yönteminin avantajları şunlardır;

- Hızlı ve verimli kaynak dikişi sunar. Elektrik enerjisini doğrudan kullanarak yüksek akım sayesinde kısa sürede yüksek sıcaklık elde edilir ve malzemelerin hızlı bir şekilde birleşmesini sağlar. Hızlı kaynak dikişi elde etmek üretim sürecini hızlandırarak verimliliği artırır.
- Sağlam kaynak dikişleri elde edilir. Metal parçalar eritilerek birbirine tam olarak birleşmesi işlemi ile gerçekleştirilir ve bu sayede dayanıklı uzun ömürlü kaynak dikişi elde edilir.
- Doldurma malzeme kullanımına ihtiyaç yoktur. Kaynak işlemi sırasında malzemeler eriyerek birleştiği için ilave bir doldurma malzemesine gerek duyulmaz. Bu durum hem maliyeti düşürür hem de işlem sürecini basitleştirir.
- Otomatik olarak uygulanabilir olması üretim sürecini kolaylaştırır. Otomatik kaynak makineleri kullanılarak kaynak işlemi otomatikleştirilebilir ve böylelikle operatör hataları en aza indirgenir.

Elektrikli direnç kaynağı yönteminin dezavantajları şunlardır;

- Uygulanabilir malzeme seçeneği sınırlıdır. Elektrikli direnç kaynağı malzemesinde en önemli faktör malzemenin iletkenliğinin olmasıdır. İletkenlik özelliği olmayan veya kaynak işleminde oluşan ısıdan çabuk etkilenebilecek ince malzemelerin birleştirilmesi işleminde uygun değildir.
- Kaynak işleminde malzemelerin yüzey temizliğinin yapılması sağlanmalıdır. Kaynak yapılacak malzemelerin yüzeyindeki paslanma veya kirlilik kaynak dikişinin kalitesini olumsuz etkiler ve o bölgelerde kaynağın kalitesi bozulur.
- Kaynak işleminde yüksek enerji tüketimi gerçekteşir. Malzemelerin erimesi için yüksek elektrik akımlarına ihtiyaç duyulur ve bu durum yüksek enerji kullanımına sebep olur. Seri imalatı olan büyük çaplı işlerde enerji maliyeti önemli rol oynadığı için elektrikli direnç kaynak yöntemi tercih edilmeyebilir.
- Uygulanabilir kaynak alanları sınırlıdır. Büyük ve karmaşık veya dar alanlarda kaynak yapmak sınırlı olabilir.

1.3.4.3. Uygulama Alanları

Elektrikli direnç kaynağı yöntemi birçok sektör de birçok çeşitli uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılan bir kaynak yöntemidir. Elektrikli direnç kaynağının uygulama alanlarından bazıları şunlardır;

- Elektrikli direnç kaynağı otomotiv sektöründe araç gövdesi, şasiler, elektriksel bağlantılar ve radyatörler gibi birçok çeşitli uygulama alanında kullanılır. Bu kaynak yöntemi hızlı ve güvenilir kaynak dikişleri elde edildiği için tercih edilmektedir.
- Elektrik elektronik sektöründe elektrikli direnç kaynağı elektronik bileşenlerin ve devre kartlarının üretiminde ve montaj işleminde kullanılır.
- Elektrikli direnç kaynağı mobilya sektöründe sandalye ve raf gibi metal mobilyaların üretiminde sağlam ve estetik olmasından kaynaklı tercih edilir.
- Elektrikli direnç kaynağı petrol ve gaz sektöründe yöntemi ile petrol ve gaz sektöründeki boru hatlarında kullanılır. Bu yöntem ile elde edilen kaynak

dikişlerinin sızdırmazlık ve sağlamlık özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir [38].

1.3.5. Plazma Kaynağının Tanımı ve Uygulaması

Plazma kaynak yöntemi, plazma gazı ile yüksek sıcaklıkta malzemelerin erimesi ve soğuduktan sonra birleşmesi sonucu ile kaynak dikişi elde edilmesi olarak basit bir şekilde tanımlanabilir. Ancak plazma kaynağının oluşma süreci karmaşıktır. İki elektrot arasında yüksek gerilim farkı ile oluşan elektrik ark, inert gaz veya aktif gaz ile birleşerek plazma haline dönüşür. Elde edilen plazma gazı elektrik akımının geçtiği bölgelerde yoğunlaşarak metal yüzeyi eritir, eriyen malzemeler birleşir ve soğuma aşamasında kaynak dikişi oluşur [39].

Plazma kaynağında kullanılan gaz türünde genellikle inert gaz olarak argon veya helyum gazı tercih edilirken aktif gaz olarak oksijen veya azot gazı tercih edilir. Kullanılan gaz türleri kaynak yapılacak malzemelere ve uygulama alanına göre seçilir [40]. Plazma kaynağı birçok farklı sektör ve uygulama alanında çeşitli avantajlarından dolayı tercih edilmektedir.

Plazma kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre avantajları şunlardır;

- Enerji yoğunluğu yüksektir.
- Kontrolü hassastır.
- Isı etkisi azdır.
- Farklı malzemelerin birbiri ile birleştirilmesini sağlar.
- Temiz bir kaynak dikişi elde edilir [41].

Plazma kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre dezavantajları şunlardır;

- Maliyeti yüksektir.
- Enerji tüketimi fazladır.
- Yüzey hazırlığı gerektirir.
- Kullanımı karışıktır. Uzmanlık gerektirir [42].

Plazma kaynak yöntemi uygun ve doğru şekilde uygulandığı zaman güvenilir ve kaliteli bir kaynak dikişi elde edilir.

1.3.5.1. Ekipman ve Malzemeleri

Plazma kaynağının doğru bir şekilde uygulanabilmesi gerekli ekipman ve malzemeler sağlanmalıdır. Gerekli olan ekipman ve malzemeler şunlardır; plazma kaynak makinesi, plazma kaynak torcu, gaz, elektrot ve soğutma sistemidir [43].

- Plazma kaynak makinesi; plazma kaynak işlemi için en temel ekipmandır, plazma arkının oluşmasında ve oluşan arkın sürekliliği için gereken enerjiyi sağlar. Plazma kaynak makinesi güç kaynağı ve gaz kontrol ünitesinden oluşur.
- Plazma kaynak torcu; plazma kaynak torcu, arkın oluştuğu ve kaynak bölgesi yüzeyine odaklandığı kısımdır. Plazma kaynak torcu elektrot ve muhafazası, nozul ve soğutma sisteminden oluşur. Elektrot elektrik arkını oluşturur, nozul ise arkın şeklini ve yoğunluğunu kontrol eder.
- Gaz; plazma kaynak işleminde kullanılan inert gazlar olarak argon, helyum ve azot kullanılır. Bu gazlar plazma arkının oluşumunu ve sabit olmasını sağlarken malzemeye etki eden oksijen ve diğer etkenlerin malzemeye olan etkisini azaltır.
- Elektrot; plazma kaynak işleminde elektrotlar elektrik arkını üretir ve plazma arkının sabit kalmasını sağlar.
- Soğutma sistemi; plazma kaynak işlemi sırasında oluşan yüksek ısı ekipmanların ısınmasına sebep olur. Ekipmanların yüksek ısıdan korunması için su içerikli soğutma sistemi kullanılır.

Plazma kaynak ekipmanları ve malzemelerinin doğru seçim ve doğru kullanımı ile kaliteli kaynak dikişleri elde edilmesinde önemli rol oynar. Ayrıca gaz karışımı ve elektrotlar kaynak performansını da doğrudan etkiler [44].

1.3.5.2. Avantaj ve Dezavantajları

Birçok sektör ve uygulama alanında kullanılan plazma kaynağının çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır.

Plazma kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre avantajları şunlardır;

- Enerji yoğunluğu yüksektir. Plazma kaynağının uygulanabilmesi için yüksek sıcaklığa ihtiyaç vardır. Bu sıcaklığa ulaşmak için yüksek enerji gerekir ve oluşan yüksek enerji kalın malzemelere kaynak işleminin yapılabilmesini mümkün kılarken daha hızlı kaynak hızı ve daha derin nüfuziyet sağlar.
- Kontrol süreci hassastır. Plazma kaynak işlemi sırasında plazma arkının yoğunluk ve şeklinin ayrıca gaz akışının kontrol edilebilir olması daha kaliteli sonuçlar çıkarır.
- Oluşturduğu ısı etkisi azdır. Plazma kaynağının malzeme üzerinde küçük ama derin bir kaynak bölgesinin olması malzeme üzerindeki ısı etkisini ve ısı etkisi ile oluşabilecek deformasyonları azaltır.
- Uygulanabilen malzeme çeşitliliği fazladır. Plazma kaynağı ile metal malzemelerin haricinde seramik malzemelerin kaynağını da yapmak mümkündür.
- Temiz bir kaynak dikişi elde edilir. Plazma kaynak işleminde malzeme üzerinde kirlenme ve paslanma en az seviyede oluşur. Temiz ve sağlam bir kaynak dikişi elde edilmesinde önemli rol oynar [44].

Plazma kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre dezavantajları şunlardır;

- Plazma kaynağı için kullanılan ekipman ve gazların maliyeti yüksektir ve bu durum başlangıç maliyetini arttırır.
- Plazma kaynak işleminin gerçekleştirilebilmesi için yüksek enerjiye ihtiyaç duyulur, bu durum enerji maliyetini arttırır.
- Plazma kaynak işlemi öncesinde kaliteli ve sağlam bir kaynak dikişi elde edebilmek için yüzey temizliğine dikkat edilmesi gerekmektedir.
- Plazma kaynağı işlemi diğer kaynak işlemlerine göre karışık görünmektedir. Bu yüzden kaynak işlemini gerçekleştiren operatörün ekipmanı doğru kullanımı ve ayarlaması önemlidir [43].

1.3.5.3. Uygulama Alanları

Plazma Kaynak yöntemi farklı sektörlerde ve geniş uygulama alanlarında tercih edilmektedir. Plazma kaynağının uygulandığı sektörlerden bazıları şunlardır;

- Plazma kaynak yöntemi otomotiv sektöründe; araç şasisleri ve egzoz sistemleri gibi birçok noktada kullanılmaktadır.
- Plazma kaynak yöntemi havacılık sektöründe alüminyum ve titanyum gibi alaşımların birleştirilmesinde tercih edilen bir yöntemdir. Uçak gövdesi, motor ve uzay araçlarının parçaları gibi ürünlerin birleştirilmesinde kullanılır.
- Plazma kaynak yöntemi gemi imalatında gemi gövdesinin birleştirilmesi ve sızdırmazlık işlemlerinde tercih edilen bir kaynak yöntemidir.
- Plazma kaynak yöntemi inşaat sektöründe metal yapıların birleştirilmesinde çelik konstrüksiyon yapı, boru hattı, köprü ve demiryolu rayları gibi alanlarda tercih edilmektedir.

Plazma kaynak yönteminde yüksek ısı ve enerji de malzemelerin birleşmesini sağlayarak sağlam ve estetik kaynak dikişleri elde edilir ve çeşitli sektörler de uygulama alanları mevcuttur [45].

1.4. KAYNAK HATALARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Kaynak işlemi, metal malzemelerin birbiri ile birleştirilme işlemidir. Bu birleştirilme işleminde istenmeyen hatalar meydana gelebilir ve bu da kaynak bağlantısının kalitesini ve dayanıklılığını olumsuz etkiler [46].

1.4.1. Kaynak Hatalarının Çeşitleri

Kaynak işlemi, metal malzemelerin birbiri ile birleştirilme işlemidir. Bu birleştirilme işleminde istenmeyen hatalar meydana gelebilir ve bu da kaynak bağlantısının kalitesini ve dayanıklılığını olumsuz etkiler.

1.4.1.1. Çatlak Hatası

Kaynak işleminde en tehlikeli hata çatlak oluşumudur. Kaynak dikişinin yüksek mukavemete sahip olmadığını gösterir ve bu bölgelerden kırılmalar meydana gelebilir. Çatlak oluşumu genelde hızlı soğutma, kaynak akımının düşük olması ve gerilme etkisinin fazla olmasından dolayı kaynaklanabilir.

1.4.1.2. Gözenek Hatası

Gözenekler kaynak bölgesinde yüzeyin kirli olmasından veya kaynak işlemi sırasında oluşan gaz kabarcıklarının kaynakta bıraktığı boşluklardır. Gözenekler kaynak dikişinin yapısını zayıflatır ve çatlakların oluşumuna yol açabilir.

