



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**S700MC ÇELİKLERİN ÖZLÜ TEL İLE ROBOTİK
MAG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

Halis ALAKUŞ

DANIŞMAN

PROF. DR. Volkan KIRMACI

BARTIN-2024



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

S700MC ÇELİKLERİN ÖZLÜ TEL İLE ROBOTİK MAG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halis ALAKUŞ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Prof. Dr. Volkan KIRMACI
Üye : Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK
Üye : Prof. Dr. Vedat Veli ÇAY

BARTIN-2024

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Volkan KIRMACI danışmanlığında hazırlamış olduğum “S700 MC ÇELİĞİNİN ROBOT KAYNAK TEKNOLOJİSİ YÖNTEMİYLE S700MC ÇELİKLERİN ÖZLÜ TEL İLE ROBOTİK MAG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

02.05.2024

Halis ALAKUŞ

ÖN SÖZ

Bu çalışma esnasında her zaman desteğini ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Volkan KIRMACI hocama ve çalışmanın eksiklerini tamamlamak adına bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK Hocam'a, çalışmayı tamamlayabilmem adına birçok fedakârlıkta bulunan eşime, çocuklarım Muhlis Kayra, Neşe ve Betül'e ve bu günlere gelmemde çok büyük emekleri bulunan sevgili anneme ve rahmetli babama çok teşekkür ederim.

Ayrıca incelemeye tabi tutulacak parçaların kaynatılması konusunda destek olan Tolga AFERİN Bey (Aga Robotik Otomasyon Makina Ltd Şti.) ve Murat ÖZKANLI Bey'e (Rail Tur Vagon Endüstri Ltd Şti) ve parçaların yüzey işleme konusunda destek olan Fatih AFAT Bey, Faruk YILMAZ ve Oktay ÇOBAN Bey'e (Yazıcı Demir Çelik A.Ş) teknik desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim

Halis ALAKUŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

S700MC ÇELİKLERİN ÖZLÜ TEL İLE ROBOTİK MAG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Halis ALAKUŞ

**Bartın Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Volkan KIRMACI

Bartın-2024, sayfa: 86

Bu çalışmada, robot teknolojisi ark kaynağı yöntemi kullanılarak, Strenx S700 MC yüksek mukavemetli yapı çeliğinin özlü kaynak telleriyle kaynak edilebilirlik yetenekleri deneysel olarak incelenmiştir. 1.2 mm kalınlığında kaynak teli, %82 Argon ve %18 karbondioksitten oluşan koruyucu gaz kullanılarak iterek kaynak metodu ile yapılan alın kaynaklarında on farklı numune kullanılmıştır. Kaynak hızı 300 mm/dk ile 550 mm/dk arasında altı farklı hızda, Tel hızı 500 mm/dk ile 750 mm/dk arasında beş farklı hızda ve akım değeri 160 amper ile 220 amper arasında beş farklı değerde değiştirilerek deneysel çalışmalar tamamlanmıştır. Kaynak boğazı ile kaynak dikiş genişlikleri ölçülerek değerlendirilmiştir. Kaynak dikişi, ara yüzey ve ana malzemeden alınan mikro sertlik değerleri incelenmiştir. Kaynak hızının sabit tutularak, tel hızının ve kullanılan akımın artırılması ile kaynak dikiş genişliğinin arttığı ve nüfuziyetin daha fazla olduğu sonuçları elde edilmiştir. Yanı sıra, ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde, hem kaynak dikişi hem de ara yüzey bölgesinde sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Tel hızı ve akımın daha fazla artırılmasıyla homojen yapılı bir kaynak dikişinin meydana geldiği ve kök bölgesinde daha fazla nüfuz etme ve ayrıca kaynak bölgesindeki enerji yoğunluğunun artmasıyla numunenin tüm bölgelerinde sertlik değerlerinde artış

gözlemlenmiştir. İlâveten, kaynak kökünün daha oval hale geldiği gözlemlenmiştir. Sabit tel hızı ve akım değerlerinde, kaynak hızının kademeli artırılmasıyla, en düşük kaynak hızına (350 mm/dk) maruz kalan numunede, kaynak dikişi bölgesinde oluşan mikroyapı ince taneli dağılım göstermektedir. Kaynak hızının en yüksek (550 mm/dk) olduğu numunede ise, homojen yapı içerisinde kalın ferrit matrisin oluştuğu görülmektedir. Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelendiğinde, mikroyapıda tane irileşmesinin varlığı ile birlikte perlit yapının daha ince ve homojen oluştuğu görülmüştür. Yüksek tel hızı ve akım uygulandığında, ITAB bölgesinde oluşan mikroyapının ince taneli ve homojen dağılım göstermesi nedeniyle sertliğin artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Robot kaynak, sertlik, S700MC çeliği.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

WELDING OF S700MC STEELS BY ROBOTIC MAG WELDING METHOD WITH Flux-cored WIRE AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES

Halis ALAKUŞ

**Bartın University
Graduate School
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Volkan KIRMACI

Bartın-2024, pp: 86

In this study, the weldability capabilities of S650 steel and Strenx S700MC high-strength structural steel with solid welding wires were experimentally investigated using robotic technology arc welding method. Ten different samples were used in butt welds made by the push welding method using a 1.2 mm thick welding wire and a shielding gas consisting of 82% Argon and 18% carbon dioxide. Experimental studies were completed by changing the welding speed at six different speeds between 300 mm/min and 550 mm/min, the wire speed at five different speeds between 500 mm/min and 750 mm/min, and the current value at five different values between 160 amperes and 220 amperes. The throat of the weld and the widths of the weld seam were evaluated by measuring. Micro hardness values taken from the weld seam, interfacial surface, and base material were examined. As a result of keeping the welding speed constant and increasing the wire speed and the current used, it was obtained that the weld seam width increased and the penetration was more. In addition, when the measured hardness values were examined, it was observed that the hardness values increased in both the weld seam and the interfacial region. With the further increase of wire speed and current, it was observed that a homogeneous structured weld seam was formed, there was more penetration in the root region, and with the increase in energy density in the

welding region, there was an increase in hardness values in all regions of the sample. In addition, it was observed that the weld root became more oval. With the gradual increase of the welding speed at constant wire speed and current values, the microstructure formed in the weld seam region of the sample exposed to the lowest welding speed (350 mm/min) shows a fine-grained distribution. In the sample where the welding speed is the highest (550 mm/min), it is seen that a thick ferrite matrix is formed within the homogeneous structure. When the Heat Affected Zone (HAZ) was examined with Scanning Electron Microscope (SEM), it was observed that the perlite structure was thinner and more homogeneous with the presence of grain growth in the microstructure. It was observed that the hardness increased due to the formation of a fine-grained and homogeneous microstructure in the HAZ region when high wire speed and current were applied.

Keywords: Hardness, robot welding, S700MC steel.

İÇİNDEKİLER

BEYANNAME	iii
ÖN SÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Kaynaklı İmalat	1
1.1.1. Ark Kaynağı.....	2
1.1.2. Direnç Kaynağı	6
1.1.2.1. Direnç nokta kaynağı.....	7
1.1.2.2. Dikiş kaynağı	9
1.1.2.3. Projeksiyon kaynağı.....	10
1.1.2.4. Alyn Kaynağı.....	10
1.1.3. Gaz Kaynağı.....	11
1.1.4. Plazma Ark Kaynağı	15
1.1.4.1. Plazma ark kaynağı türleri.....	16
1.1.5. Lazer Kaynağı.....	18
1.1.5.1. Lazer Kaynağının Avantajları	22
1.1.6. Elektron Işını Kaynağı	23
2. ÖZLÜ KAYNAK TELLERİ.....	28
1.1. Özlü Ark Kaynağı.....	29
1.2. Gazaltı Kaynak Tellerinin Sınıflandırılması	29
1.3. Gaz Altı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tellerinin Özellikleri.....	32

1.4.	Gazaltı Kaynak Tellerinin Kimyasal İçerikleri	33
1.5.	Gazaltı Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri	34
3.	STRENX YÜKSEK MUKAVEMETLİ YAPI ÇELİKLERİ.....	36
3.1.	Strenx Çeliğin Avantajları	38
3.2.	Strenx çeliğinin potansiyel uygulama alanları	39
3.3.	Strenx yüksek dayanımlı yapı çeliği çeşitleri	41
3.4.	Strenx S700 MC Yapı Çeliği	42
4.	ROBOT SİSTEMLERİ	45
4.1.	Robotik Sistemlerin Kullanım Alanları	45
4.2.	Dünya Ölçeğinde Robot Kullanımı	50
4.3.	Robot Sisteminin Belirlenmesini Etkileyen Faktörler	53
4.4.	Kaynak Sektöründe Robot Teknolojisi.....	54
4.5.	Kaynak Robotlarının Avantajları	56
4.6.	Robot ile Ark Kaynağı Uygulamaları	57
4.7.	Robot Kaynağı İle Manuel Tip Kaynağın Kıyaslanması	58
5.	MATERYAL VE METOT	61
5.1.	Strenx S700 MC Yapı Çeliği	61
5.2.	Kaynak Ağzı İmalatı.....	61
5.3.	Kaynak Teli	63
5.4.	Robotlu Kaynak	64
5.5.	Makro İnceleme	64
5.6.	Vickers Sertlik Cihazı.....	65
6.	DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	67
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
	KAYNAKLAR.....	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Tıg Ve Mıg Kaynağının Şematik Gösterimi	3
1.2: EGW kaynak kaynağının şematik gösterimi	4
1.3: SMAW kaynağı şematik gösterimi	5
1.4: Direnç kaynaklarının şematik olarak gösterilmesi	7
1.5: Nokta direnç kaynağı	8
1.6: Bakır tekerlek elektrotlarını gösteren tipik direnç dikiş kaynağı	9
1.7: Oksi-Asetilen Gazı ile Kaynak Operasyonu	12
1.8: Oksi-Asetilen gaz kaynağının elemanları	12
1.9: Alev türleri	14
1.10: PAW sürecinin şematik diyagramı.....	16
1.11: Mobil bir anahtar deliği PAW işlemi	17
1.12: Kaynak geometrisinin şematik gösterimi	19
1.13: GI ve SI fiberin nokta kaynak nüfuziyeti üzerindeki etkisinin karşılaştırılması.....	20
1.14: Porozite azaltılması	20
1.15: Fiber lazer sistemleri için çeşitli pompalama yöntemleri	21
1.16: Çalışma odası tasarımına bağlı olarak elektron ışını kaynak makinesi türleri.....	232
1.17: Elektron ışın kaynağı prosesinin şematik olarak gösterilmesi	243
1.18: Alüminyumun elektron ışını kaynağında kaynak boncukları.	25
1.19: Bakır ve paslanmaz çelik plakaların kaynağı.....	254
1.20: Elektron ışını kaynağı kullanım yerleri.....	265
2.1: Çeşitli kaynak pozisyonları.	287
2.2: Özlü ark kaynağının şematik olarak gösterilmesi	298
2.3: Gaz altı kaynak tellerinin sınıflandırılmasında kullanılan simgeler.	30
3.1: Mikroalaşımli çeliklerin termomekanik haddemesinin şematik gösterimi	365
3.2: Strenx yapı çeliğinin mikroyapısı (a)Strenx 700, (b) Strenx 960, (c) Strenx 1100	376
3.3: Strenx yapı çeliğinin uygulama alanları.....	419
3.4: S700 MC kullanım alanları örnekleri.....	442
4.1: Endüstriyel robotik kaynak sistemi	464
4.2: Ameliyatta robot kullanımı	464
4.3: Üç farklı teslimat robotunun resimleri	475

4.4:	Askeri amaçlı geliştirilen robot	475
4.5:	Mobil bir robotik platform.	486
4.6:	Robotların hamur işlerinde kullanımı	486
4.7:	Gösteri dünyasında robot kullanımı	497
4.8:	Sualtı robotu	497
4.9:	Uzay uygulamaları için insansı robot.....	508
4.10:	Dünya çapında robot kullanımı.	50
4.11:	Robot yoğunluğu	50
4.12:	Robot kaynak sisteminin bileşenleri	553
5.1:	Freze tezgahında kaynak ağzı açma_1	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.9
5.2:	Freze tezgahında kaynak ağzı açma_2	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.9
5.3:	ER 110 SG kaynak teli	60
5.4:	Geka Robot - OTC marka kaynak robotu	64
5.5:	Test numunelerinin zımparalanması için kullanılan cihaz.....	65
5.6:	Test numunelerinin sertlik ölçümünde kullanılan Vickers cihazı	652
6.1:	Robotik Kaynak Makinası Kumandası	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.3
6.2:	45° Açılı Kaynak Ağzı Açılan Numunelerin Birleştirme Pozisyonu.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.4
6.3:	Kaynak Torcunun Kaynak Başlangıç Noktasına Ayarlanması	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.4
6.4:	Robotik Kaynak Makinasının Fabrika İçinde Seri Kaynaklı İmalat Aşaması_1	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.5
6.5:	Robotik Kaynak Makinasının Fabrika İçinde Seri Kaynaklı İmalat Aşaması_2	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.5
6.6:	1 Nolu Numunenin Optik mikroskop görüntüsü 5 x.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.6
6.7:	1 Nolu Numunenin SEM mikroskop görüntüsü a.1000x, b-c. 4000x.....	717
6.8:	2 Nolu Numunenin Optik mikroskop görüntüsü 5 x.....	728
6.9:	2 Nolu Numunenin SEM mikroskop görüntüsü (a)2000x, (b), (c) 4000x	749
6.10:	3 Nolu Numunenin Optik mikroskop görüntüsü 5 x.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.0
6.11:	3 Nolu Numunenin SEM mikroskop görüntüsü a.4000x, b. 4000x.....	71
6.12:	4 nolu numunenin optik mikroskop görüntüsü 5 x	72
6.13:	3 Nolu Numunenin SEM mikroskop görüntüsü a.4000x, b. 4000x.....	773

6.14: 5 Nolu Numunenin Optik mikroskop görüntüsü 5 x.....	784
6.15: 5 Nolu Numunenin SEM mikroskop görüntüsü a.4000x, b. 4000x.....	795
6.16: 6-10 nolu numunelerin optik mikroskop görüntüleri 5 x	806
6.17: 6 Nolu Numunenin kaynak dikişi SEM mikroskop görüntüsü 4000x	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.7
6.18: 10 Nolu Numunenin kaynak dikişi SEM mikroskop görüntüsü 4000x	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.8
6.19: 6 Nolu Numunenin ara yüzey SEM mikroskop görüntüsü 4000x ...	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.8
6.20: 10 Nolu Numunenin ara yüzey SEM mikroskop görüntüsü 4000x	839
6.21: 450 mm/dk Kaynak Hızında Kaynak Dikişi ve Boğaz Genişliği	839
6.22: 450 mm/dk Kaynak Hızında Sertlik Değerleri.....	80

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1	1XXX, 3XXX, 5XXX ve 6XXX alaşımları için tipik kaynak parametreleri..... 8
1.2	1XXX, 3XXX, 5XXX ve 6XXX alaşımları için tipik kaynak parametreleri..... 8
1.3	Sertleştirilmiş 5XXX serisi alaşımı için dikiş kaynağı koşulları..... 10
3.1	S700MC strenx yapı çeliğinin genel kalınlık toleransı..... 41
5.1	S700MC strenx yapı çeliğinin kimyasal kompozisyonu 618
5.2	S700MC strenx yapı çeliğinin mekanik değerleri 618
5.3	ER110 SG kimyasal kompozisyonu 60
5.4	ER110 SG marka kaynak teline ait kaynak parametreleri..... 60
6.1	Kaynak özellikleri..... 673
6.2	Deney parametreleri Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
B	: Bor
C	: Karbon
C ₂ H ₂	: Asetilen
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
HV	: Vickers sertlik değeri
Mn	: Manganez
Mo	: Molibden
N ₂	: Azot
Nb	: Niyobyum
Ni	: Nikel
O ₂	: Oksijen
P	: Fosfor
Ti	: Titanyum
S	: Kükürt
V	: Vanadyum

KISALTMALAR

AWS	: Amerikan Kaynak Derneği
DNK	: Direnç Nokta Kaynağı
EWG	: Elektrogaz Kaynağı
FCAW	: Özlü ark kaynağı
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
MIG	: Metal inert Gaz
PAK	: Plazma ark kaynağı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TIG	: Tungsten İnert Gaz

1. GİRİŞ

Endüstride kullanılan imalat yöntemleri talaşlı ve talaşsız imalat yöntemleri olmak üzere genel olarak ikiye ayrılır. Bu imalat/birleştirme yöntemlerinden biri de kaynaklı imalatlardır.

1.1 Kaynaklı İmalat

Kaynaklı imalat (veya kaynaklı üretim), metal ve diğer malzemelerin birleştirilmesi için kaynak işleminin kullanıldığı bir imalat yöntemidir. Bu yöntemde, malzemelerin belirli bölgeleri yüksek ısı ve/veya basınç altında birleştirilir, böylece birleştirilen parçalar bir bütün haline gelir. Kaynak işlemi genellikle metallerin birleştirilmesinde kullanılır, ancak plastikler ve diğer malzemeler üzerinde de uygulanabilir.

Kaynaklı imalatın temel amacı, mühendislikte ve endüstride farklı parçaları veya malzemeleri bir araya getirerek daha büyük ve karmaşık ürünlerin üretilmesini sağlamaktır. Bu yöntem, yapılacak ürünün tipine ve kullanılacak malzemelere bağlı olarak farklı kaynak teknikleri kullanılabilir. En yaygın kaynak yöntemleri arasında aşağıdakiler bulunur:

1. Ark Kaynağı: Malzemelerin elektrik arkı vasıtasıyla kaynak yapıldığı yöntemidir. Gazaltı kaynak (GMAW/MIG), Tungsten ark gazaltı kaynağı (GTAW/TIG) gibi alt türleri bulunur.
2. Direnç Kaynağı (Resistance Welding): İki parçayı birleştirmek için elektrik akımının kullanıldığı bir kaynak yöntemidir. Spot kaynak ve nokta kaynak gibi alt türleri vardır.
3. Gaz Kaynağı: Metallerin yakıt gazı ve oksijen karışımı ile kaynatılması ya da kesilmesine olanak sağlar. Oksiasetilen kaynak bu türün örneklerindendir.
4. Plazma Kaynağı (Plasma Welding): Yüksek sıcaklıkta bir plazma jeti kullanarak malzemelerin birleştirildiği bir kaynak yöntemidir.
5. Lazer Kaynağı (Laser Welding): Lazer ışığının kullanıldığı bir kaynak yöntemidir. Yüksek hassasiyet ve hız sağlar.
6. Elektron Işını Kaynağı (Electron Beam Welding): Elektron ışınları kullanılarak malzemelerin birleştirildiği bir kaynak yöntemidir. Vakum ortamında gerçekleştirilir.

Kaynaklı imalat, inşaat, otomotiv, havacılık, gemi yapımı, metal işleme ve birçok endüstriyel sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin güvenilir ve dayanıklı bir şekilde birleştirilmesini sağlar ve karmaşık geometrilerin oluşturulmasına imkân tanır.

1.1.1. Ark Kaynağı

Ark kaynağı, elektrik arkı kullanarak metallerin veya diğer iletken malzemelerin birleştirildiği bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde, elektriksel bir yayma kaynağı oluşturularak yüksek ısı ve erime noktası elde edilir. Bu ısı, kaynak malzemelerinin bir araya getirildiği noktada malzemelerin erimesine ve birleşmesine neden olur. Ark kaynağı, metallerin güçlü ve kalıcı bir şekilde birleştirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılır.

Ark kaynağının temel bileşenleri şunlardır:

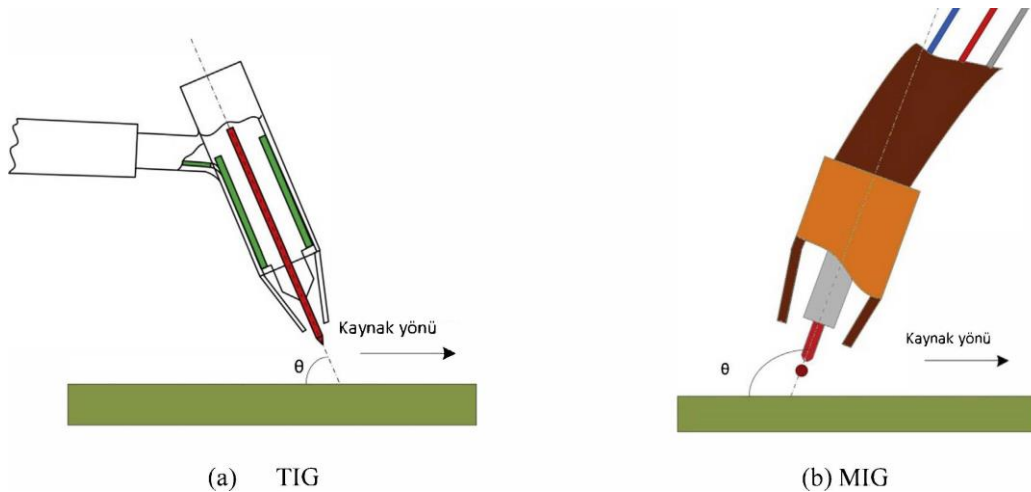
1. Elektrot: Ark kaynağının birinci bileşeni elektroddur. Elektrot, kaynak makinesi tarafından üretilen elektrik akımını taşır ve işlem sırasında eriyen bir malzeme katmanı oluşturur. Elektrotlar, kullanılacak malzemelere ve kaynak işlemine bağlı olarak farklı türlerde olabilir.
2. Elektrik Kaynağı: Ark kaynağı için gereken elektrik akımını üreten bir kaynak makinesi kullanılır. Ark kaynağı için yaygın olarak kullanılan kaynak makineleri, MIG (Metal Inert Gas) ve TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak makineleri gibi çeşitli türleri içerebilir.
3. İş Parçası: Birleştirilmek istenen metaller veya malzemeler iş parçası olarak adlandırılır. Bu malzemeler, kaynak işlemi sırasında birleştirilir ve kalıcı bir bağ oluşturulur.

Ark kaynağının avantajları şunlar olabilir:

- Hızlı ve verimli bir kaynak işlemi sağlar.
- Güçlü ve dayanıklı kaynak bağlantıları oluşturabilir.

- Kullanım alanı geniştir.
- Otomatik ve manuel kaynak uygulamaları için uygundur.
- Daha kalın malzemelerin birleştirilmesi için uygundur.

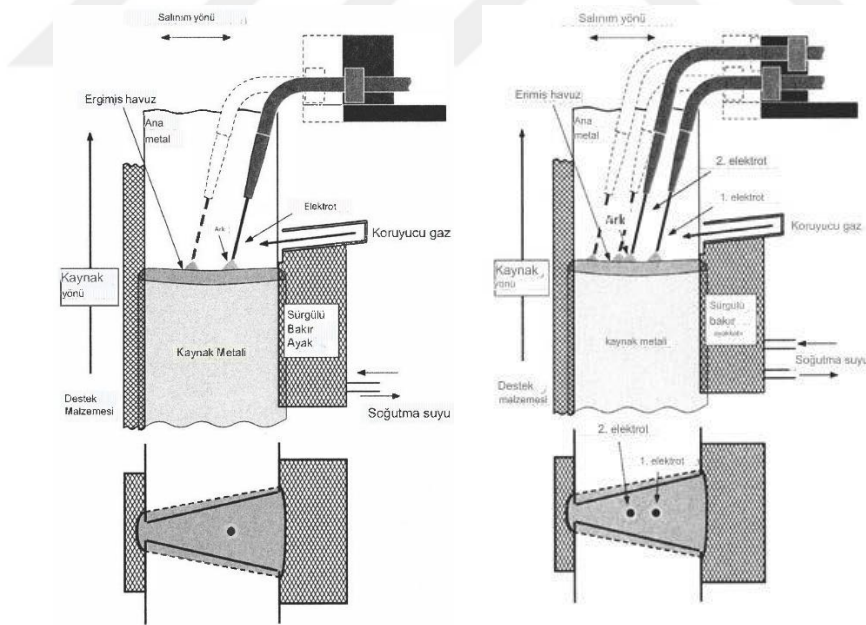
Ark kaynağının çeşitli alt türleri vardır, bu türler farklı uygulama gereksinimlerini karşılamak için kullanılır. Örneğin, MIG kaynak, TIG kaynak, Elektrogazlı Kaynak (FCAW), ve ElektroArk Kaynağı (SMAW) gibi alt türler ark kaynağının farklı varyasyonlarıdır ve farklı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılırlar. Tungsten inert gaz (TIG) ve metal inert gaz (MIG), gaz korumalı ark kaynaklarının en yaygın örnekleridir. Metal birleştirme, çok sayıda endüstride TIG ve MIG kaynak yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır (Sunny ve Korra, 2021). Saf argonun kullanıldığı TIG ve MIG kaynakları mukayese edilirse TIG kaynağı daha iyi yüzeylere ve küçük sıçramaya (Ar) sahiptir. Yaygın olarak MIG kaynağı olarak bilinen TIG kaynağı, yavaş hızı ve yetersiz metal birikimi nedeniyle geliştirilmelidir. MIG kaynağında geliştirilmesi gereken birçok özellik bulunmasına rağmen başarılı bir teknolojidir ve dayanıklı kaynaklar için saf argon koruyucu gaz kullanımı uygundur. MIG arkı, esas metaldeki katot noktaları kararlı olmadığı için, saf argonda kararsızdır (Darnell vd., 2022). Bu tür geleneksel metal inert gaz (MIG) kaynağı için Ar-O₂- veya Ar-CO₂ karışımli gazlar kullanılır. TIG ve MIG kaynağının şematik gösterimi Şekil 1.1’de sunulmaktadır (J. Chen vd., 2014).



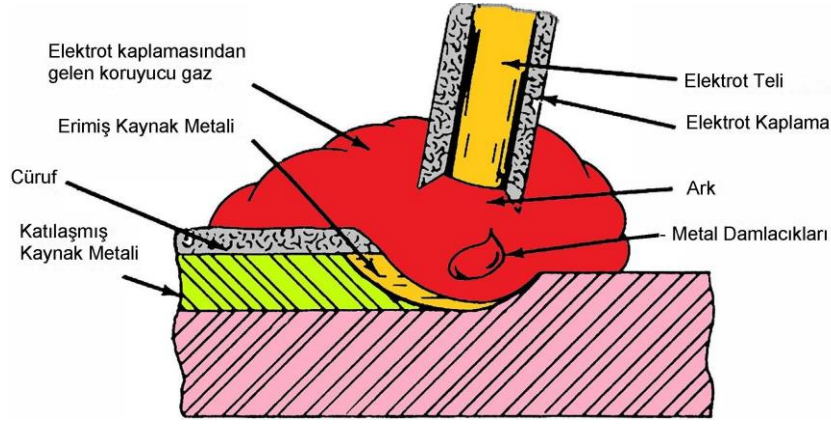
Şekil 1-1: TIG ve MIG kaynağının şematik gösterimi

Dikey pozisyon ark kaynağı olan Elektrogaz Kaynağında (EGW), iş parçası ve sarf elektrodu arasında bir ark oluşturulur. Özellikle gemi inşa endüstrisinde ve depolama tanklarının

yapımında, alın bağlantılarının ve T bağlantılarının kare oluk kaynağı için kullanılır (Park vd. Elektrot, elektrolag kaynağında kullanılan gibi bir sarf elektrot kılavuz tüpü veya hareketli bir kafa ile kaynak alanına yönlendirilir. Hareketli kafa varyasyonunda, kaynağın erimesini önlemek için kaynak yapılırken yukarı doğru hareket eden bir elektrot kılavuz tüpleri grubu kullanılır (Sasaki vd., 2004). Doğru miktarda ısı uygulandığında su verilmiş ve temperlenmiş çelikler de bu işlemle kaynaklanabilir. Kaynaklar dikey olmalı ve her iki tarafta 15 dereceye kadar değişmelidir. Elektrodun kalınlığı en fazla 2 cm iken, iş parçasının 1 cm'den daha kalın olması gerekmektedir. İlave elektrotlar daha kalın iş parçalarının kaynağına izin verir. Genel olarak, aralık 100 mm (4 inç) ila 20 m (50 fit) arasındadır. Tüm ark kaynağı işlemlerinde olduğu gibi EGW'de de operatörlerin erimiş metale ve parlak kaynak arkına maruz kalmalarını önlemek için kaynak kaskı ve uygun giysiler giymeleri gerekir. Kaynak sırasında diğer işlemlere kıyasla çok miktarda erimiş metal bulunması ek güvenlik ve yangın tehlikeleri yaratır. Bu işlem genellikle yüksekte gerçekleştirildiğinden, iş ve ekipman uygun şekilde sabitlenmeli ve operatörler düşme durumunda yaralanmayı önlemek için emniyet kemeri takmalıdır (Y. Chen vd., 2018). EGW kaynağının şematik gösterimi Şekil 1.2'de sunulmuştur (Sasaki vd., 2004).



