

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

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ROBOT
KAYNAK UYGULAMASI

Hakan KESKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. İLYAS KANDEMİR

GEBZE

2007

 GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	YÜKSEK LİSANS/DOKTORA JÜRİ ONAY FORMU
--	---

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 22/01/2007 tarih ve 2007/04. sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 11/05/2007 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Hakan KESKİN'in tez çalışması Tasarım ve İmalat Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : YRD. DOÇ. DR. İLYAS KANDEMİR

ÜYE : DOÇ. DR. FEHİMİ ERZİNCANLI

ÜYE : YRD. DOÇ. DR. HASAN SADIKOĞLU

ONAY

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

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Otomotiv Sektöründe Robot Kaynak Uygulaması

YAZAR ADI : Hakan KESKİN

Bu çalışmada, bilhassa otomotiv sektöründe, robotik kaynak sistemine geçiş için gerekli bilgiler verilmiş ve takip edilmesi gereken prosedür araştırılmıştır.

Öncelikle otomotiv sektöründe kullanılan elektrik direnç, gaz altı ve lazer kaynak metotları detaylıca ele alınmıştır. Bu metotların prensipleri, ekipmanları, uygulama alanları ve avantajları incelenmiştir. Ardından kaynaklı bağlantının kalite kontrolü konu edildi. Kaynaklarda meydana gelen hatalar ve bu hataları tespit etmek için kullanılan tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri incelendi.

Robot ve istasyon bünyesinde bulunan elemanlar tanıtıldı. Sistem tasarımı için robot seçimi ve fikstür dizaynı konusu üzerinde duruldu. Robotik kaynak sisteminin simülasyon ve optimizasyonunu yapmamızı sağlayan Robcad programı tanıtıldıktan sonra, program bir otomobil kapısının punta kaynağının simülasyonunda kullanılarak robotik sistem elemanları ve robotik hücrenin yapısı optimum koşullarda tasarlandı. Elde edilen simülasyon sonuçları irdelendi. Robcad yazılımı ile uygun hücre tasarımı ve robot hareketlerinin tespitinin kolaylıkla yapılabildiği görüldü.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS : Robotic Welding Applications in Automotive Industry

AUTHOR : Hakan KESKİN

In this study, essential technical information and the procedure for transition to robotic welding system, particularly in automotive industry, are explored.

First of all, the welding methods which are used in automotive industry such as electric resistance, gas metal arc and laser welding are presented in detail. The principles, equipments, applications and advantages are also examined. Quality control of welded work piece is explored. Welding defects are revisited. Destructive and nondestructive testing methods for determining them are investigated.

The elements of the robot and the station are introduced. The basics of robot selection and fixture design are explained. The Robcad software, which can simulate, analyze and optimize the process, is introduced. The components and the layout of the robotic cell are designed in optimum conditions for a spot welding of an automobile door utilizing the simulation software. The results of the simulation are evaluated. It is observed that the optimal design of the cell and the optimal robot motion can be determined easily by using the Robcad software.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı gerçekleştirmemde bana yardımcı ve yol gösterici olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR'e, ihtiyacım olan kaynaklara ulaşmama yardımcı olan Mak. Müh. Ahmet Yavuz BAYRAKTAR'a, bilgi birikimini benimle paylaşan Tolga TONGAR'a, beni daima destekleyen işverenim Mak. Müh. U. Fikret HOROZ'a ve aileme teşekkür ederim.

Hakan KESKİN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xv
 1.GİRİŞ	 1
 2.OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ROBOT	
KAYNAK METOTLARI	2
2.1 Genel	2
2.2 Elektrik Direnç Kaynağı	2
2.2.1 Giriş	2
2.2.2 Kaynak Isısının Oluşumu:	2
2.2.3 Nokta Direnç Kaynağı	4
2.2.4 Nokta Kaynak Makineleri	8
2.2.5 Kaynak Tabancası	8
2.2.6 Başlıca Elektrik Direnç Kaynağı Uygulanan Malzemeler	10
2.2.6.1 Çelikler	10
2.2.6.2 Bakır Alaşımları	11
2.2.6.3 Alüminyum ve Magnezyum Alaşımları	11
2.2.7 Makine Kontrolleri	11
2.2.8 Otomotiv Sanayinde Nokta Direnç Kaynağı	12
2.2.8.1 Otomotiv Ürünleri	12
2.2.8.2 Otomobil Gövdesi İmalatı	14
2.3 Gaz altı Kaynağı	16
2.3.1 Kaynak Ekipmanları	17
2.3.1.1 Kaynak Torcu	17

2.3.1.2 Tel Sürme Ünitesi	19
2.3.1.3 Akım Üretici	20
2.3.1.4 Gaz Donanımı	21
2.3.1.5 Kontrol Ünitesi	21
2.3.2 Gazaltı Kaynak Yöntemlerinde Kullanılan Koruyucu Gazlar	22
2.3.3 Gazaltı Kaynağında Ark Metal Transferi	24
2.3.3.1 Kısa Devre Geçiş	24
2.3.3.2 Küresel Geçiş	25
2.3.3.3 Sprey Geçiş	26
2.3.3.4 Darbe Geçiş	27
2.3.4 Kaynak Parametrelerinin Nüfuziyete Etkisi	28
2.4 Lazer Kaynağı	31
2.4.1 Giriş	31
2.4.1.2 Katı Lazerin Elde Edilişi	31
2.4.1.2 Gaz Lazerin Elde Edilişi:	32
2.4.2 Lazer İle Kaynak	33
3. KAYNAKLI BAĞLANTININ KALİTE KONTROL VE TESTİ	36
3.1 Giriş	36
3.2 Kaynak Hataları	37
3.2.1 Gözenekler	37
3.2.2 Kalıntılar	38
3.2.3 Yetersiz Birleşme	38
3.2.4 Yetersiz Nüfuziyet	39
3.2.5 Yanma Olukları	39
3.2.6 Sıcak Çatlaklar	40
3.2.7 Krater Çatlaklar	40
3.2.8 Gerilme Çatlakları	40
3.2.9 Dikiş altı ve Hidrojen Gerilme Çatlakları	41
3.2.10 Yaşlanma Çatlakları	41
3.2.11 Taneler arası Gerilmeli Korozyon Çatlakları	41
3.2.12 Gevrek Kırılma	41
3.3 Ark Kaynağı Dikişlerinin Muayenesi	42

3.3.1 Kaynak Hatalarının Saptanmasında Uygulanan Muayene Yöntemleri	43
3.3.1.1 Muayene Yönteminin Uygulanabilirliği	43
3.3.1.2 Kalite Standartlarına Cevap Verebilme	43
3.3.1.3 Maliyet	43
3.3.1.4 Göz ile Muayene	45
3.3.1.5 Sıvı Emdirmeyle Muayene	46
3.3.1.6 Manyetik Parçacık Testi	46
3.3.1.7 Ultrasonik Titreşimler Yardımıyla Muayene	48
3.3.1.8 Radyografik Muayene	50
3.4 Elektrik Direnç Kaynağında Kaynaklı Birleştirmenin Muayenesi	51
3.4.1 Görsel Muayene	51
3.4.2 Tahribatlı Muayene	52
3.4.2.1 Ayırma Testi	52
3.4.2.2 Keski Testi	52
4.KAYNAK ve ROBOT	54
4.1 Giriş	54
4.2 Robotik Kaynak İstasyonunun Yapısı	54
4.3 Fikstür Tasarımının Esasları	55
4.4 Manipülatörler	58
4.5 Robot Seçimi	59
4.5.1 Yük Taşıma Kapasitesi	60
4.5.2 Hız	60
4.5.3 Tekrarlayabilirlik	60
4.5.4 Serbestlik Derecesi	61
4.5.5 İnsan-Robot Arayüzü	61
4.6 Kaynak İşleminin İzlenmesi	62
4.6.1 Ark İzleme	63
4.6.2 Görsel İzleme	64
4.7 Robotun Programlanması	65

5. ROBOTİK KAYNAK İSTASYONUNUN TASARIMI	67
5.1 Giriş	67
5.2 Robcad ile Robotik Nokta Kaynak İstasyonunu Tasarımının Simülasyon ve Analizi	68
5.2.1 İşlem Şartları	69
5.2.2 Simülasyonun Uygulanması	70
5.2.3 Simülasyon Sonuçların Değerlendirilmesi	79
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	80
7. KAYNAKLAR	82
8. ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

H	:Kaynak Isısı
I	:Kaynak Akımı
R	:Kaynak Bölgesinin Toplam Kirenci
T	:Kaynak Akımının Geçtiği Süre
F	:Elektrod Baskı Kuvveti
°A	:Angstrom
S	:Sac kalınlığı
d _n	:Nokta çapı
MIG	:Metal Inert Gaz
MAG	:Metal Aktif Gaz
ITAB	:Isının Tesiri Altındaki Bölge
CPU	:Ana İşlemci Ünitesi
PC	:Kişisel Bilgisayar
OLP	:Çevrimdışı Programlama
TCPF	:Takım Merkez Noktası Ekseni

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kaynak Devresinin Prensip Şeması	3
2.2 Kontak Direnci-Elektrod Baskı kuvveti - Sıcaklık Arasındaki İlişki	4
2.3 Tipik Bir Nokta Direnç Kaynağı Çevrimi	5
2.4 Kaynak Akımının Kayma Dayanımına Etkisi	6
2.5 Kaynak Akımının Kopma Dayanımına Etkisi	7
2.6 Nokta Kaynak Makinesi Elemanları	8
2.7 Nokta Kaynak Tabancaları	9
2.8 Elektrot yüzeyi geometrisi	10
2.9 Kapısız ve Kaputsuz Bir Otomobilin Gövdesini Oluşturan Ana Parçalar	16
2.10 Gazaltı Kaynağı Prensip Şeması	17
2.11 Gazaltı Kaynak Makine ve Ekipmanları	18
2.12 Kaynak Üfleci (torch)	19
2.13 Tel Sürme Ünitesi	20
2.14 Akım Üreteci	21
2.15 Kullanılan Gazlara Göre Elde Edilebilecek Kaynak Parametreleri	23
2.16 Kısa Devre Ark Metal Transferi	25
2.17 Küresel Geçiş	26
2.18 Sprey Metal transferi	27
2.19 Darbeli Ark Metal Transferi	28
2.20 Çeşitli Koruyucu Gaz Atmosferlerinde Dikiş Profilleri	29
2.21 Nüfuziyet - Kaynak Akımı İlişkisi	30
2.22 Nüfuziyet - Ark Gerilimi İlişkisi	30
2.23 Nüfuziyet - Kaynak Hızı İlişkisi	30
2.24 Lazer Kaynağı	31
2.25 Katı Lazer Sistemi	32
2.26 Gaz Lazer Sistemi	32
3.1 Gözenek ve Radyografik Fotoğrafı	37
3.2 Kalıntılar ve Radyografik Fotoğrafı	38
3.3 Yetersiz Birleşme ve Radyografik Fotoğrafı	39
3.4 Yetersiz Nüfuziyet	39

3.5 Yanma Olukları ve Radyografik Fotoğrafı	40
3.6 Gerilme Çatlağı ve Radyografik Fotoğrafı	41
3.7 Penetrant Sıvı ile Parça Testinin Prensip Şeması	46
3.8 Manyetik Parçacık Testinin Prensibi	47
3.9 İş Parçasının Manyetikleştirilmesi	47
3.10 Örnek Bir Ultrasonik Titreşim Muayenesi Uygulaması	48
3.11 Örnek Bir Radyografik Muayene	51
3.12 Ayırma Testi	52
3.13 Keski Testi	53
4.1 Fikstür Uygulaması Örneği	56
4.2 Fikstür Uygulaması Örneği	57
4.3 Parçayı Fikstüre Bağlama Elemanlar	58
4.4 Manipülatör Kullanılan Robotik Kaynak İstasyonu	59
4.5 İkili Tip Manipülatör Uygulaması	59
4.6 Kartezyen Robot	61
4.7 Tipik Altı Eksenli Robot	61
4.8 Dokunma Duyarlı Hissedici	63
4.9 Görme Kılavuzlu Hissedici(Visual sensor)	64
4.10 Görme Kılavuzlu İzleyici Uygulaması	64
4.11 El Programlama Ünitesi	66
5.1 Binek Otomobil Yan Kapısı (İş Parçası)	70
5.2 Fikstür ve İş parçası	71
5.3 IRB 6400 24-120'nin Hücreye Eklenmesi	71
5.4 Makas Tip Tabanca	72
5.5 Kaynak Yolunun Noktalarının Belirlenmesi	73
5.6 Belirlenen Noktalarda Robotun Yapacaklarının Belirlenmesi	73
5.7 Uygun Robot Yerleşiminin Aranması	74
5.8 Uygun Robot Konumunun Tespiti	74
5.9 Çarpışma Ayarlarının yapılması	75
5.10 Makas Tipi Tabancayla IRB 600 Robotun İşlem Simülasyonunun Sonuçları	75
5.11 Doğrudan Etkili C Tipi Kaynak Tabancası	76

5.12 Doğrudan Etkili C Tipi Tabancayla IRB600 Robotun İşlem Simülasyonunun Sonuçları	76
5.13 KUKA KR125 Robot	77
5.14 Doğrudan Etkili C Tipi Tabancayla KR125 Robotun İşlem Simülasyonunun Sonuçları	78
5.14 Doğrudan Etkili C Tipi Tabancayla KR125-W2 Robotun İşlem Simülasyonunun Sonuçları	78

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Elektrik Direnç Kaynağı Uygulamaları Elektrot Parametreleri	6
2.2 Galvanizli Çelik Sac lar için Elektrik Direnç Kaynağı Parametreleri	6
2.3 Düşük Karbonlu Çelikler için Direnç Kaynak Parametreleri	7
2.4 Otomotiv Parçalarında Kullanılan Başlıca Metaller	13
2.5 Ford Escort Marka Otomobilin Gövdelerine Yapılan Nokta Kaynak Sayıları	15
2.6 Küresel-Sprey Geçiş akımları	27
2.7 Lazer Kaynağın Çeşitli Metallere Uygulanabilirliği	34
3.1 Ayırma Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
4.1 Fikstür Dizaynı için Malzeme Seçim Tablosu	56

1.GİRİŞ

Günümüzde endüstriyel robotların en yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biri kaynak uygulamasıdır. Kaynak işlemi tüm endüstriyel robot uygulamalarının %50'sini kapsamaktadır [Carry, 2001]. Otomotiv sektörü ise bu alanda lider konumdadır. Otomotiv sektöründe kaynaklı birleştirmede robotlar daha çok nokta direnç kaynağı uygulamalarında kullanılmaktayken, lazer ve gazaltı kaynak yöntemleri de başlıca uygulamalar olarak göze çarpar.

Robot kaynak teknolojisinin çok eski bir tarihi geçmişi olmamakla birlikte ülkemizde de dünyaya paralel olarak kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Yüksek rekabet şartlarının, maliyeti azaltırken kaliteyi arttırmayı zorunlu hale getirdiği açıktır. Genel prensip sürekli tekrar edilen, birbirine benzer ve özel yetenek gerektirmeyen uygulamalarda ve insan sağlığı için tehlike oluşturan işlemlerde robotiğin tercih edilmesidir. Ülkemizde işçilik ücretlerin düşük olması robotik sisteme geçiş sürecini yavaşlatmış olsa da kaçınılmaz olan gerçekleşmektedir. Bu çalışma robotik sisteme geçişte ihtiyaç duyulacak teknik bilgilerin ve takip edilmesi gereken sistemin yer aldığı bir araştırmadır.

İkinci bölümde otomotiv sektöründe kullanılan elektrik direnç, gaz altı ve lazer kaynak metotları detaylıca ele alınmıştır. Bu metotların prensipleri, teçhizatları, uygulama alanları ve avantajları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde kaynaklı bağlantının kalite kontrolü konu edilmiştir. Kaynaklarda meydana gelen hatalar ve hataları tespit etmek için kullanılan tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde kaynak robotlarının yapısı ele alınmıştır. Robot ve istasyon bünyesinde bulunan elemanlar tanıtılmıştır. Sistem dizaynı için robot seçimi ve fikstür dizaynı konusu üzerinde ağırlıklı durulmuştur. Beşinci bölümde robotik kaynak sisteminin simülasyon ve optimizasyonunu yapmamızı sağlayan Robcad programı tanıtılmıştır. Program bir otomobil kapısının punta kaynağının simülasyonunda kullanılarak robotik sistem elemanları ve robotik hücrenin yapısı tasarlanmıştır ve simülasyon sonuçları incelenmiştir. Bu aşamada Robcad programının kullanımı anlatılmıştır.

2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ROBOT KAYNAK METOTLARI

2.1 Genel

Türkiye’de otomotiv endüstrisinde genel olarak elektrik direnç kaynağı ve gazaltı uygulamalarında robotik aplikasyonlar görülmektedir. Elektrik direnç kaynağı uygulamaları yaygın olarak otomobil üretim hatlarında preslenmiş sacların birbirine kaynatılmasında kullanılmaktadır. Gazaltı uygulamaları da genel olarak detay parçaların ve büyük şaselerin kaynağında tercih edilmektedir. Ayrıca her iki kaynak çeşidinin de birlikte kullanıldığı karma yöntemler ihtiyaca göre kullanılabilir. Dünyada dozer kepçesi treyler gövdesi gibi yoğun ve hassas kaynak uygulamalarında ve her tür detay parçanın gazaltı kaynak operasyonlarında, otomobil gövde sacları ve benzeri parçaların elektrik direnç kaynağıyla birleştirilmelerinde robotlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2 Elektrik Direnç Kaynağı

2.2.1 Giriş

Elektrik direnç kaynağı en kullanışlı ve pratik metal birleştirme yöntemlerinden biridir. Diğer üretim sistemlerine kolaylıkla entegre olur. Düşük gerilimde yüksek akım geçirilmesine kaynak edilecek parçaların direnç göstermesiyle kaynak için gerekli ısı oluşur. Direnç kaynağı nokta direnç kaynağı, dikiş direnç kaynağı ve alın direnç kaynağı başlıcaları olmak üzere çeşitli yöntemleri içerir [Kahraman, 2005].

2.2.2 Kaynak Isısının Oluşumu

Elektrik direnç kaynağı basınç uygulanması ve dolgu metali kullanılmaması özellikleriyle erk kaynağından ayrılır. Elektrik direnç kaynağında ısı elektrik akımına

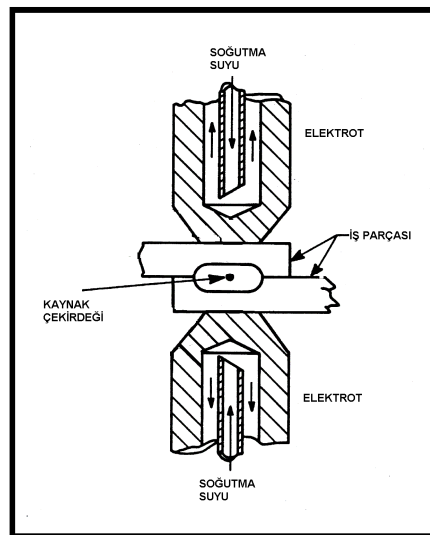
gösterilen direnç ile meydana gelir. 100 kA'e kadar akım düşük gerilimde uygulanmak suretiyle metali eritecek olan yeterli ısı elde edilebilir. Toplam ısı enerjisi aşağıdaki denklem ile gösterilebilir [Carry, 2001].

$$H=I^2RT \text{ (Joule yasası)}$$

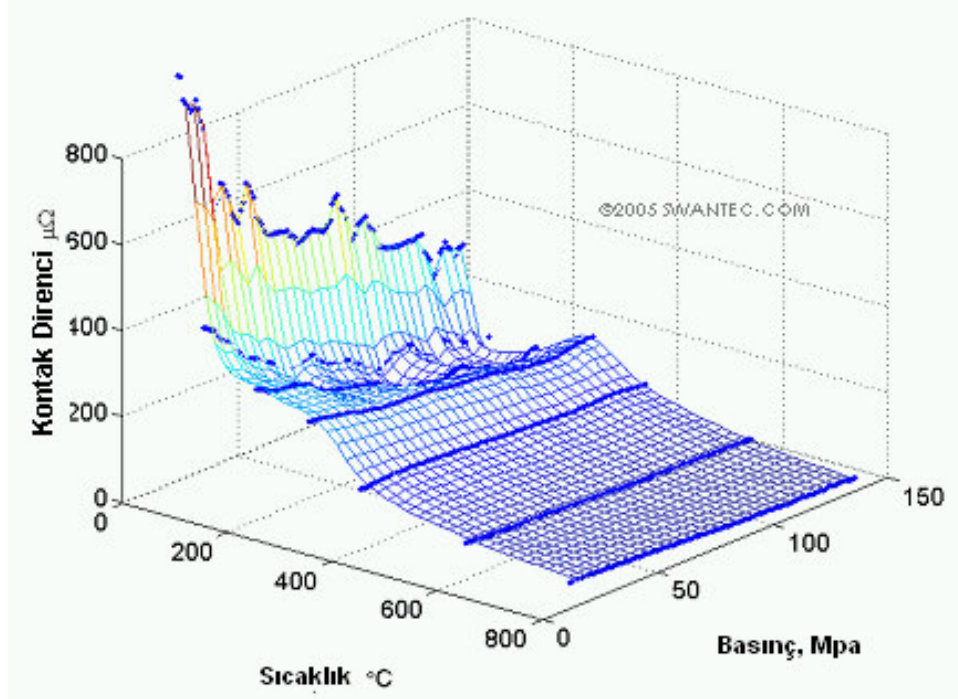
Burada;

H kaynak esnasında oluşan ısı, I kaynak akımı, R devrenin direnci, T kaynak akımının uygulandığı süredir. Şekil 2.1'de kaynak devresinin prensip şeması görülebilir. İş parçası işlem esnasında elektrik devresinin bir parçası olur. İki elektrod arasında yer alan iş parçası, metalin iç direnci, elektrotlar ile iş parçası arasındaki kontak direnci ve iki metal levha arasındaki kontak direnci olmak üzere üç farklı şekilde devreye bir yük oluşturur. Elektrik direnç kaynağında amaç ısıya metal levhaların birleştiği yerde oluşmasını sağlamak olduğu için ilk iki direncin mümkün olduğunca düşük, metallerin temas ettiği noktadaki kontak direncinin ise diğerlerine nazaran büyük olması istenir.

Temas direncinin çok düşük olduğu bakır ve alüminyum levhalarda elektrik direnç kaynağı oldukça zor olduğu için bu metallerin kaynağında sac parçalara göre daha yüksek akımlar gereklidir [Gültekin, 1991].



Şekil 2.1 Kaynak Devresinin Prensip Şeması [www.diagrams.org, 2007]



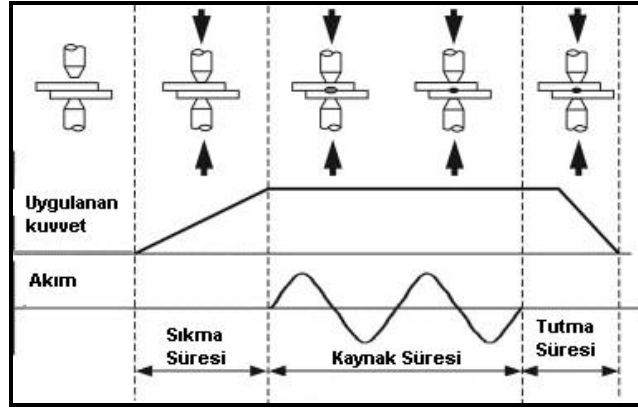
Şekil 2.2 Kontak Direnci-Elektrod Baskı Kuvveti - Sıcaklık Arasındaki İlişki
[www.swantec.com, 2007]

Kontak yüzeylerindeki elektrod baskı kuvvetlerinin artırılmasıyla kontak direnci düşmektedir (Şekil 2.2). İş parçasını oluşturan metaller arasındaki direnç yüzeyin kalitesine, yüzeydeki kir, oksit, yağ, boya gibi iletken olmayan kalıntılara, uygulanan basınca ve temas yüzeylerinin büyüklüğüne bağlıdır. Bu aşamada, uygulanan mekanik basınç bu direncin aşılmasıyla kaynağın gerçekleşmesine yardımcı olur [Carry, 2001].

2.2.3 Nokta Direnç Kaynağı

Nokta direnç kaynağı metal sacların birleştirilmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Metot düşük karbonlu çeliklerin kaynağında yaygın olarak kullanılır. Yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, titanyum ve bakır alaşımları da bu yöntemle birleştirilir. Nokta direnç kaynağı üst üste sacların su soğutmalı elektrotlar arasına yerleştirilerek kısa bir süre içinde yüksek akım geçirilmesiyle gerçekleştirilir. Nokta direnç kaynağının yapılması üç aşamadan oluşur. İlk olarak elektrotlar metali aralarına alarak bir basınç uygular. Bu sırada akım geçirilmez (Şekil 2.3). Ardından akım uygulanır. Bunu üçüncü aşama olan

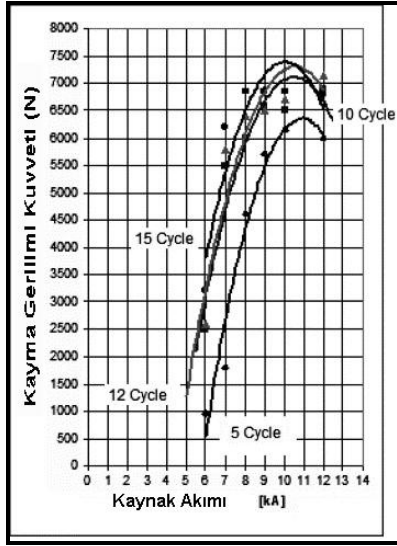
tutma süresi takip eder. Bu sürede akım kesilmiş; basınç uygulanmaya ise devam edilmektedir. Bu süre içinde metal soğur ve katılaşır [Kahraman, 2005].



