

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ROBOTLA KAYNAK UYGULAMASI İÇİN FİKSTÜR TASARIMI
ve KAYNAK DİSTORSİYONLARININ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Umut Çağrı TAPICI**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KONSTRÜKSİYON

MAYIS 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ROBOTLA KAYNAK UYGULAMASI İÇİN FİKSTÜR TASARIMI
ve KAYNAK DİSTORSİYONLARININ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Umut Çağrı TAPICI
(503981065)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Nisan 2006**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Murat VURAL
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Adnan DİKİCİOĞLU (İTÜ)
Doç.Dr. C. Erdem İMRAK (İTÜ)**

MAYIS 2006

ÖNSÖZ

Üzerimde emeği olan herkese en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2006

Umut Çağrı TAPICI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. KAYNAK YÖNTEMLERİ ve KAYNAKTA ISIL GERİLMELER	5
2.1. Kaynakla Birleştirmenin Tarihçesi ve Türkiye'de Kaynak	5
2.2. Kaynak Yöntemleri	9
2.2.1. Ergitme Kaynağı Yöntemleri	10
2.2.2. Isı Kaynağının Güç Yoğunluğu	11
2.2.3. Birleştirme Tipleri ve Kaynak Pozisyonları	13
3. OTOMASYON SİSTEMLERİ ve KAYNAK UYGULAMALARINDA ROBOT TEKNOLOJİSİ	15
3.1. Otomasyon Tipleri	16
3.1.1. Sabit Otomasyon	16
3.1.2. Programlanabilir Otomasyon	17
3.1.3. Esnek Otomasyon	18
3.2. Endüstriyel Robotlar ve Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi	19
3.2.1. Hareket Kabiliyetlerine Göre Robotların Sınıflandırılması	21
3.2.1.1. Kartezyen Robotlar	22
3.2.1.2. Silindirik Robot Kolları	23
3.2.1.3. Küresel Robot Kolları	24
3.2.1.4. Scara Robot Kolları	25
3.2.1.5. Mafsallı Robot Kollar	26
3.2.1.6. Paralel Robotlar	27
3.2.2. Robotlu Kaynak Sistemleri	28
4. KAYNAK FİKSTÜRLERİ ve BİLGİSAYAR DESTEKLİ FİKSTÜR TASARIMI	37
4.1. Fikstür Kavramı ve Fikstür Çeşitleri	37
4.2. Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı (CAFD)	41
5. FİKSTÜR TASARIMI ve KAYNAK DİSTORSİYONLARININ İNCELENMESİ	45
5.1. İş Parçası İçin Özel Fikstür Tasarımı	45
5.1.1. Sınırlama Yüzeyleri ve Sıkma Kuvvet Noktalarının Belirlenmesi	45
5.1.2. Kavramsal Tasarımın Oluşturulması	47
5.1.3. Fikstür Yerleşimi ve Detaylandırılması	50

5.1.4. Fikstürün Robota Göre Pozisyonu ve Robot Erişim Kontrolü	54
5.1.5. Fikstür Ölçüsel Değerlerinin Doğrulanması	55
5.1.6. Robotun Programlanması	56
5.2. Tasarlanan Fikstürün Performans Testi	57
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	63
KAYNAKLAR	67
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	76

KISALTMALAR

I/O	: Input/Output
MIG/MAG	: Metal Inert Gas Welding/Metal Active Gas Welding
TIG	: Tungsten Inert Gas Welding
GMAW	: Gas Metal Arc Welding
CIM	: Computer Integrated Manufacturing
CNC	: Computer Numeric Control
FMS	: Flexible Manufacturing System
CAFD	: Computer Aided Fixture Design
CAD/CAM	: Computer Aided Design and Manufacturing
3B	: Üç Boyutlu
SG2	: Kaynak İlave Malzemesi Sınıfı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. DIN 1910, Kısım1'e göre Kaynakta Mekanizasyon Seviyeleri.....	15
Tablo 5.1. Deney Düzeni.....	59
Tablo 5.2. Kaynak Parametreleri.....	60
Tablo 5.3. Kaynak Sonrası Çarpılma Değerleri.....	62

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : İmalatçının Kendi Ürettiği Fikstür	3
Şekil 1.2 : Kaynak Sonrası Ürün.....	4
Şekil 2.1 : DIN 8580'e göre üretim yöntemleri.....	10
Şekil 2.2 : DIN 1910'a Göre Ergitme Kaynağı Yöntemleri.....	10
Şekil 2.3 : İş parçasına olan ısı girdisinin ısı kaynağının güç yoğunluğu ile değişimi.....	12
Şekil 2.4 : Kaynak Dayanımının birim kaynak uzunluğuna düşen birim parça kalınlığına giren ısı girdisine göre değişimi.....	12
Şekil 2.5 : Kaynak yöntemleri arasında karşılaştırma: (a) açısal distorsiyon (b) ilk yatırım maliyetleri.....	13
Şekil 2.6 : Beş temel kaynak birleşim tipi.....	13
Şekil 2.7 : Dört farklı kaynak pozisyonu.....	14
Şekil 3.1 : Sabit Bir Kaynak Otomasyonu Sistemi	17
Şekil 3.2 : Programlanabilir Bir Kaynak Otomasyonu Sistemi	18
Şekil 3.3 : Esnek Otomasyonu Sistemi	19
Şekil 3.4 : İlk Endüstriyel Robot Unimate	20
Şekil 3.5 : Robotların Mekanik Yapılarına Göre Sınıflandırılmaları	22
Şekil 3.6 : Kartezyen Robot.....	23
Şekil 3.7 : Silindirik Robot Kolları	24
Şekil 3.8 : Küresel Robot Kolları	25
Şekil 3.9 : Scara Robot Kolları	26
Şekil 3.10 : Mafsallı Robot Kollar	26
Şekil 3.11 : Paralel Robotlar	28
Şekil 3.12 : Robotlu Ark Kaynağı Sisteminin Temel Bileşenleri	29
Şekil 3.13 : Ark Kaynağı İçin Endüstriyel Robot Sistemlerinin Genel Şeması	31
Şekil 3.14 : H-Tipi Pozisyoner	33
Şekil 3.15 : Otomatik Torç Değiştirme Ünitesi	34
Şekil 3.16 : Otomatik Torç Temizleme İstasyonu	35
Şekil 3.17 : Off-line Programlama	36
Şekil 4.1 : Modüler Fikstür	38
Şekil 4.2 : 3-2-1 Konumlama Sistemi	39
Şekil 4.3 : Yetersiz Bağlantı Biçimi	40
Şekil 4.4 : Birbirinden Farklı İki Doğru Bağlantı Biçimi	41
Şekil 4.5 : İdeal Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımının Safhaları.....	43
Şekil 4.6 : Foolproofing Sistemi	44
Şekil 5.1 : Kaynak Sonrası Ürünün Bilgisayar Ortamında Oluşturulmuş Modeli	45
Şekil 5.2 : Kaynak Sonrasında İş Parçasında Oluşacak Distorsiyonlar.....	46
Şekil 5.3 : Konumlama Yüzeyleri ve Sıkma Kuvvet Noktaları	46

Şekil 5.4	: Brauer El Klempi	47
Şekil 5.5	: Kaynak Esnasında Torç Pozisyonları	48
Şekil 5.6	: Dayama ve Klemplerin Yerleştirildiği Kavramsal Tasarım	49
Şekil 5.7	: Kaynak Sonrası Parça Çıkartma İçin Gerekli Fikstür Hareketi....	49
Şekil 5.8	: Doğrusal Hareketli Kilitlemeli El Klempi	50
Şekil 5.9	: Destek Ayağı Genel Yapısı	51
Şekil 5.10	: Şim Ayarı	52
Şekil 5.11	: Lineer Hareket Mekanizmasının Bağlantı Biçimi	52
Şekil 5.12	: Fikstür Genel Yerleşimi	53
Şekil 5.13	: Kaynak Bölgesinin Detaylandırılması	54
Şekil 5.14	: Fikstürün Tamamlanmış Tasarımı	54
Şekil 5.15	: Robot Erişim Kontrolü ve Genel Yerleşim Planı	55
Şekil 5.16	: Ölçüm Yüzeyleri ve Kontrol Noktaları	56
Şekil 5.17	: Robotlu Kaynak Sistemi	57
Şekil 5.18	: Koruyucu Gaz Debisi.....	58
Şekil 5.19	: Fikstür Üzerinde Soğuma Hızlarının Ölçümü	58
Şekil 5.20	: 3 Numaralı Numune Kaynak Parametreleri	59
Şekil 5.21	: 3 Numaralı Numune Kaynak Zamanı ve Tel Sarfiyatı İstatistikleri	60
Şekil 5.22	: 1,3 ve 5 Numaralı Numunelere Ait Zaman-Sıcaklık Eğrileri	61
Şekil 5.23	: Komparatör Yardımı ile Kaynak Çarpılmalarının Ölçülmesi	61
Şekil 6.1	: Fikstür Üzerinde Soğumada Distorsiyonlar	63
Şekil 6.2	: Serbest Soğumada Distorsiyonlar	64
Şekil 6.3	: Kaynak Dikiş Kalitesi	65
Şekil 6.4	: Kaynak Sonu Görüntüsü	65

ROBOTLA KAYNAK UYGULAMASI İÇİN FİKSTÜR TASARIMI ve KAYNAK DİSTORSİYONLARININ ANALİZİ

ÖZET

Günümüzde zorlaşan rekabet şartları ve hedeflenen yeni kalite anlayışlarıyla beraber üretim hacimlerindeki artış, üreticileri maliyetleri düşürme ve hedeflenen kaliteye ulaşma yolunda esnek otomasyon sistemlerinin kullanımını artırma yoluna itmiştir. Bu çalışmada, endüstriyel robotların kullanıldığı imalat sistemlerine global bir bakış sergilenip, bu yaklaşım özele indirgenerek robotla gazaltı kaynağı yapan bir esnek imalat hücresinin tasarım ve uygulama safhaları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Ele alınan manuel kaynak prosesine yönelik iyileştirme çalışmasında izlenen yolda sırasıyla, kaynak uygulanan çelik profil parçaların düzgün şekilde konumlandırılmasını sağlayan bir fikstür tasarımı sistematik bir şekilde yürütülmüş, tasarlanan fikstür üzerinde uygun kaynak parametreleri seçilerek kaynak robotuna kaynak yaptırılmıştır. Yüksek ısı girdisi olan kaynak işleminin bir sonucu olarak meydana gelen çarpılmaları karşılayacak şekilde ters açı verilen fikstürde farklı hızlarda kaynaklar yapılarak ısı girdisinin kaynak distorsiyonlarına etkisi incelenmiştir. Parçada oluşan distorsiyonların artan ısı girdisiyle arttığı gözlenmiştir. Kaynak yapılan iş parçaları hassas şekilde ölçülerek fikstür performansı doğrulanmış, kaynak sonrası uygun geometrik toleranslar yakalanarak yaklaşımın doğruluğu kanıtlanmıştır.

FIXTURE DESIGN FOR ROBOTIC WELDING AND ANALYSIS OF WELDING DISTORSIONS

SUMMARY

Today's competition in the field of manufacturing which is getting harder day by day and targeted quality perspectives followed by production rates are forcing the manufacturing companies to increase the use of flexible automation systems to be able to reduce the cost prices and catch the targeted quality. In this work there has been a global glance on the manufacturing systems that use industrial robots and then detailed this view by designing a flexible manufacturing cell making gas metal arc welding by robot. In the improvement work about a manual welding process which is handled a systematic way has been followed to design a welding fixture which is positioning the work pieces to be welded, after then work pieces are welded by a robot with the appropriate parameters. Increase on the distortions by the heat input has been observed by welding with different velocities on the fixture on which inverse angles are applied to the locators to be able to compensate the distortions as a result of high heat input on welding process. By measuring the welded work pieces precisely fixtures performance has been verified, and by catching sufficient geometrical tolerances uprightness of the approach has been approved.

GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Yeni milenyumla beraber azalan kaynakların daha verimli kullanılması gerekliliği, bunun yanı sıra her geçen gün şiddeti daha da artan rekabet koşullarının üreticileri üretimde otomasyonun ağırlığını artırma yoluna itmesi ön plana çıkmıştır. Zamanla değişkenliği artan ürün çeşitliliği otomat (hard otomasyon) teknolojisinin de yetersiz kalmasına yol açarak, imalatta daha esnek otomasyon çözümleri zaruretini doğurmuştur. Bu doğrultuda, üretimde endüstriyel robotların kullanımı bir lüks olmaktan çıkıp zorunluluk haline gelmiştir. Günümüzde bir çok uluslararası firma için prestij meselesi haline gelen kendi robotunu meydana getirme rekabeti üreticilerin işine yararmış ve her geçen gün artan müşteri taleplerine hızlı tepki verme anlamında önceki yıllara oranla çok daha ileri noktalara ulaşılmasına ön ayak olmuştur.

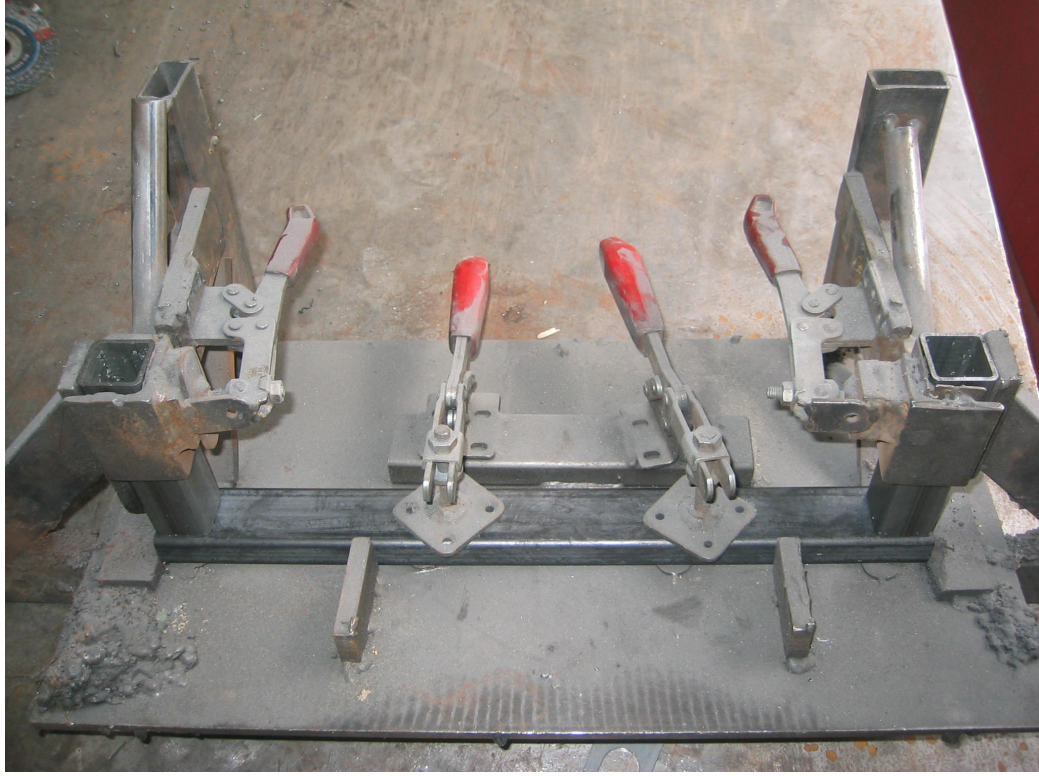
Bilindiği üzere, bir ürünün kavramsal tasarımdan, imalat ve son kullanıcıya ulaşıncaya dek olan yaşam çevrimi süresince geçirdiği tüm aşamalar ele alındığında ürünün güncelliğini koruması ve geçirdiği değişiklikler üretim maliyetlerini etkileyen en önemli etkidir. Söz konusu ürün bu doğrultuda ele alındığında yaşadığı değişiklikler ve buna bağlı olarak geçtiği proses süreçlerindeki değişimler ürün maliyeti üzerinde doğrudan etkili olan en önemli parametreler olarak göze çarpar. Ürünün tasarımından imalatına tüm bu süreç boyunca değişikliklere kolaylıkla cevap verebilecek üretim sistemlerinin ön görülmesi işletme maliyetlerinin düşürülmesi ve dolayısıyla karlılığın artırılması yolunda en önemli etkidir.

İmalatta, insan faktörü her ne kadar hataların baş sebebi gibi görünse dahi mevcut bir çok otomasyon sistemi de önceden ön görülemeyen değişikliklere cevap verme konusunda sıkıntılar yaşanmasına sebep olmaktadır. Geleceğin fabrikaları yüksek oranda otomasyona geçmekle insan faktörünü en aza indirmekle beraber tam otomasyon hala tatbiki zor bir konu olarak ele alınmaktadır. Bunun üç sebebi bulunmaktadır; Birincisi, hiçbir yüksek seviyede otomasyon sisteminin sürekli

yenilenen ürün versiyonları ve değişikliklerine cevap verebilecek derecede proses esnekliğine sahip olmaması. İkincisi, ürün veya prosese bağlı değişimin bitmeyen bir görev olması ve geniş çerçeveli bir otomasyonun gelişime dair yeni fikirleri kısıtlaması. Üçüncü sebebi ise, ileri teknolojinin sunduğu organizasyon modelinin finanse edilebilir ve kendine geri dönüşü olan nitelikte olması gerekliliğidir. Bir başka deyişle, teknoloji geçerli organizasyonu değiştirebilen bir heyecan dalgası haline gelmiştir[1]. Bu yüzden son dönemlerde programlanabilir esnek otomasyon sistemleri insandan kaynaklanan hataların azaltılması yolunda avantaj sağlamasının yanında, üretim hızı ve kalitesinin de artması ve daha önemlisi değişken şartlara uyum sağlamasıyla tercih sebebi haline gelmiştir. Özellikle bu alanda yaşanan rekabetin, robot ve diğer bileşenlerin fiyatlarına yansımaları da fiyat performans oranının kullanıcılar lehine artmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada, ele alınan kutu profil yapan bir esnek imalat hücresi tasarımı konusunun ana fikri de üretimle ilgili yaşanan düşük imalat hacmi ve ürün kalitesine oranla yüksek üretim maliyetlerine sebep olan bir kaynak prosesine dayanmaktadır. Söz konusu profillerin kaynak prosesinde yaşanan problemler bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Üreticinin kendi bünyesinde imal ettiği kaynak fikstürü üzerinde (Şekil 1.1) manuel olarak kaynakla birleştirilen parçalarda kaynak prosesine bağlı çeşitli kusurlar saptanmış ve bunların düzeltilmesine yönelik bir proses iyileştirme çalışması yapılmıştır. Yapılan ön çalışmalarda, manuel kaynaktan dolayı düşük kaynak kalitesi, geometrik tolerans hataları ve estetik yönden bozuk mamullerin üretildiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra gerek uzun kaynak süreleri (parça bağlama sökme dahil yaklaşık 3-4 dak. arasında), gerekse tolerans dışı parçaların ilave işçilikle çekişlenerek düzeltilmesi yüzünden termin zamanlarında sıkıntılar yaşandığı görülmüştür. Kaynak prosesi sonrasında kaynak dikişinin düşük kalitesi ve dikiş üzerindeki cürufaların tam olarak temizlenememesi ise bir sonraki boyama işleminde sorunlara yol açmakta, zamanla cüruflla beraber dökülen boya ürünlerin iade edilmesine yol açmaktadır.

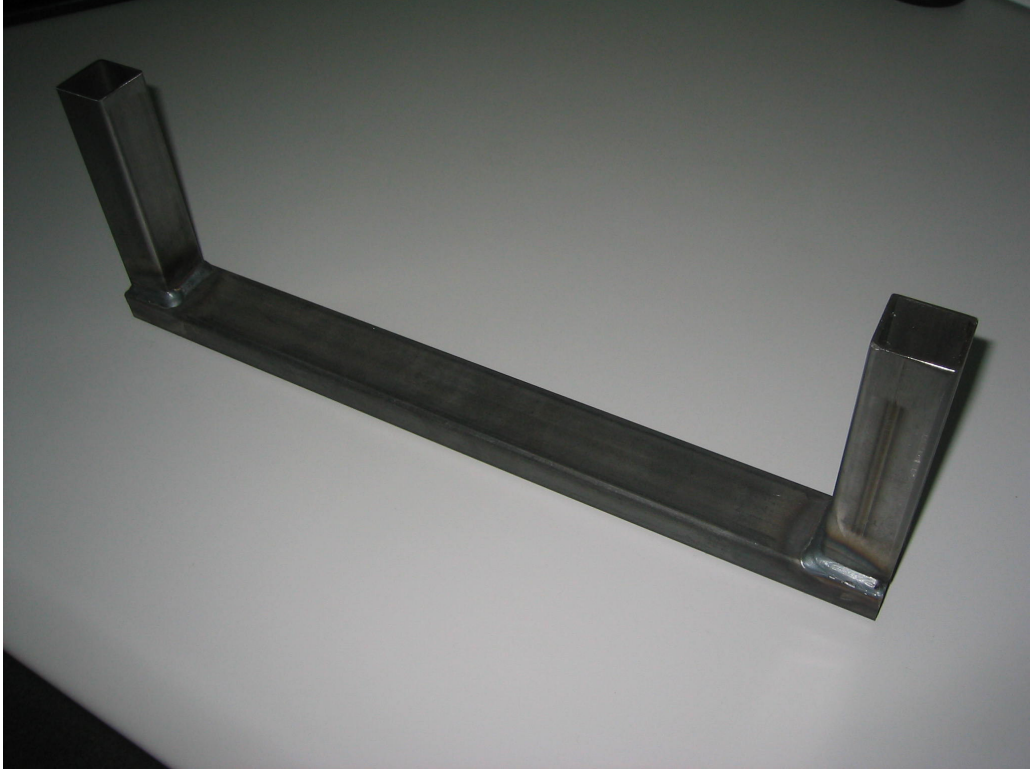
Bu çalışmayla, söz konusu ürünün kaynak prosesi hızlandırılırken bir yandan da gerek estetik gerekse dayanım yönünden sabit kaliteyi tutturmak ve sonraki proseslerde meydana gelebilecek sıkıntıların bertaraf edilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 1.1: İmalatçının Kendi Ürettiği Fikstür

Bu doğrultuda, üretilecek parçanın imalat resimlerinden 3 boyutlu modelleri oluşturularak, uygun kaynak fikstürü tasarlanmıştır. Şekil 1.2’de söz konusu iş parçası görülmektedir. İleriki dönemlerde olası imalat değişikliklerine cevap verebilecek nitelikte geniş erişim alanı olan, kontrol ünitesinde kaynak prosesi için gerekli yazılımları mevcut olan bir endüstriyel robot önerilmiştir. Uygun robotik kaynak ekipmanları ile robotun entegrasyonu sağlanmıştır. (robot kontrolü ile kaynak sisteminin haberleşmesi can bus tabanlı bir haberleşme protokolü olan device-net arayüzü ile sağlanmıştır. Kaynak kalitesine etki eden faktörlerden kaynak ekipmanlarının hızlı ve etkin şekilde bakımını sağlamak üzere bu amaçla geliştirilmiş bir torç temizleme ünitesi tedarik edilmiş ve bunun da robot kontrolü ile haberleşmesi robot kontrol ünitesi üzerindeki I/O modülleri üzerinden sağlanmıştır.) Aynı malzeme özelliklerine sahip düz saclar üzerinde kaynak denemeleri yapılarak kullanılan malzeme, ilave malzeme (kaynak teli) ve gaz karışımında istenen mekanik ve estetik özellikleri sağlayacak olan kaynak parametreleri belirlenmiştir. (Voltaj (V), Kaynak Akımı (Amp)/Tel Sürme Hızı (m/dak), Kaynak ilerleme hızı(cm/dak)) Gerçek parçaların imal edilen fikstür üzerinde kaynak edilmesi için robot programı

öğretme yöntemiyle yapılmış ve deneme imalatına başlanmıştır. İlk performans testlerinde hesaplanan kaynak çekme değerleri doğrultusunda fikstürde yapılan değişikliklerle parçalara çekme yönünün tersi istikamette ön eğim verilmiş ve böylelikle kaynak sonrası çekmelerle parça nominal değerlerine gelerek geometrik tolerans değerleri içinde kalması sağlanmıştır. Gözle ve ölçüm aletleri ile yapılan kontroller sonrasında parçaların kaynak sonrası ilave işçilik gereği ortadan kalkarak ihtiyaç duyulan tolerans değerlerini sağladığı görülmüştür.



Şekil 1.2: Kaynak Sonrası Ürün

Çalışmanın ileriki safhalarında kaynak prosesi, otomasyon sistemleri, endüstriyel robotlar, esnek imalat hücresinin tasarım ve imalatına dair konular ve sonuçları kapsamlı şekilde ele alınmıştır.

2. KAYNAK YÖNTEMLERİ ve KAYNAKTA ISIL GERİLMELER

2.1 Kaynakla Birleştirmenin Tarihçesi ve Türkiye’de Kaynak

Metalik Malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye “metal kaynağı” denir. İki malzemenin birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye “ilave metal” adı verilir. [2]

Acaba kaynak tekniğinde otomatizasyon ve robotların kullanılması hakkında neler söylenebilir?

Kaynak teknolojisi, değişik kullanma alanları nedeniyle amaca uygun birbirinden farklı kaynak usullerine ve bunun sonucu olarak da farklı otomatizasyon tiplerine gerek duymaktadır. Kaynakta ekonomikliği sağlamanın yanında bir kalite yükselmesini de gerçekleştiren bu otomatlar, gelişmelerini henüz tamamlayabilmiş değillerdir. Elektroniğin hızlı gelişmesi ile desteklenerek gelecek için hedeflenen, gerçek anlamda tam otomatik kaynak prosesini sağlamaktır.

Geçmişte rijit otomatizasyon teknikleri, döküm, dövme, presleme ve kaynak gibi geleneksel imal usullerinde üretimi büyük ölçüde arttırmıştır. Gelecek için ise, esnek otomatizasyon tekniklerini geliştirmek ve imalatın çeşitli aşamalarında ortaya konulan değişikliklere kısa bir zamanda uyabilmek için bu teknikleri uygulamak gerekmektedir. Burada temel unsur imalat ve transport donanımlarının bir sistem içerisinde entegrasyonu ve enerji ile malzeme bilgi akışının bu sistem içerisinde nümerik kontrolüdür. Burada örnek olarak otomotiv endüstrisini ele alalım.

Otomobil üretiminde binek otomobillerin yapımı için 700 preslenmiş ve kesilmiş parça ile 400 talaş kaldırılarak işlenmiş parça, cıva, perçin, kıvrıma, lehimleme, yapıştırma ve en çokta kaynak yoluyla birbirine bağlanmaktadır. Toplam kaynaklar yaklaşık olarak 5000 nokta kaynağından, 30 metre ark kaynağından, 1 metre elektron bombardımanı kaynağından, 15 adet de sürtünme kaynağından oluşmaktadır.