1.4.1.3. Deformasyon Hatası

Kaynak işlemi sırasında aşırı ısınma sonucunda malzeme de ve kaynak bölgesinde oluşan deformasyonlar kaynak dikişinin mukavemetini düşürür. Malzemenin aşırı ısınıp soğuması, kaynak parametrelerinin hatalı belirlenmesi ve uygulanması deformasyon oluşumuna neden olur.

1.4.1.4. Yetersiz Nüfuziyet Hatası

Yetersiz nüfuziyet oluşumu, kaynak işlemi sırasında ergimenin yeteri kadar derine etkilememesiyle oluşur ve kaynak dikişinin mukavemetini azaltrak çatlak oluşumuna yol açabilir.

1.4.1.5. Yüzey Hatası

Kaynak bölgesindeki ve kaynak dikişindeki görsel hatalardır. Bu hatalar kaynak dikişinin düzensiz uygulanması ile oluşur ve kaynak dikişinin görsel olarak kalitesini olumsuz etkiler.

1.4.2. Kaynak Hatalarının Önlenmesi ve Düzeltilmesinin Yolları

Kaynak hatalarının önlenmesi oluşabilecek hataları azaltır ve kaliteli kaynak elde edilmesine yardımcı olur. Alınabilecek önlemlerden bazıları şunlardır;

- Kaynak işleminin iyi planlanması ve hazırlık yapılması.
- Kaynak parametrelerinin doğru ayarlanması.
- Kullanılan kaynak malzemelerinin kaliteli olması. Seçilen malzemeler standartlara ve uygulanacak projeye uygun olmalı ve doğru şekilde depolanmalıdır.
- Kaynak işlemini uygulayan operatörlerin eğitilmiş ve deneyimli olması kaynak kalitesini doğrudan etkiler. Kaynak operatörlerinin gerekli eğitimleri aldırılarak onların geliştirilmesi ve yapılan hataların azaltılmasını sağlar.
- Kaynak işlemi sırasında kaynak dikişinin kontrolünün yapılması gerekmektedir. Görsel muayene sonucunda tespit edilen bir hata var ise kaynak işlemine devam etmeden hata düzeltilerek kaynak işleminin doğru bir şekilde devam etmesi sağlanır. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra da görsel, manyetik ve ultrasonik muayeneler yapılarak kaynak kalitesi tekrar kontrol edilmeli hata varsa düzeltilmesi gerekmektedir [10].

Kaynak hatalarının çeşitli sebepleri olabilir ve bunlardan bazıları şunlardır; operatör hatası, yeterli ön hazırlığın yapılmaması, hatalı kaynak yöntemi, hatalı parametre ayarı kaynak işlemi yapılan ve uygulanan dolgu malzemelerinin kalitesi gibi sebeplerden dolayı bu hatalar olabilir. Kaynak hatalarının azaltılması için bu sebeplere dikkat edilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.

1.5. KAYNAĞIN SOĞUMA HIZI

Kaynak işlemi sonrasında malzemede ve kaynak bölgesinde oluşan ısının zamanla soğuması sürecine kaynağın soğuma hızı denir. Kaynak dikişinin doğru şekilde soğuması kaynak dikişinin kalitesini doğrudan etkiler.

Kaynağın soğumasına etki eden faktörler şunlardır;

- Kaynak işlemleri yapılan malzemelerin kendi iç özellikleri soğuma hızını etkiler. Termal iletkenlik özelliği yüksek olan malzemeler daha hızlı soğurken ısı kapasitesi yüksek olan malzemeler daha çok ısıyı bünyesinde tuttuğu için daha yavaş soğur.
- Uygulanan kaynak yöntemindeki parametrelerden akım, voltaj, kaynak hızı gibi parametrelerde kaynağın soğuma hızını etkiler. Yüksek akımda veya kaynak hızının düşük olduğu işlemlerde daha fazla ısı oluşur, daha yavaş bir soğuma gerçekleşir.
- Kaynak işlemleri uygulanırken bulunan ortamın sıcaklığı soğuma sürecini etkiler. Soğuk ortamda yapılan kaynak işlemleri daha hızlı soğur.
- Kaynak bölgesinin şekli ve boyutu, uygulanan kaynağın kalınlığı ve boyu soğuma hızını etkiler. Büyük ve kalın kaynaklar yavaş soğurken küçük ve ince kaynaklar daha hızlı soğur.
- Kaynak sonrasında uygulanan soğutma yöntemleri kaynağın soğuma hızını etkiler. Daha hızlı soğutmak için su veya hava ile soğutma işlemi uygulanabilir, daha yavaş soğutmak için ise fırın soğutma veya izole ederek soğutma yöntemleri uygulanabilir.

1.5.1. Kaynağın Soğuma Hızının Önemi

Kaynak işlemi sonrasında kaynak bölgesinde oluşan ısının doğru bir şekilde soğuması ve kaynağın soğuma hızı; kaynağın mikro yapısını, malzeme özelliklerini ve kaynak dikişinin mekanik özelliklerini etkiler.

1.5.1.1. Mikro Yapı ve Sertliğe Etkisi

Kaynak işlemi uygulandıktan sonra malzeme soğudukça mikro yapısı oluşur. Soğuma hızının hızlı gerçekleşmesi malzemenin ince ve homojen bir mikro yapıya sahip olmasına yol açar ve malzemenin sertliği artar. Bu gibi durumlarda kaynak dikişinde kırılmaların meydana gelme ihtimali artmış olur. Soğuma hızının yavaş gerçekleşmesi ise malzemenin kaba bir mikro yapıya sahip olmasına yol açar ve malzemenin sertliği düşük olur.

1.5.1.2. Gerilmelerin Oluşmasına Etkisi

Kaynak bölgesindeki ısının hızlı bir şekilde dağılması termal gerilmeleri oluşturur ve bu gerilmeler kaynak dikişinin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Soğuma hızının hızlı olması termal gerilmeleri arttırabilir.

1.5.1.3. Kaynak Dikiş Kalitesine Etkisi

Kaynak işleminden sonra kaynak dikişi ve malzeme soğuyunca kaynak dikişinin kalitesi incelenir. Soğuma hızının hızlı gerçekleşmesi erimiş malzemenin hızlı katılaşmasını sağlar ve homojen yüksek mukavemetli bir kaynak dikişi elde edilebilir. Soğuma hızının yavaş gerçekleşmesinde ise daha büyük tane boyutlarına ve düşük mukavemetli kaynak dikişi elde edilebilir.

BÖLÜM 2

UYGULAMA

Çalışmamızda çelik konstrüksiyon sektöründe sıkça kullanılan sac malzeme cinsi olarak S355, S700 ve S960 kullanılmıştır. Birçok sektörde tercih edilen gazaltı kaynağı uygulanmış ve farklı soğutma yöntemleri uygulanarak, soğuma hızının kaynak dikişi kalitesine etkisi incelenmiştir. Uygulanan çalışmaların şeması çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çalışma çizelgesi.

NUMUNE	BİRİNCİ MALZEME	İKİNCİ MALZEME	KAYNAK YÖNTEMİ	SOĞUTMA YÖNTEMİ
1	S355 10*100*100mm	S355 10*100*100mm	Gazaltı Kaynağı	İzolasyon örtüsüne sararak yavaş soğutma
2	S355 10*100*100mm	S355 10*100*100mm	Gazaltı Kaynağı	Normal şartlarda soğutma
3	S355 10*100*100mm	S355 10*100*100mm	Gazaltı Kaynağı	Su ile hızlı soğutma
4	S700 10*100*100mm	S700 10*100*100mm	Gazaltı Kaynağı	İzolasyon örtüsüne sararak yavaş soğutma
5	S700 10*100*100mm	S700 10*100*100mm	Gazaltı Kaynağı	normal şartlarda soğutma
6	S700 10*100*100mm	S700 10*100*100mm	Gazaltı Kaynağı	su ile hızlı soğutma
7	S960 10*100*100mm	S960 10*100*100mm	Gazaltı Kaynağı	İzolasyon örtüsüne sararak yavaş soğutma
8	S960 10*100*100mm	S960 10*100*100mm	Gazaltı Kaynağı	normal şartlarda soğutma
9	S960 10*100*100mm	S960 10*100*100mm	Gazaltı Kaynağı	su ile hızlı soğutma

2.1. LAZER TEZGAHININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Sac malzemelerin kesim işlemi Nukon marka NF PRO fiber lazer kesim makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Lazer kesimi esnasında S700 ve S960 malzemelerin üzerine markalama işlemi yapılmıştır.



Şekil 2.1. NF PRO fiber lazer kesim makinesi.

NUKON	
Lazer makina metal san.ve tic. a.ş.	
Seri No Serial Number	1220
Model	NF PRO 25240
İmalat Tarihi Manufactory Date	07 - 2018
Çıkış Gücü Power	6000 Watt
Anma Gerilimi Rated Voltage	3X400V
Sigorta Fuse Rating	C80 A
Anma Akımı Rated Current	C63 A
Cos Phi	0,75,,,0,95
Ağırlık Weight	44000 Kg
Ali Osman Sönmez Bulvarı No: 7/B Organize San. Böl. BURSA / TURKEY Tel: +90 224 241 69 69 (Pbx) Fax: +90 224 241 39 39 www.nukon.com.tr info@nukon.com.tr	
CE MADE IN TURKEY	

Şekil 2.2. NF PRO fiber lazer kesim makinesinin teknik özellikleri.



Şekil 2.3. Üzerine markalama işlemi yapılmış S700 ve S960 malzeme test plakası.

2.2. YAPI ÇELİKLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Yapı çelikleri üretim esnasında sertleşme işlemi öngörülmeven ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılık gösteren çeliklerdir. Yapı çeliklerinin üretimi Dünyadaki çelik üretimde ilk sıradadır ve birçok alanda kullanılmaktadır.

Yapı çeliklerinin eski gösterim şekli, Alman DIN 171000 standartlarında çeliklerin çekme dayanım özelliklerine göre St33, St37, St44, St50, St52, St60, St70 şeklinde adlandırılmıştır. Başındaki “St” ifadesi Almaca da çelik anlamına gelen “Stahl” kelimesinin ilk iki harfidir. Sayı değeri ise malzemenin kg/mm^2 olarak çekme dayanım değerini göstermektedir [47].

Yapı çeliklerinin gösteriminde Almanya ve diğer Avrupa ülkeleri ortak standart olarak TS EN 10025 standardını kullanmaya başlamıştır. Bu standarda göre çelikler akma dayanımına göre S185, S235, S275, S355, E335 ve E360 (E- Düşük Alaşımli Yüksek Mukavemetli Çelik) şeklinde adlandırılmıştır. Başındaki “S” harfi yapı çeliği olduğunu, yanındaki sayı değeri ise MPa olarak minimum akma dayanım değerini göstermektedir.

Yapı çeliklerinin gösteriminde kullanılan sembollerin anlamları çizelge 2.2’de verilmiştir [48].

Çizelge 2.2. Yapı çeliklerinin gösteriminde kullanılan semboller.

Başlıca Semboller		Çelik için İlave Semboller	
Harf	Mekanik Özellikler	Grup 1	Grup 2
G = çelik döküm (gerektiğinde) S = Yapı çeliği	n _{nn} = En küçük kalınlık aralığı için Mpa cinsinden en düşük akma dayanımı	A = Çökeltme sertleşmesi M = Termomekanik olarak haddelenmiş N = Normalize edilmiş veya normalize edilerek haddelenmiş Q = Su verilmiş ve temperlenmiş G = Diğer özellikler (gerektiğinde arkasından 1 veya 2 rakam gelen)	C = Özel soğuk şekillendirme D = Sıcak daldırma kaplama E = Emayeleme F = Dövmeler H = İçi boş profil L = Düşük sıcaklık M = Termomekanik haddelenmiş N = Normalize edilmiş veya normalize edilerek haddelenmiş P = Levha istifi Q = Su verilmiş temperlenmiş S = Gemi inşaatı T = Borular W = Havaya dirençli

2.2.1. S355 Malzeme

S355 malzemeler, karbon (C), Azot (N), Kükürt (S), Fosfor (P), Mangan (Mn), Silisyum (Si), Bakır (Cu) elementlerinden oluşur [49].

S355 malzemenin kimyasal birleşim oranları çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. S355 malzemenin kimyasal bileşim oranları.

