T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR DESTEKLİ FİKSTÜR TASARIMI VE KAYNAK SONRASI DİSTORSİYONLARIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

MURAT KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cenk MISIRLI

EDİRNE-2021

Murat KILIÇ'ın hazırladığı "**Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı ve Kaynak Sonrası Distorsiyonların Deneysel Olarak İncelenmesi** " başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Trakya Üniversitesi Makina Mühendisliği** Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):	İmza
Prof. Dr. Yılmaz ÇAN (Üye)	……
Doç. Dr. Cenk MISIRLI (Danışman)	…….....
Dr. Öğr. Üyesi S. Sencer KARABEYOĞLU (Üye)	……

Tez Savunma Tarihi: 09/02/2021

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Doç. Dr. Cenk MISIRLI

Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Doç. Dr. H. R. Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

09 / 02 / 2021
Murat KILIÇ

İmza

Yüksek Lisans Tezi

Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı ve Kaynak Sonrası Distorsiyonların Deneysel Olarak İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Günden güne artan üretim ihtiyacı beraberinde hızlı, kaliteli ve istenilen sonuçların daha çabuk elde edildiği, daha kontrollü bir üretime olanak sağlayan, birçok fonksiyonda kullanılabilen fikstür tasarımlarının geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Fikstürler, üretim sürecindeki ürünleri konumlama, sabitleme veya destekleme görevi yapan önemli proses elemanlarıdır. Ayrıca otomasyona bağlı üretimle birlikte kalite kontrol ve montaj bölümleri içinde önemli bir unsurdur. Genelde özel bir parçanın belirli bir işlem görmesi için tasarlanmaları sebebiyle, fikstürler kendine özgüdür. Bu çalışmada farklı problemlerin çözümü için tasarlanmış bazı kontrol, montaj ve kaynak fikstürlerinin tasarımları incelenmiş ve kaynaklı imalat sonrası meydana gelen distorsiyonlar bir kaynak fikstürü yardımı ile deneysel olarak araştırılarak elde edilen bulgular tartışılmış, sonuçlar birtakım ölçme ve kontrol yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

Yıl : 2021

Sayfa Sayısı : 107

Anahtar Kelimeler : Bilgisayar Destekli Tasarım, CAD, CAFD, Kaynak, Distorsiyon

Master's Thesis

Computer Aided Fixture Design and Experimental Investigation of After The Weld Distortions

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

Increasing production need day by day has enabled the development of fixture designs that can be used in many functions, allowing fast, quality and desired results more quickly, enabling a more controlled production. Fixtures are important process elements that position, fix or support products in the production process. In addition, it is an important element in quality control and assembly departments together with automation-based production. Fixtures are unique in that they are designed to handle a particular process in a particular part. In this study, the designs of some control, assembly and welding fixtures designed to solve different problems were examined and the distortions that occur after the welded manufacturing were investigated experimentally with the help of a welding fixture. The obtained findings were discussed and the results were evaluated using some measurement and control methods.

Year : 2021

Number of Pages : 107

Keywords : Computer aided design, CAD, CAFD, welding, distorsion

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında başından sonuna kadar emeği geçen, teknik bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen ve bana yol gösteren saygıdeğer hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Cenk MISIRLI'ya ve süreç içerisinde her konuda yardımcı olan destek veren Araş. Görevlisi Sayın Selçuk SELVİ'ye ve yine süreç içerisinde destek olan Özel Makina Sac ve Metal San. Ltd. Şti 'nin kıymetli yöneticilerine ve genel müdürümüz Sayın Levent TAYLAN'a katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **İV**

ABSTRACT ..... **V**

TEŞEKKÜR ..... **Vİ**

İÇİNDEKİLER ..... **Vİİ**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **X**

KISALTMALAR ..... **Xİ**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **Xİİ**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **XVİİ**

BÖLÜM 1 ..... **1**

GİRİŞ 1

1.1. Tezin Konusu ve Önemi 1

1.2. Tezin Kapsamı 2

BÖLÜM 2 ..... **5**

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 5

2.1. Literatürdeki Çalışmalar 5

BÖLÜM 3 ..... **24**

GENEL BİLGİLER 24

3.1. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) 24

3.2. Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı (CAFD) 26

3.2.1. Ölçme ve Kontrol Fikstürleri (CF) 27

3.2.2. Montaj Fikstürleri 34

3.2.3. Kaynak Fikstürleri 36
3.3. Kaynağın Ülkemizdeki Gelişimi 41
3.4. Kaynak Yöntemleri 41
3.5. Gazaltı Kaynak Yöntemleri 43
3.5.1. MIG Kaynağı (Metal Inert Gas) 44
3.5.2. MAG Kaynağı (Metal Activ Gas) 46
3.5.3. MIG-MAG Kaynak Donanımları 46
BÖLÜM 4 49
KAYNAKTA DİSTORSİYONLAR 49
4.1. Temel Kavramlar 50
4.1.1. Çelik Malzemenin Tanımı ve Türleri 50
4.1.2. Tane Yapısı (Billur) 51
4.1.3. Kristal Kafes Yapısı 52
4.1.4. Allotropi 54
4.1.5. Katı Eriyik ve Karbür 55
4.1.6. Demir-Karbon Denge Diyagramı ve Faz Yapıları 56
4.1.7. Çelikte Soğuma Diyagramları 57
4.2. Kaynakta Oluşan Isı Alanları 59
4.2.1. Kaynakta Oluşan Isı Girdisi 59
4.2.2. Metallerin Kaynak Kabiliyeti 60
4.2.3. Kaynak Dikişinin Alaşım ve Tanesel Yapısı 61
4.3. Kaynakta Artık Gerilmeler ve Distorsiyonlar 63
4.3.1. Artık Gerilmelerin Oluşumu 63
4.3.2. Distorsiyon 65
4.3.3. Distorsiyonları Azaltıcı Önlemler 67
4.3.4. Distorsiyon Üzerinde Etkili Olan Malzeme Özellikleri 68
4.3.5. Distorsiyon Eğilimi Yönünden Malzemelerin Mukayesesi 69
4.4. Kaynaklı Yapılarda Oluşan Distorsiyon Tipleri 70
4.4.1. Enine Distorsiyon 70
4.4.2. Boyuna Distorsiyon 71
4.4.3. Açısal Distorsiyon 71
4.4.3.1. Açısal Distorsiyona Etki Eden Faktörler 72

4.5. Kaynaklı Yapılarda Distorsiyon Ölçme Yöntemleri 72
4.5.1. Profil İzleyici Ölçümü 72
4.5.2. Komparatör ile Ölçüm 73
4.5.3. Kumpas ile Ölçüm 74
4.5.4. Üç Boyutlu Ölçüm Cihazı (CMM) 74
4.5.5. Dijital Görüntü Korelasyonu 75
4.5.6. Lazer Tarama Yöntemi ile Ölçüm 75

BÖLÜM 5 77

MATERYAL VE METOD 77
5.1. Deneyde Kullanılan Materyaller ve Özellikleri 77
5.2. Fikstür Tasarımı 78
5.3. Kaynak Parametreleri 81
5.4. Deneysel Sonuçlar 83

BÖLÜM 6 85

SONUÇLAR VE TARTIŞMA 85

KAYNAKLAR 87

ÖZGEÇMİŞ 90

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

σ_{ak}	: Akma gerilimi
σ_a	: Akma sınırı
λ	: Isıl genleşme katsayısı
°C	: Santigrat
µm	: Mikrometre
A°	: Angstron
V	: Poisson oranı
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
N_2	: Nitrojen
H_2	: Hidrojen
O_2	: Oksijen
Fe_3C	: Demir karbür
A	: Amper
Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
C	: Karbon
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
E	: Elastisite modülü
F	: Kuvvet
Fe	: Demir
G	: Kayma modülü
k	: Isıl iletkenlik
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Newton
Ni	: Nikel
P	: Basınç
Pa	: Pascal
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay

Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum
W	: Tungsten

KISALTMALAR

2D	: İki boyutlu
3D	: Üç boyutlu
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
CAFD	: Bilgisayar destekli fikstür tasarımı
CAM	: Bilgisayar destekli üretim
CF	: Kontrol fikstürü
CFD	: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
CMM	: Koordinat ölçüm makinaları
CNC	: Bilgisayarlı nümerik kontrol
DIC	: Dijital görüntü korelasyonu
FEM	: Sonlu elemanlar metodu
FSW	: Sürtünme karıştırma kaynağı
HMK	: Hacim merkezli küp
IEA	: Isı etkisi altında kalan alan
MAG	: Metal aktif gaz
MIG	: Metal pasif gaz
NC	: Nümerik kontrol
PC	: Programlanabilir kontrol
PLC	: Programlanabilir lojik kontrol
TIG	: Tungsten ınert gas
YMK	: Yüzey merkezli küp

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kairan ve Srihari (2015)'in yaptıkları çalışmaya göre farklı konseplerde tasarlanmış fikstürler. 6
Şekil 2.2. Gharib vd. (2019)'un çalışmasına göre iki klemp konumu arasındaki açısal ve bükülme distorsiyonu. 7
Şekil 2.3. Gharib vd. (2019)'un çalışmasına göre distorsiyon ölçümü için node'ların bilinen kodları ve kaynak sonrası distorsiyonların ölçülmesi. 7
Şekil 2.4. Suthar vd. (2013)'ün çalışmasına göre konveksiyonel ortam sıcaklığı 35 °C (a), maksimum sıcaklık dağılımı 1400 °C (b). 8
Şekil 2.5. Suthar vd. (2013)'ün çalışmasına göre aerodinamik akış üretimi ve türbülans etkisi (c), basınç dağılımı analizi (d). 8
Şekil 2.6. Karmarkar vd. (2015)'in çalışmasına göre kaldıraçsız montaj (a), önerilen montaj (b). 9
Şekil 2.7. Monkova vd. (2014)'ün çalışmasına göre, audi otomobilinde tasarım için iki çeşit arka koltuk başlığı braketi vardır. Birincisi tek koltuk (a), ikincisi çift koltuk başlığı (b). 10
Şekil 2.8. Monkova vd. (2014)'ün yaptıkları çalışmaya göre arka koltuk başlığı braketinin 3D detay modeli. 10
Şekil 2.9. Monkova vd. (2014)'ün yaptıkları çalışmaya göre 3D final fikstürü modeli. 10
Şekil 2.10. Anual vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre 3D iş parçası ve fikstür modeli (a), paslanmaz çelik için fikstür sıcaklık dağılımı(b). 11
Şekil 2.11. Anual vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre minimum ve maksimum sıcaklıkların karşılaştırılması. 12
Şekil 2.12. Anual vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre toplam ısı akısının 10 saniyedeki kontrastı. 12

Şekil 2.13. Peshatwar ve Raut (2013)'ün yaptıkları çalışmaya göre eksantrik mil ve eksantrik mil üzerindeki kama yuvalarının işlenmesi için modellenmiş fikstür tasarımı. 13
Şekil 2.14. Peshatwar ve Raut (2013)'ün yaptıkları çalışmaya göre V bloğunun statik deformasyonu ve stress analizi. 14
Şekil 2.15. Peshatwar ve Raut (2013)'ün yaptıkları çalışmaya göre minumum ve maksimum von misses gerilmesi (eşdeğer çekme gerilmesi) ve v bloktaki minimum ve maksimum deformasyon. 14
Şekil 2.16. Wang vd. (2020)'nin yaptıkları çalışmaya göre esnek fikstür ve ince cidarlı iş parçası(a), iş parçasının eşdeğer sonlu elemanlar modeli(b). 15
Şekil 2. 17. Zajac vd. (2018)'in yaptıkları çalışmada kullanılan fikstür tasarımı. 16
Şekil 2.18. Maniar ve Vakharia (2014)'ün yaptıkları çalışmaya göre bitmiş parça çizimi (a), Ham bileşenin 3D görünümü(b), Bitmiş parçanın enine kesit görünümü(c), Bitmiş parçanın 3D görünümü (d). 17
Şekil 2.19. Maniar ve Vakharia (2014)'ün yaptıkları çalışmaya göre fikstürün 2D çizimi(a), Fikstürün iş parçasız 3B görünümü(b), Fikstürün 3D arkadan görünüşü(c), Fikstürün iş parçalı 3D görünüşü(d), 3D patlatılmış görünüm(e). 17
Şekil 2.20. Ramnath vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre fikstürün izometrik görünümü. 18
Şekil 2.21. Ramnath vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre C45 için gerilme ve deformasyon diyagramı. 18
Şekil 2.22. Buffa ve Fratini (2011)'in yaptıkları çalışmaya göre deneysel fikstür görünümü. 19
Şekil 2.23. Buffa ve Fratini (2011)'in yaptıkları çalışmaya göre kaynak torcu sıcaklık dağılımı (a),WC ek parçası sıcaklık dağılımı (b), Plaka sıcaklık dağılımları (c). 19
Şekil 2.24. Nagasankar vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre, 3D fikstür modeli (a), Toplam deformasyon (b). 20
Şekil 2.25. Yuvaraj vd. (2016)'nın yaptıkları çalışmaya göre izometrik fikstür görünümü. 21
Şekil 2.26. Mishra (2017)'de yaptığı çalışmaya göre 2D ve 3D fikstür tasarımı..... 22
Şekil 2.27. Semjon vd. (2013)'ün yaptıkları çalışmaya göre kaynatılan parça ve modüler kaynak fikstürü. 23

Şekil 2.28. Semjon vd. (2013)'ün yaptıkları çalışmaya göre punta kaynağı için robot iş istasyonu. 23
Şekil 3.1. 3D fikstür(a), Bir otomotiv üretim fabrikasında araçların boya hattına taşınmasında kullanılan askı sistemi(b). 28
Şekil 3.2. 3D fikstür ve askı modeli. 28
Şekil 3.3. İmal edilmiş fikstür ve askı modeli. 29
Şekil 3.4. 3D fikstür tasarımı. 29
Şekil 3.5. 3D ürün modeli ve 3D fikstür tasarımı. 30
Şekil 3.6. 3D Fikstür(a), Bir otomotiv üretim fabrikasında araçların montaj hattına taşınmasında kullanılan lift sistemi(b). 31
Şekil 3.7. 3D lift modeli ve 3D fikstür tasarımı. 31
Şekil 3.8. İmal edilmiş fikstür ve lift. 32
Şekil 3.9. Sabit ve hareketli fikstür elemanları ile kontrol. 32
Şekil 3.10. Fikstürün sabit kontrol pimleri ile lift çap kontrolü. 32
Şekil 3.11. 3D fikstür ölçüm raporları [a-b-c-d-e-f-g-h]. 34
Şekil 3.12. Ürün ve 3D fikstür modeli. 35
Şekil 3.13. 3D fikstür ve 3D ürün modeli. 38
Şekil 3.14. 3D yardımcı aparat ve ürün birlikte izometrik(a), 3D yardımcı aparat ve ürün birlikte(b),Yardımcı kaynak fikstür aparatı (c). 39
Şekil 3.15. 3D fikstür ve 3D ürün modeli birlikte gösterimi. 39
Şekil 3.16. Kaynak esnasında kullanılmak üzere imal edilmiş fikstür. 40
Şekil 3.17. Ürünün fikstür üzerinde kaynağı. 40
Şekil 3.18. Yamık ve Erzen (2021)'in çalışmasına göre ergitme ve basınç kaynağının şematik gösterimi. 42
Şekil 3.19. Kaynağın genel olarak sınıflandırılması 43
Şekil 3.20. Gedik Holding A.Ş. (1990)'nın çalışmasına göre MIG/MAG kaynak yönteminde ark bölgesi. 45
Şekil 3.21. Yamık ve Erzen (2021)'in çalışmasına göre MIG/MAG şematik gösterim. 45
Şekil 3.22. Uzun (2021)'in çalışmasına göre MİG-MAG gazaltı kaynak ekipmanları. . 47
Şekil 4.1. Çelik (2021)'in çalışmasına göre tane oluşum aşamaları 52
Şekil 4.2. Çelik (2021)'in çalışmasına göre karbonlu çeliğin iki birim hücresi. 54
Şekil 4.3. Çelik (2021)'in çalışmasına göre demir-karbon denge diyagramı. 56

