

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

757668

151668

KAYNAKLI YAPIMLARDA ROBOTİK UYGULAMALAR
ve TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

Makina Müh. Tolga MERT

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Selahattin YUMURTACI

İSTANBUL, 2004

Doç.Dr. Selahattin YUMURTACI
Prof. Dr. Nisan Yılmaz
Prof. Dr. Emin Kuruçay

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ.....	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. ROBOT TEKNOLOJİSİ	2
2.1 Robot Geometrisi.....	7
2.1.1 Serbestlik Derecesi	7
2.1.2 Endüstriyel Robotun Elemanları.....	8
2.2 Geometrik Konfigürasyon Ve Çalışma Hacmi.....	10
2.2.1 Geometrik Konfigürasyonlar	12
2.3 Robot Tahrik Sistemleri.....	18
2.3.1 Hidrolik Tahrik	18
2.3.2 Pnömatik Tahrik	20
2.3.3 Elektrikli Tahrik.....	21
2.4 Kontrol Sistemleri Ve Dinamik Performans.....	24
2.4.1 Robot Kontrolleri.....	24
2.4.2 Dinamik performans	26
2.5 Robotun Programlanması	33
2.6 End Efektörler.....	35
2.7 Robotikteki Sensörler	37
2.7.1 Güç Dönüştürücüler (Transducers) Ve Sensörler.....	39
2.7.2 Sensör Kategorileri	42
2.7.2.1 Dokunma Sensörleri	42
2.7.2.2 Yakınlık ve Mesafe Sensörleri	43
2.7.2.3 Muhtelif Sensörler ve Sensör Tabanlı Sistemler	45
2.8 Endüstriyel Robotların Kullanım Nedenleri	45
2.8.1 İstihdam Etkileri	47
2.8.2 Ekonomik Değerlendirme.....	48
2.9 Robot Kullanımına Karar Verme.....	50
2.9.1 Uygulama Seçimi.....	51
2.9.2 Robot Seçimi	52
2.9.3 Robot Kurulumu	61

2.9.4	Robot Bakımı.....	63
3.	ROBOTLU SİSTEMLER.....	65
3.1	Enjeksiyon Kalıplamadaki Robotlar.....	65
3.2	Pres Yükleme ve Dövme Prosesindeki Robotlar.....	68
3.3	Dökümdeki Robotlar	68
3.4	Takım Tezgahı Yüklenmesindeki Robotlar.....	69
3.5	Taşıma ve İstiflemedeki Robotlar.....	71
3.6	Montajdaki Robotlar.....	72
3.7	Yüzey Kaplamadaki Robotlar.....	73
3.8	Son İşlem (Fettling) Ve Çapak Almadaki Robotlar	75
3.9	Yapıştırıcı Uygulamasındaki Robotlar	76
3.10	Su Jetiyle Kesmedeki Robotlar.....	77
3.11	Test Ve Muayenedeki Robotlar	78
3.12	Nokta Kaynağındaki Robotlar	78
3.13	Ark Kaynağındaki Robotlar.....	81
3.13.1	Kaynak Robotunun Sahip Olması Gereken Özellikler.....	83
3.13.2	Robot Ark Kaynağının Avantajları Ve Faydaları	85
4.	ENDÜSTRİYEL ROBOTLARIN DÜNYADAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU	87
4.1	Endüstriyel Robotların Dünya Çapındaki Yayılımı	87
4.1.1	Endüstriyel Robotların Dünya Çapında Operasyonel Stokunun Tahmini.....	90
4.1.2	2001-2004 Yılları Arası Tahminler	90
4.1.3	Robot Fiyatlarındaki Düşüşe Bağlı Olarak Robot Yatırımındaki Artış	91
4.1.4	Gelişmiş Çok Amaçlı Endüstriyel Robotlar	93
4.1.5	Robot Yoğunlukları	94
4.2	Endüstriyel Robotların Türkiye'deki Durumu.....	95
4.2.1	Firma ve Uygulama Bazında Robot Dağılım İstatistiği	97
5.	KAYNAK TEKNOLOJİSİ.....	100
5.1	Gazaltı (MIG-MAG) Ark Kaynak Teknolojisi.....	100
5.1.1	MIG-MAG Kaynak Donanımı	103
5.1.1.1	Kaynak Torçları	104
5.1.1.2	Torç Bağlantı Paketi	105
5.1.1.3	Tel Sürme Düzeneği	106
5.1.1.4	Kumanda Düzeneği	109
5.1.1.5	Akım Üreteçleri	110
5.1.1.6	Koruyucu Gaz Tüpleri	113
5.1.2	MIG-MAG Kaynağındaki Koruyucu Gazlar.....	114
5.1.2.1	Asal Gazlar	115
5.1.2.2	Karbondioksit (CO ₂).....	116
5.1.2.3	Karışım Gazlar.....	117
5.1.3	MIG-MAG Kaynak Elektrodları	120
5.1.3.1	MIG-MAG Kaynak Yönteminde Elektrod Seçimi.....	120
5.1.3.2	Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Elektrodlar	122
5.1.4	Ark Türleri ve Arkta Metal Taşınımı.....	124
5.1.4.1	Kısa Ark.....	127
5.1.4.2	Uzun Ark (Globüler Metal Taşınımı).....	127
5.1.4.3	Sprey Ark.....	130

5.1.4.4	Darbeli Ark	130
5.1.4.5	Ark Türlerinin Uygulamada Seçimi	131
5.1.5	Kaynak Parametrelerinin Seçimi	132
5.1.5.1	Kaynak Öncesi Saptanan Parametreler.....	133
5.1.5.2	Birinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler	137
5.1.5.3	İkinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler	139
5.2	Nokta Direnç Kaynağı Teknolojisi.....	141
5.2.1	Elektrik Direnç Kaynağının Prensibi.....	141
5.2.2	Nokta Kaynağı	142
5.2.2.1	Nokta Kaynağı İşleminin Esasları	144
6.	KAYNAK ROBOTLARI	159
6.1	Nokta Kaynağındaki Robotlar	159
6.1.1	Nokta Kaynak Operasyonu.....	159
6.1.1.1	Kaynak Sırası.....	160
6.1.1.2	Mekanik Montaj.....	161
6.1.1.3	Kaynak Takımı	162
6.1.1.4	Birleştirilecek Parçalar.....	168
6.1.1.5	Geometrik Uygunluk	169
6.1.1.6	Kaynak Dağıtımı.....	170
6.1.1.7	İmalat Hızı	171
6.1.1.8	Esneklik	172
6.1.1.9	Parça Konumlama ve İletim	173
6.1.1.10	Çevre.....	174
6.2	Ark Kaynağında Robotlar.....	174
6.2.1	Ark Kaynak Robotunun Sahip Olması Gereken Özellikler.....	175
6.2.1.1	Robot Özellikleri	175
6.2.1.2	Eksen Sayısı.....	175
6.2.1.3	Proses Kontrolü	176
6.2.2	Robotik Ark Kaynak Hücresinin Elemanları.....	177
6.2.2.1	Manipülâtör.....	180
6.2.2.2	Fikstür.....	182
6.2.2.3	Pozisyoner.....	186
6.2.2.4	Kontrol Ünitesi	193
6.2.2.5	Proses Paketi.....	198
6.2.2.6	Proses Destek Elemanları	205
6.2.3	Robotun Programlanması	212
6.2.3.1	Asılı Öğretici (Teach Pendant) ile Programlama.....	212
6.2.3.2	Çevrimdışı (off-line) Programlama	228
7.	UYGULAMA	230
7.1	Uygulamannın Tarifi	230
7.2	Robot Mimarisi.....	231
7.2.1	Ark Kaynağı Robotu: EX-MV6	231
7.2.1.1	Çalışma Hacmi.....	231
7.2.1.2	Kaynak Robotunun Teknik Özellikleri.....	232
7.2.2	Kontrol Ünitesi EX-C.....	233
7.3	Ark Kaynağı Ekipmanları.....	234
7.3.1	Kaynak Üniteleri.....	234
7.3.1.1	Tel Rulo ve Tel Besleme Ünitesi.....	234

7.3.1.2	Kaynak Redresörü	234
7.3.1.3	Kaynak Torcu (Üfleci) ve Aksesuarlar	235
7.3.2	CPVAS-350 Kaynak makinesi	235
7.3.3	Fikstür Sistemi	236
7.3.4	Pozisyoner (RPB-250)	236
7.3.5	Opsiyon: Torç Temizleme Ünitesi	237
7.4	Alt Sistemler	237
7.4.1	Haberleşme Sistemi	237
7.4.2	Güvenlik Kabini	237
7.4.3	Robot Uygulama Programı	237
7.5	Proje Yükümlülükleri	238
7.6	Sistemin Firmada Kurulumu	238
7.6.1	Hava	238
7.6.2	Kaynak Koruyucu Gazı	239
7.6.3	Elektrik	239
7.6.4	Kaynak Makinası Enerji Değerleri	239
7.6.5	Forklift	239
7.7	Sistemin Resimleri	240
7.8	Deneysel Çalışma	243
8.	SONUÇLAR	247
	KAYNAKLAR	249
	ÖZGEÇMİŞ	250

SİMGE LİSTESİ

n	Kontrol hafızasındaki bitlerin sayısı
Q	Üretilen toplam ısı
I	Kaynak akımı
R	Toplam direnç
t	Kaynak süresi
W	Elektriksel iş
I_{max}	Dalgalı akımda maksimum akım
ω	Açısal frekans
u	Kaynak gerilimi
i	Dalgalı akımda efektif akım değeri



KISALTMA LİSTESİ

MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
TIG	Tungsten Inert Gas
JIRA	Japan Industrial Robot Association
CAM	Computer Aided Manufacturing
AFRI	Association Française de Robotique Industrielle
RIA	USA Robotic Industries Association
BRA	British Robot Association
ISO	International Organization for Standardization
ROM	Read Only Memory
CNC	Computer Numeric Control
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
NFPA	National Fire Protection Association
PTP	Point To Point
PCB	Printed Circuit Board
LED	Light Emitting diode
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
FMS	Flexible Manufacturing Systems
CCD	Charged Coupled Device
ECE	Economic Commission for Europe
IFR	The International Federation of Robotics
UN	United Nations
D.İ.E.	Devlet İstatistik Enstitüsü
S.I.G.M.A.	Shielded Gas Metal Arc
DIN	Deutsches Institut für Normung
TS	Türk Standardı
PLC	Programmable Logic Controller
TCP	Tool Center Point

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 CNC işleme merkezi	5
Şekil 2.2 'Örümcek' dalgıç takımı	6
Şekil 2.3 Uzay mekiği uzaktan kumandalı manipülatörü.....	6
Şekil 2.4 6 serbestlik dereceli endüstriyel robot.....	7
Şekil 2.5 ASEA IRB 2000 endüstriyel robot.....	9
Şekil 2.6 Büyük bir kartezyen robot.....	12
Şekil 2.7 Silindirik konfigürasyonlara sahip bir endüstriyel robot	14
Şekil 2.8 Elektrikli AC servo motorlar tarafından tahrik edilen silindirik koordinatlara sahip FANUC M-model 1 robot.....	14
Şekil 2.9 Kutupsal konfigürasyona sahip endüstriyel robot.....	15
Şekil 2.10 AC servo motorlar tarafından tahrik edilen eklemlili-kol yatay eksenli FANUC S-model 500 robot.....	16
Şekil 2.11 Dikey eksen yatay eklemlili robot.....	17
Şekil 2.12 Çok eklemlili fil hortumu tipi robot	17
Şekil 2.13 Takımla birlikte 100 kilogramın üzerinde taşıma kapasitesi olan hidrolik bir robot.....	18
Şekil 2.14 Tutucu takım dahil yük taşıma kapasitesi 2 kg olan pnömomatik güçlü bir robot	20
Şekil 2.15 Elektrik tahrikli ASEA IRB 6 endüstriyel robot	23
Şekil 2.16 Robotikte cevap hızı ve stabilite konsepti: a) Düşük sönümlleme-hızlı cevap, b)Yüksek sönümlleme-yavaş cevap.....	27
Şekil 2.17 Mesafenin etkisi ile hızın karşılaştırılması.....	28
Şekil 2.18 Mekanik tamlık hatalarının istatistiksel dağılımında tamlık ve uzaysal çözülüm	30
Şekil 2.19 Mekanik tamlık hatalarının istatistiksel dağılımında tamlık ve uzaysal çözülüm	30
Şekil 2.20 Tekrarlanabilirlik ve tamlık.....	31
Şekil 2.21 Endüstriyel robotlar için robot kolu takımları.....	36
Şekil 2.22 Punta kaynak robotu için kaynak tabancası	37
Şekil 2.23 Ark kaynak robotu için kaynak torcu	37
Şekil 2.24 Tamlık ve tekrarlanabilirliğin şematik gösterimi	55
Şekil 2.25 Tipik robot hız eğrisi	56
Şekil 2.26 Sabit maliyet koşulları altında robot performans faktörlerinin "Sıfır toplam (zero sum)" gösterimi.....	60
Şekil 3.1 Enjeksiyon kalıplama: (a) enjeksiyon kalıplama makinası; (b) işlemin prensibi; (c) ve (d) tipik kalıp boşluğu; (e) tipik enjeksiyon kalıplama robotu.....	66
Şekil 3.2 Takım tezgahı operasyonunda parçaların yüklenmesi ve boşaltılması için kullanılan Unimate 2000 robot	70
Şekil 3.3 Karton taşıyan Unimate robot	72
Şekil 3.4 Trallfa sprey boyama robotu	74
Şekil 3.5 Spine yüzey kaplama robotu	74
Şekil 3.6 Otomobil tamponundaki çapak alma operasyonu	75
Şekil 3.7 Ön ve arka motor kaputlarına ASEA IRB 6 robot tarafından yapılan mastik uygulaması	76
Şekil 3.8 Otomobil ses izole edicilerinin su jetiyle kesilmesi	78
Şekil 3.9 Nokta kaynak robotlarının kullanıldığı hat	80
Şekil 4.1: 1994-1999 arasındaki çok amaçlı endüstriyel robotların yıllık kurulumları ve 2000-2003 arası öngörüler	89
Şekil 4.2: 1994-1999 arası çok amaçlı endüstriyel robotların tahmini operasyonel stoku.....	89
Şekil 4.3: A.B.D.'deki endüstriyel robotların kaliteli ayarlamalı ve kalite ayarlamasız tahmini fiyat indeksi. A.B.D. iş sektöründeki işçi kompenzasyonunun indeksi.....	92
Şekil 4.4 Sanayide Robot Uygulamaları	96

Şekil 4.5 Uygulamalara Göre Dağılım	96
Şekil 5.1 MIG kaynak yönteminde ark bölgesi	102
Şekil 5.2 MIG kaynak donanımı blok şeması	102
Şekil 5.3 Kaynak torcu uç kısmı kesiti	104
Şekil 5.4 Hava soğutmalı torç kesiti ve torç bağlantı paketi	106
Şekil 5.5 Tel sürme düzeneği	107
Şekil 5.6 Tel sürme düzeneklerinde kullanılan rulolar.....	108
Şekil 5.7 İki rulolu ve tel düzeltme düzenekli tel sürme mekanizması şeması	108
Şekil 5.8 Rulo profilinin ve basıncının elektrod üzerine etkileri.....	109
Şekil 5.9 Kaynak akım üreteçlerinde V-I karakteristikleri. a) Düşey karakteristik (TIG ve elektrik ark kaynağı için), b) Yatay karakteristik (MIG-MAG kaynağı için).....	111
Şekil 5.10 ΔI ayarı ile ark boyunun kaynak süresince sabit kalması.....	112
Şekil 5.11 Kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine etkisi.....	113
Şekil 5.12 Basınç düşürme ventili	114
Şekil 5.13 Çeşitli asal gaz ve karışım gaz atmosferlerinde oluşan ark gerilimi	116
Şekil 5.14 CO ₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar	117
Şekil 5.15 Argon, helyum ve CO ₂ atmosferinde oluşan ark ve dikişin formu	120
Şekil 5.16 Elektrodun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri	126
Şekil 5.17 CO ₂ atmosferi altında kısa ark ve uzun arkla çalışma bölgelerinde arkta kaynak metali taşınımı.....	129
Şekil 5.18 Darbe frekansının dikiş profiline etkisi.....	131
Şekil 5.19 Yığılan kaynak metali, akım şiddeti ve elektrod çapı arasındaki ilişki (Yumuşak çelik elektrod, CO ₂ ile kaynak edildiğinde).....	134
Şekil 5.20 Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profilinin şematik olarak gösterimi	136
Şekil 5.21 MIG-MAG kaynağında gaz sarfiyatı, tel çapı, lüle çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı	136
Şekil 5.22 Akım şiddetinin, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi. U=21 V, Kaynak hızı 390 mm/dak, Tel çapı 0.9 mm, serbest tel ucu 9.5 mm, MAG kaynak yöntemi	137
Şekil 5.23 Kaynak hızının, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi. U=21 V, akım şiddeti 175 Amper, Tel çapı 0.9 mm, Serbest tel uzunluğu 9.5 mm, MAG kaynak yöntemi	139
Şekil 5.24 Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi	140
Şekil 5.25 MIG-MAG kaynak yönteminde sola /hareket açısı negatif) ve sağa (hareket açısı pozitif) kaynak halinde dikiş formunun değişimi.....	141
Şekil 5.26 Nokta kaynağında kaynak dikişinin durumu.....	143
Şekil 5.27 Elektrik nokta direnç kaynağında işlem aşamaları.....	144
Şekil 5.28 Nokta kaynağı işleminde çeşitli periyotların şematik olarak gösterilişi	144
Şekil 5.29 Bir nokta kaynağı makinasının şematik olarak gösterilişi.....	146
Şekil 5.30 Nokta kaynağında dirençler ve sıcaklık gradyanı	147
Şekil 5.31 Nokta kaynağının mukavemetine kaynak akımının etkisi	150
Şekil 5.32 Nokta kaynağının mukavemetine kaynak zamanının etkisi.....	151
Şekil 5.33 Standart elektrotların uç şekilleri	154
Şekil 5.34 Farklı metallerin nokta kaynağında ısıl dengeyi sağlamak için uygulanan usuller....	157
Şekil 6.1 Direnç nokta kaynağında elektrotların ve iş parçalarının düzenlenmesi.....	160
Şekil 6.2 Nokta kaynak takımının elektriksel bileşenleri	161
Şekil 6.3 Robotlara direnç nokta kaynak ekipmanının adapte edilmesinin üç farklı metodu (a.İkincil kablolu asılı transformatör, b. Kısa ikincil kablolu robota monteli transformatör, c.Kaynak tabancasına entegre transformatör).....	163

Şekil 6.4 Entegre transformatörlü 3.5 kN 33 kVA'lık modüler kaynak tabancaları. Kendi kendini dengeleyici ikincil devrelere ve parça geometrisine adaptasyon için her ikisi de dört farklı tutturma yüzeyine sahiptir.(a. Makas tipi tabanca b. C-tipi tabanca)	165
Şekil 6.5 Entegre transformatörlü nokta kaynak robotu ve iş parçası fikstürü.....	165
Şekil 6.6 Otomobil sac metal montajlarının örnekleri (a. Taban paneline eklenen rijidite çubukları ve aksesuarları b. Ön-uç kompozisyon c. Alt gövde, gövdenin yan kısımları ve çatı)	169
Şekil 6.7 Taban paneli için ana ve ikincil boyutsal toleranslar	170
Şekil 6.8 Gövde yan kısımları için tipik punta noktaları	171
Şekil 6.9 Robotik ark kaynağı hücresi	179
Şekil 6.10 Robotik ark kaynağı hücresinin önden ve üstten görünüşleri	180
Şekil 6.11 Ark kaynak robotu donatımı.....	180
Şekil 6.12 Fanuc Arc Mate 100 iB ark kaynak robotu	181
Şekil 6.13 Damperli treyler imalatı için montaj bağlama düzeneğinin iç görünüşü	183
Şekil 6.14 Sıkı toleranslı montaj elde etmek için kullanılan montaj ve kaynak bağlama düzeni (a). Montaj ve kaynak fikstürünün diğer bir görünüşü (b).....	184
Şekil 6.15 Robotik kaynak istasyonunda operatörün döner tabla üzerine montajı yüklemesi	185
Şekil 6.16 Otomobilin ekzostunun kaynağı için tasarlanmış manuel klempeli fikstür	186
Şekil 6.17 Tek eksen çift suportlu pozisyoner.....	187
Şekil 6.18 Tek eksenli döner tabla.....	189
Şekil 6.19 İki eksenli eğimli pozisyoner	190
Şekil 6.20 OTC EX-C serisi robot kontrolörü	194
Şekil 6.21 Robot kontrolörü	197
Şekil 6.22 Robot kontrolörü harici bağlantı noktaları	198
Şekil 6.23 CPVAS350 kaynak makinasında sıçrantıların ortadan kaldırılması	199
Şekil 6.24 CPVAS350 kaynak makinasının arayüz yapısı.....	200
Şekil 6.25 CPVAS350 kaynak makinası	201
Şekil 6.26 OTC-Daihen CPVAS350 kaynak makinası dış boyutları	201
Şekil 6.27 Ark kaynak robotu torcu.....	203
Şekil 6.28 Fikstürle çakışma.....	203
Şekil 6.29 Çarpışmanın fark edilmesinden sonra hareket	204
Şekil 6.30 Ark kaynağı robotu tel besleyicisi.....	205
Şekil 6.31 Aşırı telin kesilmesi.....	206
Şekil 6.32 Tel kesici	207
Şekil 6.33 Torç servis merkezi	208
Şekil 6.34 Dikiş izleme sistemi	210
Şekil 6.35 Asılı öğretici (öğretim modülü).....	213
Şekil 6.36 Overlap AÇIK/KAPALI	214
Şekil 6.37 Ardışık iki pozisyonlama komutu olmadığında overlap durumu.....	215
Şekil 6.38 Giriş bekle komutu öğretildiğinde overlap durumu	215
Şekil 6.39 Pozisyonlamada hızın ayarlanması	216
Şekil 6.40 Pozisyonlamada overlap ayarı.....	216
Şekil 6.41 Linner enterpolasyonda overlap AÇIK/KAPALI durumu	217
Şekil 6.42 Lineer enterpolasyonda ardışık iki sıra durumunda overlap	218
Şekil 6.43 Lineer enterpolasyonda ardışık iki sıranın ana mekanizmaları farklı olduğunda overlap.....	218
Şekil 6.44 Lineer enterpolasyonda hız ayarı	219
Şekil 6.45 Lineer enterpolasyonda overlap ayarı	219
Şekil 6.46 Dairesel enterpolasyonun oluşturulması	220
Şekil 6.47 Dairesel enterpolasyonda hız ayarı	220

Şekil 6.48 Dairesel enterpolasyonda overlap ayarı	221
Şekil 6.49 End (sonlandırma) komutu	221
Şekil 6.50 AS/AE tipinin seçilmesi	222
Şekil 6.51 AS parametreleri.....	223
Şekil 6.52 Kaynak akımının tanımlanması.....	223
Şekil 6.53 Kaynak geriliminin tanımlanması	223
Şekil 6.54 Kaynak hızının tanımlanması.....	224
Şekil 6.55 Kaynak şartları kılavuzunun görünümü	224
Şekil 6.56 Kaynak şartlarının fonksiyon tuşlarıyla ayarlanması	224
Şekil 6.57 Kaynak hızı ve bacak uzunluğunun girildiği ekran.....	225
Şekil 6.58 Makinanın gösterdiği kaynak değerleri.....	225
Şekil 6.59 AE komutunun seçimi.....	226
Şekil 6.60 Ayrık kontrol tipi durumunda kaynak akımı, krater zamanı, akış sonrası zaman...226	
Şekil 6.61 Ortak etkili kontrol tipi güç sağlayıcısı durumu	226
Şekil 6.62 Krater akımını ayarlanması	227
Şekil 6.63 Krater geriliminin ayarlanması.....	227
Şekil 6.64 Krater zamanının ayarlanması.....	227
Şekil 6.65 Akış sonrası zamanın ayarlanması	227
Şekil 6.66 Çevrimdışı programlama arayüzü	228
Şekil 6.67 Çevrimdışı programlama akış şeması.....	229
Şekil 7.1 OTC-Daihen Almaga EX-MV6 ark kaynak robotunun çalışma hacmi	231
Şekil 7.2 Almaga EX-MV6 ark kaynak robotu	232
Şekil 7.3 OTC-Daihen EX-MV6 ark kaynak robotunun eksenleri	233
Şekil 7.5 CPVAS-350 kaynak makinesi.....	235
Şekil 7.6 Altınay ALT-RPB-250 tipi tek eksen pozisyoner	237
Şekil 7.7 OTC-Daihen EX-MV6 ark kaynak robotu hücresi	240
Şekil 7.8 Fikstür ve tek eksenli pozisyoner	240
Şekil 7.9 Torç temizleme ünitesi	241
Şekil 7.10 Kaynak edilen iş parçasının önden görünüşü	241
Şekil 7.11 Kaynak edilen iş parçasının soldan görünüşü	242
Şekil 7.12 Kaynak edilen iş parçasının üstten görünüşü	242
Şekil 7.13 Köşe kaynağı numunesi	243
Şekil 7.14 İnce malzemenin (1 no'lu) 100x büyütülmüş mikroyapısı	245
Şekil 7.15 Kalın malzemenin (2 no'lu) 500x büyütülmüş mikroyapısı	245
Şekil 7.16 İnce malzeme (1 no'lu) ve kaynak dikişi	246

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Geometrik konfigürasyon ve çalışma hacmine göre robotların sınıflandırılması .	11
Çizelge 4.1 2000 yılındaki çok amaçlı endüstriyel robotların operasyonel stoku ve yıllık kurulumları ile 2001-2004 arası tahminler. Adet olarak.....	88
Çizelge 4.2 A.B.D. endüstriyel robot fiyatları indeksi (1990=100), kalite düzenlemeli ve kalite düzenlemesiz, çalışan başına işçi tazminat indeksi ve saatlik ücretler, sosyal giderler hariç, seçilmiş branşlarda	93
Çizelge 4.3 2000’de kurulan çok amaçlı endüstriyel robotların toplam sayısı ile 5 veya daha fazla eksene sahip çok amaçlı endüstriyel robot sayısının karşılaştırılması.....	94
Çizelge 4.4 İmalat endüstrisinde 10000 kişi başına düşen robot sayısı, 2000.....	95
Çizelge 4.5 Motorlu taşıt endüstrisinde 10000 imalat işçisi başına düşen robot sayısı	95
Çizelge 4.6 2001-2002 Yılları Arasında Türkiye’deki Sanayi Robotu İthalat ve İhracat Bilgileri	96
Çizelge 4.7 Firma, uygulama ve adet bazında Türkiye’deki robotlar	97
Çizelge 5.1 MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar	118
Çizelge 5.2 Koruyucu gaz tür ve bileşiminin kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi..	119
Çizelge 5.3 DIN 8559 ve TS 5618’e göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodların kimyasal bileşimi.....	122
Çizelge 5.4 MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları.....	132
Çizelge 5.5 Nokta kaynağı için çalışma değerleri	145
Çizelge 5.6 Nokta kaynağında kullanılan başlıca elektrot malzemesi alaşımları.....	153
Çizelge 6.1 Robot Çalışma Hücresinin Elemanları	177
Çizelge 6.2 Kaynak Robot Çalışma Hücresi İçin İlave Ekipmanlar	178
Çizelge 6.4 Tek eksen çift suportlu pozisyonerin teknik özellikleri	188
Çizelge 6.5 Tek eksenli döner tablanın teknik özellikleri	189
Çizelge 6.6 İki eksenli eğimli suport pozisyonerinin teknik özellikleri	190
Çizelge 6.7 OTC EX-C serisi robot kontrolörünün özellikleri.....	195
Çizelge 6.8 CPVAS350 kaynak makinasının spesifikasyonları.....	202
Çizelge 6.9 CPVAS350 kaynak makinasının kaynak yapabildiği kaynak modları	202
Çizelge 6.10 Smartac dikiş izleme sistemi teknik verileri	211
Çizelge 7.1 Kaynak zaman etüdü	230
Çizelge 7.2 OTC-Daihen EX-MV6 ark kaynak robotunun teknik özellikleri.....	232
Çizelge 7.3 Kontrol ünitesi EX-C’nin teknik özellikleri.....	233
Çizelge 7.4 CPVAS-350 kaynak makinasının özellikleri	235
Çizelge 7.5 Pozisyonerin teknik özellikleri.....	236
Çizelge 7.6 Proje Yükümlülükleri	238
Çizelge 7.7 Malzemelerin kimyasal bileşimleri	244
Çizelge 7.8 Malzemelerin, ısı tesiri altında kalan bölgenin ve kaynak dikişinin HV10’a göre sertlik değerleri	246

ÖNSÖZ

Günümüzde hızlı nüfus artışının doğal bir sonucu olarak farklı türdeki ürünlere olan talep giderek artmaktadır. Geçtiğimiz yüzyılın yarısında otomasyona dayalı imalat sistemleri, genişleyip gelişerek optimizasyon devrine geçilmesine neden olmuşlardır. Böylece, prodüktiviteyi arttırarak yatırım masraflarını azaltan, daha fazla üretim yapmanın yanı sıra kaliteyi de yükselten ve bu arada çok daha insancıl çalışma koşulları sunan ‘robotlar’ devrinin başlamasına öncülük edilmiştir. Kaynak tekniği, robotlu otomasyona en yakın imal usulü yöntemlerinden biri olmaktadır ve bu konudaki tüm gelişmeleri yakından izlemektedir. Hazırlamış olduğum “Kaynaklı Yapımlarda Robotik Uygulamalar ve Türkiye’deki Durumu” konulu yüksek lisans tez çalışmamın, kaynak robotları ve endüstriyel robotlar hakkında bilgi birikimi oluşturmak adına bir basamak oluşturacağını düşünmekteyim.

Tezimin danışmanlığını yapan ve çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olup beni destekleyen Sayın Doç.Dr. Selahattin YUMURTACI’ya teşekkürü bir borç bilmekteyim. Yine yüksek lisans eğitimim boyunca, bilgi ve tecrübeleriyle sürekli yanımda olan Sayın Prof. Mehmet Emin YURCİ’ye şükranlarımı sunmaktayım. Bunun yanı sıra, tezimin bu hale gelmesinde ve kaynak robotlarını tanıyamamda bana ve tezime yadsınamaz katkılarda bulunan, KaleAltınay Robotik ve Otomasyon A.Ş.’den Sayın Serdar GÜVENSOY ve Ömer EREN’e, yine KaleAltınay eski çalışanlarından Gökhan Vargın GÖK ve Harun TEMİZEL’e ne kadar teşekkür etsem azdır. Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojileri Anabilim Dalı’ndaki mesai arkadaşlarıma bilgi, tecrübe, destek ve sabırlarından dolayı teşekkür etmeyi bir görev bilmekteyim.

En zor anlarımda her zaman yanımda olan, benden desteklerini esirgemeyip beni sürekli motive eden, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip aileme ve sevdiklerime de şükran ve sevgilerimi sunarım.

ÖZET

Günümüzde hızlı nüfus artışının doğal bir sonucu olarak farklı türdeki ürünlere olan talep giderek artmakta, dolayısıyla da imalat sistemlerinin sürekli gelişmesi zorunlu hale gelmektedir. Pazar koşullarının gerektirdiği rekabete dayanmak ve artan gereksinimlere yanıt verebilmek için üretimi arttırmak ancak otomasyona gitmekle gerçekleştirilebilmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında ilk olarak endüstriyel robotlarla ilgili genel bilgiler verilmiş ve robotların, tahrik ve kontrol sistemlerine göre karşılaştırmalarına değinilmiştir. Daha sonra endüstriyel robotların kullanım nedenleri ve bu kullanıma karar verilmesi sırasında gözetilmesi gereken noktalardan bahsedilmiştir. Bunun yanında, endüstriyel robotların kullanıldığı robotlu sistemler açıklanmıştır. Dünya ve Türkiye'deki endüstriyel robot kullanımına ait istatistiksel bilgiler kapsamlı şekilde vermeye çalışılmıştır.

Kaynak robotlarıyla ilgili detaylı bilgilerin verilmesinden önce, kaynak teknolojisine değinilmesi uygun görülmüştür. Bu sebeple, kaynak robotlarının en yoğun olarak kullanıldığı, nokta direnç ve ark kaynağı prosesleri irdelenmiştir. Son olarak da nokta direnç ve ark kaynağı robotları detaylı olarak incelenmiş ve örnek bir robotik ark kaynağı uygulaması sunulmuştur. Sonuç olarak robotlu kaynak uygulamalarıyla, dar tolerans limitleri içinde imalatın olanaklı hale geldiği, yapılan işin kalitesiyle birlikte üretim hızının artarak maliyetinin düştüğü görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kaynak robotları, kaynak otomasyonu, endüstriyel robotlar, robot popülasyonu, nokta direnç kaynağı, ark kaynağı.

ABSTRACT

Nowadays, as a result of rapid rise in population, there has been a growing demand for different types of products. Therefore, it has been essential for manufacturing systems to improve themselves continuously. In order to resist the challenge that market conditions require and to fulfill the increasing needs with rising manufacturing, automation must be employed.

In this study, first of all, general information about industrial robots has been given and the drive and the control system comparisons of robots have been touched on. After that, the reasons of employing industrial robots and some important points about this consideration have been mentioned. Besides this, the robotic systems that employ industrial robots have been explained. The statistical information about robot employment in the world and Turkey has been given in detail.

Before giving detailed information about welding robots, it has been decided to mention welding technology. Therefore, the spot and arc welding processes, in which the welding robots are used intensely, have been considered widely. Finally, the spot and arc welding robots have been examined thoroughly and an example of robotic arc welding application has been presented. Consequently, together with robotic welding applications, it has been seen that manufacturing becomes possible within tight limit of tolerance and the cost decreases parallel to increasing quality and manufacturing rate.

Keywords: Welding robots, welding automation, industrial robots, robot population, spot welding, arc welding.

1. GİRİŞ

Kaynak, lehimleme ve termik kesme usulleri, günümüzde bütün endüstri kollarına girmiş ve imalatın ayrılmaz bir tekniği haline gelmişlerdir. Bugün, metal işleyen endüstri kollarında kaynaksız veya lehimsiz bir imalat ve tamirat artık düşünülememektedir. Diğer taraftan son 20 yıl içerisinde kaynak teknolojisi, ülkemizde de büyük bir gelişme kaydetmiştir ve bu gelişme büyük bir ivmeyle halihazırda sürmektedir.

Günümüzde gerek hızlı nüfus artışının ve gerekse de ekonomik kalkınmanın doğal sonucu olarak ürünlere olan istem çoğalmaktadır. Öte yandan artan işçilik ücretleri ve üretim girdisinde gün geçtikçe şiddetle artan bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir yandan pazar koşullarının gerektirdiği rekabete dayanmak, öte yandan da artan gereksinimlere yanıt verebilmek için üretimi arttırmak ancak otomasyona gitmekle gerçekleştirilebilmektedir. Kaynak teknolojisi de bu gidişe paralel davranmak zorunda kalmaktadır ve bunun için de büyük çabalar harcanmaktadır.

Günümüzde verimliliği arttırmak, üretim masraflarını azaltmak, daha fazla üretim yapmanın yanı sıra kaliteyi yükseltmek ve daha insancıl çalışma koşullarını sağlamak üzere birçok endüstri kolunda hızla kullanıma giren robotlar kaynak teknolojisinde de uygulama alanı bulmuşlardır.

İlk defa 1970 yılında elektrik direnç nokta kaynağı için robotların kullanımından sonra ilk gazaltı kaynak robotlarının kullanımına kadar yaklaşık 10 yıl beklemek gerekmiştir. Bunun nedeni robotlardan beklenen yüksek hassasiyetin, kullanılan hidrolik tahrik ile elde edilememiş olmasıdır. Araştırmacıların tamamen elektrik tahrikli robotları geliştirmeleri üzerine, ark kaynak yöntemleri de robotlar tarafından yapılabilir hale gelmiştir.

Ark kaynak yöntemleri içinde, kaynak işleminin sürekli olarak gerçekleştirildiği MIG-MAG ve TIG gazaltı kaynak yöntemleri, endüstriyel robotlar tarafından çok iyi uygulanabilmektedir. Bu kaynak yöntemleri günümüzde, kaynakçılar tarafından yarı-otomatik olarak rahatlıkla yapılan yöntemler olmaktadır ve ancak kaynakçılar çoğu kez sıcak, konforsuz ve bazen de oldukça tehlikeli çalışma koşullarında işlemi gerçekleştirmek zorunda kalmaktadırlar. Daha önceden de belirtildiği gibi, bu kötü koşullar, robotların ön plana çıkmasına ve artan oranda kullanıma girmesine etki eden faktörler olmaktadır.

2. ROBOT TEKNOLOJİSİ

Robotik, makina takım teknolojisi ve bilgisayar biliminin kombinasyonu olan uygulamalı bir mühendislik bilimidir. Bu, makina dizaynı, kontrol teorisi, mikroelektronik, bilgisayar programlama, yapay zeka, insan faktörleri ve üretim teorisi gibi değişik alanları kapsamaktadır (Groover, 1986).

Robot kelimesi, endüstriyel otomasyonun halk gözündeki anlamını özetlemektedir. Bu anlam kısmen doğrudur: (1) Endüstriyel robotlar tüm otomasyonun sadece bir parçasını oluşturmaktadır ve (2) Endüstriyel robot halk gözünde çok yüceltilmiştir. Kusurlarına rağmen halkın yoğun ilgisi ve endüstriyel otomasyonun itici gücü olması nedeniyle fabrikalarda yüksek oranda kullanılmalarını sağlamıştır.

Robotlar ilk olarak, 9 Ekim 1922'de New York'da R.U.R. isimli tiyatro oyununda belirmiştir. Yaratıcısı Çekoslovak drama yazarı Karel Capek'tir ve robot kelimesi Çekçe 'iş' anlamına gelen *robota* kelimesinden türetilmiştir (Asfahl, 1985).

Endüstriyel robotun tanımlanması, endüstriyel robotlar ve robotikteki çalışmalarda zorunlu ilk adım olmaktadır. Gözden geçirme için bazı resmi tanımlamalar verilmiştir (Mair, 1988).

JIRA (Japan Industrial Robot Association) tarafından benimsenen tanımlama

Bu tanımlama, kullanımdaki tüm tanımlamaların hepsinden daha geniş olduğundan ilgi çekicidir. Tüm hareket ettirici aygıtları içermektedir ve "manipülatör" ile tanımlamanın başlangıcı olarak kabul edilmektedir.

Manipülatör: Genellikle birkaç serbestlik derecesinde nesnelere tutmak ve hareket ettirmek için, eklemlili veya birbirine göre rölatif kayma hareketi yapan parça dizilerinden oluşan mekanizmadır. Operatör, programlanabilir elektronik kontrolör veya herhangi bir mantık sistemi (örneğin: kamera aygıtı (cam device) vb.) tarafından kontrol edilebilmektedir.

Açıklama, imalat ortamı için manipülatörün "robot" anlamına geleceğini belirtmektedir.

Bu, dünya çapında kullanımdaki robot sayısının istatistiksel karşılaştırmaları yapılmak istendiğinde, problemler oluşturabilmektedir. Bunun nedeni Japonya'daki tanımlamanın çok geniş olması ve bazı makinaların robot olarak sınıflandırılmalarına karşın daha katı kriterler yüzünden diğer ülkelerde bunların hariç tutulmasıdır.

Bu yüzden bu Japon tanımlaması kullanılarak, radyo sinyalleri aracılığıyla veya kablo aracılığıyla sinyallerin iletildiği, insan tarafından yönlendirilen uzaktan kumandalı bir aygıt,

robot olarak sınıflandırılacaktır. Bunun gibi, sabit operasyon sıralarını gerçekleştiren ve montaj hattında kullanılan CAM ile işletilen otomasyon ekipmanı da robot sayılacaktır. Bunların her ikisi de bu kitapta robot olarak tanımlanmayacaktır. Bunlardan ilki sürekli insan denetimi gerektiren “tele-operatör” ve ikincisi de belirli özel bir işi gerçekleştirmek için adanmış “katı otomasyonun (hard automation)” bir parçası olarak sınıflandırılacaktır. Bundan dolayı bizim amaçlarımız için Japon tanımlaması çok genel olmaktadır (Mair, 1988).

AFRI (Association Française de Robotique Industrielle) tarafından benimsenen tanımlama

Japonlarınkine benzer bir şekilde başlangıçta tüm manipülatörler dahil edilmektedir. Örneğin bunlar, manuel taşıma aygıtları, otomatik taşıma aygıtları ve robotlardır. Aslında bu tanımlamada, robotların, servo kontrollü olmaları gerektiği belirtilerek, otomatik taşıma aygıtlarından ayrıldıkları görülmektedir. Daha sonra üç alt kategoriye ayrılmaktadırlar: (1) programlanabilir servolu robotlar, (2) ikinci nesil robotlar, ve (3) üçüncü nesil robotlar. Bu kategorilerin herbiri karmaşıklık derecesinin arttığını belirtir ve daha uygun bir zamanda incelenecektir (Mair, 1988).

RIA (USA Robotic Industries Association) tarafından benimsenen tanımlama

Robot, çeşitli görevlerin gerçekleştirilmesi için değişken programlanmış hareketler aracılığıyla özel aygıtların, takımların, parçaların ve malzemelerin hareket ettirilmesi için tasarlanmış, çok fonksiyonlu, yeniden programlanabilir bir manipülatördür (Mair, 1988).

BRA (British Robot Association)

Endüstriyel robot, belirli imalat görevlerinin gerçekleştirilmesi için çeşitli programlanmış hareketler aracılığıyla parçalar, takımlar veya özel imalat araçlarının hem taşınması hem de işletilmesi için tasarlanmış yeniden programlanabilir bir aygıttır.

Son iki tanımlama birbirine çok benzerdir ve çok kesin olarak robotların yeniden programlanabilir manipülatörler olduklarını belirtmektedir. Bundan dolayı robot, önceden verilmiş talimatlara göre kendi kendine çalışabilme yeteneğine sahip olmasının yanında bu talimatların kolayca değiştirilebilmesine izin vermelidir. Bu, daha sonraki bir tarihte değiştirilebilecek depolanan talimatlar için bir tesis sağlanması gerektiğine işaret etmektedir. Bu tesisin karmaşıklığı, en ilkel servo kontrollü olmayan robotlarda kullanılan temel mekanik durduruculardan, bilgisayar kontrollü robotlarda kullanılan gelişmiş elektronik hafızalara kadar büyük bir değişkenlik gösterebilmektedir. Özet olarak, endüstriyel robot, komponentler, malzemeler veya takımların işletilmesi için kullanılan yeniden programlanabilir aygıtlar

olarak düşünölebilmektedir. Robotların programlanması için kullanılan metodlar ve işletilmenin hangi yollarla gerçekleştirildiği robotlar arasında büyük değişiklik göstermektedir fakat “yeniden programlanabilir manipölasyon” ifadesi sabit kalmaktadır (Mair, 1988).

Mikell Groover tarafından ise robotun genel bir tanımı yapılmıştır.

Endüstriyel robot, kesin antropomorfik karakteristiklere sahip olan genel amaçlı, programlanabilir makinadır.

Groover’ın tanımı robot konseptini manipölatorlerle sınırlandırmamakta aksine muhakeme, düşünme ve görme gibi diğer antropomorfik (insan benzeri) karakteristiklerin bulunma ihtimalini de açık bırakmaktadır (Asfahl, 1985).

Sanayi robotunun en kapsamlı tanımı ve robot tiplerinin sınıflandırması ISO 8373 standardında belirlenmiştir. Bu standarda göre bir robot şöyle tanımlanmaktadır:

“Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, sabit veya hareketli olabilen, üç veya daha fazla programlanabilir eksene sahip, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir çok amaçlı manipölatördür.” (World 2001 Robotics, 2001).

Tanımdaki terimlerin detaylı olarak açıklamaları aşağıdaki gibidir:

Yeniden programlanabilir: Fiziksel değişiklikler olmadan programlanmış hareketleri veya yardımcı fonksiyonları değiştirilebilen.

Cok amaçlı: Fiziksel değişikliklerle farklı bir uygulamaya adapte edilebilme yeteneği.

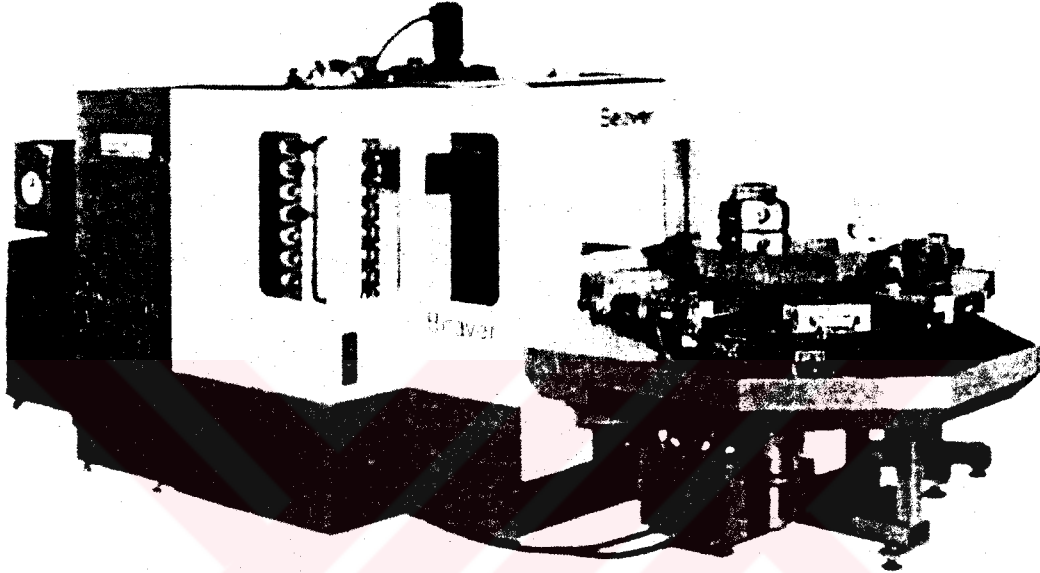
Fiziksel değişiklikler: Programlama kasetleri, ROM’lar vb. gibi değişiklikler hariç mekanik yapının veya kontrol sisteminin değiştirilmesi.

Eksen: Lineer veya dönel (rotasyonel) modda robot hareketini belirtmek için kullanılan yön (World 2001 Robotics, 2001).

Robot Karakteristikleri Gösteren Bazı Aygıtlar

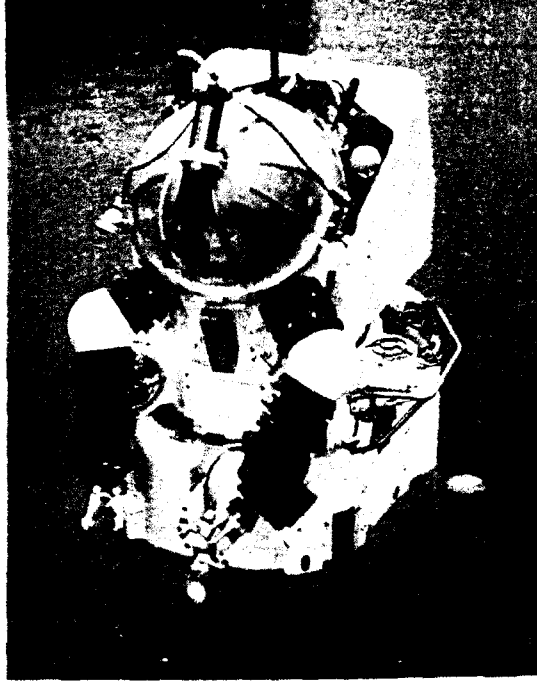
Şekil 2.1’de gösterilen bilgisayarlı nümerik kontrol (CNC) tezgahına robot denemez çünkü manipölasyon yapmamaktadır; sadece malzemeyi kesmektedir. Fonksiyonu, kesici takım ile parçadan malzemenin uzaklaştırılmasıdır. Bununla birlikte, talaşlı işleme fonksiyonlarını kontrol etmek için adanmış kendi bilgisayarına sahip olduğundan yeniden programlanabilir bir aygıttır. Kontrol paneli aracılığıyla bilgisayara komutlar yüklenerek, öğretim işlemi gerçekleştirilmiş olur. Böylece tezgah, yeni bir iş gelene ve yeni bir program gerekene kadar

görevini sürekli bir şekilde gerçekleştirecektir. Her komut seti veya program, depolama medyasında tutulabilmektedir ve gerektiğinde yeniden yüklenebilmektedir. Şekil 2.1’de gösterilen CNC işleme merkezi, çeşitli kesme işlemlerini gerçekleştirebilme yeteneğine sahiptir. Bu, tornalar ve frezeler gibi mevcut birçok CNC makinası tiplerine bir örnek olmaktadır. Programlanabilir örgü makinaları ve çizim ekipmanı gibi metal kesme için kullanılmayan diğer yeniden programlanabilir makinalar da mevcut bulunmaktadır.

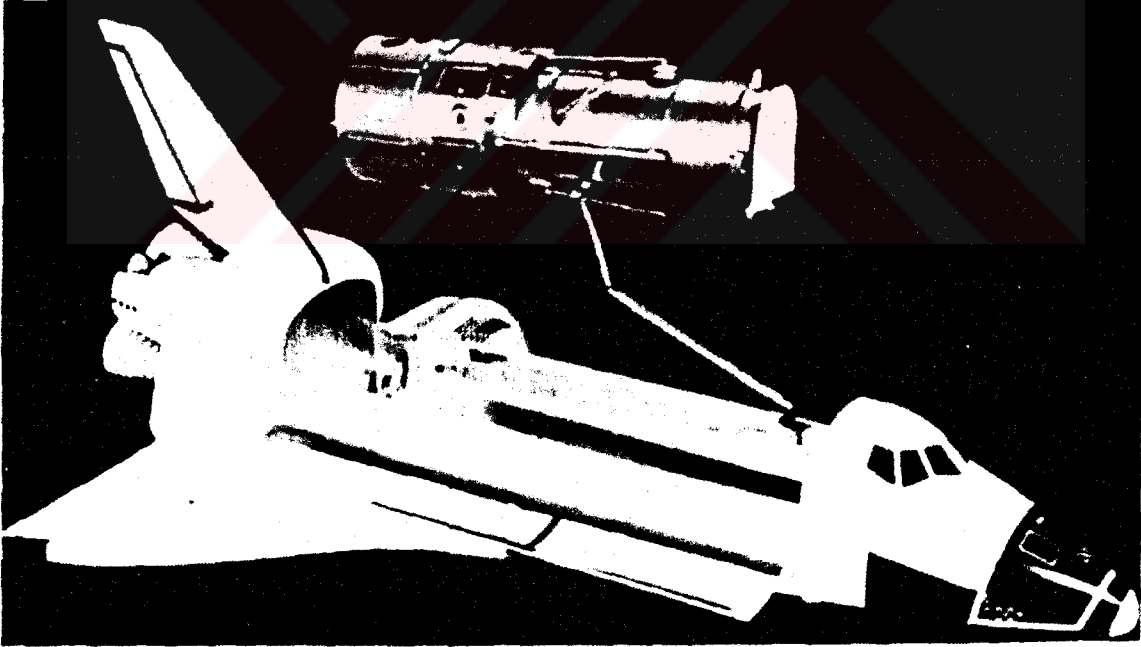


Şekil 2.1 CNC işleme merkezi (Mair, 1988)

Şekil 2.2 ve 2.3’te gösterilen diğer iki aygıt “tele-operatör” dür. Teleoperatörler insana yardım etmek üzere çalışmaktadırlar ve sadece operatörden sürekli olarak gelen komutlara cevap vermektedirler. Şekil 2.2, dekompresyon problemleri olmadan düşük derinliklerde dalgıç çalışmasına izin veren ‘Örümcek’ dalgıç takımını göstermektedir. Dalgıç takımının kollarının ucundaki end efektörler hidrolik tahriklidir ve bunlar direkt olarak dalgıç tarafından kullanılmaktadırlar ve otomatik bir hareket meydana gelmemektedir. Bu, operatörü tamamen saran dış iskelet (exoskeletal) yapıdır ve operatörün uzuvları tarafından gönderilen sinyallere cevap vermektedir. Şekil 2.3’te gösterilen uzaktan kumandalı manipülatör, Uzay Mekiği tarafından yörüngeye nesnelerin bırakılması ve buradan alınması için kullanılmaktadır. Mekiğin içindeki astronotlar tarafından idare edildiğinden gerçek bir robot olmamaktadır. Dalgıç takımını kullananın sesine veya kaslardan gelen uyarılara cevap veren yapay uzuvlar gibi prostetik (prosthetic) aygıtlar da yine robotik olmayan aygıtlardır fakat görünüş veya konstrüksiyon olarak robotik kollara çok benzerdirler.



Şekil 2.2 'Örümcek' dalgıç takımı (Mair, 1988)



Şekil 2.3 Uzay mekiği uzaktan kumandalı manipülatörü (Mair, 1988)

Örneğin teleoperatörler veya uzaktan kontrol edilen taşıtlar gerektiren sualtı keşfinde gelecekte robotların kullanımı artacaktır. Bu, insanlar için tehlikeli çalışma şartlarından, sinyal yayılım gecikmesinde karşılaşılan problemlere, gürültüye bağlı sinyal bozulmasına ve

kabloya iliştirmeden dolayı meydana gelen kısıtlamalara kadar geniş bir yelpazedeki çeşitli nedenlerden dolayı olmaktadır (Mair, 1988).

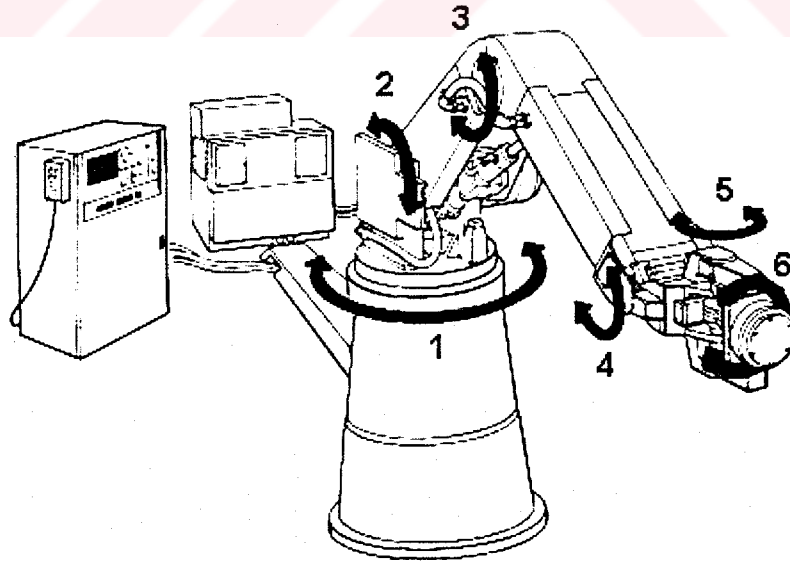
2.1 Robot Geometrisi

Endüstri, robotun hareket edebileceği yönlerin sayısını tanımlamak için "serbestlik derecesi" terimini kabul etmiştir. Bu hareketlerin formu ve birleştirildikleri yön robotun konfigürasyonunu oluşturmaktadır.

2.1.1 Serbestlik Derecesi

Tutucu veya takım hariç, robot parçasındaki hareketi endükleyen tahrik formunun bulunduğu her mekanik noktaya serbestlik derecesi denmektedir (Asfahl, 1985). Tipik bir endüstriyel robotta 4 ila 6 serbestlik derecesi bulunmaktadır (Groover, 1986). Şekil 2.4, 6 serbestlik dereceli bir robotu göstermektedir.

- 1- Temel dönme hareketi (Base rotation)
- 2- Omuz bükülmesi (Shoulder flex)
- 3- Dirsek bükülmesi (Elbow flex)
- 4- Bileğin yukarı aşağı hareketi (Wrist pitch)
- 5- Bileğin sağa sola hareketi (Wrist yaw)
- 6- Bileğin dönme hareketi (Wrist roll)



Şekil 2.4 6 serbestlik dereceli endüstriyel robot (Asfahl, 1985)

İstisnalar dışında çoğu robotta serbestlik derecesi seri şeklindedir. Bundan dolayı Şekil

2.4'deki robotun ilk serbestlik derecesi olan temel dönme hareketi, robotun diğer serbestlik derecelerinden etkilenen robotun diğer parçalarına hareketi iletmektedir. Buna zıt olarak örneğin üçüncü serbestlik derecesinin (dirsek bükülmesi hareketi) temel dönme hareketi üzerinde hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Tüm robottaki en karışık hareket en yüksek serbestlik dereceli kısımda olmalıdır. Genel olarak, en çok serbestlik derecesine sahip olan robot en karmaşık hareketi yapabilmektedir fakat serbestlik derecesi dahilindeki hareketin kalitesi ve menzili gibi diğer önemli faktörler de düşünülmelidir (Asfahl, 1985).

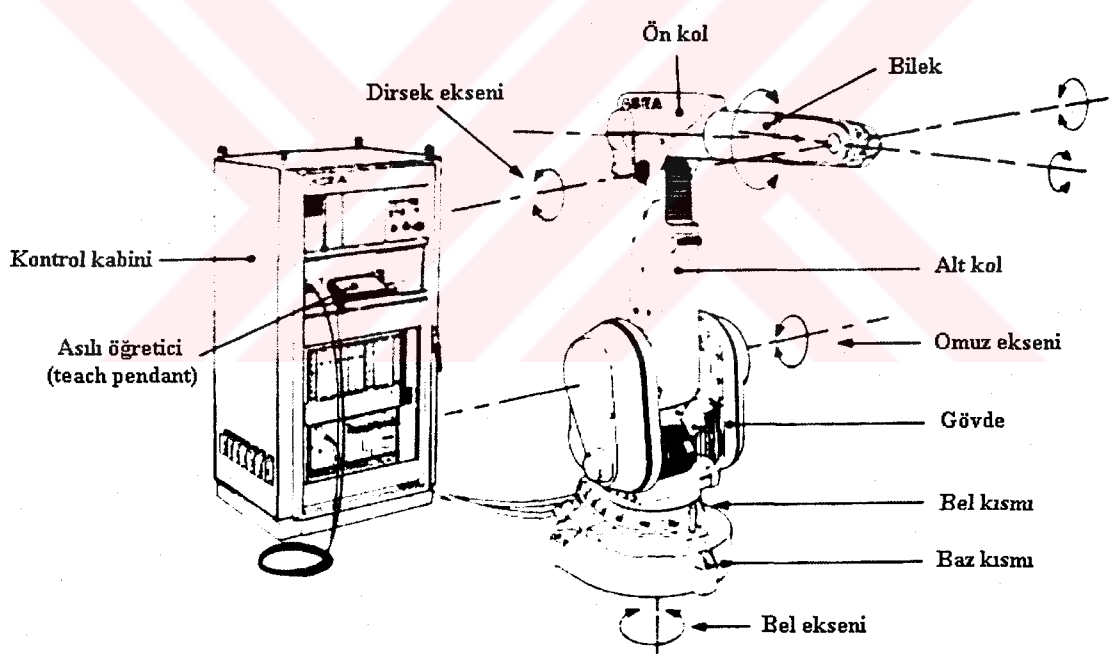
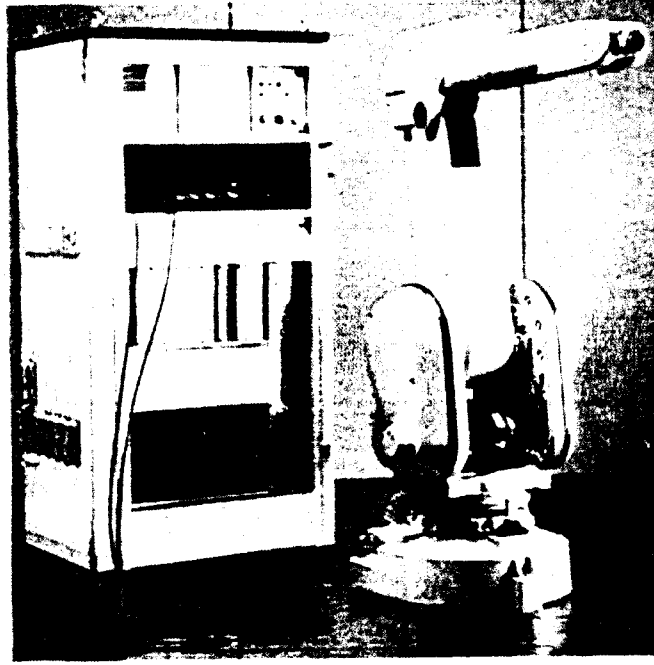
2.1.2 Endüstriyel Robotun Elemanları

Şekil 2.5'de gösterilen robot ASEA IRB 2000 endüstriyel robotudur ve ticari olarak mevcut çeşitli robot tasarımlarının bir örneğidir. Bu tip bir robot birçok görevi gerçekleştirmek için kullanılabilir ve temel elemanların birçoğunu göstermektedir.

a) Kol

Bu, fiziksel işi gerçekleştiren aktif manipülatördür, şeklin sağında görülmektedir. Bu konfigürasyonda kol, sabit (yere monteli) bir baz (temel), onun üzerinde de robotun dikey eksen etrafında dönmesini sağlayan ve robotun gövdesine bağlı olan bel (waist) kısmından oluşmaktadır. Gövdenin üstünde üst kola bağlanan diğer bir eklem vardır. Bu yatay omuz, kola ikinci serbestlik derecesini sağlayarak uzayda yarı küresel bir hacmi taramasına izin vermektedir. Üst kolun (lower arm) ucunda, ön kola (forearm) bağlanan yatay bir eklem vardır. Bu, kolun yarı küresel çalışma hacminde çalışmasına izin veren diğer bir serbestlik derecesi meydana getirmektedir. Bu robot, kolun "bilek" hareketlerini oluşturan üç eksene daha sahiptir. Bu eklemlerden birinin eksenini ön kolun merkez çizgisi boyunca uzanmaktadır. Diğer iki eksen kolun uç kısmında bulunmaktadır. Bu robot sahip olduğu altı eksen ile sıklıkla end efektör denilen tutucu veya takımı uzayda herhangi bir noktaya herhangi bir oryantasyonda konumlayabilme yeteneğine sahiptir.

Robota güç vermek için tahrik sistemi gerekmektedir. ASE IRB 2000 robot, ana hareket ettirici olarak fırçasız AC servo motorla elektriksel güç kullanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan diğer iki tahrik sistemi, akışkan güç sistemleri olan hidrolik ve pnömatik sistemlerdir. Elektrik robotlarında motorlardan gelen tork, istenen noktaya dişliler, rodlar, vidalar, kasnaklar veya kayışlar aracılığıyla iletilmektedir. Çok az robotta motorlar eklemlere koaksiyel olarak bağlanmıştır bu da bağlantı kısımlarının kullanılmasını gereksiz kılmaktadır (Mair, 1988).



Şekil 2.5 ASEA IRB 2000 endüstriyel robot (Mair, 1988)

Robot çok basit bir tip olmadıkça, zamanda herhangi bir noktada end efektörün hareket yönüne, hızına ve konumuna ait geri besleme bilgisinin daha gelişmiş komponentlerle sağlanması gerekli olacaktır. Bunlar, enkoderler, rezolverler (çözücüler), takometreler vb. şekilde olabilmektedir. Eğer robot, akışkan güçlü bir makina ise servo valfler gibi kontrol aygıtlarına da ihtiyaç duyulacaktır.

Tahrik, iletim, kontrol ve geri besleme için olan tüm bu komponentler kolun ağırlığını artırmaktadır bundan dolayı kolun ağırlığının minimumda tutulması zorunludur. Bunlara destek olan kol iskeleti (framework) de mümkün olduğu kadar hafif olmalıdır ve buna rağmen doğru bir kontrol için yeterli rijitliğe sahip olmalıdır (Mair, 1988).

b) Kontroller

Resmin sol tarafındakiler incelenecek olursa iki ana eleman görülmektedir: klavyeli asılı öğretici (teach pendant) ve kontrol kabini. Bunlar kontrol fonksiyonlarıyla ilişkilidir. Kabin, bilgisayar ve bilginin robot koluna ve insan operatöre arayüzlenmesini sağlayan elemanları içermektedir. Asılı öğretici operatör tarafından elde tutulmaktadır ve robotun belirli özel bir görevi gerçekleştirmesi için robota adım adım komutların iletilmesini sağlamaktadır. Monitörlü bilgisayar terminali ise operatör ve robot arasındaki iki-yönlü iletişime izin vermektedir; ayrıca karmaşık programların hazırlanması için faydalı olmaktadır ve çevrimdışı (off-line) programlama için gerekli bulunmaktadır (Mair, 1988).

2.2 Geometrik Konfigürasyon Ve Çalışma Hacmi

Robot kolları, dönel veya lineer eklemlerde birbirleriyle ilişkili olarak hareket eden elemanlardan veya linklerden oluşmaktadır. Bu eklemlerin kombinasyonu ve düzeni, robotun “geometrik konfigürasyonu” nu tanımlamaktadır. Teorik olarak çok çeşitli sayıda konfigürasyon mümkün olmasına rağmen pratikte robot tasarımcıları kendilerini daha az sayıda permütasyonla sınırlandırmışlardır.

Robot kolunun maksimum ve minimum ulaşabildiği noktalarda, robot kolu tarafından süpürülen sanal yüzeyler dahilinde oluşturulan uzay hacmine “çalışma hacmi” denmektedir. (Mair, 1988) Robot bileğine eklenen değişik boyutlardaki end efektörlerin karışıklığını önlemek için, robotun çalışma hacminin belirlenmesi amacıyla, bilek sonunun kullanımı gelenek olmuştur. End efektör, temel robota bir ektir ve robotun çalışma hacminin bir parçası olarak görülmemelidir. Küçük end efektöre oranla, bileğe uzun bir end efektör takılmasıyla robotun uzaması önemli ölçüde artacaktır (Groover, 1986).

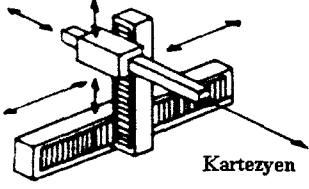
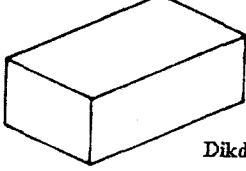
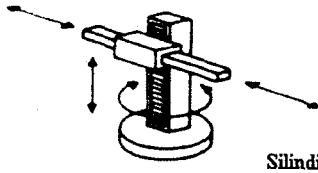
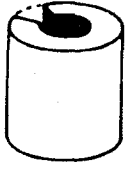
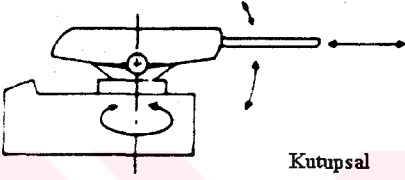
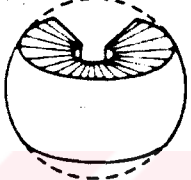
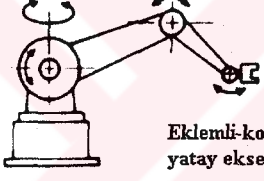
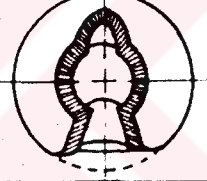
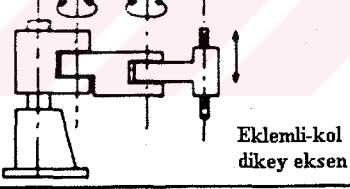
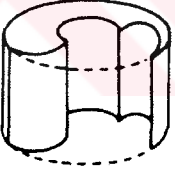
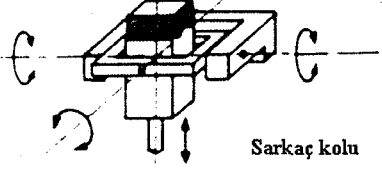

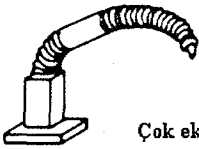
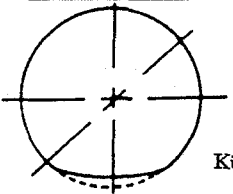
Çalışma hacmi, robotun şu fiziksel karakteristikleri ile belirlenmektedir:

Robotun fiziksel konfigürasyonu

Gövde, kol ve bilek komponentlerinin boyutları

Robotun eklem hareketlerinin limitleri

Çizelge 2.1 Geometrik konfigürasyon ve çalışma hacmine göre robotların sınıflandırılması (Mair, 1988)

Konfigürasyon	Çalışma hacmi
 <p>Kartezyen</p>	 <p>Dikdörtgensel</p>
 <p>Silindirik</p>	 <p>Silindirik</p>
 <p>Kutupsal</p>	 <p>Küresel</p>
 <p>Eklemlî-kol yatay eksen</p>	 <p>Küresel</p>
 <p>Eklemlî-kol dikey eksen</p>	 <p>Silindirik</p>
 <p>Sarkaç kolu</p>	 <p>Kısmî küresel</p>
 <p>Çok eklemlî kol</p>	 <p>Küresel</p>

Çalışma hacminin şekli “çalışma alanı” olmaktadır ve konfigürasyon ile birlikte, robotun fiziksel görünümünü sınıflandırmaktadır. Ticari olarak mevcut yedi konfigürasyon bulunmaktadır ve bunlar birçok üreticinin değişik modellerinden biraz değişik şekillerde elde

edilebilmektedir. Bu konfigürasyonlar ve bunlarla ilgili çalışma alanları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Çizimlerde görüldüğü gibi maksimum teorik çalışma alanı, fiziksel konfigürasyon ve robotun sınırlamalarına bağlı olarak kısıtlanmaktadır. Her robot, kolunun ucunda iki veya üç eksen ile bir nokta etrafında takımı konumlandırır ve aynı zamanda oryante eden bileğe sahip olmaktadır (Mair, 1988).

2.2.1 Geometrik Konfigürasyonlar

a) Kartezyen

Bu konfigürasyon dikdörtgen bir çalışma alanı sağlamaktadır. Kolun üç ana eksenini doğrusaldır ve kontrolü göreceli kolay hareketler sağlamaktadır. Kolun end efektörünü x,y,z koordinatları tarafından tanımlanan üç boyutlu uzayda bir noktaya hareket ettirmek için kolun her eksenini uygun x,y,z mesafesine hareket ettirilmelidir. Bundan dolayı sadece bir yöndeki hareket sadece bir eksenindeki hareketi gerektirmektedir ve end efektörün oryantasyonu değiştirilmemektedir (Mair, 1988).



Şekil 2.6 Büyük bir kartezyen robot (Asfahl, 1985)

Bu konfigürasyonun iki çeşidi yaygındır: dikdörtgen iskelet yapı içinde kolun gantry

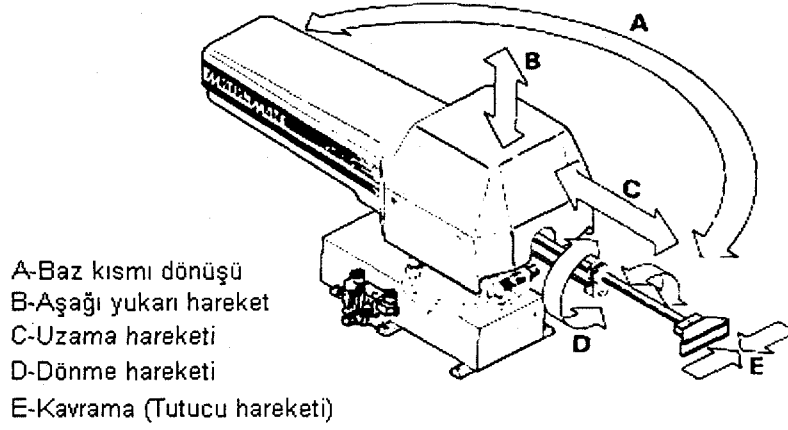
hareketle uzaklaştırıldığı gantry tip robot, tezgah boyunca veya baz kısmı ve bir eksenini yere monteli kaydırma yoluna (slideway) sahip kol. Doğrusal eksenin uzatılabilmesindeki kolaylıkla bu robotlar geniş çalışma alanına sahip olabilmektedir bununla birlikte çalışma alanının suport alanına oranı düşük olmaktadır. Örneğin, tanım olarak, gantry tip robot suportları tarafından işgal edilen yer alanından daha az çalışma alanına sahip olmalıdır.

Kartezyen robotlar genellikle montaj için kullanılmaktadırlar; daha büyük tipleri ise istifleme ve takım tezgahı yüklemesi için kullanılmaktadır. En basit formları enjeksiyon kalıplama makinasına hizmet için kullanılmaktadır. Bazı büyük karmaşık örnekler, dikiş kaynağı için entegre servo kontrollü döner tabla fikstürlü gantry formda kullanılmaktadırlar (Mair, 1988).

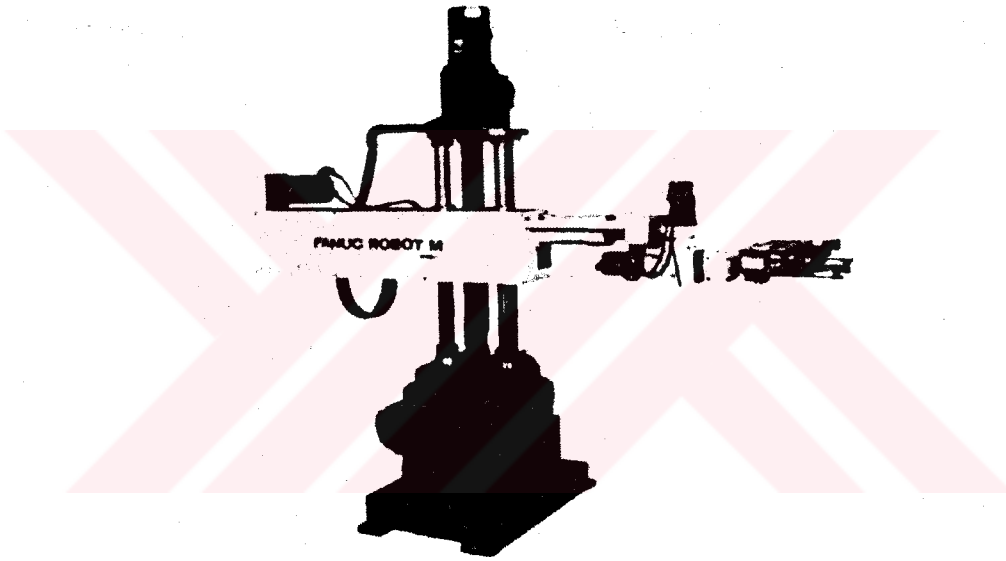
b) Silindirik

Bu robotlar, bir baz kısmında dönebilen merkezi sütun formuna sahiptirler. Kolun üzerine monte edilmiş ve dikey olarak ve yatay olarak içe ve dışa doğru hareket edebilen sütun bulunur böylece silindirik çalışma hacmi meydana gelmektedir. Yukarı aşağı ve içeri-dışarı hareketler her durumda sadece bir eksenin kontrolünü gerektirmektedir. Benzer şekilde merkezi dikey eksen etrafındaki rotasyonel hareket de sadece bir eksenin hareketini gerektirmektedir. Bununla birlikte, soldan sağa düz çizgi şeklinde bir hareket gerektiğinde rotasyonel ve içeri-dışarı eksenlerin koordinasyonu gerekli olmaktadır. End efektör üzerindeki takımın sabit bir oryantasyonu istendiğinde ise üçüncü bilek ekseninin kontrolü gerekli olmaktadır. Bu yüzden düz çizgi hareketine izin vermek için kontrol sisteminin her eksen hareketini hesaplayabilme yeteneğine sahip olması gerekmektedir. İstenen noktaların terminal klavyesinden, kontrolöre dikdörtgensel koordinatlar şeklinde girilmesi isteniyorsa, uygun eklem hareketlerini gerçekleştirebilmek için robot işlemcisinin matematiksel dönüşümleri gerçekleştirebilme yeteneğine sahip olması gerekmektedir.

Bir iş parçasının veya takımın dik ve düz bir hat boyunca kaldırılması silindirik konfigürasyona sahip robotlar için kolay olmaktadır. Kutupsal veya mafsallı konfigürasyona sahip robotlarda hareket üç eksenin hareketi ile gerçekleştirilebilirken silindirik robotlarda bunun için bir eksen yeterli olmaktadır (Asfahl, 1985). Silindirik robotlar güçlüdür ve iyi bir çalışma alanı fabrika alanı oranına sahiptirler. Uzun erişim imkanları bunları takım tezgahı yükleme/boşaltması ve istifleme için uygun yapmaktadır. Bunlar için özellikle etkin bir çalışma düzeni, dairesel yerleştirilmiş takım tezgahı ve konveyör sisteminin merkezine yerleştirmektir. Bir robot geliş konveyöründen işi alıp, bir makinadan başkasına transfer edebilmekte ve daha sonra çıkış konveyörüne bırakabilmektedirler (Mair, 1988).



Şekil 2.7 Silindirik konfigürasyonlara sahip bir endüstriyel robot (Asfahl, 1985)

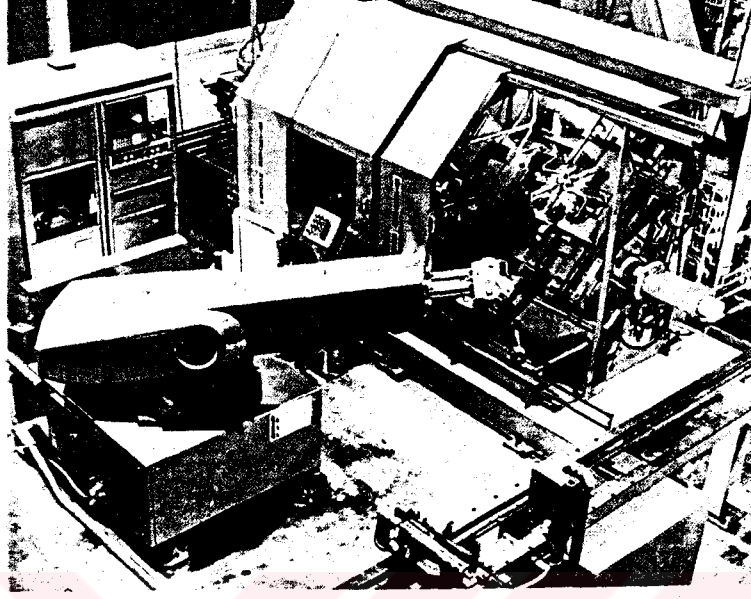


Şekil 2.8 Elektrikli AC servo motorlar tarafından tahrik edilen silindirik koordinatlara sahip FANUC M-model 1 robot (Mair, 1988)

c) Kutupsal

Diğer bir adı küresel olan bu en eski konfigürasyon tipi, bu şekilde tasarlanan çok az yeni robot olmasına rağmen, halen geniş bir biçimde kullanılmaktadır. Unimation firmasının imal ettiği ilk Unimate robotlar bu 'taret' formuna sahiplerdi (Mair, 1988). Kutupsal veya küresel konfigürasyon, eklemli (mafsallı) konfigürasyondan çok değişik görünmesine rağmen aslında sadece üçüncü ekseninde farklıdır. Dirsek yerinde, kutupsal konfigürasyon robotu, kol için uzama sağlayan pnömatik veya hidrolik silindire sahiptir (Asfahl, 1985). Güçlü olmalarına rağmen bu robotlar, eklemli-kol robotların esnekliğine sahip değildir ve düz çizgi

hareketler veya çevrim dışı kontrol gerektiğinde karmaşık kontrole ihtiyaç duymaktadırlar. Çalışma hacimleri kısmi küreseldir ve nokta direnç kaynağı, istifleme ve ağır yüklerin hareket ettirilmesi için kullanılmaktadırlar (Mair, 1988).

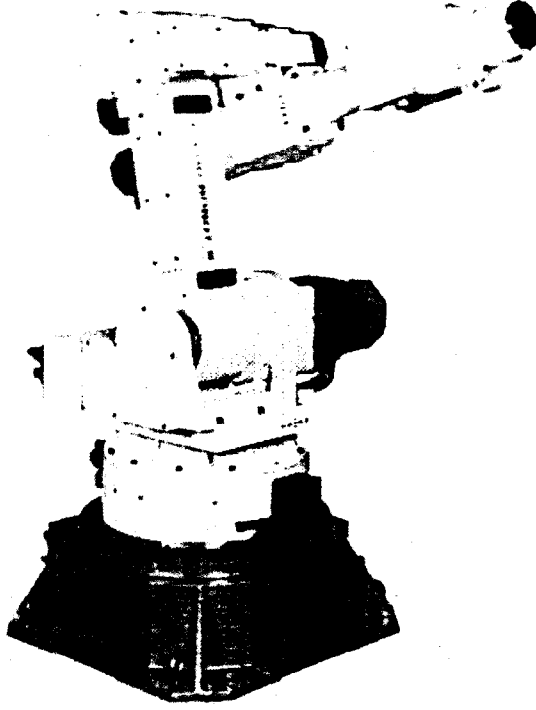


Şekil 2.9 Kutupsal konfigürasyona sahip endüstriyel robot (Asfahl, 1985)

d) Eklemlili kol yatay eksen

Bazen “eklemlili kol küresel” veya insan benzeri (anthropomorphic) de denmektedir. Normal olarak, dönel yatay omuz ve dirsek eklemleri ile birbirine bağlanan iki kollu dönel dikey bele (waist) sahiptirler. Bu tip insan el konfigürasyonuna en çok benzeyendir ve üç serbestlik dereceli end efektör ile çok çeşitli görevlerde kullanılabilirler. Diğer iki ana eksenin hareketleriyle birleştirilen baz kısmının dönme hareketi, içi oyuk küresel çalışma hacmi oluşturmaktadır. Robotun baz kısmı, kol tarafından kapsanan çalışma hacmine oranla çok küçük alan kaplamaktadır. Herhangi bir yöndeki düz çizgi hareketi tüm eksen hareketlerinin koordinasyonunu gerektirmektedir bundan dolayı bu tip, ayrıca karmaşık kontrol programlarını gerektirmektedir.

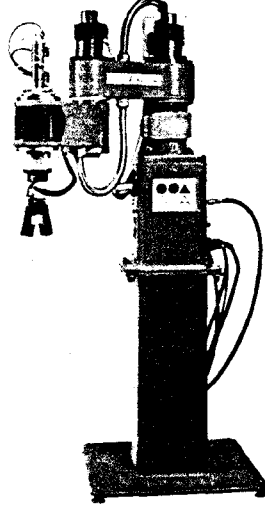
Komponentleri almak için kutuların içine erişmeye uygun olmalarının yanında istifleme için yükleri yüksek seviyelere çıkartmaya da uygundur. Çok yönlülükleri, sprey boyama, ark ve nokta direnç kaynağı, yapışkan uygulaması, montaj ve ağır malzeme taşınması gibi çok farklı amaçlarla kullanılabilirlerine izin vermektedir (Mair, 1988).



Şekil 2.10 AC servo motorlar tarafından tahrik edilen eklemli-kol yatay eksenli FANUC S-model 500 robot (Mair, 1988)

e) Eklemli kol dikey eksen

Bu tipin en yaygın örneği, montaj için olan SCARA (Seçimli Uyumluluk Montaj Robot Kolu) tasarımıdır. Bu yapı, nesnelere dikey yönde monte edilmeye çalışıldığında yatay düzlemde belli bir miktar uyumluluğa (hareket) izin vermektedir. Bu özellikle, komponentlerden birinin üzerinde uygun bir yiv (chamfer) varsa, kolun gerekli tamlığı azaltılırken bir komponent diğerine yerleştirildiğinde önemli olmaktadır. Normal olarak sadece hafif işler için kullanılan montaj robotları, genellikle basit yapıya sahiptirler ve normal olarak her ekseninde servo kontrol gerektirmemektedirler. Ağır iş yüklerinin olduğu dövme atölyesi, dökümhane gibi yerlerde de kullanılabilirler. Bu robotların hepsinde kısmi silindirik çalışma hacmi elde edilmektedir (Mair, 1988).



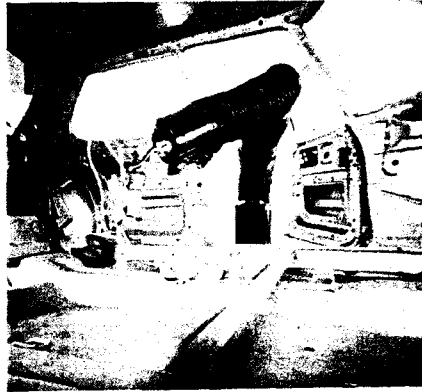
Şekil 2.11 Dikey eksen yatay eklemli robot (Asfahl, 1985)

f) Sarkaç kolu (pendulum arm)

ASEA tarafından montaj işi için özel olarak tasarlanan bu konfigürasyon ayrıca gantry tip kaynak robotları için de kullanılmaktadır. Bu, yüksek ivmelenme ve yüksek hız hareketi için uygun düşük eylemsizlik yapısı sağlamaktadır. Çalışma hacmi kısmi küresel olmaktadır (Mair, 1988).

g) Çok yönlü eklemli kol

Bu konfigürasyon mükemmel esneklik sağlamaktadır ve birçok uygulama için kullanılabilir ve özellikle spreylere boyama, nokta direnç kaynağı ve dikiş kaynağı için tasarlanmıştır. Daha geleneksel yapıya sahip robotlarla ulaşılması zor alanlardaki operasyonlar gerçekleştirilebilmektedir (Mair, 1988).



Şekil 2.12 Çok eklemli fil hortumu tipi robot (Asfahl, 1985)

Bu tip konfigürasyonun diğer formlarından biri muayene ve bakım amacıyla nükleer reaktöre erişmek için tasarlanmıştır. Bu robotların çalışma hacmi, düz tabanlı ve içi oyuk hemen hemen bütün küre olmaktadır (Mair, 1988).

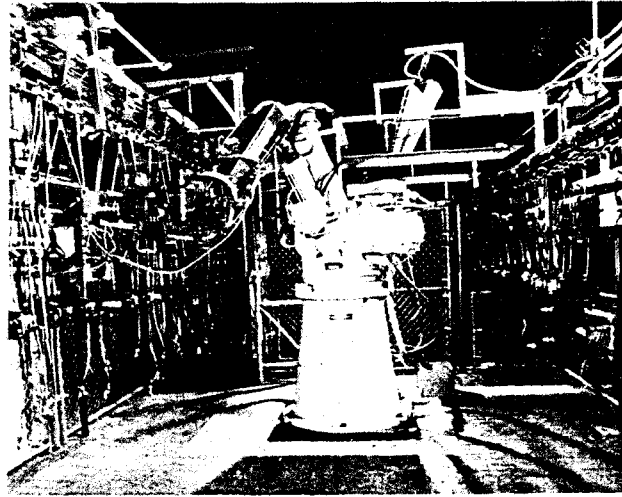
2.3 Robot Tahrik Sistemleri

Robotun gövde, kol ve bileğini hareket ettirme kapasitesi, robota güç vermek için kullanılan tahrik sistemi tarafından sağlanmaktadır. Tahrik sistemi, kol hareketlerinin hızını, robotun kuvvetini ve dinamik performansını belirlemektedir. Diğer bir deyişle, tahrik sistemi, robotun gerçekleştirebileceği uygulama çeşitlerini belirlemektedir. Mevcut ticari endüstriyel robotlar üç tip tahrik sistemlerinin birinden güç almaktadır. Bu üç sistem:

- 1- Hidrolik tahrik
- 2- Elektrikli tahrik
- 3- Pnömatik tahrik (Groover, 1986)

2.3.1 Hidrolik Tahrik

Fiziksel bakış açısından en güçlü robotlar genellikle hidrolik modellerdir. Hidrolik robotlar, büyük kuvvetleri direkt olarak robot eklemlerine ve tutucu veya takım merkez noktasına iletebilmektedir. Bu avantaja sahip olmak hidrolik modellerde eşit yeteneklere sahip elektrikli veya pnömatik modellerden daha pahalıya gelmektedir. Hidrolik modellerde, yüksek basınç elde etmek için manşon (fitting) ve valflerin yanında pompa ve hidrolik sıvı için rezervuar gerekmektedir. Şekil 2.13, yük taşıma kapasitesi 100 kg olan hidrolik bir robotu göstermektedir (Asfahl, 1985).



Şekil 2.13 Takımla birlikte 100 kilogramın üzerinde taşıma kapasitesi olan hidrolik bir robot (Asfahl, 1985)

Hidrolik sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

Avantajlar

- Hidrolik aktüatörler ve motorlarla yüksek güç-boyut oranı elde edilmektedir. Aktüatörler, akışkan gücünü kol hareketine dönüştüren komponentlerdir. Örneğin, piston bir aktüatördür.
- İstenen konumda direkt olarak büyük kuvvetler uygulanabilmektedir.
- Kontrol komponentleri için sadece çok küçük miktarda elektrik enerjisi gerektiğinden yüksek yangın riskine sahip tehlikeli alanlarda kullanılabilirler. Tabii ki burada hidrolik basınç için gerekli güç kaynağının çalışma alanından uzağa yerleştirildiği ve alev almayan hidrolik sıvının kullanıldığı varsayılmaktadır.
- Elektrikli ve pnömatik robotlara göre daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptirler.
- Mekanik bağlantı gerekmemektedir.
- Depolama aygıtı olarak görev yapan akümülatör nedeniyle sistem, güçte meydana gelen ani talepleri karşılayabilmektedir.
- Hidrolik robotlar, şok yüklerine elektrik robotlarından daha dayanıklı olmaktadır.

Dezavantajlar

- Elektrik robotlarına göre daha az güvenilir olabilmektedirler.
- Sızıntılar, performans kaybına ve çalışma alanının genel kirliliğine neden olabilmektedir.
- Eğer akustik susturucu (muffler) tarafından korunmazsa güç kaynağı ortalama 70 dB'lik gürültü meydana getirebilmektedir.
- Sıcaklıktaki değişiklikler hidrolik akışkanın viskozitesini değiştirmektedir. Bundan dolayı düşük sıcaklıklarda akışkanın viskozitesi artacak, muhtemelen robotun hareketini yavaşlatacaktır.
- Daha küçük robotlar için, hidrolik komponentlerin maliyeti, boyutla orantısal olarak azalmadığı için, hidrolik güç ekonomik olmayacaktır.
- Hidrolik sistemlerin servo kontrolü karmaşıktır ve elektrik servo kontrol gibi geniş biçimde anlaşılmamaktadır (Mair, 1988).

Hidrolik robotların önemli bir uygulaması spreylere boyama operasyonlarıdır. Alev alabilirliği önlemek için boyahanedeki patlama (infilak) korumalı robotların kullanılması gerekmektedir. Bu boyahanelerdeki ekipmanlar, Ulusal Yangın Önleme Dairesi'nin (NFPA) tutuşabilir atmosferler için olan standartlarını karşılamalıdır. Bu standartların karşılanması hidrolik robotlar dışında mümkün değildir (Asfahl, 1985).

2.3.2 Pnömatik Tahrik

Makina yükleme ve boşaltma veya sıradan malzeme taşıma operasyonları için en pratik ve en ucuz robotlar pnömatik modellerdir. Yaklaşık 90 psi'lik işletme basıncının bulunabilirliği önemli bir avantajdır. Birçok fabrikada basınçlı hava, imalat alanlarından borular aracılığıyla taşınmaktadır ve bu kolaylıkla pnömatik robotu çalıştırmak için kullanılabilir (Asfahl, 1985). Pnömatik tahrik genellikle daha az serbestlik derecesine (iki ila dört eklem hareketi) sahip daha küçük robotlar içindir. Bu robotlar sıklıkla, hızlı döngülere sahip basit 'al ve bırak' operasyonları için kullanılmaktadırlar (Groover, 1986). Şekil 2.14'deki robot yük taşıma kapasitesi 2 kg olan pnömatik modeli göstermektedir. Robotun konfigürasyonu silindirik olmaktadır (Asfahl, 1985).



Şekil 2.14 Tutucu takım dahil yük taşıma kapasitesi 2 kg olan pnömatik güçlü bir robot (Asfahl, 1985)

Pnömatik sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

Avantajlar

- En ucuz tahrik formudur, komponentler hazır olarak mevcuttur ve basınçlı hava fabrikalarda mevcut olan bir imkandır.
- Az hareketli parçalara sahip olması bunları güvenilir yapmaktadır ve bakım giderlerini

azaltmaktadır.

- Pnömatik sistemler endüstride yaygın şekilde bulunmaktadır bundan dolayı ilgili personel teknolojiye aşina olmaktadır.
- Çok hızlı harekete geçme ve cevap verme zamanının düşük olması hızlı çalışma döngülerine izin vermektedir.
- Genellikle mekanik bağlantı gerekmemektedir.
- Elektriksel kontrol gerekmediğinden pnömatik sistemler patlayıcı alanlarda doğal olarak güvenli olmaktadır.
- Sistemler genellikle kompakt olmaktadır.
- Kontrol basittir; örneğin mekanik durdurucular sıklıkla kullanılmaktadır.
- Birbirinden bağımsız elemanlar birbirine kolaylıkla bağlanabilmektedir.

Dezavantajlar

- Sistem içine daha karmaşık elektromekanik aygıtlar entegre edilmedikçe sofistike hareketlere ve hız kontrolüne ulaşmak kolay olmamaktadır. Bu, sadece sabit hızda çalışan sınırlı sıranın mevcut olması anlamına gelmektedir.
- Eğer mekanik durdurucular kullanılırsa sistemin yeniden kurulması yavaş olabilmektedir.
- Havanın sıkıştırılabilirliği yüzünden hassas kontrol altında ağır yüklerin hareket ettirilmesi için pnömatik uygun olmamaktadır. Sıkıştırılabilirlik, yük koşulları altında, durdurucusuna karşın aktüatörün konumunda tutulmasını sağlamak için gerekli kuvvetten daha fazla kuvvetin uygulanmasını gerektirmektedir.
- Eğer ünitelere nem girerse ve demir içeren metaller kullanılmışsa bağımsız elemanlara zarar gelebilmektedir (Mair, 1988).