Şekil 1-2: EGW kaynak kaynağının şematik gösterimi



Şekil 1-3:SMAW kaynağı şematik gösterimi

Kaynaklı boru hattının en yaygın kullanılan biçimleri ya SMAW kaynağı bağlantıları ya da GTAW kaynağı bağlantılarıdır. SMAW kaynağı işlemi, taret ve gemi gövdeleri, iniş takımları, hafriyat, madencilik ekipmanları, havan kovanları, zırhlı personel taşıyıcı, transit araç, devriye aracı vb. imalatında zırh çeliği plakalarının birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Groover, 2013; Magudeeswaran vd., 2010). Şekil 1.3'te SMAW kaynağı şematik olarak gösterilmiştir (Antonini, 2014).

Temizlenmezse kaynakta Radyografi testi, Nihai çekme testi veya bükme testi ile incelenebilen kusurlara neden olur. Tıpkı füzyon eksikliğinde olduğu gibi pozitif elektrot çalışma pozisyonu sağlanarak cüruf eklenmesi önlenabilir.

Örtüşme: Çalışma açısı ayar noktasının ötesine geçerse, kaynak arayüzünde üst üste binme olasılığı vardır. Üst üste binme gerilmeye maruz kalan çevresel alanı tercihli bir bölgede gerilme birikimine dönüştürmesi ve üzerine yük uygulandığında çatlak başlatma bölgelerinin gelişmesine yol açması nedeniyle kabul edilemez bir kusurdur.

Farklı metallerin kaynağında karşılaşılan zorluklar

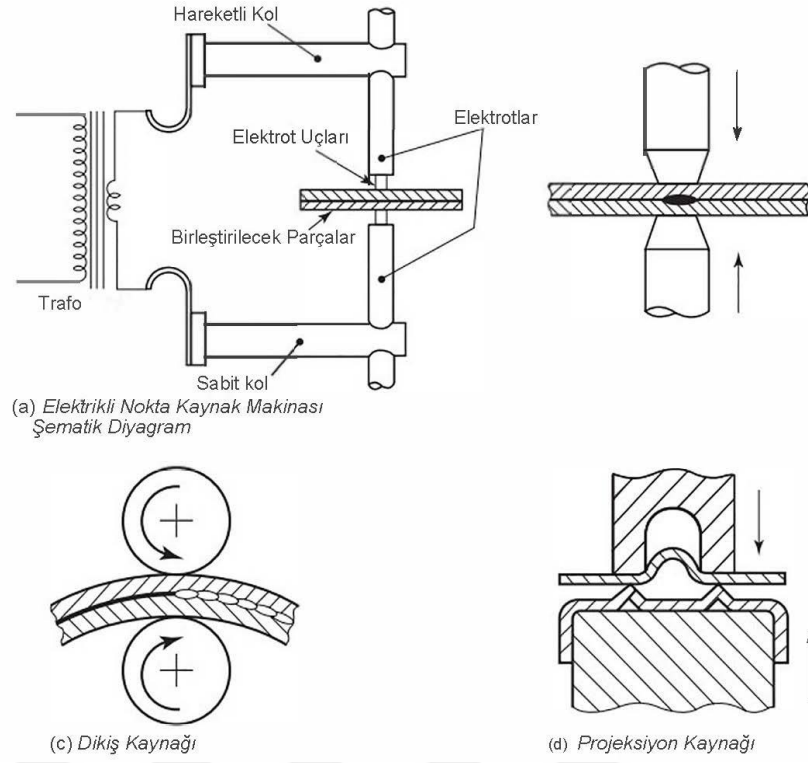
- Metalin ısıtılmasında eşleşmeyen zaman. Erime noktasındaki fark ne kadar büyükse kaynak yapmak o kadar zordur.
- Doğrusal genleşme katsayısındaki fark. Fark ne kadar büyükse kaynak yapmak o kadar zordur.
- Farklı metallerin ısıl iletkenlik, ısıl genleşme katsayısı ve özgül ısı kapasitesindeki büyük fark.

- Metallerdeki elektromanyetik fark ne kadar büyük olursa, elektrik ve manyetik alanlar o kadar dengesiz olur, ark homojen olmayan bir şekilde tutuşur, kaynak yapmak zorlaşır (Baghel, 2022).

1.1.2. Direnç Kaynağı

Bu yöntemde, iki veya daha fazla metal parçası belirli bir sıcaklık ve basınç altında birleştirilir. Direnç kaynağı, metal parçaların eritilmesine gerek duymadan kalıcı bir kaynak bağlantısı oluşturmak için kullanılır.

Direnç kaynağının temel çalışma prensibi, bir elektrik akımının iki metal parçası arasından geçirilmesiyle oluşan direnç nedeniyle ısının meydana gelmesidir. Bu ısı, kaynatılmak istenen parçaların birleştirildiği bölgede erime noktalarına ulaşır, böylece parçalar birbirine yapışır. Daha sonra, basınç uygulanarak soğuması ve sertleşmesi sağlanır. Direnç kaynağı yöntemleri temel olarak direnç nokta kaynağı, dikiş kaynağı, projeksiyon kaynağı ve alın kaynağı olmak üzere dört kategoriye ayrılabilir. Şekil 1.4 direnç kaynağı yöntemlerini şematik olarak gösterilmektedir (Timings, 2008).



Şekil 1-4: Direnç kaynaklarının şematik olarak gösterilmesi

1.1.2.1. Direnç nokta kaynağı

Direnç nokta kaynağı (DNK), farklı malzemeleri kalıcı olarak birleştirmenin en güvenilir, verimli ve ekonomik yolu olması nedeniyle endüstrilerde tercih edilen bir tekniktir. DNK, çok çeşitli mikro ve makro endüstriyel bileşenlerin imalatında ve onarımında önemli bir rol oynamaktadır. DNK, geleneksel birleştirme işlemine kıyasla bilimsel ilkeler ve karmaşıklık içerdiğinden, endüstriyel işlemler arasında kaynak kalitesinde üst sıralarda yer almaktadır. Otomobil endüstrisi, farklı metallerin birleştirilmesine yönelik artan bir talebe sahiptir (Biradar ve Dabade, 2020). Şekil 1.5'te gerçek nokta direnç kaynağını göstermektedir.



Şekil 1-5:Nokta direnç kaynağı

Basınç, akım ve zaman ana kaynak parametreleridir ve bazı tipik kaynak parametreleri Tablo 1.1 ve Tablo 1.2’de sunulmaktadır. Bir kaynak prosedürü geliştirirken öncelikle elektrot boyutlarının, kaynak süresinin ve kaynak kuvvetinin seçilmesi ve kaynak akımının istenen külçe boyutuna ulaşıncaya kadar artırılması önerilir (Timings, 2008).

Tablo 1-1:1XXX, 3XXX, 5XXX ve 6XXX alaşımları için tipik kaynak parametreleri

Sac Kalınlığı (mm)	Elektrot Çapı (mm)	Kapak Yarıçapı (Üst) (mm)	Kapak Yarıçapı (Alt) (mm)	Elektrot Kuvveti (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (Çevrim)
0.4	16	1.0	Düz	1.4	15	4
0.5	16	1.0	Düz	1.5	18	4
0.65	16	2.0	Düz	1.75	21	5
0.8	16	2.0	Düz	2.2	26	6
1.0	16	3.0	Düz	2.7	30	7
1.25	16	3.0	Düz	3.0	33	7
1.6	16	3.0	Düz	3.35	35	8
1.8	16	4.0	4.0	3.6	35	8
2.0	22	4.0	4.0	3.8	41	8
2.3	22	6.0	6.0	4.25	46	10
2.5	22	6.0	6.0	4.7	56	12
3.2	22	6.0	6.0	5.8	76	12

Tablo 1-2:1XXX, 3XXX, 5XXX ve 6XXX alaşımları için tipik kaynak parametreleri

Sac Kalınlığı (mm)	Elektrot Çapı (mm)	Kapak Yarıçapı (mm)	Kaynak Kuvveti (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (Çevrim)
0.8	16	50	3.5	28	4
1.0	16	75	4.0	32	4
1.6	16	75	5.2	43	7
2.0	22	100	6.5	52	8
2.5	22	150	8.0	60	12
3.2	22	150	11.0	70	12

1.1.2.2.Dikiş kaynağı

Tekerlek şeklinde bir elektrot kullanılan dikiş kaynağı, nokta kaynağı yapmak için (Şekil 1.6 (Timings, 2008)) kullanır. Punta kaynağına benzer yüzey kalitesi ve elektrotlarla ilgili ihtiyaçlara sahiptir (Mathers, 2002).



Şekil 1-6:Bakır tekerlek elektrotlarını gösteren tipik direnç dikiş kaynağı

Yakın aralıklı külçelerin manevra etkisi ve kısa kaynak süreleri, punta kaynaklarına göre daha yüksek akımların gerekli olduğu anlamına gelir. Tablo 1.3'te kaynak parametreleri görülmektedir. Üç fazlı frekans dönüştürücü birimleri için kaynak parametreleri, kaynak akımının 0.5 ile 2.5 kat arasında artırılmasının gerekmesi dışında Tablo 1.1'dekilere benzer; daha kalın malzemeler için daha yüksek değerler.

Tablo 1-3:Sertleştirilmiş 5XXX serisi alaşımı için dikiş kaynağı koşulları

Sac Kalınlığı (mm)	İlerleme Hızı (m/dak)	Noktalar/ metre	Açma Kapama Süresi (döngü)	Süre (döngü)	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Kuvveti (kN)	Kaynak
0,9	1.02	625	5	1.0	29.0	3.1	3.2
1.0	0.88	550	7	2.0	32.0	3.4	3.5
1.6	0,79	395	10	3.0	38.5	4.3	4.8
2.0	0,64	355	12.5	4.0	41.0	4.8	5.5
2.5	0,55	315	18	5.5	43.0	5.5	6.5
3.2	0,45	275	24	7.0	45.0	6.0	8.0

1.1.2.3. Projeksiyon kaynağı

Bu süreçte elektrotlar birleştirilecek parçaları tutacak konumlar görevi görür ve dolayısıyla işe özeldir. Bağlantı, birleştirilecek parçalardan birinin üzerinde çıkıntılar oluşturulacak şekilde tasarlanmıştır. Projeksiyon kaynağı, kaynak basıncının ve ısıtılan kaynak bölgesinin önceden belirlenen noktalarda lokalize edilmesini sağlar. Bu teknik büyük ölçüde, doğru bir şekilde yerleştirilmesi gereken küçük, hassas bileşenler için kullanılır.

1.1.2.4. Alın Kaynağı

Adından da anlaşılacağı gibi alın kaynağı, çubuk benzeri veya boru şeklindeki bileşenlerde, L, T ve X şekilli ekstrüzyonlarda vb. alın bağlantıları yapma kapasitesine sahiptir. Isıtma metali eritir ve plastikleştirir ve yeterli ısı oluştuğunda bileşenlerin uçları birlikte dövülerek erimiş metali, oksitleri, kirletici maddeleri ve plastikleştirilmiş malzemenin bir kısmını dışarı atarak bir 'parlama' veya 'parlama' oluşturur. Kirletici maddelerin ve oksitlerin dışarı atılması, kaynak öncesi temizliğin geleneksel ergitme kaynak işlemleri kadar önemli olmadığı anlamına gelir.

Direnç kaynağının özellikleri ve avantajları şunlar olabilir:

1. Hızlı Kaynak: Direnç kaynağı işlemi genellikle çok hızlı gerçekleşir, bu da seri üretim uygulamaları için uygundur.

2. Kalıcı Bağlantılar: Bu yöntemle oluşturulan kaynak bağlantıları genellikle dayanıklı ve kalıcıdır.
3. Isı Kontrolü: Malzemeler eritilmeden birleştirildiği için, ısıl deformasyon veya malzeme bozulması riski daha düşüktür.
4. Yüksek Kalite: Direnç kaynağıyla oluşturulan kaynaklar, düşük miktarda kirlilik ve oksidasyon içerir, bu da yüksek kalite kaynaklar elde etmeyi sağlar.
5. Otomatik Üretim: Direnç kaynağı, otomatik üretim hatlarında yaygın olarak kullanılır ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlar.

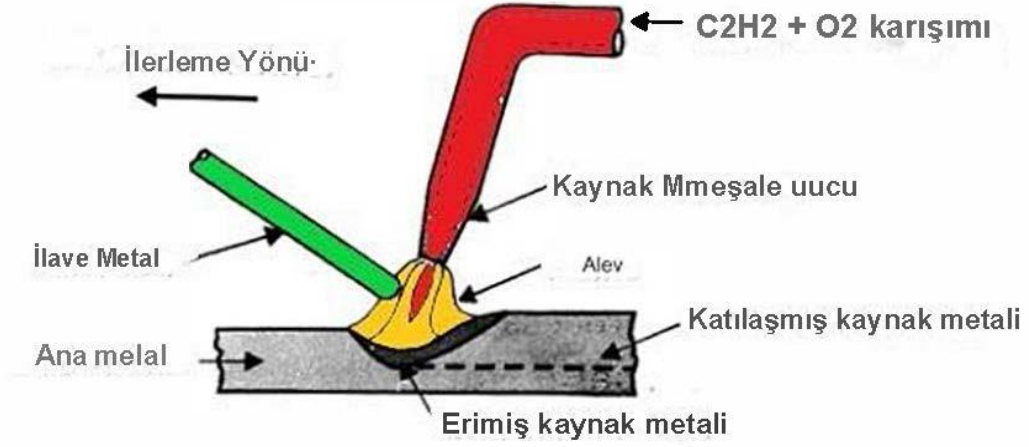
Direnç kaynağının popüler uygulamaları arasında aşağıdakiler bulunabilir:

- Otomotiv endüstrisinde karoser parçalarının birleştirilmesi.
- Beyaz eşya üretiminde, özellikle buzdolapları ve fırınlar gibi ev aletlerinin üretiminde.
- Tel ve çubukların birleştirilmesi, örneğin çit telleri veya tel kafeslerin yapımında.
- İnşaat sektöründe, çelik yapı elemanlarının birleştirilmesi.

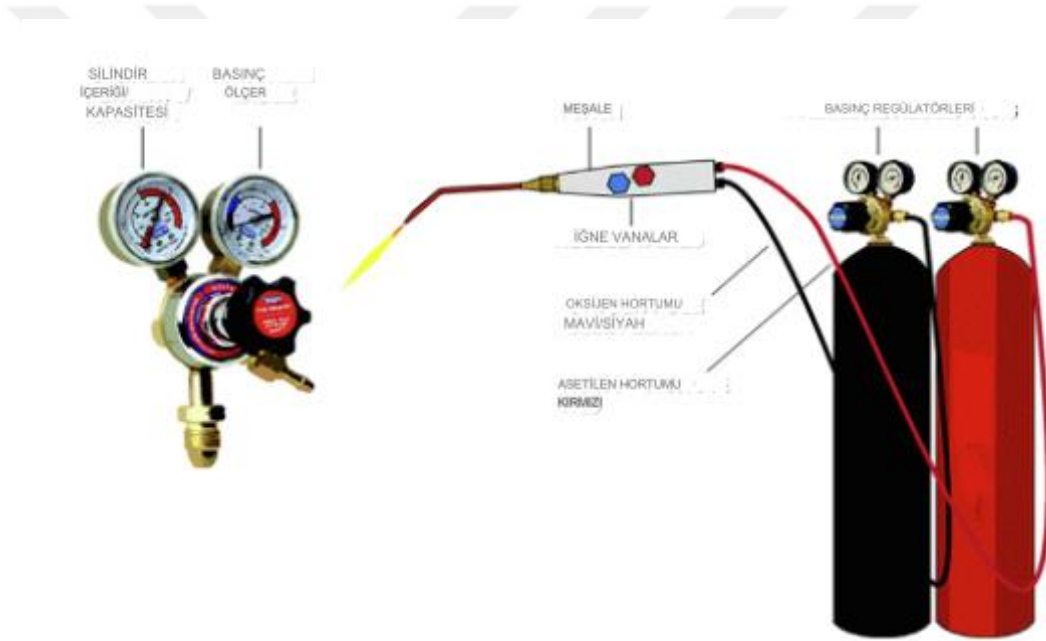
Direnç kaynağı, yüksek miktarda enerji kullanabilen bir işlem olduğu için uygun güç kaynaklarına ve uygun güvenlik önlemlerine ihtiyaç duyar. Ayrıca, kaynatılacak malzemelerin uygun şekil ve kalınlığa sahip olması önemlidir, çünkü direnç kaynağı özellikle ince levhalar veya parçalar için uygun olmayabilir.

1.1.3. Gaz Kaynağı

Gaz kaynağı, yakıt gazı ve oksijen karışımının yanması sonucu oluşan yüksek sıcaklıkta bir alevin kullanıldığı bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde, oksi-asetilen sisteminde ısı üretmek için bir gaz karışımı (oksijen ve asetilen) kullanılır. Gaz karışımının yakılmasıyla, kaynak işlemi boyunca ana metal yüzeyini ve dolgu metallerini eriten yüksek sıcaklıkta konsantre bir alev üretilir. Bu işlemde yaklaşık 3150 °C'lik bir sıcaklık üretilir ve ısı, iki gazın basıncı ve ucun boyutu vb. değiştirilerek kontrol edilir. Şekil 1.7'de Oksi-Asetilen kaynağı operasyonu (Opeka vd., 2004) ve Şekil 1.8'de elemanları sunulmaktadır (Buijnsters vd., 2000).



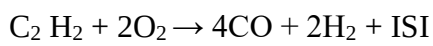
Şekil 1-7:Oksi-Asetilen Gazı ile Kaynak Operasyonu



Şekil 1-8:Oksi-Asetilen gaz kaynağının elemanları

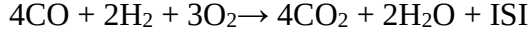
Oksi asetilen yanma işleminin kimyası

Asetilen, gaz kaynağında en çok tercih edilen yakıttır. Reaksiyon iki adımda gerçekleşir; asetilenin parçalandığı ilk adımda, oksijenli ortamda CO, H₂ ve ısı üretilir (1.1).



(1.1)

İkinci adımdaki reaksiyonda karbon monoksit ve hidrojen oksijenle karışarak denklem 2’de ifade edildiği gibi karbondioksit ve su buharı elde edilir.



(1.2)

Denklemleri eklediğimizde (1.1) ve (1.2)'de 2 kısım asetilen tüketmek için 5 kısım oksijene ihtiyaç duyulduğunu görüyoruz.



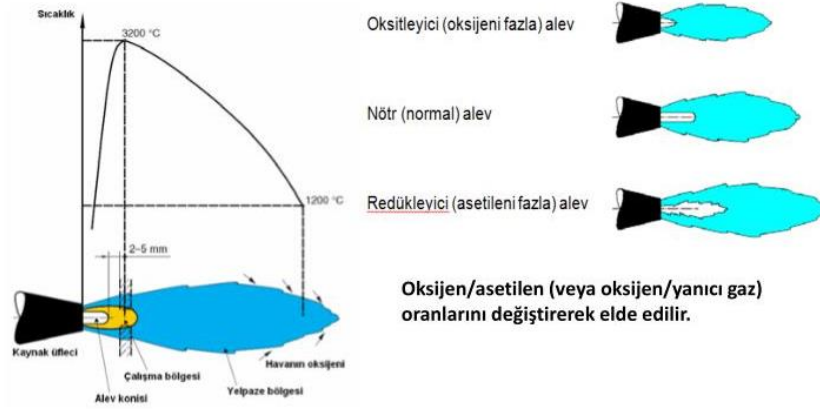
(1.3)

Gaz kaynağı işlemi şu temel adımları içerir:

1. Yakıt Gazı ve Oksijen Karışımı: Gaz kaynağı işlemi için yakıt gazı (asetilen veya propan gibi) ve oksijen karışımı kullanılır. Bu gaz karışımı, özel bir kaynak fakseli (kaynak tabancası) kullanılarak bir araya getirilir.
2. Alev Oluşturma: Gaz karışımı, kaynak tabancasının ucunda alevi oluşturmak için bir kıvılcım veya diğer ateşleme yöntemiyle yakılır. Oluşan alev, yüksek sıcaklıkta bir kaynak alevi oluşturur.
3. Malzemelerin Birleştirilmesi veya İşlenmesi: Kaynak alevi, metal parçaların birleştirilmesi için kullanılabilir veya kesme işleminde kesme alevi olarak kullanılabilir. Ayrıca, kaynak alevi, malzemelerin ısıtılmasını ve şekillendirilmesini sağlamak için de kullanılabilir.

Üç tür gaz alevi vardır; bunlar Şekil 1.9'ae gösterilmektedir. Bunlar oksitleyici, karbonlaştırıcı ve nötr alevlerdir.

Tutuşturduktan sonra sıcaklığı yaklaşık 3200°C olan bir alev elde edilir. Alevde üç bölge oluşur.



Şekil 1-9:Alev türleri

- **Oksitleyici alev:** Gaz karışımında, hamlaca giren oksijen hacmi asetilen hacminden fazla olursa oksitleyici alev oluşur.
- **Sementasyon alevi:** Hacimsel olarak oksijen asetilenden az olduğu durumlarda karbonlama alevi görülmektedir.
- **Nötr alev:** Dengeli alev olarak adlandırılan bu alev, gazların karışımında hem oksijen hem de asetilenin hacmi eşit olduğunda nötr alev oluşur.

Gaz kaynağı yöntemi, çeşitli uygulamalarda kullanılır ve aşağıdaki ana alanlarda yaygın olarak bulunur:

1. **Kaynak:** Gaz kaynağı, metal parçaların birleştirilmesi için yaygın olarak kullanılır. Özellikle inşaat, gemi yapımı ve metal işleme endüstrilerinde tercih edilen bir kaynak yöntemidir.
2. **Kesme:** Gaz kaynağı, metal levha veya çubukların kesilmesi işleminde kullanılır. Kesme alevi, metalin eritilmesini ve kesilmesini sağlar.
3. **Şekillendirme:** Gaz kaynağı, bazı metal malzemelerin ısı olarak şekillendirilmesi veya bükülmesi işleminde kullanılır.
4. **Lehimleme:** Gaz kaynağı, lehimleme işleminde de kullanılabilir. Metal parçalar, lehim eridiğinde birleştirilir.

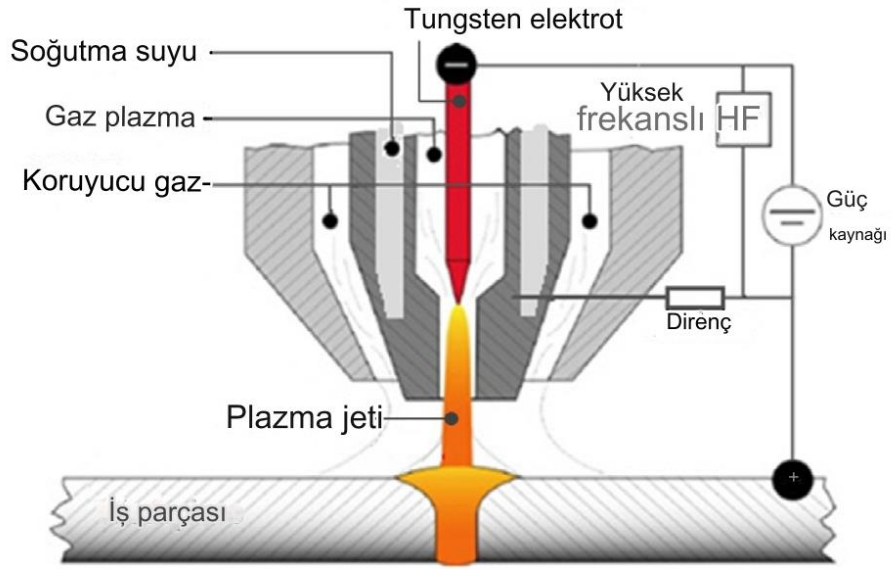
Gaz kaynağı, uygun ekipman ve işçilikle güvenli bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Ayrıca, farklı malzemeler ve kalınlıklar için farklı gaz karışımları ve alev ayarları kullanılabilir. Bu nedenle, doğru ekipman ve işlem parametrelerinin seçilmesi önemlidir.

1.1.4. Plazma Ark Kaynağı

Plazma ark kaynağı (PAK), yüksek sıcaklıkta ve yüksek enerjili bir plazma jeti kullanarak metalleri veya diğer malzemeleri birleştirmek için kullanılan bir kaynak yöntemidir. Plazma, yüksek ısıya sahip bir gazın (genellikle argon veya azot) elektriksel olarak iyonlaştırılması sonucu oluşan bir halden oluşur. Aşağıdaki iki temel adımdan oluşan plazma kaynağı, bu plazma jetini kullanarak malzemeleri eritmeksizin birleştirmek veya kesmek için kullanılır.

1. Plazma Oluşturma: Kaynak tabancasının ucunda, bir plazma arkı oluşturmak için gazın iyonlaştırılması ve yüksek sıcaklığa getirilmesi işlemi gerçekleştirilir.
2. Malzemelerin Birleştirilmesi: Plazma alevi, yüksek sıcaklıkta ve hızlı bir şekilde malzemelerin yüzeyini ısıtarak eritmeden birleştirmek için kullanılır. Bu nedenle, malzemelerin birleştirilmesi esnasında erime noktalarına ulaşırlar ve birleşirler.

Kaynaklı parça ile tungsten elektrot arasında ark oluştuğu için TIG ile PAK benzer yapıdadır. Ancak bu işlemin bazı önemli farklılıkları vardır. TIG kaynak işleminden farklı olarak, plazma kaynak torcu tungsten elektrodu herhangi bir dışarı çıkma olmadan torcun gövdesi içinde tutar. Ancak bu işlemin bazı önemli farklılıkları vardır. TIG kaynak işleminden farklı olarak, plazma kaynak torcu tungsten elektrodu torcun gövdesi içinde tutar ve dışarı çıkmasını engeller. PAK ve TIG kaynağının her ikisi de iş parçasını ve dolgu malzemesini eritmek için bir elektrik arkı kullanan ark kaynağı teknikleridir. Her iki yöntemde de ark oluşturmak için tungsten elektrotlar kullanılır, ancak bu iki kaynak tekniği arasında bazı farklar vardır. PAK, TIG kaynağına göre daha odaklanmış ve yoğun bir ark kullanır. Bu, daha yüksek kaynak hızları ve daha derin nüfuziyet sağlar. Sonuç olarak, Plazma kaynağı daha kalın malzemeler de dahil olmak üzere daha geniş bir malzeme yelpazesini kaynaklamak için kullanılabilirken, TIG kaynağı tipik olarak daha ince malzemeler için kullanılır. PAW sürecinin şematik diyagramı (Z. M. Liu vd., 2016) Şekil 1.10'da sunulmaktadır.



Şekil 1-10:PAW sürecinin şematik diyagramı

1.1.4.1.Plazma ark kaynağı türleri

Akıma bağlı olarak, aşağıdaki gibi üç tip plazma ark kaynağı işlemi mevcuttur:

- Mikro plazma ark kaynağı
- Orta akım plazma kaynağı
- Anahtar deliği modlu plazma ark kaynağı.

Genellikle 2,4 mm kalınlığa kadar olan sacların kaynağında kullanılır. 2,5 mm'den fazla malzeme kalınlığı için, plazma şekillendirme akımının 400 Amp'den daha fazla çalıştığı anahtar deliği modu plazma ark kaynağı işlemi kullanılır (Lu vd., 2004; Wang ve Chen, 2002).