Şekil 4.4. Çelik (2021)'in çalışmasına göre çeliğin karbon oranıyla değişen yapısı. 57
Şekil 4.5. Çelik (2021)'in çalışmasına göre çeliğin soğuma diyagramları. 58
Şekil 4.6. Yamık ve Erzen (2021)'in çalışmasına göre kaynak kabiliyeti. 61
Şekil 4.7. Çelik (2021)'in çalışmasına göre a), Sütunsal ve kaba taneli kötü kaynak yapısı b)İnce ve kaba taneli bölgeleriyle kaynağın tipik yapısı. 62
Şekil 4.8. Çelik (2021)'in çalışmasına göre üç pasolu dikişte köke çok yakın bir noktada sıcaklık değişimi. 63
Şekil 4.9. Çelik (2021)'in çalışmasına göre sabitlenen bir çubuğun ısınma ve soğumada iç gerilme değişimi. 63
Şekil 4. 10. Çelik (2021)'in çalışmasına göre kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma bölgeleri. 64
Şekil 4.11. Çelik (2021)'in çalışmasına göre kaynakta kalıntı gerilmelerin enine dağılımı. 65
Şekil 4.12. Çelik (2021)'in çalışmasına göre kaynak yapılan bir levhanın boydan ve enden distorsiyonu. 65
Şekil 4.13. Çelik (2021)'in çalışmasına göre kaynak yapılan iki levha için açısal distorsiyon. 66
Şekil 4.14. Çelik (2021)'in çalışmasına göre köşe kaynağında oluşan distorsiyonlar. .. 66
Şekil 4.15. Yiğit (2019)'un çalışmasına göre kaynaklı birleştirmede oluşan distorsiyon tipleri. 70
Şekil 4.16. Yiğit (2019)'un çalışmasına göre eğilme distorsiyonu ölçmek için profil izleyici şematik diyagramı. 73
Şekil 4.17. Komparatör (ölçü saati) nedir, ne işe yarar,nasıl kullanılır (2021)'in çalışmasında kompratör ile kaynakta çarpılma ölçümü. 73
Şekil 4.18. Kumpas nedir, nasıl okunur (2021)'in çalışmasına göre verniyerli sürgülü kumpas 74
Şekil 4.19. Yiğit (2019)'un çalışmasına göre üç boyutlu ölçüm cihazı (CMM). 74
Şekil 4. 20. Measurement principles of DIC (2021)'in çalışmasına göre dijital görüntü korelasyonu ölçüm yöntemi. 75
Şekil 4.21. Yiğit (2019)'un çalışmasına göre lazer tarama yöntemi 76
Şekil 5.1. Kaynatılmış parça..... 77
Şekil 5.2. Sensör tutucu braket parçaları..... 79

Şekil 5.3. Weman (2021)'in çalışmasına göre olası distorsiyon yönü 79
Şekil 5.4. İş parçası cıvata bağlantıları ve konumlanma yüzeyi 80
Şekil 5.5. Solidworks'de tasarlanmış montaj fikstürü ve iş parçası 80
Şekil 5.6. İmal edilmiş fikstür ve iş parçası 81
Şekil 5.7. Gazaltı kaynak makinası 81
Şekil 5.8. Fikstürde ve fikstür dışında ölçülen distorsiyon değerleri grafiği 83
Şekil 5.9. Kaynatılmış braket numuneleri 84
Şekil 5.10. Numunelerin kaynak sonrası ölçümü 84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Çelik (2021)'in çalışmasına göre Fe-C alaşımlarının almış olduğu isimler51
Çizelge 4.2. Çelik (2021)'in çalışmasına göre bazı metallerin birim hücre şekli ve büyüklüğü 53
Çizelge 4.3. Çelik (2021)'in çalışmasına göre sıcaklıkla kristal kafes geometrilerini değiştiren ve değiştirmeyen bazı metaller. 55
Çizelge 5.1. Kaynak metalinin kimyasal özellikleri 78
Çizelge 5.2. Kaynak telinin mekanik özellikleri 78
Çizelge 5.3. Kaynak telinin kimyasal özellikleri 78
Çizelge 5.4. Deneylerde uygulanan kaynak koşulları 82
Çizelge 5.5. Testlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri 82
Çizelge 5.6. Kaynaklı numunelerde ölçülen açısal distorsiyonlar 82

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Tezin Konusu ve Önemi

Modern sanayinin gelişimi ile birlikte internetin de üretimde kullanılması yeni bir çağ başlatmıştır. Endüstri 4.0 veya 4.sanayi devrimi olarak ifade edilen bu yenilik, üretimin dijitalleştirilmesinin yanında akıllı fabrikaları da ortaya çıkarmıştır. Verimli iş modellerinin önünü açan bu sürecin gelişimi birkaç yüz yıl sürmüş ve günümüze gelinceye kadar birçok evreden geçmiştir. Bu sanayi devrimi ile birlikte, birbirleriyle haberleşen, sensörler ile ortamı algılayabilen, veri analizi sayesinde hedef kitlelerinin taleplerinin belirlendiği ve ona göre üretimin şekillendiği, üretimin tamamen robotlara bırakıldığı, daha kaliteli, hızlı, ucuz ve az israf yapan bir üretim sistemi gelişmiştir. Günümüzde özellikle otomotiv ve diğer endüstriyel alanlardaki rekabet ortamında işletmelerin varlıklarını koruyabilmeleri ve sürdürülebilirliğin sağlanması için bu sistemin uygulanması kaçınılmaz olmuştur.

İşte tamda bu noktada bu akıllı fabrikasyon sistemlerinin ve yeniçağ üretim modelinin aslında en önemli ayağını üretimi çok etkin ve aktif kullanmamızı sağlayan yardımcı üretim elemanları olarak adlandırdığımız fikstürler oluşturmaktadır. İnsan müdahalesinin çok az olduğu bu sistemde en kilit nokta üretimi kolaylaştıran fikstürlerin sağladığı avantajlardır. Tasarım, analiz, otomasyon ve yazılımla güçlenen bu sistemde robotlar ürüne göre tasarlanmış kontrol, montaj ve kaynak fikstürleri yardımı ile üretim işlemlerini tamamlamaktadırlar.

Fikstürler, üretim sürecindeki ürünleri konumlama, sabitleme ve destekleme görevi yapan, yardımcı üretim ve montaj elemanlarıdır. Ayrıca kalite kontrol ve kaynak alanlarının da önemli bir parçasıdır. İşlem yapılacak parçanın, tanımlanmış konumuna yerleştirilmesini sağlarlar. Bu konumun seri ve çoklu üretimlerde değişken olmaması takip eden işlemin tekrarlanabilir olması bakımından önem arz etmektedir. Fikstürler, üretimde montaj verimliliğini ve ergonomiyi arttırırken, hataları azaltır, talaşlı imalatta kaliteli ve güvenli bir üretim sağlarken, hassas parçaların belli bir standardizasyonda, zamandan tasarruf edilerek üretilmesine de olanak sağlarlar. Ayrıca iş sağlığı ve güvenliği konularına da önemli ölçüde katkı sunarlar. Fikstürlerin tasarımı için son zamanlarda hızla gelişen teknolojiyle beraber birçok yeni bilgisayar destekli tasarım, analiz ve ölçüm programları ortaya çıkmış, programlanabilir esnek otomasyon ve dijital sistemler ile fikstürlerin üretimde ve başka birçok alandaki kullanımı daha verimli hale gelmiştir. Bilgisayar destekli tasarım programları ile artık birçok fikstür, kalıp veya makinaların tasarımı çok daha basit ve tasarlanan modelin bir analiz programında işlevselliğinin kontrolü daha mümkün bir hal almıştır.

Geçmişte birçok endüstriyel alanda sıklıkla kullanılan kaynak işlemi ve kaynaklı imalat günümüz teknolojisinde de daha gelişmiş kullanım yöntemleri ile çok önemli bir noktaya gelmiştir. Hemen hemen bütün üretim alanlarında aktif ve yaygın bir kullanıma sahiptir. Özellikle otomotiv, havacılık, uzay, enerji, döküm, kalıp ve diğer birçok alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bağlamda tezimizin de konusu olan kaynak işlemleri ve bu işlemlerde kullanılan fikstürlerin kaynak sonrası distorsiyonlara etkisi ele alınmış ve örnek numuneler ile kapsamlı olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında farklı problemlerin çözümü için tasarlanmış kontrol, montaj ve kaynak fikstürlerinin tasarımı incelenmiş ve kaynaklı imalat sonrası meydana gelen distorsiyonlar deneysel olarak araştırılmış olup, elde edilen bulgular tartışılarak, sonuçlar birtakım ölçme ve kontrol yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

1.2. Tezin Kapsamı

Sürekli değişen ve gelişen üretim dünyasında, birtakım üretim kolaylığı sağlamak, verimliliği arttırıp, hataları azaltmak, daha ergonomik bir çalışma sağlamak için birtakım fikstür dediğimiz yardımcı üretim elemanlarına ihtiyaç vardır. Bu elemanlar bir takım

bilgisayar destekli programlarda tasarlanmakta ve bu tasarım doğrultusunda üretilerek amaçlanan problemin çözümü için kullanılmaktadır.

Bölüm 2'de bu tez çalışmasında yararlanılan bilgisayar destekli fikstür tasarımı ve kaynak sonrası distorsiyonların deneysel olarak incelenmesi ile ilgili olarak bu zamana kadar yapılmış olan makaleler ve çalışmalar kısaca açıklanmıştır. Böylece daha önce yapılmış olan çalışmalar araştırılarak teze konu olan problem için ön hazırlık yapılmıştır.

Bölüm 3'de sırasıyla bilgisayar destekli tasarım programından ve sonrasında kontrol, montaj, kaynak fikstürleri, kaynağın tanımı ve kaynak yöntemleri konusuna değinilerek kısa ve temel bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler öngörü ve tezin ilerleyişi hakkında fikir sahibi olma açısından fayda sağlayacaktır. Özellikle otomotiv sektöründe kumpas ve mikrometre gibi el aletleri ile ölçülemeyecek şekildeki kompleks parçaların ürün kalitesinin doğruluğunun kontrol edilmesi için tasarlanan fikstürlere değinilmiştir. Manuel olarak yapılan montaj operasyonları, işlem süresini arttırmaktadır. Dolayısıyla ürünü pozisyonlama, ayarlama, sabitleme şeklindeki çalışmalar üretim zamanını etkilediğinden bu gibi sorunların çözümlenmesi için bilgisayar destekli programlarda tasarlanmış montaj fikstürleri incelenmiştir. Başta otomotiv, beyaz eşya ve benzeri sektörlerde seri üretimin yapılması, kaynak sürelerinin kısalması ve istenilen hassasiyette kaynak ile birleştirme işleminin yapılması gibi problemlerin çözümüne olanak sağlayan, ölçüsel hataların önlenmesi açısından son derece önemli olan kaynak fikstürlerinin tasarımından bahsedilmiştir. Daha sonra tezimizin ana konularından biri olan bir çok üretim alanlarında da yoğun olarak kullanılan kaynak, kaynak yöntemleri, kaynak parametreleri, uygulama alanları üzerinde durulmuştur.

Bölüm 4'te kaynakta distorsiyonlar ana başlığı altında temel kavramlar, kaynakta ısı alanları, artık gerilmeler, distorsiyon azaltıcı önlemler, distorsiyon üzerinde etkili olan malzeme özellikleri, kaynaklı yapılarda oluşan distorsiyon tipleri ve kaynaklı yapılarda distorsiyon ölçme ve kontrol yöntemleri gibi konulara değinilmiştir.

Bölüm 5'de aynı türdeki çelik esaslı malzemelerden gerçek numuneler alınarak bu numunelere göre özel kaynak fikstürü tasarlanmış olup, kaynak sonrası distorsiyonlar, kullanılan materyal, malzeme özellikleri ve kaynak parametreleri dikkate alınarak çalışma deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen bulgular tartışılarak yorumlanmıştır.

Bölüm 6'da ise bir önceki bölümde elde edilen veriler irdelenerek bu tez çalışmasında varılan sonuçlar tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

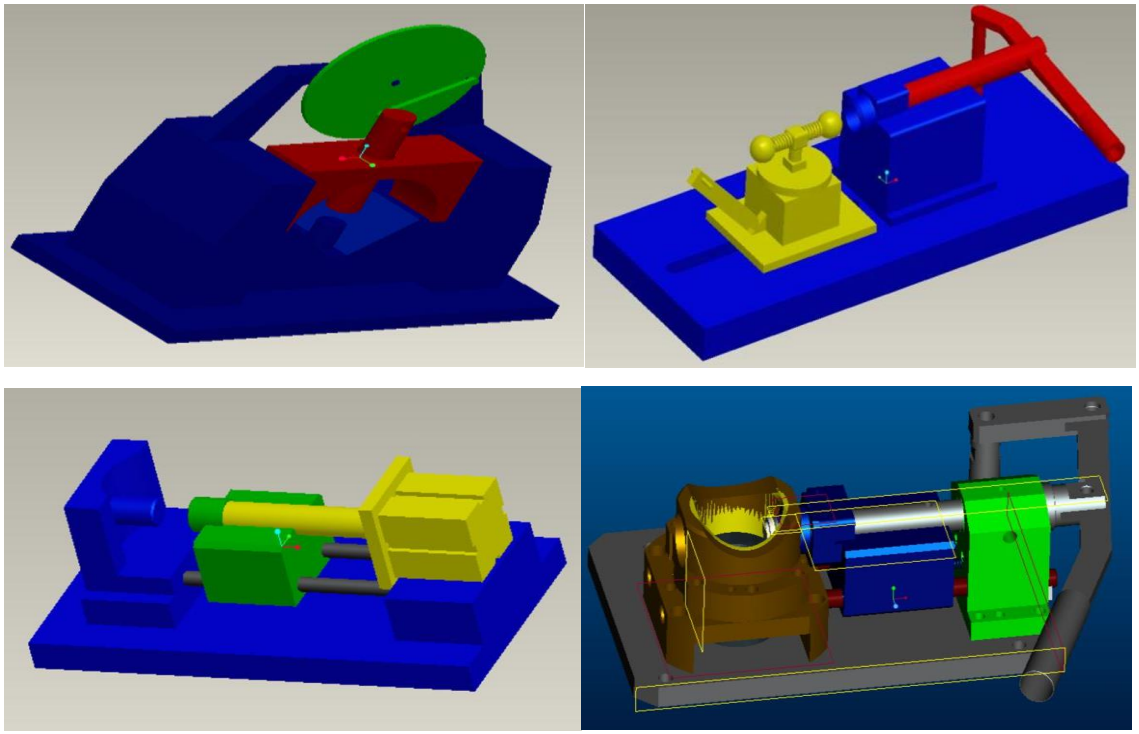
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Literatürdeki Çalışmalar

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte, bilgisayar destekli tasarım, analiz ve ölçüm programları güçlenmiş üretim için gerekli fikstür, aparat ve makinaların tasarımı daha kolay hale gelmiştir. Dolayısıyla iş parçasının pozisyon tamlığının sağlanması, operasyonel işlem kolaylığı ve güvenliği, iş parçasının dayanım ve mukavemetinin yükseltilmesi, özel ve seri olarak yapılan işlemlerde üretkenliğin artırılması ve kendi üretim maliyetlerinin düşürülmesi gibi işlemlerin sağlanması için fikstürlerin kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Özellikle otomotiv, beyaz eşya ve diğer birçok üretim alanlarında yoğun olarak kullanılan kontrol, montaj ve kaynak fikstürleri kaliteli ve güvenli bir üretim açısından büyük öneme sahiptir. Bilhassa kaynak fikstürleri büyük ve karmaşık yapılı sac parçaların birleştirilmesinde punta ve gaz altı kaynağı gibi kaynak yöntemlerinin yapılabilmesini sağlarken, üretim, ölçme ve kontrol safhalarını da hızlandırarak daha kolay hale getirmektedir. Tabi kaynak sonrası distorsiyonlar da göz önünde bulundurulduğunda, kaynaklı imalat süreçlerinde kaynak fikstürlerinin kullanımı artık elzem bir hal almıştır. Dolayısıyla bu konular ile ilgili her geçen gün yeni çalışmalar ortaya çıkmaktadır.

Kairan ve Srihari (2015)'in yapmış oldukları çalışmada, piston pim deliğine monte edilecek segman için tasarlanmış montaj fikstürünün tasarımını ve geliştirilmesini incelemişlerdir. Montaj bileşenleri dikkatlice incelendikten sonra, birkaç fikstür konsepti

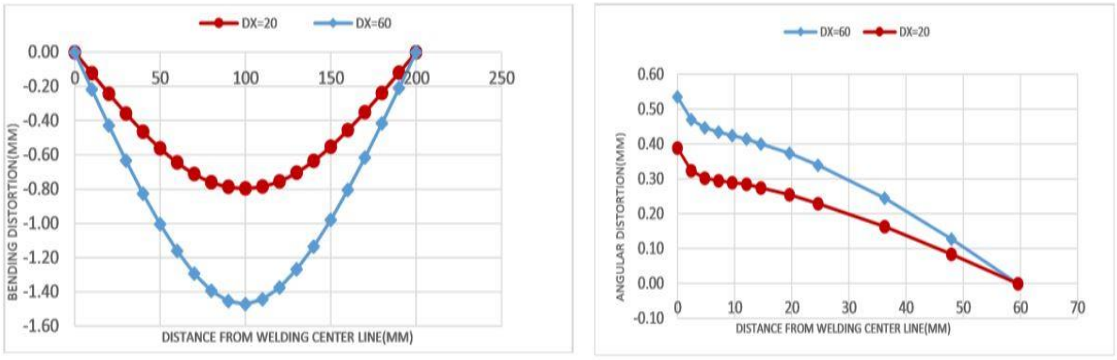
tasarlanmıştır. Bu kavramlar arasında en iyi konsept, konsept puanlama tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. Seçilen konseptin 3D tasarımı Pro-Engineer kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra bu tasarım doğrultusunda 2D teknik resimleri çıkarılarak üretimi sağlanmıştır. Fikstür uygulaması neticesinde bir gün içerisinde 2160 segman monte edilebilir hale gelmiştir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi çalışmada 4 farklı konsept tasarlanmıştır. En iyi konsept puanlama matrisi ile belirlenmiştir. Belirlenmiş önemli kriterler puanlama yoluyla değerlendirilmiş ve en iyi konsept seçilmiştir (Kairan & Srihari, 2015).