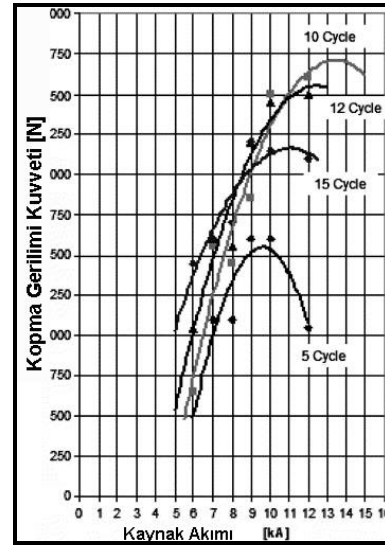
Şekil 2.3 Tipik Bir Nokta Direnç Kaynağı Çevrimi [Kahraman, 2005]

Nokta direnç kaynağında elektrik akımı kaynak kalitesinde çok önemli bir faktördür. Otomotiv sektöründe çoğunlukla gövdenin tamamını oluşturan galvanizli çeliğin kopma ve kayma mukavemeti hayati önem taşır. Kalınlığı 1.2 mm. olan galvanizli numune üzerinde 6 kN sabit elektrod kuvveti altında 5-15 cycle periyot aralığında ve 4-12 kA akım aralığında yapılan deneylerde dikkat çekici sonuçlar ortaya konulmuştur. Şekil 2.4'te görülmektedir ki kayma mukavemeti akım ile birlikte artmaktadır; Kopma mukavemeti ise 10 kA'e kadar arttığı ardından ise aşırı ısınma ve kaynak çekirdeğinin büyümesi dolayısıyla hızla azaldığı Şekil 2.5'te gözler önüne serilmektedir [Aslanlar et. al., 2007].

Seri imalatta yapılan elektrik direnç kaynağı uygulamalarında kaynak kalitesi sürekli bir değişim gösterir. Bu yüzden kaynak kalitesinin belirli bir seviyede tutulması için bazı çalışma toleransları belirlenmelidir. Kaynak prosesi kalitenin belirlenen bu toleranslar içinde kalabilmesi için sürekli olarak kontrol altında tutulmalıdır [AWS,1994].



Şekil 2.4 Kaynak Akımının Kayma Dayanımına Etkisi[Aslanlar et.al.,2007]



Şekil 2.5 Kaynak Akımının Kopma Dayanımına Etkisi[Aslanlar et.al., 2007]

Tablo 2.1,2.1 ve 2.3de uygulamaya yönelik pratik parametreler verilmiştir. Tablo 2.1’de uygun bir kaynak için elektrot parametreleri verilmiştir. Tablo 2.2’de galvanizli saclar için, Tablo 2.3’te düşük karbonlu çelikler için uygun kaynak parametreleri verilmiştir.

Tablo 2.1 Elektrik Direnç Kaynağı Uygulamaları Elektrot Parametreleri [AWS,1994]

Ölçüler (mm)	Sac Kalınlığı(mm)							
	0,6	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,50	3,00
Elektrot Gövde Çapı	10	13	13	16	16	20	20	25
Elektrot Uç çapı	5	6	6,5	7	7,5	9	10	12
Elektrot Küresel Uç Çapı	50	75	75	75	75	100	100	150

Tablo 2.2 Galvanizli Çelik Saclar için Elektrik Direnç Kaynağı Parametreleri [AWS,1994]

Malzeme Kalınlığı (mm)	Elektrot Çapı (mm)	Elektrot Uç Çapı (mm)	Baskı Kuvveti (kg)	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Süresi (period)	Kaynak Çekirdeği çapı (mm)	Puntalar arası min. Mesafe (mm)	Min Bindirme Payı (mm)
0,6	16	4,8	135	13000	7	3,8	16	16
0,8	16	4,8	180	13000	8	4,1	16	16
1	16	6,5	295	14000	11	5,3	19	16
1,3	16	6,5	330	14500	15	5,6	22	18
1,6	19	6,5	385	15500	18	6,1	29	20
2	19	8	545	19000	20	7,1	32	22
2,4	19	9,5	635	21000	25	8,6	38	25
2,8	22	9,5	800	20000	30	10,2	45	30
3,2	22	9,5	900	20000	36	12,2	50	30

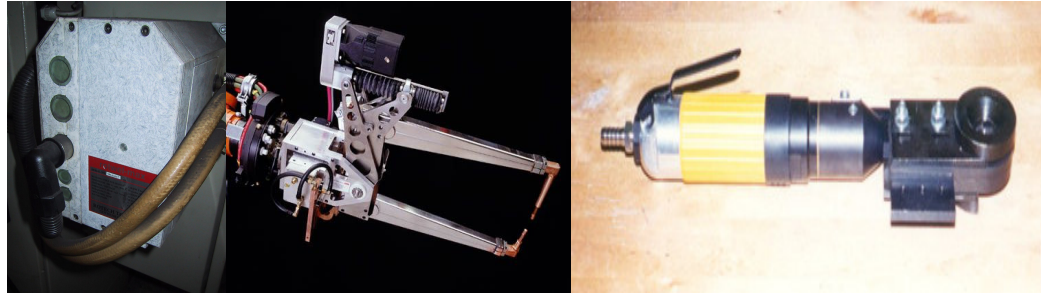
Tablo 2.3 Düşük Karbonlu Çelikler için Direnç Kaynak Parametreleri
[AWS,1994]

Sac kalınlığı		Baskı Kuvveti(P)	Kaynak Akımı(I)	Kaynak Zamanı(T)
S1(mm)	S2(mm)	(N)	(kA)	(cycle)
0,6	0,60	2400	7	6
	0,80	2500	7	7
	1,00	2600	7	8
	1,25	2650	7	9
	1,50	2650	7	9
	1,75	2750	7	10
	2,00	2750	7	10
0,7	0,60	2500	8	7
	0,80	2650	8,1	7
	1,00	2700	8,2	8
	1,25	2750	8,5	9
	1,50	2800	8,8	10
	1,75	2850	9	10
	2,00	2950	9,2	11
0,8	1,25	2800	8,5 - 11,0	10
	1,50	2900	8,6 - 11,1	12
	1,75	2950	8,7 - 11,2	13
	2,00	3000	8,8 - 11,3	14
	2,25	3050	8,9 - 11,4	14
	2,50	3100	9,0 - 11,5	14
1	1,25	3850	9,6 - 12,1	11
	1,50	3900	9,7 - 12,2	12
	1,75	4000	9,8 - 12,3	13
	2,00	4050	9,9 - 12,4	14
	2,25	4100	10,0 - 12,5	14
	2,50	4200	10,1 - 12,6	15
	3,00	4300	10,3 - 12,8	15
1,25	1,25	4600	10,5 - 13,0	12
	1,50	4700	10,6 - 13,1	13
	1,75	4750	10,7 - 13,2	14
	2,00	4850	10,8 - 13,3	15
	2,25	4900	10,9 - 13,4	15
	2,50	5000	11,0 - 13,5	15
	3,00	5100	11,2 - 13,7	16
1,5	1,50	5500	11,6 - 14,1	15
	1,75	5600	11,7 - 14,2	15
	2,00	5650	11,8 - 14,3	16
	2,25	5700	11,9 - 14,4	16
	2,50	5800	12,0 - 14,5	17
	3,00	5950	12,3 - 14,7	17

2.2.4 Nokta Kaynak Makineleri

Nokta direnç kaynak makinaları genel olarak transformatör, kontrol ünitesi ve punta kaynak tabancasından oluşur. Ayrıca sistemde soğutma suyu için çevrim devresi ve elektrotların parçaya temasını ve baskı kuvvetini oluşturan pnömatik pistonlar için basınçlı hava tesisatı bulunur. Şekil 2.6'da nokta kaynak makinesi elemanları görülmektedir.

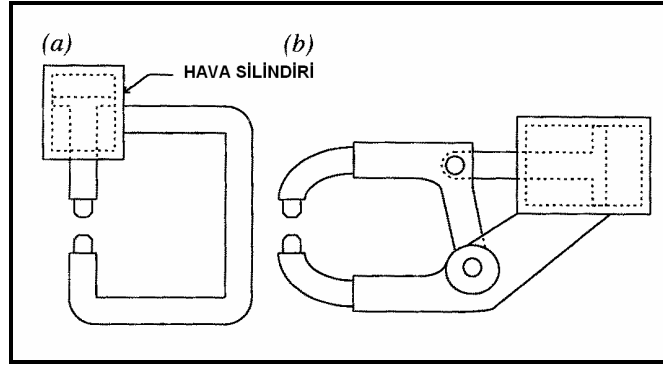
Bir robot nokta direnç kaynak makinesinde tipik bir portatif nokta direnç kaynak makinesinden farklı olarak transformatör ve kaynak pensesi arasındaki uzun kablolar çıkarılmıştır. Bu kablolar yüksek kaynak akımlarında büyük kayıplara sebep oldukları için robotik nokta kaynak uygulamalarında transformatör robotun ucuna, kaynak pensesine bitişik olarak yerleştirilmiştir [Gültekin, 1991].



Şekil 2.6 Nokta Kaynak Makinesi Elemanları [www.weldingengineer.com, 2006]

2.2.5 Kaynak Tabancası

Kaynak tabancası nokta kaynağı sisteminin kritik bir elektriksel ve mekanik bir elemanıdır. İki temel nokta kaynak tabancası tipi mevcuttur. Bunlar Şekil 2.7'de gösterilmiş olan doğrudan etkili tabanca ve makas tabanca olarak adlandırılırlar. Farkları sadece kaynak bölgelerine erişimle ilgilidir ve kaynak işleminin temelinde bir farklılıkları yoktur. Temel farklılıkları işlem süreleridir. Kaynak bölgesine yaklaşma ve temas basıncının uygulanmasıdır. Bu yapı üzerindeki çalışmalar kaynak işleminin hızlandırılmasında kilit bir unsurdur. Tabancanın ağırlığının azalması ve elektrot açma kapama sürelerinin kısılması işlemi hızlandıracaktır [Dennison et. al.,1997].



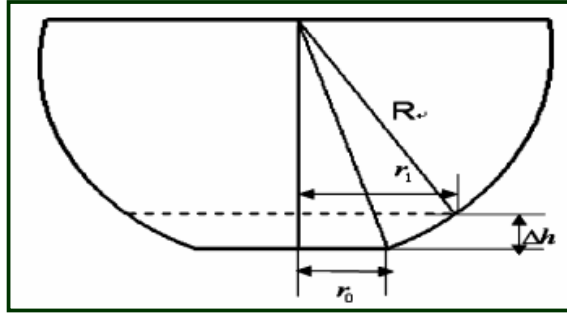
Şekil 2.7 Nokta Kaynak Tabancaları a)Doğrudan etkili tabanca b)Makas tip tabanca [Dennison et. al.,1997]

. Kaynak tabancasının elektrotlarının elektriksel çevrimin tamamlanması açısından yüksek bir elektrik ve termik iletkenliğe sahip olması gerekir. Bu nedenle elektrot malzemesi olarak bakır ve alaşımları kullanılır [Dennison et. al.,1997]. Elektrokimyasal yöntemle bakır alaşımı üzerine yapılan Ni/(TiCp/Ni)/Ni çok katmanlı kaplamasıyla 500 HV sertliğinde, iletkenliği iyi ve dayanıklı bir elektrot elde edilebilir [Chen and Zhou,2006].

Günümüzde otomotiv imalatında gövdeyi oluşturmakta kullanılmakta olan iki fazlı galvanizli çelik sac (DP600) ile yapılan deneylerde elektrodun aşınmasının kaplamasız sacda gerçekleşenden daha yüksek oranda olduğu görülmüştür [Zhang et al., 2006].

Elektrot aşınması iki aşamada incelenir. Biri elektrot boyunun kısalması olarak tanımlanan eksenel aşınma, diğeri ise elektrot uç çapının değişmesi olarak tanımlanan radyal aşınmadır. Radyal elektrot aşınması akım yoğunluğunun ve baskı kuvvetinin azalmasına sebep olarak kaynak kalitesini düşürür. Bu sebeple elektrot aşınmasının süresinin belirlenebilmesi zamanında elektrot bilemeyle kaynak kalitesini ve elektrot ömrünü arttıracaktır. Bu süre aşağıdaki denklemle hesaplanabilir [Zhang et. al., 2007]:

$$(\pi/3)\Delta h \left(-\Delta h^2 + 3\Delta H\sqrt{(R^2-r_o^2)} + 3r_o^2 \right) = KFI / \pi r_l^4 \quad [\text{Zhang et al.,2007}]$$



Şekil 2.8 Elektrot yüzeyi geometrisi [Zhang et. al.,2007]

Bu denklemde K malzemeye bağlı sabittir ve deneysel olarak belirlenir. Δh aksenal aşınmadır ve işlem sırasında servo kontrollü kaynak tabancası tarafından ölçülür. r_0 yeni elektrodun başlangıç uç çapı, R küresel çaptır. F ve I ise kuvvet ve kaynak akımıdır. Bu durumda r_1 denklemden hesaplanabilir. Hesaplanan bu değerin deneysel değerlerle tutarlılık gösterdiği görülmüştür [Zhang et al., 2007].

2.2.6 Başlıca Elektrik Direnç Kaynağı Uygulanan Malzemeler

2.2.6.1 Çelikler

Düşük karbonlu çelikler iyi kaynak kabiliyetine sahiptir. Fakat orta ve yüksek karbonlu çeliklerle, alaşımlı çeliklerin kabiliyetleri zayıftır. Bu malzemelerle çalışırken çabuk sertleşebilmeleri ve çoğu zaman kaynaktan sonra ısıtılma işlemi gerek duymaları sebebiyle parametrelerin seçiminde ve sağlanmasında özen göstermek gerekir.

Yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında genellikle düşük karbonlu çeliklere göre daha düşük kaynak akımlarıyla çalışılır. Bu çeliklerin esnemeleri daha büyük kuvvetler gerektirdiğinden elektrot baskı kuvvetinin artırılması gerekir.

Martenzitik ve ferritik yapılu paslanmaz çelikler kaynak kabiliyeti çok düşük olmasına karşılık, düşük karbonlu çeliklere kıyasla daha düşük kaynak akımı, daha düşük kaynak zamanı ve daha yüksek baskı kuvveti kullanarak östenitik paslanmaz çeliklerin punta kaynağı problemsizce yapılabilir [Miller Mfg.,2005].

2.2.6.2 Bakır Alaşımları

Bakır punta kaynağı için en zor metallere karşı olmasına karşılık, değişik bakır alaşımları değişik elektrik iletkenliği ve dolayısıyla değişik kaynak kabiliyeti gösterirler.

Düşük dirençli bakır alaşımlarının kaynağı daha zordur. Bakır alaşımlarının punta kaynağı için parametrelerin seçimi ve sürekli aynı düzeyde kalmasının sağlanması oldukça önemlidir. Düşük alaşımlı çeliklere göre daha yüksek kaynak akımı ve daha düşük kaynak zamanıyla çalışmak gerekir.

İç dirençleri diğerlerine nazaran daha yüksek olduğu için bakır-kalay, bakır-silisyum ve bakır-alüminyum alaşımlarının kaynağı nispeten daha kolaydır. Bakır-Çinko alaşımlarında, alaşımdaki çinko oranı arttıkça alaşımın kaynak kabiliyeti de artar[Miller Mfg.,2005].

2.2.6.3 Alüminyum ve Magnezyum Alaşımları

Bütün ticari alüminyum ve magnezyum levhalar elektrik direnç kaynağıyla birleştirilebilir. Bu alaşımların kaynağını yüksek kaynak akımı, kısa kaynak zamanı, yüksek basınç ve parametreleri hassas olarak kontrol etmek şartıyla yapmak mümkündür [Miller Mfg.,2005].

2.2.7 Makine Kontrolleri

Robotik uygulamalarda kullanılan bir elektrik direnç kaynağı makinesinin bazı tipik parametreleri sağlaması ve bunları yüksek hassasiyetle kontrol etmesi gerekir. Bu parametreler genel olarak kaynak akımının başlangıç ve bitişi, kaynak akımının değeri, kaynak akımının süresi, tekrar sayısı ve çevrim sırasında kullanılan periyotlardır. Çevrim periyotları genel olarak üç tanedir. Bunlar elektrotların kapanması ve kaynak öncesi baskı kuvveti uygulama süresini belirleyen sıkma zamanı, kaynak akımının uygulandığı süreyi belirleyen kaynak zamanı ve kaynak

akımı kesildikten sonra kaynak çekirdeği katılaşıncaya kadar elektrot baskı kuvvetinin sürmesini sağlayan tutma zamanıdır [Miller Mfg.,2005].

Ayrıca elektronik kontrol sistemleri sayesinde kaynak akımının yükselen bir eğimle verilmesi ve yine düşen bir eğimle kesilmesi sağlanabilmektedir. Yükselen bir eğimle kaynak akımının uygulanması aşırı ısınmayı önleyerek erimiş metalin patlamasını önler. Bu özellik, özellikle galvaniz savları punta kaynağında önemlidir. Düşen eğimle kaynak akımının kesilmesi ise kaynak çekirdeğinin soğuma hızını düşürerek çatlak oluşma riskini ortadan kaldırır [Miller Mfg.,2005].

2.2.8 Otomotiv Sanayinde Nokta Direnç Kaynağı

Direnç nokta kaynağı sanayide en yaygın kullanılan kaynak metotlarından biridir. Bu kaynak metodu seri imalat yapılan işlerde ve özellikle otomotiv sanayinde kaporta ve sac kısmı montajında en çok kullanılan kaynak türüdür. Prensibin basitliği ve uygulanmasının kolaylığı açısından seri imalata çok uygundur. Bu bölümde, direnç nokta kaynağının otomotiv sanayindeki uygulamalarına değinilecektir.

2.2.8.1 Otomotiv Ürünleri

Otomobil imalatında genel olarak metallerin farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilebilirliği esastır. Belli bir üründe uygulanacak spesifik kaynak motorunun seçimi, ürün tasarımı, hizmet talebinin tipi, üretim hızı ve ekonomikliğe bağlıdır. Otomotiv sanayinde çeşitli tipte metaller kaynak edilmektedir fakat düşük karbonlu soğuk haddelenmiş sac çelik ve sıcak haddelenmiş levha ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Birleştirilecek metaller, demir veya demir dışı olsun, kullanılacak kaynak yönteminin seçiminde etkili olur. Daha yüksek korozyon dayanımı elde etme eğilimi bu amaçla kaplanan çeliklerinin kullanımını arttırmıştır. Günümüzde birçok yeni araçta, gövdenin tamamı galvaniz kaplamalı sacdan imal edilmektedir. Korozyona dayanıklı metalik ve boya kaplamaları kaynak yöntemleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olup, teçhizat ve üretim tekniklerinde başlıca metaller Tablo 2.4'te gösterilmiştir [Howe, 1996].

Tablo 2.4 Otomotiv Parçalarında Kullanılan Başlıca Metaller [Howe and Kimchi, 1996]

Parçalar	Kullanılan Metaller
Gövde Elemanları	Düşük karbonlu, soğuk haddelenmiş sac çelik
	Düşük karbonlu, sıcak haddelenmiş sac çelik
	Galvanizli soğuk haddelenmiş sac çelik
Motor Blokları ve Kafaları	Alaşımli Dökme Demir ve Alüminyum
Kapı menteşeleri ve Şasi braketleri	Dövülebilir demir
Montaj	Paslanmaz çelik, dökme alüminyum ve çinko

Ürün tasarımı, belli ölçüde hangi kaynak prosesinin kullanılacağını açıkça belirler. Bağlantıya erişebilirlik, montaj operasyonlarının sırası ve bitmiş parçanın görüntüsü bir kaynak yönteminin seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Herhangi bir parçanın tasarlanan görevi, ürün tasarımı, alt parçalar için metal seçimi ve mamulün imalatında kullanılacak birleştirme metoduyla doğrudan ilgilidir. Birçok durumda birden fazla metot uygulanabilir olup bir seçim yapılmalıdır [Howe and Kimchi, 1996].

Otomotiv parçalarının kaynak bağlantılarından beklenen özellikler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir [Howe and Kimchi, 1996]:

1. Yapısal Karakteristikler
 - a) Mekanik Dayanım
 - b) Yorulma Dayanımı
2. Korozyon Dayanımı
3. Sızdırmaz Karakteristikler
4. Görüntü Karakteristikleri

Otomotiv endüstrisindeki yüksek imalat sayıları yüksek derecede otomasyon ve özel teçhizata yönelmeyi gerektirmiştir. Otomobil gövde elemanlarında, çok noktalı kaynak makinalarıyla aynı anda ya da robot teknolojisi ile kısa bir süre içinde yüzlerce nokta kaynağı yapılmaktadır. Örneğin taşınabilir nokta kaynağı tabancalarıyla 4 sn/nokta, robot tabancası ile 2.5 sn/nokta hızda kaynak yapılabilir. Buna göre bir otomobile saatte ortalama 800 nokta kaynağı yapılmaktadır [Bayrak,1997]. Bu imalat sayısı esas alınarak imalatla kullanılacak kaynak metodu, ekonomikliği göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Yüksek

sayıdaki imalatı bir parçada 1 kuruşluk bir kazanç bile yıllık üretim göz önüne alındığında önemli miktarda kazançlar sağlayabilir.

2.2.8.2 Otomobil Gövdesi İmalatı

Bu bölümde otomotiv sanayinde direnç nokta kaynağı uygulamaları ve kullanılan malzemelere örnek teşkil etmesi açısından Ford Otosan İstanbul fabrikasında 2000 yılına kadar üretilmiş olan Ford Escort marka binek otomobilin gövde imalatıyla ilgili bilgiler sunulmaktadır.

Ford Escort marka otomobil için 3 farklı model üretilmiştir.

- 4 kapı (Sedan) gövde
- 5 kapı (Hatchback) gövde
- Station wagon gövde

Bu gövdelerin imalatında kullanılan sac parçalar üç ayrı tedarikçiden temin edilmekteydi [Gegez, 2000]:

- Ford Motor Company'nin Avrupa'daki preshaneleri,
- Yerli yan sanayi,
- Ford Otosan preshanesi.

Saclar rulolar halinde çeşitli yerli ve yabancı firmalardan temin edilirken özel saclar dışında en çok kullanılan saclar DIN 1623 St 14, DIN 1314 UST W 23 ve DIN 17100 St 44-2'dir. Bunlar aynı zamanda otomobil gövde imalatında en çok kullanılan malzemelerdir. Escort gövdesinde kullanılan sacların kalınlıkları 0,7 mm ile 1,5 mm arasında değişmektedir [Gegez, 2000].

Escort gövde imalat hattı, bir ana hat ve bu hattı besleyen alt montaj gruplarından meydana gelmiştir. Escort Kaynak Atölyesi alt montaj grupları 6 gruptan oluşmuştur [Gegez, 2000].

1. Yan kompleksi imalat grubu
2. Motor kompartımanı imalat grubu
3. Taban ve detay parça imalat grubu
4. Gövde hattı
5. Kapı ve kaput imalat grubu
6. Kaporta grubu

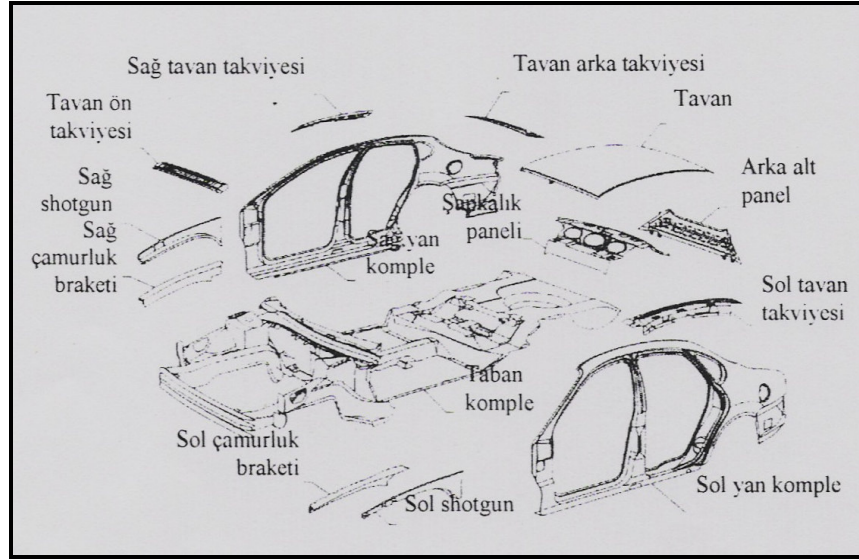
Şekil 2.9 kapısız ve kaputsuz bir otomobil gövdesini oluşturan ana parçaları göstermektedir. Yukarıda bahsedilen grupların dışında, malzeme hareket grubu, kalite sistemleri grubu (gövde değerlendirme, istatistiksel proses, tahribatlı deneyler, üç boyutlu ölçme gibi), fikstür bakım grubu ve genel bakım grubu gibi imalata destek birimler de mevcuttur.

Tablo 2.5 Ford Escort Marka Otomobilin Gövdelerine Yapılan Nokta Kaynak Sayıları [Gegez, 2000]

Montaj Grup Adı	Toplam Nokta Kaynağı
4 kapı komple gövde	3583
5 kapı komple gövde	3507
Station wagon komple gövde	3739
4 kapı komple taban	1881
Station wagon komple taban	1915
4 kapı sağ yan	488
4 kapı sol yan	480
5 kapı sağ yan	541
5 kapı sol yan	541

Escort kaynak atölyesinde üretim durmadan hemen önce kaynak parçalarının yerleştiği 135 adet fikstür, 137 adet taşınılabilir, 7 adet sabit nokta kaynak makinesi ve 19 adet robot tabancası kullanılmaktaydı. Ayrıca robotik uygulamalarda 12 adet robottan faydalanılmakta ve vardiya başına 60 gövde imal edilmekteydi. İmalata hacmine bağlı olarak vardiya sayısı ise günde 2 veya 3 vardiya yapılmaktaydı.