2.3.3 Elektrikli Tahrik

Endüstriyel robotiğin ilk yıllarında hidrolik robotlar oldukça yaygın şekilde bulunmaktaydı fakat elektrik motoru tasarımındaki güncel gelişmeler yeni robotların hepsinin elektrik konstrüksiyonlu olmasına yol açmıştır (Mair, 1988).

Sıkı şekilde kontrol edilebilmeleri ve karmaşık hareket yörüngelerinin öğretilmesi nedeniyle elektrik robotları kesinlik, hassaslık gerektiren işler için popüler olmaktadır. Hidrolik modellerin de benzer özelliklere sahip olduğu söylenebilmektedir fakat tüm elektrik modelleri için karmaşık hareket kontrolü tipik bir özelliktir (Asfahl, 1985).

Elektrikli sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

Avantajlar

- Temel tahrik elemanı, bu durumda elektrik motoru, genellikle hidrolik güçle çalışanlardan daha hafif olmaktadır.
- Elektrik tahrikli robotların tamlıkları ve tekrarlanabilirlikleri maliyet göz önüne alındığında hidrolik güçle çalışan robotlardan daha iyi olmaktadır.
- Çevre anlamında kabul edilebilir ölçüde sessiz ve temiz olmaktadırlar.
- Kolaylıkla bakım ve tamirat yapılabilir.
- Yapısal komponentler hafif olabilmektedir.
- Tahrik sistemi elektronik kontrole iyi uymaktadır.
- Yeni motor tasarımları ve malzemeler sürekli olarak güç-ağırlık ve güç-boyut oranlarını artırmaktadır.

Dezavantajlar

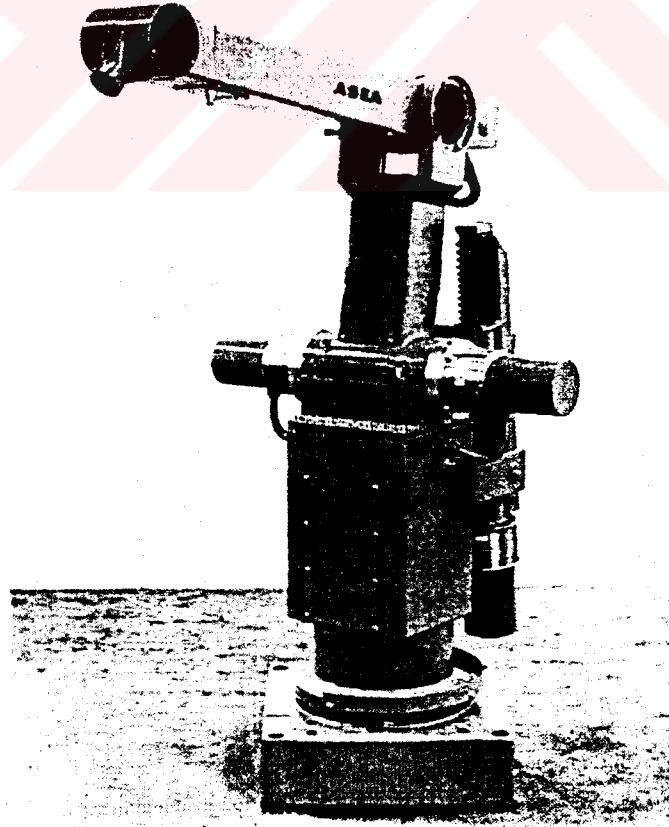
- Elektrikli robotların dezavantajlarından biri bazı çeşit mekanik aktarım sistemlerinin birleşimini gerektirmesidir. Bu, ağırlık (kütle) ve istenmeyen hareket eklemekte; ek güç ihtiyacını doğurmakta ve kontrolü zorlaştırabilmektedir. Karmaşıklıkta bu artış nedeniyle, komponentler ve hareketli parçaların ayrışmaları (degradation) ile ilgili bakım giderleri yüzünden, ek giderler meydana gelmektedir. Bununla birlikte, elektrik motorunun robot kol eklemesinin bir parçası olduğu direkt tahrikli motor sistemlerinin kullanıma sunulmasıyla bu dezavantajın etkisi kademeli olarak ortadan kaldırılmaktadır.
- Diğer bir dezavantaj ise elektrik robotlarının esasen güvenli olmamasıdır. Örneğin, patlayıcı atmosferlerde bundan dolayı kullanılmamaktadırlar. Bununla birlikte, yeni fırçasız motorlarla, motor fırçalarındaki kıvılcım ihtimali ortadan kaldırıldığından, elektrik robotlarının sprey boyama gibi yangın riskine sahip uygulamalarda kullanılmasına izin vermektedir (Mair, 1988).

Elektrik robotları, her eksen hareketini tahrik eden elektrik motorlarının tiplerine göre iki gruba ayrılabilir. Birinci grup, kontrol bilgisayar arayüzü tarafından çıkarılan her ayrı gerilim darbesi için, kesin açılma yer değiştirme gerçekleştiren step motorları kullanmaktadır. Step motor hareketleri, tork yükünün motorun dizayn limitlerini aşmaması durumunda, çok hassas olabilmektedir. Bu doğruluk nedeniyle step motor tipi robot bazen açık döngü tipli olmaktadır. Bu döngüde kontrol bilgisayarı istenen hareket için gerekli darbe sayısını hesaplamakta ve robotun istenen hareketi gerçekleştirip gerçekleştirmediğine bakmadan emri hemen göndermektedir. Maalesef robot her zaman istenmiş olan hareketi gerçekleştiremez çünkü bir engelle karşılaşılabilmekte ya da tahrik motorlarından mekanik elemanlara olan

mekanik bağlantıdaki kaymalarla karşılaşabilmektedir. Bu meydana geldiğinde maalesef açık-döngü robotu yönünü kaybetmekte ve kontrol bilgisayarı artık robotun komponentlerinin yerini bilemez duruma gelmektedir. Bu meydana geldiğinde ise robot, çalışmasını tamamen gereksiz veya bazen zarar verici yapan, kalıcı konum hatası ile çalışmaya devam edebilmektedir. Daha sonra görüleceği üzere bu çıkmazın da bir çaresi bulunmaktadır.

Elektrik robotlarının diğer bir türü de DC servo tahrikli tip olmaktadır. Bu robotlar, tahrik edilen komponentlerden geriye sürücüye geri besleme döngüleri katmaktadırlar. Bundan dolayı kontrol sistemi robot komponentlerinin konumlarını sürekli kontrol etmekte, kontrolör aracılığıyla bu konumları istenen konumlarla karşılaştırmakta ve herhangi bir farkı veya hata durumlarını göstermektedir. Hata sıfırlanana kadar hataları düzeltmek için her motora DC akım uygulanmaktadır.

Geri besleme döngülerinin step motor tipine de uygulanabileceği göz önüne alınmalıdır. Tahrik edilen komponentin gerçek açısal yer değişimini izlemek için optik enkoderler kullanılabilir. Bu bilgi, herhangi bir hata durumunu düzeltmek için programlanan kontrol bilgisayarına dönmektedir (Mair, 1988).



Şekil 2.15 Elektrik tahrikli ASEA IRB 6 endüstriyel robot (Mair, 1988)

Açık veya kapalı döngü ile kullanılabilmesi için step motorun, alternatifi DC servoya göre tamamen üstün olduğu düşünülebilmektedir. Bununla birlikte DC servonun avantajı, sürekli hareket yapan bir cihaz olması ve böylece daha hassas ve sürekli kontrol edilebilir harekete imkan tanınmasıdır. Bu iki tip elektrik motorundan DC servo motor tipi daha popülerdir (Asfahl, 1985). Şekil 2.15, ASEA IRB 6 elektrikli robotun temel konfigürasyonunu göstermektedir (Mair, 1988).

2.4 Kontrol Sistemleri Ve Dinamik Performans

Hareketlerini uygun bir şekilde dengelemek için robot, tahrik sistemini çeşitli şekillerde kontrol edebilmelidir. Bu bölümde kısaca çeşitli kontrol sistemi tiplerinden ve kontrol sistemi tarafından belirlenen performans karakteristiklerinden bahsedilecektir.

Mevcut ticari endüstriyel robotlar, kontrol sistemlerine bağlı olarak dört kategoriye ayrılabilir.

- 1- Sınırlı-sıralı (limited-sequence) robotlar
- 2- Noktadan noktaya pleybek robotları
- 3- Sürekli yol kontrollü pleybek robotları
- 4- Zeki robotlar

Bu dört kategoriden sınırlı sıralı robotlar en düşük seviye kontrolünü ve zeki robotlar en karmaşık kontrolü temsil etmektedir (Groover, 1986).

2.4.1 Robot Kontrolleri

a) Sınırlı sıralı robotlar

En az karmaşık ve dolayısıyla robot hareket kontrolünün en ucuz modu eksen limiti olmaktadır (Asfahl, 1985). Sınırlı-sıralı robotlar, eklemlerin rölatif pozisyonlarını gösteren servo-kontrol kullanmamaktadırlar. Bunun yerine her eklem için hareketin son noktalarını sağlamak için mekanik duruşlar ve/veya limit sviçlerinin kurulmasıyla kontrol edilmektedirler. Bu duruşların sıra ve konumlarının saptanması, robot programlamasından ziyade robot manipülatörünün mekanik kurulumunu içermektedir. Bu kontrol metoduyla, her eklem sadece kendi ekstrem hareket limitlerine hareket ettirilebilmektedir. Bu, bu tip robotlar için programda tanımlanan ayrı noktaların sayısını sınırlayan bir etkiye sahip olmaktadır. Hareket döngüsünde çalışan sıra, adım değiştirici veya diğer bir sıralama aygıtı tarafından tanımlanmaktadır. Robot kontrolünü oluşturan bu aygıt, uygun bir başarıyla çalışması için belirli aktüatörlerin herbirine sinyal göndermektedir. Genellikle sınırlı-sıralı robotlarda

istenilen noktaya ulaşıp ulaşılmadığını gösteren geri besleme mevcut değildir. Üç tahrik sisteminin herbiri bu tip kontrol sistemiyle kullanılabilir. Bununla birlikte pnömatis tahrik en çok kullanılan olmaktadır. Bu tip robot için uygulamalar genellikle, 'al ve bırak' operasyonları gibi basit hareketleri içermektedir (Groover, 1986). Bu tip kontrole robotların tipik uygulaması makina yükleme boşaltma operasyonları olmaktadır (Asfahl, 1985).

b) Noktadan noktaya (PTP) robotlar

Sınırlı sıralı kontrolden daha iyisi noktadan noktaya (PTP) kontrol olmaktadır. Bu modda kullanıcı, robotun çalışma alanı içinde herhangi bir nokta seçebilmekte ve direkt olarak o noktaya hareket edebilmektedir (Asfahl, 1985). Noktadan noktaya robotları, istenen nokta konumlarının ve ilgili hareketler dizisini içeren hareket döngüleri gerçekleştirme yeteneğine sahiptirler. Robota her nokta öğretilmekte ve bu noktalar robotun kontrol ünitesinde kaydedilmektedir. Öğretme ve hafızaya alma prosedürü, robotun programlanması olarak belirtilmektedir. Pleybek (tekrar) sırasında robot, uygun bir sırada bir noktadan diğerine gitmesi için kontrol edilmektedir. Noktadan noktaya robotları, bir noktadan diğerine giderken robotun aldığı yolu kontrol etmemektedir. Eğer programcı izlenen yol hakkında sınırlı bir kontrol elde etmek istiyorsa, istenen yol boyunca birçok noktayı programlamalıdır. Konumların sırasının kontrolü, makinelerin yükleme ve boşaltma işlemleri ve nokta kaynağı gibi birçok uygulama için yeterli olmaktadır (Groover, 1986).

c) Sürekli yol (continuous path) robotları

Sürekli yol kontrolünde robot, sürekli öğretilen yol boyunca hareket etmektedir. (Mair, 1988) Sürekli yol robotları, robotun hareketinden sonraki kontrol edilen yörüngedeki hareket döngülerini gerçekleştirme yeteneğine sahiptirler. Bu, genellikle istenen kaynak yolunu tanımlayan, birbirine çok yakın noktalar dizisi aracılığıyla robot hareket ettirilerek gerçekleştirilmektedir. Her bağımsız nokta, programcıdan ziyade kontrol ünitesi tarafından tanımlanmaktadır. Düz çizgi (hat) hareketi, endüstriyel robotlar için sürekli yörünge kontrolünün yaygın bir formu olmaktadır. Programcı başlangıç ve bitiş noktalarını belirlemekte ve kontrol ünitesi, robotun düz çizgi bir yörünge izlemesi için her bağımsız noktanın sırasını hesaplamaktadır. Bazı robotlar, programcı tarafından robot kolunun, istenen hareket döngüsünü gerçekleştirmesi için hareket ettirilerek eğrisel yörüngelerin tanımladığı hareketleri izleyebilmektedir. Sınırlı bir mesafeden daha fazla sürekli yörünge kontrolüne ulaşmak için kontrol ünitesi, bileşik eğrisel yörüngeyi tanımlayan, bağımsız çok miktarda noktanın konumunu saklayabilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Günümüzde bu, genellikle

robot kontrolörü olarak dijital bilgisayar (bilgisayar için merkezi işlem ünitesi olarak mikroişlemci kullanılır) kullanımını içermektedir. Sürekli-yörünge kontrolü, spreylendirme ve ark kaynağı gibi belirli endüstriyel uygulama tipleri için gereklidir (Groover, 1986).

d) Zeki robotlar

Zeki robotlar, sadece programlanan hareket döngüsünü gerçekleştirme yeteneğine sahip olmayıp ayrıca zekice bir yolla çevresiyle etkileşime de giren ve giderek artan miktarda kullanılan endüstriyel robotlardır. Bunlarda da kontrol ünitesi, dijital bilgisayar veya benzer bir aygıt (örneğin programlanabilir kontrolör) içermektedir. Zeki robotlar, çalışma alanında meydana gelen koşullara cevap olarak programlanmış döngüyü değiştirebilmektedirler. Operasyondan elde edilen sensör verilerine bağlı olarak mantıksal kararlar verebilmektedirler. Bu sınıfa giren robotlar, çalışma döngüsü sırasında insanlar ya da bilgisayar tabanlı sistemlerle iletişim kurabilmektedirler. Zeki robotlar genellikle, bilgisayar programlama diline benzemeyen bir şekilde, İngilizce-benzeri ve sembolik dil ile programlanmaktadır. Zeki robotlar tarafından gerçekleştirilen uygulamalar, karmaşık ve sofistike aktivitelerin başarılması için yüksek-seviye dil kullanımına güvenmektedirler (Groover, 1986).

Zeki robotlar ikiye ayrılmaktadır:

- *Sensör kontrollü robot*: Sensör bilgisiyle çalışması kontrol edilen robot.
- *Adaptif kontrollü robot*: Adaptif kontrol fonksiyonuna sahip olan robot. Not: Adaptif (uyumlu) kontrol, önceden belirlenen şartları yerine getirmek için çevredeki değişime cevap olarak kontrol sisteminin karakteristiklerinin değişim kontrolü demektir (Mair, 1988).

Zeki robotlar için tipik uygulamalar montaj görevleri ve ark kaynağı operasyonları olmaktadır (Groover, 1986).

2.4.2 Dinamik performans

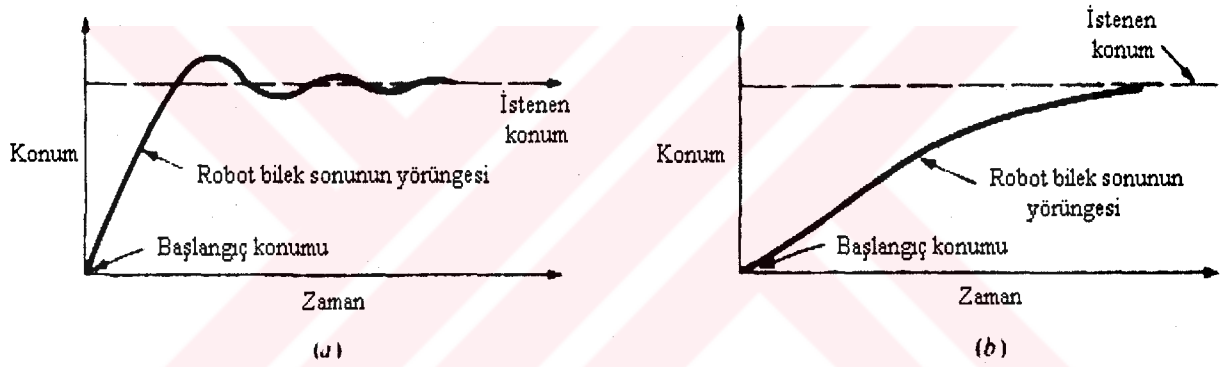
a) Cevap hızı ve stabilite

Cevap hızı ve stabilite, kontrol sistemleri dizaynıyla ilişkili dinamik performansın iki önemli karakteristiğidir. Cevap hızı, robotun diğer bir noktaya kısa bir sürede gidebilme yeteneğini göstermektedir. Bu cevap hızı, robotun hareket hızıyla ilişkilidir. Ayrıca kontrol sisteminin bir fonksiyonu olmaktadır. Robotikte stabilite genellikle, bir noktadan diğerine giderken robot kolundaki salınımların ölçümü olarak tanımlanmaktadır. İyi stabiliteye sahip bir robot, kol hareketi esnasında ya da sonunda çok az salınım yapmakta veya hiç yapmamaktadır. Kötü stabilite ise büyük bir salınımla gösterilmektedir. Kontrol sistemleri dizaynında, sistemin iyi

bir stabilite ve hızlı cevap zamanına sahip olması istenmektedir. Maalesef bunların ikisine bir arada sahip olmak çok zor olmaktadır.

Robotun dizaynına sönümlenme elemanları yerleştirilerek, robotun stabilitesi bir miktar kontrol edilebilmektedir. Yüksek sönümlenme seviyesi, robotun stabilitesini artıracaktır. Yüksek sönümlenmeyle ilgili bir problem cevap hızının düşmesidir. Robotun stabilitesi ve yüksek hızlarda çalışabilme yeteneği arasında bir orta yol bulunmalıdır.

Şekil 2.16'da stabilite konsepti ve sönümlenme ilişkisi gösterilmiştir. Şeklin iki diyagramında robotun bileğinin konumu, zamanın fonksiyonu olarak iki durum için gösterilmiştir: az ve çok sönümlenme. Düşük sönümlenmeyle, robot kolu programlanan konuma çabuk hareket etmektedir fakat nokta civarında farkedilebilir salınım göstermektedir. Yüksek sönümlenmeyle ise robot kolunun istenen noktaya gidişi çok yavaş olmaktadır fakat son noktada salınım hareketi gerçekleşmemektedir.



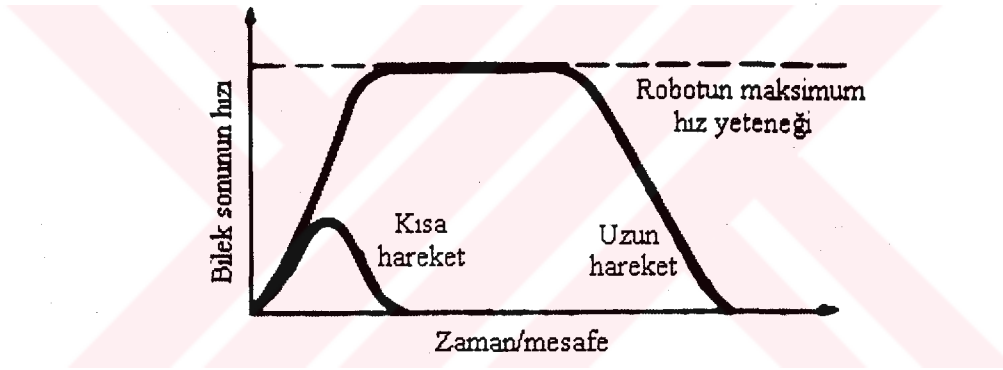
Şekil 2.16 Robotikte cevap hızı ve stabilite konsepti: a) Düşük sönümlenme-hızlı cevap, b) Yüksek sönümlenme-yavaş cevap (Groover, 1986)

Günümüz endüstriyel robotlarının hızları maksimum 1,7 m/s'ye kadar çeşitlilik göstermektedir. Bu hız bilekte ölçülmelidir. Böylece en yüksek hızlar, kolu, robotun dikey ekseninden maksimum mesafeye uzatılmış büyük robotlarda elde edilebilmektedir. Önceden belirtildiği gibi hidrolik robotlar, elektrik tahrikli robotlardan daha hızlı hareket etmektedir.

Şüphesiz hız, robotun verilen iş döngüsünü ne kadar çabuk tamamlayabildiğini belirlemektedir. İmalatta verilen bir iş için bu döngünün minimum zamanda gerçekleşmesi istenmektedir. Hemen tüm robotlar hızdaki ayarlamalara imkan tanımaktadır. En çok istenen hızın belirlenmesi, imalat döngü zamanının minimize edilmesinin dışında şu faktörlere de bağlı olmaktadır:

Bileğin (end efektör) hangi doğrulukla konumlandırılması gerektiğine,
Hareket ettirilen nesnenin ağırlığına,
Hareket edilecek mesafelere.

Genellikle robot hareketlerinin hızı ve doğruluk arasında zıt bir ilişki mevcut bulunmaktadır. Gerekli doğruluk artırıldığında, robot, istenen son konuma ulaşmak için çeşitli eklemlerindeki konum hatalarını azaltmak için daha fazla zamana ihtiyaç duymaktadır. Hareket ettirilen nesnenin ağırlığı da operasyonel hızı etkilemektedir. Daha ağır nesnelere daha fazla momentum ve eylemsizlik demektir ve bu faktörlerle güvenle başa çıkmak için, robot daha yavaş hareket ettirilmelidir. Robot manipülatörü tarafından hareket ettirilecek mesafenin etkisi Şekil 2.17’de gösterilmektedir. Hızlanma ve yavaşlama problemlerinden dolayı robot, uzun bir mesafeyi, bu mesafenin toplamına eşit sıralı kısa mesafelerden daha kısa sürede almaktadır. Kısa mesafeler robotun programlanan operasyon hızına erişmesine izin vermeyebilmektedir (Groover, 1986).



Şekil 2.17 Mesafenin etkisi ile hızın karşılaştırılması (Groover, 1986)

b) Hareketin kesinliği

Cevap hızı ve stabilite, robotun dinamik performansı ile ilişkili olmaktadır. Diğer bir performans ölçüsü ise robot hareketinin kesinliğidir. Kesinlik, üç özelliğin fonksiyonu olarak tanımlanacaktır:

- 1- Uzaysal çözülüm (spatial resolution)
- 2- Tamlık (accuracy)
- 3- Tekrarlanabilirlik

Bu terimler şu kabullerle tanımlanacaktır. İlk önce, bu tanımlar, robotun bilek sonuna, bileğe el eklenmedenki hal için geçerli olmaktadır. İkinci olarak, terimler robot kesinliğinin en kötü olduğu koşullar altında geçerli olacaktır. Genellikle bu, kutupsal veya eklemlili-kol

konfigürasyonda robot kolunun tam uzamış olduğu durumda geçerli olmaktadır. Üçüncü olarak, tanımlar noktadan noktaya robot için geliştirilecektir. Robotun, çalışma hacmi içinde verilen bir noktaya erişebilme yeteneğiyle ilgilenilecektir. Statik bağlamda çeşitli kesinlik özelliklerinin tanımlanması dinamik bağlamdan daha kolay olmaktadır. Tanımlanan hareket yörüngesine ulaşmak için robot kapasitesini tanımlamak ve ölçmek daha zor olmaktadır çünkü hız ve diğer faktörler nedeniyle karmaşıklaştırılmıştır.

Uzaysal Çözülüm (Spatial Resolution)

Uzaysal çözülüm, robotun çalışma hacmini bölebileceği en küçük hareket artışıdır. Uzaysal çözülüm iki faktöre bağlıdır: sistemin kontrol çözülümü ve robotun mekanik olarak tamlıktaki hataları. Bu faktörlerin 1 serbestlik dereceli robotta incelenmesi kolay olmaktadır.

Kontrol çözülümü, robotun konum kontrol sistemi ve geribesleme ölçme sistemi ile belirlenmektedir. Belirli bir eklem için hareketin toplam mesafesini, kontrolörde adreslenebilen ayrı artımlara bölme, kontrolörün yeteneği olmaktadır. Artımlara bazen 'adreslenebilir noktalar' da denmektedir. Eklem menzilini artımlara bölebilmeye yeteneği, kontrol hafızasındaki bit depolama kapasitesine bağlıdır. Belirli bir eksen için ayrı ve tanımlanabilir artımların (adreslenebilir noktalar) sayısı şöyle verilmektedir:

$$\text{Artımların sayısı} : 2^n \quad (2.1)$$

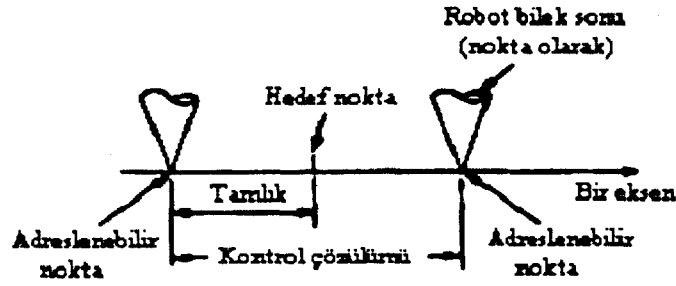
n: kontrol hafızasındaki bitlerin sayısı

Örneğin 8 bit depolayabilen bir robot, bu menzili 256 ayrı konuma bölebilmektedir. Kontrol çözülümü, artım sayısı tarafından bölünen toplam hareket menzili olarak tanımlanabilmektedir.

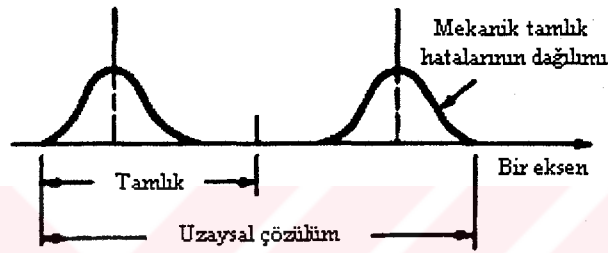
Tamlık (accuracy)

Tamlık, çalışma hacmi içinde istenen bir noktaya, robotun bilek sonunu götürebilme yeteneğidir. Robotun tamlığı uzaysal çözülüm cinsinden ifade edilebilmektedir çünkü hedef bir noktaya ulaşabilme yeteneği her eklem hareketi için robotun kontrol artımlarını ne derece tanımlayabildiğine bağlı olmaktadır. En kötü durum, istenen noktanın iki komşu kontrol artımı arasında bulunmasıdır. Robotun tamlığını azaltan mekanik tamlık hatalarını yok sayarsak, tamlık, en kötü kontrol çözülümü için tanımlanacaktır. Şekil 2.18'de bu ilişki gösterilmiştir. Aslında mekanik tamlık hataları, hedef noktaya erişebilme yeteneğini etkilemektedir. Buna bağlı olarak, robotun tamlığı Şekil 2.19'da gösterildiği gibi uzaysal

çözülümün orta noktası olarak tanımlanmaktadır (Groover, 1986).



Şekil 2.18 Mekanik tamlık hatalarının istatistiksel dağılımında tamlık ve uzaysal çözümüm (Groover, 1986)



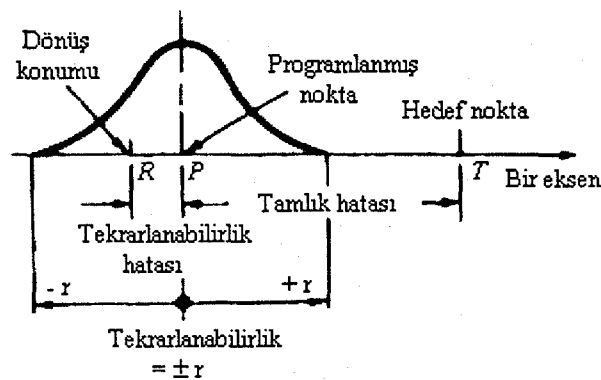
Şekil 2.19 Mekanik tamlık hatalarının istatistiksel dağılımında tamlık ve uzaysal çözümüm (Groover, 1986)

Tamlık tanımımız, hedef noktanın iki kontrol noktası arasında olduğu en kötü durum için olmaktadır. Ayrıca tanımımızda tamlığın, robotun çalışma hacmi içinde her yerde aynı olduğu kabul edilmektedir. Gerçekte ise robotun tamlığı birçok faktörden etkilenmektedir. İlk olarak, tamlık çalışma hacmi içinde değişiklik göstermektedir; kol, çalışma hacminin dış kesimlerindeyken daha kötü, baz kısmına yakinken ise daha iyi olmaktadır. Bunun nedeni, kol tam uzamış haldeyken mekanik tamlık hatalarının büyümesidir. Hata haritası (error map) terimi, robotun sahip olduğu tamlık seviyesini, çalışma hacmindeki konumun fonksiyonu olarak karakterize etmek için kullanılmaktadır. İkinci olarak, eğer hareket döngüsü sınırlı bir çalışma menziliyle kısıtlıysa, tamlık artmaktadır. Robotun sınırlı çalışma alanı içinde belirli bir referans noktasına erişebilme yeteneğine bazen bölgesel (lokal) tamlık denmektedir. Tamlık, robotun tüm çalışma hacmi için değerlendirildiğinde, global tamlık terimi kullanılmaktadır. Tamlığı etkileyen üçüncü bir faktör robot tarafından taşınan yük olmaktadır. Daha ağır yükler robotun mekanik linklerinin eğilmesine sebep olmaktadır ki bu da daha düşük bir tamlıkla sonuçlanmaktadır (Groover, 1986).

Tekrarlanabilirlik

Tekrarlanabilirlik, uzayda robota önceden öğretilen bir noktaya, robotun, bileğini veya bileğine eklenen end efektörünü götürebilme yeteneğidir. Tekrarlanabilirlik ve tamlık, robotun kesinliğinin iki değişik gösterimiyle ilişkili olmaktadır. Tamlık, verilen bir hedef noktaya erişebilmek için robotun programlanabilme kapasitesiyle ilişkilidir. Kontrol çözülümünün sınırlarına bağlı olarak esas programlanan nokta, hedef noktadan farklı olacaktır. Tekrarlanabilirlik, istendiğinde robotun programlanan noktaya dönebilme yeteneğini göstermektedir (Groover, 1986). Endüstriyel robotlar için tekrarlanabilirlik tamlıktan daha önemli olmaktadır çünkü ilk seferde öğretme modülü ile öğretilmiştir (Asfahl, 1985).

Bu konseptler Şekil 2.20'de gösterilmiştir. İstenen hedef nokta T harfiyle gösterilmektedir. Öğretme prosedürü esnasında, robota T noktasına gitmesi söylenmektedir fakat tamlığındaki sınırlamalar yüzünden programlanan nokta P noktası olmaktadır. T ve P noktaları arasındaki mesafe, bu durumda robotun tamlığının tezahürü olmaktadır. Daha sonra robotun programlanan P noktasına geri dönmesi için komut verilmektedir; bununla birlikte tam olarak aynı noktaya dönmemektedir. Onun yerine R konumuna geri dönmektedir. P ve R arasındaki fark, robotun tekrarlanabilirliği üzerindeki sınırlamaların bir sonucu olmaktadır. Hareket döngüsünün sonraki tekrarlarında robot her zaman aynı R konumuna dönmeyecektir. Bunun yerine, Şekil 2.20'deki P konumunun her iki tarafındaki noktaların kümesini şekillendirmektedir (Groover, 1986).



Şekil 2.20 Tekrarlanabilirlik ve tamlık (Groover, 1986)

Tekrarlanabilirlik hataları rastgele değişken şekillendirmektedir ve şekilde gösterildiği gibi istatistiksel bir dağılım göstermektedir. Tekrarlanabilirlik hatalarının, normal dağılımlı rastgele değişken gösteren düzgün bir çan eğrisi şekillendirmesi, uygun olacaktır. Gerçekte,

her eklem için prensip olarak tekrarlanabilirlik hatalarından sorumlu olan mekanik tamlık hataları, şekilde gösterildiği gibi düzgün-simetrik şekilli çan eğrisi dağılımı göstermemektedir. Bununla birlikte, hareketin birkaç ekseninden gelen hatalar biraraya geldiğinde, sonuçtaki toplam hata, olasılıktaki merkezi limit teoreminden etkilenmektedir. Bu teorem, rastgele değişkenlerin toplamının, normalden farklı olarak herbirinin dağılımdan gelmesine rağmen, normal dağılımlı değişken şekillendirmeye meyilli olduğunu göstermektedir. Buna göre, her eksene bağlı hata normal olmamasına rağmen, beş veya altı eksenli bir robot için tekrarlanabilirlik hatasının yaklaşık normal olduğu çıkarımı yapılabilmektedir.

Üç boyutlu uzayda, tekrarlanabilirlik hataları, dış sınırı küre olarak kavramlaştırılabilen dağılım oluşturacak şekilde programlanmış P noktasını saracaktır. Robot imalatçısı tipik olarak manipülatörünün tekrarlanabilirliğini ideal kürenin yarıçapı olarak belirtmektedir ve genellikle spesifikasyonu artı veya eksi bir değer olarak açıklamaktadır. Kürenin boyutu, robotun merkezinden çok uzak olan çalışma hacminin bölgelerinde, daha büyük olmaya meyillidir. Kürenin şekli tam olarak dairesel değildir fakat robot kolunun uyumuna bağlı olarak belirli yönlerde dikdörtgenimsi olmaktadır (Groover, 1986).

İlginç bir karşılaştırma robotun konumlama yeteneğinin insanla olan karşılaştırması olmaktadır. Eğer yeteri kadar dikkat ederse, insanın konumlama doğruluğu, büyük endüstriyel robotlardan daha fazla olmaktadır. Tekrarlı çalışma durumunda ise insana güvenilememektedir. Bu, robotların insanlara göre tekrarlanabilirlikteki üstünlüğünü göstermektedir. Bir kere programlandıktan sonra robot, hızlı ve tutarlı bir şekilde her döngüde aynı noktaya gidecektir. İnsanlar robotlara göre daha tam (kesin) iken, robotların tekrarlanabilirliği insanlara göre fazla olmaktadır.

Tekrarlanabilirlik için en sıkı spesifikasyon, eksen pozisyonları mekanik olarak durdurulan küçük pnömatik robotlarla ulaşılan olmaktadır. Bu robotların bazıları, $\pm 0,001$ inç veya daha fazla hassasiyete sahiptirler. Otomotiv endüstrisindeki tipik büyük standart hidrolik robotlar $\pm 0,050$ inç'lik hassasiyete sahiptirler. Sprey boyama ve kaynak robotlarının konumsal toleransları $\pm 0,125$ inç olmaktadır (Asfahl, 1985).

c) Yük taşıma kapasitesi

Boyut, konfigürasyon, konstrüksiyon ve tahrik sistemi, robotun yük taşıma kapasitesini belirlemektedir. Bu yük taşıma kapasitesi, robot kolunun en zayıf (güçsüz) olduğu durumda tanımlanmalıdır. Kutupsal, silindirik veya eklemli-kol konfigürasyonunda bu, robot kolunun

maksimum uzamasında gerçekleşmektedir. Baz kısmına yakın kol pozisyonlarındaki taşıma kapasitesi, kolun tam uzamış halindeki fazla olmaktadır. (Asfahl, 1985) İnsan örneğinde olduğu gibi kollar tam uzatıldığı durumda ağır bir yükün taşınması, kolların vücuda bitişik tutulduğu durumdakinden çok daha zor olmaktadır (Groover, 1986).

2.5 Robotun Programlanması

Robotların anahtar özelliği, değişik görevler için yeniden programlanabilme yetenekleridir (Asfahl, 1985). En basit şekilde robot programı, manipülatörü hareket ettirmek için yönlendiren, uzayda bir yörünge olarak tanımlanabilmektedir. Bu yörünge ayrıca end efektörün kontrolü ve sensörlerden gelen sinyallerin alınması gibi diğer hareketleri de içermektedir. Robotun programlanmasının amacı, bu aksiyonların robota öğretilmesidir (Groover, 1986).

Endüstriyel robotlar birçok şekilde programlanabilmektedir. Esasen ya çevrimiçi (online) veya çevrimdışı (offline) olarak programlanabilmektedirler. Çevrimiçi metodlar robotun direkt kullanımını gerektirmektedir ve noktadan noktaya programlama için asıl öğreticilerin (teach pendant) ve sürekli yol programlama için köle kolların (slave arms) kullanımını gerektirecektir (Mair, 1988).

Robotların programlanması için çok çeşitli metodlar mevcut bulunmaktadır. En büyük ticari öneme sahip iki temel kategori, yol gösterme aracılığıyla (leadthrough) programlama ve metinsel dil programlamadır.

Yol gösterme aracılığıyla programlama, robot kolunun istenen hareket sırasında hareket ettirilmesini ve hareketlerin kontrol hafızasına kaydedilmesini içermektedir. Yol gösterme aracılığıyla programlama metodları, pleybek robotlarının programlanması için kullanılmaktadır. Noktadan noktaya pleybek robotlarında, çalışma alanında robot eklemlerinin istenen noktalara tahrik edilmesini sağlamak ve sonraki pleybekler için noktaların hafızaya kaydedilmesini sağlamak amacıyla öğretim modülü (kontrol kutusu da denir) kullanmak genel bir prosedür olmaktadır. Kolaylık, uygunluk ve buna uygun geniş bir uygulama alanına sahip olması, yol gösterme aracılığıyla programlama metodunun pleybek tip robotlar için en yaygın programlama metodu olmasını sağlamaktadır.

Sürekli yol pleybek robotları da yol gösterme aracılığıyla programlamayı kullanmaktadır. İki nokta arasındaki düz çizgi gibi iyi tanımlanmış yollar için iki noktanın konumlarının öğretilmesi için öğretim modülü kullanılabilir ve daha sonra düz çizgi boyunca

ilerlemesi için robot kontrolörü yörüngeyi hesaplamaktadır. Daha karmaşık hareketler (örneğin spreyci boyama operasyonlarında karşılaşılan) için programcının robot kolunu ve end efektörünü, fiziksel olarak istenen hareket yolu boyunca hareket ettirmesi ve birbirine yakın boşluklu örnekleme aralıklarındaki konumları kaydetmesi, genellikle daha uygun olmaktadır. Robotun hızı gibi hareket döngüsünün kesin parametreleri, iş, çalışmaya ayarlandığında, bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Buna uygun olarak, programcının, programın bu durumlarıyla ilişkili olması gerekli olmamaktadır. Programcının esas ilgili olması gereken konu, hareketin sırasının doğru olmasını sağlamaktır.

Metinsel programlama metodları, çalışma döngüsünün mantık ve sırasını kurmak için İngilizce benzeri bir dil kullanmaktadır. Kontrolöre program talimatlarının girilmesi için bilgisayar terminali kullanılmaktadır fakat çalışma alanındaki değişik noktaların konumlarının tanımlanması için de ayrıca öğretim modülü kullanılmaktadır. Robot programlama dili, noktaları semboller olarak isimlendirmektedir ve daha sonraları bu semboller, robota konumlarını göstererek tanımlanmaktadır. Çalışma alanında noktaların tanımlanmasına ilaveten robot dilleri, programlardaki alt yordamların (subroutines) ve daha detaylı mantık akışlarının ve hesaplamaların kullanımına ve iletişim ile sensörlerin kullanımına olanak tanımaktadır. Buna bağlı olarak, metinsel dillerin kullanımı sözde zeki robotlara büyük ölçüde uygun düşmektedir.

Metinsel robot dillerinde bulunabilen programlama komutları çeşitlerine bazı örnekler şu sırayı içermektedir:

HIZ 35 IPS

HAREKET ET P1

KAPA 40 MM

BEKLE 1 SN

AYRIL 60 MM

Bu emirler dizisi, takip eden hareketlerde, robotun bileğinin hızının 35 in/sn olması gerektiğini söylemektedir. 'HAREKET ET' komutu, robotun tutucusunu P1 noktasına hareket ettirmesini ve 40 mm'lik aralıkta kapanmasını söylemektedir. P1 noktasından ayrılmadan 1 sn beklemesi ve daha sonra noktanın üzerinde 60 mm mesafeye ayrılması sağlanmaktadır.

Metinsel dil programlama sayesinde gelecekte, programdaki nokta konumlarını tanımlamak için kullanılan öğretim modülüne ihtiyaç duyulmadan programın tamamen çevrimdışı (off-

line) girilebilmesi mümkün olacaktır. Bu metodun potansiyel avantajı, robotun, imalattan alınmadan programlanabilmesidir. Günümüz programlama metodlarının tümü, programlanabilmenin gerçekleşmesi için robotun katılımını gerektirmektedir. Çevrim dışı programlama ile programın tümü, robota daha sonradan yüklenmek üzere, bilgisayara girilebilmektedir. Çevrim dışı programlama, yeniden programlama için büyük bir zaman kaybına neden olmadan, bir robot çalışma döngüsünden yeni bir çalışma döngüsüne geçişi hızlandıracaktır. Maalesef çevrim dışı programlama ile ilgili kesin teknik problemler bulunmaktadır. Bu problemler esas olarak pozisyonların uzaysal konumlarının tanımlanmasıyla ilgili olmaktadır ve bundan dolayı günümüz metinsel robot dillerinde öğretim modülü gerekmektedir (Groover, 1986).

2.6 End Efektörler

Endüstriyel uygulamalar için temel robotun yetenekleri, ek aygıtların yardımıyla artırılmalıdır. Bu aygıtlara, robotun çevresel donanımı denilmektedir. Bunlar, robotun çevresiyle etkileşime girmesine izin veren sensör sistemleri ve robotun bileğine eklenen end efektörlerden oluşmaktadır.

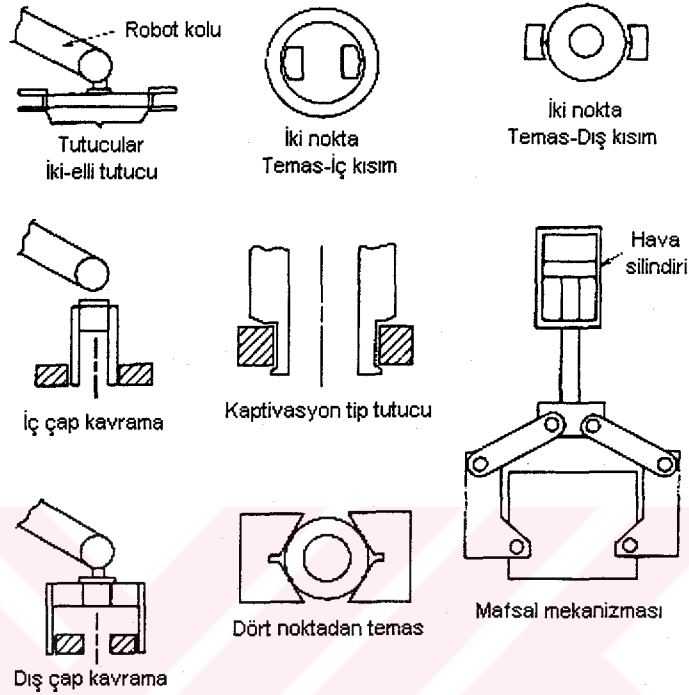
Robotikte end efektör terimi, bileğe eklenen takım veya eli tanımlamak için kullanılmaktadır. End efektör, genel amaçlı robotun, özel bir uygulamayı gerçekleştirmesine izin veren özel bir takımı göstermektedir. Bu özel takım, genellikle, uygulamaya yönelik özel bir şekilde tasarlanmaktadır.

End efektörler iki kategoriye ayrılabilir: tutucular (grippers) ve takımlar. Tutucular, bir nesnenin, genellikle iş parçasının kavranması ve robot çalışma döngüsü süresince tutulmasını sağlamak için kullanılmaktadır. İki veya daha fazla parmağın arasında parçanın mekanik olarak kavranmasının dışında çok çeşitli kavrama metodları mevcut bulunmaktadır. Bu ilave metodlar, vantuzlar, mıknatıslar, kancalar ve kepçelerin kullanımını içermektedir. Robotun iş parçası üzerinde bazı operasyonları gerçekleştirmesi istendiğinde uygulamalarda end efektör olarak takım kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, nokta kaynağı, ark kaynağı, sprey boyama ve matkapla delmeyi içermektedir. Her bir durumda uygulamayı gerçekleştirmek için robotun bileğine özel bir takım eklenmektedir (Groover, 1986).

2.6.1 Tutucular

Tutucuların (grippers) çok değişik konfigürasyonları mevcut bulunmaktadır ve genellikle özel bir uygulama için müşteri tarafından tasarlanmaktadır. Çoğu tutucu, tutulacak parçanın

üzerine gelince kapanmaktadır fakat birçoğu da parçanın içine parmaklarını soktukten sonra parmakları açarak parçanın kavranmasını gerçekleştirmektedir. Çoğu tutucu her iki şekilde de çalışacak biçimde imal edilmiştir ve seçim, programcıya ait olmaktadır. Şekil 2.21 çok çeşitli tutucuları göstermektedir.



Şekil 2.21 Endüstriyel robotlar için robot kolu takımları (Asfahl, 1985)

Birçok uygulama için iki-elli tutucu, tek-elli tutucudan daha etkin olmaktadır. Bu, tipik olarak istasyonlar arasında hareket etmeden makina yükleme ve boşaltması yapan robotlar için geçerli olmaktadır. Bu, ana eksenin (baz dönüşü) tekrarlı hareketlerinde harcanacak zamanı engellemektedir. Baz dönüş hareketi tipik olarak en yavaş eksen hareketi olmaktadır (Asfahl, 1985).

2.6.2 Takımlar

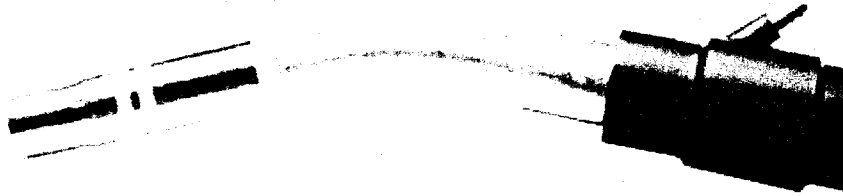
Parça taşınması için kullanılan tutucuların yanında, robot kolunun ucuna değişik tiplerde takım kafaları yerleştirilebilmektedir. Bu tür değişik robot kolu aparatları, robotu diğer malzeme taşıma araçlarından farklı kılmaktadır.

Tutucular dışında en çok kullanılan robot takımları kaynak kafaları olmaktadır. Nokta kaynak kafaları çok yaygındır fakat ark kaynağı robotlarının önemi giderek artmaktadır. Sprey boyama kafaları da önemli bir robot takımı olmaktadır. Sprey boyama kafalarıyla ilişkili bir

diğer uygulama da mastik uygulamasıdır. Her iki takım da robotun tekrarlanabilirliği ve hassasiyeti açısından önemli olmaktadır. Alışılmadık bir takım da elektrik kablosu dağıtıcısı olmaktadır. Bu takım, uçak veya diğer büyük ekipmanlar için elektrik kablosu donanımının programlanmış montajında kullanılmaktadır (Asfahl, 1985).



Şekil 2.22 Punta kaynak robotu için kaynak tabancası [3]



Şekil 2.23 Ark kaynak robotu için kaynak torcu [2]

2.7 Robotikteki Sensörler

Sensörler, robotikte, hem limit sviçler gibi basit tipleri hem de makine görme sistemleri gibi karmaşık tipleri içeren çevresel aygıtlardır. Tabii ki sensörler ayrıca robotun konum geri besleme kontrol sisteminin bütünleşik komponentleri olarak da kullanılmaktadır. Robotik

çalışma hücresinde çevresel aygıt olarak fonksiyonları, hücredeki diğer aktivitelerle, robot aktivitelerinin koordineli çalışmasını sağlamaktır.

Endüstriyel robotikte ve diğer otomize imalat sistemlerindeki sensörlerin ana kullanımları dört temel kategoriye ayrılabilir:

- 1- Güvenlik amaçlı izleme
- 2- İş hücresi kontrolündeki interloklar (interlocks)
- 3- Kalite kontrol için parça muayenesi
- 4- Robot hücresindeki nesnelere konumlarının ve ilgili bilgilerin saptanması

Otomize imalat operasyonlarındaki sensör teknolojisinin önemli uygulamalarından biri, robot veya diğer ekipmanların çevresinde çalışan işçilerin korunmasını ilgilendiren tehlike veya güvenlik izleme olmaktadır.

Robotikteki sensör teknolojisinin ikinci ana kullanımı, çalışma hücresi kontrolündeki interlokların uygulanmasında gerçekleşmektedir. İnterloklar, çalışma hücresindeki değişik ekipman parçalarının aktivitelerinin sırasını koordine etmektedir. Robot programının işletilmesinde, döngüde diğer elemana geçilmeden bitirilmesi, doğrulanması gereken çalışma döngüsünün belirli elemanları mevcut bulunmaktadır. Sensörler, bu tip bir doğrulamayı gerçekleştirmek için kullanılmaktadırlar.

Üçüncü kategori kalite kontrolü olmaktadır. Geleneksel olarak, kalite kontrol, istatistiksel örnekleme üzerine temellenen manuel kontrol teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sensörlerin kullanımı, her parçanın %100 kontrolünü otomatik olarak gerçekleştirmeye olanak tanımaktadır. Otomatik kontrol kullanımının sınırlaması, sensör sisteminin parça karakteristikleri ve hatalarının sadece sınırlı bir mesafede algılanabilmesidir. Örneğin, parça uzunluğunu ölçmek için tasarlanan sensör probu, parça yüzeyindeki kusurları fark edememektedir. Otomatik muayenenin birçok uygulaması, robotik kullanımı olmadan gerçekleştirilmektedir. Bu kategorinin robotik sensörlerde ele alınması, robotların, sensörler aracılığıyla otomatik muayene sistemlerinin uygulanmasında sıklıkla kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Robotikteki sensörlerin dördüncü ana kullanımı, çalışma hücresindeki değişik nesnelere (örneğin, iş parçaları, fişürler, insanlar, ekipmanlar vb.) hakkındaki bilgilerin ve konumların belirlenmesi için olmaktadır. Belirli bir nesnenin konumsal verisine ek olarak, çalışma döngüsünü uygun şekilde çalıştırmak için gerekli diğer bilgi, nesnenin oryantasyonu, renk, boyut ve diğer karakteristikleri içerebilmektedir. Programın çalıştırılması esnasında bu tip bir

verinin belirlenmesinin gerektiğinin nedenleri şunlar olmaktadır:

- İş parçası tanımlaması.
- Çalışma hücresindeki parçaların oryantasyonu ve rastlantısal konumları
- Verilmiş bir uygulamada tamlık gereksinimlerinin robotun doğal yeteneklerini aşması. Robotun konumlamasının tamlığını iyileştirmek için geribesleme bilgisi gerekli olmaktadır.

Robotikte kullanılan sensörler şu genel kategorileri içermektedir:

- 1- Dokunma sensörleri. Bu sensörler, diğer bir nesneyle olan temas kuvvetlerine cevap vermektedir. Bu aygıtların bazıları kuvvetin seviyesini ölçme yeteneğine sahip olmaktadır.
- 2- Yakınlık ve menzil sensörleri. Yakınlık sensörü, bir nesne diğer bir nesneye değmeden yaklaştığında, bunu algılayan bir aygıttır. Nesnelere arasındaki mesafe algılanabildiğinde bu aygıt menzil sensörü denmektedir.
- 3- Muhtelif tipler. Muhtelif tipler kategorisi robotikte kullanılan geri kalan sensör tiplerini içermektedir. Bunlar, sıcaklık, basınç ve diğer değişkenler için olan sensörlerdir.
- 4- Makina görmesi. Makine görme sistemi, çalışma alanını izleme ve gördüğünü yorumlama yeteneğine sahip olmaktadır. Bu sistemler robotikte denetim, parça tanıma ve diğer benzer görevler için kullanılmaktadır.

Sensörler, çalışma hücresi kontrolü ve güvenlik izleme sistemlerinin önemli bir parçası olmaktadır. Robotikte çevresel aygıtlar olarak kullanılan değişik tip sensörlerden bahsedilecektir (Groover, 1986).

2.7.1 Güç Dönüştürücüler (Transducers) Ve Sensörler

Güç dönüştürücü, bir fiziksel değişkeni (örneğin kuvvet, basınç, sıcaklık, hız, akış oranı vb.) başka bir forma dönüştüren aygıttır. Elektriksel gerilime dönüştürmek yaygındır çünkü dönüştürülen sinyal, kullanıma ve değerlendirmeye uygun olmaktadır. Sensör, fiziksel bir değişken ölçümünü yapmak için kullanılan bir güç dönüştürücüdür. Bazı yaygın sensörler ve güç dönüştürücüler, gerilim ölçerler (kuvvet ve basınç ölçmek için kullanılırlar), termokupllar (sıcaklık), hız ölçerler (hız), pitot tüpleridir (akış oranları).

Herhangi bir sensör veya güç dönüştürücünün ölçme aleti olarak faydalı olabilmesi için kalibrasyon gereklidir. Kalibrasyon, ölçülen değişken ve dönüştürülen çıkış sinyali arasındaki ilişkinin oluşturulduğu prosedürdür.

Güç dönüştürücüler ve sensörler, dönüştürülen sinyalin şekline bağlı olarak iki temel tipte

gruplanabilmektedir:

1- Analog güç dönüştürücüler

2- Dijital güç dönüştürücüler

Analog dönüştürücüler, elektriksel gerilim veya akım gibi sürekli analog sinyal sağlamaktadır. Bu sinyal, ölçülen fiziksel değişkenin değeri olarak yorumlanabilmektedir. Dijital dönüştürücüler, paralel durum bitlerinin dizisi şeklinde veya sayılabilen darbelerin serisi şeklinde olabilen dijital çıkış sinyali oluşturmaktadırlar. Her iki şekilde de dijital sinyal, ölçülen değişkenin değerini göstermektedir. Dijital dönüştürücüler, ayrı ölçme enstrümanı olarak okunabilmelerindeki kolaylık nedeniyle, daha popüler hale gelmektedirler. Buna ilaveten, otomasyon ve proses kontrolündeki dijital bilgisayarlarla daha uyumlu olduklarından, analog sensörlere nazaran avantaj sunmaktadırlar.

Robotikte ve diğer uygulamalarda yararlı ölçme aygıtları olmaları için, sensörler bazı belirli özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Sensörlerin ve güç dönüştürücülerin bazı istenen mühendislik özellikleri aşağıda sıralanmaktadır. Sensörlerin bazıları istenen özelliklerin tümüne sahip olmaktadır ve verilen bir uygulama için en iyi sensörün seçimine gidilmektedir (Groover, 1986).

- Tamlık (Accuracy): Ölçümün tamlığı mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Tamlık, ölçmede sistematik pozitif veya negatif hata olmadan, değişkenin gerçek değerinin algılanması olarak ifade edilebilmektedir. Değişkenin birçok ölçümü durumunda, gerçek değer ile algılanan değer arasındaki ortalama hata sıfır olmalıdır.
- Kesinlik (Precision): Ölçümün kesinliği mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Kesinlik, ölçülen değişkende çok küçük bir rastlantısal değişkenlik olması yada hiç olmaması demektir. Ölçüm dizilerinin değerlerindeki değişken minimize edilebilecektir.
- Çalışma menzili: Sensör, geniş çalışma menzilini sahip olmalı ve tüm menzil içinde tam ve kesin olmalıdır.
- Cevap hızı: Güç dönüştürücü (transdüser), algılanan değişkendeki değişikliklere minimum zamanda cevap verebilmelidir. İdeal olarak, cevap anında verilmelidir.
- Kalibrasyon: Sensörün kalibrasyonu kolay olmalıdır. Kalibrasyonu gerçekleştirmek için gerekli zaman ve çaba minimum olmalıdır. Bundan öte, sensör sık sık yeniden kalibrasyon gerektirmemelidir. Sürüklenme (drift) terimi, zaman ve kullanım ile sensörün tamlığındaki kademeli kayıpları belirtmek için kullanılmaktadır ve bunun sonucunda yeniden kalibrasyon gerekmektedir.

- Güvenilirlik: Sensör, yüksek güvenilirlik göstermelidir. Çalışma sırasında sık bozulmalar göstermemelidir.
- Maliyet ve kullanım kolaylığı: Sensörün, satın alma, kurma ve işletme giderleri mümkün olduğunca az olmalıdır. Bundan öte, ideal durum, sensörün kurulması ve çalıştırılması için özel eğitilmiş, yüksek yetenekli operatör gerektirmemesi olmaktadır.

Robot çalışma hücrelerinde kullanılan sensör aygıtları aşağıda kısaca açıklanmaktadır (Groover, 1986).

- Ampermetre (Muhtelif): Elektriksel akımı ölçmek için kullanılmaktadır.
- Girdap akım dedektörleri (Yakınlık sensörü): Menzili içindeki herhangi iletken bir nesnedeki girdap akımlarını endükleyen probun ucundaki değişken manyetik alanı yayan aygıttır. İletken nesnenin varlığı veya yokluğunu belirlemek için kullanılabilir.
- Elektriksel temas sviçi (Dokunma sensörü): İki nesne arasında elektriksel potansiyelin kurulduğu aygıttır ve potansiyel sıfır olduğunda, bu, iki nesne arasındaki teması göstermektedir. İletken nesnenin varlığı veya yokluğunu belirlemek için kullanılmaktadır.
- Kızılötesi sensör (Yakınlık sensörü): Nesnenin yüzeyinden yayılan kızılötesi ışık aracılığıyla sıcaklıkları ölçen transdüserdir. Sıcak bir nesnenin varlığı veya yokluğunu belirlemek için kullanılmaktadır.
- Limit sviçi (Dokunma sensörü): Aygıt üzerindeki mekanik kol veya düğmeye basılarak harekete geçirilen elektriksel aç-kapa svicidir. Nesnenin varlık kontrolü için kullanılabilir.
- Lineer değişken diferansiyel dönüştürücü (Muhtelif): Lineer veya açısal yer değiştirmeyi ölçmek için kullanılan elektromekanik transdüserdir.
- Mikrosviç (Dokunma sensörü): Küçük elektriksel limit svicidir. Nesnenin varlık kontrolü için kullanılabilir.
- Ohmmetre (Muhtelif): Elektriksel direnci ölçmek için kullanılmaktadır.
- Optik pirometre (Yakınlık sensörü, muhtelif): Nesnenin yüzeyinin parlaklığını algılayarak yüksek sıcaklıkları ölçmekte kullanılan aygıttır. Sıcak nesnenin varlık kontrolü için kullanılabilir.
- Fotometrik sensör (Yakınlık sensörü, muhtelif): Işığın algılanması için kullanılan çeşitli transdüserlerdir. Kategori, fotosel, fotoelektrik transdüserler, fototüpler, fotodiyodlar, fototransistörler ve fotoiletkenlerden oluşmaktadır. Nesnenin varlık kontrolü için kullanılmaktadırlar.
- Piezoelektrik ivmeölçer (Muhtelif): Titreşim ölçümü veya belirlenmesi için kullanılan

sensördür.

- Potansiyometre (Muhtelif): Gerilim ölçmekte kullanılmaktadır.
- Basınç transdüserleri (Muhtelif): Hava basıncı ve diğer sıvı basınçlarını göstermekte kullanılan değişik transdüserlerdir.
- Işınım pirometresi (Yakınlık sensörü, muhtelif): Nesnenin yüzeyinden yayılan termal ışınımı algılayarak yüksek sıcaklıkları ölçmekte kullanılan aygıttır. Sıcak nesnenin varlık kontrolü için kullanılabilir.
- Gerinim ölçer (Kuvvet sensörü): Kuvvet, tork, basınç ve diğer ilgili değişkenleri ölçmek için kullanılan yaygın transdüserdir. Nesnenin tutulması için uygulanan kuvveti göstermekte kullanılabilir.
- Termistör (Muhtelif): Sıcaklıkları ölçmek için elektriksel direnç esasına dayanan aygıttır.
- Termokupl (Muhtelif): Sıcaklıkları ölçmek için sıklıkla kullanılan aygıttır. Birbirinden farklı iki metal bağlantısının, sıcaklıkla ilişkilendirilebilecek emf yayılımı yapması esasına dayanmaktadır.
- Vakum sviçleri (Yakınlık sensörü, muhtelif): Negatif hava basınçlarını göstermekte kullanılan aygıttır. Nesnenin varlık veya yokluğunu göstermek için vakum tutucusu ile birlikte kullanılabilir.
- Görme sensörleri (Görme sistemi): Robot çalışma alanında meydana gelen olayları görmek ve yorumlamak için numune tanıma ve diğer teknikler ile birlikte kullanılan gelişmiş sensör sistemidir.
- Ses sensörleri (Ses ve konuşma tanıma): Robota emir ve bilgilerin sözlü olarak iletilmesini sağlayan gelişmiş sensör sistemidir.

2.7.2 Sensör Kategorileri

Robotikte kullanılan sensörler, şu genel kategorilere ayrılabilen geniş bir yelpazeden oluşmaktadır.

- 1- Dokunma sensörleri
- 2- Yakınlık ve menzil sensörleri
- 3- Muhtelif sensörler ve sensör tabanlı sistemler
- 4- Makine görme sistemleri

2.7.2.1 Dokunma Sensörleri

Dokunma sensörleri, kendileri ve diğer katı nesne arasındaki teması gösteren aygıtlardır. Dokunma algılama aygıtları iki sınıfa ayrılabilir: dokunma sensörleri ve kuvvet

sensörleri. Dokunma sensörleri, nesneyle kontağın kurulup kurulmadığını gösteren ikili (binary) çıkış sinyali sağlamaktadır. Kuvvet sensörleri (bazen gerilim sensörleri de denir), sadece nesneyle kontağın kurulup kurulmadığını göstermemekte aynı zamanda iki nesne arasındaki temas kuvvetinin büyüklüğünü de göstermektedir.

a) Dokunma Sensörleri

Dokunma sensörleri, temas kuvvetinin büyüklüğünden bağımsız olarak iki nesne arasında gerçekleşen teması göstermektedir. Bu kategoriye, limit sviçleri, mikrosviçler, vb. gibi basit aygıtlar girmektedir. Daha basit aygıtlar, robotikte kenetleme sistemlerinin dizaynında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Örneğin, fikstürde veya konveyörde parçanın alınma noktasında, parçanın var olup olmadığını göstermek için kullanılabilirler. Dokunma algılamalı aygıtın diğer bir kullanımı, işparçasının boyutlarının ölçümünde robot tarafından hareket ettirilen kontrol probunun bir parçası olarak gerçekleşmektedir. 6 serbestlik dereceli robotun parçadaki yüzeylere erişebilmesi, 3 serbestlik dereceli ölçme makinesine göre daha kolay olmaktadır. Maalesef, kontrol (muayene) işinde, robotun tamlığı sınırlandırıcı bir faktör olmaktadır.

b) Kuvvet Sensörleri

Kuvvetleri ölçme kapasitesi robota, birçok görevi gerçekleştirme imkanı tanımaktadır. Bu görevler, malzeme taşımada değişik boyutlardaki parçaların tutulabilmesi, makine yükleme ve montaj işi, verilen parça için uygun kuvvet seviyesinin uygulanmasını içermektedir. Montaj uygulamalarında, kuvvet algılama, parçalar sıkıştığında veya vidaların dişlerinin çapraz hale geldiğini belirlemek için kullanılabilirler.

2.7.2.2 Yakınlık ve Mesafe Sensörleri

Yakınlık sensörleri, bir nesnenin diğer bir nesneye yakın olduğunu gösteren aygıtlardır. Nesne ne kadar yakın olduğunda sensörün aktif hale geçeceği belirli aygıtla bağlı olmaktadır. Mesafe birkaç milimetre ile birkaç feet arasında olabilmektedir. Bu sensörlerin bazıları nesne ve sensör arasındaki mesafeyi ölçmek için kullanılabilirler ve bu aygıtlara mesafe sensörleri (range sensors) denilmektedir. Yakınlık ve mesafe sensörleri tipik olarak bilek veya end efektöre yerleştirilmektedir çünkü bunlar robotun hareket eden parçalarıdır. Robotikte yakınlık sensörünün pratik bir kullanımı, iş parçası veya diğer bir nesnenin varlık veya yokluğunu anlamak için olmaktadır. Diğer önemli bir uygulama robot çalışma hücreesindeki insanların algılanması olmaktadır. Mesafe sensörleri, robotla ilişkili nesnenin (örneğin iş parçası) konumunun belirlenmesi için kullanılabilirler.

Yakınlık ve mesafe sensörlerini tasarlamak için birçok teknoloji mevcut bulunmaktadır. Bu teknolojiler, optik aygıtlar, akustik, elektriksel alan teknikleri (örneğin girdap akımları) ve manyetik alanlar ile diğerlerini içermektedir.

Optik yakınlık sensörleri, görünür veya görünmez (kızılötesi) ışık kaynakları kullanılarak tasarlanabilmektedir. Kızılötesi sensörler aktif veya pasif olabilmektedir. Aktif sensörler kızılötesi ışın yollamaktadırlar ve hedeften yansıyan ışına tepki göstermektedirler. Akkor (incandescent) ışık kaynağı kullanan kızılötesi yansıtıcı sensör, yaygın kullanılan ticari bir aygıt olmaktadır. Aktif kızılötesi sensörler, parçanın var olup olmadığını göstermenin yanında parçanın pozisyonunu da göstermektedirler. Sinyalin gönderilmesi ile yansımanın alınması arasındaki aralık zamanlanarak, nesne ile sensör arasındaki mesafe ölçülebilmektedir. Bu özellik, özellikle hareket ve yönlendirme sistemleri için faydalı olmaktadır. Pasif kızılötesi aygıtlar, ortamdaki kızılötesi yayının varlığını araştıran basit aygıtlardır. Sıklıkla güvenlik sistemlerinde, sensörün mesafesi içinde ısı açığa çıkartan vücutların varlığını algılamak için kullanılmaktadırlar. Bu sensör sistemleri, bina içlerindeki büyük alanlarda etkin olmaktadır. Yakınlık algılama için diğer bir optik yaklaşım, yönlendirilmiş (collimated) ışık ışını ve ışık sensörlerinin doğrusal dizisinin kullanımını içermektedir. Nesnenin yüzeyinden ışık ışını yansıtılarak, nesnenin konumu, sensör dizisindeki yansıyan ışının konumundan elde edilebilmektedir.

Akustik aygıtlar, yakınlık sensörleri olarak kullanılabilirler. Bu aygıtlarda ultrasonik frekanslar (20000 Hz'den yukarı) sıklıkla kullanılmaktadır çünkü ses, insanın duyma sınırlarının dışında bulunmaktadır. Akustik yakınlık sensörünün bir tipi, odanın (chamber) kapalı ucunda akustik yayıcı ile silindirik açık uçlu oda kullanmaktadır. Yayıcı, boşlukta (cavity) açık uca yakın nesnenin varlığı ile değiştirilen sürekli dalga modelini oluşturmaktadır. Odanın duvarına yerleştirilmiş mikrofon, ses modelindeki değişimi algılamak için kullanılmaktadır. Bu tip bir aygıt mesafe sensörü olarak da kullanılabilirler.

Elektrik alanların kullanımıyla ilişkili yakınlık ve mesafe sensörleri, ticari olarak mevcut bulunmaktadır. Bu kategorideki iki tip, girdap akımları sensörleri ve manyetik alan sensörleri olmaktadır. Girdap akımı aygıtları, prob yakınındaki küçük bir alanda, birincil alternatif manyetik alan oluşturmaktadır. Bu alan, nesne ileten malzemedeki yapıldığı için, çok uzun bir bölgede yerleştirilmiş nesnedeki girdap akımlarını endüklemektedir. Bu girdap akımları, akış yoğunluğunu değiştirmek için birincil alanla etkileşime giren kendi manyetik alanlarını meydana getirmektedirler. Prob, akış yoğunluğundaki değişimi farketmekte ve bu, nesnenin

varlığını göstermektedir.

2.7.2.3 Muhtelif Sensörler ve Sensör Tabanlı Sistemler

Muhtelif kategorisi, robotik hücrelerinde interloklar ve diğer amaçlar için kullanılabilen geriye kalan sensör ve transdüser tiplerini içermektedir. Bu kategori, elektriksel özellikler, sıvı akışı, basınç ve sıcaklık gibi değişkenleri algılama yeteneğine sahip aygıtları içermektedir. Bu değişkenler için kullanılan sensör ve transdüserlerin birçoğu Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Sensör tabanlı sistemlere örnek olarak ise ses algılama veya sesle programlama verilebilmektedir. Ses programlama sistemleri, robotun komutlarının sözlü iletişimi için kullanılabilir. Ses algılama, insan tarafından söylenen kelimeleri analiz etmek ve bu kelimeleri hafızada saklanan kelime örnekleri ile karşılatırmak için konuşma tanıma tekniklerine güvenmektedir. Söylenen kelime, hafızada saklanan kelime örneğine uygun geldiğinde, bu, robotun kelime veya kelimeler dizisine uygun gelen bazı özel hareketleri gerçekleştirmesi gerektiğini göstermektedir (Groover, 1986).

2.8 Endüstriyel Robotların Kullanım Nedenleri

Son yıllarda OECD ülkelerinde üretim ve üretimin dağıtımında benzer özellikler gözlenmektedir. Özellikle ulaştırma ekipmanı, elektrikli makineler ve makinelerin üretimi, toplam ürün çıktısının üçte biri oranı olarak hesaplanmaktadır.

OECD ülkelerinde robotların ağırlıklı kullanıcısı otomobil sanayii olmaktadır. Bu saniyede çok sayıda robot istihdam edilmiş durumdadır. Robotlardaki teknolojik gelişmenin sağlanmasının sonucu olarak başlangıçta otomobil sanayiinde nokta kaynağı yapımında robotların kullanımı yoğunlaşmışken, daha sonra boya işlemi ile birlikte robotların imalata önemli ölçüde katkısı gerçekleşmiştir. Aynı zamanda otomobil sanayicilerinin ihtiyacı olan üretim ve kalite artışının yanında üretim maliyetinin düşürülmesinde de robotlar çok önemli fonksiyonlar üstlenmişlerdir. Otomobil sanayiinde robotlar daha uzun süre önemli imalat görevi üstleneceklerdir. Bunun yanında diğer sanayii dallarında da robotların kullanımı giderek artacaktır (Yücel, 1991).

Endüstriyel robotların kullanımı gerektiren nedenler şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Robotlar yorulmamaktadırlar ve dikkatleri dağılmamaktadır; bu, yeniden işleme gereğini veya atık oluşma ihtimalini büyük ölçüde azaltan bir şekilde tutarlı hızda, tutarlı kaliteye

sahip iş meydana getirme yeteneğine sahip olmaları demektir.

- 7 gün 24 saat sürekli çalışmaları mümkündür. Zorunlu duruş nedenleri sadece bakım veya tamirat nedeniyle olmaktadır.
- İnsanlar için güvenli veya hoş olmayan alanlarda çalışabilmektedirler böylece sağlık ve güvenlik riskleri azaltılmış olmaktadır. Bu, boşta bulunma durumunu azaltmaktadır. Ayrıca sağlık ve güvenlik şartlarını yerine getirme maliyetlerini azaltmaktadır.
- Endüstriyel robotların, ücret artışı, sosyal haklar, emekli aylığı, tatiller, hastalıklarla ilgili ödemeler gibi istekleri bulunmamaktadır.
- Malzeme kullanım etkinliği artırılmaktadır. Örneğin: sprej boyamada daha az israf gerçekleşmektedir.
- Kalitenin tutarlılığı ve döngü zamanlarının düzenliliği, imalat prosesinin gelişmiş kontrolünü sağlamaktadır. Bu da süreçteki işin azaltılması ve daha hızlı ürün çıkış süreleri gibi verimlilikteki bir dizi gelişmeyle sonuçlanabilmektedir.
- Robotun kapital gideri aslında tek seferde ödeme şeklinde olmaktadır halbuki işçi giderleri sürekli gerçekleşmektedir ve her sene artmaktadır.
- Elektronik ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak robot giderleri, işçi giderlerine göre daha düşük bir hızda artış göstermektedir. Bundan dolayı her geçen sene robotlar, insan işçilere göre daha ilgi çekici yatırım haline gelmektedir.
- İnsanlara kıyasla daha güçlü olabilmektedirler ve bu yüzden daha ağır şeyleri kaldırebilmektedirler ve daha büyük kuvvetler uygulayabilmektedirler.
- Bazı robotlar hareketlerinde oldukça hassas olabilmektedirler.

İnsanlara göre avantajlarının yanında robotların ayrıca seri imalat için tasarlanmış özel, adanmış ekipmanlara göre de avantajları da bulunmaktadır. Bu tip ekipman normal olarak, ürün, orjinal uygulamasının sonuna eriştiğinde, modası geçmiş hale gelmektedir. Bu, ekipmanın tasarım ve imalat giderinin kısa sürede telafi edilmesi gerektiğini göstermektedir; bundan dolayı da kar marjları azalacaktır. Bununla birlikte endüstriyel robotlar, orjinal uygulamaları bittikten sonra yeni bir görev için yeniden programlanabilmektedirler. Ürün geliştikçe, küçük tasarım değişikliklerine adanmış ekipmandan çok daha kolay adapte olabilmektedirler.

Bu ve diğer faktörlerden dolayı, uygun görevlerde düzgün şekilde kullanıldıklarında robotlar, şirketin verimliliğini artıracaklardır. Verimlilik, iş çıktısının yani üretilen ürünlerin değerinin, girdiye yani bu ürünleri üretmek için gerekli makinalar, malzemeler ve insan gücü giderlerinin toplamına oranı olmaktadır. Bu tanımlama iş verimliliğinden daha geneldir ve

daha farklı bir oran verecektir. İş verimliliği sadece, çıktığı veya imal edilen ürünleri, bu çıktığı elde etmek için gereken iş saati miktarıyla ilişkilendirmektedir. İnsanların yerine robotların kullanılmasının iş verimliliğini artıracığı aşikardır bununla birlikte genel verimlilikte gelişmeler hedeflenmelidir (Mair, 1988).

2.8.1 İstihdam Etkileri

Teknolojik gelişmeler bazı kişiler tarafından, prodüktivitenin artmasına yardımcı bir faktör olarak görülürken, diğerleri tarafından ise makinaların insanların yerini alacağı ve dolayısıyla işsizliğe sebebiyet veren olumsuz bir gelişme olarak görülmektedir (Yücel, 1991).

A.B.D.'de uygulanan otomasyonun haftada 35,000, yılda ise 1,800,000 iş imkanını ortadan kaldırdığı hesap ve tahmin edilmiştir. Tümüyle robotlar tarafından işletilen montaj hatlarının görünüşü, kendi yerlerine robotların geleceğine inanan işçilerde korku uyandırmaktadır (Asfahl, 1985). Böylece otomasyonun yarattığı işsizlik bir yandan büyük tartışmalara yol açarken, diğer yandan kendi yaşama imkanlarını, bizzat kendilerinin yaptıkları bir makinaya terketmek mecburiyetinde kalan insanların karşılaştıkları güvensizlik duygusu, çok ciddi bir sosyal problem olarak ortaya çıkmaktadır.

Otomasyon bilhassa gelişmiş ülkelerde çığ gibi büyümektedir. Yatırımlar içinde otomasyon araçlarına harcanan miktarların, toplam yatırımlara oranı süratle artmaktadır.

Avrupa'daki teknolojik gelişmeler üretkenliği hızla artırmıştır. Örneğin Fransa'da son 5 yılda ortalama üretkenlik artışı % 1.5-2 oranında iken, son beş yıl içinde bu oran %3.5-4'e çıkmıştır. Ayrıca otomasyon tatbikatı Avrupa'da belli bir işsizliğe yol açmıştır. A.B.D.'deki durumun aksine, otomasyon dolayısıyla işsiz kalanlara rastlanmamaktadır. Bunun sebebi ise, Avrupa'daki işsizliğin gerek karakter, gerek hacim itibarıyla A.B.D.'dekinden bariz farklılıklar göstermesidir. Genellikle Kuzey Avrupa ülkelerinde tam istihdam hali mevcut bulunmaktadır. Bu ülkelerdeki istihdam o derece yüksek ve insan gücü talebi o kadar fazladır ki, teknolojik gelişmeler yüzünden işsiz kalanlar, emek piyasası tarafından tekrar ve süratle bir işe yerleştirilmektedir. Teknolojik değişimler, genellikle işsizliğe yol açan bir faktör olarak dikkate alınmamaktadır.

Teknolojik gelişmenin yaratacağı işsizliğin ciddi bir problem olmadığı görüşü, hemen hemen bütün klasik iktisatçılarda yaygın durumda bulunmaktadır. 19. ve 20. yüzyılın başlarında işsizlik, genellikle iktisadi hayatın muhtelif elemanlarındaki dengesizliğin ortaya çıkışı olarak meydana gelmekte ve konjonktürel dalgalanmalara bağlı olarak periyodik şekilde ortaya

çıkılmaktadır.

Öte yandan, teknolojik gelişmenin en önemli sonucu, insanın belirli bir süre dahilinde daha fazla mal üretebilmesidir. Diğer bir deyişle, belirli malların üretilmesi için, gittikçe daha az zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece istihdamı genişletip geliştirmeden gittikçe daha fazla mal ve hizmet üretilmesi ve tüketilmesi mümkün olabilecektir. Böyle bir gelişmenin muhtemel sonucu, hiç şüphesiz işsizlik tehlikesinin artması olmaktadır. Bu gelişme, bir yandan daha yüksek bir refah seviyesini sunmaktayken, diğer yandan bu refahın bedelini, işsizlerin ödemesine yol açmaktadır. Doğal olarak böyle bir mekanizma, istihdam seviyesinin muhafaza edilebilmesi için tüketimin yüksek oranlarda artmasının gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

İleri teknolojinin uygulanmasıyla birlikte artan üretkenliğe paralel olarak talep de artacaktır. Üretilen fazla mal tüketilecek olursa, teknolojik değişimler işsizlik yaratmayacaktır. Diğer bir deyişle, tam istihdam halinde olan bir toplumda teknolojik değişimlerden dolayı meydana gelebilecek işsizlik ihtimali, yukarıda şartlar altında hemen hemen söz konusu olmayacaktır (Yücel, 1991).

Robotları genel işsizliğin nedeni olarak görmek, problemi düzgün değerlendirememektir. Gerektiği şekilde uygulandığında, robotlar, verimliliği artırarak firmayı daha rekabetçi kılacak ve böylece iş imkanlarını korumuş olacaktır. Bu mantık, otomotiv endüstrisi incelendiğinde görülebilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki otomobil imalatçıları için, robotları ve otomasyonu devre dışı bırakarak iş imkanlarını korumaya çalışmak mantıksız bir davranış olacaktır. Açıktır ki Japonya gibi diğer otomobil üreten ülkeler, robotları ve otomasyonu kullanarak mümkün olduğu kadar etkin otomobil üretimine devam etmişlerdir. Pazar şartları, en az etkin ve otomasyona ayak uyduramamış firmaları elemektedir. General Electric'ten James A. Baker şöyle demiştir: 'Henry Ford otomobili icat etmedi: üretimini otomize ederek milyonlarca iş ve Amerikan ekonomisinin belkemiğini oluşturdu' (Asfahl, 1985).

2.8.2 Ekonomik Değerlendirme

1980'lerde alt sınıftaki robotların değeri 3000 ila 5000 \$ arası ve üst sınıftakilerin ise 150000 \$'ın üzerinde bulunmaktaydı. Proses için can alıcı konumda olmayan robotun ekonomik anlamda değerlendirilmesi, gider faktörlerinin daha dikkatli bir şekilde düşünülmesini gerektirmektedir. Eğer robot, potansiyel olarak insan operatörün yerine düşünülüyorsa, eğilim, insan operatörün yıllık masrafı ile robotun ilk maliyetini karşılaştırmak yönündedir. Fakat bu, problemin aşırı basit hale getirilmesidir. İnsan operatör

genellikle haftada kırk saat ya da daha az çalışmaktadır. Bu sürenin aşılması maliyetli olmaktadır ve sınırları da bulunmaktadır. Hiçbir işçi günde üç vardiya haftada yedi gün çalışmamaktadır. Robot da sürekli çalışmamaktadır fakat kısıtlı bir bakım ve onarımla, robot, günde üç vardiya haftada yedi gün çalışmasını sürdürebilmektedir. Haftada sekiz saatlik devrede olmama süresine rağmen, eğer robot ve insan aynı hızda çalışırlarsa, robot dört insan operatörün yaptığı işi yapabilmektedir.

Robotun kesinliği ve bir görevi sürekli tekrar edebilme yeteneği, direkt işçi giderlerindeki tasarruftan daha fazla bir tasarruf sağlayabilmektedir. Robot tamlığının açık bir faydası, ürün kalitesi üzerindeki etkisi ve hurda ile yeniden işleme giderlerini azaltmada yardımcı olmasıdır. Daha az belli olan bir faydası da, robot tarafından uygulanan boya, yapıştırıcı ve diğer malzemelerdeki tasarruf olmaktadır. İnsan operatör çok az boya uygulayabilmektedir (kalite problemi) veya çok fazla boya uygulayabilmektedir (hem kalite hem de israf problemi). İnsanın eğilimi çok fazla boya kullanmak yönündedir ki bu, iki hatadan daha ciddi olanıdır.

Fark edilmesi daha zor ekonomik faktörler, tatil, hastalık nedeniyle izin, güvenlik ekipmanı, dinlenme odaları, kafeteryalar, park alanları ve hatta ısıtma ve aydınlatma gibi destek giderleri olmaktadır. Japonya'da, tüm operatörlerin robot olduğu bir fabrika bulunmaktadır. Fabrika karanlıkta çalışmaktadır sadece bir arıza meydana geldiğinde bilgisayar kontrolü, bakım teknisyeni için gerekli kısmı aydınlatmaktadır. Problemin giderilmesinden sonra bakım işçisi çalışma alanından ayrılırken, bilgisayar kontrolörü ışıkları teker teker kapatmaktadır.

Robotların ekonomik dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır. Her yeni ekipman alımı gibi robotun da ilk gideri çok fazla olmaktadır ve ancak gelecek yıllarda gider tasarrufu olarak geri dönecektir. Beklenen geri dönüşün yüksek olmasına rağmen, nakit para çıkışı göz önüne alınınca robot yatırımı daha da zor hale gelmektedir (Asfahl, 1985).

Tüm robot kararlarının en genel paydasında ekonomi olmasına rağmen, bazı karar kriterlerini ölçmek zor olabilmektedir böylece ayrı olarak ele alınmaları gerekmektedir. Emerson, robot projesi yapılabilirliği için üç temel yönün değerlendirilmesini önermektedir: operasyonel, teknik, ekonomik. Bazı yöneticiler ekonomik temel dışında projelerin değerlendirilmesinde ısrar etmektedir. Gerektiğinde bile teknik ve operasyonel yapılabilirliğinin haklı nedenlerinin açıklanması, projeyi yönetime sattıracaktır. Yöneticiler ve karar verenler, robot projesinin operasyonel veya teknik faktörlerden kaynaklanan başlangıç problemleriyle bozulmasını istememektedirler. Bu faktörler:

Operasyonel

- Robotlara karşı işçi direnişi
- Üretim planlamada yapılabilirliğin olmaması
- Kurulum ve kontrol süresince iş akışının kesilmesi
- Robot kurulum ve kontrolü süresince paralel manuel imalat gereksinimi
- Duran robotu tekrar çalıştırmak için manuel yedekleme kullanmama
- Kurulum için ısmarlanan robot ekipmanındaki teslimat kaymaları
- Operatör eğitimi
- Bakım planlama
- Yedek parça lojistiği
- İşçi güvenliği

Teknik

- Ekipman uyumsuzlukları
- Hizmet ettiği ekipman ile robotun güvenilirliğinin uyumsuzluğu
- Robot hareketinin yetersiz tekrarlanabilirliği
- Parça oryantasyon problemleri
- Parçaların kırılma olmaları
- Proses ekipmanı ile robotun kenetlenme problemleri
- Çalışma alanı çalışmaları (Asfahl, 1985)

2.9 Robot Kullanımına Karar Verme

Bir şirketin robot kurulum kararına varması için üç yol mevcut bulunmaktadır:

- Yeni bir ürün için yeni bir fabrika veya hat kurulacaksa firma muhtemelen en son teknolojiyi kullanmak isteyecektir. Burada robotlar daha büyük otomasyon sisteminin bir parçası olacaktır. Ürün kadar benimsenen sistem tipi de robot seçimini ve kurulum şeklini belirleyecektir.
- Mevcut proses veya metodun memnuniyetsizlik yaratması durumunda robot kurulumuna karar verilebilmektedir. Bu memnuniyetsizliğin, yüksek çalışan giderleri, tutarsız kalite, işçilerin çok sık fabrikada bulunamama durumları veya ciro gibi değişik nedenleri olabilmektedir. Bundan dolayı, bu durumdaki firma, robotik sistemden ne beklediğine dair çok spesifik bir nosyona sahip olacaktır.
- Robotikte tecrübe edinme isteğinin bulunması fakat ilk yatırımın nereye yapılacağına

karar verilememesi durumunda robot kurulumun gerçekleştirilebilecektir (Mair, 1988).

2.9.1 Uygulama Seçimi

İlk olarak ham malzeme ve parçaların son sevk alanına gönderilmesi araştırılmalıdır. Normal iş akışı incelendiğinde şu durumlar robotizasyon için ideal koşulları sağlamaktadır.

- Basit ve tekrarlamalı operasyonlar; basınçlı döküm makinalarının boşaltılması ve al-bırak operasyonları gibi en kolay şekilde robotizasyona uygulanabilenlerdir.
- Döngü zamanlarının çok kısa olmadığı, üç saniye veya tercihen beş saniyenin üzerinde sürdüğü durumlar. Bundan daha düşük döngü zamanları yüksek hıza ve ivmelenmeye sahip hızlı robotlar gerektireceğinden, bu değerler bize geniş bir yelpazede robot seçimi olanağı sunacaktır.
- Ortalama kesinliğe sahip robot takım ve parçalarının toleransları, gerekli operasyonu gerçekleştirmeye izin verecektir.
- Parça boyut ve ağırlıklarının özel problemler oluşturmayacağı işler. Örneğin, çok ağır işler ilk kurulum için muhtemelen en iyi tip olmayacak, çok güçlü ve pahalı robotlar gerektirecektir.
- Düşünülen operasyon bütünleşik muayene elemanına sahip olmamalıdır çünkü muayeneyi gerçekleştirmek için ya bir insana ihtiyaç duyulacaktır veya muayenenin otomatik gerçekleştirilmesi ilave masrafa neden olacaktır.
- İşle ilgili işçi memnuniyetsizliğinin olduğu durumlar; bu memnuniyetsizlik, işin yorucu, pis veya sosyal olarak izole olmasından kaynaklanabilmektedir.
- Toksik veya tutuşabilir atmosferlerin bulunduğu tehlikeli ortamlar. İşçiler böyle ortamlarda çalışmaktan kurtulacağından, koruyucu kıyafet ile diğer sağlık ve güvenlik ekipmanlarından tasarruf yapılacağından bunlar robotizasyon için ideal olmaktadır.
- Düzenli (orderly) ortamın, ya mevcut olduğu yerde veya robotun kurulacağı yerin çevresinde gerçekleştirilebileceği durumlar.
- İş, az zeka veya karar verme gerektirdiğinde.
- Ürün çeşitliliğinin çok fazla olmadığı durumlar. Bu, takım tasarımı ve imalat maliyetlerini minimize edecektir.
- Birden fazla vardiyanın bulunduğu durumlar. Böylece robotların finansal olarak haklı çıkarılması daha kolay olacaktır.
- Kalite problemlerinin olduğu durumlar.
- Parçaların daha önceden konumlanıp oryante edildiği veya bu olanağın mevcut olduğu durumlar.

Teftişi gerçekleştiren kişi, robot konfigürasyonları, tahrik ve kontrol sistemlerine aşina olmalı ve endüstriyel robotların yeteneklerini ve sınırlamalarını bilmelidir. Entegrasyona ulaşma amacıyla potansiyel karmaşıklığı tahmin etmek için arayüzleme gereksinimleri not edilmelidir. İlk kurulumun genelde tek bir robot olmasına rağmen daha fazla sayıda uygulama olanağı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu, gelişme, kurulum ve eğitim giderlerini çok sayıda robota yayacaktır. Yardımcı ekipman ve takımlar ile birlikte bu giderler robotun fiyatına denk olabilmektedir ve eğer iş karmaşık ve alışılmıştın dışındaysa giderler robotun fiyatının birkaç katı olabilmektedir. Robot kurulumunu çalışır hale getirmek için gerekli zaman (ilk planlamadan tam imalata kadar) genellikle üç ila oniki ay arasındadır; eğer uygulama karmaşık veya robotik alanında fazla bir tecrübe yoksa bu süre daha da fazla olabilmektedir. Bundan dolayı eğer ekonomik kurulum elde edilecekse yapılacak iş, robotun tam kullanımına izin verecek şekilde seçilmelidir (Mair, 1988).

2.9.2 Robot Seçimi

Daha önce de belirtildiği gibi spesifik bir uygulamaya robot seçebilmek için robot yetenek ve sınırlamalarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bir sonraki aşama mevcut robotların çeşitli spesifikasyonlarını göz önünde bulundurmak ve görev gereksinimlerine uyup uymadıklarını kontrol etmektir. Bu spesifikasyonlardan kısaca bahsedilecektir.

a) Yük taşıma kapasitesi (payload)

Uygulama analiz safhasında, hareket ettirilecek maksimum yük belirlenmiş olacaktır. Robotun spesifikasyonu dikkate alındığında, maksimum yükün maksimum veya minimum kol uzamasında belirtildiğine dikkat edilmelidir. Manivela etkisine (leverage effect) bağlı olarak, yük, robot gövdesine daha yakın olduğunda robotun daha ağır yükleri kaldırabileceği aşıkardır. Bu yüzden spesifikasyon belgesinde belirtilen maksimum yük, kol uzamalarında istenen yükün manipülasyonuna izin verecek şekilde olmalıdır. Aşırı yüklemenin meydana gelmesi ve maksimum yük ile birlikte bilekte takımla çalışırken kesinliği sağlayabilmek için yüksek kapasiteye sahip robot alınması tavsiye edilmektedir (Mair, 1988).

b) Kesinlik

Bu, robotta üç faktörden oluşmaktadır: Çözülüm, tekrarlanabilirlik ve tamlık. Birçok robot spesifikasyon broşürleri sadece tekrarlanabilirliği göstermektedir; bazı diğeri ayrıca tamlığı da göstermektedir; muhtemelen bunların hiçbiri çözülümü göstermeyecektir. Bunun nedeni çözülümün, robotun tamlık ve tekrarlanabilirliğine katkıda bulunmasına rağmen robot

kullanıcısına uzak gelmesidir.

Çözülüm: Çözülüm, robotun gerçekleştirebileceği en küçük kontrollü hareket artışı olmaktadır. Toplam çözülümü belirleyen robot donanımıyla ilgili üç faktör mevcut bulunmaktadır.

İlk faktör konumsal değerin, robotun kontrolörünün hafızasında tutulduğu durumla ilgili bulunmaktadır. Örneğin, kartezyen koordinat robotunun bir ekseninin uzunluğunun 1m olduğunu ve kaydırıcı (slider) üzerindeki kolun konumunun 8 bitlik kelime ile tanımlanan maksimum ve minimum arasında olduğunu farz edelim. 8 bitlik kelime ile 256 kontrol artımı mevcut olacaktır. Böylece sistemin bu parçasının çözülümü $1000 \div 256 = 3.9$ mm olacaktır. Bununla birlikte, iki adet 8 bitlik kelime veya bir adet 16 bitlik kelime kullanılmaktadır ki bu örnekte çözülüm $1000 \div 65536 = 0.015$ mm olacaktır. Diğer bir yaklaşım eksenini daha küçük kısımlara (section) ayırmak olacaktır. Her kısım 8 bitlik kelimenin ilk hanesi (digit) tarafından tanımlanabilmektedir ve kalan haneler çözülümü vermektedir. $(1000 \div 8) \div 128 = 1$ mm

Çözülümüne karşılık gelen ikinci faktör, kolu tahrik etmek için step motor gibi bir dijital aktüatör kullanıldığında gerçekleşmektedir. Motorun 0.18° artımlar ile hareket ettiğini ve bu tahriği, 40:1 dişli oranına sahip dişli sistemi aracılığıyla robot koluna aktardığını farz edelim. 0.18° 'lik artımlarla her devirde 2000 adım olacaktır ve 40:1 dişli oranı ile tüm robot kolu hareketi üzerinde 80000 kontrol edilebilir adım veya artım olacaktır. Böylece sistemin bu komponentinin çözülümü $1000 \div 80000 = 0.0125$ mm olacaktır.