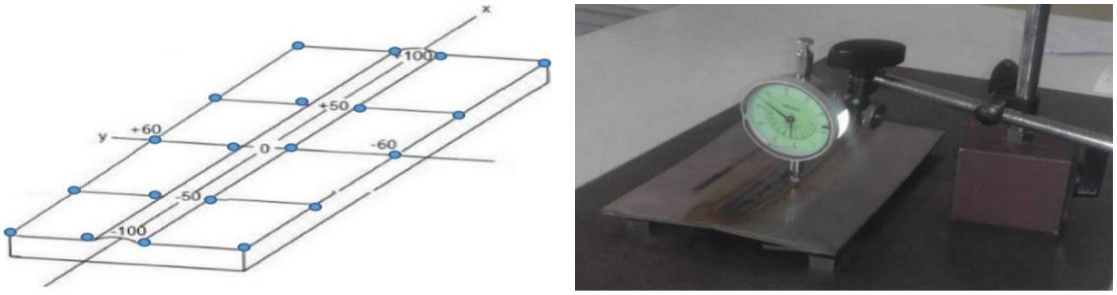
Şekil 2.1. Kairan ve Srihari (2015)'in yaptıkları çalışmaya göre farklı konseptlerde tasarlanmış fikstürler.

Gharib, Biglari, Shafaie ve Kokabi (2019)'un yapmış oldukları çalışmada, fikstür zamanının (klempleme süresinin) kaynatılan parçalar üzerindeki distorsiyonlara etkisi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Kaynak işlemi, östenitik paslanmaz çelik 304L alın kaynaklı bağlantıda TIG kaynak yöntemi ile yapılmıştır. Sayısal termo-mekanik analiz, sonlu elemanlar yazılımı ABAQUS kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal sonuçları doğrulamak için bir dizi deneysel test gerçekleştirilmiş ve kaynak distorsiyonları ölçülmüştür. Deneysel ölçülen veriler sayısal (FEM) sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar klemplemenin bükülme ve açısal distorsiyonların tersine

değişmesi gerektiğini göstermiştir. Tabi sıkıştırma süresindeki artış bükülme ve açısal distorsiyonu nispeten azaltmıştır (Şekil 2.2). Klemp kaynak veriler sayısal (FEM) sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 2.3). Sonuçlar klemplemenin bükülme ve açısal distorsiyonların tersine değişmesi gerektiğini göstermiştir. Tabi sıkıştırma süresindeki artış bükülme ve açısal distorsiyonu nispeten azaltmıştır. Klemp kaynak sonrası hemen açılmadan iş parçası oda sıcaklığında soğumaya bırakıldıktan sonra distorsiyonlarda % 70 azalma görülmüştür. Ayrıca klemp konumunun da distorsiyon üzerinde büyük etkisi vardır. Sıkıştırma pozisyonu kaynak hattına yaklaştırılırsa, distorsiyon azalır. 60 ile 20 mm sıkıştırma mesafesini azaltarak, açısal distorsiyon 0.15 mm yaklaşık % 25 azalır, 0.6 mm bükülme elde edilir. Çalışmada deneylerin ve sayısal yöntemin ölçülen sonuçlarının nispeten iyi bir uyum içinde olduğu ve hata miktarının kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu gözlenmiştir (Gharib vd., 2019).

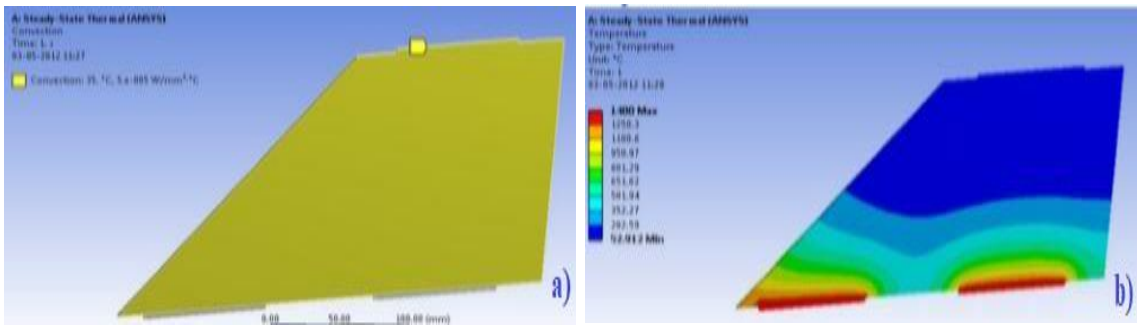


Şekil 2.2. Gharib vd. (2019)'un çalışmasına göre iki klemp konumu arasındaki açısal ve bükülme distorsiyonu.

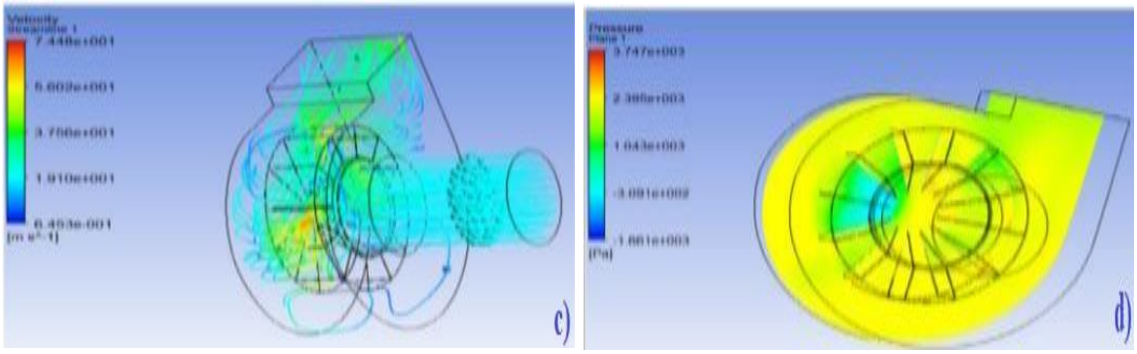


Şekil 2.3. Gharib vd. (2019)'un çalışmasına göre distorsiyon ölçümü için node'ların bilinen kodları ve kaynak sonrası distorsiyonların ölçülmesi.

Suthar, Patel ve Luhana (2013)'ün yapmış oldukları çalışmada bir egzoz pervanesi kaynağı için fikstür tasarımı ve analizini ele almışlardır. Yol yapımında kullanılan beton ve diğer hammaddelerin karıştırılmasında kullanılan tamburlu karıştırma tesisatında kullanılan bu pervane toz partiküllerini gidermek için egzoz sisteminde kullanılır. Fikstür, pervane imalatında kanatlar (kanatlar), üst ve alt plakalar gibi pervane grubunun farklı parçalarını tutmak için kullanılır. Bu çalışmada, pervane yapısının kendisini fikstür olarak kullanmanın yenilikçi bir yolunu göstermektedir ve bu durum kaynak işleminde meydana gelen distorsiyonları azaltmıştır. Bu makalede AutoCAD, Pro-e, Solidworks yazılımı kullanılarak modelleme çalışması yapılmış ve ANSYS yazılımı ile de analiz kısmı tamamlanmıştır. Kanatın kararlı durum termal analizinden, kanattaki anlık sıcaklık dağılımının 52 °C ila 1400 °C arasında değiştiği sonucuna varılmıştır (Şekil 2.4). Pervane CFD analizinden, pervane montaj tasarımındaki uygunsuz akımın, yanlış basınç, uygun olmayan gövde tasarımı ve pervane kanadının yanlış tasarımı gibi birçok nedenden dolayı oluştuğu elde edilmiştir (Şekil 2.5) (Suthar vd., 2013).

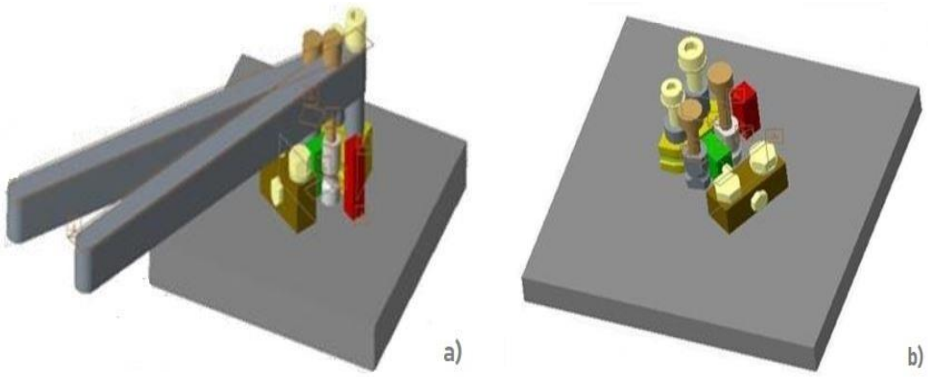


Şekil 2.4. Suthar vd. (2013)'ün çalışmasına göre konveksiyonel ortam sıcaklığı 35 °C (a), maksimum sıcaklık dağılımı 1400 °C (b).



Şekil 2.5. Suthar vd. (2013)'ün çalışmasına göre aerodinamik akış üretimi ve türbülans etkisi (c), basınç dağılımı analizi (d).

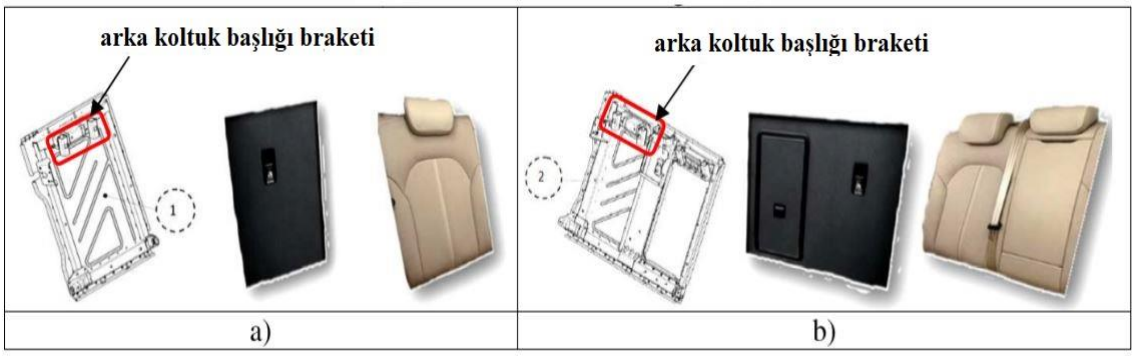
Karmarkar, Dhoraje ve Bhumkar (2015)'in yapmış oldukları çalışmada, piston soğutma nozullarında bükme işlemini gerçekleştirmek için bir fikstürün tasarlanması ve geliştirilmesi işlemini ele almışlardır. Mevcut işlem iki ayrı fikstür kullanılarak bükülmeyi içerir. Bu zaman alıcı bir işlemdir. Doğruluğu azaltır ve stok maliyetini artırır. Çalışmanın amacı, üzerindeki her iki bükümü de gerçekleştirecek tek bir fikstür geliştirmektir. Önerilen fikstür, nozüle sadece bir vuruşta iki büküm sağlayacaktır. Elde edilen tasarım kullanıcı dostu ve operatör tarafından kolayca kullanılabilir (Şekil 2.6). Böylece işlemin döngü süresini, mevcut işlemde gereken sürenin yarısına indirecektir. Doğruluk aynı anda korunarak stok maliyeti düşürülmüştür (Karmarkar vd., 2015).



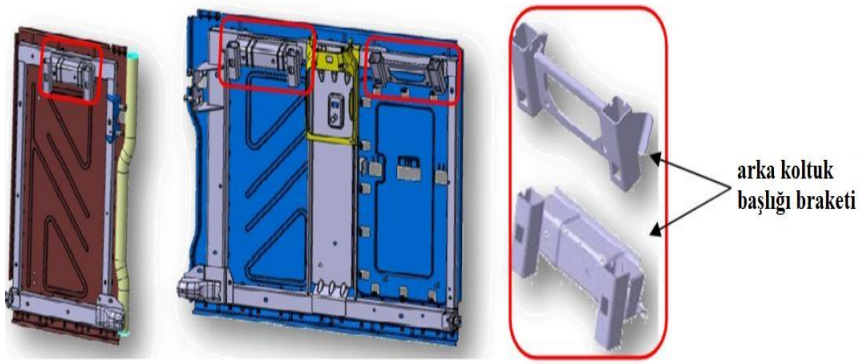
Şekil 2.6. Karmarkar vd. (2015)'in çalışmasına göre kaldıraçsız montaj (a), önerilen montaj (b).

Monkova, Monka, Andrej ve Somsak (2014)'ün yapmış oldukları çalışmada Audi'nin arka koltuk başlığı braketi için yapılan kaynak fikstürü tasarımını incelemişlerdir. Fikstür, tek tek bileşenlerin doğru pozisyonunu sağlamalıdır, çünkü iyi yapılmış kaynak, yolcuların ve nakliye güvenliğinin çok önemli bir parçasıdır. Çalışmada ilk olarak ürünlerin 3D modeli oluşturulmuş (Şekil 2.7 ve Şekil 2.8), daha sonra fikstür (ve bileşenleri) tasarlanmış ve sonunda otomatik üretim için kaynak tablosunun sanal modeli Autodesk Inventor Professional yazılımında hazırlanmıştır (Şekil 2.9). Modelin temelinde, gerçek fikstür üretilmiş ve gerçek üretimde işlevselliği doğrulanmıştır. Tüm kaynak işleminin verimliliği, önceki el kaynağı faaliyetlerine kıyasla artmıştır. Otomatik

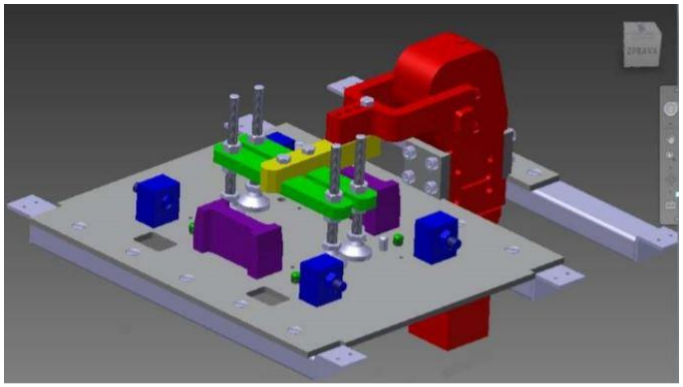
işlem başlatmak için yatırılan ilk maliyetler çok hızlı bir şekilde geri dönmüştür (Monkova vd., 2014).



Şekil 2.7. Monkova vd. (2014)'ün çalışmasına göre, audi otomobilinde tasarım için iki çeşit arka koltuk başlığı braketi vardır. Birincisi tek koltuk (a), ikincisi çift koltuk başlığı (b).

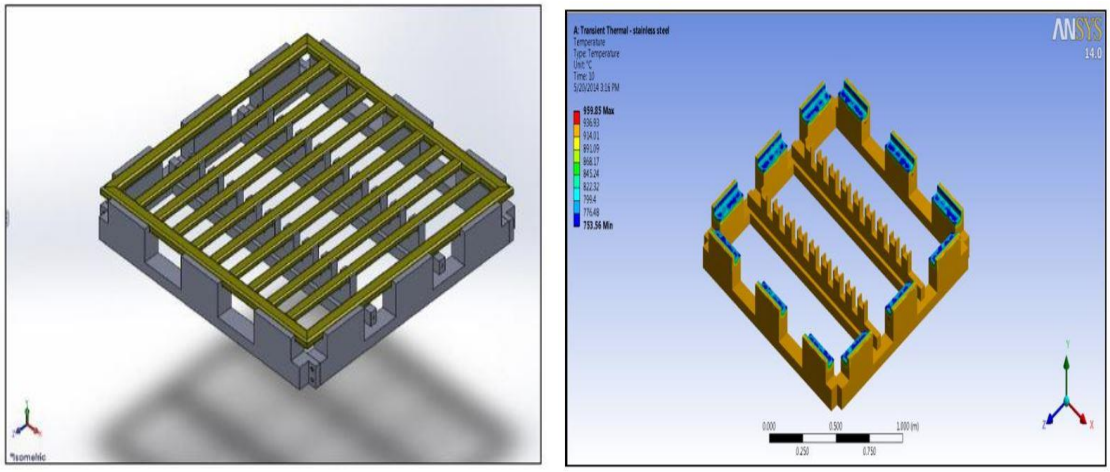


Şekil 2.8. Monkova vd. (2014)'ün yaptıkları çalışmaya göre arka koltuk başlığı braketinin 3D detay modeli.

