

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL KAYNAK
ROBOTLARINDA KULLANILAN
KAYNAK PARAMETRELERİNİN
KAYNAK KALİTESİNE VE
NÜFUZİYETİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Ali KUL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI**

**GEBZE
2009**



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından tarihinde tez savunma sınavı yapılan'ın tez çalışması Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

ÜYE :

ÜYE :

ONAY

G.Y.T.E. Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Endüstriyel Kaynak Robotlarında Kullanılan Kaynak Parametrelerinin Kaynak Kalitesine ve Nüfuziyetine Etkisinin Araştırılması

YAZAR ADI : Ali KUL

Bu çalışmada, günümüz endüstrisinde önemli bir yere sahip olan endüstriyel robotların kaynak uygulamalarının otomasyonunda kullanılan robotik kaynak sistemleri hakkında detaylı bilgiler verilmiş ve robotik kaynak sistemlerinin kullandığı kaynak parametrelerinin etkileri deney çalışması yapılarak incelenmiştir.

Bunun için, tezin ilk bölümünde endüstriyel robotlarla ilgili çeşitli tanımlamalar yapılmış, bu robotların sınıflandırma yöntemleri ve uygulama alanları incelenmiştir.

Daha sonra, kaynak ve robotik kaynak sistemleri ile alakalı detaylı bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler içerisinde robotik kaynak ekipmanları anlatılmış ve robot programlama yöntemleri içerisinde, bu tezin deneysel çalışmasında kullanılmış olan ABB IRB 2400L endüstriyel robotunun programlanması için kullanılan Rapid programlama dili hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Bu tezde, kalitenin kaynak yönünden incelemesi de yapılmıştır. Kaynaklarda meydana gelen hatalar ve bu hataları tespit etmek için kullanılan muayene yöntemleri incelenmiştir.

Son bölümde, tezin deneysel çalışması olarak yapılan, ABB IRB 2400L endüstriyel robotunun başlıca kaynak parametreleri olan “tel besleme hızı, uygulanan gerilim miktarı ve kaynak hızı” parametrelerinin kaynak nüfuziyetine etkisi araştırılmış ve yapılan deneyler sonucu elde edilen bulgular ve gözlemler detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS : Investigation Of Effect Of Welding Parametres Used
In Industrial Welding Robots On Welding Quality
And Penetration

AUTHOR : Ali KUL

In this study, detailed information about robotic welding system used in welding applications automation of industrial robots which has an important place in recent days is explored and the influences of welding parameters used by robotic welding systems are examined by doing experimental works.

For this reason, in the first phase of thesis, different definitions of industrial robots are done; the classification methods and application fields of these robots are investigated.

Then, detailed information about welding and robotic welding systems are given. In this information, robotic welding equipments are explained, Among robot programming methods, detailed information about Rapid programming language used in ABB IRB 2400L industrial robot programming that is used in experimental work of this thesis is examined.

In this thesis, examination for welding quality also is done. Errors occurred in welding and examination methods used in determination of these errors are investigated.

In the last part, as an experimental work of thesis, influence on welding penetration of ABB IRB 2400L industrial robot's main welding parameters such as; "weld wire feed, weld voltage and weld speed" is explored, inventions and observations got in experiments' results are explained in a detailed way.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında bana destek ve yol gösterici olan danışman hocam Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI 'ya, endüstriyel kaynak robotları kullanılarak yapılmış olan bu çalışmanın, gerçekleşmiş olduğu TEFAŐ A.Ő. firmasında özellikle, tezin deneysel çalıőmasındaki yardımlarından dolayı Malzeme ve Metalurji Mühendisi Sercan İZGİ baőtta olmak üzere tüm çalıőanlarına ve sahiplerine teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez için literatürde bulunan İngilizce kaynakların, Türkçe 'ye çevrilmesinde bana yardımcı olan ablam Müzeyyen KUL 'a ve verdikleri emeklerle beni bugünlere getiren değerli aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	III
SUMMARY	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ	1
2. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR	3
2.1. Tanımlama	3
2.2. Endüstriyel Robotların Uygulama Alanları	3
2.3. Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması	7
2.3.1. Robotların Mekanik Yapılarına Göre Sınıflandırılması	7
2.3.1.1. Kartezyen Robotlar	8
2.3.1.2. Silindirik Robotlar	9
2.3.1.3. SCARA Robotlar	9
2.3.1.4. Küresel Robotlar	10
2.3.1.5. Dönel Robotlar	10
2.3.2. Robotların Kontrol Yöntemlerine Göre Sınıflandırılması	11
2.3.2.1. Noktadan Noktaya Kontrollü Robot	11
2.3.2.2. Sürekli Yol (Continuous-path) Kontrollü Robot	11
2.3.3. Tahrik Sistemlerine Göre Sınıflandırılması	11
2.3.3.1. Hidrolik Sistemli Robotlar	12
2.3.3.2. Elektrik Sistemli Robotlar	12
2.3.3.3. Pnömatik Sistemli Robotlar	12
3. ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİ	13
3.1. Kaynağın Tanımı ve Sınıflandırılması	13
3.2. Robotik Kaynak Sistemleri Tarihiçesi	15

3.3.	Robotik Kaynak Çeşitleri	15
3.3.1.	Nokta Direnç Kaynağı	15
3.3.2.	MIG/MAG Kaynağı	17
3.3.3.	TIG Kaynağı	19
3.3.4.	Plazma Kaynağı	20
3.4.	Robotik Kaynak Uygulamaları	22
3.4.1.	Robotik Nokta Direnç Kaynağı Uygulamaları	22
3.4.2.	Robotik Ark Kaynağı Uygulamaları	23
3.5.	Robotik Kaynak Sistemlerinin Temel Bileşenleri	24
3.5.1.	Manipülatör	25
3.5.2.	Elektronik Kontrol Ünitesi	26
3.5.3.	Kaynak Torcu	27
3.5.4.	Tel Sürüş Sistemi	27
3.5.5.	Akım ve Gerilim Üretici	28
3.5.6.	Koruyucu Gazlar	29
3.5.6.1.	Argon	29
3.5.6.2.	Helyum	30
3.5.6.3.	Karbondiyoksit (CO ₂)	30
3.5.6.4.	Oksijen (O ₂)	31
3.5.6.5.	Hidrojen	31
3.5.7.	Pozisyoner ve Sliderler	31
3.5.8.	Soğutucu	32
3.6.	Robotik Kaynak Sistemleri İçin Programlama	33
3.6.1.	Yürütme Metodu	33
3.6.2.	Yönetme Metodu	33
3.6.3.	Çevrimdışı Programlama	34
3.6.4.	ABB RAPID Programı	35
3.6.4.1.	Değişken Tanımlamaları	38
3.6.4.2.	Sabit Tanımlamaları	40
3.6.4.3.	Hareket Komutları	40
3.6.4.4.	Kaynak Komutları	43
4.	KAYNAK ve KALİTE KONTROL	48
4.1.	Kalite Tanımlaması	48

4.2.	Kaynak Hataları	49
4.2.1.	Yetersiz Nüfuziyet	49
4.2.2.	Yetersiz Erime	49
4.2.3.	Yanma Oluklar ve Çentikler	50
4.2.4.	Gözenek Oluşumu	51
4.2.5.	Kaynak Dikişinin Taşması	51
4.2.6.	Cüruf Kalıntıları	52
4.2.7.	Kaynak Çatlakları	52
4.2.8.	Çarpılma	53
4.3.	Kaynaklı Yapıların Muayenesi	54
4.3.1	Tahribatlı Muayene Yöntemleri	54
4.3.2	Tahribatsız Muayene Yöntemleri	54
4.3.2.1.	Gözle Muayene	54
4.3.2.2.	Penetran Sıvı Muayenesi	55
4.3.2.3.	Manyetik Toz Muayenesi	55
4.3.2.4.	Ultrasonik Muayene	56
4.3.2.5.	Radyografik Muayene	56
5.	DENEY ÇALIŞMASI:	
	Değişen Parametrelerin Kaynak Nüfuziyetine Etkisinin Araştırılması	57
5.1.	Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması ve Teknik Bilgiler	57
5.1.1.	Çelik Plakalar ve Teknik Bilgileri	58
5.1.2.	Kaynak Telleri ve Teknik Bilgileri	59
5.1.3.	Koruyucu Gaz ve Teknik Bilgileri	59
5.2.	Birleştirme Teknikleri ve Kaynak Parametrelerinin Tanımlanması	60
5.2.1	Kaynakla Birleştirme Tekniklerinin Tanımlanması	60
5.2.1.1.	İç Köşe ve Dış Köşe Kaynaklı Birleştirmeler	60
5.2.1.2.	Bindirme Kaynaklı Birleştirmeler	61
5.2.2	Kaynak Parametrelerinin Tanımlanması	61
5.2.2.1.	Tel Besleme Hızı (weld_wirefeed)	62
5.2.2.2.	Uygulanan Gerilim Miktarı (weld_voltage)	62
5.2.2.3.	Kaynak Hızı (weld_speed)	62
5.3.	Numune Hazırlama Safhaları	63
5.4.	Numunelerin Makro Yapı İncelemesi	65

5.4.1	Tel Sürme Hızının Etkisi	69
5.4.1.1.	Bindirme Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etkisi	70
5.4.1.2.	İç Köşe (T) Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etkisi	73
5.4.2	Uygulanan Gerilim Miktarının Etkisi	76
5.4.2.1.	Bindirme Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etkisi	76
5.4.2.2.	İç Köşe (T) Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etkisi	79
5.4.3	Kaynak Hızının Etkisi	82
5.4.3.1.	Bindirme Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etkisi	83
5.4.3.2.	İç Köşe (T) Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etkisi	86
5.4.4	Deney Sonuçlarına Göre Kaynak Parametrelerinin Karşılaştırılması	89
5.5.	Deney Çalışması Sonuçlarının İrdelenmesi	94
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	96
7.	KAYNAKLAR	98
8.	ÖZGEÇMİŞ	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Malzeme Taşıma Robotu [20]	4
2.2. Parçaların montajı [20]	4
2.3. Bir Robot Tornaya Parça Bağlarken [20]	4
2.4. 400 F derecedeki Döküm Parçası Kaldırılırken [20]	5
2.5. Döküm Parçası Buharda Temizlenirken [20]	5
2.6. Parlatma Robotu [20]	5
2.7. Ölçme Ve Kontrol Robotları	5
2.8. Boyama Robotları [20]	5
2.9. Ark kaynak Robotu [20]	6
2.10. Nokta direnç kaynak Robotu [20]	6
2.11. Lazer Kesme Robotu [20]	6
2.12. Plazma Kesme Robotu [20]	6
2.13. Nükleer Malzemelerin Taşınmasında Kullanılan Bir Robot [20]	6
2.14. Dönel Eklem [11]	8
2.15. Prizmatik Eklem [11]	8
2.16. Kartezyen robot eklem yapıları [8]	8
2.17. Epson-Seiko Kartezyen robotu.	8
2.18. Silindirik robot eklem yapıları [8]	9
2.19. Seiko RT3300 silindirik robot.	9
2.20. Scara robotu eklem yapıları [8]	9
2.21. Epson E2L653S Scara robot	9
2.22. Küresel robot eklem yapıları [8]	10
2.23. Stanford Arm küresel robot	10
2.24. Dönel robot eklem yapıları [8]	10
2.25. ABB IRB 2400 dönel robotu	10
3.1. Kaynak türlerinin sınıflandırılması [40] [9]	14
3.2. Nokta direnç kaynağı yapılışı [37]	16
3.3. Nokta direnç kaynak makinası	16
3.4. MIG/MAG kaynak uygulaması [24]	18
3.5. MIG/MAG kaynak donanımı [38]	18

3.6. TIG Kaynak Yönteminin Şematik Gösterimi [24]	19
3.7. TIG Kaynak Uygulaması [24]	19
3.8. Plazma kaynak donanımı [40]	21
3.9. Nokta direnç kaynağı yapan endüstriyel kaynak robotu	23
3.10. Robota entegre, nokta direnç kaynağı tabancası	23
3.11. Çeşitli ark kaynak uygulamaları	24
3.12. Robotik kaynak sistemi [14]	25
3.13. Çeşitli ABB robot manipülatörleri	26
3.14. ABB elektronik kontrol ünitesi görünüşü	26
3.15. Ark kaynak robotu torcu	27
3.16. Ark kaynak robotu için tel sürme ünitesi	28
3.17. Kaynak akım ve gerilim üretici	29
3.18. ABB marka pozisyoner	32
3.19. Slider üzerinde robot uygulaması	32
3.20. Soğutucu görünüşü	32
3.21. ABB IRB 2400L Robotu yönetme kumandası (Teachpendant)	34
3.22. Rapid programlama yapısı [12]	36
3.23. MoveL komutu ile TCP hareketi [4]	41
3.24. MoveC komutu ile TCP hareketi [4]	42
3.25. ArcL komutunun yanında “\On” argümanının kullanılmadığı kaynak	44
3.26. ArcL komutu ile yapılan kaynak [5]	45
3.27. ArcL ve ArcC komutlarının birlikte kullanımı [5]	47
4.1. Yetersiz nüfuziyet [24]	49
4.2. Yetersiz erime [24]	50
4.3. Yanma oluğu ve çentik [24]	50
4.4. Gözenek oluşumu [24]	51
4.5. Kaynak dikişinin taşması [24]	52
4.6. Cüruf kalıntıları [24]	52
4.7. Çatlak çeşitleri [24]	53
4.8. Çarpılma çeşitleri [24]	53
5.1. Deney çalışmasında kullanılan sac parçasının görünümü	58
5.2. İç Köşe (T) Birleştirme [29]	61
5.3. Dış Köşe Birleştirme [29]	61

5.4. Bindirme Kaynağı Birleştirme [29]	61
5.5. TRONIC metalurjik numune kesici	63
5.6. Metalurjik numune parlatici	64
5.7. Numune görüntüsünün mikroskopla büyütülüp, bilgisayara aktarılması	64
5.8. Renault firmasının kaynak şartnamesindeki nüfuziyet kriterleri	65
5.9. Kaynak dikişi çekme yandan görünüşü	68
5.10. Kaynak dikişi çekme önden görünüşü	68
5.11. Serbest tel uzunluğunun mesafesi [33]	69
5.12. Tel sürme hızı: 8 m/dak	70
5.13. Tel sürme hızı: 7 m/dak	70
5.14. Tel sürme hızı: 6 m/dak	70
5.15. Tel sürme hızı: 5 m/dak	70
5.16. Tel sürme hızı: 4 m/dak	71
5.17. Bindirme kaynaklı birleşim için tel sürme hızı – nüfuziyet değişimi	71
5.18. Bindirme kaynaklı birleşim için tel sürme hızı – kaynak alanı değişimi	72
5.19. Tel sürme hızı: 8 m/dak	73
5.20. Tel sürme hızı: 7 m/dak	73
5.21. Tel sürme hızı: 6 m/dak	74
5.22. Tel sürme hızı: 5 m/dak	74
5.23. Tel sürme hızı: 4 m/dak	74
5.24. İç köşe kaynaklı birleşim için tel sürme hızı – nüfuziyet değişimi	75
5.25. İç köşe kaynaklı birleşim için tel sürme hızı – kaynak alanı değişimi	75
5.26. Gerilim miktarı: 28 V	77
5.27. Gerilim miktarı: 26 V	77
5.28. Gerilim miktarı: 24 V	77
5.29. Gerilim miktarı: 22 V	77
5.30. Gerilim miktarı: 20 V	77
5.31. Bindirme kaynaklı birleşim için gerilim miktarı – nüfuziyet değişimi	78
5.32. Bindirme kaynaklı birleşim için gerilim miktarı – kaynak alanı değişimi	78
5.33. Gerilim miktarı: 28 V	80
5.34. Gerilim miktarı: 26 V	80
5.35. Gerilim miktarı: 24 V	80
5.36. Gerilim miktarı: 22 V	80

5.37. Gerilim miktarı: 20 V	80
5.38. İç köşe kaynaklı birleşim için gerilim miktarı – nüfuziyet değişimi	81
5.39. İç köşe kaynaklı birleşim için gerilim miktarı – kaynak alanı değişimi	81
5.40. Kaynak hızı: 8 mm/sn	83
5.41. Kaynak hızı: 7 mm/sn	83
5.42. Kaynak hızı: 6 mm/sn	84
5.43. Kaynak hızı: 5 mm/sn	84
5.44. Kaynak hızı: 4 mm/sn	84
5.45. Bindirme kaynaklı birleşim için kaynak hızı – nüfuziyet değişimi	85
5.46. Bindirme kaynaklı birleşim için kaynak hızı – kaynak alanı değişimi	85
5.47. Kaynak hızı: 8 mm/sn	87
5.48. Kaynak hızı: 7 mm/sn	87
5.49. Kaynak hızı: 6 mm/sn	87
5.50. Kaynak hızı: 5 mm/sn	87
5.51. Kaynak hızı: 4 mm/sn	87
5.52. İç köşe kaynaklı birleşim için kaynak hızı – nüfuziyet değişimi	88
5.53. İç köşe kaynaklı birleşim için kaynak hızı – kaynak alanı değişimi	88
5.54. Bindirme birleşim için kaynak parametreleri – kaynak nüfuziyeti karşılaştırılması	90
5.55. Bindirme kaynaklı birleşim için kaynak parametreleri – kaynak alanı karşılaştırılması	91
5.56. İç köşe birleşim için kaynak parametreleri – kaynak nüfuziyeti karşılaştırılması	92
5.57. İç köşe kaynaklı birleşim için kaynak parametreleri – kaynak alanı karşılaştırılması	93

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. ABD'nin robotların uygulama alanlarına göre dağılımı [11]	7
3.1. Zonedata komut uygulamaları [3]	41
5.1. DIN EN 10149 (ERD 4936) çeliğinin kimyasal bileşimi	58
5.2. DIN EN 10149 (ERD 4936) çeliğinin mekanik özellikleri	58
5.3. Uygulamada kullanılan kaynak teline ait kimyasal kompozisyon	59
5.4. Deney çalışmasında karışım gaz oranları	60
5.5. Bindirme ve iç köşe kaynaklı birleşim için optimum kaynak parametre değerleri	67
5.6. Kaynakla birleştirme türleri için tel sürme hızı ve akım değişimi	69
5.7. Bindirme kaynaklı birleşim için tel sürme hızı - kaynak nüfuziyet değişimi	71
5.8. İç köşe (T) kaynaklı birleşim için tel sürme hızı - kaynak nüfuziyet değişimi	74
5.9. Kaynakla birleştirme türleri için gerilim ve akım miktarı değişimi	76
5.10. Bindirme kaynaklı birleşim için gerilim miktarı - kaynak nüfuziyet değişimi	78
5.11. İç köşe (T) kaynaklı birleşim için gerilim miktarı - kaynak nüfuziyet değişimi	81
5.12. Kaynakla birleştirme türleri için kaynak hızı ve akım değişimi	83
5.13. Bindirme kaynaklı birleşim için kaynak hızı - kaynak nüfuziyet değişimi	84
5.14. İç köşe (T) kaynaklı birleşim için kaynak hızı - kaynak nüfuziyet değişimi	88
5.15. Şekil 5.54., 5.55., 5.56., 5.57. için x eksenine karşılık gelen parametre değerleri	90

1. GİRİŞ

Teknolojinin çok hızlı bir şekilde gelişme kaydettiği günümüzde, teknolojinin getirmiş olduğu bu yenilikler insan hayatının bir parçası olmuştur. Bu yeniliklerden insanları haberdar etme ve yenilikleri insanlara sunma bir zorunluluk haline gelmiştir. Globalleşen dünya da iletişimin çok artması insanları değişik dünya pazarlarına yöneltmiştir [15]. İstenen kalite şartlarını yakalayabilmek ve üretim zamanını optimize etmek için, otomasyon ve esnek imalat sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu sayede rekabet koşulları ile baş edilebilmektedir.

Bu otomasyon sistemleri içerisinde robotların yerleri oldukça önemlidir. Robotların bu konudaki önemini anlayan birçok şirket uluslar arası piyasalardaki rekabet gücünü arttırmak istediklerinden dolayı, robota dayalı esnek fabrika otomasyon sistemleri kullanmaktadır [18].

Endüstriyel robotlar sanayide pek çok farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bunların arasında başlıca otomotiv, elektrik, elektronik ve mekanik olmak üzere endüstrinin hemen her alanında görülebilir. Robotlar bu alanlarda birçok işlevi yerine getirebilirler. Örnek olarak, parçaların taşınması, imalatı, şekil verilmesi, boyanması ve birleştirme ile yeni mamullerin ortaya çıkarılması gibi işlevleri yerine getirebilirler. Bunların arasında kaynak ile birleştirme uygulamaları da önemli bir yer tutmaktadır.

Robotlu kaynak sistemlerinin maliyetleri başlangıçta yüksek gibi görülebilir. Ancak, sağlanan yüksek hassasiyet ve kalitenin sürekliliği ana fayda olmakla birlikte, sistemin işletme maliyetlerinin hesaplanmasında işçilik, ıskarta ve standart dışı kalitede ürünler, ölü üretim süreleri, duruş ve bakım maliyetleri ile ürün değişikliklerinde yapılması gereken ek yatırım maliyetleri dikkate alındığında, robotik sisteme yapılan yatırımın daha hızlı geriye döndüğü görülmektedir [13].

Robotlar tarafından uygulanan başlıca kaynak yöntemleri; Ark kaynağı ve nokta direnç kaynağıdır. Robotik ark kaynağı prosesi sahip olduğu pek çok birbiriyle etkileşimli parametre sebebiyle oldukça kompleks bir yapıya sahiptir. Bu parametrelerin her birinin kaynak kalitesine ve hassasiyetine etkisi ayrı birer araştırma konusudur [6].

Bu araştırmalar sayesinde kaynak kalitesinin ve hassasiyetinin geliştirilebilmesi ve birleştirme tekniklerinde daha etkin bir rol alarak endüstrinin gelişen ve değişen taleplerine daha çabuk cevap verilebilmesi sağlanmaktadır.

Bu araştırmada da öncelikle endüstriyel robotlar hakkında detaylı bir şekilde bilgilendirme yapılarak, endüstriyel robotların kaynaklı birleştirme uygulamalarında kullanımını sağlayan robotik kaynak sistemleri incelenmiştir. Bu inceleme içerisinde bu sistemlerle yapılan kaynak tipleri, robotik kaynak ekipmanları, bu sistemlerin programlanma şekilleri ve tezin deneysel çalışmasında kullanılmış olan ABB IRB 2400L endüstriyel robotunun programlanması için kullanılan Rapid programlama dilinin anlatımı da bulunmaktadır.

Deneysel çalışmada kaynaklı birleştirme uygulamaları yapılacağından dolayı, çalışmada karşılaşılabılacak kaynaklı birleşim için hata türleri ve bu yapıları bilimsel yönden incelemek için kullanılan muayene yöntemleri deneysel çalışma öncesi bilgi vermesi amacıyla anlatılmıştır.

Son olarak ta deneysel çalışma olarak, robotik kaynak sistemi ile MIG/MAG kaynak işlemi yapılmıştır. Değişik türdeki kaynaklı birleşimler ile yapılan bu testler sonucunda, hem belirlenen kriterlere göre optimum nüfuziyet değerleri bulunmuş, hem de kaynak robotunun başlıca kaynak parametreleri olan “tel sürme hızı, uygulanan gerilim miktarı ve kaynak hızı” parametrelerinin kaynak nüfuziyetine olan etkisi, elde edilen bulgular ve gözlemler ile detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Bu sayede kaynak parametreleri değişimlerinin ne gibi sonuçlar vereceğini önceden kestirip, ona göre işlemi yapmak hem zaman, hem de üretim maliyetleri açısından en ekonomik çözüm olacaktır.

2. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR

2.1. Tanımlama

Robotlar hayatımıza girip, kullanım alanları geliştikçe, farklı kuruluşlar tarafından farklı tanımlamalar yapılmıştır. Amerikan Robot Enstitüsü (RIA - "The American Robot Industry Association") tarafından yapılan tanımlamaya göre: "Robot, programlanmış değişik hareketlerle, malzeme, parça, takım veya özel araçlar taşıyabilen, yeniden programlanabilme özelliğine sahip, çok amaçlı bir manipülatör olarak tanımlanmaktadır [2].

Japon Robot Birliği (JARA) tarafından yapılan tanımlamaya göre: Hafıza kartı veya terminalle donatılmış, döndürme yeteneği olan ve insan iş gücünün yerini otomatikleşmiş hareketlerle alabilen, çok amaçlı makinedir [17].

Günümüz teknolojisine uygun en kapsamlı ve gerçekçi robot tanımlaması ve robot tiplerinin sınıflandırılması ise Mayıs 1996 tarihinde yayımlanan EN ISO 8373 normunda belirlenmiştir. Bu standarda göre bir robot şöyle tanımlanmaktadır [6].

"Robot, Endüstriyel otomasyon uygulamalarında kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya hareket edebilen manipülatördür."

Bu tanımda manipülatör, cisimleri kavrama ve/veya öteleme amaçlı kullanılan, genellikle birkaç serbestlik derecesine sahip, bir dizi mafsallı yada birbiri üzerinde kayan parçalardan oluşan mekanizma anlamında kullanılmıştır [14].

2.2. Endüstriyel Robotların Uygulama Alanları

Endüstriyel robotların temel kullanım amacı, üretim maliyetlerini düşürürken üretkenliği ve üretim kalitesini arttırmak, yapılması zor olan veya insana fiziksel olarak zarar veren sağlıksız ve zararlı (kimyasal madde, yüksek ısı, yüksek gürültü, titreşim, vs..) ortamlarda çalışmayı gerektiren uygulamalarda insanın yerine makina kullanmaktır.

Bu yüzden günümüz sanayisinde, artık hemen hemen her alanda robotlar kullanılmaktadır. Örnekleriyle beraber başlıca kullanım alanları Şekil 2.1. ile Şekil 2.13. arasında gösterilmiştir [20].

Parça seçme, sıralama, yerleştirme, tezgâha yöneltme gibi işlemlerde,



Şekil 2.1. Malzeme Taşıma Robotu [20]



Şekil 2.2. Parçaların montajı [20]

Takım ve iş parçası bağlama, sökme ve değiştirme işlemlerinde,



Şekil 2.3. Bir Robot Tornaya Parça Bağlarken [20]

Sıcak parçaların (dövme döküm gibi) tezgâha yüklenmesi ve boşaltılması (ısıl işlemler) işlemlerinde,

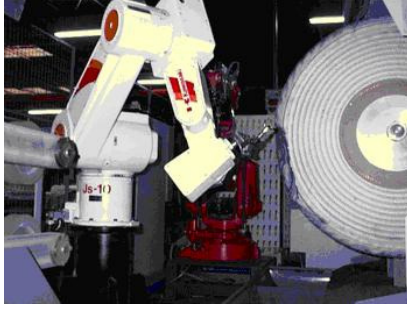


Şekil 2.4. 400 F derecedeki Döküm Parçası Kaldırılırken [20]



Şekil 2.5. Döküm Parçası Buharda Temizlenirken [20]

Çapak temizleme, parlatma ve üretim sonrası ölçme ve kontrol işlemlerinde,



Şekil 2.6. Parlatma Robotu [20]



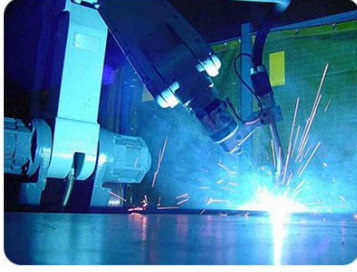
Şekil 2.7. Ölçme Ve Kontrol Robotları

Boya işlemlerinde, (özellikle otomotiv sanayide)



Şekil 2.8. Boyama Robotları [20]

Nokta direnç kaynağı ve ark kaynağında uygulamalarıyla kaynak sektöründe [20],

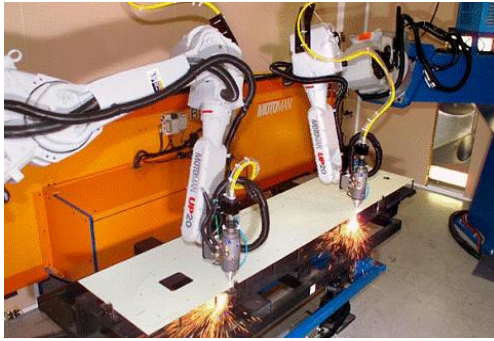


Şekil 2.9. Ark kaynak Robotu [20]

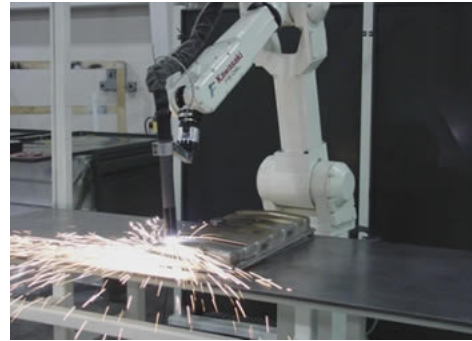


Şekil 2.10. Nokta direnç kaynak Robotu [20]

Lazer ve plazma ile kesme işlemlerinde,



Şekil 2.11. Lazer Kesme Robotu [20]



Şekil 2.12. Plazma Kesme Robotu [20]

Nükleer yakıt yükleme, boşaltma işlemlerinde,
Nükleer hasar ve güvenlik kontrolü işlemlerinde,
Radyoizotop ilaç imalinde kullanılırlar.



Şekil 2.13. Nükleer Malzemelerin Taşınmasında Kullanılan Bir Robot [20]

Endüstriyel robotlar, uygulama alanları arasında en fazla kaynak işlerinde kullanılmaktadırlar. Bunu makina yükleme ve boşaltılması, dökümhane işleri ve boya püskürtme izlemektedir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki robotların uygulama alanlarına göre dağılımı Tablo 2.1. 'de verilmiştir.

Tablo 2.1. ABD'nin robotların uygulama alanlarına göre dağılımı [11]

Uygulama Alanı	Kullanılan Robotların Bütün Robotlara Oranı [%]
Kaynak	34
Makinaların yükleme ve boşaltılması	20
Dökümhane işleri	19
Diğer uygulamalar	13
Boyama	12
Montaj	2

2.3. Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması

Robotlar çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmalar yapılabilmektedir. Bu sınıflandırmalar aşağıdaki şekilde yapılabilir.