1.1.4.1.1. Mikro-plazma ark kaynağı

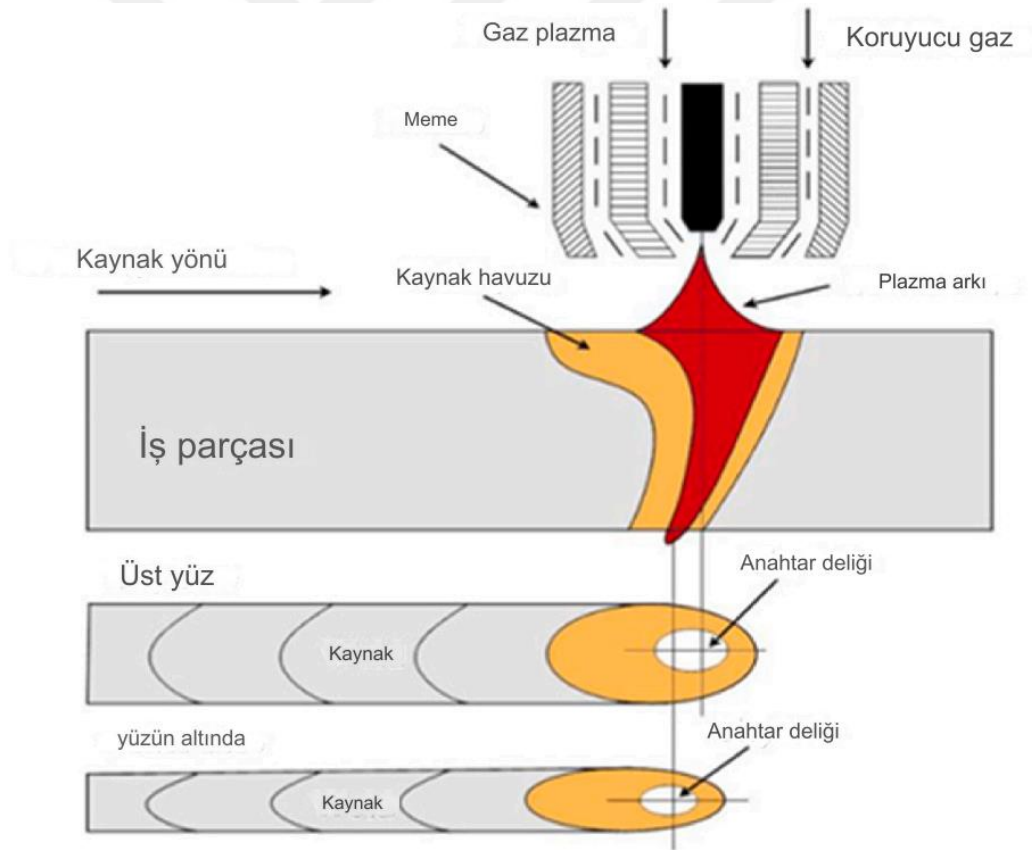
Çok düşük kaynak akımlarında (100 mA) dahi, kararlı ark sağlanabilmesine imkan tanımaktadır.

1.1.4.1.2. Orta akım plazma ark kaynağı

Daha yüksek akımlarda, yani 100A'e kadar, plazma arkı TIG arkına benzer, ancak biraz daha 'sert' ve ark uzunluğundaki değişime karşı daha toleranslıdır. Plazma gazı akış hızı, biraz daha derin nüfuz eden bir kaynak havuzu sağlamak için de artırılabilir, ancak yüksek akış hızlarında, gaz kalkanında aşırı türbülans ve kaynak havuzunun çalkalanması yoluyla kaynak havuzunda koruyucu gaz ve hava sürüklenmesi riski vardır.

1.1.4.1.3. Anahtar deliği plazma ark kaynağı

Kaynak sırasında, elektron ışını kaynağındakine benzer oluşan delik, metali aşamalı olarak keser ve erimiş metal yüzey gerilimi kuvvetleri altında kaynak boncuğunu oluşturmak için arkadan akar. Derinlemesine nüfuz eden plazma, 3-6 mm aralığındaki nispeten kalın bölümleri tek bir geçişte kaynaklayabilir. Şekil 1.11 mobil bir anahtar deliği PAW işlemini göstermektedir (Z. Liu vd., 2013).



Şekil 1-11: Mobil bir anahtar deliği PAW işlemi

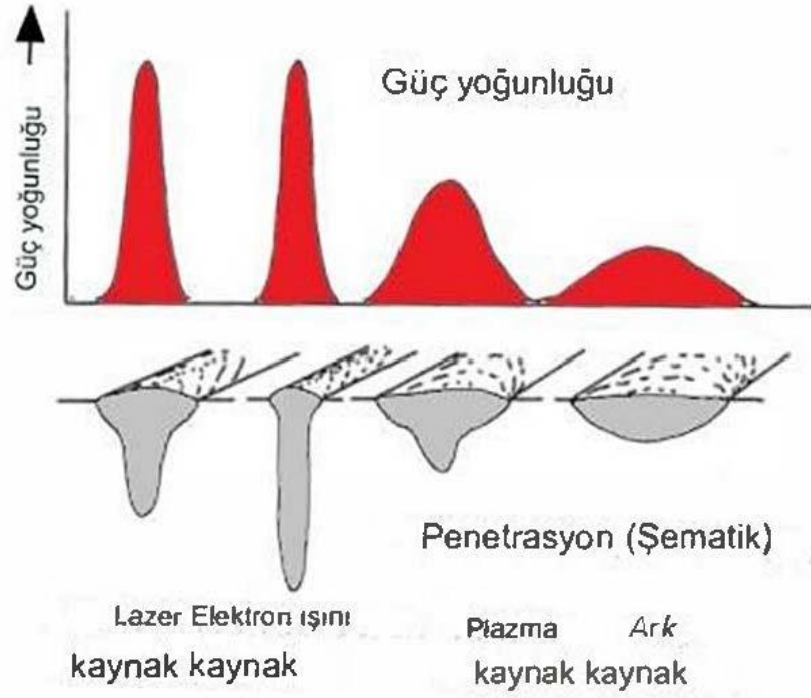
Plazma kaynağının bazı özellikleri ve avantajları şunlar olabilir:

1. Yüksek Sıcaklık: Plazma jeti, çok yüksek sıcaklıklara ulaşabilir, bu da hızlı ve etkili bir kaynak işlemi sağlar.
2. Hassasiyet: Plazma kaynağı, ince malzemelerin ve karmaşık geometrilerin kaynaklanmasında kullanılabilir.
3. Kontrollü Enerji: Plazma alevi, kaynak işlemi sırasında hassas bir şekilde kontrol edilebilir, bu da daha düşük ısı girişi gerektiren uygulamalar için uygundur.
4. Temiz Kaynak: Plazma kaynağı, az duman ve kirlilik üretir, bu da daha temiz bir kaynak işlemi sağlar.
5. Otomatik Kontrol: Plazma kaynağı, otomatik kaynak makineleri ile entegre edilebilir ve otomatik üretim hatlarında kullanılabilir.

Plazma kaynağı, özellikle hassas parçaların veya malzemelerin birleştirilmesi gereken uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Örnek uygulamalar arasında havacılık, uzay endüstrisi, tıp cihazları üretimi ve elektronik endüstrisi yer almaktadır.

1.1.5. Lazer Kaynağı

Lazer kaynağı, malzemelerin hassas ve kontrollü bir şekilde birleştirilmesini sağlar ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılır (Şekil 1.12 (Katayama, 2019)) .



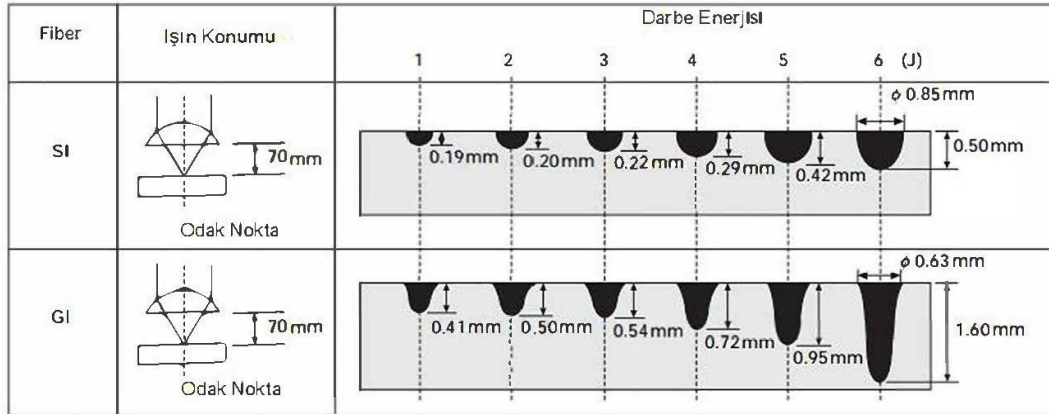
Şekil 1-12: Kaynak geometrisinin şematik gösterimi

Tüm kaynak işlemleri arasında lazer kaynağı, yaklaşık 0,01 mm kalınlığındaki çok ince levhalardan yaklaşık 100 mm kalınlığındaki kalın plakalara kadar çeşitli metal veya plastik bağlantıları üretebilir ve yüksek kalite, yüksek hassasiyet, yüksek performans, yüksek hız, iyi esneklik ve düşük bozulma ile umut verici bir birleştirme teknolojisi olarak büyük popülerlik kazanmıştır. (Lawrence ve Katayama, 2018).

Lazer kaynağı işlemi şu temel adımları içerir:

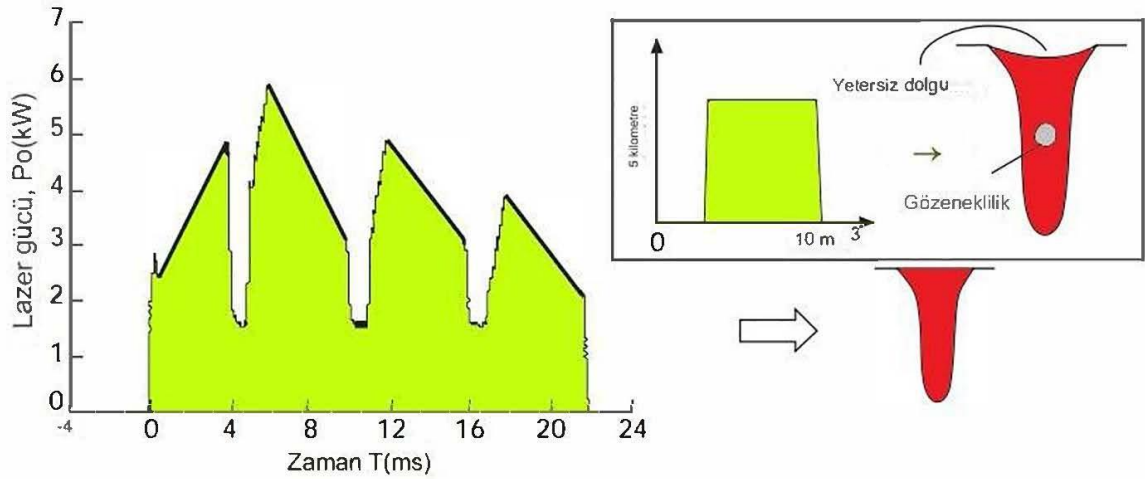
1. Lazer Işınının Oluşturulması: Bir lazer kaynağı sistemi, yüksek enerjili bir lazer ışını üretir. Bu ışın, kaynak işlemi sırasında kullanılacak olan lazer kaynak başlığına yönlendirilir.
2. Malzemelerin Birleştirilmesi veya Kesilmesi: Lazer ışını, kaynak işlemi için kullanılacak iki veya daha fazla malzeme üzerine odaklanır. Malzemeler lazer ışını tarafından ısınır ve erir veya buharlaşır. Erime veya buharlaşma sonucu, malzemeler birleştirilir veya kesilir.

Lazer kaynağı, farklı lazer türleri (örneğin fiber lazer, CO₂ lazer, Nd:YAG lazer) kullanılarak gerçekleştirilebilir ve uygulanacak malzemenin türüne ve kalınlığına bağlı olarak lazer kaynak parametreleri ayarlanabilir. Normalde 2,5 ila 7 kW sınıfındaki lazerler otomobil endüstrisinde, 5 ila 45 kW sınıfındaki lazerler ise çelik ve gemi inşa endüstrilerinde kullanılmaktadır. bileşenlerinin uzaktan kaynağı için ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Anahtar deliği tipinde derin nüfuziyetli kaynaklar üretilmiştir. Lazer gücü arttıkça penetrasyon derinliği de buna bağlı artmaktadır. Bu tür derin nüfuziyetli kaynaklarda porozite neredeyse her zaman mevcuttur. 5 kW ve daha yüksek güçlerde Ar veya N₂ koruyucu gazda, lazer enerjisinin plakaya ulaşmasını engelleyen Ar veya N plazması, sırasıyla koaksiyel gaz akış torcu veya eğik bir açıdan plazma kontrol nozulu tarafından atış yeri üzerinde lazer ışını eksenini boyunca her zaman veya aralıklı olarak üretilir. Lazer gücü ve malzemeye bağlı olarak gaz plazması oluşması eğiliminde olması nedeniyle, CO₂ lazer kaynağında, Ar koruyucu gaz durumunda lazer ışını ve Ar plazması arasında meydana gelen güçlü etkileşimi önlemek için genellikle 10 kW'tan daha yüksek He koruyucu veya He karışımli gaz kullanılmalıdır. Düşük güç veya düşük darbe enerjisi durumunda, Şekil 1.13'te gösterildiği gibi, GI fiber ile SI fiberden daha derin penetrasyon elde edilebilir, çünkü birincisi odaklanmış koşullar altında daha yüksek güç yoğunluğu sağlayabilir (Katayama, 2005).



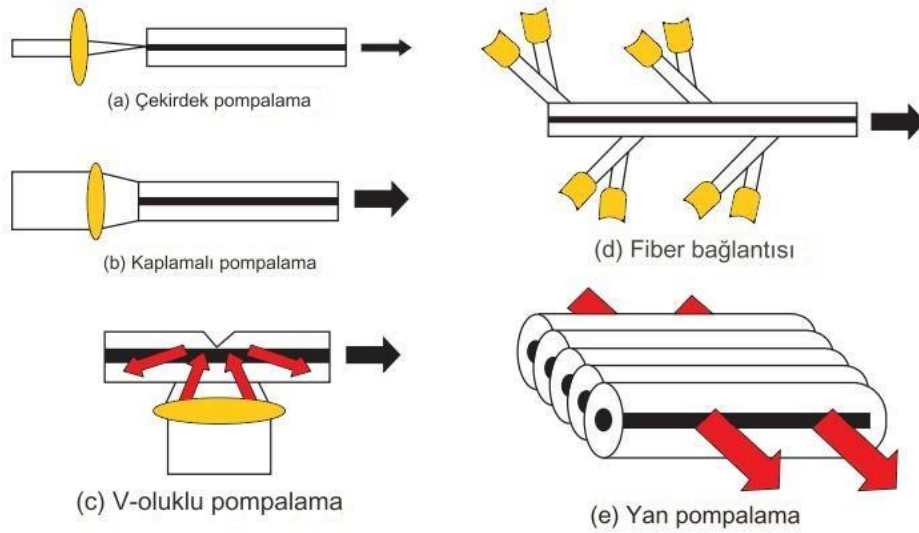
Şekil 1-13:GI ve SI fiberin nokta kaynak nüfuziyeti üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

Yüksek CW güçleri durumunda, porozitenin azaltılması (Şekil 1.14) için iki veya üç ışın kullanan bir sistem geliştirilmiştir.



Şekil 1-14: Porozite azaltılması

Fiber lazerler iyi ışın kalitesine sahiptir ve artık yüksek verimli, parlak ve yüksek güçlü lazerler olarak kabul edilmektedir. Fiber bağlantı ve pompalama sistemiyle kaynak için yüksek güçlü lazerler geliştirilmektedir (Şekil 1.15 (Katayama, 2005)). Fiber lazerin yanı sıra LD pompalı çubuk YAG lazer ile de derin kaynak boncukları üretilebilir.



Şekil 1-15: Fiber lazer sistemleri için çeşitli pompalama yöntemleri

6,9 kW'lık lazer, yüksek hızda derinlemesine nüfuz eden bir kaynak sağlayabilir. Ayrıca, fiber lazerleri yüksek kaliteli (slab) CO₂ lazerlerin yerine robotlarla birlikte uzaktan veya tarayıcı kaynağı için ısı kaynağı olarak kullanmak mümkündür. Fiber lazer cihazları 10 kW veya daha fazla güçte olanlar mevcuttur ve 100 kW güç seviyesindekiler planlanmaktadır.

1.1.5.1. Lazer Kaynağının Avantajları

1. Yüksek Hassasiyet: Lazer kaynağı, malzemeleri hassas bir şekilde birleştirmek veya kesmek için kullanılabilir. Bu nedenle karmaşık geometriler ve ince malzemeler üzerinde etkili bir şekilde çalışabilir.
2. Kontrollü Isı Girişi: Lazer kaynağı, işlem sırasında malzeme etrafındaki ısı girişini kontrol etmek için kullanılabilir. Bu, malzemelerin eritilmeden birleştirilmesini veya kesilmesini sağlar.
3. Temiz İşlem: Lazer kaynağı, genellikle temiz bir işlem olarak kabul edilir çünkü duman, çöp veya fazla malzeme üretmez.
4. Otomatik Kontrol: Lazer kaynağı, otomatik üretim hatlarında kullanılabilecek şekilde entegre edilebilir. Bu, seri üretim uygulamaları için uygundur.

1.1.5.2. Lazer Kaynağının Dezavantajları

1. Maliyet: Lazer sistemleri genellikle diğer alternatiflere göre daha pahalı olabilir. Hem cihazın kendisi hem de bakımı maliyetli olabilir.
2. Güvenlik: Lazer ışınları gözler için zararlı olabilir. Yanlış kullanım veya güvenlik önlemlerinin ihmal edilmesi durumunda ciddi göz yaralanmalarına neden olabilir.
3. Güç Tüketimi: Lazer sistemleri genellikle yüksek güç tüketir. Bu, enerji maliyetlerini artırabilir ve çevresel etkileri olabilir.
4. Çalışma Ortamına Duyarlılık: Bazı lazer sistemleri nem, toz veya diğer çevresel faktörlere duyarlı olabilir. Bu da sistemlerin stabilitesini ve performansını etkileyebilir.
5. Yansıma ve Saçılma: Lazer ışınları yüzeylerden yansıyabilir veya saçılabilir. Bu durum, istenmeyen etkiler yaratabilir ve güvenlik riski oluşturabilir.

6. Soğutma Gereksinimi: Yüksek güçlü lazer sistemleri genellikle soğutma sistemlerine ihtiyaç duyar. Bu da ek bir maliyet ve bakım gereksinimi demektir.

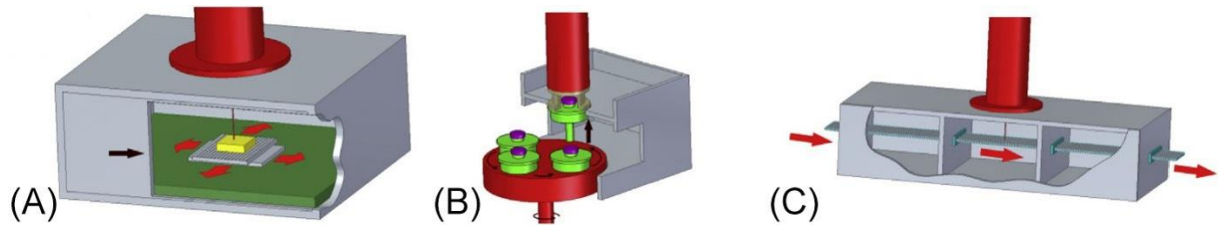
7. Boyut ve Ağırlık: Bazı lazer cihazları büyük ve ağır olabilir, bu da taşınabilirliklerini azaltabilir.

Lazer kaynağının kullanıldığı bazı endüstriyel uygulamalar arasında aşağıdakiler bulunabilir:

- Otomotiv endüstrisinde metal parçaların birleştirilmesi.
- Elektronik endüstrisinde lehimleme ve bağlantı işlemleri.
- Tıp cihazları üretimi.
- Mücevher ve saat yapımı.

1.1.6. Elektron Işını Kaynağı

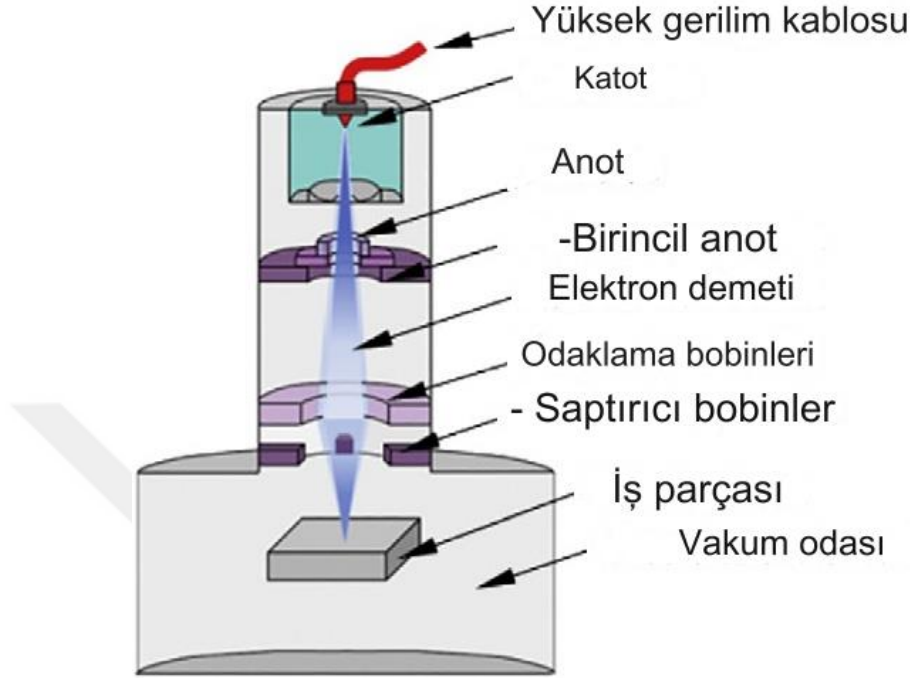
Çalışma odası tasarımına bağlı olarak elektron ışını kaynak makinelerinin tipleri Şekil 1.16'da gösterilmiştir.



Şekil 1-16:Çalışma odası tasarımına bağlı olarak elektron ışını kaynak makinesi türleri (A) hazneli universal kaynak makinesi, (B) çevrim makinesi, (C) sürekli çalışan kaynak makinesi (kilit).

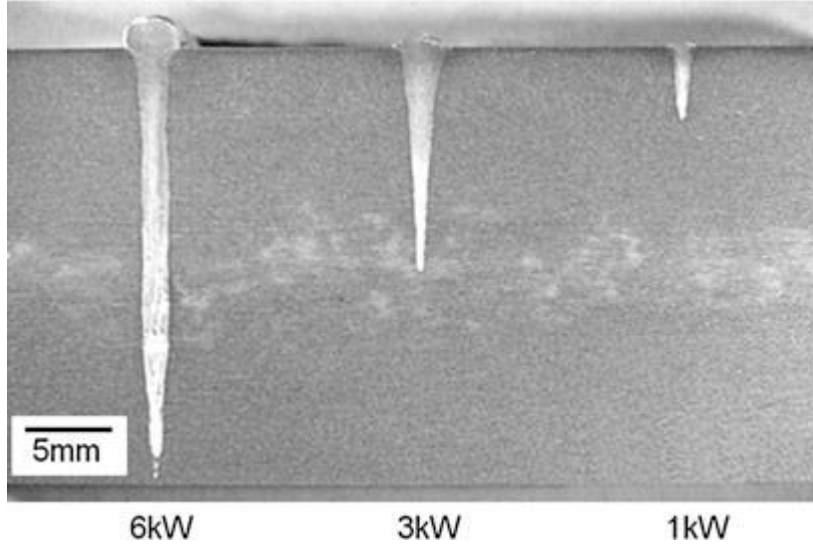
Yeni ekipmanlar elektronların çoğunun hızlandırıldığı ve dik potansiyel gradyan bölgesini terk ettikten sonra iş parçasına doğru sabit hızda hareket ettikleri entegre halka şeklinde bir anot içermektedir. Anodun iş parçasından ayrı olmasının iki önemli nedeni vardır: 1) filament ömrü, sadece filamentin birincil kontaminasyon kaynağı olan iş parçasından geometrik olarak uzak olması nedeniyle değil, aynı zamanda iş parçasının filamentte doğru bombardımanı ile üretilen pozitif iyonları hızlandıracak elektrostatik alan olmadığı için de iyileştirilir; ve 2) Elektron ışını, en kısa yolu aramadan iş parçasındaki girintiler veya

yeniden girintili açılar içinde yönlendirilebildiği için operasyonel kontrol geliştirilmiştir. Şekil 1.17 elektron ışın kaynağı prosesini göstermektedir (Węglowski vd., 2016).

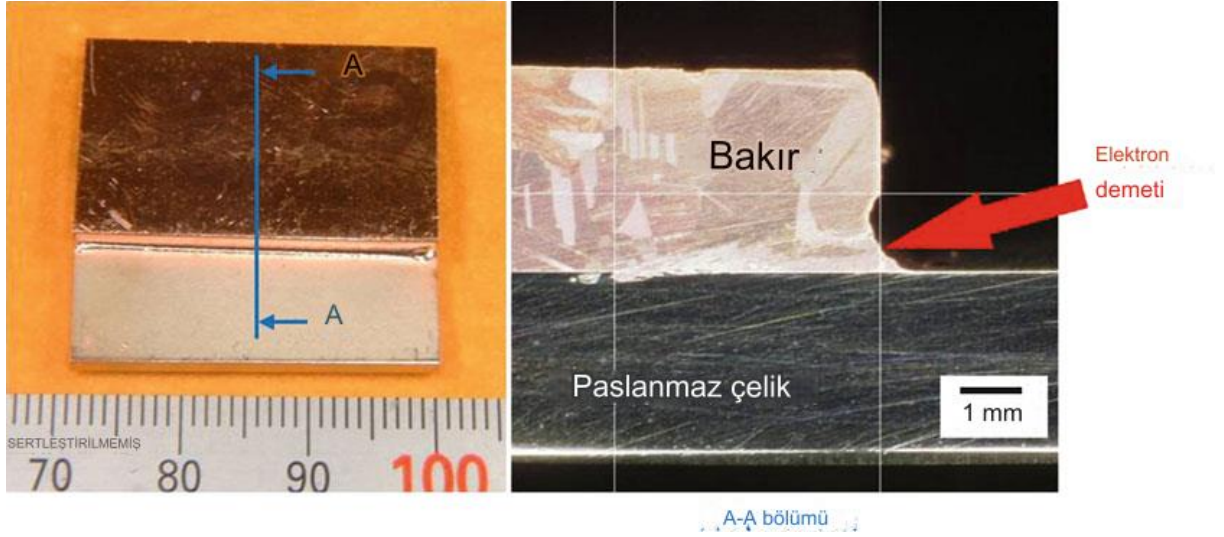


Şekil 1-17:Elektron ışın kaynağı prosesinin şematik olarak gösterilmesi

Kullanılan odaklama türüne göre de bir seçim yapılmalıdır. Bugüne kadar, birleştirilecek elemanların basit bir şekilde birleştirilmesi kural olmuş ve varsa dolgu maddesi ilk olarak amaçlanan dikiş boyunca yerleştirilmiştir. Diğer uçta, nispeten düşük potansiyeller (5000 ila 10000 v), odaklanmanın nispeten önemsiz olduğu arıtma işlemleri için oldukça başarılı bir şekilde kullanılabilir. 0,3 inçten daha az stok kalınlıklarında 0,050 ila 0,150 inç füzyon bölgesi genişliklerinin tolere edilebildiği birçok uygulamada, 15000 v kadar düşük potansiyeller uygulama alanı bulacaktır. Kaynak kordonları ışın gücüyle birlikte derinleşir ve kordon genişliği sadece 2 mm iken 6 kW'da yaklaşık 23 mm'dir. Alüminyumun elektron ışını kaynağında kaynak boncukları Şekil 1.18'de sunulmuştur [Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53120-4_6480].



Şekil 1-18:Alüminyumun elektron ışını kaynağında kaynak boncukları.



Şekil 1-19:Bakır ve paslanmaz çelik plakaların kaynağı.

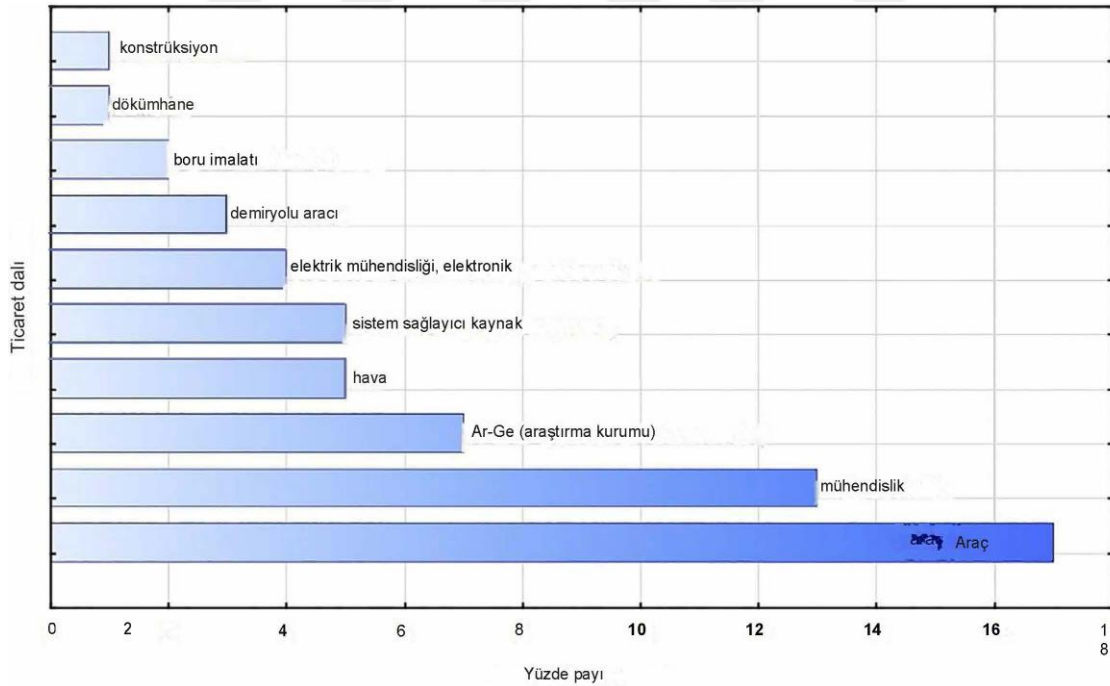
Şekil 1.19, farklı metal türlerinin elektron ışını kaynağına bir örnektir [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53120-4_6480].