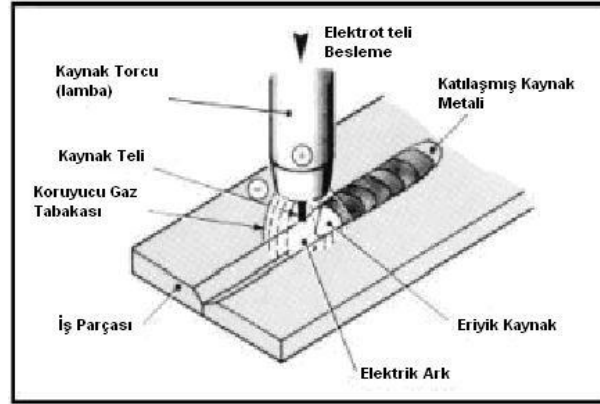
Ford Escort marka otomobilin 3 farklı tipdeki gövdesinin imalatı için yapılan nokta kaynak sayıları Tablo 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.9 Kapısız ve Kaputsuz Bir Otomobilin Gövdesini Oluşturan Ana Parçalar [Gegez, 2000]

2.3 Gazaltı Kaynağı

MIG (Metal Inert Gas) kaynağı yapılan araştırmalar sonucu ilk defa ABD’de alüminyum ve alaşımlarının sonra da sırasıyla yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının, karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılmaya başlamıştır. Bu kaynak türünde daha önceleri kullanılan örtülü elektrod ile kaynakta olduğu gibi kaynak banyosunu koruyan bir örtülü elektrod ile kaynakta olduğu gibi kaynak banyosunu koruyan bir örtü ve materyal kaynak teline ilave edilmemiştir. Bunun yerine tozaltı kaynağındaki mekanizmaya benzer bir şekilde kaynak dikişinin atmosferik etkilerden korunma işlevini kaynak esnasında uygulanan helyum yada argon gibi asal bir gaz yapmaktadır. Kaynak arkı sürekli gönderilen metal elektrod ile iş parçası arasında ve asal gaz atmosferinde gelişir. Daha sonraları bu atmosfere argon veya helyum gibi asal bir gaz kullanmak yerine, kaynak işlemi sırasında ayrışarak reaksiyona giren karbondioksit ilave edilerek sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan MAG(Metal Active Gas) kaynak metodu geliştirilmiştir. Günümüzde kullanılan malzemeye ve ihtiyaçlara göre bu gazlar saf olarak kullanıldığı gibi iki veya üç çeşitli gazdan oluşan karışım gazlar da kullanılmaktadır [Gültekin, 1991].



Şekil 2.10 Gazaltı Kaynağı Prensip Şeması [Fabricators and Manufacturers As. Intl., 1995]

Gaz altı kaynağı işlemi kaynaklı imalat içinde önemli bir yere sahip olmuştur. Bunun sebebi yüksek esnekliği, çok çeşitli kalınlıkta, çok çeşitli metallere uygulanabilmesi, otomasyon ve robot kaynağında uygulanabilir olmasıdır [Pires et. al., 2007].

2.3.1 Kaynak Ekipmanları

Bir MIG-MAG kaynak donanımı arasında fark yoktur ve şu kısımlardan oluşur [ESAB, 1999];

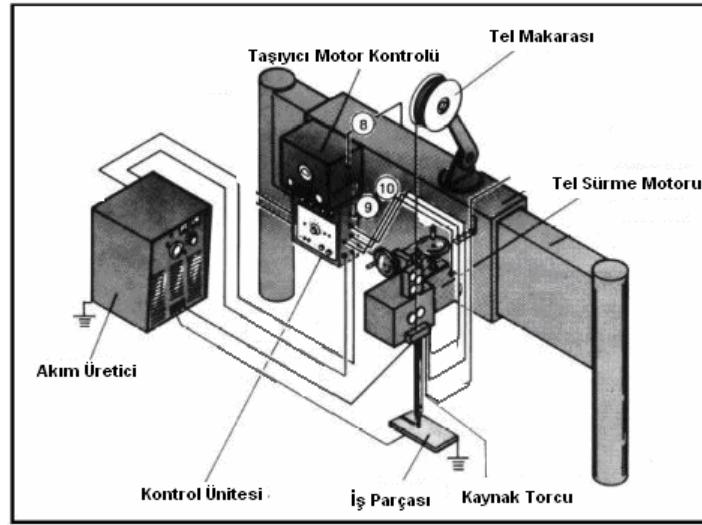
1. Kaynak Üfleci (torch)
2. Tel Sürme Ünitesi
3. Akım Üretici
4. Gaz Donanımı
5. Kontrol Ünitesi

Kaynak ekipmanları Şekil 2.11’de gösterilmektedir.

2.3.1.1 Kaynak Üfleci (Welding Torch)

Kaynak üfleci kaynak arkının oluşturulduğu ve kaynak operatörünün kaynak esnasında elinde tuttuğu kısımdır. Kaynak üfleci en uç eklemine bulunan bağlantı

plakası yardımıyla robota sabitlenmiştir. Kaynak teline akım yüklenmesi, kaynak telinin pozisyonlaması ve koruyucu gazın kaynak banyosuna yönlendirilmesi işlemlerini gerçekleştirir. Kaynak yapılacak yere ve parçaya göre çeşitli şekillerde yapılmaktaysa da en yaygın olarak kullanılanları kuğu boynu şeklinde olanıdır [Gültekin, 1991].



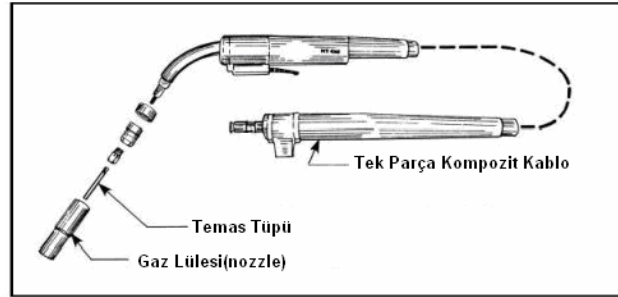
Şekil 2.11 Gazaltı Kaynak Makine ve Ekipmanları [ESAB, 1999]

Kaynak banyosuna doğru sürekli ilerleyen kaynak teline kaynak akımını akım memesi verir. Akım memesi üflecin en uç noktasında bulunur ve burayı terk eden tel serbest tel boyu olarak anılan bir mesafeden sonra kaynak arkıyla buluşur. Akım memesi iletkenliği sebebiyle bakırdan yapılmıştır ve tam merkezindeki bir delikten kaynak teli geçer. Bu deliğin ölçüsü kaynak akımının tele kesintisiz geçmesini sağlayacak bir değerde seçilir. Günümüzde akım memeleri saf bakır yerine bakır-krom, bakır-krom-zirkonyum, bakır-berilyum gibi alaşımlar ile sinterlenerek üretilen bakır-tungsten, bakır-tungsten-gümüş alaşımı imal edilmektedir.

Üflecin uç kısmında koruyucu gazın laminar olarak sevk edilmesini sağlayan ve bu gazı kaynak banyosuna yönlendiren bir gaz lülesi(nozzle) bulunur.

Üfleç kaynak süresince ark ile sürekli temas halinde olduğundan kaynak makinesinin en çok ısınan bölgesidir. Özellikle kaynak robotlarıyla yapılan kaynaklarda hem kaynak akımının yüksek olması ve hem de devrede kalış süresinin

uzun olması üflecin soğutulmasını mecburi kılmıştır. Bu amaçla üflecin içindeki özel kısımlarda soğutma suyu sirkülasyonu temin edilir. Genel olarak %60 devrede kalma süresinde 250 A ve daha altındaki kaynak uygulamalarında üflecin su ile soğutulmasına gerek yoktur ve bu uygulamalarda hava soğutmalı üfleçler tercih edilir [Gültekin, 1991].



Şekil 2.12 Kaynak Üfleci (Torch) [ESAB, 1999]

2.3.1.2 Tel Sürme Ünitesi

Tel elektrot sürme tertibatı, teli makaradan alarak önceden saptanmış bir hızla ark bölgesine gönderen mekanizmadır [Gültekin, 1991]. Çalışma sistemlerine göre çekme, itme ve hem çekme hem itme türü tertibatlar diye ayrılmasına karşılık prensip olarak çalışma bakımından birbirlerinden pek farkları yoktur. Hız ayarı gerilimi değiştirerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilmektedir [ESAB, 1999].

Makaradan alınan kaynak teli doğrultma makaralarını geçerek doğrultulduktan sonra sürücü makara gelir. Bu makaralar üzerlerine telin cinsine ve boyutuna uygun kanallar açılmıştır. Kullanılan elektrodun sert olması halinde makaraların üzerine tırtıl çekilmesi de mümkündür.



Şekil 2.13 Tel sürme Ünitesi [www.mig-welding.co.uk, 2007]

Makaralar sürücü üniteye bağlı olmak üzere bir tanesi motor tahrikli ve diğeri de avara olarak bir veya iki çift makaradan oluşur. Bu makaralardan avara motor tahrikli olan makara üzerine yaylı bir mekanizmayla baskı uygulayarak kaynak elektrodunun kesintisiz ve sabit bir hızla, tahrikli makara üzerinde kaymadan kaynak yerine iletilmesini sağlar [ESAB, 1999].

2.3.1.3 Akım Üretici

MIG-MAG kaynağında kullanılan akım üreteçleri elektrik ark kaynağı ve TIG kaynağı akım üreteçlerinden farklı bir akım-gerilim diyagramına sahiptirler. Bu tip makineler yatay karakteristiktir. Gerilim düşümü kaynak akımından hemen hemen bağımsızdır. Bu tip makinalarda her 100 A kaynak akımı artışı için 2-5 voltluk bir gerilim düşümü görülür. Sabit gerilimli olarak bilinen bu tip akım üreteçlerinin kullanıldığı makinalarda telin yanma hızını belirleyen kaynak akımı parçaya göre sürekli ayarlanır. Kaynak teli kaynak akımına göre hızı otomatik olarak ayarlayan bir motor yardımıyla sürülür [Gültekin, 1991].

Sistem karmaşık bir kontrol devresine ihtiyaç duymadan kendi kendini ayarlayacak şekilde tasarlanmıştır. Şöyle ki, tel hızı arttırıldığında kaynak akımı da orantılı olarak artar. Tel hızı düşürüldüğünde de kaynak hızı otomatik olarak azalır [Gültekin, 1991].

Akım üreticinin seçiminde üreticinin akım kapasitesi oldukça önemli rol oynar. Kullanılacak akım üreticinin gücü belli bir boşta çalışma oranında üreticinin verebildiği maksimum kaynak akımıyla belirtilir. Örneğin %60 devrede kalma oranında 300 A kapasiteli bir makine, 10 dakikalık çalışma süresinin 6 dakikası süresince 300 A kaynak akımıyla robota kaynak yaptırabilir. Burada önemli olan husus kaynak robotlarında pozisyonlama ve benzeri boşta çalışma süreleri elde yapılan gazaltı kaynağına göre daha az olduğu için, robotik ark kaynağı uygulamalarında daha yüksek akım üreteçlerinin kullanılması zorunludur [ESAB, 1999].



Şekil 2.14 Akım Üretici [www.millerwelds.com, 2007]

2.3.1.4 Gaz Donanımı

Kaynak esnasında kullanılan koruyucu gazlar genellikle ülkemizde tüpler halinde kaynak makinalarının yakınında bulunmaktadır. Bazı büyük işletmelerde işletme içi merkezi gaz dağıtım şebekeleri de uygulanmaktadır.

Ülkemizde asal gaz ve karışım gaz tüpü olarak 40 l. hacimli ve 230 bara kadar doldurulabilen tüpler kullanılmaktadır. Karbondioksit tüpleri içinde gaz sıvı haldedir ve bu bakımdan gaz tüpleri içerdikleri sıvı gazın ağırlığına göre 10, 20 ve 30 kg.lık olarak sınıflandırılırlar. 1 kg sıvı karbondioksit teknik olarak 540 l. koruyucu gaz oluşturur.

Tüp ağızlarına gaz basıncı ayar ventili takılmıştır. Bu ventil üzerinde tüpe yakın tarafta tüp basıncını gösteren bir manometre, basınç düşürme ayar vanası ve gaz debisini gösteren bir akış ölçer bulunur. Ayrıca karbondioksit tüplerinde buharlaşan karbondioksit gazı ortamdan ısı çektiği için bir ısıtıcı bulunur [ESAB, 1999].

2.3.1.5 Kontrol Ünitesi

Kaynak programını yürütmek için bir kontrol ünitesine gerek duyulur. Manuel yapılan kaynakta bu işlemler kaynakçı tarafından yapılırken yarı otomatik tel sürücüsünü, gaz akışını ve akımı kontrol ünitesi düzenler. Robot kontrol ünitesi ise çok daha karmaşıktır. Robotik ark sistemindeki bir kontrol ünitesi tüm fonksiyonları kontrol edebilmeli ve geri besleme sinyallerini işleyebilmelidir [Carry, 2001].

2.3.2 Gazaltı Kaynak Yöntemlerinde Kullanılan Koruyucu Gazlar

Gazaltı ark kaynağında, kaynağın kalitesine etki eden en önemli faktörlerden birisi de koruyucu gazdır. Koruyucu gazlar kaynak işlemi boyunca kaynak banyosunun atmosferin zararlı etkilerinden korunması görevini üstlenir. Bu etki hidrojen ve azot gazlarının parçaya girmesiyle oluşan kırılgeçirgenlik ve oksijenin sebep olduğu oksitleme reaksiyonlarıdır [Gültekin, 1991]. Koruyucu gaz karışımlarındaki (Argon, Helyum, Karbondioksit, O_2 vb) son yıllardaki gelişmeler işlem performansını, üretkenliği ve kontrolü arttıracak, erime hatası risklerini azaltacak olan stabil arkı oluşturmak amaçlanmaktadır. Stabil ark ile düzgün bir kaynak yüzeyi ve düşük duman emisyonları elde edilir. Üretkenlik ve kalite otomasyon söz konusu olduğunda zaruri unsurlardır ve koruyucu gazlar ile bağlantılıdır [Pires et. al., 2007].

Kaynak metallerinin oksijenle reaksiyonların önlenmesi için kaynak işleminde soygaz olan Argon ve Helyum koruyucu gaz olarak kullanılır. Koruyucu gaz olarak karbondioksit gazı kullanıldığında ise durum biraz farklıdır. Yaklaşık $6500^{\circ}C$ civarında karbondioksit gazı karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Kaynak banyosuna ulaşan bu karbonmonoksit gazı burada tekrar oksijenle reaksiyona girer. Bu ekzotermik bir reaksiyondur ve kaynak banyosunun sıcaklığını artırır.

Karbondioksit ile kaynak yaparken görülen problemlerden biri de arkın üst taraflarında ayrışıp, ark dibinde tekrar bileşik yapan karbondioksit gazının yukarıya doğru oluşturduğu ark doğrultusunda ters yönlü bir elektriksel konveksiyon akımıdır. Bu akım arkın gezinmesine ve sıçramaya yol açar.

Argon ve Argon esaslı karışım gazlarında yukarıdaki kuvvetler oluşmadığı için ark kararlıdır, gezinmez. Ayrıca koruyucu gaz içine ilave edilen düşük oranlı oksijen gazı arkın kökün hareketliliğini azaltır. Bu sebeple koruyucu gaz kompozisyonu damlacık büyüklüğü ve kısa devre zamanı üzerinde oldukça büyük bir etkiye sahiptir [ESAB, 1999].

Çelikler kullanım amacına uygun olarak pek çok alaşım elementi içerirler. Kaynak işleminde esas metalin özelliklerinin korunabilmesi için bu alaşım elementlerinin kaybolması gerekir. Bu elementlerin bir kısmı esas metale kaynak teli sayesinde ilave edilir.

Karbondioksit ile yapılan kaynaklarda açığa çıkan oksijen gazı pek çok alaşım elementinin oksitlenmesine yol açtığı için kullanımı sınırlıdır. Oksitlenen alaşım elementlerinden karbon, mangan ve silis kullanılan kaynak teli sayesinde kaynak banyosuna takviye edilir.

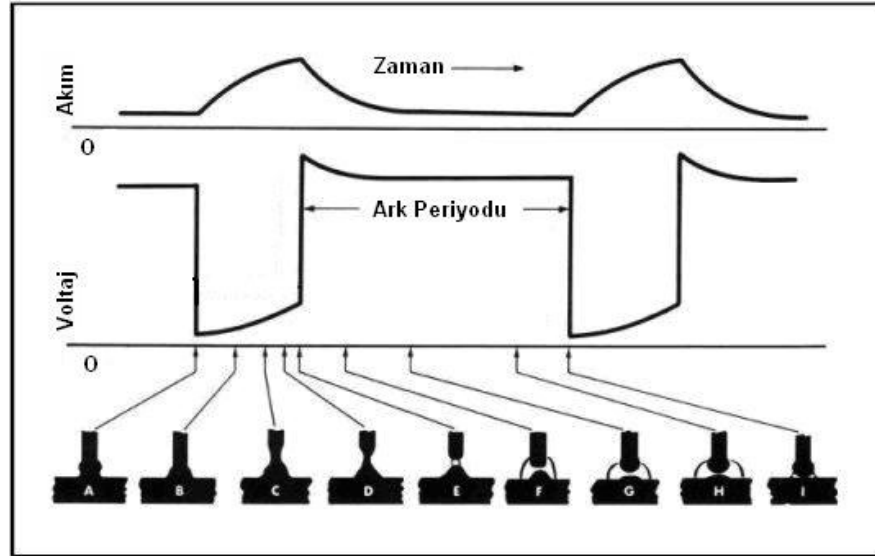
Argon ve Helyum gazları ise tamamen soygaz oldukları için bu gazlarla yapılan kaynaklarda oksitlenme türü sorunlar yaşanmaz. Bu yüzden paslanmaz çelikler ve alüminyum kaynaklarında yüksek saflıkta argon veya argon-helyum karışımları kullanılır [ESAB, 1999].

2.3.3 Gazaltı Kaynağında Ark Metal Transferi

Metal transferinin şeklini dolgu metali, gerilim, akım şiddeti ve koruyucu gazın etkileri belirler [Pires et. al., 2007]. Kaynak telinden, kaynak banyosuna dolgu metalinin geçişi genel olarak dört şekilde olur.

2.3.3.1 Kısa Devre Geçiş

Kısa devre geçiş kaynak akımının düşük olduğu durumlarda görülür. Bu geçiş şekli küçük, çabuk soğuyan bir kaynak banyosu oluşturulduğundan ince parçaların kaynağında kullanılır. Metal telden kaynak banyosuna sadece telin kaynak banyosu ile teması sırasında geçer. Bu geçiş işlemi saniyede 20 – 200 kez arasında tekrarlanır [ESAB, 1999].



Şekil 2.16 Kısa Devre Ark Metal Transferi [ESAB, 1999]

Geçişteki olayların sıralaması Şekil 2.16’da akım ve voltaj ilişkisiyle birlikte verilmektedir. Tel kaynak banyosuna değdiği anda yüksek kısa devre akımı oluşur (A,B,C,D). Bu esnada tel ucunda malzemeye birleşen erimiş metal çevresel baskı ile incelir ve kopar (D,E). Metal transferinin bitişiyle ark tekrar oluşur (E,F). Bu esnada kaynak teli malzemeye doğru itilerek yeni bir kısa devre oluşturulur. Oluşan kısa devre sonucu akım hızla artar. Akım artışı oranı teli tekrar ısıtacak ve metal transferini başlatacak kadar yüksek, metal damlacıklarının şiddetli ayrılmalarından oluşan sıçramayı minimize edecek kadar küçük olmalıdır. Bu akım artış olayı kaynak makinesinin indüktansına bağlıdır. İndüktans değeri azaldıkça akım artış oranı artar. Bu tip metal transferlerinde sıçrama çok fazladır. Özellikle karbondioksit gazıyla çalışıldığında dikkat etmek gerekir [ESAB, 1999].

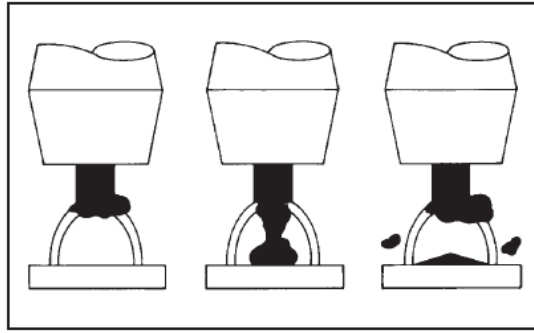
Yüksek frekanslı kısa devre geçişte zararlı duman emisyonunun arttığı, düşük frekanslı kısa devre geçişte ise az da olsa emisyonun azaldığı belirlenmiştir. Bu unsur kaynak ortamının sağlıklı olması için son derece önemlidir [Pires et. al., 2007].

2.3.3.2 Küresel Geçiş

Akımın biraz daha artmasıyla kaynak metalinde küresel geçiş başlar. Küresel geçişte kaynak teli ucunda, çapı tel çapından daha büyük bir damlacık oluşur ve

oluşan bu damlacık yer çekiminin etkisiyle kaynak banyosuna geçer. Damlacıkların kopuşu elektromanyetik alanın oluşturduğu daralma kuvveti sayesinde olur. Daralma kuvvetinin büyüklüğü akımı ve tel çapıyla doğru orantılıdır. Genelde damlacık yer çekiminin etkisiyle düşünceye kadar büyür ve düşme anında kısa devre oluşturarak patlamaya sebebiyet verir. Olayın şematik gösterimi Şekil 2.17’de verilmiştir [Fabricators and Manufacturers As. Intl., 1995].

Bu tür geçişte duman emisyonun arttığı tespit edilmiştir [Pires et. al., 2007]



Şekil 2.17 Küresel Geçiş [Fabricators and Manufacturers As. Intl., 1995]

2.3.3.3 Sprey Geçiş

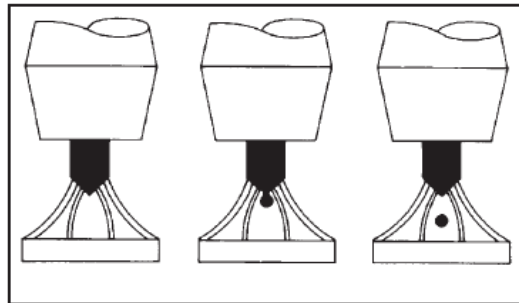
Sprey transferi kaynak akımının belli bir geçiş akımını aşmasıyla gözlenir (Tablo 2.6). Bu tip transferde oluşan damlacıkların çapı kaynak teli çapından daha küçüktür. Saniyede birkaç yüz damlacık transfer edilir. Geçiş akımı sıvı metal yüzey gerilimine, elektrod çapına, serbest uç uzunluğuna ve koruyucu gaz kompozisyonuna bağlıdır [Fabricators and Manufacturers As. Intl., 1995].

Kaynak metali ark kolonu içindeki elektromanyetik güçler tarafından taşındığı için dikey ve tavan kaynakları da dâhil olmak üzere her pozisyonda kaynak yapılabilir. Sprey ile ark sıçraması oldukça az ve dolgu hızı yüksek kaynaklar yapılabilir [Fabricators and Manufacturers As. Intl., 1995].

Bu tür geçişte duman çıkışının az miktar arttırdığı belirlenmiştir [Pires et. al., 2007].

Tablo 2.6 Küresel-Sprey Geçiş Akımları [Fabricators and Manufacturers As. Intl., 1995]

Elektrot Tipi	Tel Çapı(in.)	Koruyucu Gaz	Sprey Geçiş Akımı
Düşük Karbonlu Çelik	0.023	98% Argon - 2% O ₂	135
	0.030	98% Argon - 2% O ₂	150
	0.035	98% Argon - 2% O ₂	165
	0.045	98% Argon - 2% O ₂	220
	0.062	98% Argon - 2% O ₂	275
	0.035	95% Argon - 5% O ₂	155
	0.045	95% Argon - 5% O ₂	200
	0.062	95% Argon - 5% O ₂	265
	0.035	92% Argon - 8% CO ₂	175
	0.045	92% Argon - 8% CO ₂	225
	0.062	92% Argon - 8% CO ₂	290
	0.035	85% Argon - 15% CO ₂	180
	0.045	85% Argon - 15% CO ₂	240
	0.062	85% Argon - 15% CO ₂	295
Paslanmaz Çelik	0.035	80% Argon - 20% CO ₂	195
	0.045	80% Argon - 20% CO ₂	255
	0.062	80% Argon - 20% CO ₂	345
	0.035	99% Argon - 1% O ₂	150
	0.045	99% Argon - 1% O ₂	195
	0.062	99% Argon - 1% O ₂	265
	0.035	Argon - Helium - CO ₂	160
	0.045	Argon - Helium - CO ₂	205
Alüminyum	0.062	Argon - Helium - CO ₂	280
	0.035	Argon - Hydrogen - CO ₂	145
	0.045	Argon - Hydrogen - CO ₂	185
	0.062	Argon - Hydrogen - CO ₂	255
Deokside Bakır	0.030	Argon	95
	0.047	Argon	135
	0.062	Argon	180
Silikon Bronz	0.035	Argon	180
	0.045	Argon	210
	0.062	Argon	310

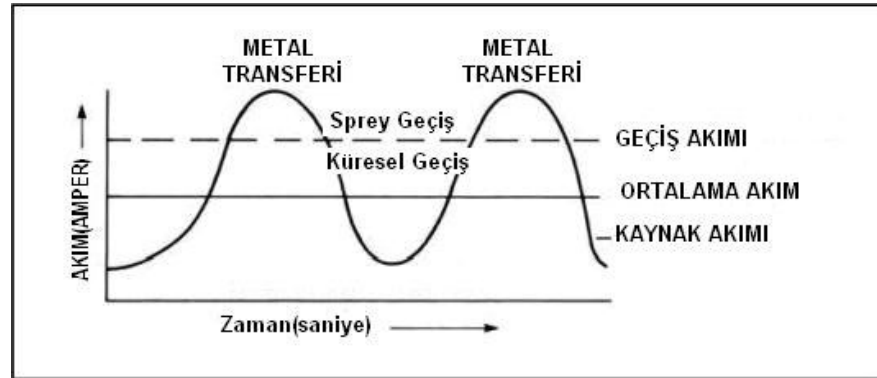


Şekil 2.18 Sprey Metal Transferi [Fabricators and Manufacturers As. Intl., 1995]

2.3.3.4 Darbe Geçiş

Darbe geçiş, düzenli olarak oluşturulan darbeler sırasında akımın yükselmesiyle metal transferini gerçekleştiren bir spray geçiş tipidir. İki darbe arasında akım düşüktür ve bu sırada metal geçişi olmaz. Akım yükseldiği anda geçiş

akımı da aşılar ve spray geçiş başlar. Darbe frekansı saniyede 60 – 120 arasındadır [Gültekin, 1991].