Malzeme	Kimyasal Birleşim								
	Karbon (C)			Kükürt (S)	Fosfor (P)	Mangan (Mn)	Silisyum (Si)	Azot (N)	Bakır (Cu)
	Anma Kalınlıkları (mm)								
	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40						
355JR	0,240	0,240	0,240	0,035	0,035	1,600	0,550	0,012	0,550
355J0	0,200	0,200	0,220	0,030	0,030	1,600	0,550	0,012	0,550
S355J2	0,200	0,200	0,220	0,025	0,025	1,600	0,550	-	0,550
S355K2	0,200	0,200	0,220	0,025	0,025	1,600	0,550	-	0,550

S355 gösteriminin ardına J0, JR, J2 ve K2 gibi eklentiler gelmektedir. Bu eklentilerin anlamları şu şekildedir;

- J0: 0 °C sıcaklıkta darbe enerjisinin minimum 27j olduğunu ifade eder.
- JR: 20 °C sıcaklıkta darbe enerjisinin minimum 27j olduğunu ifade eder.
- J2: -20 °C sıcaklıkta darbe enerjisinin minimum 27j olduğunu ifade eder.
- K2: -20 °C sıcaklıkta, malzeme kalınlığı ≤ 150mm olmak üzere darbe enerjisinin minimum 27j olduğunu ifade eder [50].

S355 malzemenin mekanik özellikleri çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. S355 malzemenin mekanik özellikleri.

Malzeme	Akma Dayanımı (Mpa)								Çekme Dayanımı (Mpa)			
	Anma Kalınlıkları (mm)								Anma Kalınlıkları (mm)			
	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	≤ 2	> 2 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250
355JR												
355J0												
S355J2	355	345	335	325	315	295	285	275	510-680	490-630	470-630	450-630
S355K2												

2.2.2. S700 Malzeme

S700 malzemeler; Karbon (C), Kükürt (S), Fosfor (P), Mangan (Mn), Silisyum (Si), Alüminyum (Al), Niyobyum (Ni), Vanadyum (V), Titanyum (Ti) elementlerinden oluşur [51].

S700 malzemenin kimyasal birleşim oranları çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.5. S700 malzemenin kimyasal bileşim oranları.

Malzeme	Kimyasal Birleşim								
	Karbon (C)	Kükürt (S)	Fosfor (P)	Mangan (Mn)	Silisyum (Si)	Alüminyum (Al)	Niyobyum (Ni)	Vanadyum (V)	Titanyum (ti)
S700	0,120	0,010	0,020	2,100	0,210	0,015	0,090	0,200	0,150

S700 malzemeler, akma dayanımı 700MPa olan yüksek dayanımlı yapısal çeliklerdir, S355 malzemeye göre yüksek akma dayanım değerine sahiptir böylelikle hem üretimde hem performansı iyileştirir. Daha yüksek akma dayanımlı malzeme ile çalışmak daha fazla yük taşıma kapasitesine imkân sağlar [51].

S700 malzemenin mekanik özellikleri çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. S700 malzemenin mekanik özellikleri.

Anma Kalınlıkları (mm)	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)
> 2 ≤ 3	700	750 - 900
> 3 ≤ 6	700	750 - 900
> 6 ≤ 10	700	750 - 900

2.2.3. S960 Malzeme

S960 malzemeler; Karbon (C), Kükürt (S), Fosfor (P), Mangan (Mn), Silisyum (Si), Krom (Cr), Niyobyum (Ni), Bakır (Cu), Molibden (Mo), Bor (B) elementlerinden oluşur.

S960 malzemenin kimyasal birleşim oranları çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. S960 malzemenin kimyasal birleşim oranları.

Kimyasal Birleşim					
Malzeme S960	Karbon (C)	Kükürt (S)	Fosfor (P)	Mangan (Mn)	Silisyum (Si)
	0,200	0,010	0,020	1600	0,500
S960	Krom (Cr)	Niyobyum (Ni)	Bakır (Cu)	Molibden (Mo)	Bor (B)
	0,800	2,000	0,300	0,700	0,005

S960 malzemeler, yüksek mukavemetli olmaları ile dikkat çekerler ve kalınlıklarına bağlı olarak akma dayanımı 960MPa olan ıslah edilmiş çeliklerdir.

S960 malzemenin mekanik özellikleri çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8. S960 malzemenin mekanik özellikleri.

Anma Kalınlıkları (mm)	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)
> 4 ≤ 53	960	980-1150
> 53 ≤ 120	850	900-1100

S960QL malzemenin gösterimindeki harflerin anlamı şunlardır;

- S: Yapı çeliği olduğunu ifade eder.
- Q: Su verilmiş temperlenmiş çelik olduğunu ifade eder.
- L: Düşük sıcaklık çeliği olduğunu ifade eder [52].

2.3. KAYNAK YÖNTEMİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR

Deneysel çalışmada sac malzemeler ROKAS marka GWM 360V hava soğutmalı gazaltı kaynak makinesi ile birleştirilmiştir.



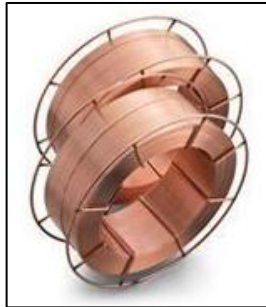
Şekil 2.4. ROKAS marka GWM 360V hava soğutmalı gazaltı kaynak makinesi.

Kaynak makinesinin teknik özellikleri çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.9. ROKAS marka GWM 360V hava soğutmalı gazaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri.

Anma Kalınlıkları (mm)	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)
> 4 ≤ 53	960	980-1150
> 53 ≤ 120	850	900-1100

Kaynak işleminde dolgu malzemesi olarak ER 110S-G malzeme kullanılmıştır.



Şekil 2.5. ER 110S-G dolgu malzemesi.

ER 110S-G malzemenin kimyasal birleşim oranları çizelge 2.10’da verilmiştir.

Çizelge 2.10. ER 110S-G marka dolgu malzemesinin kimyasal birleşim oranları.

Malzeme	Kimyasal Birleşim						
	Karbon (C)	Krom (Cr)	Mangan (Mn)	Silisyum (Si)	Bakır (Cu)	Niyobyum (Ni)	Molibden (Mo)
ER 110S-G	0,09	0,30	1,70	0,75	0,20	2,00	0,50

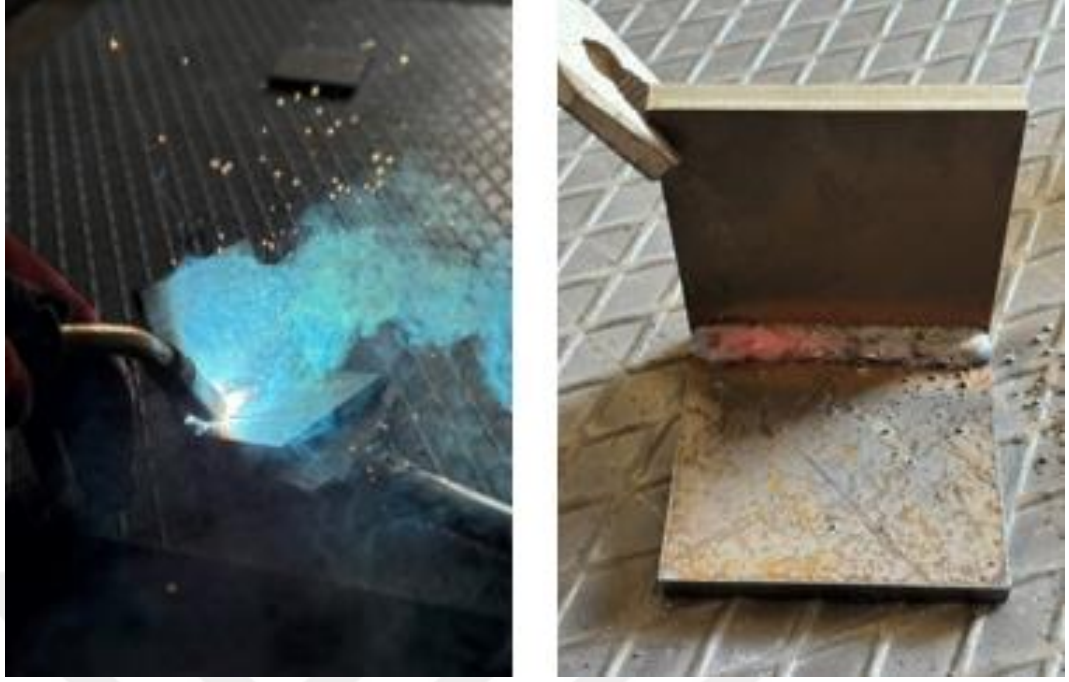
2.4. KAYNAK İŞLEMİNİN UYGULANMASI

Kaynak işlemine başlamadan önce malzemeler kaynak işleminde sabit olmalı için nokta kaynak işlemi yöntemiyle birbirlerine puntalanmıştır.



Şekil 2.6. İki malzemenin birbirine puntalama işleminin görüntüsü.

Puntalama işlemi gerçekleştirilen sac plakaları gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak köşe kaynağı ile birleştirilmiştir.



Şekil 2.7. Kaynak işleminin gerçekleştirilmesi ve kaynak işlemi sonrası görüntüler

Birleştirilme işlemi tamamlanan her farklı sac malzeme birleşimi ürünlere farklı soğutma yöntemleri uygulanmıştır.

- Kaynak işlemi tamamlanan ilk ürün su ile dolu kovanın içerisine atılarak hızlı soğumaya maruz bırakılmıştır.



Şekil 2.8. Su ile hızlı soğutma yöntemi uygulaması.

- Kaynak işlemi tamamlanan ikinci ürün ise normal şartlar altında soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 2.9. Normal soğutma yöntemi uygulaması.

- Kaynak işlemi tamamlanan üçüncü ürün ise izolasyon örtüsüne sarılarak soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 2.10. izolasyon örtüsüne sarılarak soğutma

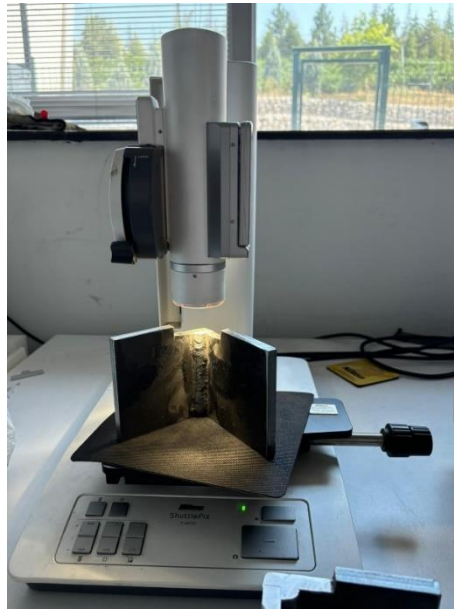
Kaynak işleminin ardından 24 saat sonra tüm birleştirilen parçalar üzerlerine soğutma yöntemlerini belirten işaretler yapılarak kesitleri alınmıştır.



Şekil 2.11. Alın soğutma yöntemlerinin işaretlenmesi ve kesit alma işleminin uygulanması

2.5. MAKRO GÖRÜNTÜLERİNİN ALINMASI

Makro görüntülerin alınması için KBÜ MARGEM bünyesindeki Nikon ShuttlePix cihazı kullanılmıştır.