Son faktör geribesleme donanımı ile ilgili bulunmaktadır; örneğin, shaft enkoderleri devir başına maksimum yaklaşık 2540 darbe (pulse) sağlayacaktır. Bunlar, motor veya eklem mili üzerine yerleştirilmektedir ve böylece tüm sistem çözülümüne katkıda bulunacaklardır. 2540 darbeleri enkoderde her 0.14° 'lik dönüş, kontrolöre bir darbe gönderecektir. Bu değerden daha küçük açısal hareketler algılanmayacaktır. Enkoderin çoklu dönüşlerini sağlamak amacıyla çözünürlüğü artırmak için dişli takımı, aktüatörün veya robot eklem ekseninin dönüşüne entegre edilebilmektedir. Analog geribesleme aygıtları kullanıldığında analog-dijital dönüştürücü sistemin çözünürlüğü kritik faktör olacaktır. En iyi sistem performansı yukarıda bahsedilen üç faktörün kabaca eşit olduğu durumda gerçekleşecektir; bu üç faktörün en kötüsü toplam sistem çözünürlüğünü belirleyecektir (Mair, 1988).

b) Tamlık (accuracy)

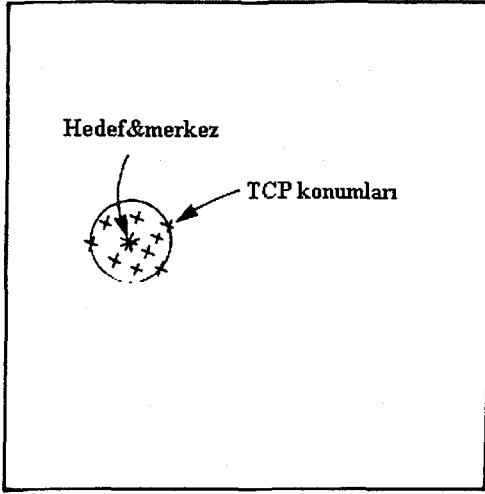
Bu terim sadece bilgisayar kontrollü robotlar için geçerli olmaktadır ve sistem çözülümü,

gerekli eklem koordinatlarını hesaplamak için kullanılan bilgisayar kontrol algoritmaları ve sistemdeki mekanik tamlık hatalarından meydana gelmektedir. Harici öğretilmiş hedef noktaya robotun hareket edebilme kabiliyetinin ölçüsü olmaktadır. Hedef nokta, robot end efektörünün belirli bir noktaya fiziksel olarak hareket ettirilmesiyle kontrolöre o noktayı hatırlaması komutunun verildiği uygulamanın aksine, bilgisayar terminali aracılığıyla dünya koordinatlarının (world coordinates) girilmesiyle öğretilmiş olan nokta olmaktadır. Mekanik faktörler, dişli tamlık hataları, dişliler ve eklemlerdeki boşluklar ve kol komponentlerinin sehim yapması gibi nedenlerden oluşmaktadır. İstatistiksel olarak robotun efektif çözülümü, toplam sistem çözülümünün yaklaşık yarısı olmalıdır. Eğer yazılım iyi tasarlanmış ve robot uzuvları çok rijit yapılmışsa, ideal durumda tamlık değerlerini çözüme eşit elde etmek mümkün olabilmektedir (Mair, 1988).

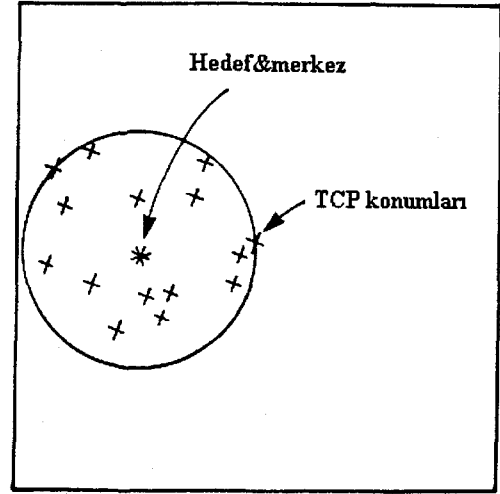
c) Tekrarlanabilirlik

Bu, robotun end efektörünü tekrarlı ve tutarlı olarak önceden öğretilen noktaya götürebilme yeteneğini ölçen istatistiksel bir terim olmaktadır. Toplam robot sistemindeki tamlık hataları, belirsizlikler ve toplam hatalar ile çözülümün pratik görünümü olduğundan, çözülümünden daha kötü olacaktır. Aşınma meydana geldikçe ve eklemler ile dişliler arasındaki boşluklar arttıkça muhtemelen daha kötüye gidecektir.

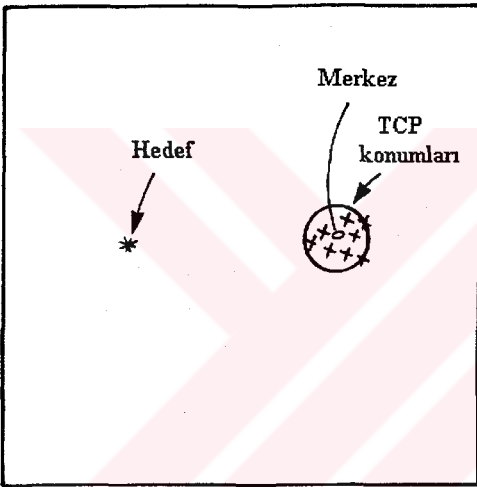
Daha önceden bahsedildiği gibi sadece tamlık ve tekrarlanabilirlik kullanıcıya aşikardır ve etkileri Şekil 2.24'te şematik olarak gösterilmiştir. Tekrarlanabilirlik, ulaşılan tüm takım merkez noktalarının oluşturduğu en küçük dairenin yarıçapı olarak alınabilmektedir. Dağılım eğrileri şeklin alt kısmında gösterilmiştir ve istatistiksel olarak tekrarlanabilirlik, eğrinin menzilin (uzunluğunun) yarısı olarak alınabilmektedir. Şekilde tamlık, tekrarlanabilirlik dairesinin merkezinden hedef noktaya olan mesafe olarak belirtilmektedir.



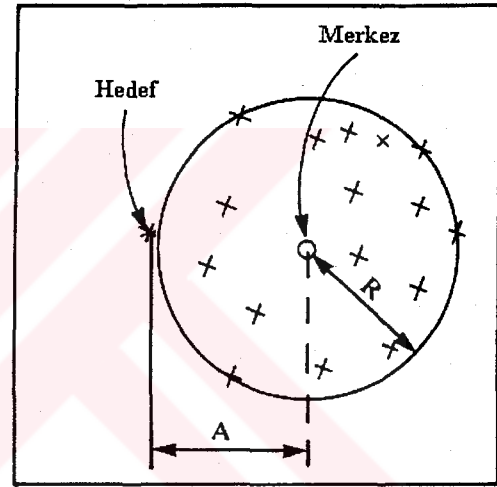
(a) Yüksek tamlık, yüksek tekrarlanabilirlik



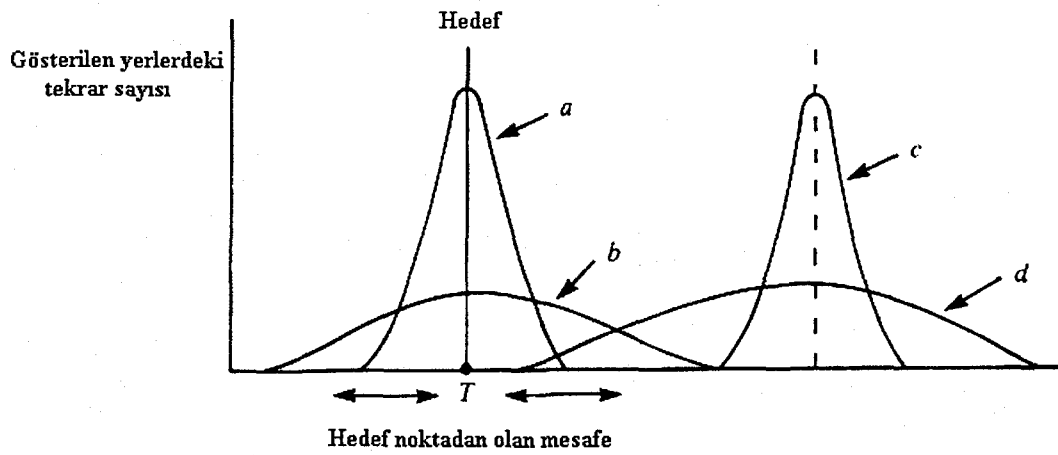
(b) Yüksek tamlık, düşük tekrarlanabilirlik



(c) Düşük tamlık, yüksek tekrarlanabilirlik



(d) Düşük tamlık, düşük tekrarlanabilirlik

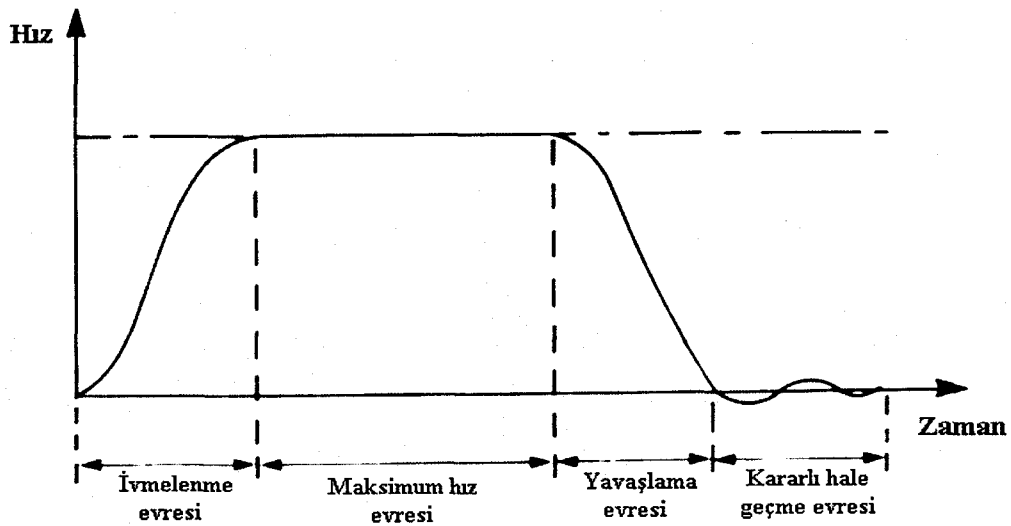


Şekil 2.24 Tamlık ve tekrarlanabilirliğin şematik gösterimi (Mair, 1988)

Tedarikçinin kesinlik spesifikasyonlarına yeterli özen gösterilmelidir. Örneğin, imalatçının orjinal ölçümleri gerçekleştirildiğinde robotun ne kadar yük taşıdığı, ölçüm esnasında robot kol uzamasının miktarı, spesifikasyonların herbir eksenle mi yoksa hareket eden tüm eksenlerin net etkisiyle mi ilgili olduğu gibi konulara dikkat edilmelidir. Diğer faktörler, ısınmadan (warm up) sonra stabil duruma ulaşmak için gerekli süre, iş periyodu esnasında ısınmadan dolayı robot kolunun ısıl uzaması nedeniyle oluşan kesinlikteki farklılıklar ve noktaya erişildikten sonra o noktanın yerleştirilmesi (settle) için geçen süredir. Birçok orta seviyedeki iş için ± 1 mm'lik tekrarlanabilirlik genellikle gerekli olmaktadır; orta seviye montaj işleri için ± 0.05 mm ila ± 0.1 mm ve hassas montaj için ± 0.02 mm'lik tekrarlanabilirlik gerekli olmaktadır (Mair, 1988).

d) Hız

İş analizi ve iş çalışması (work study) ile, tamamlanması gerekli olan çeşitli operasyonlardaki döngü süreleri belirlenmiş olacaktır. Çeşitli muhtemel robotların hız performanslarıyla ilgili dikkatli bir çalışma gerçekleştirilmelidir. Maksimum hız veya dönme hızının, kullanılacak ana kriter olması gerekli olmamaktadır. Maksimum hıza ivmelenme periyodundan sonra ulaşılabilir ki bu durum montaj işinde mevcut olan kısa mesafeli hareketler için uygun olmayacaktır. Burada ivmelenme ve yavaşlama şekilleri daha ilgili hale gelmektedir (Şekil 2.25). Günümüzde bazı imalatçılar, sabit yük kullanarak tanımlanan dikey ve yatay mesafe hareketlerinin bulunduğu standart iş döngüsünü tamamlamak için gerekli zamanı sağlamaktadırlar.



Şekil 2.25 Tipik robot hız eğrisi (Mair, 1988)

Geçmiş tecrübeler kullanılarak döngü zamanlarını tahmin etmek de mümkün olmaktadır. Örneğin, dikiş kaynağında iyi kaliteli kaynaklar elde etmek için optimum kaynak hızları bilinecek ve bu tahmin için bilgi sağlanmış olacaktır veya montaj işinde kısa hareketlerin gerçekleştirildiği yerlerde iş döngüsü 5 saniye olarak tahmin edilebilecektir. Montaj, istifleme veya benzer uygulamalarda, iş döngüsü şunlardan oluşmaktadır: (1) robot kolu, parçayı almak için başlangıç konumundan (home position) aşağı doğru hareket etmektedir; (2) komponent veya malzemeyi tutmaktadır; (3) yukarı hareket etmektedir; (4) diğer tarafa geçmektedir; (5) parçayı bir yere yerleştirmek veya bırakmak için aşağı hareket etmektedir; (6) parçayı serbest bırakmaktadır; (7) yukarı hareket etmektedir; (8) ilk (başlangıç) konumuna geri dönmektedir. Bu hareket veya operasyonların her biri iş elemanı olarak sınıflandırılabilir ve eğer bunlar için uygun süreler mevcutsa çok karmaşık görevler tahmin edilebilmektedir. Robot döngü sürelerinin düzgün şekilde tahmini için standart metodların yerleştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte, her robotun kendi karakteristiklerinin olduğuna dikkat edilmelidir; bu yüzden her robottaki veri, eğer mantıklı tahminler gerçekleştirilecekse, standart eleman zamanları için mevcut olmalıdır.

Diğer faktörler döngü zamanlarının tahminini güçleştirmektedir; örneğin, aynı imalatçının farklı tip robotları farklı performanslar gösterecektir; robot gün boyunca ısındıkça hız farklılıkları oluşacaktır; çalışma alanı içindeki uzuvların rölatif konumlarına bağlı olarak, benzer mesafe hareketleri için değişik hızlar elde edilecektir. Böylece en son döngü sürelerini tahmin etmek için en iyi yol, satın almadan önce imalatçının ekipmanında testler gerçekleştirmek veya endüstride herhangi bir yerde kurulmuş olan benzer uygulamalara bakmaktır (Mair, 1988).

e) Çalışma alanı ve konfigürasyonu

Çalışma alanının ölçekli çizimleri ve robot çalışma alanının şablonları, robotun istenen noktalara ulaşabilmesini ve çarpışma noktalarının tanımlanmasını sağlamak için gerekli olacaktır. Alternatif olarak bilgisayar simülasyonu kullanılabilir (Mair, 1988).

f) Kontrol sistemi

Nokta direnç kaynağı, montaj ve istifleme gibi uygulamalarda noktadan noktaya kontrol; ark kaynağı, spreyci boyama, son işlem gibi uygulamalarda ise sürekli yol kontrolü kullanılmaktadır (Mair, 1988).

g) Tahrik sistemi

Temizlik, hız, sessizlik ve bakım kolaylığı gibi nedenlerden dolayı elektrikli robot en sık kullanılan tip olmaktadır. Eğer ağır yükler manipüle edilecekse hidrolik robotlar düşünülmelidir. Eğer hafif komponentler taşınacaksa ve servo kontrolün gerekmediği basit noktadan noktaya operasyon gerçekleştiriliyorsa, pnömatik robotlar en iyi çözüm olabilmektedir (Mair, 1988).

h) Programlama metodu

İş analizi, ne tip bir programlama metodu istendiğini ortaya çıkarmış olacaktır ve robotla ilgili neyin mevcut olduğunu belirlemek için tedarikçinin spesifikasyonu incelenmelidir. Birçok durumda asılı öğretici (teach pendant) mevcut olmaktadır ve özellikle noktadan noktaya iş için tatminkar olacaktır. Sprey boyama gibi işler için muhtemelen gösterme aracılığıyla programla gerekli olacaktır. Robotun, karmaşık entegre sistemin bir parçası olacağı umuluyorsa, çevrim dışı programlama yeteneğine sahip olması istenecektir (Mair, 1988).

i) Arayüzleme yetenekleri

Uygulamaya bağlı olarak robot, NC takım tezgahları, konveyörler, proses sensörleri gibi ekipmanlarla ve eğer hiyerarşik kontrol sistemi veya ağın bir parçasıysa diğer bilgisayarlarla arayüzlenmelidirler. Böylece robotun diğer ekipmanlarla kolaylıkla arayüzlenebilme yeteneği çok önemli olmaktadır. En basit (temel) seviyede, analog ve dijital giriş ve çıkış portlarının sayısı ve birleştirilmiş donanım ve yazılım göz önünde bulundurulmalıdır. Bazı robotlar kendi kontrol kabinleri içinde uygun arayüzleme yeteneklerine sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır; diğerleri ise yardımcı ekipman olarak mikrobilgisayarlar veya programlanabilir kontrolörlerin yardımına ihtiyaç duyacaktır. Bununla birlikte, eğer robot daha büyük bir sisteme entegre edilecekse, robotun MAP gibi standart protokollerle uyumluluğu da dikkat çekici olacaktır (Mair, 1988).

j) Serbestlik derecesinin sayısı

Her robot için serbestlik derecesi arttıkça, robot daha pahalı hale gelecektir. Böylece gelecekteki muhtemel uygulamalar da göz önünde bulundurularak minimum serbestlik derecesi sayısı seçilmelidir. Örneğin, eğer robot montaj uygulaması için seçilecekse, muhtemelen dört serbestlik derecesi yeterli olacaktır. Bununla birlikte, eğer ark kaynak uygulaması söz konusuysa, üç boyutlu karmaşık eğrisel dikişlerde uygun elektrod açısını sağlamak için altı serbestlik derecesi gerekecektir. Nükleer reaktör bakım ve onarım işi gibi

sıradışı görevlerde, boruların içinde veya engeller çevresinde robot kolu hareket ederken yüksek esneklik sağlamak için altı serbestlik derecesine ilaveten çok sayıda ilave eklem gerekli olabilecektir (Mair, 1988).

k) Kendi kendine teşhis (self-diagnostic) yetenekleri

Bunlar, PCB panellerindeki basit LED durum indikatörleri, giriş/çıkış (I/O) portları, monitör ekranında gösterilen hataların tanımına sahip tam bilgisayarlı teşhis analizi olmaktadır. Analiz sofistike oldukça, sistem o kadar pahalı olacaktır bu yüzden sistem seçimi uygulamanın doğasına ve robot sisteminin bozulması esnasındaki maliyete bağlı olacaktır. Örneğin, otonom çalışma hücresindeki bir robot basit indikatörler gerektirirken, eğer robot daha büyük imalat sisteminin kritik bir parçası olarak kurulmuşsa, tam teşhis yetenekleri sağlayarak sistemin çalışmadığı süreyi minimize etmek ekonomik olarak kayda değer olabilmektedir (Mair, 1988).

l) Standart end efektörler

Robot ve uygulama için uygun standart end efektörlerin mevcudiyeti daha sonra göz önünde bulundurulacaktır. Eğer özel amaçlı end efektörlerin tasarım, imalat ve geliştirilmesi safhaları ortadan kaldırılırsa maliyet ve zamandan tasarruf yapılabilecektir (Mair, 1988).

m) Standart algılama

Dahili algılamadan ayrı olarak çok az tedarikçi sensörleri standart olarak sağlamaktadır. Bununla birlikte, bazıları bilek tork algılama ve kuvvet ve optik algılamalı tutucular sağlamaktadır. Diğer yandan, daha fazla robot aynı imalatçı tarafından tedarik edilen uyumlu görme sistemleri ile mevcut hale gelmektedir. Bu, arayüzleme giderleri ortadan kaldırıldığından yapay görme sistemlerini içeren robotik kurulumları kolaylaştıracaktır (Mair, 1988).

n) Hafıza kapasitesi

Görevin karmaşıklığı ve uzunluğu, gerekli hafıza kapasitesini belirleyecektir. Diğer donanım giderlerine göre hafıza giderlerinin azaltılmasıyla, bu, problem teşkil etmeyecektir (Mair, 1988).

o) Yazılım kabiliyeti

Uygulama noktadan noktaya basit olabilmektedir fakat örneğin dairesel interpolasyon gerektirebilen daha karmaşık görevler öngörüldüğünde yazılımın, işin üstesinden gelebilme

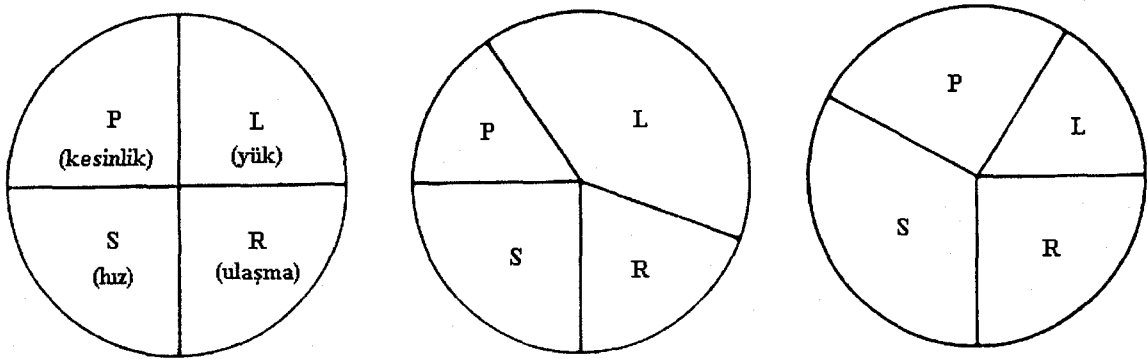
yeteneği doğrulanmalıdır (Mair, 1988).

p) Kurulum faktörleri

Bunlar, fabrika kurulumunu etkileyecek robot spesifikasyonlarıyla ilgili olmaktadır. Güç tüketimi ve güç kaynağı tipi not edilmelidir çünkü bu gider amaçları ve fabrika mühendisliği ile ilgili olacaktır. Robot ağırlığı göz önünde bulundurulmalıdır (özellikle eğer kurulum üst katta gerçekleştirilecekse önemlidir). Robot baz kısmı tarafından işgal edilen fabrika alanı, robotun entegrasyonunun imalat hücresinin içine gerçekleştirilmek istendiği durumda ve diğer ekipmanlarla muhtemel çalışmalarda önemli olacaktır. Maksimum ulaşma sırasındaki alan özellikle güvenlik açısından önemli olmaktadır. Robotun maksimum ulaşımında öngörülmemiş bile olsa yazılım ve donanım sorunlarının oluşması muhtemel olmaktadır. Böylece bu maksimum çalışma alanı, güvenlik amaçlı yerleştirilen güvenlik çitleri için esas alınmalıdır. Ayrıca robotta güvenlik interlokları ve diğer donanımsal ve yazılımsal güvenlik tesisleri incelenmelidir (Mair, 1988).

r) Maliyet

Temel robot maliyetinin, tüm sistemin maliyetinin %20'si ile %80'i arasında değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca basit ve daha ucuz bir robotun, parça sunumu, oryantasyonu ve fiktürlemesi daha pahalı sofistike robottan daha fazla olacaktır. Bununla birlikte, her durum ayrı ayrı değerlendirilmelidir ve basitlik ve esneklik arasında bir denge bulunmalıdır. Eğer bakım giderleri sabitse, robot kesinliği (P), ulaşım (R), yük taşıma kapasitesi (L), ve hız (S) arasındaki ilişki Şekil 1.26'da gösterilmiştir. Yük kapasitesindeki artış, kesinlik, hız ve ulaşım azalmaya neden olacaktır. Hızdaki artış ise yük kapasitesi, kesinlik ve ulaşım dilimlerinde azalmaya neden olacaktır (Mair, 1988).



Şekil 2.26 Sabit maliyet koşulları altında robot performans faktörlerinin "Sıfır toplam (zero sum)" gösterimi (Mair, 1988)

2.9.3 Robot Kurulumu

Buradaki önemli bir nokta bu safhada insanın önemi olmaktadır. Güvenliğe çok önem verilmelidir ayrıca yönetim, ve mühendisler, robot kurulumunun işlerini etkilediği çalışanların duygularına karşı hassas davranmalıdır. Genel iş gücünün, eğitilerek robotikten anlayacak seviyeye ulaştırılması, mevcut bazı şüphelerin giderilmesi için avantaj oluşturacaktır. İşçilerin yerine robotların yerleştirildiği durumda, ilgili işçilerle ve eğer varsa işçi sendikalarıyla bir münazara gerçekleştirilmesinin gereği açık olmaktadır. Bu münazaralar esnasında projeye ilgili öneriler de yapılmalı ve final kurulumunda uygun fikirler de bulunmalıdır.

Proje süresince dikkatli planlama gerekmektedir. Paralel yürütülebilecek çok sayıdaki göreve bağlı olarak kritik yol analizi (critical path analysis) gibi teknikler de buraya konulabilmektedir. Tedarikçi, kullanıcıya son teslimatı yapmadan önce kendi bina ve müstemilatını da inşa edebilmektedir. Sisteme tam imalat kabiliyeti kazandırmak için tüm programlama ve sistemdeki hata ayıklamaları (debugging), kontrat ile tedarikçinin sorumluluğuna bırakılabilmektedir. Diğer tarafta kullanıcı, robotu direkt olarak imalatçıdan alabilmekte ve end efektörlerinin, takımlarının ve diğer çevresel ekipmanlarının tasarımını ve geliştirilmesini gerçekleştirebilmektedir. Bunun dışında çok çeşitli alternatifler mevcut bulunmaktadır. Örneğin, sistemin birbirinden bağımsız parçaları, komple alt sistemler olarak satın alınabilmektedir. Tipik olarak konveyör sistemleri bu şekilde satın alınabilmektedir; tedarikçi, sistemin tam olarak operasyonel olduğunu garanti edecek ve diğer ekipman ile robotlarla uyumluluk ve arayüzlemeyi tavsiye edecektir.

Aşağıda belirtilen yorumlar, robot sistemini kuran firmanın, sistemin çalışmasını gerçekleştirmek için kendi personelini görevlendirdiğini varsaymaktadır. Eğer ilk kez gerçekleştiriliyorsa sistemin çalışır hale getirilmesi için yaklaşık oniki aylık süre gerekecektir. Fiziksel kurulumu geçmeden önce ayrıntılı şekilde planlama gerçekleştirilmelidir. Tipik iş elemanları için standart zamanların, döngü sürelerini tahmin etmek için kullanılabileceği safha, bu safhadır.

Proje analiz edilirken kurulumun izole olarak gerçekleşmediğini göz önünde bulundurmak önemlidir. Örneğin, önceki operasyonlardan gelen parçaların depolama kutularına bırakılmak yerine, biran önce istenen sırada istiflenmesi sağlanabilmektedir. İstifleme bu aşamada fazla maliyetli olmayacaktır fakat parçaları konumlayan ve oryente eden aygıtlarda veya görme sistemlerinde tasarrufa neden olacaktır. İmalat prosesinde daha da geriye gidilirse robotik prosesler için daha uygun olacak şekilde parçaların yeniden dizaynı mümkün olabilmektedir. Kurulumdan ileriye gidilirse robotizasyonun sonraki operasyonlar üzerinde ne gibi etkileri

olacağı düşünölmelidir. Örneğın işçilerin gerçekleştirdiğı imalatla aynı olmasına rağmen dakika başına imalat hızı farklı olabileceğinden, imalat hattının yeniden dengelenmesi gerekebilecektir.

Endüstri mühendisi, fabrika içindeki boş alan kullanımına bağılı olarak robotizasyonun tam potansiyelinin farkında olmalıdır. Örneğın, robot baş üstü (overhead) mesafeye veya dikey raylara yerleştirilebilmektedir böylece insanlardan daha az fabrika alanı işgal edilecektir. Bu sayede ayrıca insandan daha uzak yerlere erişilebilmekte ve daha ağır yükler kaldırılabilir. Böylece insanın erişimini kolaylaştırmak için tüm takımların, malzeme ve ekipmanın fabrika katında tutulması yerine, bozulma veya bakım durumunda insan müdahalesi için yeterli alan bırakmak amacıyla değişik çalışma alanı konfigürasyonları uygulanabilmektedir. Eğer insan operatör robotla değiştirilecekse, mevcut ekipman modifiyesi yerine robotla optimum uyumluluğı sağlamak için ilgili takım, itenekli ayırıcı (jig) ve fikstürler yeniden tasarlanmalı ve imal edilmelidir.

Robot son kullanıcıya sevk edilmeden önce, kurulum yapılacak alanın robot montajına uygun olduğundan emin olunmalıdır (bu alan düz bir satıh olmalı, robotun ağırlığını taşıyabilecek kapasitede olmalı vs.). Ayrıca kurulum alanının, çevredeki makinaların titreşimlerinden izole edilmesi gerekebilir. Tahrikler, kontrolörler ve hidrolik güç paketleri için elektrik güç hatları ve pnömatik ekipman için hava hatları gibi servisler sağlanmalıdır.

Göz önünde bulundurulması gereken çok sayıda ayrıntı mevcut bulunmaktadır; örneğın, limit sviçlerin, yakınlık sensörleri, güvenlik ekipmanı, programlanabilir kontrolörler, konveyörler, paletler vb.'nin seçimi gerçekleştirilmelidir. Maksimum güvenirliliğı sağlamak için, katı hal (solid state) komponentlerinin kullanıldığı yerlerde kendini kanıtlamış ekipman seçilmelidir. Robot sistemlerindeki problemlerin çoğı robotların kendilerinden değil yardımcı ekipmandan kaynaklanmaktadır. Elektriksel gürültü, kontrol sinyallerinin bozulması gibi girişim problemleri meydana getirebilmektedir bundan dolayı veri iletimi için iyi yalıtımlı kablolar kullanılmalıdır. Mümkün olan yerlerde standart komponentlerin kullanılması giderleri minimize edecek; bakım personelinin bu parçalara aşına olma ihtimalini kuvvetlendirecek ve değiştirilecek parçaların daha kolay elde edilmesini sağlayacaktır.

Sistem bitirilmek üzere olduğunda, her ekipman diğerlerinden bağımsız olarak denemeli ve test edilmelidir. Modifikasyon ve geliştirmelerden sonra, tüm sistem entegre şekilde çalışana kadar kademeli olarak ilgili ekipmanlar birbirlerine bağlanmalıdır. Daha sonra robotun ilk denemeleri gerçekleştirilmelidir. İlk program kurulumundan sonra, program, bir noktadan

diğerine yavaş bir hızla gidecek şekilde çalıştırılmalıdır. Herşey yolunda giderse imalat hızları yakalanana kadar hız kademeli olarak artırılabilir. Kurulum sırasında atılan adımlar ve karşılaşılan problemler, gelecekte referans oluşturması açısından kaydedilmelidir. Bu, kurulum sırasında elde edilen tecrübelerin gelecekteki projelere aktarılmasını sağlayacaktır (Mair, 1988).

2.9.4 Robot Bakımı

Fırçasız motorlu en son elektrikli motorlar ve yüksek kaliteli aktarma organları, yataklar ve kontrol komponentleri çok az bakım gerektirmektedir. Rutin bakım, esas olarak, aşınma için periyodik kontrol, gerekli yerlerin temizlenmesi ve yağlanması olacaktır. Önerilen prosedürleri ve zamanlamaları imalatçı belirtecektir. Hidrolik robotlar için, filtrelerin ve yağın değiştirilmesi, conta ve manşonların değiştirilmesi gibi ek bakım gerekecektir. Küçük bakımlardan ayrı olarak büyük (ana) bakımlar sadece gerektiğinde gerçekleştirilmelidir. Bununla birlikte gerektiğinde yürütülmek üzere bakım için planlar yapılmalıdır.

Bakım personeli, robot tedarikçisi tarafından iyi şekilde eğitilmelidir. Eğitim kursları, robot sisteminin karmaşıklığına veya bakım mühendisinin bilmesi gereken bilgiye bağlı olarak iki gün ile iki hafta arasında değişebilmektedir. Personel eğitilirken tam etkin bir eğitim için birçok yetenek gerekecektir. Bunun için, herbiri oluşabilecek hatalardan anlayan çok yetenekli teknisyenlere sahip olmak veya elektrik, elektronik, pnömatik, hidrolik, programlama ve mekanik alanların herbiri için bir bakım takımı oluşturmaktır. Eğitimde kurs notları ve bakım manuellere de bulunmalıdır.

Bakım ve hata bulmada yardımcı olan kapsamlı manuel ve prosedürlerin yanında başka imkanlar da sağlanabilmektedir. Bunların bazılarında bölümün başında robot spesifikasyonlarında bahsedilmiştir. Bunlar teşhis imkanlarıdır ve sistemin toplam çalışma zamanını önemli ölçüde azaltabilmektedirler.

Hatalara bağlı olarak robotun çalışmadığı ortalama süre, yaklaşık yüzde 50 teşhis, %25 onarım ve % 25 testten oluşmaktadır. Burada uyarı esnasında bekleminin olmadığı varsayılmıştır. En basit tip, operatörün kontrol panelinde robotun bozulduğunu belirten uyarı ışıklarının kullanımınıdır. Bunun bir adım ilerisi kontrol kabini içindeki I/O portları ve PCB ünitelerindeki uyarı LED'lerinin kullanımınıdır. Bunların örneğin verilerin her üniteye gönderilip gönderilmediğini ve alınıp alınmadığını göstermek için kullanılmaktadır. En üst seviyede, monitör ekranında tam metinsel teşhis bilgisi gösterilebilmektedir. Robot sisteminin karmaşık analizi için, telefon ve modem sistemi aracılığıyla robotun bilgisayarını tedarikçinin

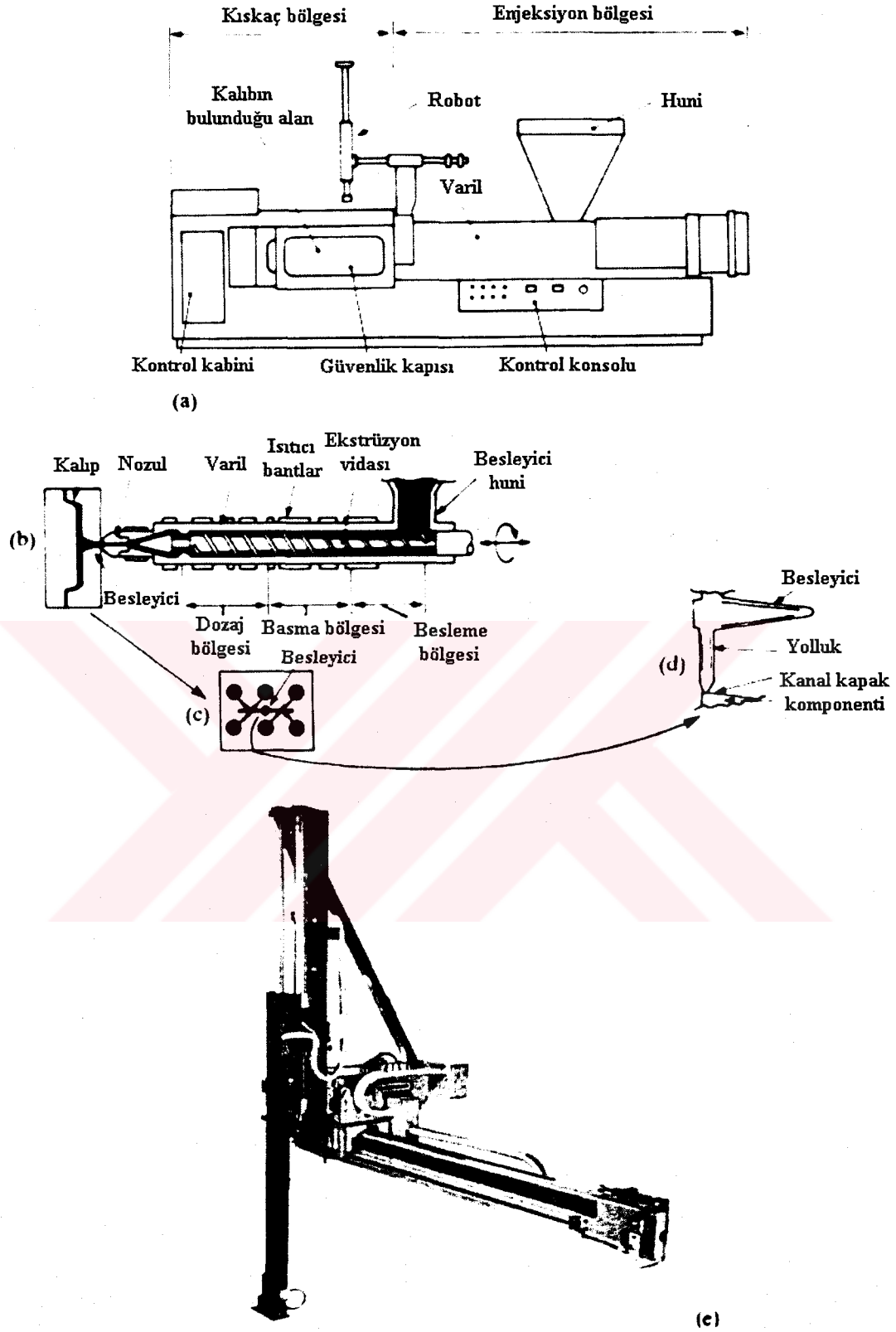
teşhis imkanları ile birbirine bağlamak mümkündür. Robotların da bulunduğu herhangi bir makinadaki bakım veya onarım gerçekleştirilirken, bulunan hataların, atılan adımların ve bunların sonuçlarının ve görevi gerçekleştirmek için gerekli sürenin ayrıntılı kaydı tutulmalıdır. Bu, gelecekteki onarımları kolaylaştıracak ve maliyetler için bilgi sağlayacaktır.

Hataların birçoğunun, sviç bozulması veya kontrol sistemine pislik kaçması gibi basit nedenlerden oluşmasına rağmen, stokta yedek parçaların bulundurulması tavsiye edilmektedir. Bu yedek parçalar için harcanacak miktar, robotun çalışmadığı süredeki imalat kaybının maliyeti ile parçaların maliyetlerinin kantitatif olarak karşılaştırılmasıyla hesaplanabilmektedir. Örneğin, eğitim amacıyla kullanılan bir robot için çok az yedek parça bulundurulmalı ya da hiç bulundurulmamalıdır. Bunun nedeni, robotun demonstrasyon esnasındaki gibi kritik bir zamanda durmasında bile, demonstrasyon yeniden gerçekleştirilebileceğinden çok fazla maliyetin oluşmamasıdır. Bununla birlikte, otomobil fabrikasındaki hatta kullanılan bir dizi robotun her birinin performansının bir öncekine bağlı olduğu durumda robotun çalışmadığı sürenin maliyeti çok yüksek olacaktır. Bu durumda yedek olarak değiştirilmek üzere komple robota sahip olmak tavsiye edilebilmektedir. Bu iki durum arasında kullanıcı, baz robotun fiyatının yaklaşık %10'u mertebesinde yedek parçayı stokta tutmaya karar verecektir (Mair, 1988).

3. ROBOTLU SİSTEMLER

3.1 Enjeksiyon Kalıplamadaki Robotlar

Enjeksiyon kalıplama, plastik komponentlerin imali için en yaygın kullanılan ve en ekonomik proses olmaktadır. Bu tekniğin çok çeşitli varyasyonları bulunmaktadır fakat en yaygın olanı Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Besleyici hunideki granül halindeki plastik veya plastik tozu, pistonlu vida plastikleştiriciyi hareket ettiren ısıtılmış silindire düşmektedir. Bu vida, plastikleştirici ve enjeksiyon ünitesi olarak rol oynamaktadır. Plastik, silindir boyunca beslendiğinde gösterilen bölgelerden geçmektedir. Besleme bölgesini geçtikten sonra, vida ilerleme derinliğinde azalmanın olduğu basma bölgesinde plastik, basılmaya zorlanmaktadır. Plastik aktığında burada gerçekleştirilen iş, ısıya dönüşmektedir ve böylece plastik yarı sıvı akışkan haline gelmektedir. Son olarak dozaj bölgesinde (metering zone) ısıtıcı bantlardan iletim yoluyla ilave ısı uygulanmaktadır. Vidanın önünde bir bölme (chamber) bulunmaktadır ve dolduğunda vidayı geri gitmeye zorlamaktadır böylece limit sviç devreye girmektedir. Bu ise, vidayı ileri gitmesi için zorlayan hidrolik silindiri aktive etmekte ve kapalı kalıba sıvı plastiği enjekte etmektedir. Tek yönlü valf, basınç altındaki plastiğin vida bölmesine geri akmasına izin vermemektedir. Kalıp takımı en az iki parçadan oluşmaktadır ve görevi, malzemeye istenen şekli vermek ve şekil verilen komponenti soğutmaktır. Komponentin çıkarılmasına izin vermek için kalıp, ayırma çizgisi boyunca açılmaktadır. Kalıp içerisindeki ergimiş plastik, kalıp çekirdeğine besleyici aracılığıyla gönderilmektedir. Daha sonra yolluk sistemi aracılığıyla plastik esas komponent boşluğuna gönderilmektedir. Bu besleyici ve yolluk sistemi genellikle komponent boyunca soğutulmaktadır ve böylece bitmiş üründen elle veya mekanik olarak uzaklaştırılmaktadır. (Mair, 1988)



Şekil 3.1 Enjeksiyon kalıplama: (a) enjeksiyon kalıplama makinası; (b) işlemin prensibi; (c) ve (d) tipik kalıp boşluğu; (e) tipik enjeksiyon kalıplama robotu (Mair, 1988)

Geleneksel olarak, enjeksiyon kalıplama makinaları, parçaları kalıptan çıkarmak için operatörlerin kullanıldığı yarı otomatik döngüyle çalışmışlardır. Birçok enjeksiyon kalıplama operasyonu, döngü sonunda kalıptan parçaların çıkarılmasını sağlayacak bir metodla tam otomatik olarak çalışabilmektedir. Eğer parça kalıba yapışır, bir sonraki döngünün başlangıcında kalıp kapandığında kalıpta önemli hasar meydana gelebilmektedir. Kalıptan parçaların çıkarılma metodları şunlar olmaktadır: kalıptan parçaların düşmesini sağlayan yerçekiminin ve kalıp içine ulaşarak parçaların çıkarılması için robotların kullanılması. Metodun seçimi büyük oranda kalıplama işinin karakteristiklerine (parça boyutu, ağırlık, her seferde kaç parçanın kalıplanacağı) bağlı olmaktadır. Endüstriyel robotlar, diğer ucuz otomatik metodlar güvenilir olmadığında, enjeksiyon kalıplama makinasını boşaltmak için kullanılmaktadırlar (Groover, 1986). Bu robotların tipik hareket sırası şu şekilde olmaktadır:

- 1- Enjeksiyon kalıplama makinası açılmakta ve yolluk sistemine sahip bitmiş komponentler çıkartılmaktadır.
- 2- Robotik boşaltma kolu aşağı doğru dikey olarak hareket etmektedir; parçayı tutmaktadır ve yeni parçaların kalıplanmasına izin vermek için kalıbın kapanmasını sağlamak amacıyla geri çekilmektedir.
- 3- Robot kolu, bitmiş ürünü konveyör veya paletin üzerine bırakmak için makinanın ya önüne yada arkasına doğru yatay olarak hareket etmektedir.

Bitmiş parça bırakılmadan önce, üzerindeki yolluk ve çıkıcıların kesilmesi için robot koluna bir kesici takım eklenebilmektedir. Bu robotların kontrol sistemleri genellikle güvenlik ve artırılmış verim için diğer ekipmanlarla arayüzlenmeye izin vermektedir. Basit tutuculardan özel olarak tasarlanmış vakumlu tutuculara kadar geniş bir yelpazede birçok end efektör tipi kullanılmaktadır.

Enjeksiyon kalıplama için robotların uygulanmasının avantajları şunlar olmaktadır: Yüksek imalat oranlarına izin veren kalıplama döngü sürelerinin kısılması, daha kaliteli ürünler elde edilmesine olanak tanıyan tutarlı döngü süreleri, tehlikeli ve hoş olmayan ortamlardan insanların uzak tutulması. Tehlikelerin nedeni, kenetlenme basınçları 5000 ton'a kadar çıkabilen hareketli takımlar olmaktadır. Ayrıca plastik yaklaşık 300°C'de enjekte edilmektedir ve yüksek basınçta beklenmeyen bir sızıntı, tehlikeli olabilmektedir. Buna ilaveten oluşan ısı ve gazlar yüzünden, ortam rahatsız edici olabilmektedir. Bunun yanısıra basınçlı döküm prosesi de benzer bir uygulama olmaktadır. Makina ve makina operasyonları çok farklı olmasına rağmen yüksek basınçlı döküm prosesinde ergimiş metal, enjeksiyon kalıplamadakine benzer bir kalıbın içine enjekte edilmektedir (Mair, 1988).

3.2 Pres Yükleme ve Dövme Prosesindeki Robotlar

Dövme, metalin preslenerek veya çekiçlenerek istenen şekle getirildiği bir metal işleme prosesi olmaktadır. En eski proseslerden biridir ve eski zamanlardaki demircilerin gerçekleştirdiği metal işleme operasyonlarından esinlenerek ortaya çıkarılmıştır. Çoğunlukla, dövme öncesi metalin yüksek sıcaklığa ısıtıldığı sıcak işleme prosesi olarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca soğuk işlem prosesi olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Soğuk dövme metale farkedilir bir mukavemet kazandırmaktadır ve bu, el aletleri (örneğin, çekiçler ve İngiliz anahtarları) gibi mukavemet özelliği gerektiren yüksek kaliteli ürünler için kullanılmaktadır. Sıcak dövmede bile, çekiçleme prosesinin neden olduğu metal akışı, şekillendirilen parçaya mukavemet katmaktadır.

Dövme, özellikle sıcak dövme operasyonları, insanlar için en kötü endüstriyel işlerden biri olmaktadır. Çevre gürültülüdür ve sıcak dövme için 100°F'in üzerinde çalışma sıcaklıkları bulunmaktadır. Dövme, atölyesindeki hava, genellikle kir, fırın dumanları ve yağlayıcıların buğusu ile dolu bulunmaktadır. Operasyon tekrarlamalıdır ve sıklıkla operasyon esnasında ağır parçaların hareket ettirilebilmesi için fiziksel kuvvet gerektirmektedir. Ayrıca operatör, zeminden gelen çeşitli titreşimlere de maruz kalmaktadır (Groover, 1986).

Genellikle karmaşık programlar gerektirmediği için pres işi ve dövme uygulamaları için robot ideal olmaktadır. Basit silindirik koordinatlı robotlar kullanılabilir ve çalışma ortamı insanlar için pis, gürültülü ve sıcak olmaktadır. Bu durumlarda robotların kurulumu yapıldığında üretkenlik artmaktadır fakat bu döngü zamanlarının düşmesiyle gerçekleşmemektedir. Aslında döngü sürelerinin biraz artırılması gerekmektedir. Üretkenlikteki artış, dinlenme zamanı, öğle tatili veya vardiya değişimleri gibi imalatın olmadığı sürelerin azaltılmasından ileri gelmektedir. Gerekli olduğu durumlarda 24 saatlik çalışma süresine ulaşılabilir. Operatörün presi hatalı yüklemesi nedeniyle oluşan hatalı ürünler azaltılmış olmaktadır. Ayrıca bu, kalıp bakım süresi ve giderlerini de azaltmaktadır (Mair, 1988).

3.3 Dökümdeki Robotlar

Basınçlı döküm, ergimiş metalin yüksek basınç altında kalıp boşluğuna gönderildiği bir imalat prosesi olmaktadır. Proses, metal parçaları yeterli tamlıkla dökmek ve böylece işlem sonrası bitirme operasyonlarına başvurmamak için kullanılmaktadır. Basınçlı döküm malzemesi olarak genellikle çinko, kalay, kurşun, alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları kullanılmaktadır.

Kalıp, basınçlı döküm makinası tarafından açılıp kapanan iki yarıdan oluşmaktadır. Operasyon esnasında kalıp kapanmakta ve ergimiş metal kalıp boşluğuna pompa aracılığıyla basılmaktadır. Kalıp boşluğunun tam olarak dolduğundan emin olmak için yeterli ergimiş metal aklıp içine gönderilmektedir ve metalin fazlası kalıp yarıları arasındaki boşlukta çapak oluşturmaktadır. Metal katılaştıktan sonra kalıp açılmakta ve parça, pimler tarafından kalıp boşluğu dışına çıkartılmaktadır. Parça makinadan alındıktan sonra su banyosunda soğutulmaktadır. Döküm esnasında meydana gelen çapak, parçanın etrafını kesen trimleme operasyonu ile uzaklaştırılmaktadır. Bu yüzden tipik basınçlı döküm imalat döngüsü, döküm, parçanın makinadan alınması, soğutma ve trimlemeden oluşmaktadır.

Makina tipi, dökülen metal ve parça tasarımına bağlı olarak basınçlı döküm prosesindeki imalat sayıları, saatte 100 ila 700 arasında bulunmaktadır. Küçük parçalar için kalıp, birden fazla boşluklu tasarlanabilmektedir böylece her döküm döngüsünde elde edilen parça sayısı birkaç katına çıkabilmektedir. Basınçlı döküm makinaları genellikle operatörler tarafından çalıştırılmaktadır. Sıcak, tekrarlı, kirli ve hoş olmadığından dolayı, iş, insana uygun bulunmamaktadır.

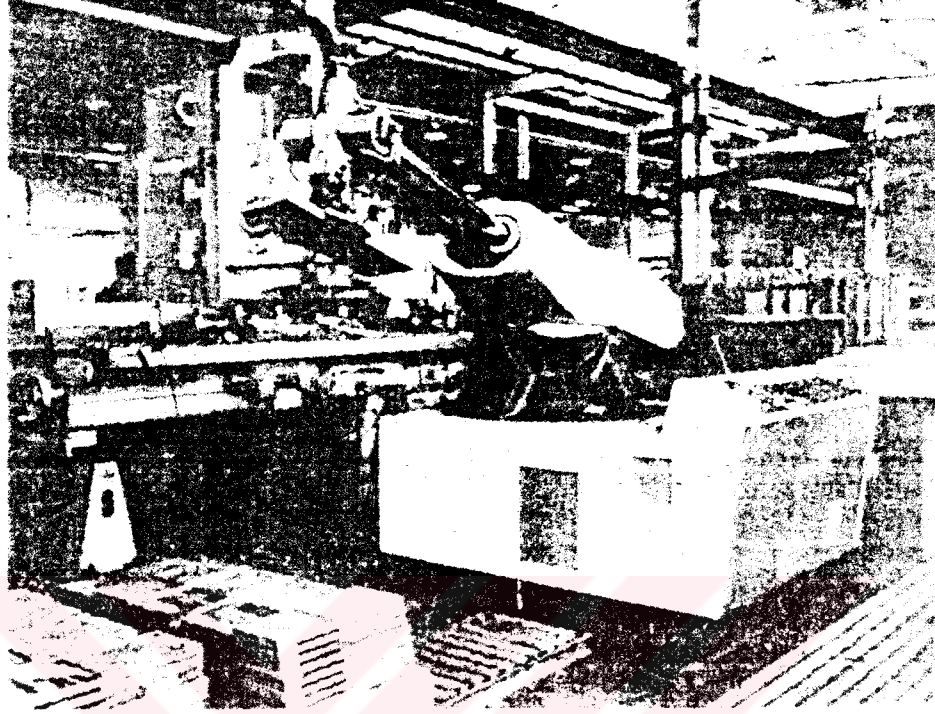
Muhtemelen bu şartlar yüzünden basınçlı döküm, robotların ilk uygulandığı proseslerden birisi olmuştur. Robotların basınçlı dökümde ilk kullanımı 1961 yılında gerçekleşmiştir. Engelberger, Unimate robotun basınçlı döküm uygulamasında 90,000 saatten fazla kullanıldığını söylemektedir (Groover, 1986).

3.4 Takım Tezgahı Yüklenmesindeki Robotlar

Talaşlı işleme, aşırı malzemenin kesici takım ile iş parçasından uzaklaştırılıp şeklinin değiştirildiği bir metal işleme prosesi olmaktadır. Döküm veya dövmenin parçaya ilk şeklini vermesinden sonra parçanın son şekil ve boyutlarının verildiği ikinci sıradaki bir proses olarak düşünülebilmektedir. Talaşlı işleme operasyonlarının birçok değişik kategorisi mevcut bulunmaktadır. Esas kategoriler, tornalama, delme, frezeleme, vargelleme (shaping), planyalama ve taşlamadan oluşmaktadır. Ticari olarak talaşlı işleme önemli bir metal işleme prosesidir ve düşük parça sayılarından yüksek parça sayılarına kadar değişen geniş bir yelpazede çok değişik ürünlerin eldesinde geniş olarak kullanılmaktadır. Orta ve yüksek hacimli imalatta, operasyon her parça için sürekli tekrarlanmalıdır.

Talaşlı işleme operasyonlarında yükleme ve boşaltma fonksiyonları için robotlar başarıyla kullanılmıştır. Robot tipik olarak, işlenmemiş iş parçasının (döküm, dövme veya diğer temel

bir form) takım tezgahına yüklenmesi ve işleme döngüsünün sonunda boşaltılması için kullanılmaktadır. Şekil 3.2, işlem sonunda parçaların istif rafına konulduğu, takım tezgahı yükleme ve boşaltma operasyonunu göstermektedir (Groover, 1986).



Şekil 3.2 Takım tezgahı operasyonunda parçaların yüklenmesi ve boşaltılması için kullanılan Unimate 2000 robot (Groover, 1986)

Takım tezgahı yükleme/boşaltmasındaki robotların kullanımı, insansız makina hücreleri ve esnek imalat sistemleri (FMS) için gerekli olmaktadır. Nümerik kontrollü takım tezgahı konsepti, makinanın sırasıyla, değişik komponent yığınlarını imal etmek üzere programlanabilmesidir. Bir üründen diğerine geçmek için gerekli olan, disket veya daha gelişmiş bir sistemde ana bilgisayardan gelen komutlar olmaktadır. Bununla beraber, tezgah sadece malzemeyi kesebilmektedir, parçayı tezgaha yükleme/boşaltma için hareket ettirememektedir; bu yüzden robot gerekli olmaktadır. Bu amaç için çok çeşitli robot tipleri kullanılmıştır ve minimum döngü zamanlarına ulaşmak için, bunların hepsi takım tezgahı kontrol sistemine entegre edilmiştir.

Bu uygulamada kullanılan robotlar takım değiştirmesini, iş parçasının tutulmasını ve iş parçalarının otomatik olarak yükleme/boşaltmasını gerçekleştirecek yeteneğe sahip bulunmaktadırlar. Robotların kontrol sistemleri, fikstürler, itenekli ayırıcılar (jigs), konveyörler ve torna aynalarının operasyonu ile makina güvenlik elemanları ile arayüzlenmek

üzere tasarlanmaktadır. İşparçası değişimleri ve takım değişikliği istemlerini kabul etmek için takım tezgahı kontrolörü ve/veya ana bilgisayar ile arayüzlenmektedirler ve ayrıca takım, malzeme ve komponentlerin istifleme rutinlerinin kolay şekilde programlanması için tasarlanmaktadır.

Takım tezgahı yükleme robotu gibi özel olarak tasarlanmış robotlar, çok çeşitli takım tezgahları ile çalışabilmektedirler. Göreceli olarak küçük ve hafif olmaktadır ve bu sayede makinaya direkt olarak bağlanabilmektedirler böylece fabrika alanından tasarruf edilmiş olmaktadır. Daha büyük silindirik koordinatlı robotlar daha ağır iş parçalarını kaldırabilmektedirler ve daha büyük ulaşımına sahip olmaktadır. Bu ise birçok tezgaha hizmet edebilmelerini sağlamaktadır. Eğer robot tek bir tezgaha hizmet ediyorsa, makinanın döngü zamanının uzun olması durumunda robot önemli bir süre boşa kalacak ve tezgahı bekleyecektir. Eğer bu süre içinde robota yapacak başka bir iş bulunmazsa ekonomik fizibilite ortadan kalkabilmektedir. Yapacak başka bir iş olarak çapak alma, bitmiş parçaların muayenesi veya başka bir komponent için tamamen farklı bir operasyon olabilmektedir (Mair, 1988).

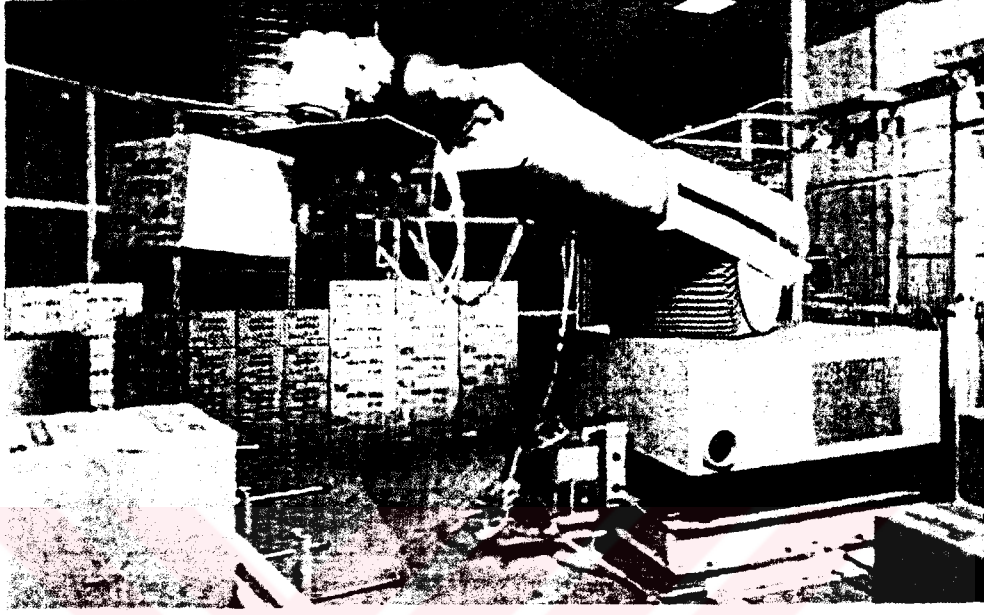
3.5 Taşıma ve İstiflemedeki Robotlar

Bu kategori geniş bir uygulama alanını içermektedir. Taşınan parçaların ağırlığı birkaç gramdan birkaç tona kadar değişiklik gösterebilmektedir. Uygulanan robot tipleri de, hafif, servo kontrollü olmayan pnömatik robotlardan, orta boyutlu elektrikli tiplere ve büyük hidrolik manipülatörlere kadar değişiklik göstermektedir. Birçok uygulama için silindirik, kutupsal ve dönel (revolute) tipler uygun bulunmaktadır ve kısıtlı alanlardaki hafif işler için dikdörtgen tipler kullanılabilir. Şekil 3.3'de basit malzeme taşıma görevini gerçekleştiren Unimate kutupsal koordinat robotu gösterilmiştir.

Noktadan noktaya programlama ve kontrol gerekli olmaktadır. Kontrolör, çok sayıda noktayı saklayabilecek kapasiteye ve yatay ile düşey artımların kolay programlanabilmesine izin vermelidir. Böylece istifleme operasyonu için başlangıç noktasının tanımlanmasıyla, x-y-z eksenleri boyunca eşit adımlarda komponentlerin alınması ve yerleştirilmesi için robot kolunun programlanması, uzunluğun, yönün ve adım sayısının tanımlanmasıyla gerçekleştirilebilmektedir (Mair, 1988).

Tutucu tasarımı, tüm prosesin ekonomisini etkileyeceğinden, uygulama için doğru seçimin yapılması önemli olmaktadır. Sıklıkla robot kontrolörü, takım tezgahı veya konveyör gibi

diğer bir ekipmana bağlı olacaktır. İstiflenecek veya diğer bir ekipmana yüklenecek malzeme, robotun önüne rastgele sıralarda gelmektedir. Böylece robot, komponent kartonlarının veya komponentlerin üzerindeki barkodu okuyan lazer okuyucusuna bağlanmalıdır; robot daha sonra hangi hareket sırasını gerçekleştireceğine karar verecektir (Mair, 1988).



Şekil 3.3 Karton taşıyan Unimate robot (Mair, 1988)

3.6 Montajdaki Robotlar

Bir ürün elde etmek için birçok imalat prosesleri kullanılmaktadır. İlk olarak hammadde, döküm, haddeleme, dövme vb. gibi birincil proseslerden geçmektedir. Daha sonra malzeme, talaşlı işleme veya sac metalden komponentlerin kesildiği ve delindiği uygulamalar gibi daha ileri işlemler görmektedir. Bu seviyede, toz metalürjisi, basınçlı döküm veya enjeksiyon kalıplama gibi prosesler kullanılarak ham malzemedен komponent elde etmek de mümkündür. Sonuç olarak, bitmiş ürün elde etmek için bağımsız komponentler spesifik bir şekilde bir araya getirilmektedir. Bu son aşama, montaj prosesi olmaktadır. Transistörler, IC'ler, rezistörler ve boş PCB'ler, bitmiş PCB elde etmek için ve alt montaj oluşturmak için bir araya getirilebilmektedirler. Bu alt montajlar farklı seviyelerde meydana gelebilmektedirler; örneğin motorlu taşıtta buji kablosu bir alt montaj olmaktadır. Bu kablo daha büyük motor montajının bir parçası olacaktır ve bu motor montajı bitmiş araba için bir alt montaj olacaktır.

Komponentler birbirlerine birçok farklı teknikle birleştirilebilmektedir; seçilecek yöntem

uygulamaya ve kullanılan montaj prosesine bağılı olmaktadır.

1. Mekanik bağlama. Bu, perçinleme, eğme gibi sürekli metodları içermektedir. Ayrıca saplama (stud), civata (bolt), somun (nut), pim, vida gibi yarı-sürekli metodlardan oluşmaktadır. Bu alanda endüstriyel robotlar başarıyla uygulanmıştır.
2. Yumuşak ve sert lehimleme. Bunlar, birleştirilen parçaların yeniden ısıtılarak ayrılabilirdiği yarı-sürekli metodlar olmaktadır. Bu alandaki robot uygulamaları, elektronik montajındakiler olarak sayılabilmektedir.
3. Kaynak. Nokta ve punta kaynağındaki robotların kullanımından daha önce bahsedilmiştir.
4. Yapıştırma. Bu, popülerliği günden güne artan bir kalıcı birleştirme tekniği olmaktadır. Ayrıca sürekli yol kontrolü kullanan robotlar ile robotizasyona uygun bulunmaktadır.

Son yıllarda montaj operasyonlarında endüstriyel robotların kullanımı ivme kazanmıştır. Bunun nedeni, yazılım ve donanım teknolojisinin, özel olarak montaj operasyonları için robotların konstrüksiyonunu gerçekleştiren bir seviyeye ulaşmasıdır (Mair, 1988).

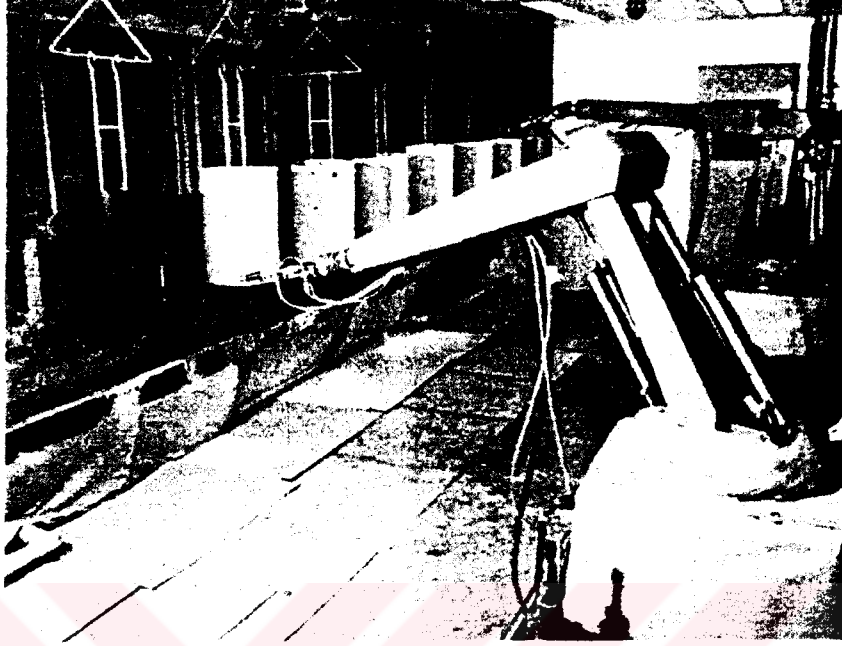
3.7 Yüzey Kaplamadaki Robotlar

Sprey boyama, sürekli yol kontrolü kullanılarak gerçekleştirilen ilk robotik proseslerinden biridir. Şekil 3.4'de gösterilen ve özel olarak sprej boyama için tasarlanan Trallfa robotu günümüzde oldukça yaygın kullanılmaktadır. Bu görev için tasarlanmış diğeri bir hidrolik robot Şekil 3.5'de gösterilen Spine robot olmaktadır. Birçok faktör yüzünden sprej boyama robotizasyon için ideal bulunmaktadır. Bu faktörler:

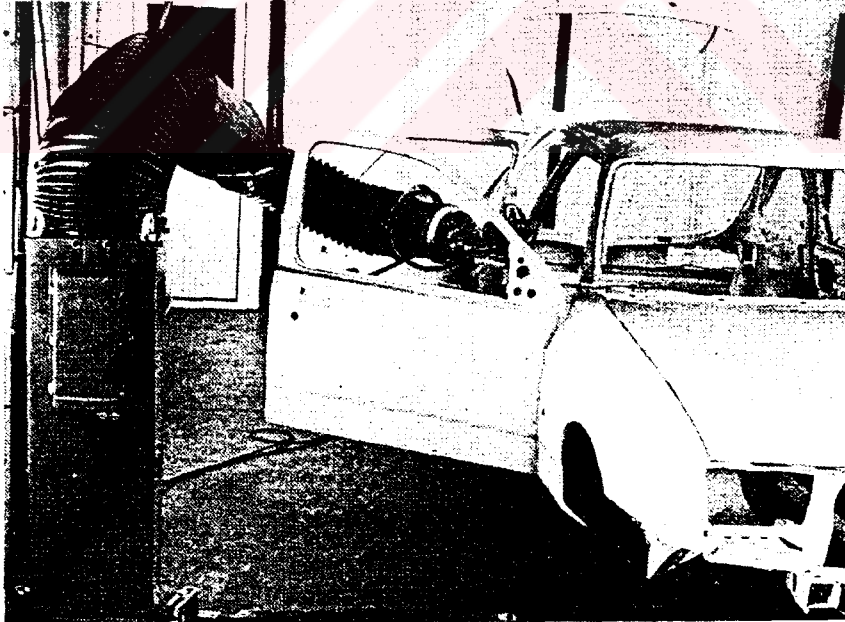
1. Sprej boyama ortamı ve çalışma koşulları insanlar için tehlikeli ve rahatsız edicidir. Bunun nedenleri: a) kullanılan malzemelerin çoğu toksik olmaktadır ve özel koruyucu giysi giyilmesini gerektirmektedir; b) basınçlı hava nedeniyle memelerden çıkan ses (ince boyama sırasında); bu yüzden operatör kulak tıkacı kullanmalıdır; ve c) çalışma alanı genellikle kısıtlı bulunmaktadır ve gerekli manipülasyon miktarı genellikle karmaşık ve güç olmaktadır.
2. Geleneksel otomize sprej boyayıcılar pahalı olmaktadır ve göreceli olarak esnek olmamaktadırlar; etkisiz kalabilmektedirler ve daha sonraki safhalarda insan operatör tarafından elden geçirildiği, otomobil gövdelerinin boyanması gibi karmaşık görevlerde tam olarak başarılı olamamaktadırlar.
3. Sağlık ve güvenlik şartnamelerine göre enerji giderleri yüksek olabilmektedir. Enerji gereksiniminin yüksek oluşunun nedeni, operatörlere taze hava sağlanması, gazların uzaklaştırılması ve uygun havalandırma sağlanması gerekliliğinden oluşmaktadır. Eğer çalışma alanından insanlar uzaklaştırılırsa, havalandırma sistemleri için gerekli enerji

gereksinimi azalacaktır ve böylece maliyetler düşecektir.

4. İnsan operatörler tutarlı kalitede iş üretememektedirler. Ayrıca boyanmış yerlerin tekrar boyanması toplam boya sarfiyatının artmasına neden olacaktır.



Şekil 3.4 Trallfa sprej boyama robotu (Mair, 1988)



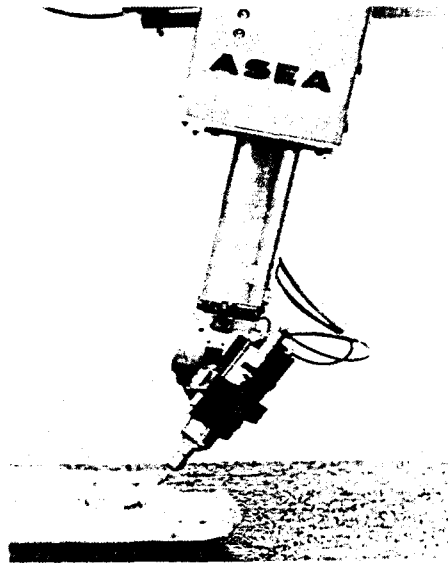
Şekil 3.5 Spine yüzey kaplama robotu (Mair, 1988)

Sprej boyama robotunun hatırı sayılır derecede yetenekli olması gerekmektedir. İnsan operatör yetenekli bir şekilde boya rezervuarına bağlı olan boya tabancasını tutacak ve

boyanacak alan üzerinde, memeyi yüzeyden sabit bir mesafede tutarak hareket ettirecektir. Bu yüzden robotun sürekli yol kontrolüne sahip olması gerekmektedir ve gösterme aracılığıyla (leadthrough) programlanmaktadır. Robot ayrıca bazı boya malzemeleri kullanıldığında meydana gelen aşırı parlayıcı (tutuşabilir) atmosferlerde çalışabilmelidir. Son zamanlara kadar sprey boyamada, düşük gerilim sinyalleri ve uzağa yerleştirilmiş güç üniteleri ile, hidrolik robotlar kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kıvılcım oluşturmaya daha az meyilli yeni fırçasız motorlara sahip robotlar, elektrikli robotların bu iş için kullanılabilceğini göstermektedir (Mair, 1988).

3.8 Son İşlem (Fettling) Ve Çapak Almadaki Robotlar

Son işlem ve çapak alma, kesici veya aşındırıcı takımlar kullanarak komponentlerden istenmeyen metal kalıntılarının uzaklaştırılmasını içermektedir. Son işlem, döküm parçalardan flaş veya yolluklar gibi istenmeyen parçaların uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Çapak alma ise talaşlı işleme operasyonlarından sonra keskin kenarların kesilmesini içermektedir. Son işlem, aşırı metalin, taşlama diski, testere veya diğer bir metal kesim tekniği ile uzaklaştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Robotun yük taşıma kapasitesine ve komponentin ağırlığına bağlı olarak malzeme, robot tarafından tutulup kesici takıma götürülebilmektedir. Çapak alma, robotun bileğine eklenen ve yüksek hızda dönen küçük kesici takım ile gerçekleştirilmektedir. Robot daha sonra çapak alınacak kenarı izlemektedir. Bu kenar izleme operasyonu son işlemden de gerekli olabilmekte ve her iki durumda da sürekli yol kontrolü gerekli olmaktadır.

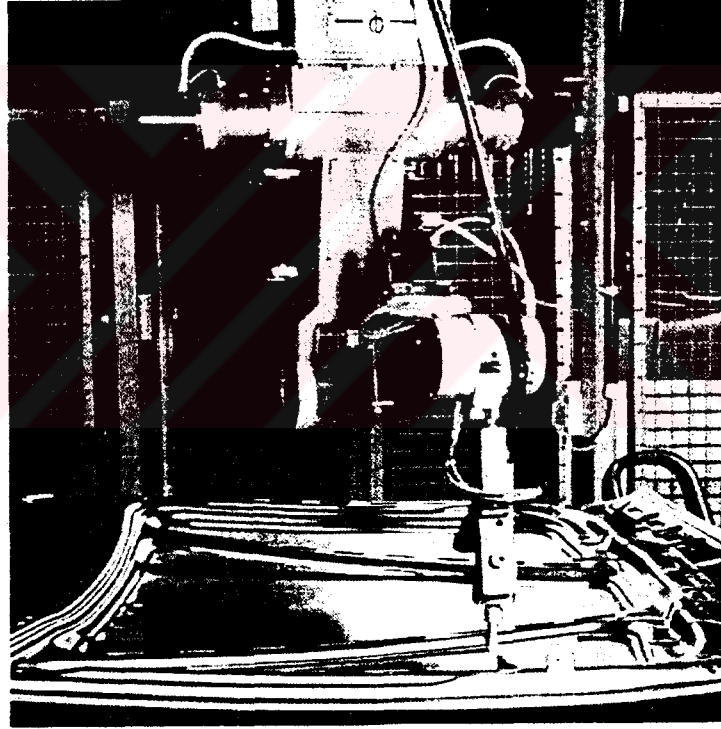


Şekil 3.6 Otomobil tamponundaki çapak alma operasyonu (Mair, 1988)

Son işlem ve çapak alma işlemlerine robotlar uygulanmaktadır çünkü bu uygulamalar yorucu olmaktadır ve genellikle pis, sıcak ve gürültülü ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Kesici takımlar ayrıca insan operatörler için tehlike yaratmaktadırlar. Şekil 3.6'da çapak alma operasyonu gösterilmektedir (Mair, 1988).

3.9 Yapıştırıcı Uygulamasındaki Robotlar

Yapıştırıcıların performans karakteristiklerindeki son yıllardaki gelişmeler ve uygulamadaki kolaylıkları nedeniyle popülerlikleri gün geçtikçe artmıştır. Yapıştırma, kaynak ve perçinleme gibi geleneksel birleştirme tekniklerinin yerini almaktadır ve günümüzde uçak, gemi ve araba konstrüksiyonunda kullanılmaktadırlar. Yapıştırıcıların esas avantajlarından ikisi, gerilimleri daha büyük alanlara yayması ve sofistike olmayan ekipman kullanımıyla gerçekleştirilebilmeleridir.



Şekil 3.7 Ön ve arka motor kaputlarına ASEA IRB 6 robot tarafından yapılan mastik uygulaması (Mair, 1988)

Robotlarla kullanıma uygun tipik uygulayıcılar, programlanmış yol boyunca yapıştırıcıyı yığan dağıtıcılar veya daha büyük alanların kaplanması için kullanılan sprey tabancaları olmaktadır. Yapıştırıcı uygulaması, fonksiyonel ve ekonomik nedenlerle sıkı şekilde kontrol edilmelidir. Yapışkan küresel partikülleri doğru şekilde konumlayacak ve istenen miktarı

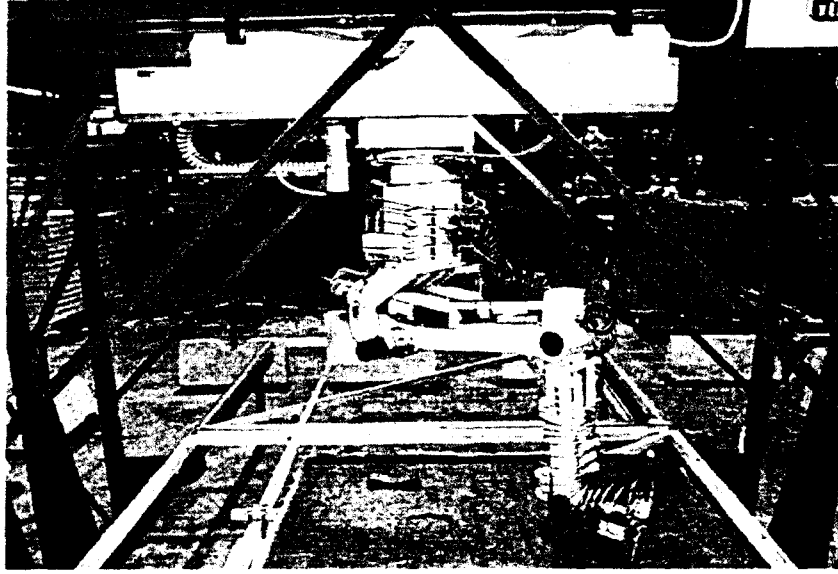
küresel, damlacık veya sprey formunda dağıtacak şekilde programlanabilen robotlar için bu ilgi çekici bir uygulama olmaktadır. Robotlar genellikle yapıştırıcıları insanlardan daha yüksek hızlarda uygulayabilmektedirler bundan dolayı kısa ayar zamanlarına sahip yapıştırıcılar üretkenlikte artışlarla ilgili kullanılabilirlerdir. Bazı yapıştırıcılar insanlar için çok yüksek olan sıcaklıklarda uygulanabilirlerse daha iyi özelliklere sahip birleşme yerleri oluşturabilmektedir. Bu gibi yüksek sıcaklıklarda robotizasyon avantajlı olmaktadır. Uygun şekilde programlanırsa, yapıştırıcı uygulayan robotlar insan işçilerden daha etkin olacaktır. Özel giysiler ve havalandırma gerekmediği için giderler azaltılmış olacaktır (Şekil 3.7) (Mair, 1988).

3.10 Su Jetiyle Kesmedeki Robotlar

Hafif cam katkılı plastikler ve karbon fiber gibi malzemelerin kesilmesinde bu metodun popülerliği artmaktadır. Yöntem hızlı şekilde gerçekleşmektedir, tehlikeli gaz ve toz oluşturmamaktadır ve doğru koşullar altında düzgün kesme yüzeyi meydana getirmektedir. Aşırı malzemenin kesilmesi veya araba kapısı ve gövde panelleri gibi üç boyutlu komponentlerde iç ve dış profillerin kesilmesi için kullanılabilirlerdir. Proseste, temizlenmiş suyun yüksek basınçlı jetini kesilecek malzemeye yönlendiren su jeti tabancası kullanılmaktadır. Su jeti genişliği 0.2 mm'den 2.5 mm'ye kadar değişiklik gösterebilmektedir ve 3500 bar'a kadar basınçlar kullanılabilirlerdir. Malzeme kalınlığı birkaç milimetre olsa bile 50 mm/s'den 125 mm/s'ye kadar hızlara ulaşılabilirlerdir.

Mümkünse su jeti, yüzeyle hep 90° açı yapacak şekilde uygulanmalıdır; genellikle tekrarlanabilir kesinlikle izlenecek bir profil veya bir kenar gerekmektedir ayrıca su jeti tehlikeli olabilmektedir. Bu faktörler bu prosesi robotlar için ilgi çekici kılmaktadır.

Robotik proseste robot su jeti tabancasını tutmakta ve tabancayı kesilecek iş parçası etrafında manipüle etmektedir. Gerekli hareketler, ark kaynağındaki hareketlere çok benzemektedir. Böylece robotun yeniden programlanabilir dönel tabla ile çalışması gerekebilir. Robot kolu ve iş parçası tutucu ekipmanın stabil olması gerekmektedir ve robot hareketleri yumuşak şekilde gerçekleştirilmelidir aksi halde kesme yüzeyinde testere dişi görünümü meydana gelebilecektir. İş parçası, tabla veya yeniden programlanabilir manipülatör üzerine monte edilebilen fikstür üzerine yerleştirilmektedir. İş parçası fikstüre mekanik kısıkaçlar yada vakum vasıtasıyla sabitlenebilirlerdir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Otomobil ses izole edicilerinin su jetiyle kesilmesi (Mair, 1988)

Burada bahsedilenlerin dışında birçok uygulama mevcut bulunmaktadır ve robotlar daha sofistike oldukça ve insan işçilere oranla maliyetleri azaldıkça uygulama alanları artış gösterecektir (Mair, 1988).

3.11 Test Ve Muayenedeki Robotlar

Birçok muayene ve test tekniği bulunmaktadır bundan dolayı endüstriyel robotlar bu konuda birçok farklı şekilde uygulanmaktadır. Örneğin, robot, görme sistemine bağlanabilmekte ve parçalar kameranın önünden geçerken sistem tarafından tanımlanan hatalı komponentleri ortamdaki uzaklaştırabilmektedir; robot bir ölçü aleti olarak işlenmiş komponentlerdeki delikleri kontrol edebilmektedir; komponentin varlık veya yokluğunu algılamak için problu robot bileği mikrosviçe bağlanabilmektedir; veya test ekipmanına elektronik komponentlerin yüklenmesi ve boşaltılması için robotlar kullanılabilir (Mair, 1988).

3.12 Nokta Kaynağındaki Robotlar

Nokta direnç kaynağı, elektrik akımı geçirilerek iki sac metalin bölgesel noktalarda kaynak edildiği bir proses olmaktadır. Parçaların temas noktalarında tutulması ve üzerlerinden kaynak akımı geçirilmesi için kullanılan iki bakır (veya bakır alaşımı) elektrod aracılığıyla rölatif düşük gerilim seviyeleri uygulanarak ergime elde edilmektedir. Elektrik akımı, temas noktasında iki metal parçanın ergimesine yetecek yeterli ısı oluşumuna ve kaynağın oluşmasına yol açmaktadır.

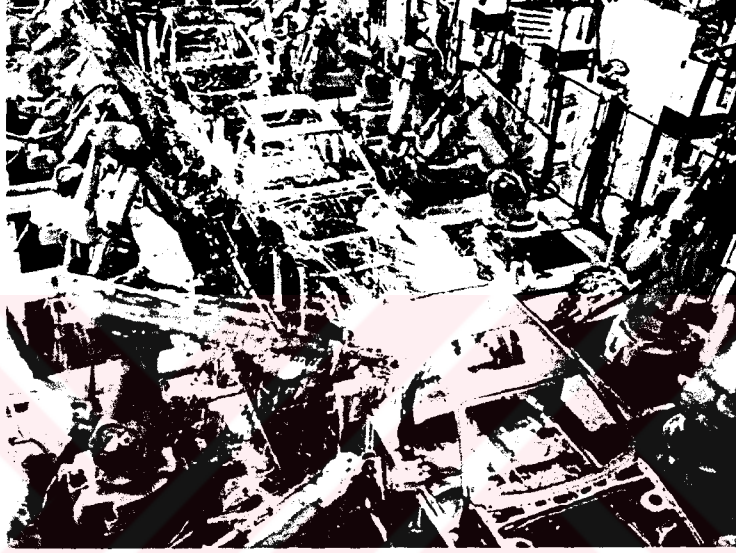
Elektrodlar, parçaların kaynatılacağı noktada konumlanmaktadırlar. Parçaların prosete birarada tutulmaları için parçaların kenetlenmesi ve fikstürlenmesi gerekmektedir. İki elektrod parçaları sıkıştırmakta ve temas yüzeylerinde ısı ve kaynak oluşumu için parçaların üzerinden akım geçirilmektedir. Daha sonra elektrodlar açılmakta ve bir sonraki kaynak için elektrodların soğumasına izin verilmektedir. Elektrodların soğutulmasını çabuklaştırmak için genellikle su sirkülasyonu ile soğutma gerçekleştirilmektedir. Kaynağın gerçekleştiği süre bir saniyeden az sürmektedir. Bu yüzden, nokta direnç kaynağındaki imalat süreleri büyük çoğunlukla elektrodların ve parçaların birbirine göre konumlanması için geçen süreye bağlı olmaktadır. İmalat miktarını etkileyen diğer bir faktör elektrodların aşınmasıdır. Prosete üretilen ısı yüzünden elektrodların uçları çökeltileri uzaklaştırmak için periyodik olarak taşlanmalı ve istenen şekle sokulmalıdır (Groover, 1986).

Nokta direnç kaynağı geleneksel olarak manuel biçimde iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. İlk metod, parçaların elektrodların arasına yerleştirilip sabitlendiği nokta direnç kaynağını kullanmaktır. Bu metod genellikle taşınması kolay göreceli olarak küçük parçalar için kullanılmaktadır.

İkinci metod, nokta direnç kaynak tabancasının parçalara göre rölatif olarak hareket ettirilmesidir. Bu, otomobil gövdeleri gibi daha büyük işler için uygun olmaktadır. Portatif kelimesi abartmadır. Kaynak tabancası, elektrodlar ve elektrodları açıp kapamak için gerekli iskeletten oluşmaktadır. Buna ilaveten, yakındaki iş istasyonuna konumlanmış kontrol panelinden elektrodlara kaynak akımını iletmek için büyük elektrik kabloları kullanılmaktadır. Kabloları sahip kaynak tabancası oldukça ağırdır ve ağırlığı 45 kg'ı kolayca geçebilmektedir. Tabancanın hareket ettirilmesinde operatöre yardımcı olmak için, aparat yakındaki bir vinç sistemine bağlı durmaktadır. Buna rağmen, otomobil gövde montaj hattında gerekli yüksek imalat oranlarını yakalamak, operatörün oldukça ağır nokta direnç kaynak tabancasını hareket ettirmesindeki güçlük yüzünden, zor olmaktadır. Bu tip manuel hatta elde edilen kaynak ürünlerinin kalitelerinin tutarlılığından da söz etmek güç olmaktadır.

Nokta direnç kaynağı operasyonlarının bir kısım veya tamamında robotlar başarıyla kullanılmıştır. Her robotun bileğine end efektör olarak kaynak tabancası yerleştirilmektedir ve robot iş istasyonuna vardığında, kaynak sırasını gerçekleştirmesi için programlanmaktadır. Bazı robot nokta direnç kaynağı hatları, her biri ürün üzerinde farklı bir kaynak döngüsü gerçekleştirmek üzere programlanmış birkaç düzine robota sahip bulunmaktadır. Günümüzde, otomobil imalatçıları nokta direnç kaynağı için robotları yoğun olarak kullanmaktadırlar (Groover, 1986). Bunun birçok nedeni bulunmaktadır. Yüksek hacmi ve yüksek işçi giderleri

nedeniyle bu endüstri mümkün olan her yerde otomasyona gitmeye çalışmaktadır. Farklı talepleri olan müşteri sayısının artması nedeniyle otomobillerin birçok farklı stile, kapı sayısına, renge vb. sahip olacak şekilde imal edilmesi gerekmektedir. Bu farklı talepler nedeniyle günlük 1000 araçlık üretim kapasitesine sahip bir fabrikada birçok farklı otomobil kombinasyonu mevcut olmaktadır. Bundan dolayı yeniden programlanabilir otomasyon ilgi çekici olmaktadır. Robotlar, kaynak tabancasının kullanışsızlığı ile başa çıkmaya çalışan kaynak operatöründen daha kaliteli ve daha tutarlı bir kaynak dikişi elde etmektedirler. Tipik nokta kaynak hattı Şekil 3.9'da gösterilmektedir (Mair, 1988).



Şekil 3.9 Nokta kaynak robotlarının kullanıldığı hat [2]

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

Robotlar aracılığıyla gerçekleştirilen nokta direnç kaynağı prosesinin otomasyonundan elde

edilen faydalar, artırılmış ürün kalitesi, operatör güvenliği ve imalat operasyonuna daha fazla hakim olunmasıdır. Kalitenin artması, kaynak dikişlerinin daha tutarlı olması ve kaynakların konumundaki tekrarlanabilirliğin daha iyi olmasından kaynaklanmaktadır. Göreceli olarak çok iyi bir tekrarlanabilirliğe sahip olmayan robotlar bile insanlara nazaran nokta kaynaklarını daha doğru bir şekilde konumlandırabilmektedirler. Elektriksel şok ve yanık tehlikelerinin bulunduğu çalışma alanından insanın uzak tutulması ile güvenlik artırılmış olmaktadır. Nokta direnç kaynağı prosesini otomize etmek için robotların kullanılması, üretim planlama ve proses içi envanter kontrolü gibi alanlarda gelişmelere neden olacaktır. Robotların ve kaynak ekipmanının bakımı, nokta direnç kaynağı hattının otomizasyonunun başarıyla gerçekleştirilmesi için önemli bir faktör olmaktadır (Groover, 1986).

3.13 Ark Kaynağındaki Robotlar

Ark kaynağı, süreksiz bir proses olarak adlandırılabilir olan nokta direnç kaynağının aksine, sürekli bir kaynak prosesidir. Sürekli ark kaynağı, birleştirilecek iki metal arasında hava sızdırmaz uzun kaynaklı bağlatılar gerçekleştirmek gerektiğinde kullanılmaktadır (Groover, 1986). İnsanlar tarafından gerçekleştirildiğinde ark kaynağı dikkate değer eğitim, yetenek ve konsantrasyon gerektirmektedir. İyi kalitede dikiş elde etmek için göz önünde bulundurulması gereken birçok değişken olduğundan, ark kaynağı bir bilimden çok bir sanat olmaktadır. Oluşan ısı, radyasyon ve duman yüzünden çalışanın bu ortamdan uzak tutulması gereklidir. Kaynak işi iyi eğitilmiş ve yetenekli işçiler gerektirmektedir bununla birlikte bu koşullar altında çalışmaya hevesli ve yetenekli işçi bulmak giderek zorlaşmaktadır. Ayrıca üretkenliğin artırılması için olan talepler, arkın devrede olduğu sürenin artırılmasını gerektirecektir. Böylece bu uygulama için endüstriyel robotların kullanımını gösteren faktörlerin kombinasyonu bulunmaktadır.

Birçok ark kaynağı tipi mevcut bulunmaktadır fakat robotizasyona en çok uyan teknik gazaltı ark kaynağıdır ve bu metoddan kısaca bahsedilecektir. Gazaltı ark kaynağının MIG, CO₂, MAG gibi değişik tipleri mevcuttur. Bu süreçte elektrik arkı, dolgu teli olan elektrodla iş parçası arasında yanmaktadır. Bu ark, bağlantı yerinde birleştirilecek iki komponenti ve dolgu telini ergitmek için yeterli olmaktadır. Böylece ergimiş metalden kaynak banyosu meydana gelmektedir. Kaynak torcu bağlantı yeri boyunca kaynak banyosuyla birlikte ilerlemekte ve geride katılaştıran bir dikiş bırakmaktadır. Ark ve ergimiş metal, atmosferden(havadan), gönderilen koruyucu gaz ile korunmaktadır. Eğer koruyucu gaz argon ve helyum gibi soy bir gazsa kaynağın ismi MIG, eğer koruyucu oksijen ve karbondioksit gibi aktif bir gazsa

yöntemin ismi MAG olur. 1950'lerde CO₂'nin çok etkin ve ucuz bir gaz olduğunun farkına varılmıştır. Bu yüzden günümüzde çeliklerin kaynağı için yüzde 100 CO₂ ve paslanmaz çelikler için CO₂'in argon veya helyum ile karışımı kullanılmaktadır.

Bu yüzden gazaltı kaynağında, kaynak tabancası memesi içinden tel ile birlikte gönderilen gaz tarafından korunan kaynak banyosunu şekillendirmek için ana malzeme ve çıplak tel ark tarafından ergitilmektedir. Genellikle akımlar 100A ile 300A, gerilimler 10V ile 30V arasında bulunmaktadır (Groover, 1986). Gerekli akımı sağlamak için, tel, seçilen hızda beslenmektedir. Güç kaynağının gerilimi ayarlanarak ark boyu değiştirilmektedir. Bundan dolayı bu teknik, otomatik kontrole ve endüstriyel robot sistemiyle entegrasyona uygun bulunmaktadır.

Ark kaynağındaki robotların kullanımı ilk olarak 1974'te gerçekleşmiş ve 1978'lere kadar ticari olarak mevcut olmuştur. Bununla birlikte, son zamanlarda tecrübelerin ve gelişmiş kontrol sistemlerinin biraraya getirilmesi ve bazı durumlarda algılamanın da entegre edilmesiyle proses ekonomik olarak ilgi çekici hale gelmiştir. Robot ark kaynak sistemi genellikle robot kolu, iş parçası tutma ünitesi, kaynak torcu, kaynak ünitesi güç kaynağı ve tel besleme ünitesi, robot güç kaynağı ve kontrol dolabı ile sistem kontrol panelinden oluşmaktadır. Hareketli hatların karşısında olan kaynak hücreleri için, sabit denge ve tamlık sağlamak amacıyla robot ve iş parçası tutma ünitesi sıklıkla aynı baz üzerine monte edilmektedir. İş parçası tutma ünitesi servo motorlar tarafından harekete geçirilen birçok eksene sahip olabilmektedir; bu motorların hareketleri çoklu eksen sağlayan robotun hareketleriyle koordineli olmaktadır (Mair, 1988).

Ark kaynağı genellikle, yetenekli bir işçi ve sabitleyici denen bir yardımcı tarafından gerçekleştirilmektedir. Sabitleyicinin amacı işi organize etmek ve kaynakçı için parçaları fikstürlemektir. Kaynakçının çalışma koşulları tehlikeli olmakta ve hoş bulunmamaktadır. Kaynak prosesindeki ark, insanın görmesine zararlı olan ultraviyole ışınım yaymaktadır. Sonuç olarak kaynakçılar, gözleri koruyan ve koyu bir pencereye sahip kaynak kaskı takmalıdırlar. Bu koyu pencere tehlikeli ışınımı engellemektedir fakat bu pencere çok koyu olduğundan ark tutuşmadan kaynakçı hiçbir şey görememektedir. Prosesin diğer durumları da tehlikeli olmaktadır. Ark kaynağında oluşan yüksek sıcaklıklar ve ergimiş metaller de doğal olarak tehlikeli olmaktadır. Ark oluşturmak için kullanılan yüksek akımlar da güvenli bulunmamaktadır. Proses esnasında oluşan kıvılcım ve duman, operatör için potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır (Groover, 1986).

Birçok durumda robotik ark kaynağın, arzu edilen bir yatırım olarak nitelendirilebilmesine karşın uygulanması çok basit olmamaktadır. MIG prosesi, normal olarak, hem kaynak robotunda hem de iş parçası sunumunda yüksek kesinlik talep etmektedir. Örneğin eğer 1mm çapa sahip dolgu teli kullanılacaksa kaynak bağlantı yerinin yerleşiminin kaynak teli ile ilgili net tamlığı $\pm 0.5\text{mm}$ olmalıdır böylece kayda değer kesinliğe sahip robot kullanımı zorunlu olacaktır. Robot kendi içinde tutarlı olsa bile robotun önüne gelen iş, sıklıkla, beklenene uymayabilmektedir. Örneğin birleştirilen parçalar tolerans dışı olabilmekte veya parçalar birbirine kötü şekilde kaynaklanabilmektedir veya kaynak devam ederken iş parçasının ısınmasına bağlı olarak kaynak dikişi beklenen konumdan sapabilmektedir. Bunun üstesinden gelmek için kaynak dikişi bulma ve izleme donanımı gerekmektedir. Bu donanım ya robot sisteminin bir parçası veya eklemeli (add-on) ekipman olarak mevcut olmaktadır.