Şekil 2.19 Darbeli Ark Metal Transferi [ESAB, 1999]

İnce sacların spray geçiş ile kaynağında, tavan kaynaklarında karşılaşılan zorluklar darbe geçişi kullanılarak aşılabılır. Ayrıca paslanmaz çeliklerin kaynağında yüzeyde oluşan oksit filmi yine bu metot sayesinde kırılarak etkili kaynak yapılabilir [Gültekin, 1991].

Darbe geçişli kaynağın zaman göre akım değişimi ve elektrot ucu Şekil 2.19'da verilmiştir.

2.3.4 Kaynak Parametrelerinin Nüfuziyete Etkisi

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. Yeterli nüfuziyeti sağlamak adına aşırı akım uygulamak ise haddinden fazla erimeye bağlı olarak daha çok bölgeyi ısı etkisi altında bırakacak ve mekanik özellikleri olumsuz etkileyecektir [Karadeniz et al., 2007]. Bu sebeple kaynak parametrelerinin hangi sonucu vereceğini önceden kestirip işlemi yapmak en ekonomik çözüm olacaktır.

Saf Argon atmosferinde arkın daha stabil olması sebebiyle ark belli bir noktada toplanır. Bunun sonucunda parmak şeklinde girintili bir nüfuziyet elde edilir.

Karbondiyoksit atmosferinde yapılan kaynakta ise arkın en üst noktasında ayrılan karbonmonoksit ve oksijenin arkın alt noktasında ekzotermik bir reaksiyonda yeniden birleşerek kaynak banyosunun sıcaklığının artması sonucu daha derin nüfuziyetli bir kaynak dikişi elde edilir. Ayrıca karbondiyoksit gazı ile yapılan kaynaklarda daha şişkin bir tepe oluşumu gözlenir. Bu iki gazın iyi özellikleri Argon ve Karbondiyoksit karışım gazlar kullanılarak bir araya getirilebilir. Argon gazına %3-%25 oranında katılan karbondiyoksit derin nüfuziyetli, son derece az sıçramalı ve şişkin bir tepeye sahip olmayan kaynak dikişleri eldesine imkân verir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 2.20 Çeşitli Koruyucu Gaz Atmosferlerinde Dikiş Profilleri

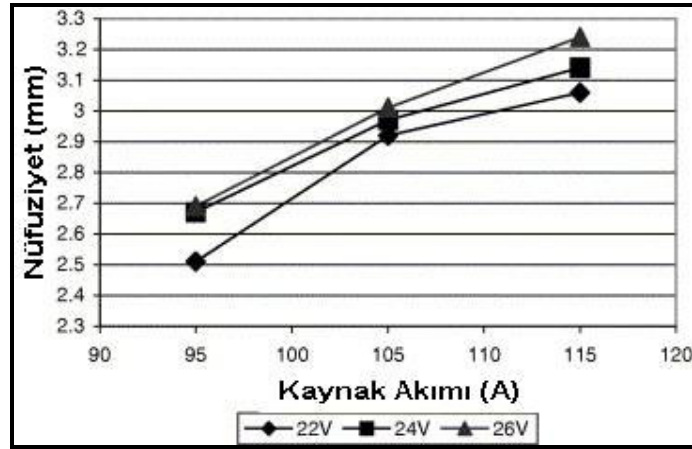
a) CO₂ Koruyucu Gazı ile Dikiş b) Ar Koruyucu Gazı ile Dikiş

c) 20% CO₂ %80 Ar Karışımı [www.migwelding.co.uk]

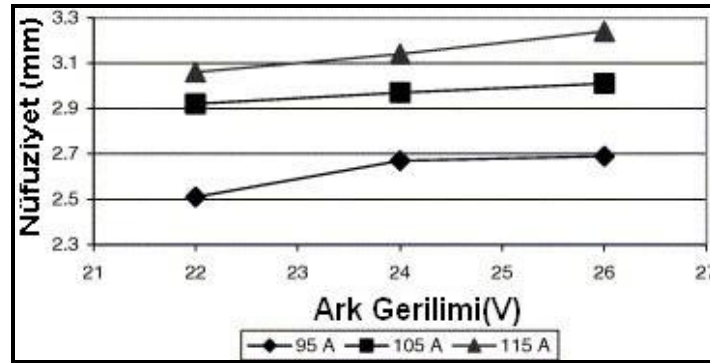
Erdal Karadeniz ve arkadaşlarının robotik ark kaynağı ile 2,5 mm Erdemir 6842 üzerinde yaptığı deneyler bize önemli tavsiyeler çıkaracak niteliktedir. Deney 1 mm.'lik G3Si elektrodu ile, 12 m/dk tel sürme hızı, %82 Ar+ %18 koruyucu gaz atmosferinde, 10 mm. lüle çapında 3 mm ark mesafesinde 5° üfleç açısıyla gerçekleştirilmiştir. Değişken parametreler 95, 105 ve 115 A kaynak akımı, 22 – 24 ve 26 V kaynak akımı ve 40 – 60 ve 80 cm/dk kaynak hızında gerçekleştirilmiştir [Karadeniz et. al., 2007].

Şekil 2.21'de görüldüğü gibi nüfuziyet derinliği 95 ve 115 arasında lineer bir şekilde artmaktadır. 1 A akım artışı ortalama 0,0225 mm nüfuziyeti arttırmıştır. Ayrıca ark gerilimi de nüfuziyeti 22-24 V arasında 0,02-0,12 mm kadar arttırmıştır. Fakat etkisi akım kadar görülmemiştir. Kaynak hızına baktığımızda nüfuziyetin 40-60 cm/dk arasında arttığı fakat ardından azaldığı görülüyor. Sonuç olarak en önemli

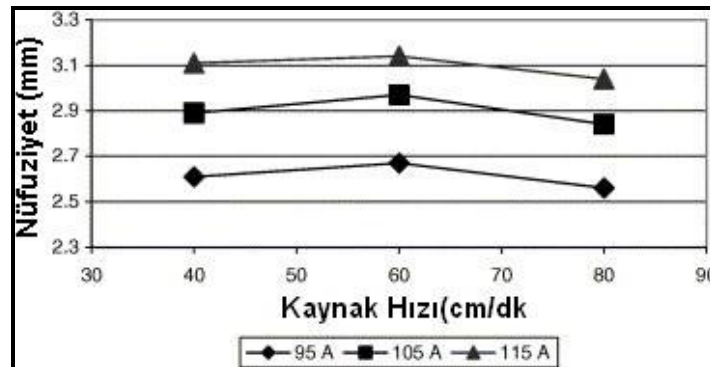
faktör olarak göze çarpan kaynak akımı gerilim ve kaynak hızına göre 2,5 kat daha etkilidir [Karadeniz et. al., 2007].



Şekil 2.21 Nüfuziyet - Kaynak Akımı İlişkisi (60cm/dk kaynak hızı) [Karadeniz et. al., 2007]



Şekil 2.22 Nüfuziyet - Ark Gerilimi İlişkisi (60cm/dk kaynak hızı) [Karadeniz et. al., 2007]



Şekil 2.23 Nüfuziyet - Kaynak Hızı İlişkisi (24 V Gerilim) [Karadeniz et. al., 2007]

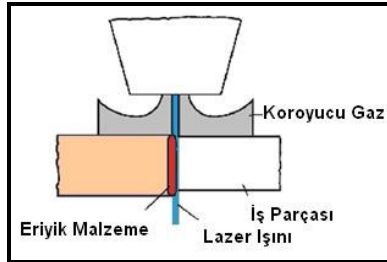
2.4 Lazer Kaynağı

2.4.1 Giriş

“LASER, “Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation” (uyarılmış ışın neşriyle ışık kuvvetlendirilmesi) tanımının baş harflerinden oluşmaktadır. İlk etapta tek renkli, oldukça düz, yoğun ve aynı fazlı paralel dalgalar halinde genliği yüksek, güçlü bir ışık demeti olarak tanımlanır [Miller, 1994]”.

Lazer kaynağı günümüzde sanayide hızla gelişen bir uygulama olarak görülmektedir. Kesme, delme ve kaynak gibi imalat işlemlerinde her geçen gün kendine daha fazla yer edinmektedir. Lazer, dünyada birçok kullanım alanına sahip bir uygulamadır. Bu uygulamalar özellikle lazer makineleri uygulamaları, sağlık uygulamaları ve araştırma – geliştirme uygulamalarından ibarettir. Bu buluşun dünyaya kazandırılmasıyla ileri teknoloji ürünlerinin varlığı önemli ölçüde insan hayatını kolaylaştırmıştır.

Lazer kaynağının milisaniyelerle hesaplanabilecek seviyelerde malzemeyi ısıtması ile yapılır. Lazer ışını üretildikten sonra, enerji, optikler sayesinde tam odak noktasına yüksek yoğunlukla bırakılır. İnce lazer ışını sayesinde küçük alanlarda ısı dağılmadan kaynak işlemi yapılmaktadır [Miller, 1994].

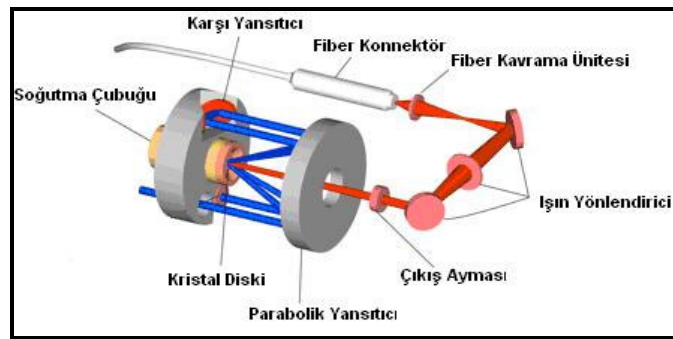


Şekil 2.24 Lazer Kaynağı [www.olympustechnologies.co.uk, 2007]

2.4.1.1 Katı Lazerin Elde Edilişi

Bir katı Lazer sisteminin en önemli elemanı alüminyum çevresine yerleştirilmiş olan katı çubuktur. Katı çubuk olarak yaklaşık olarak %0,05 Cr+3 iyonu içeren Al_2O_3 'ten oluşmuş yakut kristali veya itriyum, alüminyum, ve garnetin neodim ile birleşmesinden oluşan kristal (Nd: YAG) kullanılır. Günümüzde genellikle Nd: YAG

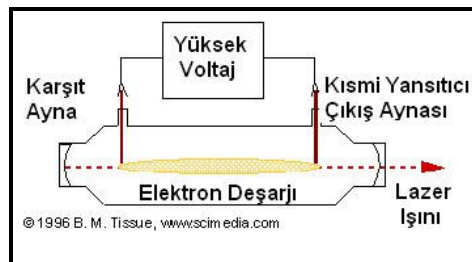
kristali kullanılmaktadır. Genellikle dış enerji kaynağı olarak kristal çevresine yerleştirilmiş olan yüksek gerilim devresine bağlı ksenon veya kripton lambalar kullanılır [Carry, 2001]. Kristal içinde yansıyan ışınlar her bir geçişte iyonize elementin atomlarındaki yayılım enerjisini yükseltmekte, en yüksek enerjiye ve paralellığa ulaştıklarında sıkı bir demet şeklinde kristalinin yarı geçirgen ucundan monokromatik olarak dışarıya yönlendirilmektedir. Bu ışıklar araya konulan mercekler vasıtasıyla çok küçük bir yüzeye (1 mikrometreye kadar) yoğun olarak gönderilmektedir [Miller, 1994]. Modern bir katı lazer prensip şeması Şekil 2.25’de verilmiştir.



Şekil 2.25 Katı Lazer Sistemi [www.nasa.gov, 2006]

2.4.1.2 Gaz Lazerin Elde Edilişi

Bu tür lazerler de yaygın olarak karbondioksit, helyum ve azot gaz karışımı kullanılmaktadır. Karışım uyarıldığında foton yayarak lazer ışını oluşturur. Bu uyarılma işlemi yüksek gerilim, düşük akımlı güç kaynaklarının elektromanyetik alan oluşturulmasıyla gerçekleşir [Carry, 2001]. Şekil 2.26’da gaz lazerin sistemi prensip olarak gösterilmiştir [Miller, 1994].



Şekil 2.26 Gaz Lazer Sistemi [www.scimedia.com, 2006]

2.4.2 Lazer ile Kaynak

Lazerli kaynak uygulamalarının başlıca üstünlükleri, kaynak ortamının oksitleyici, redükleyici, soy gazlı ya da vakum olabilmesi, yüksek güç yoğunluğu, yüksek kaynak hızı, çok düşük mekanik deformasyon, kaynak süresinin çok kısa olması nedeniyle kimyasal reaksiyonların oluşması, dar kaynak dikişleri elde edilmesi ve kolaylıkla otomatize edilebilmesidir [Guoping, 2006].

Nd: YAG lazerler 4 KW'a kadar çıkış gücüne ulaşabilmektedir [Tzeng, 2000]. Bunun yanında yakut kristalli katı lazerlerin çıkış gücü yalnızca 10-20 W arasındadır. Bu sebeple bu lazerlerin kullanımı endüstriyel alanda ortadan kalkma aşamasındadır. Karbondioksit gaz lazer ise 25 KW çıkış gücüne ulaşabilmektedir. Bu lazer yöntemlerinin tamamı darbeli ve devamlı usulün her ikisiyle de işletilebilir [Carry, 2001].

Günümüzde çok farklı tipte katı ve gaz lazer uygulamaları mevcut olmakla birlikte, kesme, kaynak gibi malzeme işleme alanlarda CO₂ ve Nd:YAG lazerleri kullanılmaktadır. Çünkü sadece bu iki yöntem üretim hatlarına ihtiyaç olan verimli yüksek güçte ışını sağlayabilmektedir. Bundan önce CO₂ lazeri rakipsizken günümüzde Nd:YAG lazerinin gücünün çıkış gücünün 4 KW mertebesine çıkması, yüksek ışın kalitesi, stabil çıkış gücü, fiber optikler vasıtasıyla esnek ışın sevki ve modüler tasarımıyla bir çok alanda CO₂ lazerin yerini almıştır. Karmaşık üç boyutlu yapıların kaynak ve kesme işlemlerinde tercih edilmektedir. Bir otomobilin şasi ve gövdesinin lazer kaynağında Nd:YAG yöntemi kullanılmaktadır. Günümüzde 10 mm'ye kadar alüminyum veya çelik sac 2 m/dk hızda bu yöntemle kaynak edilebilmektedir [Tzeng, 2000].

Lazer kaynak araçların şasi, şanzıman, kapı ve gövde kaynaklarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle Avrupa ve ABD'de uygulaması otomotiv sektöründe lazer kaynak uygulamaları artış göstermektedir. Örneğin FIAT araçlar lazer kaynak kullanımını arttırırken, AUDI tamamen alüminyum gövdeli olan modelinin tüm gövde kaynağını lazer kaynağı kullanarak yapmaktadır.

Tablo 2.7 Lazer Kaynağın Çeşitli Metallere Uygulanabilirliği [Miller, 1994]

Metal	Açıklama
Alüminyum 1100	İyi kaynak, kırılma yada transformasyon problemi yoktur.
Alüminyum 2024/5052/6061	Sıkı ve kırılma riski olmayan kaynak için 4047 Al dolgu metaline gerek vardır.
Cu-Zn	Çinko gazı oluşumu önlenirse iyi kaynak olur
Bakır	Yüksek reflektivite kötü kaynağa yol açabilir. 0,01"ten ince malzemeler için kaplama kaynatılabilirliği artırılabilir.
Molibden	Genelde kaynak gevrek olur. Eğer yüksek dayanım aranmıyorsa, kaynak kabul edilebilir olabilir.
Nikel	Temizlenmelidir; iyi, sünek ve yüksek nüfuziyetli kaynak.
Çelik, Karbon	0.25% Karbona kadar iyi kaynak; daha yüksek karbon içeriği gevrekliğe ve kırılmaya neden olabilir
Çelik, Galvanizli	Çok miktarda ağır çinko gazı oluşumu gözeneğe sebep olur
Çelik, 300 Paslanmaz	3030 ve 303SE dışında (kırılma olur) iyi kaynak
Çelik, 400 Paslanmaz	Genelde gevrek olur. Ön ve son ısıtma ile işlem gerektirir
Tantal	Sünek kaynak; oksitlenmeyi önlemek için bazı tedbirler gerekir.
Titanyum	Sünek kaynak; oksitlenmeyi önlemek için bazı tedbirler gerekir.
Tungsten	Gevrek kaynak, yüksek enerji gerektirir.
Zirkonyum	Sünek kaynak; oksitlenmeyi önlemek için tedbirler gerekir.

Nd:YAG lazerin nüfuziyeti bazı uygulamalar için yetersiz kalabilmektedir. Nüfuziyeti arttırmak için kullanılan iki metot vardır. Bunlardan birisi ilave dolgu teli kullanmak, diğeri ise gaz altı kaynak ile lazer uygulamanın bileşimi olan lazer hibrid kaynak uygulamasıdır. İlave dolgu teli kullanma işlemi dolgu telini lazer ışınının

odak noktasına gönderilmesinden ibarettir. Burada kritik unsur gönderilecek tel miktarının lazerin eritme kapasitesinin altında seçilmesidir. Hibrid uygulamada gaz altı kaynağı üflecinin lazer kafasının yanına yerleştirilmesi ve koruyucu gaz lülesinin yeni işleme uygun bir biçimde modifiye edilmesiyle gerçekleştirilir. Yapılan deneysel çalışmalar her iki işlemin de kullanışlı olup 10 mm olan nüfuziyeti 20 mm ye çıkarttığını göstermiştir. Hibrit metotta istenen dolguyu gerçekleştirmek daha az pasoda daha az zamanda gerçekleştirilmiştir [Jokinen and Kujanpaa, 2003].

3. KAYNAKLI BAĞLANTININ KALİTE KONTROL VE TESTİ

3.1 GİRİŞ

Aranılan belirli şartları en iyi karşılayan anlamında kullanılan "Kalite" kısaca "amaçlara uygunluk derecesi" olarak tanımlanabilmektedir. [İGEME, 2002].

Kalite'nin değişik tanımları bulunmaktadır [İGEME, 2002].

- 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.

Teknoloji, değişen koşullar, ihtiyaçlar kaliteye değişik boyutlar getirmektedir. Kalite niteliği bakımından dinamik bir özellik taşımakta, tüketici ihtiyaçlarına paralel olarak gelişmekte ve değişmektedir. Veri toplamak suretiyle üretici, yeni teknikler ve yeni örgütlenme yolları geliştirerek aynı maliyetle daha yüksek kalitede üretmek ve tüketicinin kaliteye yönelik taleplerini yerine getirmek durumundadır [Carry, 2001].

Kalite bir güven duygusu yaratmaktadır. Güven kriterinin oluşumu kalitenin değerlendirilebilme imkânına bağlıdır. Değerlendirilebilme ise ölçülebilme imkânına bağlıdır. Ölçülebilme kalite çeşitli test ve incelemeleri içermektedir [İGEME, 2002].

3.2 Kaynak Hataları

Kabul edilebilirlik sınırının altında olan yani kaynak edilmiş parçanın fonksiyonelliğini ve stabilitesini risk altında bırakan durumlardır. Bunlar kabul edilemez süreksizliklerdir. Tasarımcı bu kabul edilebilirlik sınırını gereksinimlere göre kesin olarak belirler [AWS, 1999].

3.2.1 Gözenekler

Kaynak esnasında dışarı doğru hareketlenen gazın kaynağın katılaşmasıyla kaynak dikişi içinde kalmasıyla oluşur. Genelde küresel biçimlidirler. Küresel gözenekler, aşırı olmamak kaydıyla stres yoğunlaşmasına yol açar fakat keskin köşeli kaynak boşlukları kadar kritik değildir. Keskin köşeli kaynak boşluklarının çatlak oluşturma riski de vardır [Grieve, 2003].



Şekil 3.1 Gözenek ve Radyografik Fotoğrafı [www.tafensw.edu.au, 2007]

Aşırı gözeneklilik, kaynak parametrelerinin ve kaynak telinin uygun olmadığı, ana metalin alaşımının kaynak teline uyumsuzluğunun bir göstergesidir [AWS, 1999].

3.2.2 Kalıntılar

Uygun olmayan kaynak tekniği, malzeme yüzeyindeki pislikleri kötü dizayn sebebiyle kaynak dikişine rahat ulaşamama veya pasolar arasında uygun temizlemenin yapılmaması sebebiyle kaynak metali içerisinde metalik olmayan

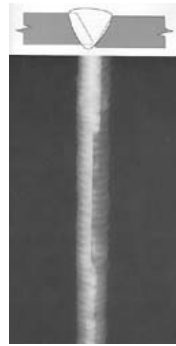
birikintiler kalabilir. Normal olarak erimiş kalıntılar kaynak metali katılaşmadan önce yüzeyde toplanır. Genellikle kaynak dikişi içerisindeki keskin köşeler bu tip kaynak kalıntıları dolayısıyla oluşur [Grieve, 2003].



Şekil 3.2 Kalıntılar ve Radyografik Fotoğrafı [www.tafensw.edu.au, 2007]

3.2.3 Yetersiz Birleşme

Yetersiz birleşme uygun olmayan kaynak tekniği, uygun hazırlanmamış ana metal veya uygun olmayan kaynak ağzı hazırlanması sonucu oluşur. Birleşmenin yetersiz olmasına kaynak ısısının yetersiz olması ve parçaya iyi dağılamaması sebep olur [Grieve, 2003].

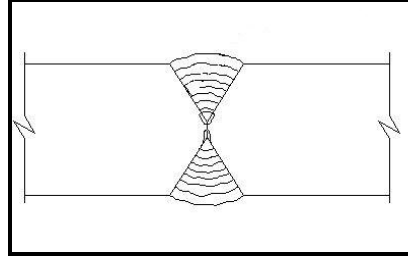


Şekil 3.3 Yetersiz Birleşme ve Radyografik Fotoğrafı [www.tafensw.edu.au, 2007]

3.2.4 Yetersiz Nüfuziyet

Kaynak metalinin ana metal içerisine nüfuz etmemesi sonucu görülür. İyi bir nüfuziyet için kaynak metali ile ana metal arasındaki mikroskobik geçişin kesintisiz

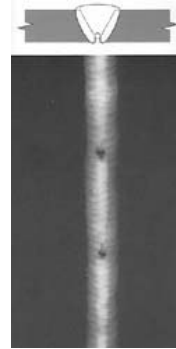
olması gerekir. Yetersiz nüfuziyet, yetersiz kaynak ısısı, uygun olmayan kaynak ağzı(kaynak nüfuziyeti içim parça kalınlığının çok fazla ve açılan kaynak ağzının az olması)gibi sebeplerle ortaya çıkar. Nüfuziyeti yüksek olması istenen parçaların kaynaktan sonra tahribatsız muayene yöntemleriyle kontrolü gerekir. Bu kontrol özellikle köprü, boru hattı, basınçlı tüpler ve nükleer uygulamalarda zorunludur [Grieve, 2003].



Şekil 3.4 Yetersiz Nüfuziyet [www.kuleuven.ac.be, 2007]

3.2.5 Yanma Olukları

Yanma oluklarına, uygun olmayan kaynak tekniği ve/veya aşırı kaynak akımı yol açar. Limitler içinde tutulduğu sürece yanma olukları keskin köşeler oluşturmayacakları için kaynak kusuru olarak düşünülmemeyebilir [Grieve, 2003].



Şekil 3.5 Yanma Olukları ve Radyografik Fotoğrafı [www.tafensw.edu.au, 2007]

3.2.6 Sıcak Çatlaklar

Sıcak Çatlaklar kaynağa müteakip yüksek sıcaklıkta katılma anında veya katılmasından hemen sonra meydana gelir. Bu çatlaklar en çok iç köşe birleşmelerde

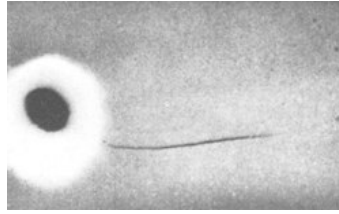
görlür. Sıcak çatlaklar, genellikle kaynak metalindeki karbon veya kükürt her ikisinin de fazla olması neticesinde ortaya çıkar [Grieve, 2003].

3.2.7 Krater Çatlaklar

Krater çatlakları hemen hemen bütün alaşımsız ve hafif alaşımlı çeliklerin kaynağında, kaynak sonunda elektrodun hızlı çekilmesiyle meydana gelir. Kaynak işlemi bitiminde elektrodun hızla çekilmesi sonucu kaynak metali kaynak dikişi sonunda az yığılır. Hızla soğuyan bu bölgede içe çekilen kaynak metali sonucu katılma boşluğu ve krater çatlğı oluşur. Krater çatlğının önlenbilmesi için kaynak bitiminde bir krater doldurma işlemi tatbik edilir [Grieve, 2003].

3.2.8 Gerilme Çatlakları

Kaynak sırasında dikişte oluşan kendini çekme gerilmelerinin sebep olduğı bir çatlak cinsidir ve kaynak dikişine dikey olarak oluşur. Bu çatlaklar aynı yerin ikinci kez kaynağında özellikle önemlidir [Grieve, 2003].



Şekil 3.6 Gerilme Çatlğı ve Radyografik Fotoğrafı [www.tafensw.edu.au, 2007]

3.2.9 Dikiş altı ve Hidrojen Gerilme Çatlakları

Bu tip çatlaklarla sertleşme, hidrojen gevrekleşmesi veya kendini çekme gerilmelerine sebep olmaktadır. Alaşım elementlerinin çelikte heterojen dağılımı ve çelikte saflığı bozan elementler bu çatlakların oluşumunu hızlandırır. Hidrojen gerilme çatlğının oluşabilmesi için parçada iç gerilmeler ve hidrojen olmalıdır. Kaynak dikişine hidrojen, kaynak esnasında iş parçası yüzeyindeki su, yağ ve benzerleriyle geçer. Yüksek mukavemetli ve sertleşme kabiliyeti fazla olan çelikler bilhassa bu tip çatlaklara karşı hassastır [Grieve, 2003].