- Mekanik yapılarına göre,
- Kontrol yöntemlerine göre,
- Eyleyicilerin kullandığı güç kaynağına göre,

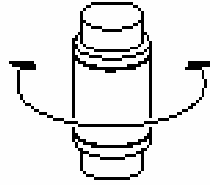
2.3.1. Robotların Mekanik Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırması yapılmadan önce eklem yapıları ve serbestlik derecelerinden bahsetmek gereklidir.

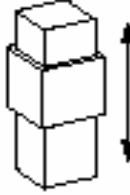
Eklemler, robot manipülatörlerinde yapısal olarak birbirine göre bağımsız olarak hareketi sağlayan mekanizmalardır ve yapılarına göre ikiye ayrılırlar.

Bunlardan ilki menteşeye benzeyen, robot manipülatörünün iki uzuv arasında dönme (revolute- R harfi ile gösterilir) hareketine izin veren ve Şekil 2.14.'de görülen dönel eklem olarak isimlendirilen eklemdir. Dönel hareketinden dolayı gerçekleşen yer değiştirmeye eklem açısı(joint angle) denir [8].

Diğer eklem ise, robot manipülatörünün iki uzvu arasında doğrusal şekilde öteleme (prismatic P harfi ile gösterilir) hareketine izin veren ve Şekil 2.15 'de görülen prizmatik eklem olarak isimlendirilen eklemlerdir. Kayma hareketinden dolayı oluşan ötelemeye eklem kayması (joint offset) denir. Robotlar mekanik yapılarına göre sınıflandırılırken Bu eklem yapılarına göre, ilk üç bağı eklem özelliği dikkate alınır [8].



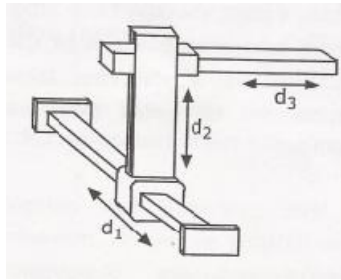
Şekil 2.14. Dönel Eklem [11]



Şekil 2.15. Prizmatik Eklem [11]

2.3.1.1. Kartezyen Robotlar

Robot manipülatörünün ilk üç ekleminin tamamı prizmatik eklemlere sahip ise, bu şekilde tasarlanan robotlara kartezyen (PPP) robotlar denir. Kinematik düzenleşimi en basit olan robot türüdür. Bu yüzden kontrol sistemi basittir. Bu tip robotlar madde ve kargo taşınması gibi ağır materyal transferinde kullanılır [8].



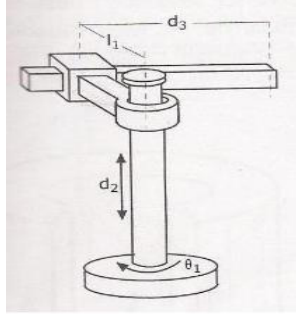
Şekil 2.16. Kartezyen robot eklem yapıları [8]



Şekil 2.17. Epson-Seiko Kartezyen robotu.

2.3.1.2. Silindirik Robotlar

Robot manipulatörünün ilk eklemi dönel, ikinci eklemi birinci ekleme paralel ve prizmatik, üçüncü eklem ise ikinci ekleme dik ve paralel ise, bu şekilde tasarlanan robotlara silindirik (RPP) robotlar denir. Bu tür robotlar, benzer şekilde büyük boyutlu nesnelerin taşınmasında kullanılırlar [8].



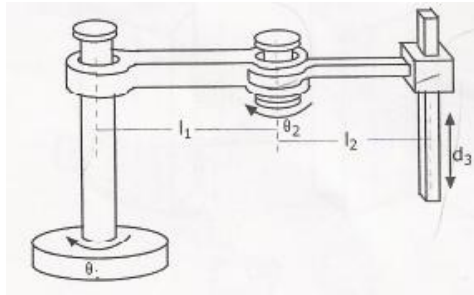
Şekil 2.18. Silindirik robot eklem yapıları [8]



Şekil 2.19. Seiko RT3300 silindirik robot.

2.3.1.3. SCARA Robotlar

Robot manipulatörünün ilk iki eklemi dönel, üçüncü eklemi ise prizmatik eklemden oluşması itibari ile küresel robot yapısına benzemesine rağmen bütün eklemlerin birbirine paralel olması yönünden farklıdır [8]. Scara robotları endüstride sıklıkla tercih edilmektedir.



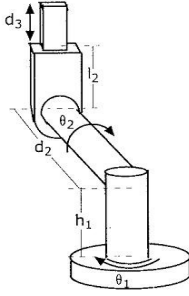
Şekil 2.20. Scara robotu eklem yapıları [8]



Şekil 2.21. Epson E2L653S Scara robot

2.3.1.4. Küresel Robotlar

Robot manipulatörünün ilk iki eklemi dönel, üçüncü eklemi ise prizmatik eklemden oluşan robotlara küresel (RRP) robotlar denir [8]. Bu tip robotlar, SCARA robotlar gibi endüstride oldukça fazla kullanılmaktadır. Kullanım alanları ise, cilalama, transfer işlemlerinde, test ve kontrolde ağırlıklıdır.



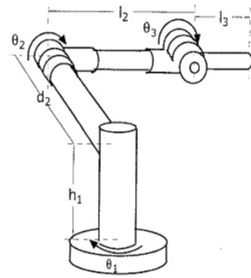
Şekil 2.22. Küresel robot eklem yapıları [8]



Şekil 2.23. Stanford Arm küresel robot

2.3.1.5. Dönel Robotlar

Robot manipulatörünün ilk üç ekleminin tamamı dönel eklemlerden oluşan robotlara dönel (RRR) robotlar denir [8]. Hareket kolaylığından dolayı hedefe istenilen şekilde ulaşabilir olduğu için endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan robotlardır ve bu robotların yükleme kapasitelerine göre farklı işlerde kullanılmaktadırlar [32].



Şekil 2.24. Dönel robot eklem yapıları [8]



Şekil 2.25. ABB IRB 2400 dönel robotu

2.3.2. Robotların Kontrol Yöntemlerine Göre Sınıflandırılması

Kontrol sistemleri bazında robotlar, aşağıdaki kategorilere ayrılırlar.

- Noktadan noktaya (Point to point) (PTP) kontrollü robot.
- Sürekli yol (Continuous-path) (CP) kontrollü robot.

2.3.2.1. Noktadan Noktaya Kontrollü Robot

Bu tür robotlar bir noktadan diğer bir noktaya hareket etme kabiliyetindedirler. Bu iki nokta arasında önceden belirtilmemiş noktalarda durma yeteneğine sahip değildirler. Durma noktaları pek çok uygulamada mekanik olarak belirlenmiştir ve her yeni operasyon için yeniden ayarlanmaları gereklidir. Bu robotların eklem tahriğinde genellikle potansiyometrelerle kontrol edilen servo motorlar kullanılır [32]. Bu sınıfa giren robotların serbestlik derecesi genellikle altıdan küçüktür ve yaygın olarak nokta kaynağı, delik delme, tutup yerleştirme, yükleme, boşaltma gibi işlemlerde kullanılır.

2.3.2.2. Sürekli Yol Kontrollü Robot

Bu tür robotlar, kontrol donanımları sayesinde doğrusal, dairesel ve parabolik interpolasyonla elde edilen eğrisel yörüngeleri yüksek doğrulukla takip edebilme yeteneğine sahiptirler. Yörünge geometrik olarak ya da denklemlerle tanımlanabilmektedir. Hareket kontrolü için başlangıç ve bitiş noktaları ile yörünge tanımlamasının verilmesi yeterlidir. Bu tür robotlar sanayide sprey boyama, vernikleme, tutkallama ve ark kaynak işlemlerinde kullanılırlar [31].

2.3.3. Tahrik Sistemlerine Göre Sınıflandırılması

Robotun önemli elemanı tahrik sistemidir. Bu tahrik sistemi robotun hareketini sağlar. Robotun kullanacağı alana ya da gerek duyduğu güce göre tahrik sistemleri 3 çeşittir.

- Hidrolik sistemli robotlar
- Elektrik sistemli robotlar
- Pnömatik sistemli robotlar

2.3.3.1. Hidrolik Sistemli Robotlar

Endüstriyel robotların ilk geliştirildiği yıllarda hidrolik tahrik sağladığı yüksek kuvvet özelliği sayesinde sıklıkla kullanılmaktaydı. Ayrıca sistemin katılığının yüksek olması ve patlayıcı gaz içeren ortamlarda kıvılcım gibi tehlike arz eden durumlar yaratmaması diğer önemli avantajlarıdır. Bu yüzden günümüzde de sprey boyamadaki gibi elektrikli sistemlerin yangın çıkartma tehlikesi yüksek olan alanlarda hidrolik robotlar kullanılmaktadır [31].

2.3.3.2. Elektrik Sistemli Robotlar

Elektriksel tahrik, günümüzün endüstriyel robotlarında en sık kullanılan tahrik sistemleridir. Elektrik motoru prensip olarak doğru akım (D.A.) veya alternatif akım (A.A.) güç girişiyle elektrik enerjisini, mekanik enerjiye çeviren bir dönüştürücüdür. Endüstriyel robotlarda 3 tip elektrik motorları kullanılabilir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- DC servo motorlar
- AC servo motorlar
- Step motorlar

2.3.3.3. Pnömatik Sistemli Robotlar

Genelde basit tasarıma sahip küçük robotlarda kullanılır. Tahrik sistemleri arasında maliyeti en düşük olanıdır. Bu robotlar daha az serbestlik dereceli ve malzemeleri bir yerden alıp başka bir yere nakletme işlemlerinde kullanılır. Bu işlemler genellikle basit ve kısa sürelidir [31].

3. ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİ

3.1. Kaynağın Tanımı ve Sınıflandırılması

Genel olarak kaynak terimini, parçaların ısı veya basınç uygulaması ile ya da her ikisinin yardımıyla birleştirilmesi veya yüzeylerin ilave bir metalle örtülmesi olarak tanımlamak mümkündür. Bu işlemlerin yapılmasında ilave metallerin kullanılıp kullanılmadığı uygulamaları görmek mümkün olmaktadır [25].

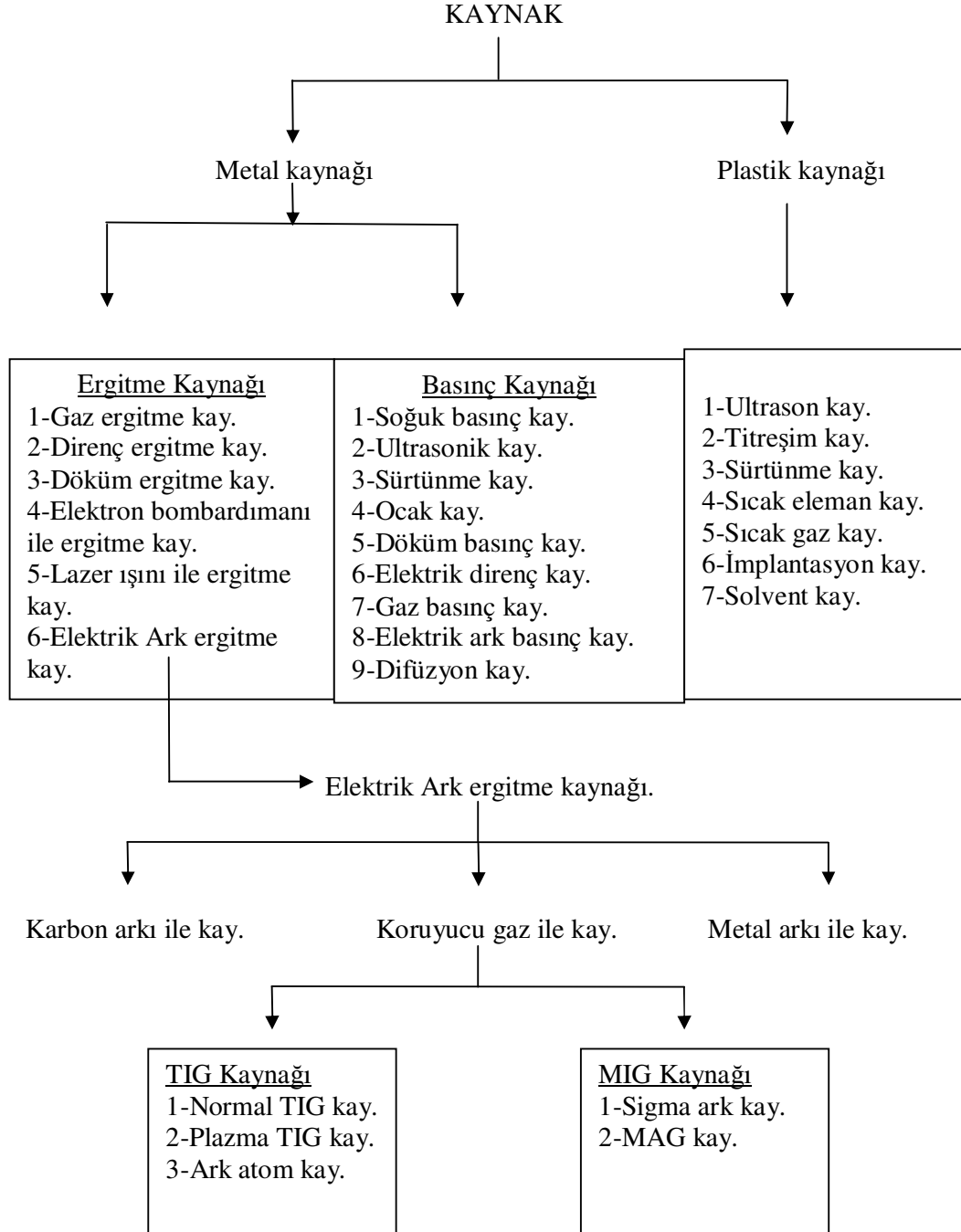
Günümüzde metallerin birleştirilmesinde en çok kullanılan yöntem kaynak yöntemidir. Kaynak teknikleri imalata sağladığı birçok avantajlar nedeni ile geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Bunun yanı sıra kaynak tekniği gün geçtikçe gelişmekte ve buna bağlı olarak da yeni bilgiler kazanılmaktadır.

Birleştirilmesi öngörülen malzemelerin kaynak bölgeleri plastik veya sıvı duruma getirilmekte, eş iki malzemenin birleştirilmesi sonucu oluşan kaynak dikişinin özellikleri de ana malzemenin özelliklerine benzetmektedir. İşlemin yapılmasında birleştirilecek malzemenin özellikleri, yöneme başvuruş amacı, kaynak olayındaki oluşumlar ve konstrüksiyona etkileri gibi sebeplerden dolayı çeşitli önlemlerin alınması gerekebilmektedir. Ergitme esaslı kaynak uygulamalarında kaynak bölgelerinin genellikle yardımcı malzemelerle korunması gerekmektedir. Seçilen ilave malzemenin ise, mümkün olduğu kadar ana malzeme ile aynı ergime aralığına sahip olması işlemin emniyeti bakımından gerekli görülmektedir. Bu tanımlamada belirtilen eş malzeme tabiri, metalürjik anlamda tam bir eşitlik olarak düşünülmemektedir, birleşme bölgesindeki tüm malzemelerin birbiri içerisinde tam olarak karışabilmesi manasını taşımaktadır [25].

Günümüz kaynak tekniğinde metal olmayan malzemeler ve özellikle de termoplastikler için kaynak olayını tanımlamak mümkün olmaktadır. Yöntem bu tür malzemeler için kaynak bölgesinin plastik duruma getirilmesi ile uygulanmakta, ısı ve basınç yardımıyla yapılan işlem, ilave malzeme kullanarak veya kullanılmadan kaynak işlemi yapılabilmektedir [25].

Kaynak türlerinin sınıflandırılması Şekil 3.1. 'de gösterilmiştir. Bu kaynak türleri hakkında detaylar verilmeyecektir. Bu çalışmada robotik kaynak uygulaması

yapıldığı için endüstriyel robotlar ile yapılan kaynak türleri ile ilgili detaylı bilgiler bir sonraki bölümde verilecektir.



Şekil 3.1. Kaynak türlerinin sınıflandırılması [40] [9]

3.2. Robotik Kaynak Sistemleri Tarihçesi

İlk endüstriyel robot uygulamaları 1960 'lı yılların başında üretimde kullanılmaya başlanmış olmasına rağmen, robotla kaynak robotiğın nispeten yeni bir uygulamasıdır. Robotlu kaynak 1970 'lerin başında nokta kaynak uygulamasıyla ilk olarak otomotiv endüstrisinde kullanılmaya başlansa da, robotları nokta kaynaklamada geniş bir ölçüde kullanmaya başladığı zaman olan 1980 'lere kadar kaynak işlemleri için robot kullanımı fazla yer almadı [19].

Özellikle 1980 'ler sonrasındaki otomotiv endüstrisindeki üretim artışına bağlı olarak seri üretim şeklinde kaynaklı imalat süreçleri içerisinde kendilerine önemli yer bulmuşlardır [19].

1990 'lar dan günümüze kadar gelen koşullar artık hem kaliteli, hem seri, hem de maliyeti uygun olan malzemeleri odak noktası haline getirmiştir. Bu ihtiyaçtan dolayı otomotiv sektörü gibi seri üretimin hızlı olması gereken yerlerde kaynak robotları kullanımı başlanmıştır.

2010 'lu yıllara yaklaştığımız şu zamanlarda ise, kaynak güç üniteleri daha ileri seviye kontrol sistemleri ile donatılmıştır. Bu sayede performansları verimlilik ve kalite seviyeleri yükselmiştir. Ayrıca yeni kaynak prosesleri hızla uygulama alanı bulmaktadır. Örneğın Rapid -Arc gibi kaynak hızının normalin iki katına çıktığı veya klasik lazer kaynağındaki aynaların ve fiber optiklerin demode olacağı, katı hal lazerleriyle kaynak gibi yeni prosesler yakın gelecekte robotik uygulama alanlarında sıklıkla yer bulacaktır [18].

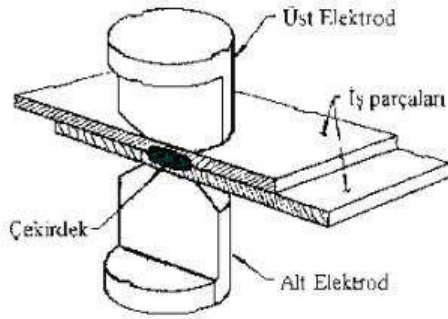
3.3. Robotik Kaynak Çeşitleri

Endüstriyel kaynak robotları günümüz sanayisinde nokta direnç kaynağı ve ark kaynak yöntemleri (MIG/MAG, TIG, plazma kaynak) gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Şimdi bu kaynak yöntemleri sırasıyla açıklanacaktır.

3.3.1. Nokta Direnç Kaynağı

Birleştirilmek istenen iş parçalarından geçen elektrik akımına gösterdikleri dirençten ortaya çıkan ısı ve eşzamanlı olarak uygulanan basınç yardımıyla uygulanan

bir kaynak yöntemidir. Direnç kaynağında gerekli ısı malzemenin direnç ve akım şiddetine bağlıdır. Ancak temas halindeki yüzey alanı küçüldükçe akımın geçişinde akım yoğunluğunu artırır ve kaynak basıncının iletilmesini sağlar. Elektrotlara uygulanan basınç yardımıyla plastik deformasyon sağlanır. Bu yöntem çok elektrik iletkenliğine sahip Al, Cu gibi elementlere uygulanmaz. Elektrik iletkenliği daha düşük olan çelik, paslanmaz çeliklere uygulanır. İlave metal gerektirmez ve ortaya çıkan ısı elektrotlarla ortamdan atılır. Koruyucu gaz gerektirmez [24]. Nokta kaynağında genellikle yüksek akım şiddetli alternatif akım (1500 A ve daha yukarı) ve düşük gerilimler (5- 15 V gibi) kullanılır [6].



Şekil 3.2. Nokta direnç kaynağı yapılışı [37]



Şekil 3.3. Nokta direnç kaynak makinası

Avantajları,

- Saç metal guruplarının yüksek sayıdaki üretimlerinde otomasyona adapte edilebilirliği ve yüksek hız başlıca avantajlarıdır.
- Kaynama ve ısı tesiri altındaki bölgenin küçüklüğü, malzemenin özelliklerinin bozulmaması direnç nokta kaynağının sunduğu önemli kazançlardır.
- Malzemenin özelliklerinin bozulmamasını sağlar.
- Sağlam ve birbirinin aynı özellikleri taşıyan bağlantılar oluşturulur.
- Akım, zamanlama ve elektrot kuvvetinin otomatik kontrolü ile yüksek üretim hızlarında kaliteli kaynak üretilebilirliği.
- Montaj hattında diğer üretim operasyonlarıyla birleştirilebilir.

Dezavantajları,

- Kontrol altında tutulması gereken kaynak parametreleri çok fazladır.

- Yüksek güç tüketimi gerektirir. Özellikle tek fazlı makinalarda güç tüketimi yüksektir.
- İlk ekipman kurulumunun maliyeti, bakım için sökme ve tamirin zor olmasıdır

3.3.2. MIG/MAG Kaynağı

MIG-MAG kaynağı günümüzde en çok kullanılan kaynak türüdür. Özellikle otomobil endüstrisinde robot ve elle yapılan kaynak makineleri kullanılmaktadır. Hızlı ve temiz (cürufsuz) kaynak türüdür [28].

Eriyen elektrotla yapılan gaz altı ark kaynağı devamlı beslenen kaynak teli ile iş parçası arasındaki yapılan bir elektrik ark kaynağıdır. Çıplak tel halindeki elektrot, sürekli kaynak bölgesine beslenerek kaynak işlemi yapılır. Ayrıca sürekli bir gaz akışı kaynak banyosunu atmosferden korur. Kullanılan koruyucu gaza göre MIG ve MAG ismini alırlar. MIG kelimesi “Metal Inert Gas” kelimelerinin, MAG kelimesi ise “Metal Activ Gas” kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmiştir. Burada “Inert” kelimesi soy, “Activ” kelimesi ise aktif anlamına gelmektedir [28].

Koruyucu gaz olarak Argon veya Helyum asal gazları kullanıldığı takdirde MIG (Metal Inert Gas), aktif gazlar (CO_2 , O_2 , N_2 veya bunların karışımları) kullanıldığında ise MAG (Metal Active Gas) adını alan yöntem otomasyona son derece uygundur [24].

MIG kaynak yöntemi ile hemen hemen bütün ticari alaşımları kaynatmak mümkündür ve genellikle 3 mm. den daha fazla kalınlıktaki parçalar için uygulanır. MIG kaynak makinesinde elektrik ark kaynağında olduğu gibi akım değeri ayarlanabilir. Akım şiddeti, parça kalınlığına ve tel çapına göre değişir [28].

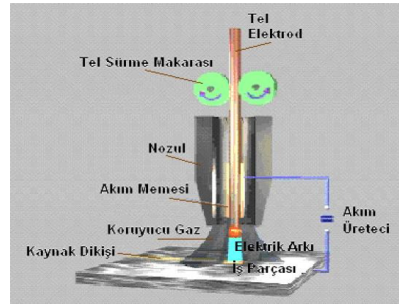
MAG kaynağının en önemli özelliği CO_2 gazının kullanılmasıdır [9]. Önceleri yalnızca Karbondioksit (CO_2) altında yapılan bu yöntemde gereken durumlarda arki yumuşatmak, sıçramayı azaltmak için CO_2 ' ye Ar karıştırılıp, içine az miktarda O_2 ilave edilerek $Ar + CO_2 + O_2$ 'den oluşan üçlü gaz koruması altında daha kalın çaplı elektrotlar ile her pozisyonda çalışabilme olanağı sağlanmış ve düzgün görünüşlü kaynak dikişleri elde edilebilmiştir. MAG kaynağı kolayca oksitlenen alüminyum, paslanmaz çelik gibi malzemelerin kaynağında kullanılmaz. Bu yöntemle daha çok alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılır [28].

MAG kaynak makinesinde akım değil, gerilim ayarlaması yapılır. Kaynağa başlamak için elektrot çapına ve ilerleme hızına uygun gerilim seçilir. Elektrot teli, bakır kaplama yapılmış ve plastik makaralara sarılı halde piyasada bulunur. Elektrot çapları 0,6 - 2,4 mm arasında değişir. Argon ve Helyum gazları tek atomlu karbondioksit ise molekül halindedir. Normal sıcaklıkta CO₂ gazı koruyucudur. Yüksek sıcaklıkta CO ve O ayrışır. Kaynak esnasında bu serbest oksijen FeO veya CO yapar. Bu yüzden kullanılacak elektrot oksitlenmeyen olacak fakat örtüsü Al, Mn, Si gibi oksitleri kendine çekebilen elementlerden olmalıdır. CO₂ ucuzdur. DC akım ters kutuplama yapılarak kullanılır. Başka gazlarla karışık halde de kullanılır [9].

MAG kaynağında kullanılan karbondioksit gazı argon ve helyuma göre daha ucuzdur. Karbondioksit gazı sıvı halde tüplere doldurulduğu için diğer gazlara göre üç misli daha fazla taşınabilir. Sıvı halde depolanan karbondioksit gazının tüp çıkışına bir ısıtıcı konmuştur. MAG yöntemi MIG yöntemine göre kaynak hızı daha yüksek, nüfuziyet daha fazladır [28].



Şekil 3.4. MIG/MAG uygulaması [24]



Şekil 3.5. MIG/MAG kaynak donanımı [38]

Avantajları,

- En önemli özelliği otomasyona yatkınlığı ve kolayca otomatikleştirilebilmesi
- Sürekli beslenen tel elektrot sayesinde daha iyi ark süresi
- Her pozisyonda kaynak işlemi mümkündür.
- Derin nüfuziyetler sağlar.
- Elektrik enerjisi tüketimi azdır.
- Uygulaması oldukça kolaydır.
- Cüruf uzaklaştırma problemi ortadan kalkar.

Doğru akımla çalışan güç kaynağı kullanılır. Kaynak dolgu malzemesi kaynak yapılacak parça ile aynı kimyasal bileşime sahiptir. Soğuk çekme yöntemi ile imal edilmektedir [24].

Avantajları,

- TIG kaynağı, sürekli bir kaynak dikişi yapmak, aralıklarla kaynak yapmak ve nokta kaynağı yapmak için hem elle, hem de otomatik kaynak sistemleri ile uygulanabilir.
- Elektrod tükenmediği için ana metalin ergitilmesiyle veya ilave bir kaynak metali kullanılarak kaynak yapılır.
- Her pozisyonda kaynak yapılabilir ve özellikle ince malzemelerin kaynağına çok uygundur.
- Kök paso kaynaklarında yüksek nüfuziyetli ve gözeneksiz kaynaklar verir.
- Isı girdisi kaynak bölgesine konsantre olduğu için iş parçasında deformasyon düşük olur.
- Düzgün kaynak dikişi verir ve kaynak dikişini temizlemeye gerek yoktur.

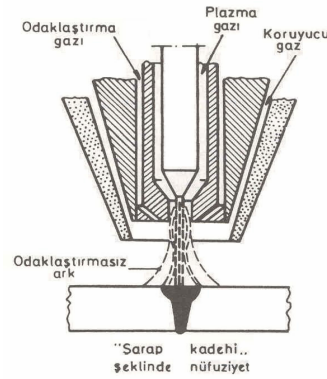
Dezavantajları,

- TIG kaynağının metal yığılma hızı diğer ark kaynak yöntemlerine göre düşüktür.
- Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik bir yöntem değildir.

3.3.4. Plazma Kaynağı

Plazma kaynak sistemi, TIG kaynak sisteminin gelişmiş halidir. Plazma kaynağında tıpkı TIG kaynağında olduğu gibi tungsten elektrod kullanılmaktadır. TIG kaynağına alternatif olarak kullanılır ve derin nüfuziyet isteyen malzemelerin kaynak işlemidir.

Çalışma şekli; iş parçası ile tungsten elektrod arasında ark içinde akan gaz, plazma oluşturur. Plazma gazı olarak genellikle Argon gazı kullanılır. Bunun yanında ikinci bir gaz yani koruyucu gazda kullanılmaktadır. Koruyucu gazın görevi, metal eriyiğini ve plazma gazını dışarıda gelen hava akımına karşı korumaktır. Koruyucu gaz olarak da, Argon, Hidrojen ve Helyum gaz karışımları kullanılmaktadır [24].



Şekil 3.8. Plazma kaynak donanımı [40]

Plazma kaynağının otomatik veya tekrarlanan kaynaklarda çok büyük üstünlükleri bulunmaktadır. Bu işlem günümüzün yüksek imalat verimliliğini ve güvenilir kalite ile iş tekrarlanmasını sağlamakta büyük avantajlar getirmektedir. Plazma kaynağı özellikle paslanmaz çeliklerin kaynağında sık kullanılan bir kaynaktır. Ayrıca metalde nüfus derinliğinden dolayı 8-9 mm lik paslanmaz çelik(küt kenar) ilave metalsiz kaynatabilmek mümkündür. Bunun yanında çok ince saçların kaynağı da mümkündür, örneğin saç kalınlığı 0,03 mm olan saçlara kaynak işleri uygulanabilir [24].

Avantajları,

- İyi ark kararlılığına sahiptir.
- Ark kaynağına göre daha iyi nüfuziyete sahiptir.
- Yüksek ilerleme(kaynak) hızlarına sahiptir.
- Mükemmel dikiş kalitesine sahiptir.
- Hemen hemen tüm metal kaynaklarında kullanılabilir.

Dezavantajları,

- Yüksek ekipman maliyeti
- Diğer ark kaynaklarına göre daha büyük torç boyutu
- Bazı bağlantı konfigürasyonlarına ulaşmayı zorlaştırma eğilimi taşır.

3.4. Robotik Kaynak Uygulamaları

Tüm ölçekteki üretici kuruluşlar bugünün uluslararası pazarında rekabet edebilir bir çizgi yakalamak için robota dayalı kaynak sistemlerini tercih etmektedirler. Bu tercihte olan üreticiler kaynak kalitesini, verimliliğini ve esnekliğini arttırmak ve müşterilerinin dinamik ihtiyaçlarını karşılamak gerektiğini fark etmektedirler.

Bu tercihlerden dolayı kaynak sektöründe de kullanılan robotlarda ağırlıklı olarak, nokta direnç kaynağı, MIG/MAG ve TIG(Tungsten Inert Gas), plazma ark kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır.