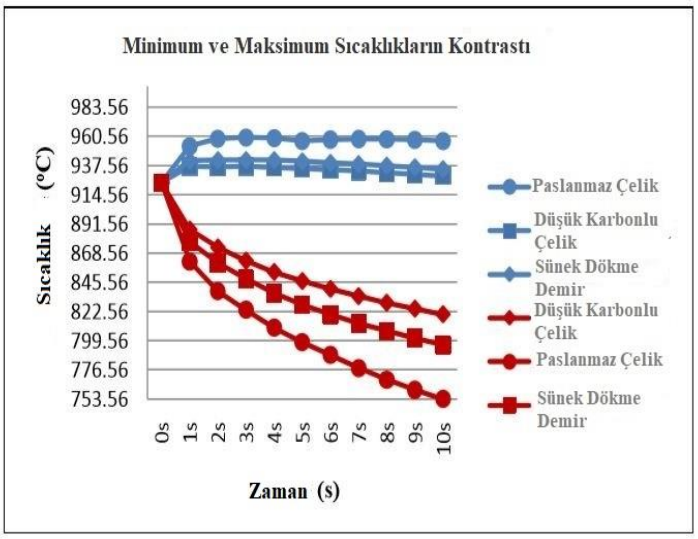


Şekil 2.9. Monkova vd. (2014)'ün yaptıkları çalışmaya göre 3D final fikstürü modeli.

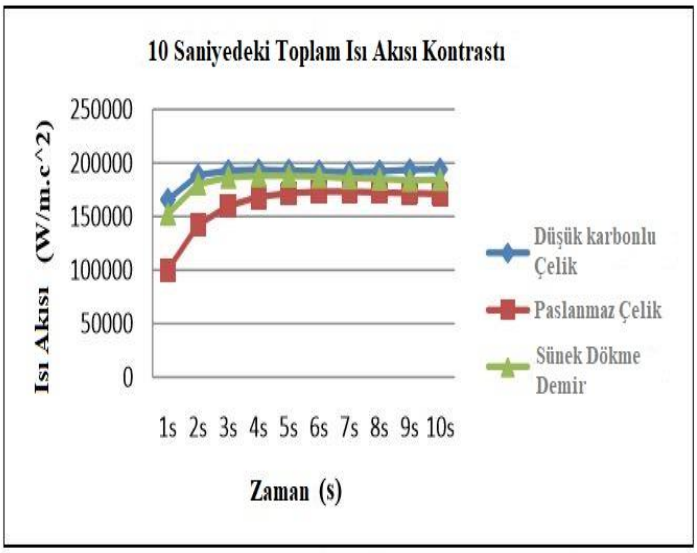
Anual, Sahroni, Akmal ve Nasution (2018)'in yapmış oldukları çalışmada uygun kaynak fikstürü tasarımı ve tasarıma dayalı en iyi malzeme seçimi doğrultusunda termal analiz konusunu incelemişlerdir. İş parçası, 40x60x4 mm ve 30x50x4 mm iki farklı boyutta dikdörtgen içi boş çelikten tasarlanmıştır. Çalışmada farklı üç konsept'te fikstür tasarlanmış ve en iyisi birtakım kriterler ve tecrübeler doğrultusunda seçilmiştir (Şekil 2.10a). Fikstür tasarımında, önemli faktörlerden biri, belirli bir işlev için uygun malzemeyi seçme yeteneğidir. Düşük karbonlu çelik, dökme demir (sünek) ve paslanmaz çelik olarak üç aday malzeme seçilmiştir. Önerilen tüm malzemeler fikstür tasarımı için uygundur. Buna ek olarak, fikstür malzemesinin standart kaynak sıcaklığına ve dinamik yük koşullarına dayanabilmesini sağlamak için tasarım analizi yapılmıştır. ANSYS yazılımı üzerinden sunulmuş sıcaklık dağılımı ve toplam ısı akısını gösterilmiştir (Şekil 2.10b). Şekil 2.11'de, paslanmaz çelik malzeme için maksimum ve minimum sıcaklık arasındaki kontrastı göstermektedir. Şekil 2.12'de önerilen malzemeler için minimum ve maksimum sıcaklıkların optimum karşılaştırması önemli ölçüde 10 saniye gibi bir sürede elde edilmektedir. Ayrıca çalışmada, en düşük sıcaklık 753.56 °C ile elde edilir. Bu nedenle, paslanmaz çeliğin maksimum sıcaklık 959.85 °C'den 753.56 °C'ye 10 saniye içinde hızla soğuduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, paslanmaz çelik malzemenin kaynak işlemi sırasında ısıyı aldıktan sonra ısıyı hızlı bir şekilde serbest bıraktığı, ısının transfer edildiği görülmektedir (Anual vd., 2018).



Şekil 2.10. Anual vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre 3D iş parçası ve fikstür modeli (a), paslanmaz çelik için fikstür sıcaklık dağılımı (b).



Şekil 2.11. Anual vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre minimum ve maksimum sıcaklıkların karşılaştırılması.

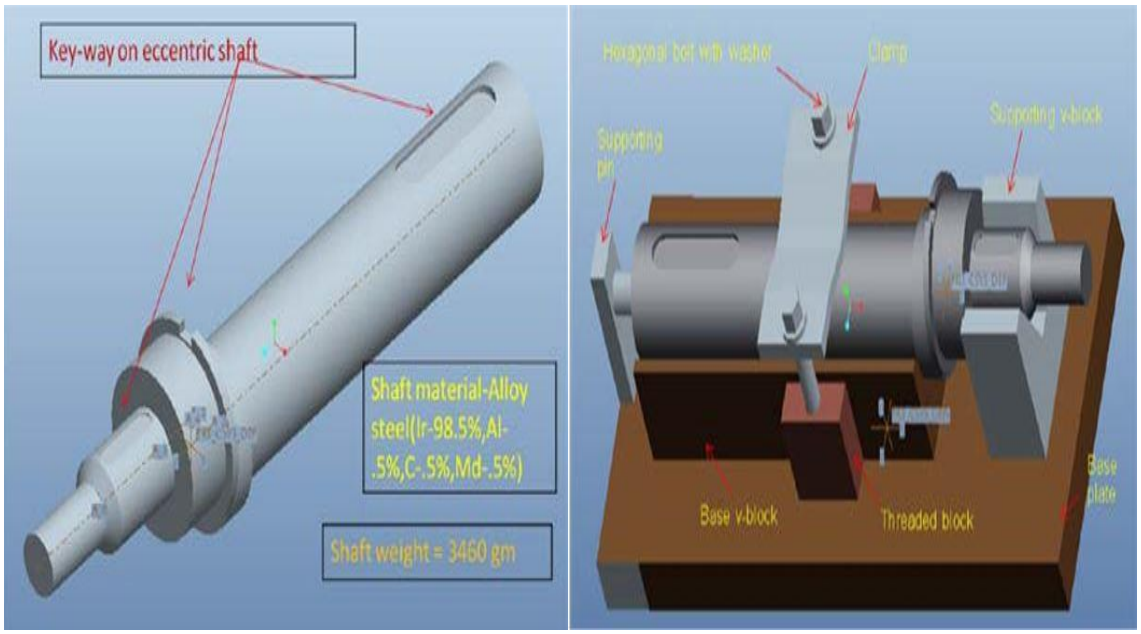


Şekil 2.12. Anual vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre toplam ısı akısının 10 saniyedeki kontrastı.

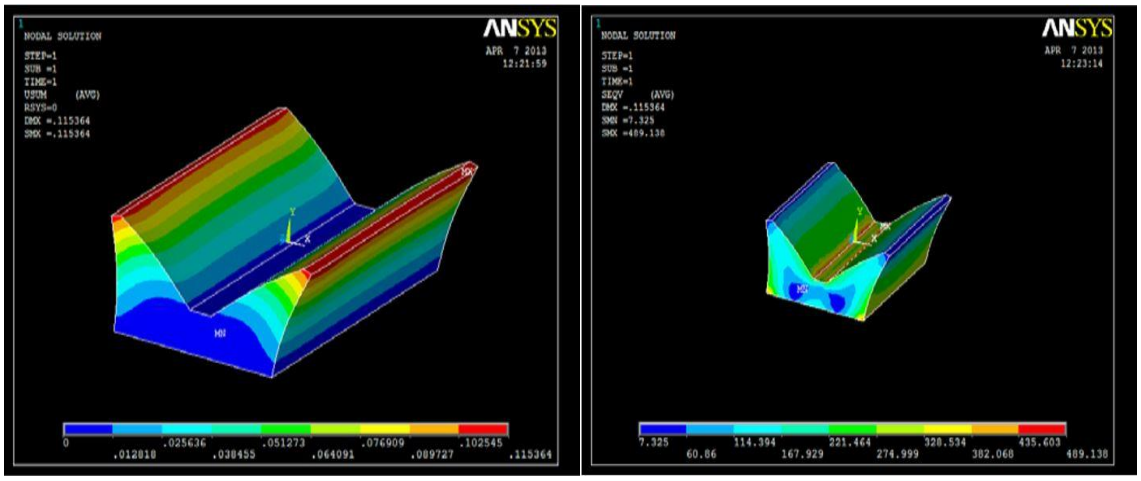
Peshatwar ve Raut (2013)'ün yapmış oldukları çalışmada, eksantrik mil üzerindeki kama kanallarının işlenmesi için bilgisayar destekli fikstür tasarımını ele almışlardır. Fikstür kullanımı ile kama yuvalarının işleme uygulaması endüstriden sanayiye farklılık gösterdiği için endüstrilerin gerektirdiği boyutlar birbirinden farklıdır. Eksantrik mil üzerinde üretilen kama yuvalarının yüksek işlenme hassasiyete sahip olmalıdır. Çalışmada fikstür Pro-Engineer Wildfire 5.0'da modellenmiş ve sonrasında ANSYS yazılımı kullanılarak statik analiz yapılmış sapma ve von misses gerilme

değerleri elde edilmiştir. Tasarımın modellenmesinde, iş parçası çizim analizi, elemanların tanımlanması (tespit için işlenmiş yüzeyler, olası kelepçe konumları, iş parçasının önemli bölgeleri, takım yolu, olası takım girişim noktaları vb.), destek, konum, kelepçeleme, taban, yönlendirme, bağlantı elemanları ve birtakım metodoloji unsurları (modüler, mengene, v-blok, nokta yüzeyi, açısal yapı, çok parçalı sıkma, 3-2-1 prensibi vb.) dikkate alınmıştır (Peshatwar & Raut, 2013).

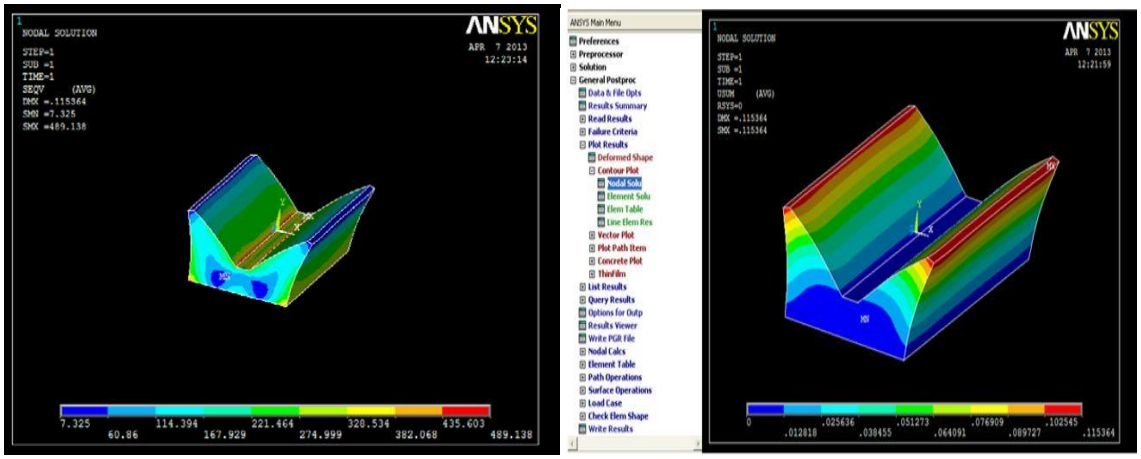
Çalışmanın analiz kısmında fikstüre etkiyen kuvvet sonrasında meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Analitik hesaplama ile v blok tabanın da 0.00141 mm sapma ve etki eden gerilim 515.26 Mpa olarak saptanmış, ANSYS ile yapılan analiz sonucunda ise 0.115364 mm sapma ve 486.138 Mpa etki eden gerilim saptanmıştır. Yapılan çalışmada alaşımlı çelikte izin verilen standart sapma değeri 4.389 mm ve etki eden gerilim von misses 620.442 Mpa'dır. Şekil 2.13, Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'teki değerlerden yola çıkılarak tasarımın güvenli olduğu söylenebilir (Peshatwar & Raut, 2013).



Şekil 2.13. Peshatwar ve Raut (2013)'ün yaptıkları çalışmaya göre eksantrik mil ve eksantrik mil üzerindeki kama yuvalarının işlenmesi için modellenmiş fikstür tasarımı.



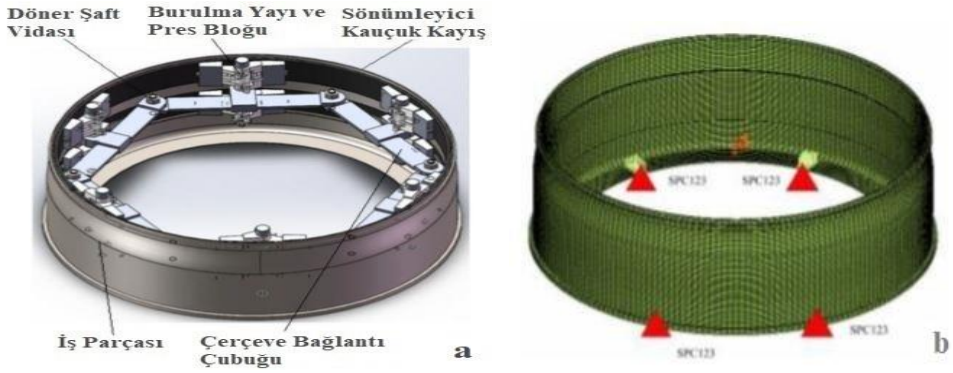
Şekil 2.14. Peshatwar ve Raut (2013)'ün yaptıkları çalışmaya göre V bloğunun statik deformasyonu ve stress analizi.



Şekil 2.15. Peshatwar ve Raut (2013)'ün yaptıkları çalışmaya göre minumum ve maksimum von misses gerilmesi (eşdeğer çekme gerilmesi) ve v bloktaki minimum ve maksimum deformasyon.

Wang, Ma, Peng, ve Ning (2020) yapmış oldukları çalışmada ince cidarlı bir iş parçası için tasarlanmış esnek bir fikstürün titreşim üzerine uyguladığı performans üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada birden fazla dinamik titreşim emici prensibine dayanan yeni bir esnek fikstür tasarlanmıştır. İnce cidarlı iş parçası ve esnek fikstür için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Modeli doğrulamak için, ince cidarlı iş parçası örnek olarak alınır ve dinamik modelin doğruluğu, model test sonuçları ile simülasyon sonuçları arasındaki karşılaştırma ile doğrulanır. Simülasyon ve deney sonuçları, modelin esnek bir fikstür altında, ince cidarlı iş parçasının dinamik tepkisini etkili bir şekilde yansıtabildiğini göstermektedir. Zayıf rijitliği nedeniyle ince cidarlı

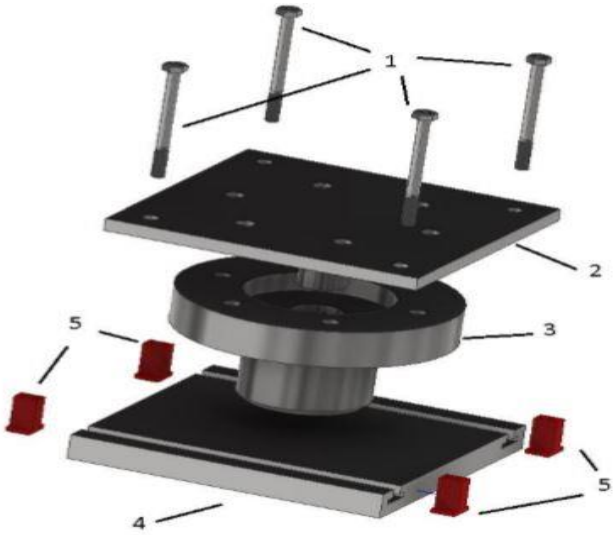
parçalar kesme işlemi sırasında istenmeyen farklı deformasyonlara uğrayabilmektedirler. Esnek bir fikstürle, iş parçasının frekans cevabının karşılık gelen genliği azaltılır. Kesme deneyleri ile; sistemin düşük dereceli titreşim genliğinin yaklaşık 20 kat azaltıldığı ve kesicinin ve iş parçasının bağlantı titreşim genliğinin esnek bir fikstürle yaklaşık 5 kat azaldığı tespit edilmiştir. Son olarak, esnek fikstürlerin gövde titreşimini bastırmak için etkili bir önlem olduğu da ifade edilmiştir. Şekil 2.16'da fikstür, iş parçası ve bu parçanın sonlu elemanlar metodu gösterilmiştir (Wang vd., 2020).