3.2.10 Yaşlanma Çatlakları

Çeliğin bileşiminde bulunan karbon ve azot çeliği yaşlandıran elementlerdir. Soğuk şekil değiştirilmiş çelikler kaynak edildiğinde birkaç yüz santigrat derecelik tavlama maruz kalan kısımlarda yaşlanma çatlakları oluşabilir [Grieve, 2003].

3.2.11 Taneler arası Gerilmeli Korozyon Çatlakları

Bu çatlaklar alaşımsız veya hafif alaşımlı çeliklerin alkali veya asit karakterli bir ortamda çekme gerilmelerine maruz kalmalar neticesinde ortaya çıkmaktadır [Grieve, 2003].

3.2.12 Gevrek Kırılma

Gevrek kırılmanın en önemli karakteristiği hiçbir plastik deformasyon olmaksızın meydana gelmesidir. Kırılma yüzeyleri normal olarak gevrek görünüştür [Grieve, 2003].

Gevrek kırılmanın bazen konstrüksiyonda hiçbir önemi olmayan bir parçada başlayıp kaynak dikişi üzerinden kritik parçalara da geçebilir [AWS, 1999].

Gevrek kırılma tehlikesi parçaya ve kaynağın kalitesine bağlı olduğu kadar, konstrüksiyonun çalışma sıcaklığına da bağlıdır. Büyük ve karışık konstrüksiyonlarda bu tehlike daha fazladır ve sac kalınlığı arttıkça tehlike de artar. Gevrek kırılma kaynak hatalarının olduğu yerlerden veya dizayn sonucu çentik etkisi olan yerlerden başlar. Gevrek kırılmanın başlaması ve yayılması malzemenin çentik darbe mukavemeti ile ilgilidir. Gevrek bir çelikte kırılma ihtimali, daha iyi çentik darbe mukavemetine sahip olan bir çelikten daha fazladır. Özellikle düşük sıcaklıklarda çeliklerin çentik darbe dayanımı azaldığı için bazı çelikler düşük sıcaklıkta gevrek kırılma eğilimi kazanır [AWS, 1999].

3.3 Ark Kaynağı Dikişlerinin Muayenesi

Kaynak dikişlerinin muayenesi genel olarak tahribatlı ve tahribatsız muayene usulleri olarak ikiye ayrılır. Kaynak edilen parça muayene edilirken parçanın imalatın özellikleri göz önüne alınarak uygun bir muayene metodu seçilmelidir. Kaynak işleminde yapılan hatalı kaynağın düzeltilmesi ve parçanın kurtarılması çoğu zaman çok güç ve hatta imkânsızdır. Kaynağın düzeltilmesi mümkün olsa bile parça üzerine ek bir maliyet getirecektir. Bu yüzden kaynak dikişinin kalitesine etki eden parametreler dikkatle seçilmeli ve bu parametreler üretim süreci içerisinde sürekli kontrol edilmelidir. Gerekli durumlarda ve özellikle kritik malzemelerin kaynağında, insan sağlığıyla ve emniyetle doğrudan ilgili parçalarda kaynak işleminin önce numune parçaların kaynatılıp tahribatlı muayene edilmesi elzemdir. Üretim süreci içerisinde ise kullanılabilecek tek metot “tahribatsız muayene metodu”dur.

Kaynağın kalitesine etki edebilecek parametreler genel olarak esas metalin bileşimi, kalınlığı, ısıtılma durumu, sünekliği, kaynak öncesi sıcaklığı safiyet ve homojenliği; ilave metalin bileşimi, akma sınırı ve sünekliği, hidrojen muhtevası, safiyet ve homojenliği ile elektrot çapıdır. Ayrıca kaynak ağzının formu, parçanın fikstürdeki rijitliği, form faktörü, keskin geçişler ve kaynak sırası kaynağın kalitesinde rol oynar [AWS, 1999].

3.3.1 Kaynak Hatalarının Saptanmasında Uygulanan Muayene Yöntemleri

Kaynak bağlantıları kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirebilmeleri için hata içermemeli ve önceden saptanmış mekanik özellikleri sağlamalıdır. Hataların büyük bir kısmı bağlantının içinde bulunduğundan bunların varlığı ancak özel muayene yöntemleriyle belirlenebilmektedir. Bir muayene yöntemini seçerken genel olarak üç ana kıstas vardır: Muayene yönteminin avantajları ve uygulanabilirliği, kullanılan kalite standartlarına cevap verebilirliği ve maliyet [AWS, 1999].

3.3.1.1 Muayene Yönteminin Uygulanabilirliği

Muayene yönteminin uygulanabilirliği ve avantajları hangi işlemin seçileceğine karar verilmesini sağlar. Örneğin radyografi x ışın demetiyle paralel olarak oluşmuş çatlaklar bulunabilir, bu çatlaklar genellikle parça yüzeyine dik olarak bulunurlar. Fakat diğer taraftan parça yüzeyine paralel çatlakların radyografiyle tespit edilmesi genelde mümkün değildir. Oysa ultrasonik titreşimler yardımıyla uygun tarama yöntemiyle her iki tip çatlağı da tespit etmek mümkündür [AWS, 1999].

3.3.1.2 Kalite Standartlarına Cevap Verebilme

“Kaynak radyografik olarak test edilecek” cümlesi kabul edilebilir standartları tanımlamadan tek başına bir anlam ifade etmez. Kalite standartları çeşitli kaynak kusurlarını ve bunların kabul edilebilir limitlerini veya kabul edilebilirliğini belirler[AWS, 1999].

3.3.1.3 Maliyet

Her muayene metodunun maliyeti farklıdır. Herhangi bir tahribatsız muayene metodunun maliyeti ekipmanın başlangıç yatırımı ve kontrolün maliyeti olarak ikiye ayrılır. En ucuz tahribatsız muayene metodu gözle kontrol olmasına karşılık, yöntemin kaynak kusurlarını tespitte yetersiz kalması kullanımını sınırlamaktadır. Genel olarak radyografik, ultrasonik metotlarının maliyeti görsel, manyetik ve sıvı penetran metotlarına göre daha yüksektir.

Kaynak bağlantılarının değerlendirilmesinde uygulanan muayene yöntemleri esas olarak tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri olmak üzere ikiye toplanır. Birinci gruba giren yöntemler genellikle deney parçası ve çok seyrek olarak da iş parçasına uygulanır. Parça tahrip olduğundan kullanılamaz duruma gelir. Kaynak bağlantısının ve kaynak metalinin çekme, akma mukavemetleri, yüzde uzamasının belirlenmesinde başvuru çekme deneyi bu deneylerin en tipik örneğidir. Ayrıca kaynak bölgesinin(ITAB ve kaynak metali) tokluğunun saptanmasında uygulanan

çentik-vurma deneyi, sertliğin belirlenmesinde uygulanan çeşitli sertlik deneyleri, kaynak bölgesinin çatlama dan şekil değıştirme özelliğinin saptanması için uygulanan eğme ve katlama deneyi de bu gruba giren muayenelerdir. Bu muayenelerin karakteristik özelliğ i deney sonucu bir değ er sayısının elde edilmesidir. Bu değ er sayıları özellikle tasarımcıya kaynaklı yapıların projelendirilmesinde vazgeçilmez bir kılavuzdur. Bu gruba giren fakat deney sonucunda özgül değ er sayıları vermeyen genellikle iş lem öncesi atölyelerde yapılan çok sayıda teknolojik muayeneler de vardır. Bunlar arasında bir parça üzerine çekilmiş dikiş in keski ile kaldırılması, dikiş in kırılarak kırık yüzeyin muayenesi bu tür deneyler grubuna girmektedir. Tahribatsız muayeneler, muayene edilen parça üzerinde hiçbir tahribat ve iz bırakmazlar. Bu yöntemler genellikle bitmiş parçalara uygulanır ve deney sonucu olarak da parçanın hata içerip içermediğ i belirlenir. Bu deneyler sonucunda özgül değ er sayıları elde edilemez.

Kaynak bağlantılarının kontrolünde en çok başvurul an muayene yöntemleri tahribatsız muayenelerdir.

Bugün uygulamada sık karşılaşılan yöntemler ş u şekilde sıralanılabilir [AWS, 1999].

1. Göz ile muayene
2. Sıvı emdirme
3. Manyetik parçacık yöntemiyle muayene
4. Radyografi ile muayene
5. Ultrasonik titreşimler yardımıyla muayene

3.3.1.4 Göz ile Muayene

Çıplak göz ve bir büyüteç yardımıyla kaynak bağlantıları üzerinde birçok hata kolaylıkla görülebilir. Hatta bu konuda tecrübeli bir kiş i kaynak hız ı, akım ş iddeti, ark boyu ve elektrot ç apının uygun seç ilip seç ilmediğ ini bile böyle bir muayene sonucunda söyleyebilir. Gözle muayene sonucunda aş ağıdaki hatalar kolaylıkla belirlenebilir [AWS, 1999]:

1. Yanma Olukları
2. Uygun olmayan kaynak dikiş boyları
3. İç köşe dikişlerinin asimetrisi
4. Yüzey çatlakları
5. Yüzeye çıkmış gözenekler
6. Uygun olmayan dikiş tırtılları
7. Kraterler
8. Yeniden başlama noktaları
9. Kök pasolarda nüfuziyet azlığı veya fazlalığı

Doğal olarak gözle muayenede sadece bağlantının gözle görülebilen yüzeylerindeki hataları saptanabilir. Yöntemin etkinlik derecesi de kişiden kişiye farklılık gösterir. En büyük dezavantaj deneyimli kişiye ihtiyaç duyulmasıdır.

Kalite kontrol personelinin deneyimli ve göz ile muayene konusunda yeterince bilgili olması gerekir. Kontrol personelinin resimlere, kodlara, teknik şartnamelere, kaynak işlemine aşina olması gerekir.

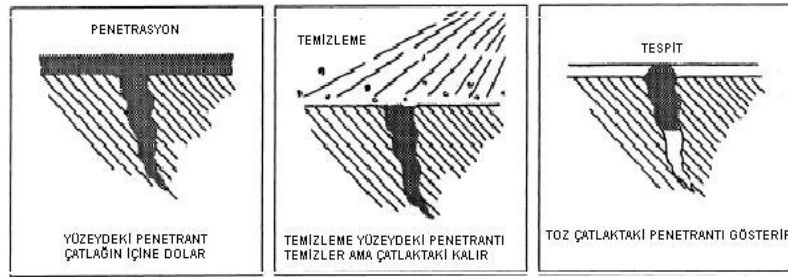
Boyut kontrolü amacıyla ölçme cetvelleri ve şablonlar kullanılabilir. Ayrıca kök açıklığını, parçaların birbirine göre duruş açısını, parçaların ucuna hizalanmasını kontrol için değişik şablonlar da mevcuttur [AWS, 1999].

3.3.1.5 Sıvı Emdirmeyle Muayene

Yüzey çatlaklarının bir kısmı gözle görülmesi ve yerlerinin belirlenmesi mümkün değildir. Buna karşın bu görünme özelliği olmayan çatlaklar dahi yüzeylerini ıslatma özelliğine sahip sıvıları emerler. Sıvı yüzeyden temizlenerek uzaklaştırıldığında bile çatlakların içinde artıkları kalır. Bu artıklarla reaksiyona girebilecek ikinci bir sıvının ya da tozun yüzeye sürülmesi sonucunda çatlakların bulunduğu yerlerde renkli izler oluşur. Şekil 3.7’de bu işlem açıklanmaktadır. Bazı tür penetrant sıvılar ultraviyole ışığı altında floresan etki yaparak çatlağın daha kolay

belirlenebilmesini sağlarlar. Sıvı emdirme yöntemi her tür malzemede yüzey çatlaklarının saptanması için uygulanabilir.

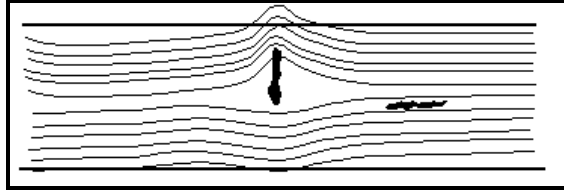
Prensipite aynı olmak üzere iki tip sıvı emdirilmeyle muayene yöntemi vardır. Bunlardan birincisi gün ışığında görülebilen boya ile yapılan ve diğerine göre daha hassas gözlem imkânı veren ultraviyole ışığıyla görülebilen boya kullanılarak yapılandır [AWS, 1999]. Bu yöntem yardımıyla manyetik ve alüminyum, bakır gibi manyetik olmayan metallerin yüzey kusurları ve çatlakları tespit edilebilir. Ayrıca oldukça ucuz ve uygulaması kolay, operatör eğitimi basit bir muayene metodudur [Hayes, 1998].



Şekil 3.7 Penetrant Sıvı ile Parça Testinin Prensip Şeması [Hayes, 1998]

3.3.1.6 Manyetik Parçacık Testi

Manyetik parçacık testi manyetik malzemelerden yapılmış parçaların yüzeyinde veya yüzeye yakın bir yerde bulunan çatlak, boşluk, katmer, damar veya metalik yabancı madde topluluklarının belirlenmesinde uygulanan bir tahribatsız muayene yöntemidir. Bu yöntem mıknatıslanmış parça içinde, manyetik akı çizgilerinin hata yönünde distorsiyona uğrama esasına dayanır. Muayene edilecek parça önce özel bir düzenek yardımıyla mıknatıslandırılır ve sonra yüzeyine ince bir toz halinde manyetik malzeme püskürtülür veya içinde emulsifiye edilmiş demir tozu bulunan yağ parça üzerine akıtılır. Manyetik akımın kuvvet çizgileri boyunca demir tozları sıralanır. Eğer malzemede bir hata varsa manyetik tozlar hatanın bulunduğu yerde kümelenir. Hata yüzeyine açıksa manyetik tozların kümelenmesi şiddetlenir. Hata yüzeye açık olmadığı zaman, yüzeyin altındaki hatalarda kümelenme zayıftır. Hata derine indikçe kümeler görünmez hale gelir.

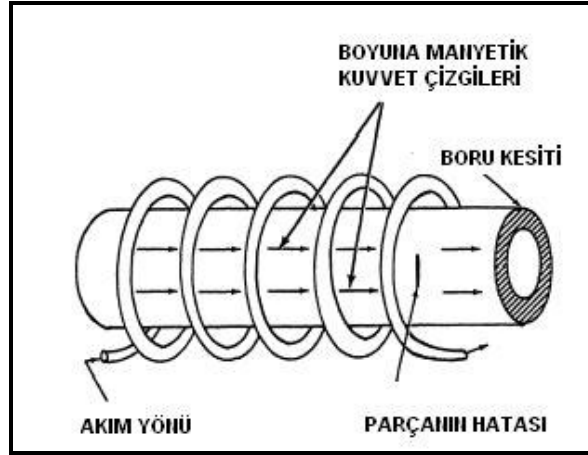


Şekil 3.8 Manyetik Parçacık Testinin Prensibi [Hayes, 1998]

Bu yöntem özellikle yüzey çatlaklarının varlıklarının ve yerlerinin belirlenmesinde çok iyi sonuçlar verir. Yuvarlak küresel hatalar manyetik akıyı şiddetli distorsiyona uğratamadıklarından tozların görülebilecek biçimde kümelenmesine neden olmazlar.

Parça tüm ve bölgesel yönden manyetikleştirilebilir. Çatlağın manyetik akının çizgilerine paralel olması durumunda çatlağı görmek mümkün değildir. Bu nedenle parça hiç değilse parça birbirine dik iki doğrultuda test edilmelidir .

Bu yöntemde alternatif veya doğru akım kullanılabildiği gibi sürekli mıknatıs da kullanılabilir. Yalnız mıknatıs kullanılması durumunda sadece yüzey çatlakları belirlenebilir [Hayes, 1998].

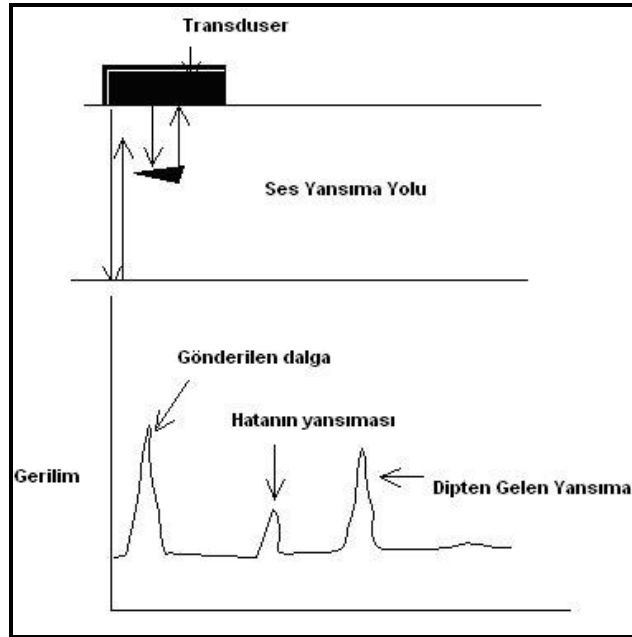


Şekil 3.9 İş Parçasının Manyetikleştirilmesi [Hayes, 1998]

Manyetik parçacık testinin maliyeti radyografi ve ultrasonik muayeneye göre daha ucuzdur. Burada kullanılan ekipmanlar diğer iki metottakilere göre daha ucuzdur. Ayrıca operatörün eğitimi için de daha az zaman ihtiyaç vardır [AWS, 1999].

3.3.1.7 Ultrasonik Titreşimler Yardımıyla Muayene

Kaynak dikişlerinin ultrasonik yöntem ile tahribatsız muayenesinde ses dalgalarını andıran mekanik titreşimler kullanılır. Titreştirilen bir piezoelektrik kristal tarafından muayene edilecek parçanın yüzeyine ultrasonik enerji uygulanır. Ses dalgası halinde çok az bir kayıpla denenen parçayı kat eden bu titreşim dalgası parçanın arka yüzeyinden yansıma yoluyla titreşimin uygulandığı yüzden de bir piezo elektrik kristal yardımıyla algılanabilir. Piezoelektrik kristaller kendilerine uygulanan akım frekansına uygun bir biçimde titreşim hareketi oluşturdıkları gibi kendilerine bir mekanik titreşim verildiğinde bunu da titreşim frekansına uygun bir elektrik enerjisine dönüştürme özelliğine sahiptirler. Günümüzde piezoelektrik kristal olarak yüksek verimleri nedeniyle baryum titanat veya zirkonat titanatlar tercih edilmektedir [Hayes, 1998].



Şekil 3.10 Örnek Bir Ultrasonik Titreşim Muayenesi Uygulaması [Hayes, 1998]

Ultrasonik muayenede algılanan elektrığe dönüştürülen titreşimler bir katot ışınları tüpünün ekranında tepeler (pikler) halinde rahatlıkla görülebilir.

Malzemeye uygulanan ultrasonik titreşimler malzemedan geçerken herhangi bir çatlak, boşluk, katmer, gözenek, cüruf kalıntısı gibi herhangi bir süreksizlikle karşılaştıklarında titreşimin bir kısmı bunlardan yansıyarak alıcı proba gider ve bu şekilde ekran üzerinde uygulanan ve yansıyan titreşimleri gösteren iki pik arasında üçüncü bir pik görülür. Bu şekilde parça içerisinde bir süreksizliğin varlığı görülmüş olur [AWS, 1999].

İki darbe arasında görülen bu yansıma dalgasının analizi ile hatanın yüzeyden uzaklığı ve büyüklüğü belirlenebilir. Bu muayene yönteminin diğer tahribatsız muayene yöntemlerine nazaran üstünlükleri şunlardır [AWS, 1999]:

- Çok kalın kesitlerde dahi ses dalgalarının iyi girici karakteristiği nedeniyle iç süreksizliklerin belirlenmesine olanak sağlar.
- Küçük hatalar da oldukça hassas bir biçimde belirlenebilir.
- Muayene parçanın bir tarafından yapılabilir.
- Portatif donanımlar ile büyük parçalar yerinde muayene edilebilir.
- Çalışma esnasında gerek personele ve diğer donanımlara bir tehlike yaratmaz.

Bu avantajlarına karşın bu yönteminde bazı sınırlamaları vardır:

- Muayene için çok iyi yetişmiş personel gereklidir.
- Yüzeyi çok pürüzlü, düzgün olmayan biçimli kaynak bağlantılarının muayenesinde zorluk vardır. Örneğin iç köşe dikişleri
- Bu yöntemde yüzey hataları görülmeyebilir.
- İş parçası ile prop arasına ultrasonik titreşimleri iletebilmek için yağ gibi bir tabakaya gerek vardır.
- Aleti kalibre edebilmek ve hata büyüklüğünü değerlendirebilmek için referans standartlara gerek vardır.

Malzeme muayenesinin yanında tıptaki uygulamalarıyla da gelişme gösteren bu yöntem ülkemizde kaynak dikişlerinin muayenesinde en yaygın şekilde uygulanan

yöntemlerden bir tanesidir. Şekil 3.10'da içinde hata bulunan bir malzemenin analiz sonuçları görülmektedir.

3.3.1.8 Radyografik Muayene

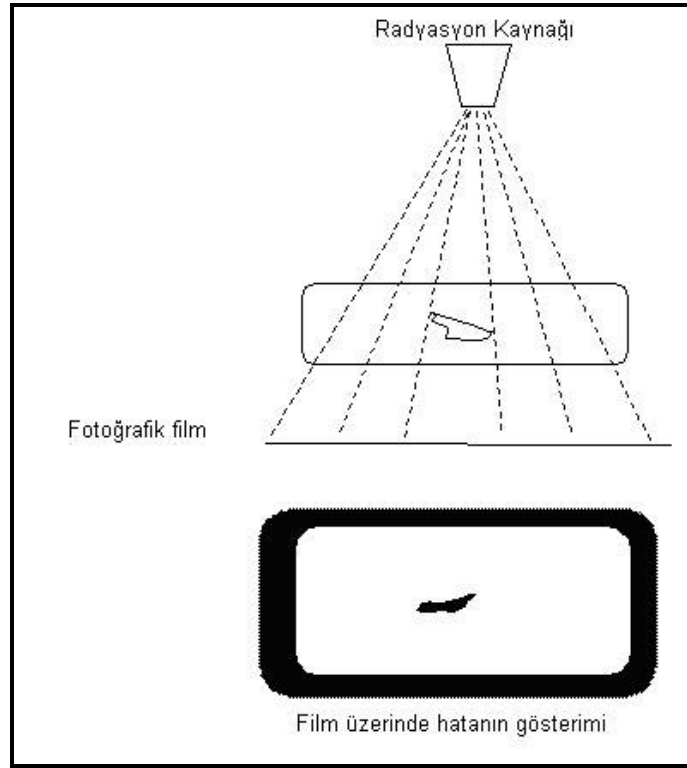
Radyografi x veya gama ışınlarını malzemenin içinin muayenesinde kullanan bir tahribatsız deney yöntemidir. Radyografik muayene hataların kalıcı olarak film üzerinde görülmesi ve normal koşullarda kolayca açıklanabilmesi nedeniyle yavaş ve pahalı bir yöntem olmasında rağmen özellikle gözenek, kalıntı, çatlak ve boşlukların saptanmasında çok yaygın olarak uygulanmaktadır.

Bu yöntemlerde kullanılan x ışınları, elektronik bir cihaz tarafından; gama ışınları ise, radyoaktif bir element tarafından üretilir. Bu ışınların bir kısmı malzemeden geçerken malzemenin kalınlığına ve yoğunluğuna bağlı olarak absorbe edilir. Malzeme tarafından absorbe edilmeyen enerji, film üzerine etkir. Film üzerinde görülen koyu renkler o bölgeye çok fazla enerjinin gittiğini gösterir. Malzeme içinde gözenek, boşluk, çatlak gibi süreksizlikler o noktada malzeme kalınlığının azalmasına neden olduklarından film üzerinde koyu şekiller halinde görülür. Buna karşın malzeme içinde tungsten gibi ağır metalle kalıntısının bulunması ise film üzerinde beyaz olarak görülür.

X ışınli makinalar ince levhaların kontrolünde kullanılan düşük güçlü, portatif makinalar için uygundur. Bununla birlikte yüksek güçlü x ışınli makinalar kullanarak 500 mm.ye kadar kalın malzemelerin muayenesi gerçekleştirilebilir. Radyoizotop kullanılan makinalarla ise Co60 için 127 mm, İr192 için 76 mm kalınlığındaki çelik parçalara kadar gamma ışını yardımıyla fotoğraf çekmek mümkündür [AWS, 1999].

Bu yöntem çok ufak yüzeyli çatlakların kolaylıkla belirlenememesine ayrıca işlem esnasında uygulanan ışınların insan sağlığı için çok tehlikeli olmasına, muayenenin maliyetinin pahalı ve süresinin uzun olmasına karşın özellikle boru hattı ve basınçlı kaplardaki, akaryakıt depolarındaki, gemilerdeki kaynak dikişlerinin muayenesinde çok yaygın bir uygulama alanına sahiptir. Hatların biçimlerinin film üzerinde görülebilmesi ve filmlerin daha ilerideki muayeneler için doküman olarak

saklanabilmesi yöntemin en önemli avantajlarıdır. Şekil 3.11’de bir radyografik muayene örneği görülmektedir [Hayes, 1998].



Şekil 3.11 Örnek Bir Radyografik Muayene [Hayes, 1998]

3.4 Elektrik Direnç Kaynağında Kaynaklı Birleştirmenin Muayenesi

3.4.1 Görsel Muayene

Görsel muayene kaynağın mukavemetini belirlemede yeterli değildir. Görsel muayeneye punta yerindeki aşırı iz, ana metaldeki distorsiyon, yanlış yere yapılmış veya unutulmuş kaynakları tespit etmek mümkündür. Punta yerindeki izin derinliği, tasarımda başka şekilde belirtilmediyse, metal kalınlığının %25’ini geçmemelidir. Ayrıca puntadan sonra oluşan deformasyon da kontrol altında tutulmalıdır. Puntadan sonra oluşan izin parça yüzeyiyle arasındaki açı 30 dereceyi geçmemeli veya iki sac levha arasındaki açılma metal levhanın kalınlığının iki katından az olmamalıdır.