Robotik ark kaynağı için dikiş izleme birçok yolla uygulanabilmektedir. Örneğin, bir sistem, kaynak yaparken kaynak torcunun dikiş üzerinde salınım yapmasını sağlamak için robot kontrolörü kullanılmaktadır. Bunu yaparken, ark akımındaki değişiklikler kontrolör tarafından gözlemlenmektedir. Robotun bilgisayarı bu bilgiyi, bu değişikliklere cevap olarak programdaki noktaları gerçeklemek üzere robotun konumunu sürekli olarak düzeltmek için kullanmaktadır. Diğer sistemler daha fazla esneklik sağlamak için lazer kullanmaktadır. Bu sistemler dikiş bulma ve dikiş izlemeyi otomatik olarak gerçekleştirebilmektedirler. İnce saclar kaynak yapılırken bunların kullanımları uygun olmaktadır ve dikişteki boşluk, yükseklik ve yanal konumdaki değişiklikleri ve hataları ölçebilmektedirler.

3.13.1 Kaynak Robotunun Sahip Olması Gereken Özellikler

Ark kaynağı gerçekleştiren endüstriyel robotun bazı özellik ve yeteneklere sahip olması gerekir. Ark kaynağı uygulamalarında göz önünde bulundurulmuş bazı teknik konular şunlardır:

a) Çalışma hacmi ve serbestlik dereceleri

Robotun çalışma hacmi, kaynatılacak parçaların boyutlarına yetecek büyüklükte olmalıdır. Kaynak torcunun yeterli manipülasyonuna izin verilmelidir. Ayrıca, eğer iş istasyonunda iki parça tutucu varsa her iki tutucuda da hareket döngüsü gerçekleştirmek için robot uygun erişime sahip olmalıdır. Ark kaynağı robotları için genellikle beş veya altı serbestlik derecesi gerekmektedir. Bu sayı, kaynak işinin karaktersitiklerinden ve parça manipülatörünün hareket yeteneklerinden etkilenmektedir. Eğer parça manipültörü 2 serbestlik derecesine sahipse, robotun daha az serbestlik derecesine sahip olmasına müsaade edilebilmektedir.

b) Hareket kontrol sistemi

Ark kaynağı için sürekli-yol kontrolü gerekli olmaktadır. Kaynak dikişinin üniformitesini sağlamak için robot, pürüzsüz sürekli harekete sahip olmalıdır. Buna ilaveten, kaynak döngüsünde hareketin başlangıcında kaynak banyosunu oluşturmak için bir bekleme, hareketin sonunda da kaynağı bitirmek üzere bir bekleme gerçekleştirilmelidir.

c) Hareketin kesinliği

Robotun tamlığı ve tekrarlanabilirliği kaynak işinin kalitesini belirlemektedir. Kaynak işlerinin kesinlik gereksinimleri, boyut ve endüstrinin pratiğine bağlı olarak değişiklik göstermekte ve en uygun robot seçilmeden önce her kullanıcı tarafından bu gereksinimler tanımlanmalıdır.

d) Diğer sistemlerle arayüzleme

Robot, hücredeki diğer ekipmanlarla birlikte çalışabilmek için yeterli giriş/çıkış ve kontrol yeteneklerine sahip olmalıdır. Bu diğer ekipmanlar, kaynak ünitesi ve parça pozisyoneleridir. Hücre kontrolörü, robotun hızı ve yörüngesi ile parça manipülatörünün operasyonu ve tel besleme hızı gibi kaynak parametrelerini koordine etmelidir.

e) Programlama

Robotun sürekli ark kaynağı için programlanması dikkat gerektirmektedir. Düzensiz şekillere sahip kaynak yolları için, robotun hareket yolu boyunca fiziksel olarak hareket ettirildiği gösterme ile programlama (walkthrough) metodunu kullanmak uygun olmaktadır. Düz (doğrusal) kaynak yolları için robotun, uzaydaki iki nokta arasındaki interpolasyonu gerçekleştirecek yeteneğe sahip olması gerekli olmaktadır. Bu, programcının kaynak başlangıç ve bitiş noktalarını belirlemesine ve robotun noktalar arasındaki düz çizgi yörüngeyi hesaplamasına izin vermektedir.

Bazı kaynak uygulamaları, operasyon esnasında robotun salınım yapmasını gerektirebilmektedir. Diğer uygulamalar, kaynak yolu boyunca birkaç paso gerektirebilmektedir fakat her paso bir öncekinin düzgün şekilde yığılmasına izin vermelidir. Bu gereksinimler genellikle, tek pasodaki ilave malzemedan daha fazla ilave malzeme eklendiği büyük kaynak işleriyle ilişkili olmaktadır. Ark kaynağı robotları genellikle salınım modelleri programlamasına ve çoklu kaynak pasolarına izin verecek özelliklere sahip bulunmaktadır. Bu programlama yetenekleri, programcının istediği pasoyu

gerçekleştirebilmesi gerekli parametreleri tanımlamasına müsaade etmektedir. Salınım modeli için parametreler, salınımın genliği, bir inçlik kaynak dikişi için salınım sayısı ve salınımın her iki yanında bekleme süresi olmaktadır. Çok pasolu operasyon için pasolar arasındaki ofsetin yön ve genliğinin tanımlanması gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen çeşitli programlama özellikleri, kaynak edilecek komponentlerin düşünülen kaynak yolu boyunca düzenli kenarlara sahip olduklarını ve komponentlerin üniform olduklarını varsaymaktadır. Buna uygun olarak, robot, büyük bir uygunlukla kaynaklı montajlar imal edebilmek için her komponent seti için programlanmış hareket yolunu takip edebilmelidir. Maalesef, robot ark kaynağındaki en büyük teknik güçlüklerden bazıları, bu iki varsayımın geçersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bu güçlükleri aşmak için robotlar, proses esnasında kaynak yolunu takip etmek ve bu yoldaki düzensizlikleri kompanse etmek için akıllı sensör sistemleriyle donatılmaktadır (Groover, 1986).

3.13.2 Robot Ark Kaynağının Avantajları Ve Faydaları

Yığın (seri) imalat için robot ark kaynağı hücresi, benzer manuel operasyona göre birçok potansiyel avantaja sahip bulunmaktadır. Bu avantajlar şunlar olmaktadır:

- Yüksek üretkenlik
- Artırılmış güvenlik ve kaliteli iş yaşamı
- Ürünün çok kaliteli meydana gelmesi
- Prosesin rasyonelleşmesi

Karakteristik olarak manuel ark kaynağı operasyonunun üretkenliği çok düşüktür. Üretkenlik çoğunlukla arkın devrede olduğu (arc-on) zamanla ölçülmektedir. Bu, kaynak prosesinin dolayısıyla imalatın oluştuğu vardiya (shift) esnasındaki zaman oranını vermektedir. Tipik olarak arkın devrede olma süresi yüzde 10 ila 30 arasında bulunmaktadır. Düşük değerler tek tip kaynak işlerine, daha yüksek değerler yığın (seri imalat) tipi imalata karşılık gelmektedir. Manuel kaynakta arkın devrede olduğu zamanın düşük olmasının nedenlerinden biri yorulmadır. El-göz kombinasyonu gerekli olmaktadır ve genellikle rahatsız çalışma ortamı, kaynakçı için yorucu olmakta ve sık dinlenme periyodları gerektirmektedir. Seri imalat için robot kaynak hücreleriyle yüzde 50 ila 70 arası arkın devrede olma süreleri elde edilebilmektedir. Seri imalatta robotlar kullanıldığında artan arkın devrede olma süresine yardımcı olan birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan biri yorulma faktörünün safdışı edilmesidir. İnsanların aksine robotlar yorulmamaktadırlar. Robot, periyodik dinlenme ihtiyacı duymadan tüm vardiya boyunca çalışabilmektedir. Diğer yardımcı bir faktör, hücrede

iki parça pozisyonunun bulunmasıdır. Operatör önceki montajı boşaltıp pozisyone yeni komponentleri yüklerken, robot bir pozisyonda kaynak operasyonunu gerçekleştirebilmektedir.

Artırılmış güvenlik ve iş kalitesi, operatörün rahatsız, yorucu ve potansiyel tehlikeli iş durumundan uzak tutulmasıyla gerçekleştirilmektedir. Daha önceden belirtildiği gibi, kaynak ortamı insanlar için birçok tehlike içermektedir.

Robot ark kaynağındaki yüksek ürün kalitesi, insan operatöre göre robotun, kaynak döngüsünü daha yüksek tamlık ve tekrarlanabilirlik ile gerçekleştirebilme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Bu, kaynakçıların yaptığı birçok kaynağın karakteristiği olan dikişte başlangıç ve bitişte dolgu metali yığılması olmayan daha tutarlı bir kaynak dikişi elde edilmesi anlamına gelmektedir.

Proses rasyonelizasyonu terimi, fabrikadaki malzeme akışı ve işin sistematik organizasyonunu göstermektedir. Robot kaynak hücresinin tasarım ve kurulumu, kullanıcı şirketi, malzemelerin hücreye sevk edilmesi, kaynak prosesinin gerçekleştirilmesi için gerekli metodlar, fişürlerin dizaynı, hücrenin operasyonu ile ilgili envanter kontrolü ve imalat problemleri gibi konuları göz önünde bulundurması için zorlamaktadır. Tipik olarak bu konular, manuel kaynak istasyonlarının bulunduğu şirketlerde mevcut bulunmamaktadır (Groover, 1986).

4. ENDÜSTRİYEL ROBOTLARIN DÜNYADAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

Günümüzde üretkenliği artırmak, yatırım masraflarını azaltmak, daha fazla üretim yapmanın yanısıra kaliteyi yükseltmek ve daha insancıl çalışma şartları sağlamak üzere birçok endüstri kolunda hızla kullanıma giren robotlar, özellikle Japonya, A.B.D. ve Avrupa'da yoğun olarak kullanılmaktadır. Robotların dünya çapındaki yayılımına bakacak olursak aşağıdaki gibi bir çizelgeyle karşılaşılmaktadır.

4.1 Endüstriyel Robotların Dünya Çapındaki Yayılımı

2000 yılı dünya robot pazarına ait veriler aşağıda belirtilmektedir:

- Dünya toplamı, çok amaçlı robotlar, Japonya hariç, 51700 adet (1999'a göre %20 fazla)
- Dünya toplamı, Japonya'daki tüm endüstriyel robot çeşitleri dahil, 98700 adet (1999'a göre %20 fazla)
- Toplam Pazar değeri: 5,7 milyar\$, (1999'a göre %14 fazla)
- Operasyonel endüstriyel robotların toplam stoku: çok amaçlı endüstriyel robotlar, Japonya hariç:
 - 360300 adet, 1999'a göre %11 fazla
 - Japonya'daki tüm endüstriyel robot çeşitleri dahil:
 - 740800 adet, 1999'a göre %4 fazla

Çok amaçlı endüstriyel robotların dünya çapındaki satışları 1990 yılında 80000 adete ulaşmıştır. 1991-1993 yılları arasında satışlar 53000'e düşmüştür. Daha sonra 1997 senesinde satışlar 82000 adete ulaşmıştır. Bununla birlikte 1998'de satışlar %16 düşerek 69000 adete düşmüştür. 1999 senesinde pazar, 1998 senesine göre %14 artış göstererek 79000 adet olmuştur. 2000'de satışlar %25 artış göstererek 99000 adet olarak gerçekleşmiştir.

İki sene boyunca düşüş gösteren veya durağan olan satışlardan sonra 2000 yılında Japonya'da büyük bir toparlanma olmuştur. Tüm endüstriyel robotların satışları 1999'da %32 artarak 47000 adede ulaşmıştır.

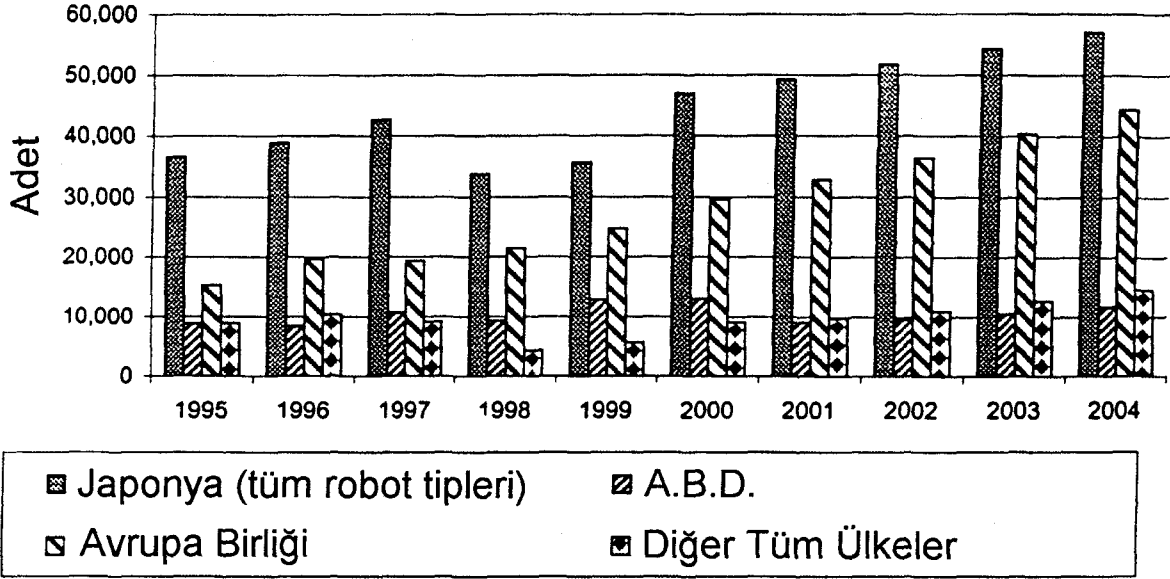
1997 ve 1998 yıllarındaki Asya krizi esnasında Kore Cumhuriyeti'nde düşen satışlar, 1999 ve 2000 yılında hızla toparlanarak sırasıyla %70 ve %95 artış göstermiştir.

Avrupa Birliği'nde, çok amaçlı endüstriyel robotların satışları %20 artarak 30000 adete ulaşmıştır. En yüksek artış 1999 yılına göre %56 ile İsveç'te olmuştur. Bunu %30 artış ile İspanya takip etmiştir.

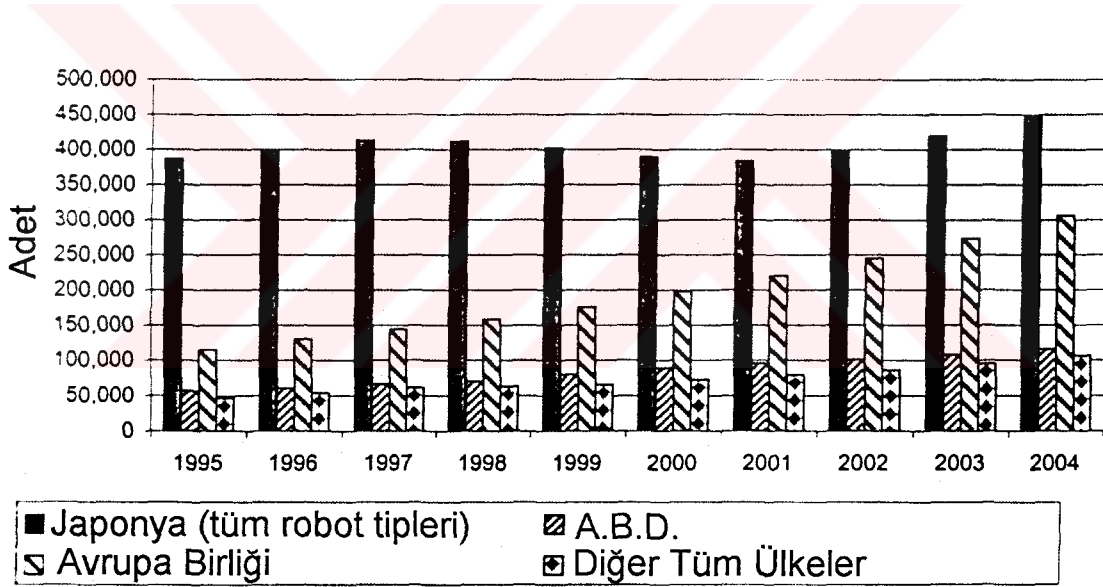
1995 ila 2000 yılları arasında ABD’de satışlar durgun gerçekleşmiş veya düşüş göstermiştir. 1995,1997 ve 1999’da %28 ve %37 arasında artış görülmüştür. Bunun aksine 1996 ve 1998’de Pazar, %5 ila %13 arasında düşüş göstermiştir. Bununla birlikte çok amaçlı endüstriyel robotların en yüksek satışı 13000 adetle 2000 yılında olmuştur.

Çizelge 4.1 2000 yılındaki çok amaçlı endüstriyel robotların operasyonel stoku ve yıllık kurulumları ile 2001-2004 arası tahminler. Adet olarak. (World 2001 Robotics, 2001)

Ülke	Yıllık kurulumlar			Sene sonu operasyonel stok		
	2000	Tahmin		2000	Tahmin	
		2001	2004		2001	2004
Japonya (tüm endüstriyel robotlar)	46986	49300	57100	389400	384000	447200
ABD	12986	9100	11700	89900	95500	116000
Avrupa Birliği	29582	32800	44400	197800	220500	306000
Almanya	12781	15100	20800	91200	101600	141200
İtalya	5897	6500	8700	39200	44000	60800
Fransa	3793	3400	4500	20700	22700	31200
Birleşik Krallık	1538	1700	2300	12300	13200	17600
Avusturya a/	320			3000		
Benelüks a/	540			7800		
Danimarka	307			1400		
Finlandiya	492			2600		
İspanya	2941			13200		
İsveç	973			6300		
Diğer Avrupa Ülkeleri	944	1000	1300	11300	11100	10500
Çek Cumhuriyeti a/	150			1300		
Macaristan	20			100		
Norveç	97			500		
Polonya	100			500		
Rusya Federasyonu a/,b/	250			5000		
Slovakya c/	/			/		
Slovenya c/	/			/		
İsviçre a/	327			3800		
Asya/Avustralya	6381	7000	10200	53500	59100	79700
Avustralya	400			3000		
Kore Cumhuriyeti	4731			38000		
Singapur a/	500			5600		
Tayvan	750			6900		
Diğer Ülkeler a/	1820	1800	3100	7900	9400	16100
Kısmi toplam, Japonya hariç	51700	51700	70700	360300	395500	528400
Toplam, Japonya'daki tüm endüstriyel robotlar dahil	98700	101000	127800	749800	779500	975600



Şekil 4.1: 1994-1999 arasındaki çok amaçlı endüstriyel robotların yıllık kurulumları ve 2000-2003 arası öngörüler (Yumurtacı ve Mert, 2003)



Şekil 4.2: 1994-1999 arası çok amaçlı endüstriyel robotların tahmini operasyonel stoku (Yumurtacı ve Mert, 2003)

1990'ların başında Avrupa Birliği ve A.B.D.'deki çok amaçlı endüstriyel robot kurulumları, Japonya'daki tüm endüstriyel robot kurulumlarının sırasıyla, %20'si ve %7'sine denk gelmektedir. 1999 itibarıyla bu oranlar sırasıyla, %69 ve %36 olmuştur. Bununla birlikte 2000'de Japonya'daki satışların artışına bağlı olarak bu oranlar sırasıyla, %63 ve %28'e düşmüştür (World 2001 Robotics,2001).

4.1.1 Endüstriyel Robotların Dünya Çapında Operasyonel Stokunun Tahmini

Endüstriyel robotların endüstriye tanıtıldığı 1960'ların sonundan bu yana toplam kümülatif yıllık satışlar, Japonya'da kurulmuş endüstriyel robotlar dahil olmak üzere 2000'in sonunda 1200000 adede ulaşmıştır. Bununla birlikte eski robotların birçoğu servisten kaldırılmıştır. Bu yüzden aktüel operasyondaki robot stoku daha az olmaktadır. ECE ve IFR, 2000 yılı sonunda dünya çapında toplam operasyonel endüstriyel robot stokunun minimum 750000 ile maksimum 975000 adet arasında olacağını tahmin etmektedir.

Minimum deyişi servis ömrünün ortalama 12 yıl olması varsayımına dayanmaktadır. ECE/IFR pilot çalışması ortalama servis ömrünün 15 yıl olabileceğini ve böylece dünya çapındaki stokun 975000 adet olacağını göstermiştir.

Japonya dünya robot stokunun yarısından fazlasına sahip bulunmaktadır çünkü Japonya'nın sayıları tüm robot tiplerini içermektedir. Bununla birlikte, 1998'den beri Japonya'daki robot stoku sadece düşmekle kalmamış artan bir hızla düşmeye başlamıştır. 1998'de %0,3, 1999'da %2,3 ve 2000'de %3,2 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2'ye bakınız).

Avrupa Birliği ve A.B.D.'de 2000 yılında endüstriyel robot stoku sırasıyla %12 ve %13 artmıştır (World 2001 Robotics, 2001).

4.1.2 2001-2004 Yılları Arası Tahminler

Japonya'daki tüm endüstriyel robot tipleri içerildiğinde endüstriyel robotlar için dünya pazarının 2000'de 99000 adetten 2004'te 128000 adede yada senelik %7 artacağı planlanmaktadır. Japonya hariç olduğunda, çok amaçlı endüstriyel robotların dünya çapındaki satışlarının 2004 yılı itibariyle, senelik ortalama %8 artış göstererek, 52000 adetten 71000 adede çıkacağı tahmin edilmektedir.

- Dünya çapında satışlar
 - 2000: 99000 adet 2004: 128000 adet, senelik %7 artış
- Japonya hariç dünya çapında satışlar
 - 2000: 52000 adet 2004: 71000 adet, senelik %8 artış
- Dünya çapında operasyonel stok
 - 2000: 750000 adet 2004: 976000 adet, senelik %7 artış
- Japonya hariç dünya çapında operasyonel stok
 - 2000: 360000 adet 2004: 530000 adet, senelik %10 artış

Japonya'daki robot yatırımındaki büyüme, artan yenileme yatırım talebi nedeniyle olacaktır. 2000 ve 2004 arasında, satışların 47000 adetten 57000 adede artacağı planlanmaktadır.

Avrupa Birliği'ndeki robot pazarının 2000'deki 30000 adetten 2004'te 44000 adede yükselmesi beklenmektedir. Diğer yandan Kuzey Amerika'da 2001'deki robot pazarı 13000 adetten 9000 adede düşmüştür ve biraz düzelme göstererek 2004'te 12000 adet olması beklenmektedir.

Adet cinsinden operasyonel endüstriyel robotların dünya çapındaki stokunun 2000'in sonunda 750000 adetten 2004'ün sonunda 976000 adede artması beklenmektedir (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2'ye bakınız). Japonya'daki robotların operasyonel stoku 1998 yılında ilk defa azalmıştır. Japon robot stoku için tepe noktası olan 1997 ile 2000 sonu arasında stok 413000 adetten 389000 adede düşmüştür. Tekrar artış göstermeye başlayacağı 2001 yılında 384000 adede düşeceği planlanmaktadır.

2000-2004 arasında Japonya hariç çok amaçlı endüstriyel robotların dünya operasyonel stokunun 360000 adetten 528000 adede artacağı tahmin edilmektedir. 2004'te A.B.D.'de çok amaçlı endüstriyel robotların operasyonel stokunun 116000 adede ulaşması beklenmektedir. Avrupa Birliği için bu projeksiyon 306000 adet olacaktır ki bunun 141000'i Almanya'da, 61000 adedi İtalya'da, 31000 adedi Fransa'da ve 18000 adedi Birleşik Krallık'ta gerçekleşecektir (World 2001 Robotics, 2001).

4.1.3 Robot Fiyatlarındaki Düşüşe Bağlı Olarak Robot Yatırımındaki Artış

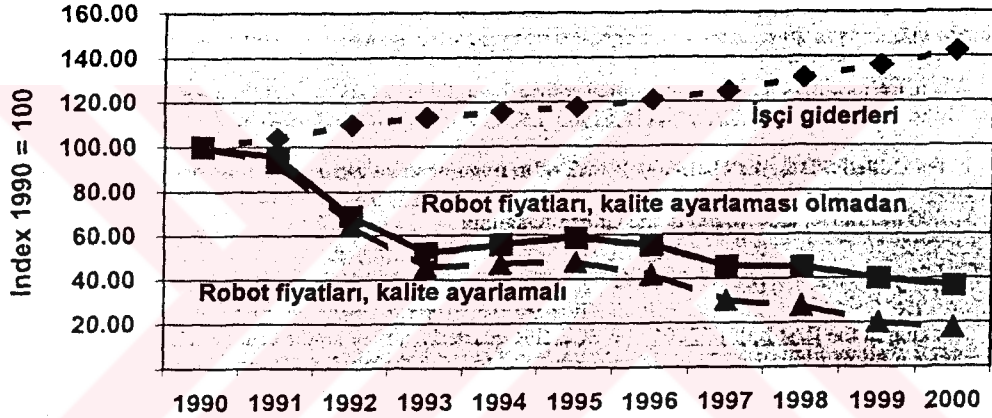
1990'larda, endüstriyel robotların mekanik ve elektronik karakteristiklerinin ölçülen performansları sürekli artarken, fiyatları düşmüştür. 1990-2000 yılları arasındaki periyodu içeren en güncel ECE/IFR araştırmasına göre şu sonuçlar elde edilmiştir.

- Bir robot ünitesinin liste fiyatı -%43
- Sevkedilen ünite sayısı +%782
- Müşterilere sağlanabilecek ürün değişkenlerinin sayısı +%400
- Toplam taşıma kapasitesi (tutucu modülü dahil) +%26
- Tekrarlama doğruluğu +%61
- 6 eksenin hızı +%39
- Maksimum ulaşma +%36
- Bozulmalar arasındaki ortalama süre +%137
- MB cinsinden RAM +416 kere

- İşlemcinin bit-genişliği +%117
- Kontrol edilebilen maksimum eksen sayısı +%45

Örneğin A.B.D.'de 1990-2000 yılları arasındaki periyotta endüstriyel robotların fiyat indeksi 100'den 37'ye inmiştir ki 2000 yılında kurulan robotların performansı 1990 yılındakilerden çok daha yüksek olmaktadır (Şekil 4.3 ve Çizelge 4.2). Kalite değişiklikleri gözönüne alındığında bu indeksin 18' düşmesi beklenmektedir. Diğer bir deyişle, aynı performansa sahip bir robot, 1990 yılındaki maliyetinin beşte birine 2000 yılında üretilmekteydi.

Aynı zamanda, Amerikan iş sektöründeki iş kompenzasyon indeksi 100'den 142'ye yükselmiştir (Şekil 4.3 ve Çizelge 4.2). Bu, robotların rölatif fiyatlarının 1990'da 100'den 2000'de 26'ya düşmesi ve robotlardaki kalite geliştirmeleri hesaba katıldığında 12'ye düşmesi demektir (World 2001 Robotics, 2001).



Şekil 4.3: A.B.D.'deki endüstriyel robotların kaliteli ayarlamalı ve kalite ayarlamasız tahmini fiyat indeksi. A.B.D. iş sektöründeki işçi kompenzasyonunun indeksi (World 2001 Robotics, 2001)

Çizelge 4.2 A.B.D. endüstriyel robot fiyatları indeksi (1990=100), kalite düzenlemeli ve kalite düzenlemesiz, çalışan başına işçi tazminat indeksi ve saatlik ücretler, sosyal giderler hariç, seçilmiş branşlarda (World 2001 Robotics, 2001)

Sene	A.B.D. Robot fiyatları indeksi, şu anki \$ cinsinden		İşçi tazminat indeksi		Saat ücretleri, sosyal giderler hariç		
	Kalite ayarlamasız	Kalite ayarlamalı	İş sektörü a/	İmalat endüstrisi (ISIC rev.3:D) b/	İmalat endüstrisi (ISIC rev.3: D) b/	Yiyecek endüstrisi (ISIC rev.3: 15+16) b/	Motorlu taşıt endüstrisi (ISIC rev.3: 34) b/
1990	100.0	100.0	100.0	100.0	10.83	9.62	14.56
1991	95.5	93.2	103.9	100.9	11.18	9.90	15.23
1992	69.0	64.5	109.8	115.3	11.46	10.20	15.45
1993	52.1	45.4	112.9	120.0	11.74	10.45	16.10
1994	55.9	47.0	115.5	123.5	12.07	10.66	17.02
1995	58.7	47.6	117.7	126.3	12.37	10.93	17.34
1996	55.1	41.8	120.6	129.8	12.77	11.20	17.74
1997	45.6	30.1	124.5	133.1	13.17	11.49	18.04
1998	45.3	27.5	130.6	136.4	13.49	11.80	17.84
1999	40.0	20.0	136.2	140.1	13.91	12.09	18.41
2000	36.6	17.6	142.3	146.1	14.38	12.41	19.59

4.1.4 Gelişmiş Çok Amaçlı Endüstriyel Robotlar

Ülkeler veri toplarken bu, her zaman aynı tip robotları içermez – bazı robotlar daha sofistike robotlara konsantre olmuşken Japonya gibi değerleri ise IFR tanımı karşılayan tüm robot tipleri hakkında veri toplar. Bu yüzden ülke verileri tamamen karşılaştırılabilir değildir.

5 veya daha çok eksene sahip robotlara bakıldığında, ülkeler arasındaki karşılaştırılabilirlik önemli derecede artmaktadır (Çizelge 4.3). Örneğin Tayvan tahminen 750 yeni robot kurmuştur ve bunların sadece %14'ü yada 108 tanesi 5 veya daha fazla eksenli robottan oluşmaktadır. Diğer yandan, A.B.D. ve İspanya'da 2000'de kurulan robotların %90'a yakını 5 veya daha fazla eksene sahip olmuştur (World 2001 Robotics, 2001).

Çizelge 4.3 2000'de kurulan çok amaçlı endüstriyel robotların toplam sayısı ile 5 veya daha fazla eksene sahip çok amaçlı endüstriyel robot sayısının karşılaştırılması (World 2001 Robotics, 2001)

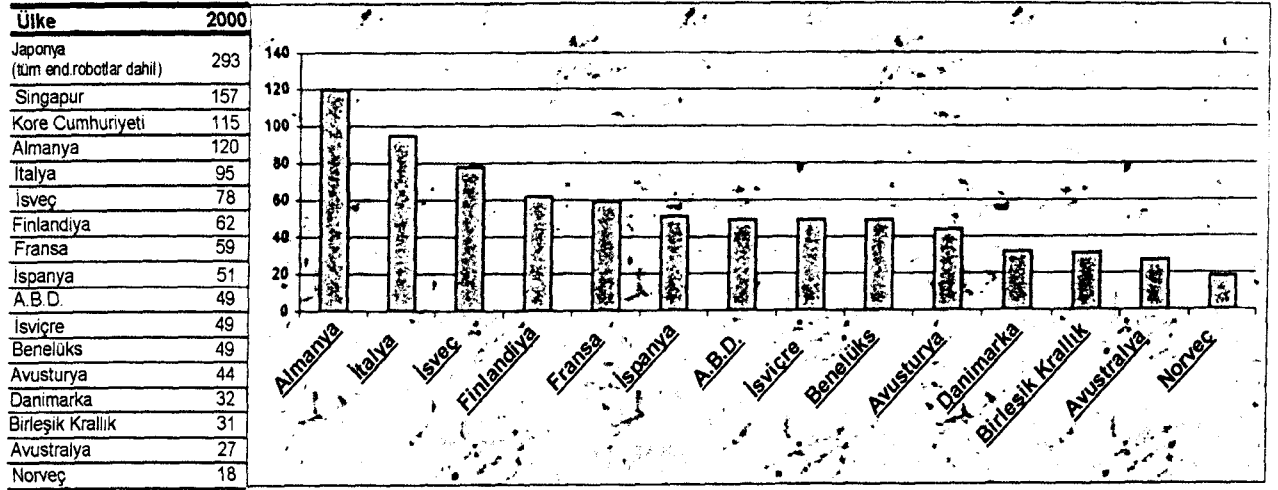
Ülke	Tüm robotlar	5 veya fazla eksene sahip robotlar	% pay
A.B.D	12986	11608	89,4
Almanya	12781	8414	65,8
İtalya	5897	3557	60,3
Fransa	3793	3167	83,5
İspanya	2941	2600	88,4
Kore Cumhuriyeti	4731	1490	31,5
Birleşik Krallık	1538	1261	82
İsveç	973	836	85,9
Avustralya	400	326	81,6
Finlandiya	492	257	52,2
Danimarka	307	247	80,5
Avusturya	320	152	47,5
Tayvan	750	108	14,3
Norveç	97	83	85,6
Polonya	100	67	66,7
Ara toplam	48106	34172	71
Japonya (tüm end.robot tipleri)	46986		
Tüm diğer ülkeler	3608		
Toplam	98700		

4.1.5 Robot Yoğunlukları

Çizelge 4.4, imalat endüstrisinde çalışan her 10000 kişi başına düşen robot sayısını göstermektedir. İlk grup, tüm endüstriyel robot tipleri hakkında bilgi toplayan ve bu yüzden diğer ülkelerle karşılatırılamayan Japonya ve robot yoğunlukları 290 ve 115 arasında olan Singapur ile Kore Cumhuriyeti'nden oluşmaktadır.

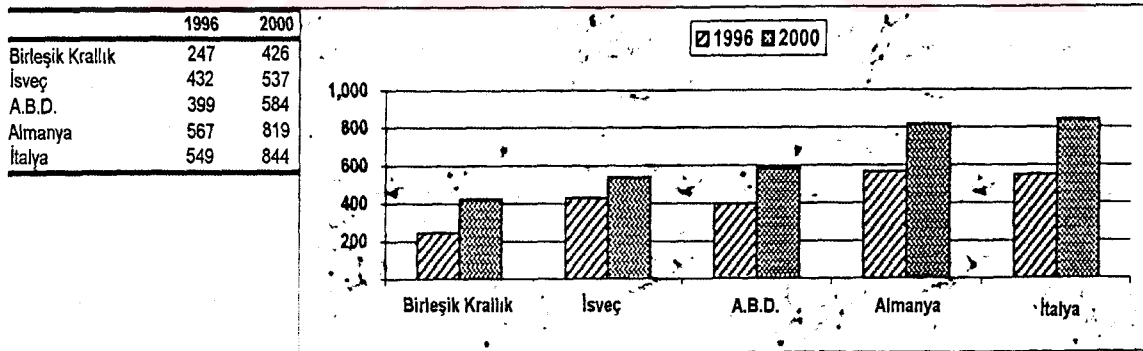
İkinci grubun başında 120'lik yoğunluğa sahip olan Almanya bulunmaktadır ve bunu imalat endüstrisinde çalışan her 10000 kişi başına 95 robotla İtalya ve 80 robotla İsveç takip etmektedir. Üçüncü grup ülkelerinde yoğunluk Finlandiya ve Fransa'da 62, İspanya'da 51'dir. Dördüncü grupta, A.B.D., İsviçre ve Benelüks'te 49, Avusturya'da 44'tür.

Çizelge 4.4 İmalat endüstrisinde 10000 kişi başına düşen robot sayısı, 2000 (World 2001 Robotics, 2001)



Çizelge 4.5, motorlu taşıt endüstrisinde 10000 imalat işçisi başına düşen çok amaçlı endüstriyel robot sayısını göstermektedir. 2000 yılında yoğunluklar, Birleşik Krallık, Fransa, İsveç ve A.B.D.'de 430 ila 580 arasında değişmektedir. Almanya ve İtalya'da sırasıyla yoğunluklar 820 ve 840 olmuştur diğer bir deyişle her 10 işçi başına yaklaşık bir robot düşmüştür (World 2001 Robotics, 2001).

Çizelge 4.5 Motorlu taşıt endüstrisinde 10000 imalat işçisi başına düşen robot sayısı (World 2001 Robotics, 2001)



4.2 Endüstriyel Robotların Türkiye'deki Durumu

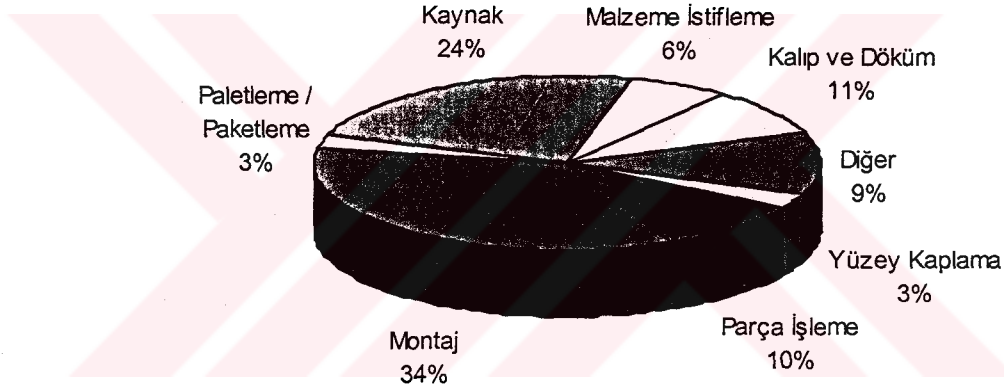
Sanayimizin ağırlıklı bir bölümü tam olarak otomasyona gitmek durumundadır. İnsan faktörüne çok açık, bugünkü gibi bir yapıyla standart, uluslararası bir düzeyde rekabet edebilir üretim yapmanın zorluğu giderek daha net olarak anlaşılmaktadır (Yücel, 1991).

2001-2002 yılları arasındaki sanayi robotu ithalat ve ihracat bilgileri Çizelge 4.6'da

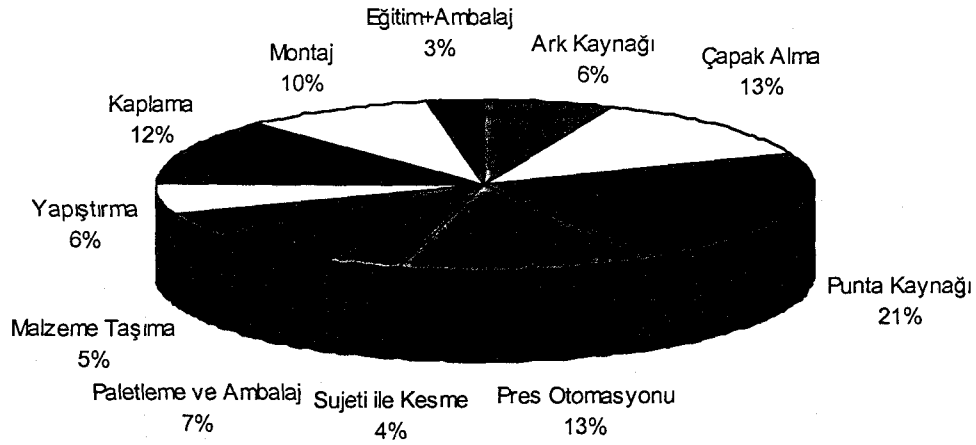
verilmektedir. Sanayide robot kullanımına ilişkin yüzdeler Şekil 4.4'te verilmektedir. Uygulamalara göre dağılım ise Şekil 4.5'te yer almaktadır.

Çizelge 4.6 2001-2002 Yılları Arasında Türkiye'deki Sanayi Robotu İthalat ve İhracat Bilgileri (D.İ.E.)

İTHALAT	
YIL	MİKTAR (DOLAR)
2001	11,222,242
2002	8,131,714
TOPLAM	19,353,956
İHRACAT	
YIL	MİKTAR (DOLAR)
2001	123,688
2002	303,502
TOPLAM	427,190



Şekil 4.4 Sanayide Robot Uygulamaları (KaleAltınay)



Şekil 4.5 Uygulamalara Göre Dağılım (KaleAltınay)

Türkiye’de robotların en yaygın kullanım alanını kaynak uygulamaları oluşturmaktadır. Mevcut robot kurulumlarının yaklaşık % 21’i nokta direnç (punta) kaynağında ve yaklaşık %6’sı ark kaynağında kullanılmaktadır. Kaynak uygulamalarından sonra robotların en yaygın kullanıldığı diğer alanlar çapak alma, pres otomasyonu ve kaplama uygulamaları olmaktadır. Türkiye’deki robotların %30’u otomotiv sanayiinde ve % 15’i de otomotiv yan sanayiinde kullanılmaktadır (KaleAltınay). Görüleceği üzere Türkiye’deki robot kullanımının itici gücü otomotiv sanayii olmaktadır.

4.2.1 Firma ve Uygulama Bazında Robot Dağılım İstatistiği

KaleAltınay Robotik ve Otomasyon A.Ş’nin 2001 yılı verilerine göre Türkiye’deki robotların firma, uygulama ve adet bazında dağılımları Çizelge 4.7’de gösterilmiştir. Bu verilere göre 2001 yılı itibariyle Türkiye genelindeki toplam robot sayısı 269 adet olmuştur. Ancak gerek bu verilerin 2001 yılına ait olması, gerek ticari kaygılar nedeniyle bazı verilere ulaşılamaması, gerekse de son iki yılda hızla artan robot kurulumları nedeniyle bu sayının çok daha fazla olduğu tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.7 Firma, uygulama ve adet bazında Türkiye’deki robotlar (KaleAltınay)

Robot	İntegratör	Firma	Sektör	Yer	Uygulama	Model	Adet
ABB	ABB-Türkiye	Aka Otomotiv	Otomotiv yan sanayi	Orhangazi	Ark kaynağı	IRB-1400	1
ABB	ABB-Türkiye	Ege Endüstri	Otomotiv yan sanayi	İzmir	Ark kaynağı		6
ABB	ABB-Türkiye	FORD Otosan	Otomotiv ana sanayi	İstanbul	Ark kaynağı		2
ABB	ABB-Türkiye	FORD Otosan	Otomotiv ana sanayi	Eskişehir	Ark kaynağı		1
ABB	ABB-Türkiye	Otoyol	Otomotiv ana sanayi	Adapazarı	Ark kaynağı		2
ABB	ABB-Türkiye	Tırsan	Otomotiv ana sanayi	Adapazarı	Ark kaynağı		1
ABB	ABB-Türkiye	Yaparlar	Tarım aletleri	İstanbul	Ark kaynağı		1
ABB	ABB-Türkiye	BMC	Otomotiv ana sanayi	İzmir	Punta Kaynağı		2
ABB	ABB-Türkiye	FORD Otosan	Otomotiv ana sanayi	İstanbul	Punta Kaynağı		12
ABB	ABB-Türkiye	Oyak-Renault	Otomotiv ana sanayi	Bursa	Punta Kaynağı		9
ABB	ABB-Türkiye	Teba	Beyaz eşya imalatı	İzmir	Punta Kaynağı		2
ABB	ABB-Türkiye	Arçelik	Beyaz eşya imalatı	Ankara	Pres otomasyonu		9
ABB	ABB-Türkiye	FORD Otosan	Otomotiv ana sanayi	İstanbul	Pres otomasyonu		7
ABB	ABB-Türkiye	Erkurt	Otomotiv yan sanayi	Bursa	Su jeti ile kesme		1
ABB	ABB-Türkiye	Formfleks	Otomotiv yan sanayi	Bursa	Su jeti ile kesme		2
ABB	ABB-Türkiye	Ototrim	Otomotiv yan sanayi	Bursa	Su jeti ile kesme		4
ABB	ABB-Türkiye	Ülker	Gıda	İstanbul	Paletleme		5
ABB	ABB-Türkiye	Tüp Merserize	Tekstil	Lüleburgaz	Paletleme		4
ABB	ABB-Türkiye	Arçelik	Beyaz eşya imalatı	Ankara	Malzeme taşıma		1
ABB	ABB-Türkiye	Döktaş	Otomotiv yan sanayi	Bursa	Malzeme taşıma		1
ABB	ABB-Türkiye	Goodyear	Otomotiv yan sanayi	Adapazarı	Malzeme taşıma		1
ABB	ABB-Türkiye	Sasa		Adana	Malzeme taşıma		2

ABB	ABB-Türkiye	Tümdemir		İstanbul	Malzeme taşıma		1
ABB	ABB-Türkiye	Artema	Armatür imalatı	Bozüyük	Çapak alma		9
ABB	ABB-Türkiye	Kunsan Kundura	Ayakkabı imalatı		Yapıştırma		1
ABB	ABB-Türkiye	Mikropor	Elektrik ekipmanı	Ankara	Yapıştırma	IRB-2400	1
ABB	ABB-Türkiye	Örsel Kundura	Ayakkabı imalatı	İstanbul	Yapıştırma		4
ABB	ABB-Türkiye	Özkan Kundura	Ayakkabı imalatı	İstanbul	Yapıştırma		2
ABB	ABB-Türkiye	Peg Profilo	Beyaz eşya imalatı	Çerkezköy	Yapıştırma		2
ABB	ABB-Türkiye	Yakupoğlu		Ankara	Yapıştırma		1
ABB	ABB-Türkiye	Ege Vitrifiye	Seramik	İzmir	Kaplama		2
ABB	ABB-Türkiye	Teknik Malzeme		Bursa	Kaplama		1
ABB	Hirata	Arçelik	Beyaz eşya imalatı	Ankara	Montaj		1
ABB	Hirata	Arçelik	Beyaz eşya imalatı	Eskişehir	Montaj		10
ABB	Hirata	Arçelik	Beyaz eşya imalatı	İstanbul	Montaj		2
ABB	ABB-Türkiye	UM Denizcilik	Gemi İnşaatı	Kocaeli	Gazla metal kesme		1
ABB	ABB-Türkiye	Oyak-Renault	Otomotiv ana sanayi	Bursa	Eğitim		1
ABB	ABB-Türkiye	Ortadoğu Tek.Üniv.	Eğitim kuruluşu	Ankara	Eğitim		1
ACMA	Renault Automation	Oyak-Renault	Otomotiv ana sanayi	Bursa	Punta Kaynağı		3
ABB	ABB-Türkiye	Coşkunöz	Otomotiv yan sanayi	Bursa	Ark kaynağı		
ADEPT		TEE	Elektrik ekipmanı	İstanbul			5
ADEPT		Boğaziçi Üniv.	Eğitim kuruluşu	İstanbul			1
ADEPT		Ülker	Gıda	İstanbul			2
ADEPT	Altınay	Şişecam-Kırklareli Cam	Cam eşya imalatı	Kırklareli	Malzeme taşıma	Cobra	2
ALTINAY	Altınay	Şişecam-Mersin-Cam	Cam eşya imalatı	Mersin			2
ALTINAY	Altınay	Arçelik	Beyaz eşya imalatı	İstanbul	Test		1
COMAU	italya	Tofaş	Otomotiv ana sanayi	Bursa			33
FANUC		Ortadoğu Tek.Üniv.	Eğitim kuruluşu	Ankara	Eğitim		1
FANUC	Askaynak	Knorr-Orsan	Otomotiv yan sanayi	Çorlu	Ark kaynağı		1
ŞAIOTTO	italya	Eczacıbaşı	Seramik	İstanbul	Boyama		6
ŞAIOTTO	italya	Eczacıbaşı	Seramik	Bozüyük	Boyama		6
ŞAIOTTO	italya	Kale Seramik	Seramik	Çanakkale	Boyama		30
ŞAIOTTO	italya	Ege Seramik	Seramik	İzmir	Boyama		30
ŞAIOTTO	italya	Toprak Seramik	Seramik	Bozüyük	Boyama		20
HIRATA	Altınay	Şişecam-Kırklareli Cam	Cam eşya imalatı	Kırklareli	Paletleme		2
HIRATA	Altınay	Pakmaya	Gıda	Kocaeli	Paletleme		1
HIRATA	Altınay	Şişecam-Mersin-Cam	Cam eşya imalatı	Mersin			1
IGM				Ankara			1
IGM				Bursa			1
NACHI		Hyundai	Otomotiv ana sanayi	İzmit	Mastik(ön/arka cam)		1
AWASAKI	Japonya	Toyota	Otomotiv ana sanayi	Adapazarı	Punta Kaynağı		8
AWASAKI		FORD Otosan	Otomotiv ana sanayi	İstanbul	Punta Kaynağı		1
AWASAKI	Japonya	Toyota	Otomotiv ana sanayi	Adapazarı	Yapıştırma		1
AWASAKI	Tiesse Robot	Nurus	Mobilya	Ankara	Pres otomasyonu	JS-30	1
KUKA		Şişecam-Trakya Cam	Cam eşya imalatı	Kırklareli	Malzeme yükleme		1
KUKA		Arçelik	Beyaz eşya imalatı	İstanbul	Malzeme yükleme		1
KUKA		Ülker	Gıda	İstanbul	Malzeme yükleme		1

OTC	Altınay	Profilsan	Otomotiv yan sanayi	Bursa	Ark kaynağı	V01S	1
OTC	Altınay	EAE Elektrik	Elektrik ekipmanı	İstanbul	Ark kaynağı	V10S	1
OTC	WMA	Ege Fren	Otomotiv yan sanayi	İzmir	Ark kaynağı	V01S	2
OTC	Altınay	Eczacıbaşı-Vitra	Seramik	İstanbul	Çapak alma	EV	1
OTC	SAF	Knorr-Orsan	Otomotiv yan sanayi	Çorlu	Ark kaynağı	G01S	2
OTC	Altınay	İstikbal	Mobilya	Kayseri	Ark kaynağı	DR3200	2
OTC	Altınay	Doğrular	Metal ev eşyası	Konya	Ark kaynağı	DR3200	2
OTC	Altınay	Nurus	Metal ev eşyası	Ankara	Ark kaynağı	DR4200L	1
REIS		Çimtaş		Gemlik	Ark kaynağı		1
ASKAWA	Japonya	Toyota	Otomotiv ana sanayi	Adapazarı	Pres otomasyonu		6
ASKAWA	SIAD İtalya	İstikbal	Mobilya	Kayseri	Ark kaynağı	SK-6	2
ASKAWA	Özka	Beşerler	Metal ev eşyası	Kocaeli	Ark kaynağı	SK-6	1
ASKAWA	Motoman Almanya	PI Makina	İnşaat	Ankara			2
ASKAWA	Özka	GENTAŞ	Mobilya	Bolu	Ark kaynağı		1
ASKAWA	Özka	MOTALİ	Mobilya	Ankara	Ark kaynağı		1
ASKAWA	Özka	DÇD Baltur		Ankara			1
ESHED		Galatasaray Üniv.	Eğitim kuruluşu	İstanbul	Eğitim		1
TSUBISHI		İstanbul Teknik Üniv.	Eğitim kuruluşu	İstanbul	Eğitim	Movemaster	1
TSUBISHI	Festo	İzmir Atatürk Tek. Lis.	Eğitim kuruluşu	İzmir	Eğitim	Movemaster	1
TSUBISHI	Festo	DMO Okulu	Eğitim kuruluşu	İstanbul	Eğitim	Movemaster	1
TSUBISHI	Festo	Çitosan	Eğitim kuruluşu	Ankara	Eğitim	Movemaster	1
TSUBISHI	Festo	Hürriyet And. Tek. Lis.	Eğitim kuruluşu	Bursa	Eğitim	Movemaster	1
ANUTEC	Tübitak	Tübitak-MAM	Eğitim kuruluşu	Gebze	Eğitim	R-15	1
ANUTEC		İstanbul Motor Piston	Otomotiv yan sanayi	İstanbul	Malzeme yükleme	R-2	3
ÜBİTAK	Tübitak	Tübitak-MAM	Eğitim kuruluşu	Gebze	Eğitim	ROB15	1
HİTACHI		Standart	İnşaat	Kocaeli			1
IGM		Grammer	Otomotiv yan sanayi	Bursa	Ark kaynağı		12
FANUC		Jantaş	Otomotiv yan sanayi	Manisa		GD320	6
FANUC		Jantsa	Otomotiv yan sanayi	Aydın		GD320	2
FANUC		CMS	Otomotiv yan sanayi	İzmir	Pres otomasyonu	GD30	1
Nokia		Türk Elektrik					1
TOPLAM:							269

5. KAYNAK TEKNOLOJİSİ

5.1 Gazaltı (MIG-MAG) Ark Kaynak Teknolojisi

Örtülü elektrod kullanarak, el ile yapılan ark kaynağının en büyük dezavantajları, güvenilir bir bağlantı elde edilmesi için kaynakçının belirli bir düzeyde yetiştirilmiş olması ve kaynak hızının sınırlı oluşudur. Bu iki husus da sonucun pahalı olmasına ve acele yapılması gereken işlerin belirli bir termin süresinden önce bitirilememesine neden olmaktadır. Özellikle kalın parçaların kaynağında, kaynak süresi çok uzun olmaktadır; zira elektrod çapı belirli bir ölçüden sonra arttırılmamaktadır; örneğin 6 mm'den daha kalın çaplı elektrodlar kullanıldığında, kaynakçının işlem esnasında kaynak banyosuna hakimiyeti güçleşmektedir.

Kaynak esnasında, cürufun temizlenmesi ve elektrod değiştirilmesi için sarfedilen zaman genellikle kaynak işleminin gerçekleştirildiği süreyi aşmaktadır. Her elektrdoun uç kısmında birkaç santimlik bir kısım kullanılmadan atılmakta ve bu da maliyeti etkilemektedir. Akım şiddetini arttırarak ergime süresini kısaltmak da iyi sonuç vermemektedir; zira bu kaynak yönteminde elektrod fazlaca ısındığından örtü ark bölgesinden önce yanarak bozulmakta ve kendinden beklenen görevi yerine getirememektedir. Ayrıca el ile yapılan kaynakta hızın, belirli bir değerin üzerine çıkması kaynakçının kaynağa hakimiyetini güçleştirmektedir.

Kaynak maliyetini düşürmek, termin süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikişin kalitesine olan etkisini azaltmak için, günümüz teknolojisi otomatik veya mekanize kaynak yöntemleri diye adlandırılan bazı modern yöntemler geliştirmiştir.

Bütün bu kaynak yöntemlerinde ana tema, çıplak elektrod telini mekanik bir tertibat yardımıyla otomatik olarak sürekli ilerletip, akımı, ark bölgesine çok yakın bir yerden vererek telin yüklenebileceği akım şiddetini arttırıp ergime gücünü yükseltmektir. Burada en önemli husus, elektrod örtüsünün görevini yükleneyecek bir faktörün devreye sokulmasıdır.

Bu konunun önemini açık bir şekilde görebilmek için, örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağında, örtünün sağladığı faydaları hatırlamakta yarar bulunmaktadır.

Örtünün görevleri şunlar olmaktadır:

- Bir koruyucu gaz atmosferi oluşturarak kaynak banyosunu havanın oksijen ve azotunun olumsuz etkilerinden korumaktadır ve banyoyu dezokside etmektedir.
- Arkın tutuşmasını ve oluşumunu kolaylaştırmaktadır.

- Ergiyen metal damlalarının yüzey gerilimini etkileyerek tavan ve dik kaynak pozisyonlarında kolaylık sağlamaktadır.
- Kaynak dikişinin üzerini bir cüruf tabakası ile örterek, dikişin yavaş soğumasına yardımcı olmaktadır.
- Kaynak banyosuna gerekli alaşım elementlerini katarak, dikişin mekanik özelliklerini istenen yönde geliştirmektedir.
- Ergime hızını yükseltmektedir.

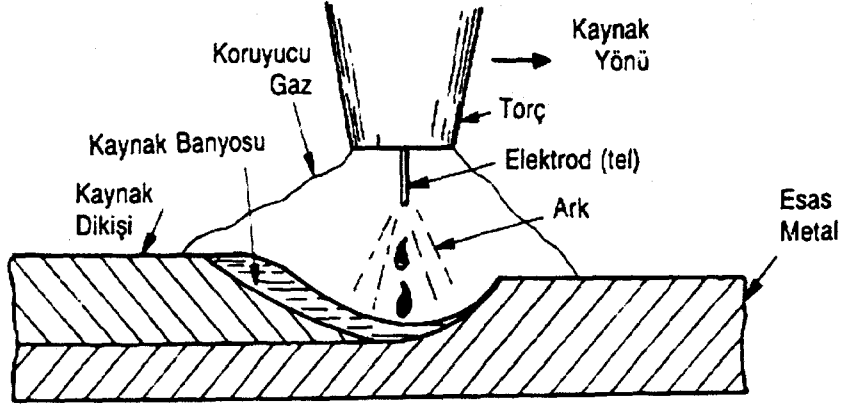
Elektrod örtüsünün bu görevleri içinde en önemlisi ve en vazgeçilmezi, bir koruyucu gaz atmosferi oluşturarak, kaynak banyosunu havanın oksijen ve azotunun olumsuz etkilerinden koruması olmaktadır. Böylece örtünün yerini alacak olan nesne mutlak suretle bu görevi yüklenmiş olmalıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucunda iki ayrı yoldan gidilerek, bugünkü tozaltı ve gazaltı diye adlandırılan kaynak yöntemleri geliştirilmiştir (Tülbentçi, 1990).

MIG kaynağının esas gelişimi, 1947 yılında A.B.D’de ilk satın alınabilir kaynak makinalarının üretilmesiyle başlamıştır. O tarihte yöntem S.I.G.M.A (Shielded Gas Metal Arc) olarak adlandırılmakta ve bugünkü MIG kaynağı ile aynı anlamda kullanılmaktaydı (Anık ve Vural, 1998). A.B.D’de alüminyum ve alaşımlarının, karbonlu çeliklerin kaynağında uygulanmış olan MIG kaynak yönteminde ark helyum ve argon gibi asal bir gaz atmosferi altında yanmaktadır; bu yöntemin TIG yönteminden farkı, arkın iş parçası ve kaynak metali gereksinimini karşılayacak bir elektrod arasında oluşturulmasıdır.

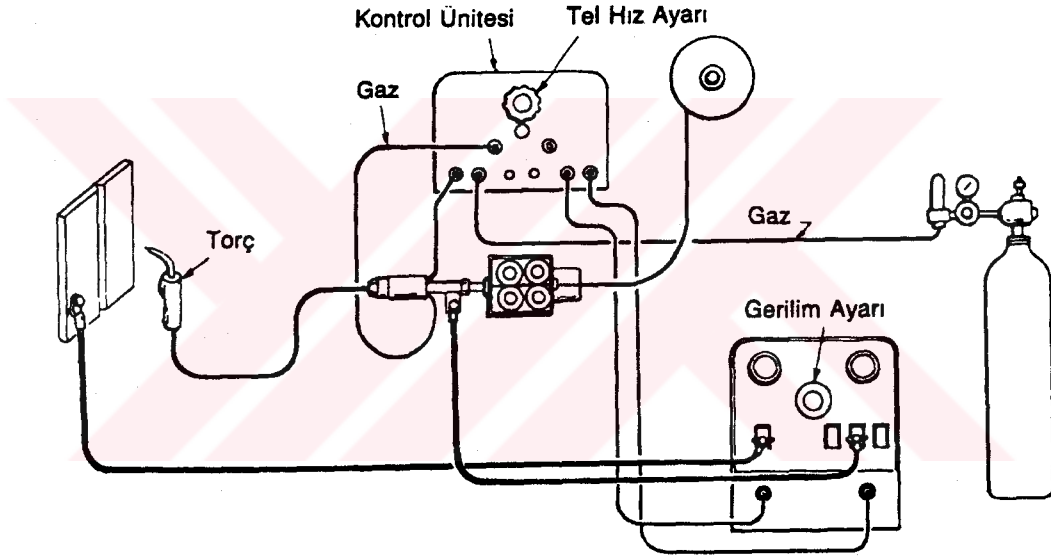
Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahip bulunmaktadır ve çok ince levhalar hariç, her kalınlıktaki demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında kullanılabilir. Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahip bulunmaktadır ve çok ince levhalar hariç, her kalınlıktaki demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında kullanılabilir.

Şekil 5.1’te MIG kaynak yönteminde ark bölgesi ve Şekil 5.2’de de MIG kaynak donanım şeması görülmektedir. Yöntemin uygulanması çok basit şekilde gerçekleşmektedir; operatör hiçbir güçlüklerle karşılaşmamaktadır. Toprak kablosunun iş parçasına bağlanıp, torcun ucundaki tel elektrodu kaynak ağzına değdirmek yeterli gelmektedir; zira sistem, uygun ark boyunu otomatik olarak sabit tutmaktadır.

Uygulama kolaylığı nedeniyle bütün demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında çok popüler ve arandığı bir yöntem haline gelen MIG yönteminin sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler için uygulama alanı bulamamasına asal gazın pahalılığı neden olmuştur.



Şekil 5.1 MIG kaynak yönteminde ark bölgesi (Tülbentçi, 1990)



Şekil 5.2 MIG kaynak donanımı blok şeması (Tülbentçi, 1990)

Karbondioksit koruyucu gaz olarak ilk defa Rusya'da 1952 yılında denenmiş ve bugünkü MAG kaynağı başlamıştır. Argon o zamanlar çok pahalıya mal olduğundan bu yöntem ilk olarak alaşimsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağı için yerleşmiştir (Anık ve Vural, 1998). Bilindiği gibi, sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin örtülü elektrod ile kaynağında ark bölgesi, örtünün yanması ve ayrışması sonucu ortaya çıkan CO₂ tarafından havanın olumsuz etkilerinden korunmaktadır. Bu olaydan hareket edilerek CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanıldığı ilk denemeler iyi sonuç vermemiş, çok fazla sıçrama ve dikişte aşırı porozite ile karşılaşmıştır. Araştırmalar bunun nedeninin CO₂'nin safiyetsizliği ve içerdiği rutubet

olduğunu ortaya koymuştur.

Kısa devre halinde, akımı sınırlayan reaktanslı akım üreteçleri geliştirilerek, kısa ark boyu ile çalışılarak sıçrama minimuma indirgenmiştir; diğer önemli bir gelişme de ince çaplı elektrod kullanabilme olanağını sağlamıştır. Bu şekilde, her ne kadar elektrodun akım yoğunluğu arttırılmış ise de, arkin oluşturduğu ısı azalmıştır. Akım yoğunluğunun artması, arki yoğun ve istenilen yöne kontrollü olarak doğrultabilir hale getirmiş ve dolayısıyla da her pozisyonda kaynak yapabilen bu yöntemde önceleri sadece CO₂ kullanılmıştır. Günümüzde gereken hallerde, arki yumuşatmak, sıçramayı azaltmak azaltmak için CO₂'e argon karıştırılıp kullanılmaktadır; karışım oranı %75 argona kadar çıkmaktadır. Bu yöntemde üçüncü bir gelişme de çeşitli bileşimde koruyucu gazlar ile spray ark yönteminin bulunmasından oluşmaktadır. Argon içine çok az miktarda oksijen ilave ederek çeliklerin kaynağında bu yöntemin uygulanması sonucu, kalın çaplı elektrodlarla her pozisyonda çalışılabilmekte ve çok düzgün kaynak dikişleri elde edilmektedir.

Son yıllarda geliştirilen, darbeli akım yönteminde, kaynak akımı, ayarlanan frekansta bir alt ve bir üst değer arasında değiştirilerek iş parçasına aktarılan ısı girdisi minimumda tutularak, özellikle ince parçalarda çarpılma azaltılmıştır.

Sanayileşmiş ülkelerde günümüzün en popüler yarı otomatik kaynak yöntemi olan MIG-MAG yöntemi son yıllarda ülkemizde de hızla yayılmaktadır (Tülbentçi, 1990).

5.1.1 MIG-MAG Kaynak Donanımı

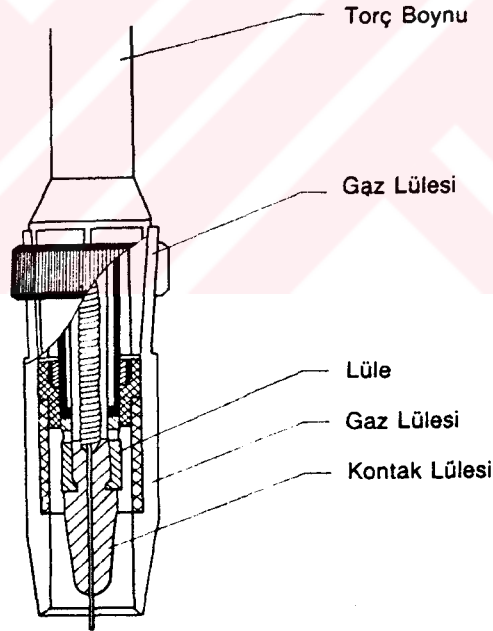
Bir MIG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşmaktadır:

- Kaynak tabancası olarak da adlandırılan bir kaynak torcu.
- Tel şeklindeki elektrod ve muhafazasını, kaynak ve şalter kablosunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum; torç bağlantı paketi.
- Tel şeklindeki elektrodun hareketini sağlayan düzenek.
- Kaynak akımının geçişini, soğutma suyunun devreye girişini, koruyucu gazın akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda dolabı.
- Kaynak akım üretici.
- Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü.

5.1.1.1 Kaynak Torçları

MIG-MAG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi, ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi torcun görevi olmaktadır. Arkın çok yakınında bulunması nedeniyle özellikle, yarı otomatik yöntemlerde operatörün sıcaklıktan mümkün olduğu kadar az etkilenmesi için çeşitli biçimlerde torçlar geliştirilmişse de günümüzde en yaygın olarak kullanılanı, oksisasetilen üflecini andıran biçimde bükülmüş olan türü olmaktadır; tel elektrodun spiral içinde itilerek ilerletilmesi çok zor olan alaşımlar için tabanca şeklinde, üzerinde tel ilerletme tertibatı ve ufak bir tel kangalı bulunduran torçlar da üretilmektedir.

MIG-MAG yönteminde tel elektrod sürekli olarak ilerlediği için tele elektrik iletimi bir kayar nokta ile sağlanmaktadır. Tel torcu terketmeden biraz önce bakır esaslı bir kontak lülesi içinden geçerken kaynak akımı ile yüklenmektedir; bu kontak lülesine konsantrik olarak, torcun ağız bölgesinde bir gaz lülesi (nozül) bulunmaktadır ve bu lüle sayesinde, koruyucu gaz akımı laminer olarak kaynak bölgesine sevkedilmektedir. Şekil 5.3'te kaynak torcunun kesidi gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Kaynak torcu uç kısmı kesiti (Tülbentçi, 1990)

Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli olarak soğutulması gerekli olmaktadır; düşük kaim şiddetlerinde yapılan çalışmalarda koruyucu gaz akımı gerekli soğutmayı yapabilmektedir. Kalın elektrodların, yani yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde ise su ile soğutma gerekli olmaktadır.

Yüksek sıcaklık aşınmayı artırarak telin geçtiği deliğin büyümesine ve dolayısıyla tele elektrik iletiminin zorlanmasına neden olmaktadır. Uygulamada, akım şiddetinin üst sınırlarında çalışılması halinde, kısa bir süre sonunda tel ilerleme hızında düzensizlikler görülmeye başlamaktadır. Bu, telin aşırı ısınmış kontak lülesi içinde sürtünmesinin artmasından ortaya çıkmaktadır. Bu olay temas düzensizliğine yol açtığından, arkın stabilitesini kaybetmesine, kaynaklı bağlantının da kalitesini yitirmesine neden olmaktadır.

Kontakt lüle malzemesi elektriği çok iyi iletmek ve aynı zamanda aşınmaya (özellikle elektroerozyona) dayanıklı olmak zorundadır. CuCr, CuCrZr, CuBe uygulamalarda çok sık kullanılmakta ve saf bakıra tercih edilmektedir; günümüzde piyasada aşınmaya daha da dayanıklı sinter tekniği ile üretilmiş CuTu, CuTuAg alaşımı kontak lüleleri de bulunmaktadır.

Kontakt lülesi ile konsantrik olarak bulunan gaz lülesi de çalışma esnasında aşırı termik zorlamaya maruz kalan torç elemanlarından. Kaynak bölgesine gönderilen koruyucu gazın düzgün akımını sağlayan gaz lülesinin büyüklüğü, ergime gücü ve kaynak hızına bağlı olarak değişmektedir.

Kaynak esnasında lüleye yapışan, sıçrayan metal damlacıkları, koruyucu gazın laminer akımını bozmaktadır ve bu da kaynak bölgesinin iyi korunamamasına neden olmaktadır. Sıçramanın aşırı olduğu hallerde, yapışan metal damlacıkları akım lülesi ile gaz lülesi arasında köprü oluşturarak ikinci bir arkın oluşmasına ve bu da, hem iş parçasının hem de torcun hasar görmesine neden olmaktadır. Bu bakımdan torç sık sık kontrol edilip temizlenmelidir (Tülbentçi, 1990).

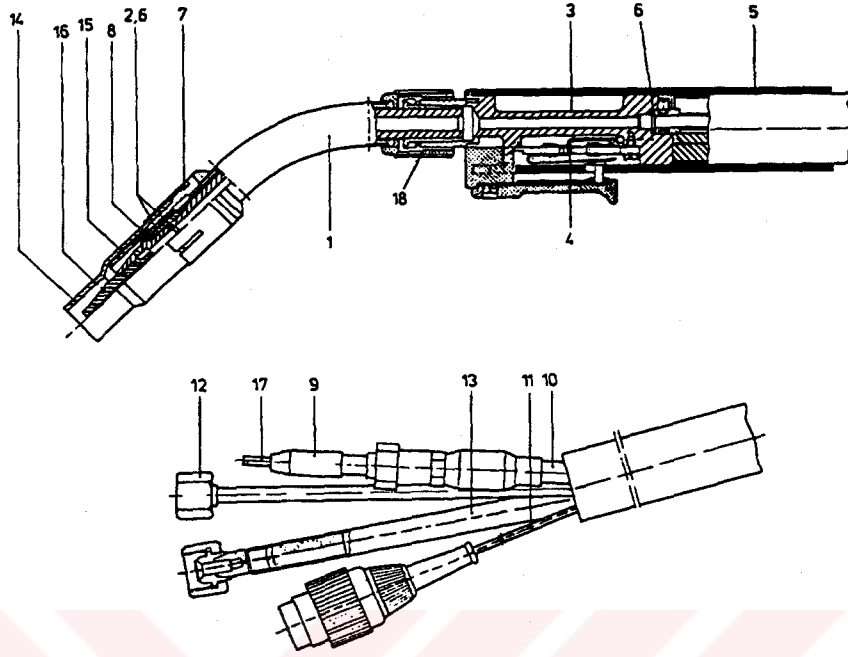
Başarılı bir kaynak işlemi için uygun bir torcun seçiminde aşağıdaki kriterler göz önüne alınmalıdır:

- Kullanılacak akım üreticinin maksimum gücü
- Kullanılacak maksimum ve minimum tel çapı
- Kaynak yapılacak maksimum malzeme kalınlığı
- İş yükü
- Ergonomik prensipler (Anık ve Vural, 1998)

5.1.1.2 Torç Bağlantı Paketi

Torç kaynak makinasına, içinde tel elektrod kılavuzunu, akım kablolarını, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli ve kalın bir hortum ile irtibatlanmıştır. Bu kalın hortuma torç bağlantı paketi

adı verilmektedir. Şekil 5.4'te hava soğutmalı bir torç ve torç bağlantı paketi görülmektedir (Tülbentçi, 1990).



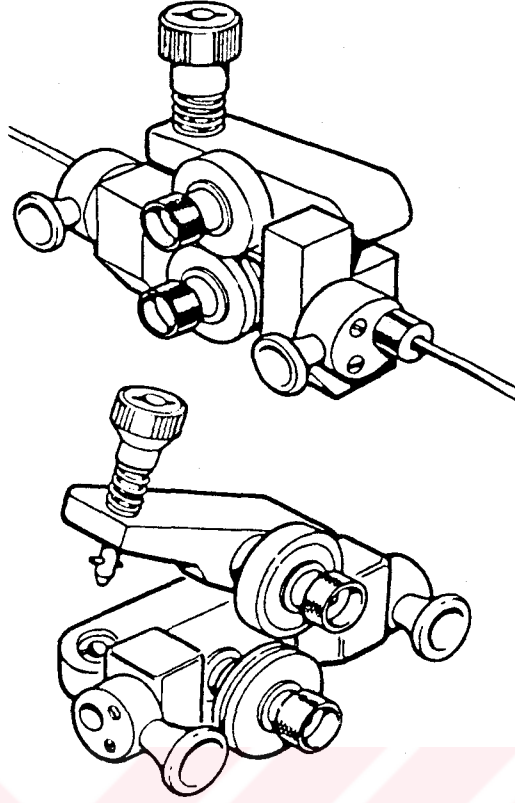
- 1 Torç Boynu
- 2 Kontak Lülesi Tutucusu
- 3 Torç Gövdesi
- 4 Torç Şalteri
- 5 Kabza
- 6 Conta
- 7 Bağlama Ringi
- 8 İzolasyon Yüksüğü
- 9 Kılavuz Lülesi

- 10 Kılavuz Hortumu
- 11 Şalter Kablosu
- 12 Gaz Hortumu
- 13 Akım Kablosu
- 14 Gaz Lülesi
- 15 İzolasyon Ringleri
- 16 Kontak Lülesi
- 17 Elektrod Kılavuzu (spiral)
- 18 Torç Bağlantı Rakoru

Şekil 5.4 Hava soğutmalı torç kesiti ve torç bağlantı paketi (Tülbentçi, 1990)

5.1.1.3 Tel Sürme Düzeneği

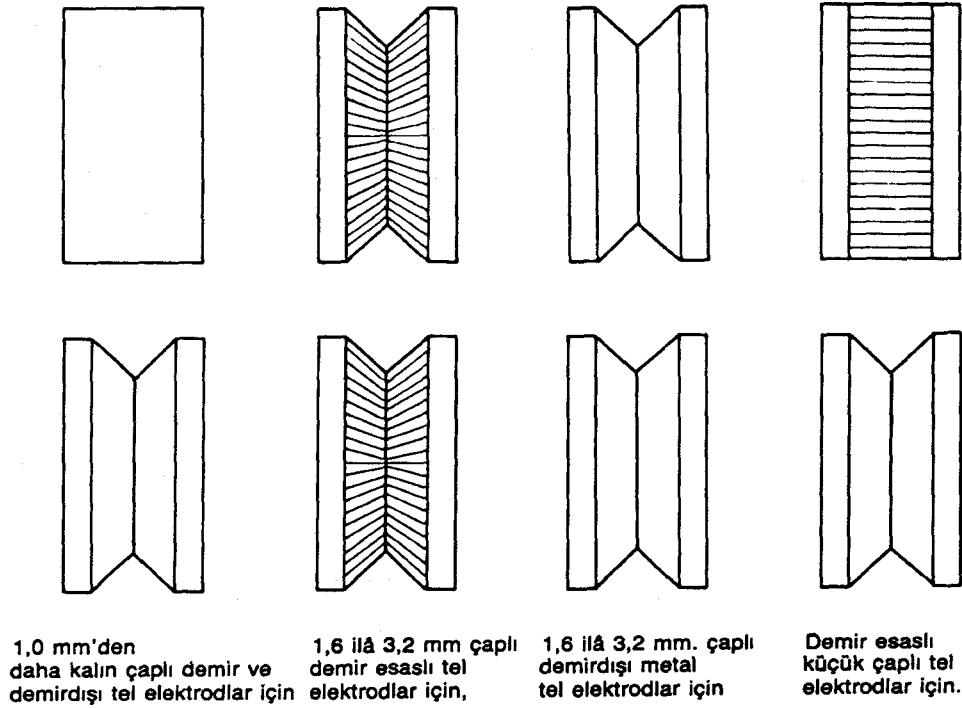
Tel elektrod sürme düzeneği, teli makaradan alıp, önceden saptanmış bir hızla ark bölgesine gönderen bir mekanizmadır. Çalışma sistemlerine göre çekme, itme türü düzenekler diye adlandırılırsalar da prensip olarak çalışma bakımından birbirlerinden pek farkları bulunmamaktadır. Hız ayarı kademesiz bir mekanik tertibat veya gerilimi değiştirilerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilmektedir. Günümüzde daha çok bu ikinci sistem tercih edilmektedir (Tülbentçi, 1990). MIG-MAG kaynağında tel besleme hızları 2-20 m/dak arasında değişmektedir (Anık ve Vural, 1998). Şekil 5.5'te tel sürme düzeneği görülmektedir.



Şekil 5.5 Tel sürme düzeneği (Tülbentçi, 1990)

Tel sürme düzenekleri çalışma prensibi bakımından, rulolu ve planet düzenekler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

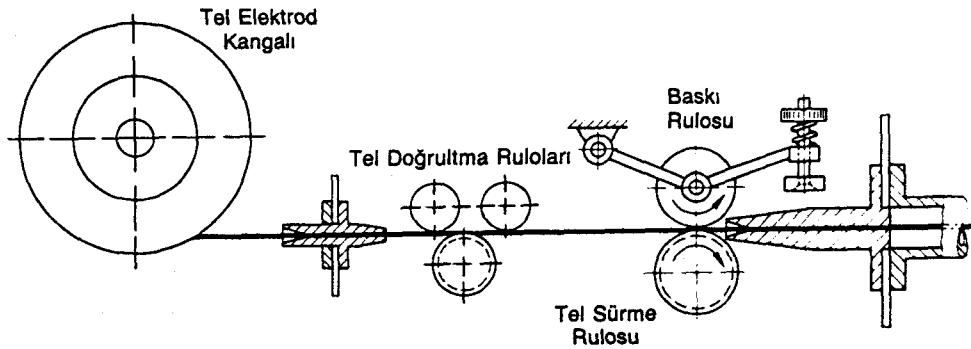
Rulolu tertibatlarda, tel iki veya dört rulo arasından geçmektedir; bunlardan alt rulolar istenen tel besleme hızına eşit bir çevresel hızla dönmektedirler ve üzerlerinde tel çapına uygun bir kanal açılmıştır. Üst rulolar ise avara dönmektedirler. Bunlardan bazıları düz şekildedir; diğer bazılarına ise kanal açılmıştır. Kullanılan elektrodun sert olması halinde rulolar, teli kaydırmamaları için tırtıllı da olabilmektedirler. Şekil 5.6'da tel sürme düzeneğinde kullanılan rulolar görülmektedir.



Şekil 5.6 Tel sürme düzeneklerinde kullanılan rulolar (Tülbentçi, 1990)

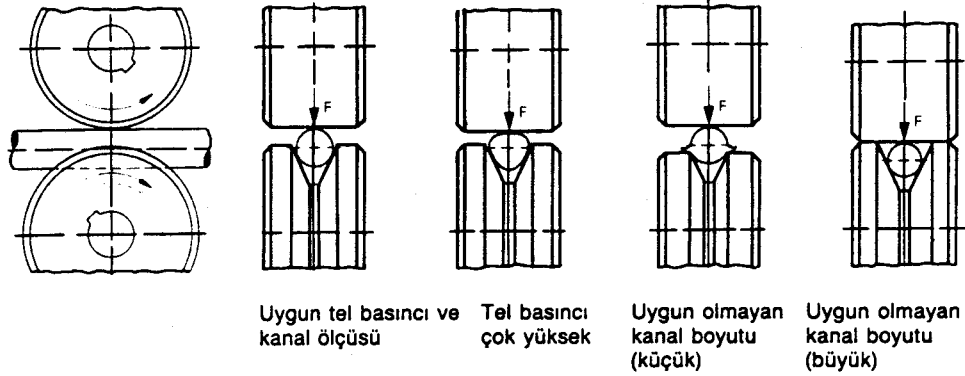
Tel makaradan sağılırken tam düz değildir ve bu şekilde tel kaynak bölgesine sevkedilirken, spiral kılavuz içinde sürtme yaptığından sürme tertibatını zorlamaktadır ve tel iletme hızının düzensiz olmasının neden olur ki bu olay da kaynak dikişinin kalitesini etkilemektedir.

Dört rulolu düzeneklerde tel bir dereceye kadar düzelmektedir. İki rulolu düzeneklerde, sürme mekanizmasından önce bir tel doğrultma ruloları grubuna gerek olmaktadır. Şekil 5.7'de iki rulolu ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması gösterilmektedir (Tülbentçi, 1990).



Şekil 5.7 İki rulolu ve tel düzeltme düzenekli tel sürme mekanizması şeması (Anık ve Vural, 1998)

Tel sürme düzeneğinde ruloların tel üzerine yaptıkları basıncın iyi ayarlanması ve tel tür ve çapına uygun biçimdeki ruloların kullanılması gereklidir. Rulo profili ve basıncının elektrod üzerine etkileri Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.8 Rulo profilinin ve basıncının elektrod üzerine etkileri (Tülbentçi, 1990)

Rulolu tel sürme düzeneklerinin tek olumsuz yönü, makaradan sağılan teli tam olarak doğrultamamalarıdır. Dönel veya planet tel sürme düzeneklerinde eksenleri birbirlerine göre çarpık üç rulo bulunmaktadır; tel bunların arasından geçmektedir. Ruloların bağlı olduğu gövde döndürülmektedir ve bu şekilde ruloların temas noktası tel üzerinde bir helis çizmektedir; tel dönemediği için de ilerleme hareketi yapmaktadır. Bu sistemlerin en büyük avantajı tel elektrodu çok iyi doğrultmalarıdır (Tülbentçi, 1990).

5.1.1.4 Kumanda Düzeneği

Kaynakta gerekli fonksiyonlar, hortum paketi içindeki kontrol kablosu üzerinden, torçtaki anahtar aracılığıyla kontrol ünitesinde devreye sokulmaktadır.

Bir kaynak akım üreticinin kontrol ünitesi üzerindeki başlıca kontrol elemanları şunlar olmaktadır:

- Tel açma
- Koruyucu gaz ayarı
- Nokta süresi
- Geri yanma süresi
- Uç krater doldurma (akım/tel/süre)
- İki zamanlı
- Dört zamanlı

- Tel ilerletme
- Tutuşmanın oluşumu

Genel olarak iki ve dört zamanlı kontrol sistemleri mevcut bulunmaktadır.

a) İki zamanlı kontrol: Torçtaki anahtardan, aynı anda akım, tel ilerlemesi ve koruyucu gaz devreye sokulmaktadır; anahtarın bırakılmasıyla bu fonksiyonların tümü aynı anda kesilmektedir. Bu kontrol tipi esas olarak puntalama işleminde ve kısa dikişler için kullanılmaktadır.

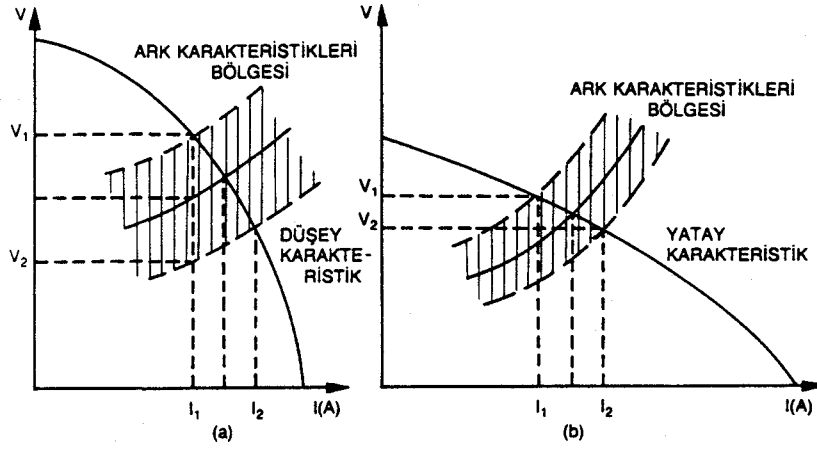
b) Dört zamanlı kontrol: Torçtaki anahtara basıldığında önce sadece magnet ventilin açması yoluyla koruyucu gaz akmaya başlamaktadır. Anahtarın bırakılmasıyla akım ve tel ilerlemesi başlamaktadır. Kaynak işleminin sonunda anahtara tekrar basıldığında akım ve tel ilerlemesi kesilmektedir; bu arada anahtar bırakılana kadar koruyucu gaz akışı bir miktar daha sürmektedir.

Dört zamanlı kontrol, her şeyden önce dikiş başlangıcında ve uç kraterinde gözenek oluşumundan kaçınmayı sağlayan, koruyucu gazın ön ve art akışını sağlama üstünlüğüne sahip olmaktadır. Bu kontrol sistemi, koruyucu gazın ayarlanabilen ön ve art akışıyla da kullanılmaktadır.

Yeni cihazlarda ilave olarak arkın geri yanma süresi (telin ilerleyişinin durması ile akımın kesilmesi arasında geçen süre) de ayarlanabilmektedir. Böylece arkın beklenmedik ani sönmelerinde telin banyoya yapışması önlenmiş olmaktadır (Anık ve Vural, 1998).

5.1.1.5 Akım Üreteçleri

MIG-MAG kaynağında kullanılan kaynak akım üreteçlerinin V-I karakteristiği örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağı ve TIG kaynağında kullanılan akım üreteçlerinden çok farklı olmaktadır. MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiktir; sabit gerilimli diye de adlandırılan bu kaynak akım üreteçlerinde, gerilimin tamamen sabit tutulması mümkün olmadığı gibi aynı zamanda sakıncalıdır. Zira böyle bir üreteçte elektrod iş parçasına temas ettiğinde gerilim düşecek ve akım şiddeti sonsuz yükselecektir ve bu da elektrod ucunda ani bir patlamaya ve şiddetli sıçramaya neden olacaktır. Bu bakımdan bu tür kaynak akım üreteçlerinde her 100 amper için azami 7 volt kadar ark gerilimi düşümüne müsaade edilmektedir; bu değer kaliteli üreteçlerde 2 ila 5 volt arasında olmaktadır. Şekil 5.9'da kaynak akım üreteçlerinde V-I karakteristikleri görülmektedir.

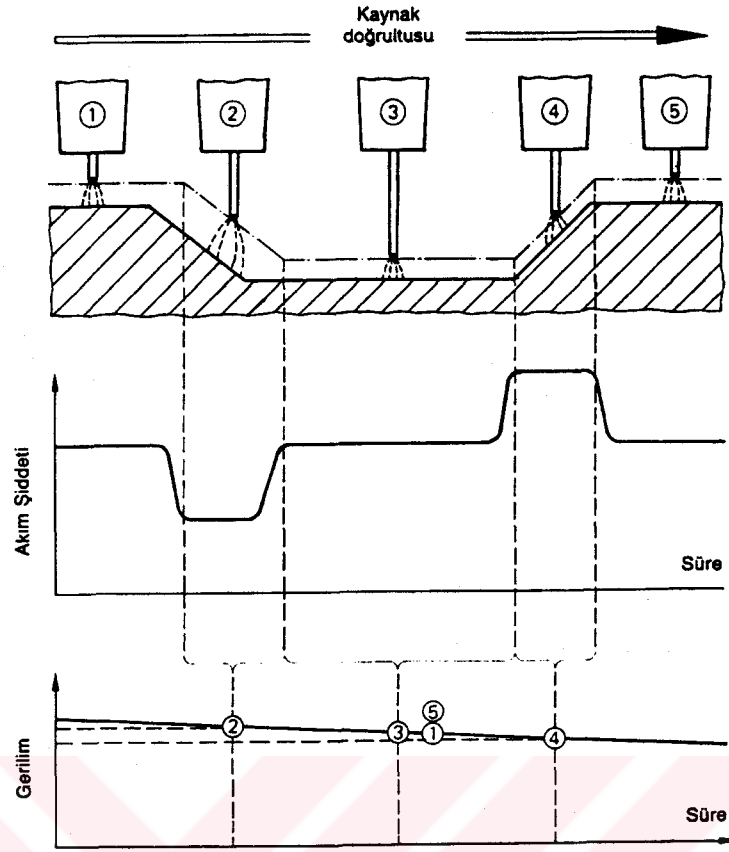


Şekil 5.9 Kaynak akım üreteçlerinde V-I karakteristikleri. a) Düşey karakteristik (TIG ve elektrik ark kaynağı için), b) Yatay karakteristik (MIG-MAG kaynağı için) (Tülbentçi, 1990)

Bu tip kaynak akım üreteçlerinde iç ayar diye isimlendirilen ark boyu ayarı mevcut bulunmaktadır. Bu tip üreteçlerde ark gerilimi ve tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanmaktadır. Bu tür makinalarda, tel ilerletme motoru, seçilmiş sabit bir devirde dönmektedir yani diğer bir deyimle tel hızı sabit olmaktadır.

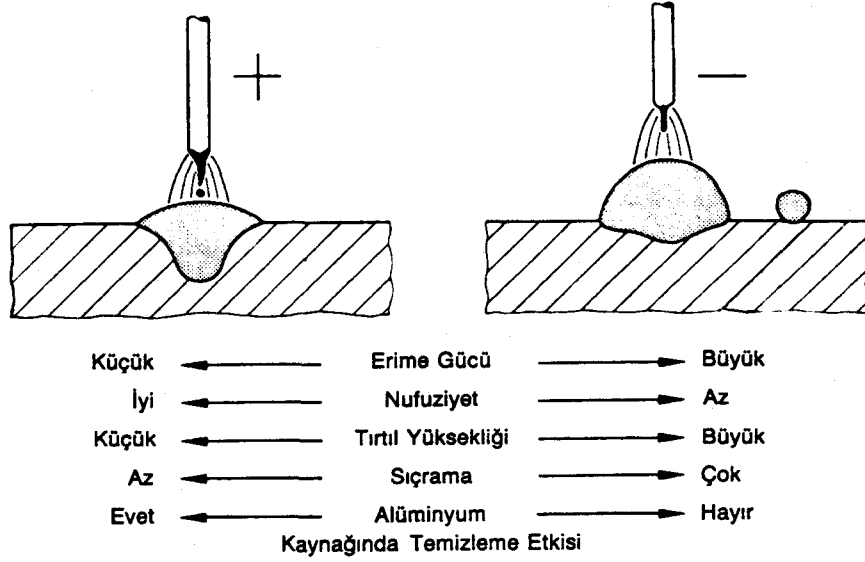
Kaynak esnasında herhangi bir nedenle ark boyu uzadığı zaman Şekil 5.10'da görüldüğü gibi akım şiddeti büyük miktarda azalmaktadır. Buna bağlı olarak da ergiyen tel miktarı azaldığından ark normal boyuna dönmektedir; diğer durumda ise, yani ark boyunun kısılması halinde ise akım şiddeti hızla artmaktadır; ergiyen tel miktarı da buna bağlı olarak artacağından sonuçta ark boyu da normale dönecektir.

MIG kaynak yönteminde güvenilir kaynak bağlantısı elde etmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin başında akım şiddeti ve gerilim gelmektedir. Sabiti gerilimli veya diğer bir deyişle yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde bu iki parametre birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilmektedir.



Şekil 5.10 ΔI ayarı ile ark boyunun kaynak süresince sabit kalması (Tülbençi, 1990)

Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağında doğru akım ve yatay karakteristikli kaynak akım üreteçleri kullanılmaktadır. Bilinen diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi doğru akım kullanılması halinde elektrod pozitif veya negatif kutba bağlanabilmektedir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında banyo üzerinde oluşan oksit tabakasının parçalanabilmesi için elektrodun mutlaka pozitif kutba (ters kutuplama) bağlanması gerekli olmaktadır. Diğer metal ve alaşımların özellikle çeliklerin kaynağında her iki kutuplama türü de kullanılabilirse de, çok daha derin bir nüfuziyet sağladığından uygulamada genellikle ters kutuplama tercih edilmektedir; doğru kutuplama çok nadir olarak, nüfuziyetin çok az olmasının gerekli olduğu hallerde kullanılmaktadır. Şekil 5.11’de kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine olan etkisi gösterilmektedir.



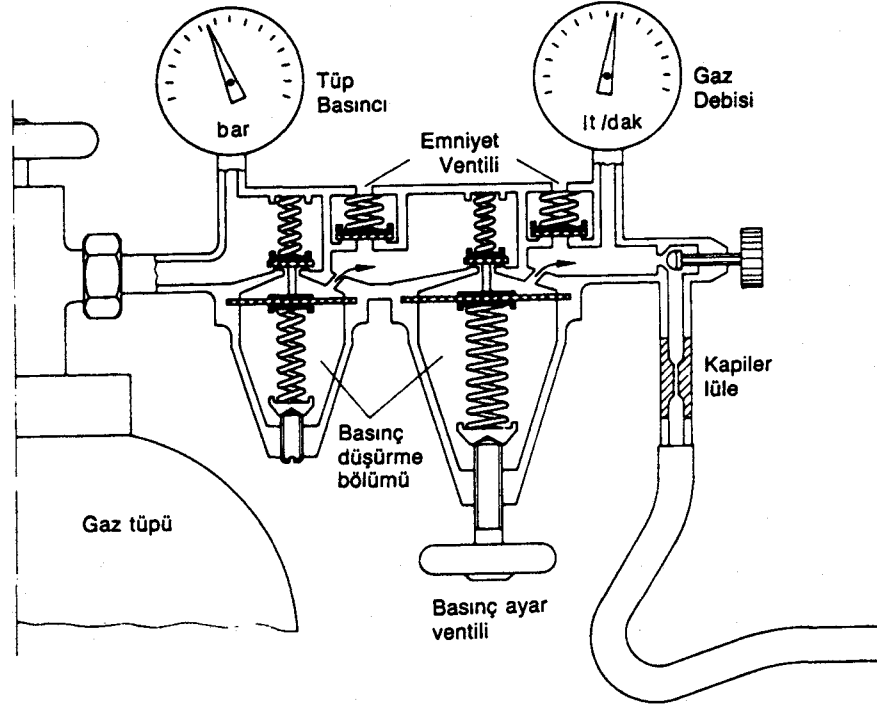
Şekil 5.11 Kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine etkisi (Tülbentçi, 1990)

İyi bir nüfuziyetin elde edilmesinin buna karşın parçaya kaynaktan olan ısı girdisinin sınırlı tutulmasının gerekli olduğu hallerde, darbeli doğru akım yöntemi uygulanmaktadır. Darbeli doğru akım ile alternatif akımı birbirine karıştırmamak lazımdır; darbeli doğru akım halinde, seçilen akım şiddeti önceden saptanmış iki değer arasında istenen bir frekansta değiştirilmektedir (Tülbentçi, 1990).