Nokta ve ark kaynağının otomatizasyonu öncelikle proses parametrelerinin ve proses akışının otomatik olarak kumanda ve ayarlarına dayalıdır. Diğer taraftan kaynak donanımı içerisinde iş parçasının ve takımın otomatik olarak kullanılmasının yanı sıra, kaynak donanımı arasında iş parçasının otomatik olarak sevk edilmesi gereklidir. Kaynak, uygulama ve nakliye olmak üzere üç fonksiyonun entegre edilmiş bir imalat sistemi içerisinde birleştirilmesi gerekir. Otomobil endüstrisinde, alışlagelmiş malzeme ve konstrüksiyonlarda, kaynak prosesi nokta kaynağı ve ark kaynağında geniş ölçüde korunmaktadır. Dolayısıyla gelişmelerin ağırlık noktası, uygulama ve nakliye fonksiyonlarının otomatizasyonunda ve entegre imalat sisteminin nümerik kontrolünde yatmaktadır. Böylece bir entegre imalat sisteminde kaynak donanımları rijit ve esnek olarak otomatize edilebilir ve bunlar çeşitli taşıma düzenleri ile rijit, esnek veya serbest olarak bağlanabilir.

Bütün ekonomik, teknik ve kalitatif kriterlerin ışığı altında, “Daimler-Benz” firması, karoseri kaba yapısı için bir entegre imalat sistemi geliştirmiştir. Bu sistemde kalite yönünden önem arz eden birleştirmeler için, özel tip makineler (çok nokta kaynağı makineleri) ve diğer kaynak işleri için esnek üniversal makineler (endüstri robotları) kullanılmıştır.

Kaynak tekniğinde diğer imalat tekniklerinde olduğu gibi esnek otomatize edilmiş sistemler önem kazanmaktadır. Bugün kaynak fonksiyonu için esnek otomatize edilmiş sistemler, endüstri robotları şeklinde hizmet görmektedir. Ancak uygulama ve nakliye fonksiyonları için esnek otomatize edilmiş ekonomik çözümler henüz eksiktir.

Günümüzde en büyük gelişme olanağı bulan kaynak usülleri MIG/MAG ve tozaltı kaynaklarıdır. Tozaltı kaynağı tam mekanize edilmiş kaynak için tipik bir örnektir. Burada yalnız ilave metal otomatik olarak kaynak yerine gelmemekte, aynı zamanda uygun donanımlar ile kaynak kafası ve iş parçası arasında izafi bir hareket de sağlanmaktadır. Erime gücünün yükseltilmesi ve böylece tozaltı kaynak usülünün ekonomikliğinin ortaya çıkması, çok tel tekniğinin ilavesi, bir ilave sıcak tel verme veya alışılmış normal tellerin yerine band elektrodların kullanılması gibi usüllerin uygulanması ile elde edilir ve böylece kalitenin yükselmesinde de başarı sağlanmış olur.

Ark kaynağı robotlarının ana kullanılma alanı MIG ve MAG kaynak usülleridir. Arkın yüksek frekans ateşlemesi, robotun kumanda sistemini bozacağından yalnızca TIG kaynağında çok az kullanılır.

Eskiden genellikle el ile uygulanan TIG kaynak usülü aradan geçen zaman zarfında yüksek derecede bir otomatizasyona ulaşmıştır. Kaynak sonuçlarındaki yüksek kalite ve kaynak parametrelerinin ayarlanabilmesi ve programlanabilmesi imkanlarından dolayı, bugün bu usül çok daha yüksek duyarlılık ve doğruluk istenen yerlerde uygulanmaktadır. Örneğin kimya aletleri ve reaktör inşası gibi impuls tekniği ile duyarlı iş parçalarında veya zor pozisyonlarda dozlanmış ısı verilmesine tam olarak imkan sağlayan bir usül geliştirilmiştir. Bu usül ile çapı 200mm nin üzerindeki boruların çevre dikişlerinin kaynağında uzaktan kumanda edilebilen son derece duyarlı bir kaynak uygulanmaktadır.

Türkiye’de kaynak ilk defa 1920 yılında İstinye ve Gölcük tersanelerinde kullanılmıştır. 1929’da Makina Kimya Endüstrisinde, 1930’da Sümerbank-Hereke Fabrikasında, 1931 yılında Karayolları Merkez Atölyesinde, 1933’de Eskişehir Hava İkmal Merkezinde ve 1934 yılında Devlet Demir Yolları Eskişehir Fabrikasında kaynak kullanılmıştır. Türkiye’nin ilk kaynakçıları İbrahim Pekin ve çırağı Ziya Altınışık ustalardır.

Türkiye’de kaynak konusunda ilk planlı çalışmaya 1937 yılında Devlet Demiryollarında başlanmıştır. Devlet Demiryolları Eskişehir Fabrikasında, 1934 yılında dağınık durumda birkaç kaynak makinesi mevcuttu. Daha sonra 1937 yılında özerk bir kaynak bölümü kuruldu ve bütün kaynakçılar buraya bağlandı. Bu iş için Knoch adında bir Alman kaynak uzmanı getirildi ve mühendis Nüvit Osmay’da kendisine yardımcı tayin edildi. 1936 yılının Ağustos ayında Türkiye’ye gelen Knoch 1937 yılında geri dönünce bu teşkilatın başına Nüvit bey getirildi. Nüvit Osmay ayrıca 1936 ve 1937 yıllarında Alman Devlet Demiryollarının atölyelerinde ve Wittenberg’deki Demiryol Kaynak Eğitim Enstitüsünde kaynak mühendisliği stajı gördü. 1947 yılına kadar Eskişehir Kaynak Şube Amirliği görevini yürüttü. Nüvit beyin Türkiye’de kaynak tekniğine yaptığı hizmetler çoktur ve sayısız kaynakçı yetiştirmiştir. Ayrıca Oksi-Asetilen ve Elektrik Ark kaynakları konusunda da iki ciltlik kitap yazmıştır.

Türkiye’de kaynağın gelişmesi 1950’li yılların ortalarından itibaren olmuştur. Örneğin Teknik Üniversite öğrenim planına kaynağı 1951 yılında almıştır. Makine Malzemesi ve İmal Usülleri Enstitüsü endüstriye ilk kaynak kurslarını 1955 yılında açmıştır. Yine aynı enstitü 1958 yılında Alman Kaynak Tekniği Cemiyetinin esaslarına uygun olarak Kaynak Mühendisliği (Uzmanlığı) kursunu açmıştır.

Türkiye’de klasik oksii-asetilen ve elektrik ark kaynağının dışında halen tozaltı ve gazaltı kaynak usüllerinin kullanım alanları büyük bir gelişme kaydetmiştir. Gemi inşaatı, çelik konstrüksiyon, basınçlı kaplar ve büyük makine konstrüksiyonlarında tozaltı kaynağının klasik tel ile yapılan usulü geniş çapta kullanılmasına rağmen, çift telle yapılan tandem, seri ve paralel usullerle band elektrod uygulamaları henüz yoktur.

Gazaltında yapılan MAG kaynağında son on yıl içinde artan oranda endüstrimizin çeşitli alanlarında, örneğin buhar kazanları, gemi inşaatı, çelik konstrüksiyon gibi alanlarda kullanılmaktadır. Soygaz atmosferi altında yapılan TIG ve MIG kaynakları, yüksek alaşımlı çelik ve demir olmayan malzemelerde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Kimya endüstrisi, petrokimya tesisleri, gıda endüstrisi bunların başlıca örnekleri arasındadır. Yine bu yöntemlerin uygulanması ile ilgili olarak Petrokimya tesislerinde ve helikopter imalatında titanyum kaynağı tipik örneklerdir.

Laser ve elektron ışınları ile kaynak, Hava Kuvvetlerinde ve özel sektör işletmelerinde de görülmektedir. Örneğin Renault otomobil fabrikasında elektron ışını ile kaynak yapılmaktadır. Plazma kesmesinin kullanıldığı bir çok endüstri dalı mevcuttur. Sürtünme kaynağı matkap ve otomotiv arka aks imalatında kullanılmaktadır. Çift tabanlı tencereler difüzyon kaynağına ait verilecek örnekler arasındadır.

Nümerik kontrollü ve programlı oksijenle kesme makinaları tersanelerimizde kullanılmaktadır. Ülkemizde gelişme aşamasında olan uçak endüstrisi ister istemez programlı nokta kaynağı donanımlarını, laser ve elektron bombardımanı ile kaynağı ve yapıştırma tekniğini daha çok kullanacaktır.

Kaynak dikişlerinin muayene ve kontrolü de özellikle 1970’li yıllardan sonra geniş çapta uygulama alanı bulmuş ve ciddi olarak kendisini hissettirmiştir. Bu arada Türk Standartları Enstitüsü de kaynak standartlarının çıkartılmasına hız vermiştir.

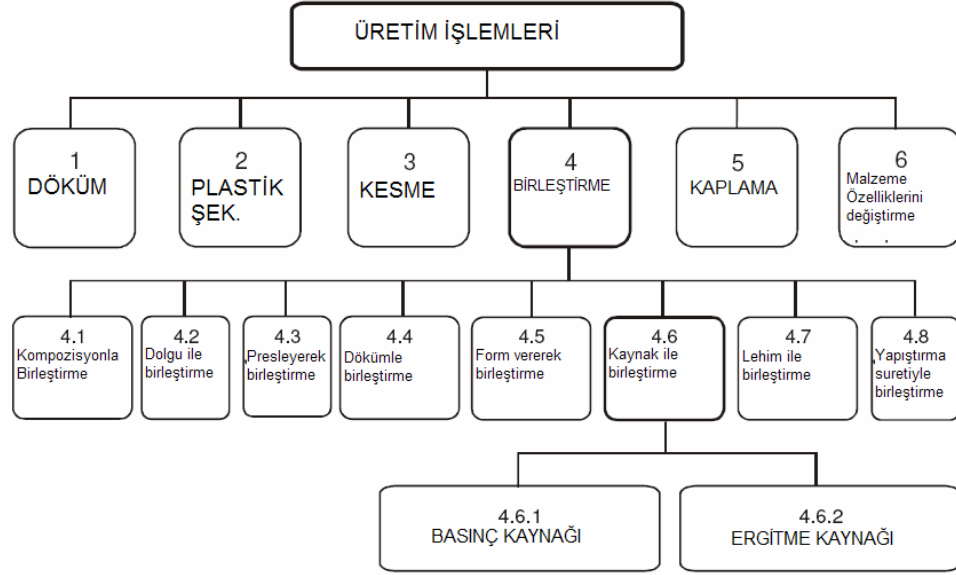
Özellikle dış pazarlara açılan ülkemizin endüstrisinde kalitenin temini için muayene ve kontrolün ciddi biçimde yapılmasının önemi büyüktür.

Bugün ülkemizde çeşitli elektrodlar, tozaltı ve gazaltı kaynak telleri, özlü teller, yumuşak ve sert lehim ve tel alaşımları, bütün kaynak gazları, elektrik ark kaynak makinaları, tozaltı ve gazaltı kaynak makinaları, kaynak üfleçleri ve detantörleri, nokta kaynağı makinaları, oksijenle kesme üfleç ve cihazları, kaynak tozları ve lehimleme dekapanları üretilmektedir.

2.2 Kaynak Yöntemleri

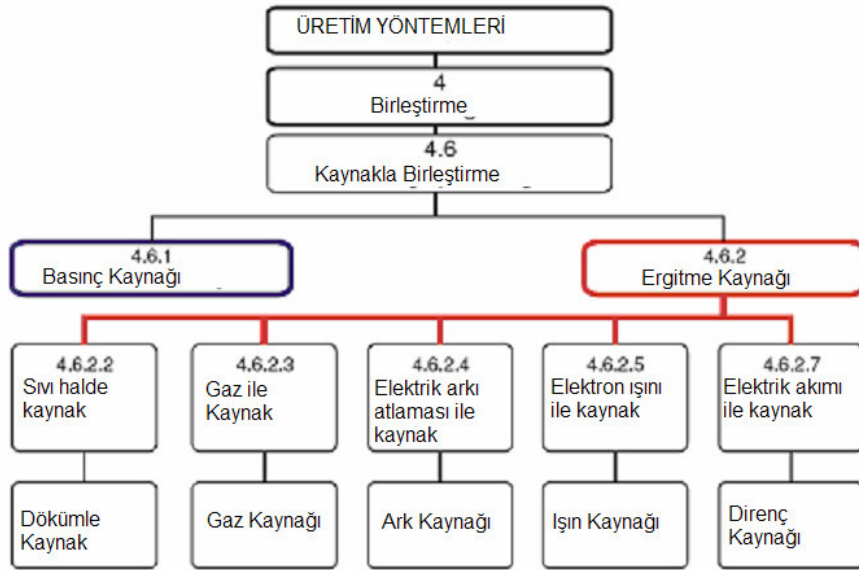
Kaynak yöntemlerini çeşitli bakımlardan sınıflandırmak mümkündür. Bunlardan birincisi, uygulandığı malzeme cinsine göre olmak üzere metal kaynağı ve plastik malzeme kaynağıdır. Bunun dışında, birleştirme ve doldurma kaynağı gibi gayesine göre sınıflandırma ya da manuel kaynak, yarı mekanize ve tam mekanize kaynak ve otomatik kaynak olmak üzere usulü bakımından da sınıflandırma yapılabilir.

Bir diğer sınıflandırma ise eritme kaynağı ve basınç kaynağı olmak üzere işlemin cinsine göre yapılır. Kaynak Fabrikasyon Prosesleri Alman Standartları DIN 8580 ve DIN 8595 'e göre 4 numaralı ana grup "birleştirme" ve bunun altında yer alan 4.6 no'lu grup olan "Kaynakla Birleştirme" altında sınıflandırılmıştır. [4] (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2)



Şekil 2.1: DIN 8580'e göre üretim yöntemleri

Bu çalışmada uygulanan GMAW/MIG kaynağı eritme kaynağı yöntemleri dahilinde ilerleyen kısımlarda kapsamlı şekilde ele alınmıştır.



Şekil 2.2: DIN 1910'a Göre Ergitme Kaynağı Yöntemleri

2.2.1 Ergitme Kaynağı Yöntemleri [3]

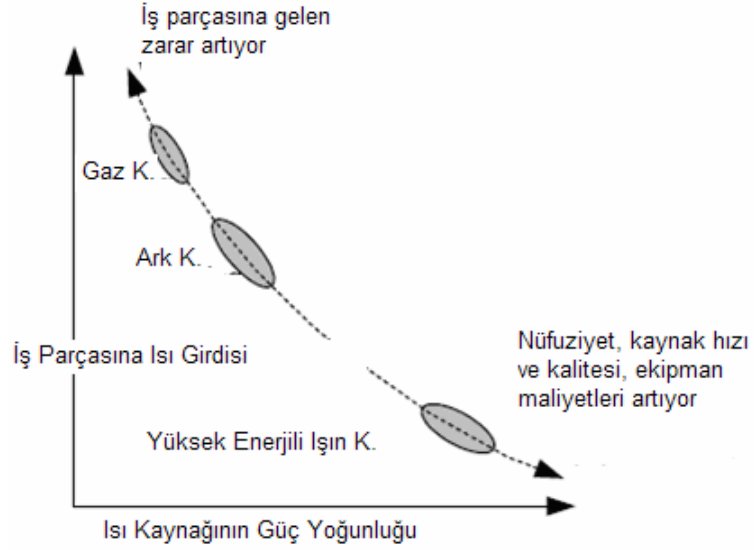
Eritme kaynağı, ana metalin çeşitli yollarla eritilmesi suretiyle ilave metal katılarak veya katılmadan gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir. Ergitme kaynağının beş temel tipi bulunmaktadır;

1. Döküm Kaynağı
2. Gaz Kaynağı:
 - Oksiasetilen Kaynağı
3. Ark Kaynağı:
 - Tozaltı Kaynağı
 - Erimeyen Elektrodla Gazaltı Ark Kaynağı
 - Eriyen Elektrodla Gazaltı Ark Kaynağı (MIG veya GMAW)
 - Plazma Ark Kaynağı
 - Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı
4. Yüksek Enerjili Işın Kaynağı:
 - Elektron Işın Kaynağı
 - Lazer Işını Kaynağı
5. Direnç Kaynağı

2.2.2 Isı Kaynağının Güç Yoğunluğu

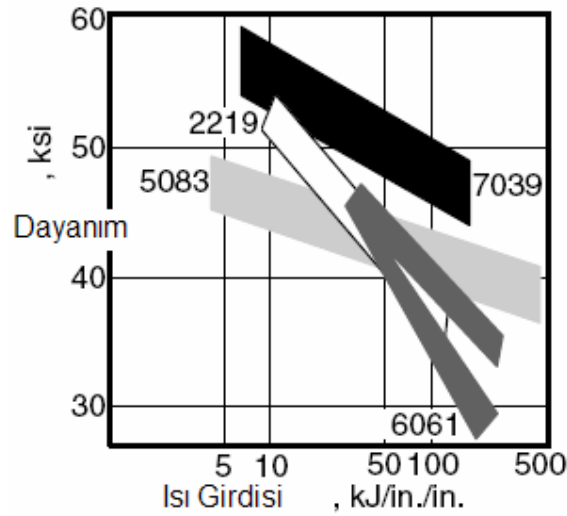
1.5 kW gücünde bir saç kurutma makinesini 1.6 mm kalınlığında bir 304 paslanmaz çelik malzemeye çok yakın şekilde tuttuğumuzu varsayalım. Sıcaklık kabaca 50 mm çapında bir alana etki eder ve levha bölgesel olarak ısınır fakat erimez. GTAW ile aynı güçteki ark yaklaşık 6 mm çapındaki bir alana yoğunlaşır ve kolaylıkla kaynak havuzunu oluşturur. Bu deneme, ısı kaynağının güç yoğunluğunu göstermek açısından çok iyi bir örnektir.

Gaz, ark ve yüksek enerjili ışın demeti kaynağı uygulamalarında ısı kaynakları sırasıyla, gaz alevi, elektrik arkı ve yüksek enerjili ışın demetleridir. Güç yoğunlukları gaz alevinden ışın demetine doğru aynı sırayla artar. Şekil 2.3'de görüldüğü üzere ısı kaynağının güç yoğunluğu arttıkça iş parçasına kaynak için gereken ısı girdisi miktarı azalır. İş parçasının gaz alevi tatbik edilen kısmı yavaş şekilde ısındığından erime meydana gelmeden önce iş parçasının büyük bir kısmı iletim yoluyla ısınmış olur. Bu şekilde geniş alanın ısınması, iş parçasının zayıflaması ve distorsiyona uğramasına yol açar. Bunun aksine, keskin şekilde odaklanmış elektron veya lazer ışın demetine tabi tutulan aynı malzeme ısı diğer taraflara iletilemeden süratli bir şekilde erir ve kaynağı oluşturur.

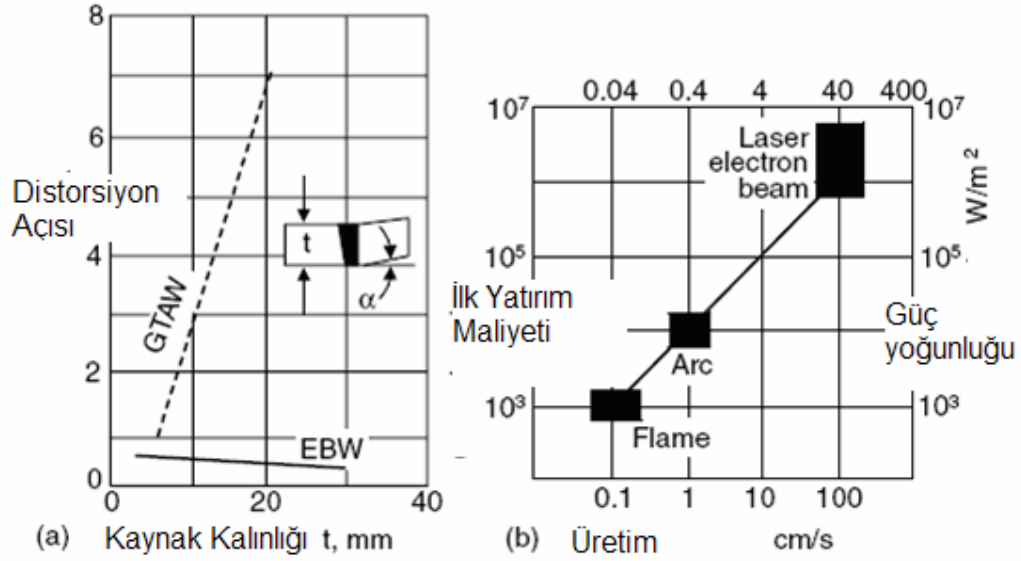


Şekil 2.3: İş parçasına olan ısı girdisinin ısı kaynağının güç yoğunluğu ile değişimi

Bu nedenle, ısı kaynağının güç yoğunluğunun artması, daha derin kaynak nüfuziyeti, daha yüksek kaynak hızları ve iş parçasına daha az zarar verdiği için daha yüksek kaynak kalitesi sağlar. Şekil 3' de iş parçasının birim kalınlığına denk gelen birim kaynak uzunluğu başına düşen ısı girdisi azaldıkça alüminyum alaşımı malzemeye uygulanan kaynağın dayanımının arttığı görülmektedir. Şekil 4a'da, Elektron Işını yönteminde açısız çarpılmanın TIG yöntemine oranla çok daha az olduğu görülmektedir. Şekil 4b'de ise lazer ve elektron ışın demeti ile kaynağın maliyetlerinin maliyetlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



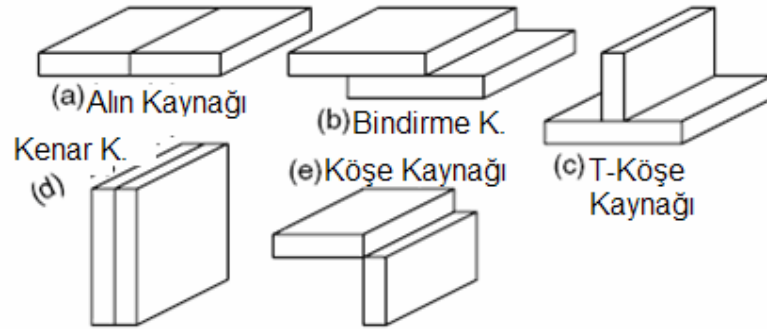
Şekil 2.4: Kaynak Dayanımının birim kaynak uzunluğuna düşen birim parça kalınlığına giren ısı girdisine göre değişimi



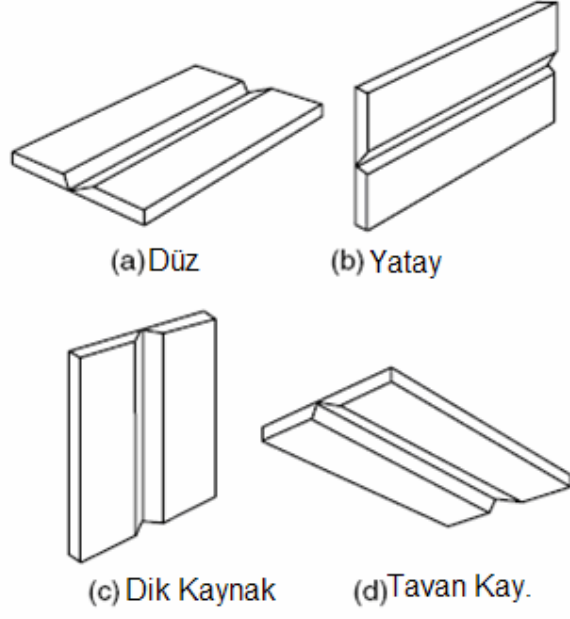
Şekil 2.5: Kaynak yöntemleri arasında karşılaştırma: (a) açısız distorsiyon (b) ilk yatırım maliyetleri

2.2.3 Birleştirme Tipleri ve Kaynak Pozisyonları

Şekil 2.6'da ergitme kaynağındaki temel birleşim tipleri olan alın, bindirme, T, kenar ve köşe kaynağı biçimleri görülmektedir. Şekil 7'de ise çeşitli kaynak pozisyonları görülmektedir.



Şekil 2.6: Beş temel kaynak birleşim tipi



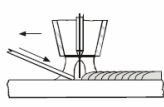

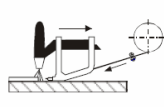
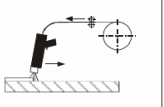
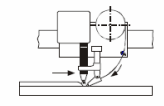
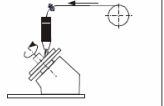
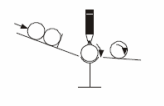
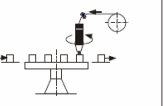
Şekil 2.7: Dört farklı kaynak pozisyonu

3. OTOMASYON SİSTEMLERİ ve KAYNAK UYGULAMALARINDA ROBOT TEKNOLOJİSİ

Son yıllarda metal işleri endüstrisindeki üretim maliyetlerinde işçilik maliyetlerinin etkisinin artması, imalatçıları üretim metodlarını kısmen veya tamamen mekanize hale getirmeye zorlamıştır. Sürekliliğin ve üretkenliğin zorunlu olduğu kaynak mühendisliği alanında ise bu doğrultuda bir yönelim kaçınılmaz hale gelmiştir.

Kaynak yöntemindeki mekanizasyon seviyeleri DIN 1910, Kısım1’de düzenlenmiştir. Buradaki düzenleme, torç kontrolünün tipi, ilave metal durumu ve proses sekansına göre yapılmıştır. [4] (Tablo 3.1)

Tablo 3.1: DIN 1910, Kısım1’e göre Kaynakta Mekanizasyon Seviyeleri

MEKANİZASYON	ÖRNEKLER GAZALTI KAYNAĞI		HAREKET / ÇALIŞMA ÇEVİRİMİ		
	TIG	MIG	TORÇ İŞ PARÇASI KONTROLÜ	DOLGU TELİ BESLEME	İŞ PARÇASI TAŞINMASI
MANUEL KAYNAK m			MANUEL	MANUEL	MANUEL
KISMEN MEKANİZE KAYNAK t			MANUEL	MEKANİK	MANUEL
TAMAMEN MEKANİZE KAYNAK v			MEKANİK	MEKANİK	MANUEL
OTOMATİK KAYNAK a			MEKANİK	MEKANİK	MEKANİK

İş parçasının naklinden başlayarak, kaynak işleminin otomatik olarak yapılması, bu işlemin sistem içinde gerekli olan tüm değişkenlerine ait elektronik haberleşmesinin input ve output sinyallerinin bir kontrol ünitesinde otomatik olarak işlenmesi ve işlem sonuçlarının yeniden kullanılabilir şekilde saklanmasını kapsayan süreç kontrolü bizi son yıllarda önemi giderek artan otomasyon kavramına götürür.

Otomatik kökünden türetilmiş olan otomasyon, makine veya proseslerin otomatik operasyon ya da kontrolünün robot ve benzeri cihazlar ile insan katkısı olmaksızın yapılması anlamına gelir. [6]

İmalatçıyı üretimde otomasyona iten başlıca sebepler, üretkenlik ve kaliteyi artırmak, işçilik maliyetlerini azaltmak, manuel olarak yapılan rutin işleri azaltmak ya da ortadan kaldırmak, işçi sağlığı ve güvenlik gereklileri ve son olarak da işin manuel olarak yapılamayacak kadar kompleks olması şeklinde özetlenebilir.