Şekil 2.16. Wang vd. (2020)'nin yaptıkları çalışmaya göre esnek fikstür ve ince cidarlı iş parçası (a), iş parçasının eşdeğer sonlu elemanlar modeli (b).

Zajac vd., (2018)'in yapmış oldukları çalışmada, eğitim süreçlerinde bilgisayar destekli fikstür tasarımı konusunu incelemişlerdir. Tasarım, Üretim Teknolojileri Fakültesi'nde eğitim sürecine entegre edilen Autodesk Inventor Professional 2017'de yapılmıştır. Çalışmada tasarlanan fikstür flanş olarak adlandırılan iş parçasındaki delikleri daha hızlı, pratik ve hassas şekilde delmeyi amaçlamak için tasarlanmıştır. Önemli bir kriterde flanşın delinme esnasında hareket etmemesidir. Flanşın hareket etmemesi için üst plakadan geçen M8 cıvatalar ile alt çalışma masasındaki kanallara takılan T şeklindeki M8 somun yardımı ile flanş sabitleştirilerek hareket etmesi engellenmiştir. Flanş'a 6 adet delik delinecektir. Bu deliklerin delinmesi için fikstür üst plakasına da referans delikler açılmıştır. Fikstür güvenilirdir, ancak uygulanması uzun bir sıkma süresi gerektirir. Bu, her delme işleminden sonra fikstürün sökülmesi gereken zaman alıcı bir iştir. Sonuç olarak, CAD tasarımının eğitim sürecine uygulanılarak bu makalede belirtildiği gibi pratikte sorunun çözülmeye hazır olunduğunu belirtmek mümkündür. Şekil 2.17'de

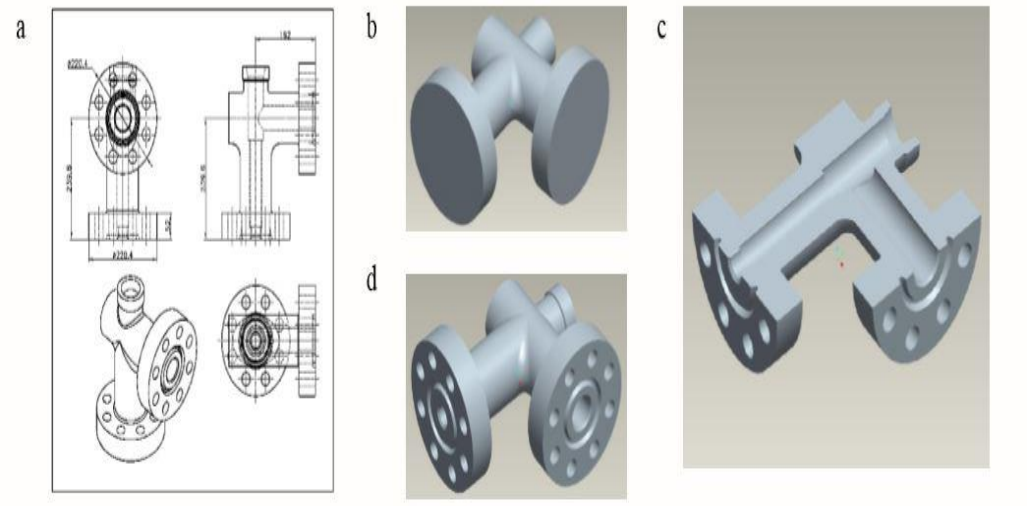
pratik bir bakış açısından, önerilen fikstürün, pratikte uygulanabilir olduğu ve daha yüksek hassasiyetle deliklerin üretilmesini sağladığı söylenebilir (Zajac vd., 2018).



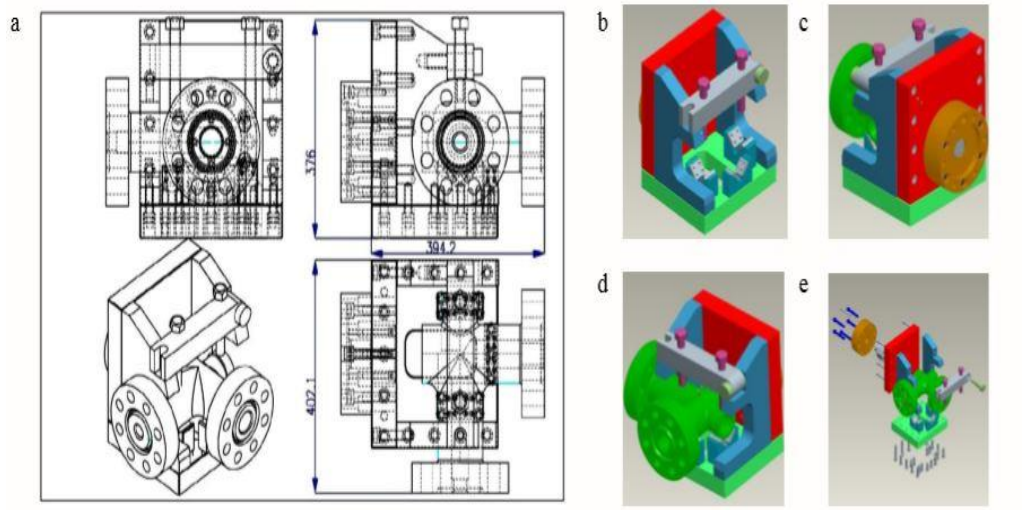
1. M8 cıvata
2. Fikstürün Üst Plakası
3. Flanş
4. Çalışma Masası
5. M8 Dişli T Somunlar

Şekil 2. 17. Zajac vd. (2018)'in yaptıkları çalışmada kullanılan fikstür tasarımı.

Maniar ve Vakharia (2014)'ün yapmış oldukları çalışmada CNC tornalama merkezine bağlanılacak dairesel çaplı bir parçanın gövdesinin işlenmesi için döner pozisyonda çalışacak olan fikstürün tasarımı ve geliştirilmesini incelemişlerdir. Parçada dış çapta tornalama, kanal açma ve delik açma işlemleri uygulanmıştır. Fikstür tasarım metadolojisi ele alındığında, iki aşamanın gerçekleştirilmesini içerir. İlk aşama parça geometrisi, işleme süreci, fonksiyonel ve ayrıntılı fikstür tasarımı ve fikstür kaynakları gibi nesnelerin bilgisini temsil eder. İkinci aşama, işleme fikstürü için ilk çözümü elde etmek için gereken çıkarım sürecini (tasarım ve yorumlama kuralları) açıklar. Birinci aşama olan parça geometrisi Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Bileşen, petrol sıvı ürünlerinin aktığı ve karıştığı borular için bir bağlantı veya kuplör olarak kullanılır. Kurulumun yeri ve kelepçesi Şekil 2.19'da gösterildiği gibi üç V-bloğu ve mandal kelepçesi kullanılarak gerçekleştirilir. CNC tornalama merkezinin aynası, bir adaptör plakası kullanılarak komple fikstürle değiştirilmiştir. Bu çalışmada fikstür, dengesiz kütleninkine eşit büyüklükte ve zıt yönde karşı ağırlık eklenerek dengelenmiştir. Dengeleme problemini çözmek için Creo Elements / Pro 5.0 yazılımı kullanılmıştır (Maniar & Vakharia, 2014).



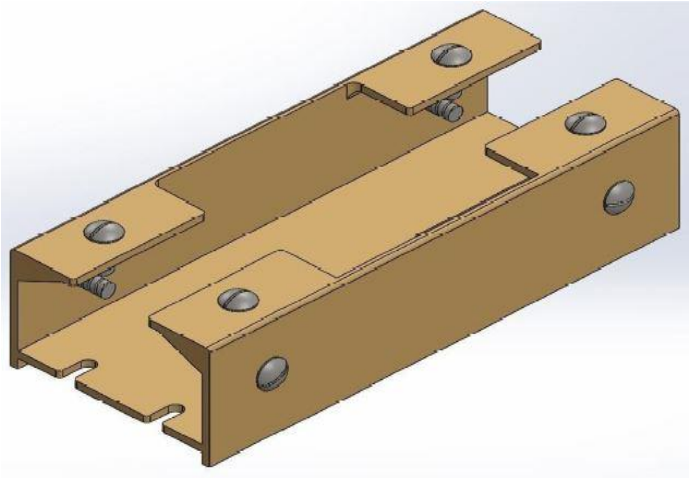
Şekil 2.18. Maniar ve Vakharia (2014)'ün yaptıkları çalışmaya göre bitmiş parça çizimi (a), Ham bileşenin 3D görünümü (b), Bitmiş parçanın enine kesit görünümü (c), Bitmiş parçanın 3D görünümü (d).



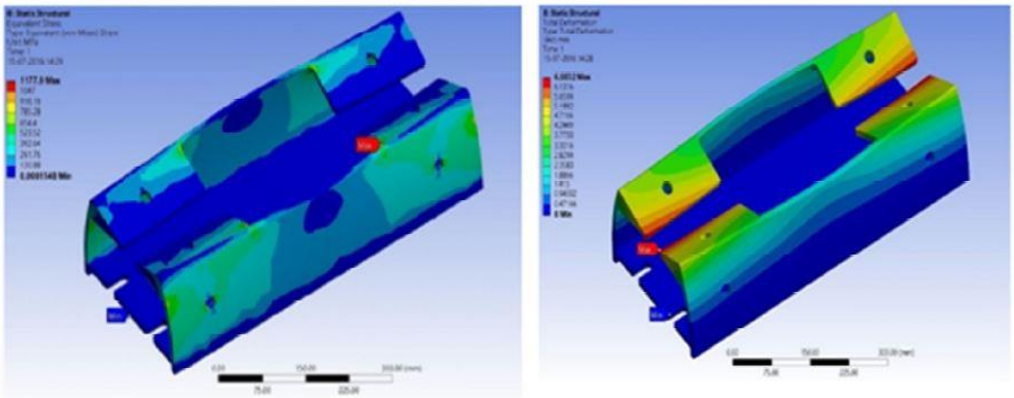
Şekil 2.19. Maniar ve Vakharia (2014)'ün yaptıkları çalışmaya göre fikstürün 2D çizimi (a), Fikstürün iş parçasız 3B görünümü (b), Fikstürün 3D arkadan görünüşü (c), Fikstürün iş parçalı 3D görünüşü (d), 3D patlatılmış görünüm (e).

Ramnath vd., (2018)'in yapmış oldukları çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı için işleme fikstürü tasarımı ve geliştirilmesi konusunu incelemişlerdir. Kaynak işleminin freze tezgahında gerçekleşmesi için; kaynak yapılacak plakaların sabitlendiği bir fikstür tasarlanmıştır. Daha sonra fikstürün uygunluğu ANSYS yazılımında test edilmiştir. Fikstür tek bir malzemeden tasarlanmış ve köşelerde oluşacak deformasyonu engellemek için de köşeler ilaveten güçlendirilmiştir. Ayrıca daha fazla sapma ve bükülmeyi önlemek

için üst ve yan yüzeylere fazladan eleman eklenmiştir. Fikstür 3 farklı malzeme için analiz edilmiştir. Analiz edilen malzemeler dökme demir (C45), kalıp çeliği (D4) ve takım çeliği ve sert alaşım (H20) 'dir. Analiz sonucunda, üç materyalin deformasyonunun maksimum 7 mm civarında olduğu ve tolere edilebilir olduğu sonucuna varılabilir. Gerilme değeri 1179.3 N/mm^2 civarındadır ve sürtünme karıştırma kaynağı işlemleri için en uygun çözüme sahiptir. Bu nedenle C45 çelik malzeme, D4 ve H20 malzemelerine kıyasla alternatif fikstür malzemesi olarak kullanılabilir sonucuna varılmıştır. Şekil 2.20 ve Şekil 2.21'de fikstürün izometrik görünümü ve C45 malzeme için gerilme ve deformasyon diyagramı verilmektedir (Ramnath vd., 2018).

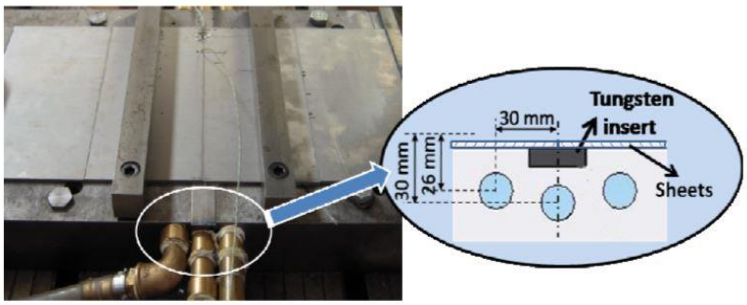


Şekil 2.20. Ramnath vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre fikstürün izometrik görünümü.

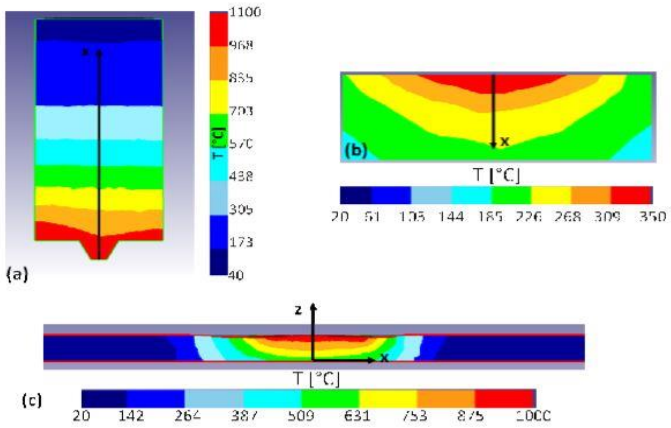


Şekil 2.21. Ramnath vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre C45 için gerilme ve deformasyon diyagramı.

Buffa ve Fratini (2011)'in yapmış oldukları çalışmada titanyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı(FSW) için kullanılan bilgisayar destekli fikstür tasarımını 3D FEM analizi ile sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Son yıllarda kaynaklı titanyum bileşenleri, yüksek özgül mukavemet ve korozyon direnci özellikleri nedeniyle havacılık endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Kaynak işlemi sırasında, ara yüzdeki sıcaklığı azaltmak ve aynı zamanda kaynaklanacak levhalardaki termal akışı arttırmak için arka plaka üzerinde üç soğutma kanalı delinmiştir. Şekil 2.22 'de, soğutma kanallarının kaynak düzlemine göre konumunu vurgulayan fikstürün şekli görülmektedir. Geliştirilen deneyler göz önüne alındığında, 200x200mm boyutlarında 3mm kalınlığında Ti-6Al-4V titanyum alaşımlı levhalar kaynaklanmıştır. Şekil 2.23'te, hesaplanan sıcaklık dağılımlarına sahip belirtilen kısımlar, su soğutması olmayan karakteristik çalışma için gösterilmiştir. Sonuç olarak, FSW'de birleştirme işleminin kontrolü hem deneysel hem de FEM analizi yoluyla açıklanmıştır (Buffa & Fratini, 2011).