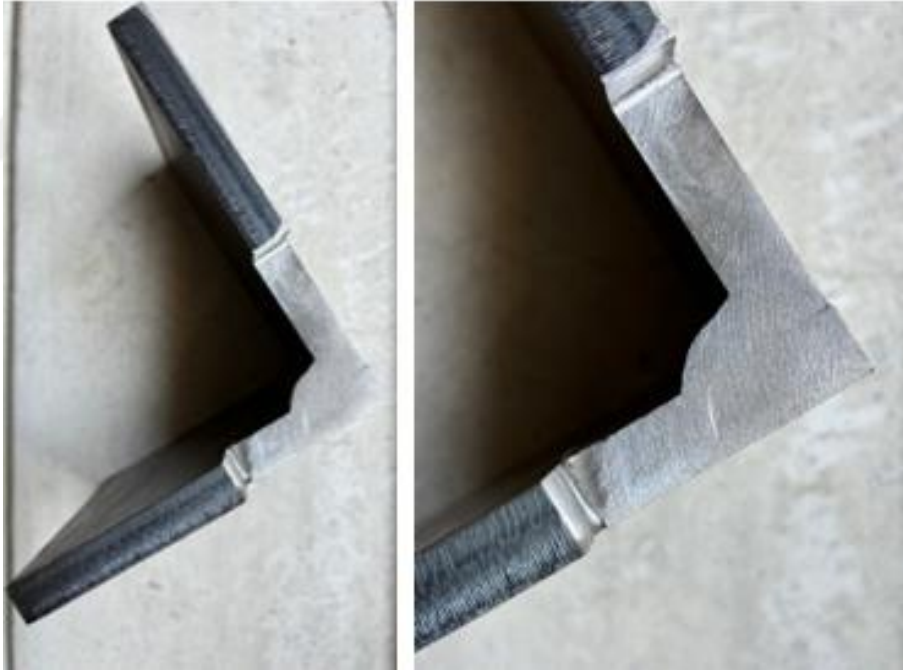
Şekil 2.12. Nikon ShuttlePix cihazı

Cihazın teknik özellikleri şu şekildedir;

- Kompakt gövdesindeki 20x optik zoom lensi ile Shuttlepix P-400R LED aydınlatma ile entegre edilebilir.
- Lens değişimine gerek kalmaksızın 20X-400X arası büyütme ile çok çeşitli gözlemlere olanak verir.
- Zoom Kamera Başlığı ve Motorize Odak Standı ile 75mm x 50mm x 148mm boyutlarına kadar büyük numunelerin görüntü yakalanması mümkündür.

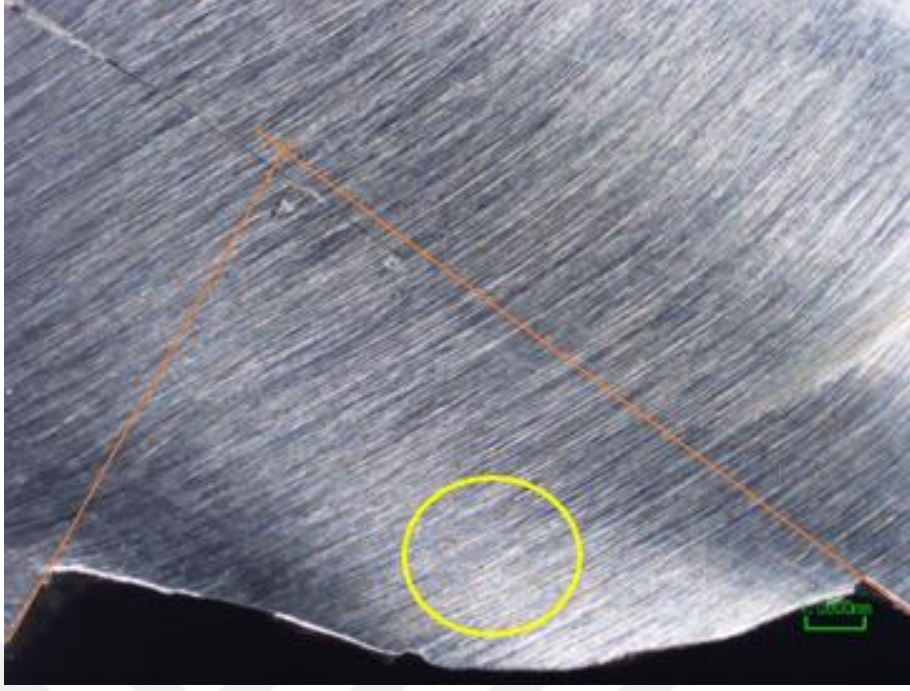
2.5.1. S355 Malzeme- Su ile Hızlı Soğutma

Kaynak işlemi ile birleştirilen S355 malzemelerin su ile hızlı soğutma yöntemi sonucundaki kaynak dikişinin görüntüsü Şekil 2.13'te verilmiştir.

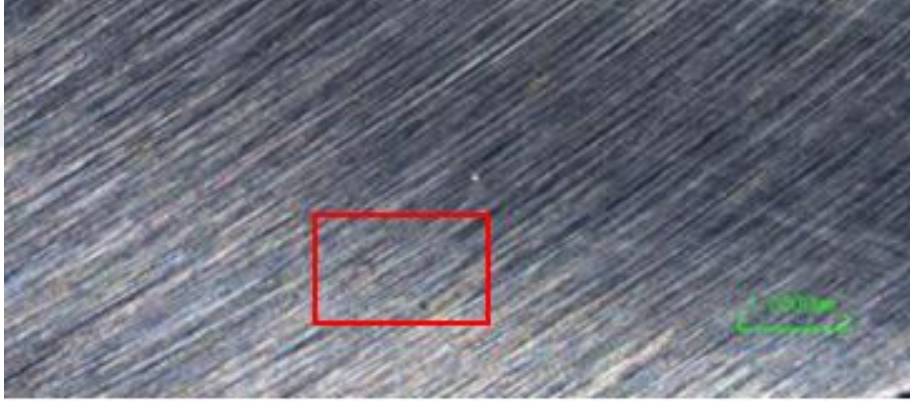


Şekil 2.13. S355 malzeme- su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçası.

S355 malzeme su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü Şekil 2.14'de verilmiştir.



(a)



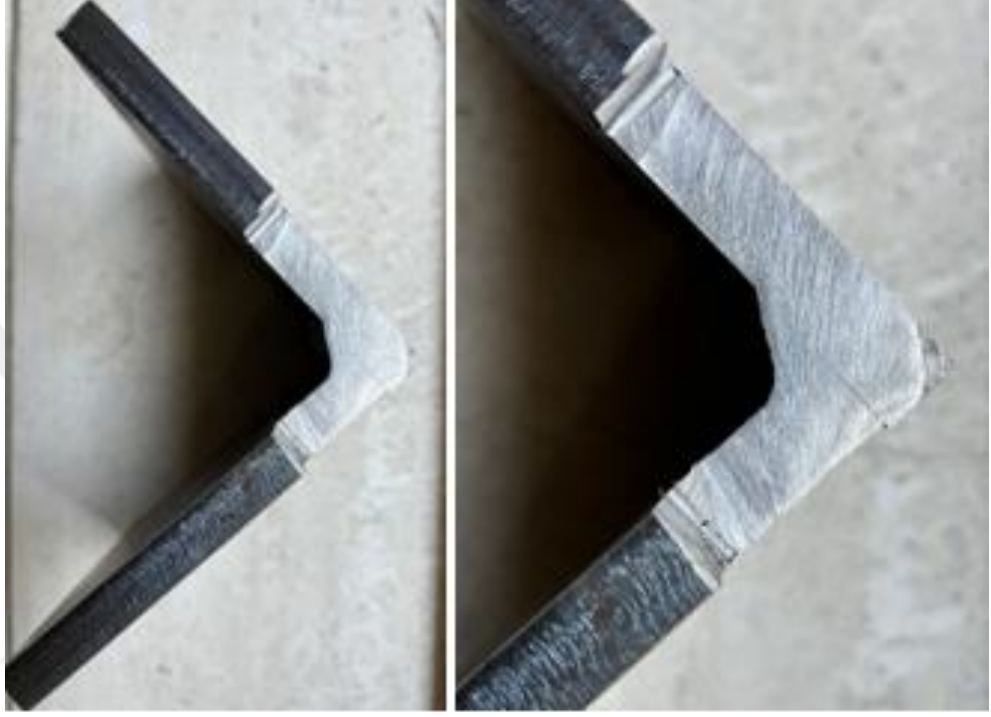
(b)

Şekil 2.14. S355 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.

Şekil 2.14 (a)'da iki malzemenin birleştiği noktadan çatlak oluşumu meydana geldiği görülmektedir. Şekil 2.14 (b)'de kaynak dikişi içerisinde gözenekler oluştuğu görülmektedir.

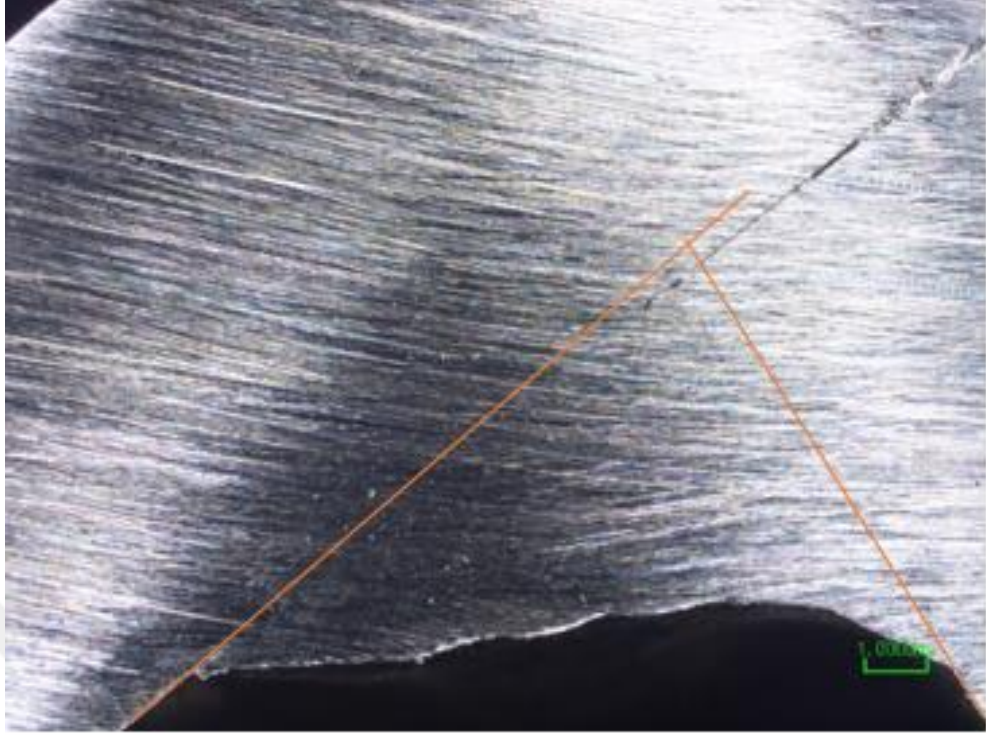
2.5.2. S355 Malzeme - Normal Soğutma

Kaynak işlemi ile birleştirilen S355 malzemelerin normal soğutma yöntemi sonucundaki kaynak dikişinin görüntüsü Şekil 2.15’de verilmiştir.



Şekil 2.15. S355 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçası.

S355 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü Şekil 2.16’da verilmiştir.

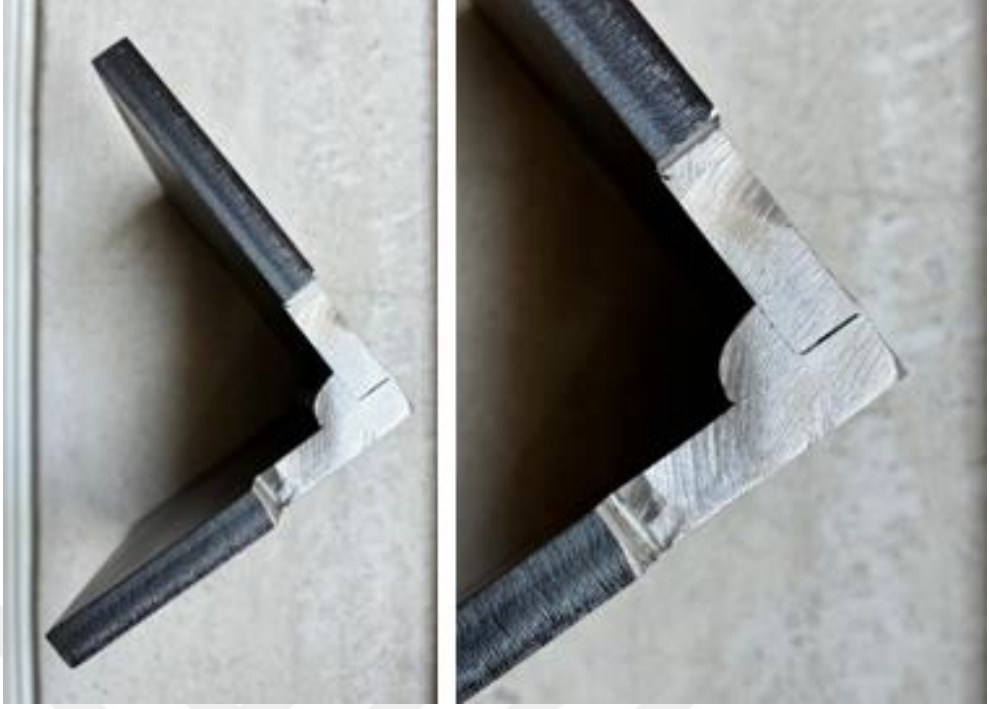


Şekil 2.16. S355 malzeme - normal soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü.