3.1 Otomasyon Tipleri

Otomasyon tipleri, sabit otomasyon (fixed automation), programlanabilir otomasyon ve esnek otomasyon olmak üzere kabaca üç ana grup altında toplanmıştır.[7]

Otomasyon prensipleri genel olarak, operasyonların özelleştirilmesi, kombine operasyonlar, eş zamanlı operasyonlar, operasyonların entegrasyonu, esnekliğin artırılması, malzeme nakli ve depolanmasının geliştirilmesi, uzaktan denetim, proses kontrol ve optimizasyonu, tesis operasyonlarının kontrolü ve bilgisayar destekli bütünleşik imalatın (CIM) sağlanmasını hedefler.

3.1.1 Sabit Otomasyon

Başlıca örneği fabrikalardaki transfer hatları olan bu tip sistemler “hard automation” olarak da anılırlar. Bu sistemler seri imalat için uygun olup, aynı tipte parçalardan yüksek sayıda üretilmesi ve ürün tasarımının ürün yaşam çevrimi süresince stabil olmasını gerektirir. Özel olarak projelendirilmiş teçhizatlar kullanılmasından dolayı ilk yatırım maliyetleri yüksektir.

Başlıca avantajları, ekipmanların iş için hassas şekilde ayarlanmış olması, üretim çevrim sürelerinin düşük olması, sık sık kurulum gerektirmemesi, malzeme nakillerinin mekanizasyonu ile iş parçalarının hızlı ve verimli şekilde hareketinin sağlanması ve nispeten daha az çalışma alanı gerektirmesi olarak sayılabilir. Bu tip sistemlerin dezavantajı ise herhangi bir değişikliğe kolaylıkla cevap verebilecek esnekliğe sahip olmamalarıdır. (Şekil 3.1)

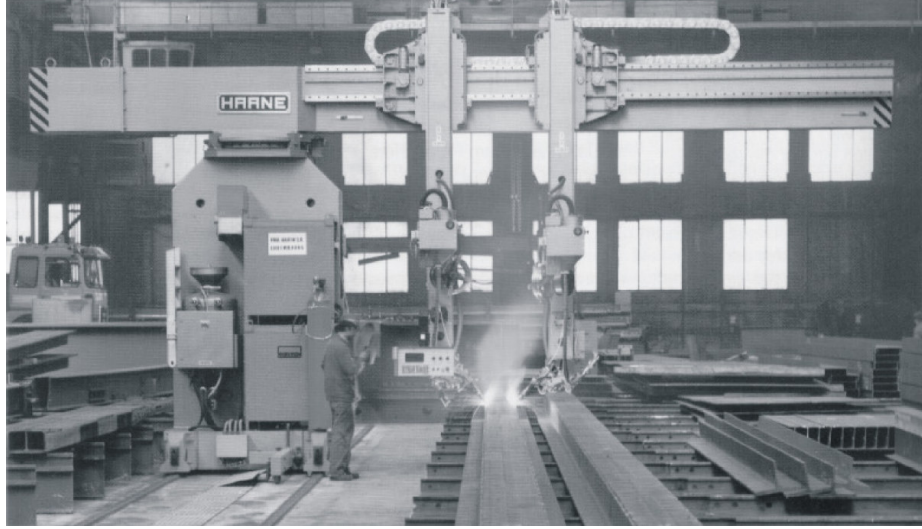


Şekil 3.1: Sabit Bir Kaynak Otomasyonu Sistemi

3.1.2 Programlanabilir Otomasyon

Başlıca örnekleri NC, CNC makineler ve robotlar olan bu tarz sistemlerin özellikleri, bir program dahilinde sıra kontrollü olmaları, genel amaçlı ekipmanların yüksek maliyetli olması, nispeten daha düşük üretim hızları, farklı parça varyasyonlarına karşı sabit otomasyon sistemlerine göre daha esnek olmaları, farklı tipte parçaların sabit otomasyon sistemlerine göre daha düşük sayılarda imalatına imkan tanımaları olarak sayılabilir. (Şekil 3.2)

En belirgin dezavantajları, her yeni parça tipi için harcanan ilk kurulum zamanları, buna bağlı olarak daha geniş alanlara ihtiyaç duyması ve esnekliğine karşın daha düşük üretim hızlarına sahip olmalarıdır.



Şekil 3.2: Programlanabilir Bir Kaynak Otomasyonu Sistemi

3.1.3 Esnek Otomasyon

Esnek imalat sistemleri (FMS-Flexible Manufacturing Systems) bu tip otomasyona en iyi örnektir. Burada programlanabilir otomasyon daha geniş yer tutarken, değişiklikler için kayıp zamanlar çok düşüktür. Burada da özel olarak projelendirilmiş mühendislik sistemleri ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına sebep olur. Karışık imalat yapılabilmesi, tasarım değişikliklerine cevap vermede daha esnek olması en önemli özelliğidir. Düşük ve orta sayıda imalatlara uygun olup, hız ve esneklik yönünden sabit otomasyon ile programlanabilir otomasyon arasında yer alır.

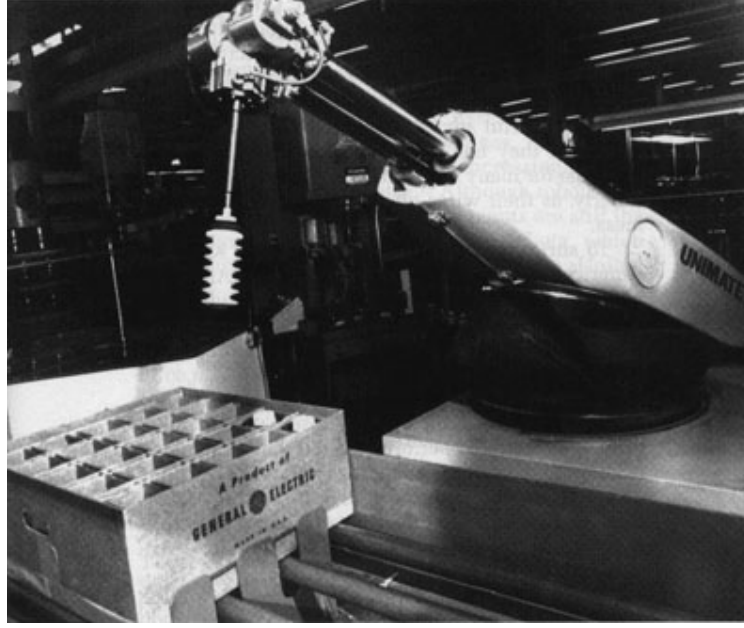
Başlıca avantajları, programlama ve kurulumların off-line olarak yapılması iken takım değiştirme ve diğer ilave ekipmanları sebebiyle yüksek maliyetli olması dezavantajlarını teşkil eder.



Şekil 3.3: Esnek Otomasyonu Sistemi

3.2 Endüstriyel Robotlar ve Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi

Robot kelimesi Slavca'daki zorunlu iş, angarya ve işçi kelimelerinden türetilmiş bir kelimedir. (Robata ve Robotnik birleşerek İngilizce "Robotic" haline gelmiştir.) İlk olarak eski Çekoslovakya'lı yazar Karel Capek tarafından yazılan oyun "Rossum'un Evrensel Robotları" (1921) isimli oyununda kullanılmıştır. Teknolojik anlamda günümüz teknolojisine en yakın robot ise 1960lar'ın ortalarında George Devol tarafından geliştirilmiştir. Bu ilk bilgisayar kontrollü mekanik kol daha önceleri 1940'lı yıllarda güvenlik camının arkasında bir insan tarafından kontrol edilerek radyoaktif malzemeleri taşıyan ilk atasından esinlenerek geliştirilmiş olup, kontrol insandan alınıp bilgisayara devredilmiştir. 1970ler'in başlarında Devol'ün ortağı Engleberger'in Japonya'ya yaptığı ziyaret sonrasında o yıllarda yoğun şekilde üretim tesisleri kuran Japon'lar ilk olarak bu keşfin endüstriyel geleceğini kavrayarak lisanslı olarak üretilmeye başlamış ve sonrasında tüm Japon robot firmalarının önünü açmıştır.



Şekil 3.4: İlk Endüstriyel Robot Unimate

Başlangıçta yeniden programlamanın zor olması ve parça konumu tam olarak bilinmediğinde insanlarla rekabet edemeyen robotlar sadece sprey boyama ve kaynak işlerinde kullanılmışlardır. Scara robotlarının ortaya çıkmasıyla elektronik endüstrisinde baskılı devre kartlarına bileşenlerinin montajı işi robotların hakimiyetine girmiştir. [8]

Ne var ki etrafında olup bitenleri programında belirtilen sınırlar dahilinde algılayıp komutları yerine getiren robotlar karar verme yeteneğinden yoksundurlar. Bu yüzden günümüzde artık endüstrinin birçok alanında faaliyet gösteren robotlarla ilgili başlıca araştırma konuları, robotun kısmen kendi kararlarını verip uygulamaya koymasını sağlayacak olan “yapay zeka” ve bu kararları vermesi yolunda algı sınırlarını genişletecek olan görüntü algılama ve işleme sistemleri üzerine yoğunlaşmıştır.

ISO 8373’e göre ise robot,” Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, sabit veya hareketli olabilen, üç veya daha fazla programlanabilir eksene sahip, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir çok amaçlı manipülatör.” Olarak tanımlanmıştır.[5]

Bu tanımda yer alan yeniden programlanabilme kavramı, fiziksel değişiklikler olmadan programlanmış hareketleri veya yardımcı fonksiyonları değiştirilebilen

anlamına gelirken, çok amaçlı olması fiziksel değişikliklerle farklı uygulamalara adapte edilebilme yeteneğini tanımlamaktadır.

3.2.1 Hareket Kabiliyetlerine Göre Robot Kolların Sınıflandırılması [10]

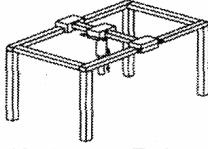
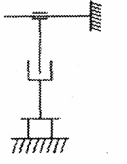
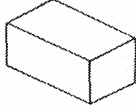
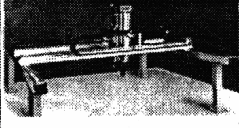
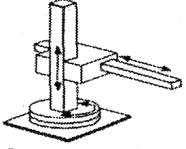
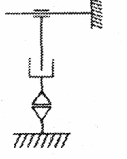
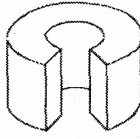
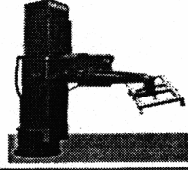
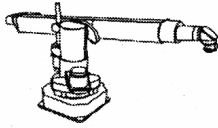
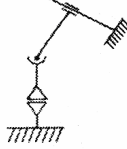


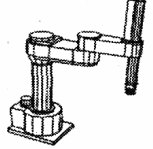
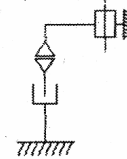
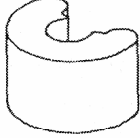
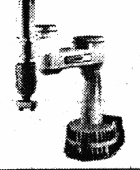

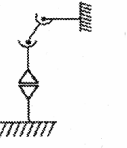

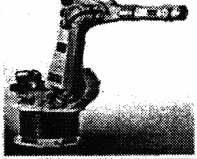
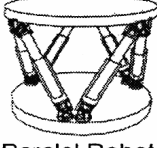
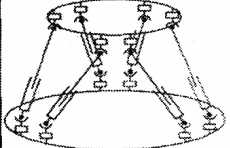


Robotlar eksen sayıları, kontrol tipleri ve mekanik yapılarına göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 3.5’de endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılmaları görülmektedir.

Endüstriyel robotlarda önem arz eden başlıca kriterler, tamlik (Accuracy), tekrarlanabilirlik (repeatability), yük taşıma kabiliyeti ve hız (max. Payload and velocity), ve erişim alanıdır (working envelope). [9]

Tamlık, çalışma hacmi içinde istenen bir noktaya robotun bilek sonunu götürebilme yeteneğidir. Uzaysal çözülüm, robotun çalışma hacmini bölebileceği en küçük hareket artışıdır. Böylece robotun tamlığı hedef noktaya ulaşabilmek için yaptığı eklem hareketlerinde kontrol artımlarını ne derece hassas tanımlayabildiği şeklinde açıklanabilir.

Tekrarlanabilirlik, uzayda robota önceden öğretilen bir noktaya robotun bileğini veya eklenen bir takımın götürülmesinde tekrarlanan hareketler sonunda öğretilen nokta ile ulaşılan nokta arasında oluşabilecek maksimum hata payıdır. Genel amaçlı robotlarda bu değer 0,1-0,2 mm arasında değişirken, kaynak robotlarında kullanılan tel çapının yarısından az olması beklenmektedir.

Maksimum yük taşıma kapasitesi, robotun en düşük hızında tekrarlanabilirlik değerlerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük değeri iken, nominal yük taşıma kapasitesi de robotun maksimum hızda tekrarlanabilirlik değerlerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük miktarıdır. Bu yük taşıma kapasitesi değerlerinde, yükün geometrik şekli ve boyutlarıyla, ağırlık merkezinin robot kolunun uç kısmına göre pozisyonunun önemi unutulmamalıdır.

Robot	Eksenler		Örnekler
	Prensip	Kinematik Yapı	
 Kartezyen Robot			
 Silindirik Robot			
 Küresel Robot			
 SCARA Robot			
 Mafsallı Robot			
 Paralel Robot			

Şekil 3.5: Robotların Mekanik Yapılarına Göre Sınıflandırılmaları

Robot erişim alanı ya da çalışma zarfı (working envelope), robot kolunun uç kısmının ulaşabildiği en uzak noktaların oluşturduğu hacimdir. Endüstriyel robotlar uygulama tipine göre farklılık göstermekle beraber genellikle bu bölge içinde kalan tüm noktalara ulaşabilirler.

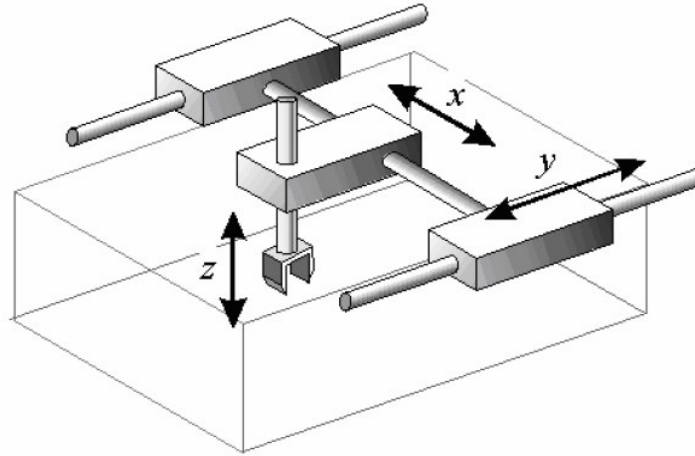
3.2.1.1 Kartezyen Robotlar

Sadece tutma ve taşıma yeteneği olan bu robot tipi X,Y,Z, eksenlerinde doğrusal olarak hareket etme yeteneğine sahiptirler. Basit bir yapıya sahip oldukları için

hareketlerin planlanması çok kolaydır. Bu tür robotlarda; pozisyon hesaplamaları, robot uç elemanının bulunduğu pozisyon, mafsalların o anda olduğu yerde bulunduğundan çok kolaydır.

Çalışma alanları Şekil 3.6'da görüldüğü gibi robotun yapısından daha küçüktür. Eğilme ve bükülme işlemlerini gerçekleştiremez. Çalışma alanları kare veya dikdörtgen prizma şeklindedir. Yük taşıma kapasitesi diğer robot türlerine göre daha büyüktür. İnsan gücünün taşıma kapasitesini aşan yüklerin taşınmasında kullanılır. Bu nedenle genellikle yük araçlarına, yükleme ve boşaltma işlerinde, fabrikalar da ağır yükleri taşımak amacı ile fabrikaların tavanlarına monta edilerek kullanımı yaygındır. Islak, nemli, rutubetli çalışma ortamlarında kullanılabilir.

Küçük güçte olanları pnömatik olarak tahrik sistemine sahiptir. Büyük güç gereken yerlerde hidrolik tahrikli olan kartezyen robotlar kullanılır. Bunların yağ sızdırma problemleri olduğu için temizliğin önem arz ettiği ortamlarda pnömatik tahrikli olanlar tercih edilir. Hava tahrikli olan robot tipinde basınçlı hava ve havanın kontrolüne ihtiyaç olduğu için yatırım maliyetleri daha ucuz olup işletim maliyetleri de düşüktür. Büyük güçte yapılan kartezyen robotların tahrik sistemleri elektrik motorları veya hidrolik tahrik sistemleri ile sağlanmaktadır.

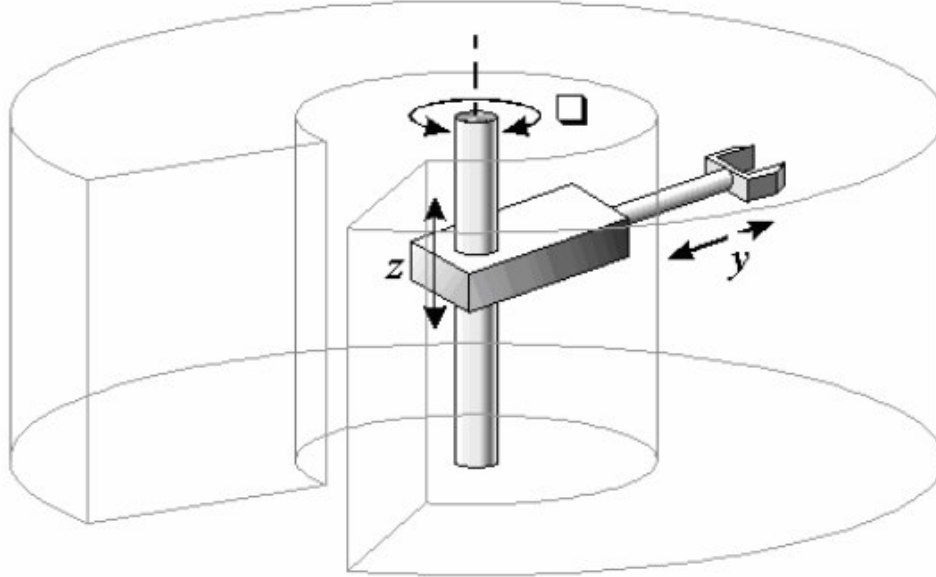


Şekil 3.6: Kartezyen Robot

3.2.1.2 Silindirik Robot Kolları

Silindirik robot kollar da kendi etrafında dönebilen bir mafsal ve bunun üzerinde bulunan X,Y,Z düzleminde doğrusal hareket edebilen kollardan oluşmaktadır. Şekil

3.7’de görüldüğü gibi esnek olmayan silindirik bir koordinat sistemine sahiptirler. Kartezyen robot kola göre hareket serbestliği daha geniştir. Çalışma alanı içindeki noktalara ulaşımı çok iyidir. Hareket kabiliyetinin az olmasından dolayı programlanması kolaydır.



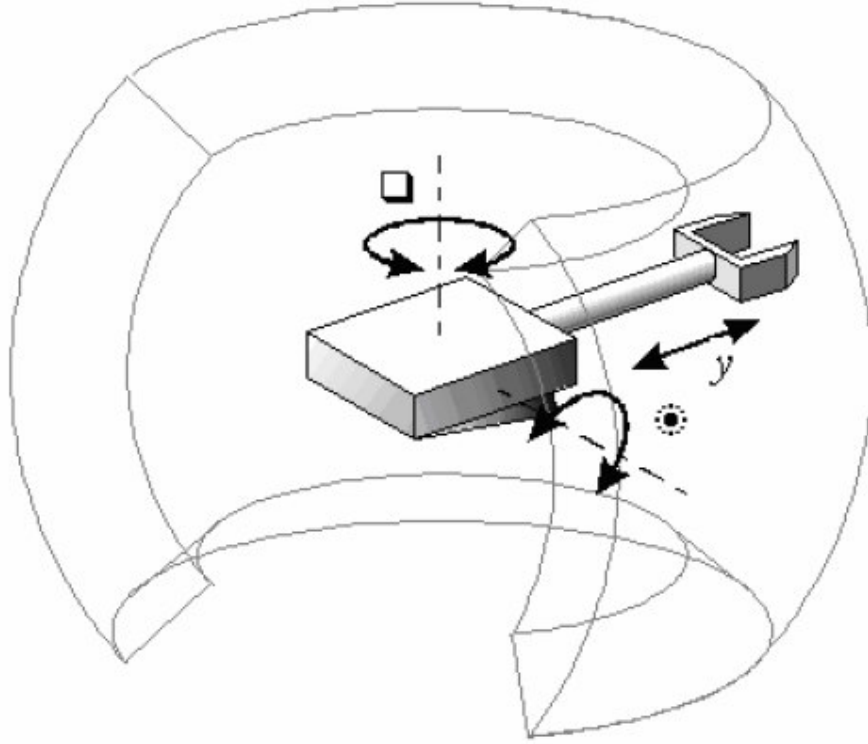
Şekil 3.7: Silindirik Robot Kolları

Robot kolun çalışma alanı silindirik koordinat sisteminde hareket eden kolların uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Robotun kullanım alanı ve yük taşıma kapasitesine göre hidrolik, pnömatik veya elektrik tahrikli olarak kullanılmaktadır. Silindirik robot kollar nemli, rutubetli ve tozlu ortamlarda, deniz altı, uzay gözlem araçlarında ve nokta kaynağı işlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2.1.3 Küresel Robot Kolları

Bel, omuz ve dirsek mafsallarından oluşan bir yapıya sahiptirler. Bel ve omuz mafsalı kendi etrafında dönme hareketi yapabilirken, dirsek mafsalı kola uzama ve kısalma hareketi yaptırmaktadır. Hareket alanı Şekil 3.8’de görüldüğü gibi silindirik bir koordinat sistemine sahiptir. Kol yapılarından dolayı eklemli robot kollarına benzemektedirler. Kinematik yapıları kartezyen ve silindirik robot kollara göre daha karmaşıktır. Çalışma şeklinin zihinde canlandırılması zor olduğu için programlama ve kontrolü de zordur. Çalışma alanının büyüklüğü kolların büyüklüğüne bağlıdır. Hidrolik tahrik sistemine sahip olan küresel robot kollar eğme, bükme işlerinde,

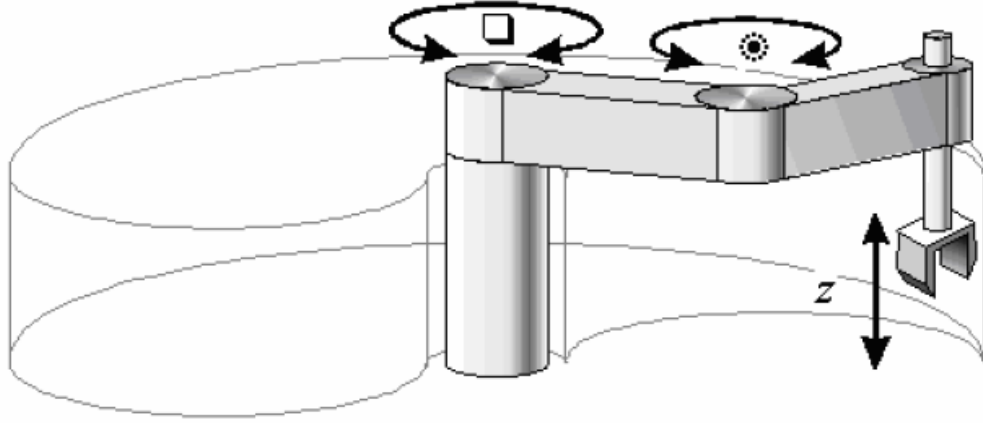
kameralı izleme işlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca sarkaç robot olarak ta küçük bir moment ile hareketlerini devam ettiren bu robotlar kaynak ve zamlama işlemlerinde kullanılırlar.



Şekil 3.8: Küresel Robot Kolları

3.2.1.4 Scara Robot Kolları

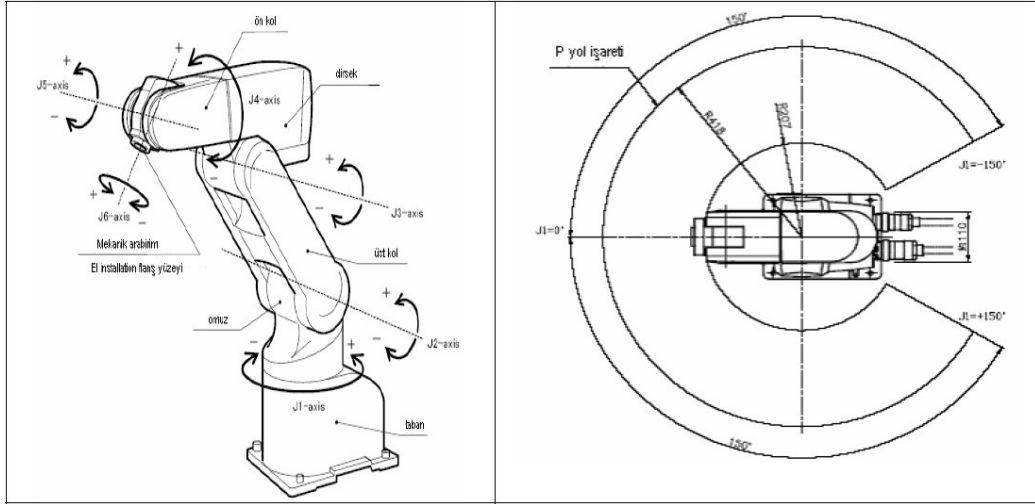
İki eklem yerinde elektrik motoru ve aşağı yukarı hareket edebilen pnömatik koldan oluşmuştur. Eklemlerdeki elektrik motorları eksenlerin kendi etrafında dönmesini sağlamaktadır. Tutucu ağzın bulunduğu kol pnömatik tahrikli olup Z ekseninde hareket etme kabiliyetine sahiptir. Buda robot kola esnek hareket imkânı sağlamaktadır. Hız ve konum performansı çok iyi olduğundan dolayı bu robot kol en çok elektronik sanayinde, elektronik kartlara malzemelerin montajını gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Tutma ve taşıma işlerinde maliyetinin ucuz olmasından ve programlanmasının kolay olmasından dolayı şu anda sanayide en çok kullanılan robot olmuştur. Bu robot kol şekil 3.9'daki çalışma alanında görüldüğü gibi, kolun altında bulunan parçaların taşınmasında kullanılır.



Şekil 3.9: Scara Robot Kolları

3.2.1.5 Mafsallı Robot Kollar

İnsan kolunun hareketlerini taklit etmeye en yakın robot kol dur. Üretim sistemlerinde diğer kolların hareket kabiliyetlerinin sınırlı olmasından dolayı mafsallı robot kolları genellikle 5 veya 6 adet olan robot kollarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu tip robot kollarında her mafsallı ayrı ayrı kontrol edilebilen servo motorlardan oluşmaktadır. Mafsallarda bulunan motorlar 12–24 V. gerilim ile beslenmektedir.