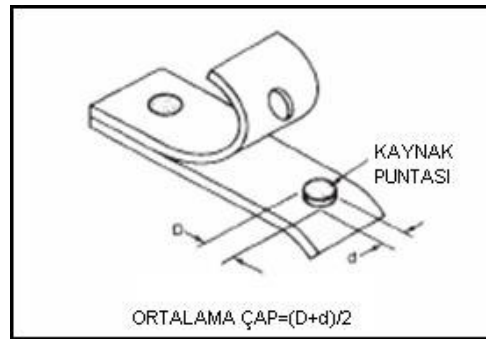
Gözle kontrollerin sonuncusu unutulmuş veya yanlış yere yapılan kaynaklardır. Teknik resimlerde belirtilen punta kaynağı adetleri ve lokasyonları verilen toleranslar dâhilinde sağlanmalıdır [AWS, 1999].

3.4.2 Tahribatlı Muayene

Yapılan punta kaynakları bir parça üzerindeki tüm punta kaynakları tamamlandıktan sonra ihtiyaç duyulan büyüklüğe ulaşmış olup olmadığını anlamak için teste tabi tutulmalıdır. Tahribatlı muayene iş parçaları arasında imalatçının örnekleme metoduna uygun olarak seçilmelidir. En yaygın kullanılan muayene metodları “ayırma testi ve keski testi”dir [TITE Spot Welders].

3.4.2.1 Ayırma Testi

Bu test Şekil 3.12’de görüldüğü gibi kaynatılan metallerden birini diğerinin yüzeyinden ayırarak yırtılması şeklinde yapılır [TITE Spot Welders]. İmkânı olduğu sürece, ayırma doğrultusu kaynakların yapıldığı doğrultuda olmalıdır. Ayırma işleminden sonra kaynak çekirdeğinin ana metalden yırtılarak diğer parçada kalması gerekir. Kalan bu parçanın büyüklüğü resimdeki gibi ölçülerek punta kaynağının kalitesi değerlendirilmiş olur[AWS,1994]. Tablo 3.1’de kaynak çekirdeğinin olması gereken minimum değerler verilmiştir.



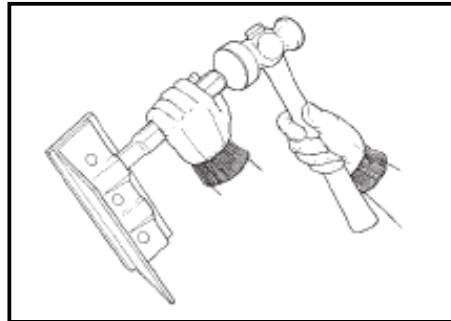
Şekil 3.12 Ayırma Testi [TITE Spot Welders]

Tablo 3.1 Ayırma Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi [AWS,1994]

Malzeme Kalınlığı (mm)	Minimum Kaynak Çekirdeği Çapı (D_n+d_n)/2(mm)
0,38 - 0,62	3,0
0,63 - 0,87	3,8
0,88 - 1,13	4,3
1,14 - 1,38	5,1
1,39 - 1,64	5,3
1,65 - 1,89	5,6
1,90 - 2,14	6,1
2,15 - 2,52	6,6
2,53 - 2,91	7,1
2,92 - 3,29	7,4
3,30 - 3,67	7,6
3,68 - 4,05	8,1
4,06 - 4,22	8,4

3.4.2.2 Keski Testi

Keski testi “Şekil 3.13”, iki punta arasından saclar arasına keski ile darbe uygulanarak yapılır. Test metal levhalardan birisi kopuncaya kadar sürdürülür. Bu esnada keskinin ucu puntalara dokunmamalıdır. Buradan elde edilen kaynak çekirdeği büyüklüğü aynı ayırma testinde olduğu şekilde değerlendirilir [TITE Spot Welders].



Şekil 3.13 Keski Testi [TITE Spot Welders]

4. KAYNAK VE ROBOT

4.1 Giriş

Robotun tanımlamaları üzerinde bir uzlaşma bugüne kadar oluşmamış olmakla beraber bizim ilgi alanımıza giren endüstriyel robot ISO tarafından resmi olarak şu şekilde tanımlanmıştır: “ Otomatik kontrollü, çok amaçlı, programlanabilir ve en az üç eksene sahip manipülatörlerdir.”

Otomotiv endüstrisinde robotlar ilk olarak nokta direnç kaynağı uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Robot, kaynak tabancası kullanan insanların yerini robot almıştır. Bugün hemen hemen tüm otomobillerin gövdesi nokta direnç kaynağıyla üretilmektedir [Cary, 2001]. Ark ve lazer kaynak yapan robotlar da bu sektörde kullanılmaktadırlar.

4.2 Robotik Kaynak İstasyonunun Yapısı

Genel olarak bir robotik kaynak istasyonunda ana hatlarıyla robot sistemi, kaynak ekipmanları, manipülatörler, fikstürler ve ilave aksesuarlar bulunur. Bunları biraz daha detaylı incelersek ana hatlarıyla tipik bir robot kaynak istasyonu hakkında bilgi sahibi olmuş oluruz.

Ark kaynak robot sistemi mekanik aksam, elektrot sürücüsü ve kontrolü, kaynak güç kaynağı ve kontrolü ile bunların tamamına hükmeden ana kontrol ünitesinden meydana gelir. Mekanik aksam, robot olarak da tabir edilen robot sisteminin hareket eden mekanik kısmıdır. Robot kontrol ünitesi ise robotun beynidir. Robotik ark sistemindeki bir kontrol ünitesi tüm fonksiyonları kontrol edebilmeli ve geri besleme sinyallerini işleyebilmelidir. Kontrol ünitesinin ana işlemci ünitesi (CPU) ark hareketini, iş parçası hareketini, üfleç konumunu ve açısal pozisyonunu, kaynak değişkenlerini, parça konumunu, koruyucu gaz gönderimini vb. kontrol eder. Kontrol ünitesinin dijital ve analog girdi ve çıktıları dönüştürecek bir arayüzü olmalıdır. İşlemci birçok veriyi yüksek hızla işleyebilecek kapasitede olmalıdır [Carry, 2001].

Kaynak ekipmanları dış görünüşüyle tipik bir kaynak sisteminden farklı değildir. Gazaltı kaynak sistemini ele alırsak sistem kontrol ünitesiyle direkt irtibatlı bir akım kaynağı, tel sürücü, hortum ve kaynak lambasından oluşur. Genellikle robotik kaynak uygulamalarında kaynak makinalarının devrede kalma süreleri yüksek olduğu için kullanılan kaynak ekipmanları yüksek güçlü ve su soğutmalı seçilir [Kleemann, 1993].

İlave ekipmanlar uygulamadan uygulamaya değişiklik gösteren kullanımı çoğu zaman zaruri olmamakla birlikte genelde her kaynak istasyonunda bulunan aksesuarlardır. Bunlar basit olarak operatörün kaynak istasyonunu iş parçasını yerleştirdiği yerden kumanda etmesini sağlayan operatör paneli, üfleç lülesini temizleme ekipmanı, elektrod bileme ekipmanı, yanlışlıkla robot çalışma bölgesine giren veya çalışma anında oluşabilecek muhtemel bir riske karşı insanları korumak için eklenen sistemleri ve ortamda oluşan kaynak dumanını ortamdan uzaklaştırmaya yarayan duman çekiş sistemleridir [Kleemann, 1993].

Fikstürler parçanın belirlendiği şekilde konumlanmasını ve tutulmasını sağlayan araçtır. Parçanın oturmasını sağlayan konumlama çubuk ve pimleri ile parçayı tutan kenetlerden oluşur [Pelinescu and Wang, 2002].

4.3 Fikstür Tasarımının Esasları

Uygun fikstür tasarımı kaynak işleminde ürün kalitesi açısından hayati önem taşır. Fikstür sistemleri işlem esnasında parçanın oturmasını sağlayan konumlama çubuk ve pimleri ile parçayı tutan kenetlerden oluşur [Pelinescu and Wang, 2002].

Fikstür tasarımının amacı öncelikle yeterli yerleşme ve bağlamanın gerçekleşeceği fikstür şekillerini belirlemektir. Ardından kabul edilebilir tasarımlar arasından performans kriterlerine göre en uygun fikstürü seçilir. En önemli performans kriterleri olarak parçanın konumlanma hassasiyeti ve iş parçasına konumlama pimlerinden gelecek olan kuvvetin dağılımıdır. Konumlama pimleri parçada gerilim doğurmamalı, parçalar konumlamalara tam olarak oturmalıdır [Pelinescu and Wang, 2002].



Şekil 4.1 Fikstür Uygulaması Örneği [Lipnevicius, 2004]

Fikstür tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlardan bazıları şunlardır [Lipnevicius, 2004]:

1. Öncelikle kullanılacak olan malzeme sertlik, aşınma direnci, elektriksel ve ısı iletkenlik gibi faktörlerden tasarımda önemli olanlar göz önüne alarak seçilmelidir. Örneğin yüksek dayanım gereken bir durumda takım çeliği tercih etmek gerekirken, yüksek bir elektrik iletkenliği(yüksek stabilite ve hız sağlar) istendiğinde dayanımı da yeterli olabilecek olan pirinç kullanılabilir (Tablo 4.1).
2. Parça fikstürden çıkarılmadan tüm kaynaklar yapılabilmelidir.

Tablo 4.1 Fikstür dizaynı için malzeme seçim tablosu [Lipnevicius, 2004]

	Düşük karbonlu Çelik	Takım Çeliği	Alüminyum 6061	Paslanmaz Çelik	Bakır/ Alaşımları
Malzeme maliyeti	Düşük	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
Aşınma Direnci	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Düşük/Orta
Elektrik İletkenliği	Düşük	Düşük	Orta	Düşük	Yüksek
Isıl İletkenlik	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Isıl Genleşme	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta	Orta

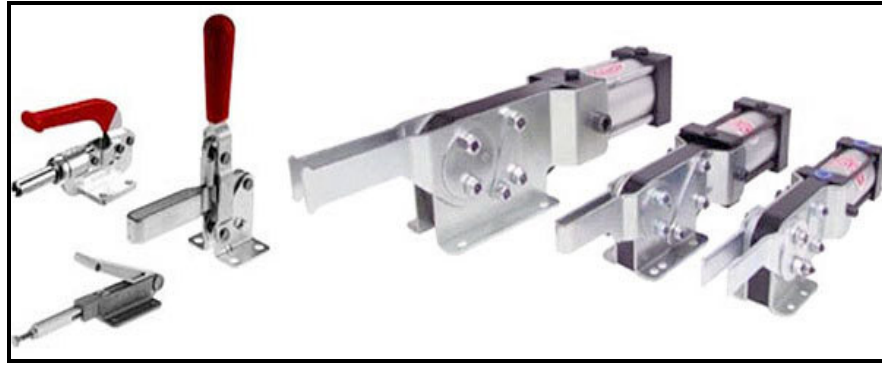
3. Fikstür dayanıklı ve hafif olmalıdır. Parça fikstür üzerinde rijit olmalıdır. Bu amaçla fikstür bunu sağlayacak şekilde profil veya borulardan imal edilmelidir.
4. Fikstür üzerinde sadece gerekli ölçüler sağlanmaya çalışılmalı, gereksiz ölçüler için fikstürün hassasiyeti azaltılmamalıdır.
5. Fikstür bir düzlemde hareket serbestliği tanınmalıdır. Bu kaynak sonrası parçada oluşabilecek kalıcı gerilmeleri önler. Fikstür ısı genleşmeleri önlemeye çalışacak değil, bunlara izin verecek şekilde yapılmalıdır.



Şekil 4.2 Fikstür Uygulaması Örneği [Lipnevicius, 2004]

6. Fikstür hava, su veya geniş ısı yüzeyleri oluşturarak soğumaya müsait hale getirilmelidir. Bunun için yine seçilecek malzeme de önemlidir. Isıl iletkenliği yüksek malzeme daha iyi ve hızlı bir soğumaya yardımcı olur.
7. Fikstür taşımaya veya belli bir yere aktarmaya müsait tekerlek kanca gibi parçalar ihtiva etmemelidir.

8. Parçaları tutmaya yarayan kenetler hızlı çalışabilmeli, vida ve hareketli parçalar kaynak çapaklarından korunmalıdır. Robotun donanımına uygun olmak şartıyla pnömatik ve otomatik kumandalı kenetler de kullanılabilir.
9. Cıvata ve somunların, anahtarların kullanımı en aza indirilmeli, bunlar yerine eksantrik kamlar, pnömatik, elektrikli veya manyetik kenetler tercih edilmelidir (Şekil 4.3).



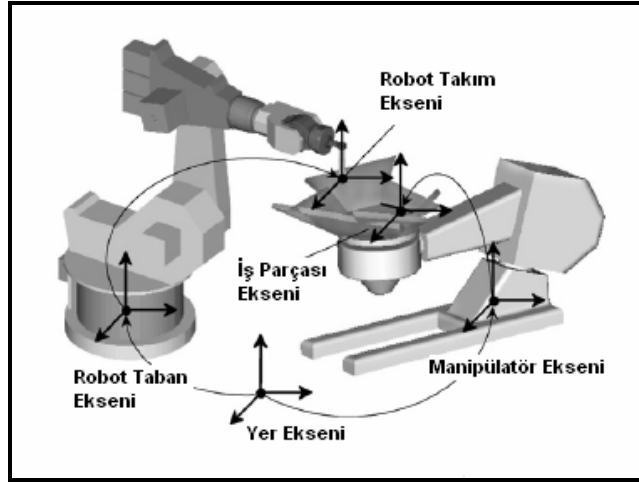
Şekil 4.3 Parçayı Fikstüre Bağlama Elemanlar [Lipnevicius, 2004]

10. Fikstür parçaların hızlı ve rahat koyulmasına ve kaynatılmış parçanın hızlı ve rahat çıkarılmasına müsait olmalıdır.

4.4 Manipülörler

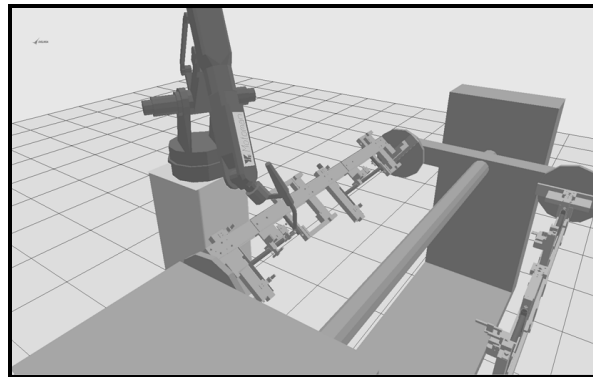
Robotik ark kaynağında 6 eksenli robotun kinematik kabiliyetleri, üfleci gerektiği şekilde iş parçasına yönlendirmede yeterli olamayabilir. Robot, üfleci kaynak noktasına belirlenen hızda ve yaklaşımla kaynak bölgesine yönlendirebilmelidir. Bu nedenle bir kaynak istasyonunda 6 eksenli endüstriyel robotun yanında 1–2 eksenli iş parçası manipülörü kullanılabilir [Pashkevich et. al.,2003]. Manipülörler iş parçasını üfleç için daha ulaşabilir hale getirebilirler. Robotik kaynak işleminde kullanılan manipülörlerin toleransları düşük olmalıdır. Bir robotik manipülörün toleransı 0,0025 mm sınırında kalmalıdır. Buna ilaveten manipülörlerin robotla eş zamanlı ayrı bir kontrolü değil, robot kumanda

panosundan kontrolü uygundur [Carry, 2001]. Manipülatör kullanılan bir robotik kaynak istasyonunu Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Manipülatör Kullanılan Robotik Kaynak İstasyonu [Pashkevich et. al., 2003]

Kaynak kabiliyetini arttırmanın yanında parça sökme ve bağlama sürelerini de kısaltarak çevrim süresini azaltan manipülatörler de vardır. Kaynak işlemi devam etmekteyken diğer parça manipülatörün diğer kısmına monte edilir veya sökülür. Şekil 4.5'te bu amacı gerçekleştirebilen dönen tip bir manipülatör gösterilmiştir.



Şekil 4.5 İkili Tip Manipülatör Uygulaması [www.emeraldinsight.com, 2007]

4.5 Robot Seçimi

Robot seçimi teknik ve ekonomik değerlendirmeler gerektirmektedir. Bunu yaparken göz önünde bulundurulması gereken öncelikler işleme göre farklılıklar gösterecek olmakla birlikte temel olarak maliyet, yük taşıma kapasitesi, hız,

hassasiyet, serbestlik derecesi ve insan makine ara yüzüdür [Rao and Padmanabhan, 2006]. Servis ve yedek parça olanakları da muhakkak seçim için küçümsenemeyecek kıstaslardır. Bugüne kadar robot seçimi yapmak için bu özellikleri puanlayan birçok hesap yöntemi geliştirilmiş olmakla birlikte özelliklerin taşıdıkları önemlerin her seçimde farklılıklar gösteriyor olması bunların tam olarak doğru kabul edilmesini engeller.

4.5.1 Yük Taşıma Kapasitesi

Bir robotik elektrik direnç kaynağında kullanılacak olan robotun yük kapasitesi dikkatle seçilmelidir. Robotun yük taşıma kapasitesi en son ekseninde dinamik bir yük göz önüne alınarak hesaplanmalıdır. Robot eksenlerinin son eksenindeki bu yüklerle birlikte hareket esnasında oluşan eylemsizlik momentine de karşılık verebilmesi gerekir. Genel olarak elektrik direnç kaynağı uygulamalarında kullanılan robotların taşıma kapasiteleri 80–300 kg arasındadır. Gazaltı kaynağı uygulamalarında ise genellikle 5–30 kg taşıma kapasitesi yeterlidir [Abicor, 1999].

4.5.2 Hız

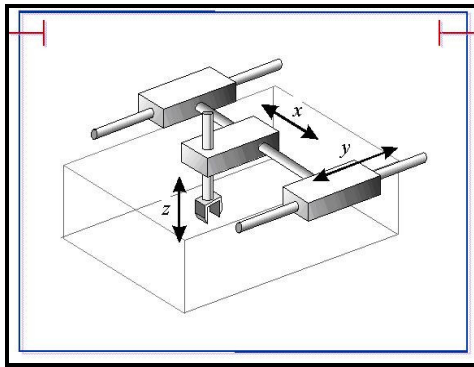
Robot eksen hızları doğrusal hareketler için mm/sn, döner hareketler için derece/sn olarak imalatçı kataloglarında belirtilmiştir. Genellikle ilk üç eksenin hızı diğerlerine göre daha düşüktür. Ayrıca robotun üzerindeki yük arttıkça robotun eylemsizlik momentini azaltmak için hızı da düşürülür. Bu da işlem zamanının uzamasına sebep olur [Abicor, 1999].

4.5.3 Tekrarlayabilirlik

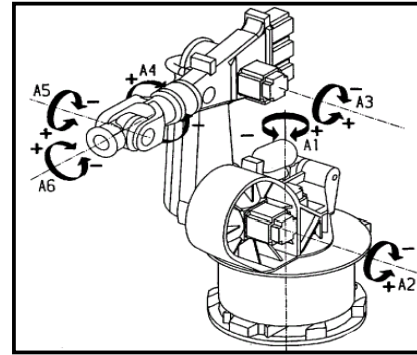
Robotun öğretilen bir noktaya göre tekrarlanan hareketlerinin sonucunda, robot uç noktası ile öğretilen nokta arasında oluşabilecek maksimum hata miktarıdır. [Gök ve Afyon, 2000]. Genel olarak tekrarlayabilirlik modern elektrik direnç kaynağı robotlarında +/- 0,1 mm, gazaltı kaynağı robotlarında +/- 0,05 mm ye kadar inmektedir. Fakat genel olarak bir punta kaynağı robotu için +/- 1mm hassasiyet yeterlidir [Abicor, 1999].

4.5.4 Serbestlik Derecesi

Robot manipülatörleri bir seri kol ve bunları bağlayan mafsallardan oluşur. Bu kol sistemleriyle hareket kabiliyetlerini meydana getirir. Bu hareket kabiliyeti eksen sayısı veya serbestlik derecesi olarak tanımlanır [Carry, 2001]. Yükleme veya parça taşıma amaçlı robotlarda doğrusal hareketli eksenler vardır (Şekil 4.6). Kaynak robotları genellikle altı eksenli ve bu eksenler döner hareketlidir (Şekil 4.7). [Abicor, 1999]. Serbestlik derecesi işin özelliğinin gerektirdiği ihtiyaca göre belirlenmelidir.



Şekil 4.6 Kartezyen Robot
[www.nasa.gov, 2006]



Şekil 4.7 Tipik Altı Eksenli Robot
[www.atsi.cc, 2007]

4.5.5 İnsan-Robot Arayüzü

Bir kaynakçı tarafından yapılan gazaltı veya elektrik direnç kaynağı uygulamasında tüm parametreler, kaynak dikişinin veya pozisyonunun bulunması, parçadaki ölçü kaçıklıklarının giderilmesi gibi değişkenler kaynak operatörünün bilgisi ve beş duyusu yardımıyla uygun değerlere getirilir. Otomatik bir sistemde tüm bu değerlerin kontrolü ise önceden hazırlanan kaynak programı, kontrol ünitesi ve kontrol ünitesine gerekli verileri taşıyan çeşitli algılayıcılar yardımıyla temin edilir.

Bir robot sisteminde robot, kontrol sistemi, kaynak ekipmanları ve çevre ekipmanlarla iletişimi sağlayan giriş ve çıkış sinyalleri vardır. Kontrol ünitesinde dijital ve analog girdi ve çıktıları dönüştüren ve makineyle insan arasında veri alış verişine imkan veren sistem insan-robot arayüzü olarak adlandırılır [Cary, 2001].

Arayüz yazılımı programlama aşamasının basit ve pratik olması için en önemli etkidir. Bu nedenle robot seçiminde kullanılan arayüzün kabiliyetleri dikkate alınmalıdır [Gök ve Afyon, 2000].

4.6 Kaynak İşleminin İzlenmesi

Otomotiv sektöründe gövde imalatında ağırlıklı kullanılmakta olan nokta direnç kaynağında robotlarının ağır kaynak takımları ve yüksek dinamik yükler nedeniyle titreşimleri önleyecek kadar güçlü olması gerekmektedir. Bu bağlamda nokta kaynak robotları daha rijit bir yapı sahiptir ve hassasiyetleri yüksektir. Bunun yanında nokta kaynağında bir kaynak dikişinin de olmaması sebebiyle bir geri besleme sistemine ihtiyaç yoktur [Nayak and Ray, 1993].

Öbür taraftan ark kaynağında üflecin uzun ve düzensiz dikişler boyunca hareket etmesi gerekmektedir. Kaynaklı parçalar genel olarak imalatı sırasında yüksek ölçü toleranslarına müsaade edilen parçalardır. Gerek kullanım yerleri gerekse kaynak işleminin tabiatı nedeniyle bu ölçüsel sapmalar milimetreler mertebesine ulaşabilmektedir. Eğer bu sapmalar azaltılırsa ve kusursuz bir programlama gerçekleşirse izleme işlemine gerek olmayacaktır. Bu tip parçaların yüksek ölçü, pozisyonlama ve kaynak ağzı hatalarından ortaya çıkan kaynak kusurlarını önleyebilmek için sensörler robotik kaynak uygulamalarının hizmetine sunulmuştur. Bu sensörler sayesinde kaynağın başlangıç ve bitiş noktalarının bulunması ve bulunan kaynak ağzının düzensiz bir kontur çizse de takip edilerek kaynağın bitiş noktasına ulaşabilmesi sağlanmıştır [Nayak and Ray, 1993].

Açık bir sistemi geri beslemeli kapalı bir sisteme dönüştürmek için ilave edilmesi gereken iki eleman vardır [Carry, 2001]:

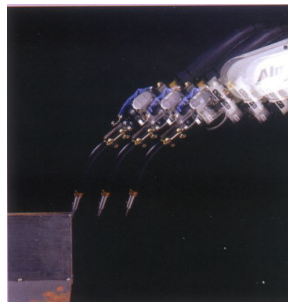
1. Anında bilgi aktarımı sağlayacak bir sensör.
2. Sensör'den gelen girdileri alarak anında değerlendirip kaynak parametrelerini değiştirebilecek yüksek güçlü mikro işlemcili bir kontrol ünitesi.

Robotik ark sistemindeki bir kontrol ünitesinin işlemcisi birçok veriyi yüksek hızla işleyebilecek kapasitede olmalıdır. Bu birim en az 4 MB RAM ve 20 MB sabit belleğe sahip olmalıdır. Kopya alabilmek ve aktarım için bir floppy diske sahip olmalıdır [Carry, 2001].

Genel olarak bu izleme tekniğini ikiye ayırmak mümkündür. Ark izleme ve görüntü izleme.

4.6.1 Ark İzleme

Bu hissedicilerin en büyük avantajı duyarga olarak üflecın lülesini kullanmalarıdır. Bu sayede üfleç üzerinde hem ağırlık yapan hem de hareket serbestliğini kısıtlayan ilave ekipmanlar yoktur Lüle araştırma esnasında iş parçasına değince uygulanan voltaj sinyalindeki değişiklik robot bilgisayarına bir durdurma sinyali olarak gönderilir. Bu sinyal robotun araştırmayı bitirmesini sağlar. Kaynak esnasında kaynak parametrelerindeki değişimlerin izlenmesiyle kaynak dikişini takip ederler. Kaynak süresince sürekli ölçülen bu parametreler üflecın kaynak dikişine göre pozisyonunun ve yüksekliğinin hesaplanmasında kullanılırlar. Şekil 4.8’de dokunma duyarlı bir hissedici gösterilmektedir. Bu tip hissedicilerde prop kullanma imkânı da vardır. Prop kullanıldığı taktirde parçanın kenarı ve parça üzerindeki kademeler tespit edilir [Nayak and Ray, 1993].