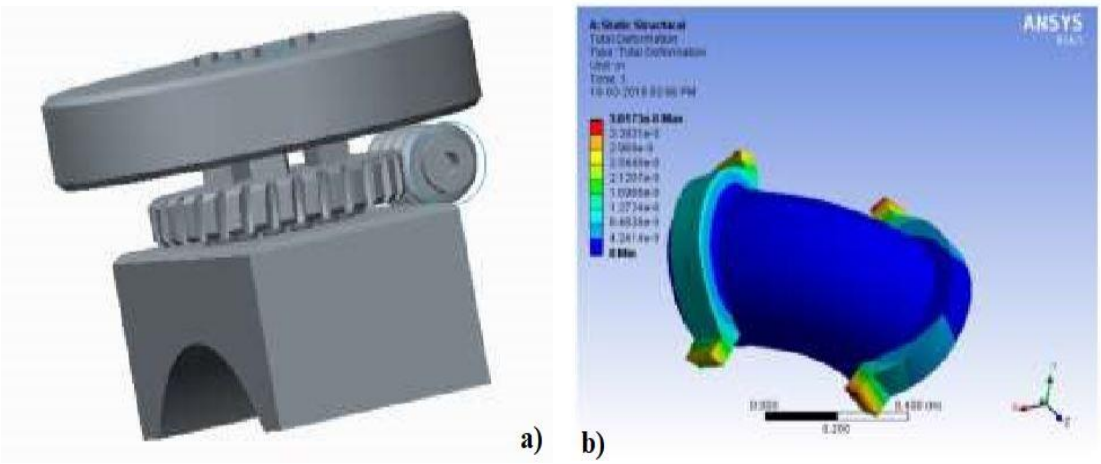


Şekil 2.22. Buffa ve Fratini (2011)'in yaptıkları çalışmaya göre deneysel fikstür görünümü.



Şekil 2.23. Buffa ve Fratini (2011)'in yaptıkları çalışmaya göre kaynak torcu sıcaklık dağılımı (a),WC ek parçası sıcaklık dağılımı (b), Plaka sıcaklık dağılımları (c).

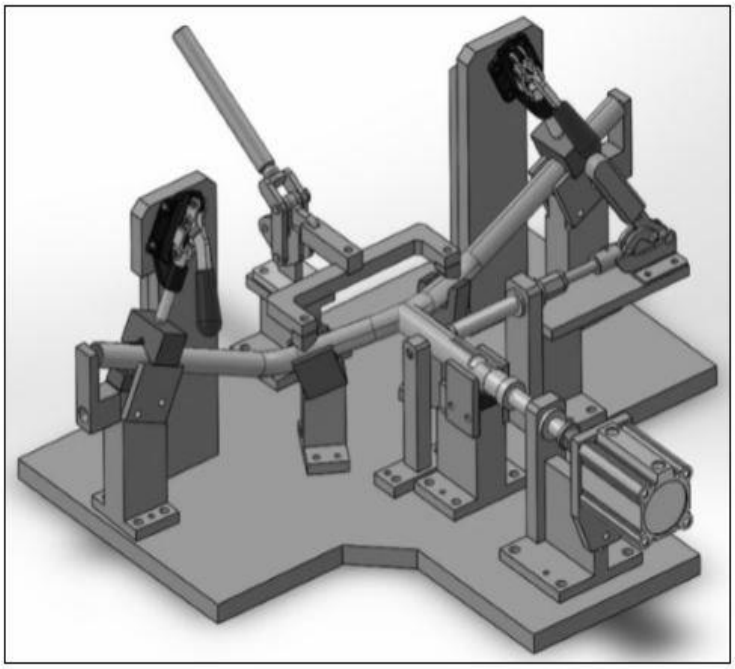
Nagasankar vd., (2018)'in yapmış oldukları çalışmada, kalınlığı fazla olan boru veya dirseklerde kaynağın enine kesitine nüfuz etmemesinden dolayı kaynak öncesi, kaynatılacak boru veya dirsekte kaynak kenar hazırlığının oluşturulması için bir fikstür tasarımı ve imalatı, buna bağlı bir FEM analizi çalışmasını incelemişlerdir. Şekil 2.24'te görünen 3D fikstür tasarım modelinin FEM analizinde simüle edilmesi sonucunda birtakım sonuçlar ortaya çıkmıştır. Deformasyon analizi 600N'luk bir kuvvetle (işlem sırasında uygulanan kuvvetin yaklaşık 540N olduğu varsayılarak) yapılmış ve maksimum deformasyonun 3.8173. 10^{-8} mm olduğu şekli ile güvenli bulunmuştur. Kelepçe, dirseği önemli miktarda bir deformasyon olmadan tutabilecektir. Maksimum ve minimum gerilmeler sırasıyla 41716 ve 13279 (Pascal'da) bulunmuştur. Bu değer P91 çeliğin (560MPa) çekme mukavemetinden daha azdır, bu nedenle analiz tasarımın güvenli olduğunu göstermiştir. Fikstürün aynı zamanda gerekli üretim süresini de azaltacağı tespit edilmiştir. Analiz ANSYS Workbench kullanılarak yapılmış ve tasarımın güvenli olduğu sonucuna varılmıştır (Nagasankar vd., 2018).



Şekil 2.24. Nagasankar vd. (2018)'in yaptıkları çalışmaya göre, 3D fikstür modeli (a), Toplam deformasyon (b).

Yuvaraj, Karthıck, Gopalakrıshanan ve Louis (2016)'nın yapmış oldukları çalışmada, robot kullanmadan yüksek hassasiyette kaynak fikstür tasarımı ve imalatını incelenmişlerdir. Kaynak fikstürü için tasarım CATIA programında modellenmiştir. Dairesel çubuğun başka bir dairesel çubuğa kaynak yapılması kavisli bir yüzeyin başka bir kavisli yüzey üzerine kaynaklanması seri üretimde çok daha zordur. Kaynak fikstürleri, operasyon ihtiyaçlarına göre farklı boyut, şekil, malzeme ve mekanizmalara

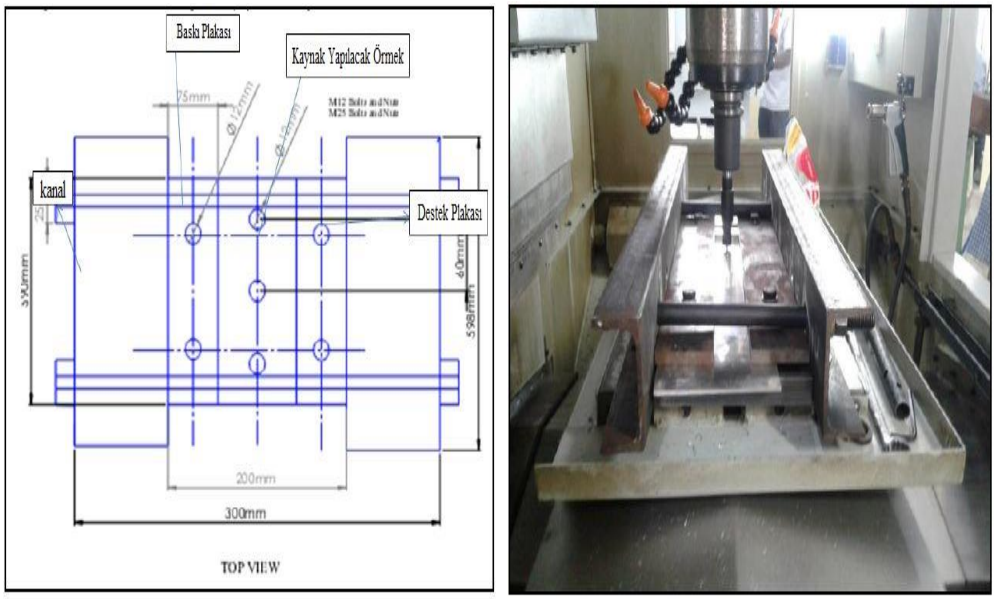
sahiptir. Fikstürün hassasiyeti imalat bileşeninde önemli bir rol oynar. Şekil 2.25'te gösterilen kaynak fikstürü, bir kaynak işleminin gerçekleştirildiği yuvarlak bir çubuk direği üzerine yuvarlak başka bir çubuğun konumlandırılması için kullanılır. İki yuvarlak çubuk, Şekil 2.25'te gösterildiği gibi birbirine kaynak yapılmıştır. Çubuklar şekilde gösterildiği gibi fikstür üzerine yerleştirilmiş ve konumunu sabitlemek için bir kol vasıtasıyla orta noktadan bastırılmıştır. Benzer şekilde uçlardan da V kelepçeler ile sabitlenmiş ve diğer uçları da pnömatik silindir ile konumlandırılmıştır. Devamında fikstürün doğruluğu CMM denilen bilgisayarlı ölçüm cihazında ölçülerek kontrol edilmiştir. Sonuç olarak fikstür, herhangi bir işgücü becerisinin olmaması nedeniyle hatayı azaltmış, doğruluk aralığını ve üretkenliği arttırarak operasyonun döngü süresini de azaltmıştır (Yuvaraj vd., 2016).



Şekil 2.25. Yuvaraj vd. (2016)'nın yaptıkları çalışmaya göre izometrik fikstür görünümü.

Mishra (2017)'de yapmış olduğu çalışmada alüminyum AA6061 alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı için fikstür tasarımı ve imalatı konusunu incelemişlerdir. Fikstür tasarımı, sürtünme karıştırma kaynağı işleminde (FSW) önemli bir rol oynar. Fikstürün uygun şekilde tasarlanması, FSW işlemi sırasında ortaya çıkan sorunların ana çözümlerinden biridir. Fikstür, kaynak işlemi sırasında büyük kuvvetleri ve yüksek sıcaklığı taşıyabilecek şekilde tasarlanmalı ve imal edilmelidir. Bu çalışmada, FSW

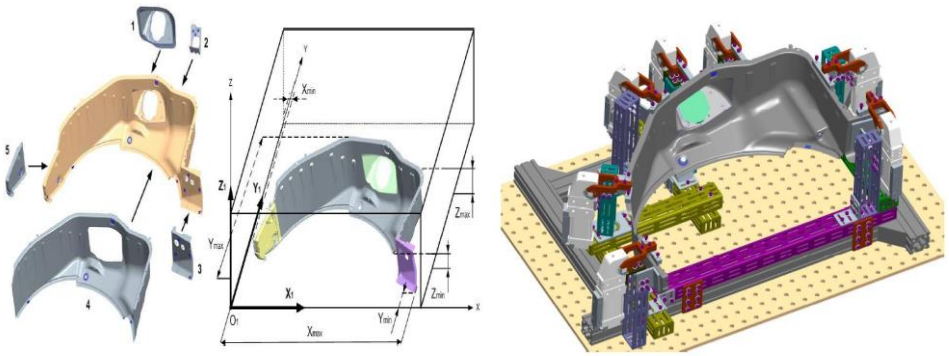
işlemi için gerekli olan fikstür tasarımının taşıdığı kriterler ele alınmış ve kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve 2D taslak çizimi solidworks yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 2.26'da fikstür tasarlanırken, destek plakasının ve kaynaklanacak metalin yerleştirilmesi için verilen uygun boşluk gibi bazı hususlar göz önünde bulundurulmuştur. Fikstür ana işlevi, kaynak işlemi sırasında numunenin başlangıç konumlarından çıkmasını önlemek, diğer bir işlev kaynak işlemi sırasında üretilen titreşim etkilerinden kaçınmak için kaynak işlemi sırasında stabiliteyi korumaktır. Sonuç olarak, tasarım özellikleri, fabrika standartları, ekonomi, kullanım kolaylığı ve güvenlik gibi fikstür tasarımı prosedürü sırasında uyulması gereken kurallar pratikte uygulanmıştır. (Mishra, 2017)



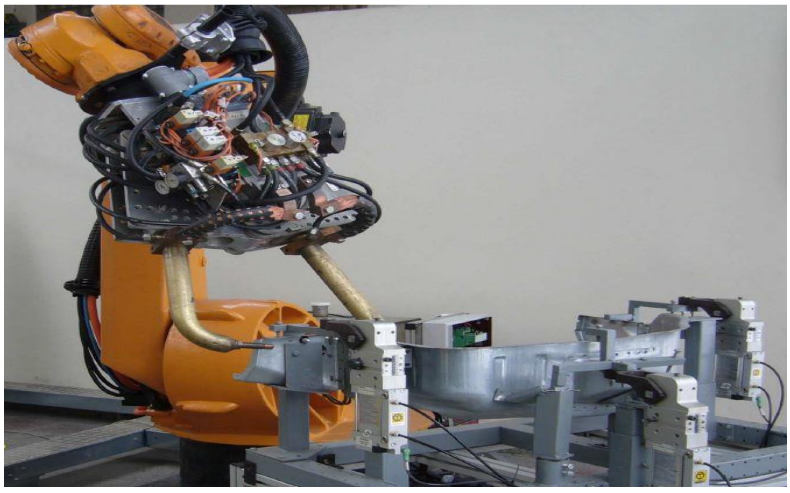
Şekil 2.26. Mishra (2017)'de yaptığı çalışmaya göre 2D ve 3D fikstür tasarımı

Semjon, Hajduk, Janos ve Vagas (2013) yapmış oldukları çalışmada, bir otomotiv parçasının kaynak işleminde kullanılan otomatik robot kaynağı için tasarlanmış modüler kaynak fikstür tasarımı, kullanılan ekipmanlar ve fikstür üzerine konumlandırılan parçanın pozisyonu, kaynak işlemi işin kullanılan kaynak robotu ile fikstür entegrasyonun sağlandığı otomasyon yazılımı konusunu incelemişlerdir. Kaynak fikstürlerinin yapısal düzenlenmesi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar; kaynaklı parçaların sayısı, boyutu ve ağırlığı, kullanılan robot - çalışma tipi, kaynak tipi (nokta, ark, lazer), kaynak hızı, imalat

incelikleri, kaynaklı parçaların takılması ve çıkarılması yöntemi, finansal olanaklar vb. sayılabilir. Şekil 2.27 ve Şekil 2.28'de kaynak fikstürü üzerinde robot ile yapılan çalışmada, işlevselliğin doğruluğunu kontrol etmek için bazı temel noktalar dediğimiz; parçanın doğru konumlandırılması, münferit parçaların stabilitesi, kaynak torcu pozisyonu, kaynak bağlantılarının temas kuvveti gibi konular dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, kaynak fikstürü belirlenen kriterlere göre tasarlanmış ve kaynak robotunun fikstür üzerinde konumlandırılan parçayı ilgili otomasyon yazılımı yardımı ile kaynatma işleminin yapılması sağlanmıştır (Semjon vd., 2013).



Şekil 2.27. Semjon vd. (2013)'ün yaptıkları çalışmaya göre kaynatılan parça ve modüler kaynak fikstürü.



Şekil 2.28. Semjon vd. (2013)'ün yaptıkları çalışmaya göre punta kaynağı için robot iş istasyonu.

BÖLÜM 3

GENEL BİLGİLER

3.1. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)

Günümüzde, teknolojinin belli bir noktaya gelmesi ile beraber, proaktif çalışmalar artmış, işletmeler daha inovatif tasarımlar geliştirerek daima ileriye yönelik gelişme kat etmişlerdir. Tasarımlar üretim aşamasına geçip şekillenmeden önce sanal ortamda bir çalışma yapılarak pratikteki oluşum durumu değerlendirilmektedir. Bu çalışmalar bilgisayar destekli tasarım (CAD) programlarının ortaya çıkmasına ve gelişimine vesile olmuştur. Gelişen birçok teknolojik yazılım ile artık bilgisayarların sadece tasarım amaçlı değil, yapılan tasarımların doğrulanması amacı ile de kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu noktada bir çok tasarım mühendisi artık bir üç boyutlu modelleme programından yararlanarak imalatta oluşabilecek hataların önüne tasarım sürecinde geçebilmektedir. Bilgisayar Destekli Tasarımı, (Computer Aided Design-CAD) sac metal, makine, kalıp, mimari, inşaat, enerji, mobilya, elektrik-elektronik ve daha birçok sektörde yapılan çalışmaların bilgisayar ortamında iki boyutlu (2D) veya üç boyutlu (3D) olarak tasarlanmasını ve projelendirilmesini sağlayan teknik dokümantasyon teknolojisi şeklinde tanımlamak mümkündür.

Tasarıma ve pratikte üretime yönelik gelişmiş bu bilgisayar destekli tasarım programlarının bir çoğunda artık ileri düzey teorik bilgilere ihtiyaç duymadan bilgisayar ortamında tasarımın gerçek çalışma koşullarında çalışmasını simüle ederek, meydana gelebilecek problemler tespit edilebilir ve bu bağlamda tasarımda gerekli iyileştirmeler yapılabilinmektedir. Ayrıca sadece tasarımdan kaynaklanan problemler değil, üretim

kolaylığı, çalışma koşulları, ergonomi, zaman, maliyet gibi konulara yönelik çalışmaların tespit edilmesi de ayrı bir avantaj sağlamaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan içerik olarak birbirinden farklı veya benzer olan işlevsel olarak da hemen hemen aynı mantalitede yazılmış birçok CAD programları mevcuttur. Bu CAD programlarının tercih edilme durumları sektörel anlamda kullanım amacına bağlı olarak, programın işlevine,fonksiyonuna ve tasarımcının tercihine göre değişiklik göstermektedir. Programlar birbiri ile kıyaslandığında her birinin birbirine göre güçlü ve zayıf yönleri vardır.