Şekil 3.10: Mafsallı Robot Kollar

Hareket esneklikleri en yüksek olan robot kollarıdır. Kol üzerinde bulunan her eklem yeri Şekil 3.10'da görüldüğü gibi X,Y,Z eksenlerinde üç boyutlu hareket yapabilmektedir. Çalışma alanı içerisinde tanımlanan bir noktaya en kısa yoldan ve

kısa zamanda ulaşım imkânı tanımaktadır. Robotun hedef pozisyonlara yaklaşımı mafsal hareketi veya doğrusal X,Y,Z, koordinatları doğrultusunda hareket ederek gerçekleşmektedir. Diğer robot türlerine göre karmaşık bir yapıya sahip olup, programlanması da diğerlerine göre zordur.

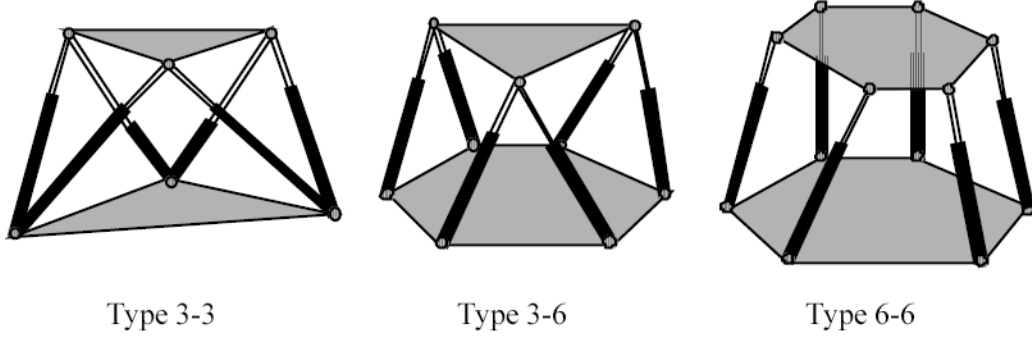
Her mafsal Şekil 3.10'da görüldüğü gibi program içersinden sınırlandırılan belirlenmiş bir alan içersinde hareket edebilmektedir. Bu da robotun güvenli bir çalışma ortamı ve alan içersinde bulunan diğer parçalara çarparak zarar vermesini önlemekte ve hedef noktaya, robotun daha kısa zamanda ulaşmasını sağlamaktadır.

Yapılacak uygulamanın niteliğine göre robot kolun eksen sayısı tercihi yapılmalıdır. Daha basit işlemlerin uygulanmasında 3 eksenli robot kol yeterli gelmekte iken daha karmaşık ve çok fonksiyonlu bir uygulama işleminde 3 eksenli robot kol yeterli olmamaktadır. Uygulanan işlemler karmaşıktıkça mafsal sayısının artması gerekmektedir. Mafsal sayısının artması robotun hareket serbestliğini artırmaktadır.

3.2.1.6 Paralel Robotlar

Çoğu çağdaş robot açık kinematik zincir yapısına sahip iken (seri manipülatör ya da antropomorfik yapı olarak da anılırlar), paralel robotlar kapalı kinematik zincir yapısına sahiptirler. Altı serbestlik derecesine sahip ilk paralel manipülatör 1965 yılında Stewart tarafından ortaya çıkarıldığından Stewart-Platformu olarak da anılır.[11] Bu tip robot konfigürasyonları Şekil 3.11'de görülmektedir.

Bu kapalı zincir yapısı paralel robota pek çok avantaj sağlar. Birden fazla paralel bağlantı sayesinde daha hafif yapılarla maksimum yükler taşınabilir. Eklem yapısı seri olmadığından hatalar eklemeli değildir. Daha rijit bir konstrüksiyon sunduğundan yüksek hızlarda pozisyonlama hassasiyeti bakımından avantaj sağlar.

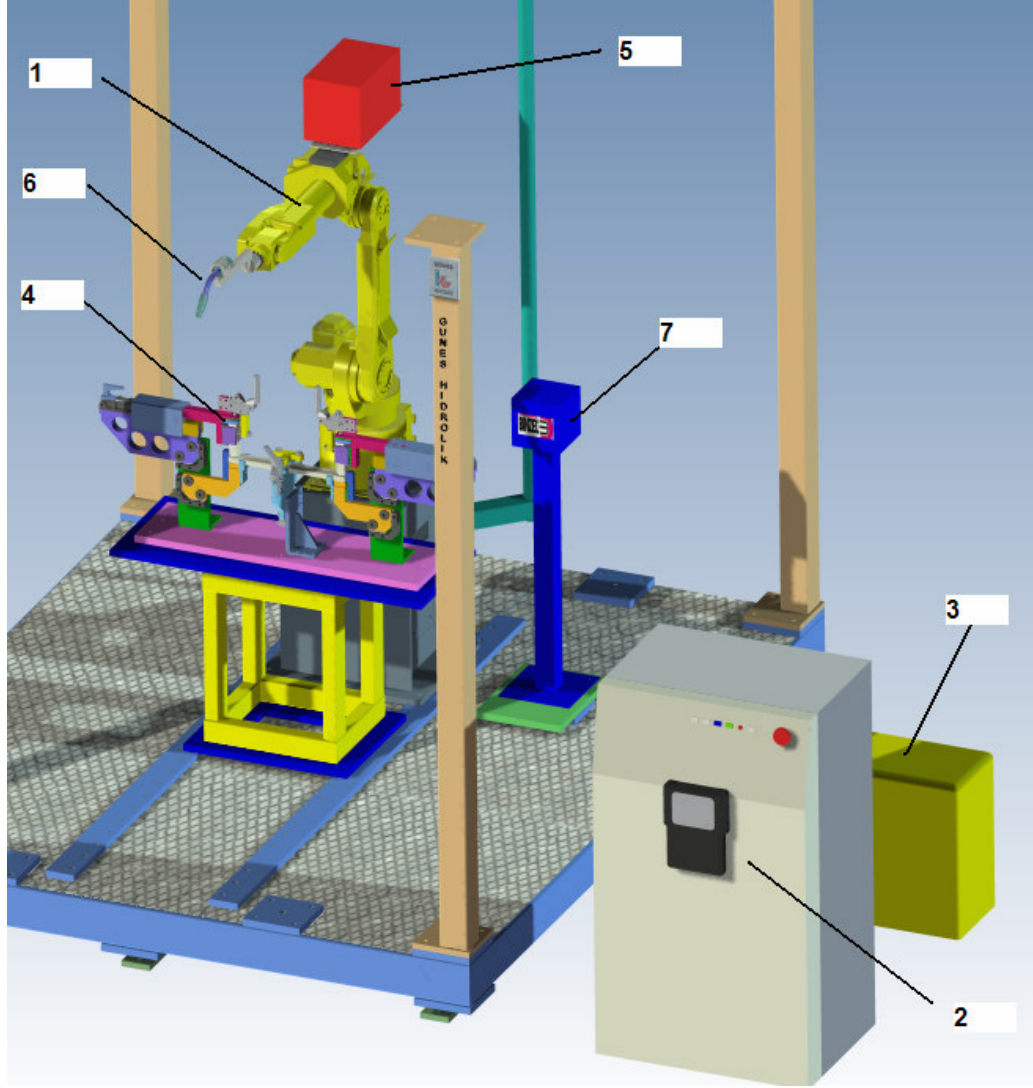


Şekil 3.11: Paralel Robotlar

3.2.2 Robotlu Kaynak Sistemi Genel Özellikleri

Günümüzde MIG/MAG, TIG, Plazma, Lazer, elektrik direnç kaynağı, lehimleme ve somun/civata kaynağı gibi hemen her türlü kaynak uygulaması robotlarla yapılabilmektedir.

Otomotiv ve diğer metal işleri endüstrisinde ağırlıklı olarak nokta kaynağı ve gazaltı kaynağı kullanıldığından ve bu çalışma da bir gazaltı uygulaması içerdiğinden Şekil 3.12’de robotla gazaltı kaynağı sisteminin temel bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 3.12: Robotlu Ark Kaynağı Sisteminin Temel Bileşenleri

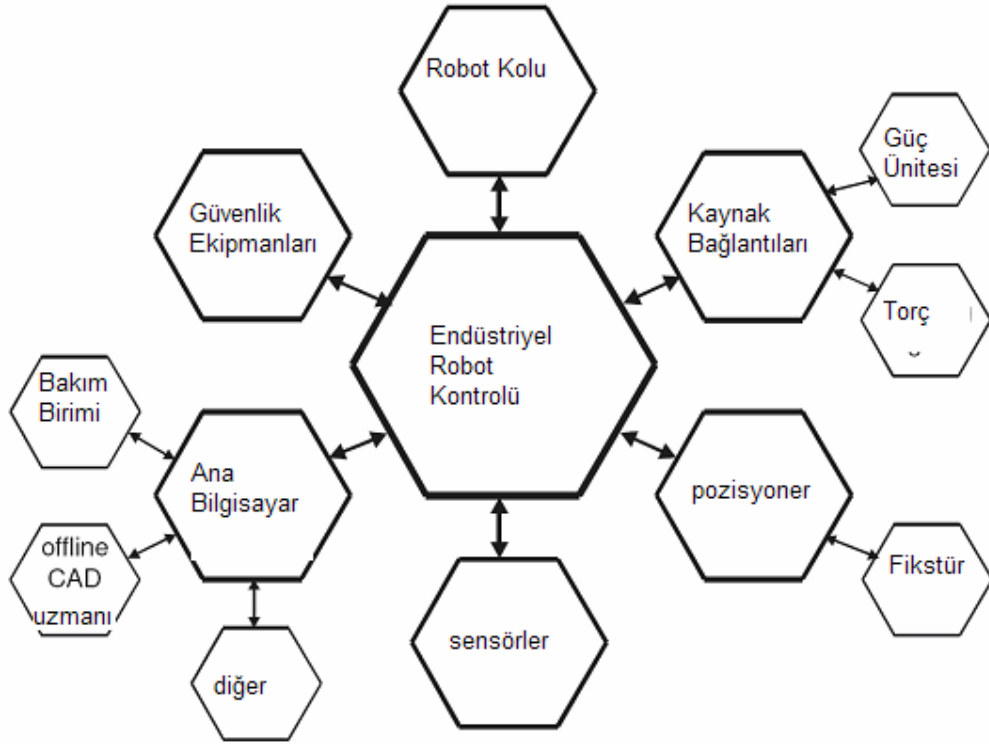
Endüstride sürekli ark kaynağı ile üretilen parçalar çeşitlilik gösterdiğinden ve geometrik olarak çoğunlukla kompleks bir yapı arz ettiklerinden sabit otomasyon çözümleri uygulamak çoğunlukla imkansız hale gelmektedir. Şekil 3.13’de yer alan robotlu kaynak sisteminin temel bileşenleri sırasıyla;

1. Erişim, yük kapasitesi ve gerekli kaynak yazılımı yönünden yeterli 6 eksenli robot
2. Robot kontrol ünitesi ve öğretme kutusu (Teach pendant)
3. Robot ile çeşitli haberleşme protokolleri üzerinden haberleşme yeteneğine sahip yüksek çalışma çevrim oranı sunan bir kaynak makinesi, kaynak tipine

göre değişen argon, helyum, karbondioksit ya da karışım gazı ve ilave ekipmanları ve iş parçası malzeme özelliklerine uygun kaynak teli.

4. İş parçasını kaynak işlemi süresince doğru pozisyonunda konumlayacak olan fikstür veya robotun erişimi ve kaynak pozisyonlamasına katkıda bulunan pozisyoner ve benzeri ilave ekipmanlar
5. Tel sürme mesafesini kısaltarak tel hızının daha hassas ve stabil olması amacıyla kaynak makinesi yerine robot üzerine takılabilecek hafif tasarıma sahip tel sürme ünitesi
6. Robotlu kaynak uygulamalarında kullanılan çarpma kontrolü güvenlik ekipmanlarının sinyallerini sisteme iletebilen uzun ömürlü ve bakımı kolay kaynak torcu ve ilave ekipmanları
7. Robotun torç bakımını otomatik olarak yaptırabileceği kovan temizleme, tel kesme ve çapak yapışmasını önleyen spreyci içeren torç temizleme istasyonudur.

Şekil 3.13'de ark kaynağı için endüstriyel robot sisteminin genel bileşenleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Ark Kaynağı İçin Endüstriyel Robot Sistemlerinin Genel Şeması

Kaynak uygulamalarında çoğunlukla altı eksene sahip robotlar kullanılmaktadır. İşin durumuna göre tavan ya da duvara da monte edilebilen robotlar çoğunlukla dik pozisyonda kullanılırlar. İş parçasının boyutlarının robota rahat erişim imkanı vermediği veya karmaşık yapıda olduğu durumlarda ilave kartezyen eksenlerle robotun hareket alanı genişletilebileceği gibi pozisyoner kullanılarak robot ile koordineli şekilde iş parçasının da hareket etmesi sağlanabilir. Kompleks yapıda ve çok fazla parçadan oluşan sistemlerde tüm parçaların fikstüre yerleştirilip yerleştirilmediği parça varlık sensörleriyle kontrol edilirken, parça geometrisinin ve kaynak pozisyonlarının stabil olmadığı durumlarda görüntüleme sistemleri veya ark akım veya voltajına dayalı kontrol yöntemleri ile robotun doğru ve hassas pozisyonlama yapması sağlanabilir.

Robot kontrol ünitesi ark kaynağı robotunun merkezidir. Kontrol ünitesinde robot mekaniği, fikstür ve pozisyoner, kaynak ünitesi, güvenlik ekipmanları ve diğer harici sensörler ile ilgili tüm bilgiler alınıp işlenir. Robot programı tüm bu bilgileri alıp sinyallere dönüştürerek robot ve pozisyoner hareketlerini, kaynak işleminin akışını ve diğer harici işlemlerin kontrolünü sağlar. Tüm bunların yanı sıra, robot kontrolü ana bilgisayar gibi tüm harici sistemlerle iletişimi de sağlar.

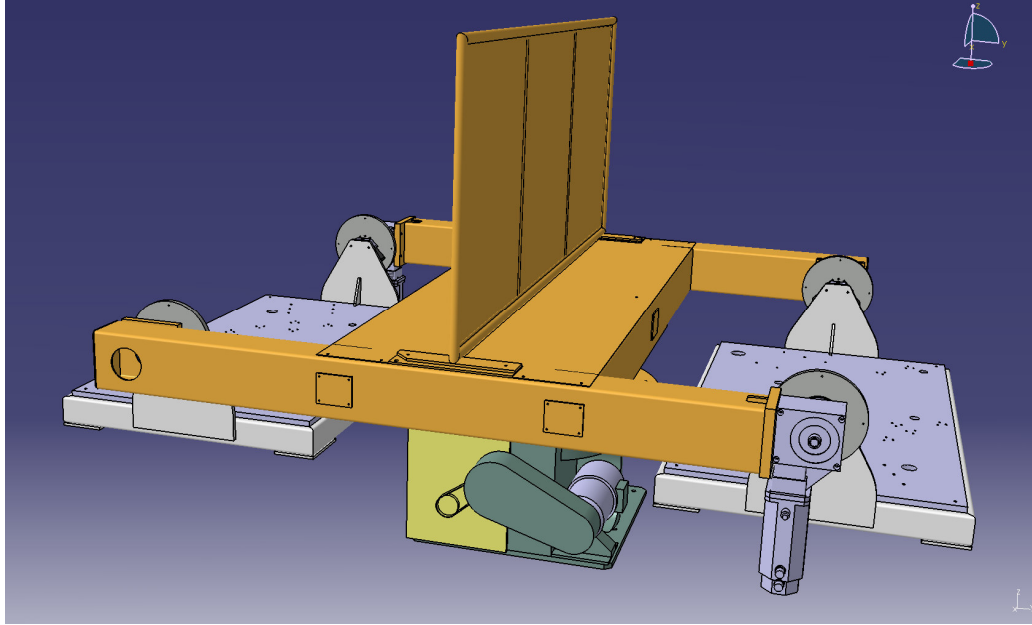
Bu tip sistemlerde süreklilik ve kalite önemli olduğundan konvansiyonel tristörlü güç ünitelerine göre daha hızlı ark kontrolü ile çıkış akımı ve gerilimi daha hassas ayarlanabilen inverter kontrollü kaynak güç üniteleri kullanılır. Konvansiyonel makinelere göre daha ağır şartlarda çalışmaya uygun, yüksek duty cycle oranları veren bu üniteler ile ark başlama ve bitiş kabiliyeti iyileşir, kısa devre ark transferi rahatlıkla sağlanabilir. İstenen frekans ve dalga formundaki darbeleri akım kontrolü ile dikiş yüzeyinin kontrolü ve metal transferinin dengeli yayılması sağlanır. Kaynak makinesinin analog ve dijital giriş çıkışlar üzerinden robot kontrolü ile sürekli haberleşmesi sağlanır. Kaynak başlama bitiş kabiliyeti yüksek olması sayesinde robottan gelen emirler anında uygulanabilir. Örneğin arkın kesilmesi veya hiç başlamaması halinde robota sinyal göndererek durmasını sağlar ya da çarpma halinde robot durduğunda arkı keser.

Robotla kaynak uygulamalarında kullanılan fikstür yapıları mümkün mertebe robotun kaynak bölgesine erişimini kolaylaştıracak yapıda olmalıdır. Bu fikstürler çoğunlukla otomasyonun bir parçası olarak pnömatik kontrollü olup, robot kontrolünden rölelerden geçerek gelen açma kapama sinyallerinin valfler üzerindeki bobinleri çektilip bırakması mantığına dayalı parça sabitleme ve serbest bırakma işlemlerini yapar. Uygulama tipi ve bu iş için ayrılan maliyete göre fikstür operatör tarafından manuel olarak da çalıştırılabilir. Çok sayıda parça içeren ve karmaşık yapıya sahip parçaların kaynağında fikstür parça varlık sensörleri ile tüm parçaların yerinde olup olmadığı kontrol edilerek hatasız imalat gerçekleştirilmesi sağlanır. Fikstürler, robot erişimini kolaylaştırmak, karmaşık yapıları uygun kaynak pozisyonunda konumlamak ve kayıp zamanları azaltmak amacıyla pozisyoner gibi ilave ekipmanlarla beraber kullanılabilirler. Şekil 3.14’de bir kaynak pozisyoneri görülmektedir.

Tel sürme üniteleri çoğunlukla daha düzgün ve kararlı biçimde tel sürme sağlaması için robotun üçüncü eksenine üzerine monte edilir. Böylece torca kadar olan mesafe kısalır olur. Bu özellikle alüminyum malzemeye yapılan kaynakta avantaj sağlar.

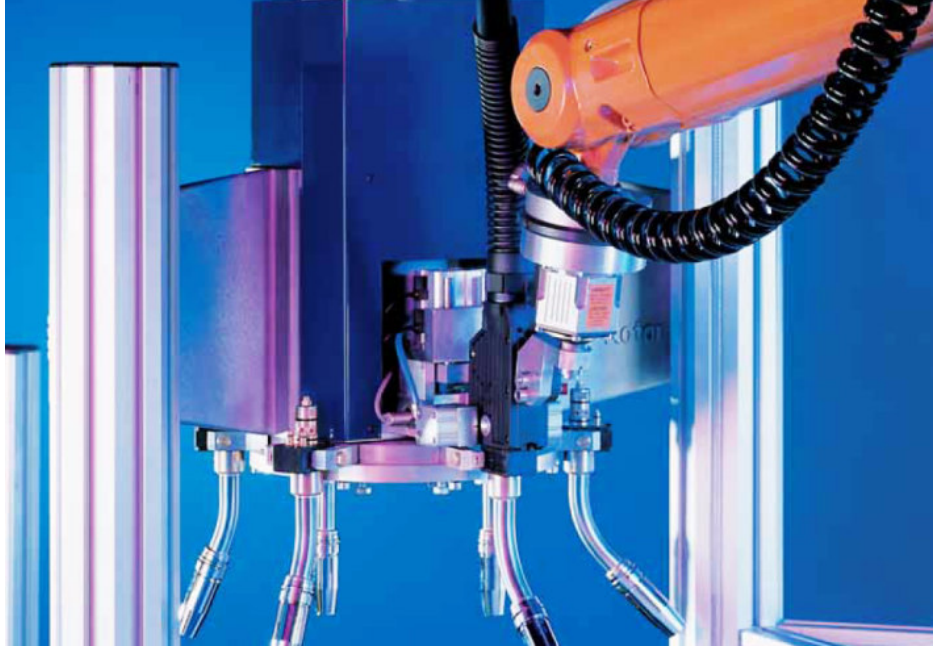
Robotla ark kaynağı uygulamalarında kullanılan kaynak torçları konvansiyonel kaynak makinelerinde kullanılanlara oranla daha ağır şartlarda çalıştığından ve imalatın sürekliliği açısından daha dayanıklı ve bakımı –gerektiği hallerde değiştirilmesi- kolay olmalıdır. Bu torçlar, üzerinde çarpma anında robot

kontrolündeki acil durma devresine sinyal gönderen ilave emniyet ekipmanları ile birlikte de kullanılabilirler. Şekil 3.15’de robotla kaynak uygulamaları için geliştirilmiş bir torç görülmektedir.



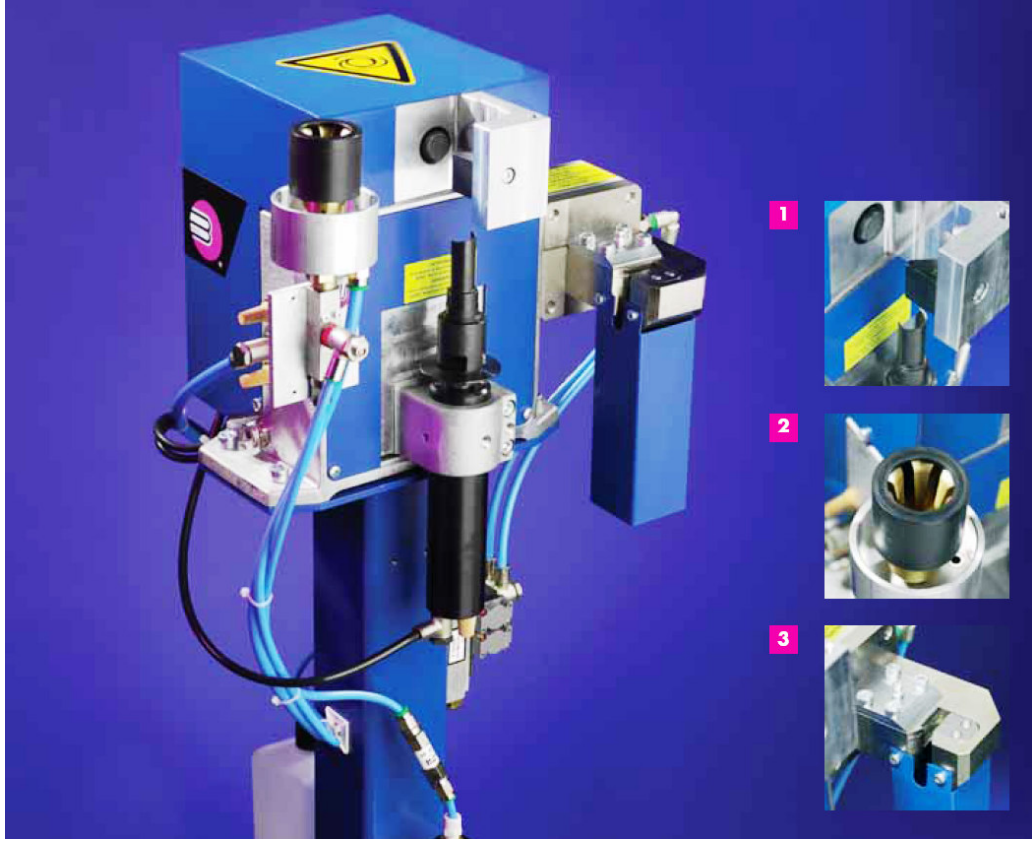
Şekil 3.14: H-Tipi Pozisyoner

Robotla kaynak sadece imalat hızı ve kalitesini artırmak için kullanılmaz. Bazı durumlarda iş parçası birden fazla tipte torç ile kaynak yapılabilecek karmaşık kaynak işlemleri içerebilir. İş parçalarının farklı bölgelerinin farklı kaynak parametreleri ve torçlarla kaynatılmasının gerektiği durumlarda robotlu kaynak sistemleri ön plana çıkar. Bu gibi özel uygulamalarda kullanılmak üzere geliştirilmiş olan bir otomatik torç değiştirme ünitesi Şekil 3.15’de görülmektedir.



Şekil 3.15: Otomatik Torç Değişirme Ünitesi

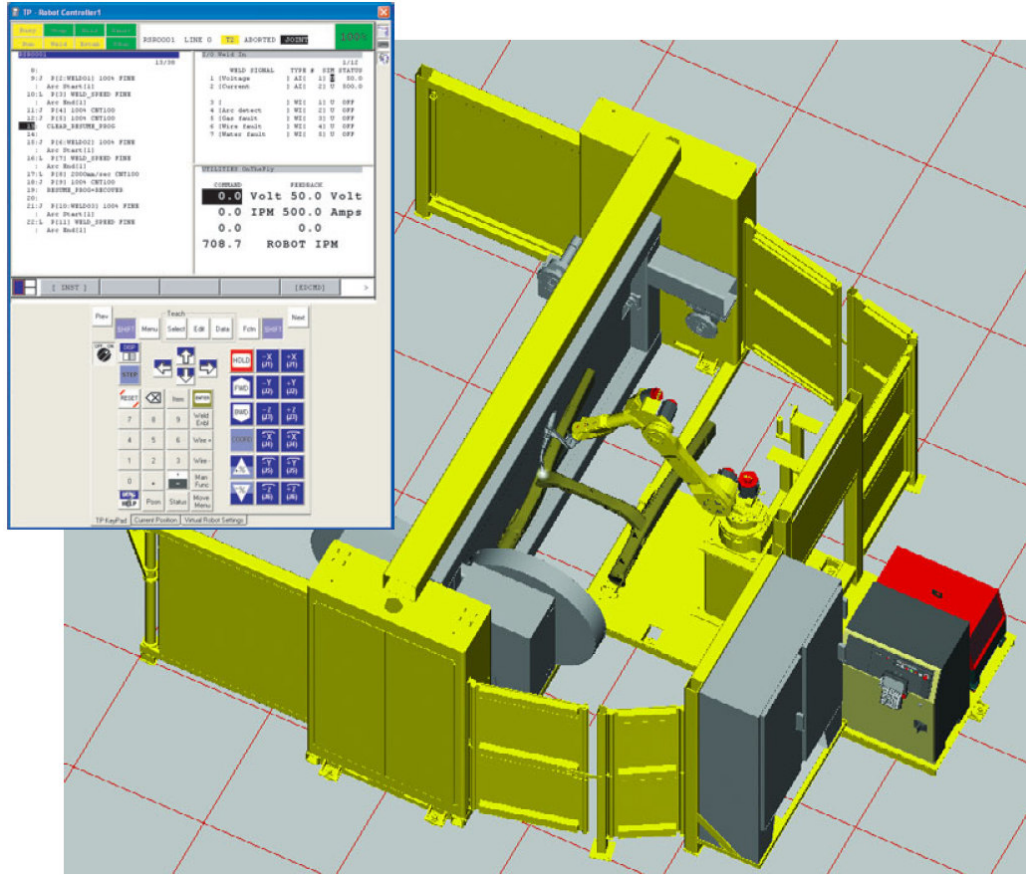
Manuel kaynaktaki operatörün kişisel tecrübeleri ve kaynak esnasındaki bazı işaretlere dayanarak yaptığı torç bakımı robot açısından mümkün olmadığından, robot programı dahilinde belirlenen aralıklarla robot bir makro program ile torcu temizleme ünitesine götürüp kovan içinin traşlanması, telin belli uzunluğa kesilmesi ve yapışmayı önleyici kimyasalın püskürtülmesini sağlar. Şekil 3.16'da bakım işleminin yapıldığı bu tip bir torç temizleme istasyonu görülmektedir.