Elektron ışını kaynağının bazı avantajları şunlar olabilir:

1. Yüksek Hassasiyet: Elektron ışını kaynağı, malzemeleri çok hassas bir şekilde birleştirmek veya kesmek için kullanılabilir. Bu nedenle karmaşık geometriler ve ince malzemeler üzerinde etkili bir şekilde çalışabilir.

2. Kontrollü Isı Girişi: Elektron ışını kaynağı, işlem sırasında malzeme etrafındaki ısı girişini kontrol etmek için kullanılabilir. Bu, malzemelerin eritilmeden birleştirilmesini sağlar.
3. Temiz İşlem: Elektron ışını kaynağı, genellikle temiz bir işlem olarak kabul edilir çünkü duman, çöp veya fazla malzeme üretmez.
4. Elektriksel Olarak İyonlaştırılmış Ortam: Elektron ışını kaynağı işlemi sırasında bir vakum veya azot gibi elektriksel olarak iyonlaştırılmış bir ortam kullanılır. Bu, oksidasyonu önler ve temiz bir kaynak sonucu sağlar.

Elektron ışını kaynağı, yarıiletken endüstrisi, elektronik ürünlerin üretimi, hassas cihaz üretimi ve uzay endüstrisi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Ayrıca, malzeme analizi ve mikro işleme işlemlerinde de kullanılabilir. Şekil 25 elektron ışını kaynağının kullanım alanlarını göstermektedir.



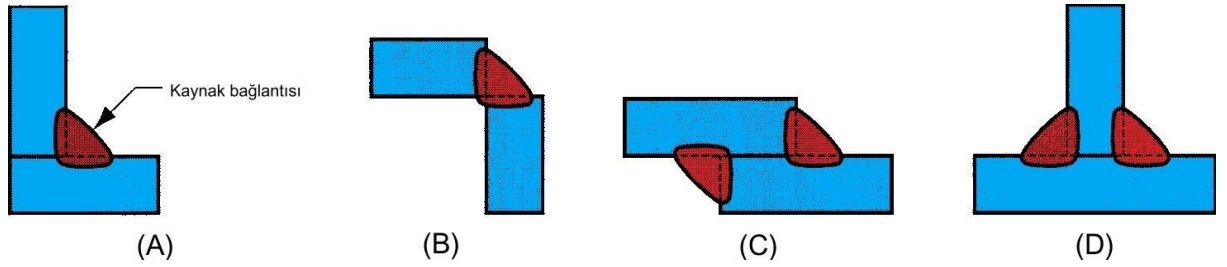
Şekil 1-20:Elektron ışını kaynağı kullanım yerleri

- otomotiv; dişli şanzıman, motor gövdeleri, dedektörler, radyatörler, krank milleri, piston çubukları, valf kafaları, filtreler, katalizörler, turbo kompresörler, tekerlek jantları, hava yastıkları ve diğerlerinin kaynak elemanları;

- havacılık; uydularda ve roketlerde kullanılan propilen için titanyum tankların, alüminyum kapların, itme jetlerinin, yakıt enjeksiyonlarının, titanyumdan yapılmış gövde elemanlarının, kolçakların, statorların, türbin kanatlarının ve muhafazalarının, eksenel akışlı kompresörlerin tambur rotorlarındaki disklerin, roketlerdeki delikli diplerin kaynağı;
- güç mühendisliği ve elektrik güç mühendisliği; türbin elemanlarının, kanatların, yüksek akımlı esnek konektörlerin, nükleer atık konteynerlerinin kaynağı;
- makine mühendisliği; deniz motorlarında taşıma kancası elemanlarının kaynağı, kullanılmış mühimmatı imha etmek için fırınlar, tekerlekler ve dişli şanzımanları, hidrolik silindirler, sıcaklık ve deformasyon sensörleri, alüminyum alaşımlarından yapılmış mikroskop çerçeveleri, komütatörler, şerit testere makineleri, delme aletleri, sürekli çelik döküm için katalizörler, yüksek basınç valfleri;
- tıbbi; yapay uzuvlarda dişli dişli elemanlarının kaynağı, endoprotez elemanlarının hızlı prototiplenmesi, implant yüzey işleme;
- demiryolu; taşıma elemanlarının kaynağı, örneğin alüminyum alaşımlardan yapılmış çapraz kirişler, çekme kancaları, yatak manşonları, nokta elemanları, universal kaplinler.

2. ÖZLÜ KAYNAK TELLERİ

Özlü kaynak teli, başta özlü ark kaynağı (FCAW) olmak üzere çeşitli kaynak işlemlerinde kullanılan bir kaynak sarf malzemesi türüdür. Bir özlü malzeme çekirdeği barındıran metal bir kılıftan oluşur. Akı, kaynak işlemi sırasında birden fazla amaca hizmet eder. Telin çekirdeği çeşitli eritken maddeler, mineraller ve bileşikler içerir. Özün bileşimi, kaynak uygulamasının özel gereksinimlerine bağlıdır. Akıda bulunan yaygın elementler arasında rutil, kalsiyum florür ve çeşitli metal tozları bulunur. Bazı durumlarda, özlü teller kendinden korumalı olacak şekilde tasarlanmıştır, yani kaynak işlemi sırasında kaynak havuzunun etrafında koruyucu bir atmosfer oluşturan gazları serbest bırakırlar. Bu, harici koruyucu gaz ihtiyacını ortadan kaldırarak işlemi daha çok yönlü ve açık hava veya rüzgârlı koşullar için uygun hale getirir. Özlü teller genellikle kaynak metalindeki yabancı maddelerin giderilmesine yardımcı olarak daha temiz ve daha güçlü bir kaynak elde edilmesini sağlayan deoksidasyon maddeleri içerir. Özlü kaynak, kalın malzemelerin kaynağı için uygun hale getiren derin nüfuziyet özellikleriyle bilinir. Akı, arkın stabilitesini korumaya yardımcı olarak iyi bir nüfuziyet ve kaynak kalitesi sağlar. Özlü kaynak telleri çok yönlüdür ve çeşitli kaynak pozisyonlarında kullanılabilir, bu da onları inşaat, gemi yapımı ve boru hattı kaynağı gibi uygulamalar için uygun hale getirir. Şekil 2.1 çeşitli kaynak pozisyonlarında yapılan kaynakları göstermektedir [Groover, Mikell P.. Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials,Processes, and System. 4rd. New Jersey: John Wiley, 2010. Books.].



Şekil 2-1: Çeşitli kaynak pozisyonları.

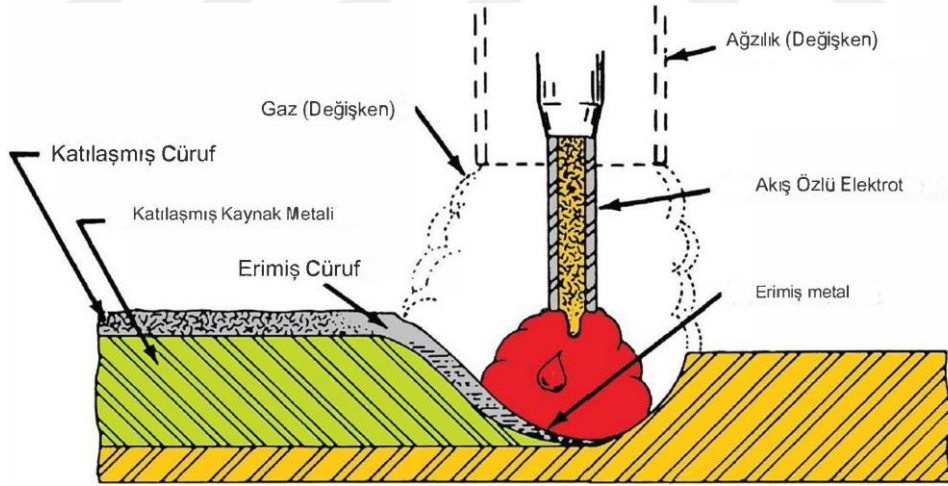
Özlü kaynak genellikle diğer bazı kaynak işlemlerinden daha bağışlayıcı olarak kabul edilir, bu da daha az deneyimli kaynakçıların kaliteli kaynaklar üretmesini kolaylaştırır. İki ana tip özlü kaynak teli vardır: [Groover, Mikell P.. Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials,Processes, and System. 4rd. New Jersey: John Wiley, 2010. Books.]

Gaz Korumalı Özlü Teller: Bu teller, kaynak havuzunu atmosferik kirlenmeden korumak için harici bir koruyucu gaz gerektirir [<https://www.lincolnelectric.com/en-za/support/welding->

[solutions/Pages/shielded-flux-cored-electrodes.aspx](https://www.solutions/Pages/shielded-flux-cored-electrodes.aspx)]. Kendinden Korumalı Özlü Teller: Kaynak ısısının sürekli bir özlü tel ile iş parçası arasındaki bir arkta oluşturulduğu bir Ark kaynağı işlemidir. Bu teller kaynak işlemi sırasında kendi koruyucu gazlarını üreterek harici bir gaz kaynağına olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Genellikle rüzgar veya diğer çevresel faktörlerin koruyucu gaz akışını bozabileceği dış mekan kaynak uygulamalarında kullanılırlar.

2.1. Özlü Ark Kaynağı

Ark, özlü ark kaynağında (FCAW), kaynak banyosu ile dolgu metali elektrodu arasında tutulmaktadır. Koruyucuya sahip, boru şeklindeki elektrot içinde bulunan bir eritkenden elde edilir ve bu durumda kendinden korumalı FCAW olarak adlandırılır. Akı özlü elektrot, metal bir kılıf ve çeşitli toz malzemelerden oluşan bir çekirdeğe sahip kompozit boru şeklinde bir dolgu metal elektrottur. Şekil 2.2’de özlü ark kaynağı şematik olarak gösterilmiştir [Antonini, J. M. (n.d.)]. FCAW prosesi, sürekli beslemeli tel kaynağının üretkenliği ile kaynak dikişinin şekillendirilmesi ve kirlenmeye karşı korunması ve kaynak metalinin kontrollü soğutulmasının sağlanmasında eritken kullanımı ve cüruf desteğinden elde edilen metalürjik faydaları bir araya getirir.



Şekil 2-2:Özlü ark kaynağının şematik olarak gösterilmesi

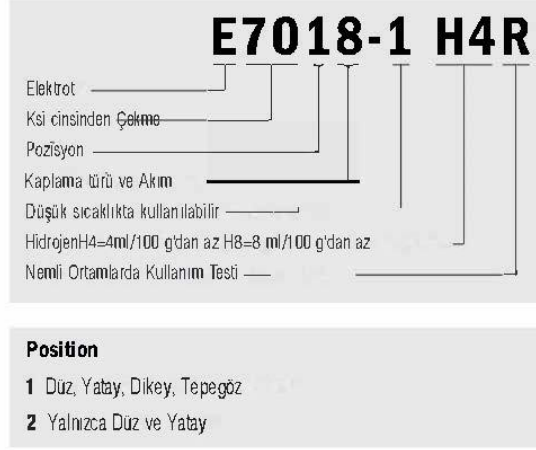
2.2. Gazaltı Kaynak Tellerinin Sınıflandırılması

Gaz altı kaynak telleri (MIG veya GMAW kaynak telleri olarak da bilinir), metal ince yapıştırma ve birleştirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan bir tür kaynak teli sistemidir. Gaz altı kaynak, koruyucu bir gaz akışı altında gerçekleştirilen bir kaynak sürecidir. Bu gaz, eriyen metal havadan ve diğer kirleticilerden korunmasına yardımcı olur ve kaliteli

kaynaklar elde edilmesine yardımcı olur. Amerikan Kaynak Derneği, gazaltı kaynak tellerini sınıflandırmaktadır. Bu standartlara göre, gazaltı kaynak telleri, bir dizi numara ve harf kombinasyonu ile tanımlanır. İşte bu sınıflandırmaların temel bir açıklaması:

1. **AWS Sınıf Sembolü (örneğin, ER):** Bu harf kombinasyonu, kaynak teli malzemesini belirtir. Örneğin, ER belirli bir çelik türünü gösterirken, ER4043 alüminyum kaynak telini temsil edebilir.
2. **Sayılar (örneğin, 70S-6 veya 5356):** Bu sayılar, kaynak telinin özel özelliklerini ve kullanım amacını gösterir. Örneğin, ER70S-6, karbon çeliklerin kaynağı için kullanılan bir gazaltı kaynak teli sınıfını temsil ederken, ER5356 alüminyum alaşımlarının kaynağı için kullanılan bir sınıfı gösterebilir.
3. **Düşük veya Yüksek Alaşımlı (L veya H):** Bazı gazaltı kaynak telleri, düşük veya yüksek alaşımlı sınıf tel olarak belirtilir. Örneğin, ER308L, paslanmaz çeliklerin düşük karbonlu bir versiyonunu belirtirken, ER308H yüksek karbonlu bir versiyonunu temsil edebilir.
4. **Çap (örneğin, 0.035 inç veya 1.0 mm):** Kaynak teli çapı genellikle inç veya milimetre cinsinden belirtilir ve belirli bir uygulamada kullanım için önemlidir.

Gaz altı kaynak telleri, farklı türlerde ve bileşimlerde gelir ve kullanım amaçlarına göre çeşitlilik gösterirler. Gaz altı kaynak tellerinin sınıflandırılmasında kullanılan simgelerinin anlamı Şekil 2.3'te gösterilmiştir [<https://www.hobartbrothers.com/resources/technical-articles/electrode-classification/>].



Şekil 2-3:Gaz altı kaynak tellerinin sınıflandırılmasında kullanılan simgeler.

Bazı yaygın gaz altı kaynak teli türleri ve aralarındaki farklar, avantajlar ve dezavantajlar:

1. ER70S-6: Genel amaçlı bir çelik kaynak teli olan ER70S-6, karbon çeliklerin kaynağı için yaygın olarak kullanılır. Çok yönlüdür ve genellikle ince ve orta kalınlı çeliklerde kullanılır. İyi bir erime hızına ve yüzey temizliğine sahiptir.
2. ER308L: Paslanmaz çeliklerin kaynağı için kullanılan bir türdür. Paslanmaz çeliklerin düşük karbonlu versiyonlarında kullanılır ve korozyon ortamlarda kaynak yapmak için uygundur.
3. ER4043: Alüminyumun kaynağı için kullanılır. Alüminyum alaşımlarıyla çalışırken yaygın olarak tercih edilir. İyi bir ısıl işleme ve kaynak yapma özelliğine sahiptir.
4. ER5356: Alüminyum alaşımlarının daha yüksek mukavemetli versiyonları için kullanılır. İyi bir kaynak performansına ve estetik sonuçlara sahiptir.

Avantajlar:

- Hızlı kaynak yapma yeteneği: Gaz altı kaynak telleri hızlı bir şekilde kaynak işlemini gerçekleştirmenizi sağlar.
- Düşük dökülme: İyi bir kaynak telinin kullanılması, dökülme oranını azaltabilir.

- Otomatik kaynak işlemleri için uygundur.

Dezavantajlar:

- Ekipmanın maliyeti: Gaz altı kaynak için kullanılan ekipmanlar, diğer kaynak türlerine göre daha pahalı olabilir.
- Eğitim gereksinimi: Bu kaynak türünün etkili bir şekilde kullanılabilmesi için operatörlerin eğitim alması gerekebilir.

2.3. Gaz Altı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tellerinin Özellikleri

Gaz altı kaynağında kullanılan kaynak tellerinin özellikleri, kaynak işleminin türüne, malzeme türüne ve uygulama gereksinimlerine bağlı olarak değişebilir. Ancak genel olarak gaz altı kaynak tellerinin özellikleri şunları içerebilir:

1. **Malzeme Türü:** Gaz altı kaynak telleri, farklı malzemeleri birleştirmek için tasarlanmıştır. Örneğin, karbon çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum alaşımları veya başka özel alaşımlar için farklı kaynak telleri bulunur. Doğru malzeme türünün seçimi, kaynak işleminin başarılı olması için kritiktir.
2. **Tel Çapı:** Gaz altı kaynak telleri, çeşitli tel çaplarına sahiptir. Kaynak yapılacak malzemenin kalınlığına ve uygulama gereksinimlerine bağlı olarak doğru tel çapının seçilmesi önemlidir.
3. **Kimyasal Kompozisyon:** Her kaynak teli farklı bir kimyasal kompozisyona sahiptir. Bu kompozisyon, kaynak işleminin özelliklerini etkiler. Özellikle, telin alaşım içeriği, kaynak yapılacak malzemenin kimyasal bileşimine uygun olmalıdır.
4. **Akış Hızı:** Gaz altı kaynak telleri, belirli bir akış hızına sahiptir.
5. **Depozisyon Hızı:** Kaynak tellerinin depozisyon hızı, kaynak işleminin hızı ve eritme hızını belirler. İyi bir depozisyon hızı, hızlı ve verimli bir kaynak işlemi sağlayabilir.
6. **Koruyucu Gaz Türü:** Gaz altı kaynak, bir koruyucu gazın kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Farklı uygulamalar için farklı koruyucu gazlar kullanılır ve bu gazlar kaynak telinin özelliklerini etkileyebilir.
7. **Kaynak Telinin Sınıfı:** AWS (American Welding Society) sınıflandırması, kaynak tellerini tanımlamak için kullanılır. Kaynak telinin sınıfı, malzeme türünü, erime hızını ve diğer özellikleri belirtir.

Gaz altı kaynak tellerinin doğru seçimi, kaliteli ve güvenilir kaynaklar elde etmek için kritiktir. Kaynak işlemi için doğru kaynak teli seçmek, malzeme uyumluluğu, kaynak performansı ve son ürün kalitesi açısından büyük önem taşır.

2.4. Gazaltı Kaynak Tellerinin Kimyasal İçerikleri

Gazaltı kaynak tellerinin kimyasal içerikleri, kaynak işleminde kullanılan malzemenin türüne, kaynak telinin sınıfına ve üreticiye göre değişebilir. Ancak genel olarak, gazaltı kaynak telleri genellikle karbon çelikleri, paslanmaz çelikleri, alüminyum alaşımları veya diğer özel alaşımları kaynağı için tasarlanmıştır. İşte bu farklı malzeme türlerine özgü olarak gazaltı kaynak tellerinin kimyasal içeriklerinin genel özellikleri:

1. Karbon Çelik Gazaltı Kaynak Telleri:

- Karbon (C): %0.06 ila %1.00 arasında değişebilir.
- Manganez (Mn): %0.85 ila %2.15 arasında değişebilir.
- Silikon (Si): %0.30 ila %0.90 arasında değişebilir.
- Kükürt (S): Genellikle %0.03'ten azdır.
- Fosfor (P): Genellikle %0.03'ten azdır.

2. Paslanmaz Çelik Gazaltı Kaynak Telleri:

- Nikel (Ni): %8 ila %10 arasında değişebilir.
- Krom (Cr): %18 ila %20 arasında değişebilir.
- Molibden (Mo): Genellikle %2 ila %3 arasındadır.

3. Alüminyum Gazaltı Kaynak Telleri:

- Alüminyum (Al): Genellikle %98.5 ila %99.7 arasında değişebilir.
- Magnezyum (Mg): Genellikle %0.3 ila %1.0 arasında değişebilir.
- Manganez (Mn): Genellikle %0.05 ila %0.5 arasında değişebilir.

Gazaltı kaynak tellerinin kimyasal bileşimi, kaynak işleminin gereksinimlerini ve kullanılacak malzemenin türünü karşılamak üzere tasarlanır. Bu bileşimler, kaynak tellerinin erime özellikleri, kaynak mukavemeti ve diğer performans özelliklerini etkiler. Kaynak işlemi sırasında malzemenin kimyasal bileşimi ile kaynak telinin bileşimi uyumlu olmalıdır,

aksi takdirde kaynak sonucu istenmeyen sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle, doğru kaynak teli seçimini yaparken malzeme uyumluluğunu göz önünde bulundurmak önemlidir.

2.5. Gazaltı Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri

Gazaltı kaynak tellerinin mekanik özellikleri, kaynak işleminin türüne, kaynak telinin sınıfına ve kullanılan malzemenin türüne göre değişebilir. Ancak genel olarak gazaltı kaynak tellerinin mekanik özellikleri şunları içerebilir:

1. **Çekme Mukavemeti (Tensile Strength):** Çekme mukavemeti, kaynak teline uygulanan gerilme kuvvetine karşı direnme kapasitesini ölçer. Bu özellik, kaynak telinin dayanıklılığını ve ne kadar yük taşıyabileceğini gösterir. Çekme mukavemeti birim olarak PSI (pound per square inch) veya MPa (megapascal) ile ölçülür.
2. **Akma Dayanımı (Yield Strength):** Akma dayanımı, malzeme belirli bir yük altında plastik deformasyon başladığında kaynak teline uygulanan gerilme kuvvetini ölçer. Bu değer, kaynak teli malzemesinin elastik sınırlarını gösterir ve çekme mukavemetinden daha düşüktür. Yine birim olarak PSI veya MPa ile ifade edilir.
3. **Uzama (Elongation):** Uzama, bir malzemenin çekme işlemi sırasında ne kadar uzayabileceğini gösterir. Genellikle yüzde olarak ifade edilir ve kaynak sonrası deformasyonunun bir göstergesi olarak kabul edilir.
4. **Çarpma Dayanımı (Impact Toughness):** Çarpma dayanımı, kaynak teline darbe veya çarpma yükleri altında ne kadar dayanıklı olduğunu ölçer. Bu özellik, malzemenin düşük sıcaklıklarda dahi dayanıklılığını göstermek için önemlidir.
5. **Kırılma Yüzeyi: (Fracture Surface):** Kırılma yüzeyi, kaynak teli kırıldığında veya yorulma sonucu oluşan kırık yüzeyin görüntüsünü ve özelliklerini tanımlar. Bu, kaynak teli malzemesinin kırılma şeklini ve nedenini incelemek için kullanılır.
6. **Kaynak Telinin Sınıfı ve Standartlar:** Her gazaltı kaynak telinin belirli bir sınıfı ve standartları vardır. Bu sınıflandırmalar ve standartlar, kaynak telinin mekanik özelliklerini ve diğer teknik özelliklerini belirler. Örneğin, AWS (American Welding

Society) standartlarına göre belirli kaynak teli sınıfları ve bunların mekanik özellikleri belirlenir.

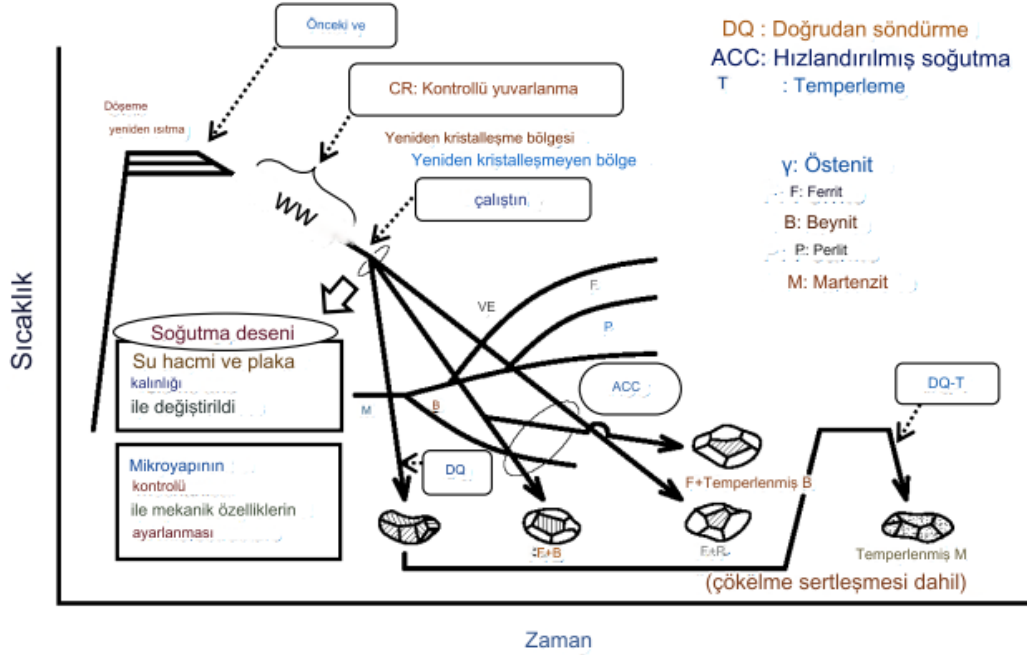


3. STRENX YÜKSEK MUKAVEMETLİ YAPI ÇELİKLERİ

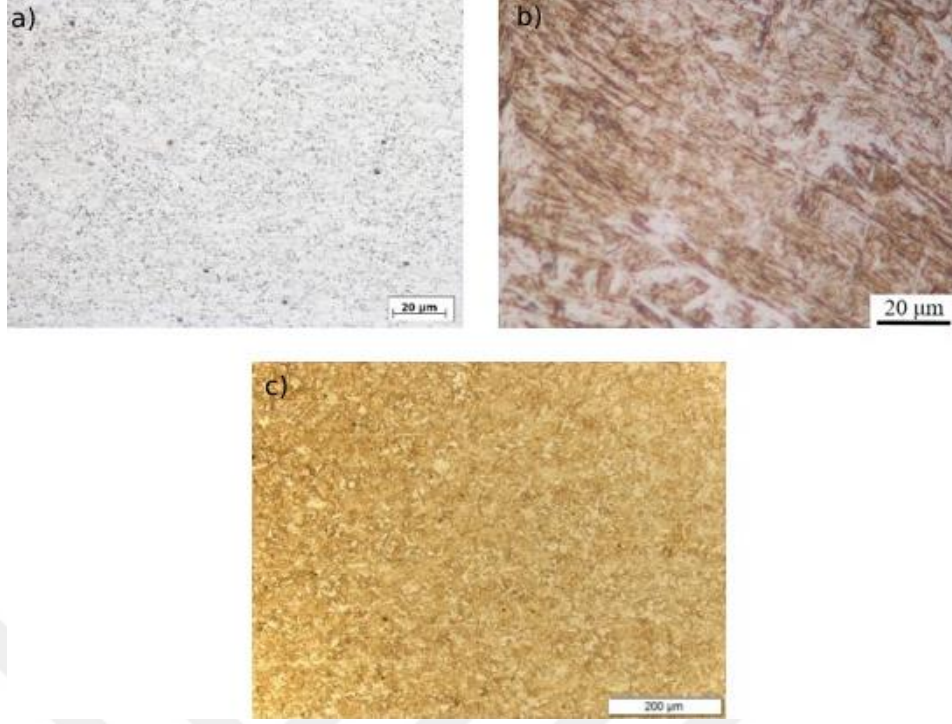
"Strenx" in İsveçli SSAB şirketi tarafından üretilen yüksek mukavemetli yapısal çeliğin marka adıdır. Strenx çeliği mükemmel mukavemeti, tokluğu ve kaynaklanabilirliği ile bilinir.

Bu yüksek dayanıklı yapı çeliği 1.5 ila 16 mm genel kalınlık toleransı aralığında üretilmesi ve ayrıca soğuk şekillendirme özelliğinin olağanüstü niteliklere sahip olması nedeniyle soğuk şekillendirilebilir yapı çeliği olarak da adlandırabiliriz.

Yeni nesil çelik kalitesi Strenx steel olarak üretilmiş ve çeliğin özellikleri su verilmiş ve temperlenmiş çelikler seviyesinde olmasına rağmen üretici tarafından termomekanik olarak haddelenmiş bir çelik olarak sınıflandırılmıştır. Genel olarak yeni yüksek mukavemetli, mikro alaşımlı ve ince taneli çelikler, Şekil 3.1'deki karmaşık Termo-Mekanik Kontrol İşleme (TMCP) teknolojisi ile üretilmektedir [Nishioka K 2000 Thermomechanical Proc.]. Bu çeliklere ait mikro yapı resimleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3-1: Mikroalaşımlı çeliklerin termomekanik haddelenmesinin şematik gösterimi



Şekil 3-2:Strenx yapı çeliğinin mikroyapısı (a)Strenx 700, (b) Strenx 960, (c) Strenx 1100.