Bazı programlar iki boyutlu (2D) çizimler için fonksiyonel olarak daha iyi iken, bazı programlar üç boyutlu (3D) katı ve yüzey modelleme konularında daha iyi ve daha güçlü bir şekilde daha opsiyonel olarak programlanmıştır. Bu CAD programlarında, tasarımı yapılmış bir ürün için malzeme türü, boyut ve geometrik tolerans gibi özellikler belirtilerek teknik resim hazırlanabilmektedir.

Ayrıca CAD programlarının yanı sıra, talaşlı imalat işlemlerinde yoğun olarak kullanılan Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) ve yine bir bilgisayar destekli analiz programı olan Sonlu Elemanlar Metodu (FEM)'da yoğun olarak kullanılmakta ve sürekli olarak geliştirilmektedir. Tasarımda bilgisayar kullanımı, tasarımın belirlenen taleplere bağlı olarak modellenmesinin yanında, bu modelin amacına uygun olarak, en doğru şekilde üretiminin sağlanması birçok işlemi içermektedir.

CAD sistemi gerçekte 3D tasarım ve bu tasarım üzerinden analiz imkanı sağlamaktadır. Doğru ürünün ortaya konması belli bir aşamadan geçerek sağlanmaktadır. CAD programının kullanımı, tasarım sonuçlarının CAM ortamında doğrudan kullanılabilmesini, tasarıma bağlı olarak CAM'de yapılan işlemler sonucunda üretilecek parça için gerekli olan koordinatları gösteren kodların bulunduğu yazılımın ise CNC tezgahlarında kullanılması, parçanın doğru ve istenilen hassasiyette üretilmesine olanak sağlanmaktadır. CNC (Computer Numerical Control), bilgisayarlı nümerik kontrol anlamına gelmektedir. Otomasyona bağlı numerik olarak kontrol edilebilen bu tezgahlara ahşap, otomotiv, makine imalatı, tarım gibi sektörlerinde ihtiyaç duyulmaktadır. CNC tezgahları, insan gücüne ihtiyaç duyulan işlerde özellikle hızın arttırılması zamandan kazanım amacıyla profesyonel olarak günümüzde her alanda faaliyet göstermektedirler.

CAD'in sağladığı faydalara ek olarak; zaman tasarrufu, tasarım esnasında çıkan problemlere ve isteklere yönelik müşteri talebine hızlı dönüş, analiz aşamasında bileşenlerin birbirleriyle olan etkileşimlerinin daha kolay belirlenmesi, prototip test sayısının azalması, güçlü bir dokümantasyon sisteminin sağlanabilirliği, maliyet analizi, parçanın imalat tekniklerine uygun tasarlanmasının sağlanması, optimum tasarım ile malzemeden ve işçilik süresinden sağlanan tasarruf, tasarımcılar, mühendisler ve proje grupları arasında sağlanan iyi etkileşim, yapılan değişikliklerin otomatik olarak uygulanabilir olması gibi durumlar örnek verilebilir.

3.2. Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı (CAFD)

Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı (CAFD) , bilgisayar ortamında üretim için gerekli olan tasarımın yapılarak işlevsel ve fonksiyonel olarak talep edilen ihtiyacın karşılanmasıdır. Fikstürler, imalat ve montaj işlemleri sırasında iş parçalarının konumunu belirleyen,sabitlenmesinde yardımcı olan gerekli kolaylığı sağlayan yardımcı elemanlardır. Fikstürler, üretim döngü süresinin kısaltılmasında ve üretim kalitesinin sağlanmasında,maliyetinin düşürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Fikstür tasarımı, üretimi ve kontrolü, üretimin geliştirilmesi süresinin önemli bir bölümünü oluşturur. Bir imalat sisteminde, fikstürlerin dönüştürülebilir bir esnekliğe sahip olması istenir, çünkü yeni bir ürünün ortaya konmasında, bir yenilenme veya revizyon durumunda aynı şekilde yeni bir fikstür üretimi, montajı ve kontrolü işlemlerinin tekrar etmemesi gerekir. Esnek bir fikstür, mevcut fikstür tasarımlarının küçük ve basit donanımsal değişiklikler ile kapsamlı bir kontrol yapılmadan yeni üretim gereksinimlerini karşılamaya yönelik hızlı bir dönüşümü sağlayan bir tasarım içermelidir. Fikstür teknolojisi çok uzun bir zamandan beri kullanıldığı için artık bazı fikstür bileşenleri üretim maliyetini düşürmek için standartlaştırılmıştır.

Yani artık birçok fikstür tasarımında çoğunlukla kolay değiştirilebilir standart malzeme kullanılmaktadır. Ayrıca tasarlanan fikstürlerin ayarlanabilir çoklu opsiyonlara sahip olması dönüşüm açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Doğru,kaliteli ve güvenli bir fikstür tasarımı için uzun süreli bir imalat deneyimi önemlidir. Günümüz koşullarında artık fikstür,yedek parça ve belirli problemlerin çözümünde kullanılan birçok makinanın tasarımı bir CAD programında yapılmaktadır. Buda doğru bir üretim ve zaman açısından

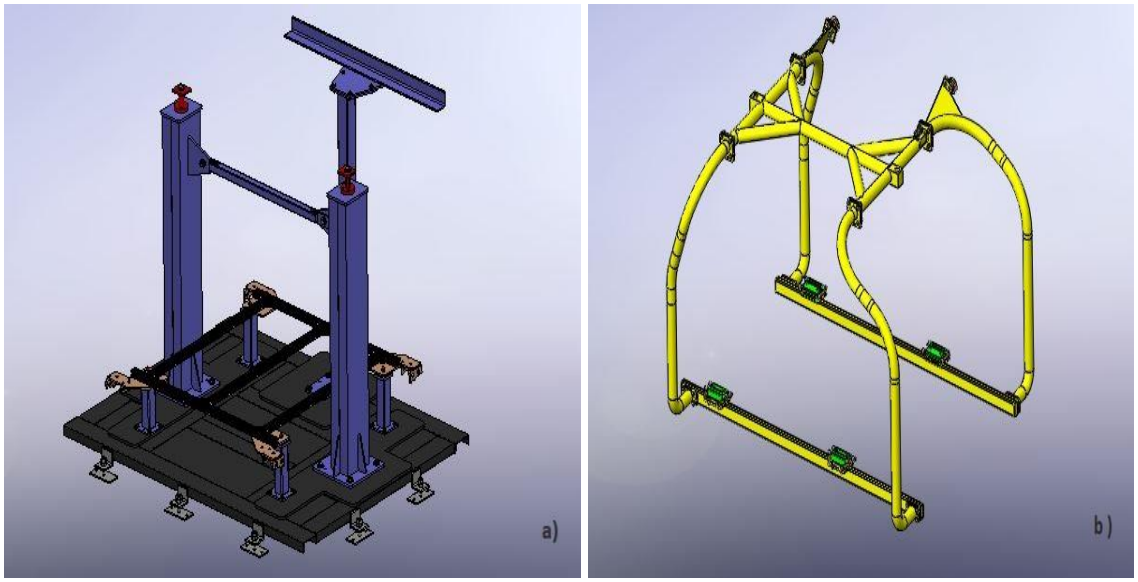
büyük kolaylık sağlamaktadır. Fikstürleri birçok konuya ve amaca göre katagorize ederek sınıflandırmak mümkündür. Fakat bu çalışmamızda genel itibariyle sektörde de yoğun olarak kullanılan kontrol ,montaj ve kaynak fikstürlerinden bahsedeceğiz.

3.2.1. Ölçme ve Kontrol Fikstürleri (CF)

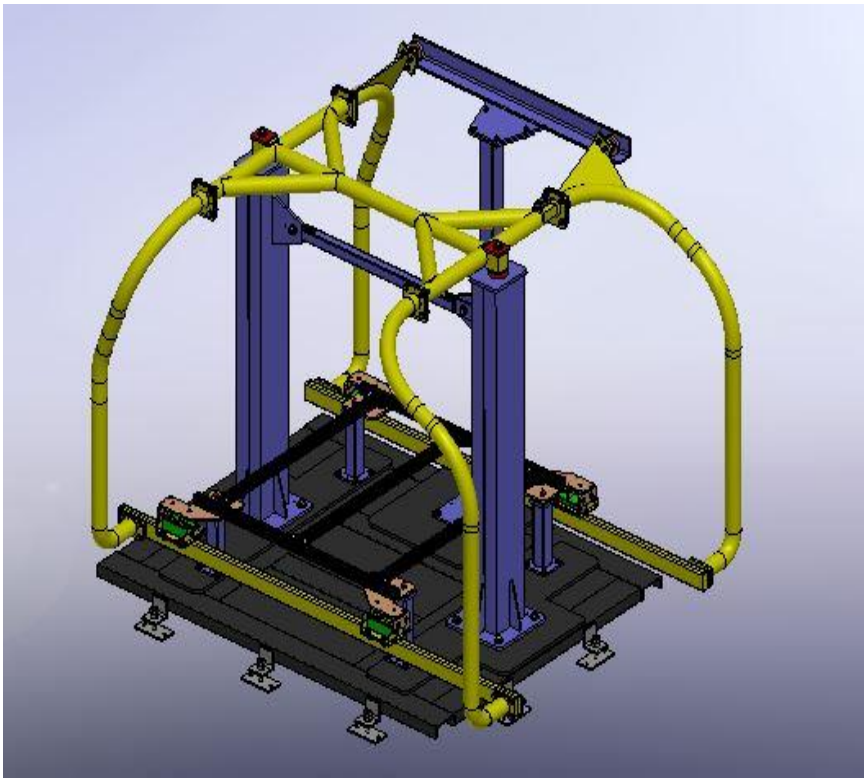
Üretimi yapılan bir parçanın basit, doğru ve en hızlı şekilde zamandan tasarruf edilerek kontrolünün yapılmasını sağlayan en önemli yardımcı üretim elemanları şeklinde tanımlayabiliriz. Ürün kalitesi bakımından kontrol fikstürleri çok önemlidir. Genelde yüzeyler, kesim ve büküm hatları, delik çapları gibi durumların ölçülmesi amaçlanmaktadır.

Böylece karmaşık geometrili parçaların ölçülmesi ve doğruluğunun sağlanması daha kolay hale gelmiştir. Sac metal endüstride büküme kalıplarında ve kalıp sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Genelde sac parçalarda çoğu zaman bir geri esneme söz konusudur tabi bu durum bükme kalıplarında daha az iken form kalıplarında biraz daha fazladır. Günümüz koşullarında her ne kadar bu durum bir analiz programı yardımı ile simülasyon edilse de pratikte sıfır hata olması pek mümkün değildir. Özellikle otomotiv sektöründe birçok parça kumpas ve mikrometre ile ölçülemeyecek düzeyde kompleks bir yapıya sahiptir.

İşte tam da bu noktada bu tip parçaların doğruluğunun sağlanması için kontrol fikstürü dediğimiz ekipmanların yardımcı üretim elemanlarının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Aşağıda Şekil 3.1'de bir otomotiv sektöründe araçların boya hattına taşınmasında kullanılan '' hanger '' olarak ifade edilen askı sistemi ve bu sistemi kontrol eden bir fikstür tasarımı geliştirilmiştir. Belli bir sayıda üretilen çoğunlukla kaynaklı imalat ve büküm işlemlerini içeren bu sisteminin doğru bir şekilde üretildiğinden emin olmak için üretim sonrasında sistem bir kontrol fikstürü vasıtası ile test edilmiştir. Dolayısıyla araçların bu sistem üzerinde doğru ve sabit bir şekilde pozisyonlandığından emin olunmuştur. Askı ve fikstürün eşleştiği kontrol sistemi Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. 3D fikstür (a), Bir otomotiv üretim fabrikasında araçların boya hattına taşınmasında kullanılan askı sistemi (b).

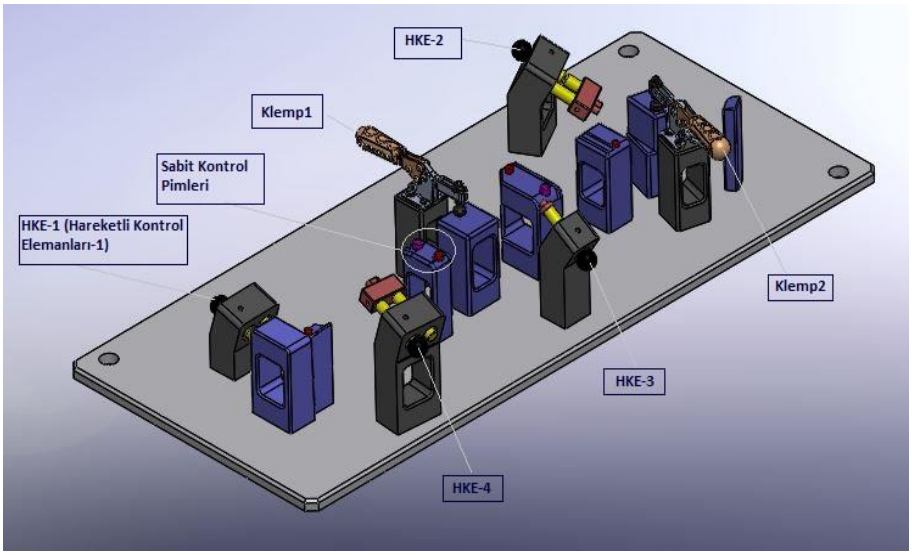


Şekil 3.2. 3D fikstür ve askı modeli.

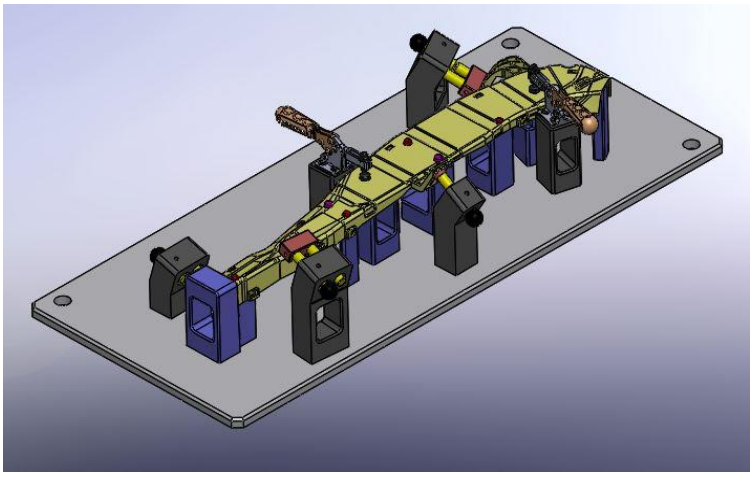


Şekil 3.3. İmal edilmiş fikstür ve askı modeli.

Şekil 3.4'te farklı bir kontrol fikstürü tasarlanmıştır. Tasarımda otomotiv sektörü için üretilen bir parçanın kontrolü yapılmıştır (Şekil 3.5). Fikstür yapısını incelediğimizde sabit ayak olarak tabir ettiğimiz, ürünün belirli bir pozisyonda durmasını sağlayan ayaklar ve bu ayakların bağlı olduğu bir fikstür plakası görülmektedir. Ürünün geometrik yapısından kaynaklı durumlardan ötürü ürünün bazı noktalardaki çapı ve yüzeyi hareketli kontrol elemanları, yine aynı şekilde çapları kontrol eden sabit kontrol pimleri, ürünün sabitlenmesini sağlayan standart elemanlar olarak ifade edilen klemplerden oluşmaktadır. Daha öncede ifade ettiğimiz gibi hızlı, kaliteli ve doğru bir üretim için böyle bir kontrol sisteminin geliştirilmesi birçok işletme için verimlilik açısından son derece önemlidir.



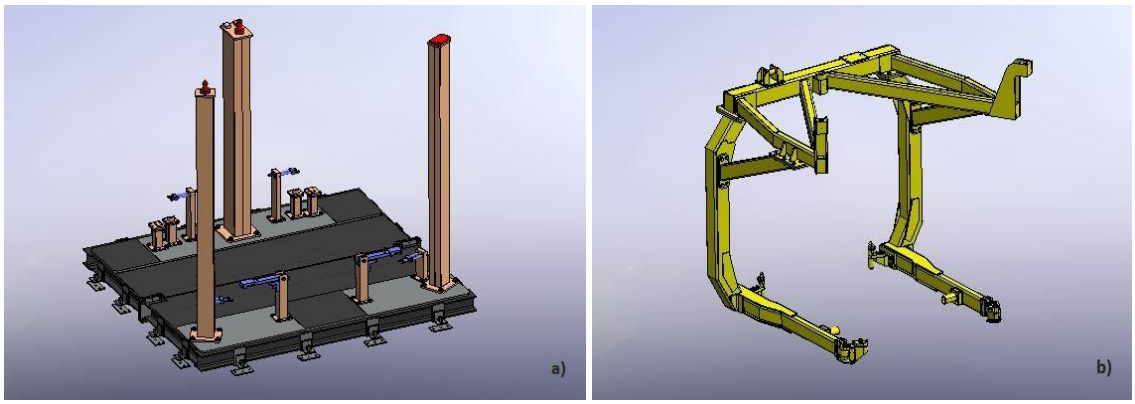
Şekil 3.4. 3D fikstür tasarımı.