Şekil 3.16: Otomatik Torç Temizleme İstasyonu

Bütün bu sistemler robot kontrolü kapsamında çalışır ve robot programı dahilinde kontrol ünitesinden gelen sinyaller doğrultusunda çalışır. Tüm bu ilave ekipmanlarla standart bir robotun istenen kaynak işlemini gerçekleştirmek üzere entegrasyonu karmaşık ve buna bağlı olarak yüksek maliyetli olmakla beraber gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Robot programı, sıklıkla kullanılan teaching, playback ya da online programlama denilen robotun izlemesi gereken yörünge üzerindeki noktaların tek tek öğretildiği yöntemle yapılmakla beraber, robotun programlaması için gereken sürelerin önemli olduğu durumlarda bağlı bulunulan ana bilgisayar üzerinden bu amaçla üretilmiş özel bir programlama ve simulasyon yazılımı ile offline olarak da yapılabilir. Bu sayede robotun çalışmasına ara verilmeden bir sonraki işlemin programı hazırlanırken bir yandan da erişim ve çarpma kontrolü de yapılmış olur. Şekil 3.17’de FANUC® robotları için tasarlanmış olan Roboguide®-WeldPro™ simülasyon yazılımı görülmektedir.



4. KAYNAK FİKSTÜRLERİ ve BİLGİSAYAR DESTEKLİ FİKSTÜR TASARIMI

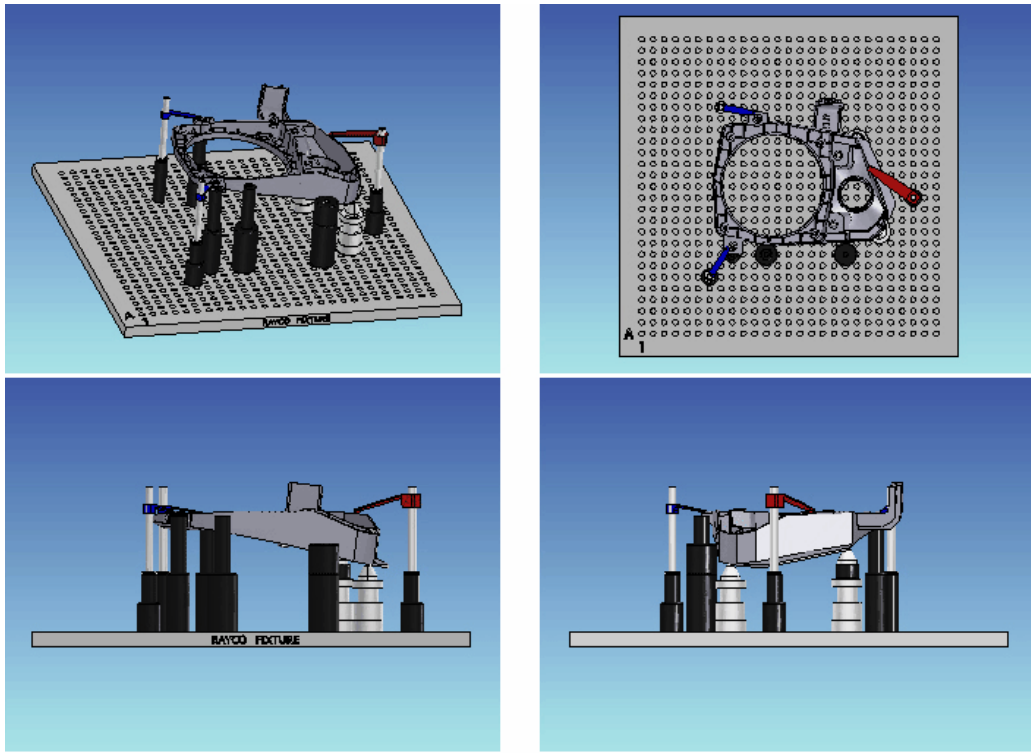
4.1 Fikstür Kavramı ve Fikstür Çeşitleri

İş parçasını, makine takımı ya da kaynak işlemi için öngörülen pozisyonda doğru koordinatlarında düzgün pozisyon ve oryantasyonda konumlayan ve tutan ekipmana “fikstür” denir. [12,13] Fikstür, iş parçasının geometrik tamlığını sağlaması ve üretim kalitesini artırmasının yanı sıra, üretim çevrim sürelerini de azaltarak maliyetlerin düşmesinde önemli bir rol oynar. Bir fikstürden beklenen temel özellikler, iş parçasının pozisyon tamlığını sağlaması, operasyon rahatlığı ve güvenliğini sağlaması, iş parçasına belli bir rijitlik ve stabilite kazandırması, özel, kütle ve seri imalatta üretkenliği artırması ve kendi üretim maliyetlerinin düşük olması şeklinde özetlenebilir.

Fikstür teknolojisinin tarihi üretim teknolojisi tarihi kadar eskilere dayanmaktadır. İlk imalat hatları ortaya çıktıktan sonra, konumlama, destekleme, hizalama ve kademelendirme vb. fonksiyonları uygulamak üzere işe özel fikstürler kullanılarak imalat kalitesinin sürekliliği sağlanırken bir yandan da düşük yükleme boşaltma zamanları sayesinde seri imalattaki üretim hacimleri artmıştır. Zaman içerisinde fikstür teknolojisindeki gelişmelerle fikstür üretim maliyetini düşürmek üzere fikstür bileşenleri yüksek oranda standartlaşmıştır. Aynı zamanda, mengene, tutma çenesi, klemp kayışları gibi standart ve genel amaçlı fikstürler geliştirilmiştir. Aynı fikstürleme ihtiyacı için birden fazla çözüm bulunması ve fikstür tasarımının büyük ölçüde tecrübeye dayalı bir iş olması fikstür yapısal dizaynının hala standart hale gelememesine sebep olmaktadır.

Temel olarak iki çeşit fikstür bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, tek tipte parçanın imal edilmesi için tasarlanmış olan işe özel fikstürlerdir (dedicated fixture). Bu tip fikstürler, seri imalata uygun olup, operasyon kolaylığı ve alanın verimli kullanılması anlamında avantajlar sunmakla beraber, görece daha uzun tasarım ve fabrikasyon

zamanları ve buna bağı olarak yüksek maliyetlere sahiptir. Çoğunlukla üretimi amaçlanan parçanın üretimden kalkması ile birlikte işe özel fikstür de ömrünü tamamlamış olur. Diğer bir fikstür çeşidi ise genel amaçlı olarak nitelendirilebilecek olan modüler fikstürlerdir. Modüler fikstür, standart bileşenler ve nispeten dar geometrik toleranslarla üretilmiş hazır ünitelerden oluşur. Bu fikstürler farklı dizayn konfigürasyonları ihtiyacı duyan farklı fikstür ihtiyaçlarını karşılamak üzere kolay ve hızlı bir şekilde monte edilerek tekrar tekrar kullanılabilirler. T-kanallı ve pimli tipte iki çeşidi mevcuttur. Şekil 4.1’de pim delikli tablası bulunan bir modüler fikstür görülmektedir.

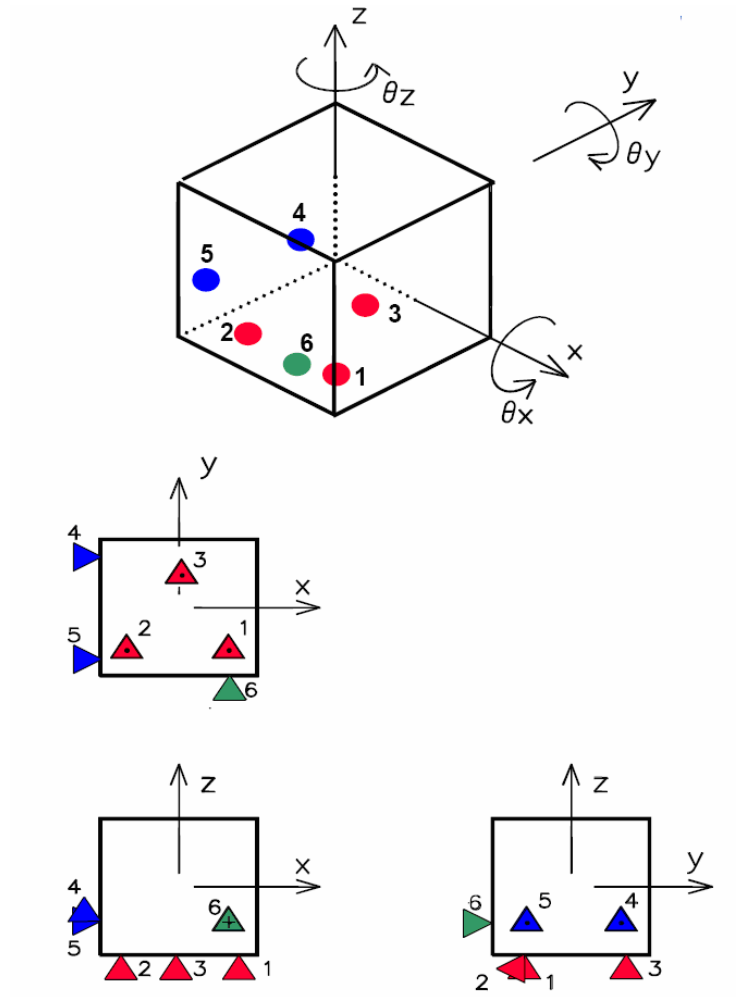


Şekil 4.1: Modüler Fikstür

Bir fikstürde temel olarak üç tip yapı elemanı bulunur. Bunlar sırasıyla, konumlayıcı (locator), sıkıcı (clamp) ve destektir (support). Konumlayıcı, çoğunlukla sabit olan ve fikstürdeki parçanın pozisyonlamasını yaparak hareket serbestliğini kısıtlayan birimdir. Pim veya yüzey formundaki dayamalar parçanın konumlanmasını sağlarlar. Klempler, fikstürün hareketli kısmını teşkil ederler. Parçayı tutmak için gerekli olan kuvvetler klempler tarafından tatbik edilir. Destek ise fikstür üzerinde çoğunlukla sabit olan ve klemp, parçanın kendi ağırlığı ve kaynak işlemindeki ısıl gerilmeler veya talaş kaldırma işleminden doğan kuvvetlere karşı iş parçasının geometrisini

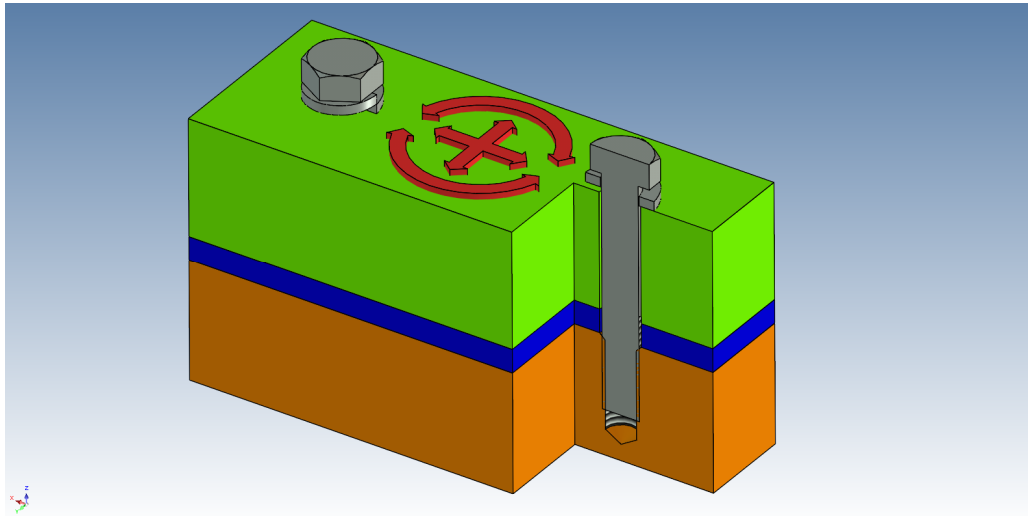
korumasına yardımcı olan birimdir. Destek ayakları genel bir fikstür montajının alt montajları olarak değerlendirilebilirler ve üzerlerinde hareketli veya sabit pim, dayama veya klemp ünitesi gibi diğer alt birimleri barındırırlar.

Bir fikstürde iş parçasının stabilitesinin kontrolü geometrik kontrol olarak adlandırılır. Fikstür üzerindeki iş parçasının pozisyonu konumlayıcılarla tanımlanır. Düzgün bir geometrik kontrol için iş parçası operatörün becerisinden bağımsız olarak bütün konumlayıcılarla temasta olmalıdır. Rijit bir iş parçası altı serbestlik derecesi ve oniki hareket doğrultusuna sahiptir. Buna dayanarak altı noktadan konumlanan bir iş parçası tam olarak kısıtlanabilir. Tasarım ve ölçüm mantığında kullanılan “3-2-1 konumlama sistemi” olarak bu yaklaşım Şekil 4.2’de görülmektedir. [15]

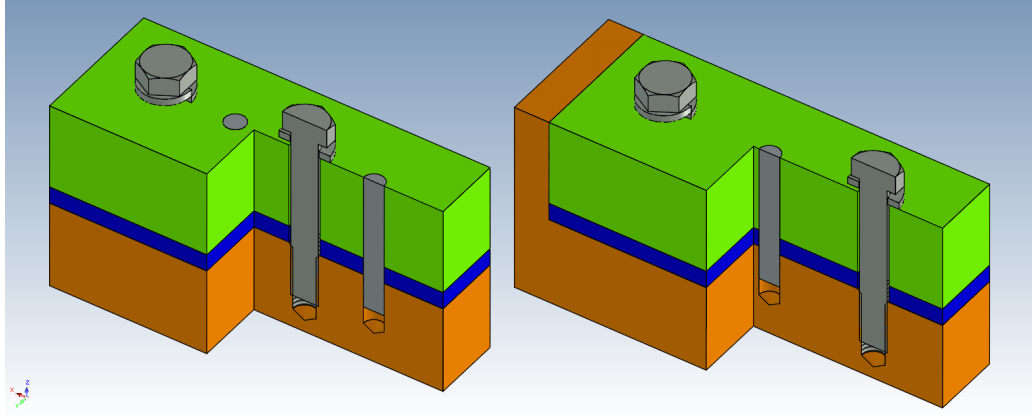


Şekil 4.2: 3-2-1 Konumlama Sistemi

Otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılan kaynak fikstürleri için belli kaideler doğrultusunda her firma kendi standartlarını yaratmıştır. Temelde aynı prensiplere dayanan fikstür yapıları imalat yöntemleri ve tasarım yapılarıyla birbirinden ayrılır. Örneğin, Ford ve Mercedes firmasında kullanılan fikstürler konum ayarı için 5 mm kalınlığında şim (shim) diye tabir edilen tek bir plaka kullanırken, Toyota firması iki adet 0,5 mm ve 2 adet de 1 mm olmak üzere toplam kalınlığı 3 mm olan şim grubu kullanır. Aynı şekilde Mercedes firmasının kullandığı fikstürlerde konumlayıcı pimler monte edilip ölçüm sonrasında şimleri taşlanarak olması pozisyona komple pimin bağlı olduğu blok hareket ettirilerek ayarlanırken, Toyota firmasının uygulamalarında pimlerin bağlanacağı delikler ölçümle yerleri belirlendikten sonra delinir ve tekrar şim ayarı gibi bir gereksinim duymazlar. Örneğin bir dayama plakasını tüm eksenlerde kısıtlamanın ve pozisyonunu stabil kılmanın çeşitli yöntemler vardır. Şekil 4.3’de görülen üst kısımda yer alan dayama plakası alt kısımda yer alan destek üzerine iki civata ile bağlanmıştır ve boş deliklerde bulunan aralık yüzünden x-y düzleminde dönme ve öteleme yapabilir. Şekil 4.4’de ise aynı plakanın iki pim ve bir pim-bir dayama konfigürasyonlarında tüm eksenlerde kısıtlandığı görülmektedir. Burada kullanılan pimler H7 (kayar geçme) toleransında olduğundan plakanın hareketi geçme boşluğu oranında ihmal edilebilir mertebede olacaktır.



Şekil 4.3: Yetersiz Bağlantı Biçimi



Şekil 4.4: Birbirinden Farklı İki Doğru Bağlantı Biçimi

Burada iki plakanın arasında yer alan şim kalınlığı değiştirilerek üst kısımda yer alan dayama plakasının istenen -z yüksekliğine ayarı yapılır. Dayama ve pimlerle plakanın x-y düzlemindeki hareketleri tamamen kısıtlanırken civatalar ile dayamanın monte edileceği yere sabitlenmesi sağlanır.

4.2 Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı (CAFD)

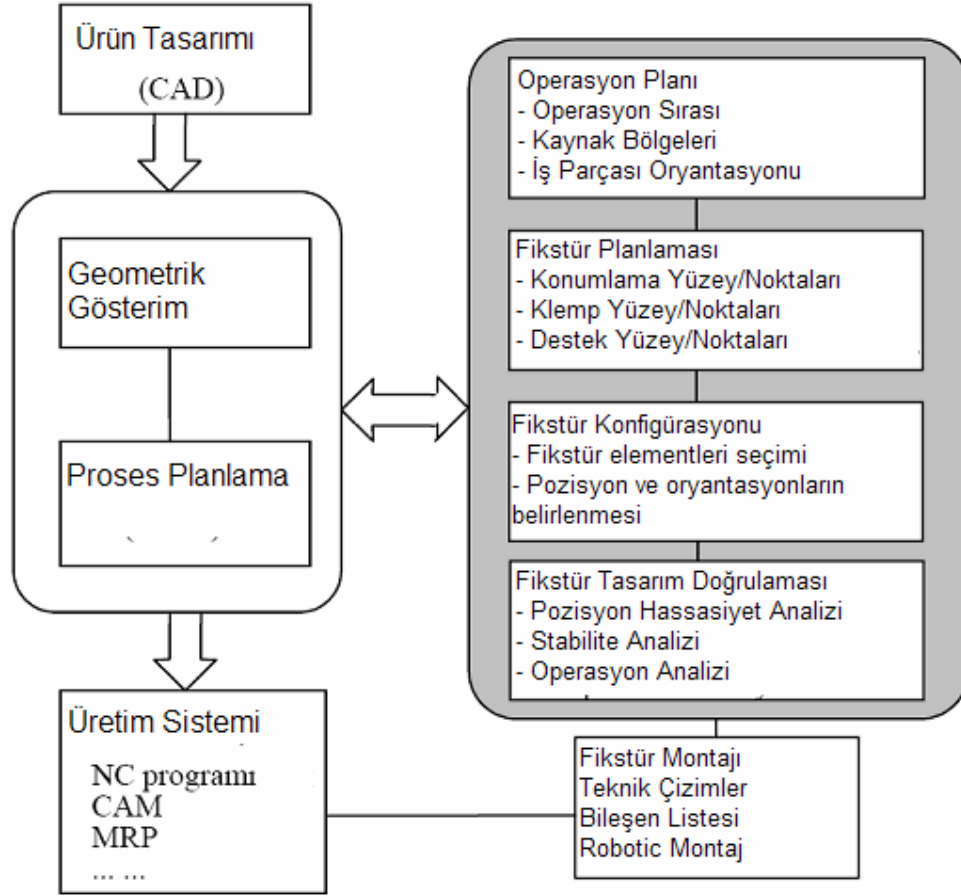
Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı (CAFD), fikstür tasarım işlemine yardım ve basitleştirmek için bilgisayardan faydalanılarak belirli kriterlere bağlı olarak fikstür performansının değerlendirilmesidir.

Bilgisayar destekli fikstür tasarımının bugün bulunduğu nokta halen belli bir sınırı aşmamıştır. Tasarımın üzerindeki insan emeğini en aza indirecek çalışmalar yapılmakla beraber bunlar çoğunlukla basit parçaları içermektedir. Ne var ki, gerçekte iş parçaları çok daha karmaşık yapılara sahip olabilmektedirler. Bu konudaki sınırlamalardan biri de işlemin hala tecrübeye dayalı ve insan müdahalesine muhtaç olmasıdır. Bu yüzden bu konuda yapılan çalışmalar halen olgunlaşmamış ve ticari hale geçirilememişlerdir.

Fikstürler CAD fonksiyonları kullanılarak tasarlanabilmekle beraber, bilimsel bir araç ve tasarım performansının değerlendirilebileceği sistematik bir yaklaşımın eksikliği tasarımın deneme yanılma yöntemine dayanmasına ve buna bağlı çeşitli problemlere sebep olmaktadır. İhtiyaç ötesi fonksiyonların tasarıma katılması ve buna bağlı olarak yüklü ve hantal bir fikstür yapısının ortaya çıkması bunlardan en

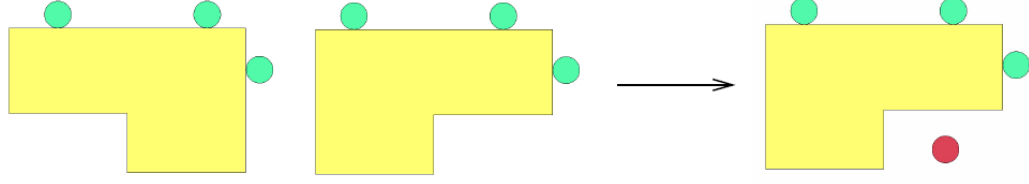
sıkça rastlanandır. Bununla beraber tasarım kalitesi imalat yapılmadan anlaşılammaktadır. Fikstür tasarımı, imalatı ve testlerindeki haftalar hatta aylar süren çalışmalar ayrı bir sıkıntı sebebidir. Tüm bunlara ilave olarak fikstür imalatçısı tarafından işletme için fikstür fiyatlandırması ve teklif süreçleri de teknik bir değerlendirme yapmak açısından ciddi sıkıntılar yaratmaktadır. Sağlıklı olarak yapılamayan maliyet analizleri ve ön teklif çalışmaları finansal zararlara yol açmaktadır. Bu yüzden, Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımının motivasyonu ürün ve üretim tasarım safhalarında kavramsal ve detay fikstür tasarımını süratli şekilde meydana getirecek ve proses doğrulaması ve CAD/CAM entegrasyonunu gerçekleştirecek araçların oluşturulmasıdır.

Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı ve analizi, fikstür planlaması, fikstür tasarımı ve fikstürün doğrulanmasını içerir. Fikstür planlamasında konumlama yüzeyler ve düzgün şekilde tutulabilmesi için iş parçası üzerinde klempler ile kısıtlama yapılacak bölgeler tespit edilir. Bu bölgeler (pim, dayama ve klemp noktaları) çoğunlukla imalat planlaması dahilinde oluşturulan konumlama çizimlerinde (location drawings) belirtilir. Otomotiv sektöründe genellikle aracın ön aksının orta merkezinden geçen eksen takımına göre konumlandırılmış olan pim delikleri ve referans yüzeyleri konumları aracın tasarımı esnasında belirlenmekte olup bu noktalar fikstürün tasarımı için gerekli olan konumlama çizimlerinde de baz alınmaktadır. Fikstür tasarımı, imalat hacimleri, işleme veya kaynak koşulları gibi çeşitli üretim ihtiyaçlarını karşılayacak fikstür yapısının bir montaj olarak meydana getirilmesidir. Fikstürün doğrulanması ise, düzgün konumlama, tolerans aralıklarını tutturma, fikstür stabilitesi ve operasyon kolaylığı gibi üretim ihtiyaçlarını karşılayan fikstür tasarım performansının değerlendirilmesidir. Son yıllarda özellikle işleme teknolojileri alanında fikstür doğrulaması ile ilgili çalışmalar ağırlıklı hale gelmiştir.[12,14] Öngörülen klemp kuvvetlerinin iş parçasına etkisi, fikstürün stabilitesi ve buna bağlı olarak işlenmiş parçanın tolerans değerleri fikstür meydana getirilmeden önce öngörülme çalışılarak gerek zaman gerekse deneme yanılmalarla yapılacak lüzumsuz masraflar en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Şekil 4.5'de bilgisayar destekli fikstür tasarımının safhaları görülmektedir.



Şekil 4.5: İdeal Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımının Safhaları

Fikstürden beklenen özelliklerden biri de dikkatsizlik sonucunda operatörün eksik ya da ters parça bağlanmasının önüne geçilmesine yönelik önlemler alınmasıdır. Eksik parça kalmasına yönelik olarak parça varlık sensörleri kullanılırken, ters bağlamaya karşı yine sensör ya da pim yahut dayama konularak önlem alınabilir. Böylece aynı bilgisayar disketlerinde olduğu gibi tek ve doğru pozisyonda yerleşime izin verilmiş olur. Bu önlem İngilizce’de “foolproofing” şeklinde anılmaktadır. Şekil 4.6’da görülen sensörlü foolproofing sisteminde hem parçanın yerinde olup olmadığı, hem de yerindeyse doğru pozisyonunda olup olmadığı aynı anda kontrol edilmektedir.



Şekil 4.6: Foolproofing Sistemi

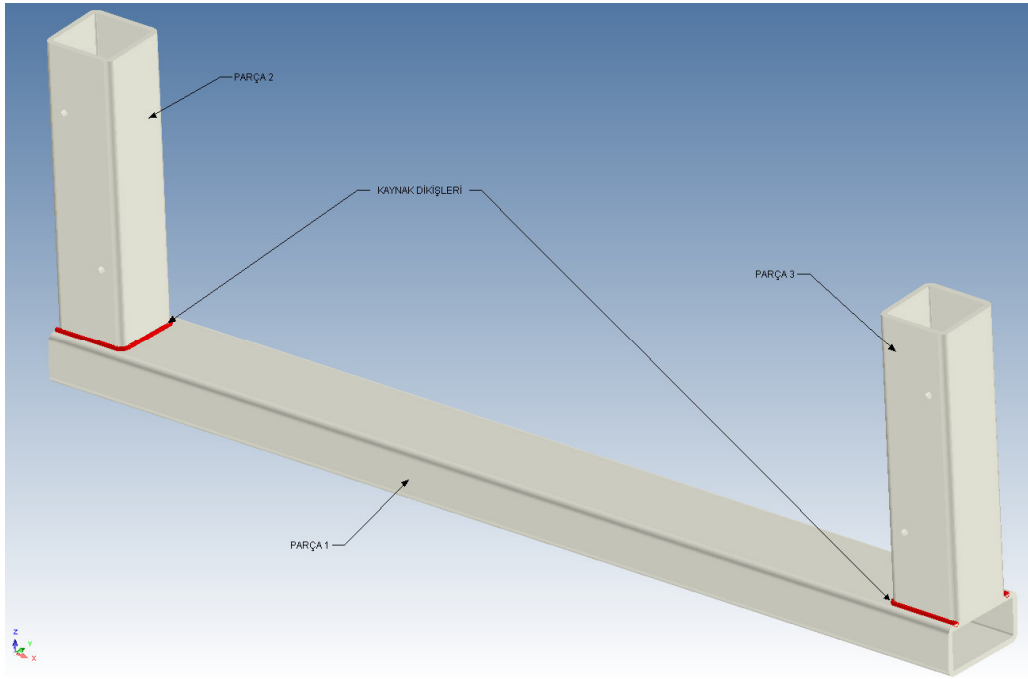
Farklı operasyon ihtiyaçları göz önüne alınarak geliştirilmiş olan dört çeşit bilgisayar destekli fikstür tasarımı tekniği bulunmaktadır. Bunlardan birincisi grup teknolojisi (GT) tabanlı parçaların sınıflandırılmasına dayanan sistemdir. İkinci olarak otomatize edilmiş modüler fikstür tasarımı yer alır. Üçüncü sistem önceden tanımlanmış fikstür bileşen tiplerinin kullanıldığı kalıcı fikstür tasarımıdır. Dördüncü tip ise parça ailelerini için fikstür tasarımı ele alan varyasyon fikstür tasarımıdır.