Strenx, yüksek dayanıklı yapı çelikleri ürün ailesinin bir parçasıdır ve genellikle aşağıdaki özelliklere sahip yüksek mukavemetli çeliklerin ticari adı olarak kullanılır:

1. Yüksek Mukavemet: Strenx çelikler, diğer standart yapı çeliklerine göre daha yüksek mukavemet seviyelerine sahiptir. Bu, inşaat veya makine mühendisliği gibi uygulamalarda daha az malzeme kullanımıyla aynı dayanıklılığı elde etmenizi sağlar.
2. Düşük Ağırlık: Strenx çeliklerinin düşük özgül ağırlığı sayesinde, aynı mukavemeti sağlamak için daha hafif konstrüksiyonlar yapabilirsiniz. Bu özellik özellikle taşıma araçları ve yapılar için önemlidir.
3. Yüksek Darbe Dayanımı: Strenx çelikleri, yüksek darbe dayanımı ile karakterizedir. Bu, çarpma veya titreşim gibi yüksek enerjili etkilere karşı dayanıklı oldukları anlamına gelir.
4. İyi Kaynaklanabilirlik: Strenx çelikleri, kaynak işlemi sırasında iyi performans gösterirler ve kaynak sonrası mukavemet kaybı minimaldir.

5. Yüksek Sertlik: Strenx çelikleri genellikle yüksek sertlik seviyelerine sahiptir, bu da aşınma ve deformasyona karşı dayanıklılıklarını artırır.

Bu özellikler, Strenx çeliklerinin birçok endüstri ve uygulamada tercih edilen bir malzeme haline gelmesini sağlar. Özellikle inşaat, taşıma, madencilik, tarım makineleri, enerji sektörü ve daha birçok sektörde kullanılırlar.

3.1. Strenx Çeliğin Avantajları

Strenx çeliklerinin birçok avantajı vardır ve bu avantajlar çeşitli endüstrilerde kullanılmalarını ve tercih edilmelerini sağlar. Strenx yüksek mukavemetli yapı çeliğinin avantajları aşağıda sıralanmıştır:

1. Yüksek Mukavemet: Strenx çelikleri, standart yapı çeliklerine göre daha yüksek mukavemete sahiptir. Bu, aynı dayanıklılığı sağlamak için daha az malzeme kullanma olanağı sunar veya aynı miktar malzeme ile daha fazla yük taşıma kapasitesi sağlar.
2. Düşük Ağırlık: Strenx çeliklerinin düşük özgül ağırlığı sayesinde, hafif ve dayanıklı konstrüksiyonlar oluşturabilirsiniz. Bu özellik, taşıma araçları ve yapılar için önemlidir, çünkü ağırlık azaltımı yakıt verimliliğini artırabilir.
3. İyi Soğuk Şekillendirilebilirlik: Strenx çelikleri, soğuk şekillendirme işlemlerinde kolayca şekil alır. Bu, karmaşık veya özel şekillerdeki parçaların üretimini kolaylaştırır.
4. Kaynaklanabilirlik: Strenx çelikleri, kaynak işlemleri sırasında iyi performans gösterirler ve kaynak sonrası mukavemet kaybı minimum düzeydedir.
5. Yüksek Darbe Dayanımı: Strenx çelikleri, yüksek darbe dayanımına sahiptir, bu da çarpma veya titreşim etkilerine karşı dayanıklılıklarını artırır.
6. Uzun Ömür: Strenx çelikleri, uzun ömürlüdür ve yıllarca dayanıklılık sağlayabilir.

7. Geniş Ürün Yelpazesi: Strenx ailesi, farklı uygulama gereksinimlerine uygun bir dizi çelik çeşidini içerir, böylece her projenin ihtiyacına uygun bir çözüm bulunabilir.
8. Çevre Dostu: Daha hafif ve dayanıklı konstrüksiyonlar, daha az malzeme kullanımı ve yakıt tüketiminin azalması gibi faktörler çevresel sürdürülebilirliği artırabilir.

3.2. Strenx çeliğinin potansiyel uygulama alanları

Strenx çelikleri, bir dizi potansiyel uygulama alanına sahiptir ve bu çeşitli uygulamalarda kullanılmalarını sağlayan yüksek mukavemetleri ve diğer avantajları nedeniyle tercih edilirler. İşte Strenx çeliklerinin potansiyel uygulama alanlarından bazıları (Şekil 3.3):

1. İnşaat: Strenx çelikleri, inşaat sektöründe kullanılan yapısal bileşenler için idealdir. Bu, köprüler, binalar, vinçler, kirişler ve diğer inşaat projeleri için geçerlidir.
2. Taşıma Araçları: Otomotiv, kamyon, otobüs ve tren gibi taşıma araçlarının birçok bileşeni Strenx çelikleri ile yapılmaktadır. Daha hafif ve dayanıklı konstrüksiyonlar, yakıt tasarrufu ve performans artışı sağlayabilir.
3. Tarım Ekipmanları: Traktörler, tarım makineleri ve diğer tarım ekipmanları için Strenx çelikleri dayanıklı ve hafif bir seçenek sunar.
4. Madencilik Ekipmanları: Madencilik makineleri, ekskavatörler ve yükleyiciler gibi ağır madencilik ekipmanlarının parçaları için kullanılır. Strenx çelikleri, ağır yükler altında çalışan bu ekipmanların dayanıklılığını artırabilir.
5. Enerji Sektörü: Rüzgar türbinleri, enerji nakil hatları ve diğer enerji altyapısı bileşenleri için Strenx çelikleri kullanılır.
6. Denizcilik: Gemi yapıları, deniz platformları ve diğer denizcilik uygulamaları için Strenx çelikleri, tuzlu suya ve zorlu deniz koşullarına dayanıklılık sağlar.
7. Madde İşleme: Strenx çelikleri, madde işleme ekipmanlarının parçalarında kullanılır. Bu, metal kesme, bükme ve presleme makinelerini içerir.

8. İş Makineleri: Strenx çelikleri, ağır iş makinelerinin bileşenlerinde kullanılır. Bunlar, vinçler, ekskavatörler, buldozerler ve daha fazlasını içerir.
9. Savunma ve Güvenlik: Strenx çelikleri, zırhlı araçlar, askeri ekipmanlar ve güvenlik uygulamalarında kullanılabilir.
10. Yüksek Performanslı Spor Araçları: Strenx çelikleri, yarış arabaları ve diğer yüksek performanslı spor araçlarının yapısal bileşenlerinde kullanılabilir.





Şekil 3-3:Strenx yapı çeliğinin uygulama alanları

3.3. Strenx yüksek dayanımlı yapı çeliği çeşitleri

Yeni çelik kalitesi başlangıçta bir çok isimde üretilmiş ve çeliğin özellikleri su verilmiş ve temperlenmiş çelikler seviyesinde olmasına rağmen üretici tarafından termomekanik olarak haddelenmiş bir çelik olarak sınıflandırılmıştır.

Strenx yüksek dayanımlı yapı çelikleri, farklı mukavemet seviyeleri ve özelliklere sahip bir dizi çeşidi içerir. Strenx ailesinin bazı yaygın çeşitleri şunlar olabilir:

1. Strenx 700: Strenx 700, yüksek mukavemete sahip bir yapı çeliği çeşididir. Genellikle inşaat sektöründe kullanılır ve yüksek taşıma kapasitesi gerektiren uygulamalarda tercih edilir.
2. Strenx 900: Strenx 900, daha yüksek bir mukavemet seviyesine sahiptir ve ağır yükler altında çalışan ağır iş makineleri ve taşıma ekipmanları için ideal bir seçenek olabilir.
3. Strenx 960: Strenx 960, yüksek mukavemet ve düşük ağırlık kombinasyonunu sunar. Bu çelik türü, ağırlığı azaltarak yakıt tasarrufu ve daha iyi performans sağlayan taşıma araçları için kullanılır.
4. Strenx 1100: Strenx 1100, yüksek mukavemet ve olağanüstü ağırlık avantajlarına sahiptir. Bu çelik, ağır yükler taşıyan taşıma ekipmanları ve off-road araçlar gibi uygulamalarda kullanılır.
5. Strenx Performans Çeşitleri: Strenx ailesi içinde, özel uygulamalar için optimize edilmiş performans çeşitleri de bulunabilir. Bu çeşitler, belirli bir projenin ihtiyaçlarına daha iyi uyacak şekilde tasarlanır.

3.4. Strenx S700 MC Yapı Çeliği

S700MC yüksek mukavemetli çelikler (Hohenlimburg özel yapı çelikleri, mikro alaşımlı) dar yarıçaplı bükme ve rulo şekillendirme ve yüksek mukavemetli kalitelerde kısıtlamalarla derin çekme ve gerdirek şekillendirme için uygundur. Strenx S700 MC çeliği, yüksek mukavemeti ve hafif yapısı sayesinde birçok farklı sektörde kullanılan çok yönlü bir yapı çeliği çeşididir. Tablo 3.1’de S700MC strenx yapı çeliğinin üretilen kalınlık miktarlarını göstermektedir.

Tablo 3-1:S700MC strenx yapı çeliğinin genel kalınlık toleransı

Kalınlık (mm)	1.5- 2.54	2.55- 4.03	4.04- 6.03	6.04- 8.03	8.04- 9.03	9.04- 11.03	11.04- 14.03	14.04 – 16.00
------------------	--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	----------------	-----------------	------------------

Standart tolerans (mm)	± 0.04	± 0.04	± 0.05	± 0.055	± 0.06	± 0.07	± 0.08	± 0.10
Özel tolerans (mm)	± 0.03	± 0.035	± 0.04	± 0.045	± 0.05	± 0.055	± 0.06	± 0.07

Strenx S700 MC çeliğinin bazı kullanım alanları (Şekil 3.4) aşağıda sıralanmıştır:

1. Otomotiv Endüstrisi: Strenx S700 MC çeliği, otomobil ve ticari araçların yapısal bileşenlerinde kullanılabilir. Bu çelik, araçların hafifletilmesine yardımcı olabilir, bu da yakıt verimliliğini artırabilir ve performansı artırabilir.
2. İnşaat: Bu çelik, inşaat sektöründe kullanılan taşıyıcı yapılar, kolonlar, kirişler ve diğer yapısal bileşenler için uygundur. Yüksek dayanıklılığı, yapıların daha az malzeme kullanarak gereken dayanıklılığı sağlamasına yardımcı olur.
3. Madencilik ve İnşaat Ekipmanları: Strenx S700 MC çeliği, madencilik makineleri, inşaat ekipmanları, ekskavatörler ve yükleyiciler gibi ağır ekipmanların parçalarında kullanılabilir. Bu çelik, ağır yükler altında çalışan ekipmanların dayanıklılığını artırabilir.
4. Tarım Ekipmanları: Tarım makineleri, traktörler ve diğer tarım ekipmanlarının yapısal bileşenlerinde de kullanılabilir. Yüksek mukavemeti, bu ekipmanların uzun ömürlü olmasına yardımcı olabilir.
5. Enerji Sektörü: Strenx S700 MC çeliği, enerji üretimi ve dağıtım ekipmanlarının yapımında kullanılabilir. Bu, rüzgar türbinleri, enerji nakil hatları ve diğer enerji altyapısı bileşenleri için geçerlidir.
6. Denizcilik: Bu çelik, denizcilik endüstrisinde gemi yapıları, deniz platformları ve diğer denizcilik uygulamaları için kullanılabilir. Şekil 3. Strenx S700MC yapı çeliğinin uygulamalarından bazılarını göstermektedir.



Mafsal boyunduruđu



Şanzıman parçası



Kontrol kolu



Arka aks kontrol kolu



Emniyet kemeri yükseklik



Saplama aks montajı

Şekil 3-4:S700 MC kullanım alanları örnekleri

4. ROBOT SİSTEMLERİ

1962'de American Machine and Foundry (AMF) şirketi ilk Versatran robotlarını ABD'nin Canton kentindeki bir fabrikada kurulmak üzere Ford Motor Company'ye sattı. Ardından 1974 yılında Cincinnati Milacron robotu T3, tam CNC tipi doğrusal yol kontrolü sunan mini bilgisayar tabanlı bir kontrol sistemine sahip ilk robot oldu. 1970-1980 yılları arasındaki on yılda, bir dizi üretici sahneye girdi ve bugün gördüğümüz çeşitli endüstriyel robot türleri tanıtıldı. Son olarak Seçici Uyumlu Robot Kolu 1978 yılında tanıtılmıştır Paralel bacaklı robotlar 1980'lerde birkaç üretici tarafından piyasaya sürülmüştür. Robot sistemleri tarihçesi, sürekli olarak gelişen bir alandır ve gelecekte daha da önemli hale gelmesi beklenmektedir. Robotlar, üretim süreçlerini iyileştirmek, tehlikeli görevleri yerine getirmek, uzaya gitmek ve insanların yaşam kalitesini artırmak gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle robot teknolojisinin tarihçesi, teknolojinin evrimini ve insan toplumunun nasıl şekillendiğini anlamak açısından önemlidir.

4.1. Robotik Sistemlerin Kullanım Alanları

Robotik sistemler, birçok farklı endüstri ve alan için çeşitli kullanım fırsatları sunar. İşte robotik sistemlerin bazı önemli kullanım alanları:

1. Endüstriyel Üretim: Endüstriyel robotlar, otomotiv, elektronik, gıda, ilaç ve diğer birçok sektörde üretim süreçlerini otomatize etmek için kullanılır. Malzemeleri taşıma, montaj yapma, kaynak yapma ve paketleme gibi görevleri yerine getirebilirler. Şekil 4.1 endüstriyel robotik sistemini göstermektedir.



Şekil 4-1:Endüstriyel robotik kaynak sistemi

2. Sağlık Hizmetleri: Tıbbi robotlar, cerrahi işlemlerde kullanılarak daha hassas ve az invaziv prosedürlerin gerçekleştirilmesine yardımcı olur. Ayrıca rehabilitasyon, teşhis ve hasta bakımında da kullanılabilirler (Şekil 4.2).



Şekil 4-2:Ameliyatta robot kullanımı

3. Tarım: Tarım robotları, bitki bakımı, hasat, sıra ekebilme ve gübreleme gibi görevlerde kullanılır. Bu, verimliliği artırırken tarımın sürdürülebilirliğine de katkı sağlar.
4. Lojistik ve Dağıtım: Otomatik depo sistemleri ve drone teslimatları gibi robotik çözümler, malzemelerin depolama, taşıma ve dağıtımını optimize etmek için kullanılır. Şekil 4.3 teslimat amaçlı geliştirilen robotları göstermektedir.



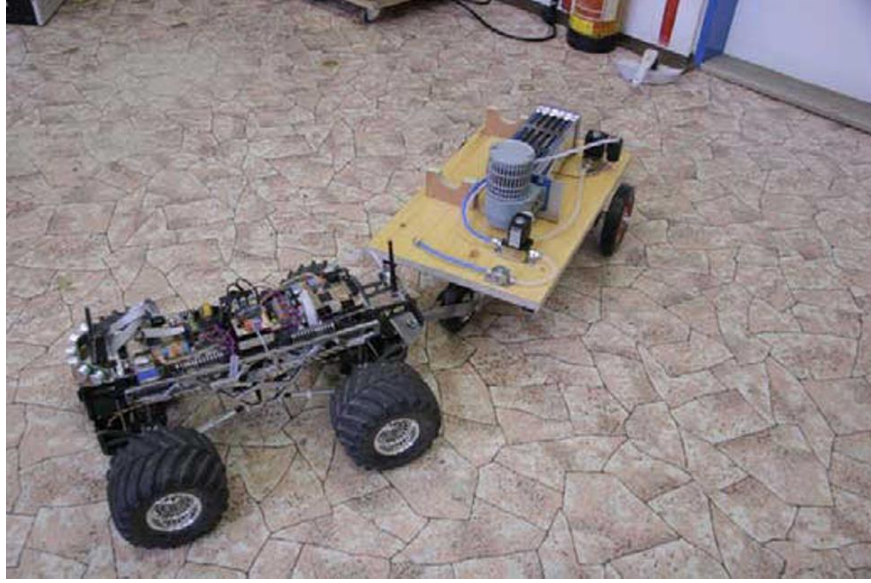
Şekil 4-3:Üç farklı teslimat robotunun resimleri

5. Savunma ve Güvenlik: Askeri robotlar, mayın temizleme, keşif, gözetleme ve insansız hava araçları gibi çeşitli görevleri yerine getirmek için kullanılır. Ayrıca sivil güvenlik uygulamalarında da kullanılırlar. Şekil 4.4 mayın ve tehlikeli bomba durumları için geliştirilen robotu göstermektedir . [David Hambling, Military robots work best alone, New Scientist, Volume 248, Issue 3312, 2020, Page 14, [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(20\)32152-7](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(20)32152-7)].



Şekil 4-4:Askeri amaçlı geliştirilen robot

6. Eğitim ve Araştırma: Eğitim amaçlı robotlar, öğrencilere temel programlama ve mühendislik becerilerini öğretmek için kullanılır. Araştırma robotları ise denizaltı keşifinden uzaya kadar çeşitli bilimsel keşiflere katkı sağlar [Vala David, Kazarik Jiri, General-purpose mobile robotic platform with hybrid power module for educational purpose, IFAC Proceedings Volumes, Volume 42, Issue 1, 2009, Pages 149-152, <https://doi.org/10.3182/20090210-3-CZ-400>].



Şekil 4-5: Mobil bir robotik platform.

7. Otomasyon ve Hizmet Sektörü: Otomasyon robotları, restoranlarda, otellerde ve diğer hizmet sektörlerinde sipariş almak, temizlik yapmak, yiyecek hazırlamak ve benzeri görevleri yerine getirebilirler. Şekil 4.6 gıda sektöründe kullanılan robotları göstermektedir.



Şekil 4-6: Robotların hamur işlerinde kullanımı

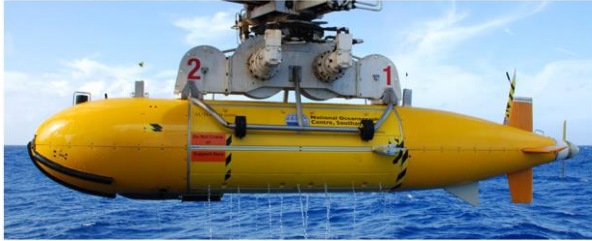
8. Eğlence ve Eğlence Endüstrisi: Eğlence robotları, tema parkları, film yapımı ve etkinliklerde kullanılır. Dijital karakterlerin canlandırılması ve interaktif oyunlar gibi alanlarda da kullanılırlar. Şekil 4.7 sinema sektöründe kullanılan robotları göstermektedir.



Şekil 4-7:Gösteri dünyasında robot kullanımı

9. Deniz Araştırmaları: Denizaltı robotları, okyanus keşfi, deniz altı araştırmaları ve deniz çevresel izleme gibi görevlerde kullanılır. Şekil 4.8 deniz ve çevre araştırmaları için geliştirilen sualtı robotu göstermektedir.

(a)

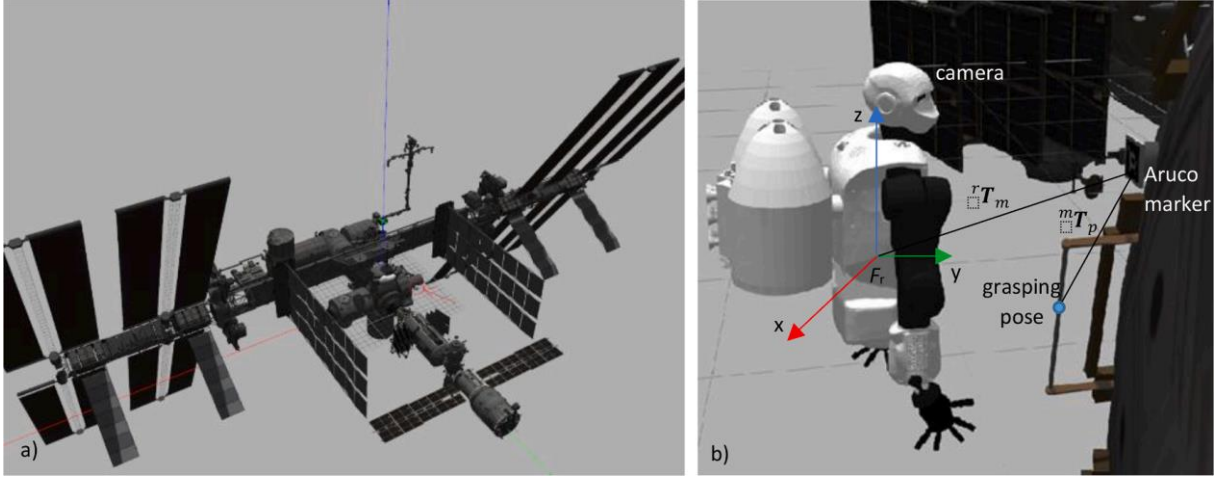


(b)



Şekil 4-8:Sualtı robotu

10. Uzak Araştırmaları: Uzak araştırmalarında kullanılan robotlar, uzak gezegenlerin keşfi, uzay istasyonlarının bakımı ve uzayda inceleme yapmak için kullanılır. Şekil 4.9 uzaydaki radyasyonlu ortamlarda kullanılmak üzere geliştirilen insansı robota ait simülasyon ve tasarımı göstermektedir.



Şekil 4-9:Uzay uygulamaları için insansı robot.

Robotik sistemler, iş gücünün verimliliğini artırabilir, tehlikeli görevleri insanlardan uzaklaştırabilir ve daha hassas işlemleri gerçekleştirebilir. Bu nedenle, robot teknolojisi birçok sektörde büyük bir potansiyele sahiptir ve gelecekte daha da yaygınlaşması beklenmektedir.

4.2. Dünya Ölçeğinde Robot Kullanımı

Dünya çapında robotların kullanımı, birçok farklı ülkede çeşitli sektörlerde ve uygulamalarda yaygınlaşmış durumdadır.

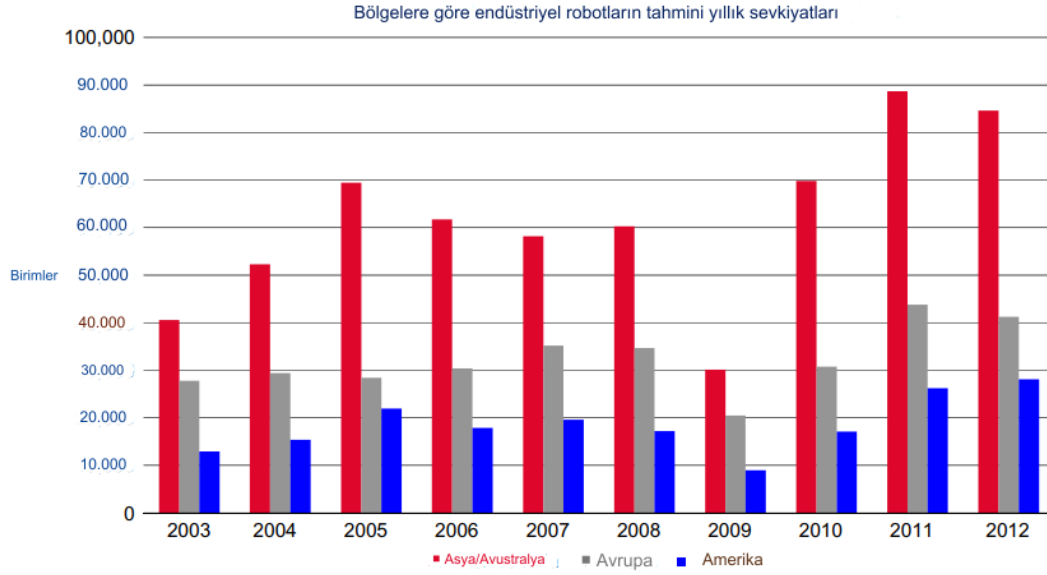
Dünya genelinde robotların kullanıldığı bazı önemli alanlar ve ülkeler aşağıda sıralanmıştır:

1. Endüstriyel Üretim: Otomotiv, elektronik, gıda, kimya, tekstil gibi birçok endüstride endüstriyel robotlar yaygın olarak kullanılır. Bu robotlar üretim hattında montaj, kaynak, boyama, malzeme taşıma ve paketleme gibi işleri yaparlar. Endüstriyel robotlar özellikle Japonya, Almanya, Çin ve Güney Kore gibi ülkelerde yoğun bir şekilde kullanılır.
2. Sağlık Hizmetleri: Tıbbi robotlar, dünya genelinde cerrahi işlemlerde kullanılmaktadır. Bu robotlar Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ülkeleri ve Japonya gibi gelişmiş sağlık sistemlerine sahip ülkelerde yaygın olarak bulunur.

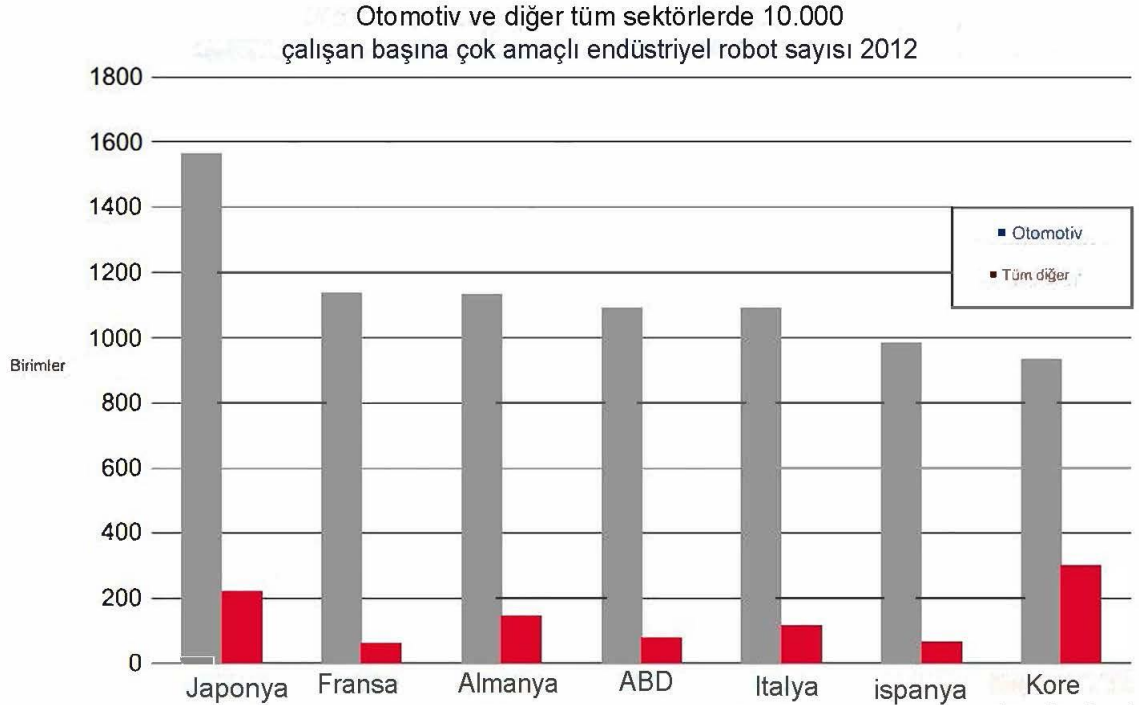
3. Tarım: Tarım robotları, özellikle ABD, Hollanda, Japonya ve İsrail gibi tarım sektöründe öncü olan ülkelerde bitki bakımı, hasat, sıra ekebilme ve gübreleme gibi görevlerde kullanılır.
4. Lojistik ve Dağıtım: Otomatik depo sistemleri ve drone teslimatları gibi robotik çözümler, dünya genelinde e-ticaret ve lojistik sektöründe kullanılmaktadır. Bu teknolojiler özellikle ABD ve Çin gibi büyük pazarlarda yaygındır.
5. Savunma ve Güvenlik: Askeri robotlar dünya genelinde birçok ülkenin askeri güçlerinde kullanılır. Bu robotlar, ABD, Rusya, Çin ve İsrail gibi büyük askeri bütçeye sahip ülkelerde geliştirilir ve kullanılır.
6. Eğitim ve Araştırma: Eğitim amaçlı robotlar ve araştırma robotları dünya genelinde üniversitelerde, araştırma kurumlarında ve endüstride kullanılır. Özellikle ABD, Avrupa ve Japonya gibi teknoloji odaklı ülkelerde bu alanlarda yoğun bir şekilde kullanılırlar.
7. Otomasyon ve Hizmet Sektörü: Restoranlar, oteller ve perakende sektöründe otomasyon robotları, dünya genelinde hizmet vermektedir. Bu robotlar özellikle Asya'da (örneğin, Japonya ve Güney Kore) yaygın olarak bulunur.
8. Deniz Araştırmaları ve Uzay Araştırmaları: Denizaltı robotları ve uzay araştırma robotları, dünya genelinde bilimsel keşiflerde kullanılır. Bu alanlarda ABD, Avrupa ve Japonya gibi ülkeler öne çıkar.