Şekil 2.16'da iki malzemenin birleştiği noktadan çatlak oluşumu meydana geldiği görülmektedir.

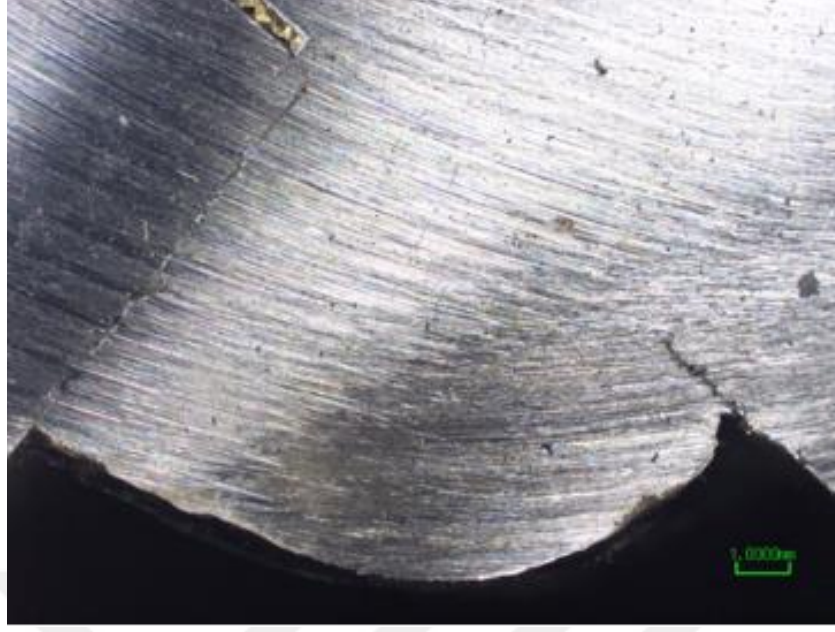
2.5.3. S355 Malzeme - İzolasyon Örtüsü ile Yavaş Soğutma

Kaynak işlemi ile birleştirilen S355 malzemelerin izolasyon örtüsüne sarılarak yavaş soğutma yöntemi sonucundaki kaynak dikişinin görüntüsü Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. S355 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait görüntüsü.

S355 malzeme – izolasyon örtüsüne sarılarak yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü Şekil 2.18’de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.18. S355 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.

Şekil 2.18 (a)'da kaynak dikişinin malzeme ile arasında tam bir nüfuziyet oluşturmadığı görülmektedir. Şekil 2.18 (b)'de kaynak dikişi içerisinde gözenekler oluştuğu görülmektedir.

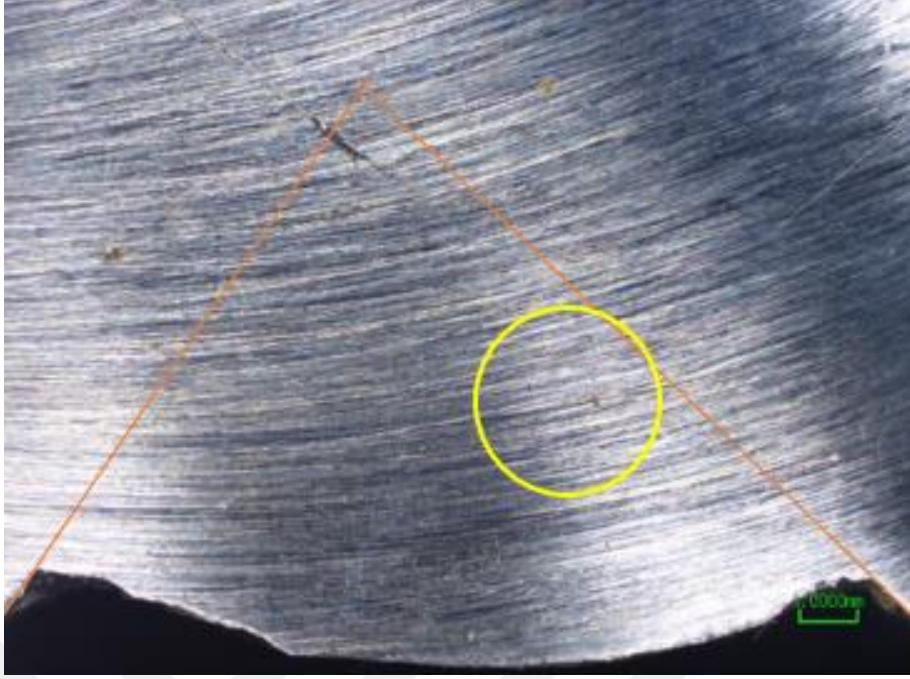
2.5.4. S700 Malzeme - Su İle Hızlı Soğutma

Kaynak işlemi ile birleştirilen S700 malzemelerin su ile hızlı soğutma yöntemi sonucundaki kaynak dikişinin görüntüsü Şekil 2.19’da verilmiştir.

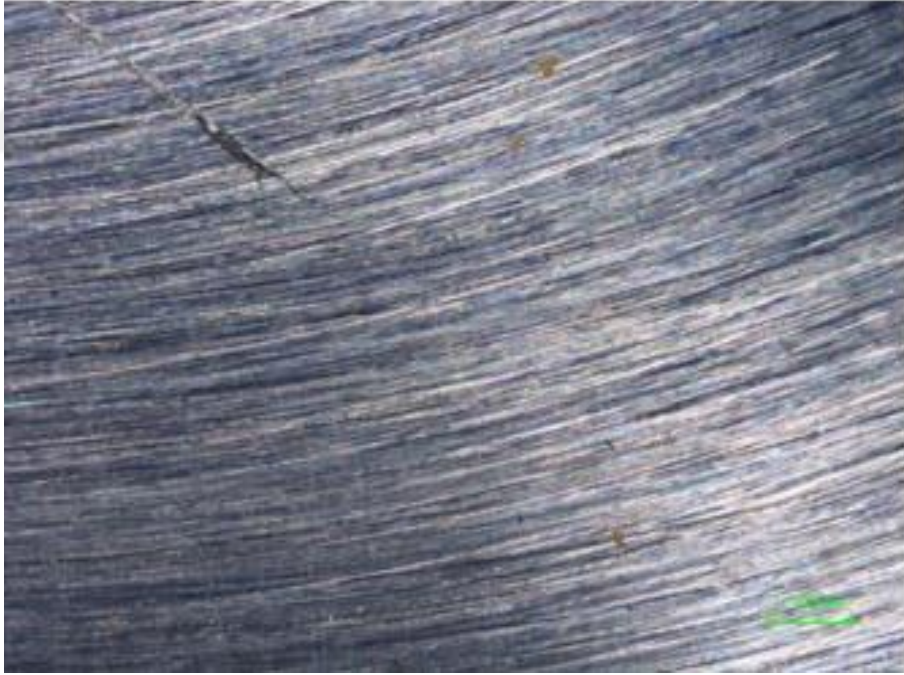


Şekil 2.19. S700 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçası.

S700 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü Şekil 2.20’de verilmiştir.



(a)



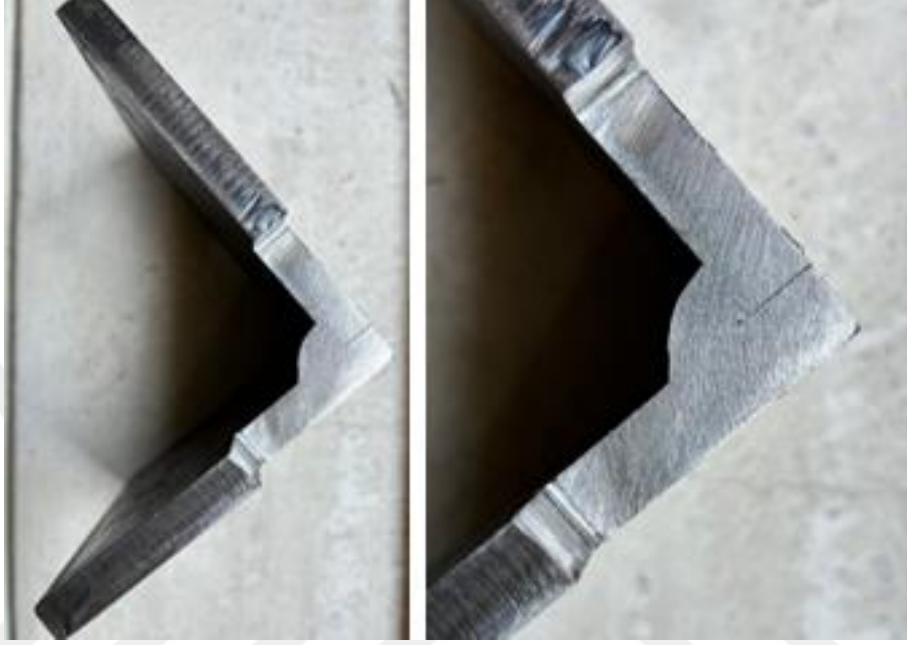
(b)

Şekil 2.20. S700 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.

Şekil 2.20 (a)'da çatlak oluşumu meydana geldiği görülmektedir. Şekil 2.14 (b)'de kaynak dikişi içerisinde gözenekler oluştuğu görülmektedir.

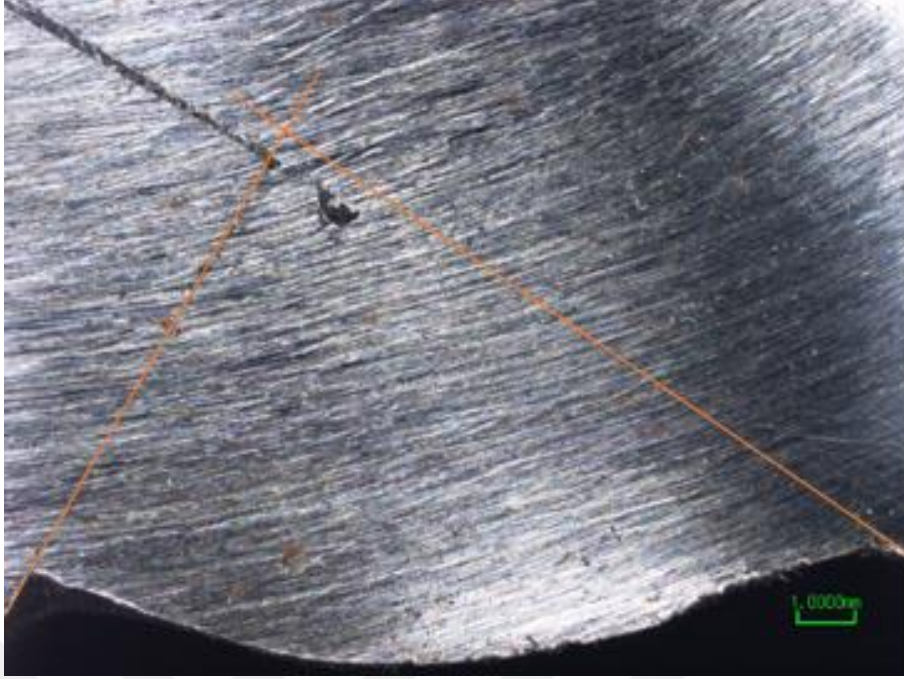
2.5.5. S700 Malzeme - Normal Soğutma

Kaynak işlemi ile birleştirilen S700 malzemelerin normal soğutma yöntemi sonucunda ki kaynak dikişinin görüntüsü Şekil 2.21’de verilmiştir.