Güncel olarak yapılan çalışmalarda fikstürün doğrulanması için fikstürleşmiş iş parçası modeli üzerinde hassas konumlama ve güvenli çalışma sağlayacak şekilde konumlayıcı ve sıkıcıların yerlerinin tespiti üzerinde durulmakta, sonlu elemanlar yöntemi ile iş parçasında oluşabilecek deformasyonlar incelenmektedir. Fikstür doğrulanması bunların yanı sıra konumlama hassasiyet analizi, fikstür erişim analizi ve sıkma stabilite analizlerini de içermektedir. Bu çalışmalarla fikstür tasarımına yönelik daha analitik ve sistematik yaklaşımlar sağlayan araçlar oluşturulup, iş parçası tutma sistemlerinin esnekliği ve performansı artırılmak suretiyle eşzamanlı mühendislik, esnek imalat, bilgisayar destekli tasarım ve imalat ve yeniden konfigüre edilebilir imalat sistemleri alanlarına katkıda bulunmak amaçlanmaktadır.

5. FİKSTÜR TASARIMI ve KAYNAK DİSTORSİYONLARININ İNCELENMESİ

5.1 İş Parçası İçin Özel Fikstürün Tasarımı

Fikstür tasarımına EK-A’da yer alan iş parçasına ait teknik resimlerden yola çıkarak parçanın kaynaktan sonraki hali için üç boyutlu 3B modeli yaratılarak başlandı. 3B modeli iş parçası nominal ölçüleri temel alınarak yapıldı. Modelleme, mekanizma hareketlerinin analizi ve fotogerçekçi taramalarda CATIA ® V5 R14 ve IronCad ® V8 yazılımları kullanıldı. Şekil 5.1’de iş parçasının üç boyutlu modeli ve kaynak dikiş yerleri görülmektedir.

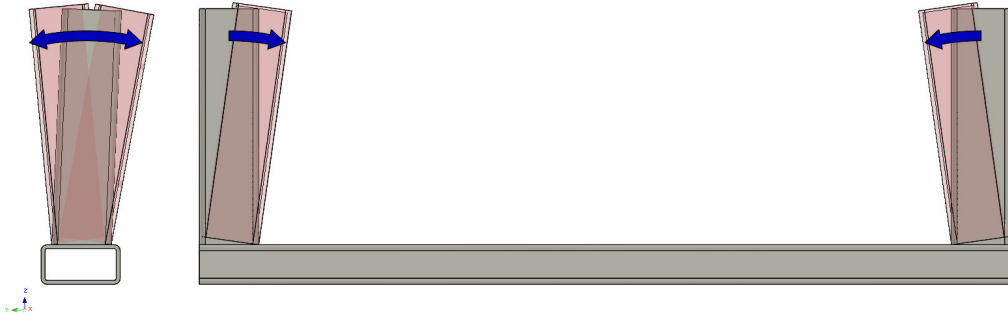


Şekil 5.1: Kaynak Sonrası Ürünün Bilgisayar Ortamında Oluşturulmuş Modeli

5.1.1 Sınırlama Yüzeyleri ve Sıkma Kuvvet Noktalarının Belirlenmesi

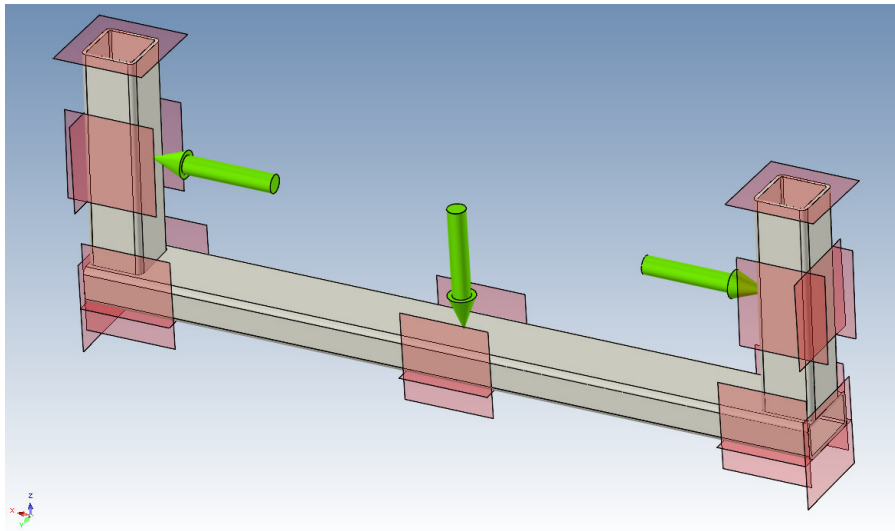
İş parçalarının gerekli olan rijitlikte ve uygun pozisyonlarında konumlanabilmesi için başlangıç aşamasında konumlama yüzeylerinin ve –varsa- delik ya da slotların

belirlenmesi gereklidir. Bu bölgeler belirlendikten sonra kavramsal tasarım bu konumlama yüzeylerinden yola çıkılarak yapılır ve son olarak fikstür komponentleri yerleştirilerek detaylandırılır. Şekil 5.2’de kaynak işleminden kaynaklanan ısıl gerilmelerden dolayı iş parçasında oluşması muhtemel distorsiyonların yönleri görülmektedir.



Şekil 5.2: Kaynak Sonrasında İş Parçasında Oluşacak Distorsiyonlar

Alt kısımda yer alan 1 numaralı parçanın üzerine yerleştirilen 2 ve 3 numaralı parçalar “U” şeklinde bir kaynak dikişi ile ana parça ile birleştirileceğinden ön ve arka kısımda yer alan iki kaynak dikişinin gerilme etkilerinin birbirini dengeleyeceği varsayımıyla her iki parçanın birbirine doğru yaklaşması şeklinde bir çarpılma gerçekleşmesi beklenir. İş parçalarının serbestliklerinin özellikle kaynak bölgesine yakın noktalardan kısıtlanması çarpılma etkisini en aza indirecektir. Şekil 5.3’de ise öngörülen konumlama yüzeyleri ve sıkma kuvvet noktaları görülmektedir.

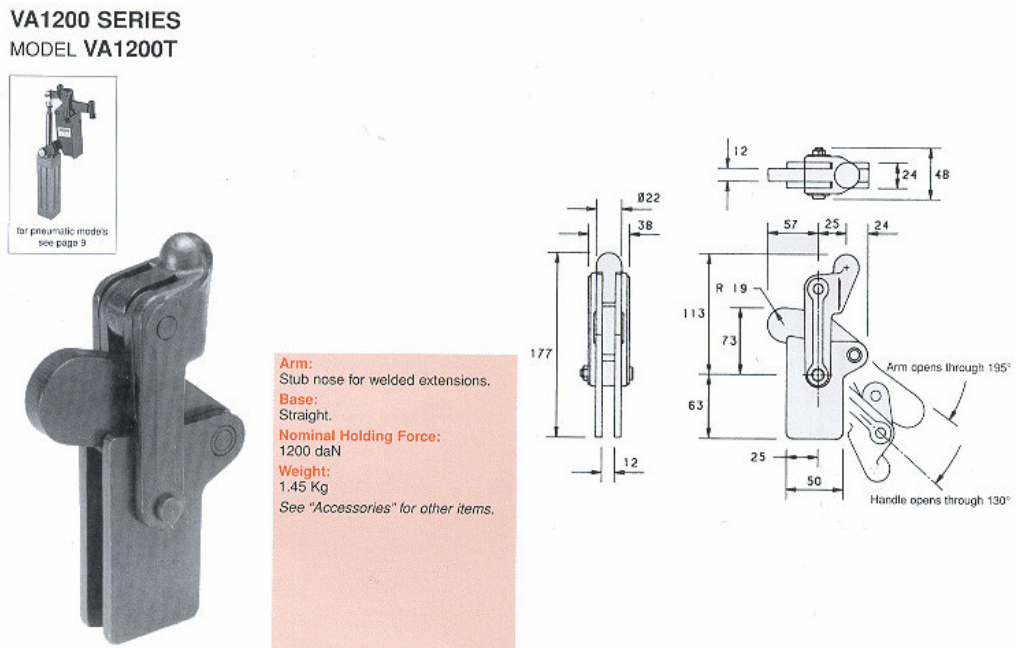


Şekil 5.3: Konumlama Yüzeyleri ve Sıkma Kuvvet Noktaları

1 numaralı parça -x ve -y eksenlerinde dayamalarla kısıtlanırken -z eksenindeki serbestliği baskı kuvveti ile kısıtlanmıştır. 2 ve 3 numaralı parçalar ise 1 numaralı parçanın üst yüzeyi ve dayamalarla -y ve -z eksenlerinde kısıtlanırken -x eksenindeki serbestliği yine sıkma kuvvetleriyle kısıtlanmaktadır.

5.1.2 Kavramsal Tasarımın Oluşturulması

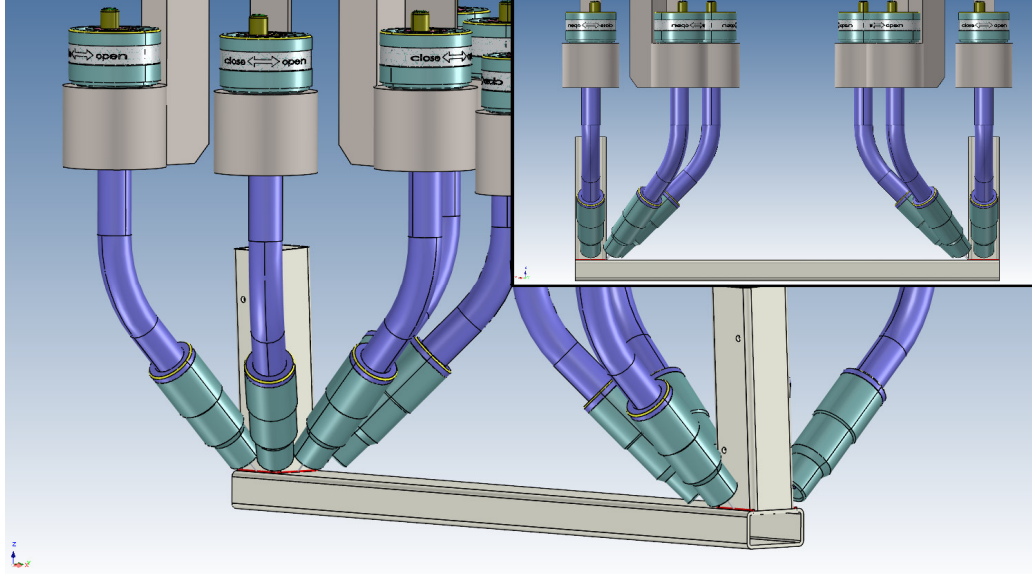
Her ne kadar robotlu uygulamalarda parça tutma amacıyla yoğunluklu olarak pnömomatik kontrollü klemp üniteleri kullanılsa da, bu çalışmada maliyetler göz önüne alınarak operatör tarafından açılıp kapatılan el klemleri kullanılması öngörülmüştür. El klemlerinin hacim olarak daha fazla yer kaplaması -kaynak bölgesine yakıncun geçiş yolu üzerinde çarpma riski doğuracağından dayama ve sıkıcıların yerleşiminde torç hareket yolu kontrolü öncelikle ele alınması gereken konudur. Şekil 5.4’de yeterli sıkma kuvvetini sağlayabilecek dayanıma sahip İngilizce’de “toggle clamp” [16] olarak tanımlanan kapalı pozisyonunda kinematik olarak kilitleme sağlayan Brauer ® marka el kleminin teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil 5.4: Brauer El Klempi

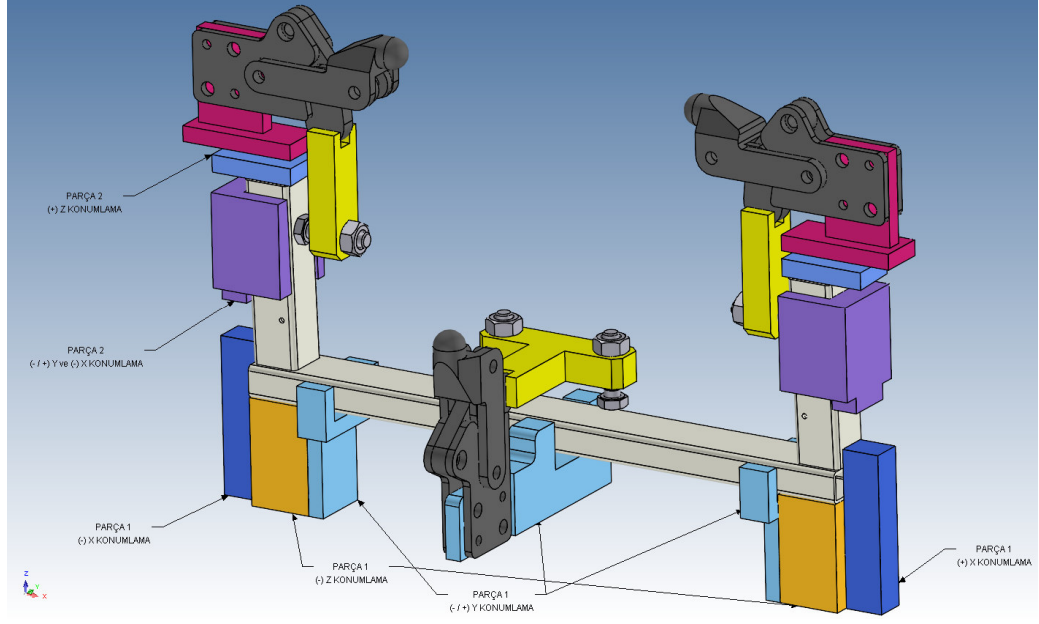
Kaynak torcu olarak 45 derecelik boyun açısına sahip, su soğutmalı Abicor-Binzel ® VTS-500 düşünülmüş olup, torcun üç boyutlu modeli robot bağlantı dirseğini de içerecek şekilde kaynak dikiş yolu boyunca geçeceği pozisyonlar göz önüne alınarak

yerleştirilmiş ve dayama ve klemp yerleşiminde kullanılabilir alanlarla robotun kaynak noktalarına erişimine engel teşkil edebilecek kullanılması sakıncalı bölgeler birbirinden ayrılmıştır. Şekil 5.5’de torcun kaynak dikişi boyunca takip ettiği yol görülmektedir.



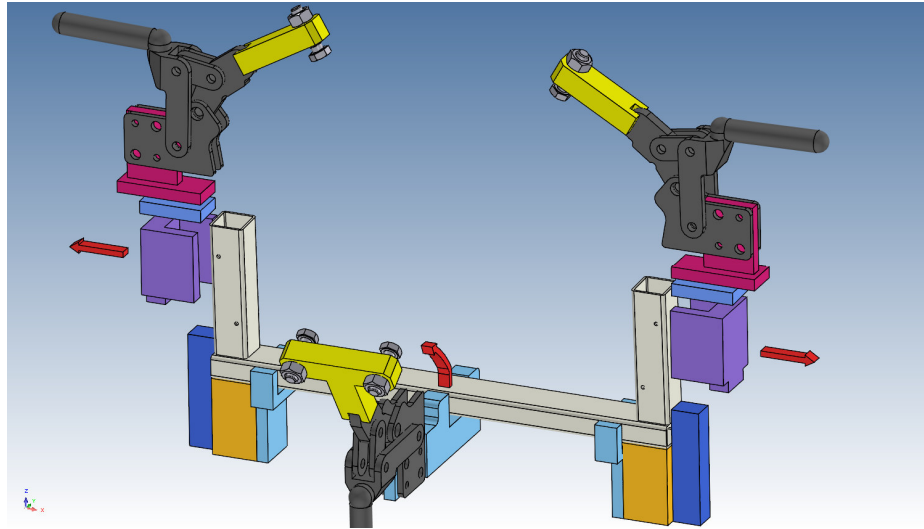
Şekil 5.5: Kaynak Esnasında Torç Pozisyonları

Torcun kaynak esnasında geçeceği bölgeler ve Şekil 5.3’de yer alan önceden belirlenmiş olan konumlama yüzeyleri ve klemp sıkma noktaları göz önüne alınarak fikstür kabaca şekillendirilir. Burada belirtilmesi gereken önemli bir nokta, konumlama yapacak olan dayamaların mümkün mertebe her eksen için ayrı bir parçadan yapılmasıdır. Böylece farklı eksenlerdeki dayamaların birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilmesi mümkün olabilir. Bu ayarlama önceki bölümlerde bahsi geçen şim olarak tabir edilen plakaların kalınlıkları değiştirilerek yapılabilir. Aksi takdirde, her üç eksendeki konumlamanın tek parçadan oluşan bir dayamada yapılması halinde sadece tek bir eksende ayar için bütün parçanın tekrar işlenmesi gerekecektir. Bu doğrultuda oluşturulan kavramsal tasarım Şekil 5.6’da görülmektedir.



Şekil 5.6: Dayama ve Klemplerin Yerleştirildiği Kavramsal Tasarım

Şekil 5.6' da görüldüğü üzere kaynak sonrasında tek parça haline gelen iş parçalarının fikstürden çıkarılması mevcut haliyle imkansızdır. Tüm hareket eksenleri kısıtlanmış olan iş parçasının kaynak sonrasında fikstürden alınabilmesi için parça 2 ve parça 3'ü konumlayan yan ve üst dayama gruplarının hareketli olması gerekmektedir. Yatayda -x ekseninde en az 30x30 mm olan kısa parçaları her üç yüzeyinden konumlayan dayamadan tamamen kurtarmasına yetecek kadar lineer bir hareket yapması gerekir.



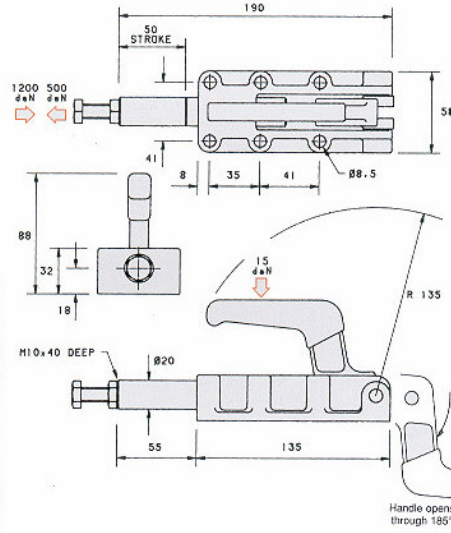
Şekil 5.7: Kaynak Sonrası Parça Çıkartma İçin Gerekli Fikstür Hareketi

Kaynak sonrası iş parçasının fikstür üzerinden alınabilmesi için gerekli olan hareket Şekil 5.7’de görülmektedir. Bu tip bir hareketi sağlamak için seçilen 50 mm stroğa sahip doğrusal hareketli kilitlemeli klemp Şekil 5.8’de görülmektedir.

MODEL P1200



Plunger:
Locks at both extended & retracted ends of the stroke.
Base:
Body mounting.
Nominal Holding Force:
1200 daN
Weight:
1.35 Kg
Supplied complete with:
MB1050 Setscrew & nut.
See "Accessories" for other items.



Şekil 5.8: Doğrusal Hareketli Kilitlemeli El Klemp

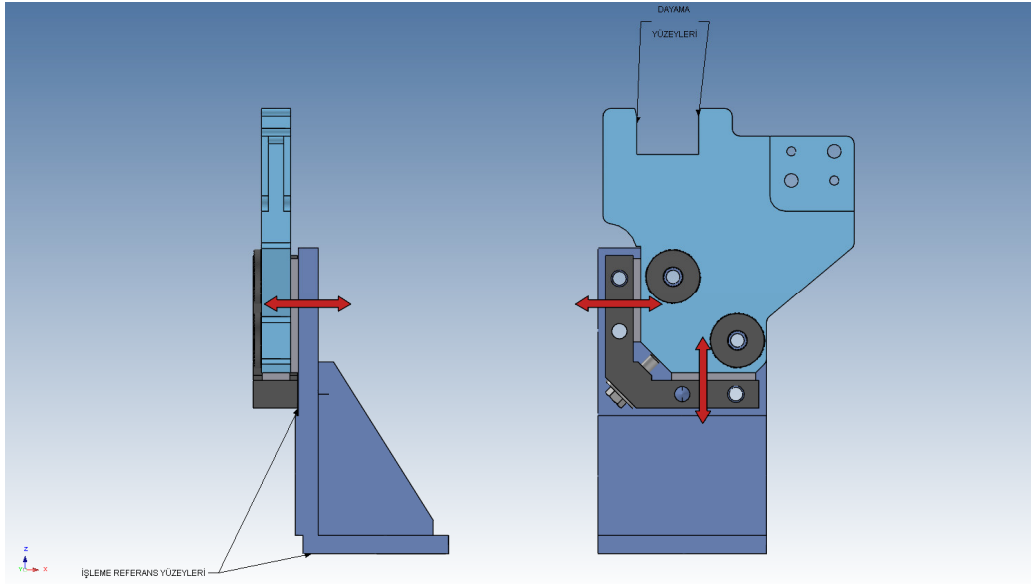
Fikstür üzerinde 2 ve 3 numaralı parçaları pozisyonlayan dayamalar ve klempin yapacağı doğrusal hareketin kararlılığını artırmak amacıyla ikinci bir silindirik çubuk ile kılavuzlanması öngörüldü. Böylelikle dayamaların geri çekilirken ve tekrar kapalı pozisyonuna geri getirilirken hareket ekseninde dönmeden parça pozisyonuna uygun 2,5° olan açısının korunması sağlandı.

Destek ayakları üzerine yerleştirilen dayama ve sıkıcı grupları ölçü ayarına müsaade edecek şekilde şim plakaları ve pimlerle pozisyonlandı. Tüm grupların üzerine yerleşeceği taban plakası üzerine yerleşim yapılarak detaylara geçildi.

5.1.3 Fikstür Yerleşimi ve Detaylandırılması

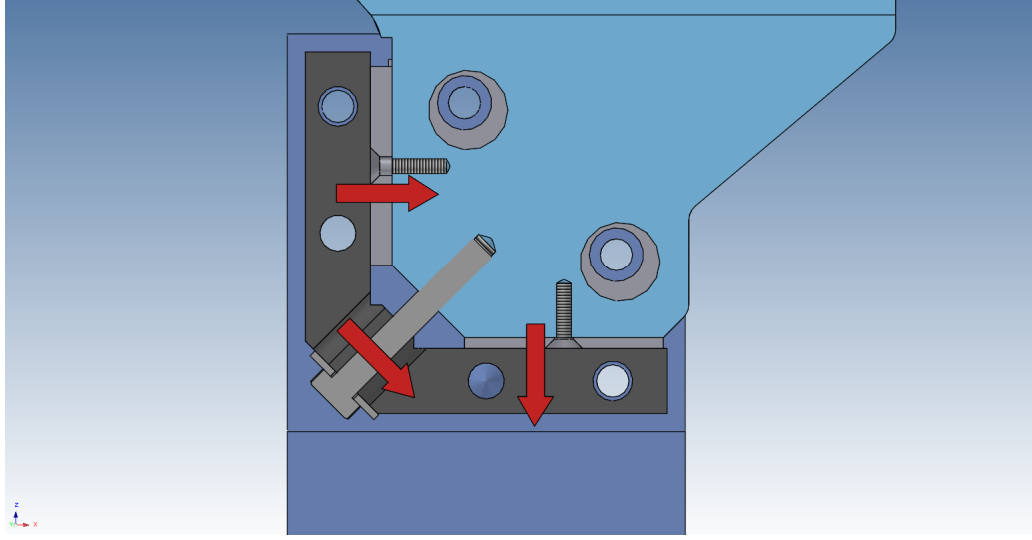
Pozisyonlamada kullanılan dayama ve sıkıcılar “L” biçimli destek ayakları üzerine yerleştirildi. Bu ayaklar üzerine yerleştirilen şim plakaları ile her üç eksende ölçü ayarı imkanı sunuldu. Şekil 5.9’da örnek bir destek ayağı yapısı görülmektedir. Burada ölçüm kontrolü sonrasında dayama yüzeylerinin olması gereken yerden farklı ölçülere sahip olması durumunda şimler yardımıyla istenen pozisyona getirilir.

Örneğin, dayama yüzeylerinin taban kısmı olması gereken pozisyondan 1,25 mm yüksekte olması halinde dayamanın oturduğu şimden 1,25 mm talaş kaldırmak suretiyle dayama bu mesafe kadar aşağı çekilerek olması gereken pozisyona getirilir. Bu işlemin önemi, nominal ölçülerle tasarlanan mekanik yapıların kaynak ve talaşlı imalattan sonra gerçekte verilen işleme toleransları dahilinde nominal ölçülerin dışında olmasından kaynaklanır. Bizim için önemli olan parça pozisyonlamada kullanacağımız dayama yüzeyleri olduğundan, bu yüzeylerin tasarımda öngörülen pozisyonlarına getirilmesi için şimler büyük kolaylık sağlar. Bu destek ayağı ve dayamanın tek parçadan imal edilmesi durumunda ölçü ayarı için tüm parçanın yeniden işlenmesi riski de böylece bertaraf edilmiş olur. Destek ayakları genellikle kaynaklı konstrüksiyon olmakla beraber, aynı tipte ayağın kullanılacağı durumlarda döküm yöntemiyle üretilip sonradan gerekli olan referans yüzeyleri işlenerek kullanılabilirler.