Şekil 4.10'da dünya çapında robot kullanımını grafik olarak gösterilmiştir [Mike Wilson, Chapter 1 - Introduction, Implementation of Robot Systems, Butterworth-Heinemann, 2015, Pages 1-18, ISBN 9780124047334, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404733-4.00001-1>]. Robotlar, dünya çapında birçok farklı alanda kullanılıyor ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte kullanım alanları giderek genişliyor. Gelecekte, yapay zeka ve otonom robotlar gibi teknolojilerin daha da yaygınlaşması beklenmektedir, bu da robotların daha fazla görevi yerine getirmesine olanak tanıyacaktır. Şekil 4.11, en büyük robot nüfusuna sahip ülkeler

için otomotiv sektörü ile diğer tüm sanayi sektörlerinin robot yoğunluğu arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir . [Mike Wilson, Chapter 1 - Introduction, Implementation of Robot Systems, Butterworth-Heinemann, 2015, Pages 1-18, ISBN 9780124047334, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404733-4.00001-1>].



Şekil 4-10:Dünya çapında robot kullanımı.



Şekil 4-11:Robot yoğunluğu

4.3. Robot Sisteminin Belirlenmesini Etkileyen Faktörler

Yüksek çok yönlülüğüne rağmen, manuel kaynak yönteminin (işçinin operasyonunu kullanarak) birçok sınırlaması olduğu bilinmektedir, örneğin: işçilerin sağlığını etkilemek, yapının kalitesinin stabilitesini sağlamak zordur, kendi kendine kaynağın atık seviyesi. Her bir kaynak robotu türü için bu parametrelerin değeri çok farklı, hatta çelişkilidir. Robot sisteminin belirlenmesini etkileyen önemli faktörler aşağıda sıralanmıştır:

1. Uygulama Türü: Robotun hangi uygulama için kullanılacağı belirlenmelidir. Endüstriyel otomasyon, sağlık hizmetleri, tarım, lojistik, eğitim veya araştırma gibi farklı alanlarda farklı robot türleri ve özellikleri gerekebilir.
2. Görev ve İşlev: Robotun yapması gereken belirli görevler ve işlevler tanımlanmalıdır. Örneğin, bir montaj hattındaki bir robotun montaj işlemlerini yapabilmesi veya bir tıbbi robotun cerrahi operasyonları gerçekleştirebilmesi gerekebilir.
3. Çalışma Ortamı: Robotun çalışacağı ortamın fiziksel özellikleri dikkate alınmalıdır. İç veya dış mekan, sıcaklık, nem, toz seviyeleri ve diğer çevresel faktörler robotun tasarımını etkileyebilir.
4. Güvenlik: Robot sisteminin güvenlik gereksinimleri belirlenmelidir. İnsanlarla veya diğer makinelerle etkileşimde bulunacaksa, güvenlik önlemleri ve engel algılama sistemleri gerekebilir.
5. Bütçe: Proje için ayrılan bütçe, robot sisteminin türünü, özelliklerini ve ölçeğini etkiler. Daha karmaşık ve özelleştirilmiş robotlar, genellikle daha yüksek maliyetlidir.
6. Performans ve Verimlilik: Robotun performans gereksinimleri, hız, hassasiyet ve üretkenlik gibi faktörleri içerebilir. Verimli bir üretim hattı veya hızlı bir cerrahi prosedür, robotun performansını etkiler.

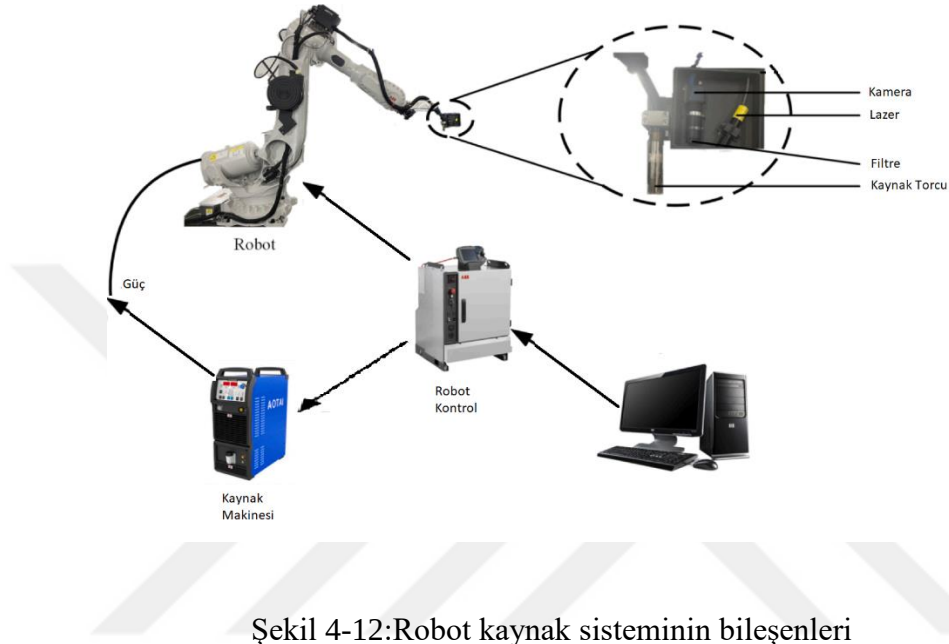
7. Entegrasyon: Robot sistemi, mevcut iş süreçleri, diğer makineler ve veri yönetimi sistemleri ile nasıl entegre edileceği düşünülmelidir. İşbirliği ve uyum, entegrasyonun önemli bir parçasıdır.
8. Bakım ve Destek: Robot sistemi için bakım gereksinimleri ve teknik destek düşünülmelidir. Uzun vadeli bakım ve onarım maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır.
9. Ölçeklenebilirlik: İleride iş ihtiyaçları büyüdüğünde veya değiştiğinde, robot sistemi ne kadar kolay bir şekilde ölçeklendirilebileceği düşünülmelidir.
10. Yasal ve Düzenleyici Gereksinimler: Robotların belirli sektörlerde ve uygulamalarda kullanılması için belirli yasal ve düzenleyici gereksinimler vardır. Bu gereksinimler yerel, ulusal ve uluslararası düzeyde farklılık gösterebilir.

Bu faktörler, bir robot sistemi tasarlariken dikkate alınması gereken önemli konulardır ve projenin başarısını etkileyebilir. Bu nedenle, bir robot sistemi oluşturmadan önce dikkatli bir analiz ve planlama yapılmalıdır.

4.4. Kaynak Sektöründe Robot Teknolojisi

Robot biliminin önde gelen ismi George Charles Devol, 1954 yılında ilk endüstriyel robotları üretti. Endüstriyel robotlar gelişmeye devam etti ve bilgisayarlardaki gelişmelerden ve büyük üretim talebinden doğrudan etkilendi. Ark kaynağı robotlarının tasarım, kontrol sistemi ve algılama yeteneği açısından geliştirilmesi, mühendisler arasında potansiyel bir büyüme alanı olarak görülmektedir, çünkü tüm üretime son derece olumlu etkiler sağlayacaktır. Tasarım genel olarak, matematiksel bir denklemin robotun fiziksel parametrelerinin kurulumunu tanımladığı yeni bir algoritmanın oluşturulması olarak tanımlanır. Ark kaynağı sürecinin en önemli parçası arkin kendisidir. Kaynak prosesi, manuel kontrol ve otomatik kontrol olmak üzere iki tip kontrol sisteminden oluşur. Otomatik kontrol ve manuel kontrol arasındaki önemli farklar, ürün kalite seviyesini, üretim sayılarını, hata oluşumlarını, tehlikeli çalışma ortamlarını ve toplam üretim maliyetlerini etkiler. Ark kaynağı robot sisteminin geliştirilmesinde dikkate alınması gereken bir diğer önemli husus da algılama kabiliyetidir. Merkezi kaynak sistemine entegre edilen sensörler, ilgili

parametrelerden gelen bilgileri dijital sinyal, voltaj ve akım gibi nicel verilere dönüştürecektir. Robot ile ark kaynağı uygulamaları, belirli parçaların birleştirilmesi sürecini içerir ve bu süreçte birkaç önemli bileşen vardır. Şekil 14 robot kaynak sisteminin bileşenlerini göstermektedir.



Robotla kaynak işlemini oluşturan temel parçalar aşağıda kısaca açıklanmıştır (Şekil 4.12):

1. Kaynak Robotu: Kaynak robotu, kaynak işlemini otomatik olarak gerçekleştiren robotik sistemdir. Bu robotlar genellikle endüstriyel robotlar olarak adlandırılır ve çok çeşitli kaynak işlemleri için kullanılabilirler. Kaynak robotları, kaynak tabancası veya kaynak başlığı gibi araçları kullanarak malzemeleri birleştirir.
2. Kaynak Tabancası veya Başlığı: Kaynak robotları, kaynak işlemi için bir kaynak tabancası veya başlığı kullanır. Bu, elektrotları veya tel akımı kaynak işlemini yürütmek için kullanılan diğer malzemeleri iş parçasına uygular. Kaynak tabancası veya başlığı, robotun programlanmış hareketleri ile iş parçasının belirli bölgelerine kaynak uygular.
3. Robot Kontrol Sistemi: Robot kontrolleri, robotun hareketlerini ve kaynak işlemini yöneten bir bilgisayar sistemini içerir. Bu kontrol sistemleri, robotun programlanmasını,

hareketlerin koordinasyonunu ve kaynak işlemini kontrol eder. Ayrıca kaynak parametrelerini ayarlayabilir ve kaynak kalitesini izleyebilirler.

4. İş Parçası ve Malzeme: Ark kaynağı uygulamalarında bir veya daha fazla iş parçası ve kaynak yapılacak malzeme bulunur. Bu malzeme genellikle metallerdir, ancak diğer malzemeler de kullanılabilir. İş parçaları, kaynak robotunun programlandığı şekilde yerleştirilir ve birleştirilir.
5. Kaynak Elektrotları veya Tel: Ark kaynağı işlemi için kullanılan elektrotlar veya kaynak telleri, kaynak robotu tarafından iş parçasına uygulanır. Bu elektrotlar veya teller, malzemeleri bir arada tutmak için eriyen bir kaynak havuzu oluştururlar.
6. Sensörler ve Kameralar: Robotlar, kaynak işleminin izlenmesi ve kontrol edilmesi için sensörler ve kameralar kullanabilirler. Bu cihazlar, kaynak işleminin kalitesini ve doğruluğunu izlemeye yardımcı olur ve hata tespiti için kullanılabilir.
7. Programlama ve Yazılım: Kaynak robotlarının programlanması ve kontrol edilmesi için özel yazılım ve programlama araçları kullanılır. Bu, robotun belirli bir iş parçası için doğru kaynak yollarını ve parametreleri belirlemesine yardımcı olur.

4.5. Kaynak Robotlarının Avantajları

Kaynak sektöründe robot teknolojisi, endüstriyel üretimde büyük bir etki yaratmış ve birçok işlemi daha güvenli, hızlı ve verimli hale getirmiştir. Özellikle büyük üretim tesisleri ve otomotiv endüstrisi gibi sektörlerde kaynak robotları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, kaynak sektöründe robot teknolojisinin önemi giderek artmaktadır. Robot teknolojisi, kaynak sektöründe önemli bir rol oynar ve birçok avantaj sunar. Kaynak robotları, metalleri birleştirmek için kullanılan kaynak işlemlerini otomatize etmek için kullanılır. Otomatik kaynak robotları, kaynak hatasını minimuma indirir ve daha yüksek kaynak kalitesi sağlar. Robotlar, kaynak işlemlerinde yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilirlik sağlar. Bu, birçok endüstri için önemlidir, özellikle otomotiv sektöründe parçaların hassas bir şekilde birleştirilmesi gerektiğinde. Kaynak işlemleri sırasında ortaya çıkan sıcaklık ve ışınlar insan sağlığına zarar verebilir. Robotlar, bu tehlikeli koşullarda çalışabilirler ve insan işçileri tehlikeden korur. Kaynak robotları, insan işçilere göre daha hızlı çalışabilirler ve

uzun süre boyunca kesintisiz çalışabilirler. Bu, üretim verimliliğini artırır. Robotlar, kaynak işlemlerini sürekli ve düşük hata oranlarıyla gerçekleştirirler, bu da işçilik maliyetlerini azaltır. Ayrıca kaynak işlemlerinde daha az malzeme israfı yaşanır. Robotlar programlanabilir ve farklı kaynak işlemleri için hızla ayarlanabilirler. Bu, farklı parça boyutları veya tasarımları için uygun hale getirilebilmelerini sağlar. Kaynak robotları, kaynak işlemi sırasında parametreleri sürekli olarak izleyebilir ve kaynak kalitesini kontrol edebilirler. Bu, kalite kontrol süreçlerini iyileştirir. Robotlar, enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanabilirler ve çevreye daha az zarar verirler. Bu, sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

4.6. Robot ile Ark Kaynağı Uygulamaları

Robotlar, ark kaynağı uygulamalarında bir dizi avantaj sunarlar. Bu uygulamalarda robotların kullanılması, işçilik maliyetlerini azaltabilir, daha yüksek kaliteli kaynaklar üretebilir ve insan işçileri için tehlikeli koşullarda çalışma ihtiyacını ortadan kaldırabilir. Robotlarla ark kaynağı uygulamalarının bazı örnekleri:

1. Otomotiv Üretimi: Otomobil endüstrisi, robotlarla ark kaynağı uygulamalarını yaygın bir şekilde kullanır. Robotlar, araç gövdesinin çeşitli parçalarını bir araya getirmek için kaynak yapabilirler. Bu, kaynak kalitesini artırır ve üretim hızını artırır.
2. Denizcilik ve Gemiler: Denizcilik sektörü, büyük metal parçaların birleştirilmesi gerektiren gemi yapımı ve gemi onarımları için robotları kullanır. Robotlar, büyük kaynak işlemlerini hassas bir şekilde gerçekleştirebilirler.
3. İnşaat Ekipmanları: İnşaat sektöründe, büyük inşaat makinelerinin imalatı için robotlarla ark kaynağı uygulamaları yapılır. Bu, işçilik maliyetlerini düşürürken ürün kalitesini artırır.
4. Boru Hattı İnşaatı: Petrol, gaz ve su boru hatları gibi büyük tesislerin inşasında kaynak robotları kullanılır. Bu, boruların birbirine sağlam bir şekilde kaynatılmasını sağlar.

5. Savunma ve Askeri Uygulamalar: Savunma endüstrisi, robotlarla ark kaynağı uygulamalarını zırhlı araçların üretimi, tanklar ve denizaltılar gibi askeri ekipmanların imalatı için kullanır.
6. Enerji Üretimi: Nükleer santraller, hidroelektrik santraller ve diğer enerji üretim tesislerinin inşası ve bakımı sırasında robotlarla ark kaynağı uygulamaları kullanılır. Bu, enerji üretiminde güvenli ve dayanıklı yapılar oluşturulmasını sağlar.
7. Boru Kaynakları: Özellikle petrol ve gaz endüstrisinde, boru kaynakları için robotlar kullanılır. Boru hatları ve boru bağlantıları, robotlar tarafından hızlı ve hassas bir şekilde kaynatılabilir.
8. Otomasyon ve Veri Toplama: Robotlar, kaynak işlemleri sırasında veri toplayabilirler. Bu veriler, kaynak kalitesini ve performansını izlemek için kullanılabilir.

Robotlarla ark kaynağı uygulamaları, kaynak işleminin daha verimli, güvenli ve kaliteli hale gelmesini sağlar. Ayrıca büyük ve karmaşık parçaların birleştirilmesinde robotlar, insan işçilerine göre daha hassas ve etkili olabilirler. Bu nedenle, birçok endüstride robotlarla ark kaynağı uygulamalarının kullanımı yaygındır ve gelecekte daha da artması beklenmektedir.

4.7. Robot Kaynağı İle Manuel Tip Kaynağın Kıyaslanması

Robot kaynağı (otomatik kaynak) ve manuel kaynak, metal birleştirme işlemlerinde farklı avantajlar ve dezavantajlar sunar. Her iki kaynak türünün kıyaslanması aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

Robot Kaynağı:

1. Hassasiyet ve Tekrarlanabilirlik: Robotlar, kaynak işlemini belirli bir program üzerinden hassas bir şekilde gerçekleştirirler. Bu, kaynakların her seferinde aynı kalitede ve hassasiyette olmasını sağlar.

2. Verimlilik: Robotlar sürekli olarak çalışabilirler ve insan işçilerine göre daha hızlıdır. Bu, üretim süreçlerini hızlandırır ve ürünlerin daha hızlı bir şekilde tamamlanmasını sağlar.
3. İnsan Emniyeti: Kaynak robotları, yüksek sıcaklıklar ve ışıklardan kaynaklanan tehlikelerle karşılaşmadan çalışabilirler. Bu, işyerinde insan işçileri için daha güvenli bir ortam sağlar.
4. İnsan Eksikliği: Kaynak robotları, iş gücü eksikliği yaşanan bölgelerde veya tehlikeli işlerde kullanılabilirler. İnsan işçi ihtiyacını azaltabilirler.
5. Kaynak Kalitesi: Robotlar, kaynak işlemi sırasında daha düşük hata oranlarına sahiptirler, bu da daha yüksek kaliteli kaynakların elde edilmesini sağlar.
6. Programlanabilirlik: Robotlar, farklı kaynak işlemleri için programlanabilirler. İş parçaları veya kaynak yolları değiştirilebilir, bu da esneklik sağlar.

Manuel Kaynak:

1. Daha Düşük Maliyet: Manuel kaynak, robotların satın alınması, bakımı ve programlanmasına göre daha düşük maliyetli olabilir.
2. Esneklik: İşçiler, karmaşık veya farklı şekilli parçaları kaynaklamak için daha esnek olabilirler. Özellikle özelleştirilmiş işler için manuel kaynak daha uygundur.
3. Küçük Üretim Miktarları: Manuel kaynak, küçük üretim miktarları veya prototip üretimler için daha uygundur, çünkü robotların programlanması ve kurulumu için zaman ve maliyet gerekebilir.
4. Bakım ve Onarım: Robotların aksine, insan işçileri bakım ve onarım işlemleri için daha fazla esnekliğe sahiptirler. Robotların bakımı uzmanlık gerektirebilir.
5. Beceri ve Deneyim: İyi bir manuel kaynak işçisi, özellikle karmaşık kaynak işlemlerinde beceri ve deneyimle daha fazla kontrol sahibi olabilir.

Her iki kaynak türü, belirli uygulama ve gereksinimlere bağılı olarak kullanılabilir. Genellikle seri üretimler, yüksek üretim hızı gerektiren uygulamalar veya insan emniyeti öncelikli olduğunda robot kaynağı tercih edilirken, özelleştirilmiş işler veya küçük üretim miktarları için manuel kaynak daha uygundur. Bu nedenle, her iki kaynak türünün de avantajları ve sınırlamaları vardır ve seçim, projenin özel gereksinimlerine dayanmalıdır.



5. MATERYAL VE METOT

Kaynak ağzı açılarak hazırlanan S700 MC yapı çeliği robotik kaynak yöntemiyle birleştirilerek, birleştirilen numunenin merkezinden 35x15 mm ebadında parça alınıp yüzey işlemeye tabi tutulduktan sonra elektron mikroskobu ile makro inceleme yapıp sonuçlar irdelenmiştir.

5.1. Strenx S700 MC Yapı Çeliği

Strenx S700 MC, yüksek mukavemete sahip bir yapı çeliği çeşididir. Genellikle inşaat sektöründe kullanılır ve yüksek taşıma kapasitesi gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Yapılan literatür çalışmasında Strenx S700 MC yapı çeliğinin robot yardımıyla yapılan kaynaklı birleştirmelerle çalışmanın çok az sayıda olması, aynı zamanda bu sektörlerinde ihtiyaçlarına cevap verebilmek için bu deneysel çalışma da tercih edilmiştir. Tablo 5.1 S700MC strenx yapı çeliğinin kimyasal kompozisyonuna ait bilgileri göstermektedir. Tablo 5.2’de ise S700MC strenx yapı çeliğinin mekanik değerleri verilmiştir.

Tablo 5-1:S700MC strenx yapı çeliğinin kimyasal kompozisyonu

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Nb (%)	V (%)	Ti (%)	Mo (%)	B (%)
Min.	-	-	-	-	-	0.015	-	-			
Max.	0.12	0.21	2.10	0.020	0.010	0.070	0.09	0.20	0.15	0.5	0.0050

Tablo 5-2:S700MC strenx yapı çeliğinin mekanik değerleri

Haddeleme yönüne	E [GPa]	σ_y [MPa]	UTS σ [MPa]	σ_f [%]
S700MC strenx yapı çeliği	210	700 ± 3	801 ± 4	11.8 ± 0.6

5.2. Kaynak Ağzı İmalatı

Gaz altı kaynağı için kaynak ağzı tasarlanırken, kaynak yapılacak ürünün şekli ve malzemesine ilişkin kimyasal özellikler ve standartlar dikkate alınır. Bu amaçla, 100x50x10 mm boyutlarında 20 adet kaynak test numuneleri hazırlanmış ve kaynak numunelerinin ağızları 45° olacak şekilde CNC tezgâhı yardımıyla oluşturulmuştur. Şekil 5.1’de kullanılan

CNC tezgâhının resmi gösterilmiştir. Kaynak ağzı açılma işleminden sonra kaynak ağzı yüzeyleri kimyasal yardımıyla kirlerinde arındırılmıştır.



Şekil 5-1:CNC Tezgâhında Numuneye 45° Açı İle Kaynak Ağzı Açılması



Şekil 5-2:CNC Tezgâhında Numuneye 45° Açı İle Kaynak Ağzı Açılması

5.3. Kaynak Teli

Kaynak yapılacak çelik malzemenin içerisinde mikro alaşım elementlerinin olması sebebiyle yüksek mekanik mukavemetin yanı sıra çatlama direnci ve yüksek süneklilik göstermesi bu kaynak telinin seçilmesindeki önemli faktörlerdir. Bu yüksek mukavemetli S700 MC yapı çeliğinin kaynak yapılması için kullanılacak olan kaynak telleri literatür ve endüstriyel kaynak teli üretici firmalarının önerileri dikkate alınarak ER110 SG kaynak teli tespit edilmiştir. ER110 SG kaynak teli Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Kaynakla birleştirme için kullanılan ER110 SG marka kaynak teline ait kimyasal bileşen ve kaynak parametreleri Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’te verilmiştir. Ayrıca ER110 SG kaynak teline ait mekanik değerler Tablo 5.5’te gösterilmiştir.



Şekil 5-3:ER 110 SG kaynak teli

Tablo 5-3:ER110 SG kimyasal kompozisyonu

ER110 SG	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Mo (%)	Ni (%)	Cr (%)	Cu (%)
	0.09	0.75	1.70	0.5	2.0	0.3	0.2

Tablo 5.4:ER110 SG kaynak marka telinin mekanik değerleri

ER110 SG	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Çentik Dayanımı (ISO-V/-30°C)	Uzama (Lo=5do)(%)

	min. 690	min. 760	min. 47 J	19
--	----------	----------	-----------	----

5.4. Robotlu Kaynak

Bu çalışma da S700 MC strenx yapı çeliğinin kaynaklı birleştirilmesi için, GeKa Power Mig GPS WB 500L Pulse Sinerjik kaynak makinesi ve ona bağlı GeKa Robot - OTC marka kaynak robotu kullanılmıştır. Koruyucu gaz ise, Habaş marka Saf CO₂ ve HB₂₁₂ karışım gazları (%82 Argon, %18 CO) 50LT tercih edilmiştir. Şekil 5.3’de GeKa Robot - OTC marka kaynak robotu gösterilmiştir.



Şekil 5-4:GeKa Robot - OTC marka kaynak robotu

5.5. Makro İnceleme

Makro muayene dağlanmış veya dağlanmamış deney numunelerinin çıplak gözle veya küçük bir büyütme ile incelenmesidir. Kaynaklı birleştirmenin genellikle enine kesitini inceleyerek makroskobik özellikleri belirlenir. Makro inceleme TS EN ISO 17639 standardına göre gerçekleştirilir. Bu süreç, yüzeyin dağlama öncesi ve sonrasında görsel ve/veya optik incelemelerle gerçekleştirilir. Bu amaçla kaynak ile birleştirilen test numuneleri sırası ile 220, 600 ve 1200 gritlik zımpara ile zımparalanmıştır. Dağlama işlemi için NITAL10 dağlayıcı kullanılarak numuneler bir dakika boyunca daldırılarak dağlanmıştır. Şekil 5.4’te test numunelerinin zımparalanması kullanılan cihaz gösterilmiştir.



Şekil 5-5:Test numunelerinin zımparalanması için kullanılan Metkon FORCİPOL 2V

5.6. Vickers Sertlik Cihazı

Sertlik ölçümü öncesinde test numuneleri parlatma işleminden sonra % 2 Nital ile dağlanmıştır. Ölçümler Vickers ölçüm cihazında 136° tepe açılı elmas piramit ve 100 N yükleme yapılarak TS EN ISO 9015-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Test numunelerinin sertlik değerlerinin belirlenmesi için QNESS Q 10M Otomatik Vickers cihazı kullanılmıştır. Şekil 5.5 kaynak test numunelerinin Vickers sertlik değerini ölçümünde kullanılan cihazı göstermektedir.



Şekil 5-6:Test numunelerinin sertlik ölçümünde kullanılan QNESS Q 10M Otomatik

Vickers cihazı



6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu deneysel çalışmada Robot Teknolojisi Ark Kaynağı Yöntemi kullanılarak, S650 çeliği ile Strenx S700MC yüksek mukavemetli yapı çeliğinin özlü kaynak telleri kullanarak kaynak edilebilirlik yetenekleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma esnasında kullanılan kaynak parametreleri Tablo 6.1’de sunulmuştur.

Tablo 6-1:Kaynak özellikleri

Kaynak Markası	Lincoln Power Way 500
Kaynak Modeli	Sinerjik Robot Kaynağı
Kaynak Teli Tel Kalınlığı	1,2 mm
Koruyucu Gaz	%82 Argon %18 Karbondioksit
Kaynak Metodu	İterek Kaynak

Deneylerde kaynak robotunun kullanımı Şekil 6.1’de gösterilmektedir. Robotik kaynak kumandası ile kaynak için gerekli parametreler girilerek (Kaynak Hızı, Tel Hızı vs.) numunenin pozisyonuna göre kaynak başlangıç noktası ayarı yapıp sıfırlama işlemi tamamlandıktan sonra kaynak işlemi başlatılmaktadır.



Şekil 6-1: Robotik Kaynak Makinası Kumandası

Şekil 6-2’de CNC tezgahında kaynak ağzı açılan numunelerin kaynak önce pozisyonlanması ve kaynak açıklığının, kaynak ağzının kontrolü görülmektedir.



Şekil 6-2: 45° Açılışla Kaynak Ağzı Açılan Numunelerin Birleştirme Pozisyonu

Şekil 6.3’de kaynak yapılacak numunenin tezgâha sabitlenmesi yapıldıktan sonra kaynak torcunun kaynak başlangıç noktasına ayarlanması görülmektedir.



Şekil 6-3: Numunelerin Tezgaha Sabitlenerek Kaynak Torcunun Kaynak Başlangıç Noktasına Ayarlanması

Robot kaynak makinesinin fabrika içerisindeki seri kaynaklı imalat aşamaları Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’te sunulmaktadır.



Şekil 6-4 : Robotik Kaynak Makinasının Fabrika İçinde Seri Kaynaklı İmalat Aşaması



Şekil 6-5 : Robotik Kaynak Makinasının Fabrika İçinde Seri Kaynaklı İmalat Aşaması

Yapılacak olan deney için Tablo 6-2’ de görülen kaynak parametreleri seçilmiştir. Her bir numune için karşılık gelen kaynak hızı, kaynak teli hızı ve Amper değerinde kaynak yapılacaktır. Kullanılan kaynak makinasında kaynak hızı ve kaynak teli hızı kumanda ile ayarlandığında kaynak başladıktan sonra amper değeri tel hızına bağlı olarak otomatik olarak makine tarafından ayarlanmaktadır.