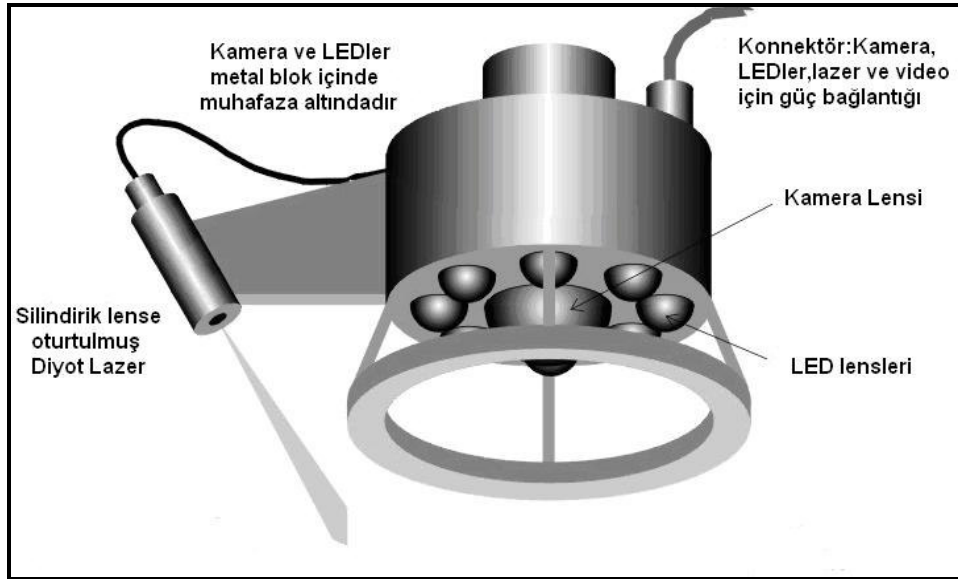
Şekil 4.8 Dokunma Duyarlı Ark Hissedici [www.kuka.com]

4.6.2 Görsel İzleme(Visual Sensing)

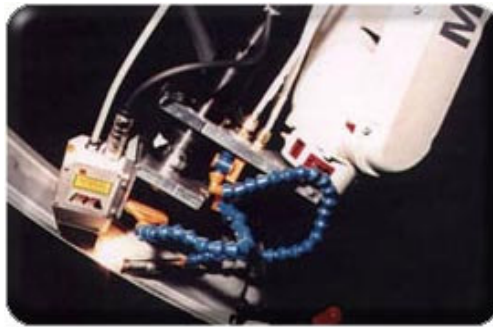
Bu izleme tekniği en çok kullanılan kaynak izleme tekniğidir. Bu tekniğin avantajı kaynak işleminden bağımsız olarak dikiş çevresini izleyebilmesi ve tüm

kaynak işlemini görüntüleme ve kontrolüdür. Bu metotla hassas ve hızlı bir şekilde kaynak dikişinin izlenmesine imkân sağlar. Görsel sensörler kaynak dikişinin başlangıç noktasını bulabildikleri gibi buldukları bu dikişi de büyük bir hassasiyetle izleyebilirler. Bu tip hissedicilerle saniyede 24–35 mm kaynak hızlarına ulaşılabilir [Nayak and Ray, 1993].

Üflecın bağılı olduğı robot eksenine takılan kamera kendine ait olan ekstra bir hareketli eksene sahiptir. Bu metot ile ince metotların bindirme kaynakları bile kolaylıkla yapılabilir. Kalın metallerin kaynağında ark izleyicileri kullanılır. Sistem döner bir eksene sahip olduğı için kaynak işlemi süresince kaynak eksenine sürekli dik olarak yol alır [Nayak and Ray, 1993].



Şekil 4.9 Görme Kılavuzlu Hissedici (Visual sensor) [bruce.cs.cf.ac.uk]



Şekil 4.10 Görme Kılavuzlu İzleyici Uygulaması [www.klab.caltech.edu]

4.7 Robotun Programlanması

Kaynak Robotuna yapması gereken görevi öğretmek için üç metot vardır. Bunlar yürütme metodu, yöneltme metodu ve çevrim dışı programlamadır [Carry, 2001].

Yürütme metodunda operatör üfleci manuel 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 [Carry, 2001].

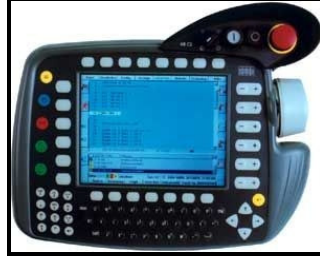
En çok kullanılan programlama yöntemi yöneltme metodudur [Carry, 2001]. Bunun için robot program sırasında bulunması gereken pozisyon ve takım duruşuna yönetme kumandasıyla (Şekil 4.11) getirilir ve bu nokta robota öğretilir. Robot daha sonra programlama sırasında gidilen yol ne olursa olsun kendisine verilen pozisyona en kısa yoldan ve programlandığı şekilde ulaşır [Vaughan, 2002].

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 programlanır (kaynağa başla vs.) [Vaughan, 2002].

Kontrol ünitesi belli giriş ve çıkışların yönlendirilmesi suretiyle gerekli çevre elemanlarıyla (üfleç temizleme, elektrod bileme gibi) irtibat kurma, gerekli bir alt programı çalıştırma ve kaynak parametrelerini tanımlayabilme imkânını sağlamalıdır [Vaughan, 2002]. Ayrıca yolu tekrar öğretmeye gerek duymadan bir noktada değişiklik yapılmasına, silmeye ve değiştirmeye müsaade etmelidir. Sistem kaynak yapmadan yolu kontrol etmeye izin vermelidir. Eski robotlar robot kontrol ünitesi, tel sürme ünitesi ve güç kaynağı arasında bir arayüze gereksinim duyarlardı. Günümüzdeki kumanda panelleri ayrı bir arayüze gerek duymaz [Carry, 2001].

Çevrim dışı programlama yöntemi robot programını bilgisayar ortamında hazırlamaktır. Bir disket vasıtasıyla hazırlanan program robota aktarılarak işlem

gerçekleştirilir. Bu sayede yöneltme metodunda olduğu gibi programlama esnasında robotun iş yapamaması engellenmiş olur [Carry, 2001]



Şekil 4.11 El Programlama Ünitesi [www.kuka.com]

5. ROBOTİK KAYNAK İSTASYONUNUN TASARIMI

5.1 Giriş

Robotik istasyonun tasarımı robotun, takımın, robot konumunun, çevre elemanlarının ve güzergâhların hedeflere uygun bir biçimde belirlenmesini içerir. Hedefler genel olarak erişebilirlik ve koyulan kriterlerin optimizasyonudur [Lemaire and Maouche, 1999]. Bu hedeflerin gerçekleşebilmesi için gerekli tasarım hücre yapısının defalarca değiştirilmesini gerekebilir. Simülasyon bu tasarımda son derece önemli bir teknolojidir. Simülasyon işlemini bu planlama aşamasında süreci iyileştirmek için kullanılabilir [Kühn, 2006]. Bu amaçları karşılamak için hazırlanan robotik hücre tasarımına özel bilgisayar tasarım ve simülasyon sistemleri mevcuttur. Robcad ve Delmia bize bu olanakları sağlar. Çalışmamızda UNIX işletim sisteminde çalışan Robcad yazılımını kullanıldı.

Robcad robotik üretim prosesinin tasarım, simülasyon, optimizasyon, analiz ve çevrimdışı programlamanın yapılabildiği bir ticari programdır. Bu ve benzeri programların kullanılması üretim kalitesini, karlılığını arttırırken, hiç kuşkusuz iş sürelerini kısaltacak, pazara girme sürelerini kısaltacak, üretimi hızlandıracak, ürün maliyetlerini düşürecektir.

Bu tür dijital çözümler günümüzün pazar şartlarında sırtımızı dönerek göz ardı edebileceğimiz yöntemler olmaktan çoktan çıkmış ve birer zaruret halini almıştır. Bir üretim prosesinin tasarımı birçok faktörün bileşimi şeklinde ortaya çıkar. Örneğin otomotiv sektöründe gövde çoğunlukla punta kaynağı kullanılarak birleştirilirken, bu imalat robotlardan oluşan üretim hatlarıyla gerçekleştirilir. Gövde bir istasyondan diğerine sırasıyla geçerken tüm istasyonlarda işin aynı anda sona ermesi sorunsuz bir imalat için gereklidir. Robot imalat mühendislerince tasarlanmış olan noktalara kaynakları belli bir sırayla yaparken tabancası veya diğer donanımlarıyla araca, istasyondaki herhangi bir cihaza, aynı istasyonda aynı anda hareket halinde bulunan ve doğal olarak kaynak yapan diğer robotlara temas etmemelidir. Ayrıca istenen her

noktaya ulaşabilmek için en uygun yerde konumlanmalı, ardı ardına işlemlerin arasında punta tabancasını değiştirmesi gerekecek, aşınmaya başlayan elektrodunu bilemesi gerekecektir.

Robcad sayesinde tüm iş istasyonu ve tüm üretim sisteminin tasarımı yapılabilmekte ve simülasyon yapılabilmektedir. Karşılaşılabilecek çarpışma, gecikme ve erişememe sorunları önceden belirlenebilir. İşlem sırası, robot konumlaması, tabanca seçimi, robot modeli ve sayısı değiştirilerek karşılaşılan sorunlara önceden tedbir alınabilir.

Ayrıca PC başında hazırlanmış olan simülasyon programının (offline programming) bir disket vasıtasıyla üretim yerindeki kontrol ünitesine aktarılması ve istasyonda ayrıca program hazırlanmasından kurtulmak da Robcad'in OLP modülü sayesinde vasıtasıyla gerçekleştirilebilmektedir.

Günümüzde Ford, Fiat ve başka birçok büyük otomotiv üretim firması robotik kaynak uygulamalarını devreye sokarken öncelikle bu program vasıtasıyla süreci simüle etmektedirler.

Kaynak parametrelerini ise bu programla belirlemek ve denetlemek mümkün değildir. Uygulamada daha önceki bölümlerde anlatılmış olan metotlarla tablodan seçilen kaynak parametreleri test edilerek ve keski testi gibi deneylerle test edilerek belirlenir.

5.2 Robcad ile Robotik Nokta Kaynak İstasyonu Tasarımının Simülasyonu ve Analizi

Ford marka bir binek otomobilin yan kapısının cam çerçevesi kısmının nokta direnç kaynağıyla birleştirilmesi punta tabancalarıyla kaynak operatörleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Kaynak pozisyonunun zorluğu nedeniyle istenen kaynak kalitesine ulaşılamamaktadır. Şöyle ki; fitil flanşı kaynak ile deforme olmakta ve camın açılıp kapanmasında sorunlar görülmektedir. Ayrıca fitil boşluğu kapatamadığı için su geçirme problemiyle karşılaşılabilmektedir. Bunun yanında

istenen çevrim süresine (cycle time) ulaşamamakta ve bu nedenle iş akışı duraksamaktadır. Bu sebeplerle istasyonda robotik uygulamaya geçilmesi planlanmaktadır.

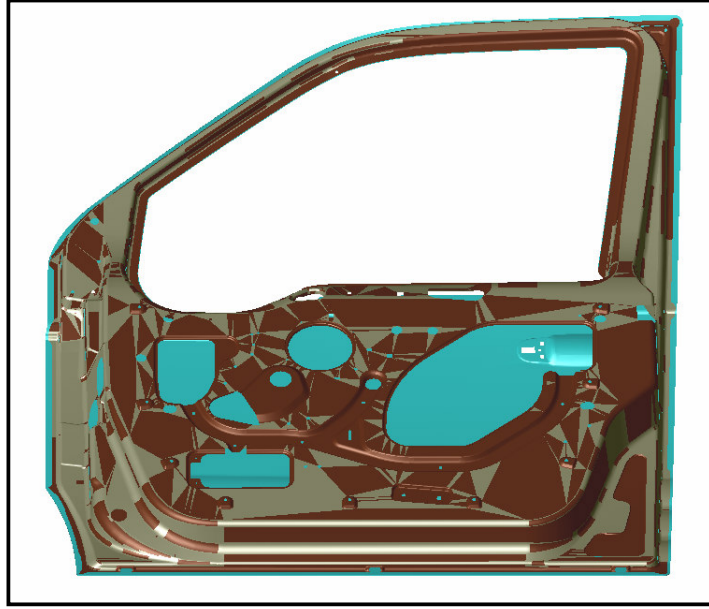
Robotik dönüşümün uygulanabilirliğini belirleyerek en uygun işlem şartlarının seçimi için sistem elemanlarının yerleşimi, kaynak güzergâhının ve tabancanın yaklaşımları Robcad ile tasarlanmıştır. Belirlenen işlemi en kısa sürede gerçekleştirmek için ABB IRB6400, KUKA KR125 ve KR125-W2 model 6 eksenli robotlarının performansları kıyaslanmıştır. ABB ve KUKA robotların tercih edilmesinin sebebi servisin anında cevap verebilmesi ve yedek parça sıkıntısının olmamasıdır. Ford Otosan ağırlıkla bu iki marka robotu kullanması dolayısıyla standart malzeme kullanımının avantajından faydalanma maksadıyla tercihini bu yönde yapacaktır.

Ayrıca iki temel tip olan makas tipi ve doğrudan etkili tabancalar ayrı ayrı denenmek suretiyle erişilebilirlik ve süre açısından hangisinin doğru tercih olacağı belirlenmiştir.

5.2.1 İşlem Şartları

İşlem Ford marka bir binek aracın yan kapısının iç ve dış panellerinin cam çerçevesi kısmının (Şekil 5.1) nokta direnç kaynağıyla birleştirilmesidir. İş parçasının zeminden yüksekliği 700 mm.'dir. Dış panel 0,8 mm, iç panel ise 1 mm kalınlığında galvanizli sacdır. Kaynak işlemi 27 adet punta atmaktan ibarettir. Elektrod çapı $D=16$ mm, elektrod uç çapı $d=6$ mm.'dir. Elektrotların uygulayacağı baskı kuvveti 200 daN'dur. Kaynak akımı 13 kA'dır. Bu verilerle kaynak süresi 1,2 sn. kaynak, 0,8 s tutma olmak üzere toplam 2 s. olarak belirlenmiştir. Üretim mühendisleri tarafından belirlenen çevrim süresi 30 s.'si sökme takma ve 90 s.'si kaynak olmak üzere 120 s.'dir.

Makas tip kaynak tabancası 91 kg ağırlığındadır ve 300 daN baskı kuvveti sağlayabilir. Boyutları 800x610x340 mm.dir. Doğrudan etkili kaynak tabancası ise 97 kg ağırlığındadır ve 280 daN baskı kuvveti sağlayabilir. Boyutları 900x480x380 mm.dir.

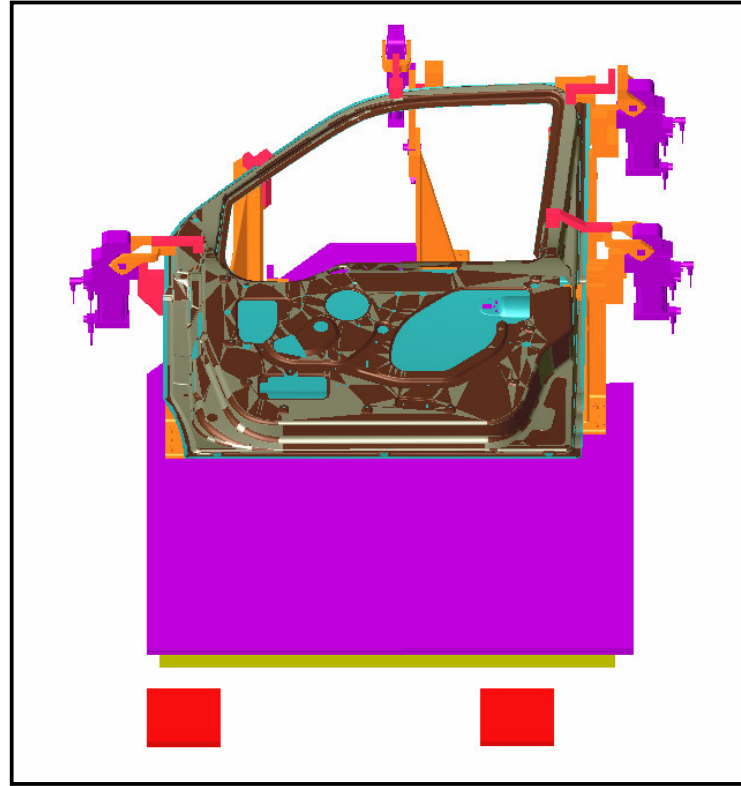


Şekil 5.1 Binek Otomobil Yan Kapısı (İş Parçası)

Kaynak tabancalarının toplam ağırlığı ve en uç noktada meydana gelen momentin yüksek olacağı göz önüne alındığında bu işlem için en az 110 kg.lık robot seçme gerekliliği ortadadır. Ayrıca taşıma kapasitesi düşük robotların yük artışıyla birlikte hızı düşecektir. Bunun yanında robotun gereğinde daha farklı uygulamalarda kullanılabilmesi açısından 120 kg taşıma kapasiteli robot seçilmelidir. ABB IRB 6400-24-120, 120 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir. Tekrarlayabilirliği 0,1 mm'dir. Maksimum takım merkez noktası (TCP) hızı 3 m/s, maksimum ivmesi ise 10 m/s²'dir. KUKA KR 125, 125 kg. taşıma kapasitesine sahiptir. Tekrarlayabilirliği 0,2 mm'dir. Maksimum TCP hızı 2 m/s, maksimum ivmesi ise 8 m/s²'dir. KR125 ile fiziksel ölçüleri aynı olan bu robot KR 25-W2 biraz daha hızlandırılmış versiyonudur. Maksimum TCP hızı= 3m/s, ivmesi=9m/s²'dir.

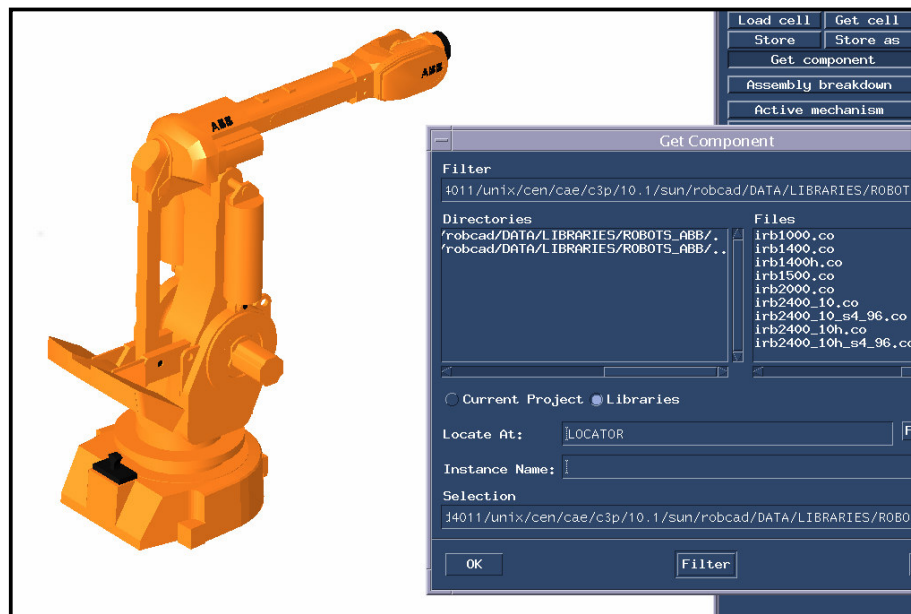
5.2.2 Simülasyonun Uygulanması

Simülasyon işlemine hücre oluşturularak başlandı. Oluşturulan hücreye öncelikle tasarımları daha önceden hazırlanmış olan iş parçası(kapı) ve fikstür (Şekil 5.2) hücreye aktarıldı. Kullanılacak olan fikstür işlem manuel olarak gerçekleşirken kullanılmakta olmaktadır. Fikstür tasarımında herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır.



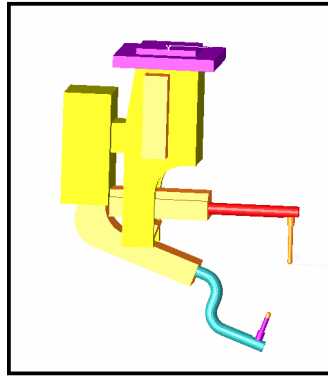
Şekil 5.2 Fikstür ve İş parçası

Ardından Robot kütüphanesinden ABB IRB6400-24-120 (Şekil 5.3) robot hücreye aktarıldı.



Şekil 5.3 IRB 6400 24-120'nin Hücreye Eklenmesi

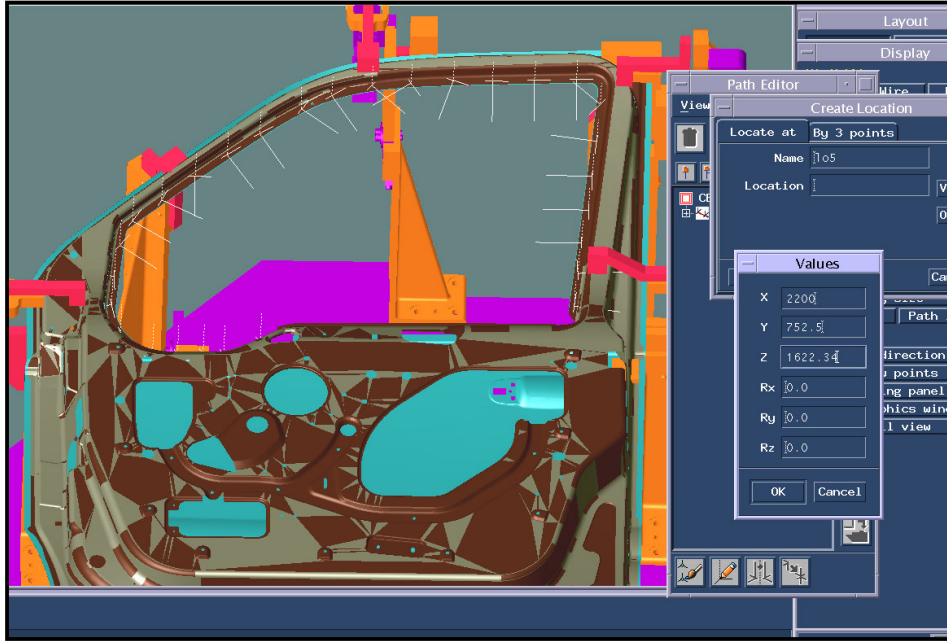
Robot hücreye aktarıldıktan sonra robotun bileğine monte etmek üzere Şekil 5.4'te görülen makas tip kaynak tabancası hücreye aktarıldı. Ardından tabanca robotun bileğine “motion settings” menüsü ile monte edildi. Burada önemli olan nokta uygulamanın her aşamasında olduğu gibi robotun ve tabancanın eksen takımlarının aynı doğrultuda olmasıdır. Tabanca monte edildikten sonra robota verilen komutlar TCPF koordinatına göre algılanır. Robota bir noktaya gitmesi yönünde verilecek olan talimat, punta tabancasının merkez noktasının (TCPF) verilen noktaya gitmesi anlamına gelir.



Şekil 5.4 Makas Tip Tabanca

Bu aşamadan sonra imalat mühendislerince belirlenmiş olan kaynak noktaları ve tabancanın geçişini düzenleyecek olan noktalar Şekil 5.5'te görüldüğü şekilde “path editor” menüsü vasıtasıyla işaretlendi. İzlenecek olan sıra belirtildikten sonra güzergâh otomatik olarak en kısa yol esasına göre program tarafından oluşturuldu. Bu aşamada da tabanca TCPF ile belirlenen noktaların eksenlerini karşılayacak şekilde yaklaşır.

Kaynak yolunun belirlenmesinin ardından yol için belirttiğimiz noktaların özellikleri, hangi noktada robotun ne yapması gerektiği Şekil 5.6'da gösterildiği gibi “location attributes” menüsünden ayarlandı. Bir punta için gerekli kaynak süresi olan toplam 2 s bu menüden girildi. Noktaların özelliklerinin girilmesiyle kaynak yolunun hazırlanması tamamlanmış oldu.

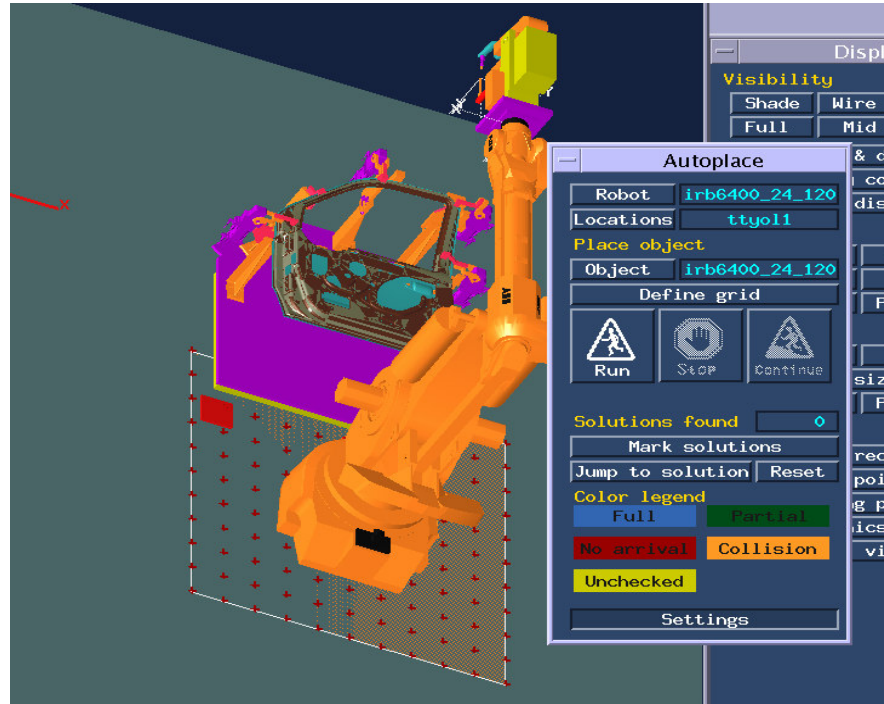


Şekil 5.5 Kaynak Yolunun Noktalarının Belirlenmesi

Location Attributes									
Items:	Motion type	Zone	Linear speed	Joint speed	Motion time	Location type	Gun state	Gun wait	Weld time
okrobot									
ltyo11									
l04.v15	Joint	fine				Via	No change	No wait	0.00
l04.v16	Joint	fine				Via	No change	No wait	0.00
lpo_23		fine				Weld	Semi open	Wait	1.20
l03		fine				Weld	Semi open	Wait	1.20
lpo_26		fine				Weld	Semi open	Wait	1.20
lpo_25		fine				Weld	Semi open	Wait	1.20
lpo_24		fine				Weld	Semi open	Wait	1.20

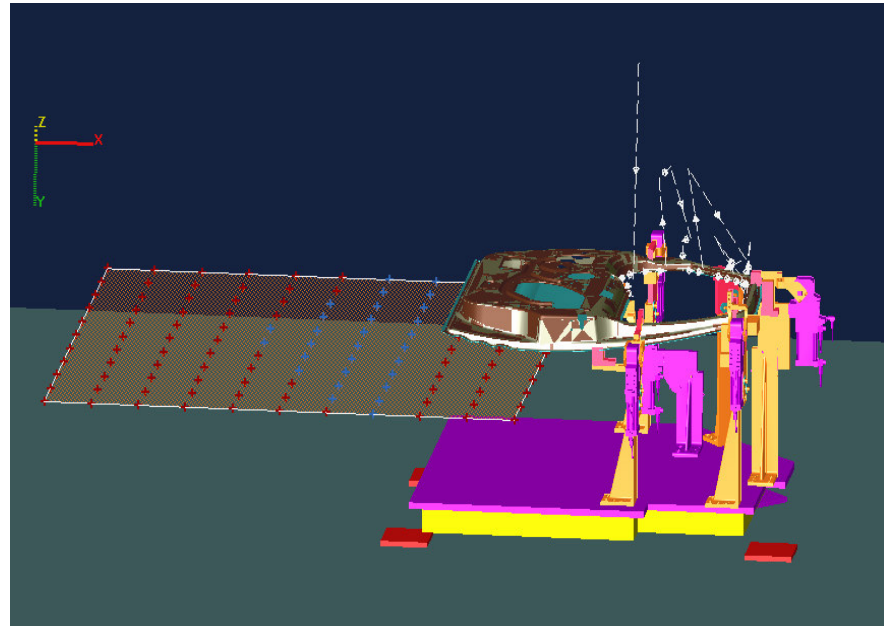
Şekil 5.6 Belirlenen Noktalarda Robotun Yapacaklarının Belirlenmesi

Robot fikstürün karşısına tüm yer değiştirme işlemlerinde kullanıldığı gibi “placement editor” menüsü kullanılarak yerleştirildi. Yerleştirilen alanın çevresinde, belirlenen kaynak yoluna erişebilirlik testi yapılarak robotun konulabileceği noktalar “autoplace” menüsü kullanılarak tespit edilmeye çalışıldı. Yapılan işlem zemin seviyesinden erişimin mümkün olmayacağını gösterdi.