5.1.1.6 Koruyucu Gaz Tüpleri

Ülkemizde MIG-MAG kaynağı için gerekli koruyucu gaz, basınçlı tüplerden sağlanmaktadır. Asal gaz tüpü olarak, oksijen için üretilmişlerin benzeri 40 litre hacimli 150 Atü'lük tüpler kullanılmaktadır. Batı ülkelerinde ise 10, 20, 50 litre hacimli, 200 Atü ile doldurulan tüpler tercih edilmektedir. Bu şekilde tüplerde 2, 4 veya 10 m³ gaz depolanabilmektedir.

CO₂ tüpleri içinde gaz sıvı halde bulunmaktadır ve bu bakımdan gaz tüpleri içerdikleri sıvı gazın ağırlığına göre 10, 20 ve 30 kg'lık olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar. 1 kg sıvı CO₂ teknik olarak 540 litre koruyucu gaz oluşturmaktadır. Tüp ağızlarına gaz basınç ayar ventili diye isimlendirilen ve aynen oksijen tüpündeki tertibatı andıran bir düzenek takılmaktadır. Bunun üzerinde tüpe yakın olan manometre tüp basıncını, diğeri ise gaz debisini göstermektedir. Şekil 5.12'de basınç düşürme ventili görülmektedir.



Şekil 5.12 Basınç düşürme ventili (Tülbentçi, 1990)

Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılması halinde, tüp içinde gaz sıvıdan buharlaşırken ortamdan enerji çekmektedir ve dolayısıyla tüpte ortaya çıkan sıcaklık düşmesi sonucu kuru buz diye adlandırılan CO₂ karı oluşmaktadır ve bu da ventili tıkamaktadır. Sürekli olarak 12 lt/dak'dan daha fazla debilerde CO₂ kullanılması veya kaynak işleminin soğuk iklimlerde yapılması hallerinde tüp çıkışına bir ısıtıcı konulmaktadır (Tülbentçi, 1990).

5.1.2 MIG-MAG Kaynağındaki Koruyucu Gazlar

Gazaltı kaynak yöntemlerinin üç tür sarf malzemesi bulunmaktadır. Bunlar elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve kaynak metalidir. Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve koruyucu gazın türü, kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörler olmaktadır.

Bütün gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi koruyucu gazın MIG-MAG yönteminde ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekmektedir.

MIG-MAG kaynağında asal ve aktif gazlar ile bunların çeşitli oranlarda karışımları kullanılmaktadır. Genel olarak asal gazlar, reaksiyona girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve asal gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında

uygulama alanı bulmaktadır.

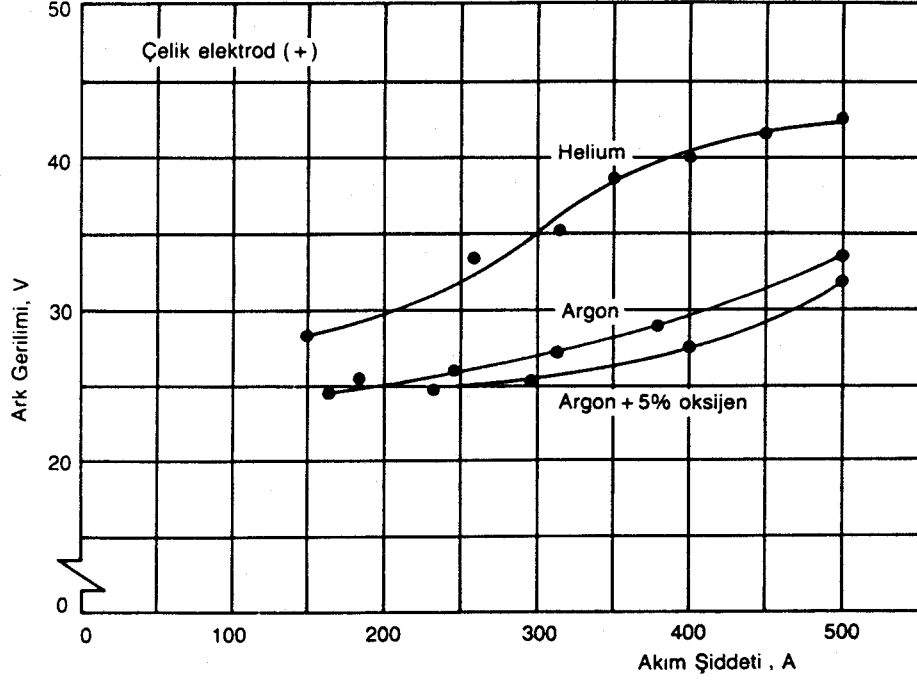
Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekli olmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilmektedir:

1. Kaynak edilen metal veya alaşımın türü
2. Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi
3. Kaynak hızı
4. Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi
5. Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti
6. Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler (Tülbentçi, 1990)

5.1.2.1 Asal Gazlar

Asal gazlar, yörüngelerindeki bütün yerlerin elektronlar ile dolu olması nedeniyle diğer elementlerin atomlarıyla elektron alışverişinde bulunamazlar; yani kimyasal bir reaksiyon oluşturamazlar. Koruyucu gaz kaynağı yöntemlerinde, asal gaz olarak helyum ve argon kullanılmaktadır. Argon gazı içinde oluşan arkın gerilim düşümü diğer koruyucu gazlara nazaran daha az olmaktadır; ayrıca argonun ısı iletme kabiliyetinin de zayıf olması nedeniyle ark sütunu daha geniş ve sıcaklığı da dış kısımlarda daha düşük olmaktadır. Sütunun merkezinde gerek metal buharları ve gerekse damla geçişi dolayısıyla sıcaklık daha yüksek olmaktadır. Bu bakımdan argonun koruyucu gaz olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nüfuziyet dikişin merkezinde derin, kenarlarda az olmaktadır. Şekil 5.13'de çeşitli asal gaz ve karışım gaz atmosferlerindeki ark gerilimleri gösterilmektedir.

Al ve Cu gibi metallerin kaynağı için uygun olan argon, çeliklerin kaynağı için, ancak başka gazlarla karıştırılarak kullanıldığında iyi sonuçlar vermektedir. Helyum'un havadan çok hafif olması gaz sarfiyatını çok arttırmaktadır. Örneğin yatay pozisyonda aynı şartlarda argonun yaptığı korumayı sağlamak için 3 misli helyuma ihtiyaç bulunmaktadır. Helyum atmosferi, ısıyı iyi iletmediğinden, bu gazın koruyucu gaz olarak kullanılması halinde derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Ark geriliminin düşümü de argona nazaran yüksek olduğundan, helyum atmosferinde oluşan kaynak arki daha yüksek enerjili olmaktadır. Bu bakımdan ısıyı iyi iletken metallerin kalın kesitlerinin kaynağında ekstra ön ısıtma gerekmemektedir (Tülbentçi, 1990).



Şekil 5.13 Çeşitli asal gaz ve karışım gaz atmosferlerinde oluşan ark gerilimi (Tülbentçi, 1990)

5.1.2.2 Karbondioksit (CO₂)

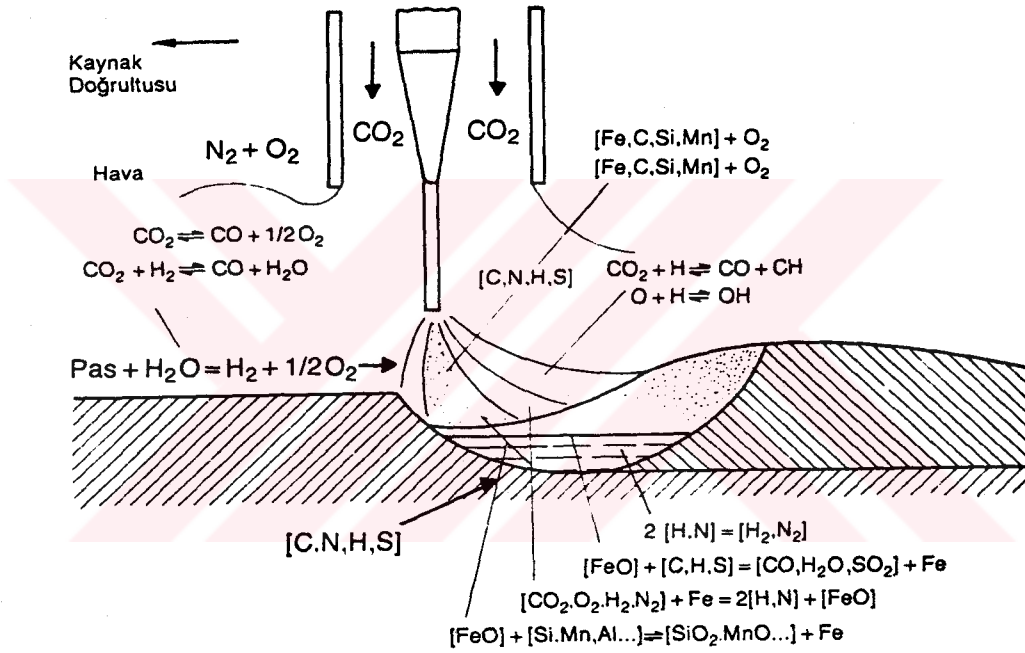
Karbondioksit renksiz, kokusuz ve özgül ağırlığı 1.997 kg/m^3 olan bir gazdır. Havadan takriben 1.5 misli daha ağır bir gazdır. Basıncılı tüplerde kullanılmaktadır. Karbondioksit tüpleri 15°C 'de takriben 65 atmosferde doldurulmaktadır. Bu şartlarda tüpün içerdiği gaz sıvı halde bulunmaktadır. Kullanım sırasında sıvı haldeki karbondioksit gaz haline geçmektedir.

Karbondioksit kaynak işletmelerine genellikle tüp içinde getirilmektedir. Tüp içindeki karbondioksitin büyük bir kısmı sıvı halde bulunmaktadır ve sıvının üst kısmında (tüpün 1/3'ü) ise buharlaşmış karbondioksit gaz halinde bulunmaktadır ve bu gazın basıncı düştükçe de sıvıdan buharlaşarak basıncı normale döndürmektedir.

Birçok aktif gazın kaynakta koruyucu gaz olarak kullanılmaya uygun olmamalarına karşın, karbondioksit sağladığı çok sayıda üstünlük dolayısıyla az alaşımli ve sade karbonlu çeliklerin gazaltı kaynağında çok geniş bir çapta uygulama alanı bulmuştur.

Karbondioksitin çeliklerin kaynağında sunduğu avantajlar, derin nüfuziyet, daha yüksek kaynak hızları ve düşük kaynak maliyeti olarak sıralanabilmektedir. Karbondioksit ile düşük akım şiddetleri ve ark gerilimlerinde kısa ark ile, yüksek akım değerlerinde ise uzun ark damlalı metal geçişi ile kaynak yapmak mümkün olabilmektedir.

Karbondiyoksit, argon gibi monoatomik elementer bir gaz olmadığından, arkın yüksek sıcaklığında karbonmonoksit ve oksijene ayrılmaktadır. Serbest kalan oksijen kaynak banyosundaki elementlerle birleşmektedir; ark sütunu içinde iyonize olan gaz kaynak banyosuna doğru gelmektedir ve bir miktarı tekrar karbondiyoksit haline geçmektedir ve dolayısıyla ayrışma esnasında almış olduğu ısıyı tekrar vermektedir ve bu da dikişte nüfuziyetin artmasına neden olmaktadır. Banyo içinde demiroksit ayrıca mangan ve silisyum tarafından redüklenmektedir. Mangan ve silisyum kaybı kaynak telinin bileşimi tarafından karşılanmaktadır. Bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG yöntemi için üretilmiş teller MAG yönteminde kullanılamamaktadır. Şekil 5.14'te CO₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar gösterilmiştir.



Şekil 5.14 CO₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar (Tülbentçi, 1990)

MAG kaynağında, kaynak işlemi esnasında bir miktar alaşım elementi oksidasyonla kaybolduğundan, dikişin üzerinde çok ince bir curuf tabakası oluşmaktadır ve bu da çok kolay bir şekilde uzaklaştırılabilmektedir (Tülbentçi, 1990).

5.1.2.3 Karışım Gazlar

Ark atmosferinin karakteri, kullanılan çeşitli gaz ve karışımlarına bağlı olarak değişmektedir. He ve Ar karışımları koruyucu gaz olarak yukarıda belirtilmiş olan özellikleri karışım oranına göre göstermektedirler. Argon gazına az miktarda oksijen, çeşitli oranlarda da CO₂ ilave edilerek karışım gazlar elde edilmektedir.

Argon, helyum gibi asal gazların oluşturdukları ark atmosferinin nötr bir karakter göstermesine karşın, argon gazına oksijen veya karbondioksit gibi aktif gazların karıştırılmasıyla ark atmosferine oksitleyici bir karakter kazandırılmaktadır. Hidrojen gazının karıştırılması halinde ise redükleyici bir gaz atmosferi oluşmaktadır.

Argon'a oksijen veya karbondioksit gazlarının karıştırılmasıyla oluşan ekzotermik bir reaksiyon sonucunda kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olmaktadır. Ayrıca, koruyucu gazın oksijen içermesi düşük akım yoğunluklarında da ince taneli ve kısa devresiz damla geçişinin (sprey ark) oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Oksijenin oksitleyici etkisi, oksijene karşı büyük afinitesi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum, zirkonyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarlarının artırılması ile dengelenmektedir.

Çeliğin MIG kaynağında argon gazına oksijen ve karbondioksit karıştırılmaktadır. Böylece oksijen, kolya ergiyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, ergiyen elektrod telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatmakta ve ince taneli bir metal geçişi sağlamaktadır. Çizelge 5.1'de MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar gösterilmektedir. Çizelge 5.2'de ise koruyucu gazın tür ve bileşiminin kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar (Tülbentçi, 1990)

Kaynak Usulü	Gazın Karakteri	Gazın İşareti DIN 32526	Gazın Bileşimi	Kullanma Yeri
MIG	Asal	I.1	Ar % 100	Çelik haricinde bütün metal ve alaşımları
	Asal	I.2	He % 100	Cu ve Al alaşımları
	Asal	I.3	He % 25-75 Ar kalanı	Cu ve Al alaşımları
karışım gazlar	Hafif Oksitleyici	M. 1.1	O ₂ % 1... 3 Ar kalanı	Paslanmaz Çelikler
		M. 1.2	CO ₂ % 2... 5 Ar kalanı	Paslanmaz Çelikler
		M. 1.3	CO ₂ % 6... 14 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
	Oksitleyici	M. 2.1	CO ₂ % 15... 25 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler (özlü elektrod ile)
		M. 2.2	CO ₂ % 5... 15 O ₂ % 1... 3 Ar kalanı	Alaşımlı ve az alaşımlı çelikler
		M. 3.1	CO ₂ % 26... 40 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
	Kuvvetli Oksitleyici	M. 3.2	CO ₂ % 5... 20 O ₂ % 4... 6 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M. 3.3	O ₂ % 9... 12 Ar kalanı	Alaşımsız çelikler
		MAG	C	CO ₂ % 100

Çizelge 5.2 Koruyucu gaz tür ve bileşiminin kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi
(Tülbentçi, 1990)

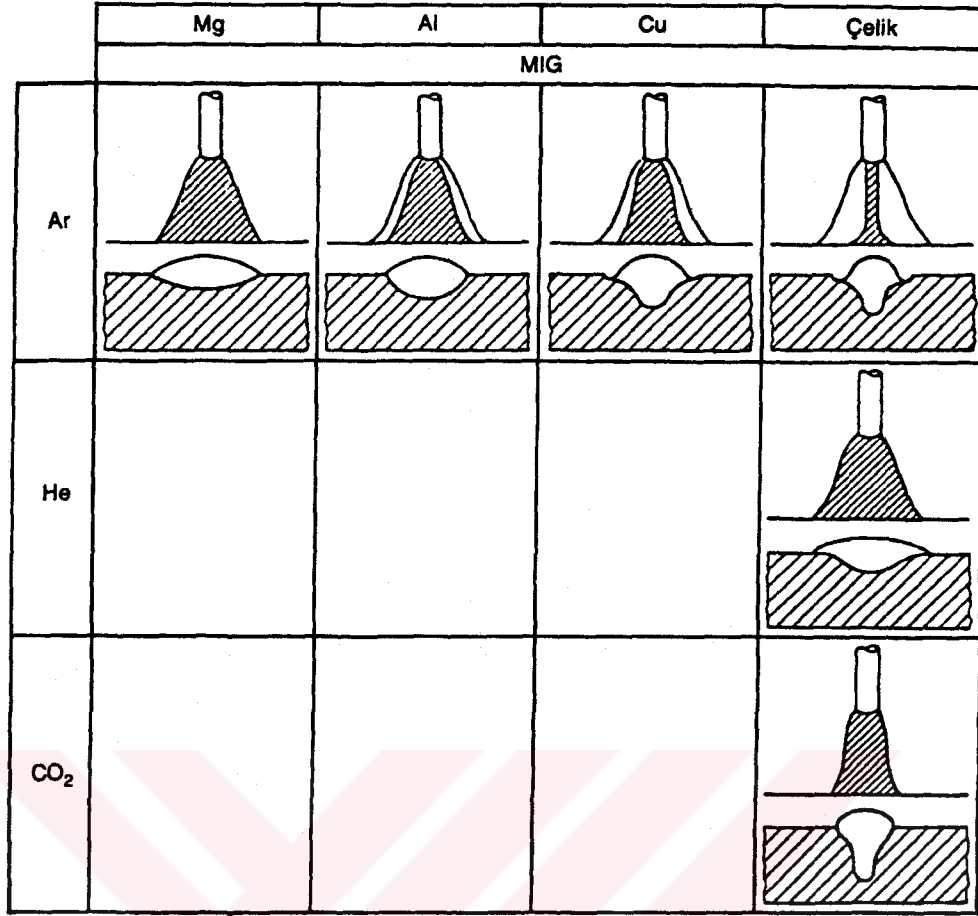
Koruyucu Gaz	Tel Türü	Çekme Mukavemeti		Akma Mukavemeti		Uzama (5d ₀)		Büzülme		Çentik Darbe ISO-V; ±0°C		Çentik Darbe ISO-V; -20°C	
		A N/mm ²	Ü N/mm ²	A N/mm ²	Ü N/mm ²	A %	Ü %	A %	Ü %	A J	Ü J	A J	Ü J
100% CO ₂	SG2	594	538	489	422	24,2	26,9	64	68	50	81	45	67
75% Ar, 25% CO ₂	SG2	641	586	501	455	23,3	27,7	67	67	80	46	63	53
83% Ar, 13% CO ₂ , 4% O ₂	SG2	626	606	525	481	24,5	28,7	66	62	131	54	82	51
82% Ar, 18% CO ₂	SG2	644	592	525	485	22,6	22,1	68	66	78	62	61	63
92% Ar, 8% O ₂	SG2	644	614	505	464	24,2	23,8	69	57	76	96	66	67
91% Ar, 5% CO ₂ , 4% O ₂	SG2	635	598	532	464	22,7	21,7	63	45	91	90	63	58
95% Ar, 5% O ₂	SG2	—	609	—	485	—	24,9	—	66	—	95	—	35
100% CO ₂	SG3	586	562	455	435	26,8	25,6	65	68	59	88	48	64
75% Ar, 25% CO ₂	SG3	641	578	532	475	26,6	28,5	59	71	121	117	123	109
83% Ar, 13% CO ₂ , 4% O ₂	SG3	630	599	545	493	23,1	24,7	72	68	129	127	106	93
82% Ar, 18% CO ₂	SG3	659	613	548	503	23,3	25,2	64	67	144	100	114	71
92% Ar, 8% O ₂	SG3	625	602	526	496	25,6	27,8	70	71	136	121	97	118
91% Ar, 5% CO ₂ , 4% O ₂	SG3	630	615	542	505	20,2	27,1	61	69	121	113	116	88
95% Ar, 5% O ₂	SG3	—	604	—	492	—	28,8	—	71	—	127	—	99
100% CO ₂	Cr-Mo	836	795	786	721	17,1	15,3	54	54	43	34	30	28
83% Ar, 13% CO ₂ , 4% O ₂	Cr-Mo	878	837	836	761	13,8	16,5	58	57	59	46	44	33
82% Ar, 18% CO ₂	Cr-Mo	—	790	—	702	—	17,2	—	49	—	53	—	33
92% Ar, 8% O ₂	Cr-Mo	—	828	—	767	—	15,3	—	42	—	52	—	41
95% Ar, 5% O ₂	Cr-Mo	—	830	—	762	—	16,1	—	52	—	62	—	42
100% CO ₂	IT	757	720	700	640	16,3	17,1	59	59	55	74	40	42
82% Ar, 18% CO ₂	IT	—	737	—	665	—	18,6	—	59	—	54	—	44
92% Ar, 8% O ₂	IT	—	776	—	705	—	17,1	—	57	—	52	—	43
95% Ar, 5% O ₂	IT	—	786	—	730	—	17,5	—	61	—	90	—	54

A) Alt akım sınırında çalışma

Ü) Üst akım sınırında çalışma

IT) İnce taneli yüksek mukavemetli yapı çeliği.

Koruyucu gazların farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, düzgün ve sakin yanışlı bir ark ile kaynak yapabilmek için, her gaza belirli bir ark gerilimi ve akım şiddeti uygulamak gerekmektedir. Örneğin, karbondioksit molekülünün ayrışması için yüksek akım yoğunluğuna gerek bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak iri taneli, sıçramalı bir damla geçişi meydana gelmektedir ve derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Şekil 5.15'te argon, helyum ve CO₂ atmosferinde oluşan ark ve dikişin formu verilmektedir (Tülbentçi, 1990).



Şekil 5.15 Argon, helyum ve CO₂ atmosferinde oluşan ark ve dikişin formu (Tülbenççi, 1990)

5.1.3 MIG-MAG Kaynak Elektrodları

MIG-MG yönteminde kullanılan tüm elektrodlar tel halinde bulunmaktadır ve bir kangala sarılmış olarak makineye takılmaktadır. Kangal büyüklükleri ve tel çapları standartlarla belirlenmiştir.

Son yıllarda, kaynak metalinin özelliklerini geliştirebilmek için çeliklerin kaynağında kullanılmak üzere özlü elektrod diye isimlendirilen bir tür geliştirilmiştir. Bunlar yumuşak çelikten ince bir şeritin, ferroaliyaj ve dekapanlar ile beraberce kıvrılıp tel haline getirilmesi ile üretilmişlerdir. Bu şekilde tel haline getirilmesi güç veya imkansız olan alaşımlar dahi kolaylıkla elektrod haline getirilebilmekte ve daha geniş bir spektrumda elektrod üretimi mümkün olabilmektedir (Tülbenççi, 1990).

5.1.3.1 MIG-MAG Kaynak Yönteminde Elektrod Seçimi

Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynak yönteminde en önemli problemlerden bir tanesi de tel

elektrod seçimi olmaktadır. Bu kaynak yönteminde tel ve koruyucu gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır. Bu bakımdan elektrod seçiminde bazı hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Elektrod seçimini etkileyen en önemli faktör esas metalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimi olmaktadır. Elektrod seçimi aşağıda belirtilmiş olan kriterler göz önünde bulundurulmaktadır.

a) Esas metalin mekanik özellikleri

Bu kritere göre elektrod seçimi, genellikle çekme ve akma mukavemeti göz önüne alınarak yapılmaktadır. Bazı hallerde özellikle ferritik çelikler halinde malzemenin kırılma tokluğunun da (çentik darbe mukavemeti) göz önüne alınması gerekli olmaktadır.

b) Esas metalin kimyasal bileşimi

Esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi, özellikle renk uyumunun, korozyon direncinin, sürünme dayanımının, elektriksel ve ısı iletkenliğin söz konusu olduğu hallerde gerekli olmaktadır. Bunun yanısıra çelikler halinde, ısının tesiri altında kalan bölgede, sertleşme oluşup oluşmayacağına önceden belirlenmesi bakımından da esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi gerekli olmaktadır. Genel olarak sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler halinde elektrod seçiminde, esas metalin kimyasal bileşimi de en önemli faktör olmaktadır.

c) Koruyucu gazın türü

Koruyucu gaz olarak asal gaz veya karışımlarının kullanılması halinde bir yanma kaybı söz konusu olmamaktadır. Buna karşın aktif bir gaz, örneğin karbondioksit veya asal gaz+aktif gaz karışımı kullanılması halinde bir takım yanma kayıpları ile karşılaşmaktadır.

Daha önceden belirtilmiş olduğu gibi aktif gaz kullanılarak çeliklerin kaynak edilmesi halinde az bir miktar demir oksijen tarafından oksitlenmektedir ve ortaya çıkan demiroksit de bileşimdeki mangan ve silisyum tarafından redüklenmektedir. Buradaki silisyum ve mangan kaybı elektrod tarafından karşılanmak zorundadır. Bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG yöntemi için geliştirilmiş bir elektrod MAG yönteminde kullanılamamaktadır.

d) Esas metalin kalınlığı ve geometrisi

Kaynakla birleştirilecek olan parçaların, kalın kesitli veya karışık şekilli olmaları halinde, öatlamanın önlenmesi için kaynak metalinin sünek olması gerekli olmaktadır. Bu

durumlarda en iyi sünekliği sağlayan kaynak metalini oluşturacak türde bir elektrod seçilmelidir.

Kaynaklı yapının aşını düşük veya yüksek sıcaklıklarda, korozif ortamlarda çalışmasının gerekli olduğu hallerde, kaynak metalinin her bakımdan esas metalin özelliklerini yansıtması gerekmektedir. Ayrıca şartnamelerde kaynak metalinin bazı özelliklere de sahip olması istenebilmektedir ve bu durum da elektrod seçiminde çok önemli bir rol oynamaktadır.

Günümüz endüstrisinde, elektrod seçimini kolaylaştırmak amacıyla çeşitli standartlar hazırlanmış ve özellikler sınıflandırılmıştır. Gereksinimleri karşılayacak ve esas metal ile en iyi uyumu sağlayarak en iyi sonuçları verecek türde çok çeşitli tel ve zlu tel elektrodlar üretilmektedir (Tülbentçi, 1990).

5.1.3.2 Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Elektrodlar

Çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodlar şu şekilde gruplanabilmektedir:

a) Alaşımsız teller

Bu tür teller yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır. Bunların bileşimlerini alaşımsız çeliklerden ayırdeden sadece mangan ve silisyum içeriklerinin bir miktar daha fazla olmasıdır. Çizelge 4.3'de DIN 8559 ve TS 5618'e göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodların kimyasal bileşimi gösterilmektedir (Tülbentçi, 1990).

Çizelge 5.3 DIN 8559 ve TS 5618'e göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodların kimyasal bileşimi (Anık ve Vural, 1998)

Simge	Malzeme No.	Kimyasal Bileşim %						Müsaade edilen Safsızlık
		C	Si	Mn	P \leq	S \leq	Cu \leq	
SG 1	1.5112	0,07 - 0,12	0,5 - 0,7	1,0 - 1,3	0,025	0,025	0,30	Cr 0,15 V 0,05
SG 2	1.5125	0,07 - 0,14	0,7 - 1,0	1,3 - 1,6	0,025	0,025	0,30	Zr + Ti 0,15 Al 0,02
SG 3	1.5130	0,07 - 0,14	0,8 - 1,20	1,6 - 1,9	0,025	0,30	0,30	Ni 0,15 Mo 0,15

b) Alaşımlı teller

Bu teller özel bileşimde olup, alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır.

c) Özlü teller

Bu tür elektrodlar, alaşımsız ince bir sac şeridin boru haline getirilmesi veya bir lüleden geçirilerek tel şeklinde çekilmesi sonucu elde edilmişlerdir. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında bir dekapan ve ferroalaşım tozları bulunmaktadır. Kaynak dikişinin dezoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından gerçekleştirilmektedir.

Dezoksidasyon, kaynak banyosundan bir elementin oksijenle birleşerek oksit oluşturup curufa geçmesine denmektedir. Oksijen dikişte gözenek oluşumuna neden olduğundan, bu işlemin kaynak esnasında gerçekleşmesi çok önemli olmaktadır. Çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodla ilave edilen alaşım elementleri ve bunların etkilerinden aşağıda bahsedilmiştir.

Silisyum

Çeliklerin ergiyen elektrodla gazaltı kaynağında silisyum elektrod metalinde yaygın bir şekilde kullanılan bir dezoksidasyon elementidir. Genelde çelik gazaltı telleri %0.40 ila 1.2 arasında değişen bir oranda silisyum içermektedirler ve bu bileşim aralığında, silisyum çok iyi bir dezoksidasyon özelliğine sahip olmaktadır. Silisyum içeriğinin yükselmesi sonucu kaynak metalinin sünekliğinin az bir miktar azalmasına karşın mukavemeti oldukça fazla artmaktadır. Bir sınır değer üzerinde silisyum miktarının artması ise kaynak dikişinin çatlama hassasiyetini arttırmaktadır.

Mangan

Mangan da silisyum gibi, kaynak metalinin mukavemet özelliklerinin geliştirilmesi ve kaynak banyosunun dezoksidasyonu için ilave edilmektedir. Mangan içeriğinin artması kaynak dikişinin mukavemetini silisyumdan daha şiddetli olarak yükseltmektedir ve aynı zamanda kaynak metalinin çatlama hassasiyetini de azaltmaktadır. Çeliklerin kaynağında kullanılan kaynak tellerinin manganez içeriği %1 ila 2 arasında değişmektedir.

Alüminyum, Titanyum, Zirkonyum

Bu elementlerin hepsi de çok kuvvetli dezoksidandırılar. Kaynak teline %0.20'ye kadar ilave edildiklerinde aynı zamanda mukavemeti arttırıcı yönde de etki etmektedirler.

Karbon

Karbon, çeliklerin yapısal ve mekanik özelliklerini diğer bütün alaşım elementlerinden çok daha şiddetli etkilemektedir. Bu bakımdan çelik kaynak tellerinde miktarı %0.05 ila 0.12 arasında değişmektedir. Bu miktar, kaynak metalinin mukavemetini gerektiği kadar

yükselttiği gibi süneklil ve tokluğuna da olumsuz yönde hissedilebilir bir etki yapmamaktadır.

Esas metal veya telde karbon miktarının artması, koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılması halinde porozite oluşumuna neden olmaktadır. Karbon miktarı artınca, banyoda CO oluşarak karbon kaybı ortaya çıkmakta ve bu da gözenek oluşumuna neden olmaktadır. Bu olay dezoksidasyon elementlerinin ilavesi ile önlenmektedir.

Diğer alaşım elementleri

Nikel, krom ve molibden mekanik özellikleri geliştirmek ve korozyon dayanımını arttırmak amacıyla çeşitli çelik kaynak tellerine katılan alaşım elementleridir. Bu elementler az miktarda kaynak metalinin mukavemet ve tokluğunu arttırmak amacıyla paslanmaz çelikler halinde ise oldukça yüksek miktarlarla paslanmayı önlemek için katılmaktadırlar. Genel olarak kaynak işleminde koruyucu gaz olarak bir asal gaz veya içinde az miktarda CO₂ içeren asal gaz kullanıldığında, kaynak dikişinin kimyasal bileşimi, telin bileşiminden farklılık göstermemektedir. Buna karşın saf CO₂ kullanılması halinde Si ve Mn ve diğer dezoksidasyon elementlerinin miktarlarında bir azalma görülmektedir. Çok düşük miktarlarda (%0.04-0.05) karbon içeren teller ile yapılan kaynak dikişlerinde ise karbon miktarında bir artma görülmektedir (Tülbentçi, 1990).

5.1.4 Ark Türleri ve Arkta Metal Taşınımı

MIG-MAG kaynağında gerekli ısı enerjisi, iş parçası ve ergiyen tel elektrod arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır. Ark basitçe, iş parçası ve tel elektrod arasında kızgın gaz ve metal buharları tarafından elektriğin iletimi olarak tanımlanabilmektedir.

Katoddan (eksi kutup) elektrodlar büyük bir hızda anoda (artı kutup) doğru gitmektedirler ve bunların bu hızlı hareketlerinin enerjisi de ısıya dönüşmektedir. Hızla hareket eden elektronların çarptıkları bölge de aşırı ısınmaktadır; malzeme ergimekte ve kısmen buharlaşmaktadır. Elektronlar bu hızlı hareketleri esnasında atomların dış kabuklarına çarpılmaktadırlar ve oradan da elektronların ayrılmasına neden olmaktadır. Elektron kaybeden atom ise artık nötr değildir; iyon haline gelmiştir ve pozitif yüklü olmuştur. Bu yükünden ötürü de hızla katoda doğru gitmekte ve oranın ısınmasına neden olmaktadır. Bu şekilde ergime ve buharlaşma sürekli devam etmektedir.

Elektrik ve iyonların elektrik alanı içinde hareketleri bir ark sütunu oluşturmaktadır ve buna plazma adı verilmektedir. Burada görülen iyonların çok azı kullanılan koruyucu gaza ait

olmaktadır; bunlar metal atomlarından oluşmuşlardır. Koruyucu gaz atomlarının bu iyonlaşma olayına katılmamalarına rağmen, koruyucu gaz tür ve bileşimi dikişin biçimine ve ark içinde kaynak metali taşınımına etki etmektedir.

Koruyucu gaz tür ve bileşimi büyük çapta akım ileten ark sütununun kesitini ve dolayısıyla da elektrodda ergime sonucu damlacıkları oluşturan kuvvetin şiddet ve doğrultusunu etkilemektedir.

Akımı ileten ark sütununun kesiti koruyucu gazın ısı iletme özelliğine bağlı olmaktadır. Isıyı iyi ileten koruyucu gaz halinde ark çekirdeği daralmakta, akım yoğunluğu artmakta ve sıcaklık yükselmektedir.

Karbondiyoksit ve helyum ısıyı iyi iletiklerinden, bu gazların kullanılması halinde akım ileten ark çekirdeği argon veya argonca zengin gazlar haline göre daha ince oluşmaktadır.

Ark çekirdeğinde bu incelmeye, arkın elektrik direncinin artmasına neden olmaktadır ki bu da ark gerilimini yükseltmektedir. Örneğin CO₂ halinde ark gerilimi, aynı ergime gücünde, argon veya argonca zengin gazların kullanılması haline göre 3V daha yüksek olmaktadır.

Karbondiyoksit koruyucu gaz olarak kullanıldığında, ark sıcaklığında moleküllerden bazıları (CO₂ → CO + ½ O₂) ayrışmaktadır ve genişleme yönünde bir kuvvet ortaya çıkmaktadır.

Arkta sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde (ark zarfında) ayrışmış olan CO₂ moleküllerinin büyük bir kısmı tekrar birleşmektedir ve bu esnada ayrışma esnasında absorbe ettiği ısıyı geri vermektedir ve bu da kaynakta ergimeye yardımcı olmaktadır.

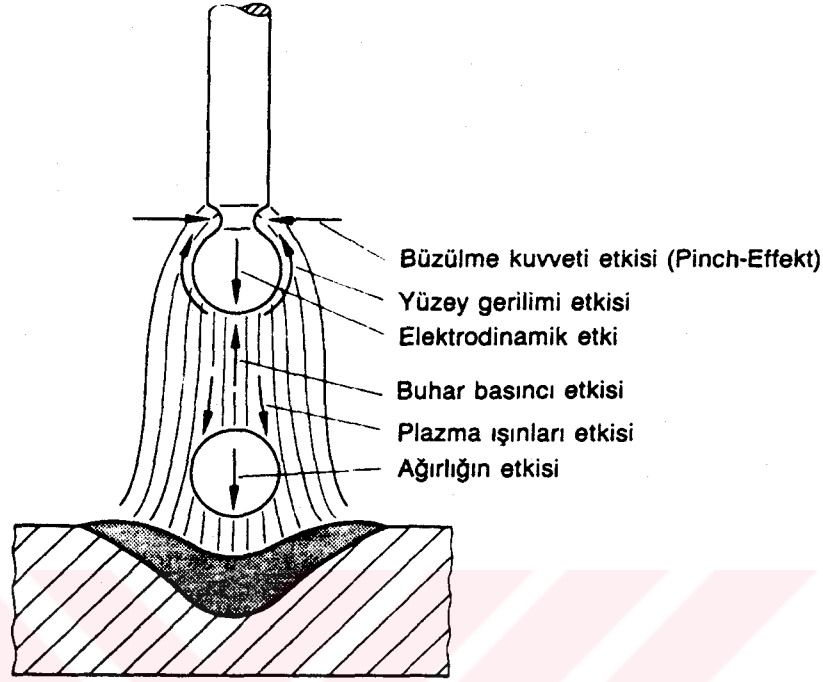
CO₂ içinde oluşan arkın çekirdeği çok ince olmasına rağmen yukarıda bahsedilen bu olay nedeniyle geniş ve nüfuziyeti oldukça iyi bir kaynak dikişi elde edilmektedir.

Ayrışma sonucu ortaya çıkan oksijenin az bir kısmı çelikteki alaşım elementleri ile birleşerek yüzeyde çok ince bir cüruf oluşturmaktadır.

Ark bir tür elektrik iletkeni olduğundan etrafında bir magnetik alan oluşmaktadır. Akı yoğunluğu yükseldikçe radyal büzülme kuvvetini oluşturan magnetik alanın şiddeti artmaktadır ve bu olaya "Pinç Etkisi (Pinch Effekt)" denmektedir. Arkın bu kısımlarında bilhassa elektrod ucunda akım yoğunluğu fazla olduğundan büzülme kuvveti de en şiddetli olarak bu kısımda oluşmaktadır ve damla oluşumu kolaylaşmaktadır.

Radyal büzülme kuvvetinin büyük olduğu kısımdan bu kuvvetin daha zayıf olduğu kısma

doğru bir aksenal kuvvet oluşmaktadır ve bu da oluşmuş damlanın elektrod ucundan ayrılmasına ve kaynak ağzına taşınmasına yardımcı olmaktadır. Şekil 5.16'da elektrod ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler gösterilmektedir (Tülbentçi, 1990).



Şekil 5.16 Elektrodun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri (Tülbentçi, 1990)

Argonun koruyucu gaz olarak kullanılması halinde oldukça geniş bir ark sütunu ortaya çıkmaktadır; ark sütunu elektrod ucunda kapanarak daralmaktadır. Ark sıcaklığında elektrod ucunun, Pinç Etkisi ve sıvı metalin yüzey gerilimi ters yönde etkimektedir; damla irileşerek elektroddan ayrılmakta ve ark tarafından iş parçasına taşınmaktadır.

Belirli bir akım şiddeti ve ark geriliminin üzerindeki uygulamalarda Pinç Etkisi çok şiddetlenmektedir. Elektrodun ucu sivrileşip uzamakta, damlacıklar oluşur oluşmaz elektroddan ayrılarak iş parçasına geçmektedir. Saniyede yüzlerce damlacığın oluşup iş parçasına ark tarafından taşındığı bu hale sprej taşınım veya sprej ark denmektedir.

Arkta sprej taşınım olayı yalnız argon ve argonca zengin karışım gaz kullanıldığı ve belirli bir kritik akım şiddeti ve ark gerilimi değerlerinin üzerinde çalışıldığı zaman ortaya çıkmaktadır.

Argonun koruyucu gaz olarak kullanılması halinde CO₂'ye göre daha geniş bir dikiş, daha az bir nüfuziyet elde edilmektedir. Dikişin kesiti incelendiğinde ergime bölgesinin orta kısmında

iş parçasına doğru parmak şeklinde bir nüfuziyet görülmektedir. Bu olaya, elektrodan hızla iş parçasına ark tarafından taşınan ergimiş metal damlacıkları neden olmaktadır.

Kaynak işlemi esnasında metal damlacıklarının geçiş özelliğine göre çalışma karakteristiği seçimi ile 14 ila 24 V arasında kısa ark, 23 ila 34 V arasında ise uzun ark ve sprej ark elde edilmektedir. 18 ila 28V arasında ise uzun ve kısa ark arası bir damla geçişi elde edilmektedir. Damla geçişine bağlı olarak akım yoğunluğu kısa ark halinde 125 A/mm^2 'den küçük, uzun ve sprej ark halinde ise bu değerden büyük olmalıdır (Tülbentçi, 1990).

5.1.4.1 Kısa Ark

Kısa ark yöntemi ince elektrodlarla (0.6 ila 1.2 mm) kısa ark boyu yani düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti ile kaynak yapıldığında karşılaşılan bir ark türü olmaktadır. Burada ark oluşunca elektrodun uç kısmı hemen ergimeye başlamaktadır ve burada bir damlacık oluşmaktadır. Damlacık banyoya doğru akarken elektrod ve iş parçası arasında kısa devre oluşmakta, gerilim düşmektedir. Akım şiddeti yükselmekte ve damla elektrodan kopmaktadır. Sonuçta kısa devre ortadan kalkmakta ve aynı olay tekrarlanmaktadır. Uygulanan akım şiddeti, ark gerilimi koruyucu gaz türü ve elektrod metaline bağlı olarak bu işlem saniyede 20 ila 200 kere tekrarlanmaktadır.

Burada kaynak metali iş parçasına sadece kısa devre anında geçmekte ve ark tarafından taşınmamaktadır. Kısa ark boyu halinde düşük ark gerilimi, düşük akım şiddet ile çalışılması ve metal transferinin kısa devre esnasında gerçekleşmesi sonucu iş parçasına uygulanan ve çarpılma tehlikesinin büyük olduğu haller için çok uygun bir ark türü olmaktadır. Ayrıca bu tür ark ile yapılan kaynakta kaynak banyosunun çok büyük olmaması ve hemen katılaşması nedeniyle, dik ve tavan kaynakları ve geniş kök aralıklarının elde edilmesinde de uygun bir yöntem olmaktadır (Tülbentçi, 1990).

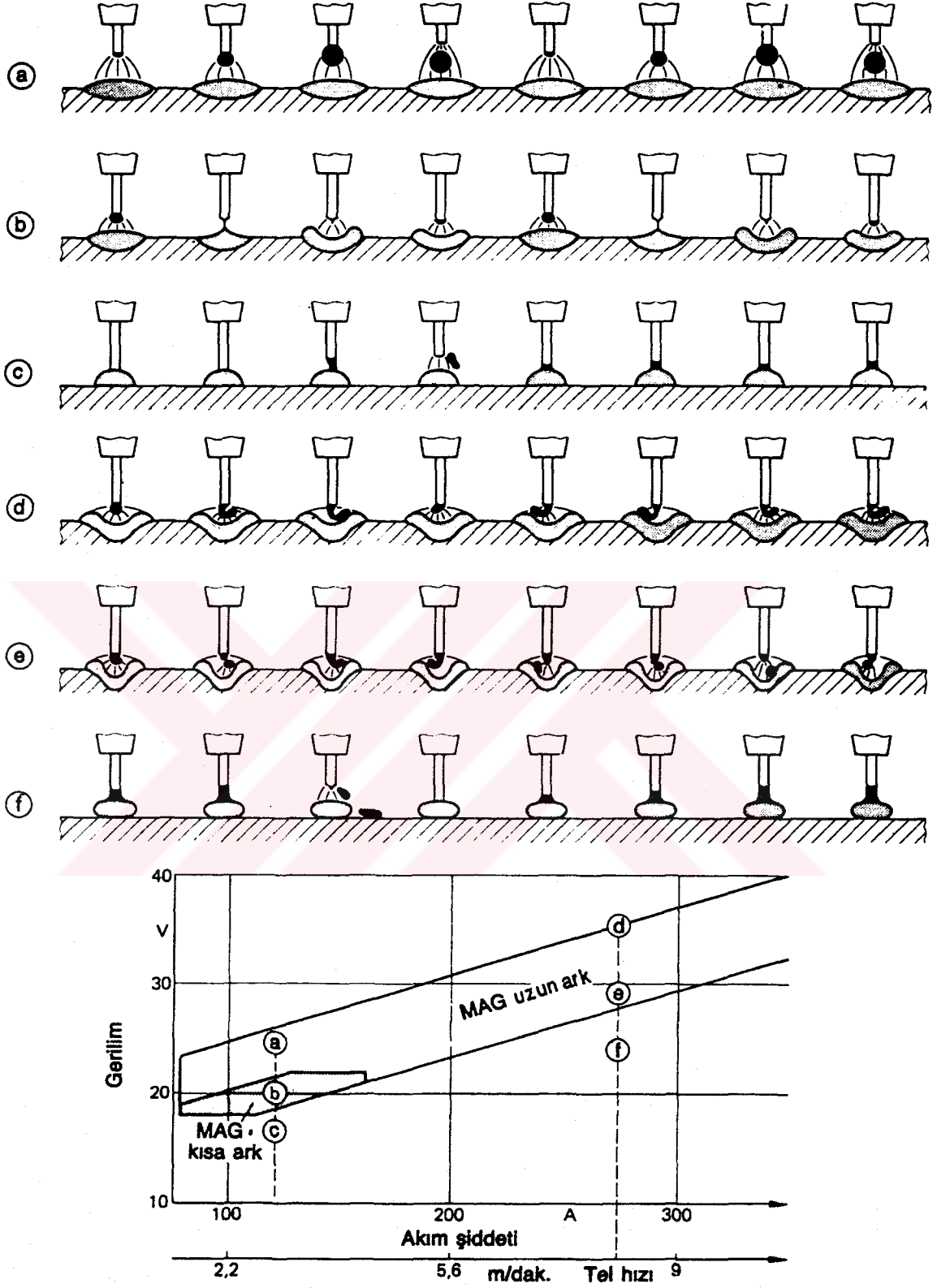
5.1.4.2 Uzun Ark (Globüler Metal Taşınımı)

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre ile kaynak metali taşınımı yerine globüler (damlasal) metal taşınımı hali oluşmaktadır. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrodun uç kısmında ergime başlamakta ve bir damlacık oluşmaktadır. Daha sonra damlacık irileşmekte ve elektrod çapını aştıktan sonra elektrodan kopmaktadır ve yerçekimi yardımıyla ark sütunu boyunca ilerlemekte ve banyoya düşmektedir.

Ark geriliminin yüksek olması nedeniyle burada ark boyu uzun olmaktadır ve dolayısıyla normal halde damla banyoya dahil olurken kısa devre oluşma ihtimali düşük olmaktadır.

Bu tür ark hemen hemen bütün kullanılan koruyucu gazlar ile ortaya çıkmaktadır; yalnız CO₂ haricindeki gazlarda bu ark ancak çalışma bölgesinin alt kısımlarındaki değerlerde görülmektedir. Buna karşın CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde hemen hemen her çalışma bölgesinde damlasal metal taşınımı görülmektedir. Damlaların iri olması ve metalin kaynak banyosuna yerçekimi ile taşınmasından dolayı bu yöntemde tavan kaynağı yapmak zorlaşmaktadır. Damlasal metal taşınımı halinde ark stabil olmamaktadır ve sıçrama miktarı fazla olmaktadır. Şekil 5.17'de CO₂ atmosferi altında kısa ve uzun arkla kaynak metali taşınımı görülmektedir (Tülbentçi, 1990).





Şekil 5.17 CO₂ atmosferi altında kısa ark ve uzun arkla çalışma bölgelerinde arkta kaynak metali taşınımı (Tülbentçi, 1990)

5.1.4.3 Sprey Ark

Kaynak metalinin iş parçasına duşlama şeklinde geçişi, sprej ark halinde görölmektedir. Kaynak metalinin iş parçasına bu şekilde taşınımı elektrod ucunun sivrileşmesi sonucu bu sivrilmiş uçların koparak iş parçasına çok küçük damlalar halinde geçişi ile gerçekleşmektedir. Damlacıklar tel çapından çok küçük olmakta ve telden uzun ark haline göre çok daha hızlı şekilde ayrılmaktadırlar. Damlası saniyede birkaç yüze kadar çıkabilmektedir.

Sprej ark genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gaz ile yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi kullanıldığından ortaya çıkmaktadır.

Sprej ark, yüksek akım şiddetlerinde oluştuğundan özellikle kalın parçaların kaynağı için çok uygun bulunmakta ve bu yöntemde sıçrama çok az olmaktadır. Bu bakımdan yatay ve oluk pozisyonlarda dolgu ve kapak pasolarının çekilmesi için çok uygun olmaktadır. Kök pasolar için ancak altlık kullanmak koşuluyla uygulanabilmektedir. Bu ark türünde yüksek güçlerde çalışıldığından torcun çok iyi şekilde soğutulması gerekli olmaktadır (Tülbentçi, 1990).

5.1.4.4 Darbeli Ark

Bu yöntemin uygulanabilmesi için bu tür kaynak akımını üreten özel bir kaynak akım üreticisine gerek olmaktadır. Burada sözü edilen darbeli doğru akım ile alternatif akımı birbirinden iyi ayırd etmek gerekmektedir. Darbeli doğru akımda akım şiddeti, saptanmış iki değer arasında seçilmiş olan frekansta değişmektedir. Bu yöntemle arzu edilen her çalışma bölgesinde kısa devre oluşturmadan iş parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak çalışmak mümkün olabilmektedir ve ayrıca frekansı ayarlayarak istenen sayıda ve irilikte ergimiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanabilmektedir.

Bu yöntemin tek dezavantajı, kaynak akım üreticinin ve tel iletme tertibatının pahalı ve donanım bakımından da külfetli olmasıdır.

Bu yöntemde akım şiddeti ayarı yapılırken temel akım şiddeti darbeler arasında arkın sönmeyeceği bir değerde seçilmelidir. Gerekli temel akım şiddetinin değeri, büyük çapta darbe frekansının etkisi altında bulunmaktadır. Frekans yükseldikçe akım şiddeti azaltılabilmektedir.

Akım şiddetinin yükselmesi parçaya olan ısı girdisinin artmasına neden olmaktadır ve daha çok yükselmesi halindeyse darbeler arasındaki sürede de ergime olabileceğinden damla oluşum düzeni yok olmaktadır. Bu bakımdan kalın ve ısıyı iyi ileten metaller mümkün olduğu

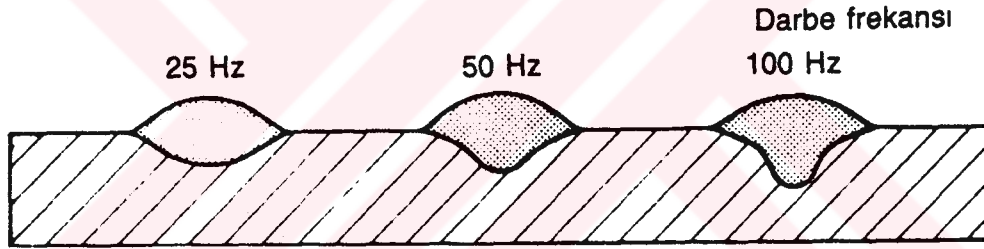
kadar kalın elektrod kullanılarak kaynak edilmelidir.

Darbe akımı, elektrod ucunda temel akım tarafından oluşturulmuş damlaya, kuvvetli bir büzülme kuvveti (pinç etkisi) uygulamaktadır ve damla kısa devre oluşturmadan ark tarafından kaynak banyosuna taşınmaktadır. Bu şekilde kısa devresiz damla taşınımı ancak darbe akımı belli bir değere eriştiğinde mümkün olmaktadır ve bu değer elektrod malzemesi ile koruyucu gazın türüne ve tel çapına bağlı olarak değişmektedir.

Çok yüksek şiddetli darbe akımı, damlanın çok fazla ivmelenmesine neden olmaktadır ve bu da sıçramayı arttırmaktadır. Banyoya hızla çarpan damla yarıcı bir etki yapmaktadır.

Bu ark türünün çeliklere uygulanmasında koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılmamaktadır çünkü darbe fazında ark kuvvetleri damla oluşumuna ters yönde etki yapmaktadırlar.

Darbe frekansının yükselmesi, damla sayısını, etkin akım şiddetini, parçaya olan ısı girdisini arttırmaktadır ve bu da dikiş biçimini etkilemektedir. Şekil 5.18'de darbe frekansının dikiş profili üzerindeki etkileri görülmektedir (Tülbentçi, 1990).



Örneğin sprej ark hali uygun elektrod ve gaz kombinasyonu ile iyi soğutulmuş torç kullanarak orta akım şiddetlerinde elde edilebilmektedir. Darbeli ark ise ancak bu iş için tasarlanmış akım üreteçlerine sahip olduğu zaman uygulanabilmektedir.

MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türlerinin uygulama alanları Çizelge 5.4'de topluca özetlenmiştir (Tülbentçi, 1990).

Çizelge 5.4 MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları (Tülbentçi, 1990)

	SPREY ARK	UZUN ARK	KISA ARK	DARBELİ ARK
MIG	Alüminyum Bakır	Alüminyum -	Alüminyum S ≤1,5 mm.	Alüminyum Bakır
MAGM	Alaşsız, az ala- şimli ve yüksek alaşimli çelikler	Alaşsız ve az alaşimli çelikler	Alaşsız, az ala- şimli ve yüksek alaşimli çelikler	Az alaşimli ve yüksek alaşimli çelikler
MAG	-	Alaşsız ve az alaşimli çelikler	Alaşsız ve ala- şimli çelikler	-
	Yatay ve oluk po- zisyonda kalın ve orta kalın parçala- rın iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pa- solarında. Oluk pozisyonda kök ve dolgu pa- solarında.	Yatay, oluk ve yu- kardan aşağıya dik pozisyonlarda kalın ve orta kalın parçaların alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonda ince parçaların iç köşe ve alın bir- leştirmelerinde. Her pozisyonda kalın parçaların alın birleştirmele- rinin kök pasola- rında. Tavan, içköşe ta- van, yukardan a- şağı ve aşağıdan yukarı dik, korniş pozisyonlarında içköşe ve alın bir- leştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonda orta ve kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasola- rında. Kök paso için özel haller- de. Az ısı girdisinin uygulan- masının gerekli olduğu hallerde.

5.1.5 Kaynak Parametrelerinin Seçimi

Kaynak parametreleri kaynak işlemini ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen en önemli unsurlardır. Kaynak parametreleri, kaynaklanan metal veya alaşım ile kaynak metalinin türü ve kaynak ağız geometrisi göz önünde bulundurularak saptanmaktadır. Bu parametrelerin seçimi kaynakçının çalışma koşullarını kolaylaştırdığı gibi gereken özellikte kaynaklı bağlantı elde edebilme olasılığını da arttırmaktadır.

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi saptanan ve kaynak süresince değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler, birinci derecede ayarlanabilir ve ikinci derece ayarlanabilir parametreler olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilmektedir.

Birinci gruba giren parametreler kaynağın uygulanmasından önce saptanan, kaynak koruyucu gaz türü, elektrod türü ve çapı gibi etmenlerdir. Bunların kaynak işlemi sırasında değiştirilmesine imkan olmamaktadır. Bu parametreler, kaynak edilen malzemenin türü, kalınlığı, kaynak pozisyonu, ergime gücü ve bağlantıdan beklenen mekanik özellikler göz önüne alınarak saptanmaktadır.

Birinci derecede ayarlanabilir diye adlandırılan, ikinci gruba giren parametreler, ilk gruba giren parametreler seçildikten sonra, kaynak dikişini kontrol altında tutan, dikişin biçimini, boyutlarını, ark stabilitesini ve kaynaklı bağlantının emniyetini etkileyen değişkenlerdir. MIG-MAG kaynağında bu parametreler akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı olmaktadır.

Bu parametreler kolaylıkla ölçülebildiği gibi, kaynak esnasında da gereken hallerde yeniden ayarlanabilen ve tüm dikişi en sıkı ve etkin bir biçimde kontrol altında tutan etmenlerdir.

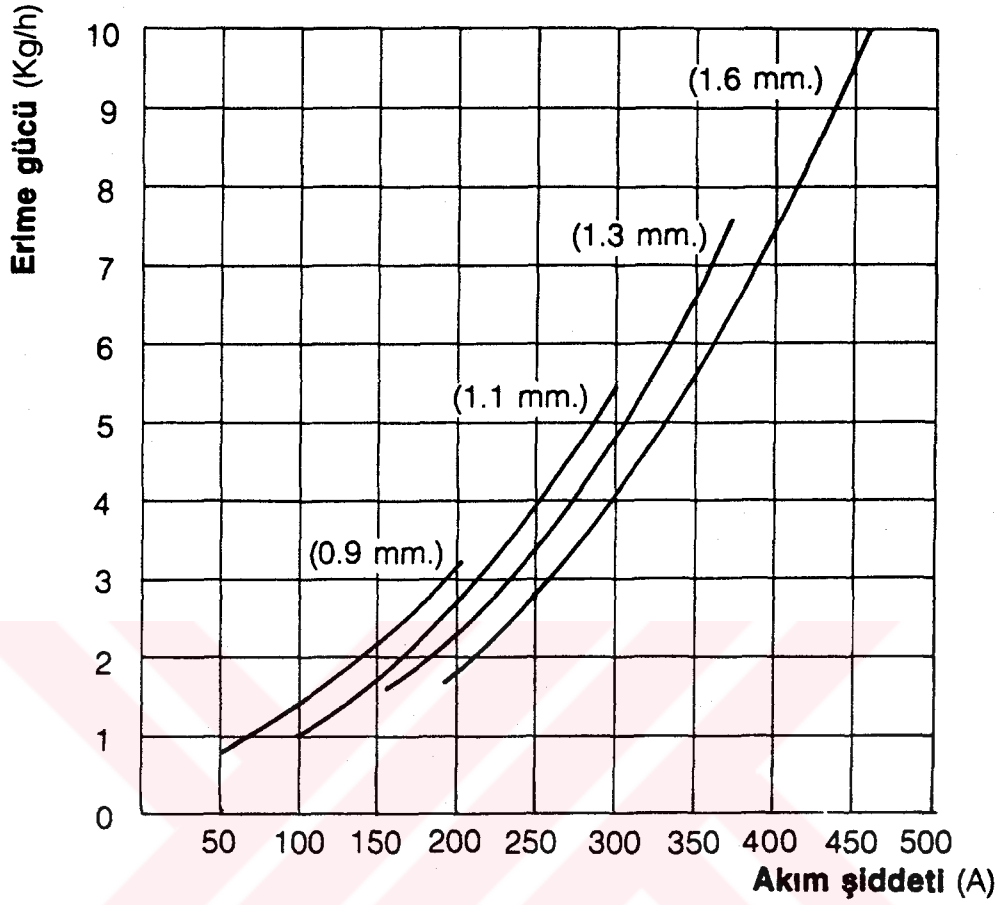
Üçüncü gruba, kaynak işlemi süresince sürekli olarak değişen ve kaynak dikişinin biçimini oldukça şiddetli bir şekilde etkileyen parametreler girmektedir. Bu parametrelerin önceden seçilip değerlendirilmeleri oldukça zor olmaktadır ve bazı hallerde etkileri de açık bir şekilde görülememektedir. Bunlar genelde ikinci gruba giren parametreleri etkileyen ve dolaylı olarak da kaynak dikişinin biçimini belirleyen parametrelerdir. MIG-MAG kaynağında bunlar torç açısı ve elektrod serbest uç uzunluğu olarak sıralanabilmektedir (Tülbentçi, 1990).

5.1.5.1 Kaynak Öncesi Saptanan Parametreler

a) Elektrod Çapı

Genel olarak ince çaplı elektrodlar ince saclar için, kalın tel elektrodlar da daha kalın parçalar için kullanılmaktadır (Anık ve Vural, 1998). Her tür elektrod bileşimi için çapa bağlı olarak bir akım şiddeti aralığı mevcut bulunmaktadır. Büyük çaplı elektrodlar daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabilirlerinden daha yüksek bir ergime gücüne sahip olmaktadır ve daha derin nüfuziyetli dikişler oluşturmaktadırlar. Ergime gücü, akım yoğunluğunun bir fonksiyonu olmaktadır. Eş çaplı iki elektrod farklı akım şiddetlerinde kullanıldıklarında, yüksek akım şiddeti ile yüklenende, akım yoğunluğu büyük olduğundan, daha yüksek bir ergime gücü elde edilmektedir. Akım şiddeti, tel çapı ve ergime gücü arasındaki ilişkiler Şekil 5.19 da görülmektedir. Dikişin nüfuziyeti de, akım yoğunluğuna bağlı olmaktadır. Aynı akım

şiddetinde, küçük çaplı elektrodla daha derin nüfuziyetli dikişler elde edilmektedir. Büyük çaplı elektrod halinde ise kaynak dikişi daha büyük olmaktadır.



Şekil 5.19 Yığılan kaynak metal, akım şiddeti ve elektrod çapı arasındaki ilişki (Yumuşak çelik elektrod, CO₂ ile kaynak edildiğinde) (Tülbentçi, 1990)

Kullanılacak olan kaynak elektrodunun çapının seçiminde kaynak edilen parçanın kalınlığı, nüfuziyet derecesi, ergime gücü, arzu edilen kaynak dikişi profili, kaynak pozisyonu ve elektrodların maliyeti de göz önünde bulundurulmaktadır. Küçük çaplı elektrodlar ağırlık ölçüsünde daha fiyatlı olmaktadır ancak her uygulama için kaynak maliyetini minimuma indiren bir elektrod çapı bulunabilmektedir (Tülbentçi, 1990).

b) Koruyucu Gaz Türü

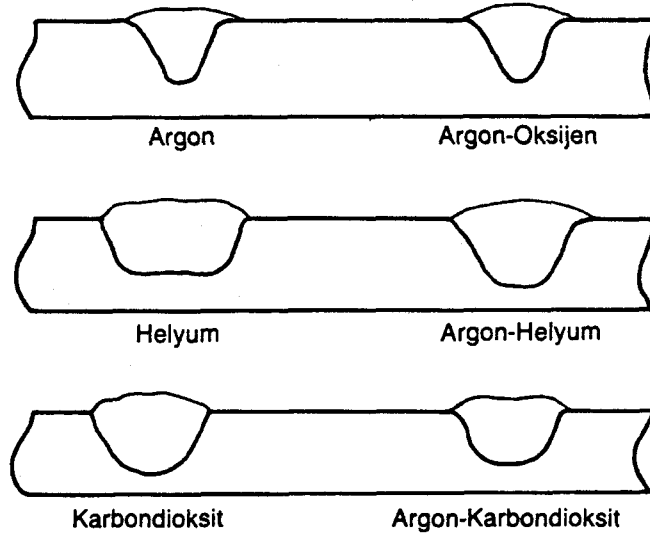
Gazaltı kaynağında çeşitli türlerde gazlar kullanılmaktadır ve her gazın oluşturduğu ergime gücü, dikiş biçimi ve nüfuziyet birbirinden farklı olmaktadır. Koruyucu gaz türünün aynı zamanda kaynak esnasında sıçrama miktarına, kaynak hızına, kaynak metalinin arttaki transfer şekline ve elde edilen bağlantının mekanik özelliklerine etkisi bulunmaktadır.

Demir esaslı metallerin kaynağında saf karbondioksit ile, argon- karbondioksit ve argon-oksijen karışımları kullanılmaktadır. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde aynı akım şiddet için en büyük ergime gücü, en derin nüfuziyet, en geniş ve en konveks kaynak dikişi elde edilmektedir. Karbondioksit en ucuz koruyucu gaz olmasına karşın en fazla sıçrama kaybı ve en fazla duman oluşturan gaz olmaktadır. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde oluşan yüksek ısı girdisi dolayısıyla aynı akım şiddet için daha yüksek hızlarda kaynak yapmak mümkün olabilmektedir.

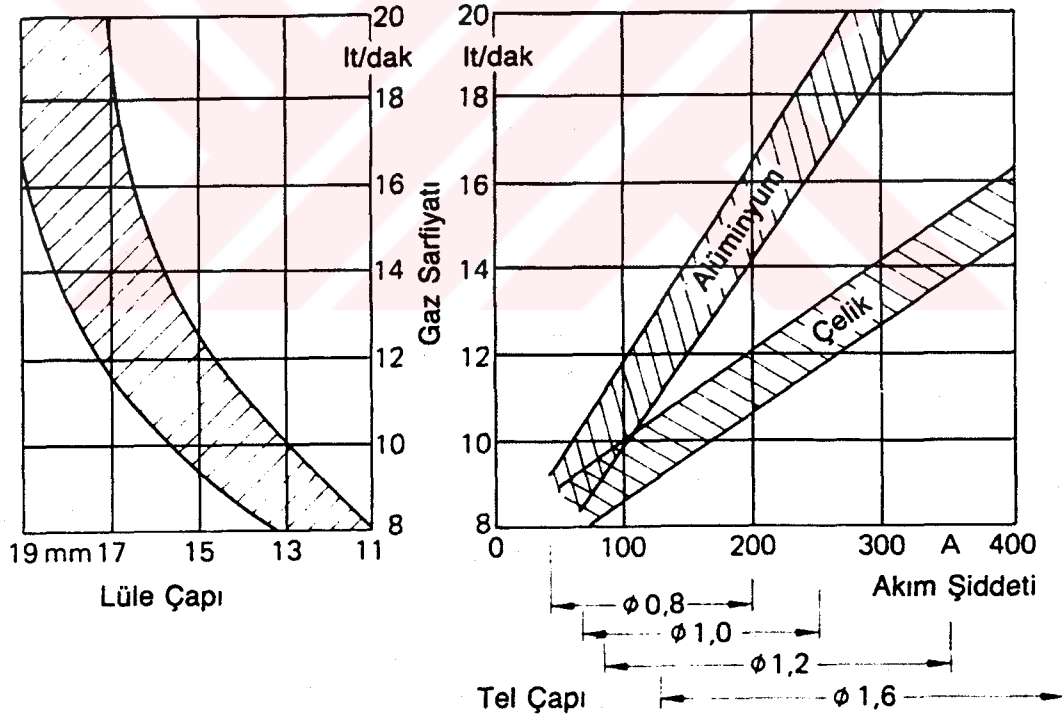
Argon ve argon-oksijen karışımı gazlar, kaynak esnasında karbondioksitin tam karşıtı bir özellik göstermektedirler. Bu gazlar ile en düşük ergime gücü, en az nüfuziyet, en dar ve en az yüksek kaynak dikişi elde edilmektedir. Argon-oksijen karışımı gazlar aynı zamanda en az duman ve en az sıçrama oluşturan bir kaynak işlemi sağlamaktadırlar. Argon-karbondioksit karışımı gazlar ise karbondioksit ve argon-oksijen karışımı arasında bir özellik göstermektedirler.

Demir dışı metallerin kaynağında kullanılan koruyucu gazlar, argon, helyum ve argon-helyum karışımları olmaktadır. Bu durumda da argon en az nüfuziyeti ve en düşük ergime gücünü, en dar dikişi veren gaz olmaktadır. Helyum ve argon-helyum karışımlarına göre daha ucuz olan argon aynı zamanda en az sıçrama oluşturan gaz olmaktadır. Helyum en derin nüfuziyeti, daha yüksek bir ergime gücü, geniş ve konveks bir kaynak dikişi oluşumunu sağlamaktadır. Helyumun kullanılması halinde aynı ark boyu için ark gerilimi daha yüksek olmaktadır ve kaynak esnasında koruyucu gaz sarfiyatı argona göre daha fazla olmaktadır.

Argon-helyum karışımları karışım oranına bağılı olarak bu ikisinin arasında bir karakteristik göstermektedir. Şekil 5.20'de çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profili şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 5.21'de ise gaz sarfiyatının, tel çapı, lüle çapı ve akım şiddetine göre değişimi görülmektedir (Tülbentçi, 1990).



Şekil 5.20 Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profiline şematik olarak gösterimi (Tülbentçi, 1990)



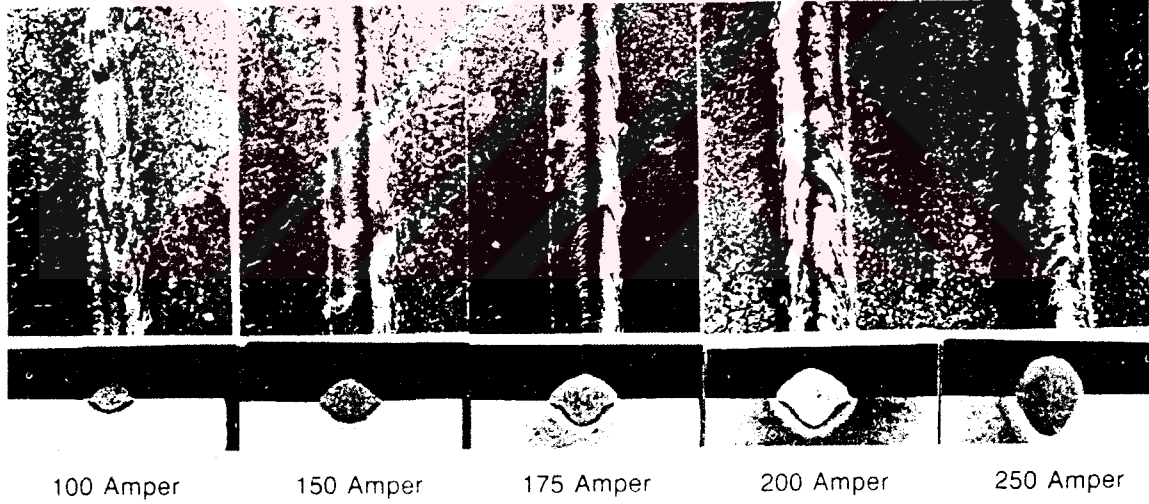
Şekil 5.21 MIG-MAG kaynağında gaz sarfiyatı, tel çapı, lüle çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı (Tülbentçi, 1990)

5.1.5.2 Birinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler

a) Kaynak akım şiddeti

Kaynakta kullanılan akım şiddetinin ergime gücüne, kaynak dikiş biçim ve boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelerden daha şiddetli olmaktadır. Sabit gerilim sistemli olan MIG-MAG kaynak makinalarında, kaynak akım şiddeti tel hızı ile birlikte, tel hız ayarı düşmesinden ayarlanmaktadır. Tel iletme hızı arttıkça, kaynak akım şiddeti de artmaktadır.

Kaynak akım şiddeti yükseldikçe ergime gücü artmaktadır. Bu olay açık bir biçimde Şekil 5.19'da görülmektedir. Diyagramdaki eğrilerin alt kısmının eğimleri az olmaktadır; yukarı doğru ise dikleşmektedirler. Bu artan akım şiddeti ile ergime gücü arasındaki bağıntının doğrusal olmadığı, yüksek akım yoğunluklarında ergime gücünün daha şiddetli arttığını ortaya koymaktadır. Bu husus serbest tel ucunda, telin yüksek akım şiddetlerinde ortaya çıkan şiddetli bir elektrik direnç ısıtmasına bağlanmaktadır. Bütün diğer kaynak parametreleri sabit tutulduğu zaman artan akım şiddetiyle kaynak dikişinin eninin yüksekliğinin, nüfuziyetinin ve boyutlarının artan akım şiddeti ile arttığı görülmektedir (Şekil 5.22).



Şekil 5.22 Akım şiddetinin, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi. $U=21$ V, Kaynak hızı 390 mm/dak, Tel çapı 0.9 mm, serbest tel ucu 9.5 mm, MAG kaynak yöntemi (Tülbentçi, 1990)

Aşırı yüksek akım şiddeti çok geniş bir kaynak banyosu ve derin nüfuziyete neden olduğundan delinmelerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Çok düşük akım şiddeti de çok kötü bir nüfuziyete ve elektrod metalinin parçanın üzerine yığılmasına neden olmaktadır (Tülbentçi, 1990).

b) Kaynak Gerilimi (Ark boyu)

Sabit gerilim karakteristikli bir kaynak akım üreticinde ark gerilimi veya kaynak gerilimi, elektrod ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafından belirlenmektedir.

Sabit gerilim karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde ark gerilimi, potansiyometre ile ayarlanmaktadır zira bu tür akım üreteçlerinde, her ark gerilimi değeri için makine tarafından sabit olarak tutulan bir ark boyu mevcut bulunmaktadır. Sabit akım karakteristikli makinalarda (örtülü elektrod ile ark kaynağı, TIG) ise ark boyunu kaynakçı ayarlamak zorunda olmaktadır.

Bir uygulama için ark gerilimi, kullanılan koruyucu gaz, elektrod çapı, kaynak pozisyonu, ağız şekli ve esas metalin kalınlığı göz önünde bulundurularak saptanmaktadır. Her koşulda aynı kaynak dikişini veren bir sabit ark boyu mevcut bulunmamaktadır. Örneğin, ark boyu, aynı gerilim için helyum ve karbondioksit kullanılması haline göre çok daha uzun olmaktadır. Bütün diğer parametreler sabit tutulmak koşuluyla ark geriliminin artması halinde kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim almaktadır.

Nüfuziyet ise artan ark gerilimi ile bir optimum değere kadar artmaktadır ve bu değerden sonra azalmaya başlamaktadır. Yüksek ark gerilimi, nüfuziyetin azlığı dolayısıyla bazı geniş aralıklarda kök pasoda köprü kurabilmek için kullanılmaktadır. Çok küçük ark gerilimi çok dar ve aşırı şişkin kaynak dikişlerinin oluşmasına, aşırı derecede küçük ark gerilimi ise poroziteye neden olmaktadır.

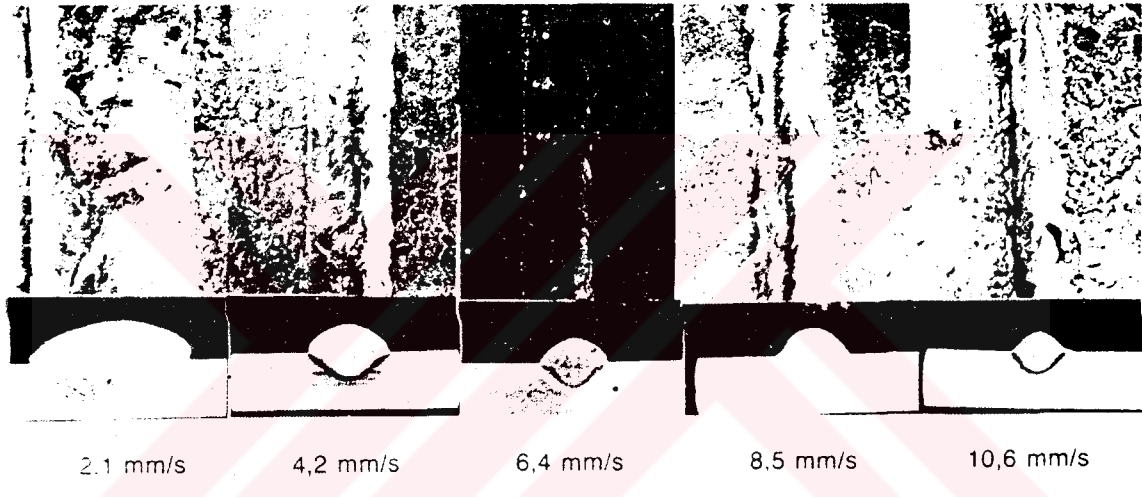
Uygun seçilmiş bir çalışma noktası, arkın sakin ve kararlı bir şekilde yanışı ile kendini belli etmektedir. Bir MIG-MAG kaynak akım üreticinde sabit gerilim karakteristik ayar imkanı ne kadar fazla olursa optimal çalışma noktasının saptanması da o derece kolay olmaktadır (Tülbentçi, 1990).

c) Kaynak Hızı

Kaynak hızı, yarı otomatik yöntemlerde kaynakçı, otomatik veya mekanize yöntemlerde ise makine tarafından ayarlanmaktadır.

Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi veya birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak tanımlanmaktadır. En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum değerinde elde edilmektedir ve bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise nüfuziyet azalmaktadır. Kaynak hızı yavaş olduğu zaman, birim zamanda birim boya yığılan kaynak

metali artmaktadır ve bu da kaynak banyosunun büyümesine neden olmaktadır. Çok akışkan hale gelen sıvı metal ağız içinde arkin önüne doğru akmaktadır ve bu da nüfuziyetin azalmasına neden olmaktadır. Sonuçta geniş bir kaynak dikişi elde edilmektedir. Kaynak hızının artması, dikiş yüksekliğinin artmasına neden olmaktadır. Aşırı derecede yavaş kaynak hızı, fazla miktarda kaynak metalinin yığılması ve nüfuziyetin azlığı nedeniyle ağız kenarlarında kalan bölge oluşmasına neden olmaktadır. Hızın artması birim boya verilen ısının azalmasına ve dolayısıyla da esas metalin ergiyen miktarlarının azalmasına neden olmaktadır; bu da nüfuziyeti azaltmaktadır. Kaynak hızının aşırı artması, kaynak metalinin kaynak ağızını doldurmaması nedeniyle dikiş kenarlarında yanma oluklarını andıran yarıkların oluşmasına neden olmaktadır. Şekil 5.23'de kaynak hızının kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına olan etkisi görülmektedir (Tülbentçi, 1990).



Şekil 5.23 Kaynak hızının, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi. $U=21$ V, akım şiddeti 175 Amper, Tel çapı 0.9 mm, Serbest tel uzunluğu 9.5 mm, MAG kaynak yöntemi (Tülbentçi, 1990)

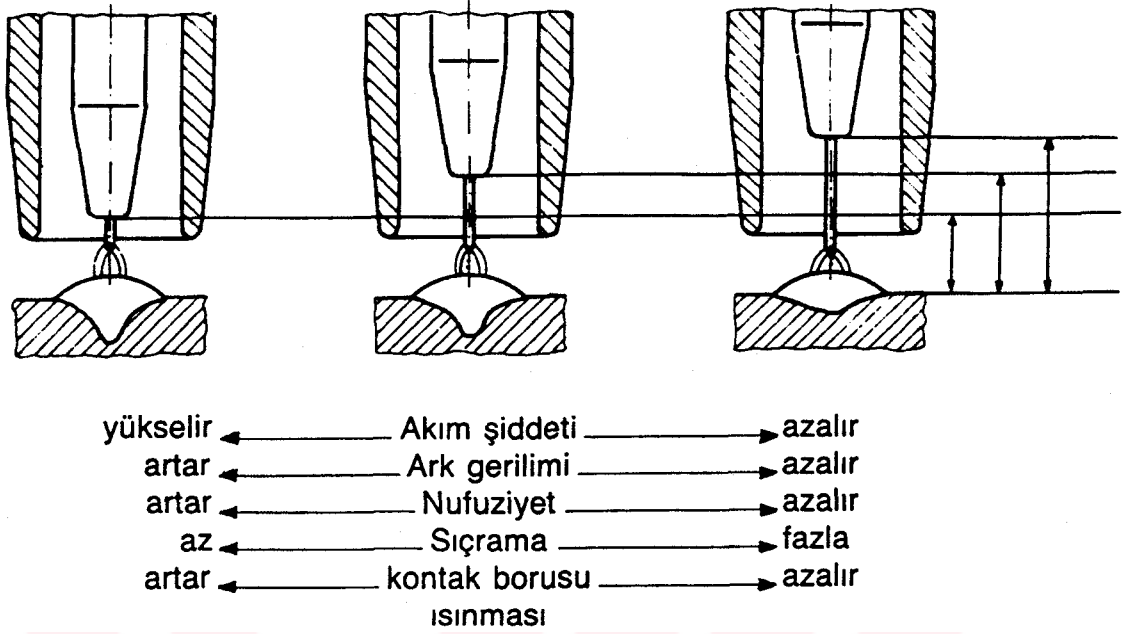
5.1.5.3 İkinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler

a) Serbest Tel Uzunluğu

Elektrod serbest tel uzunluğu, torç içindeki kontak borusunun en uç noktası ile tel elektrodun uç kısmı arasındaki mesafe olarak tarif edilmektedir. Bu boyun uzaması sonucu elektrodun elektrik direnci artmaktadır ve elektrodun ön ısınması diye tanımlanan sıcaklığı yükseltmektedir ve dolayısıyla da elektrodun uç noktasını ergitebilmek için gerekli akım şiddetinde azalma ortaya çıkmaktadır.

Serbest tel uzunluğunun artması ergime gücünün artmasına, nüfuziyetin azalmasına neden

olmaktadır. Sonuç olarak serbest tel uzunluğunun aşırı artması, fazla miktarda soğuk kaynak metalinin (düşük sıcaklıkta) kaynak dikişine yığılmasına neden olmaktadır (Şekil 5.24).



Şekil 5.24 Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi (Tülbentçi, 1990)

Genel olarak serbest tel uzunluğu, kaynak ağzında, kısa bir bölgede kök açıklığının değiştiği hallerde, dikişi kompanse edebilmek için kullanılmaktadır. Örneğin, geniş kök açıklığı halinde, nüfuziyetin azaltılmasının gerekli olduğu yerlerde serbest tel uzunluğu arttırılarak akım şiddetinin ve nüfuziyetin azaltılması sağlanmış olmaktadır (Tülbentçi, 1990).

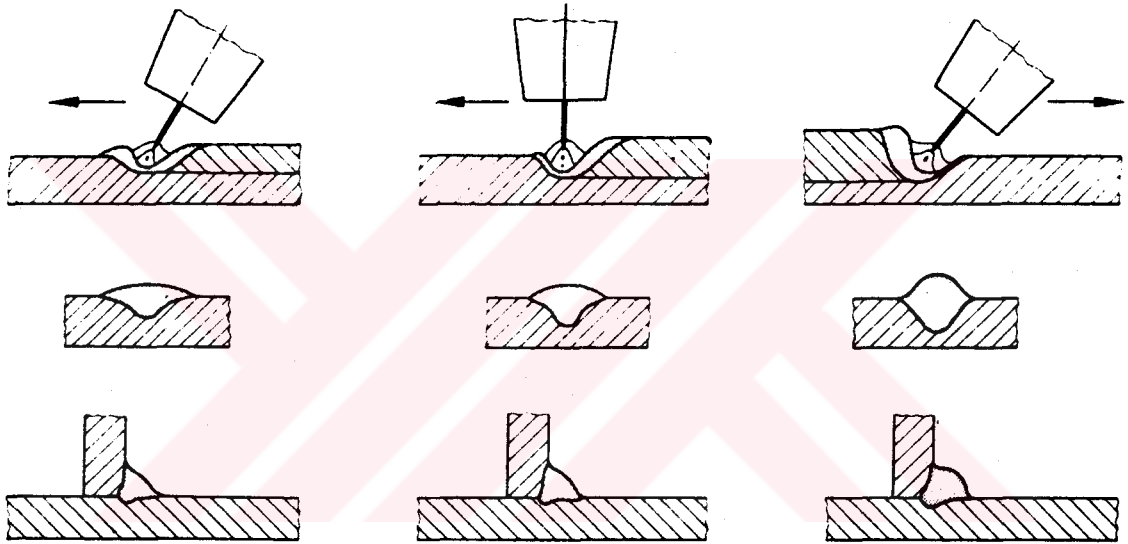
b) Torç Açısı

Kaynak elektrodunun veya torcunun iş parçasına göre konumu ve kaynak esnasındaki hareketi kaynak dikişinin formunu etkileyen etmenlerden bir tanesi olmaktadır.

MIG-MAG kaynağında da, aynen oksiasetlenen kaynağında olduğu gibi sola ve sağa kaynak yöntemi uygulanabilmektedir. Torcun kaynak yapılan iş parçasına tam dik olarak tutulması halinde sağ veya sol kaynak arasında sonuç yönünden bir fark görülmemektedir. Buna karşın kaynak hamlacı 30°'ye kadar bir hareket açısı ile tutulduğu zaman sol ve sağ kaynağın dikiş biçimi üzerine olan etkisi açık bir şekilde görülmektedir. Hareket açısı 30°'yi aşmadığı sürece, bu açı, kaynağın, kaynakçı tarafından kontrolüne yardımcı olmaktadır. Kaynakçı kaynak banyosunu ve elektrod ucunun ergimesini rahatlıkla görebildiği için dikişin kalitesi yükselmektedir. Buna karşın bu değer aşıldığında nüfuziyet azalmakta ve dikiş incelmektedir. Bu durumda kaynak hızının arttırılması gerekmektedir aksi halde sıvı metal kaynak

banyosunun önüne doğru ilerleyecek ve dikişte gözenek ve kalıntı oluşumu olasılığı artacaktır. Eğimin fazlaşması diğer yönden koruyucu gaz akımını da etkilediğinden gazın koruma etkinliği de azalmaktadır.

Sağa kaynak pozitif hareket açısı ile daha dar, daha yüksek ve daha derin nüfuziyetli dikiş elde edilmesine imkan tanımaktadır. Ark daha stabil ve sıçrama daha az olmaktadır. Sağa kaynak daha ziyade çeliklerin kaynağında tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Sola kaynak (hareket açısı negatif) ise kontaminasyona engel olmak ve esas metale giren ısı miktarını azaltmak için alüminyumun kaynağında tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Şekil 5.25'de MIG-MAG yönteminde sola ve sağa kaynak halinde dikiş formunun durumu gösterilmektedir (Tülbentçi, 1990).



Şekil 5.25 MIG-MAG kaynak yönteminde sola /hareket açısı negatif) ve sağa (hareket açısı pozitif) kaynak halinde dikiş formunun değişimi. (Tülbentçi, 1990)

5.2 Nokta Direnç Kaynağı Teknolojisi

5.2.1 Elektrik Direnç Kaynağının Prensibi

Elektrik direnç kaynağı, elektrik akımının ısı etkisinden yararlanarak, bir kaynak devresi içinde birleş

sağlanmaktadır. Gerekli elektrot kuvveti ise, hidrolik, pnömatik veya mekanik donanımlarla gerçekleştirilmektedir (Anık, 1983).

Yöntem, uçak, taşıt, makina, küçük taşıma kabloları vb. yapım dalları için rasyonellik açısından önem taşımaktadır.

Ana esas bağlı kalmak koşuluyla, elektrik direnç kaynağını 4 farklı uygulama grubuna ayırmak mümkün olmaktadır.

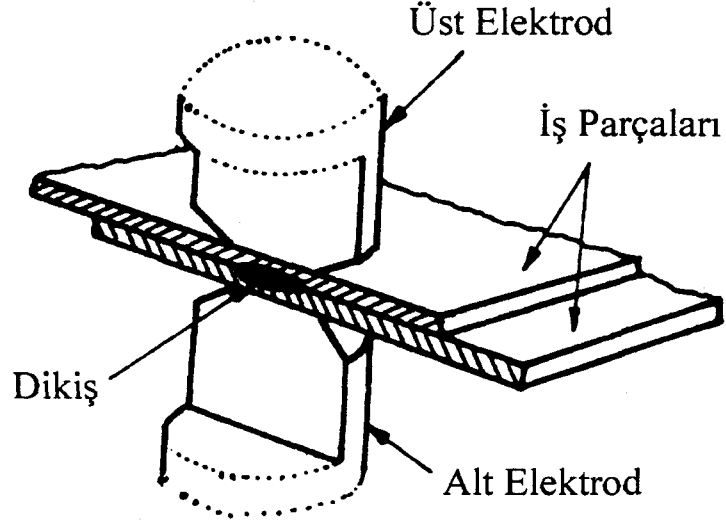
- Nokta direnç kaynağı
- Dikiş direnç kaynağı
- Kabartılı direnç kaynağı
- Alın direnç kaynağı

Yöntemin uygulama sınırları olarak, nokta kaynağında, folyo ve çok ince teller ($D=8 \mu\text{m}$)'den, toplam kalınlıklar 40 mm'ye kadar sac birleştirmelerine, alın kaynağı uygulamalarında ise 0.2 mm'lik tellerden 90000 mm² kesitlere kadar olduğu görülmektedir. İşlemden kaynak ısısının elde edilmesi için genellikle dalgalı akımdan yararlanılmakta, 100 kA'e kadar akım şiddeti ve 16V'u aşmayan kaynak gerilimleri uygulanmaktadır (Gültekin, 1991).

Bütün direnç kaynağı usulleri, uygun bir akım şiddeti-kaynak zamanı düzenlenmesini gerektirmektedir. Akım kapalı bir devre boyunca akmaktadır. Akımın sürekliliği uygun tarzda şekillendirilmiş elektrotların uygulandığı basınç sayesinde gerçekleşmektedir. Kaynak periyodunu kapsamak üzere, çeşitli işlemlerin sırası, en genel anlamda şöyle ifade edilebilmektedir: Önce sınırlı bir metal hacminin ergimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek ve bundan sonra da bu metalin basınç altında yeniden katılaşmasıyla soğumasına imkan vermektir. İş parçasının ısınma ve soğuma hızları, zaman ekonomisi bakımından mümkün olduğu kadar yüksek ise, ayrıca temperleme işlemine ihtiyaç olacaktır (Anık, 1983).

5.2.2 Nokta Kaynağı

Nokta direnç kaynağında meydana gelen kaynak dikişinin boyut ve şekli, elektrotların boyut ve şekliyle sınırlı olmaktadır (Şekil 5.26).



Şekil 5.26 Nokta kaynağında kaynak dikişinin durumu (Anık, 1983)

Kaynak işlemi esas itibariyle dört periyotta gerçekleşmektedir. Bu periyotlar şöyle sıralanabilmektedir:

- Basma (basınç) süresi

Elektrot kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen süre olmaktadır.

- Kaynak süresi

Kaynak akımının geçtiği zaman aralığı olmaktadır.

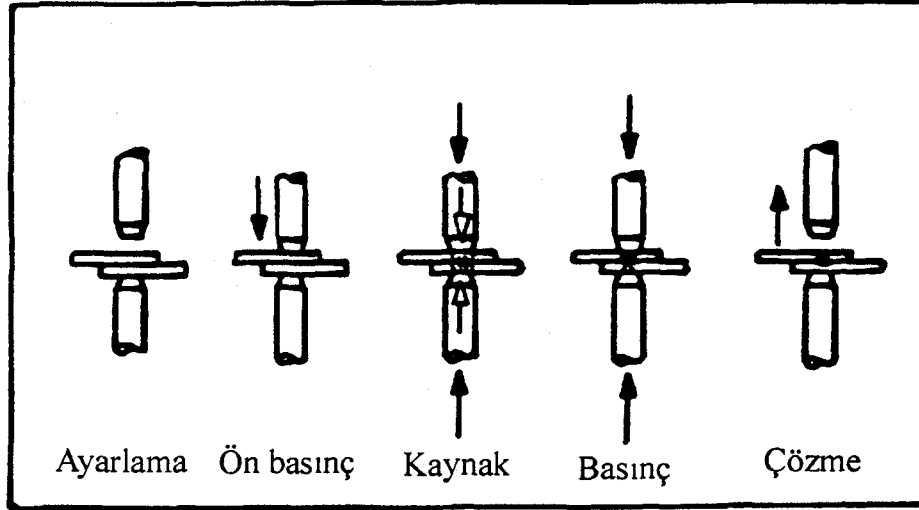
- Tutma süresi

Kaynak akımının kesilmesinden sonra, elektrot kuvvetinin etkisinin devam ettiği süre olmaktadır.

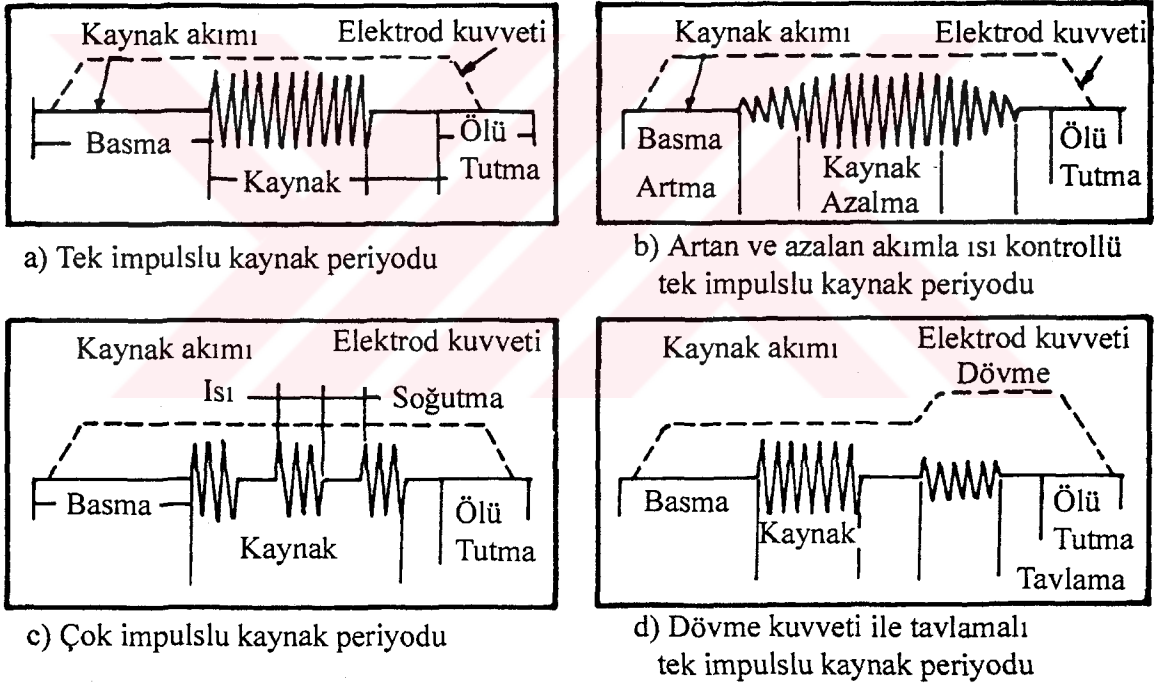
- Ölü süre

Elektrotların iş parçaları ile temasta olmadığı süre aralığı olmaktadır (Anık, 1983).

Şekil 5.27'de işlem aşamaları ve Şekil 5.28'de de periyotlar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.27 Elektrik nokta direnç kaynağında işlem aşamaları (Gültekin, 1991)



Şekil 5.28 Nokta kaynağı işleminde çeşitli periyotların şematik olarak gösterilişi (Anık, 1983)

5.2.2.1 Nokta Kaynağı İşleminin Esasları

Kaynak için gerekli ısı, diğer elektriksiz ısıtma aletlerinde olduğu gibi, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı meydana gelen direnç nedeniyle oluşmaktadır. Direnç kaynağında omik direncin değeri düşük olduğundan, gerekli kaynak ısını üretebilmek için yüksek kaynak akımlarına ihtiyaç bulunmaktadır.