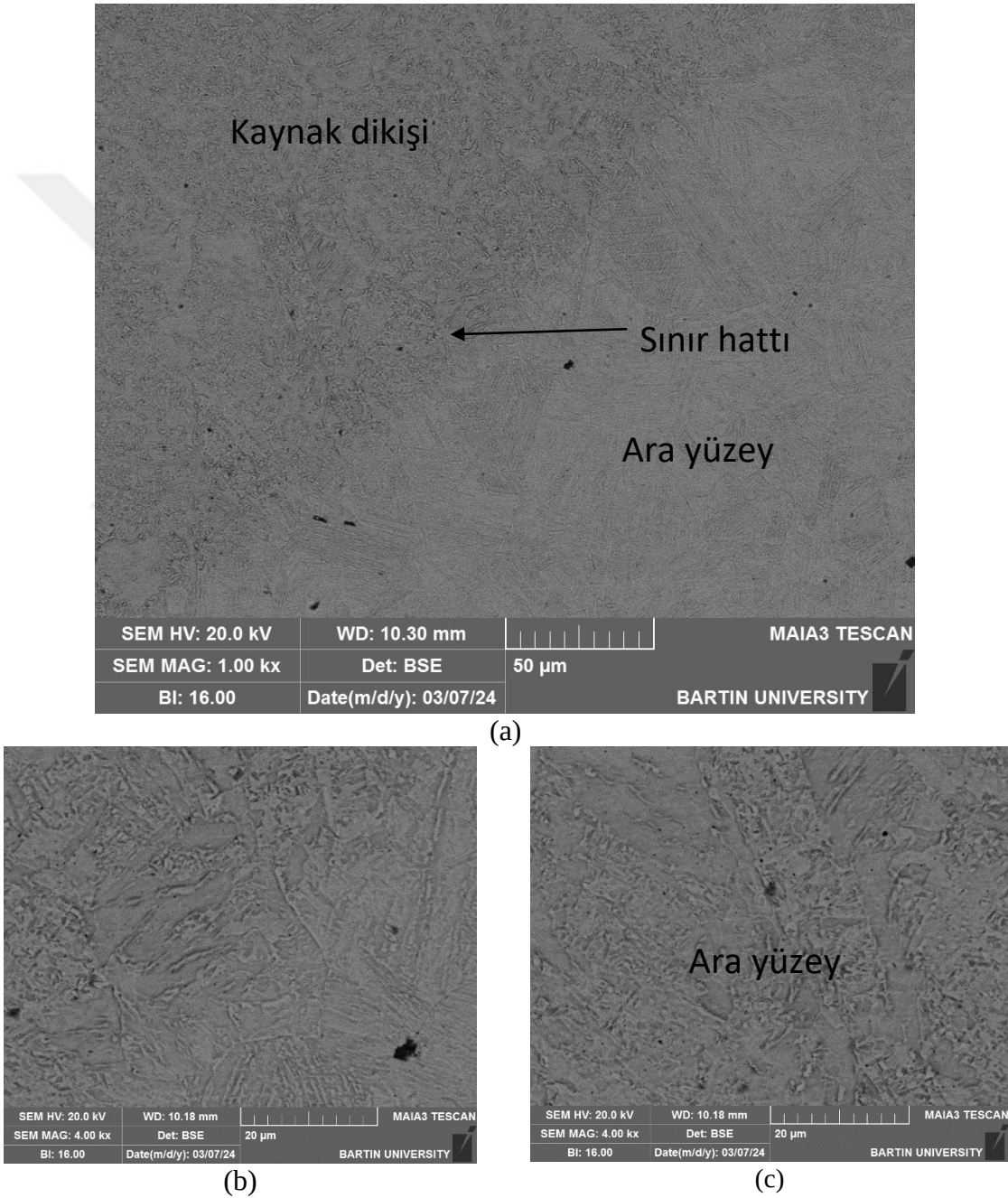
Tablo 6-2:Deney parametreleri

Parça No	Kaynak Hızı	Tel Hızı	Amper
	mm/dk	mm/dk	A
1	450	500	160
2	450	550	165
3	450	650	190
4	450	70	220
5	450	600	175
6	300	650	190
7	350	650	190
8	400	650	190
9	500	650	190
10	550	650	190



Şekil 6-6: 1 Nolu Numunenin Optik mikroskop görüntüsü 5 x

Kaynak parametreleri Tablo 6.2’de verilen ve 450 mm/dk kaynak hızı, 500 mm/dk tel hızı ve 160 Amper kaynak değerinde alın kaynağına tabi tutulan numunenin optik mikroskop fotoğrafı Şekil 6.6’de verilmiştir. Kaynak dikişinin sınır hattı açıkça görülebilmektedir. Kaynak boğazı 3813 μm olarak ölçülmüştür. Kaynak dikiş genişliği 8436 μm olarak belirlenmiştir. Kaynak dikişi üzerinden alınan mikro sertlik değeri 396 HV ara yüzeyden alınan değer 480 HV ve ana malzemeden alınan değer ise 316 HV olarak belirlenmiştir.



Şekil 6-7:1 Nolu Numunenin SEM mikroskop görüntüsü a.1000x, b-c. 4000x

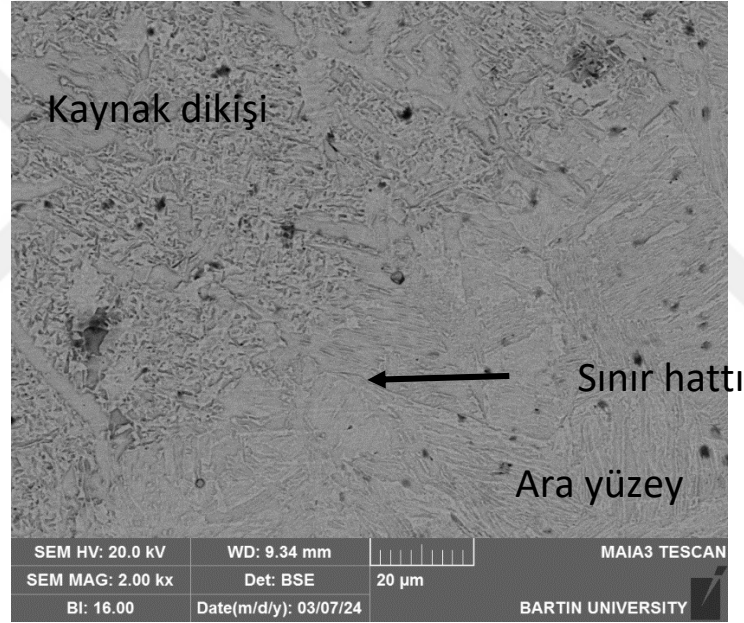
Numunenin ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde meydana gelen mikroyapı değişimlerini daha detaylı incelemek için Şekil 6.3. (a),(b),(c)'de SEM (Scanning Electron Microscope/ Taramalı Elektron Mikroskobu) mikroskobu görüntüsü verilmiştir. Buradaki fotoğraf üzerinde sınır hattı açıkça görülebilmektedir Şekil 6.7 (a). Sınır hattının üst tarafında kalan ve kaynak dikişi bölgesini ifade eden bölgede sementitlerin daha kalın ancak kısa formda olduğu görülmektedir Şekil 6.7 (b). Yine Şekil 6.7 (c) incelendiğinde mikroyapıda tane irileşmesinin varlığı ile birlikte perlit yapının daha ince ve homojen bir yapıda oluştuğunu söylemek mümkündür.



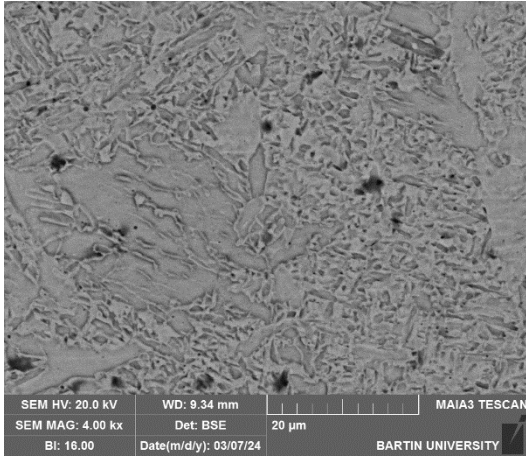
Şekil 6-8:2 Nolu Numunenin Optik mikroskop görüntüsü 5 x

Şekil 6.4'te kaynak parametreleri Tablo 6.2'de verilen ve 450 mm/dk kaynak hızı, 550 mm/dk tel hızı ve 160 Amper kaynak değerinde alın kaynağına tabi tutulan numunenin optik mikroskop fotoğrafı verilmiştir. Bu kaynak işleminden sonrada kaynak dikişinin sınır hattı açıkça görülebilmektedir. Kaynak boğazı 4377 μm olarak, Kaynak dikiş genişliği 9232 μm olarak belirlenmiştir. Kaynak dikişi üzerinden alınan mikro sertlik değeri 448 HV ara yüzeyden alınan değer 484 HV ve ana malzemedan alınan değer ise 340 HV olarak belirlenmiştir. Bir önceki numune ile kıyaslandığında kaynak dikiş genişliğinin arttığı ve nüfuzuyetin daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca hem kaynak dikişi hem de ara yüzey

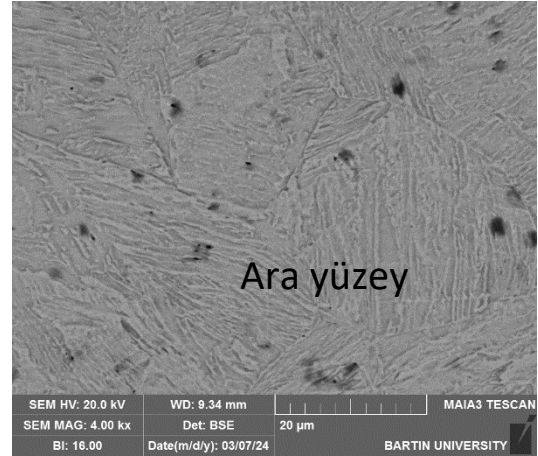
bölgesinde sertlik nispeten daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Bu durumu daha geniş formda oluşan kaynak dikişinin daha hızlı soğuması ile açıklamak mümkündür. Yine kanyak tel hızının ve amperin artması kaynak dikişi üzerinde etkili olmuştur. Kaynak kökü bir önceki numuneye kıyasla daha köşeli bir şekilde oluşmuştur. Yine 2 Nolu numunenin ITAB bölgesinde meydana gelen mikroyapı değişimlerini daha detaylı incelemek için Şekil 6.5 (a),(b),(c)'de SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Bu mikroyapı fotoğrafı üzerinde de sınır hattı görülmektedir Şekil 6.5 (a). Sınır hattının üst tarafında kalan ve kaynak dikişi bölgesini ifade eden bölgede sementitlerin daha kalın ancak kısa formda oluştuğu görülmektedir Şekil 6.9 (b). Yine Şekil 6.5 (c) incelendiğinde mikroyapıda tane irileşmesinin varlığı ile birlikte perlit yapının daha ince ve homojen bir yapıda oluştuğunu söylemek mümkündür.



(a)



(b)



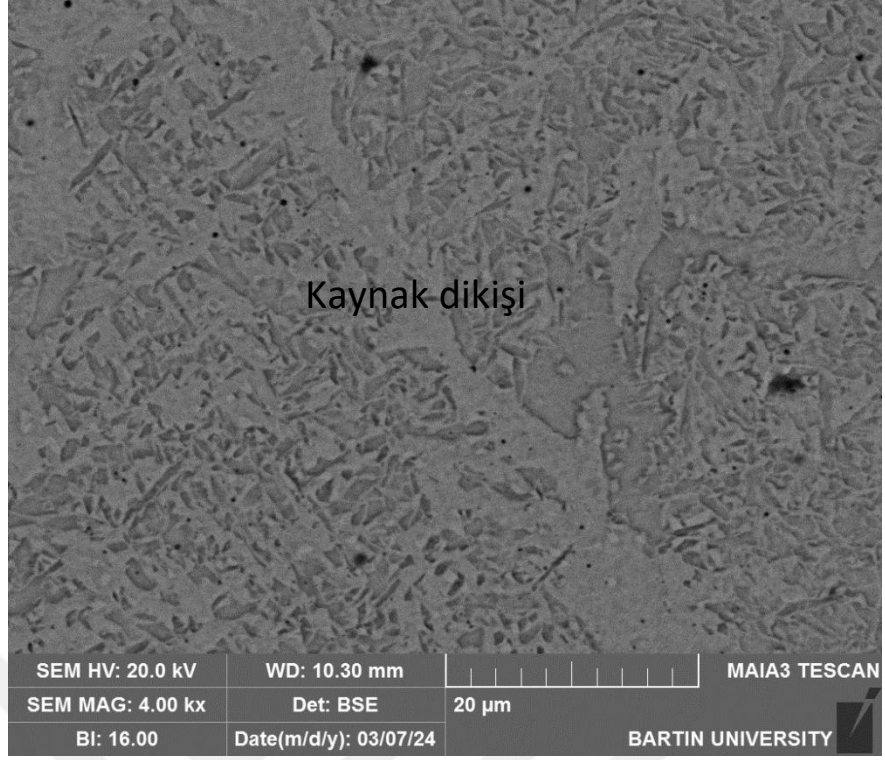
(c)

Şekil 6-9:2 Nolu Numunenin SEM mikroskop görüntüsü (a)2000x, (b), (c) 4000x

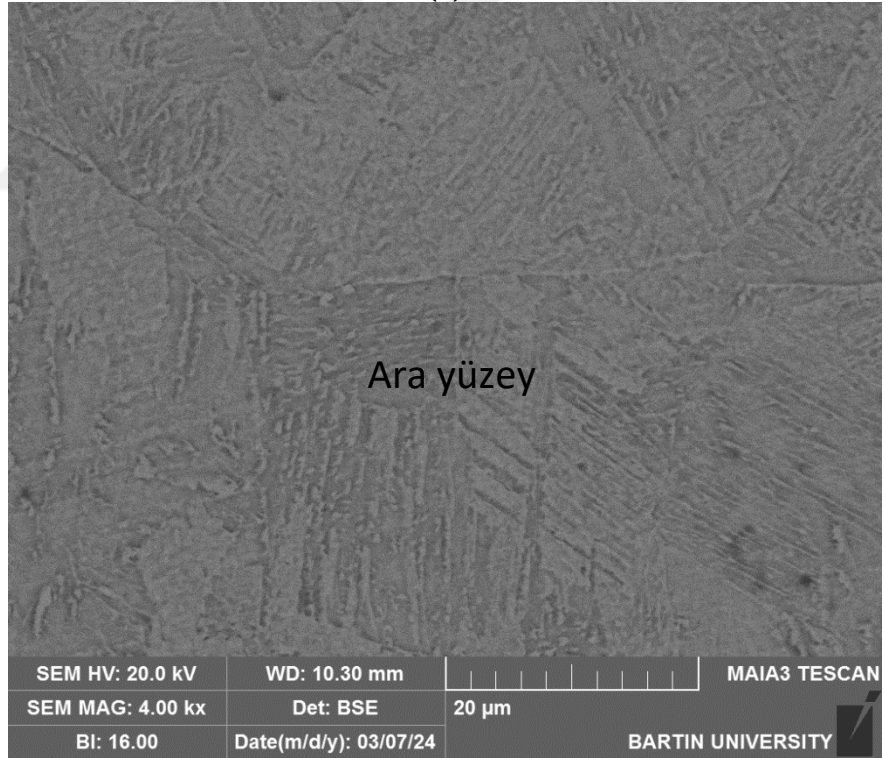


Şekil 6-10:3 Nolu Numunenin Optik mikroskop görüntüsü 5 x

Şekil 6.6'da, kaynak parametreleri Tablo 6.2'de verilen ve 450 mm/dk kaynak hızı, 650 mm/dk tel hızı ve 190 Amper kaynak değerinde alın kaynağına tabi tutulan 3 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı verilmiştir. Kaynak boğazı 4208 μm olarak, Kaynak dikiş genişliği 10110 μm olarak belirlenmiştir. Kaynak dikişi üzerinden alınan mikro sertlik değeri 425 HV ara yüzeyden alınan değer 496 HV ve ana malzemeden alınan değer ise 350 HV olarak belirlenmiştir. Önceki numuneler ile kıyaslandığında kaynak dikiş genişliğinin iki nolu numune ile benzer olduğu ancak daha homojen yapıları bir kaynak dikişinin meydana geldiği ve kök bölgesindeki nüfuziyetin çok daha fazla olduğu görülmektedir. Numunenin tüm bölgelerinde yine nisbi bir sertlik artışı gözlenmiştir. Kaynak bölgesindeki enerji yoğunluğunun artması buna sebep olmuştur. Kaynak kökü bir önceki numuneye kıyasla daha oval oluşmuştur. Yine 3 Nolu numunenin ITAB bölgesinde meydana gelen mikroyapı değişimlerini daha detaylı incelemek için Şekil 6.7 (a) (b) SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Kaynak dikişinde meydana gelen ferrit yapının genişlediği dolayısıyla bu bölgedeki sertliğin düştüğü söylenebilir. Ara yüzey ise homojen yapıları perlitten oluşmuştur.



(a)



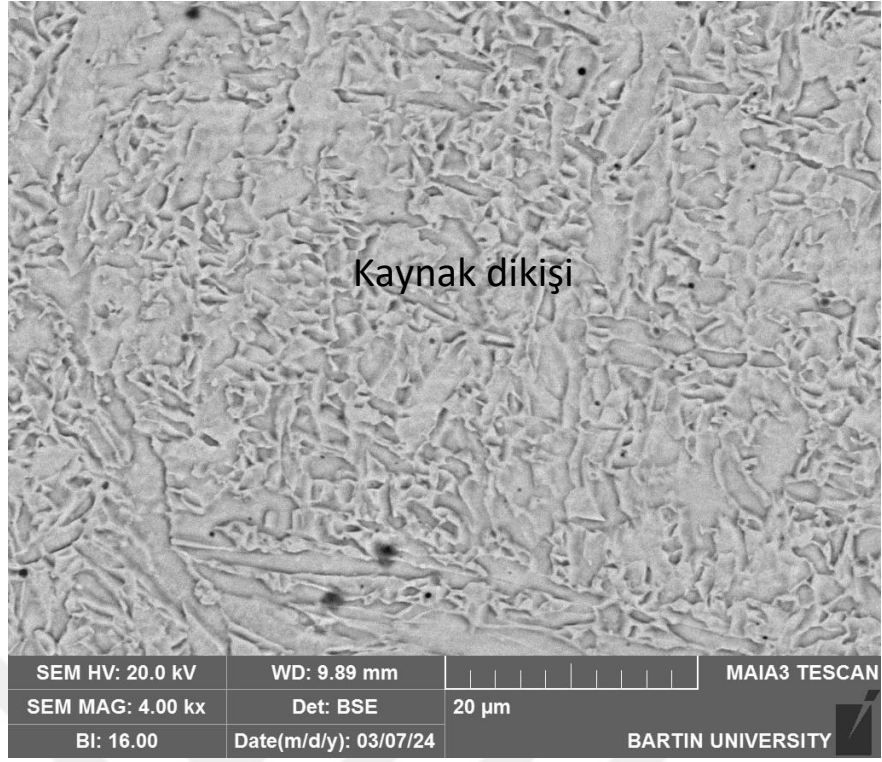
(b)

Şekil 6-11:3 Nolu Numunenin SEM mikroskop görüntüsü a.4000x, b. 4000x

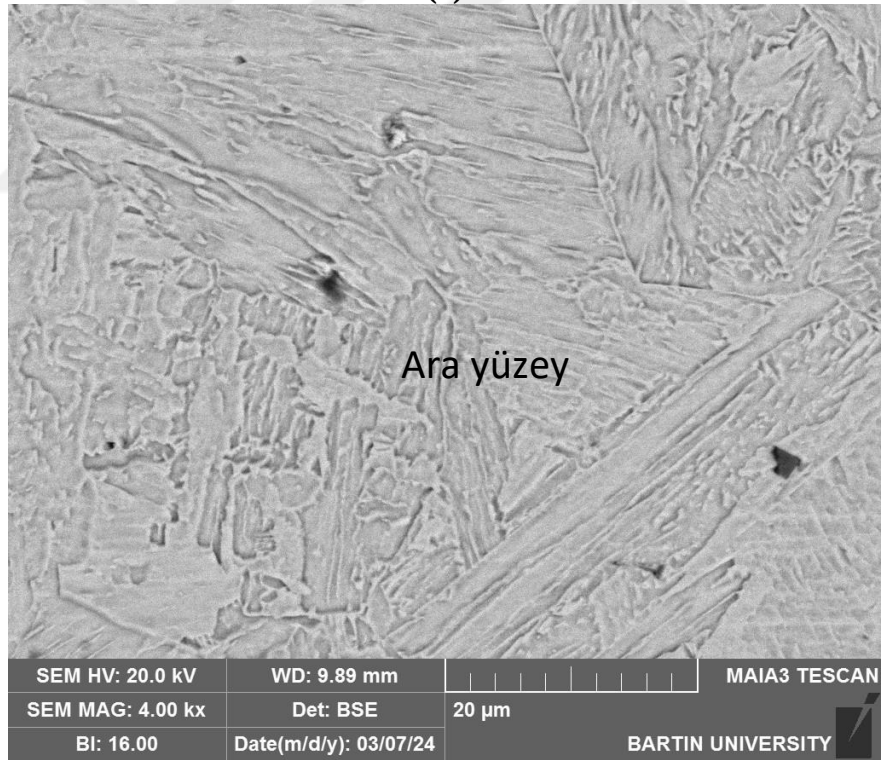


Şekil 6-12:4 Nolu Numunenin Optik mikroskop görüntüsü 5 x

Şekil 6.8’de kaynak parametreleri Tablo 6.2’de verilen ve 450 mm/dk kaynak hızı, 750 mm/dk tel hızı ve 220 amper kaynak değerinde alın kaynağına tabi tutulan 4 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı verilmiştir. Kaynak boğazı 5340 μm olarak, kaynak dikiş genişliği 12672 μm olarak belirlenmiştir. Kaynak dikişi üzerinden alınan mikro sertlik değeri 459 HV ara yüzeyden alınan değer 503 HV ve ana malzemedan alınan değer ise 400 HV olarak belirlenmiştir. Önceki numuneler ile kıyaslandığında kaynak dikiş genişliğinin iki nolu numune ile benzer olduğu ancak daha homojen yapıları bir kaynak dikişinin meydana geldiği ve kök bölgesindeki nüfuziyetin çok daha fazla olduğu görülmektedir. Kaynak dikişinin esas metal üzerinde kalan birikme oranının arttığı görülmüştür. Numunenin tüm bölgelerinde yine nisbi bir sertlik artışı gözlenmiştir. Kaynak bölgesindeki enerji yoğunluğunun artması buna sebep olmuştur. Kaynak kökü bir önceki numuneye kıyasla kök bölgesi boyun vermiştir. ITAB bölgesinde meydana gelen mikroyapı değişimlerini daha detaylı incelemek için Şekil 6.9 (a) (b) SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Özellikle Kaynak dikişi bölgesinde oluşan mikroyapının ince taneli dağılım göstermesi ve homojen dağılımı sertliğin artmasında etken parametre olmuştur. Ara yüzeydeki perlit yapısının ise kabalaştığı söylenebilir.



(a)



(b)

Şekil 6-13:4 Nolu Numunenin SEM mikroskop görüntüsü a.4000x, b. 4000x

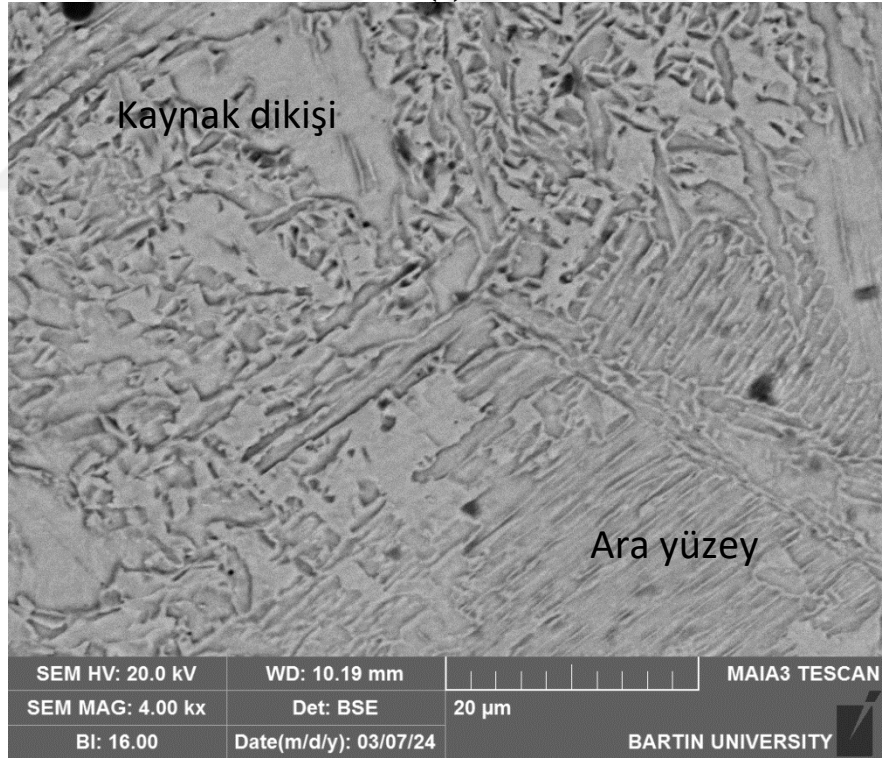


Şekil 6-14:5 Nolu Numunenin Optik mikroskop görüntüsü 5 x

Şekil 6.10’da 450 mm/dk kaynak hızı, 600 mm/dk tel hızı ve 1750 amper kaynak değerinde alın kaynağına tabi tutulan 5 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı verilmiştir. Kaynak boğazı 4000 μm olarak, Kaynak dikiş genişliği 9000 μm olarak belirlenmiştir. Kaynak dikişi üzerinden alınan mikro sertlik değeri 562 HV ara yüzeyden alınan değer 600 HV ve ana malzemeden alınan değer ise 370 HV olarak belirlenmiştir. Önceki numuneler ile kıyaslandığında kaynak dikiş genişliğinin ve derinliğinin daha düşük olduğu görülmüştür. Numunenin tüm bölgelerinde yine bir sertlik artışı gözlenmiştir. Kaynak dikişinin dar ve sıkı olması hızlı soğumaya sebep olacağından bu durum mantıklı görülmektedir. ITAB bölgesinde meydana gelen mikroyapı değişimlerini daha detaylı incelemek için Şekil 6.11 (a) (b) SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Özellikle Kaynak dikişi bölgesinde oluşan mikroyapının ince taneli dağılım göstermesi ve homojen dağılımı sertliğin artmasında etken parametre olmuştur. Ara yüzeydeki perlit yapının ise kabalaştığı söylenebilir.