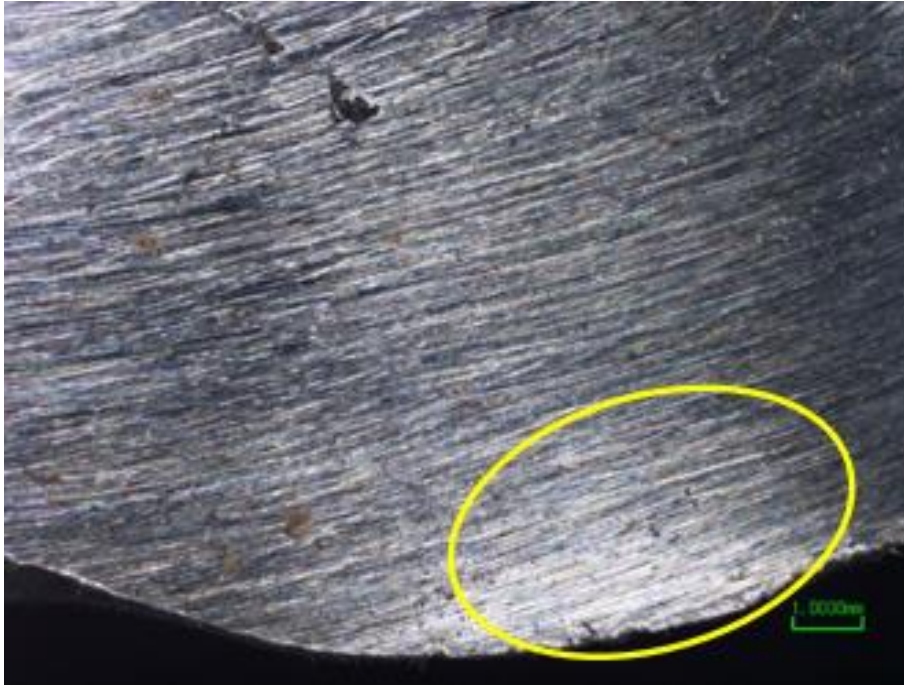


Şekil 2.21. S700 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçası.

S700 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü Şekil 2.22’de verilmiştir.



(a)



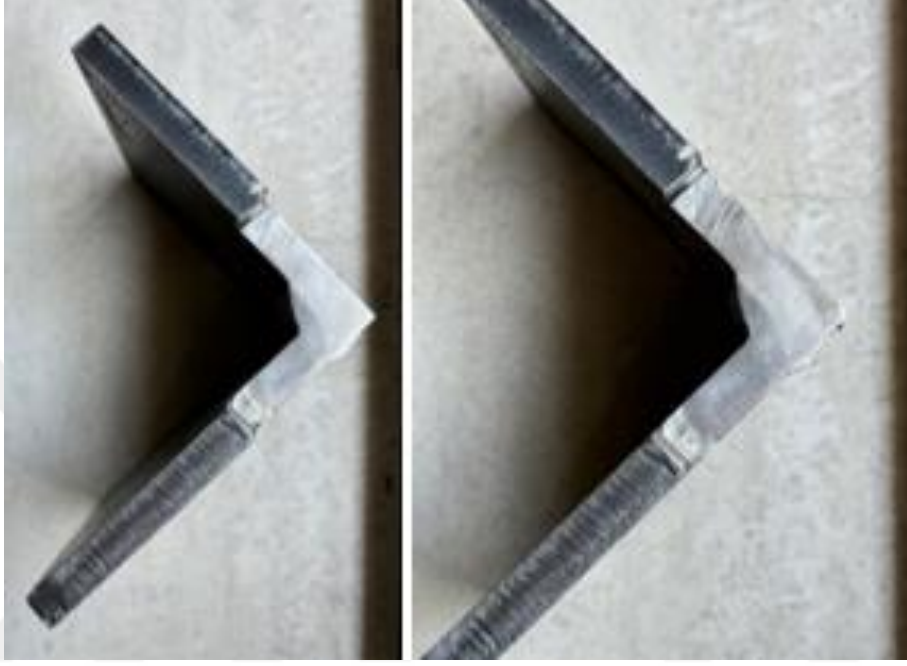
(b)

Şekil 2.22. S700 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.

Şekil 2.22 (a)'da kaynak dikişinde boşluk kaldığı görülmektedir. Şekil 2.22 (b)'de kaynak dikişi içerisinde gözenekler oluştuğu görülmektedir.

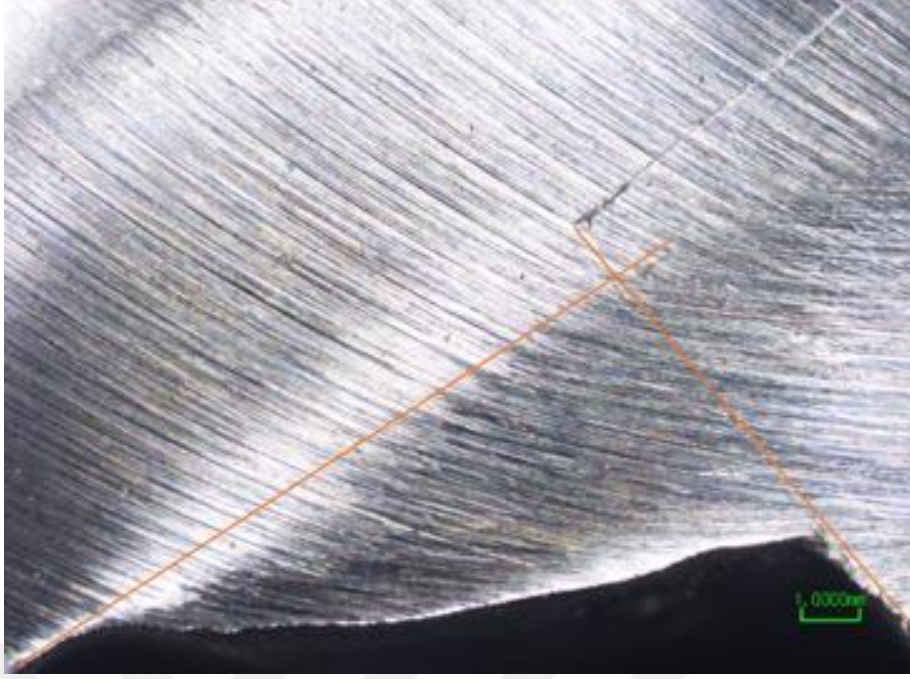
2.5.6. S700 Malzeme - İzolasyon Örtüsü ile Yavaş Soğutma

Kaynak işlemi ile birleştirilen S700 malzemelerin izolasyon örtüsüne sarılarak yavaş soğutma yöntemi sonucunda ki kaynak dikişinin görüntüsü Şekil 2.23’de verilmiştir.

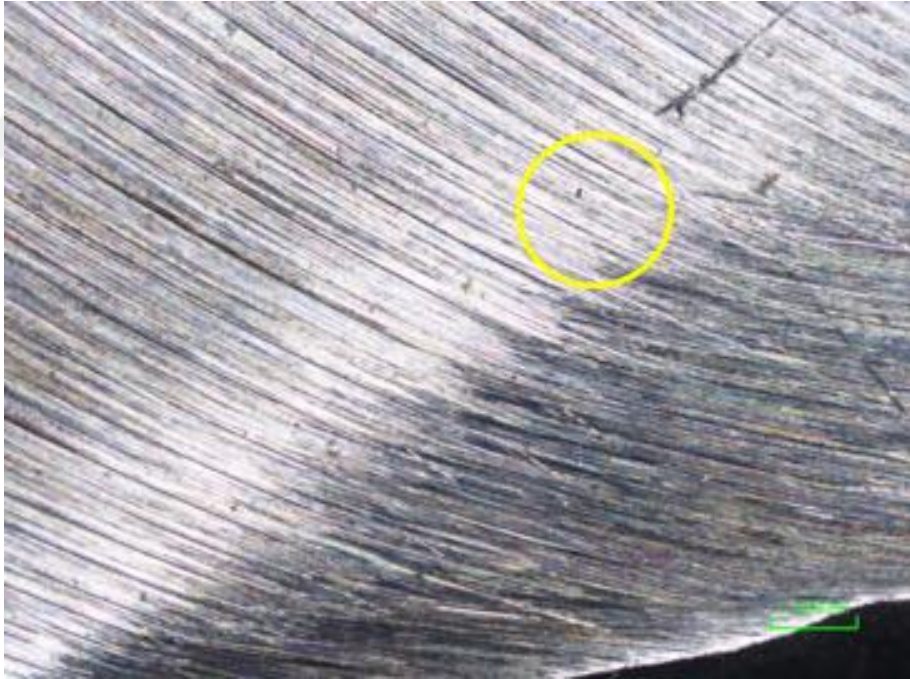


Şekil 2.23. S700 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait görüntüsü.

S700 malzeme – izolasyon örtüsüne sarılarak yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü Şekil 2.24’te verilmiştir.



(a)



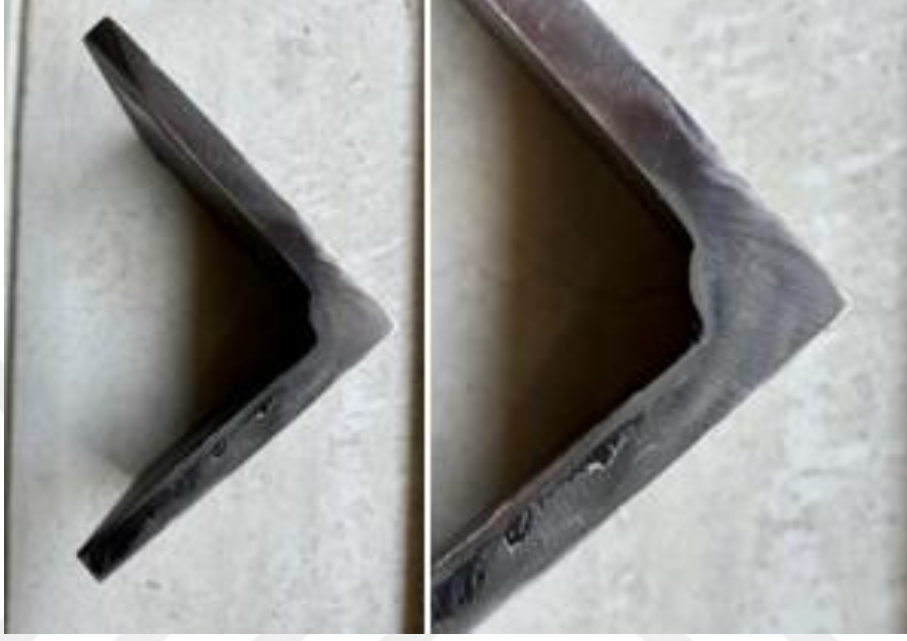
(b)

Şekil 2.24. S700 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.

Şekil 2.24 (b)'de kaynak dikişi içerisinde gözenekler oluştuğu görülmektedir.

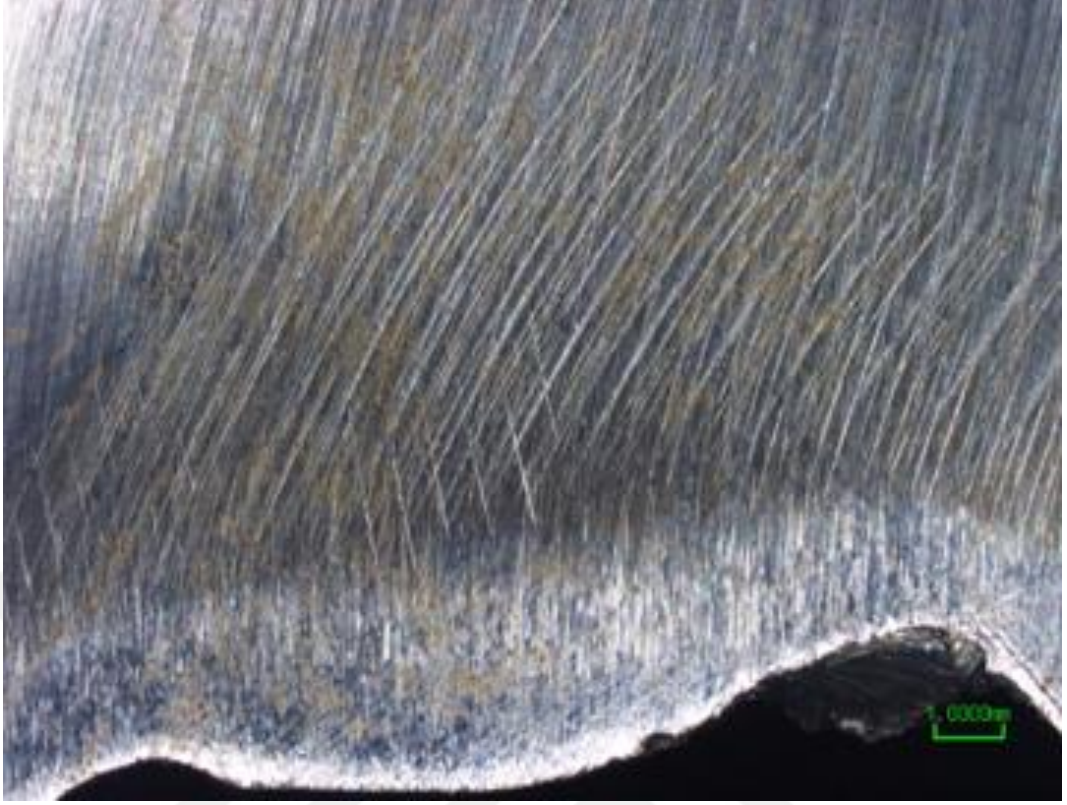
2.5.7. S960 Malzeme - Su İle Hızlı Soğutma

Kaynak işlemi ile birleştirilen S960 malzemelerin su ile hızlı soğutma yöntemi sonucunda ki kaynak dikişinin görüntüsü Şekil 2.25’de verilmiştir.