Isı üretim hızı, malzemenin gösterdiği direnç içerisinde akan akıma bağlı olmaktadır. Gerçekte akım ve direnç, kaynak periyodu boyunca değişmekle beraber, üretilen ısının hangi büyüklüklere bağlı olduğunu belirtmek amacıyla, bu değişkenler sabit kabul edilerek, kaynak yapılan iş parçasında üretilen toplam ısı watt-saniye cinsinden aşağıdaki formül ile gösterilmektedir:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (5.1)$$

Burada, (t) saniye cinsinden kaynak süresini, (R) ohm cinsinden iş parçasındaki toplam direnci ve (I) ise amper cinsinden kaynak akımını ifade etmektedir. Nokta kaynağı için bazı çalışma değerleri Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

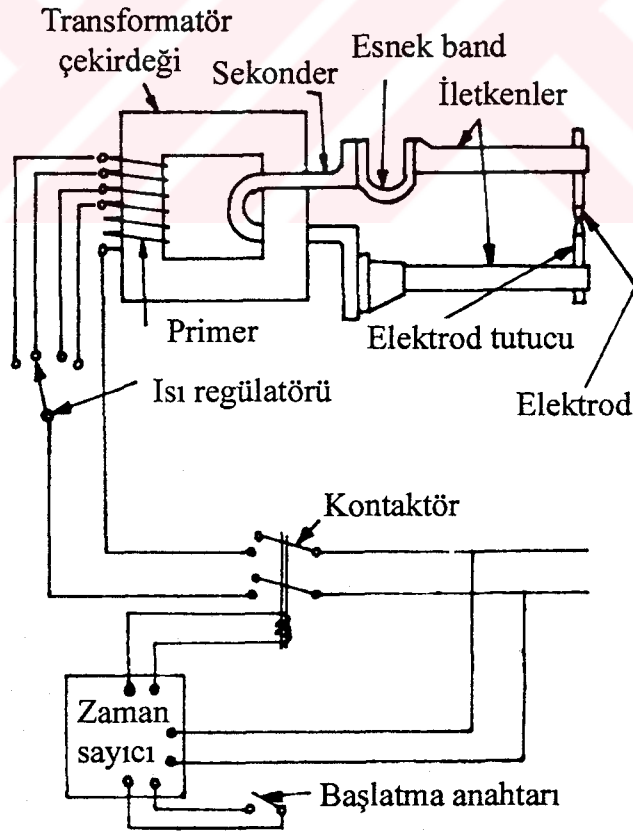
Çizelge 5.5 Nokta kaynağı için çalışma değerleri (Gültekin, 1991)

Alaşımsız Çelikler					
Kalınlık (mm)	Elektrod çapı (mm)	Kuvvet (daN)	Akım şiddeti (A)	Kaynak süresi (s)	Kaynak nokta çapı (mm)
0.5	4	60 (150)	2000 (4000)	0.2 (0.04)	4
1	5	100 (250)	3000 (8000)	0.4 (0.1)	5
2	7	200 (500)	5000 (14000)	1.0 (0.3)	6.5
3	9	300 (800)	8000 (19000)	2.0 (0.6)	8.5
4	11	380 (1250)	10000 (24000)	3.2 (0.9)	10.5
5	13	450 (1700)	12000 (28000)	4.5 (1.4)	12.5
Paslanmaz Çelikler (18 8)					
0.5	4	175	3750	0.04	3.5
1.0	5	400	7600	0.14	4.5
1.5	6	650	11000	0.20	5.5
2.0	7	900	14000	0.24	6.5
2.5	7.5	1200	16000	0.28	7.0
3.0	8.5	1500	18000	0.32	8.0
Hafif Metaller					
0.5	75 ^x	180	15000	0.04	2.8
1.0	110	250	30000	0.06	4.5
1.5	150	320	40000	0.06	6.2
2.0	180	400	50000	0.03	8.0
2.5	210	520	55000	0.10	9.0
3.0	240	600	60000	0.12	10.0
(..) hızlı çalışma koşulları için değerler x elektrod takkesi yarıçapı (mm)					

a) Mekanik Özellikler

Elektrotlar, iş parçalarına önceden ayarlanmış zamanlarda ve hızlarda yaklaşmakta ve uzaklaşmaktadır. Bu arada, elektrotların basma kuvveti pnömatik, hidrolik veya mekanik donanımlar aracılığıyla uygulanmaktadır. Elektrotların yaklaşma hızı yüksek olmalı fakat elektrot yüzeylerinin deformasyonuna izin vermemelidir. Merkezi olarak ısıtılan iş parçaları, kaynak işlemi sırasında hem genişlemekte hem de büzülmemektedir. Elektrotlar basınç altında dinamik hareket etmektedir. Hareket hızının değişimi, hareketli parçaların ağırlığından veya ataletinden, sabit ve hareketli parçalar arasındaki sürtünmeden etkilenmektedir. Bu şartlar altında yeterli basınçları sağlamak gerekmektedir.

Şekil 5.29 bir nokta kaynak makinası şematik olarak gösterilmektedir. Görüleceği üzere, zıt yönde akım taşıyan paralel iletkenler, karşılıklı olarak geriye doğru itilmektedir. Bu geri itme kuvveti, elektrotları birbirinden ayırmaya çalışmaktadır. Elektrotların iş parçalarından ayrılmasını önlemek için uygulanan toplam kuvvetin itme kuvvetinden büyük olması gerekmektedir. Buna ilaveten, bu kuvvetin iş parçalarını, ergime veya yumuşama meydana geldiğinde, basınç altında tutmaya yeterli olması gerekmektedir.



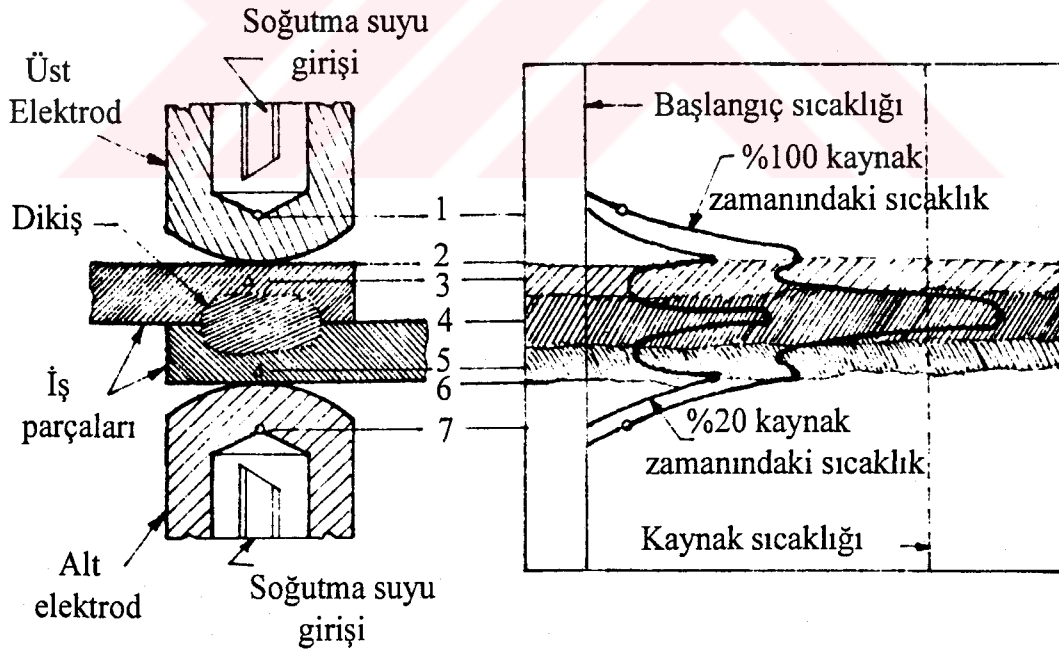
Şekil 5.29 Bir nokta kaynağı makinasının şematik olarak gösterilişi (Anık,1983)

Elektrotlar iş parçasını malzemenin yumuşama hızına eşit bir hızda izleyemiyorsa, aşırı yüzey ısınması meydana gelmekte ve elektrotlar ile iş parçaları arasında bir ark oluşabilmektedir. Bu ark, elektrot yüzeylerinin yanmasına ve dolayısıyla da iş parçalarına yapışmasına neden olmaktadır (Anık, 1983).

b) Isı Üretimi

Kaynak makinasının sekonder devresi, kaynak edilecek iş parçaları da dahil olmak üzere, akımın akışını etkileyen bir seri direnç olmaktadır. Amper cinsinden akım şiddeti devrenin bütün noktalarında, o noktadaki direnç ne olursa olsun, aynı kalmalıdır. Bununla birlikte, herhangi bir noktada üretilen ısı, o noktadaki dirençle doğru orantılı olmaktadır. Böylece, sekonder devredeki elektriksel sistemler, ısıyı istenilen yerde üretecek ve diğer bölgeler göreceli olarak soğuk tutacak biçimde tasarlanmalıdır.

Direnç kaynağının en önemli özelliği hızlı olması yani ısıyı hızlı bir şekilde üretebilmesidir. Üretilen ısının ve ısı kayıplarının, elektrotları ve iş parçalarını kapsayan kısma yaptıkları bileşke etki, Şekil 5.30'da gösterilmiştir. İki levhanın tek nokta ile kaynağında seri olarak yer almış, yedi adet etkin direnç mevcut bulunmaktadır.



Şekil 5.30 Nokta kaynağında dirençler ve sıcaklık gradyanı (Anık, 1983)

Bu etkin dirençler sırasıyla şunlar olmaktadır:

- Üst elektrodun direnci
- Üst elektrot ile üst levha arasındaki temas direnci
- Üst levhanın direnci
- Üst levha ile alt levha arasındaki temas direnci
- Alt levhanın direnci
- Alt levha ile alt elektrot arasındaki temas direnci
- Alt elektrodun direnci (Anık,1983)

Elektrotlar arasında meydana gelen ısı miktarı Q , Joule kanununa göre elektriksel işe eşdeğer olarak,

$$W=u.i.t \text{ (W.s)} \quad (5.2)$$

ohm kanunu göre,

$$u = i.R \text{ (V)} \quad (5.3)$$

yerine yazılarak,

$$W=i^2.R.t \text{ (W.s)} \quad (5.4)$$

dalgalı akımda ise,

$$i=I_{\max}.\sin\omega t \quad (5.5)$$

$$W=I^2.R.t \text{ (I: dalgalı akımda efektif değer)} \quad (5.6)$$

Sinüs formundaki dalgalı akım,

$$I=I_{\max}/\sqrt{2} \quad (5.7)$$

verdiğinden ve $1 \text{ W.s}=0.239 \text{ cal}$ olarak yerine konulduğunda, elektrik direnç kaynağında oluşan ısı miktarı,

$$Q=0.239.I^2.R.t \text{ (cal)} \quad (5.8)$$

olarak yazılabilmektedir.

Burada da görüldüğü gibi oluşan ısı, akım şiddetinin (I) ikinci dereceden, malzemenin direncinin (R) ve zamanın (t) birinci dereceden fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır (Gültekin, 1991).

Isının tamamı birleşme yeri olan özel bir noktada meydana gelmemektedir. Isı, Şekil

5.30'daki yedi bölgenin herbirinden, bu bölgelerin dirençleri ile orantılı olarak üretilmektedir. Bununla birlikte, kaynak ısısının yalnız 4 düzleminde oluşması istenmektedir. Diğer bütün noktalarda ısıyı mümkün olduğu kadar azaltmak için çalışılmaktadır. Kaynağın başlangıcında bütün noktalardaki sıcaklık, başlangıç sıcaklığı adı verilen düşey çizgi ile belirtilmiştir. En büyük direnç 4 düzleminde bulunmaktadır ve bu yüzden ısı, bu bölgede çok daha hızlı oluşmaktadır. Bundan sonra da gelen büyük dirençler, 2 ve 6 bölgelerindeki dirençler olmaktadır. Sıcaklık bu noktalarda da hızla artmaktadır; ancak artış hızı 4 düzlemindeki kadar yüksek değildir. Kaynak için gerekli toplam zamanın küçük bir kesrinden sonra, sıcaklık gradyanı soldaki eğri ile temsil edilebilmektedir (%20 kaynak süresine denk gelen eğri). 2 ve 6 düzleminde oluşan ısı, bu kısım kısmen korunaklı olduğundan, daha yavaş kaybedilmektedir. Sonuçta, zaman ilerledikçe, 4 düzlemindeki sıcaklığın artış hızı, 2 ve 6 düzlemlerine göre çok daha yüksek olmaktadır. Kaynak sıcaklığı şekilde düşey çizgi ile gösterilmiştir. İyi bir şekilde kontrol edilen kaynak işleminde, kaynak sıcaklığına önce 4 düzlemindeki küçük noktalarda erişilecek ve zaman ilerledikçe bu bölge bir kaynak dikişi oluşturacak şekilde büyüyecektir.

Verilen bir akım değeri için, birim zamanda kaynaktaki oluşan ısı miktarını etkileyen faktörler şöyle sıralanabilmektedir:

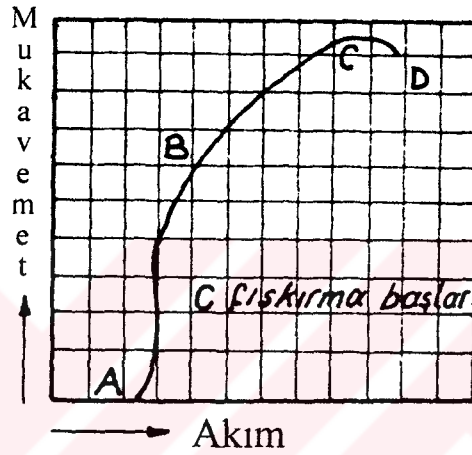
- Kaynak edilen malzemenin direnci
- Elektrot malzemesinin direnci
- İş parçaları arasındaki temas direnci
- İş parçaları ile elektrotlar arasındaki temas direnci (Anık, 1983)

c) Kaynak Akımının Etkisi

Isı formülündeki akım karesel bir değer olmaktadır ve bu nedenle, ısı üretiminde büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Sonuçta da akımın dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gereken bir değişken olduğu ortaya çıkmaktadır. Sekonder akımda değişmeye neden olan bazı faktörler şunlardır:

- Şebeke gerilimindeki değişimler
 - Alternatif akım makinası kullanıldığında, boğaz geometrisindeki değişiklikler ile ortaya çıkan sekonder empedans değişimleri
 - Makinanın sekonder devresi içerisine değişken miktarda manyetik malzemenin sokulması
- İletilen akım şiddetindeki değişimlere ek olarak, kaynak ara yüzeyinde de, akım yoğunluğunda değişimler ortaya çıkmaktadır. Bu olay, akımın bir önceki kaynak noktasından

ve elektrotların etki alanı dışındaki bir takım metalik temas noktalarından kısa devre olmasıyla meydana gelmektedir. Boyutları büyümüş elektrotlar, akım yoğunluğundaki azalma nedeniyle, kaynak ısısında ve kaynak özelliklerinde azalmaya neden olmaktadır. Her türlü şart altında, iş parçalarında herhangi bir kaynama oluşmadan önce, sonlu bir akım gerekmektedir (Şekil 5.31). Bununla birlikte, yumuşama sıcaklığına erişildiğinde, kaynak dikişinin boyutları ve mukavemeti, akımdaki küçük artımlar ile hızlı bir artış göstermektedir. Aşırı miktardaki kaynak akımı fişkırmaya neden olmaktadır ve kaynağın mukavemetini düşürmektedir. Kaynağın çekme-makaslama mukavemetinin akım şiddetine bağlı olarak değişimi Şekil 5.31'de verilmiştir (Anık, 1983).



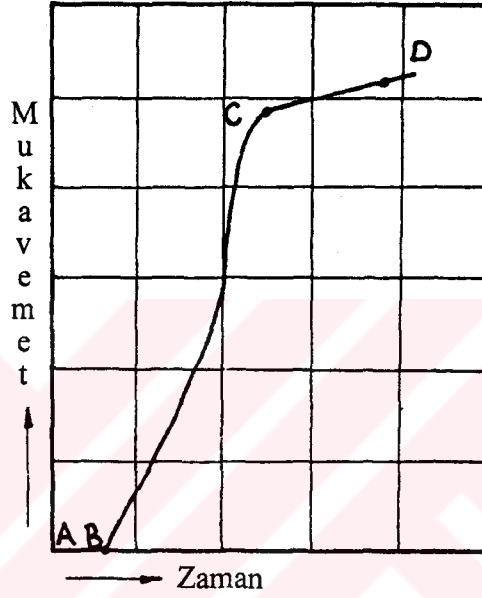
Şekil 5.31 Nokta kaynağının mukavemetine kaynak akımının etkisi (Anık, 1983)

d) Kaynak Süresinin Etkisi

Isı üretim hızı öyle olmalıdır ki, kaynak işlemi, istenen zaman aralığı içerisinde, ısı kayıpları da karşılanarak gerçekleştirilebilmelidir. Isı formülünde de görüldüğü üzere, üretilen toplam ısı zamanın lineer bir fonksiyonu olmaktadır. Isı kayıpları, iş parçalarına ve elektrotlara kondüksiyon ile olduğu gibi, iş parçalarından çevreye radyasyonla da meydana gelmektedir. Bu kayıpların genel olarak kontrol edilmeleri mümkün olmamaktadır fakat kayıplar, toplam zamanın artması ile birlikte artmaktadır.

Şekil 5.30'daki sıcaklık gradyanında, zaman, başlama noktasından itibaren sağa doğru artmaktadır. Eğer zaman, şekilde gösterilen noktanın ötesinde devam edecek olursa, 4 düzleminin sıcaklığını geçecek ve bazı noktalarda iş parçasının buharlaşma sıcaklığına erişecektir. Sonuç olarak dikişte, küçük parçacıkların fişkırtması ile ortaya çıkan gaz habbeciklerinin oluşmasına sebebiyet verecektir. Akımın sürekli bir şekilde uygulanması,

yüzey üzerindeki pürüzlerin düzelmesine sebep olacak, kaynak dikişi elektrot yüzeylerine doğru büyüyecek ve 3 ile 5 hacimleri plastik hale gelecektir. Bu olay ise, özellikle büyük yüzey açılarında, elektrotların iş parçalarına aşırı gömülmesine neden olacaktır. Buna ek olarak, ısı tesiri altındaki bölge, iş parçaları içinde, elektrotlardan çok uzak bölgelere kadar uzanacaktır. Herhangi bir kaynak dikişi meydana gelmeden önce sonlu bir zaman değeri gerekmektedir. Minimum zaman değeri, akım şiddetine, malzeme kalınlığına ve bileşimine bağlı olmaktadır. Kaynak zamanı ile nokta kaynağının çekme-makaslama mukavemeti arasındaki bağıntı Şekil 5.32’de verilmiştir.



Şekil 5.32 Nokta kaynağının mukavemetine kaynak zamanının etkisi (Anık, 1983)

Üretilen ısı, akımın karesi ile doğru orantılı olduğundan, kayıplar ihmal edilirse, akımın iki katına çıkması, herhangi bir zaman aralığında meydana gelen ısıyı dört katına çıkartacaktır. Toplam ısıdaki istenen bir değişim, ya akım ya da zaman değiştirilerek sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, ısı iletimi zamanın bir fonksiyonu durumundadır ve belirli bir dikiş boyutunun meydana gelişinde zaman elemanı, akımdaki artışı dikkate almaksızın çok fazla kısaltılamamaktadır. Uygun olmayan zaman kontrolünün ilk etkileri, ısının temas yüzeylerinde hızla gelişip, fişkırmaya neden olması ile görülmektedir. (Anık, 1983)

e) Kaynak Basıncının Etkisi

Kaynak yapılacak iş parçalarının, akım geçişini sağlayabilmeleri için, kaynak bölgesinde basınç altında birarada tutulmaları gerekmektedir. Bu basıncın miktarı, belirli dereceye kadar

elektrotlar arasındaki toplam direnci ve bu nedenle, kaynak bölgesinden akan akım miktarını etkilemektedir. Diğer bütün değişkenler sabit iken, basınç arttırıldığında akım artmakta ve basınç azaldığında da akım azalmaktadır. Bununla birlikte üretilen toplam ısı üzerindeki etki değişebilmektedir. Basınç arttırıldığında, temas direnci azalmaktadır. Bu direnç azalmasını dengelemek için, daha fazla akım sağlamak amacıyla sekonder gerilimin arttırılması gerekmektedir.

Sekonder empedansın esası, kaynak makinasının büyük reaktans ve direnç bileşenlerinden meydana gelmiştir. İş parçalarının direnci sekonder devredeki toplam dirence nazaran çok küçük olmaktadır. Bu nedenle, elektrot basıncının değişimi, sekonder empedans üzerinde çok az etki yapmaktadır.

İş parçalarının yüzeyleri pürüzlü ise, düşük bir basınca maruz kaldıklarında, gerçek metalin metale teması, yüzeyin sadece küçük bir kısmında meydana gelmektedir. Basınç arttırıldığında, bu yüksek pürüzler eğilmekte ve gerçek metalin metale teması artmaktadır. Bu ise temas direncini azaltacaktır.

Elektrotlar, iş parçasının toplam kalınlığındaki ani bir azalmayı takip etmeyecek kadar yavaş olduğu zaman, basınçta ani bir düşme meydana gelmektedir. İş parçasının kalınlığındaki bu ani azalmanın en çok rastlanan sebepleri, kaynağın aşırı ısınması ve metal fişkırması olmaktadır. Özellikle ince iş parçaları, yüksek soğuma hızları nedeniyle, bu olaya daha çok maruz kalmaktadırlar.

Akım geçmekte iken, basınçtaki ani bir azalma, temas direncinde ve sonuçta ısı üretim hızında artmaya sebep olmaktadır. İş parçaları arasındaki daha büyük ısı üretim hızı, daha fazla ve daha şiddetli metal fişkırmasına sebebiyet vermektedir. Aşırı ısı artışı aşağıdaki olayların oluşmasına da sebebiyet verebilmektedir:

- Kaynak dikişi dış yüzeylere doğru ergimesi
- Elektrotların ömrünün azalması
- Karıncalanma ve yüzeyin korozyon direncinde azalma meydana gelmesi

Uygulanan basıncın azalmasının diğer bir sonucu ergimiş metalin kaynak bölgesini terk etmesi olmaktadır. Ergimiş metal, elektron kuvvetinin sıkıştırma etkisi sebebiyle, ara yüzeyde, kaynak yüzeyini saran ergimemiş metal bir yüzük vasıtasıyla alıkoyulmaktadır. Elektrot kuvvetindeki ani bir azalma, dahili metal basıncının bu yüzüğü parçalamasına neden olmaktadır.

Çok yüksek basınçlar ise, iş parçalarında istenmeyen distorsiyonları ortaya çıkarmaktadır. (Anık, 1983)

f) Elektrotların Etkisi

Ticari saf bakır en iyi iletkenlerden biridir. Saf bakır elektrotlar, üstün mekanik özelliklerinin yanında, yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edilinceye kadar, direnç kaynağı elektrodu olarak kullanılmıştır. Daha yüksek akım şiddeti, daha yüksek basınç ve daha yüksek kaynak hızı kullanılan yöntemlerin gelişmesi, saf bakırın elektrot malzemesi olarak kullanılmasına son vermiştir.

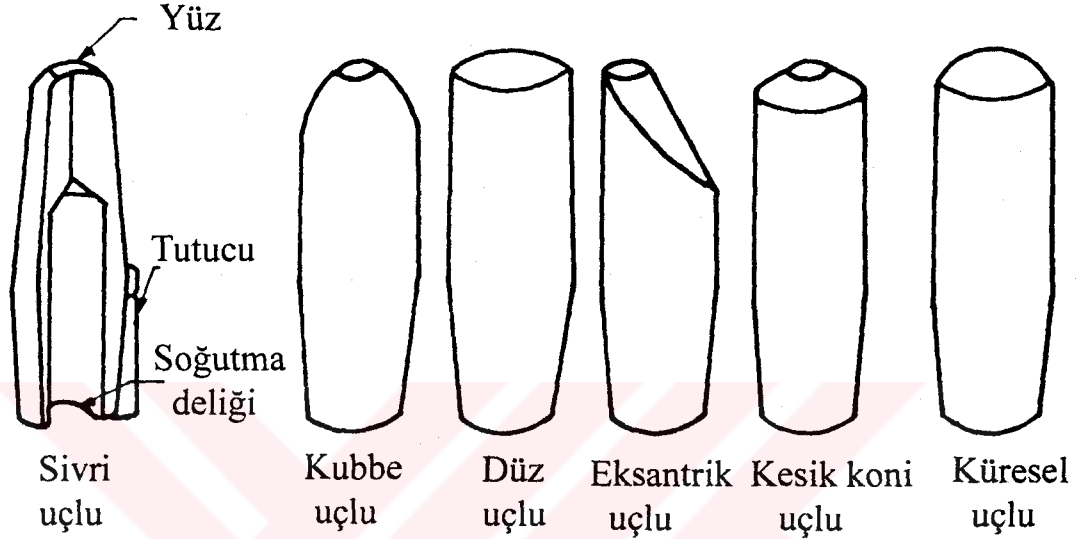
Soğuk çekilmiş bakırın esas zorluğu, statik ve dinamik basma kuvvetlerine karşı düşük mukavemet göstermesi ve düşük tavlama sıcaklığına sahip olmasıdır. Ticari saf bakırın istenmeyen bu özelliklerini ortadan kaldırmak için daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip bir seri bakır alaşımı geliştirilmiştir. Çizelge 5.6'da nokta kaynağında kullanılan başlıca elektrot malzemesi alaşımları ve özellikleri verilmiştir. Genel olarak alaşımın sertliğinin artması, elektriksel ve ısıl direncini arttırmaktadır. Bu nedenle herhangi bir uygulama için belirli bir alaşımın seçimi, onun mekanik özelliklerine göre değişen ısıl ve elektriksel özelliklerin esas alınmasıyla gerçekleşmektedir. Örneğin, alüminyum kaynağı için kullanılan elektrotlar, yüksek basma mukavemeti yerine yüksek iletkenliğe sahip olmalıdır. Diğer yandan, paslanmaz çeliğin kaynağı için kullanılan elektrotlarda maksimum basma kuvveti elde etmek için yüksek iletkenlikten vazgeçilmelidir (Anık, 1983).

Çizelge 5.6 Nokta kaynağında kullanılan başlıca elektrot malzemesi alaşımları (Anık, 1983)

Alaşımın Cinsi	Brinell Sertliği (kg/mm ²)	İletkenlik (%saf bakır)	Yumuşama sıcaklığı (°C)
Bakır (soğuk çekilmiş)	95	90	150
Tellür-Bakır	100	90	175
Kadmiyum-Bakır	110	85	250
Krom-Bakır	150	80	500
Tungsten-Bakır	200-300	30	1000

Nokta kaynağının kalitesinde, elektrod biçim ve özelliklerinin büyük bir etkisi görülmektedir. Uygulamalarda uygun elektrod seçilmeme koşullarında, hata oluşma eğilimi de yüksek olacaktır.

Elektrod biçim ve boyutları, ısıl iletkenliği, akımyoğunluğu, temas direnci ve kaynak noktası için öngörülen boyutlara göre seçilmektedir. Şekil 5.33'de görülen elektrod ana uç biçimlerinden, türev biçimler de geliştirilebilmektedir.



Şekil 5.33 Standart elektrotların uç şekilleri (Anık, 1983)

Uç biçimi düz elektrodlar, özellikle yüzeyleri düz ve temiz çelik saclar ile Fe-olmayan metaller için uygun olmaktadır.

İyi iletken metaller ve alaşımlarının kaynağında, örnek olarak Al ve pirinç gibi, küresel uç biçimli elektrodlar kullanılmaktadır.

Konik uç biçimli elektrodlar ise, okside olmuş ve yüzeyleri kavlanmış sacların kaynağında, işlemi kolaylaştırmaktadır.

Kaynak süreci içinde, elektrodların uç biçimlerini, şekil değiştirmeden koruması gerekmektedir. Yetersiz veya hatalı soğutma, elektrodların yüksek sıcaklıklara kadar tavlanmasına neden olabilmektedir. Bu durumda elektrod kuvvetinin de etkisiyle, uç biçiminin yassılaşıma süresi kısalmaktadır. Nokta kaynağında kullanılan elektrodlardan şu özellikler beklenmektedir.

- Yüksek elektrik ve termik iletkenlik
- Yüksek mekanik dayanım, yüksek sıcaklıkta sertlik
- Kaynak noktasında yapışma eğiliminin olmaması
- Kaynak amacına uygun bir uç biçimi ve bu kısmın mutlak soğutulma emniyeti (Gültekin, 1991)

g) Yüzey Durumunun Etkisi

Kaynak yapılacak iş parçalarının yüzey durumu, Şekil 5.30'daki, 2, 4 ve 6 temas dirençleri yoluyla ısı üretimini etkilemektedir. Eğer yüzeyler temiz ise, üniform neticeler elde edilmektedir. Yüzey üzerinde oksit veya pul ihtiva eden herhangi bir malzeme, değişken ve önceden bilinmeyen sonuçlar meydana getirmektedir. İş parçasının yüzeyindeki pullar, aynı zamanda elektrot yüzeyine de yerleşmekte ve elektrodun bozulmasını kolaylaştırmaktadır (Anık, 1983).

h) Metal Bileşiminin Etkisi

Bir metalin özgül elektrik direnci, ısı formülündeki R değerinin şiddetini ve sonuçta verilen bir akım için sıcaklığı da etkilemektedir. Gümüş ve bakır gibi yüksek iletkenliğe sahip metaller de, yüksek akım yoğunluğunda bile çok az ısı meydana getirmektedir. Bu metallerin ısı iletkenliği de yüksek olduğundan, üretilen az miktardaki ısı, hızla iş parçasına ve elektrotlara doğru iletilmektedir.

Metallerin bileşimi aşağıdaki özelliklerini etkilemektedir:

- Özgül ısı
- Ergime noktası
- Gizli ergime ısı
- Isıl iletkenlik
- Yoğunluk

Sonuçta bileşim, belirli bir metal hacmini ergime noktasına getirmek için verilmesi gerekli toplam ısı miktarını etkilemektedir. Mevcut ticari birçok metalin birim kütlelerini ergitme sıcaklığına yükseltmek için gerekli ısı miktarı yaklaşık olarak aynı olmaktadır. Örneğin, alüminyum ve paslanmaz çelik gibi oldukça farklı nokta kaynağı karakteristiklerine sahip iki metali ergime sıcaklıklarına getirmek için birim kütleleri başına aynı miktarda ısı gerekmektedir. Bununla birlikte, alüminyumun ısıl iletkenliği, paslanmaz çeliğe göre on kat daha büyük olduğundan ısı formülünde alüminyum için gerekli kaynak akımı, paslanmaz için

gerekli olandan oldukça büyük olmaktadır.

Metalin bileşimi aynı zamanda yumuşama ve ergime noktaları arasındaki sıcaklık bölgesini de etkilemektedir. Çeliklerin bu sıcaklık bölgesi oldukça geniş olmaktadır. Bu sebeple, verilen iki çelik levha, akım, zaman ve basıncın geniş bir bölgesi içinde kaynak yapılabileceğinden, çeliğin kaynağı için şartlar kritik olmamaktadır. Alüminyum ise çok dar bir plastik alana sahip bulunmaktadır ve iyi sonuç elde etmek için kaynak değişkenleri iyi bir şekilde kontrol edilmelidir (Amk, 1983).

i) Isıl Denge

Eğer eşit bileşimde ve kalınlıkta iki levha, eşit kütle ve şekle sahip elektrotlarla kaynak edilirse, ısı her iki parçada da üniform olarak üretilecek ve kaynak kesiti tipik oval biçimde olacaktır. Bu şartlar mevcutsa, ısıl denge de mevcut bulunmaktadır. Bununla birlikte, levhalardan biri diğerinden daha yüksek elektriksel dirençle sahipse, ısı, bu levhada, diğerine göre çok daha hızlı şekilde üretilecektir. Bu durumda ısıl denge mevcut bulunmamaktadır. Paslanmaz çelik ve ortak karbonlu çelik gibi, farklı iki metal kaynak edildiğinde, ısıl denge, ya yüksek dirençli paslanmaz çelik tarafındaki elektrot temas alanını artırarak, veya düşük dirençli karbonlu çelik tarafında, daha yüksek dirençli elektrot kullanarak sağlanmaktadır.

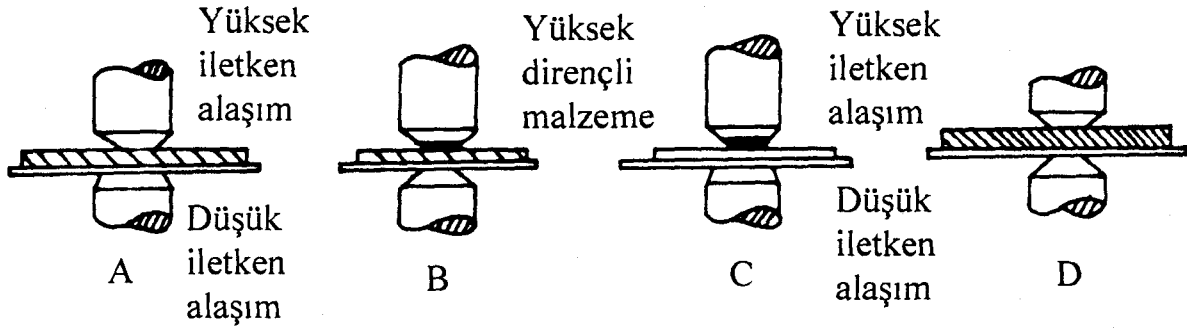
Genel olarak aynı düşünceler aynı malzemedeki üretilmiş, fakat farklı kalınlığa sahip iş parçalarının kaynağı için de geçerli olmaktadır. Farklı kalınlıktaki metallerin kaynağında, yüksek kalınlık oranlarında, soğutulmuş elektrodun ince parça tarafından ara yüzeye daha yakın olması nedeniyle, ara yüzeyde yetersiz ısı üretimine doğru eğilim olmaktadır. Uygun ısıl denge, ince iş parçası tarafından daha küçük temas alanına sahip elektrot kullanarak daha yüksek akım yoğunluğu elde etmek ve kısa kaynak zamanı kullanarak gerçekleştirilmektedir.

Isıl dengeyi etkileyen faktörler esas olarak şunlardan oluşmaktadır:

- Kaynak edilecek malzemelerin görece ısıl ve elektriksel iletkenlikleri
- Kaynak edilecek parçaların görece geometrileri
- Elektrotların ısıl ve elektriksel iletkenlikleri
- Elektrotların geometrisi

Şekil 5.34'de, farklı metallerin nokta kaynağında ısıl dengeyi sağlamak için uygulanan usuller belirtilmiştir. Şekil 5.34 A'da daha önce açıklandığı gibi, yüksek iletkenliğe sahip alaşım tarafına daha küçük temas yüzeyine sahip elektrot konularak bu taraftaki akım yoğunluğu artırılmış ve her iki parçada da eşit derecede ergime sağlanmıştır. Şekil 5.34 B'de yine aynı

malzemelerde bir başka usul kullanılarak ısıl denge sağlanması gösterilmiştir. Burada yüksek iletkenlikteki malzeme ile temasta olan elektrodun temas yüzeyi, molibden ve tungsten gibi yüksek ısıl dirence sahip malzemeden yapılmıştır. Şekil 5.34 C'de, her iki usulün birarada uygulanışı gösterilmektedir. Şekil 5.34 D'de ise yüksek iletkenliği dengelemek için malzemenin kalınlığını artırarak gerçekleştirilen usul görülmektedir (Anık, 1983).



Şekil 5.34 Farklı metallerin nokta kaynağında ısıl dengeyi sağlamak için uygulanan usuller (Anık, 1983)

j) Isı Kaybı

Kaynak işleminde ısı kaybı, akımın ilk uygulandığı andan, kaynağın oda sıcaklığına soğumasına kadar geçen zaman aralığında değişen hızlarla devam etmektedir. Isı kaybı iki aşamada etüd edilmelidir:

- Akımın uygulanma zamanı sırasındaki ısı kaybı
- Akımın kesilmesinden sonraki ısı kaybı

Birinci safhadaki ısı kaybının derecesi, aşağıdaki faktörlere bağlı olmaktadır:

- Metalin bileşimi
- Parçaların kütlesi
- Kaynak süresi
- Dış soğutma vasıtası

Bunlardan iş parçasının bileşimi ve kontrol edilememektedir fakat dış soğutma vasıtası kontrol edilebilmektedir.

Verilen bir akım şiddeti için, üretilen ısı, elektrik iletkenliği ile ters orantılı olmaktadır. Isıl iletkenlik, bu ısının kaynak bölgesinden kaybolma veya iletilme hızını belirlemektedir. Bu iki faktör metallerde aynı yönde paralel olarak gitmektedir. Örneğin, bakır gibi yüksek iletken bir

metalde üretilen düşük miktardaki ısı, yüksek bir hızla çevre metale ve elektrotlara doğru kaybolmaktadır.

Eğer elektrotlar, akım kesildikten sonra iç parçaları ile temasta kalırsa, elektrot malzemesinin yüksek ısı iletimi sebebiyle, kaynak bölgesi hızla soğumaktadır.

Elektrotların etkili bir biçimde su ile soğutulması ısı kaybını hızlandırmaktadır. Kaynak bölgesinden iş parçalarına doğru soğuma hızı, uzun kaynak zamanı kullanılarak azaltılabilmektedir. Bu usul, çevre metale daha fazla ısı iletimine izin vermektedir ve çevre metalin sıcaklığını artırarak, kaynak bölgesiyle çevre metal arasındaki sıcaklık farkını azaltmaktadır. Sıcaklık farkı soğuma hızlarını kontrol etmede çok önemli olmaktadır. Genellikle uzun kaynak zamanının kullanıldığı kalın levhalarda soğuma hızı düşük, kısa kaynak zamanının kullanıldığı ince levhalarda soğuma hızı büyük olmaktadır.

Elektrotlar kaynak yerinden hemen kaldırılacak olursa, ısı, kaynak bölgesini saran metale ve atmosfere geçecektir. Bu durumda soğuma hızı bir miktar azalacaktır. İnce parçalar gözönüne alındığında, çarpılma sebebiyle bu sakıncalı olabilmektedir. Kalın parçalarda, mukavemet nedenleriyle, daha büyük olan kaynak bölgesinin, ergimiş halden itibaren soğumasına izin vermek için ek zaman gerekmektedir. Bu nedenle, ısının çoğunun çevre metal hacmine iletilmesine izin vermeksizin, elektrotları, kaynağın soğumasına izin verecek kadar yeterli bir süre, yerinde tutmak uygun olmaktadır.

Kaynağı her zaman soğutmak uygun olmayacaktır. Su almaya karşı hassas malzemeler ele alındığında, elektrotları, kaynak akımının kesilmesini takiben mümkün olduğu kadar çabuk kaldırmak gerekmektedir. Böylece ısının çevre metale yayılması gerçekleşmektedir ve dik soğuma gradyanı oluşmamaktadır (Anık, 1983).

6. KAYNAK ROBOTLARI

6.1 Nokta Kaynağındaki Robotlar

Robotların ana uygulama alanlarından biri otomotiv sektöründeki nokta kaynağı olmaktadır. Bunun nedeni basit bir proses olması değil; aksine bu, karmaşık bir proses olmaktadır. Bununla birlikte, bu uygulama, insanları yorucu ve güç işlerden uzak tutmaktadır. Bunun yanında otomotiv endüstrisi, bu uygulama alanını geliştirmek için robot imalatçıları ile işbirliği yapmıştır. Geleneksel olarak, büyük ve ağır araç gövdesi parçaları kenetleme takımları ile tutturulmakta ve operatörler tarafından puntalanmaktaydı.

1966'da, kaynak tabancalarını yönlendirmek ve robotun kontrolörüyle kaynak tabancasının kontrolünü birleştirmek amacıyla robotun kullanımı için ilk adımlar atılmıştır. 1969'da Amerika Birleşik Devletleri'ndeki General Motors firması, otomobil gövdesi nokta kaynak hattı için 26 Unimate robot kurmuştur. Daha sonra 1970'de Avrupa'da Daimler-Benz, gövde yan panellerinin nokta kaynağı için Unimate robotlar kullanmıştır. Bu tarihten itibaren robotik nokta kaynağı uygulamaları büyük bir ivme kazanmıştır ve 1982'nin sonunda Japonya'daki tüm robot uygulamalarının yaklaşık %25'ini ve A.B.D.'deki tüm robot uygulamalarının ise %30'undan fazlasını oluşturmuştur.

Nokta kaynak robotları ile sıklıkla üç vardiya olarak çalışmaktadır ve saatte 80 hatta bazen de 150'nin üzerinde otomobil kaynaklamaktadır. Hız, tamlık ve güvenilirliğinden dolayı tüm büyük otomobil imalatçıları nokta kaynağı için robot kullanmakta olup bu robotların erişebileceği tekrarlanabilirlik ve tutarlı konumsal tamlık, manuel operasyondakinden çok daha kaliteli ürün eldesine olanak tanımaktadır (Nof, 1985).

6.1.1 Nokta Kaynak Operasyonu

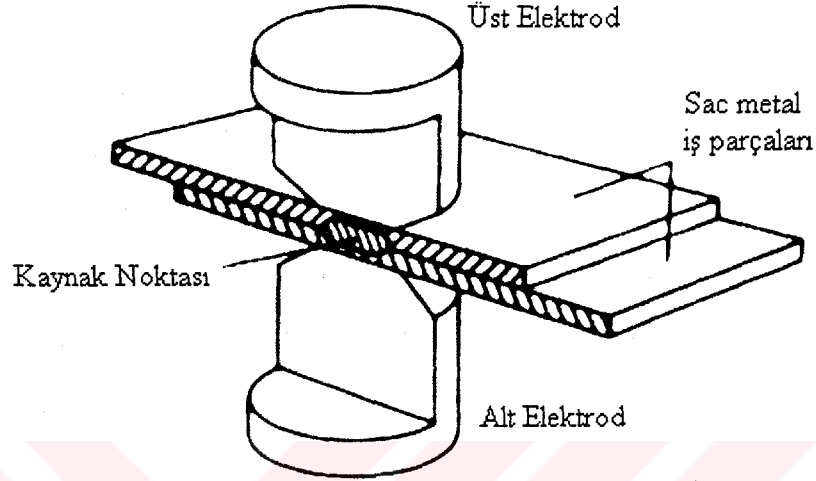
Kaynak, metallerin genellikle ergitilerek birleştirildiği bir işlem olmaktadır. Bu özelliği ile, metalleri adezyon kuvvetiyle birleştiren sert ve yumuşak lehimlemeden ayrılmaktadır. Nokta kaynağında, sac metaller, noktasal kaynaklarla birleştirilmektedir.

Başarılı bir nokta kaynağı için aşağıdaki üç faktörün seçimi büyük önem taşımaktadır:

- Elektrodlar arasındaki basınç
- Akım şiddeti
- Kaynak süresi

Birleştirilen yüzeyler üzerinde elektrodlar tarafından uygulanan kuvvet, kaynak edilen

malzemenin bölgesel direncini kontrol etmektedir. Çok fazla basınçla hava boşluğu en aza indirilmekte, direnç azaltılmakta ve ergimenin sağlanması için de yüksek akım şiddeti gerekmektedir. Yetersiz basınçla ise direnç daha fazla olmaktadır ve aşırı ısı yüzünden nokta yanabilmektedir. Bu yüzden, iş parçalarının malzemelerine ve kalınlıklarına bağlı olarak bu üç faktör arasında optimal bir ilişki mevcut bulunmaktadır.



Şekil 6.1 Direnç nokta kaynağında elektrodların ve iş parçalarının düzenlenmesi (Nof, 1985)

6.1.1.1 Kaynak Sırası

Tipik nokta kaynak sırası şu dört adımdan oluşmaktadır.

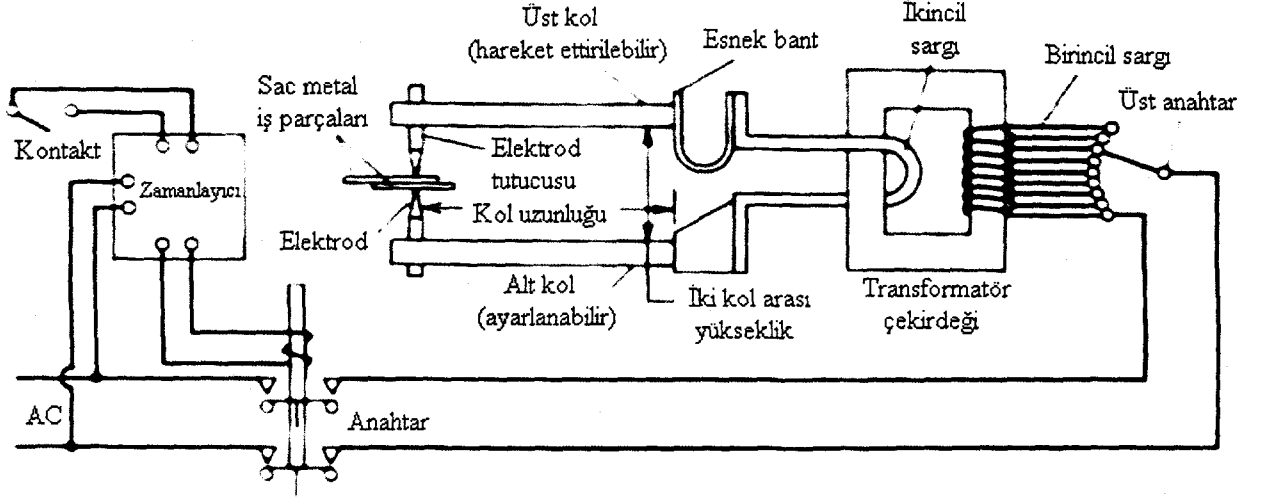
ADIM 1: Sıkıştırma – iki yüzeyin elektrodlar arasında tutulması

ADIM 2 : Kaynak – gerekli süre boyunca kaynak akımının uygulanması; nokta (çekirdek) bölgesinde ısı oluşturulmaktadır.

ADIM 3 : Tutma – kaynak çekirdeğinin soğutulması için gerekli süre boyunca elektrodlar kapalı tutulmakta; elektrodların soğutulması için genellikle devir daim yapan su kullanılmaktadır.

ADIM 4 : Serbest bırakma – elektrodlar serbest bırakılıp, başlangıç konumuna dönmektedirler.

Bu sırayı doğru ve tekrarlı şekilde izleyebilmesi için, nokta kaynak makinasının otomatik kontrollü olması gerekmekte ve değişik kaynak şartları için de kontrol, ayarlanabilir olmalıdır. Nokta kaynak makinasının elektriksel bileşenleri Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Nokta kaynak takımının elektriksel bileşenleri (Nof, 1985)

Nokta kaynağı için en uygun malzemeler demir esaslı malzemeler olmaktadır. Bunlar elektriksel olarak iletken ve çok büyük akımlar uygulanmasını gerektiren düşük dirence (alüminyum ve bakırınki gibi) sahip bulunmamaktadırlar. En sık kullanılan iş parçaları soğuk haddelenmiş düşük karbonlu çelikten yapılmış malzemelerdir fakat yüksek mukavemetli çelik ve galvanizli malzemeler de yaygın bulunmaktadır. Kalınlıklar 0.6 mm ila 1.0 mm arasındadır. Parçalar genellikle kaynak işlemini kolaylaştıracak şekilde basılmakta ve kesilmektedirler. Bundan dolayı, nokta kaynağı için en tipik uygulama alanları, otomobil gövdelerinin, ev aletlerinin, sac metal mobilyaların ve diğer sac metal parçaların imali olmaktadır (Nof, 1985).

6.1.2 Robotik Nokta Kaynakçısının Yapısı

Nokta kaynak robotu üç ana kısımdan oluşmaktadır:

- Robotun gövde, kol ve bileğini oluşturan mekanik montaj.
- Genellikle bir kaynak tabancası olan kaynak takımı
- Kontrol ünitesi

6.1.1.2 Mekanik Montaj

Mekanik montaj şu fonksiyonlara sahip mafsallı mekanik yapıdır:

- Robotun operasyonel ucunu (taşıdığı takım), çalışma hacmi içindeki herhangi bir noktada konumlamak

- Uygun işi gerçekleştirebilmesi için bu takımın, herhangi bir yönde oryantasyonunu gerçekleştirmek

Performans Kriterleri

Bir uygulamada kullanılacak birçok robot arasında seçim yapmak gerektiğinde mekanik performanslarını karşılaştırmak gereklidir. Mekanik performansı etkileyen faktörler şunlardır:

- Serbestlik derecesi veya eksenlerin sayısı.
- Her eksen boyunca maksimum strok ve hareketin hacmi
- Ulaşılabilen maksimum hız
- Uygulama noktası ve ağırlık merkezi arasındaki verilen bir mesafe için maksimum hızdaki izin verilebilir maksimum yük miktarı
- İşletme noktasının (kaynak tabancası elektrodları) yer değiştirmesi tarafından oluşturulabilen kullanılabilir hacim.
- Konuımlama tamlığı
- Tekrarlanabilirlik

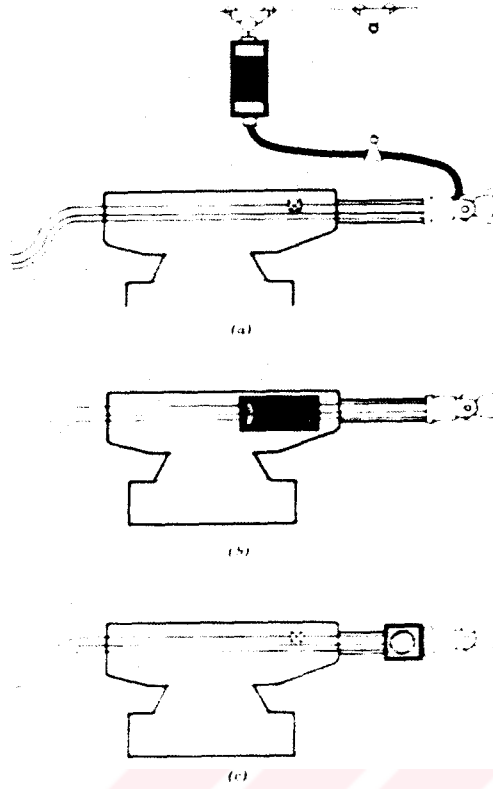
6.1.1.3 Kaynak Takımı

Kaynak takımı, transformatör, ikincil devre ve basınç elemanından oluşan direnç kaynak tabancası olmaktadır.

Nokta kaynak dağıtım hatları düz ve erişim problemine neden olmadığında, ulaşılabilir nokta kaynak miktarı dakikada 60 adet olmaktadır. Bu oranda 1mm kalınlığa sahip iki sac metalin kaynak edilmesi için 10 kA'lık 10 döngülü darbeli akım gerekmektedir. Elektrodlar tarafından uygulanması gereken kaynak kuvveti yaklaşık 3000-3500 N olmalıdır. Kaynak transformatörünün ve ikincil gerilimin güç oranı, ikincil devrenin empedansına bağlı olacaktır.

Erişilebilirlik problemleri ile bu elektriksel şartlar şu transformatör yerleştirme konfigürasyonları ile gerçekleştirilebilir (Şekil 6.3)

- Raya monteli transformatörler
- Robota monteli transformatörler
- Dahili transformatörler



Şekil 6.3 Robotlara direnç nokta kaynak ekipmanının adapte edilmesinin üç farklı metodu (a.İkincil kablolu asılı transformatör, b. Kısa ikincil kablolu robota monteli transformatör, c.Kaynak tabancasına entegre transformatör) (Nof, 1985)

a) Raya Monteli Kaynak Tabanaları

Kaynak transformatörü robotun üstünde asılı bulunmaktadır ve robot hareketlerini takip edebilmesi için bir ray üzerinde hareket etmektedir. Kaynak tabancasını transformatöre bağlayan kablolar yer değiştirmeleri ve bileğin dönüş hareketlerini absorbe edecek seviyededir ve genellikle ağırlığı dengeleyen bir denge aygıtı tarafından taşınmaktadır. Robotun hareketleri, özellikle bilek dönüşleri kaynak tabancası üzerinde önlenemez çekme ve burulma gerilmeleri meydana getirmektedir. Bu gerilmeler robot bileğine iletilmektedir. Bunun yanında, kaynak esnasında, 10 kA'lık kaynak akımının sürekli uygulanması, kaynak tabancası ve bilek mekanizmasına iletilen yoğun elektrodinamik gerilmeler oluşturmaktadır.

b) Robota Monteli Transformatörler

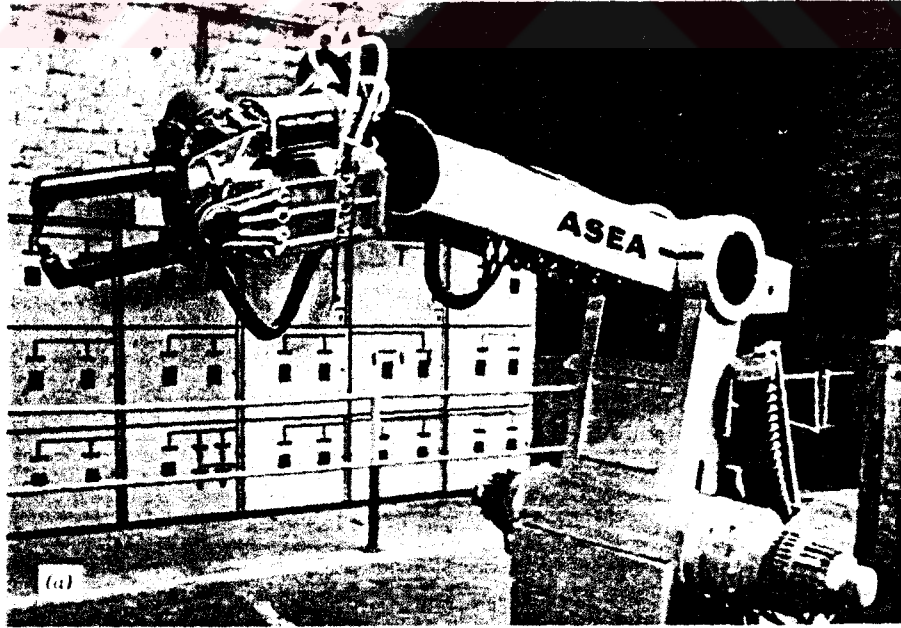
Önceki konfigürasyon geliştirilerek kaynak transformatörü robota, kaynak tabancasına en yakın konuma monte edilmiştir. Robotun tasarımının bu yaklaşımla uyumlu olması gerekmektedir; bunun için genellikle Kartezyen koordinatlı robotlar kullanılmaktadır ve kutupsal ile küresel koordinatlı robotlar da bu iş için kullanılabilirlerdir.

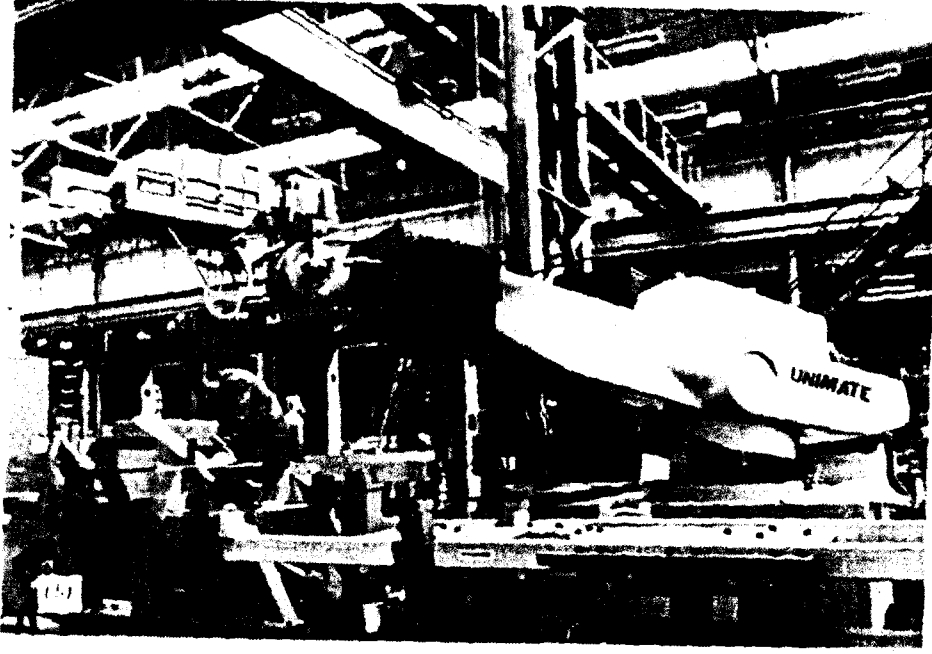
Transformatörün robot koluna monte edilebildiği durumda ikincil kablo uzunluğu önemli ölçüde azaltılmış olmaktadır. Rijit iletkenler aracılığıyla transformatör ikincil çıkışlarını bileğe yakın bağlamak da mümkündür. Böyle bir transformatör ağır olmaktadır ve aşırı yük, robotun hızının azaltılmasını gerektirmektedir.

Eklemlili kollu bazı kutupsal koordinat robotlarda transformatör, kaynak tabancasının ağırlığını dengelemek için kullanılabilir. Ayrıca transformatörün robot kolunun içinde bulunduğu ve ikincil kablonun içeride yer aldığı bazı robot tasarımları da mevcut bulunmaktadır.

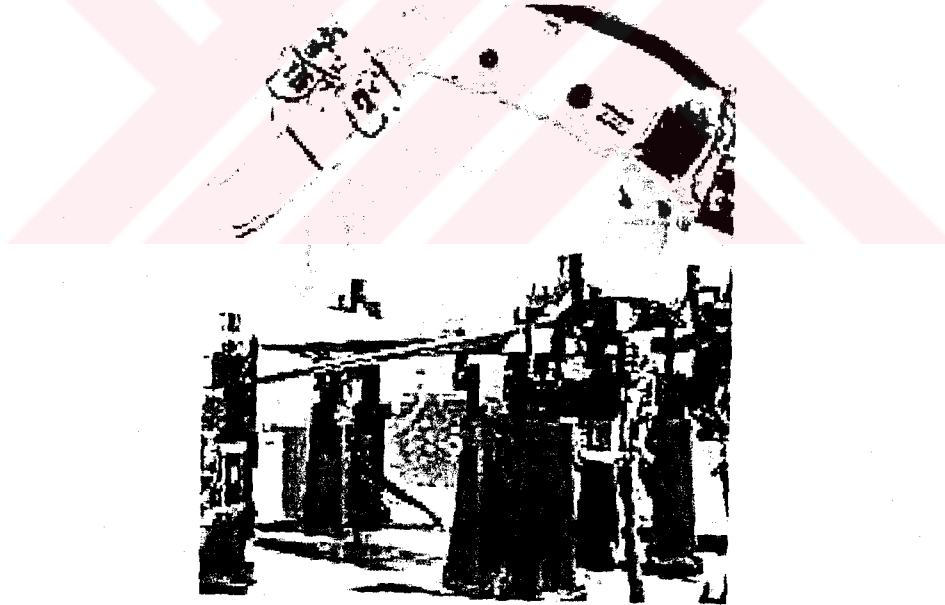
c) Dahili Transformatörlü Kaynak Tabancaları

Tüm durumlarda uygulanmayan etkin bir çözüm, robotlar için özel olarak tasarlanan dahili transformatörden oluşan kaynak tabancasını kullanmaktır. Esas avantaj, ağır ikincil kabloların ortadan kaldırılması ve bunların yerine daha küçük kesit alanına sahip birincil kablolarla değiştirilmesidir. Tabancanın boşluğuyla sınırlandırıldığından ikincil empedans çok daha düşük olmaktadır ve transformatörün boyutları oldukça küçültülmüştür. Örneğin, 30 kVA'lık transformatör 325x135x125 mm'lik boyutlara sahiptir ve 18 kg'lık kütleyle sahiptir. Kaynak tabancasına tam olarak entegre olan transformatör direkt olarak bileğin aktif yüzüne eklenmiştir böylece ağırlık merkezi bu yüze mümkün olduğu kadar yakın olarak, eylemsizlik momentini minimize etmektedir. Bu tip tabancalar Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te gösterilmektedir.





Şekil 6.4 Entegre transformatörlü 3.5 kN 33 kVA'lık modüler kaynak tabancaları. Kendi kendini dengeleyici ikincil devrelere ve parça geometrisine adaptasyon için her ikisi de dört farklı tutturma yüzeyine sahiptir. (a. Makas tipi tabanca b. C-tipi tabanca) (Nof, 1985)



Şekil 6.5 Entegre transformatörlü nokta kaynak robotu ve iş parçası fikstürü [4]

Bu sistemin iki dezavantajı mevcut bulunmaktadır:

- Kaynak tabancası daha hacimlidir. Bu, erişimin güç olduğu yerlerde gerçekleştirilen kaynaklarda penetrasyon güçlüklerine neden olabilmektedir.

- Transformatör nedeniyle kaynak tabancasının ağırlığı iki katına çıkmaktadır. 40 N'luk ağırlık kabul edilebilirdir; 50 kg'dan fazla ağırlıklar birçok robot için problem oluşturabilecektir.

Statik yükten ziyade robot bileğinin aktif yüzünde meydana gelen gerilim aşırı olabilmektedir. Aslında, nokta kaynak robotları en az 120 Nm'lik torka izin vermelidir. Bu, ağırlık merkezi, robotun bilek ekseninden 240 mm mesafede bulunan 50 kg'lık kaynak tabancasına karşılık gelmektedir.

6.1.2.3 Kontrol Sistemi

Nokta kaynak robotunun kontrol ünitesi üç zorunlu görevi gerçekleştirmektedir.

- Aktüatör kontrolü
- Programlama
- Proses kontrolü

Aktüatör kontrolü ve parça programlama, çoğu robotik kurulum için ortak özelliklerdir; spesifik proses kontrolüne bir ek olmaktadır. Hazırlıklar normal olarak, malzeme satın alma, stok kontrolü ve müşteri istekleriyle koordineli olan üst seviye bilgisayar kontrolünden gelen müdahale ile esnekliği sağlamak için, kontrol sisteminde gerçekleştirilmektedir.

Direnç kaynağındaki proses kontrolü, AC faz-değiştirme kontrolörünü ve kaynak süresinin periyod sayısının sayılmasını içermektedir. Buna geleneksel kaynak kontrol zamanlayıcısı aracılığıyla ulaşılabilmektedir; fakat daha etkin (ve esnek) bir metod, robot konumlaması ve adaptif parametre bilgisini içeren merkezi kontrole, proses kontrolünü entegre etmektedir. Robot eksenleri durağan olduğunda kaynak prosesi gerçekleştiğinden, bu sistem, gerçek-zamanlı kontrol sistemini etkin şekilde kullanmaktadır. Tüm kontrol sistemlerinin birleştirilmesi, robot kontrolörleri, programlanabilir mantıksal kontrolörler, kaynak zamanlayıcıları ve iletişim bağlantılarından oluşan sistemlerdeki birbirine bağlılığın çoğalmasını (proliferation) ortadan kaldırmaktadır. Arayüzleme büyük ölçüde basitleştirilmiştir.

Nokta kaynakları, dinamik direnç metoduyla elektriksel olarak izlenebilmektedir. Buradan elde edilen veri, iki gerekli amaca hizmet etmektedir. Birincisi, eğer kaynağın yetersiz penetrasyona sahip olduğu belirlenirse, kaynak hattından daha ileride bulunan robotlar hatalı nokta etrafına ilave puntalar atacaktırlar ve merkezi kontrol, personeli, kaynak tabancasının muhtemel bozulması veya uygun olmayan parametre seçimi ihtimaline karşı uyaracaktır.

İkincisi, elektrodların birbirine yapışmasına ve robot kafasının hareket edememesine neden olan yeterli sıçrama (splash) varsa dinamik direnç izleme bunu ortaya çıkartacaktır. Eksen kontrolörlerinin kaynak tabancasını, bir sonraki kaynak pozisyonuna indekslemesine engel olmak için eş zamanlı olarak kaynak tabancası ikincil devresinin açma ve kapama konumları izlenmektedir. Ani müdahale gerekli olmaktadır.

Kaynak prosesi kontrolü ve eksen kontrolünün merkezileştirilmesi, adaptif parametre kontrolü için gerekli olmaktadır. Hat boyunca çeşitli modeller geldiğinden, çeşitli ısı dağıtma kapasitelerine sahip olan değişik kaynak dağıtımları ve değişik sac metal kalınlıklarıyla karşılaşmaktadır. Buna uyum sağlayacak şekilde kaynak parametreleri programlanmalıdır.

Tüm hattın mantık kontrolünün, kaynak kontrolüyle birleştirilmesi, kaynak tabancalarının güç kaynağı bağlantılarının yapılmasına izin vermektedir. Bazı durumlarda, güç kaynağı bağlantıları, hat boyunca güç dağıtım sisteminde önemli tasarruflar sağlamaktadır. Diğer örneklerde, ağ (network), her kaynak tabancasına gerekli akımı iletebilme yeteneğine sahip olduğundan daha kaliteli kaynaklar gerçekleştirilmektedir.

Birçok robotun olduğu durumlarda bilgisayar destekli bakım şart olmaktadır. Elektrod aşınması ve değişimi yaygın bir problem teşkil etmektedir. Kullanımla birlikte elektrodlar düzleştiğinden, nokta kaynağında sabit akım yoğunluğu elde etmek için akım, kademeli olarak artırılabilir. Böylece elektrod ömrü uzatılmış olmaktadır; kontrol sistemi, bakım personeline hangi elektrodların değiştirilmesi gerektiğine ait bilgiyi vermektedir. Muhtemel mekanik aşınma durumunu bildirmek için eksen yer değiştirme zamanları izlenmekte ve önceden belirlenmiş değerlerle karşılaştırılmaktadır (Nof, 1985).

6.1.3 Robotik Nokta Kaynak Hatlarının Planlanması

İmalatçının spesifik imalat ihtiyaçlarını karşılayan robotik montaj nokta kaynak hattının planlanması, önerilen çözümü optimize etmek için detaylı inceleme gerektirmektedir.

İmal edilecek ürünün tasarım verileri, tesis gereksinimlerinin belirlenmesi için biraraya getirilmektedir. Bu veriler şunlar olmaktadır:

- Birleştirilecek parçalar
- Bu parçaların geometrik uygunluğu (conformation) ve buna karşılık gerekli istasyon sayısı.
- Nokta kaynaklarının dağıtımı ve bu kaynakların yapılması için gerekli robot sayısı
- İmalat oranı ve bu imalat gereksinimlerini karşılamak için gerekli hat sayısı

- İstenen esneklik derecesi

Tasarımın bitirilmesi için ilave bilgiler gerekmektedir:

- Montajın konumlanması ve transferiyle ilgili temel prensipler
- Robotun ve robotun ekipmanının son seçimi ve bunun kurulumu
- Çevre ve mevcut boş alan

Hattın son tasarımı bu kararlara bağıdır ve politik, sosyal ve ekonomik durumlardan fazlaca etkilenmektedir. Normal olarak, birçok tasarım sunulmuştur; final seçimi, teknoloji ve onun maliyeti arasındaki optimum noktayı yakalamalıdır (Nof, 1985).

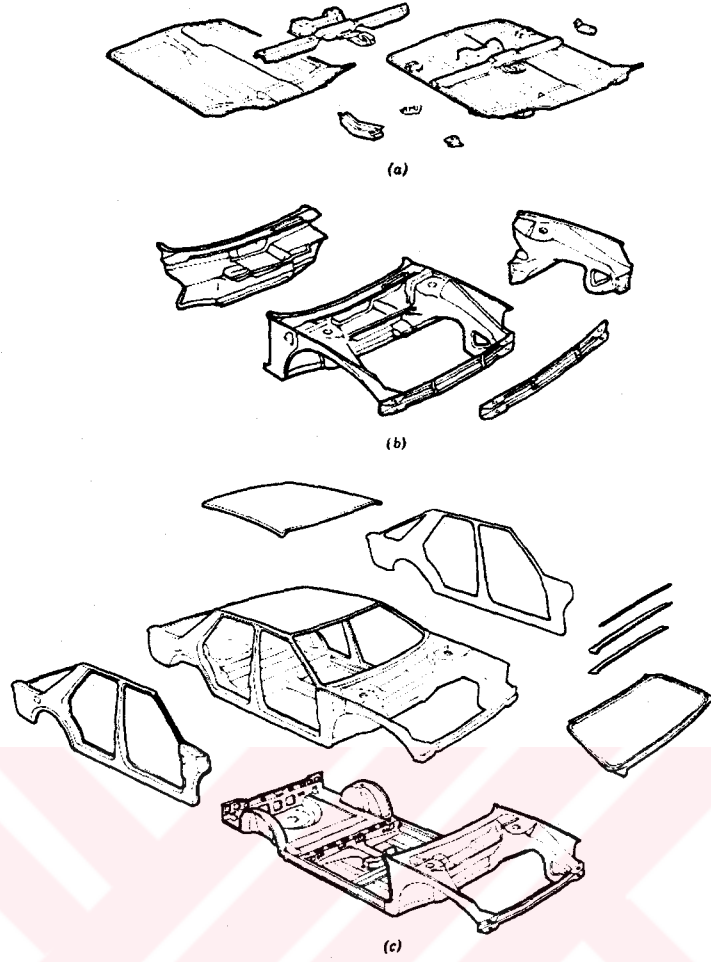
6.1.1.4 Birleştirilecek Parçalar

Projede atılması gereken ilk adım, birleştirilecek parçaların sınıflandırılması amacıyla ayrıntılı çalışma yapmaktır. Operasyonel prosedür bu sınıflandırmayla belirlenmektedir.

Otomotiv alanında bir ana parçaya kaynak edilen değişik çok sayıda takviye parçası bulunmaktadır. Böyle bir montaj Şekil 6.6'da gösterilmiştir: Tünel takviyeleri, emniyet kemeri kancaları ve kablo braketleri, preste basılmış panele kaynak edilmektedir. Bu tip montaj için, geniş yükleme ve küçük parça taşıma ekipmanı sağlanmalıdır. Bu tip konstrüksiyonun diğer bir örneği, kulak (lug), bilezik (spacer) ve rijidite çubuklu (stiffener) kablo eklentisine sahip süspansiyon kolu olmaktadır.

İkinci sınıflandırma, aynı boyuta sahip birçok parçanın birleştirilmesidir. Bu sınıflandırma, ön kısım ve radyatör traverslerinden meydana gelen ön gövde montajı ve lonjeron (longeron) ile traverslerden oluşan arka kısım iskeletinden meydana gelmektedir.

Üçüncü sınıflandırmada yaklaşık aynı geometrili alt montajların mekanik olarak birbirine bağlanmasıyla elde edilmektedir. Buna örnek alt gövde, gövde kenarları ve çatıdan oluşan yapı olmaktadır.



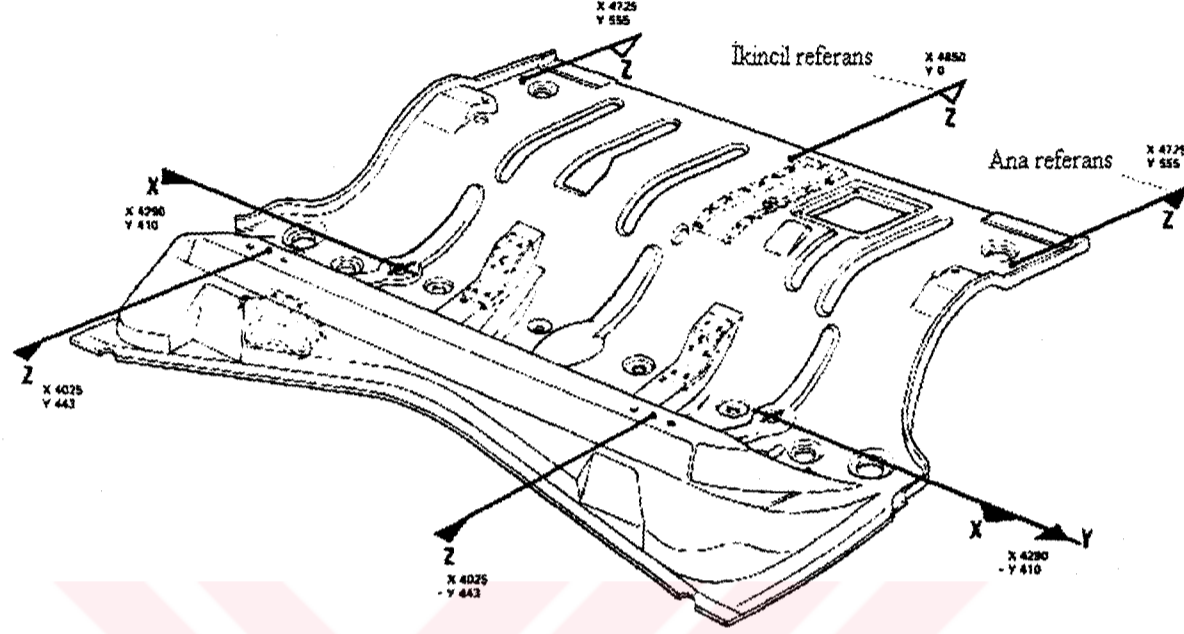
Şekil 6.6 Otomobil sac metal montajlarının örnekleri (a. Taban paneline eklenen rijidite çubukları ve aksesuarları b. Ön-uç kompozisyon c. Alt gövde, gövdenin yan kısımları ve çatı) (Nof, 1985)

6.1.1.5 Geometrik Uygunluk

Geometrik referanslar, parça veya alt montajın teorik X,Y,Z yönlerindeki teorik konumunu tanımlayan belirli bölgelerdir. Bundan dolayı, alt montaj komponent elemanlarının referansları ile uyumluluk, bitmiş montajın geometrisini garanti etmektedir. Bundan ötürü referans konumlama, montajın zorunlu bir fonksiyonu olmaktadır Geometrinin doğal bir eleman olduğu birleşik montajlar (düzen ve ön punta kaynağı ile elde edilen montaj veya alt montajlar) dışında, herhangi bir kaynaklı montajdan önce parça referans belirleme fonksiyonunun detaylı bir analizini gerçekleştirmek zorunludur. Bu türün geometrik tasarımı, kullanıcıyla beraber yürütülmelidir; ya kullanıcı, referansları ve bunların konumlarını belirlemeli veya kullanıcının onayıyla montaj hattı imalatçısı bunları belirleyip uygulamalıdır.

Ana referanslar, preste basmadaki imalat prosesi aracılığıyla elde edilmelidir. İkincil

referanslar ise sadece ünite monte edilirken kullanılanlardır. Şekil 6.7, alt panel ve bunun referanslarını göstermektedir. Her montaj için referanslar mekanik elemanlar (sabit veya hareketli referans pimleri, konumlayıcılar ve klempler) aracılığıyla elde edilmektedir.



Şekil 6.7 Taban paneli için ana ve ikincil boyutsal toleranslar (Nof, 1985)

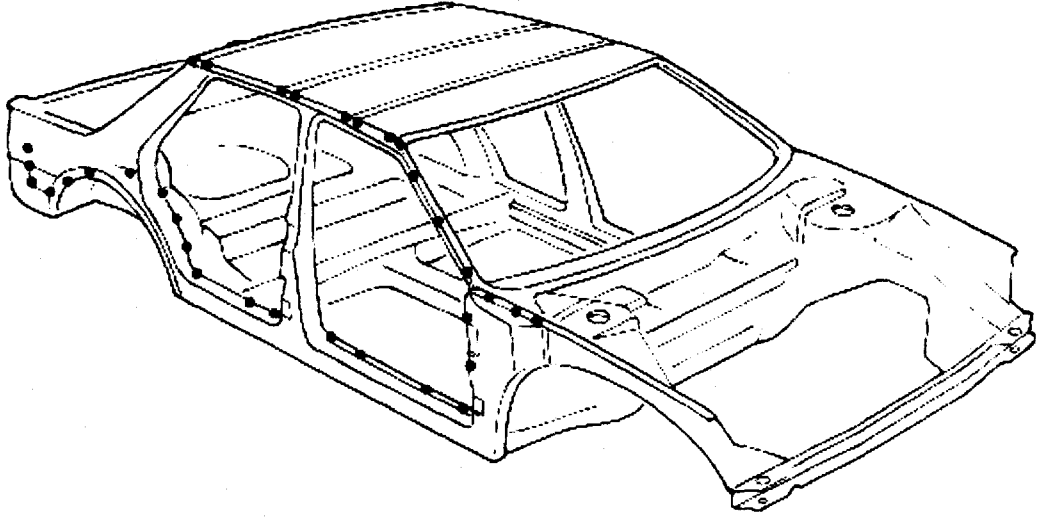
Eğer tüm montaj tek bir operasyonda tamamlanmıyorsa, referans tanımlamaları her safhada elde edilmelidir. Bu yüzden tanımlanan istasyon veya istasyonlar geometri uygunluğu olmaktadır. Bu referansların konumu, robotlar için kaynak alanlarına ulaşmayı güç kılmaktadır. Ana elemanın üzerine çok sayıda parçanın birleştirilmesi durumunda, ulaşım güç olabilmektedir (Nof, 1985).

6.1.1.6 Kaynak Dağıtımı

Genel olarak, nokta kaynağına ait miktar, konum ve mukavemet gibi parametreler ürün tasarımcısı tarafından belirlenmektedir. Bu veriler, araştırmalar, tasarım çalışmaları ve ürün planlama ile kompozisyon, şekil ve montaj için tasarım safhası boyunca gerçekleştirilen testlerden elde edilmektedir.

a) Punta Kaynak Noktalarının Seçimi

Geometrik uygunluk istasyonlarında, robot kaynak tabancasının referans elemanlarına göre konumlanması ve montaj geometrisi için gerekli punta sayısını ilgilendiren eş zamanlı tasarımlar yürütmek gerekli olmaktadır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 Gövde yan kısımları için tipik punta noktaları (Nof, 1985)

b) Operasyonel Prosedür

Birleştirme işleminin bitimine kadar kaynak tabancasının maksimum erişebilirliğine izin vermek için hat boyunca parçaların yükleme sırası dikkatlice planlanmalıdır.

c) Nokta Kaynak Gruplaması

Bu safhada, tek bir kaynak elemanı tarafından kaynak edilebilen nokta kaynaklarının gruplanmasının belirlenmesi gereklidir. Benzer şekilde, çeşitli kaynak gruplarının montajdaki konumlarının ve mevcut düzen elemanlarının fonksiyonu olarak kaynak için gerekli temel süreler için ilk bir yaklaşım gerçekleştirilmelidir.

d) Kaynak Tabancası Planlama Safhası

Devam eden çalışmalar temelinde, kaynaklar veya kaynak grupları için gerekli kaynak elemanlarının minimum sayısı ve konfigürasyonu oluşturulabilmektedir. Kaynak metodu veya montajın kendisi yüzünden belirli noktaların kaynak edilmesi fiziksel olarak imkansızsa, bu, çalışmanın bu safhasında açıklık kazanacaktır.

6.1.1.7 İmalat Hızı

İmalat prosedürü baz alındığında imalat hızı, montaj hattının tüm tasarım ve komponentlerini kabul ettirecektir. Otomotiv endüstrisindeki hatlar genellikle sürekli hareketlidir ve kesintisiz şekilde nokta kaynak operasyonunu gerçekleştirmek için robotun hatları izlemesi gerekmektedir.

a) Küresel Hat Kullanım Faktörü (Global Line Utilization Factor)

Bu faktör, hattın bir ucundan giren kaynak edilecek iş parçalarından, hattan çıkan bitmiş ürünlere kadar hatta giren tüm elemanların bir fonksiyonu olmaktadır. Bu faktör kaynak istasyonlarının tasarımına bağlı olmaktadır: Başarıyla birçok istasyon kurulmuşsa bu faktör azalmaktadır; ara tampon stoklar sağlandığında bu faktör artmaktadır.

b) Kaynak Zamanı

İlk olarak seçilen hat kullanım faktörünü hesaba katan talep edilen imalat oranı, parça başına döngü zamanına dönüşmektedir. Ürün taşıma ve düzen zamanı ortaya çıkarıldıktan sonra gerçek kaynak operasyonu için bir ön tahmin gerçekleştirilebilmektedir. Taşıma ve düzen zamanının minimize edilmesinin önemi vurgulanmalıdır.

c) Montaj Hattının Ön Planlaması

Kaynak zamanı, işletilecek montaj hattının tipinin seçimi için ön temel oluşturacaktır. Aslında, hesaplanan süre bariz şekilde yetersizse (minimum zaman periyodunda çok sayıda nokta kaynak edilecekse), ilk opsiyon aynı montaj için birkaç kaynak hattının paralellliğini içermektedir.

d) Minimum Robot Sayısı

Hızlanma ve yavaşlamalar hesaba katıldığında kaynak ve yer değiştirme zamanları, tek bir robot tarafından bir döngüde kaynak edilebilen nokta sayısının önceden planlanmasını mümkün kılmaktadır. Nokta kaynak gruplaması ve gerekli veya muhtemel kaynak tabancası tipleri hesaba katıldığında, montaj için teorik olarak gerekli minimum robot sayısını belirlemek mümkün olmaktadır (Nof, 1985).

6.1.1.8 Esneklik

Montaj hattının esnekliği, o hatta eş zamanlı olarak veya olmadan süreçlendirilen ya da süreçlendirilmesi gereken çeşitli ürünlerle ilgili olarak adapte edilebilirlik derecesi tarafından tanımlanmaktadır. Esneklik şu opsiyonlarla tanımlanmaktadır:

- Birkaç farklı ürün için takımın uygunluğu
- Adaptasyon kapasitesi ve diğer bir ürüne geçmek için gerekli zaman

a) Esneklik Dereceleri

Kullanıcı büyük yatırım giderleriyle sonuçlanan değişik serbestlik dereceleri talep

edebilmektedir.

İlk başta hat, bir tip ürünü süreçlendirmek için tasarlanabilmektedir. Bununla birlikte, hattın tüm tasarımı, imalatın sonunda kısmen veya tamamen yeniden takımlamayı ve orijinal ürünün ilgili tasarımın ürünüyle değiştirilmesini mümkün kılmaktadır.

İlk aşamada hat, bir parça tipi için ayarlanabilmektedir fakat tasarımı, uygun takımların adapte edilmesi veya eklenmesiyle birçok varyant sağlayabilmektedir. Bir alternatif ise, hattı, tek bir ürün bazlı modelin çeşitli varyasyonlarını üretecek şekilde tasarlamaktır.

Tamamen esnek bir hat, değişik ürün çeşitliliklerini, herhangi bir sırada ön ayarlamalar olmadan imal edecek şekilde tasarlanmaktadır. Şüphesiz, bu değişik ürünler birbirine benzer olmalı ve benzer imalat tekniklerini içermelidir.

b) Esnekliğin Değiştirilmesi

Bu tip esneklik, komponentlerinden (robot veya takım) birinin bozulması durumunda azaltılmış imalat hızıyla hattın devamlılığı ile tanımlanmaktadır. Hat yönetimi programlama, spesifik kaynak tabancası tipi ve robotun spesifik kapasitesi de hesaba katılarak arızalı robotun yapamadığı işi otomatik olarak, hat robotlarının kompanse etmesini sağlamaktadır (Nof, 1985).

6.1.1.9 Parça Konumlama ve İletim

a) Süreçlendirme Sırasında Parçanın Konumlanması

Alt paneller gibi büyük ölçekli montajlar normal veya araçta buldukları konumda taşınmalıdır. Yan gövdeler gibi alt montajlar, daha küçük parçaların yük sınırlamalarına ve kaynak noktalarının erişebilirliğine bağlı olarak birçok konumda taşınabilmektedirler. Geometrik uygunluk takımı hesaba katılmalıdır.

b) Parça İletimi

Bazı fabrikalarda, alt paneller kızaklar veya vagonlarda taşınmaktadır. Bu taşıma aygıtları son montaja kadar tüm imalat safhalarında kullanılmaktadır. Bu iletim üniteleri, iletim amaçlı da kullanılsalar boş da dursalar, montajın entegre bir parçasıdır. Yüksek imalat oranlarında parça taşıma için kızaklar kullanılamamaktadır fakat alternatif iletim şekilleri görevlendirildiğinde montaja bağlı şekilde kalmaktadırlar.

İki değişik alt montaj tipi geometrik uygunlukla süreçlendirilecekse veya alt montaj monte

edilmişse fakat geometrisi tüm hat boyunca sürdürüldüğünde taşıyıcılar (carriages) kullanılmaktadır.

Alt montajların hazırlanması için esnek fabrikalarda yaygın şekilde otomatik yönlendirilen sistemler kullanılmaktadır (Nof, 1985).

6.1.1.10 Çevre

a) Robotun Konumlanması

Montaj veya alt montajda kaynak noktalarının dağıtımı, fiziksel olarak mümkünse robotla ilgili olarak iş parçasının konumunu belirleyebilmektedir veya mümkün değilse robotun belli bir konuma kurulmasını gerekli kılmaktadır. Robot zemine, bir baz kısmına veya tavana monte edilebilmektedir. Birkaç hat birden idare edilecekse iki, üç hatta dört robotun bir gantry yapısı üzerine kurulması mümkün olmaktadır.

b) Fabrika Zemini

İş istasyonu çevresindeki alan bazen sınırlanmış olabilmektedir ve bu durumdaki genel düzen gantry robotların seçimini gerektirmektedir. Bu tip robot konfigürasyonu daha kompakt kurulumlara elverişli olmaktadır. Gantry robotlu transfer hattının tipik genişliği 4-5 m'dir. Yere monteli robotlara sahip aynı hat toplam 8-10 m'lik yer işgal etmiştir (Nof, 1985).

6.2 Ark Kaynağında Robotlar

Robotik ark kaynağı, toplam hacmin yatırımı garanti ettiği belirli şartlar altında yüksek, orta ve düşük hacimli imalat operasyonlarına uygulanabilmektedir. Günümüzde özellikle otomotiv sektöründe ve otomotiv yan sanayiinde ark kaynak robotlarının kullanımı hızlı bir şekilde artmıştır (Connor, 1991). Ark kaynağı uygulamalarında insan kaynak operatörleri yerine, robot kaynak operatörlerinin (kaynak robotları) kullanılmasının birçok nedeni bulunmaktadır. Bunlardan bazılarına aşağıda değinilmiştir:

- Ark kaynağındaki hoş olmayan ve tehlikeli ortamlardan (radyasyon, duman ve sıçrantılar) insan operatörler robotlar sayesinde uzak tutulmaktadır.
- Robotlar, sıklıkla konforsuz konumlarda hareket ettirilmesi gereken ağır kaynak tabancalarının taşınması görevini insanlardan almaktadır.
- Robotlar tutarlı şekilde, hassas (kesin) kaynak hareketleri gerçekleştirebilmektedirler (Nof, 1985).

Kaynak prosesinin tutarlı ve kaliteli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için, ark kaynak robotlarının bazı özellik ve yeteneklere sahip olması beklenmektedir. Bunlara aşağıda değinilmiştir.

6.2.1 Ark Kaynak Robotunun Sahip Olması Gereken Özellikler

6.2.1.1 Robot Özellikleri

Ark kaynağı için gerekli hareket hızları rölative olarak düşüktür ve kaynak tabancasının ağırlığı da fazla olmamaktadır. Genellikle ark kaynağı için elektrik tahrikli robotlar tercih edilmektedir. Su soğutma sistemli ağır kaynak tabancaları uygulandığında, hidrolik robot seçimi göz önüne alınabilmektedir (Nof, 1985).

Mafsallı (eklemlili-kol) robotlar, kaynaklar arasında alınan yolun büyük olduğu küçük parçaların ark kaynağı için tercih edilmektedir. Bu tip robotun kolu, hızlı hareket gerçekleştirme yeteneğine sahip olmaktadır. Bu robot tasarımı ayrıca, robotun bileğini konumlaması için parçanın içine veya etrafına ulaşan robotu gerektiren hareket ettirilemez montajlar için tercih edilmektedir. Çoğu diğer ark kaynağı uygulamaları için doğrusal robotlar tercih edilmektedir. Bunlar özellikle, kaynak operatörünün kaynak arkına yakın olmasını gerektiren uygulamalar için uygun olmaktadır. Doğrusal robotlar daha yavaş hareket etmektedirler ve eklemli robotlara göre çizdikleri yörünge daha kolay tatmin edilebilmektedir (Connor, 1991).

Doğrusal kaynak dışında, sürekli-yol kontrolü gerekli olmaktadır. Doğrusal olmayan kaynak hatlarının doğru şekilde kontrolünü basitleştirmek için interpolasyon gerekli olmaktadır (Nof, 1985).

6.2.1.2 Eksen Sayısı

Ark kaynak robotları genellikle beş veya altı eksene sahip bulunmaktadır ve bazıları yedi veya sekiz eksene de sahip olabilmektedirler. Senkronize çalışan iki kaynak robotunun bulunduğu komple robotik iş istasyonu, harici eksenlerle birlikte onbeş koordineli hareket eksenine sahip olabilmektedir.

Uzayda bir nesneyi konumlayıp oryante etmek için altı eksen gerekli olmaktadır. Bu eksenlerin en az üçü dönel olmalıdır. Diğerleri doğrusal olabilmektedir. Çoğu robot modelleri altı dönel ekleme sahiptirler.

Ergiyen elektrod kullanan ark kaynağı prosesleri, kaynak tabancası herhangi bir yönde kaynak

yapabildiğinde, bir tane dahili serbestlik derecesine sahip olmaktadır. Böylece beş eksenli robot, bu proseslerle kaynak tabancasını konumlayabilme sahip olmaktadır.

Çalışma hacimlerini büyötmek için robotlara ilave eksenler eklenebilmektedir.

Ark kaynağı, hem birleştirilecek montajın hem de kaynak torcunun manipölasyonunu içermektedir. Montajın manipöle edilmesi için gerekli eksenler, kaynak tabancasının manipöle edilmesi için gerekli olanlarla eşit olmaktadır. Eğer altıdan fazla serbestlik derecesi varsa uzaydaki bir noktaya birkaç yönden yaklaşılabilir. Bu esneklik ark kaynağında önemli olmaktadır çünkü yerçekimi ergimiş kaynak banyosunun davranışını etkilemektedir (Connor, 1991).

6.2.1.3 Tamlık ve Tekrarlanabilirlik

Robotun uzaydaki bir noktaya hangi kesinlikle yaklaştığına tamlık denmektedir. Tamlık, kontrol programlarının sayısal olarak geliştirildiği robotlarda gerekli olmaktadır. Bilgisayar veya sayısallaştırıcı (digitizer) tarafından oluşturulmuş olan programı, robotun yeniden üretebilme yeteneğinin bir ölçüsü olmaktadır. Programların “öğretildiği” robotların ise, diğerleri kadar tam olması gerekmemektedir çünkü bunların hareketleri, öğretilen noktaların hatırlanması ve bunların tekrar edilmesine bağlı olmaktadır.

Tekrarlanabilirlik, uzayda bir noktaya robotun tekrarlı şekilde gidebilme yeteneğine denilmektedir. Ark kaynak robotları tekrarlanabilirliğe sahip olmalıdır fakat eğer robota yörüngesi öğretiliyorsa, tamlık zorunlu olmamaktadır. Robotun tekrarlanabilirliği arttıkça müsaade edilebilir komponent toleransları da o kadar büyük olacaktır. Ark kaynağındaki toplam izin verilebilir çeşitlilik, robotun tekrarlanabilirliğinin, komponent parçaları çeşitliliklerinin ve parça konumlama ekipmanının tekrarlanabilirliğinin toplamı olmaktadır (Connor, 1991).

6.2.1.3 Proses Kontrolü

Endüstriyel robot, ark kaynak prosesini kontrol etme yeteneğine sahip olmalıdır. En azından, robot, koruyucu gazı açıp kapatabilmeli, kaynak sırasını başlatıp sonlandırabilmeli ve programlanmış kaynak şartlarını seçebilmelidir. Bazı robotlar mevcut değerleri seçerek kaynak prosesini kontrol etmektedirler. Diğer daha sofistike robotlar tel besleyici, güç kaynağı ve hızı doğrudan kontrol edebilmekte ve robot programının parçası olarak proses şartlarını oluşturabilmektedirler.

Sadece önceden belirlenmiş kaynak şartlarını seçebilen robotlar, kaynak ekipmanı imalatçısı, kullanıcı ve operatöre daha fazla sorumluluk yüklemektedirler. Bu tip robotlar çevresel ekipman maliyetlerini ve bunların arayüzlenme maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca kaynak prosesi değişkenleri, robot programından ayrı olarak programlanmalıdır. Dahili proses kontrol yeteneğine sahip robotlar genellikle daha fazla esneklik sağlamaktadırlar (Connor, 1991).

6.2.2 Robotik Ark Kaynak Hücresinin Elemanları

Bir ark kaynak robotu, optimum üretkenliği yakalamak için çevresel veya destekleyici ayalara ihtiyaç duyacaktır (Connor, 1991). Kople robotik kaynak sistemi, robot, kontroller ve iş parçaları için uygun tutucular ile kaynak ekipmanı, bir veya daha fazla uyumlu kaynak pozisyoneri ve uygun kaynak prosesi olmaktadır (Nof, 1985).

Robotik çalışma hücresinin temel elemanları Çizelge 6.1’de gösterilmiştir. Birçok varyasyon mevcut bulunmaktadır ve her aygıt, robot veya ana kontrolörden gelen komutlar uyarınca programındaki komutları çalıştıran kendi kontrolörüne sahip olmalıdır. Tüm robot istasyonları, Çizelge 6.1’deki komponentlerden bir veya birkaçı tarafından geliştirilebilmektedir. Bu komponentler robotun çabuk şekilde öğretilmesine, planlı ve plansız bakımlar için sürelerin minimize edilmesine yardımcı olacak ve operatör ile ekipman güvenliğini güvence altına alacaktır. Çizelge 6.2’de ayrıca etkin bir robot hücresi kullanımı için gerekli olmayan fakat hücrenin üretkenliğini artırabilen çeşitli özellik ve komponentlere de yer verilmiştir (Connor, 1991).