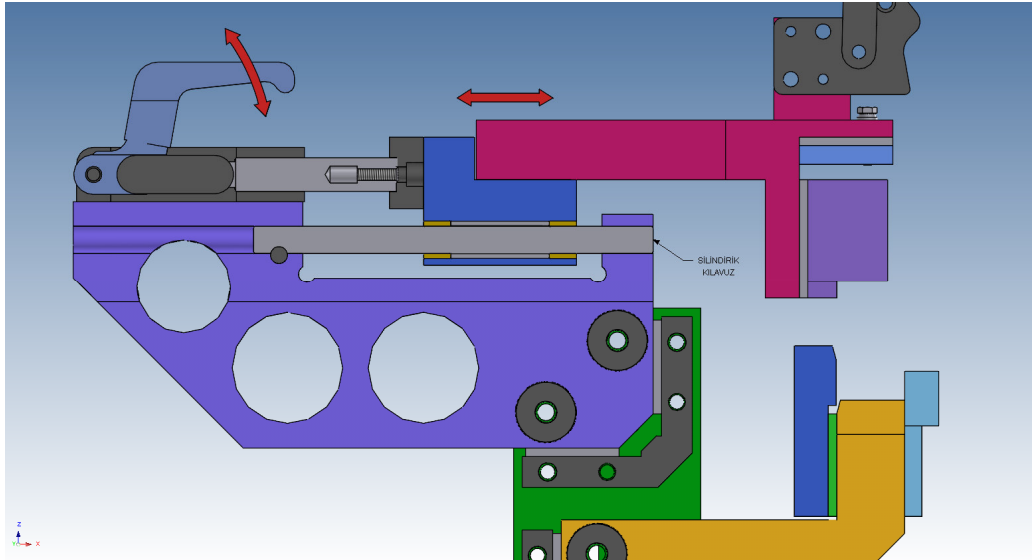
Şekil 5.9: Destek Ayağı Genel Yapısı

Şekilde görülen şimler üzerine oturan dayama parçası iki oturma yüzeyinin birleştiği köşeden civata ile çektirilerek tam olarak oturması sağlanır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta “L” biçimli şim kutusu olarak tabir edilen parçanın köşesinde çektirme amaçlı kullanılan civatanın geçtiği boş deliğin slot şeklinde açılmasıdır. Aksi takdirde dayama parçasına şim ayarı esnasında normal delik boşluğunun müsaade ettiği ölçüde hareket imkanı tanır. Şekil 5.10’da şim ayarının genel prensibi görülmektedir.



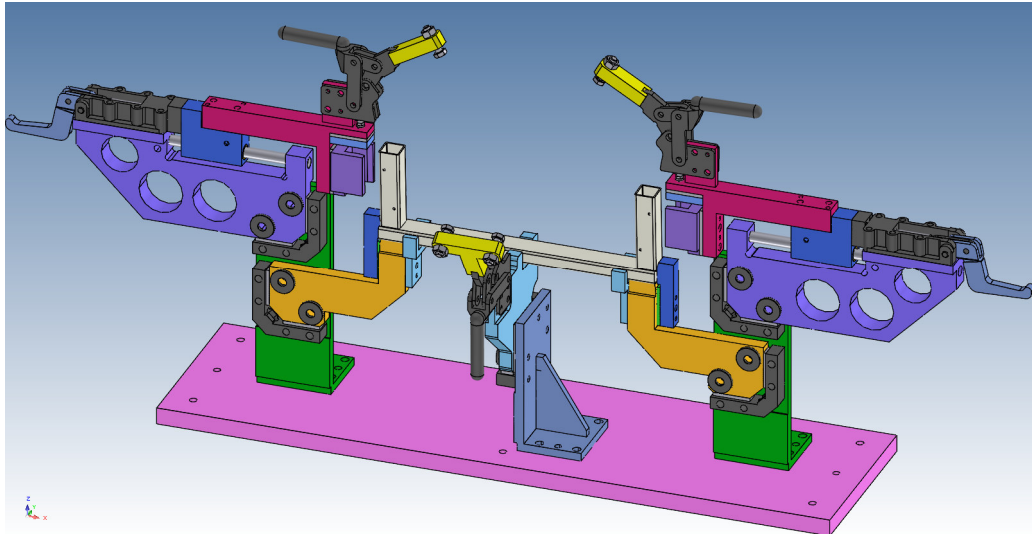
Şekil 5.10: Şim Ayarı

İş parçasının kaynak sonrasında fikstürden çıkartılabilmesi için gerekli olan yatay hareket Şekil 5.11’de görülen mekanizma ile sağlandı. Burada 50 mm stroklu manuel klemp ucuna bağlanan dayama ve klemp grubunun hareket ekseninde dönerek açısını kaybetmemesi ve aynı zamanda dayama ve klemplerin ağırlığının direk olarak klemp hareket çubuğuna binerek oluşturacağı eğilme momentlerinin pozisyonlama kararlılığına zarar vermemesi için burçlarla yataklanmış silindirik bir kılavuz mili konmuştur. Klemplerin bağlandığı taşıyıcı gövde üzerine yapılan boşaltmalarla yapı hafifletilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.11: Lineer Hareket Mekanizmasının Bağlantı Biçimi

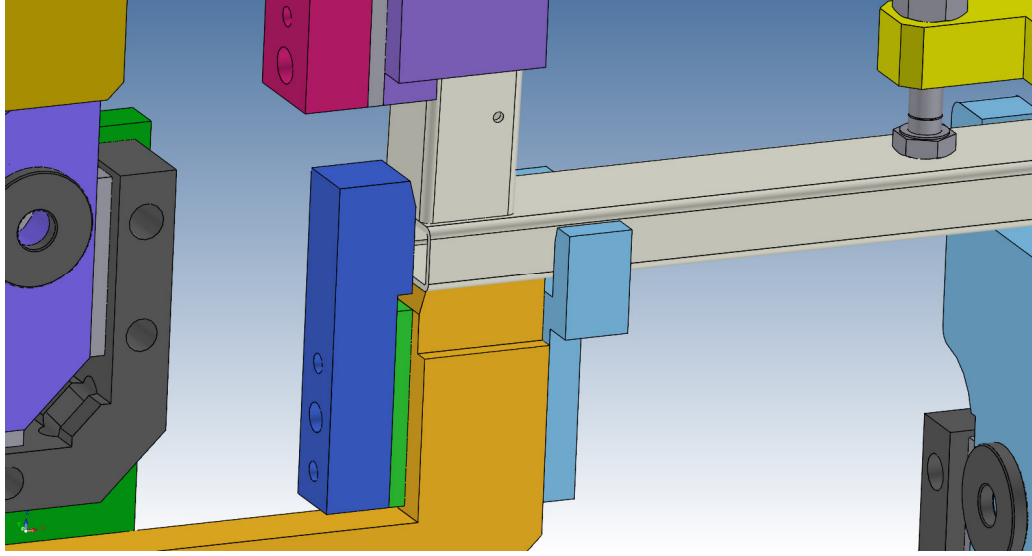
Tüm hareketli ve sabit dayamalar yerleştirildikten sonra fikstürün yapısı tam olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 5.12’de fikstür genel yerleşimi görülmektedir.



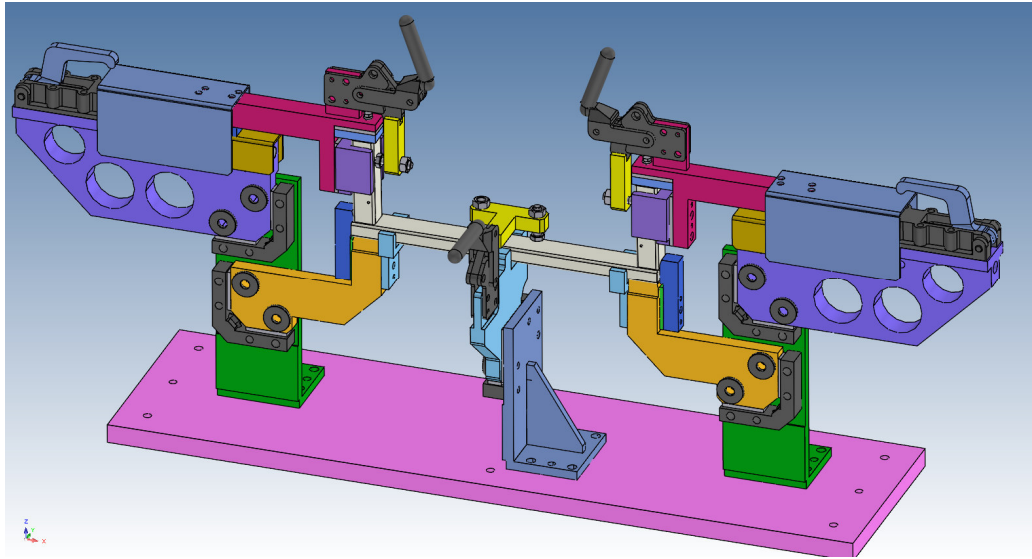
Şekil 5.12: Fikstür Genel Yerleşimi

Tasarımın bundan sonraki aşamalarında kaynak işlemine yönelik bir takım düzeltmeler yapıp, gerekli önlemler alınmıştır. Şekil 5.13’de görüldüğü üzere tüm geçme yüzeyleri köşelerine pah kırılarak operatöre parçaları yerleştirme kolaylığı sağlanmıştır. Ayrıca 1 numaralı parçanın boylamasına hareketini kısıtlayan dayamalar inceltilerek kaynak esnasında parçaya kaynama ya da dayama yüzeyine çapak yapışma riski bertaraf edilmiştir. Aynı şekilde 1 numaralı parçanın yüksekliğini ayarlayan alt dayamalar da inceltilerek korumaya alınmıştır. Bu önlemler özellikle uzun vadede fikstürün performansını koruması bakımından önemlidir. Çünkü kaynak işlemi esnasında konumlama yüzeylerine yapışacak çapaklar bir sonraki parçaların düzgün pozisyonlanamamasına sebep olacaktır.

Aynı şekilde lineer hareketi sağlayan mekanizma da sac muhafazalarla korumaya alınarak, hareket parçalarının yüzeyleri çapak sıçraması ve ortamın toz ve kirinden arındırılmaya çalışılmıştır. Klemp kollarına eğim verilerek torcun geçiş alanı mümkün mertebe boşaltılmaya çalışılmıştır. Tamamlanmış fikstürün son hali şekil 5.14’de yer almaktadır.



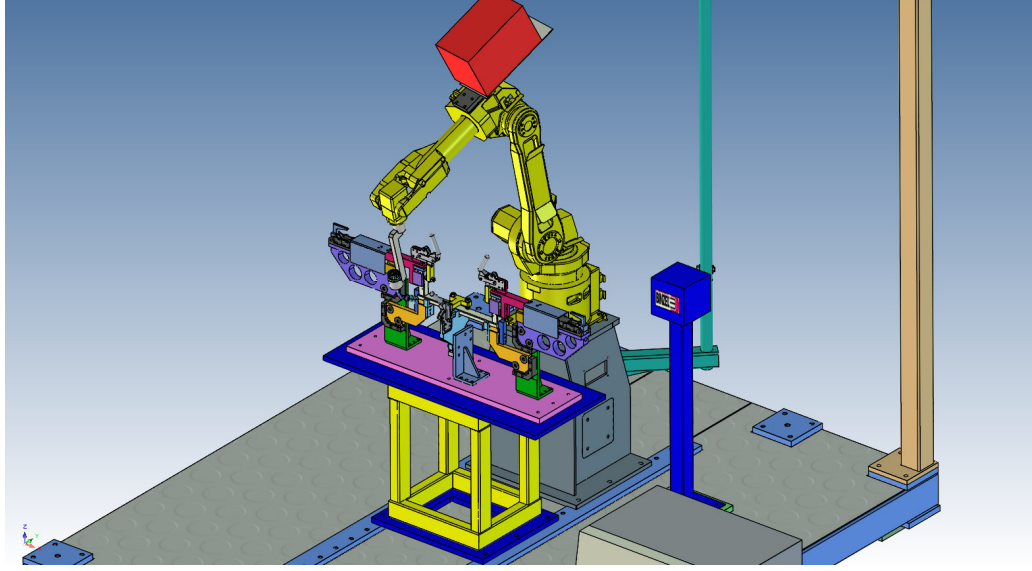
Şekil 5.13: Kaynak Bölgesinin Detaylandırılması



Şekil 5.14: Fikstürün Tamamlanmış Tasarımı

5.1.4 Fikstürün Robota Göre Pozisyonu ve Robot Erişim Kontrolü

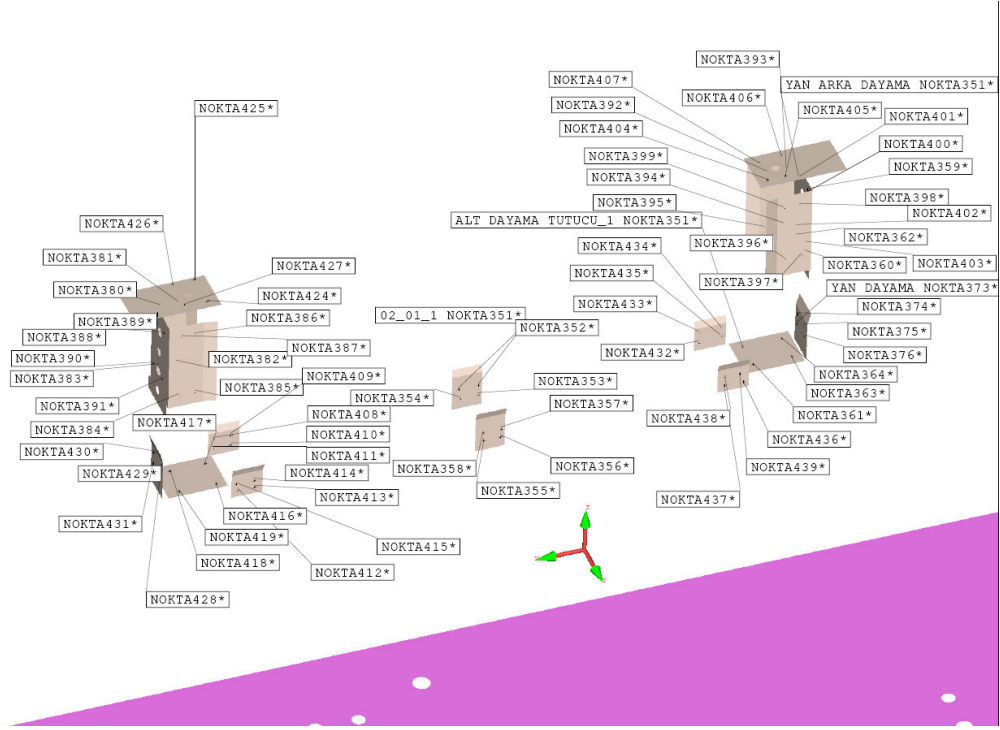
Fikstürün imalatına geçilmeden önce son olarak robota göre pozisyonu belirlenerek erişim kontrolü yapılmış ve buna göre robotun yerleştirileceği sehpa, fikstürün yerleştirileceği sehpa ve tüm sistemin üzerinde yer alacağı kaynak konstrüksiyon şasi gövdesi tasarımları yapıp imalata geçilmiştir. Şekil 5.15 de erişim kontrolü ve genel yerleşim görülmektedir.



Şekil 5.15: Robot Erişim Kontrolü ve Genel Yerleşim Planı

5.1.5 Fikstür Ölçüsel Değerlerinin Doğrulanması

İmalatı yapılan fikstürün konumlama yüzeyleri 3 boyutlu ölçüm cihazı ile ölçülerek gerekli şim ayarları yapılmıştır. Burada fikstürün 3 boyutlu modeli üzerinden alınan ölçüm yüzeyleri koordinatları ile ölçüm cihazının koordinatları fikstürün yerleştirildiği plaka üzerindeki üst yüzey ve 2 adet pim deliği kullanılarak eşleştirilmiş, daha sonra gerçek yüzeylerin 3 boyutlu modelde olması gereken pozisyonlarından sapmaları kontrol edilerek fikstürün ölçüsel kontrolü yapılmıştır. Şekil 5.16'da ölçüm kontrol noktaları görülmektedir.



Şekil 5.16: Ölçüm Yüzeyleri ve Kontrol Noktaları

5.1.6 Robotun Programlanması

Gerekli elektrik bağlantılar yapıldıktan sonra robot öğretme yöntemi ile programlanarak parçaların kaynağına geçilmiştir. Şekil 5.17’de sistemin kurulmuş hali görülmektedir. Burada yapılan ilk kaynak testlerinde önceden tahmin edildiği üzere 2 ve 3 numaralı parçalar birbirine doğru çarpılarak tolerans dışına çıktıklarından dayamanın yaslanma yüzeylerine yarım derece ters açı verilerek suretiyle kaynak sonrasında distorsiyona uğrayan parçanın tolerans içine girmesi sağlanmıştır. Robot programının temizlik ünitesi için pnömomatik kontrollerini içermeyen hareket kısmı karakter eşlem formatında EK-B’de yer almaktadır.



Şekil 5.17: Robotlu Kaynak Sistemi

5.2 Tasarlanan Fikstürün Performans Testi

Kaynak makinesi olarak ESAB ® AristoMig 400 kullanılmıştır. Bu kaynak makinesi robot ile DeviceNet protokolü üzerinden haberleştirilmiş ve 99 adet farklı parametre tutan hafızasından istenen parametreleri içeren işlem çağırılarak kaynak yapılmıştır. Bu makine, 16 ile 400 Amp akım vermekte ve 250 Amp'e kadar %100 duty cycle sağlamaktadır. Kaynak teli olarak 0,8 mm kalınlığında SG2 (DIN8559) kalitesi tel kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak, ortalama 12 litre/dakika debide %80 Argon %20 Karbondioksit karışım gazı kullanılmıştır. (Şekil 5.18)



Şekil 5.18: Koruyucu Gaz Debisi

Fikstür üzerindeki soğuma hızları TES-1322 (-20°C - +500° C) marka kızılötesi sıcaklık ölçüm cihazı ile yapılmıştır. (Şekil 5.19) Sıcaklık ölçüm cihazı sınırları kaynak havuzunun eriyik halindeki yüksek sıcaklıkları kapsamadığından ölçümde zaman kaynaktaki ilk arkin ateşlenmesiyle beraber başlatılıp, havuz sıcaklığının ölçülebilen değerlere düştüğü noktadan itibaren kaynak dikişi sıcaklık ölçüm noktası sıcaklığı oda sıcaklığına ininceye kadarki süre boyunca kaydı tutulmuştur.



Şekil 5.19: Fikstür Üzerinde Soğuma Hızlarının Ölçümü

Kaynak deneyleri ortalama 18°C ortam sıcaklığında yürütüldü. 6 adet numunenin, kaynak voltajı ve akım şiddeti sabit tutulmak suretiyle üç farklı hızda kaynakları yapıldı ve her hız için numunelerden birisi fikstür üzerinde diğeri ise fikstürden

ayrıldıktan sonra soğumaya terk edilerek iş parçasında kaynak işleminin sebep olduğu çarpılmalar ölçüldü. Böylelikle farklı ısı girdilerinde parçalarda oluşan çarpılmaların farkları ortaya konarak en ideal işlem parametrelerinin tespitine çalışıldı. Tablo 5.1 de deney düzeni görülmektedir.

Tablo 5.1: Deney Düzeni

	Kaynak Hızı			Fikstürde Soğuma	Serbest Soğuma
	80%	100%	120%		
Numune 1		X		X	
Numune 2		X			X
Numune 3			X	X	
Numune 4			X		X
Numune 5	X			X	
Numune 6	X				X

Yapılan kaynak işlemlerine ait istatistik bilgiler kaynak makinesinden alındı. İşlem parametreleri ve kaynak zamanı tel sarfiyatı bilgileri Şekil 5.20 ve 5.21’ d görülmektedir.



Şekil 5.20: 3 Numaralı Numune Kaynak Parametreleri

PRODUCTION STATISTICS		
	LAST WELD	TOTAL
ARCTIME CONSUMED WIRE BASED ON NUMBER OF WELD	19s 9g 4.09/m	38s 18g 2
LAST RESET	06-APR-06	15:59.11
RESET		QUIT

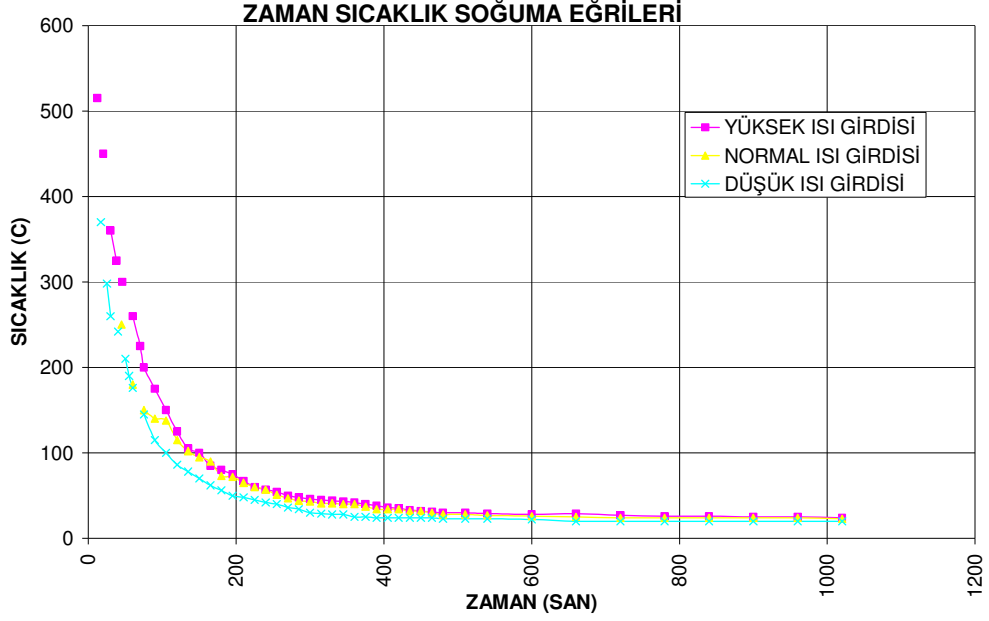
Şekil 5.21: 3 Numaralı Numune Kaynak Zamanı ve Tel Sarfiyatı İstatistikleri

Kaynatılan numunelere ait ortalama kaynak voltajı ve akımı değerleri ile kaynak zamanları – dolgu teli sarfiyatı değerleri Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Kaynak Parametreleri

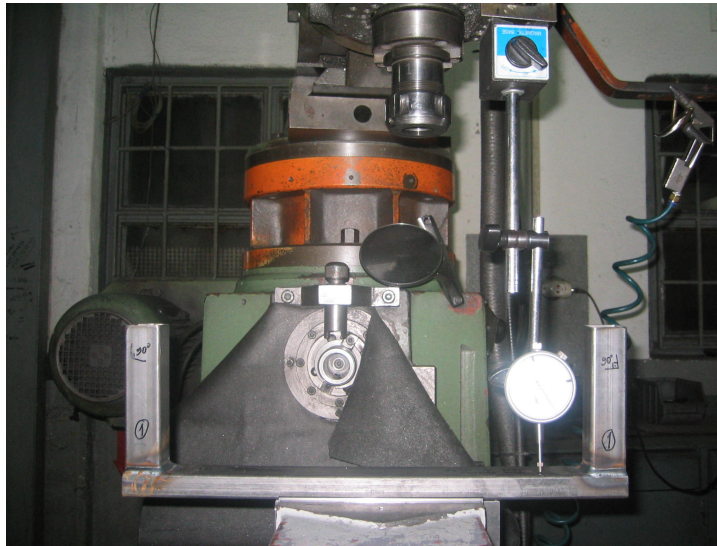
	Ort. Voltaj (V)	Ort. Akım (A)	Ort.Güç (kW)	Parça 2 Ark Zamanı (sn)	Parça 3 Ark Zamanı (sn)	Parça 2 Tel Sarf. (gr)	Parça 3 Tel Sarf. (gr)
Numune 1	18,58	110,55	2,04	15	15	7	7
Numune 2	18,54	113,06	2,09	15	15	7	7
Numune 3	18,63	113,13	2,09	19	19	9	9
Numune 4	18,58	114,03	2,10	19	19	9	9
Numune 5	18,57	111,41	2,06	13	13	6	6
Numune 6	18,58	110,55	2,04	13	13	6	6

Fikstürde soğumaya bırakılan 1,3 ve 5 numaralı numunelerin kaynak dikişi üzerinden ölçümü yapılan sıcaklık değişimlerinden hazırlanan soğuma-zaman eğrileri Şekil 5.22’de görülmektedir.



Şekil 5.22: 1,3 ve 5 Numaralı Numunelere Ait Zaman-Sıcaklık Eğrileri

Bütün parçalar kaynatıldıktan sonra freze tezgahına bağlandı ve komparatörle doğrultularak tezgah yatay eksenine paralel hale getirildiler. Daha sonra yine komparatörle 100 mm ölçü boyunda dikeydeki sapmaları ölçüldü. Parça 1 ve Parça 2'nin birbirine doğru eğiklikleri pozitif (+) kapanma ve dışa doğru açılmaları negatif (-) açılma değeri olarak ölçüldü. Şekil 5.23'de tezgahta komparatör yardımı ile ölçüm şekli gösterilmiştir. Tablo 5.3'de ise kaynak yapılan parçaların açılma ve kapanma değerleri mm cinsinden verilmiştir.