Şekil 2.25. S960 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçası.

S960 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü Şekil 2.26’da verilmiştir.

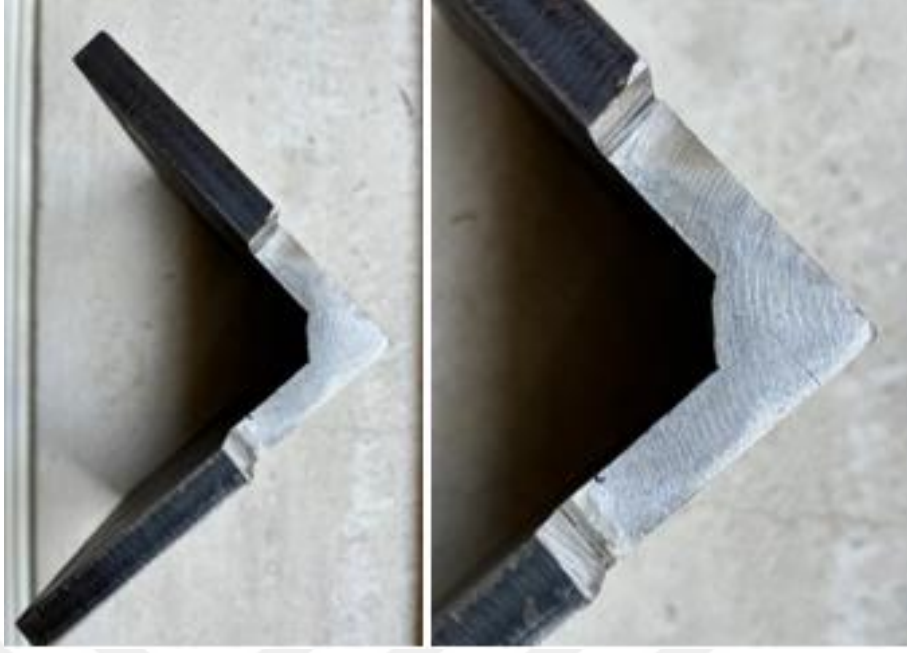


Şekil 2.26. S960 malzeme - su ile hızlı soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü.

Şekil 2.26'da kaynak dikişi içerisinde gözenekler oluştuğu görülmektedir.

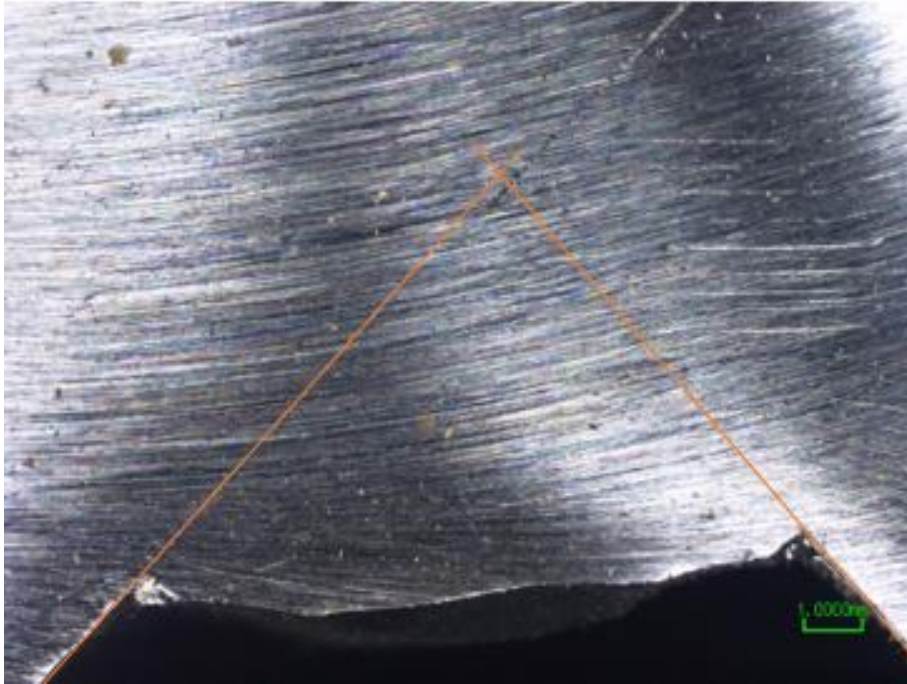
2.5.8. S960 Malzeme - Normal Soğutma

Kaynak işlemi ile birleştirilen S960 malzemelerin normal soğutma yöntemi sonucundaki kaynak dikişinin görüntüsü Şekil 2.27'de verilmiştir.

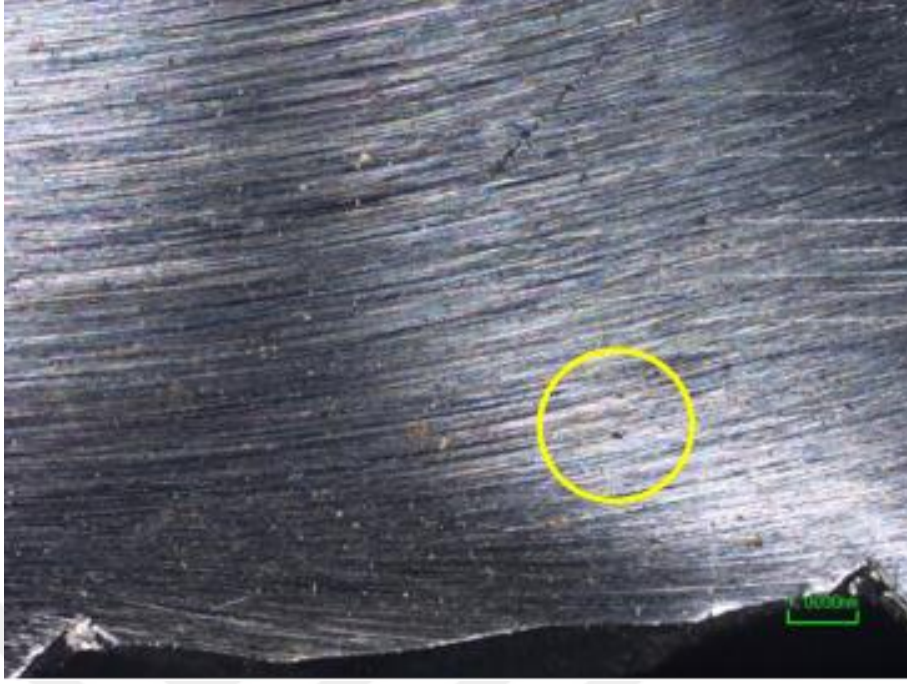


Şekil 2.27. S960 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçası.

S960 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü Şekil 2.28’de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.28. S960 malzeme – normal soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.

Şekil 2.28 (a)'da iki malzemenin birleştiği noktadan çatlak oluşumu meydana geldiği görülmektedir. Şekil 2.28 (b)'de kaynak dikişi içerisinde gözenekler oluştuğu görülmektedir.

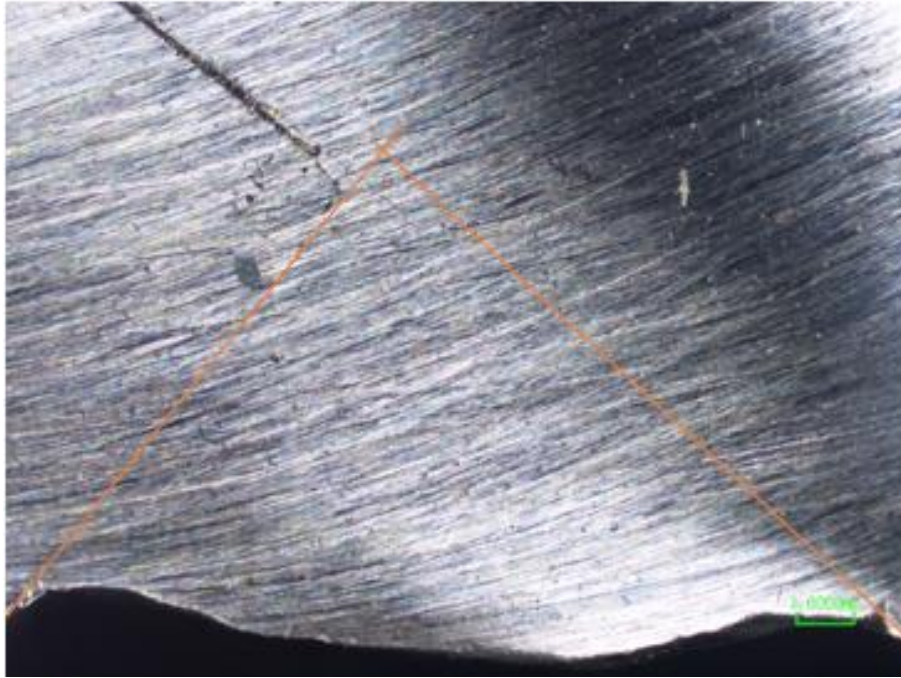
2.5.9. S960 Malzeme - İzolasyon Örtüsü ile Yavaş Soğutma

Kaynak işlemi ile birleştirilen S960 malzemelerin izolasyon örtüsüne sarılarak yavaş soğutma yöntemi sonucundaki kaynak dikişinin görüntüsü Şekil 2.29'da verilmiştir.



Şekil 2.29. S960 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait görüntüsü.

S960 malzeme – izolasyon örtüsüne sarılarak yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü Şekil 2.30’da verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.30. S960 malzeme - izolasyon örtüsü ile yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçasının kaynak bölgesine ait makro görüntüsü. a) genel görüntü, b) detay görüntü.

Şekil 2.30 (a)'da iki malzemenin birleştiği noktadan kılcal çatlak oluşumu meydana geldiği görülmektedir. Şekil 2.30 (b)'de kaynak dikişi içerisinde gözenekler oluştuğu görülmektedir.

BÖLÜM 3

SONUÇLAR

Bu çalışmada S355, S700 ve S960 malzemenin MİG-MAG standart kaynak işleminin ardından su ile hızlı soğutma, normal şartlarda soğutma ve izolasyon örtüsüne sararak yavaş soğutma yöntemleri ile kaynaklı test parçaları soğutulmuştur. Malzeme çeşitliliğine göre farklı soğutma yöntemlerinin kaynak dikişine etkisi incelenmiştir. Alınan makro görüntülerinin yorumlanması sonucunda;

- Gözenek hatası tüm kaynaklı test parçalarında ve her üç soğutma yönteminde de gözlemlenmiştir. Soğutma yönteminin farklılığının gözenek hatası oluşumunda belirleyici bir önemi olmadığı değerlendirilmiştir. Kaynak mukavemetini zayıflatan gözenekler (porozite) malzemenin nemli ya da kirli olması, yanlış gaz akışı ve dengesiz kaynak hızlarından kaynaklanmış olabilir.
- S355 ve S700 malzeme için izolasyon örtüsüne sarılarak yavaş soğutma yöntemi sonucunda herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiş, ancak su ile hızlı soğutma ve normal şartlarda soğutma yöntemi uygulanan test parçalarında en kritik kaynak hatası olan çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Hızlı soğutma durumunda, malzemenin yüzeyi hızlı bir şekilde soğurken, iç kısımlar daha yavaş soğur. Bu, yüzey ile iç kısımlar arasında bir sıcaklık farkına ve termal gerilimlere neden olur. Bu gerilimler, malzeme içinde çatlaklara neden olabilir. Yalıtım örtüsüyle yavaş soğutma, bu sıcaklık farkını ve dolayısıyla gerilimleri azaltır, böylece çatlakların oluşmasını önler.
- S960 malzeme için su ile hızlı soğutma yöntemi sonucunda herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmez iken normal şartlarda soğutma ve izolasyon

örtüsüne sarılarak yavaş soğutma yöntemi uygulanan test parçalarında en kritik kaynak hatası olan çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. S960 gibi yüksek dayanımlı çelikler hızla soğutulduğunda martensitik bir yapı geliştirir. Martensitik yapı yüksek dayanım ve tokluk sağlar bu da daha az gerilim çatlağına sebep olur.