Şekil 5.7 Uygun Robot Yerleşiminin Aranması

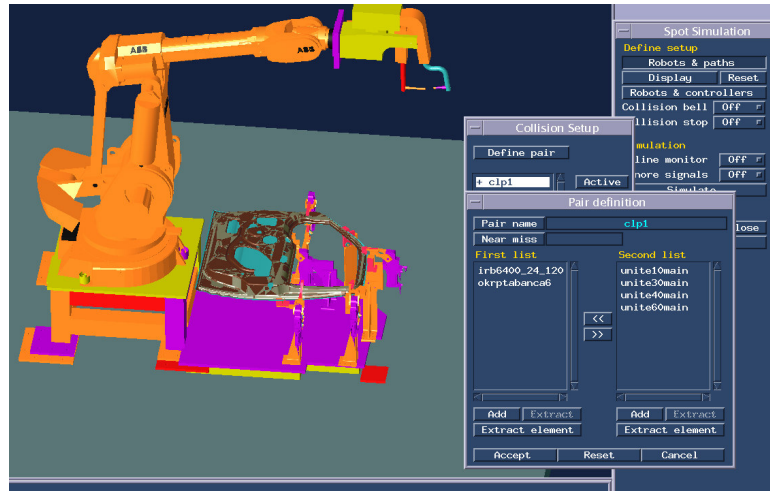
Uygun yerleşim yeri robotun yukarı kaldırılması durumunda tespit edildi.



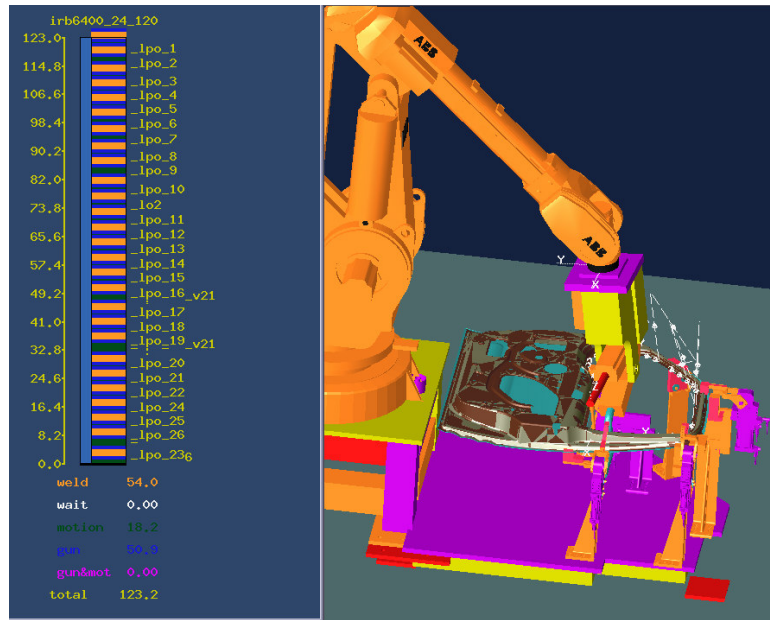
Şekil 5.8 Uygun Robot Konumunun Tespiti

Gösterimin açıklayıcı olması açısından bir sehpa robotun altına koyulmak üzere hücreye eklendi ve fikstürün karşısına yerleştirildi. Robot sehpanın üstüne konum

tespiti menüsünden çıkan sonuçlara uygun olarak yerleştirildi. Bunun ardından robot ve tabanca, fıkstür ve iş parçasına değdiği zaman sinyal verecek şekilde “collision setup” menüsünden çarpışma ayarları yapılarak simülasyon aşamasına geçildi. İşlem “spot simulate” menüsü kullanarak simüle edildi. Çarpışma meydana gelmedi fakat kaynak süreci amaçlanan 90 s.’nin çok üzerinde 123.2 s.’de sonuçlanmıştır. Şekil 5.10’da görüldüğü gibi bunun sebebi çarpışmayı önlemek amacıyla tabancanın çok dolaşmasından dolayı toplam hareket etme süresinin uzamasıdır.

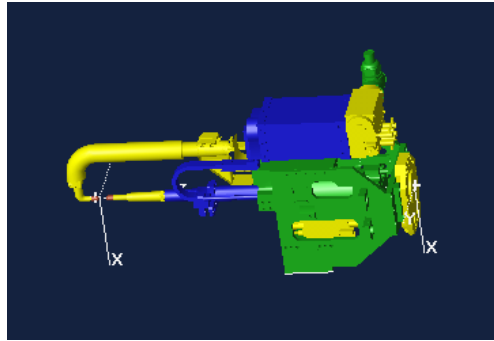


Şekil 5.9 Çarpışma Ayarlarının yapılması

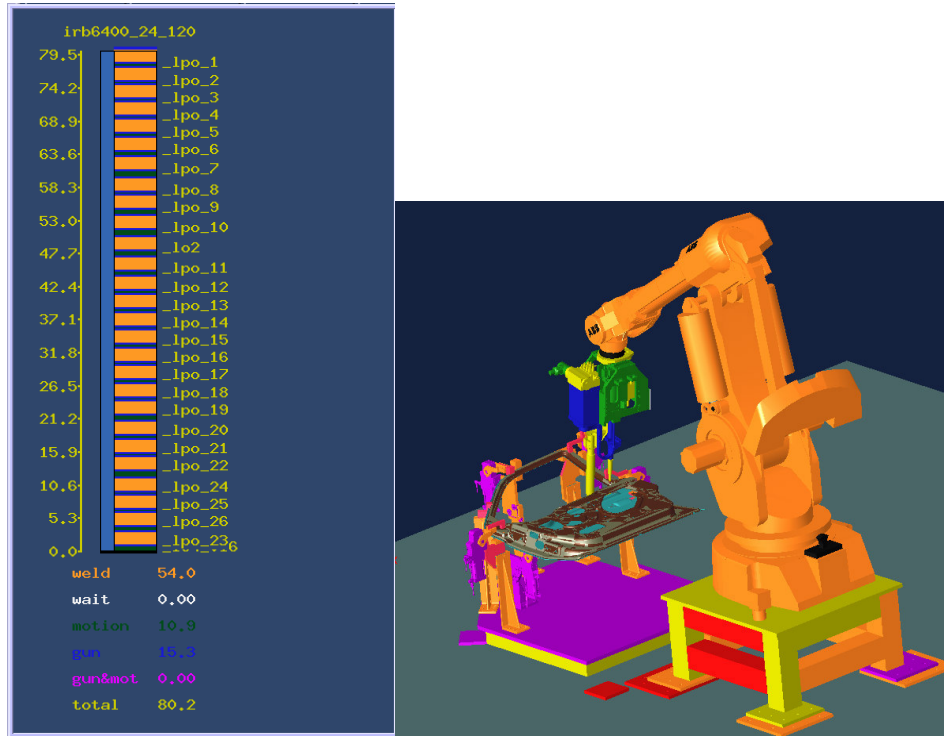


Şekil 5.10 Makas Tipi Tabancayla IRB 600 Robotun İşlem Simülasyonunun Sonuçları

Analizin ikinci aşaması olarak bu pozisyonda çalışmasının daha rahat ve daha hızlı olması muhtemel olan Şekil 5.11’de görülen doğrudan etkili C tipi tabanca robota monte edildi. Y tipi makas tabanca ile yapılan uygulamadan farklı olarak C tipi tabancanın bütün kaynakları pencere kısmından atabilecek olması sebebiyle kaynak güzergâhı değiştirildi. Çarpışma ayarları yeni tabancayı algılayacak şekilde değiştirildi ve kaynak işlemi simüle edildi. Hedeflenen süre olan 90 s.’nin altına inmek başarıldı. Tüm işlem 80.2 s.’de gerçekleştirildi. Sonuçlar Şekil 5.12’de gösterilmektedir.



Şekil 5.11 Doğrudan Etkili C Tipi Kaynak Tabancası

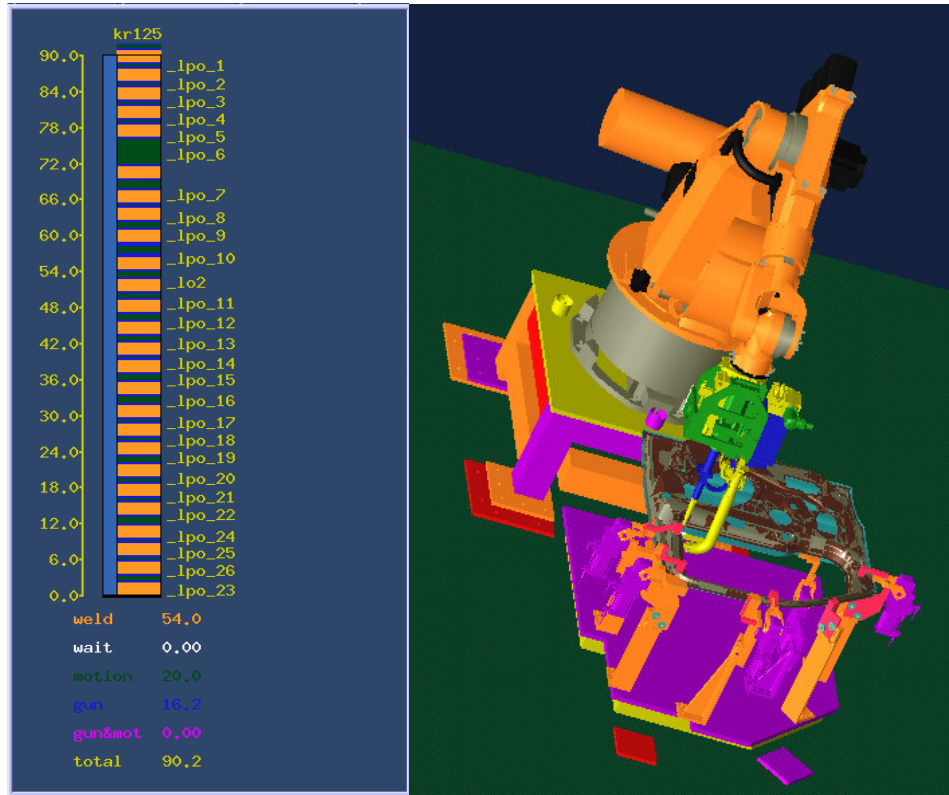


Simülasyon sonucunda doğrudan etkili tabanca kullanımına kesin olarak karar verilmekle birlikte seçilecek olan robotun araştırılmaya devam edilmesi gerekir. Bu sebeple aynı işlem kullandığımız ABB IRB 6400 robotun modelin muadili sayılabilecek Şekil 5.13’de görülmekte olan KUKA KR 125 ile tekrarlandı.

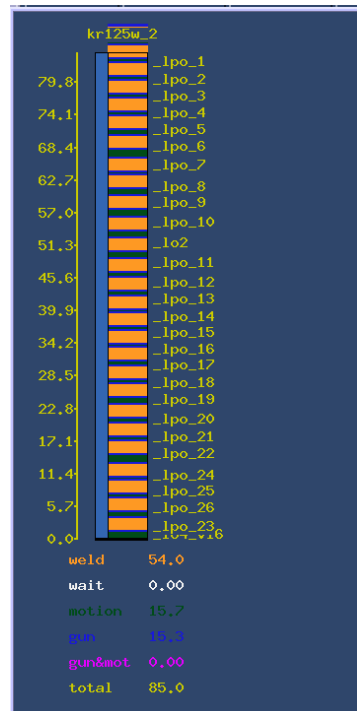


Şekil 5.13 KUKA KR125 Robot

Kütüphaneden KR125 robotun hücreye yerleştirilmesinin ardından doğrudan etkili tabanca robota monte edildi. IRB6400 ile aynı tabancayla yapılan uygulamadaki robot konumunun uygun olduğu belirlendi. Kaynak yolu değiştirilmedi. Çarpışma ayarları yeni robot ve tabancayı algılayacak şekilde değiştirildi ve kaynak işlemi simüle edildi. Simülasyon sonucunda hedeflenen süre olan 90 s.’ye çok yakın bir süre elde edildiği görüldü. 90.2 s. olan toplam süre buna rağmen kabul edilebilir sınırların dışında olması sebebiyle işlem bu robotu seçmemiz uygun olmayacaktır. Şekil 5.13’te simülasyon sonuçları görülmektedir.



Şekil 5.14 Doğrudan Etkili C Tipi Tabancayla KR125 Robotun İşlem Simülasyonunun Sonuçları



Şekil 5.14 Doğrudan Etkili C Tipi Tabancayla KR125-W2 Robotun İşlem Simülasyonunun Sonuçları

İşlem için denediğimiz üçüncü robot KUKA KR 125'in bir üst versiyonu olan KR125-W2. Ölçülerinin aynı olması sebebiyle KR125 ile aynı konuma yerleştirildi. "Spot Simulate" menüsü kullanılarak simülasyon gerçekleştirildi. Sonuçlar Şekil 5.14'te görülmektedir.

5.2.3 Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 5.11, 5.13 ve 5.14'te çıkan sonuçları kıyasladığımızda serbestlik dereceleri aynı olan, servis ve yedek parça imkanları, yük taşıma kapasiteleri aynı kabul edilebilecek olan üç robot içerisinde işlemi en kısa sürede bitiren 80,2 s. ile ABB IRB6400-24-120 olmuştur. Aynı zamanda bu robotun tekrarlayabilirliği 0,1 mm. olması itibariyle daha üstündür. KUKA KR 125 işlemi 90,2 s.'de tamamlayarak gerekli çevrim süresi içinde işlemi tamamlayamamıştır. Bunun yanında KUKA KR125-W2 de işlemi 85 s.'de bitirerek beklenen çevrim süresini karşılamıştır. Tekrarlanabilirliği de kabul edilebilir sınırlardadır. KUKA KR 125 W2'nin fiyatı ABB IRB6400-24-120'nin fiyatının %95'i kadardır. Bu fark ise yaklaşık olarak 3000 USD'ye tekabül etmektedir. Özellikle kazandırdığı süre ve ileride çevrim süresini kısaltma olanağı göz önüne alınarak bu işlemde ABB IRB6400-24-120 tercih edilmelidir.

Kaynak tabancası olarak daha basit hareketlerle işlemi tamamlayabilen doğrudan etkili C tipi tabancanın seçilmesi kaçınılmazdır. Şekil 5.9 ve 5.11'de çıkan sonuçlar kıyaslandığı zaman 123.2 s.'de işlemi bitirebilen makas tipi tabancayla hedeflenen süreye yaklaşamadığı görülmüştür.

Seçilen robotun modelinden bağımsız olarak kaynağa en iyi erişim 60-70 cm zemin yüksekliği arasında gerçekleşmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Robotik kaynak uygulaması ülkemizde gittikçe artan bir hızla otomotiv sanayinde kullanılmaktadır. Özellikle yurdumuzda işçilik ücretlerinin çok düşük olması ve sistemin yatırım maliyeti bu uygulamaya geçiş için dezavantaj olmakla birlikte hız, üretkenlik ve kalitenin yüksek olması ayrıca kalitenin devamlılığının sağlanabilmesi gibi avantajlar otomotiv sektöründe robotik kaynağa geçişte en önemli sebepler olmaktadır. Özellikle kaliteye büyük önem veren Otosan, Toyota, Hyundai gibi ülkemizin önemli otomotiv fabrikaları bu uygulamada öncü rol üstlenmişlerdir.

Robot kaynak istasyonu edinmek isteyen firmaların ihtiyaçlarını ve taleplerini dikkatlice tespit etmeleri öncelikle önemlidir. Kaynak işleminin yapılacağı çevre şartları ve elemanları konumlandırma olanakları, istenilen üretim hızı, gerekli kalite seviyesi ve kaynak edilecek parçaların çeşitliliği öncelikle belirlenmelidir. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda öncelikle uygulanacak kaynak yönteminin belirlenmesinin ardından uygun robot ve takım seçilmelidir. Aynı taleplere uygun bir fiktür tasarlanmalı ve gereğinde ihtiyaca uygun bir manipülatör de sisteme dahil edilmelidir.

Bu aşamada tecrübe dikkatli bir seçim için gereklidir fakat sadece tecrübe bu tip karmaşık yapıların tasarımı için yeterli olamayabilir. Günümüzün seri imalat teknolojisinde bir çevrimde 1 sn.lik gecikme büyük bir firmada milyonlarca dolarlık kayıp anlamına gelebilir. Robcad simülasyon programı karşılaşılabilecek sorunları önceden ortaya koyarken sayısız deneme yapma imkanı vererek en doğru sistem elemanlarını seçmemize, konumlandırmamıza ve işlem sırasını en doğru biçimde belirlememize yardımcı olmaktadır. Robcad ile simülasyon çalışmasında en iyi sonuç veren robot ve tabanca tespit edilmiştir. Bunun yanında en iyi performans veren robot konumu, kaynak yolu ve sıralaması bulunmuştur.

Robcad'in sade menü yapısı ve robotik işlem için özel amaçlı tasarlanmış bir program olması itibarıyla öğrenilmesinin kolay, uygulanmasının pratik olduğu görülmüştür. İlerideki çalışma olarak manipülatör kullanılan bir robotik kaynak

sistem tasarımı Robcad ile yapılmalıdır. Ayrıca Robcad programının lazer ve gazaltı yöntemlerinin robot kaynak istasyonu tasarımlarında kullanımı çalışması yapılmalıdır. Bir başka robot simülasyon programı olan Delmia da benzeri çalışmalarda kullanılarak iki başlıca robot simülasyon programının kaynak alanındaki performansları ve yetenekleri kıyaslanmalıdır.

7. KAYNAKLAR

1. Carry H., “*Modern Welding Technology*”, Prentice Hall, 2001
2. Kahraman N., “*The influence of welding parameters on the joint strenght of resistance spot welded titanium sheets*”, Materials and Design Vol. 28, 2007
3. Gültekin N., “*Kaynak Tekniği*”, Ergin Ofset, 1991
4. www.diagrams.org, 2007
5. www.swantec.com, 2007
6. Aslanlar S., Oğur A., Öz Saraç U., İlhan E., Demir Z., “*Effect of welding current on mechanical properties of galvanized chromided steel sheets in electrical resistance spot welding*” Materials and Design Vol. 28, 2007
7. American Welding Society, “*Recommended Practices for automotive Weld Quality- Resistance Spot Welding*”, 20 Ocak 1994
8. www.weldingengineer.com, 2006
9. Dennison A.V., Toncich D. J. and Masood S., “*Control and Process-Based Optimisation of Spot-Welding in Manufacturing Systems*”, Int J Adv Manuf Technol Vol. 13, 1997
10. Chen Z. and Zhou Y., “*Surface modification of resistance welding electrode by electro-spark deposited composite coatings: Part I. Coating characterization*”, Surface & Coatings Technology 201, 2006
11. Zhang X.Q., Chen G.L., Zhang Y.S., “*Characteristics of electrode wear in resistance spot welding dual-phase steels*” Materials and Design, 2006

12. Zhang X.Q., Chen G.L., Zhang Y.S., “*On-line evaluation of electrode wear by servo gun in resistance spot welding*”, Int J Adv Manuf Technol, 2007
13. Miller Electric Mfg. Co., “*Handbook for Resistance Spot Welding*”, 2005
14. Howe,P. “*The Effects of Aluminium in Hot Dip Galvanized Sheet Steel on Electrode Life – A compilation of Research Data*” Bethlehem Steel Corp. International Report,1996
15. Howe, P., Kimchi M. “*The Effects Of Coating Type and Spot Weldability and Electrode Wear During RSW of Various HDG Steels*” Paper D2 of AWS Sheet Metal Welding Conference VI proceeding, 1994
16. Bayrak Y. “*Punta Kaynak Eğitim Notları*” Ford Otosan 1997
17. Gegez R. “*Punta Kaynak Kontrol Yöntemleri*” Ford Otosan 2000
18. “*The Basics of Gas Metal Arc Welding*” Fabricators & Manufacturers Association, Intl., 1995
19. Pires I, Quintino L, Miranda R.M., “*Analysis of the influence of shielding gas mixtures on the gas metal arc welding metal transfer modes and fume formation rate*”, Materials and Design Vol. 28, 2007
20. ESAB Group Inc., MIG Handbook, 1999
21. www.mig-welding.co.uk, 2007
22. www.millerwelds.com, 2007
23. Karadeniz E., Özşaraç U., Yıldız C., “*The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes*”, Materials and Design Vol. 28, 2007

24. Miller C., “*Laser Welding*” US Laser Corp., 1994
25. www.olympustechnologies.co.uk, 2007
26. www.nasa.gov, “*National Aeronautics and Space Administration*”, 2007
27. www.scimedia.com, 2006
28. Guoping Y., “*Laser Welding and its Quality Issues*” Chinamac Journal, 2006
29. Tzeng Y.F. “*Process Characterisation of Pulsed Nd:YAG Laser Seam Welding*”, Int J Adv Manuf Technol Vol. 16, 2000
30. Jokinen T and Kujanpaa V. “*High power Nd:YAG laser welding in manufacturing of vacuum vessel of fusion reactor*”, Fusion Engineering and Design Vol. 69, 2003
31. İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, “*Kalite Eğitim Notları*”, 2002
32. American Welding Society, “*Guide for the nondestructive inspection of welds*”, October 1999
33. David J Grieve, “*Welding Defects*” Plymouth University, September 2003
34. www.tafensw.edu.au, “*Technical and Further Education*”, 2007
35. www.kuleuven.ac.be, “*Katholieke Universiteit Leuven*”, 2007
36. Hayes C., “*The ABC's of Nondestructive Weld Examination*” The Journal of Nondestructive Testing Vol. 3, Haziran 1998
37. “Spot Welding Technical Information”, TITE Spot Welders Inc.
38. Kleemann U. “*Trends in Robotics*”, Engineering and Technical, Mayıs 1993

39. Pashkevich A.P., Dolgui A.B., Semkin K.I., “*Kinematic aspects of a robot-positioner system in an arc welding application*”, Control Engineering Practice Vol.11, 2003
40. www.emeraldinsight.com, 2007
41. Rao R.V., Padmanabhan K.K., “*Selection, identification and comparison of industrial robots using digraph and matrix methods*” Robotics and Computer-Integrated Manufacturing Vol. 22, 2006
42. Abicor B., “*Robotic Welding Basics*” Practical Welding Today, 1999
43. Gök G.V., Afyon Ç., “*Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi*”, Mühendis ve Makina, Eylül 2000
44. www.atsi.cc, 2007
45. Pelinescu D.M., Wang Y. M., “*Multi-objective optimal fixture layout design*”, Robotics and Computer Integrated Manufacturing Vol.18, 2002
46. Lipnevicius G., “*Fixturing for Robotic Welding Productivity*” The Lincoln Electric Company, 2004
47. Nayak N. and Ray A., “*Intelligent Seam Tracking For Robotic Welding*”, Springer-Verlag, 1993
48. www.kuka.com, 2007
49. bruce.cs.cf.ac.uk, 2007
50. www.klab.caltech.edu., “*California Institute of Technology Koch Laboratory*”, 2007

51. Vaughan S., *“Taking a closer look at welding robotics and automation”*, Practical Welding Today, Şubat 2002
52. Lemaire, D. and Maouche, S., *“Design of robotized cells: a multi agent approach”*, IEEE SMC '99 Conference Proceedings Vol. 16, 1999
53. Kühn, W., *“Digital Factory - Simulation Enhancing the Product and Production Engineering Process”*, Winter Simulation Conference Proceedings, 2006

8. ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Gölcük'te doğan Hakan KESKİN, ilkokulu tamamladıktan sonra Gölcük Anadolu Lisesinde öğrenimine devam etti. 1999 yılında bu okuldan mezun olduktan sonra aynı yıl Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde eğitim hakkı kazandı. Bu fakülteden 2004 yılında mezun oldu. 2004 güz döneminde Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2004 yılından bu yana US Teknik Mühendislik'te teknik müdür olarak çalışmaktadır.