3.4.1. Robotik Nokta Direnç Kaynağı Uygulamaları

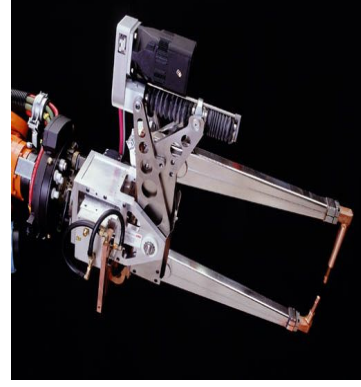
Nokta direnç kaynağının robotlara yaptırılmasına ilk önce otomotiv endüstrisinde başlanmıştır. General Motors 'da 1969 yılından, Daimler Benz 'de 1970 yılından bu yana gövde kaynakları robotlar tarafından yapılmaktadır. Volkswagen ve Renault firmaları kendi robotlarını geliştirmiş ve imal etmiştir [13].

Otomobil gövdesinin oldukça karmaşık bir geometriye sahip olması nedeniyle üzerinde kaynak yapılması oldukça güçtür. Bunun için, değişik modellere göre gerekli işlemlerin robot hafızasına depolanması gerekmektedir. Bileğine nokta kaynağı aparatı bağlanmış robot veya robotlar kaynatılacak modele uygun programlar kullanarak gövdeyi kaynatırlar. Bu işlem hızlı, hassas ve güvenilir bir işlemdir [13].

Nokta direnç kaynağında kullanılan robotlar, prosesi gerçekleştirmek için bazı yetenek ve özelliklere sahip olmalıdırlar. Çalışma hacmi, parçanın boyutuna uygun olmalıdır. Robot, parça üzerinde ulaşılması güç olan yerlerde kaynak tabancasını konumlayabilmeli ve oryante edebilmelidir. Bu ise serbestlik derecesinin sayısının artması ihtiyacını doğurur. Kontrolör hafızası, nokta direnç kaynak döngüsü için gerekli birçok konumlama adımlarını gerçekleştirebilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Bazı uygulamalarda, kaynak hattı, birçok farklı model ürünün üretimi için tasarlanabilir. Böylece, modeller değiştiğinde, robotlar bir programdan diğerine geçebilmelidir. Çok yönlü robotların bulunduğu kaynak hatları için, çeşitli kaynak istasyonlarında değişik modellerin izlenebilmesi ve iş istasyonlarındaki robotlara programların yüklenebilmesi için programlanabilir kontrolör kullanılmaktadır [14].



Şekil 3.9. Nokta direnç kaynağı yapan endüstriyel kaynak robotu



Şekil 3.10. Robota entegre, nokta direnç kaynağı tabancası

Robotlar aracılığıyla gerçekleştirilen nokta direnç kaynağı prosesinin otomasyonundan elde edilen faydalar, artırılmış ürün kalitesi, operatör güvenliği ve imalat operasyonuna daha fazla hakim olunmasıdır. Kalitenin artması, kaynak dikişlerinin daha tutarlı olması ve kaynakların konumundaki tekrarlanabilirliğin daha iyi olmasındandır. Göreceli olarak çok iyi bir tekrarlanabilirliğe sahip olmayan robotlar bile insanlara nazaran nokta kaynaklarını daha doğru bir şekilde konumlandırabilmektedir [14].

3.4.2. Robotik Ark Kaynağı Uygulamaları

Robotik ark kaynağı olarak kullanılan yöntemler arasında MIG/MAG ve TIG (Tungsten Inert Gas), Plazma ark kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında en çok uygulama alanı bulan yöntem ise MAG 'dır. Ancak ark kaynak yöntemlerinin uygulanmasında önemli teknik ve ekonomik problemlerle karşılaşmaktadır [6].

Sürekli ark kaynağındaki tehlikeler yüzünden, proseste endüstriyel robotların kullanımı mantıklıdır. Bu tip kaynak, düşük sayıda üretilen ve birçok komponentten oluşan ürünlerin imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu şartlar altında herhangi bir otomasyon şeklinin uygulanması zordur. Ark kaynağı, depoların içi, basınçlı kaplar ve gemi gövdeleri gibi ulaşmanın güç olduğu sıkışık alanlarda gerçekleştirildiği için çalışma alanı bu gibi yerlerde bir problem teşkil etmektedir. Bu yüzden bu tip robotlar daha öncede bahsedildiği gibi en çok otomotiv sektöründe kullanılmaktadır [6].

Otomotiv ana sanayide kurulan bantlar üzerine yerleştirilen otomotiv karoserleri üzerinde robotlar birbiriyle senkronik şekilde çalışarak yapılması gereken kaynak işlemlerini oldukça hızlandırmaktadır. Otomotiv yan sanayide ise daha çok üretimi yapılacak parçalar için oluşturulan fikstürlerin entegre edildiği sistemler üzerinde kaynak işlemlerini rahatlıkla ve hızlı bir şekilde gerçekleştirebilirler.



Şekil 3.11. Çeşitli ark kaynak uygulamaları

3.5. Robotik Kaynak Sistemlerinin Temel Bileşenleri

Bir kaynak robotunun temel bileşenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Manipülâtör
- Kontrol ünitesi
- Kaynak gerilim ve akım üretici
- Tel sürüş sistemi
- Koruyucu gaz
- Pozisyoner ve sliderler



Şekil 3.13. Çeşitli ABB robot manipulatörleri

3.5.2. Elektronik Kontrol Ünitesi

Robot kaynak torcunun kaynak prosesi sırasında izlemesi gereken yörünge, öğretim (teaching) programı ile belirlenmektedir. Kullanıcı, robotun izlemesi gereken yörünge üzerinde referans noktalarını (knot points) ve bu noktalardaki kaynak parametrelerini robotun kendi programındaki komutlarla belirlemektedir. Kontrol ünitesi de bu değerlere göre robotun izlemesi gereken yörüngeyi ve yapılacak kaynak işlemini öğrenmiş olur. Elde edilen bu verilere ve pozisyon algılayıcılardan gelen geri besleme sinyallerine göre robot mafsallı motorlarına uygulanması gereken dönme miktarı, hız ve moment değerleri robot kontrol ünitesi tarafından belirlenmektedir [19].

Kontrol ünitesinin robotun 6 eksenini kontrol edebilmesi yeterli gibi gözükmektedir. Bununla beraber eğer sisteme yardımcı ekipman (pozisyoner, slider, ikinci bir robot) eklenirse kontrol ünitesi ek bir eksen kartıyla bu isteğe karşılık verebilir. 15 eksene kadar çıkarılabilen eksen kontrolü sağlayarak, bu isteği fazlasıyla karşılayabilecek kontrol sistemleri de mevcuttur [19].



Şekil 3.14. ABB elektronik kontrol ünitesi görünüşü

3.5.3. Kaynak Torcu

MIG-MAG kaynağı yapan robot, elle yapılan kaynaktan daha yoğun bir çalışmaya dayanabilen kaynak torcuna gereksinim duymaktadır. Hava soğutmalı tabancalar düşük akım şiddetlerinde yeterli olabilirler, ancak sürekli çalışma ve yüksek akım için gaz ve kontakt lülelerin suyla soğutulması sıçramaları azaltmakta ve torcun ömrünü uzatmaktadır. Bakır ve bakır alaşımlarından imal edilmiş lülelerin yerini alabilecek kompozit malzemelerin geliştirilmesi ile lüle ömrü uzatılabilecektir. Torç ve yüzey arasında bir çarpışma olursa, yaylı bağlantıların kullanımı ile hasar ve tabancanın yer değiştirmesi minimuma indirilebilmektedir. Günümüzün modern Robotik kaynak sistemlerinde ise torç üzerindeki bir temas sensörü ile robot durdurulmaktadır [26].



Şekil 3.15. Ark kaynak robotu torcu

3.5.4. Tel Sürüş Sistemi

Robot tarafından otomatik olarak gerçekleştirilen kaynak esnasında, telin birçok kez durması ve yeniden ilerlemesi gibi durumlarla karşılaşıldığından telin bükülmesi ile ayrıca tel ilerleme hızının değişmesi sonucunda bir yere takılıp kalması istenmemektedir. Bu istemler büyük momentli sürüş motorlarının ve büyük çaplı tel sürme rulolarının kullanılmasıyla sağlanmıştır. Büyük çaplı rulolar kaynak teli ile daha büyük temas yüzeyine sahip olduklarından küçük çaplılara göre daha fazla itme gücüne sahiptirler [26].



Şekil 3.16. Ark kaynak robotu için tel sürme ünitesi

3.5.5. Akım ve Gerilim Üreteci

Robot ile yapılan ark kaynağında kullanılan akım üreteçleri çok daha yoğun çalışma koşullarına akım sağlayabilecek güçte olmalıdırlar; zira robot kaynağında akım üreticinin yükte kalma oram çok daha yüksektir. Ayrıca, akım üretici ile robot kontrol sistemi bir arabirim (interface) ile bağlanarak tel sürüş hızının ve ark geriliminin kaynak sırasında kontrolünü sağlayabilecek bir yapıda olmalıdır [26].

Konvansiyonel tristörlü güç ünitelerine göre daha hızlı ark kontrolü ile çıkış akımı ve gerilimini daha hassas ayarlayabilen inverter kontrollü üniteler robotik uygulamalar için daha uygundur. Bu üniteler ile ark başlama ve bitiş kabiliyeti iyileşir, kısa devre ark transferi rahatlıkla sağlanabilir. Herhangi bir frekans ve dalga formundaki darbeli akım kontrolü ile dikiş yüzeyinin kontrolü ve metal transferinin dengeli yayılması sağlanabilmektedir [26].

El ile yapılan kaynak için seçilen kaynak parametrelerini uygulayarak robot ile kaynak yapmak, sadece el ile yapılan işlerden kurtulma üstünlüğünü sağlamakta, verimlilik sağlamamaktadır. Robotla kaynakta uygun torç ve akım üretici seçimi ile kaynak hızı artırılarak üretim miktarı ve verimlilik yükseltilebilmektedir [6].



Şekil 3.17. Kaynak akım ve gerilim üretici

3.5.6. Koruyucu Gazlar

CO₂, MIG ve MAG ark kaynağı yöntemleri eriyen elektrotla kaynak, TIG kaynağı ise erimeyen elektrotla koruyucu gaz altında ark kaynağı metodudur. Koruyucu gaz, CO₂ ark kaynağında karbondioksit, MIG kaynağında saf Argon, MAG kaynağında Argon - CO₂ karışımı, TIG kaynağında saf Argon gazıdır [26].

Koruyucu gaz kullanımı, kaynak dikişi kalitesinin daha iyi olmasında, en az sıçrıntı ile, kontrolü kolay ve hızlı kaynak yapılmasında, arkın kararlılığının sağlanmasında, zamandan ve işçilikten kar edilmesinde çok büyük rol oynamaktadır.

3.5.6.1. Argon

Özgül ağırlığı 1,784 kg/m³ 'tür. Asal gazdır. Kimyasal bakımdan nötr gazdır. Havadan ayırıştırma ile elde edilir [28]. Argon gazı inert gaz olarak kaynak banyosunda banyoyu havanın etkisinde koruma görevini üstlenir. İyi ark başlangıcı ve düşük voltajlarda arkın kararlı olmasını sağlar. Oksitleyici ortamı engeller, alaşım kaybı ve kaynak sırasında sıçramaları en aza indirger. Bu da yüksek kalite ve mükemmel özellikler demektir. Saf olarak demir dışı metallerin kaynağında kullanılır [34].

Argon'un asıl özelliği, nokta kaynağında yüksek akımlarda ince damlalı metal geçidine imkân veren yüksek ısı konsantrasyonlarına ulaşılmasına yardımcı olmaktır.

3.5.6.2. Helyum

Özgül ağırlığı $0,179 \text{ kg/m}^3$ olup havadan yaklaşık 7 kat daha hafiftir. Asal gazdır. Kimyasal bakımdan nötr karakterdedir. Kokusuz renksiz, mono atomik bir gazdır. Doğal gazdan elde edilir [28].

Helyum gazının kaynakta kullanımı, argona göre daha yüksek ısı iletimi ile metale daha çok ısı uygulaması nedeniyle kaynakta nüfuziyet ve dikiş kesit profilini daha iyi yönde etkilemektedir. Yüksek ısı sayesinde akışkanlık artar ve kaynak şekli ve kalitesinden ödün verilmeksizin kaynak hızı arttırılır. Bununla beraber çok hafif bir gaz olduğundan kaynak banyosunu örtebilmek için birim miktar argona nazaran yaklaşık üç kat fazla helyum sarfiyatı olması ve birim fiyatının oldukça yüksek olması nedeniyle kullanımı yaygın değildir [34].

3.5.6.3. Karbondioksit (CO₂)

Karbonun yanması ile oluşan karbondioksit gazı, yanıcı gazların, akaryakıt ve kokun yanma ürünü olarak, kireç taşının kalsinasyonu, amonyak üretimi ve alkolün fermantasyonu sırasında yan ürün olarak üretilir [28].

Karbondioksit gazı kaynak işleminde aktif bir gaz olup kaynakta nüfuziyeti artırır [34]. Arkı kararlı kılmak için yüksek voltaja ihtiyaç vardır ve iyonize olan gazın metal yüzeyinde birleşmesiyle yüzeye ısı bırakır. Bu nedenlerden dolayı nüfuziyet yüksektir. Yüksek ısı iletkenlik sayesinde kaynak yüzeyi genişler. Bunlara karşın ince malzemelerde yanmaya sebep olabilir.

Tek başına kullanılırken gaz akış hızının fazla ayarlanması durumunda karbondioksit karı(kurubuz) taneleri regülâtörü tıkayacağından, kaynak banyosunun yeterli örtülememesi yüzünden kaynakta gözenekler oluşur. Karbondioksit diğer gazlara nazaran daha düşük fiyatlı görünse de tel sarfiyatı, kaynak kontrolündeki güçlükler ve hızdaki düşme, oluşan aşırı sıçrantıların kaynak sonrasında mekanik olarak giderilme işçiliği göz önüne alındığında gerçekte kaynak maliyetini yükseltmektedir. Bu nedenle saf karbondioksitin kaynak uygulamalarında kullanımı gittikçe yerini gaz karışımlarına bırakmakta, karbondioksit karışım gazları içerisinde kontrollü oranlarda kullanılarak nüfuziyet etkisinden faydalanılmaktadır [34].

3.5.6.4. Oksijen (O₂)

Oksijen, düşük alaşımlı çeliklerde karışım içerisine sınırlı oranlarda konulduğunda kaynak ortamının yüzey gerilimi düşürerek, daha akışkan bir eriyik sağlayarak kaynak hızını arttırmaktadır. Paslanmaz malzemelerin kaynağında argonun içinde % 1-2 oranında bulunması, elektron akımını arttırarak kararlı ark oluşumunu sağlar [34]. Oksijen ayrıca sprej için gerekli akımı azaltır ve damlacıkların küçülmesini sağlar. Sıçramalar ince olur.

3.5.6.5. Hidrojen

Hidrojen gazı ise paslanmaz çeliklerin kaynağında ısı girdisi sağlayarak kaynak hızının artmasına sebep olur [34]. (% 1-10 ilave ile) redükleyici karakteri, paslanmaz çeliklerde kaynak yüzey temizliğini arttırır. Dolayısıyla kaynağın kalitesi artar. Argon gazı ile birlikte karıştırılarak plazma kaynağında kullanılmaktadır.

Genellikle paslanmaz çeliklerin (tüpler, borular) hızlı kaynaklanmasında kullanılır. Hidrojen kırılğanlığına duyarlı bazı paslanmaz çeliklerde kullanılmayacağı için dikkatli seçim yapılmalıdır. Demir dışı metallerde kullanılırsa gözenek oluşturur. Alaşımlı çeliklerde ise en istenmeyen gazlardan birisi olup hidrojen kırılğanlığına yol açar [34].

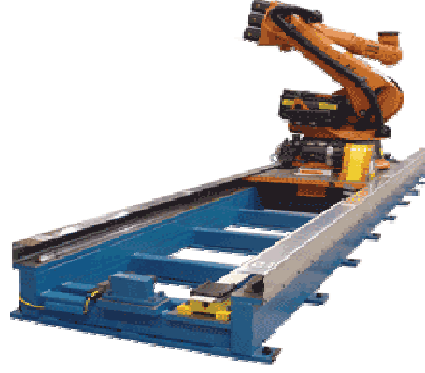
3.5.7. Pozisyoner ve Sliderler

Pozisyoner, kaynak edilecek parçaları istenen konuma hareket ettiren ve bu parçaları destekleyen mekanik bir aygıt olarak tanımlanabilmektedir. Parçaların yüklenmesi, kaynağı ve boşaltılması en avantajlı konumlarda, kaynak parçalarının ve fikstürün konumlandırılmasını sağlamaktadır [35]. Pozisyonerler robot kontrol ünitesi tarafından robotla senkronize olarak kontrol edilmektedirler. Pozisyonerler 1, 2 veya 3 eksenli olabilirler. Dönel hareketleriyle kaynak edilecek parçaları tutarak istenen duruşa getirdikleri gibi, kimi uygulamalarda kaynak sırasında da robotla senkronize olarak hareket edebilirler [19].

Slider ise, üzerine monte edilen robotun çalışma uzayım arttırmaktadır. Robotun aksenel hareketlerle ulaşamayacağı veya ulaşırken zorlanacağı hareketlere ilave eksen imkânı sağlarken bir yandan da standart ve seri üretim için yardımcı olmaktadır [19].



Şekil 3.18. ABB marka pozisyoner



Şekil 3.19. Slider üzerinde robot uygulaması

3.5.8. Soğutucu

Sürekli çalışan ve yüksek akım ve gerilim ile kaynak yapan kaynak robotlarının torçlarında bulunan gaz ve kontakt lülelerinin suyla soğutulması işlemini yerine getiren elemandır. Soğutucu, kaynak torcundan gelen sıcak suyu, üzerinde bulunan fanı vasıtasıyla soğutarak tekrar torca gönderip suyun devir daim işlemi ile torcun zarar görmesini engeller ve daha uzun ömürlü olmasını sağlar.



Şekil 3.20. Soğutucu görünüşü

3.6. Robotik Kaynak Sistemleri İçin Programlama

Robotların istenen işlevleri yerine getirebilmesi için programlanması gerekmektedir. Kaynak robotuna da yapması gereken görevi öğretmek için aşağıda gösterilen şekilde üç metot vardır [27].

- Yürütme metodu
- Yönelme metodu
- Çevrim dışı programlama

3.6.1. Yürütme Metodu

Yürütme metodunda operatör üfleci manüel olarak arzu edilen sıradaki hareket ettirir. Her hareket hafızaya kaydedilir. Ardından her pozisyon için kaynak parametreleri kaynak çevrimine dahil edilir. Bu yöntemin kullanımı günümüzde oldukça azalmıştır [27].

3.6.2. Yönetme Metodu

Bu tip programlama için robot program sırasında bulunması gereken pozisyon ve takım duruşuna, Şekil 3.21 'de görüldüğü gibi robot yönetme kumandası (teachpendant) yardımıyla getirilir ve bu nokta robota öğretilir [27]. Robot daha sonra programlama sırasında gidilen yol ne olursa olsun kendisine verilen pozisyona en kısa yoldan ve programlandığı şekilde ulaşır.

Bu nokta robota öğretildikten sonra bu noktaya hangi hızda, hangi kesinlikle, nasıl bir yol ve metot izleyerek (kaynatarak vs.) ulaşacağı ve bu noktada yapması gereken özel bir şey olup olmadığına yine bu kumanda yardımıyla programlanır [7].

Bu tür programlamada robotun üretildiği firma tarafından, özel olarak geliştirilen program bilgileri robotun hafızasına aktarılıp, kullanıcının bu hazır komutlar içerisinde yönetme kumandası yardımıyla seçmesi ile programlamanın yapılması sağlanır.

Bu programlama yöntemi ile daha çok, basit ve küçük programlamalar yada robotun hafızasında yüklü olan programda değişiklikler yapmak için uygundur. Daha

büyük ve genel programlama yapmak için çevrimdışı programla yöntemi tercih edilmelidir.



Şekil 3.21. ABB IRB 2400L Robotu yönetme kumandası (Teachpendant)

3.6.3. Çevrimdışı Programlama

Çevrimdışı programlama yöntemi robot programını bilgisayar ortamında hazırlamaktır [7]. Çevrimdışı programlama robotun üretildiği firma tarafından, her bir robot üreticisi tarafından özel olarak geliştirilen fakat temel programlama dilleri mantıkları kullanması açısından birbirine benzeyen programlama dillerini kullanarak robotun programının yapılmasıdır.

Çevrimdışı programlama yöntemi robotik kaynak sisteminin ilk kurulumu veya sisteme yeni bir araç eklenmesi durumunda yapılması zorunlu olan bir programlama yöntemidir. Ayrıca robota basit programlamalar dışında daha genel ve birden farklı türde işlevin yapılması gerektiği durumlarda uygulanacak programlama yöntemidir.

Robotik kaynak sisteminin ilk kurulumu veya robot istemine kaynak işlevi yapılacak olan yeni bir fikstür eklenmesi gibi durumlarda çevrimdışı programlama ile programlarının yazılması sonrasında, bu programın yapılması istenilen işleri tam olarak doğru yapıp yapmadığı önemlidir. Çünkü eğer program direk olarak robotun yüklenip çalıştırılırsa, programdaki küçük bir hata robotun yanlış hareket yapip hem büyük maddi kayıplara hem de insanların güvenliğini tehlikeye sokacak durumlara sebep verebilirler. Bu durumlara sebebiyet vermemek için, programlamanın yapılması sonrasında, yine robot üreten firmalar tarafından geliştirilen simülasyon programları

vasıtasıyla simülasyon yapılarak programın çalışmasının doğruluğu incelenmeli ve ona göre değişimler yapılmalıdır.

Bu işlem sonrasında programın çalışmasında herhangi bir sorun olmadığı görüldükten sonra robotun hafızasına yüklenmesi gereklidir. Bilgisayar ortamından robota aktarım işlemi de 2000 'lerin başında ağ kablosu veya disket yoluyla gerçekleştirilirken, günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle usb girişi yoluyla sağlanmaktadır.

Robotun programlama işlemini yapılabilmesi için, robot üretici firmalar tarafından özel olarak geliştirilen programlama dilinin kullanıldığı yukarıda bahsi geçmiştir. Bu tezde yapılan deneysel çalışma için ABB IRB 2400L model endüstriyel robot kullanılmıştır. ABB marka robotlarda programlama işlemi, RAPID programı ile yapılmaktadır. Deney çalışması sırasında robot manipülatörüne yaptırılacak olan hareket işlemleri ve kaynak işlemleri için kullanılacak olan bu programın detaylı incelemesi ve anlatımı yapılmıştır.

3.6.4. ABB RAPID Programı

ABB Robotlarında programlama işlemi iki şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlardan ilki yönetme yönetimi ile programlama kısmında anlatılmış olan robot yönetme kumandası (teachpendant) kullanılarak, diğeri ise bilgisayarlara kurulan offline programlama yöntemi olarak RobotStudio Online programı vasıtasıyla oluşturulabilir.

RobotStudio Online programı ile programlama, Rapid programlama diliyle yapılabilir. Program, robot manipülatörlerinin ve çevre ekipmanlarının (torç temizleme ünitesi, çalışılacak fikstür,vb..) kendi içlerinde ve birbirlerine göre senkron hareketlerini sağlamak ve istenildiği gibi kontrol edebilmek için gerekli komut ve bilgileri içerir.

Rapid programları dilinde program bilgisayarlarda kolaylıkla oluşturulabilir, okunabilir, değiştirilebilir ve saklanılabilir. Serbest text formatında yazılan programlar TXT formatında (ASCII) kayıtladığı için, programlar herhangi bir text editörüyle açılabilir ve değiştirilebilir. Yazılan veya değiştirilen programın doğruluğunun testi ve hataların denetlenmesi de RobotStudio Online programındaki "Apply Changes -

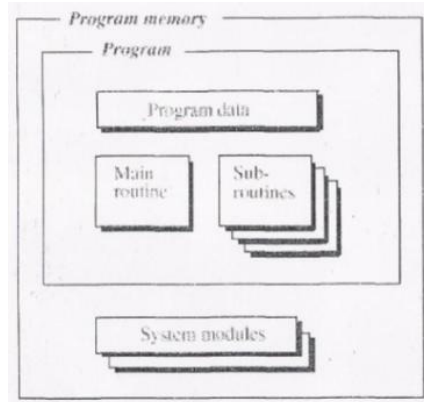
Değişikleri Onayla” seçeneğiyle yapılabilir. Eğer program yazımında sorun yoksa herhangi bir hata vermeyecek ve robotun hafızasına aktarılmaya hazır olacaktır.

Rapid programlama dilinin yapısını anlayabilmek için programlarının işleyişinde kullanılmakta olan, prosedür ve modül kavramlarının açıklanması gerekmektedir.

Prosedür; yürütüleceği program kodunun, bağımsız değişkenlerinin takip edildiği PROC anahtar kelimesinin yanına yapılacak olan iş ile alakalı isim yazılarak özelleştirilebilen program rutinleridir ve prosedür yerine rutin olarak da isimlendirilebilir. Program işleyişinde ana rutin dışında, bir rutin diğer bir rutin çağırılır. Ana rutin program başlatıldığında otomatik olarak çağırılır. Detaylı bilgi ileri de anlatılacaktır.

Modül; programın çalışması için, içerisinde bir veya daha fazla prosedürün birbiriyle etkin şekilde görev yaptığı MODULE kelimesinin yanına yapılacak olan iş ile alakalı isim yazılarak özelleştirilebilen daha genel bir sınıflandırmadır. Bir Rapid programı bir veya birkaç modül içerebilir. Her modül bir veya birkaç prosedür içerebilir. Küçük ve basit programlar sadece bir modül kullanmaktadırlar. Daha karmaşık programlama çevrelerinde çoğu değişik program tarafından kullanılan bazı standart prosedürler ayrı bir modülde yer alabilir [12].

Genel olarak tüm robot programlama dillerinde olduğu gibi Rapid programlama dilinde de robotun işlevlerini yerine getirebilmesi için robot programlama yapısını Şekil 3.22. 'de de görüldüğü üzere 4 temel parça şekillendirir [12].



Şekil 3.22. Rapid programlama yapısı [12]

- Ana rutin (Main Routine)
- Çeşitli alt rutinler (Sub-Routines)
- Program verileri (Prog. Data)
- Sistem modülleri (System Modules)

Ana rutin, programın ilk defa çalışmaya başladığı rutindir. Aslında, bir programı çalıştırmak demek, ana rutini çalıştırmak demektir. Bir program pek çok modülden oluşabilir, fakat sadece bir modül ana rutini içerir.

Alt rutinler sayesinde, bir program daha küçük parçalara bölünebilir. Bu sayede okunması ve anlaması daha kolay bir program ortaya çıkar. Alt rutinler, ana rutinden veya diğer bir alt rutinden çağırılabilir. Bir rutin bittiğinde, program çalışmaya, biten rutini çağıran rutinden devam eder.

Veriler, pozisyonları, nümerik değerleri ve koordinat sistemlerini tanımlamak için kullanılır. Bir veri, manüel olarak değiştirilebileceği gibi, program içerisinde program tarafından da değiştirilebilir.

Sistem modülleri hafızada devamlı bulunan programlardır. Bunlar direk robot programı değil, fakat sistem tarafından devamlı kullanılan rutin ve verilerin bulunduğu modüllerdir.

Rapid program dili mantığı için, diğer program dillerden pek de farkı olmayan bilindik ve kolay mantıklar geçerlidir. Herhangi bir bilgisayar programlama dili ile ilgilenmiş olanlar için Rapid komutlarına alışmak oldukça kolaydır. Bu dilde de, öncelikle program başında, o programda kullanılacak olan değişkenlerin tanımlanması gerekmektedir.

Programda kullanılacak değişken tanımlamaları için değişken tiplerinin bilinmesi gereklidir. Programda pek çok farklı türde değişken tipi mevcuttur. Anlatımın ileri ki kısımlarında da gerekli olan değişken tipleri açıklanacaktır. Öncelikle aşağıda açıklamaları yapılan belli başlı ve sık kullanılan ana değişken tipleri gösterilecektir [3].

num: Sayısal veri. Tam sayı ya da ondalık sayı olabilir.

string: Dizgi, harf öbeği. En fazla 80 karakter içerebilir.

bool: Boolean (mantıksal) değişken. Sadece 1 veya 0 değerini alabilir.

3.6.4.1. Değişken Tanımlamaları

Endüstriyel robotların yapılması istenen işe göre uç elemana takılacak olan (kaynak tabancası, boyama tabancası, tutucu, ... gibi) uç işlevcilerin tanımlamalarını ve robotun çalışma esnasında işlevini sorunsuzca yerine getirebilmesi için, robotun konumu ve robotla uyumlu bir şekilde çalışacak olan iş parçalarının programda da tanımlanmaları gerekmektedir.

“VAR” Komutu: Değişken tiplerini kullanarak yapılacak olan tanımlar “VAR” komutu kullanılarak yapılabilmektedir. “VAR” komutu kullanılarak değişkenlere atanan değerler, program kapatıldığı takdirde program hafızasından silinir.

“PERS” (Persistent) Komutu: “PERS” komutu kullanılarak atanan değişken programın kapatılıp, baştan başlama işlemi gerçekleştirilse dahi değişkene atanmış en son değeri hatırlar. Bu farklılığının dışında “VAR” komutundan bir farklılığı yoktur ve bu komutla yapılan tanımlamalar aynı şekilde “PERS” komutu ile de yapılabilir [3].

“Robtarget” Komutu: Robot target(robot hedefi) kelimelerinin kısaltması şeklinde yazılan robotun konumunu ve harici eksenleri tanımlamak amacıyla kullanılan bir değişken tipidir. Konum verileri, robot ve harici eksenleri hareket ettirecek komutlarda, konumu tanımlamak için kullanılır. Robot aynı konuma birkaç farklı yolla ulaşabilirken, eksen konfigürasyonu da belirlenir. Bu, eksen değerlerini eğer herhangi bir şekilde belirsiz ise tanımlar [4].