Çizelge 6.1 Robot Çalışma Hücresinin Elemanları (Connor, 1991)

Komponent	Fonksiyon
Ana kontrolör	Saklanan programa göre robot hareketlerini, kaynak proses fonksiyonlarını ve güvenlik interloklarını yönetmektedir. Pozisyoner hareketlerini, takımları, fikstürleri ve malzeme taşıma aygıtlarını da yönetebilmektedir (Birçok sistem için ana kontrolör robotun bir parçası olmaktadır).
Manipülâtör	Kontrolör tarafından yönlendirilen kaynak torcunu manipüle etmektedir.
Proses paketi	Ana veya robot kontrolörü tarafından yönlendirilen kaynak prosesini gerçekleştirmektedir. Proses fonksiyonları, koruyucu gaz akışı, tel besleme ve ark gerilimi ile akımından oluşmaktadır.

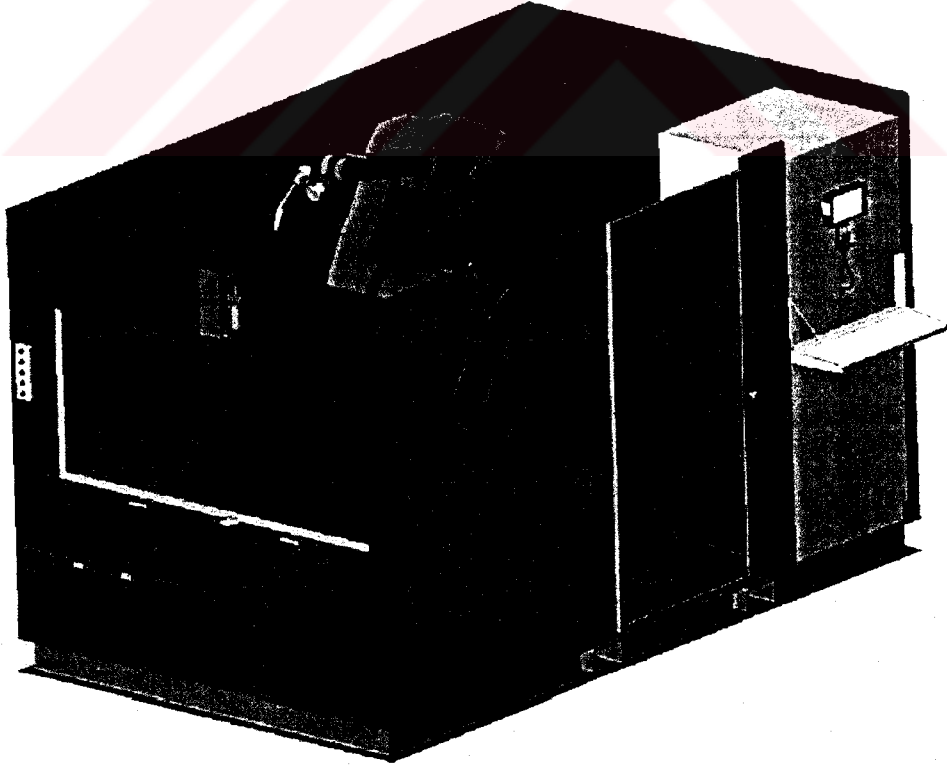
Pozisyoner	Robotun kaynak sırasını gerçekleştirebilmesi için iş parçalarını sabit bir konuma manipüle etmektedir. Kaynak hareketi sağlamak için kaynak esnasında da iş parçasını manipüle edebilmektedir. Robot kontrolörü veya insan operatör tarafından aktive edilebilmektedir.
Pozisyoner üzerindeki fikstür ve kenetleme takımı	Fikstür üzerindeki iki veya daha çok oryantasyon noktasına rölativ olarak iş parçası komponentlerini sabit bir konumda tutmaktadır. Kenetleme takımları robot kontrolörü veya insan operatör tarafından aktive edilebilmektedir.
Malzeme taşıma	Komponentleri çalışma hücreğine götürmekte ve kaynaklanmış montajları çalışma hücrelerinden almaktadır. Manuel veya otomatik olabilmektedir.

Çizelge 6.2 Kaynak Robot Çalışma Hücresi İçin İlave Ekipmanlar (Connor, 1991)

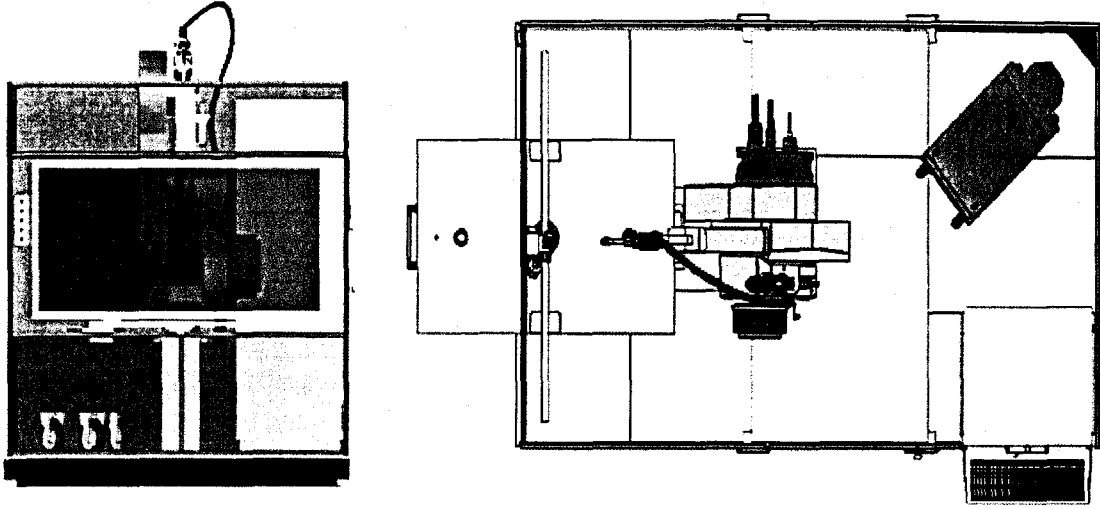
Tavsiye Edilen	
Komponent	Fonksiyon
Ana parça (komponent)	Robota öğretmektedir. Daha sonra program ve çalışma hücresi tamliğini test etmekte ve doğrulamakta ve değişiklikleri tanımlamaktadır.
Robot program listelemesi	Robotu programlamaktadır. Daha sonra çalışma hücresi performansını doğrulamaktadır.
Program kayıt cihazı	Gelecek kullanımlar için "Öğretme Metodu" ile oluşturulan robot programının kalıcı şekilde saklanmasına izin vermektedir.
Torç ayarlama kalibresi	Torcun bakımı veya değiştirilmesinde sonra çabuk kuruluma izin vermektedir. Robota göre kaynak arkının noktasının konumunu oluşturmaktadır.
Torç temizleme istasyonu	Kaynak torcunun düzgün şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Operatör tarafından manuel veya otomatik olarak işletilebilmektedir.
Güvenlik ekranları ve interloklar	Operatörü ark parlaması, duman, gaz, yanma ve ısıdan uzak tutmaktadır. Robot, takım veya malzeme taşıma ekipmanının fiziksel zarar görmesini önlemektedir.
Arzu Edilen	
Kontrol mastarı	Ürünlerin hızlı şekilde kontrolünü sağlamakta ve program veya kurulum problemlerini tanımlamaya yardımcı olmaktadır.

Hücre ayar ve sorun giderme rehberi	Problemlerin hızlı şekilde ortaya çıkarılmasına izin vermektedir. Yeni operatörler, bakım ve yönetim personeli için oryantasyon ve eğitim sağlamaktadır.
Çalışma hücresi takım seti	Çalışma hücresinin kurulum, ayar ve tamirinde kullanılan özel kritik takımları el altında bulundurmaktadır.
Çevrimdışı programlama istasyonu	Kayıp hücre zamanı olmadan yeniden programlamaya, program hatı ayıklamasına ve program düzenlemesine izin vermektedir. Yeni teknolojiler halen geliştirilmektedir.
İndirme hattı	Çevrimdışı programlama istasyonunun çalışma hücresine programları göndermesine izin vermektedir. Saklanması için çalışma hücresinin programları göndermesine izin verebilmektedir.

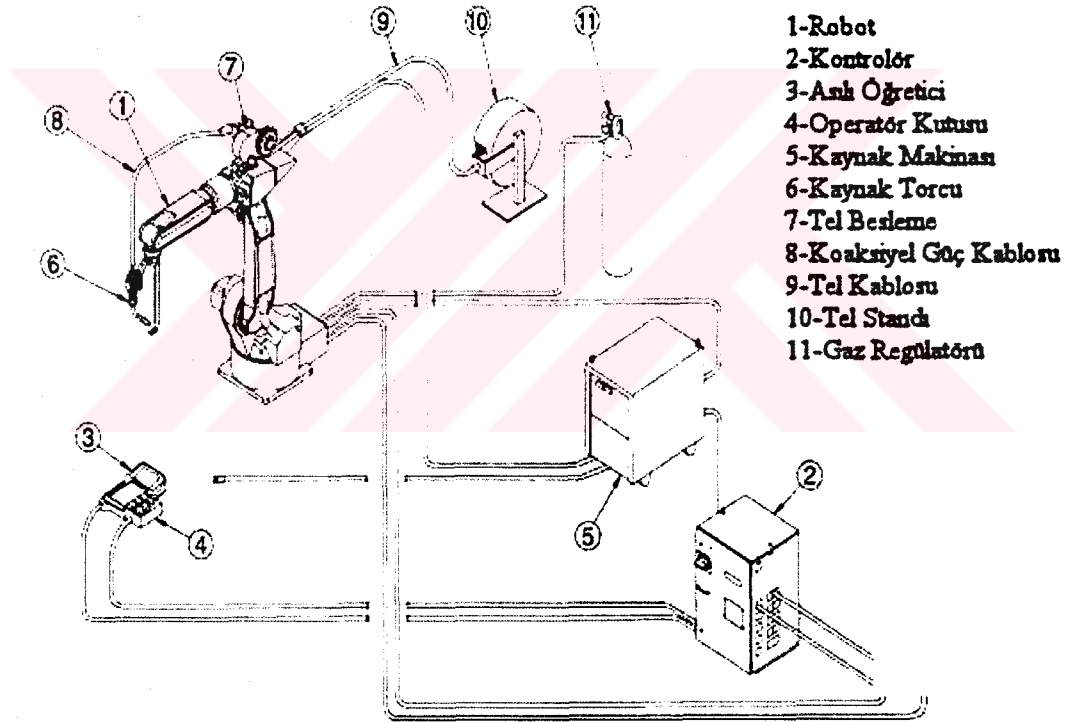
Şekil 6.9'da standart robotik ark kaynağı hücresinin üç boyutlu katı modeli görülmektedir. Burada görüleceği üzere ark kaynak manipülatörü, robot kontrolörü ve asılı öğretici (teach pendant), ark kaynak makinası, döner tabla pozisyoner ve torç temizleme ünitesi yer almaktadır. Şekil 6.10'da ise bu robotik ark kaynağı hücresinin ön ve üst görünüşü gösterilmektedir. Şekil 6.11'de ise ark kaynak robotunun elemanları görülmektedir.



Şekil 6.9 Robotik ark kaynağı hücresi [1]



Şekil 6.10 Robotik ark kaynağı hücresinin önden ve üstten görünüşleri [1]



Şekil 6.11 Ark kaynak robotu donatımı (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

6.2.2.1 Manipülâtör

Manipülâtör imalatta genellikle robot olarak adlandırılmaktadır. Manipülâtör, asılı öğretici tarafından programlanan ve robot kontrolörü tarafından kontrol edilen hareketler aracılığıyla kaynak torcunu manipüle ederek, kaynak işlemini gerçekleştirmektedir. Günümüz ark kaynağı robotları genellikle 6 eksene ve 6 kg taşıma kapasitesine sahip, servo motorlar

aracılığıyla tahrik edilen, sürekli-yol kontrolüne sahip robotlar olmaktadır. Gerekli olduğu takdirde lazerli dikiş izleme sensörü gibi sensörler kullanılarak robotun yetenekleri arttırılabilmektedir. Ark kaynağında kullanılan manipölatörler, sadece kaynak yapabilecek şekilde tasarlanmamışlardır. Aslında ark kaynağı robotu diye bir şey bulunmamaktadır. Eğer bir robot kaynakta kullanılıyorsa, kaynak robotu, mastik uygulamasında kullanılıyor ise mastik robotu olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla bir manipölatör, uygun kaynak donanımına sahipse, kaynak robotu olarak kullanılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus, robot kontrolörünün ve kaynak ekipmanlarının, kaynak işlemini düzgün bir şekilde gerçekleştirebilecek özellik ve yeteneklere sahip olması gerekliliği olmaktadır. Bundan ötürü, daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, robotlar için gerekli olan cevap hızı, tamlık ve tekrarlanabilirlik gibi özelliklerin yüksek olması, kaynak robotları için de istenmektedir. Kaynak robotları, çoğunlukla asılı öğretici aracılığıyla programlandıklarından, bu robotların tamlığından çok tekrarlanabilirliklerinin yüksek olması arzu edilmektedir. Kaynak dikişlerinin kalitesinin ve tutarlılığının devam ettirilebilmesi için tekrarlanabilirlik çok önemli olmaktadır. Şekil 6.12’de Fanuc Arc Mate 100 iB ark kaynak robotu görülmektedir. Çizelge 6.3’te ise bu robota ait bazı teknik veriler verilmektedir.



Şekil 6.12 Fanuc Arc Mate 100 iB ark kaynak robotu [4]

Çizelge 6.3 Fanuc Arc Mate 100 iB ark kaynak robotuna ait bazı teknik veriler [4]

Maksimum Yük Taşıma Kapasitesi	Maksimum Ulaşım
6 kg	1373 mm
Tekrarlanabilirlik	Eksen Sayısı
± 0.08 mm	6
Hareket Hızı	Hareket Sınırları
J1: 150°/sn	J1: 340°
J2: 160°/sn	J2: 250°
J3: 170°/sn	J3: 315°
J4: 400°/sn	J4: 380°
J5: 400°/sn	J5: 280°
J6: 500°/sn	J6: 640°

6.2.2.2 Fikstür

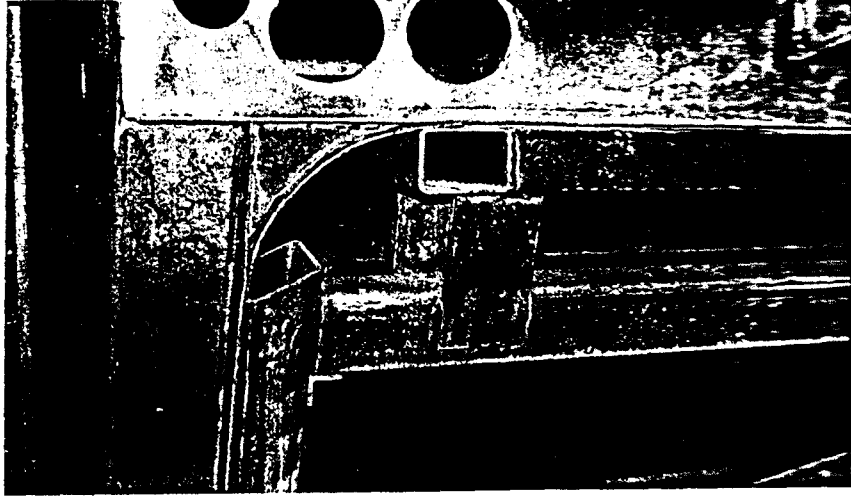
Mühendislikte, iş bağlama düzeni (jig) ve fikstür (fixture) esasen aynı anlamdadır. Fikstürün fonksiyonu, parçaların montajını kolaylaştırmak ve sabit şekilde parçaların yerlerinde tutulmasını sağlamaktır. Parçalar fikstürde, ya kısmi olarak ya da tamamen kaynak edilebilmektedir veya sadece puntalanabilmektedirler. Eğer kaynak edilecek montaj sadece puntalanıyorsa buna montaj (fitting) bağlama düzeni denmektedir. Fikstür kullanımı ayrıca son üründe iyi montaj toleransları sağlayacaktır. Montaj ve kaynak fikstürlerinde düşük maliyetle kaliteli kaynaklar elde edilebilmektedir.

Fikstürün tasarım ve imalatı, imal edilecek parça sayısını yansıtmalıdır. Küçük miktardaki parçalar, o ürün için özel olarak monte edilen geçici bağlama düzenleri üzerinde üretilebilmektedir. Büyük miktarlardaki parçalar için, fikstür, tüm imalat sisteminin parçası olabilmektedir. Bu durumda, pozisyoner üzerindeki otomatik kenetlenmeyi de içerebilmektedir ve fikstür, kaynağı, endüstriyel robot için uygun hale getirecektir. Bu tip fikstürü yapmak pahalıdır ama bu fikstürün üzerinde parça imal edilecekse fikstür düşük maliyetli olacaktır.

Fikstürler üç ana amaç için kullanılmaktadır: (1) montaj fikstürleri, (2) hassas montaj ve kaynak fikstürleri ve (3) robotik kaynak fikstürleri (Connor, 1991).

a) Montaj Fikstürleri

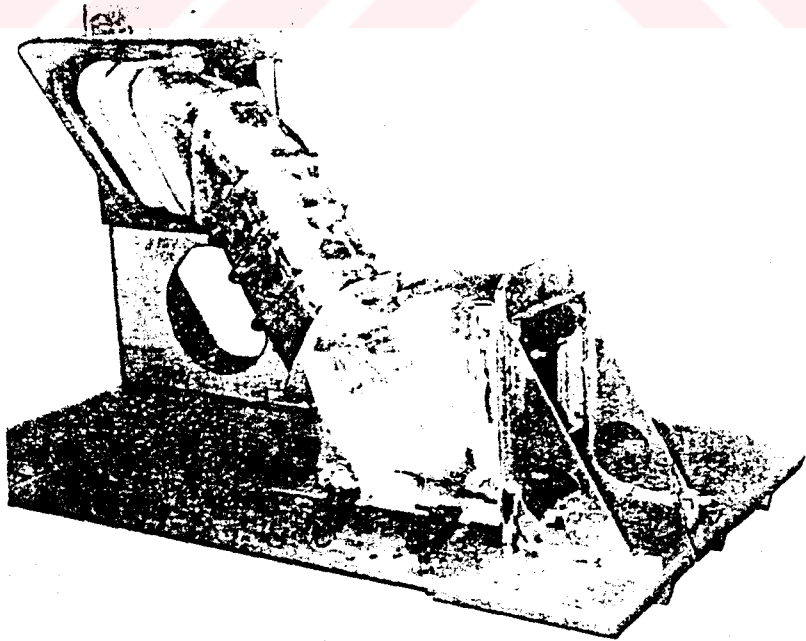
Şekil 6.13'de hafif tonajlı damperli treylerin imalatı gösterilmiştir. Şekil 6.13'deki dahili bağlama düzenleri (jigs) treyler damperinin montajının kolaylığını göstermektedir.



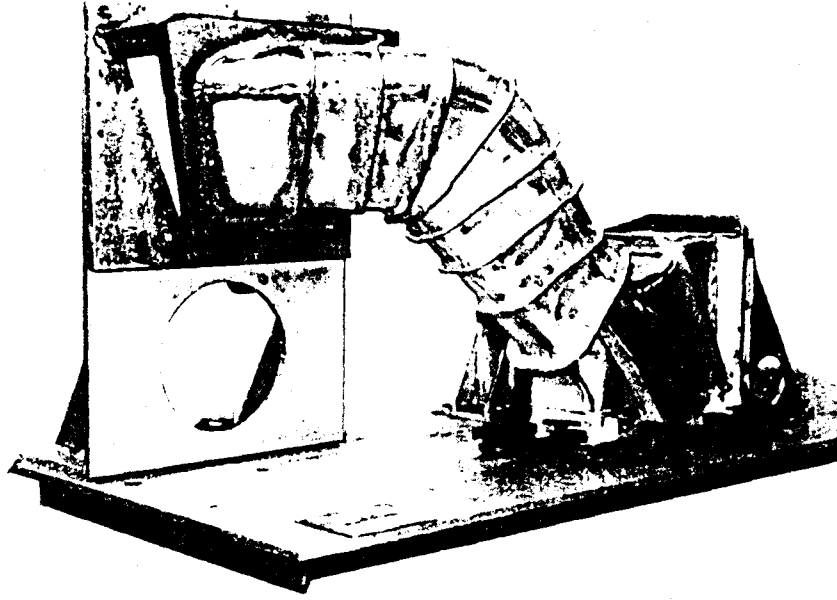
Şekil 6.13 Damperli treyler imalatı için montaj bağlama düzeneğinin iç görünüşü

b) Hassas İş Bağlama Düzenleri (Precision Jigs)

Şekil 6.14 A ve B'de, hassas toleranslı imalat için tasarlanmış iş bağlama düzeneği görülmektedir. Bitmiş montaj, jet uçağı için alüminyum hava kanalıdır. Kanal yakıt tankının içinden geçmektedir bu yüzden sıkı toleranslar gerekli olmaktadır. Hassas bağlama düzenine ilaveten, 0.8 mm'lik toleransla imalat yapmak için detaylı adım adım montaj ve kaynak prosedürü gerekmektedir.



(a)



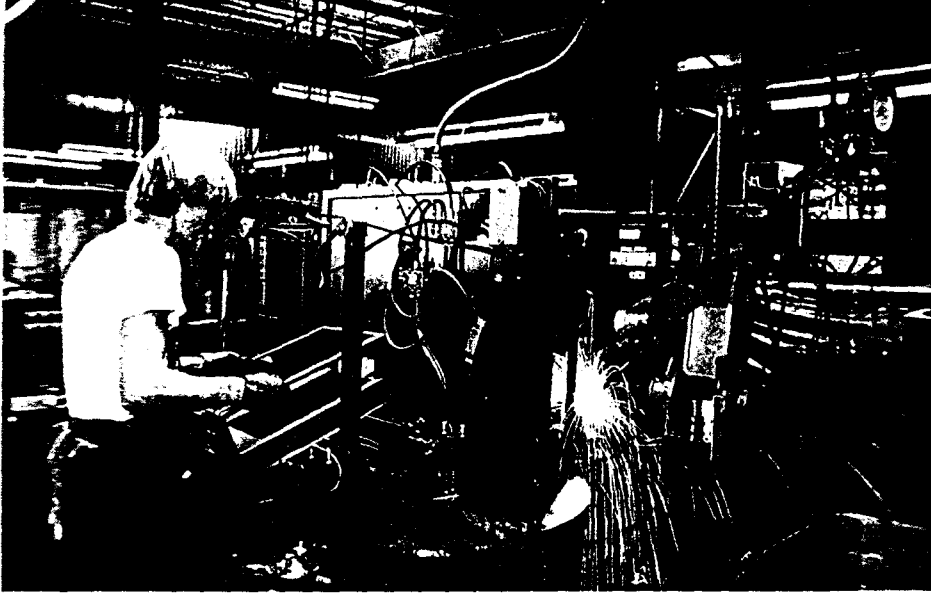
(b)

Şekil 6.14 Sıkı toleranslı montaj elde etmek için kullanılan montaj ve kaynak bağlama düzeni (a). Montaj ve kaynak fikstürünün diğer bir görünüşü (b).

c) Robotik Kaynak Fikstürü

Robotik kaynak için gerekli fikstürler birçok spesifik gereksinimlere sahiptirler. Robotun erişimine izin verecek yapıda olmalıdırlar. Çoğu robot, algılama sistemlerine sahip değildir bunun yanında robotik algılama ve görme sistemleri, insanın duyu organlarına göre oldukça ilkel olmaktadır. Bundan dolayı, fikstür düşük profilli klemplere sahip olmalı ve klempler, eklemenden uzağa konumlanmalıdır. Fikstür, kaynak dikişlerine (weld seams) göre sabit mesafede olan en az iki referans noktası içermelidir. Daha sonra robot, fikstürün üzerindeki referans noktalarını konumlandırmak için programlanmaktadır. Referans noktaları, robotun, iş parçası üzerindeki eklem boyunca yolunu bulması için koordinat sistemi oluşturacaktır.

Fikstürün kullanımı kolay olmalıdır böylece iş parçaları hızlı şekilde yüklenip boşaltılabilecektir. Şekil 6.15'deki robotik hücre döner tabla (turntable) içermektedir böylece robot bir tarafta kaynak işlemini gerçekleştirirken, operatör küçük elektronik şasiyi yükleyip boşaltabilmektedir. Döngü tamamlandığında döner tabla 180° dönmekte ve işlem tekrarlanmaktadır.



Şekil 6.15 Robotik kaynak istasyonunda operatörün döner tabla üzerine montajı yüklemesi

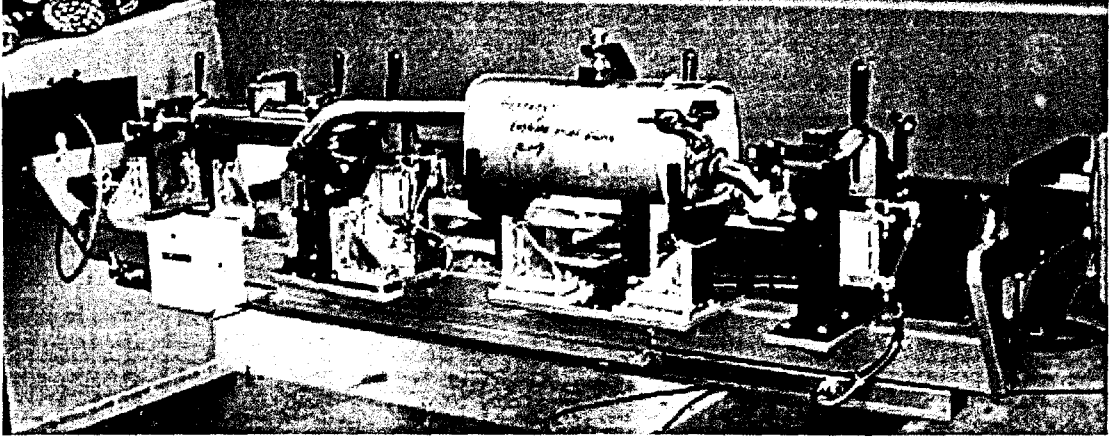
Fikstür Tasarımı

Ticari olarak mevcut çok az fikstür bulunmaktadır fakat birçok hafif ve ağır iş kenetleme aygıtları mevcut bulunmaktadır. Bu aygıtlar, büyük imalat sayıları için adanmış fikstürlerle veya birçok kısa imalat döngülü ürünler için kolaylıkla modifiye edilebilen ayarlanabilir fikstürlerle birleştirilmektedir. Bir veya birden çok montaj imalatını kolaylaştırmak amacıyla, fikstürler, fabrika operasyon personeli tarafından tasarlanmakta ve imal edilmektedir.

İmalat fikstürü, aşağıdaki özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır:

- Kaynak eklem yerlerine fikstürde kolaylıkla erişilebilmektedir.
- Fikstür, birleştirilecek montajdan daha rijit olmalıdır.
- Klempler, civata dişleri ve somunlar kaynak sıçrantısından korunmalıdır.
- Fikstür, bitmiş parçada görülen geçici kaynakların minimum olmasını sağlamalıdır.
- Kaynak bittikten sonra iş parçası fikstürden kolayca çıkartılabilmelidir.

Tasarımcı, iş parçasının, bağlama düzenindeyken kaç adet kaynak gerektireceğine karar vermelidir. Yeterli sayıdaki kaynaklar, distorsiyonları (çarpılmaları) sınırlamak için bağlama düzeninin içinde gerçekleştirilmelidir. Çoğu kaynaklı bağlantı alt montaj olarak üretilmektedir ve toleranslar kritik olmaktadır (Connor, 1991). Şekil 6.16'da ekzost kaynağı için tasarlanmış, manuel klempli bir fikstür görülmektedir.



Şekil 6.16 Otomobilin ekzostunun kaynağı için tasarlanmış manuel klempli fikstür [1]

6.2.2.3 Pozisyoner

Pozisyoner, kaynak edilecek parçaları istenen konuma hareket ettiren ve bu parçaları destekleyen mekanik bir aygıt olarak tanımlanabilmektedir. Bazı durumlarda pozisyoner, eklem yeri boyunca kaynak devam ederken kaynak edilecek parçaları hareket ettirebilmektedir. Parçaların yüklenmesi, kaynağı ve boşaltılması için en avantajlı konumlarda, kaynak parçalarının ve fikstürün, konumlandırılmasını sağlamaktadırlar.

Bazı montajlar zemin üzerinde sabitlenebilmektedirler ve montajı birarada tutmak için eklemler puntalanabilmektedir. Daha sonra, kaynak edilecek parçalar fikstürden alınmakta ve ekonomik şekilde imalatın gerçekleştirilmesi için en iyi konumlarda eklemlerin kaynağının gerçekleştirilmesi amacıyla pozisyoner üzerine yerleştirilmektedirler.

Pozisyoner üzerinde kaynak edilecek parçalar kaynak esnasında ve kaynağın temizlenmesi, talaşlı işlenmesi ve tahribatsız muayenesi sırasında da yeniden konumlandırılabilir (Connor, 1991).

a) Konumlama Tipleri

Pozisyonlama, bir, iki veya üç değişik hareket ile gerçekleştirilebilmektedir. Hareketlerden biri, bir eksen etrafında dönüş olmaktadır. Bu normal olarak, bir eksen etrafında montajı döndüren dönen merdane (turning rolls), tahrik kafası (headstock), gezer punta (tailstock) düzenlemeleri veya döner tablalar (turntables) ile gerçekleştirilmektedir.

İki hareketli konumlama, dönme ve eğilme (tilting) hareketlerinin kombinasyonu olmaktadır ve eğimli tablaya sahip dönel pozisyoner ile gerçekleştirilmektedir. Üç hareketli konumlama, eğme ve dönme hareketlerine ilaveten dikey hareket ile kaldırmanın da eklenmesiyle

gerçekleştirilmektedir (Connor, 1991).

Tahrik Kafalı (Headstock)-Gezer Punta (Tailstock) Pozisyonerler

Tahrik kafalı pozisyoner, yatay eksen etrafında dikey tablanın tam dönüşünü gerçekleştiren tek-eksenli konumlama yapmaktadır. Bu aygıt, düz konumdaki parçaların kaynağı için her yere kolay erişim sağlamaktadır. Şekil 6.17’de gösterildiği gibi, tahrik kafalı pozisyoner bazen gezer punta pozisyoner ile birlikte kullanılmaktadır. Gezer punta pozisyoner genellikle tahrik kafalı pozisyoner ile aynı konfigürasyona sahiptir fakat elektrikle tahrik edilmemektedir. Muylu (trunnion), dış silindir desteği veya kaynak edilecek parçaların yapısına en iyi uyan diğer serbest tekerlekli destek yapısı gezer punta yerine kullanılabilir.

Tüm durumlarda, tahrik kafalı-gezer punta pozisyonerin kesin (hassas) kurulumu ve hizalanması gereklidir böylece dönme eksenleri hizalanmış olmaktadır. Bunun aksi durumda ekipman veya kaynaklı parçalar zarar görebilmektedir.

Genel olarak, tahrik kafalı-gezer punta pozisyonerlerin konsepti ve uygulaması, makina operasyonlarında kullanılan tornalarınkiler ile çok benzerdir. Bununla birlikte, kaynaklı imalatta özel fikstürlerin kullanımı ve tahrik kafalı-gezer puntanın baz kısmına yatay veya dikey hareket veya bunların her ikisinin de eklenmesiyle çok yönlü olabilmektedir.

Yük kapasitesi aşılmadığı sürece, yatay eksen etrafında kaynak edilecek parçaların döndürülmesi için tahrik kafalı pozisyoner kullanılabilir. Buna bir örnek, kısa borulara dirseklerin veya flanşların kaynak edilmesi olmaktadır. Çizelge 6.4’te tek eksen çift suportlu pozisyonerin teknik özellikleri verilmektedir.



Şekil 6.17 Tek eksen çift suportlu pozisyoner [5]

Çizelge 6.4 Tek eksen çift suportlu pozisyonerin teknik özellikleri [5]

İsim	Tek-Eksen Çift Suportlu Pozisyoner		
	RP1D-200	RP1D-500	RP1D-1000
Model ismi	RP1D-200	RP1D-500	RP1D-1000
Max.Ağırlık Kapasitesi	200kg	500kg	1000kg
Dönüş Hızı	20rpm	8rpm	4rpm
Dönüş Torku	20kg-m	50kg-m	100kg-m
Pozisyon Tekrarlanabilirliği *1	±0.2mm	±0.2mm	±0.2mm
Kütle(Ağırlık) *2	220kg	560kg	560kg

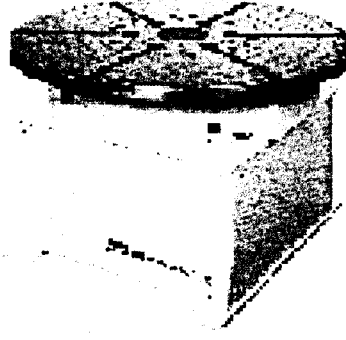
Tahrik kafalı-gezer punta pozisyonerler, kaynak edilecek büyük montajların sabitlenmesi için uygun olmaktadır. Tipik montajlar, yapısal kirişler, kamyon ve makina iskeletleri, kamyon ve demiryolu araç gövdeleri, zırhlı tank gövdeleri, boru imalatı ve büyük transformatör gövdeleri olmaktadır. Tahrik kafalı-gezer punta pozisyonerler bazen bir veya birden çok kaynak kafası manipülatörleri veya diğer makina kaynak ekipmanı ile birlikte kullanılabilir. Tahrik kafalı-gezer punta pozisyoner ile birlikte, fişürler ve takımlar gerekmektedir.

Tahrik kafalı-gezer punta pozisyonerler için çok yönlülüğü sağlamak amacıyla, birçok özellik ve aksesuar eklenebilmektedir. Aşağıda bu ekipmanla kullanılan yaygın varyasyonlar belirtilmektedir:

- Değişken hız tahriği
- Kendi kendine merkezlemeli torna aynaları
- Otomatik indeksleme kontrolleri
- Elektrikli yükseltme sistemleri
- Değişik kaynak boylarına izin veren elektrikli gezer punta hareketleri
- Dijital takometreler (Connor, 1991).

Döner Tabla (Turntable) Pozisyonerler

Döner tabla, yatay tabla veya platformun dikey eksen etrafında dönmesini sağlayan ve böylece iş parçasının eksen etrafında dönüşüne izin veren tek eksenli konumlama aygıtı olarak tanımlanabilmektedir. Çok çeşitli boyutlarda dönel tablalar mevcut bulunmaktadır. Tipik bir döner tabla Şekil 6.18'de gösterilmiştir. Çizelge 6.5'te ise tek eksenli döner tablanın teknik özellikleri verilmektedir.



Şekil 6.18 Tek eksenli döner tabla [5]

Çizelge 6.5 Tek eksenli döner tablanın teknik özellikleri [5]

İsim	Tek Eksen Döner Tabla	
	RP1T-500	RP1T-1000
Model ismi	RP1T-500	RP1T-1000
Max.Ağırlık Kapasitesi	500kg	1000kg
Dönüş Hızı	8rpm	2rpm
Dönüş Torku	75kg-m	300kg-m
Pozisyon Tekrarlanabilirliği *1	±0.2mm	±0.2mm
Kütle(Ağırlık)	270kg	410kg

Döner tabla pozisyonelerler 20 kg'dan 500 ton'a kadar değişen kapasitelerde mevcut bulunmaktadır. Makina kaynağı, kusur yakma (scarfing) ve kesme, plakaj (cladding), taşlama, parlatma, montaj ve tahribatsız muayene gibi uygulamalarda geniş şekilde kullanılmaktadır. Döner tablalar, ortak bir tabladabirkaç montajı indeksleyecek şekilde imal edilebilmektedirler. İndeksleme mekanizması ile birlikte ana tabla üzerine birkaç küçük döner tabla yerleştirilmektedir.

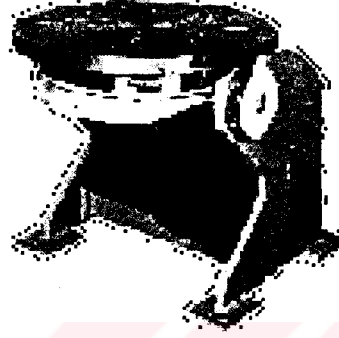
Döner tabla pozisyoner birçok özellik ve aksesuvarla donatılabilmektedir. Bunlardan bazıları şunlar olmaktadır:

- Sabit veya değişken hız tahriği
- Tablanın manuel olarak döndürülmesi
- İndeksleme mekanizması
- Eğimli baz kısmı
- Seyahat vagonu ve rayı

- Dijital takometre (Connor, 1991).

Eğimli-Döner Pozisyonerler (Tilting-Rotating Positioners)

Konumlamada çok yönlülük gerektiğinde eğimli-döner pozisyonerler tavsiye edilmektedir. Çoğu durumda pozisyoner tablasına 135°'ye kadar açıyla eğim verilebilmektedir. Eğim açısı yapının tasarımıyla sınırlandırılmıştır. Dişli tahrikli eğimli pozisyonerlerin iki yaygın konfigürasyonu, eğim mekanizması ile belirlenen sınırlama ile birbirlerinden ayrılmaktadır. Şekil 6.19'da 135°'lik eğimli pozisyoner gösterilmektedir.



Şekil 6.19 İki eksenli eğimli pozisyoner [5]

Çizelge 6.6 İki eksenli eğimli suport pozisyonerinin teknik özellikleri [5]

İsim	İki-Eksen Eğimli Suport Pozisyoneri	
Model ismi	RP2T-500	RP2T-1000
Max. Ağırlık Kapasitesi	500kg	1000kg
Dönüş Hızı	8rpm	2rpm
Eğilme Hızı	4rpm	1rpm
Dönüş Torku	75kg-m	300kg-m
Eğilme Torku	145kg-m	440kg-m
Pozisyon Tekrarlanabilirliği *1	±0.2mm	
Kütle(Ağırlık)	400kg	850kg

Dişli tahrikli eğimli pozisyonerler için diğer yaygın bir konfigürasyon 45°-90° tasarımıdır. Bu tip, tablayı ileri doğru 90° ve geriye doğru 45° eğebilmektedir. Tipik 45°-90° pozisyonerinin tasarımı çoğunlukla büyük boyutlarda mevcut bulunmaktadır ve 20 ton'dan birkaç bin ton'a kadar kapasitelerde mevcut bulunmaktadır.

b) Kaynak Robotları İçin Pozisyoneler

Pozisyonelerin robotik kaynağa adaptasyonu, robotun hareketlerinin pozisyonelerinkilerle koordinasyonunu içermektedir.

En basit adaptasyon, operatörün döner tablayı parçalarla yüklediği ve döner tablanın 180° dönüşü ile bu parçaların robotun çalışma alanına girdiği, döner tabla pozisyoner olmaktadır. Operatör kaynaklı parçaları almakta ve yerlerine kaynak edilecek yeni parçaları koymaktadır. Robot kaynak sırasını tamamladığında, robot kolu “başlangıç konumu”na geri dönmektedir. Daha sonra operatör, robot çalışma alanında iş parçalarını konumlamak için döner tablayı 180° döndürmektedir ve robot kaynak sırasını başlatmaktadır. Robot, koordinat sistemini oluşturan referans noktalarını bularak, kaynak sırasına başlamaktadır. Kaynak dikişleri veya noktaların konumları, fikstür üzerindeki referans noktalarıyla her zaman aynı ilişkide olmalıdır.

Bu tip sistem için robot ve pozisyoner arasındaki koordinasyon insan operatör tarafından sağlanmaktadır. Operatör döner tablayı ne zaman döndüreceğine ve robot sırasını aktive edeceğine karar vermektedir.

Robotla kullanım için eğimli döner pozisyonerin adapte edilmesi için daha sofistike kontrol gerekli olmaktadır. Kullanımda olan iki sistem bulunmaktadır. Sistemlerden biri robota ilaveten aygıtları kontrol etme kapasitesine sahip rölativ olarak büyük programlanabilir kontrolör içermektedir. Bu kapasite, robotun hareket programını saklamak için uygun hafızayı, sıradaki her aygıtın hareket emirlerini göndermek için ilave giriş/çıkış (I/O) hatları ve komutun işletimindeki mevcut durumun aygıtından gelen geri beslemenin alınmasını içermektedir.

Diğer sistem, robot kontrolörünün sadece robot hareketlerini yönettiği ve pozisyoneri yönetmek için diğer bir kontrolöre sinyal gönderdiği sistemdir. Bununla birlikte pozisyoner, pozisyoner konumlarını saklamak ve yönetmek için programlanabilir kontrolör içermelidir ve robot kontrolörü ile pozisyoner kontrolörü arasındaki basit iletişim sistemi gerekli olmaktadır. İki hareket programı yazılabilmektedir. Programlardan biri pozisyoner için olandır ve pozisyonerin kontrolöründe saklanmaktadır; diğer program ise robot içindir ve robotun kontrolöründe saklanmaktadır. İki program entegre edilmelidir böylece tüm hareketler koordineli olacaktır. Pozisyonerin programlanabilir kontrolöründeki program, komutları yerine getiren, komutların işletilmesinde pozisyonerden gelen geri beslemeyi kabul eden, gerekli ayarlamaları yapan komple komut seti olmalıdır. Bununla beraber, robotun

programlanabilir kontrolörü tarafından yönlendirildiğinde, pozisyonerin programlanabilir kontrolörü hareket komutu sağlayabilmelidir.

Pozisyonerin programlanabilir kontrolörü daha sonra hareketi gözlemekte ve hareket bittiğinde robotun programlanabilir kontrolörüne program ile devam etmesi gerektiği bilgisini iletmektedir (Connor, 1991).

c) Ekonomik Faktörler

Kaynakta pozisyonerlerin kullanımı için hem pozitif hem de negatif etkenler mevcuttur. Bunların çoğu kaynak ve taşıma giderlerinden kaynaklanmaktadır. Pozitif tarafta, düz konumda kaynak için iş parçasını oryante edecek pozisyonerlerin kullanımıyla ulaşılabilecek yüksek yığıma oranları, yüksek işletme faktörleri ve yüksek ürün kalitesi bulunmaktadır. Negatif tarafta ise pozisyonerin yüklenip boşaltılması için olan taşıma maliyeti bulunmaktadır.

Yığıma Hızları (Deposition Rates)

Ark kaynağındaki yüksek yığıma hızları, kaynak düz (doğrusal) konumdayken elde edilebilmektedir çünkü yerçekimi ergimiş metali eklem bölgesinde tutmaktadır. Kaynaklı parçaların konumlanmalarının sonucunda kaynak maliyetleri düşecektir.

Kaynakçının Yeteneği

Düz konumdayken kaynak yapmak, diğer konumlarda kaynak yapmaktan daha az yetenek gerektirmektedir çünkü kaynakçının ergimiş kaynak banyosunu kontrol etmesi daha kolay olmaktadır. Bundan dolayı, düz konumda kaynak için montaj kolaylıkla manipüle edilebiliyorsa kaynak işçisi maliyetleri azalacaktır.

Operatör Faktörü ve Kurulum Maliyetleri

Operatör faktörü, kaynaklı parça için arkin devrede olduğu zamanın toplam zamana oranı olmaktadır. Kaynakçının kaynaklı parçaları manuel olarak tekrar konumlandırması gerektiği, vinç operatörünü beklediği veya düz konumdan başka konumlarda kaynak yaptığında operatör faktörü düşük olacak ve kaynak maliyetleri, pozisyoner kullanıldığı durumdan daha yüksek olacaktır. Parçaların kaynak için hızlı şekilde konumlandırıldığı durumda operatör faktörü yüksek olacaktır. Bununla birlikte, pozisyonere ağır parçaların güvenli bir şekilde yüklenip boşaltılması durumundaki veya vinç yada diğer bir kaldırma aracı ile parçaların yeniden konumlandırıldığı durumdaki işçi giderleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Rölatif olarak kısa, küçük kaynaklar için yeniden konumlandırmadan ziyade eklemlerin sabit konumda kaynak edilmesi daha ekonomik olabilmektedir. Kaynak giderleri daha yüksek olabilmektedir fakat toplam işçi maliyetleri daha düşük olabilmektedir çünkü taşıma giderlerinden tasarruf edilmektedir. Konumlama ekipmanı ve malzeme taşıma maliyeti, işçi maliyetleri aracılığıyla telafi edilmelidir.

Kaynak Kalitesi

Genel olarak, kalifiye bir kaynakçı düz konumda, diğer konumlara nazaran daha az kusur ile kaynak işlemi gerçekleştirebilmektedir. Bu ise kaynakların daha az onarılması demektir. Ayrıca düz konumdaki yüksek yığılma hızları yüzünden eklem yeri daha az pasoyla doldurulabilmektedir. Minimum paso sayısı ile gerçekleştirilen kaynaklar genellikle daha az gerilime sahiptirler ve daha az çarpılmaya meyilli olmaktadır. Bununla birlikte, bazı alaşımli çelikler ile ısı girdisi sınırlamaları gözlenmelidir.

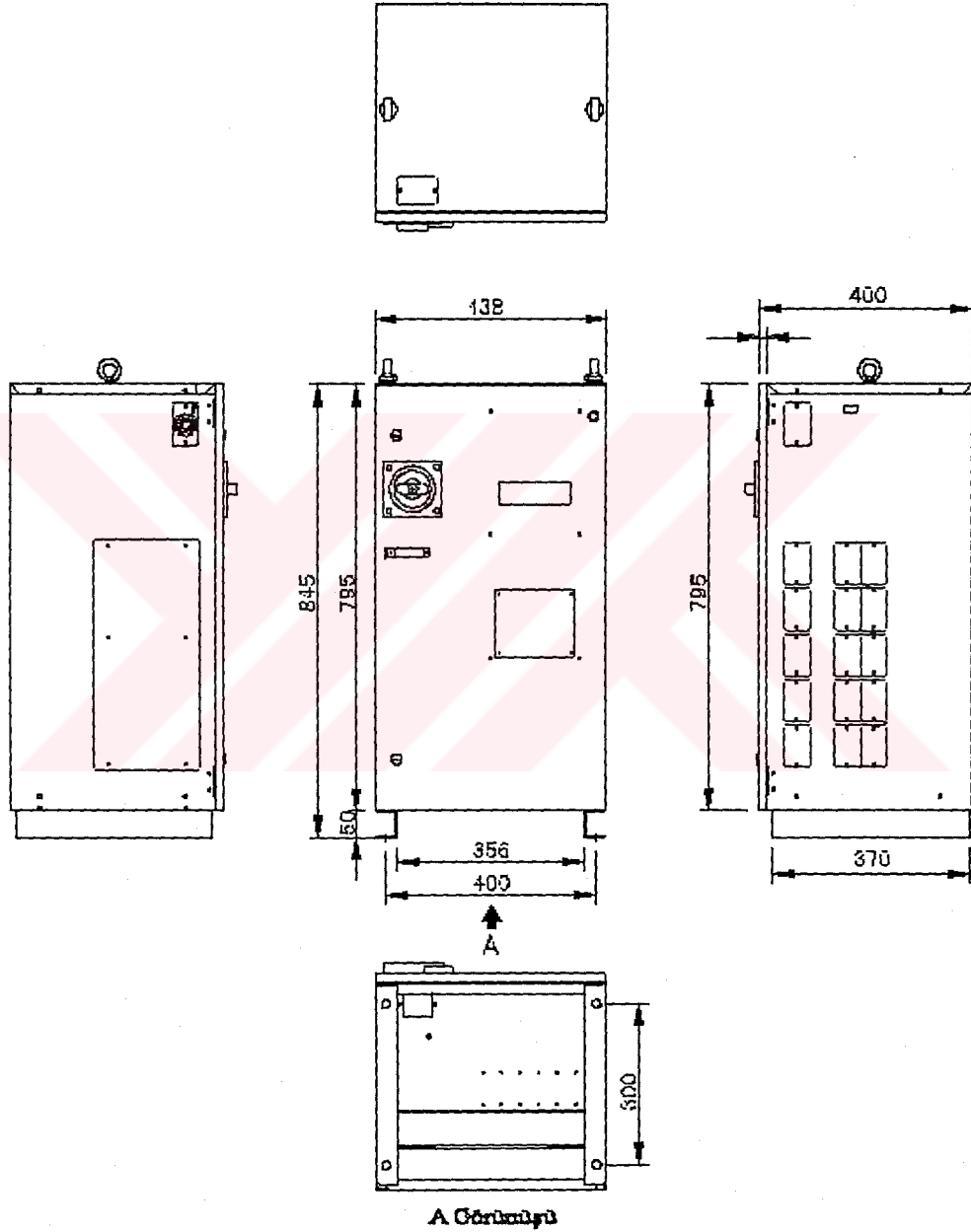
6.2.2.4 Kontrol Ünitesi

Ark kaynak robotunun kontrol ünitesi üç zorunlu görevi gerçekleştirmektedir.

- Aktüatör kontrolü
- Programlama
- Proses kontrolü

Aktüatör kontrolü ve parça programlama, çoğu robotik kurulum için ortak özellikler olmaktadır. Robotun asılı öğreticisi, kaynak makinası, manipülatörü, pozisyoneri, pnömatik klempleri, sensörleri uygun kablolar ile robotun kontrol ünitesine bağlanmaktadır. Bunun için robot kontrolörünün birçok giriş/çıkışı (I/O) desteklemesi gerekmektedir. Asılı öğretici aracılığıyla programlanan noktalar ve kaynak parametreleri, torç açıları gibi proses parametreleri, robotun kontrol ünitesinde saklanmaktadır. Pnömatik klemplerin hangi sırada açılıp kapanacağı, işlemde uygulanacak hava basıncı yine robotun kontrol ünitesi aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Kaynak işleminden önce kaynak yapılacak bölgeye koruyucu gazın gönderilmesi, daha sonra kaynak işlemi için, programda belirlenen değerler doğrultusunda, kaynak akımının uygulanıp, torç açılarının ayarlanması, pozisyonerin sıralı hareketlerinin uygun sırada gerçekleştirilmesi, robotun servolarının kontrol edilmesi ve bunlara gerekli momentlerin uygulanarak istenen hızların elde edilmesi yine robot kontrolörünün görevlerinden bazıları olmaktadır. Robot kontrolörü, sistemin giriş/çıkışlarının (I/O) kontrol edilmesi ve bunların sıralamalarının gerçekleştirilmesi için programlanabilir mantıksal kontrolör (PLC) kullanmaktadır. Robot kontrolörünün çevresel ekipmanlarla, yüksek

operasyon güvenilirliği ve minimum kablolarla haberleşebilmesi için, Field-bus gibi bir veriyolu (bus) kullanılmaktadır. Şekil 6.20'de OTC EX-C serisi robot kontrolörünün görünüşleri verilmektedir. robot kontrolörü görölmektedir. Şekil 6.21'de robot kontrolörü görölmektedir. Şekil 6.22'de ise, robot kontrolörünün diğer ekipmanlarla arayüzlenmesinin sağlanması için gerekli harici bağlantı noktaları görölmektedir. Çizelge 6.7'de, OTC EX-C serisi robot kontrolörünün özellikleri ayrıntılı olarak verilmektedir.



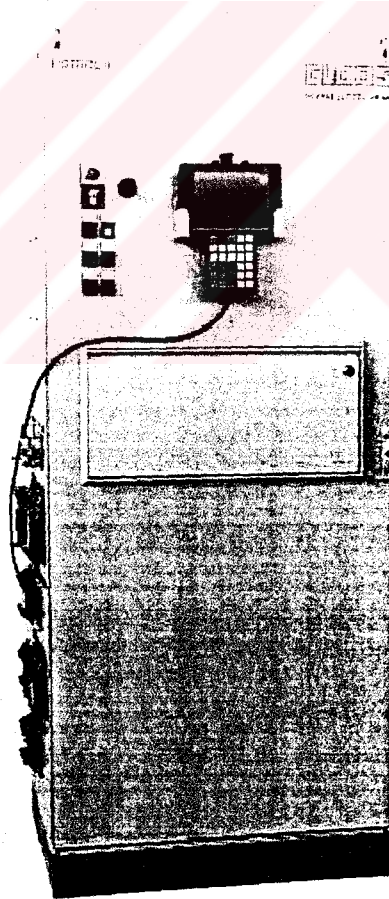
Şekil 6.20 OTC EX-C serisi robot kontrolörü (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Çizelge 6.7 OTC EX-C serisi robot kontrolörünün özellikleri (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

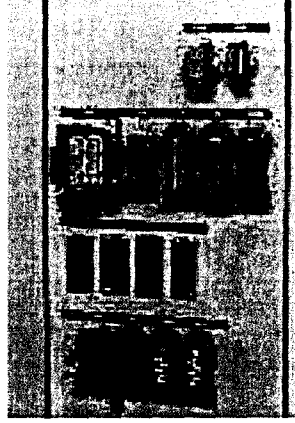
de	Tanımlamalar	
	EX-C	
	EXCMN (for EX-MV6), EXCML (for EX-MV6L / MV16)	
Öğretme sistemi	Öğretme playback	
Tahrik sistemi	AC servo	
Kontrol eksen sayısı	Tam bağımsız senkronize kontrol (maksimum. 24 eksen)	
Konumlandırma sistemi	PTP (hızlı-ileri) ve CP (kaynak) kontrolü	
Hız kontrol Sistemi	Torç üstünde sabit hız kontrolü (Maksimum 3 yöllü bağımsız kontrol)	
Koordinat sistemi	Artikülasyon kkoordinatları (dönme), Kartezyen koordinatlar (temel koordinatlar ve araç koordinatları), seçeneğe bağlı kartezyen koordinatlar	
Hafıza elemanı	IC hafıza	
Hafıza kapasitesi	20,000 komut (P hareketi için)	
Hafıza içeriği	Konum verisi (konumlandırma, doğrusal ve çembersel) Durum verisi (kaynak, dokuma,sayaç I/O, vs.)	
Görev programları sayısı	9999 (hafıza içinde, program başına düşen maksimum sequence (komut satırı)sayısı : 999)	
Harici hafıza	PC kartı (seçeneğe bağlı), veya PC (Kontrol kablosu ve ona ayrılan yazılım gereksinmesi var(seçeneğe bağlı) Kişisel bilgisayar kullanıcı tarafından hazırlanmalıdır.)	
Batarya	Lityum batarya (Batarya yedekleme süresi yaklaşık 3 yıldır.)	
Bağlanabilen maksimum kaynak güç sağlayıcı sayısı	Max. 3 ünite	
Durum ayarlama metodu	Nümerik değerlerin direkt girilmesi veya bir kaynak şartları dosyası tanımı	
Kaynak tipi	CO ₂ , MAG (MIG), TIG kaynağı (Not: Kaynak çevre grubu MIG veya TIG kullanıldığında değişmektedir.)	
Kaynak şartları	Ön akış zamanı	: 0.0 - 9.9 sn (0.1 sn'l)
	Kaynak akımı	: 0 - 500 A (1 A'l)
	Ark voltajı	: 0.0 - 50.0 V (0.1 V'l)
	Krater zamanı	: 0.0 - 9.9 sn (0.1 sn'l)
	Akış sonrası zamanı	: 0.0 - 9.9 sn (0.1 sn'l)
Kaynak sinyal girişi	Tel beslemesinin kesilmesi, düşük gaz basıncı, soğutma suyu akışı problemi, tel yapışmasının algılanması, tel uzatılması/geri çekilmesi vb.	
Kaynak sinyal çıkışı	Ark problemi, tel beslemesinin kesilmesi, düşük gaz basıncı, soğutma suyu akışı problemi vb.	
Dokuma metodu	Sabit desen dokuması Karışık (artiküle)desen dokunması Bilek eksenli kompazisyon dokuması	
Enterpolasyon fonksiyonu	Lineer ve dairesel (3-boyutlu)	
Blok operasyonu	Geri/ileri adım, sequence atlama	
Manuel Modda Hız	• Artikülasyon koordinat sistemi: 8-adımlı seçim (Torç ucunda 250mm/sn'in altında olmakla sınırlandırılmış) • Kartezyen Koordinat Sistemi: Besleme adımı (0.2 mm) ve 8-adım seçimi (Torç ucunda 250mm/sn'nin altında olmakla sınırlandırılmış)	
Blok operasyon hızı	4-hızda seçim	
Tel darbeli yol verme geri çekme fonksiyonu	Mevcut (öğretme elemanı üzerindeki her kaynak robotunda çalıştırılabilir)	
Düzenleme fonksiyonu	Kopyala, ekle, sil, kes&yapıştır, değiştir vs.	
Kaydırma fonksiyonu	Simetrik, paralel & silindirik kaydırmalar şiftler (standard) : Mekanizma hareketi tarafından kaydırılan miktar girişi ve nümerik girişi Seçime bağlı fonksiyonlar: dış eksen kaydırmaları	
Program çağırılması	Çağırma, atlama, koşullu atlama, (koşullar bir sabit veya değişken kullanılarak değiştirilebilir.)	
Kaynak hatası düzeltme fonksiyonu	Ark tekrar denemesi Üstüste binme fonksiyonu Otomatik tel çubuk tekrar ayar fonksiyonu	

Kaynak koşulları kılavuz fonksiyonu	Plaka kalınlığını, oyukları, vs. girişini yapmak optimum kaynak koşulunun otomatik seçimine izin verir. (akım, voltaj ve hız). (Not:Bu fonksiyon sadece CPVAS & CPDRA ile kullanılabilir.) (CO ₂ /MAG kaynağı, ø1.2-mm çaplı tel, yatay dolgu kaynağı)
Koşulların yar metodu	Genel mantıksal I/O portları görev programının içinde doğrudan ayarlanır.
Ayırma (tahsis etme) yar metodu	Mantıksal I/O portları, I/O dönüşüm tablosunda fiziksel I/O portlarına ayrılır (tahsis edilir.)
Özel fiziksel I/O	Çıkış Giriş
Genel fiziksel I/O	Röle ünitesi : 20 nokta (20'lik artışlarla 120'ye çıkarılabilir. (seçeneğe bağlı),ancak uzatılabilir röle ünitesi sayısı kaynak güç sağlayıcının durumuna göre değişir.) (Kapak içinde 2 uniteye kadar .)
Elektriksel giriş tanımlaması	Elektriksel tanımlama: DC24V, 10mA ON/OFF
Elektriksel çıkış tanımlaması	Elektriksel tanımlama : AC100V Çıkış metodu : Röle (kuru) temas n
Koşul ayarlama metodu	Asılı öğretici üzerindeki program sırasının düzenlenmesi
Adım sayısı	Max. 1,000 (mantık tablosu) (Not : hafıza alanı kullanımına dayanır.)
Sequence komutu	Temel operasyon komutu (LD, OUT, AND, OR, vs.) Özel operasyon komutu (RST, PAU, vs.) Veri operasyon komutu (CLR, ADB, SBB, vs.) Program kontrol komutu (END, JMP, NOP, vs.)
Başlama ünitesi	Görev programı sayısını ayarlayabilir veya herhangi bir sequence'den başlayabilir
Otomatik çalışma hızı	Konumlandırma esnasında : manipülatör tanımlama : 1 - 999 cm/dk (1 cm/min.aralıklarla a Kaynak esnasında
Başlama metodu	Çok-istasyonlu metod veya program No. doğrudan ayarlama metodu
İstasyon sayısı	1 (standard) Başlama kutuları eklendiğinde toplam 4 (seçeneğe bağlı)
Program No. doğrudan tanımlama metodu	BCD kodu tarafından (Başlatılabilen program sayısı: 9999) İkilik kod tarafından (Başlatılabilen program sayısı : 9999)
Başlama rezervasyon fonksiyonu	Atif ve rezerve olmayan görev programlarının başlama rezervasyonlarına izin verir. (yalnız çok istasyonlu metoda uygulanabilir).
Kaynak koşullarını On-line değiştirmek	Kaynak akımı, ark voltajı ve kaynak hızının otomatik operasyon esnasında değiştirilebilmesine ve güncellenmesine izin verir.
Geçici duruş	Otomatik operasyon Konumlandırma sırasında : Yavaşlar ve çalışma Kaynak esnasında : Çalışmayı ve kaynak yapma Geçici bir duruştan sonra programlar düzenlenebilir. Programlar düzenlendikten sonra, operasyon tanımlanmış sequence veya pozisyondan tekrar başlatılabilir.
Acil durum duruşu	Bir acil durum duruş butonuna basmak servo-güç ünitesinin kapanmasına sebep olur ve operatörler robotun çalışma alanına girebilirler. (Acil durum düğmesi)
Atlama fonksiyonu	Dış sinyal girişi enterpolasyonu askıya alır ve manipülatörün tanımlanan pozisyonu atlamasını sağlar.
Playback fonksiyonu	Makina kilitlenmesi, kuru çalışma, düşük hız play-back, kaynak açma/kapama, dokunma açma/kapama
Yönetim fonksiyonu	Dokunma zamanı Kaynak zamanı Hava-kesme zamanı Giriş bekleme zamanı Üretim kontrolü Zamanlama direktiflerinin yürütme zamanı
niyet fonksiyonu	Kapı arakilidi Öğretme modu arakilidi Otomatik mod arakilidi Dead-man sviçi (düğmesi)
uyucu fonksiyon	Şok sensörü Servo şok sensörü (seçime bağlı) Mekanik durdurucu Fazla çalışma limit düğmesi Yazılım limit düğmesi Panel iç sıcaklık izleyici Güç sağlayıcı voltaj izleyici Girişim alanı kontrol edici
arım fonksiyonu	İnceleme isteği Hata bağlantı fonksiyonu Ark izleyici (Not : Sadece CPDRA, CPDACA veya CPDPASKullanıldığında)

ı tespit fonksiyonu	Kontrol hatası Kaynak (başlangıç hatası tespiti, ark yetersizliği, tel yapışması, güç azalması, vs., her bir kaynak robotu başına) Servo hata (aşırı yükleme, enkoder hatası, aşırı hız vs.) Çevre grubu hatası Çalışma hatası Acil durum fonksiyonu hatası	hatası
nis fonksiyonu	Robot kontrol ünitesi ve öğretim elemanı arasındaki bağlantıyı teşhis eder. Sadece robot kullanımı için robot kontrol ünitesi ile kaynak güç sağlayıcı arasındaki bağlantıyı teşhis eder. Robot kontrol ünitesi ve manipülator arasındaki bağlantıyı teşhis eder. Robot kontrol ünitesinin iç devresini teşhis eder. Öğretim elemanının iç devresini teşhis eder. İç verileri teşhis eder.	
ine dönüş	Güç açıldığında gereksizdir çünkü mutlak konum tespiti fonksiyonu yedek batarya tarafından desteklenir. (Not: Batarya değişimi her 3 yılda bir gerekmektedir.)	
utma sistemi	Dolaylı soğutma (kontrol ünitesi: kapalı mühürlü tip)	
stik gürültü	70 dB'den az	
ım sıcaklık aralığı	0 - 45° C	
ım nem aralığı	20 - 80 %RH (yoğuşma yok)	
sağlayıcı	3-fazlı , AC200 V (+10%, -15%), 50 / 60Hz	3 kVA (for Almega EX-V6) 6 kVA (for Almega EX-V6L) 6 kVA (for Almega EX-V16)
raklama	Topraklama rezistansı 100 ohm veya daha az sadece robotun topraklanması için	
trol ünitesinin dış utları	438 (w) x 400 (d) x 795 (h) mm	
rhk	Yaklaşık 52 kg	
k	Baz: gök grisi , Panel: mavi	



Şekil 6.21 Robot kontrolörü [1]



Şekil 6.22 Robot kontrolörü harici bağlantı noktaları [1]

6.2.2.5 Proses Paketi

Genel olarak, otomatik ark kaynağı için kullanılan kaynak ekipmanı, manuel ark kaynağında kullanılanlardan farklı tasarlanmaktadır. Otomatik ark kaynağı normal olarak yüksek görev döngüleri içermektedir ve kaynak ekipmanı bu şartlar altında çalışabilmelidir. Buna ilaveten, ekipman komponentleri ana kontrol sistemiyle arayüzlenmek için gerekli özellik ve kontrollere sahip olmalıdır (Connor, 1991).

a) Kaynak Makinası

Otomatik ark kaynağı makinaları, yarı otomatik kaynakta kullanılanlardan daha karmaşık güç kaynakları gerektirebilecektir. Optimum performans için kaynak güç programını kontrol etmek için otomatik kaynak makinası genellikle güç kaynağıyla elektronik olarak haberleşmektedir.

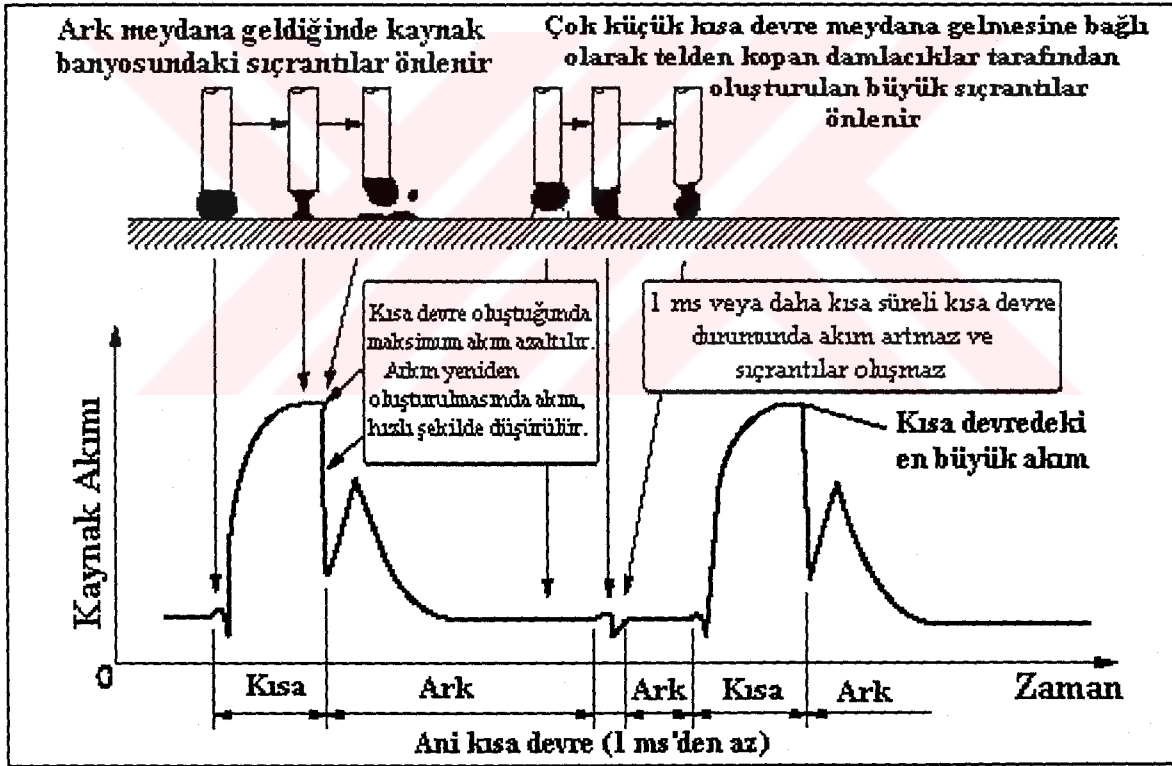
Ana kontrol sistemi, her kaynak için uygun kaynak gücünü ayarlamak amacıyla, konumlama ve sıra programının bir parçası olarak kaynak güç ayarlarını programlamak için tasarlanabilmektedir. Otomatik kaynak programı, kaynak için kalite kontrolü haline gelmektedir.

Otomatik kaynak için olan kaynak güç kaynakları tam olmalı ve kalibrasyon içi çeşitli yollara sahip olmalıdır. Manuel kaynakçılar sıklıkla kaynak makinası kontrolünü, birçok farklı kaynak için uygun bir ara seviyede tutmaktadırlar. Otomatik kaynak makinası mevcut programı tekrarlamaktadır ve kullanıldığı her seferinde programın elemanları tam bir şekilde yeniden oluşturulmalıdır (Connor, 1991).

OTC-Daihen CPVAS350 Kaynak Makinası

İnverter teknolojisi ile OTC-DAIHEN tarafından üretilen kaynak redresörleri "Mikroprosesör kontrollü elektronik reaktör" mekanizması sayesinde 350 Amper değerlerinde 3 m/dk hızlarında kaynak yapabilme özelliğine sahip bulunmaktadır.

Robot kaynağı, kaynak bölgesinden kaynaklanan sıçrantıların giderilmesi için nozulun değiştirilmesi ve temizlenmesi, kaynak bağlama düzeni ve çevresel aygıtların temizlenmesi ve dikiş alanı etrafındaki sıçrantıların uzaklaştırılması gibi değişik işlem sonu operasyonları gerektirmektedir. Sıçrantı miktarlarını önemli ölçüde azaltmak amacıyla optimum dalga formları oluşturmaktadır. İnverter turbo fonksiyonu sayesinde klasik kaynak redresörlerine göre %80 oranında daha az kaynak cüruf sıçraması ortaya çıkmakta, bu da parça üzerindeki son işlemi ciddi oranda azaltmaktadır. Şekil 6.23'de sıçrantının ortadan kaldırılması şematik olarak gösterilmiştir.

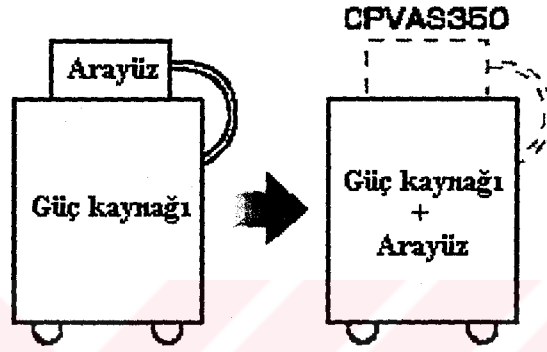


Şekil 6.23 CPVAS350 kaynak makinasında sıçrantıların ortadan kaldırılması (OTC-Daihen CPVAS350 Welding Power Source Manual)

Robot kaynağı için, ark başlangıç yeteneği, kaynak kalitesini, operasyon etkinliğini ve kayıp zamanın azaltılmasını büyük oranda etkilemektedir. Tel çapına bağlı olarak uygun ark başlangıcını kontrol etmektedir.

Tel yapışma önleyici kontrolün kullanımı, kaynak sonundaki telin kaynağa yapışma problemini ortadan kaldırmaktadır. Yapışma önleyici gerilimin uygulanması tel yapışmasını önlemektedir ve tel yapışsa bile, otomatik algılama sistemi teli iş parçasından kopartarak telin iş parçasına yapışması nedeniyle kaybolan zamana ortadan kaldırmaktadır.

Çoğu robot güç kaynağı, robota bağlanmak için arayüz kutusuna ihtiyaç duymaktadır. CPVAS350, robot arayüz fonksiyonlarını birleştirdiğinden çok fazla yer işgal etmemektedir ve bağlantı kabloları kullanılmadığından iletişimin güvenilirliğini artırmaktadır. Şekil 6.24'de CPVAS350 kaynak makinasının arayüz yapısı gösterilmektedir.



Şekil 6.24 CPVAS350 kaynak makinasının arayüz yapısı (OTC-Daihen CPVAS350 Welding Power Source Manual)

Robot kontrolörü ve güç kaynağı arasındaki bilgi transferi için iletişim kabloları olarak fiber optik kablolar kullanılmaktadır. Bu, güç kaynağı ve çevresel aygıtlar tarafından oluşturulan gürültüyü ortadan kaldırmaktadır.

Yüksek hızlı kaynak için genellikle geniş sıçrantıları, dip oyuklarını (undercuts) ve tümseklenmeyi (humping) önlemek için düşük gerilime ayarlamak gereklidir.

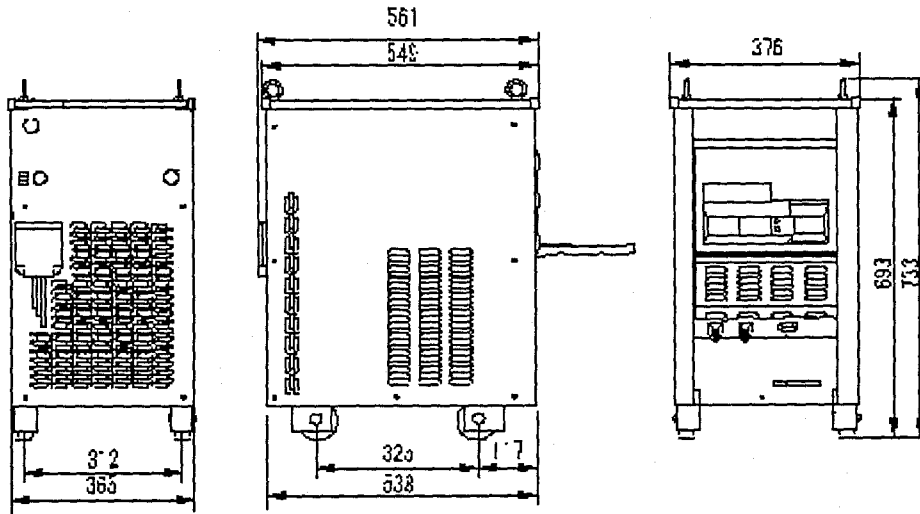
Bu durumda, kaynak teli ve ergimiş kaynak banyosu arasında uzun süreli bir kısa devre oluşabilmektedir. Bu uzun süreli kısa devre, direnç ısısına neden olmaktadır ve telin uzamasının ısıtma süresini artırmaktadır. Daha sonra, tel, uca yakın kısımdan ergimekte ve ark oluşturmak üzere boşaltıldığından kısa devre bölgesi kırılmaktadır. Ark boyu ani olarak artmaktadır böylece arkin ve köşenin stabilliğini bozulmaktadır. Bu tip uzun süreli kısa devre çok sık oluşmamaktadır. Bununla beraber, yüksek hız esnasında bir saniyelik sürelerle bir veya iki defa meydana gelirse, bu göreceli olarak uzun süreli stabil olmayan ark durumuna ve kaynak hatalarına sebep olabilmektedir.

Kısa devre oluştuğundan sonra belirli bir süre geçtiğinde, CPVAS350'deki indüktör kontrolü

otomatik olarak iptal edilmektedir ve arkı biraz erken yeniden oluşturmak için ve uzun süreli kısa devreye bağlı olarak stabil olmayan arkı ortadan kaldırmak için büyük kısa devre akımı ani olarak uygulanmaktadır. Şekil 6.25'de CPVAS350 kaynak makinası gösterilmektedir. Şekil 6.26'da ise CPVAS350 kaynak makinasının dış boyutları verilmiştir. Çizelge 6.8'de ise CPVAS350 kaynak makinasının spesifikasyonları verilmektedir. Çizelge 6.9'da ise CPVAS350 kaynak makinasının kaynak yapabildiği kaynak modları gösterilmektedir (OTC-Daihen CPVAS350 Welding Power Source Manual).



Şekil 6.25 CPVAS350 kaynak makinası (OTC-Daihen CPVAS350 Welding Power Source Manual)



Şekil 6.26 OTC-Daihen CPVAS350 kaynak makinası dış boyutları (OTC-Daihen CPVAS350 Welding Power Source Manual)

Çizelge 6.8 CPVAS350 kaynak makinasının spesifikasyonları (OTC-Daihen CPVAS350 Welding Power Source Manual)

Model Adı	Almega CPVAS350
Model Numarası	CPVAS-350
Nominal giriş gerilimi	Sipariş verilirken birincil gerilim belirtilmelidir
Faz	3
Nominal frekans	50/60 Hz
Nominal giriş gücü	19 kVA (15 kW)
Nominal çıkış akımı	350 A
Çıkış akımı aralığı	40-350 A
Nominal yük gerilimi	36 V
Maksimum açık devre gerilimi	78 V
Nominal çalışma döngüsü	500 A'de %60
Boyutlar (GxDxY)	376x546x831 mm
Ağırlık	65 kg

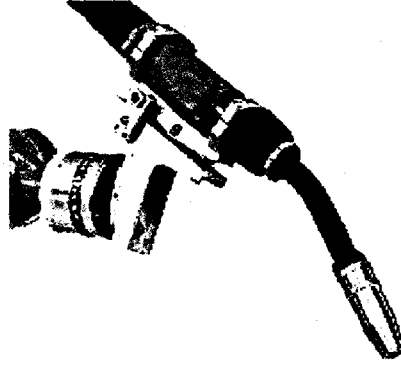
Çizelge 6.9 CPVAS350 kaynak makinasının kaynak yapabildiği kaynak modları (OTC-Daihen CPVAS350 Welding Power Source Manual)

Kaynak Prosesi		Tel Çapı
Yumuşak çelik Katı	CO ₂	0.9 mm
		1.0 mm
	MAG	0.9 mm
		1.0 mm
Özlü tel	CO ₂	1.4 mm

b) Kaynak Torçları

Otomatik ark kaynağının yüksek görev döngüsü (genellikle yüzde 75 ve 95 arasında), kaynak prosesi tarafından meydana getirilen ısıya dayanabilecek kaynak tabancası veya torç gerektirmektedir. Su soğutma sistemleri bakım gerektirmektedir ve uygun akış kontrolleri sağlanmalıdır.

Pozitif konumlama ve mil durdurma yeteneklerine sahip esnek kaynak torçları robotik kaynak için tercih edilmektedir. Kaynak robotu, programlanmış yörüngedeki nesnelere çarpışmayı önleyecek yeteneğe sahip değildir. Robot programlanması esnasında, kaynak tabancası veya torç iş parçasıyla çarpışabilmektedir. Çarpışmalar robot ve torca zarar verebilecektir. Acil durdurma yetenekli esnek torçlar hasar ihtimalini minimize etmektedir. Acil durdurma svici, çarpışma, kaynak tabancasını veya torcu konumundan saptırıldığında aktive edilmektedir (Connor, 1991). Şekil 6.27'de ark kaynak robotunda kullanılan torç görülmektedir.

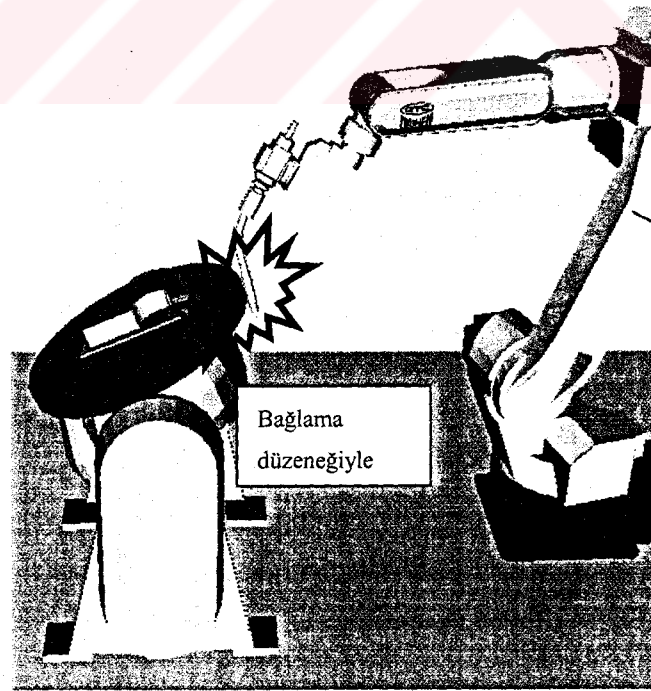


Şekil 6.27 Ark kaynak robotu torcu [2]

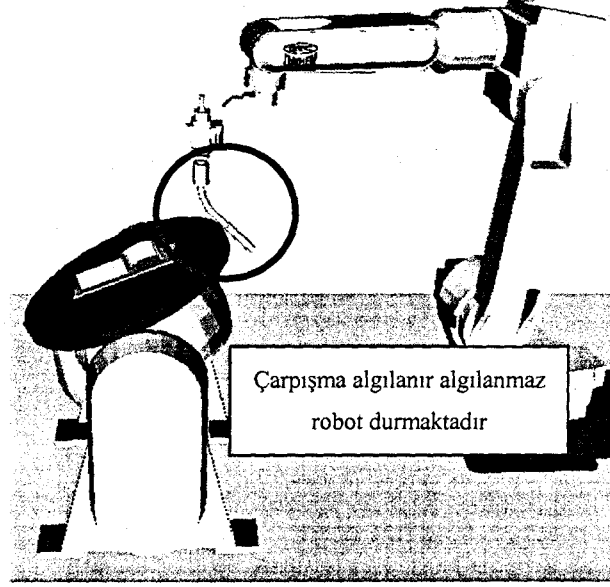
Torç çarpışma sensörü

Torç çarpışma sensörü, robotun torcunun veya kolunun çevresel ekipmanla çarpışma durumunu algılayan bir fonksiyondur. Robot çarpışmayı aniden farkedip durduğundan dolayı, çarpışmadan dolayı olan hasar minimize edilecektir.

Çarpışma algılaması hem otomatik modda hem de öğretim modunda mevcut bulunmaktadır. Bununla birlikte, algılama hassasiyeti her eksen için ayarlanabilmektedir. Şekil 6.28 ve 6.29'da robotun fikstürle çarpışması ve bundan sonraki hareketi gösterilmektedir.



Şekil 6.28 Fikstürle çarpışma [5]



Şekil 6.29 Çarpışmanın fark edilmesinden sonra hareket [5]

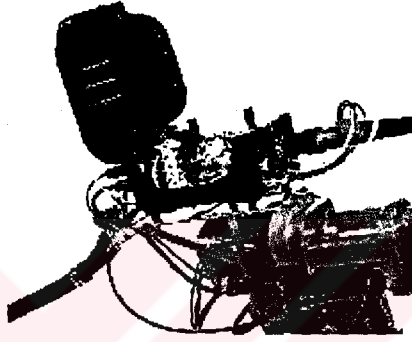
c) Tel Besleyicileri

Otomatik ark kaynak makinası, motorlu kaynak teli besleme sistemini direkt olarak kontrol etmek için kolayca tasarlanmaktadır. Bu, montaj için spesifik gereksinimleri karşılamak amacıyla değişik tel besleme hızlarının oluşturulmasında esneklik sağlamaktadır. Buna ilaveten otomatik makina, programdaki ayarların hatırlanması ile her kaynak için tel besleme hızının uygun şekilde ayarlanmasını garanti edebilecektir. Kaynak makinasının tel besleme hızını kontrol etmesine izin vermek için özel arayüzler gerekli olmaktadır. Tipik olarak, tel besleme sistemine arayüzlenmek için kaynak makinası kontrolünden analog çıktı sağlanmaktadır. Eğer kaynak makinasının gerçek tel besleme hızının sinyalini almak için gerekli donanımı yoksa tel besleyicinin kendisi hız düzenleme yetisine sahip olmalıdır. Tel besleyicinin kalibre edilebileceği değişik yollar da mevcut olmalıdır. Otomatik kaynak için olan tel besleme sistemleri, tel hızı için kapalı döngü geribesleme kontrolüne sahip olmalıdır. Otomatik ark kaynak makinası normal olarak yüksek kaynak hızları ve görev döngülerinde çalıştırılmaktadır. Tel harcama hızı manuel kaynaktakinin üç ila dört katı olmaktadır ve arkın devrede olduğu süre manuel kaynaktakinin iki ila üç katı olmaktadır.

Tel harcama hızları büyük olduğundan, tel çekme prosesinden kalan artık yağlar ve tel yüzeyindeki pislikler yüzünden tel olukları ve kılavuzlar tıkanabilmektedir. Bu, kaba tel besleme ve gerilim dalgalanmaları ile sonuçlanabilmektedir. Bundan dolayı, oluk hatları ve kılavuzlar sık sık kontrol edilmelidir ve gerektiğinde temizlenmeli veya değiştirilmelidir.

Otomatik ark kaynak sistemlerinin imalat hızları, kaynak teli tedarik sistemlerinden birçok beklentiye neden olmaktadır. Yarı otomatik ark kaynağı için kullanılan 27 kg'lık veya daha az kapasiteli kaynak teli kangalları (spools), otomatik ark kaynağı için yetersiz kalmaktadır. 113 kg veya daha fazla kapasiteli kangallar veya tamburlar iyi bir seçim olacaktır.

Kangaldan teli makaraya saran ve kangalı destekleyen sistemler arzu edilmektedir. Bunlar tel besleme sisteminde telin kaymasını ve sonuçta kaynaklarda oluşabilecek kusurları önlemektedir. Bazı durumlarda, eğer uzun mesafeler söz konusuysa itme-çekme tipi tel besleme sistemi gerekli olabilmektedir (Connor, 1991). Şekil 6.30'da tel besleme sistemi görülmektedir.



Şekil 6.30 Ark kaynağı robotu tel besleyicisi [2]

6.2.2.6 Proses Destek Elemanları

Proses destek elemanları, ark kaynağı prosesine destek olmak ve bunu geliştirmek için kullanılabilen, opsiyonel elemanlar olmaktadır.

a) Tel Kesici

Tel kesici, kullanıcıya, bir sonraki kaynak prosedürü için teli teli temizleyerek ve uygun boyda keserek optimum çalışma şartını sağlamaktadır.

Tel kesici, 1.6 mm'nin üzerindeki teller üzerinde temiz ve tekrarlanabilir kesme sağlayan pnömatik silindir tarafından tahrik edilmektedir [2].

Kaynak ünitesinin ark tutuşturma davranışı ve işe yararlığı aşağıda belirtildiği gibi artırılabilir:

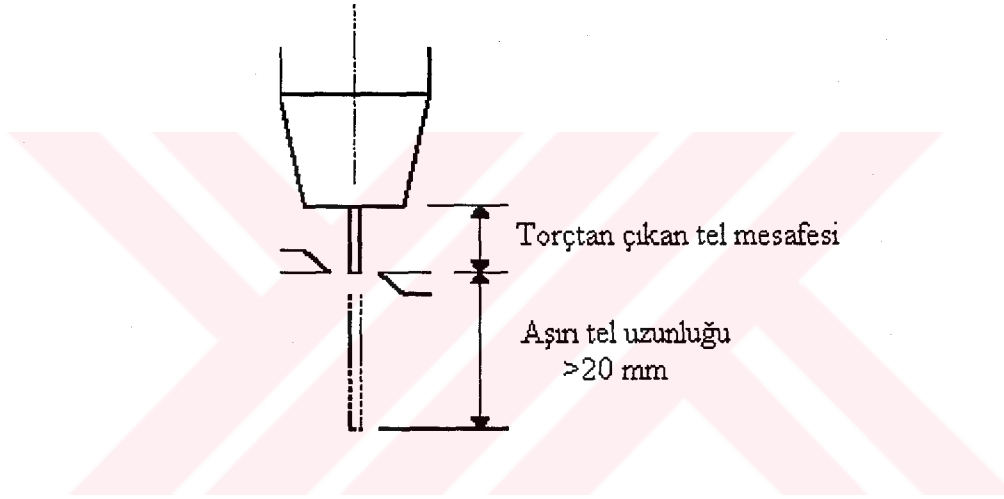
- Bükülmüş veya aşırı uzun telin kesilmesiyle.
- Torç temizleme ve her TCP ölçümünden önce tel ucunun kesilmesiyle.

- Tel ucundaki cüruf oluşumunun kesilmesiyle.

Robot başlangıç konumunda bulunmaktadır. Kural olarak, kaynak torcu, spreyc kafasının üzerindeki torç temizleyicinin içinde bulunmaktadır.

Tel kesme programı, robotun hafızasında saklanmaktadır.

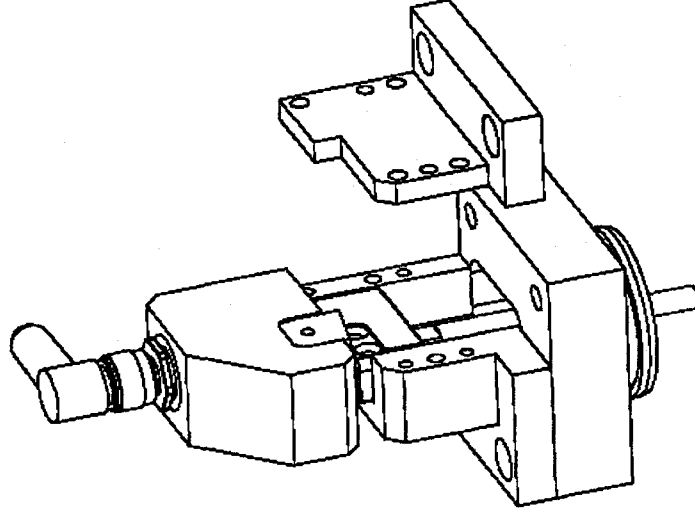
- Kesici bıçak açılmaktadır (iki hareket birbiriyle bağlantılı olduğundan, bu , otomatik olarak kenetleme silindirin kapanmasına yol açacaktır).
- Kaynak torcu, bıçağın üzerinde bırakılması gerekli tel projeksiyon mesafesiyle (örneğin 10 mm), torç temizleyecinin tel kesme konumuna hareket etmektedir.
- Tel besleyici en az 20 mm olmak üzere aşırı tel boyu sağlamaktadır (en az 20 mm'lik aşırı tel boyu, tel atık kısmındaki fonksiyon bozukluklarını önlemek için gereklidir) [2].



Şekil 6.31 Aşırı telin kesilmesi [2]

- Kesici bıçak kapanmaktadır ve istenen projeksiyon uzunluğu dahilinde teli kesmektedir. Daha sonra kesici bıçak ve kenetleme silindiri başlangıç konumlarına dönmektedirler.
- Robot başlangıç konumuna dönmektedir ve programın sonuna sinyal göndererek, kaynak programının kalan kısmını tamamlamaya hazır hale geldiğini belirtmektedir [2].

Şekil 6.31'de aşırı telin kesilmesi gösterilmektedir. Şekil 6.32'de ise tel kesicinin perspektif görünümü verilmektedir.



Şekil 6.32 Tel kesici [2]

Teknik Veri

- Hava basıncı: 5-10 bar
- Kenetleme silindiri: Çap. 45 x 36 mm strok
F= 790 N, 5 bar basınçta
- Kesilebilecek maksimum tel çapı: d = 1.0 mm, çelik, 5 bar hava basıncında
d = 1.2 mm, çelik, 6 bar hava basıncında
d = 1.2 mm, alüminyum, 5 bar hava basıncında
- Ağırlık: 1.3 kg

b) Torç Servis Merkezi

Robot kaynak hücresindeki en kötü yüke kaynak torcu maruz kalmaktadır. Isı, kaynak sıçrantısı ve en kötü durumda çarpışmaya maruz kalmaktadır. Kaynak torçları bu tür ortamlara uygun imal edilmektedir ancak iyi kaliteye ve tamlığa sahip kaynak dikişleri isteniyorsa torçlar düzenli olarak temizlenmeli ve takım merkez noktası tanımlaması gerçekleştirilmelidir.

Torç servis merkezi iki ana ünitelerden meydana gelmektedir:

- Mekanik torç temizleyici
- Takım merkez noktası tanımlayıcısı

Kaynak operasyonları esnasında sıçrantıyı önlemek imkansız olmaktadır. Arktaki sıcak partiküller çok kolaylıkla gaz nozulunun içine yapışmaktadırlar. Nozul içinde sıçrantının birikmesi, tel beslemesinin kesilmesine, koruyucu gazın yeterince gelememesine veya torcu

kullanılmaz hale getiren kısa devre oluşumuna neden olabilmektedir. Gaz nozulunda bulunan rölatif olarak küçük miktarlardaki sıçrantı bile kaynak operasyonunu etkileyebilmekte, kötü bir kaynak başlangıcı sağlamakta ve sonuçta düşük kaynak kalitesine neden olmaktadır. Kaynakçılara sıkıntı veren bu durum, kaynak robotları için ciddi problem teşkil etmektedir.

Torç Servis Merkezi, kaynak torçlarından sıçrantının mekanik olarak uzaklaştırılması için kullanılan entegre bir sistem olmaktadır.. Robot kontrol sistemi, torcun doğru konumda kenetlenmeden işlemin başlamasını engellemek için temizleme operasyonunu işletmekte ve denetlemektedir. Bu, robota titreşim veya şokların ulaşmasını engelleyerek her seferinde daha hassas temizleme işleminin gerçekleştirilmesini ve temizlenen parçalarda daha az aşınmanın meydana gelmesini sağlamaktadır. Tüm temizleme operasyonu, mekanik, pnömatik temizlemeyi ve sonuç olarak gaz nozulunun içine yağ enjekte edilmesini içeren tek seferde gerçekleştirilen otomatik bir operasyon olmaktadır. Şekil 6.33'de torç servis merkezi görülmektedir.



Şekil 6.33 Torç servis merkezi [2]

Takım Merkez Noktası (TCP), robot hareketleri merkez noktası olmaktadır. Ark kaynağı uygulamalarında, doğru tanımlanmış takım merkez noktası, tüm robot hareketlerinin temas ucundan çıkan telden başladığı yer olarak kabul edilmektedir. Sonuç olarak kötü tanımlanmış takım merkez noktası, robotun programlanmış yolu izleyememesine yol açacaktır. Doğru şekilde takım merkez noktasının belirlenmesi zaman alıcı olmaktadır ve tamlık, işin ne derece dikkatli yapıldığına bağlı olmaktadır. Düzenli takım merkez noktası teyidi gerekli olmaktadır çünkü kaynak torcunun konumundan sapmasına neden olan birçok faktör mevcut bulunmaktadır:

- İş parçası ile çarpışma, örneğin yanlış konumda bırakılan fikstür kısılcasına (klemp) robotun vurması
- Takım merkez noktasının yanlış tanımlanması
- Kaynak torcunun değiştirilmesi
- Torç boynunun değişimi

Torç Servis Merkezi, takım merkez noktasının tanımlanmasını tamamen otomatik olarak gerçekleştirmektedir. Robot istasyonu kurulurken torç servis merkezi, takım merkez noktasını otomatik olarak belirlemektedir. İmalat esnasında robotun torç servis merkezine düzenli aralıklarla gitmesini sağlamak için, robot programlanabilmektedir. Torç servis merkezine giderek robot, takım merkez noktasını kontrol edecek, gerekli ayarlamaları otomatik olarak gerçekleştirecek ve doğru şekilde tanımlanmış takım merkez noktası ile işine geri dönecektir. Tel kesici, torçtan dışarı çıkacak tel miktarını hassas ve tutarlı şekilde ayarlayacak ve torç servis merkezinin, takım merkez noktasını telin sonu ve telin çapının merkezi olarak tanımlamasını mümkün kılacaktır [2].