- Yumuşak malzemelerde kaynağının soğuma hızı ne kadar yavaş olursa kaynak dikişinin kalitesi daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Yavaş soğutma, özellikle düşük karbonlu ve yumuşak çeliklerde mikro yapısal dönüşümleri kontrol etmeye yardımcı olur. Yavaş soğutma, gerilim konsantrasyonlarını ve mikro çatlakları azaltarak kaynak kalitesini iyileştirebilir.
- Bu çalışmada yüksek mukavemetli, sert malzemelerde hızlı soğutma yönteminin olumsuz sonuçları en az seviyede gözlemlenmiştir. Yüksek mukavemetli çeliklerde, hızlı soğutma sırasında iç gerilimlerin artması ve soğuma sırasında mikro yapısal dönüşümlerin hızlanması çatlak oluşumuna neden olurken bu çalışmada istisnai olarak hızlı soğutma sırasında martensitik yapılar yerine daha dengeli bainit gibi mikro yapılar oluşmuş olabilir.

KAYNAKLAR

1. Eleman, B., "Yeni Nesil (İnvertör) Ve Geleneksel Mig Mag Kaynak Makinaları İle Kaynaklanan S355 Kalite Çeliğin Kaynak Dikişlerinin Makro Yapı Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması", *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2022).
2. Özarpa, C., "AL 2024-0 ve AL 5754-H22 alüminyum alaşımlılarının sürtünme karıştırma kaynağı", *İstanbul Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2005).
3. Özarpa, C. ve Albayrak, A. F., "Doğal Gaz İşletme Teknik Personeli Eğitimi Ve Uygulamaları", *TMMOB Makina Mühendisleri Odası - Doğal Gaz & Enerji Yönetimi Kongre Ve Sergisi Gaziantep*, (2001).
4. Ozarpa, C. ve Elhan, M. S., "Risk In The Hot-tap Operation", *WGC Paris 2015 Paris*, (2015).
5. Albayrak, A. F. ve Özarpa, C., "Doğalgaz İşletmeciliğinde Teknik Emniyet Kavramı, Standartları Ve Uygulamaları", *TMMOB Makina Mühendisleri Odası - Doğal Gaz & Enerji Yönetimi Kongre Ve Sergisi Gaziantep*, (2001).
6. Ozarpa, C. ve Albayrak, A. F., "Polietilen Doğal Gaz Borularının Elektrofüzyon Kaynağı Ve Kaynak Parametrelerinin Kaliteye Etkisi", *TMMOB Makina Mühendisleri Odası - Doğal Gaz & Enerji Yönetimi Kongre Ve Sergisi Gaziantep*, (2001).
7. Özarpa, C. ve Engin, Ö., "A Hidden Corrosion Threat on Natural Gas Pipelines in Metropolises: Undetected Pipeline Polyethylene Coating Damages", *EQUROCRR2012 İstanbul, Turkey*, (2012).

8. Özarpa, C., "Termoplastik Doğal Gaz Borularının Elektrofüzyon Kaynağı Ve Kaynak Parametrelerinin Kaliteye Etkisi", *İstanbul Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü*, (1998).
9. Özarpa, C., Akkuş, A., ve Kınacı, B., "Örtülü metal ark ve TIG kaynağı ile birleştirilen X42N, kalite A ve kalite B sınıfı çelik boruların mekanik Özelliklerinin inc", *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 38 (2): (2023).
10. Demir, M., "Farklı Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilen Yapı Çeliğinin Yorulma Dayanımının Deneysel", (2023).
11. Elhan, M. S. ve Ozarpa, C., "Doğal Gaz Boru Hatlarında Hot-tap Fitting Kaynak Ve Operasyon Risklerinin Azaltılması İçin Kaynakçi Ve Operatör Eğitimi", *Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, (2015).
12. Özarpa, C., Oğur, A., Çam, G., ve Vural, M., "Friction Stir Welding Of Aluminium Alloys EN AW 2024-0 And EN AW 5754-H22", *Bulletin Of Pure And Applied Sciences*, 24 (1): (2004).
13. Vural, M., Oğur, A., Çam, G., ve Ozarpa, C., "On the friction stir welding of aluminium alloys EN AW 2024-0 and EN AW 5754-H22", *Archives Of Materials Science And Engineering*, 28 (1): (2006).
14. Özarpa, C., Akkuş, A., ve Kınacı, B., "Investigation on the mechanical properties of X42N, grade A and grade B steel pipes joined by shielded metal arc and TIG welding", *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 38 (2): (2023).
15. Harman, M., "Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Farklı Kaynak Yöntemleri Kullanılarak Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2019).

16. Çelik, E., "Gazaltı Kaynağı Tekniği ve Avantajları", *Makine Mühendisleri Odası Dergisi*, 41 (3): 45–50 (2014).
17. Aydın, S. ve Yıldız, E., "Gazaltı Kaynağı: Avantajları, Dezavantajları ve Uygulama Alanları", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (1): 75–86 (2018).
18. Bayrakçeken, H. ve Yıldız, E., "Gazaltı Kaynağı Uygulama Örnekleri ve Kalite Kontrol", *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 4 (2): 76–84 (2019).
19. Karagöz, İ. ve Koçak, M., "Elektrik Ark Kaynağı: Tanımı, Avantajları ve Dezavantajları", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32 (2): 483–493 (2017).
20. Karagöz, İ. ve Koçak, M., "Elektrik Ark Kaynağı Ekipmanları ve Malzemeleri", *Metalurji Ve Malzeme Teknolojileri Dergisi*, 57 (3): 236–244 (2019).
21. Kocaman, E. ve Gözütok, D., "Elektrik Ark Kaynağı Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Avantajlar ve Dezavantajlar", *Uluslararası Teknoloji, Bilim Ve Yönetim Dergisi*, 3 (1): 15–26 (2018).
22. Güngör, M., "Elektrik Ark Kaynağının Farklı Sektörlerdeki Uygulama Örnekleri", *Uluslararası Mühendislik Araştırma Ve Geliştirme Dergisi*, 9 (1): 25–32 (2017).
23. Aksoy, M., "Lazer Kaynağının Endüstriyel Uygulamaları", *Uluslararası Teknik Araştırmalar Dergisi*, 4 (1): 85–90 (2018).
24. Öztürk, E., "Lazer Kaynak İşleminin Metal Birleştirme Sürecine Etkisi", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 7 (2): 35–42 (2019).

25. Karakaya, İ. ve Turan, G., "Lazer Kaynağıyla Alüminyum Alaşımlarının Birleştirilmesi ve Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35 (1): 129–144 (2020).
26. Gürel, M. ve Şahin, Y., "Lazer Kaynağı Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Malzeme Birleştirme Performansına Etkisi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25 (4): 665–676 (2019).
27. Alper, S., "Lazer Kaynağıyla Metal Birleştirme İşleminde Kaynak Hata Modelleri ve Kontrolü", *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 29 (3): 83–91 (2017).
28. Demirel, B. ve Koç, M., "Lazer Kaynağı Ekipmanları ve Malzemeleri", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 6 (1): 110–121 (2018).
29. Aydın, Ö. ve Genç, F., "Lazer Kaynağı için Kullanılan Ekipman ve Malzemelerin Özellikleri", *Akademik Platform Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2): 57–69 (2020).
30. Yavuz, M. ve Koca, M., "Lazer Kaynağı Yönteminde Kullanılan Ekipmanlar ve Malzemeler", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23 (1): 49–60 (2019).
31. Karaman, M. ve Eroğlu, M., "Lazer Kaynağı Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları", *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27 (3): 1035–1046 (2021).
32. Akkurt, A. ve Yıldız, F., "Lazer Kaynağı Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları", *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (2): 111–120 (2019).
33. Arslan, M. ve Şahin, B., "Lazer Kaynağının Sanayide Kullanım Alanları ve Örnekler", *Malzeme Bilimi Ve Teknolojileri Dergisi*, 1 (2): 40–49 (2012).

34. Ersöz, M. ve Şener, E., "Direnç Kaynağının Endüstriyel Uygulama Alanları", *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 18 (1): 1–10 (2019).
35. Güney, N. ve Altun, İ., "Direnç Kaynağı Yöntemi ve Özellikleri", *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (1): 57–67 (2017).
36. Yıldız, A., "Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 4 (2): 35–43 (2016).
37. Çetin, E., "Direnç Kaynağı Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32 (3): 823–830 (2017).
38. Demir, H. ve Tuncer, R., "Direnç Kaynağı Uygulamalarının Verimlilik Analizi", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 2 (2): 9–16 (2014).
39. Şen, R., Çiçek, A., ve Aksöz, S., "Plazma Kaynağı ile İletken Olmayan Malzemelerin Birleştirilmesi", *Sakarya University Journal Of Science*, 20 (1): 106–113 (2016).
40. Ercan, E. ve Karakuş, A., "Plazma Kaynağı Yöntemleri ve Endüstrideki Uygulamaları", *Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences*, 24 (3): 214–221 (2018).
41. Ünal, R. ve Akar, F., "Plazma Kaynağı ile İleri Malzeme Birleştirme Yöntemleri", *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 3 (2): 95–100 (2015).
42. Sağlam, M. ve Akkuş, M., "Plazma Kaynağı ile Alüminyum Malzeme Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi", *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A - Uygulamalı Bilimler Ve Mühendislik*, 20 (1): 114–122 (2019).
43. Sağlam, M. ve Çalışkan, U., "Plazma Kaynağı Ekipmanları ve Malzemeleri", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35 (1): 93–101 (2020).

44. Göğüş, M. ve Yıldız, S., "Plazma Kaynak Yöntemi ve Uygulamaları", *Ankara Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4 (1): 142–150 (2019).
45. Özdemir, A. ve Karpat, Y., "Plazma Kaynağı Uygulamaları ve Endüstriyel Kullanım Alanları", *Ankara Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2 (3): 97–107 (2020).
46. Akşit, M. ve Ertan, R., "Metal Aktivasyon Kaynağı (MAK) ile Alüminyum ve Bakır Plakaların Kaynağı", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri*, 13 (26): 49–60 (2014).
47. Yalçın, F., Yıldırım, M. S., ve Kaya, Y., "Basınçlı Kap Çeliklerin MAG Kaynak Yöntemi Kullanılarak Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 1 (2024).
48. Türk Standartları Enstitüsü, "Türk Standardı Çeliklerin Kısa Gösteriliş Sistemleri-Bölüm 1: Çelik Adları", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2007).
49. Çelik, E., Şirin, Ş., ve Kıvak, T., "AISI 2507 süper dubleks paslanmaz Çeliğinin hibrit soğutma/yağlama yöntemleri altında tornalanmasında yüzey kalitesinin incelenmesi", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 9 (2): 929–942 (2021).
50. Türk, M., "S355j0 Çeliğinin Mag Yöntemiyle Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz ve Kaynak Telinin Mukavemete, Dikiş Geometrisine Etkisi Ve Mikroyapı Karakterizasyonu", *European Journal of Science and Technology*, (2021).
51. Tekdemir, M., "Özel taşıma römork şaselerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hafifletme optimizasyonu", *Bursa Uludağ University, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2022).

52. Barlas, Z., Ormanl, E., Özsaraç, U., Orhan, A., ve Çalgülü, U., "HSS S960QL Çeliğinin MAG Kaynağında Kaynak Akım ve Gaz Kompozisyonundaki CO₂ Orannın Birleştirme Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi", *Journal Of The Institute Of Science And Technology*, 11 (2): 1430–1443 (2021).



ÖZGEÇMİŞ

Ayşegül KÜÇÜKKELEŞ; ilkokul, ortaokul ve lise eğitimini Konya'da tamamladı. 2014 yılında yüksek öğrenimi için Karabük Üniversitesinde Raylı Sistemler Mühendisliği bölümüne başlayıp 2020 yılında üniversiteden mezun oldu. Mezuniyetten sonra Önder Metal adlı imalat firmasında kalite kontrol mühendisi olarak çalışmıştır. Karabük Üniversitesinde 2021 yılında makine mühendisliği alanında yüksek lisansa başladı.