“Tooldata” Komutu: Tooldata komutu, uç elemanın (kaynak tabancası ya da tutucu gibi) karakteristiğinin tanımlanmasında kullanılır. Uç eleman verileri robot hareketlerini aşağıda belirtilen şekilde etkilemektedir [3]:

- Uç elemanın merkez noktası (TCP – Tool Center Point) belirlenen güzergâhta, belirlenen hıza uygun noktadır. Eğer uç elemanın açılma konumu (oryantasyonu) değiştirilirse ya da harici eksen koordinatları

kullanılırsa, sadece bu nokta programlanan hızda arzu edilen güzergâhı takip edecektir.

- Programlanan konumlar o anki TCP ile ve tool koordinat sistemine göre olan oryantasyon ile ilişkilidir. Bu da eğer, örneğin, uç eleman hasar gördüğü için değiştirildiğinde, tool koordinat sisteminin tekrar tanımlanması kaydıyla eski programın hala kullanılabilir olacağı anlamına gelmektedir.

Tool verileri, robotu aşağıda sıralanan amaçlar doğrultusunda kontrol çubuğuyla hareket ettirirken de kullanılmaktadır [3]:

- Uç eleman yeniden yönlendirilirken TCP'nin hareket etmeyecek şekilde tanımlanması
- Uç eleman doğrultusunda hareket ettirilirken ya da döndürülürken, yardımcı olmak amacıyla tool koordinat sisteminin tanımlanması.

Uç eleman yükü kullanıldığında, robot yükünün her zaman gerçek değeriyle tanımlanması büyük önem arz eder. Yük verilerinin hatalı tanımlanması robotun mekanik yapısında aşırı yüklenmelere sebep olabilir. Yük verisinin hatalı olarak belirlenmesi genellikle aşağıdaki sonuçlara yol açar [4]:

Eğer yük için belirlenen değer gerçek değerinden büyükse:

- Robot maksimum kapasitesinde kullanılamayacaktır.
- Hedeflenen yoldan sapma riski oluşur.

Eğer yük için belirlenen değer gerçek değerinden küçükse:

- Mekanik yapıda aşırı yüklenme riski oluşur.
- Hedeflenen yoldan sapma riski oluşur.

Uç eleman verileri persistent değişken (PERS) olarak tanımlanmalı ve routine içinde tanımlanmalıdır. Mevcut değerler program kaydedildiğinde kaydedilir ve program yüklendiğinde tekrar erişilebilir [4].

3.6.4.2. Sabit Tanımlamaları

Sabitler, programda değişkenler gibi değer içeren fakat sadece ilk atama yapılırken değer atanabilen, programın ilerleyişinde de değerleri asla değiştiremeyen tanımlamalardır. Sabitler, “CONST” ifadesi ve müteakip veri tipi, belirteç ve değer atanması ile tanımlanır.

3.6.4.3. Hareket Komutları

Rapid programında en çok kullanılan ve yapılacak uygulamada da kullanılacak olan hareket komutları “MoveL”, “MoveC” ve “MoveJ” komutlarıdır. Bu komutlar sırayla detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

“MoveL” Komutu: Bu komut, robot uç işlevcisine bağlanan elemanın son noktası(TCP) 'in belirlenen noktaya doğru, doğrusal (lineer) hareket etmesinin sağlar. Bu komutun bileşenleri aşağıda gösterilen gibidir [3][4].

```
MoveL ToPoint Speed Zone Tool;
```

Bileşenler

ToPoint

ToPoint kısmına yazılan değişken, değişken tipi robtarget data tipindeki bir sabit ile tanımlanan varış noktasıdır. TeachPendant ile programlarken arzu edilen konum, robot manipülatörlerinin manuel hareket ettirilmek suretiyle istenen noktaya getirilip, hafızaya alınarak robtarget değeri atanabilir.

Speed

TCP 'in tanımlanan noktaya doğru ne kadar hızla yol alacağını belirtir. Hareketin hızı speeddata veri tipindeki bir sabit ile tanımlanır. v5, v100, v1000 gibi önceden tanımlanmış birkaç değer bulunmaktadır. İlgili rakamlar mm/s cinsinden hızı belirtmektedir.

Zone

TCP 'nin geçeceği köşe noktalarına nasıl yaklaşılacağını, zonedata veri tipindeki bir sabit ile belirtir. Hareket komutlarında zone tanımlaması Tablo 3.1 'de görülen örneklerdeki gibi yapılabilir.

Tablo 3.1. Zonedata komut uygulamaları [3]

Zonedata Komutu	Yapılacak Olan Eylem
Fine	Robot TCP si tam olarak belirlenen noktaya gider.
z10	Robot TCP si, köşeleri belirlenen noktaya 10 mm 'den yakın olduğunda kesebilir.
z20	Robot TCP si, köşeleri belirlenen noktaya 20 mm 'den yakın olduğunda kesebilir.

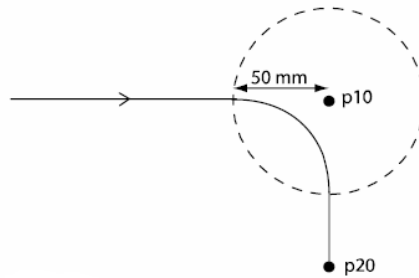
Tool

Robotun uç elemanına takılıp robotun istenen işleri yapmasını sağlayan araçları (sprey,kaynak tabancaları, tutucular,vb..) belirtmekte olup, tooldata (veri tipindeki bir persistent değişken ile tanımlanır. “tool0” öntanımlı (predefined) bir uç eleman olup, robotun hiçbir eleman bağlanmamış halini temsil eder. “tool0” ’ın atanma ve bildirimi yapılmamalıdır, fakat bunun dışındaki tüm uç elemanlar kullanımdan önce bildirilmeli ve tanımlanmalıdır.

Örnek: Aşağıdaki gibi, programda 2 satırlık MoveL hareket komutunu yazılsın.

```
MoveL p10, v10, z50, tool0;
MoveL p20, v10, fine, tool0;
```

Yukarıdaki MoveL komutları yazıldığı takdirde, robot uç işlevcisinin izleyeceği yol aşağıdaki gibi olacaktır.



Şekil 3.23. MoveL komutu ile TCP hareketi [4]

Öncelikle robot uç işlevcisi bulunduğu konumda p10 noktasında 10 mm/sn hızla doğrusal harekete başlayacaktır. Z50 tanımlamasıyla, p10 noktasından 50 mm. yakınından yuvarlatılarak geçecek, ikinci satırdaki fine tanımlamasıyla da p20

noktasının tam üzerinden geçecektir. Tool0 ise uç işlevcisine, herhangi bir eleman bağlı olmayan değerlerini belirler.

“MoveC” Komutu: Bu komut, robot uç işlevcisine bağlanan elemanın son noktası(TCP) 'in dairesel hareket yapmasını sağlar. Bu komutun bileşenleri aşağıda gösterildiği gibidir.[4]

```
MoveC CirPoint ToPoint Speed Zone Tool
```

Bileşenler

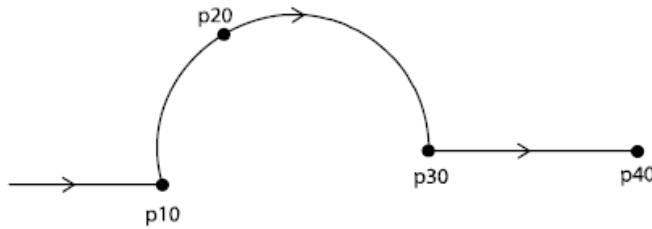
CirPoint

CirPoint, robot TCP 'in dairesel hareket yapabilmesi için gereken, TCP 'in o andaki bulunduğu başlangıç noktasıyla, ulaşmak istenen nokta arasında kullanılacak olan noktanın yazıldığı kısımdır.

MoveC komutunun diğer bileşenleri, MoveL komutundaki bileşenler kısmında detaylıca anlatılmıştır.

Örnek: Aşağıdaki gibi, 3 satırlık MoveL ve MoveC hareket komutları yazılsın.

```
MoveL p10, v10, fine, tool0;  
MoveC p20, p5, v500, fine, tool0;  
MoveL p40, v10, fine, tool0;
```



Şekil 3.24. MoveC komutu ile TCP hareketi [4]

Şekil 3.24. 'de görüldüğü gibi TCP, ilk bulunduğu noktadan p10 noktasına doğrusal hareket yapmaktadır. Sonrasında 2. satırdaki MoveC komutuna göre, bulunduğu p10 noktasından, p20 ve p30 noktalarının içinde bulunduğu bir yay çizmiştir. Sonrasında da 3. satıra göre p30 noktasından p40 noktasına doğrusal bir hareket yapmıştır.

“MoveJ” Komutu: Bu komut, robot TCP ’in bir noktadan diğer bir noktaya doğrusal harekete gerek duyulmayan yerlerde, manipülatörleri hızlı bir şekilde hareket etmesini sağlar.

Ayrıca bir noktadan başka bir noktaya hareket MoveJ komutu ile yapılırsa, hareket esnasında robot eklemleri minimum derecede zorlanarak hareket eder.

MoveJ komutunun programa yazılım şekli MoveL komutu ile oldukça benzerdir. Bu komutta kullanılan bileşenler MoveL komutu açıklamasında anlatılmıştır.

```
MoveJ ToPoint Speed Zone Tool;
```

3.6.3.4 Kaynak Komutları

“ArcL” Komutu: Bu komut, düz bir yolu takip eden kaynak işlevi için kullanılmaktadır. Bu komutun yapısı aşağıda gösterilmektedir. Sonrasında da bu komutun bileşenleri aşağıda açıklanmıştır [5].

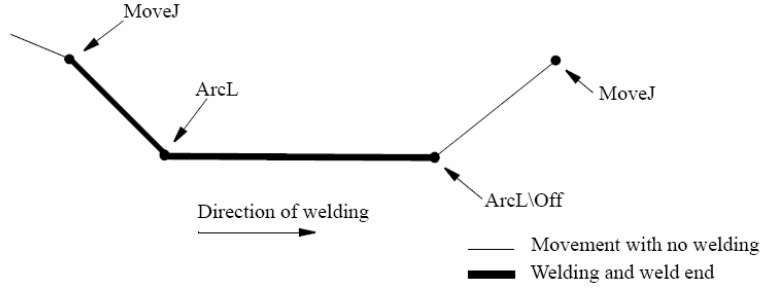
```
ArcL [\On][\Off] ToPoint Speed Seam Weld Weave Zone Tool
```

Bileşenler

[\On]

“\On” argümanı kaynak işlem zamanının daha kısa olması için kullanılan “flying start” fonksiyonuna ulaşmak için kullanılır.”Flying start”, robot TCP ’in kaynak yapılacak yere yaklaşılması sırasında, kaynak için gaz verilmeye başlanması gibi hazırlıkların yapıldığı kısımdır.

Kaynağa başlarken ArcL komutunun yanında “ \On” argümanı kullanılmadığında, kaynak Şekil 3.25.’de koyu çizgilerle çizilen kaynak yolundan da görüldüğü gibi ArcL talimatından bir önceki pozisyonda başlar [5].



Şekil 3.25. ArcL komutunun yanında “\On” argümanının kullanılmadığı kaynak [5]

/Off

ArcL komutu ile beraber /Off argümanı kullanılırsa robot hedef pozisyona ulaştığında kaynak yapımı sonlanır. Kaynağa başlarken ArcL komutunun yanında “\Off ” argümanı kullanılmadığında, kaynak yapımı düzensiz bir şekilde sonlanabilir [5].

ToPoint

ToPoint kısmına yazılan değişken, robot TCP 'in kaynak işleminin yapılmaya başlayacağı ya da bitireceği (/on, /off durumuna göre) noktayı ifade etmektedir [5].

Speed

TCP 'in hedeflenen noktaya doğru mm/sn birimi cinsinden ne kadar hızla yol alacağını belirtir. Örneğin komutun bu kısmına v10 yazılırsa robot 10 mm/sn lik bir hızla kaynak işlemini uygulayacaktır [5].

Seam

“Seam” argümanı kaynağın başlangıcını ve sonlanmasını kontrol etmek için kullanılır. Bu argüman, kaynak süreci kesildiğinde robot pozisyonuna bakılmaksızın düzgün bir kaynak sonlanması ve sonrasında yeniden başlaması için bütün ark kaynak talimatlarını içerir ve bütün “seam” talimatlarında kullanılır. Kaynak operasyonun kesilmesi ardından süreç yeniden başlarsa da seamdata kullanılır. Seam verisi kaynaklama operasyonuna hazırlanırken, arkı ateşlerken, ateşlemeden sonra ısıtırken ve de kaynak yapmaya son verirken kullanılır [5].

Weld

“Weld” argümanı kaynak işleminin nasıl yapılacağını veren kaynak parametrelerini içerir. Weld data, kaynak sürecin başlangıcında(ısıtmadan sonra) füzyonun oluşturulduğu sırada kaynağı etkiler. Flying start durumunda, bu talimatta

kaynak üzerinde weld datanın hiçbir etkisi olmadığını anlamına gelen /On argümanlı ark kaynak talimatının hedef pozisyonuna ulaşıncaya kadar ark ateşlenmez [5].

Weave

“Weave” argümanı kaynak işlemi boyunca robot TCP ‘in salınım yapılıp yapılmayacağını, eğer yapılacaksa ne tür bir salınım yapacağını bilgisini içerir. Eğer TCP ‘in salınım yapması istenmiyorsa bu kısım “noweave” olarak tanımlanması gerekmektedir. Bütün salınım bilgileri bileşenleri hem ısınma aşamasında hem de kaynak aşamasında uygulanır [5].

Zone

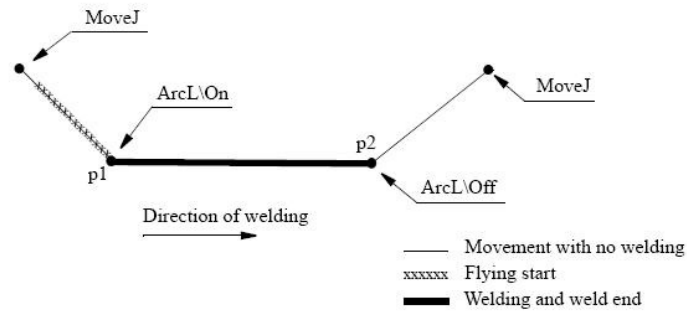
“Zone” argümanı TCP ‘in pozisyonu belirlemek için kullanılır. Alan ebatları mm. cinsinden belirlenir. Zone bilgisinde verilmiş olan ilgili alanla yer değiştirir. Bu argüman köşelerin yuvarlanması işleminde oldukça yararlıdır

Tool

“Tool” argümanı ile Robotun uç işlevcisine takılı olan kaynak tabancasının tanımlamasını sağlar. Bu tanımlama sayesinde TCP noktası belirlenir ve robot ona göre hareket edebilir. Yoksa robot kaynak işlemi yapamaz [5].

Örnek: Programda, aşağıdaki komutlar yazıldığı takdirde robotun yapacakları Şekil 3.26. ’da görüldüğü olacaktır [5].

```
MoveJ . . . .
ArcL \On, p1, v100, seam1, weld5, noweave, fine, gun1;
ArcL \Off, p2, v100, seam1, weld5, noweave, fine, gun1;
MoveJ . . . .
```



Şekil 3.26. ArcL komutu ile yapılan kaynak [5]

Yazılan komutlara göre robot p1 ’e gelirken flying start durumu ile kaynak başlangıç hazırlıklarını yapar. p1 noktasında kaynak işlemi başlar. p2 noktasına kadar

salınımsız bir şekilde 100 mm/sn hızı ile kaynak işlem yapılır. Sonrasında p2 noktasında kaynak işlemi biter ve moveJ komutu ile tanımlanan belirtilen noktaya gider.

“ArcC” Komutu: ArcC komutu, dairesel parçalara yapılacak olan kaynak işlemleri için kullanılması gerekmektedir. Bu komutun yapısı aşağıda gösterilmiştir. Bu komutun Cirpoint dışındaki bileşenleri ArcL komutunda anlatıldığı için burada anlatılmayacaktır [5].

```
ArcC [\On] / [\Off] CirPoint ToPoint Speed Seam Weld Weave Zone Tool
```

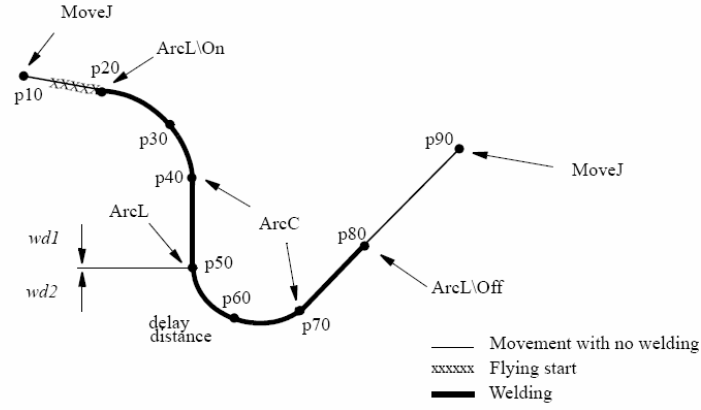
Bileşenler

Cirpoint

Robotun çember noktası olarak tanımlanabilir. Başlangıç noktası ile hedeflenen nokta arasındaki, daire üzerindeki pozisyonudur. En doğru kaynak yapımını sağlamak için, başlangıç ve hedef noktalarının tam yarı mesafesinde olmalıdır. Başlangıç ve hedef noktalarında çok yakınsa, robot uyarı verebilir. Çember noktası, isimlendirilmiş bir pozisyonla tanımlandırılır [5].

Örnek: Programda, aşağıdaki komutlar yazıldığı takdirde robotun yapacakları Şekil 3.27. 'de görüldüğü gibi olacaktır.

```
MoveJ p10, v100, z10, torch;
ArcL\On, p20, v100, sm1, wd1, wv1, fine, torch;
ArcC p30, p40, v100, sm1, wd1, wv1, z10, torch;
ArcL p50, v100, sm1, wd1, wv1, z10, torch;
ArcC p60, p70, v100, sm1, wd2, wv1, z10, torch;
ArcL\Off, p80, v100, sm1, wd2, wv1, fine, torch;
MoveJ p90, v100, z10, torch;
```



Şekil 3.27. ArcL ve ArcC komutlarının birlikte kullanımı [5]

Yazılan komutlara göre öncelikle robot p10 'dan p20 'ye doğru gelirken flying start durumu ile kaynak başlangıç hazırlıklarını yapar. P20 'den başlayarak p30 ve p40 ın çizdiği yay üzerinde dairesel kaynak yapar. P40 'dan P50 'a kadar doğrusal kaynak yapar. P50 'ye kadar wd1 kaynak değerlerine göre kaynak yapar. Sonrasında p50 'den başlayarak p60 ve p70 noktalarını kapsayacak şekilde "wd2" kaynak değerlerine göre kaynak yapar. Sonrasında p80 'e kadar doğrusal kaynak yapıp, p80 değerinde kaynak işlemini sonlandırır ve p90 'a hareket eder. Bütün bu işlemler sırasında robot, 100 mm/sn hızıyla hareket eder.

4. KAYNAK ve KALİTE KONTROL

4.1. Kalite Tanımlaması

Aranılan belirli şartları en iyi karşılayan anlamında kullanılan “Kalite” kısaca “amaçlara uygunluk derecesi” olarak tanımlanabilmektedir [30].

Kalite'nin değişik tanımları bulunmaktadır [30].

- Kalite; belirlenen şartlar altında ve belirlenen bir zaman içinde istenilen fonksiyonları yerine getirebilme yeteneğidir.
- Kalite, bir ürünün kullanım uygunluğunu belirleyen özelliklerinin tamamıdır.
- Kalite, herhangi bir ürün sınıfının özelliklerinin insan topluluklarının isteklerini karşılayabilme derecesidir
- Kalite, önceden tespit edilmiş spesifikasyonlara ya da standartlara göre imalat yapma olgusudur.

Kalite, yukarıdaki gibi birçok şekilde tanımlanabilir. Yaşamın her alanında kalitenin büyük önemi olduğu gibi imalat sektöründe de önemi büyüktür. İmalat sektörünün içerisinde olan birçok firmada, kalite beklentilerin karşılayarak rekabet koşullarıyla baş edebilir. Kaynaklı imalat da bu sektörün bir parçası olduğundan dolayı kaliteli kaynak için şu faktörlerin önemini belirtmek gerekir.

- Kaynak ağzını temiz tutmak
- Doğru işlem ve kaynak makinasını kullanmak
- Doğru teli kullanmak
- Doğru gazlarla korumak (koruyucu gaz kullanıyorsa)
- Doğru kaynak işlemi yapmak
- Doğru gerilim ve akım değeri
- Doğru kaynak hızı
- Doğru kaynak noktası

Bu maddelenmiş faktörlerin hepsinin doğru bir şekilde belirlenip bir arada kullanılması ile optimum kaynak birleşmesi sağlanmış olur. Eğer bunlardan biri bile istenilen doğrulukta olmaması durumunda kaynak hataları ortaya çıkabilir.

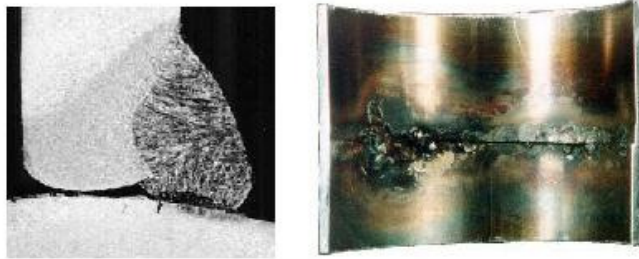
4.2. Kaynak Hataları

4.2.1. Yetersiz Nüfuziyet

Nüfuziyet, bir maddenin başka bir madde veya ortam içerisine doğru etkimesi, nüfuz etmesi durumu olarak tanımlanabilir. Kaynaklı birleştirme için ise nüfuziyet, kaynak metalinin ana metal içerisine etkimesi ve nüfuz etmesidir. Yetersiz nüfuziyet durumu da kaynak metalinin, ana metal içerisine yeterince nüfuz edememesi sonucunda oluşur. İyi bir nüfuziyet için, kaynak metali ile ana metal arasındaki mikroskobik geçişin kesintisiz olması gerekir. Oluşma nedenleri,

- Uygun bir elektrot çapının seçilmemesi
- Akım şiddetinin yüksek olması
- Uygun bir kaynak ağzının açılmaması
- Kaynak hızının fazla olması
- Elektrotun fazla Zig-zag hareketi yapması

Nüfuziyet azlığı dikişin bilhassa yorulma mukavemetini önemli derecede düşmesine neden olur. Dikişin eğmeye zorlanması halinde de, dip taraftaki oluk ve çentikler kırılmaya neden olur [24].



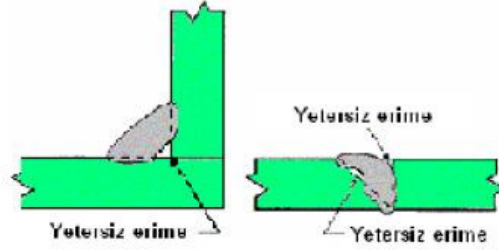
Şekil 4.1. Yetersiz nüfuziyet [24]

4.2.2. Yetersiz Erime

Yetersiz erime ekseriyetle cüruf, oksit, kav veya diğer demir olmayan yabancı maddelerin mevcudiyeti sebebiyle verir. Bu maddeler, esas veya ilave metalin tamamen erimesine mani olduğundan kifayetsiz bir birleşme meydana gelir. Kaynak kesitindeki birleşme azlığından doğan hatalar, genel olarak çekilen pasoların

dikkatlice temizlenmesiyle önlenebilir. Çok pasolu elektrik ark kaynağında, müteakip pasolar çekilmeden önce, cüruf iyice temizlenmelidir.

Esas metal ile kaynak metalinin tam olarak birleşmesi için, uygun bir akım şiddetinin seçilmesi ve kısa ark boyu ile çalışma çok önemlidir. Fazla düşük akım ve gerilim şiddeti de yetersiz bir birleşme meydana getirecektir [24].



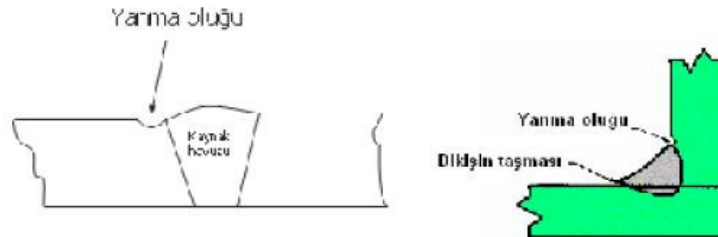
Şekil 4.2. Yetersiz erime [24]

4.2.3. Yanma Oluklar ve Çentikler

Kaynak sonrasında esas malzemede ve dikişin kenarlarında oluk veya çentik şeklinde meydana gelir. Meydana gelen çentik veya oluklar kaynaklı bağlantının mukavemet özelliklerini önemli derecede etkiler [24].

Oluşma nedenleri,

- Akım şiddetinin yüksek seçilmesi
- Kaynak hızının fazla çalışması
- Büyük güçlü üfleçle kaynak yapmak
- Elektrod, kaynak çubuğu veya üflecin fazla zikzak hareketler yapması



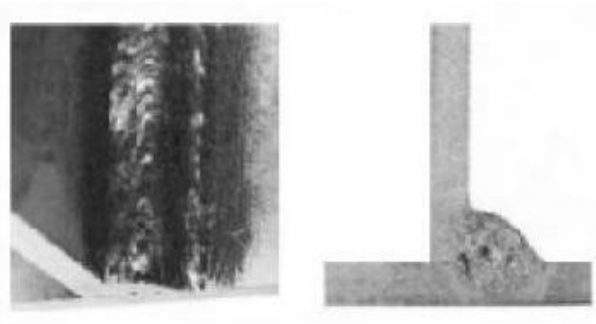
Şekil 4.3. Yanma oluğu ve çentik [24]

4.2.4. Gözenek Oluşumu

Gözenekler, kaynak yaparken dikişin içerisinde sıkışan gazların meydana getirdikleri boşluklardır. Bunlar ya gaz kabarcığı denilen tek tek yuvarlak veya gaz kanalı tabir edilen uzunlamasına boşluklardır. Bir kaynak dikişinde gözeneklerin meydana gelmesine tesir eden birçok faktörler mevcuttur. Bunlar, başlıca şöyle sıralayabilir.

- Esas metalin kimyasal bileşimi,
- İlave metalin kimyasal bileşimi,
- Düşük akım şiddeti ile çalışma,
- Çok uzun veya çok kısa ark boyları ile kaynak yapma,
- Erimiş kaynak banyosunun çabuk soğuması,
- Kaynak ağızlarının kirli olması,

Bir kaynak dikişinin içerisinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitini azalttığından mukavemetini de düşürür. Aynı zamanda lokal gerilme birikmelerine sebep olur. Dolayısıyla da bağlantının mekanik özelliklerini negatif yönde değiştirir. Gözenekler bilhassa yorulma mukavemetini düşürür. Fakat dağılmış haldeki küçük gözenekler, birleştirmenin statik mukavemetine fazla tesir etmez [24].

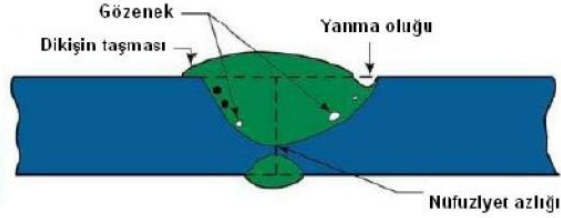


Şekil 4.4. Gözenek oluşumu [24]

4.2.5. Kaynak Dikişinin Taşması

Kaynak metalinin esas metal üzerine arada bir birleşme olmadan taşmasıdır. Bu taşma, ya münferit noktalarda ya da bütün dikiş boyunca meydana gelebilir. Daha fazla köşe dikişlerinde meydana gelen taşma olayı, dikişin lüzumundan fazla taşması

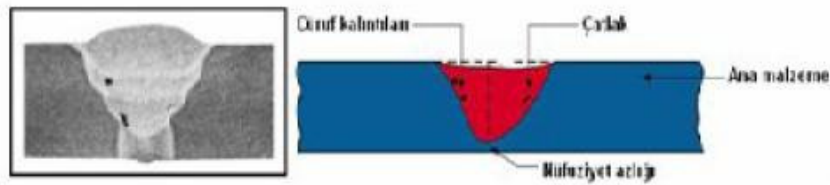
şeklinde kendini gösterir. Lüzumundan fazla kalın çaplı elektrot kullanmaktan kaçınılmalıdır. Taşmanın önlenmesine uygun akım şiddetinin seçilmesi ve kısa ark boyu ile çalışmanın da önemli tesiri vardır. Akım şiddeti yükselince veya ark boyu uzayınca taşma olayı kendini gösterir [24].



Şekil 4.5. Kaynak dikişinin taşması [24]

4.2.6. Cüruf Kalıntıları

Bu hataya elektrik ark kaynağında rastlanır. Cüruf kalıntısı tabiri, kaynak dikişinin içersinde kalan herhangi metalik olmayan bir maddeye de bağlıdır. Ark kaynağındaki bu kalıntı elektrot örtüsünden ileri gelir. Cüruf, kaynak işlemi süresince ark tarafından erimiş banyonun içersine dağılabilir. Bu durumda dikiş boyunca yayılmış ince bir cüruf tabakası göze çarpar. Ayrıca muntazam çekilmeyen kök pasolarının meydana getirdikleri yanmadan mütevellit oluklarda da cüruf toplanabilir. Bu durumda cüruf kalıntısı, devamlı veya kesik hatlar şeklinde kendini gösterir [24].



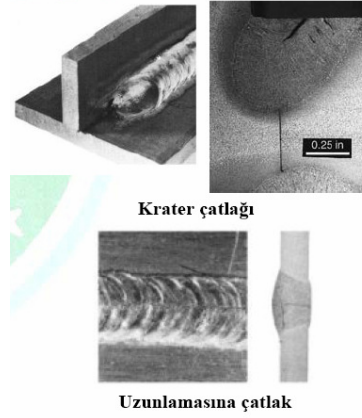
Şekil 4.6. Cüruf kalıntıları [24]

4.2.7. Kaynak Çatlakları

Bu hata, diğerlerine nazaran en tehlikeli olanıdır. Eritme kaynağında çatlama ya esas metalde ya kaynak metalinde ya ısının tesiri altında kalan bölgede ya da birleşme yerinde rastlanabilir. Dikiş içersindeki iç gerilmeler, kaynak esnasında

çekme ve çarpımlara karşı koyan kuvvetler genel çatlama sebepleridir. Kaynak yerinde meydana gelen çatlakların başlıcaları şunlardır [24].