(a)

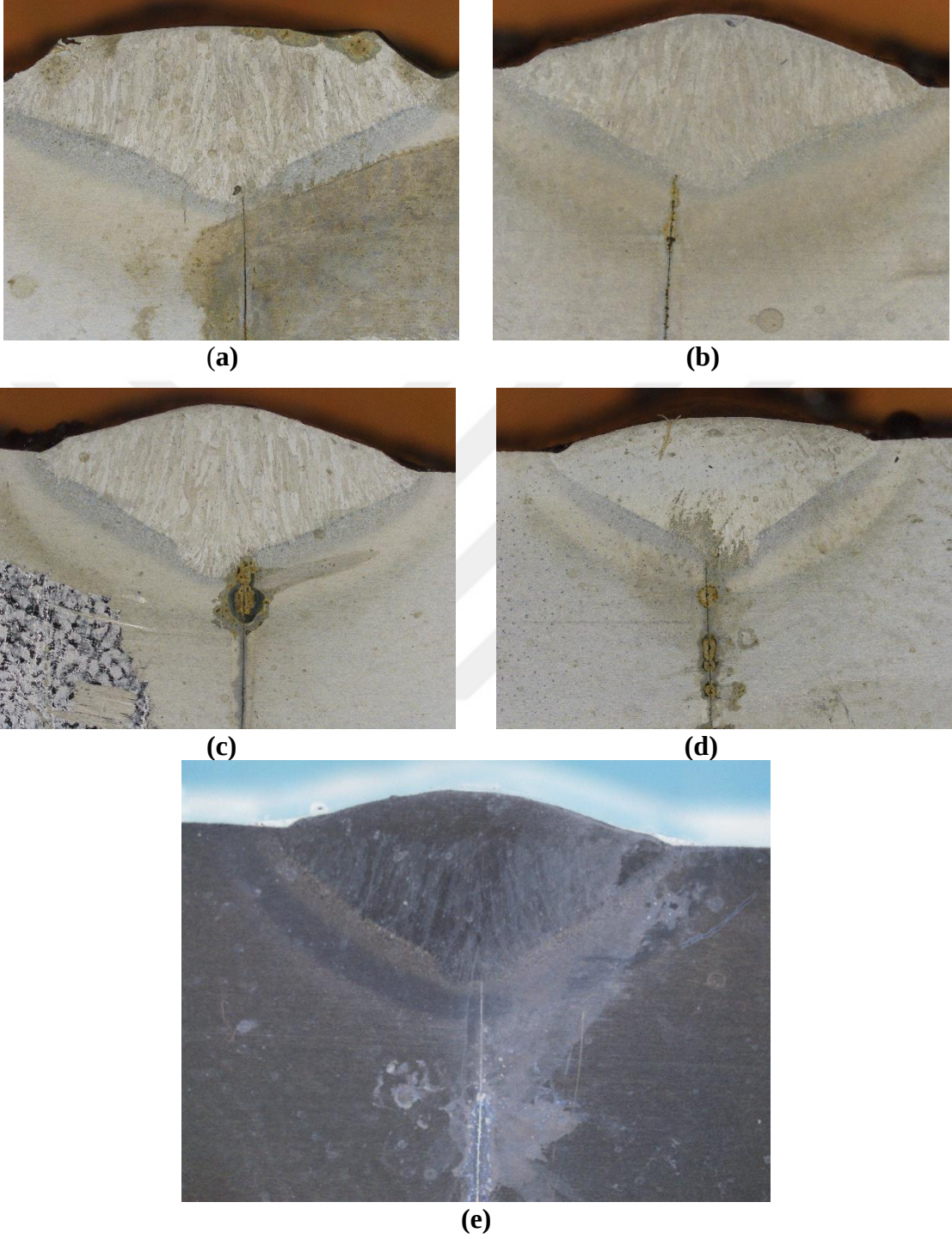


(b)

Şekil 6-15: 5 Nolu Numunenin SEM mikroskop görüntüsü a.4000x, b. 4000x

Şekil 6.12 (a)-(d)'de tel besleme hızı ve amper değerleri sabit tutulmak üzere kaynak hızının değiştirildiği (Bakınız Tablo 6.2) beş numunenin optik mikroskop fotoğrafı verilmiştir. Kaynak hızının artması oluşan kaynak dikişinin üzerinde etkili olmuştur. Bunu optik

mikroyapı fotoğraflarından görmek mümkündür. Kaynak hızının 300-350 mm/dk olduğu durumlarda dahi kaynak dikiş profilinin değiştiğini göstermektedir Şekil 6.12 (a)-(b).

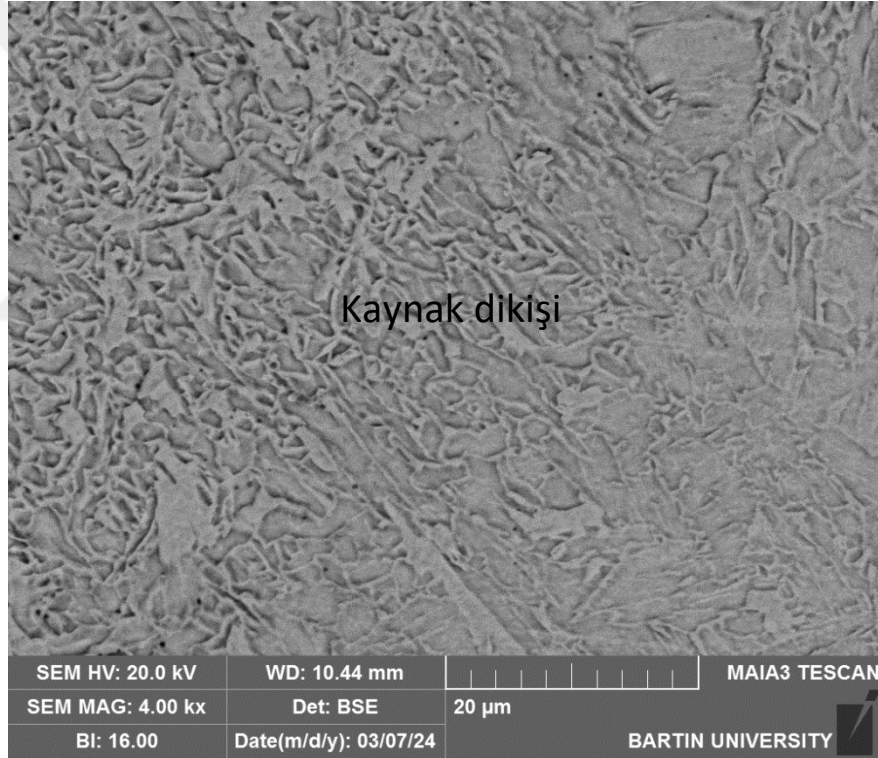


Şekil 6-16:6-10 nolu numunelerin optik mikroskop görüntüleri 5 x

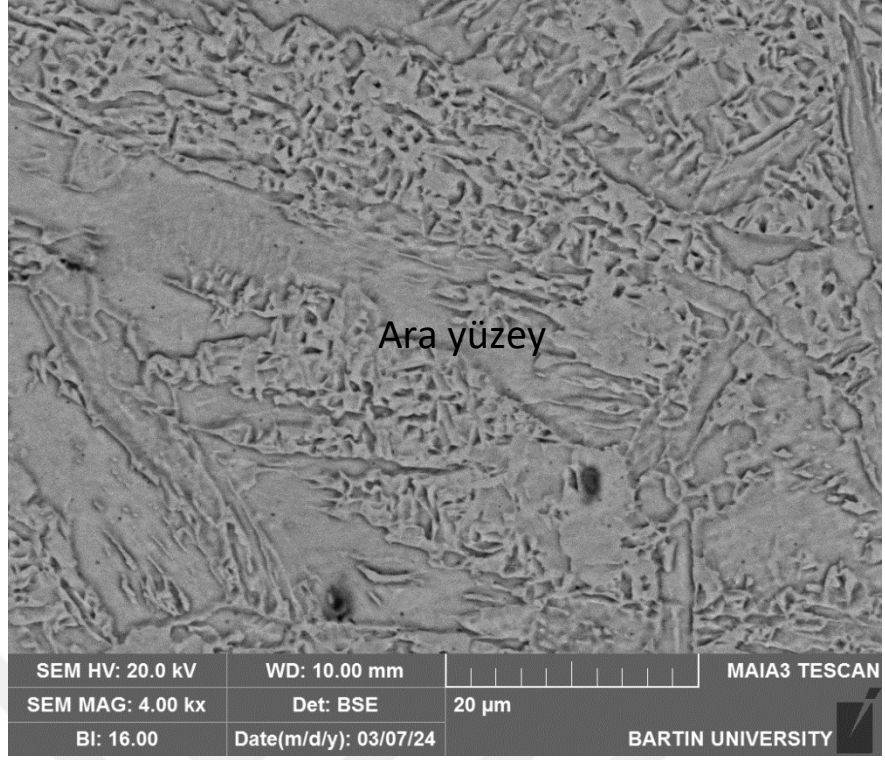
Kaynak hızının 50 mm/dk artması dikiş yüzeyinin daha oval bir yapıya sahip olmasına sebep vermiştir. Benzer durum 400 mm/dk lık tel besleme hızında da görülmüştür Şekil 6.12 (c).

Hızın 450 mm/dk çıkarılması yine kaynak dikişinin yüzey bölgesinde düzleşmeye sebep olmuştur. En son parametre 500 mm/dk olan kaynak dikişi incelendiğinde homojen bir yapının varlığı görülmektedir Şekil 6.12 (e).

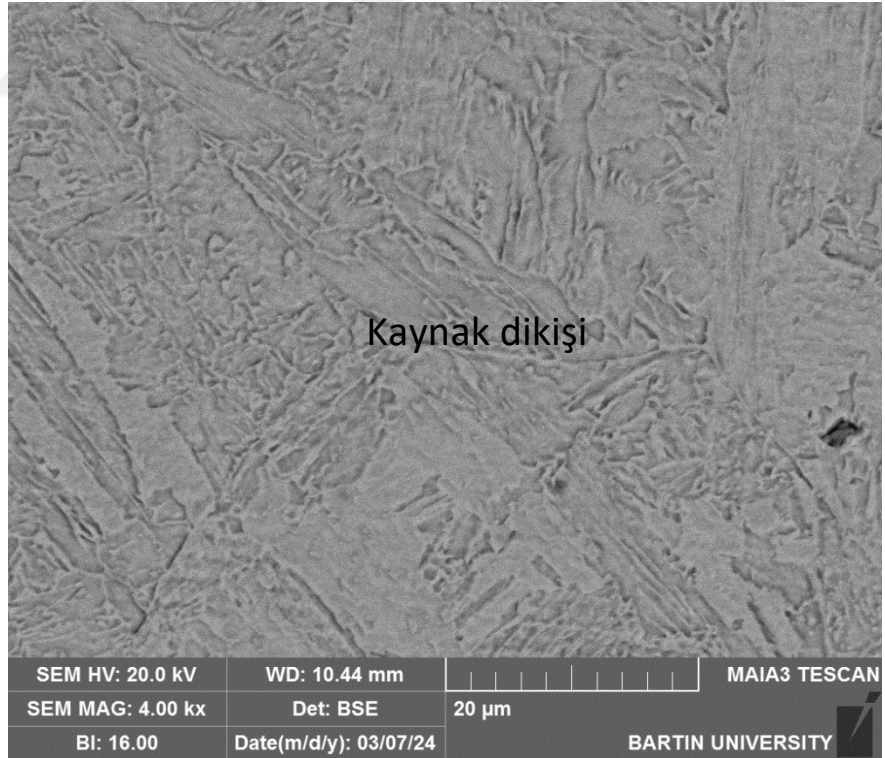
ITAB bölgesinde meydana gelen mikroyapı değişimlerini daha detaylı incelemek için Şekil 6.13’de altı nolu numunenin, Şekil 6.14’te ise on nolu numunenin kaynak dikiş bölgesine ait SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Altı nolu numunenin kaynak dikiş bölgesinde oluşan mikroyapının ince taneli dağılım göstermiştir. On nolu numunede ise homojen yapı içerisinde kalın ferrit matrisin oluştuğu görülmektedir. Benzer şekilde Şekil 6.15 ve 6.16’da altı ve on nolu numunelerin ara yüzey SEM görüntüsü verilmiştir. Yine benzer şekilde on nolu numunenin mikroyapısının kabalaştığı görülmektedir.



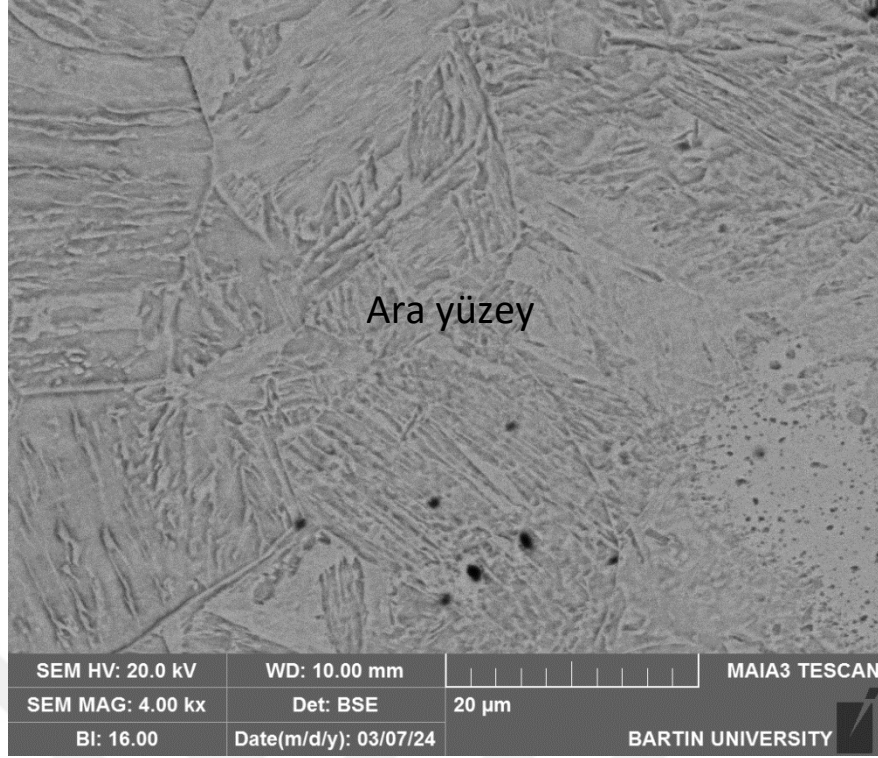
Şekil 6-17:6 Nolu Numunenin kaynak dikişi SEM mikroskop görüntüsü 4000x



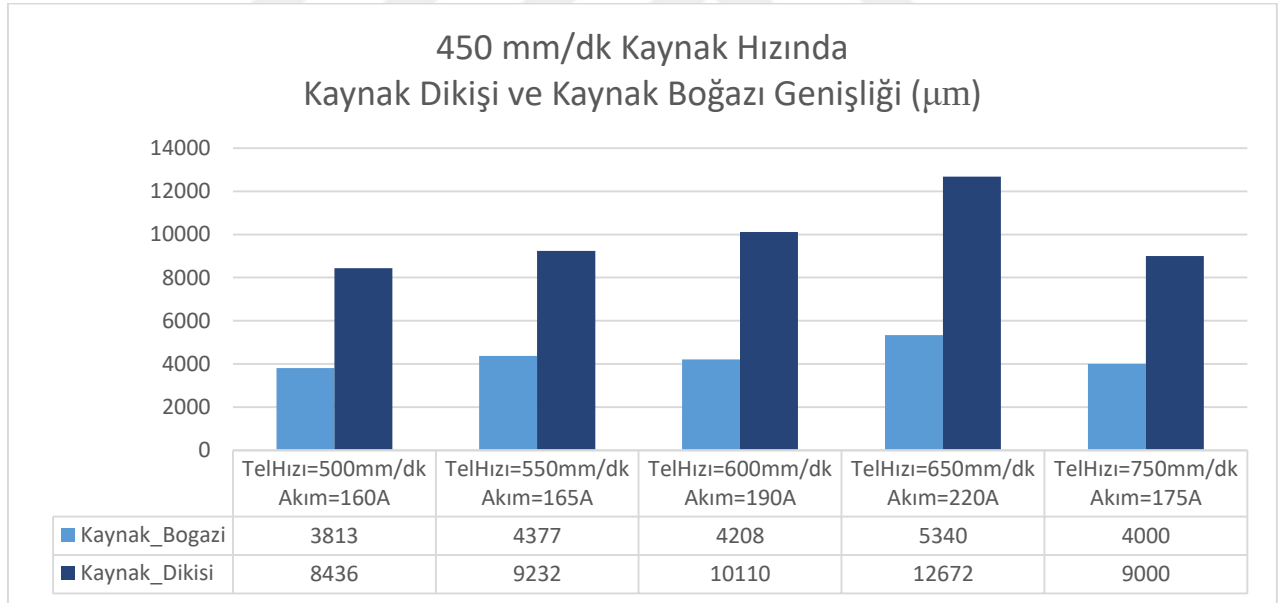
Şekil 6-18:10 Nolu Numunenin kaynak dikişi SEM mikroskop görüntüsü 4000x



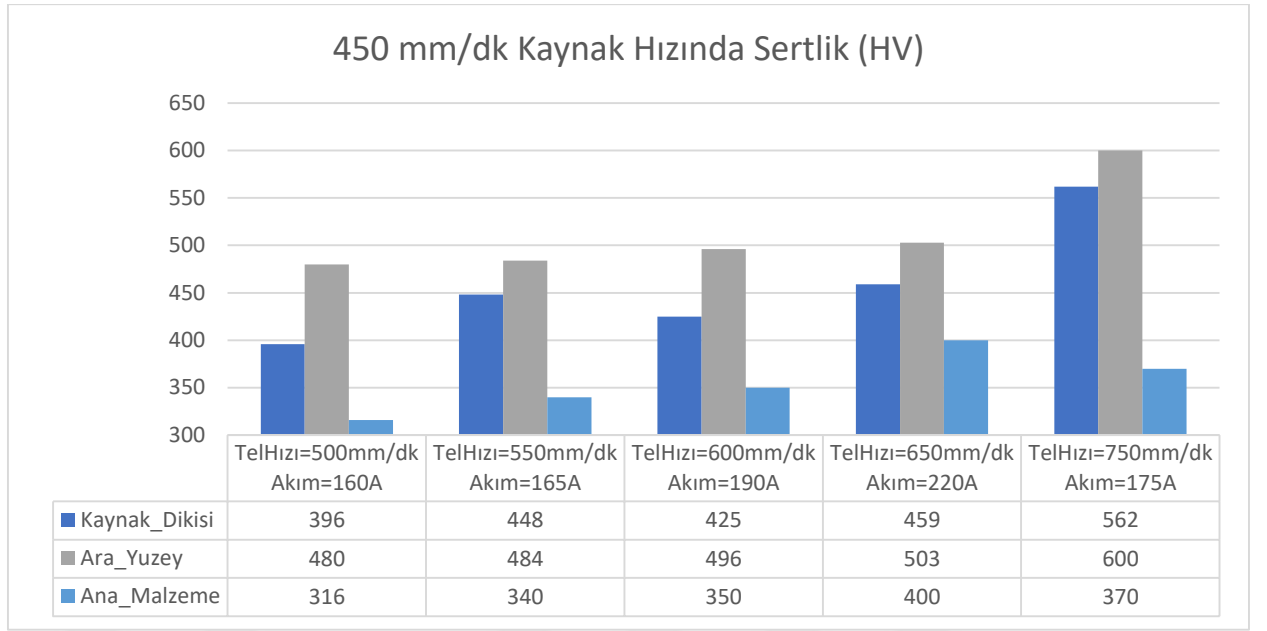
Şekil 6-19:6 Nolu Numunenin ara yüzey SEM mikroskop görüntüsü 4000x



Şekil 6-20: 10 Nolu Numunenin ara yüzey SEM mikroskop görüntüsü 4000x



Şekil 6-21:450 mm/dk Kaynak Hızında Kaynak Dikişi ve Boğaz Genişliği



Şekil 6-22:450 mm/dk Kaynak Hızında Sertlik Değerleri

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu deneysel araştırmada, aşınma direnci ve yüksek mukavemet özellikleriyle tanınan strenx S700MC yapı çeliğinin, robotik kaynak yöntemiyle kalın tel kullanılarak kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilmiş ve gerekli mekanik testlerle bu yöntemin verimliliği ve avantajları belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre elde edilen deneysel sonuçlar aşağıda sırasıyla özetlenmiştir:

1. 450 mm/dk kaynak hızı, 500 mm/dk tel hızı ve 160 Amper kaynak değerlerinde gerçekleştirilen alın kaynağı neticesinde, kaynak boğazı 3813 μm , kaynak dikiş genişliği 8436 μm olarak elde edilmiştir. Kaynak dikişi üzerinden alınan mikro sertlik değeri, ara yüzeyden alınan ve ana malzemedan alınan değerler sırasıyla 396 HV, 480 HV ve 316 HV olarak elde edilmiştir. Numunelerin ITAB meydana gelen mikroyapı değişimleri Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde, sınır hattı açıkça görülmüştür ve sınır hattının üst tarafında kalan ve kaynak dikiş bölgesini ifade eden bölgede, sementitlerin daha kalın ancak kısa formda olduğu gözlemlenmiştir. İlaveten, mikroyapıda tane irileşmesinin varlığı ile birlikte, perlit yapının daha ince ve homojen bir yapıda olduğu gözlemlenmektedir.
2. Kaynak hızının sabit tutularak, tel hızının ve akımın artırılmasıyla; kaynak dikiş genişliğinin arttığı ve daha fazla nüfuz ettiği görülmektedir. Ayrıca hem kaynak dikişi hem de ara yüzey bölgesinde sertliğin de arttığı tespit edilmiştir. Bu durumu daha geniş formda oluşan kaynak dikişinin daha hızlı soğuması ile açıklamak mümkündür.
3. Kaynak hızının sabit tutularak, tel hızının ve akımın bir miktar daha artırılmasıyla daha homojen yapıya sahip bir kaynak dikişinin meydana geldiği ve kök bölgesindeki nüfuziyetin çok daha fazla olduğu görülmektedir. Numunenin tüm bölgelerinde yine önceki numuneler ile mukayese edildiğinde sertlik artışı gözlenmiştir. Kaynak bölgesindeki enerji yoğunluğunun artması buna sebep olmuştur. Kaynak kökü bir önceki numuneye kıyasla daha oval olmuştur.
4. Kaynak dikişinin esas metal üzerinde kalan birikme oranının arttığı görülmüştür. Numunenin tüm bölgelerinde yine nisbi bir sertlik artışı gözlenmiştir. Kaynak bölgesindeki enerji yoğunluğunun artması buna sebep olmuştur. Kaynak kökü bir önceki numuneye kıyasla kök bölgesi boyun vermiştir.

5. Aynı kaynak hızında, tel hızının ve akımın bir miktar düşürülmesiyle, kaynak dikiş genişliğinin ve derinliğinin daha düşük olduğu görülmüştür. Numunenin tüm bölgelerinde yine bir sertlik artışı gözlenmiştir. Kaynak dikişinin dar ve sıkı olması hızlı soğumaya sebep olacağından bu durum mantıklı görülmektedir.
6. Tel hızı ve akımın sabit tutulup kaynak hızının kademeli artırılmasıyla, kaynak dikişinin değişikliğe uğradığı gözlemlenmektedir. Kaynak hızının dakikada 50 mm artırılması, daha oval bir yapıda dikiş yüzeyi elde edilmesine neden olmaktadır.
7. Tel hızı ve akımın sabit tutulup kaynak hızının kademeli artırılmasıyla, en düşük kaynak hızına (350 mm/dk) maruz kalan numunede kaynak dikiş bölgesinde oluşan mikroyapı ince taneli dağılım göstermektedir. Kaynak hızının en yüksek (550 mm/dk) olduğu numunede ise, homojen yapı içerisinde kalın ferrit matrisin olduğu görülmektedir.
8. Sabit tel hızı ve sabit akım koşullarında, kaynak hızının artmasıyla mikroyapının kabalaştığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Antonini, J. M. (2014). Health Effects Associated with Welding. *Comprehensive Materials Processing*, 8, 49–70. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00807-4>
- Baghel, P. K. (2022). Effect of SMAW process parameters on similar and dissimilar metal welds: An overview. *Heliyon*, 8(12), e12161. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12161>
- Biradar, A. K., ve Dabade, B. M. (2020). Optimization of resistance spot welding process parameters in dissimilar joint of MS and ASS 304 sheets. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1284–1288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.256>
- Buijnsters, J., Bouwelen, F. M., Schermer, J., Enckevort, W., ve Meulen, J. J. (2000). Chemical vapour deposition of diamond on nitrided chromium using an oxyacetylene flame. *Diamond and Related Materials*, 9, 341–345. [https://doi.org/10.1016/S0925-9635\(00\)00203-X](https://doi.org/10.1016/S0925-9635(00)00203-X)
- Chen, J., Wu, C. S., ve Chen, M. A. (2014). Improvement of welding heat source models for TIG-MIG hybrid welding process. *Journal of Manufacturing Processes*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2014.06.002>
- Chen, Y., Fang, C., Yang, Z., Wu, M., Jiang, J., ve Wang, X. (2018). Arc properties and droplet transfer characteristics in cable-type welding wire electrogas welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 32, 506–512. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.03.021>
- Darnell, M., Harwig, D., ve Liu, X. (2022). *Experimental Analysis of Metal Inert Gas Based Wire Arc Additive Manufacturing of Aluminum Nanocomposite AA7075. Volume 2; V002T05A033*. <https://doi.org/10.1115/MSEC2022-85413>
- Groover, M. (2013). *Fundamentals in Modern Manufacturing : Material, Processes, and Systems / M.P. Groover*.
- Jou, M. (2003). Real time monitoring weld quality of resistance spot welding for the fabrication of sheet metal assemblies. *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 102–113. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00409-0](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00409-0)
- Katayama, S. (2005). 6 - New developments in laser welding. In N. B. T.-N. D. in A. W. Ahmed (Ed.), *Woodhead Publishing Series in Welding and Other Joining Technologies* (pp. 158–197). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845690892.158>
- Katayama, S. (2019). *Laser Welding BT - Novel Structured Metallic and Inorganic Materials* (Y. Setsuhara, T. Kamiya, ve S. Yamaura (eds.); pp. 161–176). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7611-5_10
- Lawrence, J., ve Katayama, S. (2018). Understanding and Improving Process Control in Pulsed and Continuous Wave Laser Welding. In *Advances in Laser Materials*

Processing (Second Edition) (pp. 153–183). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101252-9.00007-8>

- Liu, Z. M., Cui, S., Luo, Z., Zhang, C., Wang, Z., ve Zhang, Y. (2016). Plasma arc welding: Process variants and its recent developments of sensing, controlling and modeling. *Journal of Manufacturing Processes*, 23, 315–327. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.04.004>
- Liu, Z., Wu, C. S., ve Gao, J. (2013). Vision-based observation of keyhole geometry in plasma arc welding. *International Journal of Thermal Sciences*, 63, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2012.07.006>
- Lu, W., Zhang, Y. M., ve Lin, W.-Y. (2004). Nonlinear Interval Model Control of Quasi-Keyhole Arc Welding Process. *Automatica*, 40(5), 805–813. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2003.11.017>
- Magudeeswaran, G., Balasubramanian, V., Sathyanarayanan, S., Reddy, G. M., Moitra, A., Venugopal, S., ve Sasikala, G. (2010). Dynamic Fracture Toughness of Armour Grade Quenched and Tempered Steel Joints Fabricated Using Low Hydrogen Ferritic Fillers. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 17(5), 51–56. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(10\)60099-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1006-706X(10)60099-4)
- Mathers, G. (2002). *The Welding of Aluminium and Its Alloys*. Elsevier Science.
- Opeka, M., Talmy, I., ve Zaykoski, J. (2004). Oxidation-based materials selection for 2000°C + hypersonic aerosurfaces: Theoretical considerations and historical experience. *Journal of Materials Science*, 39. <https://doi.org/10.1023/B:JMSC.0000041686.21788.77>
- Pandya, D., Badgujar, A., ve Ghetiya, N. (2020). A novel perception toward welding of stainless steel by activated TIG welding: a review. *Materials and Manufacturing Processes*, 36, 1–27. <https://doi.org/10.1080/10426914.2020.1854467>
- Park, C.-S., Yun, J.-O., Kim, B.-J., ve Lee, J.-S. (2007). A study of electrogas welding process for vertical welding joint in the shipbuilding. 51, 605–614.
- Phillips, D. (2015). *Welding Engineering: An Introduction*. <https://doi.org/10.1002/9781119191407>
- Salleh, M. S., Ramli, M. I., ve Yahaya, S. H. (2011). *Study On Mechanical Properties And Microstructure Analysis Of Aisi 304l Stainless Steel Weldments*.
- Sasaki, K., Suda, K., Motomatsu, R., Hashiba, Y., Ohkita, S., ve Imai, S. (2004). *Development of Two-electrode Electrogas Arc Welding Process*.
- Schultz, H. (1993). 8 - Electron beam welding machines and equipment. In H. B. T.-E. B. W. Schultz (Ed.), *Woodhead Publishing Series in Welding and Other Joining Technologies* (pp. 141–168). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845698782.141>

- Song, H., Xia, C., Meng, G., ve Peng, D. (2003). Preparation of Gd₂O₃ doped CeO₂ thin films by oxy-acetylene combustion assisted aerosol-chemical vapor deposition technique on various substrates and zone model for microstructure. *Thin Solid Films*, 434(1), 244–249. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(03\)00500-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0040-6090(03)00500-5)
- Sunny, K., ve Korra, N. (2021). A systematic review about welding of super austenitic stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.185>
- Timings, R. (2008). *Chapter 11 - Joining processes (welding)* (R. B. T.-F. and W. E. Timings (ed.); pp. 467–520). Newnes.
- Varshney, D., ve Kumar, K. (2021). Application and use of different aluminium alloys with respect to workability, strength and welding parameter optimization. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 1143–1152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.013>
- Wang, Y., ve Chen, Q. (2002). On-line quality monitoring in plasma-arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 120(1), 270–274. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)01190-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01190-6)
- Węglowski, M. S., Błacha, S., ve Phillips, A. (2016). Electron beam welding – Techniques and trends – Review. *Vacuum*, 130, 72–92. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2016.05.004>
- Yu, W., Fan, M., Shi, J., Xue, F., Chen, X., ve Liu, H. (2018). A comparison between fracture toughness at different locations of SMAW and GTAW welded joints of primary coolant piping. *Engineering Fracture Mechanics*, 202, 135–146. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.09.021>