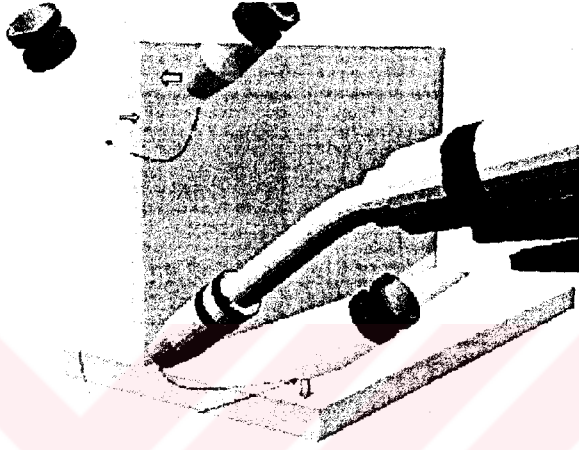
c) Dikiş İzleme

Otomatik ark kaynağı operasyonlarının problemlerinden biri, her seferinde tutarlı geometriye ve kaliteye sahip kaynaklar elde etmek için kaynak tabancası veya torcun kaynak eklemine göre uygun şekilde konumlanması zorunluluğudur. Komponent parçalarının boyutsal toleransları, kenar hazırlama ve yerleştirmedeki varyasyonlar ve diğer boyutsal değişkenler, kaynak eklemelerinin kesin konumunun ve üniformitesinin bu montajdan diğerine farklı olmasına neden olabilmektedir. Sonuç olarak, bir eklem boyunca kaynak esnasında kaynak tabancası veya torcunun konumunun ayarlanması istenebilmektedir.

Eklem boyunca kaynak tabancası veya torca kılavuzluk yapması için birçok sistem mevcut bulunmaktadır. Bunların en basiti, torcu eklemde fiziksel olarak merkezleyen ve dikey ile

yatay parça konturlarını takip eden yay baskısı altındaki problemler veya diğer aygıtları kullanan mekanik izleme sistemi olmaktadır. Tabii ki bu sistemlerin kullanımı, yeterli yükseklik ve genişliğe sahip kaynak eklemleri ile sınırlı olmaktadır (Connor, 1991).

SmarTac, diğer kaynak eklem konumlandırıcılarıyla dinamik bir rekabet sağlarken aynı zamanda robotların daha zeki yapılmasını gerçekleştiren çok basit ve uygun maliyetli elektronik "dokunma" duyusunu kullanarak kaynak eklem (birleşim) konumlarını belirlemektedir. Şekil 6.34'de dikiş izleme sistemi gösterilmektedir.



Şekil 6.34 Dikiş izleme sistemi [2]

Dikişteki başlangıç ve bitiş noktaları 3 boyutlu arama modeli kullanılarak ayarlanabilmektedir. Arama ve bulma işlemleri kaynak operasyonlarından önce gerçekleştirilmektedir ve program, iş parçasının dönüşünü, eğimini ve ofsetini de hesaba katabilmektedir. Dikişteki istenen sayıdaki noktalar gerektiğinde konumlanabilmekte ve düzeltilebilmektedir.

Robot, hafızasına kaydedilmiş programlanmış yolu izlemektedir ve iş parçası düzgün hizalandığı sürece sonuçlar mükemmel olacaktır. Diğer yandan, hatalı hizalanmış iş parçası kaynak kalitesinde ciddi sorunlara yol açabilecektir. Bu tür durumlarla başa çıkmak için robot, kaynak yolunu iş parçasına göre adapte edebilmelidir. Diğer bir deyişle, kontrol için uyumlu bir sisteme ihtiyaç duymaktadır.

Sistem kaynak torcundaki standart gaz nozulunu sensör olarak kullandığından torç üzerinde hacimli eklentiler bulunmamaktadır ki bu da kaynak erişilebilirliğinin sınırlanmasını engellemektedir. Arama modunda sistem, gaz nozulunu elektrik şarjıyla yükleyerek çalışmaktadır. Nozul ve iş parçası temas ettiğinde kapalı devre meydana gelmektedir ve

dönüştürücü ünite aracılığıyla robotun kontrol sistemine duruş sinyali gönderilmektedir. Hafızadaki programlanmış konum ile gerçek konumun karşılaştırılmasından sonra sistem, iki konum arasındaki farklılıkları hesaplamakta ve gerçek konuma uyması için programı adapte etmektedir.

Tüm arama prosesi robotun kontrol sistemi ile entegredir ve tüm fonksiyonlar bir programlama ünitesinden çalıştırılmaktadır.

Kaynağa başlamadan önce iş parçasındaki bir veya birden çok noktayı konumlandırmak için arama modu başlatılmaktadır. Arama modunda torç, iş parçası yüzeyiyle temas edene kadar hareket etmektedir; sisteme enerji yüklenmesiyle konum belirlenmektedir. Noktanın kesin konumunu tanımlamak için her biri bir önceki harekete ve iş parçasının yüzeyine uygun açıda bulunan üç hareket gerçekleştirilmektedir. İş parçası karmaşıklığına bağlı olarak 3-boyutlu arama süresi sekiz ila oniki saniye sürmektedir ve gerektiğinde arama mesafeleri ve hızları değiştirilebilmektedir.

Arama fonksiyonu, kaynak başlangıç ve bitiş noktalarının ayarlanmasının yanında eğrisel yüzeyler gibi yerlerde kaynak boyunca bir dizi noktanın konumlanması için de kullanılabilir. Arama geometrisi ayrıca doğrusal, dairesel veya doğrusallık ve daireselliğin bir arada olduğu eklemeleri de konumlayabilmektedir [2].

Çizelge 6.10 Smartac dikiş izleme sistemi teknik verileri [2]

Teknik veri	
Arama modu gerilimi	7-40 V DC
Arama hızı	20-50 mm/s (istenen konum tamlığına bağlı olarak değişmektedir)
Nokta başına arama zamanı	2-6 sn (iş parçası karmaşıklığına bağlı olarak değişmektedir)
Arama uzunluğu	İş parçası çeşitliliklerine bağlı olarak değişmektedir
Hassasiyet	Tipik olarak iş parçası temasında 1 V'luk düşümler ile bulunmaktadır
Tamlık	± 0.25 mm (20 mm/sn arama hızı ile)

d) Duman ve Gaz Uzaklaştırma

Otomatik kaynak sisteminin yüksek görev döngüsü büyük miktarlarda duman ve gaz oluşturabilmektedir. Personelin korunması için bu gaz ve dumanların kaynak bölgesinden güvenli şekilde uygun bir eksoz (havalandırma) sistemiyle uzaklaştırılması gerekmektedir (Connor, 1991).

İşçileri ve çevreyi bu dumandan korumak için bir toplayıcı ve fan konulmalıdır. Genellikle yeni uygulamalarda bu dumanın atmosfere pompalanmasının yerine filtrasyon ile bu dumanın çalışma alanına geri döndürülmesi yaygın şekilde kullanılmıştır. Filtrelerin kolay temizlenebilmesi ve dağılıbilir filtre kartuşlarına gerek duyulmaması, elektrostatik filtre ünitelerinin günümüzde büyük bir pazara sahip olmasını sağlamıştır (Anık vd., 1996).

6.2.3 Robotun Programlanması

Otomatik ark kaynak sistemi, kaynak operasyonunu gerçekleştirmek için programlanmalıdır. Programlama, spesifikasyonlara uygun şekilde montajın kaynak edilmesi için makinanın izlemek zorunda olduğu adımların ayrıntılı sırasının oluşturulmasıdır.

Spesifik bir kaynak için yatırım yapıldığında, program, gelecekteki kullanımlar için saklanabilmektedir.

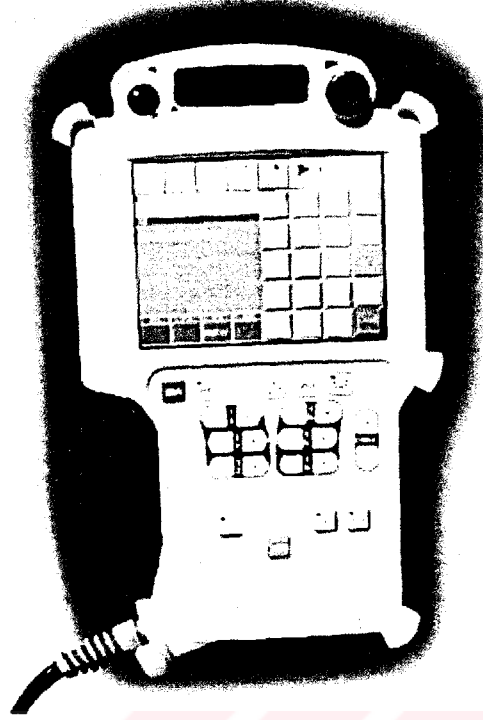
Kaynak programının geliştirilmesi için şu adımları içermektedir:

- Otomatik kaynak sistemi kalibre edilmelidir. Kalibrasyon, programın gelecekteki kullanımının bilinen ayar noktasından itibaren çalışmasını güvence altına alacaktır.
- Kaynak makinasına göre montajın konumu oluşturulmalıdır. Sıklıkla basit fikstürleme yeterli olmaktadır.
- Kaynak tabancası veya torç tarafından izlenecek yol oluşturulmalıdır. Bu izlenecek yol bazı robotlara öğretilirken bazıları çevrimdışı programlanmaktadır.
- Kullanılacak kaynak şartları geliştirilmelidir. Bunlar daha sonra hareket programı ile koordine edilmelidir.
- Performans kontrol edilerek ve doğrulanarak program kısaltılmalıdır. Sıklıkla, istenen kaynak eklemeni elde etmek için programın düzenlenmesi gerekecektir (Connor, 1991).

Ark kaynak robotlarının programlanması iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bunlardan birincisi, asılı öğretici (teach pendant) aracılığıyla robotun, uzayda istenen noktalara hareket ettirildiği ve bu noktaların ile bu noktalardaki ilgili proses parametrelerinin hafızaya alındığı metod olmaktadır. İkincisi ise robotun programlanmasının çevrim dışı (off-line) yani bilgisayar ortamında gerçekleştirildiği yöntem olmaktadır.

6.2.3.1 Asılı Öğretici (Teach Pendant) ile Programlama

Asılı öğretici (öğretim modülü), robotu uzayda istenen noktalara hareket ettirmekte ve bu noktalardaki ilgili proses parametrelerinin hafızaya alınmasını sağlamaktadır. Şekil 6.35'de asılı öğretici görülmektedir.



Şekil 6.35 Asılı öğretici (öğretim modülü) [3]

Şekil 6.35’de görüldüğü üzere öğretim modülünün üzerinde komutların izlenebildiği bir LCD ekran ve komutların girilmesini sağlayan tuş takımı bulunmaktadır.

Robotun programlanması için, robot, öğretim modülündeki eksenleri ifade eden tuşlar aracılığıyla istenen noktaya hareket ettirilmektedir. Daha sonra bu nokta hafızaya alınmaktadır. Herhangi iki nokta arasında robotun doğrusal bir hareket izlemesi isteniyorsa “L” komutu, dairesel bir hareket izlemesi isteniyorsa “C” komutu kullanılmalıdır.

a) Pozisyonlama (P)

Bu komut robotun pozisyon ve duruşunu saklamasını sağlamaktadır. Robot bir önceki saklanmış pozisyondan/duruşdan, öğretilmiş pozisyona/duruşa harekete etmektedir. Robot en kolay yolu izlediğinden, torç ucu düz bir çizgi takip etmemektedir.

Aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

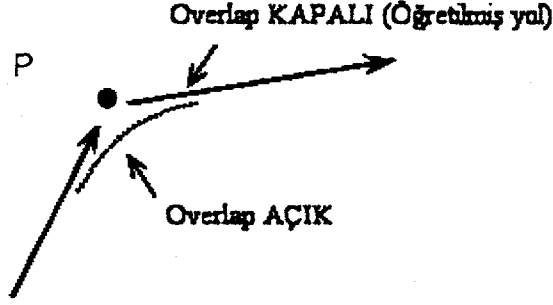
Hız

Mevcut hız oranında belli bir hız ayarı yapılmalıdır (Bu oran maksimum hıza olan orandır; 100 maksimum değer olmaktadır).

Robotun her ekseni hareketi en fazla olan eksenle eş zamanlı olarak başlamakta ve durmaktadır.

Overlap (Yumuşak geçiş) AÇIK/KAPALI

Overlap robotun öğretilmiş iki nokta arasında hızını azaltmadan ilerlemesidir. Overlap ON durumu döngü süresini azaltabilir. (Döngü süresi otomatik operasyonun başlatılması ile sonlandırılması arasında geçen süredir.).



Şekil 6.36 Overlap AÇIK/KAPALI

Döngü süresini azaltmasına rağmen, overlap AÇIK durumunda çevre jiglerinin çarpışmaması için önlem almak gereklidir. Bunun nedeni, otomatik operasyon ile öğretilmiş yolun yolları arasındaki fark olmaktadır.

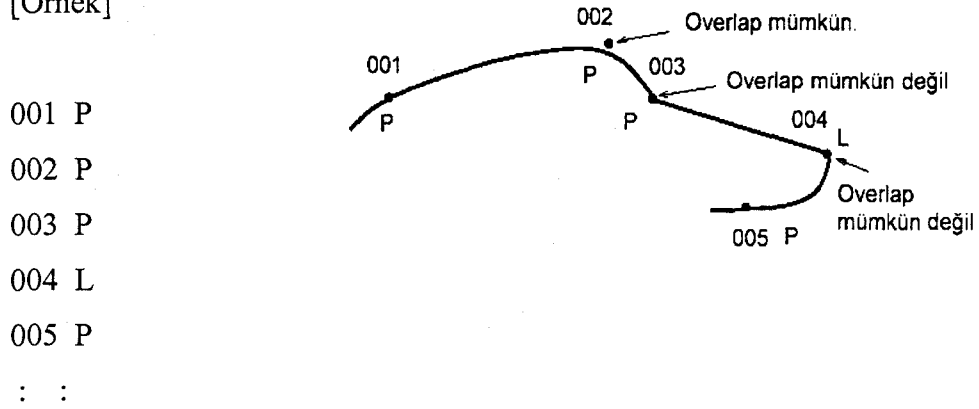
The overlap işlemi blok operasyonunda kullanılmamaktadır. Bu sebeple robot jiglerle blok operasyonda çarpışmamış dahi olsa otomatik operasyonda çarpışabilmektedir.

Robotun jiglerle çarpışma olasılığı varsa, overlap durumu KAPALI olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Overlap durumu ON olarak ayarlansa bile aşağıdaki koşullar altında overlap işlemi geçersiz olacaktır.

- Ardışık iki komut pozisyonlama komutu (P, HP, or PM) içermediği zaman;

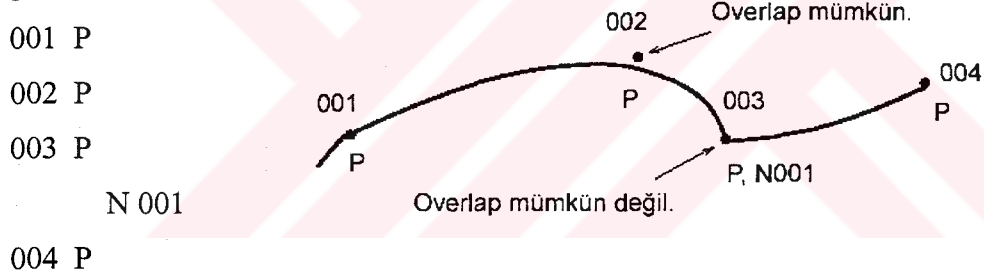
[Örnek]



Şekil 6.37 Ardışık iki pozisyonlama komutu olmadığında overlap durumu (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

- Giriş bekle komutu (N, F, INW, or OTW), kronometre bekle komutu(T), yada operasyon yok komutu (NOP) iki komut arasında öğretildiği zaman


[Örnek]



Şekil 6.38 Giriş bekle komutu öğretildiğinde overlap durumu (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Pozisyonlamayı Öğretme

1 Robot, öğretilmek istenen pozisyona ve duruşa manuel kullanımla getirilmektedir.


2  tuşuna basılmaktadır.

Pozisyonlama komutu P seçilmektedir.

P (Positioning)	=	75%
>SPEED	=	ON
LAP	=	ON

3 Numerik tuşlar kullanılarak hız girilmektedir.

Şekil 6.39 Pozisyonlamada hızın ayarlanması (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

4  tuşuna basılarak overlap ayarı değiştirilmektedir.


F1 ... overlap AÇIK
F2 ... overlap KAPALI

ayarı fonksiyon tuşu ile seçilmektedir.

P (Positioning)	=	100%
SPEED	=	ON
>LAP	=	ON

ON **OFF**

Şekil 6.40 Pozisyonlamada overlap ayarı (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

5  tuşuna basılmaktadır.

Böylece pozisyonlama komutu "P" kaydedilmiş olmaktadır.

b) Doğrusal Enterpolasyon (L)

Doğrusal enterpolasyon komutu (L), robotun takım ucunun, bir önceki kaydedilmiş pozisyondan/duruşdan, öğretilmiş pozisyona/duruşa doğrusal olarak hareket etmesini sağlamaktadır.

Aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir.

Hız

Alet ucunun hareket hızı belirlenmelidir (cm/dak).

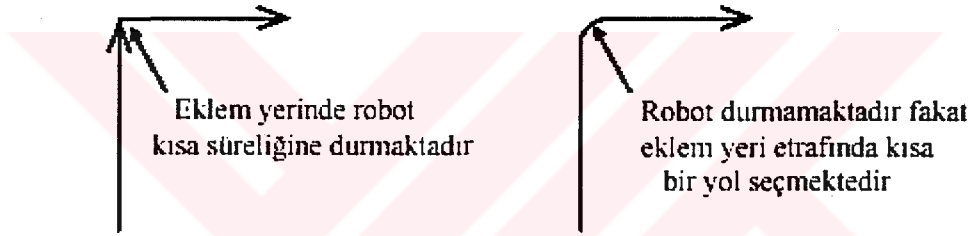
Hız 1 - 9999 cm/dak sınırları içinde girilebilmektedir. Mümkün olan maksimum hızın 9000 cm/dak olduğuna dikkat edilmelidir. 9000 cm/dak'dan daha yüksek bir hız girilse bile, otomatik operasyonda robot, 9000 cm/dak ile hareket edecektir.

Blok operasyonu için maximum hız 1500 cm/dak'dır.

Overlap AÇIK/KAPALI

Overlap AÇIK/KAPALI durumunu belirlenmelidir.

Normal şartlar altında kaynak işlemi kullanılırken overlap durumu AÇIK konuma getirilmelidir. Overlap KAPALI durumunda ise, otomatik operasyonda köşelerde robot anlık olarak duracaktır.



Şekil 6.41 Linner interpolasyonda overlap AÇIK/KAPALI durumu (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Kullanıcı tipine bağlı olarak belirlenmiş hıza ulaşamayabilmektedir.

Bunun yanında, aşağıdaki koşullar altında da robot belirlenmiş hızda hareket etmeyebilmektedir.

- Duruş daki değişiklik hareket mesafesine oranla çok büyük olduğunda.
- Hareket mesafesi çok kısa olduğunda.

Overlap AÇIK/KAPALI durumlarında izlenen yol arasındaki fark, köşelerde ortaya çıkmaktadır. Yolun diğer kısımlarında herhangi bir fark olmamaktadır.

Hareket mesafesi ve hızı arasındaki ilişiyeye bağlı olarak, overlap AÇIK durumunda olsa dahi overlap işlemi geçerli olmayabilmektedir.

Overlap durumu AÇIK olsa dahi aşağıdaki koşullar altında overlap işlemi geçersiz olmaktadır.

- Ardışık iki komut farklı koordinat sistemleri altında öğretildiğinde.
- Input Bekleme komutu (N, F, INW, or OTW), kronometre, kronometre bekleme komutu (T), yada Operasyon yok komutu (NOP) iki sıra arasında öğretildiğinde.
- İki ardışık sıra sırasıyla eş-zamanlı hareket enterpolasyon komut (HL, HC) ve tek enterpolasyon komutu (L, C) ise.

[Örnek]

:

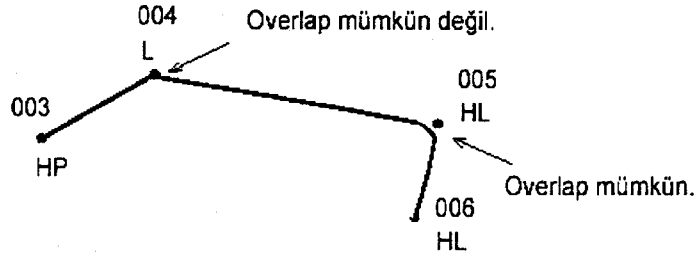
003 HP

004 L

005 HL

006 HL

:



Şekil 6.42 Lineer enterpolasyonda ardışık iki sıra durumunda overlap (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

- Ardışık iki sıranın ana mekanizmaları farklı olduğu zaman.

[Örnek]

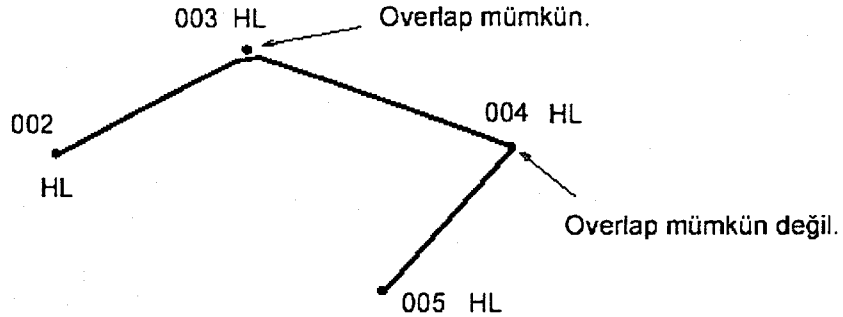
:

002 HL (Mekanizma 1 ana mekanizma içinde tanımlı.)

003 HL (Mekanizma 1 ana mekanizma içinde tanımlı.)

004 HL (Mekanizma 1 ana mekanizma içinde tanımlı.)


005 HL (Mekanizma 2 ana mekanizma içinde tanımlı.)



Şekil 6.43 Lineer enterpolasyonda ardışık iki sıranın ana mekanizmaları farklı olduğunda overlap (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

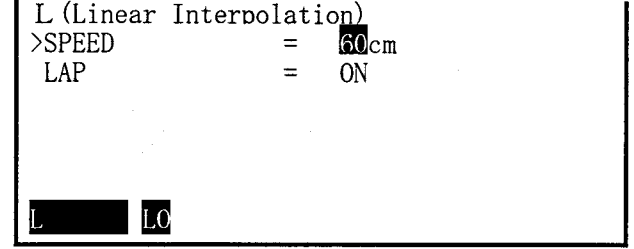
Doğrusal Enterpolasyonun Öğretilmesi

1 Robot, öğretilecek pozisyona manuel kullanımla getirilmelidir.


2  tuşuna basılmalıdır.

Doğrusal enterpolasyon komutu L seçilmelidir.

3 Numerik tuşlar kullanılarak hız girilmelidir.

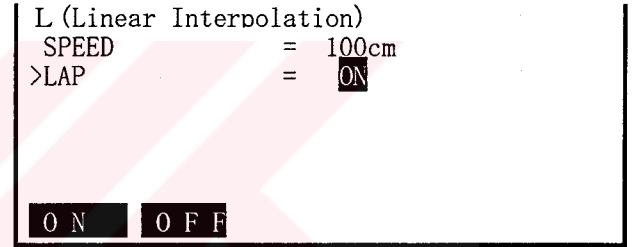


Şekil 6.44 Lineer enterpolasyonda hız ayarı (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)


4  tuşuna basılarak overlap ayarı değiştirilebilmektedir.

F1 ... overlap AÇIK
F2 ... overlap KAPALI

ayar fonksiyon tuşları kullanılarak yapılmalıdır.



Şekil 6.45 Lineer enterpolasyonda overlap ayarı (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

5  tuşuna basılmalıdır.

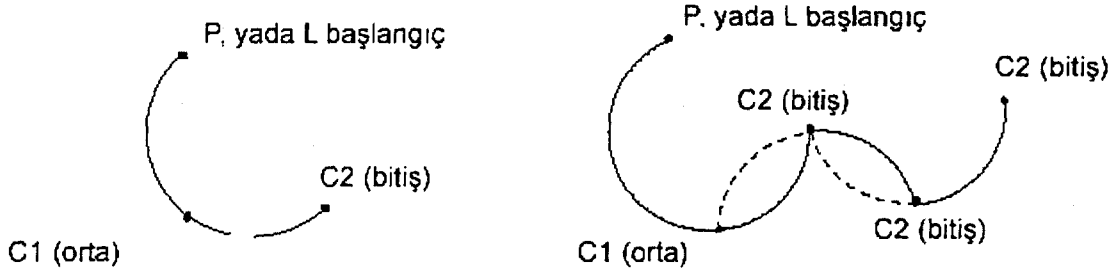
Böylece doğrusal enterpolasyon komutu "L" kaydedilmiş olmaktadır.

c) Dairesel Enterpolasyon (C1/C2)

Bu komutlar torç ucunun bir önceki kaydedilmiş pozisyondan/duruşdan öğretilmiş pozisyona/duruşa dairesel bir hareketle gitmesini sağlamaktadır.

Aşağıda gösterildiği gibi, dairesel bir yay, öğretilecek üç nokta ile belirlenmektedir (bir başlangıç noktası/bir orta nokta/bir bitiş noktası). Bu üç noktanın öğretildiğinden emin olunmalıdır.

- Başlangıç noktası: P yada L, C1 den hemen önce
- Orta nokta: C1 (Mevcut nokta ile ondan önceki ve sonraki noktalardan bir yay oluşturmaktadır).
- Bitiş noktası: C2 (Mevcut nokta ile önceki iki noktadan bir yay oluşturmaktadır).



Şekil 6.46 Dairesel enterpolasyonun oluşturulması (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Dairesel Enterpolasyonu Öğretmek

1 Robotu öğretecek pozisyona manuel kullanıcı ile getirin.

2  tuşuna basın.

Dairesel enterpolasyon komutu C1 seçilmektedir.

Eğer C1 halihazırda öğretilmişse, C2 otomatik olarak seçilmektedir.

C1 ve C2, F5 tuşuna basılarak değiştirilebilmektedir. (C1/C2).


3 Hız ayarını değiştirmek için numerik tuşlar kullanılmalıdır.

```
C 1 (Circular Interpolation)
>SPEED      = 60cm
LAP          = ON
```

C **CO**

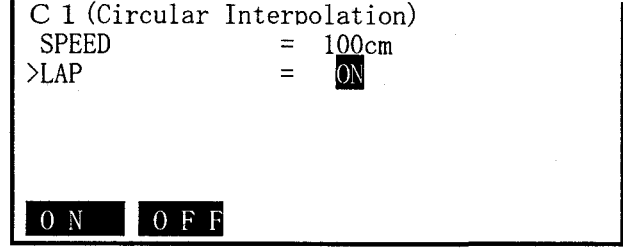
C1/C2

Şekil 6.47 Dairesel enterpolasyonda hız ayarı (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)


4  tuşuna basılarak overlap ayarı, değiştirebilecek duruma getirilmelidir.

F1 ... overlap AÇIK
F2 ... overlap KAPALI

fonksiyon tuşu ile overlap ayarı yapılmalıdır.



Şekil 6.48 Dairesel enterpolasyonda overlap ayarı (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)


5  tuşuna basılmalıdır.


Şimdi, dairesel enterpolasyon komutu "C1" yada "C2" kaydedilmiş olmaktadır.

d) Program Sonlandırma (END)

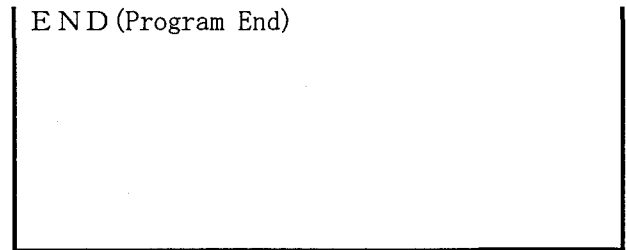
END komutu, bir programın çalışmasını bitirmek için kullanılmaktadır. Görev tamamlama işlemi bu komut tarafından yürütülmektedir.

Program Sonlandırmayı Öğretmek (END)

1  tuşuna basılmalıdır.

2  tuşuna basılmalıdır.

Şimdi END komutu kaydedilmiş olmaktadır.



Şekil 6.49 End (sonlandırma) komutu (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

e) Kaynak Komutları

Ark Başlangıç/Bitiş (AS/AE)

Ark başlama komutu (AS), tanımlanan kaynak koşullarında kaynağı başlatmak veya bu

koşulları kaynak işlemi esnasında değiştirmek için kullanılmaktadır. Ark bitiş komutu (AE) ise tanımlanmış ark bitiş koşullarını kullanırken kaynak işlemi bir krater işlemi ile sonlandırmak için kullanılmaktadır. Krater prosesi/işlemi kaynağın sonlandığı ucun düzgünlüğü sağlamak amacıyla, bir bombe şekli oluşturmak için kullanılmaktadır.


Kaynak giriş hızı aralığı 1-999 cm/dk olarak tanımlansa da, kaynağın gerçek maksimum hızı 600 cm/ dk civarında olmaktadır.

Ön akış zamanı ([WELD] "PREFLOW TIME"), kullanıcı parametrelerinde tanımlanmaktadır.

Hassas voltaj ayarı, güç sağlayıcı tarafından otomatik olarak girilen voltaj komutu değerine yapılan ayar miktarı olmaktadır. Örneğin, eğer "+10%" tanımlanırsa, voltaj değeri komut voltaj değerinden artış göstermektedir. Öte yandan, eğer "-10%" belirtilirse voltaj değeri hafif bir şekilde azalma göstermektedir. Uygun bir kaynak koşulu elde etmek için hassas ayarı tanımlanmalıdır.

Akım, voltaj ve dolgu teli besleme hızı kaynak karakteristik verilerinde tanımlanan değerlerce tanımlanmıştır. Eger belirtilen değerlerden daha büyük bir değer girilirse önceki değerler kaydedilmektedir.

Ark Başlama Komutunun (AS) Öğretilmesi

1  tuşuna basılmalıdır.

AS/AE 'nin tipini seçmek üzere görüntü belirecektir.



Şekil 6.50 AS/AE tipinin seçilmesi (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

2 F1 tuşuna basılmalıdır (AS NUM.).

Kaynak şartlarının maddeleri kullanılan kaynak güç sağlayıcısı türüne göre değişerek belirecektir.

Ayrık Kontrol tipi güç sağlayıcısı durumunda:

Kaynak akımını, voltajını ve hızını sayı tuşları ile girilmelidir.

Ortak etkili Kontrol Tipi Güç Sağlayıcısı Durumunda:

Kaynak akımı, hassas voltaj ayarı değeri ve kaynak hızını sayı tuşları ile girilmelidir. Hassas voltaj ayarının anlamı, kaynak güç sağlayıcısının otomatik olarak belirlediği değere yapılan ayar olmaktadır. Eğer pozitif (+) bir değer girilirse voltaj değeri otomatik olarak belirlenen değerden daha fazla olan bir değere gelmektedir. Eğer negative (-) bir değer girilirse daha düşük hale gelmektedir.

A S (Arc Start)	
>WELDING CURRENT	= 160A
VOLT. ADJUST	= 0%
WELDING SPEED	= 50cm
ARC FILE	= ARCO

Şekil 6.51 AS parametreleri (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

3 Şartları ayarlama metodu ayrık kontrol tipi güç sağlayıcı kullanan örnekte tanımlanmıştır (Aynı işlem diğer kaynak güç sağlayıcıları için kullanılmaktadır).

- (1) İlk önce kaynak akımını "WELDING CURRENT" maddesinde tanımlanmalıdır.

Değer, sayı tuşları ile girilmelidir.

A S (Arc Start)	
>WELDING CURRENT	= 250A
WELDING VOLTAGE	= 23.0V
WELDING SPEED	= 50cm
ARC FILE	= ARCO

WELD DB

Şekil 6.52 Kaynak akımının tanımlanması (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

- (2) Kursör (fare işaretleyicisi), "WELDING VOLTAGE" üzerine getirilmelidir.

A S (Arc Start)	
WELDING CURRENT	= 250A
>WELDING VOLTAGE	= 23.4V
WELDING SPEED	= 50cm
ARC FILE	= ARCO

PROPER

Şekil 6.53 Kaynak geriliminin tanımlanması (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Sayı tuşları ile kaynak voltajı girilmelidir.

F1(PROPER) tuşuna basarak, uygun voltaj değeri(1)'de girilen akım baz alınarak otomatik

olarak hesaplanmaktadır (Sadece ayrı kontrol tipi güç sağlayıcı kullanıldığında.).

(3) Fare işaretleyicisini "WELDING SPEED" üzerine getirilmelidir.

A S (Arc Start)	
WELDING CURRENT	= 250A
WELDING VOLTAGE	= 28.4V
>WELDING SPEED	= 50cm
ARC FILE	= ARCO

Kaynak hızı, sayı tuşları ile girilmelidir.

Şekil 6.54 Kaynak hızının tanımlanması (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

(4) Tüm şartlar girildikten sonra



tuşuna basılmalıdır.

Böylece, ark başlama komutu AS Kaydedilmiş olmaktadır.

Kaynak Şartları Kılavuzunun Kullanımı

1 Fare işaretleyicisini "WELDING CURRENT" üzerine getirilmelidir ve F1 tuşuna basılmalıdır (WELD DB).



(1) Plaka kalınlığı, tuşu ile seçilmelidir.

(2) Fonksiyon tuşu ile kaynak birleştirme tipi seçilmelidir.

350S3 Co2 0.9/WIRE=0.9 /SEPA.	W. P. S 1
PLATE	1/3
> 1.0mm	
2.0mm	
3.0mm	
4.0mm	
10.0mm	
HORIZ	DOWN
LAP	ROLL DN
ROLL	

Şekil 6.55 Kaynak şartları kılavuzunun görünümü (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

2 Eğer bir kalınlık ve kaynak birleştirme şekli seçilirse optimum kaynak koşulları gösterilecektir.

(1) Gösterilen kaynak şartları fonksiyon tuşları ile ayarlanabilmektedir.

350S3 Co2 1.2/WIRE =1.2/SEPA.	W. P. S 1
PLATE	COMMENT
1.0mm	;WORK A
JOINT	SPEED
DOWN	90cm
LEG	2.9mm
CURR	150A
VOLT	16.0V
SPD UP	SPD DWN
LEG UP	LEG DWN
VALUE	

Şekil 6.56 Kaynak şartlarının fonksiyon tuşlarıyla ayarlanması (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

F1 ... Kaynak hızını 1 cm kadar yükseltmektedir.

F2 ... Kaynak hızını 1 cm kadar azaltmaktadır.

F3 ... Bacak boyunu 1 cm kadar yükseltmektedir.

F4 ... Bacak boyunu 1 cm. azaltmaktadır.

F5 ...Kaynak hızının sayısal değerini veya bacak uzunluğunu girmektedir.

- (2) Eğer F5 (VALUE) tuşuna basılırsa, sağda görülen ekran belirecektir. Kaynak hızını veya bacak uzunluğunu sayı tuşları ile girilmektedir.

```



350S3 Co2 1.2/WIRE =1.2/SEPA.      W. P. S 1
PLATE      COMMENT
      1.0mm ;WORK A
JOINT SPEED LEG      CURR  VOLT
DOWN      90cm      2.9mm 150A 16.0V

```

SETTING


Şekil 6.57 Kaynak hızı ve bacak uzunluğunun girildiği ekran (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Kaynak hızı ve bacak boyu arasında geçiş yapmak için

  tuşuna basılmalıdır.


Giriş işlemi bittiğinde F5 (SETTING) tuşuna basılmalıdır.

- 3 Eğer gösterilen şartlar iyi ise

 tuşuna basılmalıdır.

Kılavuzda tanımlanan kaynak şartları kaydedilmelidir.

- 4 Tüm şartları girdikten sonra

 tuşuna basılmalıdır.

```


A S (Arc Start)
>WELDING CURRENT = 150A
WELDING VOLTAGE  = 16.0V
WELDING SPEED    = 90cm
ARC FILE         = ARCO

```

WELD DE

Şekil 6.58 Makinanın gösterdiği kaynak değerleri (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Ark Bitiş Komutunun (AE) Öğretilmesi

1  tuşuna basılmalıdır.

AS NUM. AE NUM. AS FILE AE FILE >

2 F2 tuşuna basılmalıdır (AE NUM.).

Şekil 6.59 AE komutunun seçimi (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Kaynak şartlarının maddeleri kullanılan kaynak güç sağlayıcısı türüne göre değişerek belirecektir.

Ayrık Kontrol tipi güç sağlayıcısı durumunda

Krater akımı, krater voltajı, krater zamanı, ve akış sonrasını sayı tuşları ile girilmelidir.

A E (Arc End)	
>CRATER CURRENT	= 160A
CRATER VOLTAGE	= 23.0V
CRATER TIME	= 0.0s.
POSTFLOW TIME	= 0.0s.

Şekil 6.60 Ayrık kontrol tipi durumunda kaynak akımı, krater zamanı, akış sonrası zaman (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Ortak etkili Kontrol Tipi Güç Sağlayıcısı Durumunda:

Kaynak akımı, hassas voltaj ayarı değeri ve kaynak hızını sayı tuşları ile girilmelidir. Hassas voltaj ayarının anlamı kaynak güç sağlayıcısının otomatik olarak belirlediği değere yapılan ayar olmaktadır. Eğer pozitif (+) bir değer girilirse voltaj değeri otomatik olarak belirlenen değerden daha fazla olan bir değere gelmektedir. Eğer negative (-) bir değer girilirse daha düşük hale gelmektedir.

A S (Arc Start)	
>WELDING CURRENT	= 160A
VOLT. ADJUST	= 0%
WELDING SPEED	= 50cm
ARC FILE	= ARCO

Şekil 6.61 Ortak etkili kontrol tipi güç sağlayıcısı durumu (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

3 Şartları ayarlama metodu ayrık kontrol tipi güç sağlayıcı kullanan örnekte tanımlanmıştır (Aynı işlem diğer kaynak güç sağlayıcıları için kullanılmaktadır).

- (1) Fare işaretleyicisini "CRATER CURRENT" üzerine getirilmeli ve verileri sayı tuşları ile girilmelidir.

```
A S (Arc Start)
>WELDING CURRENT   = 250A
WELDING VOLTAGE    = 23.0V
WELDING SPEED      = 50cm
ARC FILE           = ARCO
WELD DB
```

Şekil 6.62 Krater akımını ayarlanması (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

- (2) Fare işaretleyici "CRATER VOLTAGE" üzerine getirilmelidir.

```
A E (Arc End)
CRATER CURRENT     = 160A
>CRATER VOLTAGE    = 23.0V
CRATER TIME        = 0.0s.
POSTFLOW TIME      = 0.0s.
PROPER
```

Şekil 6.63 Krater geriliminin ayarlanması (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Krater voltajı sayı tuşları ile girilmelidir. F1(PROPER) tuşuna basarak, uygun voltaj değeri(1)'de girilen akım baz alınarak otomatik olarak hesaplanmaktadır (Sadece ayrık kontrol tipi güç sağlayıcı kullanıldığında.).

- (3) Fare işaretleyicisini "CRATER TIME". üzerine getirilmelidir.

Krater zamanını sayı tuşları ile girilmelidir.

```
A E (Arc End)
CRATER CURRENT     = 160A
CRATER VOLTAGE     = 23.0V
>CRATER TIME       = 0.0s.
POSTFLOW TIME      = 0.0s.
```


Şekil 6.64 Krater zamanının ayarlanması (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

- (4) Fare işaretleyicisini "POSTFLOW TIME" üzerine getirilmelidir.

.Akış sonrası zamanını sayı tuşları ile girilmelidir.

```
A E (Arc End)
CRATER CURRENT     = 160A
CRATER VOLTAGE     = 23.0V
CRATER TIME        = 0.0s.
>POSTFLOW TIME     = 0.0s.
```

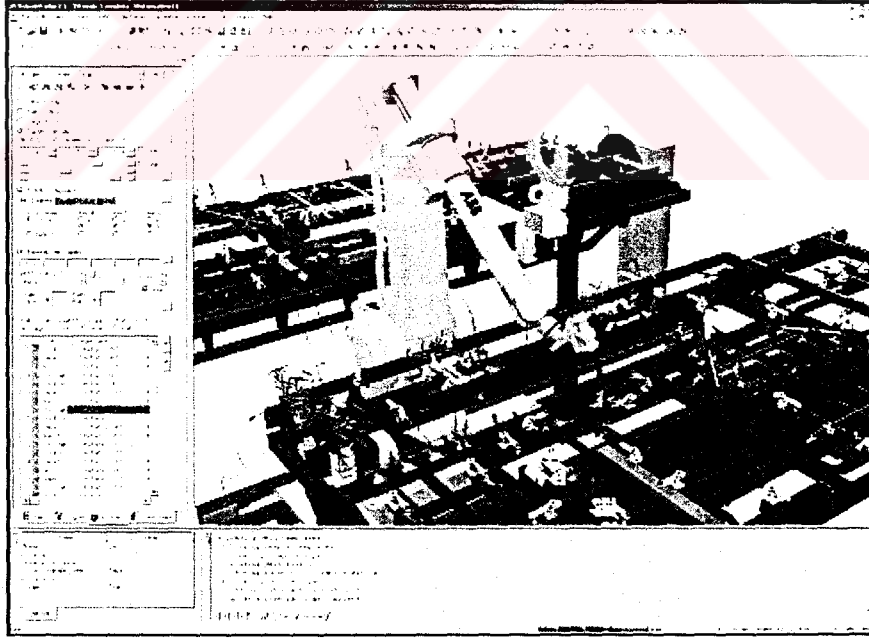
Şekil 6.65 Akış sonrası zamanın ayarlanması (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

4 Tüm şartları girdikten sonra
 tuşuna basılmalıdır.

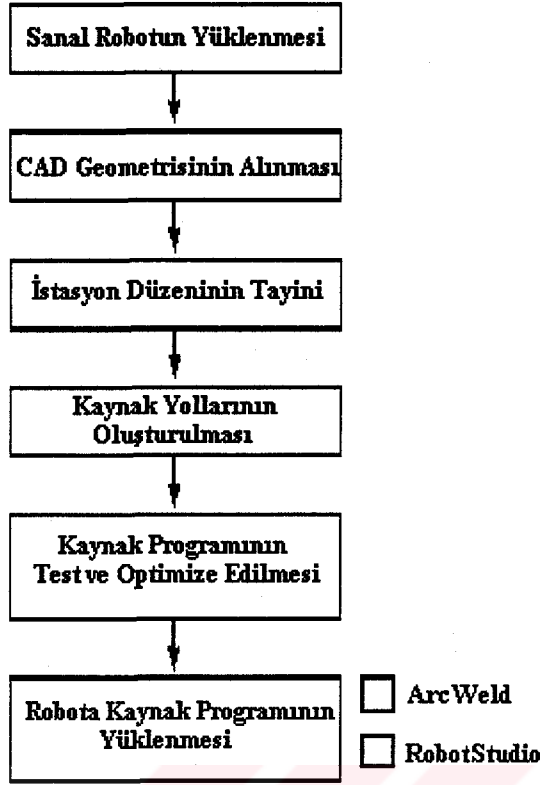
6.2.3.2 Çevrimdışı (off-line) Programlama

Robotun “öğretilme” prosesi zaman alıcıdır ve üretken robot zamanını kullanmaktadır. Eğer birkaç parça kaynak edilecekse, robotik kaynak ekonomik olmayabilmektedir. Bununla birlikte, bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemleri kullanan çevrimdışı programlama, robot ve pozisyonerin hareketlerinin sıralarının programlanması için kullanılabilir. Grafik animasyon programları, hareket sıralarının görselleştirilmesine ve hataların ayıklanmasına yardım etmektedir. CAD modeli, gerçek kaynak istasyonunda olması gereken şartları sağlayabilmektedir. Genellikle çevrimdışı oluşturulan herhangi bir hareket programının düzenlenmesi gerekli olmaktadır (Connor, 1991).

Çevrimdışı programlama, temel olarak CAD geometrisini kullanmaktadır. Programcı CAD geometrisinde kaynak konumlarını tanımlamakta ve geometri ile ilgili robot konumlarını yaratmaktadır. Bu metod geometri tabanlı çevrimdışı programlama olarak bilinmektedir. Şekil 6.66’da çevrimdışı programlama arayüzü görülmektedir.



Şekil 6.66 Çevrimdışı programlama arayüzü [2]



Şekil 6.67 Çevrimdışı programlama akış şeması [2]

Kaynak dikişi oluşturmak için kullanıcı, geometri üzerinde başlangıç ve bitiş noktalarını olarak işe başlamaktadır. Bir sonraki adım ise şu proses parametreleri belirlemektir:

- Torç açıları – çalışma açısı (work angle), itme/sürüklenme (push/drag) ve dönüş (spin) açıları
- Kaynak parametreleri – kaynak oluğu, kaynak ve salınım verileri
- Hareket parametreleri – hız, bölge
- Hareket tipi – Doğrusal, dairesel ve eklem hareketi,
- Komut tipi – hareket, ark, arama

Çevrimdışı programlama gereci, girişe bağlı olarak otomatik şekilde kaynak yolunu oluşturmakta ve kaynak yapılacak konuma, robotun yaklaşma ve uzaklaşma hareketleri oluşturulacaktır. Yarı otomatik optimizasyon gereci, kaynak boyunca kol konfigürasyonlarını tanımlamaktadır ve tekillik ile eklem-limit hatalarını önlemektedir. Çevrimdışı programlama gereci, erişimi otomatik olarak kontrol etmekte ve ulaşılabilirlik problemleri meydana geldiğinde kullanıcıyı uyarılmaktadır [2].

7. UYGULAMA

Bu bölümde KaleAltınay Robotik ve Otomasyon A.Ş.'de gerçekleştirilen, OPSAN firması için kurulan sisteme ait, Toyota MPV tampon bağlantı parçası kaynağına değinilecektir.

7.1 Uygulamanın Tarifi

Robotlu kaynak hücresinde; kaynak robotu, kaynak makinası ve ekipmanları ve üzerinde fikstür sistemini taşıyacak 2 adet pozisyoner olacaktır. Pozisyoner üzerinde pnömomatik tahrikli birer adet fikstür sistemi olacaktır. Pozisyonerin birine sağ parça, diğerine sol parça bağlanacaktır. Operatör bir tarafta fikstür sistemine yükleme boşaltma yaparken robot diğer taraftaki fikstürde kaynak işlemini gerçekleştirecektir. Hücrenin yükleme boşaltma yapılan tarafında bir güvenlik kapısı olacaktır ve robot ile operatörün aynı anda bulunmaları engellenecektir ve bu şekilde operatörün güvenliği sağlanacaktır. Pozisyonerler arasında kaynak perdesi konarak operatörün ışık ve cüruflardan etkilenmemesi sağlanacaktır.

Operatör kaynatılacak parçaları fikstür sistemi üzerine yerleştirdikten sonra perdenin dışına çıkacak ve başlat butonuna basarak önce kaynak perdesinin otomatik olarak kapanmasını sonra da robotun kaynak işlemine başlamasını sağlayacaktır. Robot kaynak işlemini gerçekleştirirken operatör kaynatılmış olan parçayı alıp kaynatılacak yeni parçaları yükleyebilecektir.

Kaynak Zamanı ve Üretim Etüdü

Çizelge 7.1 Kaynak zaman etüdü

OPSAN CRASH BOX KAYNAĞI				Kaynak Parça Numarası	Kaynak Boyu (mm)	Kaynak Adedi	Kaynak Uzunluğu (mm)	Kaynak Hızı (mm/dak)	Kaynak Süresi (sn)	Koruyucu Gaz Akış Süresi (sn)	Hava Kesme Süresi (sn)	Robot Hareket Süresi (sn)	Pozisyoner Dönüş Süresi (sn)	Proses Toplam Süresi (sn)
İş (A)	Kaynak Gerilimi (V)	Robot Adedi	Kaynak Sırası				Toplam							
21		1	1	1-2	65	2	130	800	9,75	1,4	1,4	1,4		13,95
			2	1-2	35	1	35	800	2,63	0,7	0,7	0,7		4,73
			3	2-3	260	1	260	800	19,50	0,7	0,7	0,7	2	23,60
			4	2-3	85	1	85	800	6,38	0,7	0,7	0,7		8,48
Toplam					445	5	610		38,26	3,50	3,50	3,50		50,75

1 takım 102 sn

Torç temizleme/10 parça 20 sn

1 TAKIM 122 sn

250 gün = 1 yıl (çalışma süresi)

1 gün = 21 saat (çalışma süresi)

1 yıl = 5250 saat

5250 saat = 18,900,000 sn (çalışma süresi)

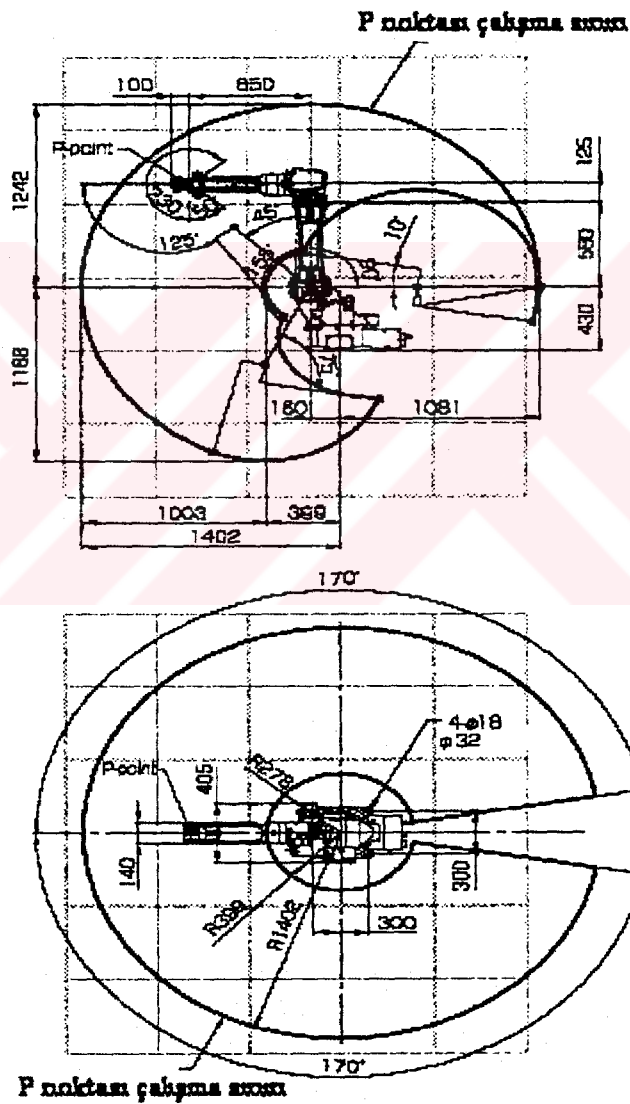
18,900,000 sn / 122 sn = 154,918 adet takım imal edilebilecektir.

7.2 Robot Mimarisi

7.2.1 Ark Kaynağı Robotu: EX-MV6

7.2.1.1 Çalışma Hacmi

Şekil 7.1'de OTC-Daihen Almega EX-MV6 ark kaynak robotunun çalışma hacmi gösterilmektedir. Şekil 7.2'de ise bu robot görülmektedir.



Şekil 7.1 OTC-Daihen Almega EX-MV6 ark kaynak robotunun çalışma hacmi (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)



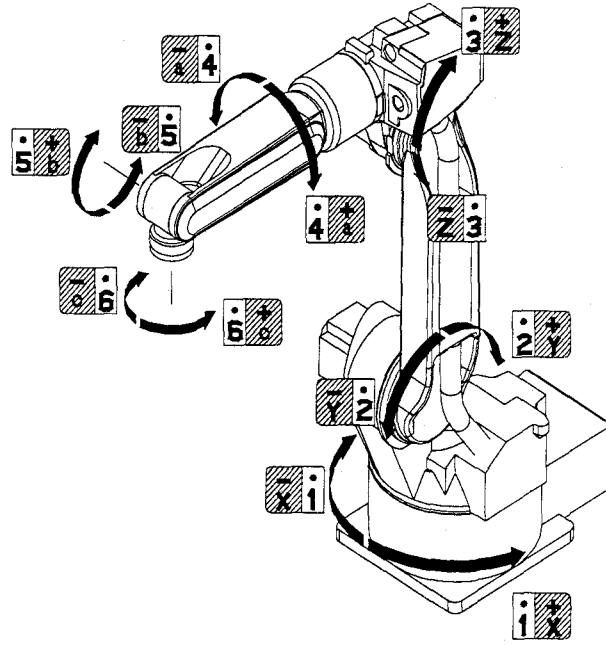
Şekil 7.2 Almega EX-MV6 ark kaynak robotu (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

7.2.1.2 Kaynak Robotunun Teknik Özellikleri

Projede kullanılan kaynak robotunun teknik özellikleri Çizelge 7.1’de verilmiştir. Şekil 7.3’de ise bu robotun eksen hareketleri verilmektedir.

Çizelge 7.2 OTC-Daihen EX-MV6 ark kaynak robotunun teknik özellikleri (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

MODEL		EX-MV6	
YAPI		Düşey Artikule	
Bilek Ucu Taşıma Kapasitesi		6kg	
Tahrik Sistemi		Servo Motor	
Pozisyon Geri Besleme		Mutlak Enkoder	
Yerleştirme Pozisyonu		Tabana, Tavana, Duvara	
		Eksen Hızları(°/sn)	Çalışma Aralığı (°)
<i>Mekanik Yeterlilikler</i>	1.Eksen	165	± 170
	2.Eksen	165	- 155 , + 100
	3.Eksen	175	-170 , +205
	4.Eksen	350	± 180
	5.Eksen	340	-50 , + 230
	6.Eksen	520	± 360
Tekrarlanabilirlik		0.1 mm	



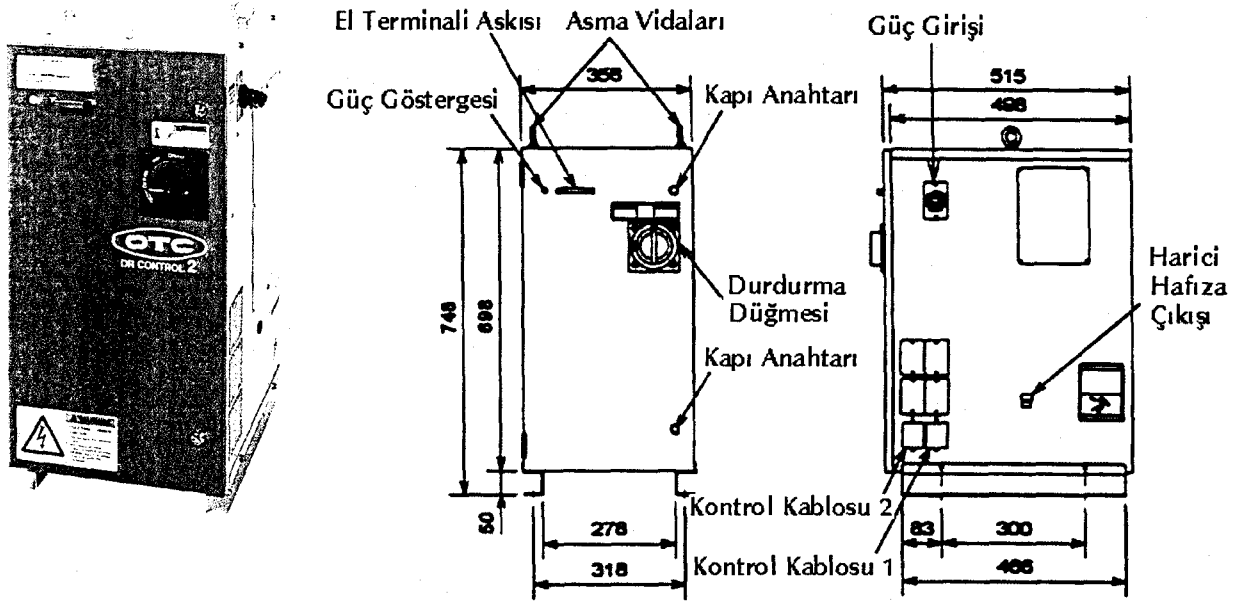
Şekil 7.3 OTC-Daihen EX-MV6 ark kaynak robotunun eksenleri (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

7.2.2 Kontrol Ünitesi EX-C

Çizelge 7.2’de kontrol ünitesinin teknik özellikleri verilmektedir. Şekil 7.4’te kontrol ünitesi görülmektedir.

Çizelge 7.3 Kontrol ünitesi EX-C’nin teknik özellikleri (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Madde		Özellik
Kontrol Sistemi	Öğretme Sistemi	Playback Öğretme Sistemi
	Sürücü Sistem	AC Servo Motor
	Denetlenen Eksen Sayısı	6 Eksen
		Seçenek: 3 Harici Eksen
Hafıza	Koordinatlar	Mafsallı, kartezyen
	Hafıza	IC hafıza
	Komut Sayısı	8000 komut
	Program Sayısı	998 program
Dosya İşlemi	Kopyalama Fonksiyonu	Mevcut
	Program Kaydırma Fn.	Paralel Kaydırma ve Silindirik Kaydırma Seçenek: 3 Boyutlu Kaydırma, Yansıtma, Büyütme, Küçültme, Simetrik Kaydırma
Koruma Fonksiyonu		Şok Sensörlü Sıcaklık Kontrolü, Otomatik Kilitleme, Gerilim Kontrolü, Öğretme Modu Kilitleme, Kontrol Ünitesinde Arıza, Kaynak Ünitesinde Arıza, Servoda Arıza, Hatalı İşlem, Acil Durdurma, vs.
Çalışma Sıcaklığı, Nem		0-45°, 20-80% RH
Giriş Gücü		3 faz AC 200V (+10%,-15%), 50/60 Hz
Dış Boyutlar		358(W) x 515(D) x 748(H) mm
Yaklaşık Ağırlık		45 kg



Şekil 7.4 Kontrol ünitesi EX-C (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

7.3 Ark Kaynağı Ekipmanları

7.3.1 Kaynak Üniteleri

Teklif edilen sistemde her robotun CO₂/MAG kaynağı için gerekli kaynak aksesuarları aşağıda sıralanmıştır:

7.3.1.1 Tel Rulo ve Tel Besleme Ünitesi

Servo motor kontrollü tel besleme ünitesi, robot kontrol ünitesi ile haberleşme ve kaynak/dikiş bilgilerine göre tel hızını ayarlama özelliğine sahip olmaktadır. 1.0 mm. tel çapından 1.6 mm. tel çapına kadar istenen değerlerde tel besleme imkanı, aksesuarlar sayesinde sağlanmıştır.

7.3.1.2 Kaynak Redresörü

İnverter teknolojisi ile OTC-DAIHEN tarafından üretilen kaynak redresörleri "Mikroprosesör kontrollü elektronik reaktör" mekanizması sayesinde 350 Amper değerlerinde 1.8 m/dk hızlarında kaynak yapabilme özelliğine sahip bulunmaktadır. İnverter turbo fonksiyonu sayesinde klasik kaynak redresörlerine göre %80 oranında daha az kaynak cüruf sıçraması ortaya çıkmakta, bu da parça üzerindeki son işlemi ciddi oranda azaltmaktadır.

7.3.1.3 Kaynak Torcu (Üfleci) ve Aksesuarlar

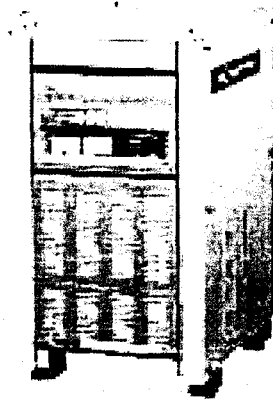
Dokunmatik şok sensörle donatılmış olan torç, torç ucuna şok uygulandığında veya bir yere temas ettiğinde sistemin otomatik olarak durmasını sağlamaktadır. Kaynak için gerekli her türlü kablo ve fiber optik haberleşme kabloları, kaynak ara modülü ve gaz hortumları, konektörler sistemin içinde bulunmaktadır.

7.3.2 CPVAS-350 Kaynak makinesi

CPVAS-350 Kaynak makinesi içindeki güç kaynağı ünitesi ile birlikte EXMV6 robotunun kaynak özelliklerini belirlemektedir.

Çizelge 7.4 CPVAS-350 kaynak makinesinin özellikleri (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Ürün	Özellik
Model	CPVAS-350
Nominal Esas Giriş	19 kVA (15 kW)
Nominal Çıkış	350 A (36 V)
Nominal Çalışma Devri	60%
Çıkış Aralığı	40~350 A (14~36 V)
Ağırlık	67 kg
Boyutlar	376x676x831 mm



Şekil 7.5 CPVAS-350 kaynak makinesi (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

7.3.3 Fikstür Sistemi

Kaynatılacak tüm parçalarının birarada tutulmasını sağlayan, üzerinde ark kaynağı yapılmasına müsaade edecek yapıda olan fikstür sistemi özel olarak tasarlanıp imal edilecektir. Sistem kaynatılacak parçaları pnömatik olarak açılıp kapanan sıkma elemanlarıyla tutacaktır. Fikstür üzerinde parça algılama sensörleri bulunacaktır.

7.3.4 Pozisyoner (RPB-250)

Kaynatılacak parçanın bağlı olduğu fikstür sistemini üzerinde taşıyan, tek eksen servo motor tahrikli sistem. Pozisyoner, tek istasyonlu yatay dönel tabla şeklindedir. Sistem üzerinde (hazır-başla) butonları bulunacaktır.

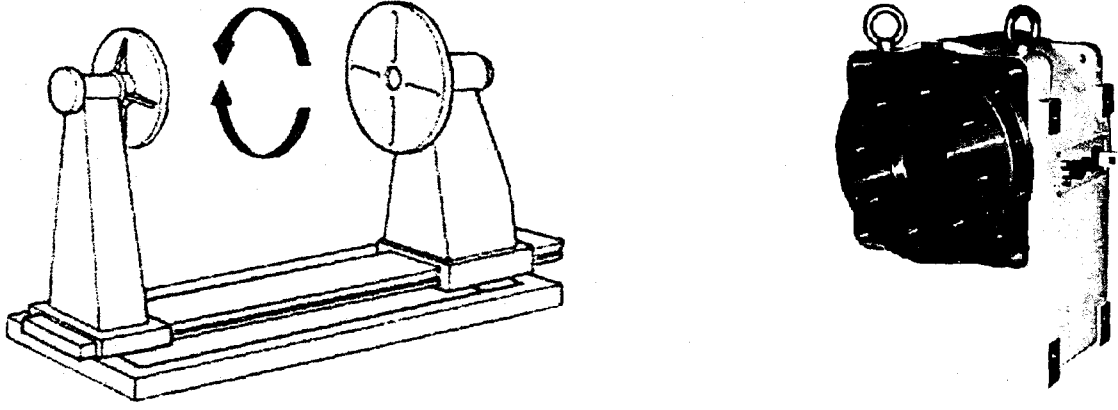
Eksen robot denetleyicisi tarafında kontrol edilecektir. Aynı zamanda fikstürün bulunduğu tabla ekseni "Mutlak multi-tasking" yeteneğinde olacaktır. Gövde çelik konstrüksiyon olup fırça, elektrik ve pnömatik hatlar iç organlardan aktarılacaktır. Bu sistem güvenliğini artıran bir teknik olmaktadır.

Pozisyoner tablası tahrik ekseninde 2500N'luk kuvvet karşılayacak düzeydedir. Dört nokta yatağı ile konstrüksiyonu sağlanmıştır.

Çizelge 7.5'te pozisyonerin teknik özellikleri verilmektedir. Şekil 7.6'da pozisyonerin resmi görülmektedir.

Çizelge 7.5 Pozisyonerin teknik özellikleri (OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual)

Eksen Sayısı	1
Taşıyacağı Yük	250 kg
Tahrik Sistemi	AC Servo Motor
Redüksiyon	Giriş Sikloidal Dişli (RV)
Gövde	Çelik Döküm
Dönüş Hızı	20 dev/dak max.



Şekil 7.6 Altınay ALT-RPB-250 tipi tek eksen pozisyoner

7.3.5 Opsiyon: Torç Temizleme Ünitesi

Kaynak torçlarının belli aralıklarla temizlenmesi ve yağlanması için kullanılır. Torç temizleme ünitesi 3 alt birimden oluşur: torç temizleme, torç yağlama ve tel kesme birimleri.

- Aynı pozisyonda Sıkıştırma, Temizleme ve Yağlama
- Kontrol: Pnömatik
 - Sürücü: 24 V DC
- Tel Kesme Seçenekleri

7.4 Alt Sistemler

7.4.1 Haberleşme Sistemi

Kaynak robotu, kaynak makinası, torç temizleme ünitesi, pozisyonerler, fikstür sistemi ve güvenlik sistemleri arasındaki haberleşmeler robot kontrol ünitesi üzerindeki I/O hatları kullanarak gerçekleştirilecektir.

7.4.2 Güvenlik Kabini

Robotun çalışma bölgesini belirleyecek, bu bölgeye robotun çalışması sırasında insanların girmesini engelleyecek bir yapı kurulacaktır. Kontrol üniteleri için kabin üzerinde gerekli yerlerde giriş çıkış pencereleri bulunacaktır.

7.4.3 Robot Uygulama Programı

Robotun yukarıda tarif edilen uygulamayı gerçekleştirmesi için gerekli ara adımların programlanması, robotun kaynak noktalarının öğretilmesi robotun programlama dilinde

yazılacak bir robot uygulama programı ile gerçekleştirilecektir.

7.5 Proje Yükümlülükleri

Proje yükümlülükleri Çizelge 7.6'da verilmektedir.

Çizelge 7.6 Proje Yükümlülükleri

No	Madde	KALE ALTINAY	OPSAN
1	Fikstür tasarımı	•	
2	Mekanik ürünlerin imalatı	•	
3	Kontrol sisteminin tasarımı ve imalatı	•	
4	KALE ALTINAY-OPSAN arası nakliye		•
5	Fabrika içi nakliye		•
6	Montaj	•	
7	Hava Kaynağı		•
8	Besleme geriliminin ve topraklama kablolarının temini		•
9	Yere delik açma		•
10	Deneme için numune temini		•
11	Geçici ofis ve teçhizat için yer		•
12	Danışmanlık ve Eğitim	•	
13	Ayarlar	•	
14	Sistemin devreye alınması ve testi	•	

7.6 Sistemin Firmada Kurulumu

Sistemin firmada kurulumundan önce, sistemin kurulacağı firmadan bazı taleplerde bulunmaktadır. Bu talepler şu şekilde sıralanabilmektedir.

7.6.1 Hava

Hava debisi minimum 200 lt/dak ve basınç 6 bar olmalıdır. Hava kalite sınıfı DIN ISO 8573-1 e göre en az Class-3 olmalı. Hava isteğinde bulunduğumuz bölgede bizim yerleştireceğimiz

filtrasyon, basınç regülasyonu ve yağlama işlemlerini yapacak ve çabuk tahliyeye imkan tanıyacak şartlandırıcılar olacaktır. Hava besleme hattının en az 1 parmak boru ile belirtilen bölgeye kadar gelmesi yeterlidir. Mümkün ise çok hava tüketen makinaları besleyen bir hattın besleme verilmemelidir.

7.6.2 Kaynak Koruyucu Gazı

%92 Argon, %8 CO₂ içeren gaz 18 lt/dak debide sabitlenmiş olarak robotlara kadar getirilmesi gerekmektedir. Gaz tüp ile getirilecek ise tüp çıkışına, şebeke gazı ile sisteme en yakın yere gaz debimetresi ve ayar regülatörü konulmalıdır.

7.6.3 Elektrik

Robotlu Sistem enerji değerleri: 3x25 A koruma sigortası, OPSAN sisteminden KA sistemine kadar 4x6 mm² kablo ile bağlantı olmalıdır. Ayrıca Robotlu sistem panosu 6 mm²'lik bakır iletken ile topraklanmalıdır.

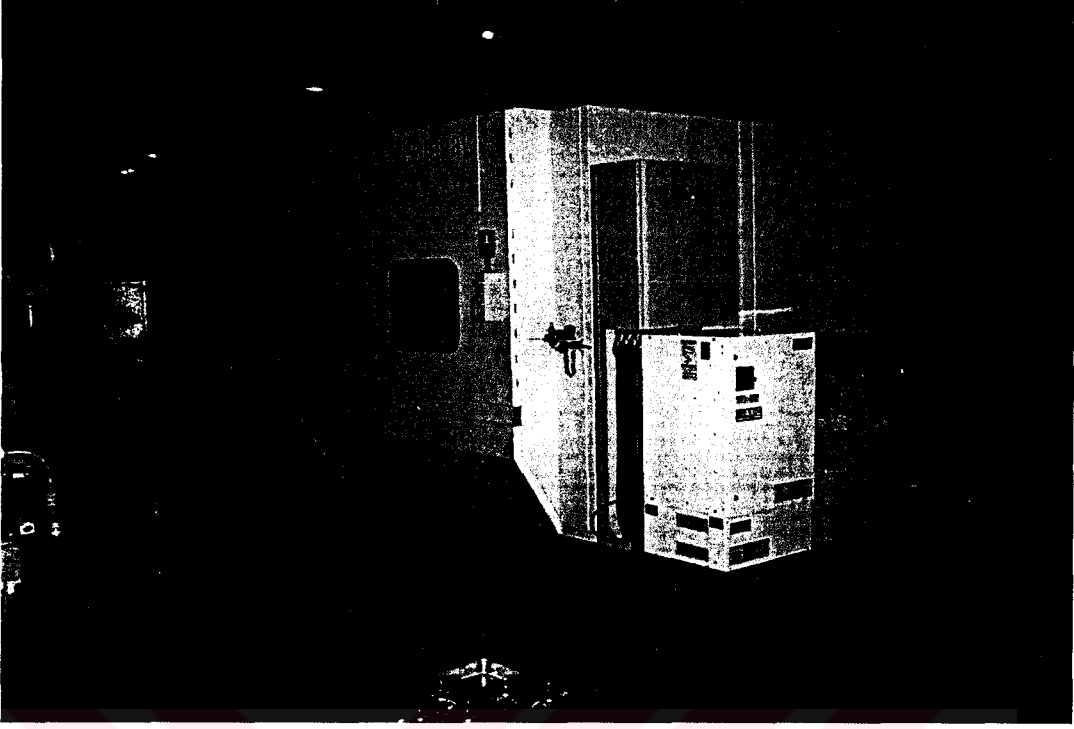
7.6.4 Kaynak Makinası Enerji Değerleri

3x63 A koruma sigortası, OPSAN sisteminden KA sistemine kadar 4x10 mm² kablo ile bağlantı bulunmalıdır. Ayrıca kaynak makinası 10mm²'lik bakır iletkenle topraklanmalıdır.

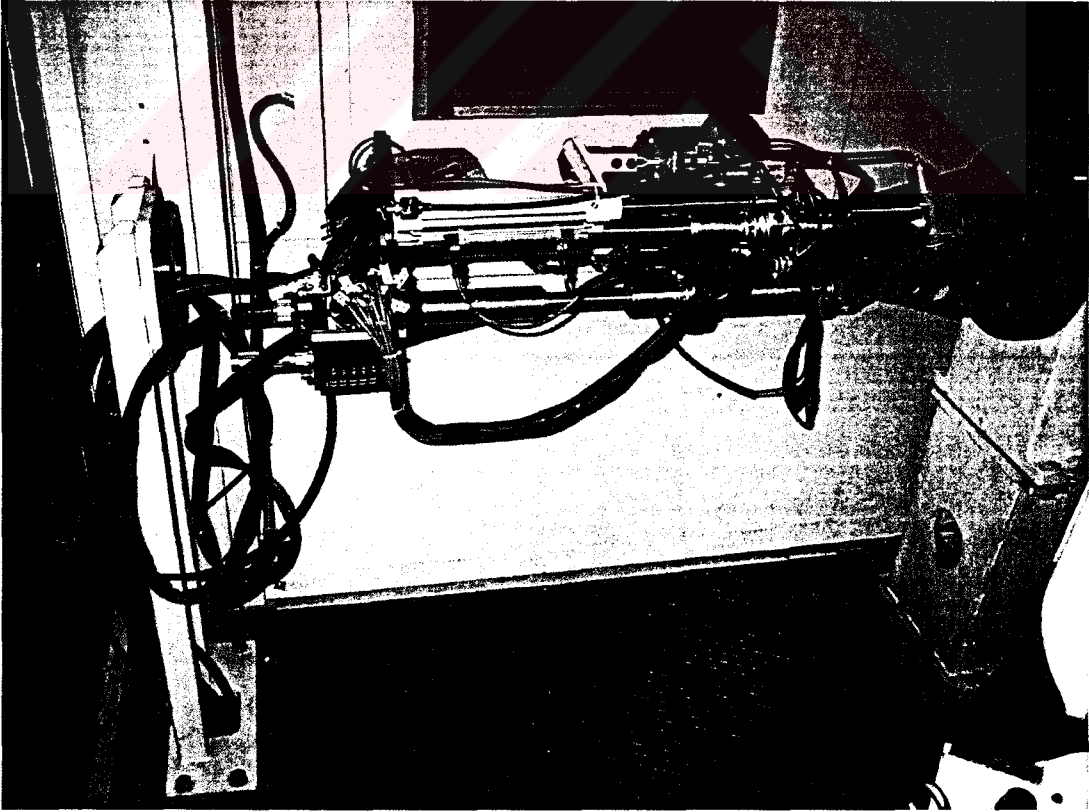
7.6.5 Forklift

Sistem kompleksi 30000 N'dur. Fakat güvenlik göz önünde bulundurularak en az 40000 N kapasiteli forklift veya vinç bulundurulmalıdır. Sistem kurulumu esnasında forkliftin çok hassas ve yavaş hareketler yapması gerekeceği göz önünde bulundurularak bu gerekliliği sağlayacak forklift ve operatör seçilmelidir.

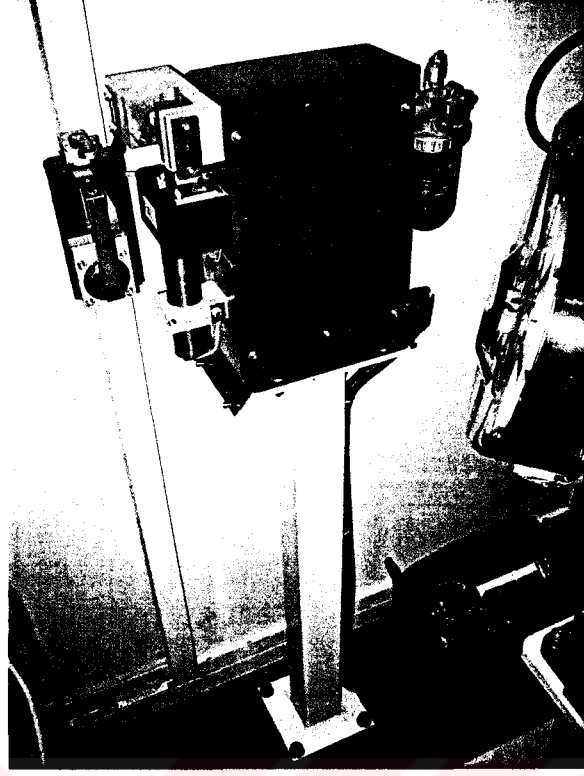
7.7 Sistemin Resimleri



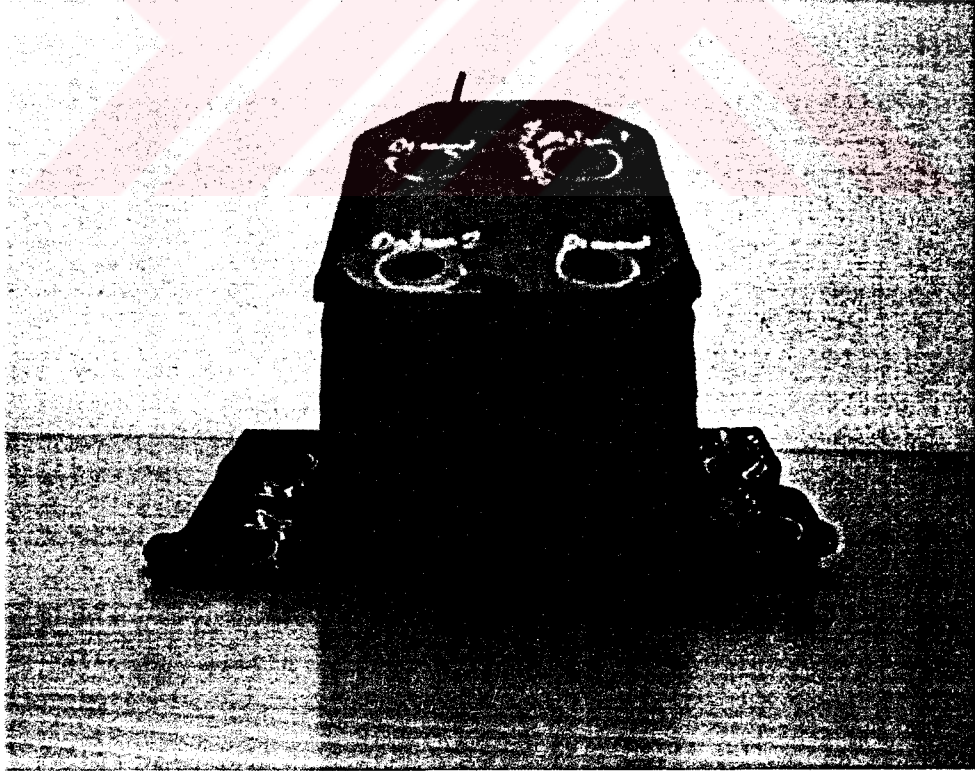
Şekil 7.7 OTC-Daihen EX-MV6 ark kaynak robotu hücresi



Şekil 7.8 Fikstür ve tek eksenli pozisyoner



Şekil 7.9 Torç temizleme ünitesi



Şekil 7.10 Kaynak edilen iş parçasının önden görünüşü



Şekil 7.11 Kaynak edilen iş parçasının soldan görünüşü



Şekil 7.12 Kaynak edilen iş parçasının üstten görünüşü

7.8 Deneysel Çalışma

Deneysel çalışma ile, robotik kaynakla elde edilmiş Toyota MPV tampon bağlantı parçasının malzemesinin kimyasal bileşiminin saptanması, ana malzeme, ısı tesiri altında kalan bölge ve kaynak dikişinin makro ve mikro fotoğraflarının çekilmesi ve Vickers sertlik değerlerinin ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk önce kaynaklı numunenin bu işlemler için hazırlanması gerekmektedir. Aşağıda deneysel çalışma için gerçekleştirilen işlem aşamaları kısaca verilmektedir.

- İki farklı malzemenin kaynakla birleştirilmesinden oluşan numune, dikiş bölgesinden taşlama taşı aracılığıyla kesildi.
- Malzemelerin kimyasal analizini yapmak amacıyla şerit testere ile iki adet numune çıkartıldı. Malzemelerin ve kaynak dikişinin makro ve mikro yapılarını inceleyip fotoğraflarını çekmek için bir adet köşe kaynağı numunesi hazırlandı. Şekil 7.13’de köşe kaynağı numunesi görülmektedir. Sol tarafta görülen ince malzeme 1 no’lu malzeme, sağ tarafta görülen kalın malzeme ise 2 no’lu malzeme olarak adlandırılacaktır.



Şekil 7.13 Köşe kaynağı numunesi

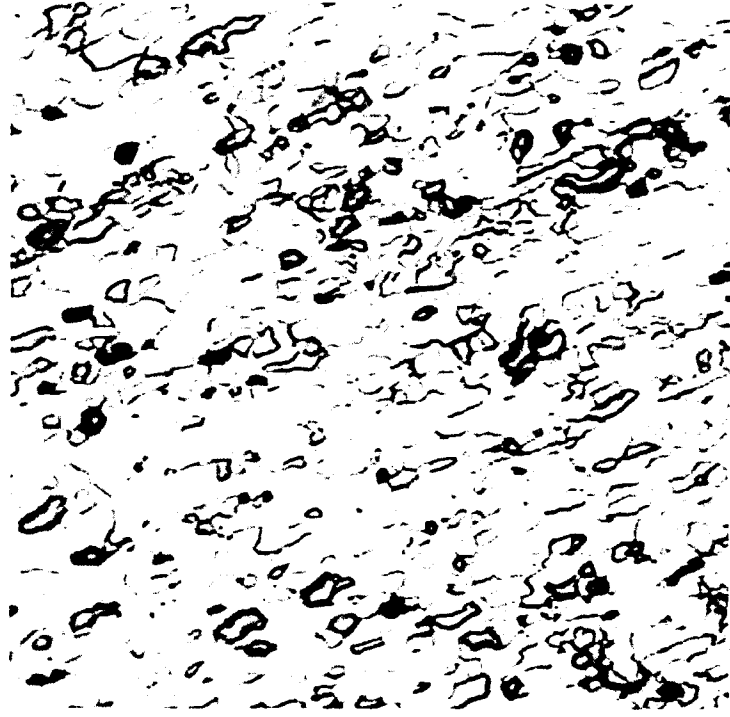
- Elde edilen bu numunelerdeki çapakları ortadan kaldırmak ve daha hassas bir yüzey oluşturmak amacıyla taşlama yapıldı.
- İki adet (1 ve 2 no’lu malzemeye ait) numune spektral analize tabi tutuldu ve kimyasal

bileşimi saptandı. Bu malzemelerin kimyasal bileşimi Çizelge 7.7’de verilmektedir.

Çizelge 7.7 Malzemelerin kimyasal bileşimleri

No	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
1	99.33	0.016	0.088	0.085	0.0053	0.0100	0.024	0.004	0.021	0.028
2	98.70	0.081	0.072	0.723	0.0077	0.0094	0.012	0.002	0.009	0.052
No	As	B	Co	Cu	Nb	Pb	Sn	Ti	V	W
1	0.005	0.0000	0.005	0.013	0.012	0.0043	0.024	0.079	0.000	0.046
2	0.014	0.0001	0.004	0.016	0.034	0.0003	0.017	0.000	0.000	0.048

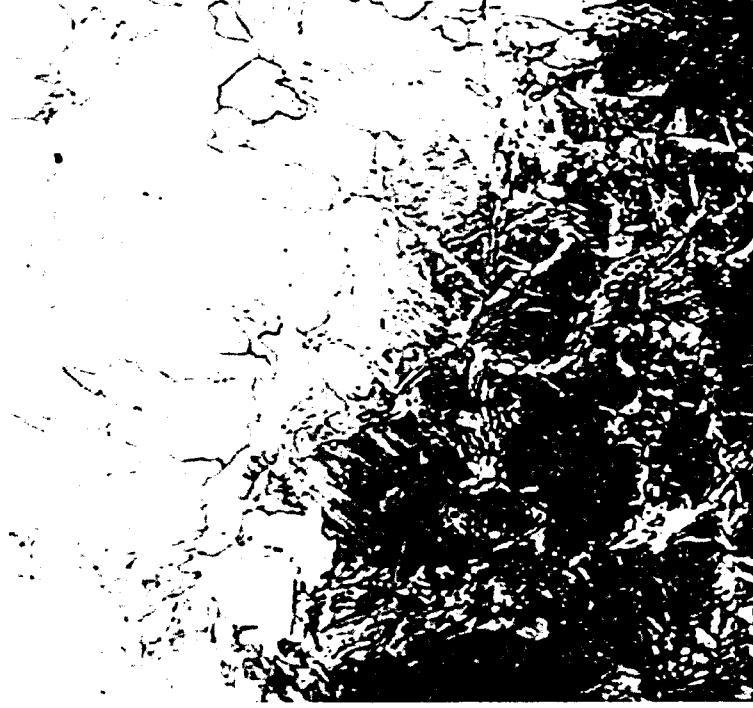
- Daha sonra mikroyapı incelemesine ve fotoğraf çekimine hazır hale getirmek için köşe kaynağı numunesi, sırasıyla, 60, 120, 180, 220, 320, 400, 600, 800 ve 1200’lük zımparalarla zımparalandı.
- Parlatma cihazlarında alüminyum oksit (Al_2O_3) ve krom oksit (Cr_2O_3) ile köşe kaynağı numunesinin kaba parlatması yapıldı.
- Tane boyutu 3 μm olan elmas pasta ile ince parlatma yapıldı.
- Mikro yapıyı incelemek amacıyla kaynak numunesi, NiTA13 (%97 etil alkol ve %3 HNO_3) ile dağlandı. Kurutma işleminden sonra LEICA Image Analyser ışık mikroskobu ile 1 no’lu, 2 no’lu ana malzemelere, kaynak dikişine ve ısı tesiri altında kalan bölgeye (ITAB) ait mikroyapı fotoğrafları çekildi (Şekil 7.14, 7.15 ve 7.16). Şekil 7.14’de 1 no’lu malzemenin tam ferritik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Koyu renkli kısımlar ise numunenin hazırlanış esnasındaki problemleri göstermektedir. Şekil 7.15’de ise 2 no’lu malzemenin ferritik bir yapıya sahip olduğu ve ihmal edilebilir oranda perlit içerdiği görülmektedir. Şekil 7.16’da ise ferritik olan 1 no’lu malzemenin tane sınırları oldukça iyi seçilebilmektedir. Kaynak dikişinde de ince taneli bir yapının varlığı görülmektedir. Şekillerdeki koyu renkli kısımların, numunelerin hazırlık aşamalarından kaynaklandığı söylenebilmektedir.



Şekil 7.14 İnce malzemenin (1 no'lu) 100x büyütülmüş mikroyapısı



Şekil 7.15 Kalın malzemenin (2 no'lu) 500x büyütülmüş mikroyapısı



Şekil 7.16 İnce malzeme (1 no'lu) ve kaynak dikişi

- Kaynak numunesi NiTiAl10 (%90 etil alkol ve %10 HNO₃) ile dağlandı ve bunu, dijital fotoğraf makinesiyle makro fotoğrafların çekim işlemi izledi.
- Vickers sertlik ölçme cihazında F=98N'luk yük kullanılarak (HV10), kaynak numunesindeki 1 ve 2 no'lu ana malzemelerin, ısı tesiri altında kalan bölgelerin ve kaynak dikişinin sertlikleri ölçüldü. Çizelge 7.8'de malzemelerin HV10 sertlikleri gösterilmektedir.

Çizelge 7.8 Malzemelerin, ısı tesiri altında kalan bölgenin ve kaynak dikişinin HV10'a göre sertlik değerleri

	VICKERS SERTLİK DEĞERLERİ (HV10)	
	1 No'lu malzeme	2 No'lu malzeme
ITAB	106	180
1 No'lu malzeme	96	-
2 No'lu malzeme	-	165
Kaynak Dikişi Sertliği	212	

8. SONUÇLAR

- Robot uygulamaları sayesinde dar tolerans limitleri içinde imalat olanaklı hale gelmekte, ayrıca yapılan işin kalitesiyle birlikte üretim hızı da artmakta, dolayısıyla da maliyet düşmektedir.
- Kaynak robotlarının kendi maliyetlerini uzun sürede amorti etmelerine rağmen, robot kaynağı kalitesi her zaman için insanların yaptığı kaynaktan çok daha kaliteli ve tutarlı olmaktadır. Diğer yandan, robotların bakım ve onarım dışında, aralıksız çalışmaları mümkün olmaktadır.
- Robotlarla, yüksek dayanım değerlerine sahip kaynak dikişlerinin elde edilmesi olanak dahilinde olmaktadır.
- Farklı iki malzemenin SG2 gazaltı tel elektroduyla yapılan MAGM (karışım gazlarıyla yapılan gazaltı kaynağı) kaynağında farklı bölgelerde sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kaynak dikişindeki sertlik değeri 1 no'lu malzemenin 2 (iki) katı, 2 no'lu malzemenin ise \approx %25 kadar üzerinde olmuştur. Kaynak dikişi ve çevresinde sertliğin çok değişken olduğu bilinmektedir. Genel olarak sertliğin doruğa ulaştığı yer, dikişin kendisi değil, fakat ana malzemenin dikişe sınır olan kesimi, başka bir anlatımla ITAB (ısıнын etkisi altında kalan bölge) olmaktadır. Bu durum, kaynak elektrodundaki C oranının, ana malzemeden genellikle biraz daha düşük olması durumlarında ortaya çıkmaktadır. Bizim çalışmamızda yukarıdaki durumun sağlanamamış olmasına neden olarak, uygulamada kullanılan ilave malzemenin (SG2 tel elektrod) karbon (C) ve Mn değerlerinin yüksek oluşunu gösterebiliriz.
- Çok amaçlı endüstriyel robotların dünya çapındaki satışları, global ölçekli ekonomik krizlere bağlı olarak bazı senelerde küçük oranlarda düşüş göstermesine rağmen, sürekli artış göstermektedir. 1999 senesinde, 1998 senesine göre %14 artış gösteren pazar, 2000 senesinde ise 1999 yılına göre %25 artış göstermiştir. Buradan da görüleceği üzere, dünya çapındaki endüstriyel robot pazarı sürekli bir büyüme içinde bulunmaktadır; bunun nedenlerinden biri olarak, gelişmiş ülkelerdeki işçilik ücretlerinin sürekli şekilde artışı görülebilmektedir.
- Ülkemiz sanayiindeki robot uygulamalarındaki ağırlıklı paya montaj işlemlerinin sahip olduğu (%34), bunu ise % 24 payla kaynağın izlediği görülmektedir. Kaynak yöntemleri içersinde ise ağırlıklı paya punta kaynağının sahip olduğu saptanmıştır. Bunu ise ark kaynağı uygulamaları izlemektedir. KaleAltınay Robotik ve Otomasyon A.Ş.'den edinilen bilgilere göre, son yıllarda ülkemizde gerçekleştirilen kaynak robotu kurulumlarının

önemli bir kısmını ark kaynak robotları oluşturmaktadır. Türkiye’de gerçekleştirilmiş endüstriyel robot kurulumlarının yarısına yakını, imalat sektörünün itici gücü konumundaki, otomotiv sanayiinde mevcut bulunmaktadır.

- Özellikle son yıllarda çalışanların sağlığını gözeten ve onlara çok daha insancıl, konforlu çalışma ortamları (duman, ısı, çeşitli kimyasallar, gazlar, ışınlar vb.’den uzak) sunulmasını sağlayan yönetmeliklerin yürürlüğe girmesi sonucunda robotlar daha da önem kazanmışlardır.
- Ülkemizde de özellikle otomotiv sektörü başta olmak üzere çok sayıdaki endüstriyel kuruluştaki, çok çeşitli amaçlarla başarı ile kullanılmakta olan robotların, dünyada da giderek yaygınlaşmasının işsizliğe neden olacağı görüşü tebessümle karşılanmalıdır. Zira bir kaynak robotunu tasarlayan, imal eden ve programlayan da yine insandır ve yaptığı iş daha az yorucu olmakla birlikte normal bir kaynak operatöründen daha az değildir.



KAYNAKLAR

Anık, S., Vural, M., (1998), Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG), Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim, Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul.

Anık, S., Oğur, A., Özgirgin, M.C. ve Piyadeci, Ç., (1996), "Robotic Arc Welding Applications In Turkish Automotive Industry", Uluslararası Kaynak Teknolojisi'96 Sempozyumu, 15-17 Mayıs 1996, İstanbul.

Anık, S., (1983), Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergör Matbaası, İstanbul.

Asfahl, C.R., (1985), Robots and Manufacturing Automation, John Wiley&Sons, New York.

Connor, L.P., (1991), AWS Welding Handbook Volume 1 Welding Technology.

D.İ.E. 2001-2002 yılları arası Türkiye'deki sanayi robotu ithalat ve ihracat bilgileri

Groover, M.P., Weiss, M., Nagel, R.N. ve Odrey, N.G., (1986), Industrial Robotics Technology, Programming and Applications, Mc Graw-Hill, New York.

Gültekin, N., (1991), Kaynak Tekniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.

KaleAltınay Robotik ve Otomasyon A.Ş. Seminer Notları

Mair, G.M., (1988), Industrial Robotics, Prentice Hall, New York.

Nof, S.Y., (1985), Handbook of Industrial Robotics, John Wiley & Sons, New York.

OTC-Daihen EX Series Robot Instruction Manual

OTC-Daihen CPVAS350 Welding Power Source Manual

The International Federation of Robotics, (2001), World 2001 Robotics, United Nations Publications, New York.

Tülbentçi, K., (1990), MIG-MAG Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding, İstanbul.

Yumurtacı, S., Mert, T., (2003), "Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri", Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi, 24-25 Ekim 2003, Kocaeli.

Yücel, İ., (1991), Sanayide Robot Teknolojisi, Uygulaması ve Önemi, DPT Sosyal Planlama Genel Müdürlüğü Planlama Dairesi, Ankara.

INTERNET KAYNAKLARI

[1]<http://www.cloos-robot.com>

[2]www.abb.com

[3]<http://www.kawasakirobotics.com/Applications>

[4]<http://www.fanucrobotics.co.uk/products/robots/list.asp?application=4&payload=0&reach=0&deprecated=0&submit.x=5&submit.y=10>

[5]<http://www.otc-daihen.com/robots.html>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.06.1978

Doğum yeri İstanbul

Lise 1992-1996 Haydarpaşa Lisesi

Lisans 1996-2000 İstanbul Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurumlar

2001-Devam ediyor YTÜ Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi