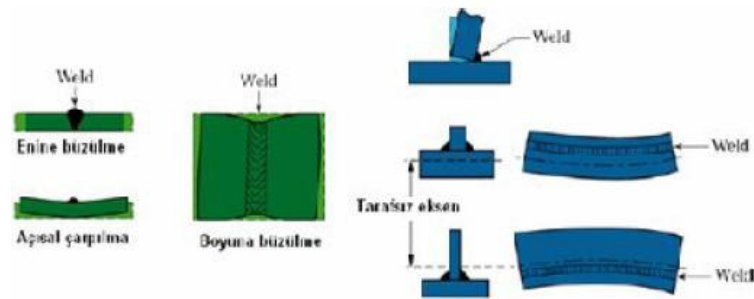
- Uzunlamasına çatlaklar
- Enlemesine çatlaklar
- Krater çatlakları
- Kılcal çatlaklar



Şekil 4.7. Çatlak çeşitleri [24]

4.2.8. Çarpılma

Kaynak işleminde parçalar lokal ısıtılmaya maruz kalırlar. Bu nedenle kaynaklı yapılarda sıcaklık dağılımı üniform değildir. Genellikle kaynak metali ve ITAB, kaynak bölgesinden uzak noktalara nazaran oldukça yüksek sıcaklığa maruz kalırlar. Kaynak bölgesi soğudukça büzülme meydana gelir ve kendisini çevreleyen metale gerilme uygulamaya başlar [24].



Şekil 4.8. Çarpılma çeşitleri [24]

4.3. Kaynaklı Yapıların Muayenesi

4.3.1 Tahribatlı Muayene Yöntemleri

Kaynaklı yapıda kalıcı şekil bozukluğuna neden olan muayene türüdür ve daha çok kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerini tespiti yöneliktir [24]. Tahribatlı muayene yöntemleri aşağıda verilmiştir.

- Sertlik ölçümü
- Çekme deneyi
- Yorulma deneyi
- Çentik darbe deneyi

4.3.2 Tahribatsız Muayene Yöntemleri

Kaynaklı yapıda kalıcı şekil bozukluğuna neden olmayan muayene türüdür. Kaynaklı birleştirmenin hatalardan uzak olarak yapılıp yapılmadığına yöneliktir. Tahribatsız muayene yöntemleri çeşitli fiziksel prensiplerle, farklı şekillerde uygulanır. Seçilecek yöntem, incelenen malzemenin cinsine ve aranan hata türüne göre belirlenir. Her bir yöntemin diğerine göre üstün tarafları olup, genellikle birbirlerinin tamamlayıcısı durumundadırlar. Tahribatsız muayenede uygulanan yöntemler sırasıyla aşağıdaki gibi sıralanabilir [24].

- Gözle muayene
- Penetran sıvı muayenesi
- Manyetik toz muayenesi
- Ultrasonik muayene
- Radyografik muayene

4.3.2.1. Gözle Muayene

Bir ürünün yüzeyindeki süreksizlikler, yapısal bozukluklar, yüzey durumu gibi kaliteyi etkileyen parametrelerin optik bir yardımcı (büyüteç gibi) kullanarak veya kullanmaksızın muayene edilmesidir.

Gözle muayene çok basit bir metot olarak görünse de en önemli muayene

yöntemidir. Genellikle bir başka tahribatsız muayene metodunun uygulanmasından önce yapılması gereken bir çalışmadır. Zaten diğer tahribatsız muayene yöntemleri için hazırlanmış uygulama standartlarının çoğunda da öncelikle gözle muayene yapılması ve bulguların kaydedilmesi istenir [24].

Bu yöntem, metalik veya metalik olmayan bütün malzemelere uygulanabilir. Muayene yüzeylerine ulaşabilirlik durumuna göre gerektiğinde endoskoplar gibi yardımcı gereçler de kullanılarak uygulanabilir. Çoğu durumda muayene yüzeyi hazırlığı olarak yüzey temizliği yapılması istenmez. Daha doğrusu yüzeyin, beklenen hataların en iyi görüneceği şekilde olması gerekir. Yeterli ışık şartları altında ve uygun bakma açılarında inceleme yapılmalıdır [24].

4.3.2.2. Penetran Sıvı Muayenesi

Kaynak sonrasında dikişin uygun olup olmadığı, nüfuziyetin yeterliliği gibi kontrollerin yapıldığı muayene türüdür. Tespit edilmek istenilen hataların muayene işlemi uygulanan yüzeyine açık olması gerekir, bu nedenle yüzey altında kalan veya herhangi bir nedenle yüzeye bağlantısı kesilmiş bulunan hatalar bu metotla tespit edilemez. Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde aşırı gözenekli olmamaları koşulu ile beklenen yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir [24].

4.3.2.3. Manyetik Toz Muayenesi

Bu muayene tekniğinde manyetik özelliğe sahip malzemelerin yüzeyinde veya yüzeye çok yakın çatlakları tespit etmek amacıyla kullanılır. Kaynaklı yapıya gönderilen demir toz tanecikleri herhangi bir çatlak çarpmaz ise düzgün hareket eder. Eğer kaynak bölgesinde herhangi bir kusur söz konusu ise, bu durumda sapma meydana gelir. Bu yöntemde yüzey hatalarının belirlenebilmesi hatanın boyutuna ve yüzeye yakınlığına bağlı olup sadece ferromanyetik yani mıknatıslanabilen malzemelere uygulanır [24].

4.3.2.4. Ultrasonik Muayene

Ultrasonik dalgalar metaller içerisinde büyük bir hızla doğrusal olarak ilerlerler. Ancak metal içerisindeki sınır yüzeylere çarptığında dalganın bir kısmı geri yansır ve ilerleyen dalgada bir zayıflama olur. Bu yöntemler derindeki çatlaklar ve gaz boşlukları ve cüruf gibi kusurları tespit etmek mümkündür [24].

4.3.2.5. Radyografik Muayene

Radyografik muayene yöntemi, oldukça hassas bir muayene yöntemi olması ve muayene sonuçlarının kalıcı olarak kaydedilebilir olmasından dolayı sanayide en yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir. Test parçası bir kaynaktan çıkan radyasyon demeti (x veya gama ışınları) ile ışınlanır. Radyasyon malzeme içinden geçerken malzemenin özelliğine bağlı olarak belli oranda yutularak kayıba uğrar ve sonra parçanın arka yüzeyine yerleştirilmiş olan filme ulaşarak filmi etkiler [24].

5. DENEY ÇALIŞMASI:

Değişen Parametrelerin Kaynak Nüfuziyetine Etkisinin Araştırılması.

MIG/MAG tipi gazaltı kaynak yaptırılan ABB IRB 2400L model endüstriyel robot ile kalınlığı 3 mm olan DIN EN 10149 (ERD 4936) tipi saç parçalarıyla değişik kaynak türleri ile kaynak birleştirmeleri yapılmıştır. Bu birleştirmelerde, endüstriyel robotun kaynak için kullanılan parametrelerinin değiştirilmesiyle kaynak nüfuziyetine etkisi gözlenmiştir. Bu gözlem sonucunda, kaynak nüfuziyet kriterlerine göre belirlenmiş nüfuziyet değerlerine ulaşip ulaşamadığı incelenmiş ve buna göre de bu parametrelerin değerleri değiştirilip optimum kaynak nüfuziyet değerleri belirlenmiştir. Her bir parametrenin optimum kaynak nüfuziyetini veren değerleri bulduktan sonra, bu değerlerin kontrollü olarak belirli ve sabit aralıklarla değişimi gerçekleştirilerek kaynak işlemi uygulanmış ve bu değişim sonrasında kaynak işlemi uygulanan numuneler incelenmiştir. Bu incelemenin sonunda da gerekli gözlemler yapılarak belirli sonuçlara ulaşılmıştır.

5.1. Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması ve Teknik Bilgiler

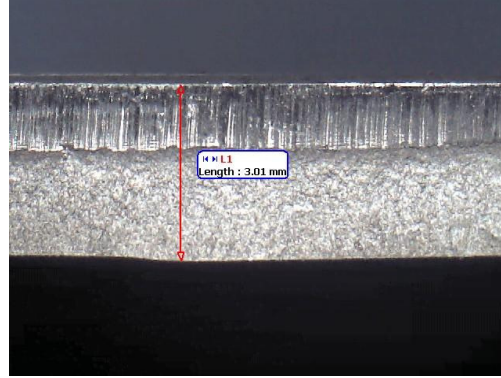
Uygulamada kullanılan malzemeler ve ekipmanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kullanılan endüstriyel robot olan ABB IRB 2400L
- İş parçası olarak kullanılan çelik plakalar
- Kaynak yapımı için gerekli olan kaynak telleri
- Kaynak işlemi esnasında kullanılan koruyucu gazlar

Yukarıda bahsedilen bu ekipmanlardan sayılan ve programlanmasıyla kaynak işlevini yapan ABB IRB 2400L kaynak robotu ve ekipmanları hakkında önceki bölümlerde detaylı bilgi verildiğinden dolayı bu kısımda bir daha anlatılması gerekli görülmemiştir. Diğer malzemeler olan saç parçalar ve kaynak telleri hakkında ise yukarıdaki sınıflandırmaya uygun bir şekilde bilgiler verilecektir.

5.1.1. Çelik Plakalar ve Teknik Bilgileri

Araştırma için yapılan uygulamada kullanılan iş parçası Şekil 5.1. 'de örneği görülmekte olan 3 mm kalınlığındaki çelik plakalar otomotiv sektöründe sıkça kullanılan sıcak haddelenmiş soğuk şekillendirmeye uygun yüksek mukavemetli çeliklerdir.



Şekil 5.1. Deney çalışmasında kullanılan saç parçasının görünümü

Bu çelikler Erdemir kalite numarası 4936 olup standart karşılığı DIN EN 10149-P2-95 ve kalitesi S355 MC olan düşük alaşımlı bir çeliktir. Tablo 5.1.'de deney çalışmasında kullanılan DIN EN 10149 (ERD 4936) çeliğinin kimyasal bileşimi göstermektedir.

Tablo 5.1. DIN EN 10149 (ERD 4936) çeliğinin kimyasal bileşimi

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	V
Standart (DIN EN10149)	0.12	0.50	1.50	0.025	0.020	0.015	0.09	0.15	0.20
ERD 4936	0.11	0.10	1.30	0.020	0.010	0.020	0.07	0.05	0.10

Tablo 5.2. 'de ise DIN EN 10149 (ERD 4936) çeliğinin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.2. DIN EN 10149 (ERD 4936) çeliğinin mekanik özellikleri

Akma mukavemeti (kg/mm ²)	Çekme mukavemeti (kg/mm ²)	% uzama
44.3	51.7	39

5.1.2. Kaynak Telleri ve Teknik Bilgileri

Az alaşımlı çeliklerin MIG/MAG kaynağı için üretilen ve örtülü elektrot olarak kullanılan “Gazaltı Kaynak Telleri” dairesel kesitli, üzerleri bakır kaplı olarak üretilirler. Böylece bu tel, depolamada kenetli teller gibi nemden etkilenmez ve telin üzeri bakırla kaplandığından torç elemanlarını en az oranda aşındırır. Bu teller kaynak esnasında yanma kayıplarını dengelemek ve oluşabilecek gözenekleri önlemek amacıyla yüksek mangan (Mn) ve yüksek silisli (Si) olarak imal edilirler. Bundan dolayı MAG yönteminde kullanılan kaynak telleri, yüksek Mn ve yüksek Si içeren özel kaliteli teller diye de anılır. 0, 6 - 0, 8 - 1, 0 - 1, 20 - 1, 60 - 2, 0 ve 2, 40 mm 0 çaplarında imal edilirler.

50 veya 250 kg lık variller içinde (ROBOWIRE) de piyasaya verilir. Deney çalışmasında kullanılan kaynak teli, 250 kg lik ve 1 mm çapında, GEKA marka SG2 model gazaltı kaynak telidir.

Bu kaynak teli, çelik konstrüksiyon ve makina yapımında, gemi, kazan, tank ve boru kaynaklarında, ince taneli çeliklerin kaynağında, ince sac, çelik mobilya, kaporta, egzost ve karoseri kaynaklarında kullanılır. Bu kaynak teline ait kimyasal bileşim oranları Tablo 5.3. 'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Uygulamada kullanılan kaynak teline ait kimyasal kompozisyon

C - %	Si - %	Mn - %
0.08	0.85	1.45

5.1.3. Koruyucu Gaz ve Teknik Bilgileri

Koruyucu gazlar hakkında detaylı bilgiler Bölüm 3.5.6. Koruyucu gazlar kısmında anlatılmıştır. Deney çalışmasında koruyucu gaz olarak Ar + CO₂ + O₂ karışım gazları kullanılmıştır. Bu gazlar metal sektöründe yaygın olarak kullanılır. Bu gazlar, optimum koruma ve sprey ark, kısa devre ve darbeli ark geçişi için uygun ark karakteristiği sağlar. Kaynak sırasında bu gazların kullanılması sonucu oluşan ekzoterm oksitlenme reaksiyonu sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi zayıflar. Böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş olur [43].

Deney çalışması için yapılan kaynak uygulamalarında gaz debisi 12 l/dak olarak uygulanmıştır. Kullanılan karışım gazlarının oranları Tablo 5.4. 'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Deney çalışmasında karışım gaz oranları

Ar - %	CO ₂ - %	O ₂ - %
80	17	3

5.2. Birleştirme Teknikleri ve Kaynak Parametrelerinin Tanımlanması

Robot ile yapılan kaynak nüfuziyet testi uygulaması yapılırken kullanılan birleştirme tekniklerinin ne olduğu ve uygulamada nasıl gerçekleştiği anlatılacaktır. Ayrıca test sırasında değişimi ile nüfuziyet miktarını ve kaynak şeklini etkileyen robot için kaynak parametrelerinin neler olduğu hakkında da bilgi verilecektir.

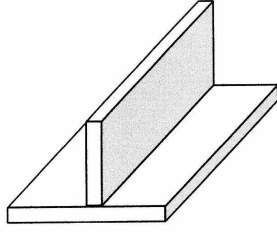
5.2.1 Kaynakla Birleştirme Tekniklerinin Tanımlanması

Bu deneysel çalışma, endüstride kullanım yoğunlukları sebebiyle bindirme kaynaklı ve iç köşe kaynaklı birleştirme tipleri ile yapılacaktır. Bunlar [29];

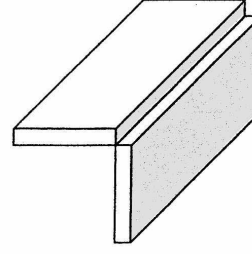
- İç köşe ve dış köşe kaynaklı birleştirmeler
- Bindirme kaynaklı birleştirmeler

5.2.1.1. İç Köşe ve Dış Köşe Kaynaklı Birleştirmeler

İki parça düzlemlerinin birbirine dik pozisyonlarda birleştirilmesidir. İç köşe birleştirmelerine T tipi birleştirme de denilebilir. Araştırma için yapılan uygulamada, köşe kaynaklı birleştirmelerden T tipi birleştirme uygulaması yapılmıştır [29]. Şekil 5.2. ve Şekil 5.3. 'de iç ve dış köşe kaynaklı birleştirmeler gösterilmiştir.



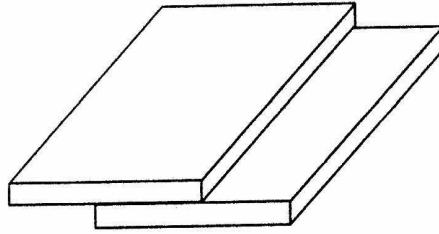
Şekil 5.2. İç Köşe (T) Birleştirme [29]



Şekil 5.3. Dış Köşe Birleştirme [29]

5.2.1.2. Bindirme Kaynaklı Birleştirmeler

Bu birleştirme türünde, kaynak işlemi iki sac birbirlerinin üzerine konularak yapılır. Kaynakçı açısından yapılması en zor kaynaklı birleştirme türüdür. Çünkü kaynakçı iki parçaya ısı dağılımını eşit uygulamak zorundadır. Eğer buna dikkat edilmez ise, üstteki parça ergimeye baslarken diğer parça henüz ısınmamış olabilir [29]. Bindirme kaynağı birleştirmeleri Şekil 5.4. 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Bindirme Kaynağı Birleştirme [29]

5.2.2 Kaynak Parametrelerinin Tanımlanması

Bölüm 3.6.4. 'de ABB endüstriyel robotlarında kullanılan RAPID programlama dilinde ArcL ve ArcC gibi kaynak komutlarının bileşenleri ve parametreleri anlatılmıştır. Bu bileşenler içerisinde anlatılan kaynak verilerinin (weld data) içerisinde, değişimleri ile kaynak kalitesini ve nüfuziyet miktarını en çok etkileyen ve deney çalışmasında da kullanılan parametreler aşağıda anlatılmıştır.

- Tel besleme hızı (weld_wirefeed)
- Uygulanan gerilim miktarı (weld_voltage)

- Kaynak hızı (weld speed)

5.2.2.1. Tel Besleme Hızı (weld_wirefeed)

Endüstriyel kaynak robotlarındaki tel besleme ünitesinden robotun torç kısmına gelen kaynak telinin hız değerini ayarlamak için kullanılan bir parametredir. Birimi m/dak olarak tanımlanmıştır. Tel sürme hızı olarak da isimlendirilebilir.

Tel sürme hızının değişmesi demek, aynı zamanda kaynak yapısına önemli bir etkisi olan ark içinde uygulanan akım şiddetinin de değişmesi demektir. Bu konuda Turhan KURŞUN ve Recep KILIK tarafından yapılan “MIG-MAG Kaynak Tekniğinde Tel İlerleme Hızının Akım Şiddeti ve Dikiş Boyutuna Olan Etkisi” [36] isimli tez çalışmasında, tel ilerleme hızı ile uygulanan akım şiddeti arasındaki ilişki incelenmiş ve “Akım şiddeti tel ilerleme hızına bağlı olarak değişmektedir. Tel ilerleme hızı arttıkça akım şiddeti de artacaktır. Akımın artması ergime gücünü dolayısıyla da kaynak dikiş formunu da etkileyecektir.” şeklinde kanaate varılmıştır. Bu deney çalışması için uygulanan kaynak işlemleri sırasında da akım değeri, akım ve gerilim üreticinin dijital göstergesinden takip edilmiş ve uygulanan akım değeri için en büyük değişimin tel sürme hız değerinin değiştirilmesiyle gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

5.2.2.2. Uygulanan Gerilim Miktarı (weld_voltage)

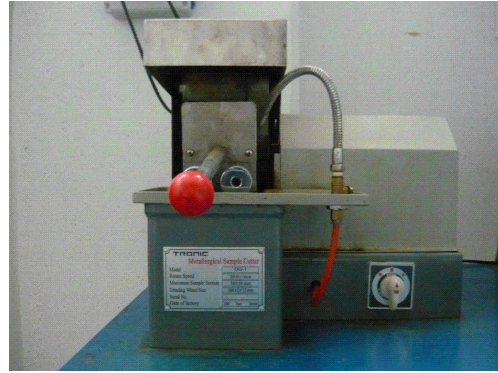
Ark kaynak sistemi ile çalışan endüstriyel kaynak robotlarında kaynak sırasında elektrota uygulanacak olan gerilimin değerini ayarlamak için kullanılan bir parametredir. Birimi volt olarak tanımlanmıştır.

5.2.2.3. Kaynak Hızı (weld_speed)

Endüstriyel kaynak robotunun kaynak işlemini gerçekleştirirken ki hızının değerini ayarlamak için kullanılan bir parametredir. Birimi mm/sn olarak tanımlanmıştır.

5.3. Numune Hazırlama Safhaları

Deney çalışması için hazırlanmış küçük fikstür yapıları robot sistemi içerisinde mengenerler yardımıyla kaynak esnasında çelik plakaların hareketini engelleyecek şekilde zemine sabitlenerek, ABB IRB 2400L kaynak robotuyla kaynak işlemi ile birleştirilmiştir. Birleştirilen bu çelik plakalarına nüfuz eden kaynak maddesinin, nüfuziyet miktarını görebilmek için bu parçaların kaynak ile birleştirilen bölgelerinin dik kesitinin alınması gereklidir. Bu dik kesit alma işlemi içinde şekil 5.5. 'de görülmekte olan "TRONIC metalürjik numune kesici cihazıyla kaynatma işlemi ile birleştirilmiş parçaların birleşim bölgelerinden kesim işlemleri yapılmıştır.



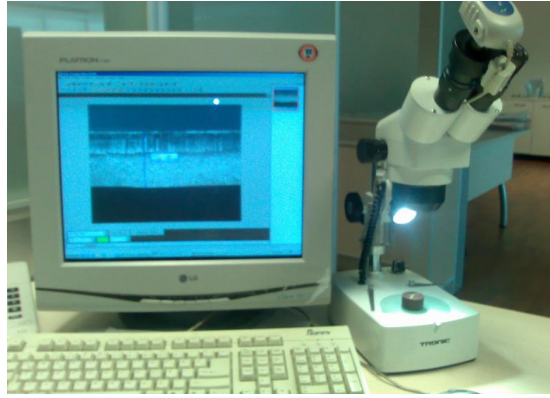
Şekil 5.5. TRONIC metalürjik numune kesici

Kesim işlemi ile kaynak ile birleşim bölgelerinden dik kesit alınacak şekilde kesim işlemi yapıldıktan sonra parlatma denilen işlemin yapılması gerekmektedir. Parlatma terimini, yüzey pürüzsüzlüğünü sağlamak amacıyla değişik hassaslıkta ki zımparalar ile yüzeyin silinmesi ve temizlenmesi olarak tanımlanabilir. Bu işlemi manüel olarak el ile yapmak oldukça zor ve zaman alıcı bir işlem olacaktır. Bunun için parlatma işlemini üstündeki zımparanın dönerek dakikada 900 devir yapmasını sağlayan Şekil 5.6. 'da ki görülmekte olan TRONIC metalürjik numune parlatıcı cihazı ile otomatik olarak, hızlı bir şekilde parlatma işlemleri yapılmıştır.



Şekil 5.6. Metalürjik numune parlatici

Bu işlemlerin sonrasında parlatılmış olan numunelerin dağlama işlemi yapılması gerekmektedir. Dağlama terimi ise, kaynak işlemi görmüş parçaların yüzeylerinin, kaynak maddesinin nüfuziyet miktarını görsel olarak görebilmek için %3'lük nital (nitrik asit + alkol) çözeltisi ile belirli bir süre temas ettirilmesi ve bu temas sonucunda oluşan renk farklılığı sayesinde kaynak malzemesi ile metal parçanın, yüzey üzerinde ayırt edilebilmesi işlemi olarak tarif edilebilir.



Şekil 5.7. Numune görüntüsünün mikroskopla büyütülüp, bilgisayara aktarılması

Son olarak ta dağlama işlemi sonrasında görsel olarak makro yapı incelemesinin yapılabilmesi için hazır hale getirilen numunelerin 10x büyüme sağlayabilen Şekil 5.7. 'de görülmekte olan mikroskop ile görüntülenmesi ve bu görüntünün bilgisayar ortamına aktarılarak ölçülendirilmesi sağlanmıştır.

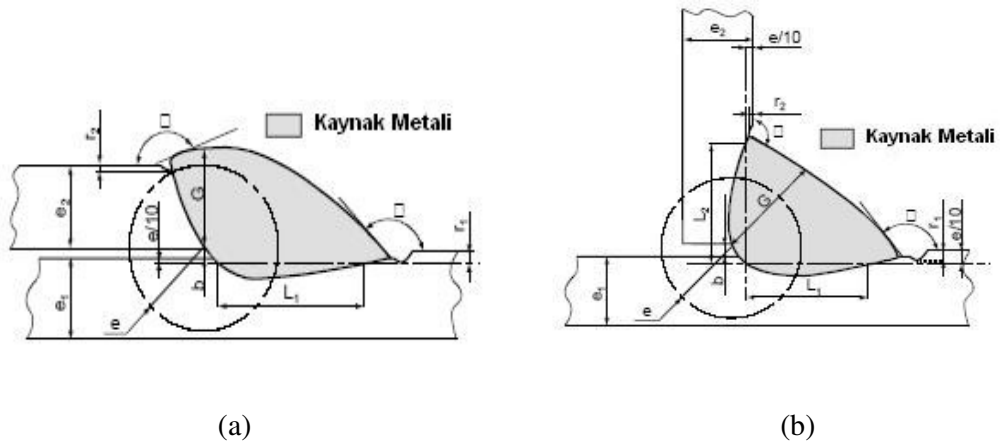
5.4. Numunelerin Makro Yapı İncelemesi

Yeterli nüfuziyet, kaynaklı bağlantının en önemli kalite kriterlerinden biridir. Bu özellik kaynak akımı başta olmak üzere gerilim, kaynak hızı ve koruyucu gaz tarafından belirlenir. Yeterli nüfuziyetin sağlanmaması kaynağı zayıf bırakacaktır. Bölüm 4.3.2. 'de anlatılan kaynak muayene yöntemlerinden olan görsel kontrol ile yapılmış olan makro yapı incelemesi ile nüfuziyetin yeterli olup olmadığı konusunda rahatlıkla fikir sahibi olunabilir.

Nüfuziyet kriterleri, birleştirme yapılacak olan metal parçaların kullanılacağı alanlara göre farklı olabilir. Otomotiv sektöründe kaynaklı yapılar oldukça fazla kullanıldığından dolayı kaynağın kalitesi ve nüfuziyeti, bu sektörde bulunan ana sanayideki firmalar için çok önemlidir. Bu yüzden otomotiv sektöründe ana sanayi firmaları, tedarikçisi olan yan sanayi firmaları tarafından üretim yapılırken uyulması istenen kaynak kriterlerini belirten şartnameler hazırlarlar.

Bu deney çalışmasında, Renault firması tarafından hazırlanan kaynak şartnamesinde belirtilen kaynak kriterlerine göre nüfuziyet değerlendirmeleri yapılacaktır.

Şekil 5.8. 'de bu şartnameye göre nüfuziyet kriterleri gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Renault firmasının kaynak şartnamesindeki nüfuziyet kriterleri:

a) Bindirme kaynaklı birleşim için b) İç köşe(T) kaynaklı birleşim için

e1: 1. saç parçasının kalınlığı

e2: 2. saç parçasının kalınlığı

L1: 1. saca nüfuz eden kaynak dolgu metalinin uzunluğu

L2: 2. saca nüfuz eden kaynak dolgu metalinin uzunluğu

G: Kaynak boğazı mesafesi

b: İki sac parçası arasındaki mesafe

Şartnameye göre nüfuziyet için kaynak dolgu metalinin, sac parçasına sac parçasının kalınlığının onda biri kadar derinliğe inerek ve sac parçası boyunca, sac parçasının kalınlığı kadar bir mesafeye nüfuz etmesi gerekir. Eğer bu şartı sağlarsa nüfuziyet için uygun kriterlere sahip olunabilir. Örneğin deney çalışmasında kullanılan sac parçalarının kalınlıkları 3 mm dir. Kaynak metalini, sac parçalarına eğer 0,3 mm eninde ve sac parçası boyunca 3 mm nüfuziyet sağladığı parçalar kriterlere göre uygun olabilecektir.

Bu araştırma için yapılan deneysel çalışmada da yapılan makro yapı incelemesi sonucunda kaynak nüfuziyet miktarı görülmüş ve gerekli yorumlamalar yapılabilmektedir. Bu deneysel çalışmada yapılan şey, daha önceki konuda anlatılmış olan kaynak kalitesini ve nüfuziyet miktarını en çok etkileyen parametreler olan, tel sürme hızı (weld_wirefeed), uygulanan gerilim miktarı (weld_voltage) ve kaynak hızı (weld speed) parametrelerinin, kontrollü olarak ikisinin sabit tutulması ve birisinin değerinin belirli ve sabit aralıklarla değiştirilmesi ile kaynak kalitesi ve nüfuziyet miktarına etkisinin incelenmesi işlemidir.

Bu inceleme için daha önce bahsedildiği gibi, muhteviyatı DIN EN 10149 (ERD 4936) çeliği olan sac parçaları ile, bindirme kaynaklı ve iç köşe (T) kaynaklı birleştirmeler yapılmıştır. Öncelikle bu birleşim çeşitlerinin her biri için, kaynak parametrelerinin değerlerinin, her bir kaynak numunesi sonrasında değiştirilerek yapılan onlarca test sonrasında Tablo 5.5. 'de görülmekte olan kaynak parametre değerlerinin optimum değerleri bulunmuş ve bu optimum değerler kullanılarak optimum kaynak değerlerine sahip olan numuneler oluşturulmuştur. Yapılan testler sonucunda, bindirme kaynaklı ve iç köşe(T) kaynaklı birleştirme için aynı parametre değerlerin optimum kaynak nüfuziyetini sağladığı görülmüştür.

Tablo 5.5. Bindirme ve iç köşe kaynaklı birleşim için optimum kaynak parametre değerleri

Tel sürme hızı (m/dak)	Uygulanan gerilim miktarı (V)	Kaynak hızı (mm/sn)
6	24	6

Sonrasında her bir birleşim çeşidi için, her bir optimum kaynak parametre değerinin belirli ve sabit aralıklarla değişimi yapılmış ve bu değişimler sonucunda, kaynatılmış olan numunelerin kaynak kaliteleri, nüfuziyet miktarları ve kaynak alanları gözlemlenip, gerekli yorumlarla birlikte yapılmış olan incelemeye aktarılmıştır.

Deney çalışması için öncelikle, kullanılacak olan ABB IRB 2400L robotu uygulamayı yaptırabilmek için gerekli olan programın, RAPID programlama dili ile yazılıp robotun hafızasına aktarılması veya teachpendant vasıtasıyla operatör programlamasıyla yapılması gerekmektedir. Uygulama için yazılmış olan program aşağıda görülmektedir.

```

Coolers On;
MoveJ HOME,v600,z50,tWeldGun;
MoveJ p1000,v800,z50,tWeldGun\WObj:=wobj_LH1;
MoveL p1010,v500,z50,tWeldGun\WObj:=wobj_LH1;
ArcL\On,p1020,v400,sm1,wdr1,wvr3,fine,tWeldGun\WObj:=wobj_LH1;
ArcL\Off,p1030,v400,sm1,wdr1,wvr3,fine,tWeldGun\WObj:=wobj_LH1;
MoveL p1040,v600,z50,tWeldGun\WObj:=wobj_LH1;
MoveJ Np1000,v800,z50,tWeldGun\WObj:=wobj_LH1;
MoveJ HOME,v600,z50,tWeldGun;
Stop;
Coolers Off;

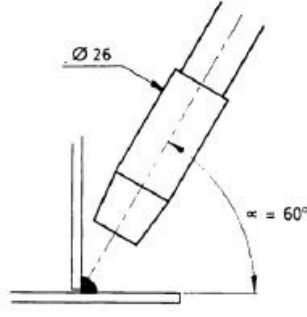
```

Program robotun hafızasına yüklendikten sonra, yapılan deneyin doğru sonuç vermesi için önem arz eden aşağıdaki işlemler sırasıyla yapıldı.

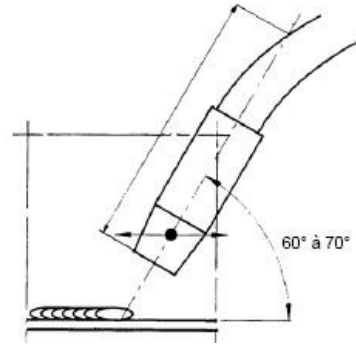
1. Kaynak esnasında kullanılan sac parçaların istenilen ve yerleştirilmiş olan konumda herhangi bir hareket olmayacak şekilde sabit tutulması gerekmektedir. Bunun için kullanılacak olan sac parçalarının boyutlarına göre, parçalar arasında kaynak işlemi gören kısımları arasında herhangi bir boşluk

kalmayacak ve yüzeylerinin teması sağlanacak şekilde konumlandırılacak yuvalar hazırlanmış ve robotların kaynak yaptığı fikstürlere mengenerle, hareket etmeyecek şekilde sabitlenmiştir.

2. Uygulamada saç parçaların birleştirilmesinde optimum nüfuziyeti sağlayabilmesi için kaynak telinin saç parça üzerine geliş açısı da önem kaydetmektedir. Bu yüzden robot torcunun kaynak yapma açısı, iki bileştirme tipi içinde 30° olması gereklidir [21]. Bunun dışında hem bindirme kaynaklı, hem de iç köşe(T) kaynaklı birleşim için Şekil 5.10. ve Şekil 5.11. 'de gösterildiği gibi zemine 60° açı ile konumlandırılırsa torcun en doğru kaynak dikişi yapma pozisyonları elde edilmiş olur. Deney çalışmasında torç için bu yönlendirmelere azami özen gösterilmiştir.

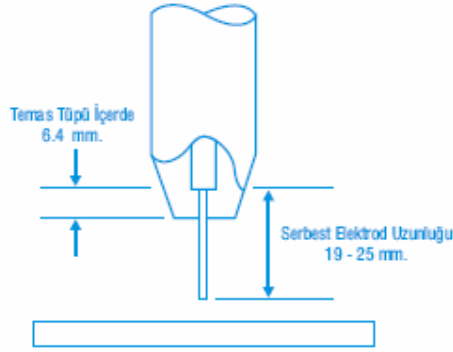


Şekil 5.9. Kaynak dikişi çekme yandan görünüşü



Şekil 5.10. Kaynak dikişi çekme önden görünüşü

3. Kaynak işlemi için diğer bir önemli faktör de, temas tüpünün kaynak yapılacak iş parçasına olan uzaklığı ve serbest tel uzunluğunun miktarıdır. Serbest tel uzunluğu Şekil 5.11. 'de görüldüğü üzere, kaynak telinin temas tüpünden çıkmış tel uzunluğunun miktarıdır. Deney çalışması için serbest tel uzunluğu miktarı, Prof Dr. Y. Barlas Eryürek 'in hazırlamış olduğu "Gazaltı Kaynağı" isimli kitabında belirtildiği aralık dahilinde olan 20 mm serbest tel uzunluğu ile kaynak işlemi özenli bir şekilde gerçekleştirilmiştir



Şekil 5.11. Serbest tel uzunluğunun mesafesi [33]

Kaynatma işlemi sırasında gerilim ve akım kaynağının dijital göstergesinden ark sırasında otomatik olarak uygulanan akımın değeri okunup kaydedilmiştir. Bu sayede uygulanan akımın daha etkin olarak, tel sürme hızına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca akımın kaynak dikişinin şekli üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. İncelenen kaynak parametre değerleri ile beraber uygulanan akım değerleri de ilgili tablolarda verilecektir.

5.4.1 Tel Sürme Hızının Etkisi

Tel sürme hızının nüfuziyete etkisini görebilmek için uygulanan gerilim miktarı ile kaynak hızı değerlerinin sabit tutulup, tel sürme hız değerinin değiştirilerek kaynak işlemi uygulanması ve sonrasında incelenmesi gerekmektedir. Tablo 5.6. 'de görüldüğü gibi optimum kaynak parametre değerlerinden 2 aşağısı ve 2 yukarısı dahil olmak üzere birer birim aralıklarla değiştirilerek, etkinin daha fazla görülmesi sağlanmıştır.

Tablo 5.6. Kaynakla birleştirme türleri için tel sürme hızı ve akım değişimi

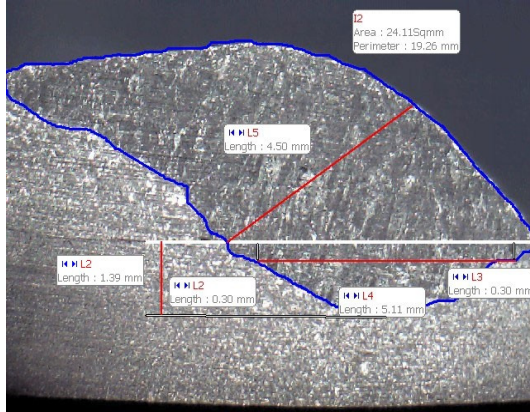
Tel sürme hızı (m/dak)	Uygulanan gerilim miktarı (V)	Kaynak hızı (mm/sn)	Uygulanan akım değeri (A)
8	24	6	170 - 180
7	24	6	155 - 165
6	24	6	135 - 145
5	24	6	115 - 125
4	24	6	100 - 110

Bu değerlere sırasıyla bindirme kaynaklı, iç köşe (T) kaynaklı birleşim uygulamaları yapılmış ve uygulamaların sonucundaki gözlemler anlatılmıştır.

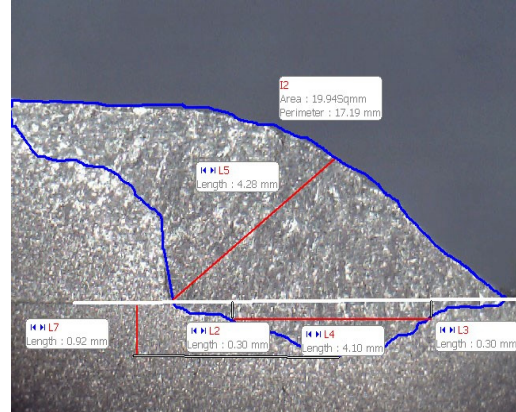
5.4.1.1. Bindirme Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etki

Bindirme kaynaklı birleştirme uygulaması öncesinde saç parçalar sabitlendi. Sonrasında torcun iş parçası üzerinde kriterlere uygun konumlandırılması yapılarak serbest tel boyu mesafesi ayarlandı.

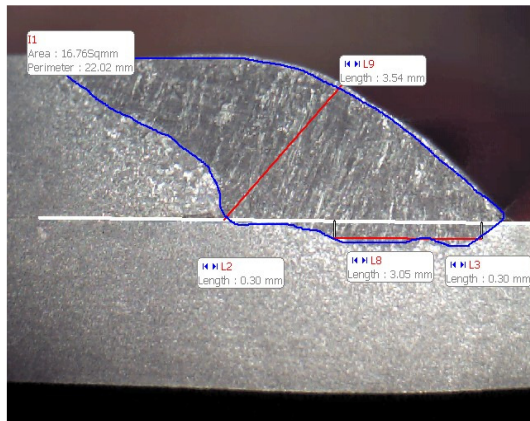
Bu ayarlamaların sonrasında kaynak işlemi yapılan saç parçalarının makro yapı görüntüleri Şekil 5.12. ile Şekil 5.16. arasında verilmiştir.



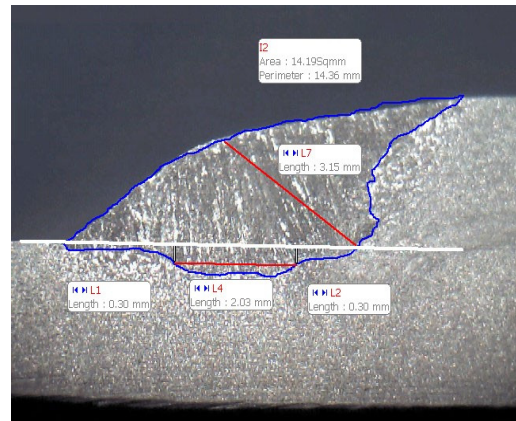
Şekil 5.12. Tel sürme hızı: 8 m/dak



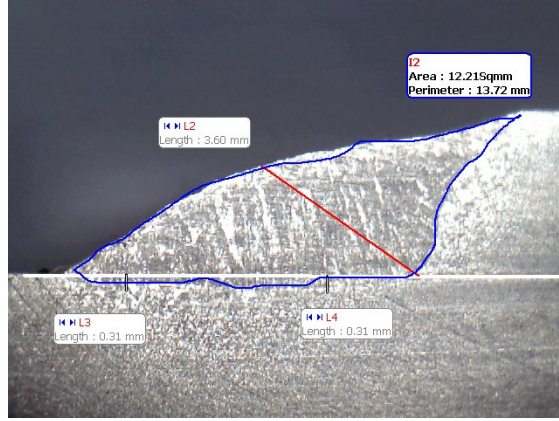
Şekil 5.13. Tel sürme hızı: 7 m/dak



Şekil 5.14. Tel sürme hızı: 6 m/dak



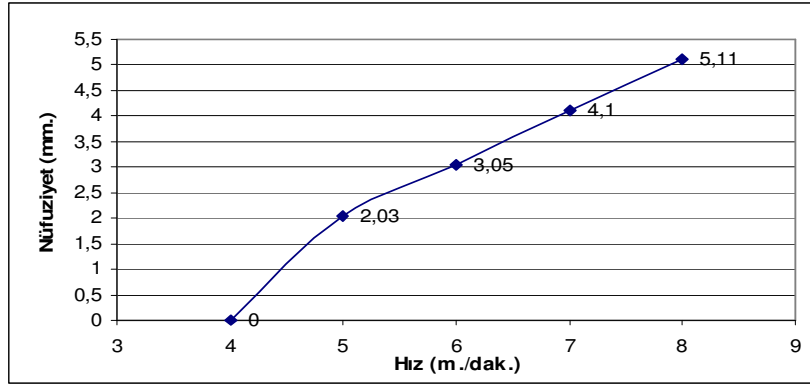
Şekil 5.15. Tel sürme hızı: 5 m/dak



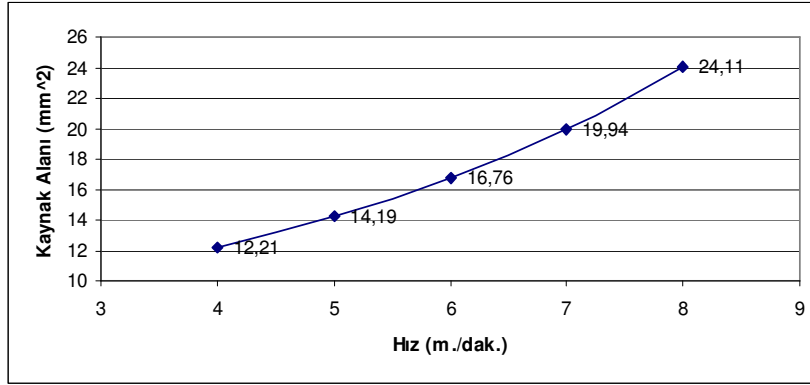
Şekil 5.16. Tel sürme hızı: 4 m/dak

Tablo 5.7. Bindirme kaynaklı birleşim için tel sürme hızı - kaynak nüfuziyet değişimi

Tel Sürme Hızı (m/dak)	Alt saç nüfuziyet miktarı (mm)	Kaynak Alanı (sqmm) (mm ²)
8	5,11	24,11
7	4,10	19,94
6	3,05	16,76
5	2,03	14,19
4	0	12,21



Şekil 5.17. Bindirme kaynaklı birleşim için tel sürme hızı – nüfuziyet değişimi



Şekil 5.18. Bindirme kaynaklı birleşim için tel sürme hızı – kaynak alanı değişimi

Bindirme kaynaklı birleşim uygulaması için diğer parametrelerin sabit tutulup tel sürme hızı artırılması ile, ark sırasındaki uygulanan akım değeri oldukça artmaktadır. Buda ark sırasında oluşan ısı miktarını arttırmakta ve bu sayede ana metalin daha fazla ısı geçişi olmasıyla metalin erimesini sağlamaktadır. Ana metalin eriyen bu kısımlarına, yine arkın ısısı ile eriyen kaynak metali dolmakta ve derin nüfuziyet değerleri oluşmaktadır. Özellikle tel sürme hızının 6 m/dak değerinden daha yüksek değerleri ile kaynak işlemi yapılan numunelerde bu durum açıkça görülebilmektedir. Tel sürme hızının 7 m/dak olduğu numune de kaynak metalinin ana metal yüzeyinden itibaren nüfuziyet derinliğinin 0,92 mm, 8 m/dak olan numunenin ise bu derinliğinin 1,39 mm olması bu durumu açıkça göstermektedir.

Burada birim kaynak dikişi mesafesine gelen kaynak metali miktarının da önemi bulunmaktadır. Eğer kaynak banyosuna yeterince kaynak metali aktarılmaz ise, ark sırasındaki akım ile eriyen ana metale yeterince kaynak metali nüfuz edemeyecek ve kaynak dikişinde yanma olukları görülebilecektir.

Kaynak telini sürme hızı ile kaynak hızı arasındaki ilişki dengesine bağlı olarak kaynak işlemi sırasında ark ile eriyen kaynak metalinin, kaynak hızı sabit iken tel sürme hız değerinin 6 m/dak değerinden fazla olması durumunda, kaynak banyosuna gelen kaynak metalinin fazla olması ve bunun sonucunda kaynak metalinin yığılması ile kaynak dikiş genişliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumda kriterlere göre aşırı bir kaynak yığılması ve kaynak maddesinin aşırı sarfiyatı söz konusu olmaktadır. Bu mühendislik açısından endüstride istenmeyen bir durumdur.

Bunun dışında numunelere bakarak, eğer tel sürme hızı daha da çok artırılır ise kaynak telinin fazla uygulanması ve oluşan ark akımının yüksek olması sonucunda

aşırı ısı girdisine bağlı olarak ana malzemeyi daha da fazla eritip, ana metalin delinmesine ve kaynak kök akması denilen durumun oluşmasına sebep olunabileceği söylenebilir.

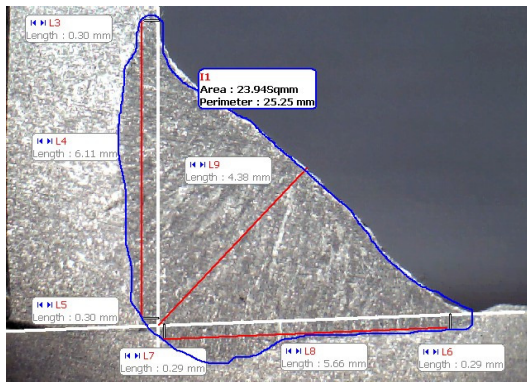
Tel besleme hızı 6 m/dak değerinden daha düşük değerlerde kaynak işlemi uygulandığında, kaynak banyosuna yetersiz kaynak metali verilmesi ve kaynak akım değerinin oldukça azalmasından dolayı, kaynak banyosunda yeterince ısı enerjisi sağlanamamış ve ana metalde yetersiz erime ve nüfuziyet durumları gözlemlenmiştir. Özellikle tel sürme hızının 4 m/dak ya düşürülmesiyle kritere göre kaynak nüfuziyetinin neredeyse hiç olmadığı görülmüştür.

Tel besleme hızı ile kaynak alanı arasındaki ilişki Şekil 5.18. 'de görülmektedir. Tel besleme hızının artması ile beraber kaynak alanı artış oranlarının fazlaştığı görülmektedir. Bu durumun tel besleme değerlerinin artması ile ana metal erime artım oranlarının daha fazla olması ile kaynak banyosuna verilen kaynak metalinin daha rahat bir şekilde hareketi sayesinde olduğu düşünülmektedir.

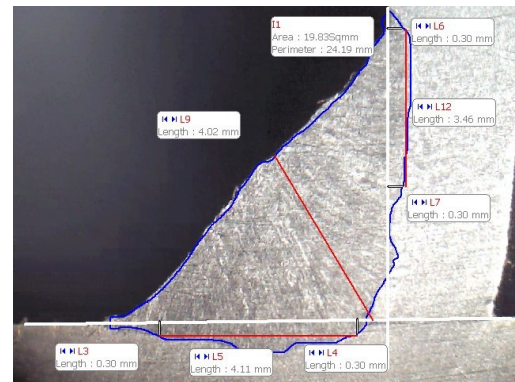
5.4.1.2. İç Köşe (T) Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etki

İç köşe (T) kaynaklı birleştirme uygulaması öncesinde saç parçalar sabitlendi. Sonrasında torcun iş parçası üzerinde kriterlere uygun konumlandırılması yapıldı ve serbest tel boyu mesafesi ayarlandı.

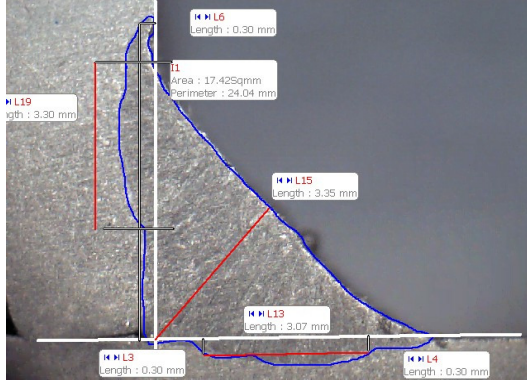
Bu ayarlamaların sonrasında kaynak işlemi yapılan saç parçalarının makro yapı görüntüleri Şekil 5.19. ile Şekil 5.23. arasında verilmiştir.



Şekil 5.19. Tel sürme hızı: 8 m/dak



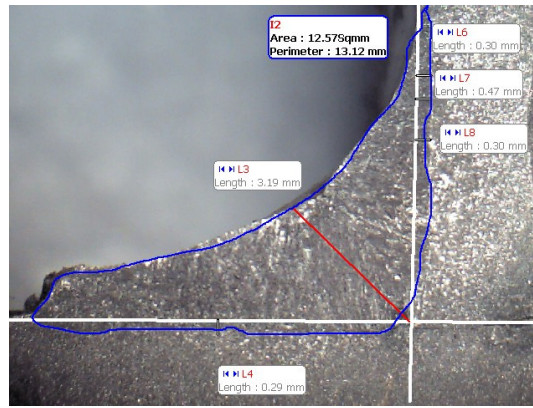
Şekil 5.20. Tel sürme hızı: 7 m/dak



Şekil 5.21. Tel sürme hızı: 6 m/dak



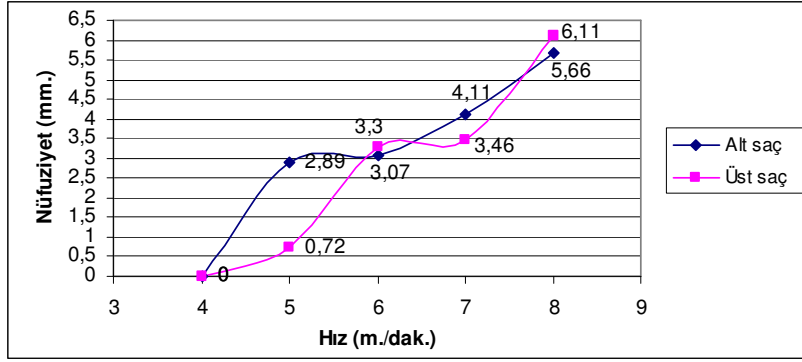
Şekil 5.22. Tel sürme hızı: 5 m/dak



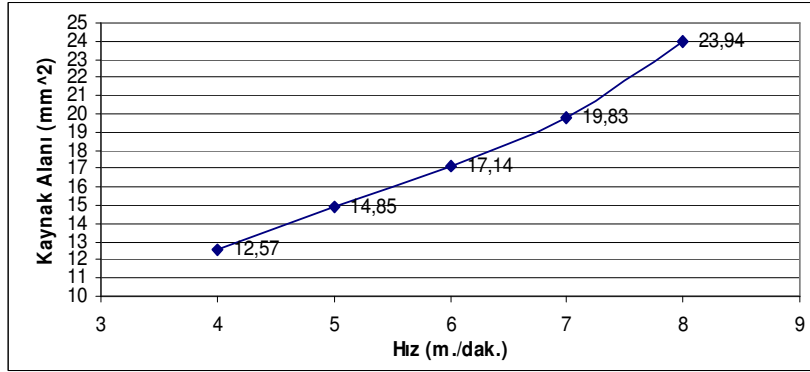
Şekil 5.23. Tel sürme hızı: 4 m/dak

Tablo 5.8. İç köşe (T) kaynaklı birleşim için tel sürme hızı - kaynak nüfuziyet değişimi

Tel sürme hızı (m/dak)	Alt saç nüfuziyet miktarı (mm)	Üst saç nüfuziyet miktarı (mm)	Kaynak Alanı (sqmm) (mm ²)
8	5,66	6,11	23,94
7	4,11	3,46	19,83
6	3,07	3,30	17,14
5	2,89	0,72	14,85
4	0	0,47	12,57



Şekil 5.24. İç köşe kaynaklı birleşim için tel sürme hızı – nüfuziyet değişimi



Şekil 5.25. İç köşe kaynaklı birleşim için tel sürme hızı – kaynak alanı değişimi

Şekil 5.24.'den görüldüğü gibi iç köşe kaynaklı birleşim uygulaması için diğer parametrelerin sabit tutulup tel sürme hızı arttırdıkça, saç parçalarındaki kaynak nüfuziyet miktarı artmaktadır. İç köşe birleştirmede optimum kaynak değeri olan 6 m/dak dan azaltılması veya artırılması durumunda kaynak nüfuziyet miktarında önemli değişimler olmaktadır. Tel besleme hızı 6 m/dak değerinden fazla olduğunda, yükselen akım değerinin de etkisiyle eriyen kaynak metalinin temas ettiği saç yüzeylerine ısı geçişi ile ana metalde daha fazla erime durumu oluşmuş ve kaynak banyosu altında olan bu bölgelere kaynak metalinin nüfuziyeti, nüfuziyet kriterlerin neredeyse 2 katına çıkmasına sebep olmuştur. Tel besleme hızı 6 m/dak değerinden az olması durumunda ise, kaynak banyosuna yetersiz kaynak metali verilmesi ve kaynak akım değerinin oldukça azalmasından dolayı, kaynak banyosunda yeterince ısı enerjisi sağlanamamış ve ana metalde yetersiz erime ve nüfuziyet durumları gözlemlenmiştir.

Özellikle tel sürme hızının 4 m/dak ya düşürülmesiyle kritere göre kaynak nüfuziyetinin neredeyse hiç olmadığı görülmüştür.

Tel sürme hızının değeri, optimum değer olan 6 m/dak ile kaynak işlemi uygulandığında saç arasındaki kaynak boğazı, düz bir kaynak yüzeyine sahipken, bu değerden fazla olduğunda kaynak metalinin yığılmaya başladığı gözlemlenmektedir. Aynı şekilde, değeri bu değerden daha az olan uygulamalarda ise kaynak boğazının kritere yeterli nüfuziyet değerlerinden düşmeye başladığı gözlemlenmektedir.

5.4.2 Uygulanan Gerilim Miktarının Etkisi

Uygulama gerilim miktarının nüfuziyete etkisini görebilmek için tel sürme hız değeri ile kaynak hızı değerlerinin sabit tutulup, uygulanan gerilim miktarı değerinin değiştirilerek kaynak işlemi uygulanması ve sonrasında incelenmesi gerekmektedir. Uygulanan gerilim değeri, Tablo 5.9. 'da görüldüğü gibi optimum kaynak parametre değerlerinden 2 aşağısı ve 2 yukarısı dahil olmak üzere birer birim aralıklarla değiştirilerek, etkinin daha fazla görülmesi sağlanmıştır.

Tablo 5.9. Kaynakla birleştirme türleri için gerilim ve akım miktarı değişimi

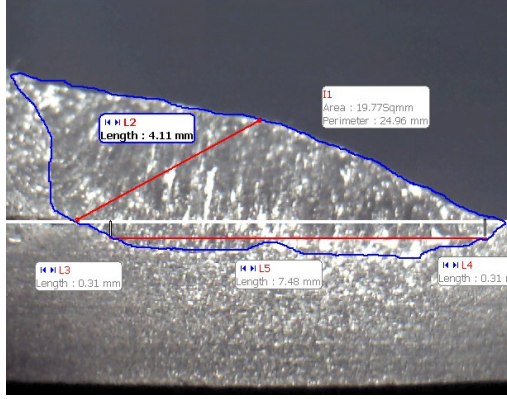
Tel sürme hızı (m/dak)	Uygulanan gerilim miktarı (V)	Kaynak hızı (mm/sn)	Uygulanan akım değeri (A)
6	28	6	150 – 160
6	26	6	140 – 150
6	24	6	135 – 145
6	22	6	135 – 145
6	20	6	130 – 140

Bu değerlere sırasıyla bindirme kaynaklı, iç köşe (T) kaynaklı birleşim uygulamaları yapılmış ve uygulamaların sonucundaki gözlemler anlatılmıştır.

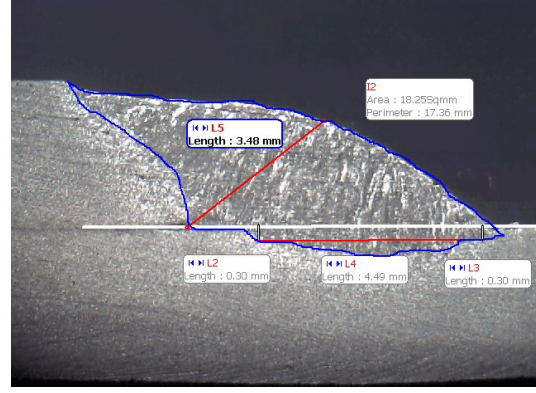
5.4.2.1. Bindirme Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etki

Bindirme kaynaklı birleştirme uygulaması öncesinde saç parçalar sabitlendi. Sonrasında torcun iş parçası üzerinde kriterlere uygun konumlandırılması yapıldı ve serbest tel boyu mesafesi ayarlandı.

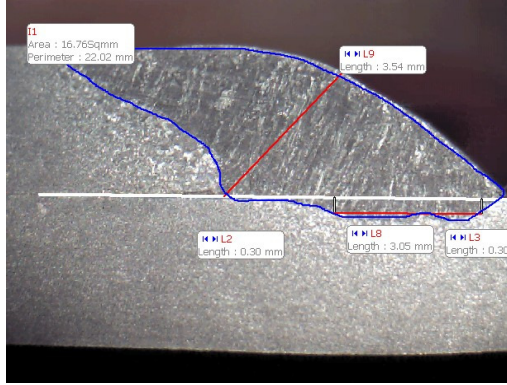
Bu ayarlamaların sonrasında kaynak işlemi yapılan saç parçalarının makro yapı görüntüleri Şekil 5.26. ile Şekil 5.30. arasında verilmiştir.



Şekil 5.26. Gerilim miktarı: 28 V



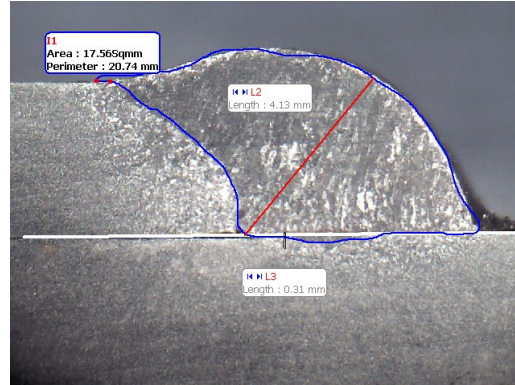
Şekil 5.27. Gerilim miktarı: 26 V



Şekil 5.28. Gerilim miktarı: 24 V



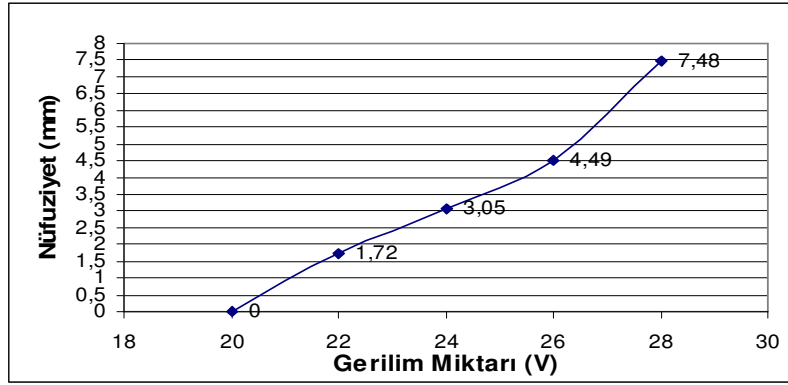
Şekil 5.29. Gerilim miktarı: 22 V



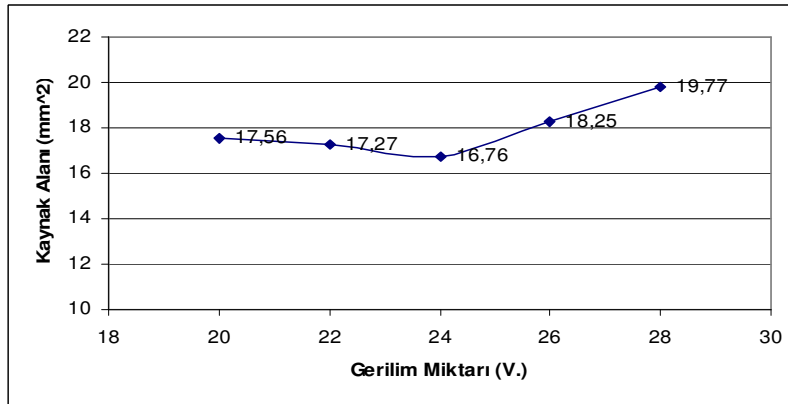
Şekil 5.30. Gerilim miktarı: 20 V

Tablo 5.10. Bindirme kaynaklı birleşim için gerilim miktarı - kaynak nüfuziyet değişimi

Gerilim miktarı (V)	Alt saç nüfuziyet miktarı (mm)	Kaynak Alanı (sqmm) (mm ²)
28	7,48	19,77
26	4,49	18,25
24	3,05	16,76
22	1,72	17,27
20	0	17,56



Şekil 5.31. Bindirme kaynaklı birleşim için gerilim miktarı – nüfuziyet değişimi



Şekil 5.32. Bindirme kaynaklı birleşim için gerilim miktarı – kaynak alanı değişimi

Şekil 5.31. 'den görüldüğü gibi bindirme kaynaklı birleşim uygulaması için ark sırasında, diğer parametrelerin sabit tutulup uygulanan gerilim miktarı arttırıldıkça, nüfuziyet miktarı artmıştır. Bunun sebebi artan gerilim miktarı ile beraber akım miktarı da artış göstermiş ve kaynak metaline ısı geçişi arttığından dolayı kaynak metalinin daha akışkan bir yapı özelliği göstermesini sağlamasıdır. Buda, ısı etkisi altında eriyen ana metalinin yüzeyinde daha fazla alana dağılmasına

ve kaynak dikişinin genişliğinin daha fazla olmasına sebep olmuştur. Özellikle gerilim değerinin 26 V değerinden 28 V değerine çıkarılması ile nüfuziyet değerinin 2,99 mm artarak 7,40 mm değerine ulaşmasının nedeni olarak bu gösterilebilir.

Uygulanan gerilim miktarının 24 V olması durumunda kritere göre alttaki saç parçasının nüfuziyet değeri 3,05 mm nüfuziyet değerinin optimum nüfuziyet değerine en yakın değerler olmasından dolayı, 24 V ark gerilim değeri optimum kaynak gerilim değeri olarak belirlenmiştir.

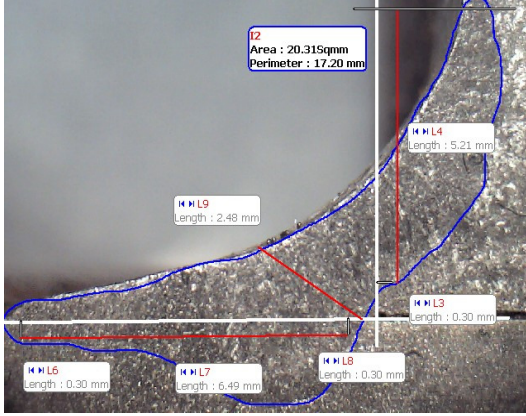
Uygulanan gerilimi azalttıkça da kaynak akımının da azaldığı ve bu sebeplerle kaynak metaline ısı geçişi yeterli olmadığı ve kaynak metalinin, ana metal üzerinde dağılmadan, yığılması şeklinde bir kaynak yapısı oluşumu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı da, kaynak metalinin ana metal içerisinde yeterli nüfuziyetinin sağlanamadığı görülmüştür. Hatta gerilim miktarının 20 V olduğu numunede kaynak metalinin ana metalde hiç nüfuziyet gösteremediği görülmüştür.

Kaynak banyosuna verilen tel besleme miktarının ve kaynak hızının sabit olmasından dolayı, teoride kaynak alanının da sabit olması gerekli diye düşünülebilir. Fakat uygulanan gerilim miktarının değişimi ile beraber kaynak metali ve ana metalin erime ve yayılımının farklılıklarından dolayı kaynak alanında farklılıklar olabilmektedir. Şekil 5.32. 'de görüldüğü gibi genel anlamda kaynak alanı değişimi sınırlıdır.

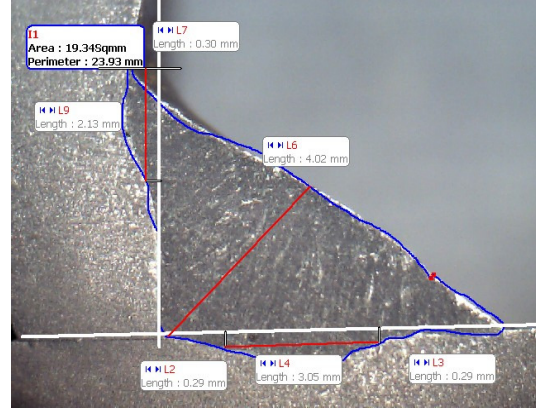
5.4.2.2. İç Köşe (T) Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etki

İç köşe (T) kaynaklı birleştirme uygulaması öncesinde saç parçalar sabitlendi. Sonrasında torcun iş parçası üzerinde kriterlere uygun konumlandırılması yapıldı ve serbest tel boyu mesafesi ayarlandı.

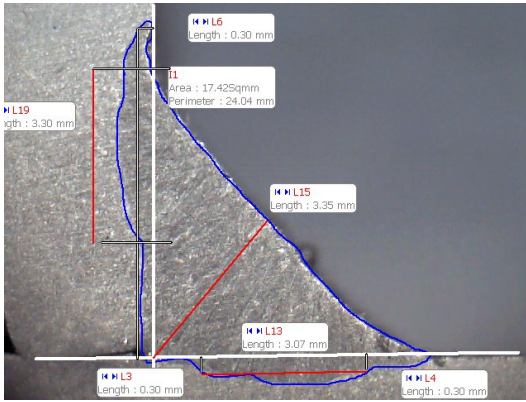
Bu ayarlamaların sonrasında kaynak işlemi yapılan saç parçalarının makro yapı görüntüleri Şekil 5.33. ile Şekil 5.37. arasında verilmiştir.



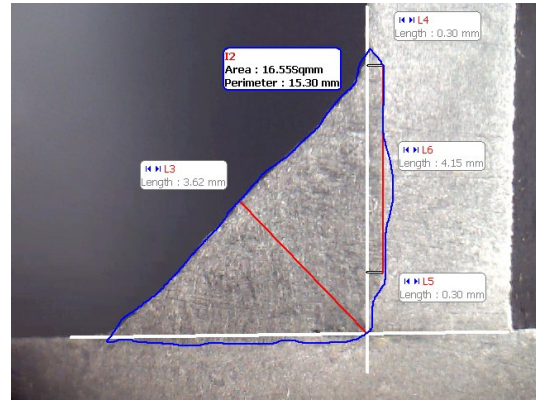
Şekil 5.33. Gerilim miktarı: 28 V



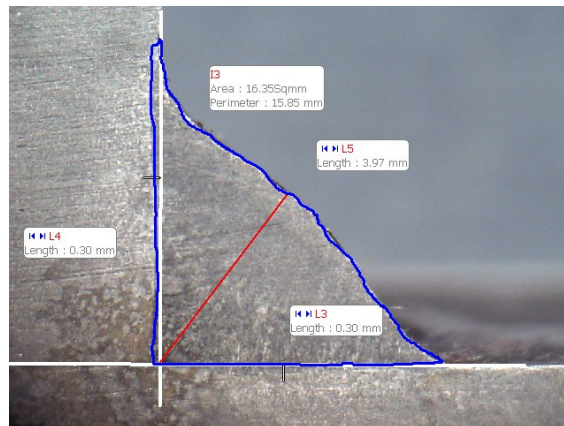
Şekil 5.34. Gerilim miktarı: 26 V



Şekil 5.35. Gerilim miktarı: 24 V



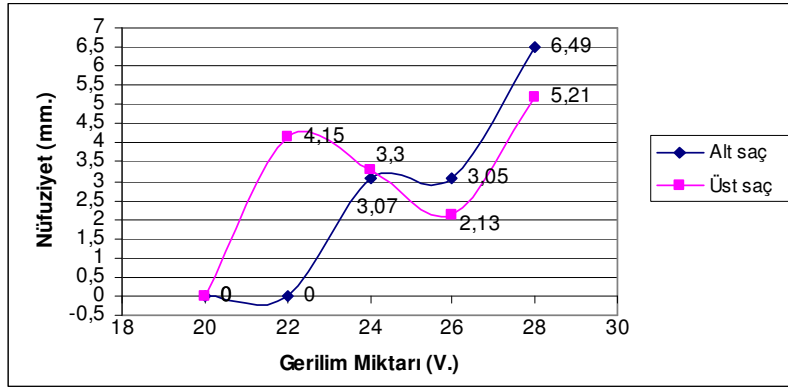
Şekil 5.36. Gerilim miktarı: 22 V



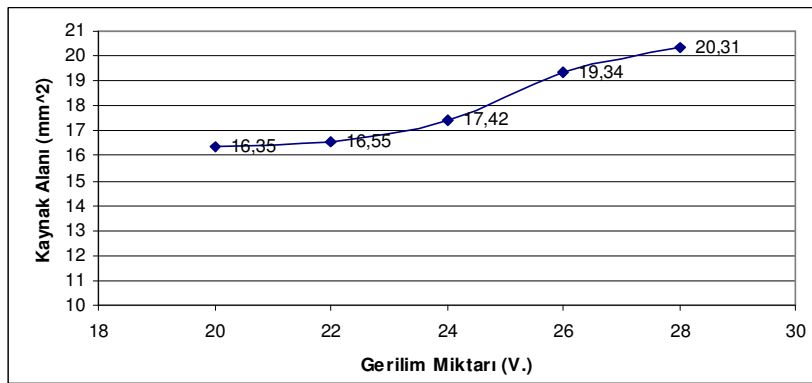
Şekil 5.37. Gerilim miktarı: 20 V

Tablo 5.11. İç köşe (T) kaynaklı birleşim için gerilim miktarı - kaynak nüfuziyet değişimi

Gerilim miktarı (V)	Alt saç nüfuziyet miktarı (mm)	Üst saç nüfuziyet miktarı (mm)	Kaynak Alanı (sqmm) (mm ²)
28	6,49	5,21	20,31
26	3,05	2,13	19,34
24	3,07	3,30	17,42
22	0	4,15	16,55
20	0	0	16,35



Şekil 5.38. İç köşe kaynaklı birleşim için gerilim miktarı – nüfuziyet değişimi



Şekil 5.39. İç köşe kaynaklı birleşim için gerilim miktarı – kaynak alanı değişimi

Şekil 5.38. 'den görüldüğü gibi iç köşe kaynaklı birleşim uygulaması için diğer parametrelerin sabit tutulup uygulanan gerilim miktarı arttırdıkça, saç

parçalarındaki kaynak nüfuziyet miktarı artmaktadır. Fakat optimum kaynak değerlerinden daha yüksek gerilim olan 26 V uygulandığında, beraberinde kaynak arkında uygulanan akımın değerinin de artması sebepleriyle üst saç metaline fazla ısı geçişinden dolayı yanma oluklarının belirgin şekilde oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden nüfuziyet de azalma görülmektedir. Özellikle de gerilim değeri 28 V olduğunda, gerilim değeri ile beraber akımın da 160 A değerine kadar çıkmasıyla sonucu saç metalinin erimesinden dolayı büyük şekil değişimi gözlemlenmiştir. Bu yüzden gerçek anlamda bir nüfuziyet durumundan söz edilemez. Kaynaklı birleştirmelerde bu durum istenmemektedir. Çünkü yanma olukları ve hatta bu derece şekil değişikliğinin olması kaynaklı parçanın tüm parça bazında mukavemet değerlerini önemli derecede etkilemektedir.

Kaynak gerilim değeri optimum değerden daha düşük değerlerde uygulandığında ise kaynak sırasında uygulanan ark geriliminin ile beraber ark akımında azalmasından dolayı ana metali eritmeyi sağlayacak ısı geçişi olmadığı, bu sebeple de kaynak metalinin ana metal içerisine yeterli nüfuziyeti sağlamadığı ve kaynak maddesinin kaynak boğazında yığılma yapmaya başladığı gözlemlenmiştir. Özellikle gerilim değeri 20 V olduğunda neredeyse hiç nüfuziyet olmadığı görülmüştür.

Kaynak alanı için, bindirme kaynaklı birleştirmede anlatılanların burada geçerli olduğu söylenebilir. Fakat özellikle, uygulanan gerilim 24 V üzerine çıktığında ana metalin aşırı erimesi ile oluşan yanma oluklarının, metalin yapısında yaptığı şekil değiştirmesi sonucunda tel sürme ve kaynak hızı değerlerinin sabit olmasına rağmen kaynak alanında değişimin daha fazla olduğu görülmüştür.

5.4.3 Kaynak Hızının Etkisi

Kaynak hızının nüfuziyete etkisini görebilmek için gerilim miktarı ile tel sürme hız değerlerinin sabit tutulup, kaynak hızı değerinin değiştirilerek kaynak işlemi uygulanması ve sonrasında incelenmesi gerekmektedir. Tel sürme hız değeri, Tablo 5.12. 'de görüldüğü gibi optimum kaynak parametre değerlerinden 2 aşağısı ve 2 yukarısı dahil olmak üzere birer birim aralıklarla değiştirilerek, etkinin daha fazla görülmesi sağlanmıştır.

Tablo 5.12. Kaynakla birleştirme türleri için kaynak hızı ve akım değışımi

Tel sürme hızı (m/dak)	Uygulanan gerilim miktarı (V)	Kaynak hızı (mm/sn)	Uygulanan akım değeri (A)
6	24	8	135 – 145
6	24	7	135 – 145
6	24	6	135 – 145
6	24	5	135 – 145
6	24	4	135 – 145

Bu değerlere sırasıyla bindirme ve iç köşe (T) birleşimli kaynak uygulamaları yapılmış ve uygulamaların sonucundaki gözlemler anlatılmıştır.

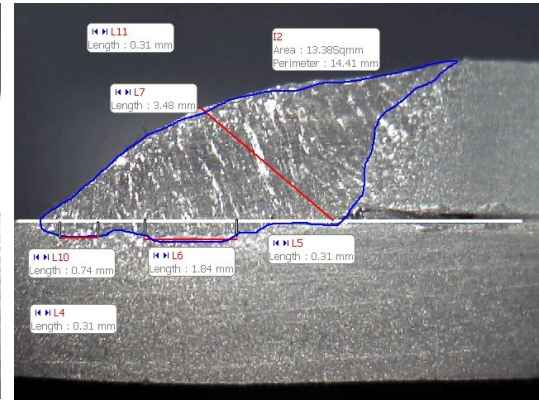
5.4.3.1. Bindirme Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etki

Bindirme kaynaklı birleştirme uygulaması öncesinde saç parçalar sabitlendi. Sonrasında torcun iş parçası üzerinde kriterlere uygun konumlandırması yapıldı ve serbest tel boyu mesafesi ayarlandı.

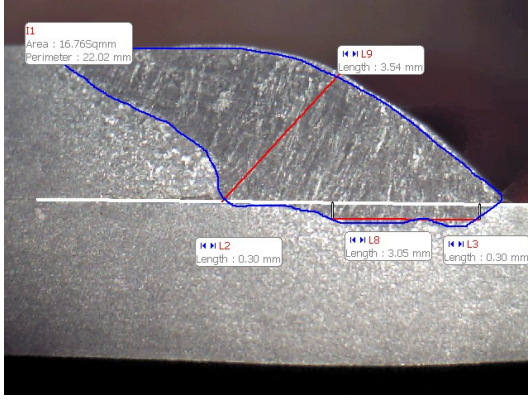
Bu ayarlamaların sonrasında kaynak işlemi yapılan saç parçalarının makro yapı görüntüleri Şekil 5.40. ile Şekil 5.44. arasında verilmiştir.



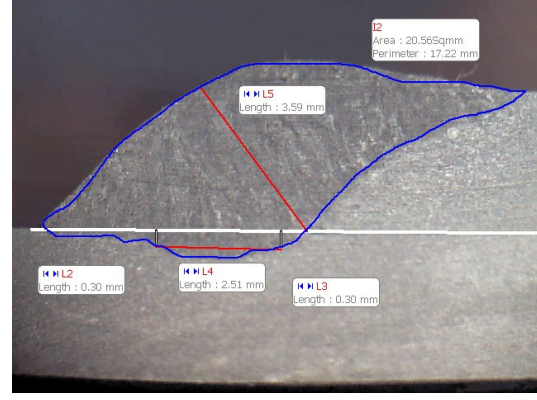
Şekil 5.40. Kaynak hızı: 8 mm/sn



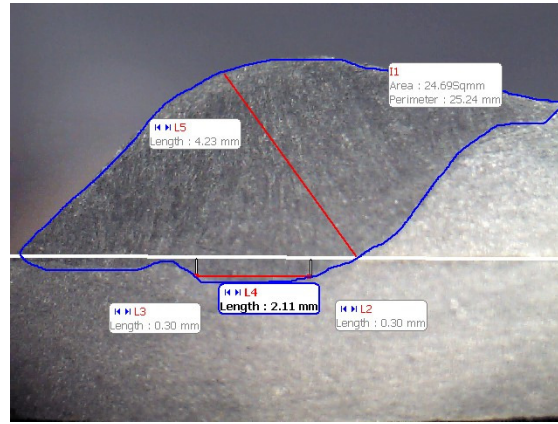
Şekil 5.41. Kaynak hızı: 7 mm/sn



Şekil 5.42. Kaynak hızı: 6 mm/sn



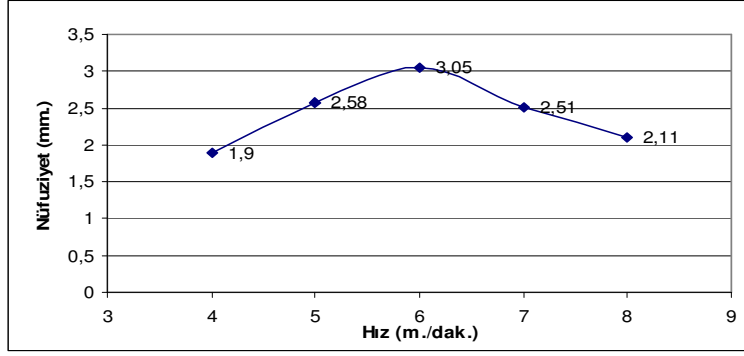
Şekil 5.43. Kaynak hızı: 5 mm/sn



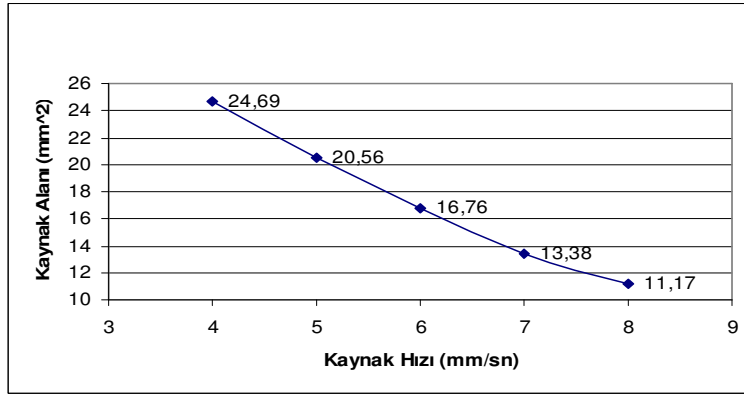
Şekil 5.44. Kaynak hızı: 4 mm/sn

Tablo 5.13. Bindirme kaynaklı birleşim için kaynak hızı - kaynak nüfuziyet değişimi

Kaynak hızı (mm/dak)	Alt saç nüfuziyet miktarı (mm)	Kaynak Alanı (sqmm) (mm ²)
8	1,90	11,17
7	2,58	13,38
6	3,05	16,76
5	2,51	20,56
4	2,11	24,69



Şekil 5.45. Bindirme kaynaklı birleşim için kaynak hızı – nüfuziyet değişimi



Şekil 5.46. Bindirme kaynaklı birleşim için kaynak hızı – kaynak alanı değişimi

Şekil 5.45. 'den görüldüğü gibi bindirme kaynaklı birleşim uygulaması için diğer parametrelerin sabit tutulup kaynak hızı arttıkça, nüfuziyet öncelikle optimum kaynak parametresi olan 6 m/dak değerine kadar artmakta, daha yüksek değerler uygulandığında ise azalmaktadır.

Öncelikle 8 m/dak değerindeki kaynak hızının oldukça yüksek olmasından sebebiyle birim zamanda arkın uygulandığı kaynak dikiş mesafesinin artmış, ana metale ve kaynak metaline ısı geçiş süresi azalmış ve ana metalin yeterince erimesi sağlanamamıştır. Bunun yanında, kaynak işleminin hızlı olmasının diğer bir sonucu olarak birim kaynak dikişindeki kaynak banyosuna yetersiz kaynak metali aktarılmış ve bunun sonucunda, ark ile eritilmiş ana metale yeterli kaynak metali nüfuziyeti olmamış, soğuk yapışma durumu oluşmuş ve bu yüzden kaynak dikiş dibinde yanma oluşu oluşumu net bir şekilde gözlenmiştir.

7 m/dak kaynak hızında, nüfuziyet belli oranda artmış fakat nüfuziyet, kriterdeki istenilen değere ulaşamamıştır.

6 m/dak kaynak hızı ile kaynak işlemi uygulandığında kritere uygun nüfuziyet değeri elde edilmektedir. Yapı olarak ta düzgün bir kaynak yapısı oluşumu gözlemlenmiştir. Fakat 6 m/dak kaynak hızından daha düşük değerlere inildikçe nüfuziyet değerlerinde düşüş görülmektedir. Bunun nedeni, literatürde Ahmet DURGUTLU, Behçet GÜLENC ve Kutsal TÜLBENTÇİ tarafından hazırlanan ve 1999 yılında yayınlanan “Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nüfuziyete ve Mikroyapıya Etkisi” isimli çalışmasının için yazılmış olan makalenin sonuç kısmında bulunan ve aşağıda bir kısmı aktarılan durumdur.

“Kaynak işlemi esnasında, hız yavaş olduğu zaman birim boya yığılan kaynak metali artımı ile kaynak metali artmış ve bu da sonuçta kaynak banyosunun büyümesine sebep olmuştur. Kaynak metalinin büyümesi ve ısı girdisinin artmasıyla akışkan hale gelen sıvı metal kaynak arkının önüne doğru akmış, bu da nüfuziyetin azalmasına neden olmuştur [42].”

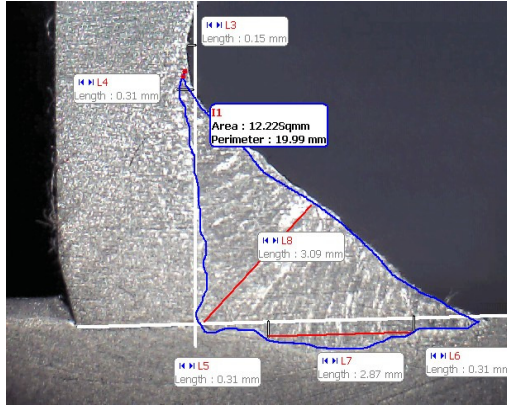
Ayrıca kaynak hızının 6 m/dak 'dan az olması durumunda kaynak telini sürme hızı ile kaynak hızı arasındaki ilişki dengesine bağlı olarak kaynak işlemi sırasında birim kaynak dikişinde, ark ile eriyen kaynak metalinin fazla olması ve bunun sonucunda kaynak metalinin yığılması ile kaynak dikiş genişliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumda kriterlere göre aşırı bir kaynak yığılması ve kaynak maddesinin aşırı sarfiyatı söz konusu olmaktadır. Bu mühendislik açısından endüstride istenmeyen bir durumdur.

Şekil 5.46. 'dan görüldüğü gibi bindirme kaynaklı birleşim uygulaması için diğer parametrelerin sabit tutulup kaynak hızı azaltılıncaya, birim kaynak dikişi yüzeyindeki kaynak alanı doğrusala yakın bir ters orantı ile artış göstermiştir.

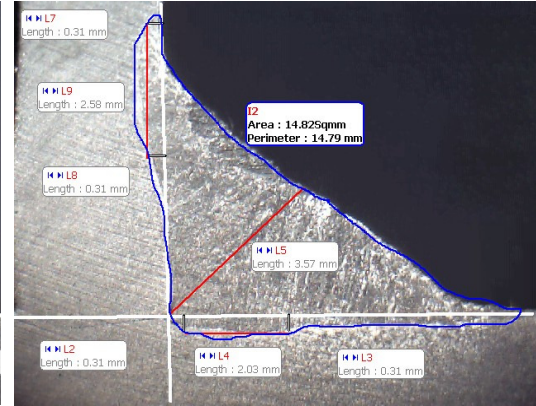
5.4.3.2. İç Köşe (T) Kaynaklı Birleştirmede Görülen Etki

İç köşe (T) kaynaklı birleştirme uygulaması öncesinde saç parçalar sabitlendi. Sonrasında torcun iş parçası üzerinde kriterlere uygun konumlandırılması yapıldı ve serbest tel boyu mesafesi ayarlandı.

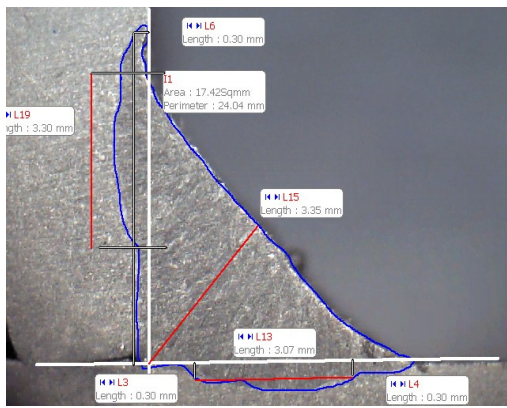
Bu ayarlamaların sonrasında kaynak işlemi yapılan saç parçalarının makro yapı görüntüleri Şekil 5.47. ile Şekil 5.51. arasında verilmiştir.



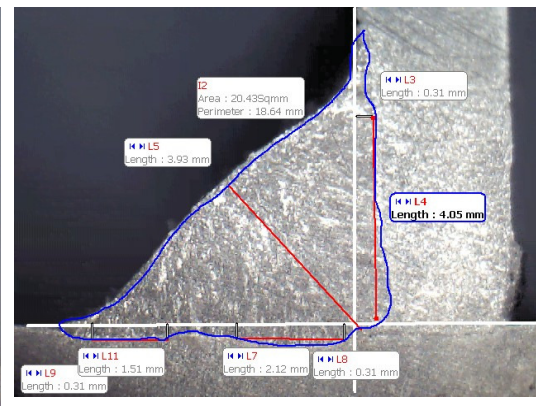
Şekil 5.47. Kaynak hızı: 8 mm/sn



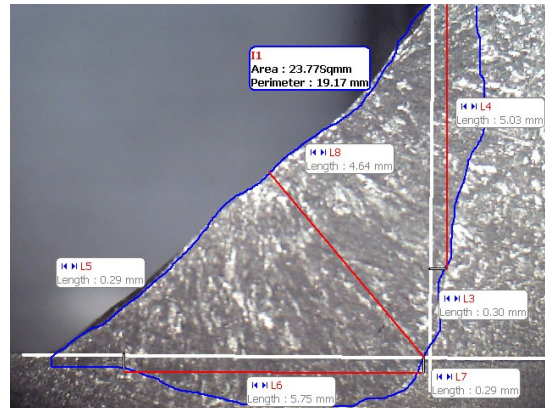
Şekil 5.48. Kaynak hızı: 7 mm/sn



Şekil 5.49. Kaynak hızı: 6 mm/sn



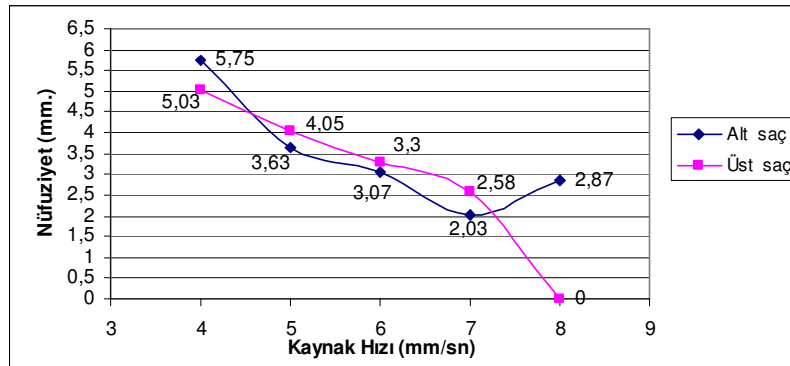
Şekil 5.50. Kaynak hızı: 5 mm/sn



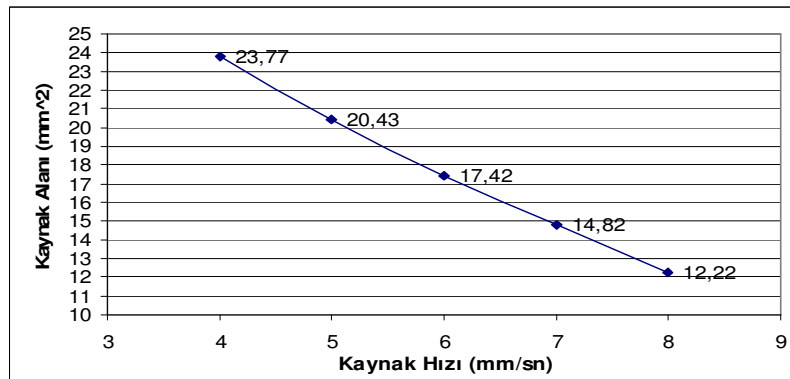
Şekil 5.51. Kaynak hızı: 4 mm/sn

Tablo 5.14. İç köşe (T) kaynaklı birleşim için kaynak hızı - kaynak nüfuziyet değişimi

Kaynak hızı (mm/sn)	Alt saç nüfuziyet miktarı (mm)	Üst saç nüfuziyet miktarı (mm)	Kaynak Alanı (sqmm) (mm ²)
8	2,87	0	12,22
7	2,03	2,58	14,82
6	3,07	3,30	17,42
5	3,63	4,05	20,43
4	5,75	5,03	23,77



Şekil 5.52. İç köşe kaynaklı birleşim için kaynak hızı – nüfuziyet değişimi



Şekil 5.53. İç köşe kaynaklı birleşim için kaynak hızı – kaynak alanı değişimi

Genel olarak iç köşe kaynaklı birleştirmeler için, diğer parametrelerin değerleri sabit tutulup kaynak hızı değeri arttırdıkça, birim zamanda arkın uygulandığı kaynak dikiş mesafesi artmasından dolayı, ana metale ve kaynak metaline ısı geçiş

süresi azalmıştır. Buna bağlı olarak ta kaynak metalinin nüfuziyet ve kaynak alanı değerleri Şekil 5.52. ve Şekil 5.53. 'de görüldüğü gibi azalmıştır. Ayrıca bu azalışın diğer bir sebebi de, kaynak hızının değerlerinin artırılması sonucu birim dikiş mesafesinde kaynak banyosuna giren kaynak metalinin miktarının azalmasıdır.