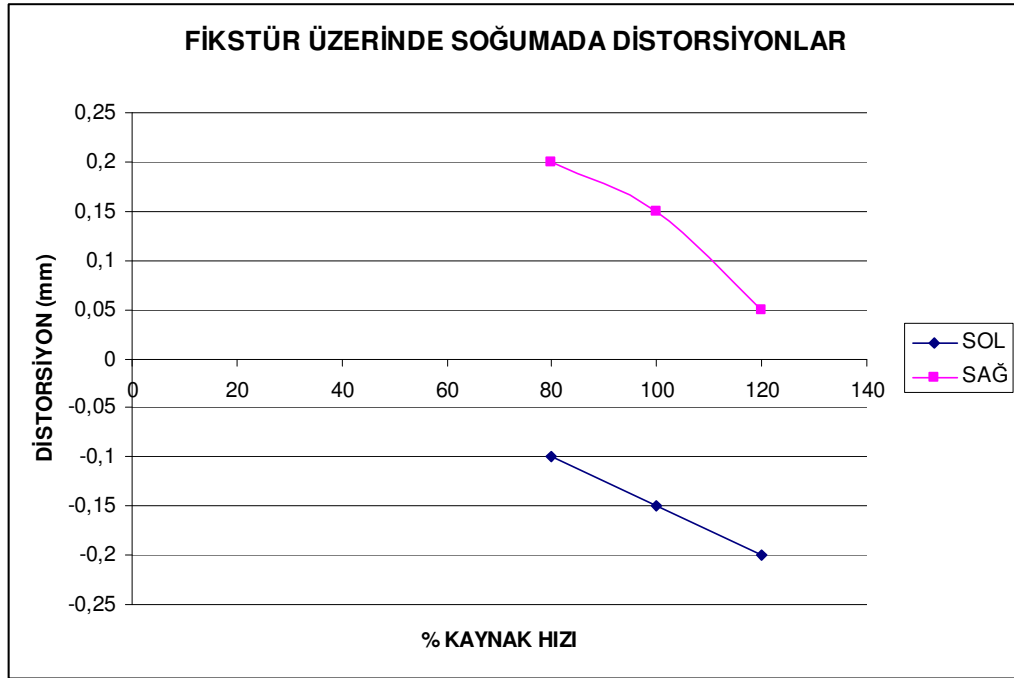
Şekil 5.23: Komparatör Yardımı ile Kaynak Çarpılmalarının Ölçülmesi

Tablo 5.3: Kaynak Sonrası arpılma Değerleri

		ÇARPILMA DEğERLERİ	
		Parça 1 (SOL)	Parça 2 (SAğ)
Fikstürde Soğuma	Numune 1	-0,15	0,15
Serbest Soğuma	Numune 2	0,20	0,25
Fikstürde Soğuma	Numune 3	-0,10	0,20
Serbest Soğuma	Numune 4	0,35	0,40
Fikstürde Soğuma	Numune 5	-0,20	0,05
Serbest Soğuma	Numune 6	0,15	0,20

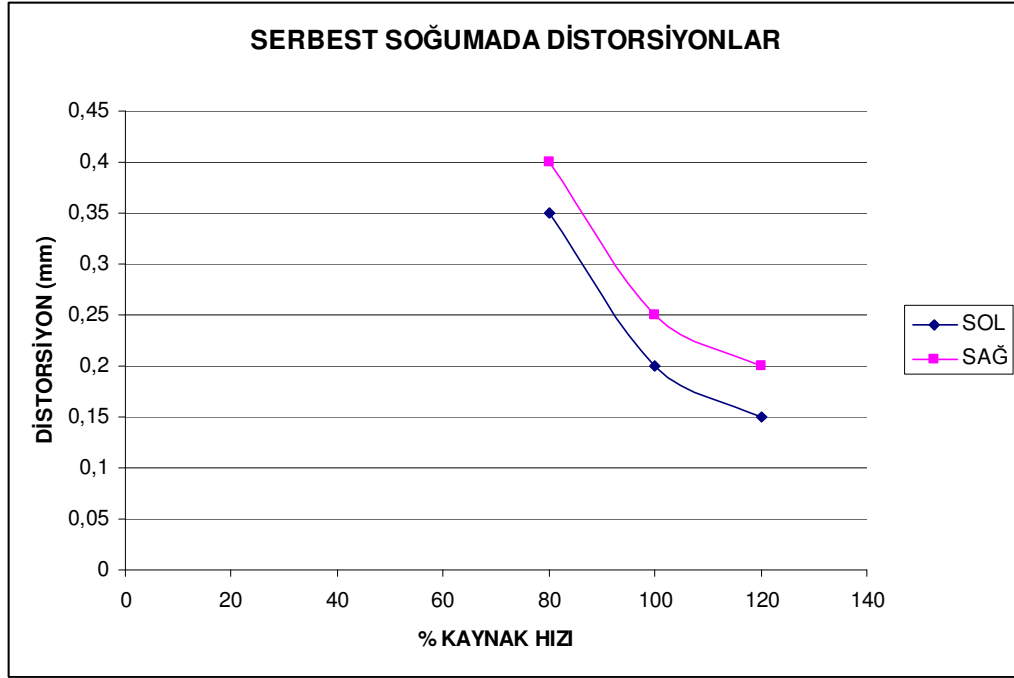
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan performans testleri sonucunda kaynak hızıyla ters orantılı olarak artan ısı girdisiyle iş parçasında oluşan distorsiyon miktarının arttığı görülmüştür. Şekil 6.1'de fikstür üzerinde soğumaya bırakılan parçalarda meydana gelen distorsiyon miktarları görülmektedir.



Şekil 6.1: Fikstür Üzerinde Soğumada Distorsiyonlar

Şekil 6.2'de ise hemen kaynak sonrasında fikstürden alınan parçalarda meydana gelen distorsiyonlar gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Serbest Soğumada Distorsiyonlar

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere fikstür üzerinde soğumaya bırakılan parçalarda kaynağa ilk başlanan sol kısımda yer alan 2 numaralı parçaların beklenenin aksine dışa eğimli kaldığı görülmektedir. Buna karşın sağ kısımda yer alan 3 numaralı parçalar beklenildiği üzere içe doğru kapanmışlardır. Bunun sebebi fikstür üzerinde soğuyan parçaların rijit fikstür yapısı nedeniyle verilen ters açığı yeterince kompanse edecek miktarda çarpılmamasıdır. Bununla beraber sağ kısımda yer alan 3 numaralı parçaların kaynağında, kaynak sırası sebebiyle ilk parçanın kaynağı esnasında ısınan 3 numaralı parçanın kaynak bölgesinde malzeme akma sınırı düştüğünden çarpılma miktarının daha fazla olduğu görülmektedir.[17]

Gerçek kullanım şekli açısından serbest soğumaya bırakılan parçalardaki distorsiyon miktarları fikstür performansını gösterme açısından daha sağlıklı bir fikir vermektedir. Zira normal koşullarda yapılan üretimlerde parçalar fikstüre birbiri peşi sıra soğumaları beklenmeksizin yerleştirilmektedir. Bu anlamda orta ve yüksek hızlarda yapılan dolayısıyla nispeten düşük ısı girdisi oluşan kaynak işlemlerinde alınan sonuçlar iş parçası geometrik toleransları dahilindedir.

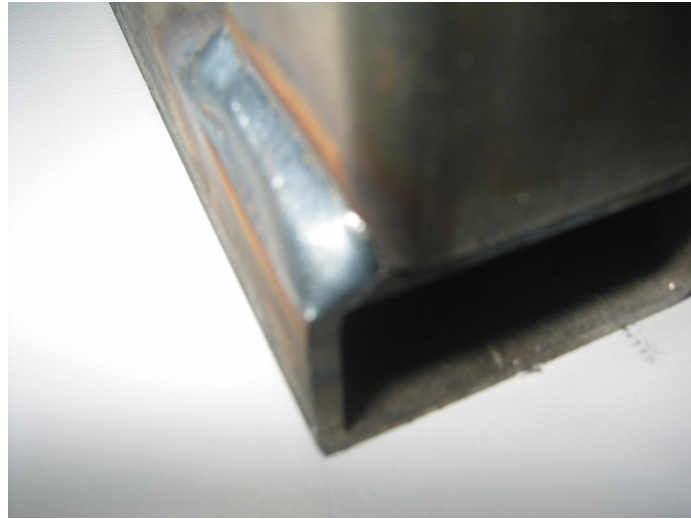
Ayrıca yapılan robotla fikstür üzerinde kaynak uygulaması sonucunda normal şartlarda 3 dakikayı bulan kaynak işlemi zamanı yarım dakikaya kadar düşürülerek

Üretim hızlarında kayda değer bir artış sağlanmıştır. Bunun yanı sıra kaynak başlangıç ve bitiş noktalarındaki birleşmenin kalitesi manuel kaynağa oranla hayli yüksektir. Buradaki parça yanması veya düzgün birleşmeme, boşluk kalması ortadan kalkmış, toleranslarında kaynatılan iş parçası için ilave işçilikle düzeltilmesi operasyonuna gerek kalmamıştır.

şekil 6.3 ve 6.4’de kaynak dikiş kalitesi ve bitiş noktasındaki kaynak görüntüsü görülmektedir.



şekil 6.3: Kaynak Dikiş Kalitesi



şekil 6.4: Kaynak Sonu Görüntüsü

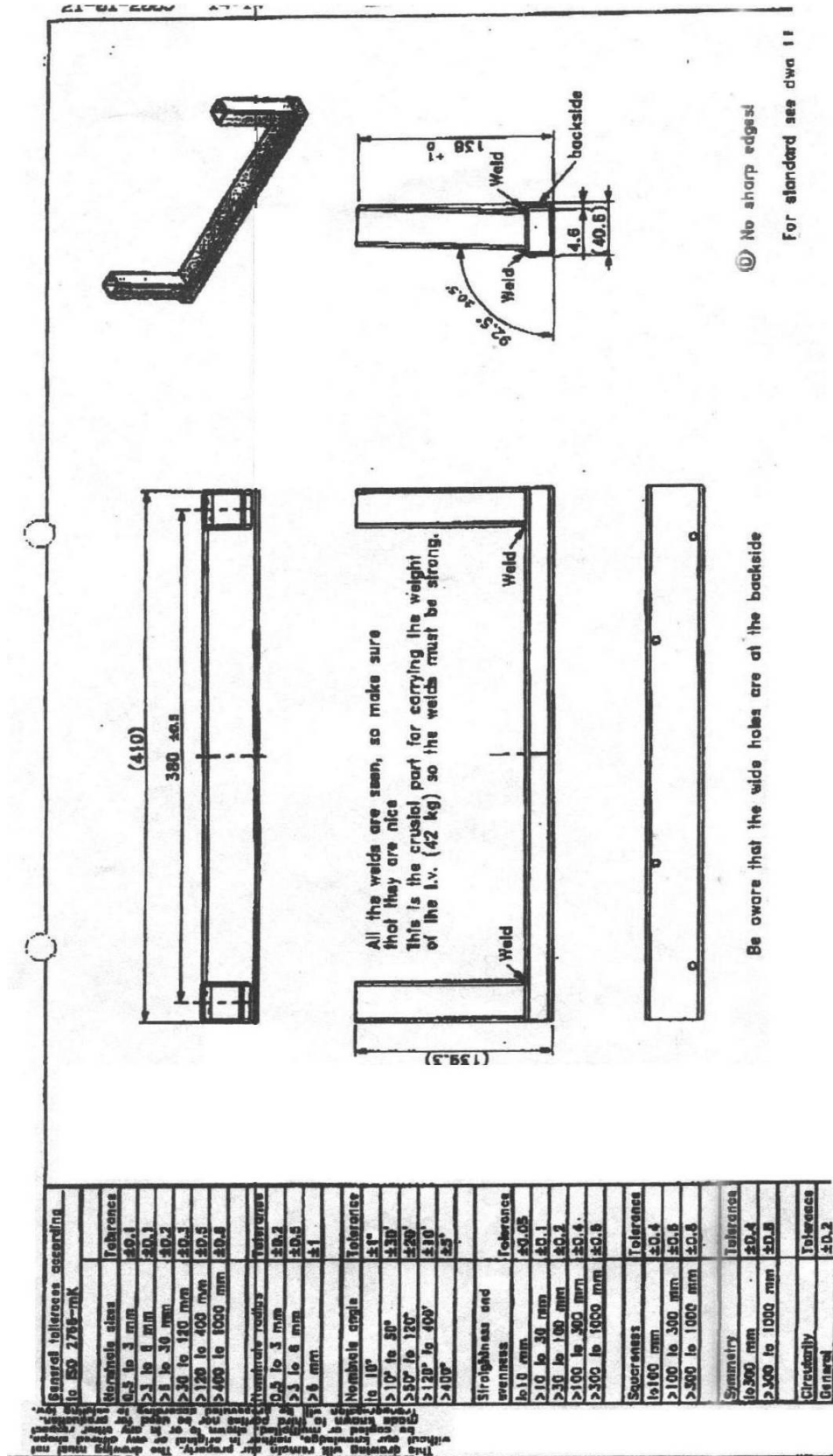
Her ne kadar çevrim zamanları ve kalitede ciddi artışlar olsa da, sisteme eklenecek bir pozisyoner ile üretim miktarı en az iki kat hızlandırılabilir. Bunun yanı sıra hantal ve operatörü yoran manuel klempler yerine pnömatik silindirler kullanılarak daha verimli ve güvenli bir sistem yaratılabilir. Zira manuel klemp kullanımında operatörün klempler açık halde kaynağı başlatmasını önleyecek herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu durum ise robotun hasar görmesine sebep olabilir. Pnömatik kontrollü bir sistemde ise robot tüm silindirlerin kapalı olduğunu görmeden kaynağa başlamayacağı için bu tehlike bertaraf edilmiş olur.

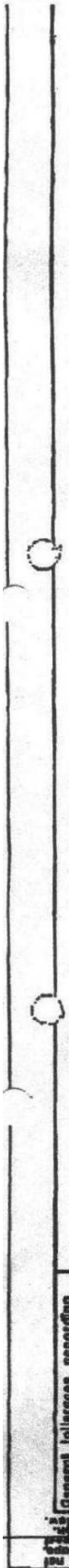
Bu çalışmayla, manuel kaynağa nazaran sistematik bir şekilde tasarlanıp imal edilmiş bir fikstür üzerinde robot ile kaynak uygulaması yapılmış ve bu tip sistemlerin üreticiye sağladığı avantajlar ele alınmıştır. Her ne kadar gelişmekte olan ülkemizde robotlu kaynak uygulamaları halen ana sanayi dahilinde yaygın olsa da, önümüzdeki yıllarda bu eğilimin küçük ve orta ölçekli kuruluşlara da ulaşacağı aşikardır.

KAYNAKLAR

- [1] **Elejaerrieta, J. B.**, 1997, A Simulation Model for Designing the Automation of Future's Factory Based on Logistics Strategy : Application to the Automotive Industry, Organizing the Extended Enterprise, Switzerland, Eylül 1997, s. 231-242.
- [2] **Ank, S.**, 1991, Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar, Gedik Holding Yayını, 222s, İstanbul
- [3] **Kou, S.**, 2003, Welding Metallurgy, Second Edition, Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey
- [4] **Dilthey, U.**, 2002 Lecture Notes, Welding Technology 1, Welding and Cutting Technologies, ISF Welding Institute, RWTH Aachen University, Aachen
- [5] **Kurfess, T.R.**, 2005, Robotics and Automation Handbook, CRC Press LLC, Florida
- [6] **Cleland, D.I. ve Bidanda, B.**, 1990, Factory Automation Handbook,
- [7] **Groover, M.P.**, 1987, Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ
- [8] **Selig, J.M.**, 1992, Introductory Robotics, Prentice Hall International (UK) Ltd, Trowbridge, Wiltshire
- [9] **Yumurtacı, S. ve Mert, T.**, 2003, Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi, Kocaeli, 24-25 Ekim.
- [10] **Çengelci, B. ve Çimen, H.**, 2005, Endüstriyel Robotlar, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, **2**, 69-78.

- [11] **Ben-Horin, R., Shoham, M. ve Djerassi, S.,** 1998, Kinematics, Dynamics and Construction of a Planary Actuated Parallel Robot, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 14, Number 2, Nisan 1998, s. 163-172.
- [12] **Rong, Y.K. ve Zhu, Y.,** 1999, Computer Aided Fixture Design, Journal of Manufacturing Systems, Society of Manufacturing Engineers,
- [13] **Rong, Y.K., Huang, S.H. ve Hou, Z.,** 2005, Advanced Computer Aided Fixture Design, Elsevier, Amsterdam; Boston
- [14] **Kang, Y., Rong, Y., Yang, J. ve Ma, W.,** 2002, Computer Aided Fixture Design Verification, Assembly Automation, Volume 22, Issue 4, Aralık 2002, s. 350-359.
- [15] **Britton, G.,** 2001, Workpiece Control, Lecture Notes, Tampere University of Technology, Finland
- [16] **Grant, H.E.,** 1967, Jigs and Fixtures : Non-Standard Clamping Devices, McGraw-Hill, New York
- [17] **Teng, T., Fung, C., Chang, P. ve Yang, W.,** 2001, Analysis of Residual Stresses and Distorsions in T-joint Fillet Welds, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 78, Issue 8





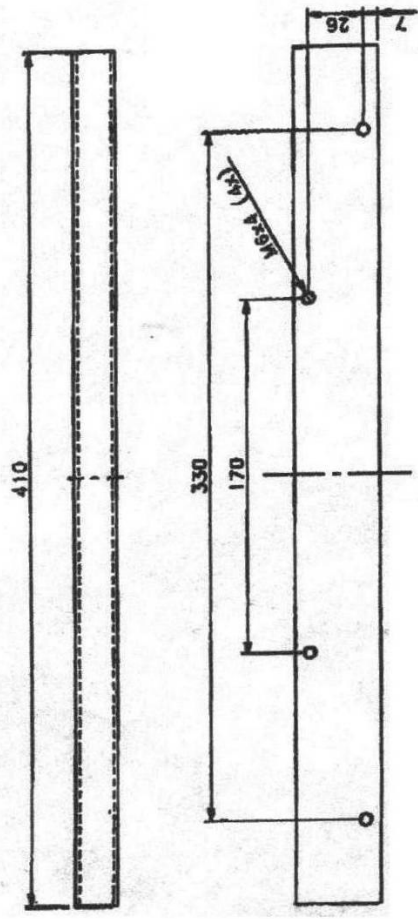
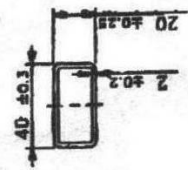
This drawing will remain the property of the drawing office and will not be copied or reproduced without the written consent of the drawing office.

Under no circumstances shall this drawing be used for production purposes without the written consent of the drawing office.

Dimensions are given in millimeters unless otherwise stated.

General tolerances according to ISO 2768-mK	
Nominal sizes	Tolerances
0.5 to 3 mm	±0.1
>3 to 6 mm	±0.1
>6 to 30 mm	±0.2
>30 to 120 mm	±0.3
>120 to 400 mm	±0.5
>400 to 1000 mm	±0.8
Nominal radius	Tolerance
0.5 to 3 mm	±0.2
>3 to 6 mm	±0.5
>6 mm	±1
Nominal angle	Tolerance
to 10°	±1°
>10° to 50°	±30'
>50° to 120°	±20'
>120° to 400°	±10'
>400°	±5°
Flatness and straightness	Tolerance
to 10 mm	±0.05
>10 to 30 mm	±0.1
>30 to 100 mm	±0.2
>100 to 300 mm	±0.4
>300 to 1000 mm	±0.8
Squareness	Tolerance
to 100 mm	±0.4
>100 to 300 mm	±0.8
>300 to 1000 mm	±1.6
Symmetry	Tolerance
to 500 mm	±0.4
>500 to 1000 mm	±0.8
Circularity	Tolerance
General	±0.2

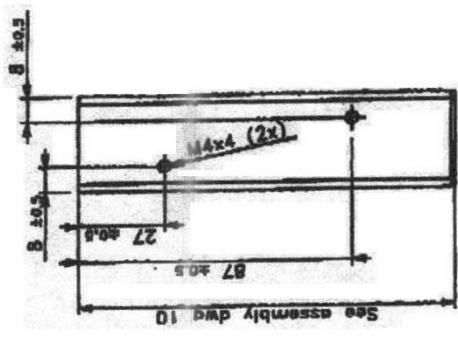
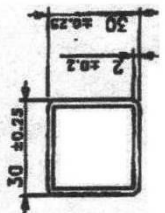
Tube according to DIN 2395-1 and 2395-2



Both inside and outside of the tube must contain no sharp edges!

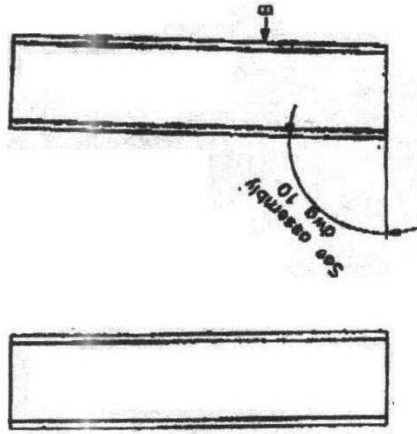
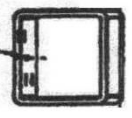


Tube according to
DIN 2395-1 and 2395-2



View B

The weld of the tube
must be on the backside



General tolerances according to ISO 2768-mk	
Nominal sizes	Tolerances
0.5 to 3 mm	±0.1
>3 to 6 mm	±0.1
>6 to 30 mm	±0.2
>30 to 120 mm	±0.3
>120 to 400 mm	±0.5
>400 to 1000 mm	±0.8
Formal tolerances	
0.5 to 3 mm	±0.2
>3 to 6 mm	±0.5
>6 mm	±1
Nominal angle	
to 10°	±1°
>10° to 50°	±30'
>50° to 120°	±20'
>120° to 200°	±10'
>200°	±5'
Straightness and evenness	
to 10 mm	±0.03
>10 to 30 mm	±0.1
>30 to 100 mm	±0.2
>100 to 300 mm	±0.4
>300 to 1000 mm	±0.6
Squareness	
to 100 mm	±0.4
>100 to 300 mm	±0.6
>300 to 1000 mm	±0.8
Symmetry	
to 300 mm	±0.4
>300 to 1000 mm	±0.6
Circularity	
General	±0.2

Both inside and outside of the tube must contain No sharp edges

This drawing will remain the property of the project. The drawing must not be used for other projects. It is drawn in metric and metric units. All dimensions are in millimeters unless otherwise specified. Tolerances are given in millimeters unless otherwise specified. This drawing will remain the property of the project. The drawing must not be used for other projects. It is drawn in metric and metric units. All dimensions are in millimeters unless otherwise specified. Tolerances are given in millimeters unless otherwise specified.

EK - B

```
/PROG TEZ
/ATTR
OWNER          = MNEDITOR;
COMMENT        = "";
PROG_SIZE      = 1999;
CREATE         = DATE 05-09-27 TIME 17:08:04;
MODIFIED       = DATE 05-12-23 TIME 16:30:15;
FILE_NAME      = ;
VERSION        = 0;
LINE_COUNT     = 25;
MEMORY_SIZE    = 2479;
PROTECT        = READ_WRITE;
TCD: STACK_SIZE = 0,
    TASK_PRIORITY = 50,
    TIME_SLICE = 0,
    BUSY_LAMP_OFF = 0,
    ABORT_REQUEST = 0,
    PAUSE_REQUEST = 0;
DEFAULT_GROUP  = 1,*,*,*,*;
CONTROL_CODE   = 00000000 00000000;
/APPL
  ARC Welding Equipment Number : 1 ;
/MN
  1:J P[1] 100% CNT100 ;
  2:J P[2] 100% CNT100 ;
  3:J P[3] 100% CNT100 ;
  4:J P[4] 80% FINE Arc Start[2] ;
  5:L P[5] 40cm/min FINE ;
  6:L P[6] 50cm/min FINE ;
  7:L P[7] 50cm/min FINE ;
  8:L P[8] 40cm/min FINE ;
  9:L P[9] 50cm/min FINE ;
  10:L P[10] 50cm/min FINE ;
  11:L P[12] 40cm/min FINE Arc End[1] ;
  12:J P[13] 100% CNT100 ;
  13:J P[14] 100% CNT100 ;
  14:J P[15] 100% CNT100 ;
  15:J P[16] 100% CNT100 ;
  16:L P[17] 1600mm/sec FINE Arc Start[2] ;
  17:L P[18] 40cm/min FINE ;
  18:L P[19] 50cm/min FINE ;
  19:L P[20] 50cm/min FINE ;
  20:L P[21] 40cm/min FINE ;
  21:L P[22] 50cm/min FINE ;
  22:L P[23] 50cm/min FINE ;
  23:L P[25] 40cm/min FINE Arc End[1] ;
  24:J P[26] 100% CNT100 ;
```

```

25:J P[1] 100% CNT100 ;
/POS
P[1]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = -104.459 mm, Y = 470.263 mm, Z = -507.357 mm,
  W = 137.203 deg, P = 8.469 deg, R = 98.016 deg
};
P[2]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 306.420 mm, Y = 470.568 mm, Z = -507.136 mm,
  W = 137.203 deg, P = 8.469 deg, R = 98.016 deg
};
P[3]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 233.223 mm, Y = 658.100 mm, Z = -326.763 mm,
  W = 130.314 deg, P = 9.359 deg, R = 96.950 deg
};
P[4]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 205.731 mm, Y = 660.714 mm, Z = -307.257 mm,
  W = 125.963 deg, P = 4.133 deg, R = 109.926 deg
};
P[5]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 207.405 mm, Y = 635.677 mm, Z = -308.182 mm,
  W = 134.986 deg, P = 24.697 deg, R = 119.196 deg
};
P[6]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 207.767 mm, Y = 634.535 mm, Z = -310.424 mm,
  W = 137.465 deg, P = 30.065 deg, R = 80.953 deg
};
P[7]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 206.239 mm, Y = 635.637 mm, Z = -309.308 mm,
  W = 153.322 deg, P = 40.235 deg, R = 82.888 deg
};
P[8]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 182.640 mm, Y = 636.189 mm, Z = -308.314 mm,
  W = 158.423 deg, P = 42.663 deg, R = 84.321 deg
};

```

```

P[9]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 178.087 mm, Y = 638.108 mm, Z = -307.272 mm,
  W = 162.307 deg, P = 36.927 deg, R = 52.379 deg
};
P[10]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 178.307 mm, Y = 640.548 mm, Z = -306.128 mm,
  W = 178.676 deg, P = 46.140 deg, R = 23.365 deg
};
P[12]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 178.284 mm, Y = 665.341 mm, Z = -306.757 mm,
  W = 178.605 deg, P = 46.066 deg, R = 23.225 deg
};
P[13]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = -2.853 mm, Y = 664.137 mm, Z = -439.154 mm,
  W = 178.676 deg, P = 46.140 deg, R = 23.365 deg
};
P[14]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = -2.728 mm, Y = 497.096 mm, Z = -439.093 mm,
  W = 151.608 deg, P = 21.747 deg, R = 86.163 deg
};
P[15]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 306.420 mm, Y = 470.568 mm, Z = -507.136 mm,
  W = 137.203 deg, P = 8.469 deg, R = 98.016 deg
};
P[16]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 229.665 mm, Y = 261.941 mm, Z = -326.603 mm,
  W = 133.718 deg, P = 25.051 deg, R = 97.783 deg
};
P[17]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 204.692 mm, Y = 259.984 mm, Z = -306.831 mm,
  W = 125.054 deg, P = 25.748 deg, R = 93.408 deg
};
P[18]{
  GP1:

```

```

UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
X = 204.342 mm, Y = 285.563 mm, Z = -306.812 mm,
W = 123.389 deg, P = 6.290 deg, R = 96.894 deg
};
P[19]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 204.357 mm, Y = 284.596 mm, Z = -306.165 mm,
  W = 140.951 deg, P = -21.995 deg, R = 94.713 deg
};
P[20]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 205.169 mm, Y = 282.849 mm, Z = -306.554 mm,
  W = 143.388 deg, P = -26.376 deg, R = 123.108 deg
};
P[21]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 180.573 mm, Y = 284.424 mm, Z = -307.771 mm,
  W = 143.388 deg, P = -26.376 deg, R = 123.108 deg
};
P[22]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 183.634 mm, Y = 284.242 mm, Z = -310.350 mm,
  W = 143.437 deg, P = -26.381 deg, R = -158.521 deg
};
P[23]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 182.884 mm, Y = 282.440 mm, Z = -310.630 mm,
  W = 143.446 deg, P = -26.393 deg, R = -145.909 deg
};
P[25]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 182.635 mm, Y = 256.498 mm, Z = -310.660 mm,
  W = 143.446 deg, P = -26.395 deg, R = -145.908 deg
};
P[26]{
  GP1:
  UF : 1, UT : 1,      CONFIG : 'R, 0',
  X = 94.402 mm, Y = 258.566 mm, Z = -311.035 mm,
  W = 143.425 deg, P = -26.372 deg, R = 168.673 deg
};
/END

```

ÖZGEÇMİŞ

Umut Çağrı TAPICI, 1 Eylül 1975’de Ankara’da doğdu. Sırasıyla, Geyve İlköğretim Okulu, Eskişehir Anadolu Lisesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi’ni bitirdi. Halen Güneş Hidrolik isimli otomotiv yan sanayi firmasında çalışmaktadır.