Bu etkenlerden sebebiyle, kaynak hızının 6mm/sn değerinden üst değerlere çıkıldıkça birim dikiş mesafesine gelen kaynak metalinin yetersiz olmasından dolayı, ark sırasındaki ısı geçişi sebebiyle erimiş olan ana metaldeki bölgeleri doldurulamadığı ve bu sebeple de kaynak dikişi kenarlarında yanma oluşu oluşumları gözlemlenmiştir. Özellikle 8 mm/sn hız ile kaynak yapılan numunede, torcun hızından dolayı ark ile oluşan ısının yeterince kaynak metaline ve ana metale geçememesinden dolayı yetersiz erime (soğuk yapışma) hatası gözlemlenmiştir ve üst saç metalinde nüfuziyet sağlanamamıştır.

Bu işlemin tersi olarak kaynak hızı azaltıldıkça da, birim zamanda arkın uygulandığı kaynak dikiş mesafesi azalmasından dolayı, ana metale ve kaynak metaline ısı geçiş süresi artmış ve birim dikiş mesafesinde kaynak banyosuna giren kaynak metalinin miktarının artması ile beraber ana metalin erimesi artmış ve bu sebeple de kaynak metalinin nüfuziyet ve kaynak alanı değerleri artmıştır

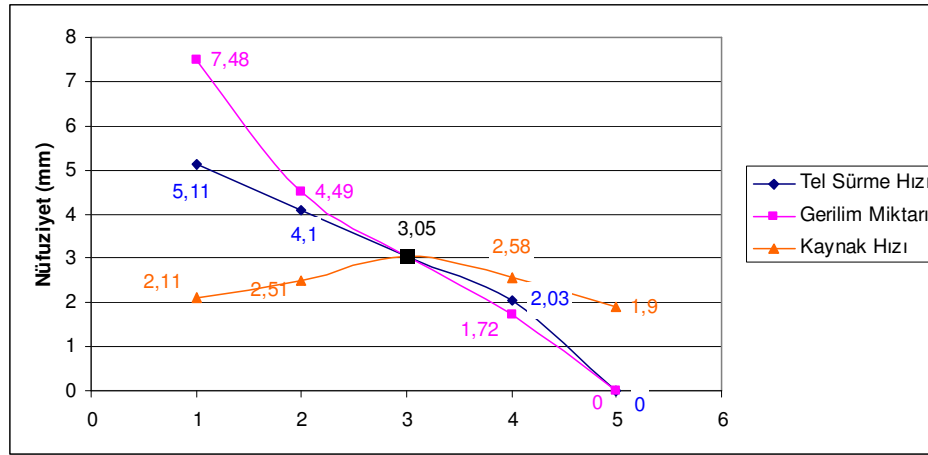
Kaynak hızının 6 mm/sn hız değeri ile kaynak işlemi yaptığı numune deki kaynak nüfuziyetinin 3,07 mm ve 3,30 mm değerleri ile optimum nüfuziyeti sağladığı görülmüştür. Bu değerden daha düşük hız değerleri ile kaynak yapıldığında, birim dikiş mesafesine gelen kaynak metalinin miktarının fazla olmasından dolayı kaynak metalinin kaynak boğazında yığılma yapmaya başladığı gözlemlenmiştir. Buda mevcut tel sürme hızı ile kaynak hızı arasındaki dengenin bozulduğu ve bu durumun kaynak metali israfına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

5.4.4 Deney Sonuçlarına Göre Kaynak Parametrelerinin Karşılaştırılması

Önceki bölümde deney parametrelerinin her birinin ayrı ayrı incelemesi ve yorumlanması yapılmıştır. Bu bölümde, birleştirme tiplerine göre bu parametrelerin kaynak üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması yapılacaktır.

Tablo 5.15. Şekil 5.54., 5.55., 5.56., 5.57. için x eksenine karşılık gelen parametre değerleri

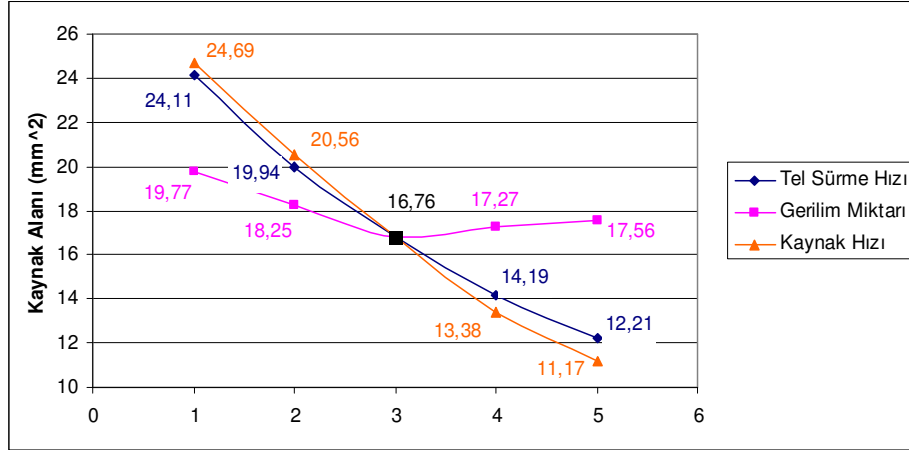
Test İşlemi Sırası	Tel Sürme Hızının Değişimi (m/dak)	Gerilim Miktarının Değişimi (V)	Kaynak Hızının Değişimi (mm/sn)
1	8	28	4
2	7	26	5
3	6	24	6
4	5	22	7
5	4	20	8



Şekil 5.54. Bindirme birleşim için kaynak parametreleri – kaynak nüfuziyeti karşılaştırılması

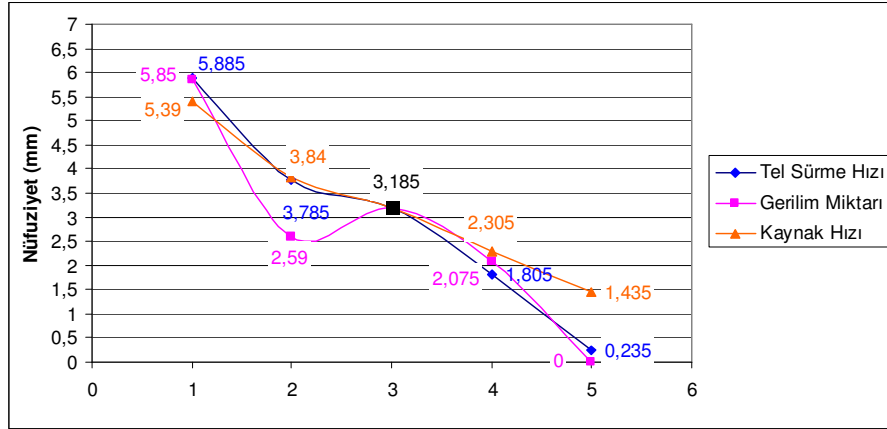
Bindirme kaynaklı birleşim için kaynak parametrelerinin değişiminin nüfuziyete etkisinin grafiği Şekil 5.54. 'de görülmektedir. Parametre değerlerinin değişimleri ile nüfuziyet miktarlarının değişimleri arasındaki bağlantılara bakılacak olunursa, mevcut skaladaki değerler içinde değer değişiminin nüfuziyete en az etkisi olan parametrenin, maksimum 1,15 mm lik değişimi ile kaynak hızı olduğu görülmektedir. Sonrasında ise 8 mm/sn lik değeri ile hiç nüfuziyet sağlayamayan, değeri 4 mm/sn ye düşürüldüğünde 4.21 mm lik bir nüfuziyet sağlayan tel besleme hızının etkili olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan gerilim değerlerinin ise diğer parametrelere oranla nüfuziyet üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir. Özellikle deney çalışmasında en yüksek nüfuziyet değerlerini

sağlayan parametre değerleri arasında gerilim miktarı, tel besleme hızına 2,37 mm, kaynak hızına ise 4,43 mm fark atarak nüfuziyet miktarına en fazla etki gösteren parametre olmuştur..



Şekil 5.55. Bindirme kaynaklı birleşim için kaynak parametreleri – kaynak alanı karşılaştırılması

Bindirme kaynaklı birleşim için kaynak parametrelerinin değişiminin kaynak alanına etkisinin grafiği de Şekil 5.55. 'de görülmektedir. Bu grafiğe göre, kaynak hızının değeri düştükçe ve tel besleme hızının değeri arttıkça birim kaynak dikişinde, kaynak banyosuna verilen kaynak metali miktarı artması sebebiyle arttığı gözlemlenmektedir. Bu artış değerleri birbirine oldukça yakın seyretmektedir. Bu sebeple kaynak hızı ile tel besleme hızının birim değişimlerinin kaynak alanın değişimi üzerinde görülen etkisi birbirlerine oldukça yakın oldukları söylenebilir. Kaynak gerilimi değişiminde ise genel anlamda kaynak alanın değişmediği fakat gerilim ve akım miktarının değişimi ile kaynak metalinin katılma süresinin değişimi ve özellikle ana metal yapısındaki değişimden dolayı bir miktar kaynak alanı değişimi meydana geldiği gözlemlenmiştir. Fakat bu değişimde sınırlıdır.

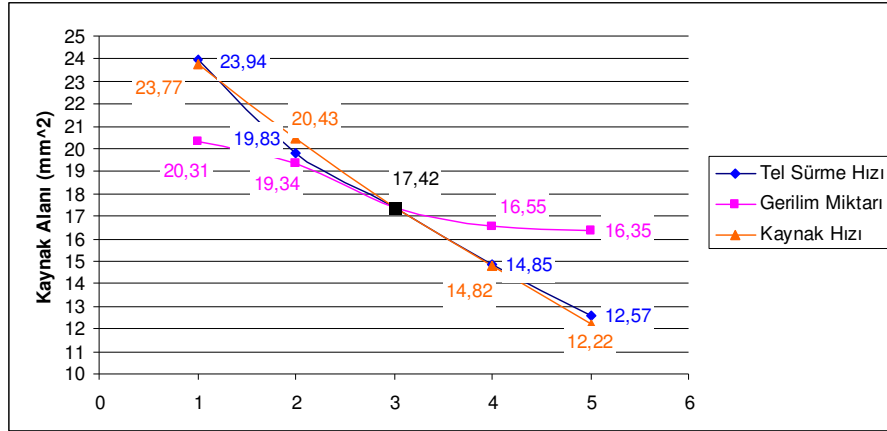


Şekil 5.56. İç köşe birleşim için kaynak parametreleri – kaynak nüfuziyeti karşılaştırılması

Bindirme kaynağında sadece alt sacın nüfuziyet değerlendirilmesi yapılabildiği halde, iç köşe kaynağında hem üst hem de alt sacın nüfuziyet için nüfuziyet değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Bu farklı tip kaynaklı birleştirme yöntemlerinin nüfuziyet açısından birbiri ile kıyaslanabilmesi için, iç köşe kaynaklı birleştirmeler için alt ve üst sac nüfuziyet toplamlarının ortalaması alınmıştır ve karşılaştırmalar ortalama değerlerine göre yapılacaktır.

İç köşe (T) kaynaklı birleşim için kaynak parametrelerinin değişiminin nüfuziyete etkisinin grafiği Şekil 5.56. 'da görülmektedir. Uygulanan gerilimin 20 V ve tel sürme hızının 8 m/dak olması halinde istenen kaynak kriterine göre hiç nüfuziyet sağlayamadığı görülmektedir. Bunun dışında genel olarak, tel sürme hızı ile kaynak hızının nüfuziyet miktarına etkilerinin birbirine yakın oldukları söylenebilir. Bu grafiğe göre asıl vurgulanması gereken şey, daha öncede söylendiği gibi optimum kaynak değerlerinden daha yüksek gerilim olan 26 V uygulandığında, beraberinde kaynak arkında uygulanan akımın değerinin de artması sebepleriyle üst sac metaline fazla ısı geçişinden dolayı yanma oluklarının belirgin şekilde oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden nüfuziyet de azalma görülmektedir. Özellikle de gerilim değeri 28 V olduğunda, gerilim değeri ile beraber akımın da 160 A değerine kadar çıkmasıyla sonucu sac metalinin erimesinden dolayı büyük şekil değişimi gözlemlenmiştir. Bu yüzden Şekil 5.56. 'da görülen nüfuziyet miktarı yanıltıcı olur ve gerçek anlamda bir nüfuziyet durumundan söz edilemez.

Aynı gerilim değeri uygulanan ve yaklaşık olarak aynı akım değerlerine maruz kalan bindirme kaynaklı numunede ise birleştirme tipine bağlı olarak saç parçalarının birleştirme yapılan pozisyonlarından dolayı, parçaların yapısını etkileyecek bir şekil değişimi olmamış ve kaynak maddesinin uygulanan yüksek gerilim ve akım değerinin etkisi ile kaynak metalinin ana metal üzerinde yayılması ile geniş kaynak dikişi elde edilmiş ve Şekil 5.54. 'de görülen 7,48 mm lik nüfuziyet değerine ulaşmıştır.



Şekil 5.57. İç köşe kaynaklı birleşim için kaynak parametreleri – kaynak alanı karşılaştırılması

İç köşe(T) kaynaklı birleştirme için kaynak parametrelerinin değişiminin kaynak alanına etkisinin grafiği de Şekil 5.57. 'de görülmektedir. Bu grafiğe göre, bindirme kaynaklı birleşimde olduğu gibi kaynak alanının değerinin, kaynak hızının değeri düştükçe ve tel sürme hızının değeri arttıkça birim kaynak dikişinde, kaynak banyosuna verilen kaynak metali miktarı artması sebebiyle arttığı gözlemlenmektedir.

İç köşe kaynaklı birleştirme için kaynak gerilimin değişmesiyle kaynak alanın değişimi, bindirme kaynaklı birleştirmedeki değişime oldukça yakındır. Bunun dışında, tüm parametre değerlerinin kaynak alanı açısından maksimum ve minimum değerleri de bindirme kaynaklı birleştirmedeki eş parametrelerinin maksimum ve minimum değerlerine de oldukça yakındır.

5.5. Deney Çalışması Sonuçlarının İrdelenmesi

Yapılan deneysel çalışmada, incelenen her bir parametrenin, kaynak nüfuziyeti ve kalitesine etkilerinin özel olarak incelenmesi işlemi yapılmıştır. Öncelikle onlarca numune testi yapılarak, deney çalışmasında incelenen hem bindirme kaynaklı hem de iç köşe(T) kaynaklı birleştirmeler için Renault firmasının kaynak şartnamesinde belirttiği optimum kaynak nüfuziyetini sağlayan parametre değerleri bulunmuş, sonrasında ise bu parametrelerin kontrollü olarak değişimi ile aşağıda anlatılan sonuçlara ulaşılmıştır.

Bu inceleme ile kaynak arkında uygulanan akım değerinin, gerilim miktarının en yüksek ve en düşük değerleri arasında yaklaşık 20-25 A kadar bir akım değişimi gerçekleşmiş olsa da, akım değerinin değişimini sağlayan asıl faktörün tel sürme hızı olduğu görülmüştür. Deney çalışmasında uygulanan tel sürme hızının en yüksek değeri olan 8 m/dak ile en düşük değeri olan 4 m/dak ile kaynak yapıldığında ark sırasındaki görülen akım değerinin yaklaşık olarak 80 A kadar değişimi gerçekleştiği görülmüştür. Kaynak hızının değiştirilmesinin ise ark sırasında uygulanan akıma etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Kaynak hızının tüm değerlerinde akım değerinin 135 A ile 145 A arasındaki değerlerde olduğu görülmüştür.

Ark sırasında uygulanan akımın kaynak yapısına etkisi açıkça görülmüştür. Tel besleme değeri üst değerlere artırılmasıyla artan akım miktarı, kaynak banyosunda aşırı ısı enerjisi açığa çıkmasına neden olur. Buda ana metalin oldukça yüksek değerlerdeki erime sıcaklıklarına ulaşır, gereğinden fazla erime durumlarına ve hatta metalin kalınlığına bağlı olarak delinip, kök taşması denilen kaynak akması olayının gerçekleşmesine sebep olabilir. Tel sürme değerinin alt değerlere düşürülmesiyle de, azalan akım miktarı, ark sırasında kaynak banyosuna yeterince ısı geçişi olmamasına ve bu sebeple erime azlığından dolayı nüfuziyet problemlerine ve kaynak maddesinin yığılma yaparak soğuk yapışma durumu oluşumuna neden olabilir.

Ark sırasında uygulanan gerilim miktarın artması, bindirme kaynaklı birleşimler için kaynak banyosuna aktarılan ısının artmasına, bu sebeple de ana metalin daha fazla erimesi ve kaynak metalinin de kaynak banyosunun yüksek sıcaklığı nedeniyle daha akışkan bir yapı kazanarak eriyen bu bölgeleri doldurmasıyla daha geniş nüfuziyet ve daha geniş kaynak dikişlerine sebep olmuştur. Uygulanan

gerilim miktarının azalmasıyla da kaynak banyosunda yeterli ısı geçişi olmaması yüzünden akımın etkisine benzer şekilde, erime azlığından dolayı nüfuziyet problemlerine ve kaynak maddesinin yığılma yaparak soğuk yapışma durumu oluşumuna neden olduğu görülmüştür.

İç köşe(T) kaynaklı birleşim için ise, gerilim miktarı yükseldiğinde erime olukları oluşmaya başlamış ve bir noktadan sonra çok etkili bir şekilde ana metalin erimesi ile büyük boyutlarda şekil değişimi görülmüştür. Gerilim miktarı azaltıldığında ise ana metalde erime noksanlığı görülmüş ve kaynak metali iki saç arasında yığılması şeklinde nüfuziyet olmayan bir yapı oluşumu gözlemlenmiştir.

Bindirme kaynaklı birleştirmeler için kaynak hızının artmasıyla, birim zamanda arkın uygulandığı kaynak dikiş mesafesi artmasından dolayı, ana metale ve kaynak metaline ısı geçiş süresi azalmış ve buna bağlı olarak kaynak metalinin nüfuziyet ve kaynak alanı değerleri azaldığı gözlemlenmiştir. Kaynak hızının azalması ile de kaynak banyosuna giren ısı enerjisinin ve kaynak metalinin miktarının artması ile beraber 6 mm/sn değerine kadarki numunelerin nüfuziyet miktarı artmıştır. Kaynak hızı bu değerden daha da azaltılınca, kaynak banyosuna giren kaynak maddesi miktarı daha da artmış ve kaynak arkının önüne geçerek ısının ana metale geçmesini engellemesi yüzünden kaynağın nüfuziyetinde azalmalar görülmüştür. Ayrıca kaynak banyosunda aşırı kaynak metali kullanmaktan yığılmalar gözlemlenmiştir. Kaynak alanının değeri ise kaynak hızı ile ters orantılı bir şekilde değişmiştir.

İç köşe (T) kaynaklı birleşim için ise, kaynak hızının artması ile kaynak banyosuna gelen kaynak metalinin yetersiz olmasından dolayı ana metaldeki erimiş bölgeleri doldurulamadığı ve bu sebeple de özellikle 8 mm/sn hız ile kaynak yapılan numunede kaynak banyosunun köşelere yakın alanlarda yanma oluşu oluşumları gözlemlenmiştir. Ayrıca ark ile oluşan ısının yeterince kaynak metaline ve ana metale geçememesinden dolayı yetersiz erime (soğuk yapışma) hatası gözlemlenmiştir. Kaynak hızının azalması ile aşırı tel yığılması durumu gerçekleştiğinden kaynak boğazında yığılma yapmaya başlandığı gözlemlenmiştir. Buda mevcut tel sürme hızı ile kaynak hızı arasındaki dengenin bozulduğu ve bu durumun kaynak metali israfına sebep anlamına gelmektedir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Endüstrinin hemen hemen her alanında metal parçaların kaynak vasıtası ile birleştirmelerinin kaçınılmaz olduğu günümüzde kaynağın kalitesi ve dayanımı için iyi nüfuziyet değerlerine sahip olması ve kaynak hatalarının olmamasının gerekliliği iyi bilinmektedir. Bunun yanında firmaların zorlu piyasa koşullarında rekabet edebilmesi için kaynaklı üretim maliyetlerinin sürekli olarak azaltılması yönünde mühendislik çalışmaları yapılarak geliştirilmesi gereklidir.

Bu noktada amaç, minimum maliyet ve kayıpla günümüz kalite şartlarının gerekli kıldığı kriterlere uyarak, optimum nüfuziyet ve kalite özelliklerine sahip kaynaklı birleştirme imalatlarını gerçekleştirebilmektir. Günümüz endüstrisinde taleplere minimum zamanda cevap verebilmek için, seri imalat şeklindeki kaynaklı birleştirme imalatlarında endüstriyel kaynak robotlarının kullanılmasından dolayı, robotik kaynak sistemi kullanarak, başlıca kaynak parametreleri incelenmiştir.

İncelenen kaynak parametrelerinin Bölüm 5.5. 'de açıklanan sonuçları ışığında, 3 mm kalınlığındaki DIN EN 10149 (ERD 4936) çeliğinin kaynak robotu vasıtası ile MIG/MAG kaynağı kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirme işlemleri ile hem optimum nüfuziyet ile Renault firmasının kaynak kriterlerini sağlayarak bir kalite standardına erişilmiş, hem de üretim esnasında parametre değişimlerinin etkisi öngörülerek, kaynaklı üretim maliyetlerinin düşürülmesini sağlayacak etkileri aktarılmıştır.

Bu sayede kaynak parametreleri değişimlerinin ne gibi sonuçlar vereceğini önceden kestirip işlemi yapmak hem zaman, hem de üretim maliyetleri açısından en ekonomik çözüm olacaktır.

Bu tezde, yukarıda açıklandığı gibi Renault firmasının kaynak kriterlerine göre nüfuziyet değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu kriterler otomotiv sektöründe kullanılan kaynaklı bağlantıların gereksinimleri öngörülerek hesaplanmış değerlerdir. Farklı sektörler için, gereksinimlerinin farklılığından dolayı, farklı kaynak standartlarını baz alan nüfuziyet değerlendirmeleri öngörülerek de çalışmalar yapılabilir. Burada önemli olan ilgili sektör için gereksinimleri iyi bilinmesi ve ona göre bu gereksinimleri karşılayacak şekilde kriterlerin belirlenmesidir. Gereksinimlerin

üzerindeki kaynak kriterleri ile kaynak işlemleri uygulanması hem harcanan enerji, hem de tüketilen malzemeler açısından maddi kayıplara neden olur.

Bu tezde, robotik kaynak sistemleri ile yapılan MIG/MAG kaynaklı birleştirmelerin makro yapı incelemelerinin yapılıp, kaynak parametrelerinin etkisi, numuneler üzerinde gözle görünebilecek düzeydeki kaynak nüfuziyet durumlarını ve kaynak hatalarının incelenmesi ile belirlenmiştir. Sonraki aşama olarak ta, kaynak ile birleştirilmiş yapıların mikro yapıları incelenerek, kaynak metali ve ana metal üzerindeki mikro boyuttaki değişimler incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Kalpakjian, S. ve Schmid, S.R., Manufacturing Engineering and Technology, Fifth Edition, Pearson Education Inc., 2006
- [2] Asfahl, C.R., Robots and Manufacturing Automation, Second Edition, University of Arkansas, Fayetteville, 2004
- [3] Aya, S.A. ve Çakıray, E., ABB Robotics IRB 6640 Genel Kullanım Bilgileri, Mekatronik Eğitim ve Araştırma Merkezi, İ.T. Ü., 28.10.2008
- [4] ABB Robotics Products, Rapid Reference Manual, 3HAC 0966-50
Issue: For BaseWare OS 3.1 Rev.1, Västerås, Sweden
- [5] ABB Robotics Products, Rapid ProcessWare Manual ArcWare, 3HAC 7677-1
Issue: M2000/Rev.1, Västerås, Sweden,
- [6] Akgün, F., Saçların Kaynakla Birleştirilmesinde Robotik Sistemin Kaynak Kalitesine ve Hassasiyetine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, G.Y.T.E., Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, Kocaeli, 2005
- [7] Keskin H., Otomotiv Sektöründe Robot Kaynak Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, G.Y.T.E., Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, Kocaeli, 2007
- [8] Bingül, Z.ve Küçük, S., Robot Tekniği 1, Birsen Yayınevi, 2005
- [9] Ay, İ., İmalat Yöntemleri 1, Balıkesir Üniversitesi,
- [10] Türkan, G., Koruyucu Gaz Kaynağında (MIG/MAG) Gaz Debisinin Kaynak Nüfuziyetine ve Kaynak Hızına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 2008

- [11] Arıkan, M.A.S., Endüstriyel Robotlar ve Üretimde Uygulama Alanları, O.D.T.Ü, Makina Mühendisliği Bölümü
- [12] AB Rotech, S4-S4C Temel Kullanım ve Programlama Eğitim Notları, İzmir, 2001
- [13] Bayraklı, İ.H., Otomotiv Sektöründe Robot Uygulamaları ve Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995
- [14] Yumurtacı, S., Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri, Kaynak Teknolojisi 4. Ulusal Kongresi, 24-25 Ekim 2003
- [15] Çengelci, B. ve Çimen H., Endüstriyel Robotlar, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Teknolojik Araştırmalar 69-78, 2005 (2)
- [16] Barutçuoğlu, E. I., Robotların Tarihçesi, 2.07.2001
- [17] Miller, K., Industrial Robot Handbook, Competitive Manufacturing Series VNR, 1989
- [18] Bolmsjö, G., Basic Framework in Robotics, Lund University, Department of Mechanical Engineering, Division of Robotics, 2001
- [19] Gök, G.V. ve Afyon Ç., Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi, Kaynak Teknolojisi 2. Ulusal Kongresi, 12-13 Kasım 1999, Ankara
- [20] www.makinateknik.org/, 17.03.2009
- [21] Ertürk, İ., Örtülü Elektrot İle (MIG/MAG) Kaynağı
- [22] <http://www.emekgaz.com.tr/> , 29.04.2009

- [23] Anık S. ve Tülbentçi K., Gazaltı kaynak Tekniği, Kaynak Teknolojisi 3, Gedik Kaynak San. Tic. A.Ő.
- [24] www.teknolojikarastirmalar.com, Kaynak ve Kaynak Teknikleri, 19.04.2009
- [25] www.odevarsivi.com, Basınç Kaynağı ve Uygulama Alanları, 03.04.2009
- [26] Kaluç, E., İleri Kaynak Teknolojisi Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi
- [27] Carry, H., Modern Welding Technology, Prentice Hall, 2001
- [28] <http://okulweb.meb.gov.tr/33/09/231975/blg/cs.pdf/> , Elektrik Ark Kaynağı Ders Notları, 07.05.2009
- [29] Benli, S., Kaynaklı Parçalarda Oluşan Artık Gerilmelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2004
- [30] İhracatı GeliŐtirme Etüd Merkezi, Kalite Eğitim Notları, 2002
- [31] Mumcu, H., Robotik Sistemler, Dmlpınar Üniversitesi, Simav Teknik Eğitim Fakültesi
- [32] DurmuŐoęlu, S. ve Köker, M.S., Türkiye'de Endüstriyel Robot Kullanımı
- [33] Eryürek, B.İ., Gazaltı Kaynağı, İ.T.., Makine Fakültesi, 17.02.1998
- [34] <http://www.belenkogullari.com.tr/kaynakfaktor.htm/> , Kaynağa etki eden faktörler, 11.05.2009
- [35] Yumurtacı, S. ve Mert, T., Ark Kaynak Robotunun Sahip Olması Gereken zellikler ve Robotik Ark Kaynak Hücresinin Elemanları, Mühendis ve Makine, Cilt:50, Sayı:591

- [36] Kurşun, T. ve Kılık, R., MIG-MAG Kaynak Tekniğinde Tel İlerleme Hızının Akım Şiddeti ve Dikiş Boyutuna Olan Etkisi, 10. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, Kapadokya, Türkiye, 4 - 6 Eylül 2002
- [37] Anık S., Oğur A., Vural M. Ve Turan Haldun, Direnç Nokta Kaynak Elektrodu Ömrünün Deneysel Analizi, Otokar Otobüs Karoseri Sanayi A.Ş. Kalite Birimi
- [38] Türkan, G., Koruyucu Gaz Kaynağında (MIG/MAG) Gaz Debisinin Kaynak Nüfuziyeti ve Kaynak Hızına Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart, 2008
- [39] Oğuz B., Plasma Arkla Kaynak ve Kesme Kaynak Bilimi, Oerlikon Yayını, Sayı 2, 1988
- [40] Anık, S., Kaynak Tekniği El Kitabı, Ergör Matbaası, İstanbul, 1983
- [41] www.robotmatrix.org, 17.05.2009
- [42] Durgutlu, A.; Gülenç, B. ve Tülbentçi, K., Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nüfuziyete ve Mikroyapıya Etkisi, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 251-259, 23 (1999)
- [43] http://makinecim.com/bilgi_1058_Karisim-Gazlari, Karışım Gazları, 26.05.2009

8. ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Denizli 'de doğan Ali KUL, ortaöğrenimi tamamladıktan sonra Kazım Kaynak Lisesi 'nde öğrenimine devam etti. 2001 yılında bu okuldan mezun olduktan sonra 2002 yılında Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2007 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl içerisinde Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.