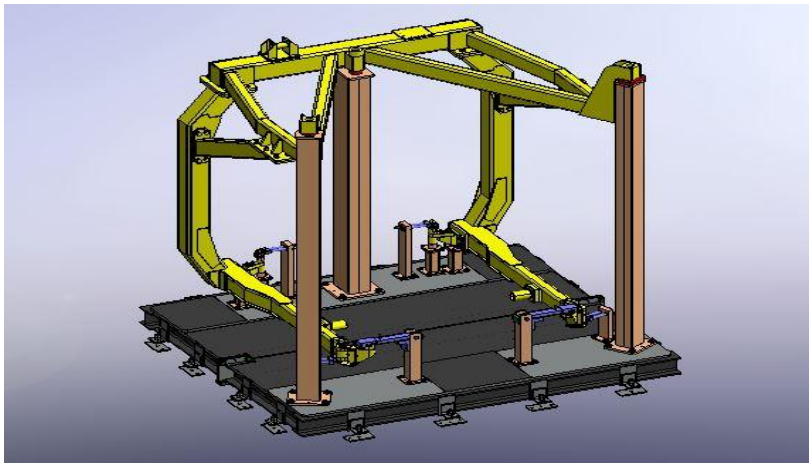
Şekil 3.5. 3D ürün modeli ve 3D fikstür tasarımı.

Aşağıda Şekil.3.6 ‘da bir otomotiv üretim fabrikasının montaj hattında araçların taşınmasında kullanılan bir lift tasarımı ile bu tasarımının doğru bir şekilde üretildiğini, imalat sonrası ölçülerinin kontrol edildiğini sağlayan bir fikstür de tasarlanarak geliştirilmiş ve üretilmiştir. Şekil.3.7 ve Şekil.3.8’de tasarlanan bu fikstür ve liftin CAD datada ve imalat sonrası fikstürde kontrolü gösterilmiştir. Şimdi bu lifti kontrol etmek için tasarlanan kontrol fikstürünü inceleyelim. Şekil.3.9’da görüldüğü gibi liftin çaplı kısımları, bir taraftan hareketli kontrol elemanları ile bir taraftan da sabit kontrol elemanları ile yüksek hassasiyetle kontrol edilmektedir. Aynı şekilde bazı yüzey noktaları da % $\pm$0.5 hassasiyetle sabit ve hareketli kontrol elemanları ile kontrolü sağlanmaktadır. Şekil 3.10’da UPN profillerden oluşan yaklaşık 2600 mm uzunluğundaki sütunların üzerine takılan flanşlı kontrol pimleri ile Şekil.3.7’de montajda da görüleceği gibi liftin üst kollarının ucundaki çaplar ve yüzeyler kontrol edilmektedir. Çok adetli olarak üretilen bu lift sisteminin imalata uygunluk kontrolünün yapılması bir noktada elzem bir hal almaktadır. Hem konstrüksiyon yapısı gereği hem de yoğun kaynaklı imalat işlemlerine maruz kalması açısından ister istemez kontrol mekanizmasını günümüz imalat süreçlerinde zorunlu hale getirmektedir. Günümüz teknolojisinde genelde bu tür durumlarda süreç şu şekilde ilerlemektedir. Daha önce de bahsettiğimiz gibi gelişen teknoloji ve CAD programları ile beraber bilgisayar destekli analiz ve bilgisayar destekli ölçüm programları süreçlerin kontrol mekanizmaları olmuştur. Öncelikle ürün üretildikten sonra, ürünün CAD datasına uygun bir üretim olup olmadığı bir ölçüm programında test edilir. Daha sonra ürün için tasarlanmış kontrol fikstürüne ürün

yerleştirilerek burada da kontrolü sağlanır. Bu noktada üretilen ürünün kontrolü iki şekilde yapılabilmektedir. Birinci seçenek bir bilgisayar destekli ölçüm programında, ikincisi ise ürün için tasarlanmış ve imal edilmiş bir kontrol fikstüründe yapılabilmektedir. Tabi fikstürler ölçüm programlarına nazaran hem zaman hem maliyet açısından birçok noktada avantajlı olduğundan daha çok tercih edilmektedir. Çoklu siparişlerde daha hızlı ve uygun maliyette bir kontrol sağlamak için ürün için tasarlanmış kontrol fikstürleri imal edildikten sonra bir bilgisayar destekli programda ölçülerek doğruluğu kontrol edilir ve sonrasında çoklu ve seri olarak üretilen ürünlerin kontrolünde kullanılır. Her bir ürünü ölçme imkanı olmayan işletmeler fikstür kullanımına giderek kontrolünü sağlamaktadırlar. Lift için tasarlanan kontrol fikstürü Şekil.3.11'de bir bilgisayar destekli ölçüm programında ölçülerek sonuçlar rapor halinde sunulmuştur.



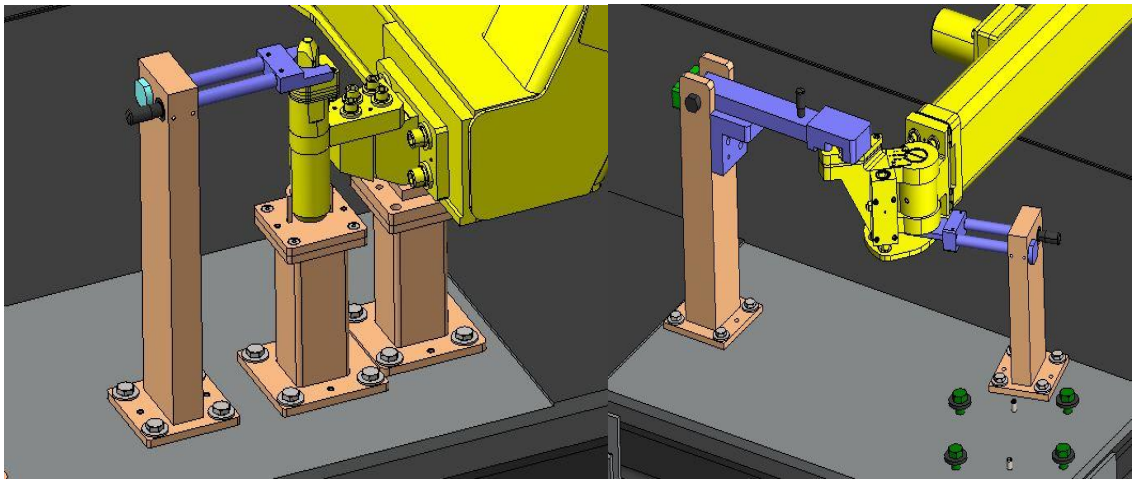
Şekil 3.6. 3D Fikstür (a), Bir otomotiv üretim fabrikasında araçların montaj hattına taşınmasında kullanılan lift sistemi (b).



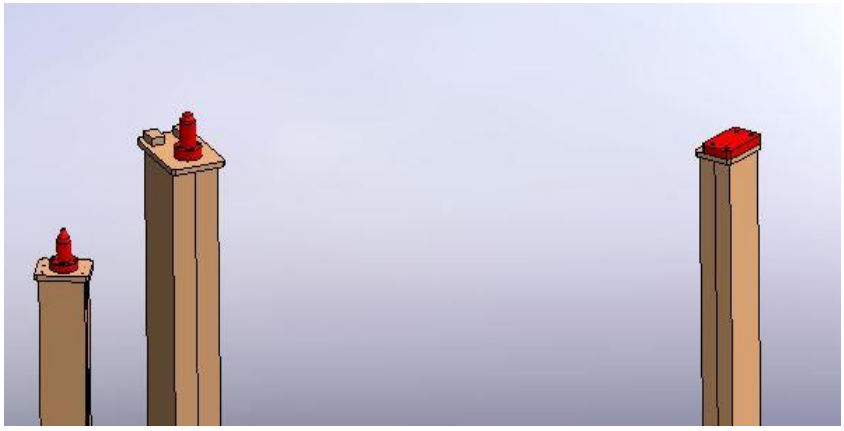
Şekil 3.7. 3D lift modeli ve 3D fikstür tasarımı.



Şekil 3.8. İmal edilmiş fikstür ve lift.

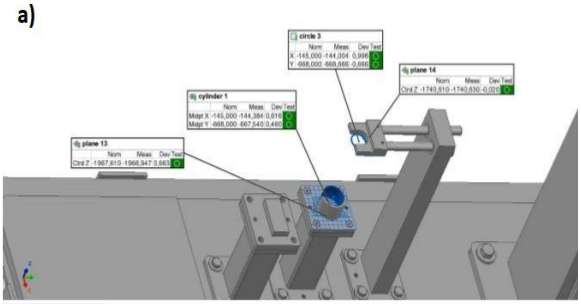


Şekil 3.9. Sabit ve hareketli fikstür elemanları ile kontrol.



Şekil 3.10. Fikstürün sabit kontrol pimleri ile lift çap kontrolü.

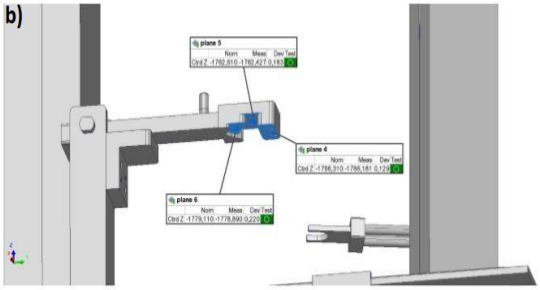
a)



Length Units	Millimeters
Coordinate Systems	csys 1
Data Alignments	plane, axis, center point 1

Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
cylinder 1	Midpoint X	-145,000	-144,384	±1,000	0,616	Pass	
	Midpoint Y	-668,000	-667,540	±1,000	0,460	Pass	
plane 13	Centroid Z	-1967,610	-1966,947	±1,000	0,663	Pass	
plane 14	Centroid Z	-1740,610	-1740,630	±1,000	-0,020	Pass	
circle 3	X	-145,000	-144,004	±1,000	0,996	Pass	
	Y	-668,000	-668,666	±1,000	-0,666	Pass	

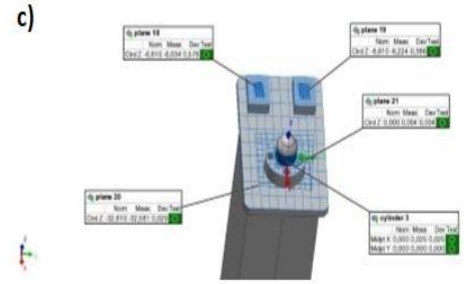
b)



Length Units	Millimeters
Coordinate Systems	csys 1
Data Alignments	plane, axis, center point 1

Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
plane 4	Centroid Z	-1786,310	-1786,181	±1,000	0,129	Pass	
plane 5	Centroid Z	-1782,610	-1782,427	±1,000	0,183	Pass	
plane 6	Centroid Z	-1779,110	-1778,890	±1,000	0,220	Pass	

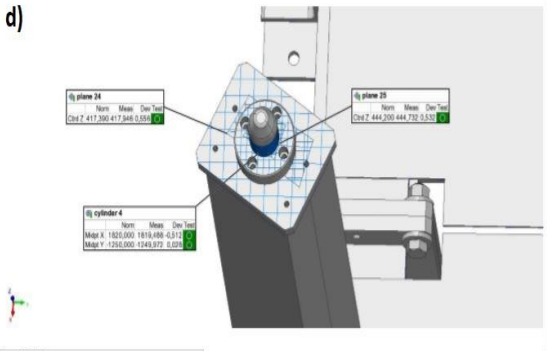
c)



Length Units	Millimeters
Coordinate Systems	csys 1
Data Alignments	plane, axis, center point 1

Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
cylinder 3	Midpoint X	0,000	0,025	±1,000	0,025	Pass	
	Midpoint Y	0,000	0,000	±1,000	0,000	Pass	
plane 18	Centroid Z	-6,610	-6,034	±1,000	0,576	Pass	
plane 19	Centroid Z	-6,610	-6,224	±1,000	0,386	Pass	
plane 20	Centroid Z	-32,610	-32,581	±1,000	0,029	Pass	
plane 21	Centroid Z	0,000	0,004	±1,000	0,004	Pass	

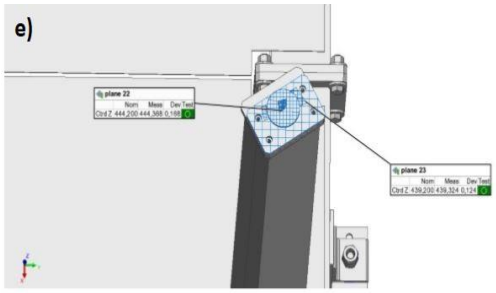
d)



Length Units	Millimeters
Coordinate Systems	csys 1
Data Alignments	plane, axis, center point 1

Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
cylinder 4	Midpoint X	1820,000	1819,488	±1,000	-0,512	Pass	
	Midpoint Y	-1250,000	-1249,972	±1,000	0,028	Pass	
plane 24	Centroid Z	417,390	417,946	±1,000	0,556	Pass	
plane 25	Centroid Z	444,200	444,732	±1,000	0,532	Pass	

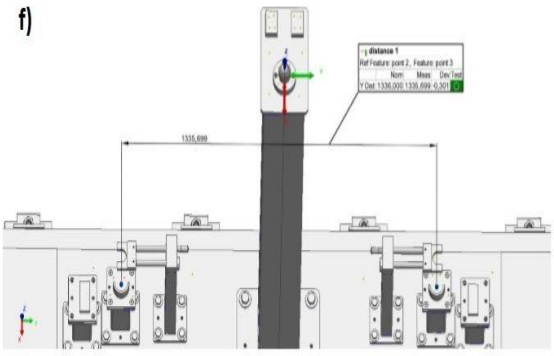
e)



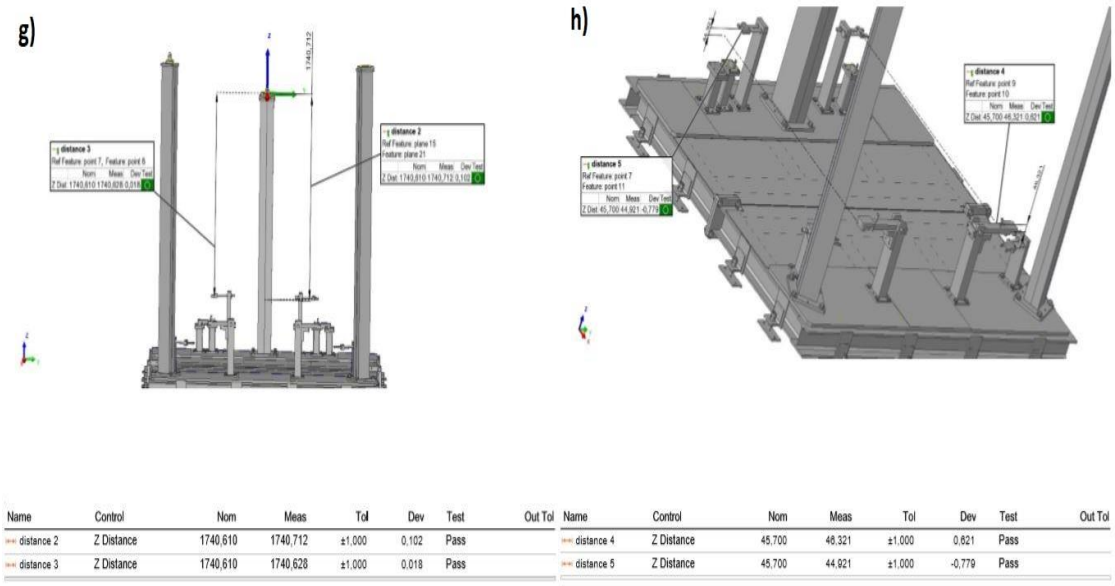
Length Units	Millimeters
Coordinate Systems	csys 1
Data Alignments	plane, axis, center point 1

Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
plane 22	Centroid Z	444,200	444,368	±1,000	0,168	Pass	
plane 23	Centroid Z	439,200	439,324	±1,000	0,124	Pass	

f)



Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
distance 1	Y Distance	1336,000	1335,699	±1,000	-0,301	Pass	



Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
distance 2	Z Distance	1740,610	1740,712	±1,000	0,102	Pass	
distance 3	Z Distance	1740,610	1740,628	±1,000	0,018	Pass	

Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
distance 4	Z Distance	45,700	46,321	±1,000	0,621	Pass	
distance 5	Z Distance	45,700	44,921	±1,000	-0,779	Pass	

Şekil 3.11. 3D fikstür ölçüm raporları [a-b-c-d-e-f-g-h].

3.2.2. Montaj Fikstürleri

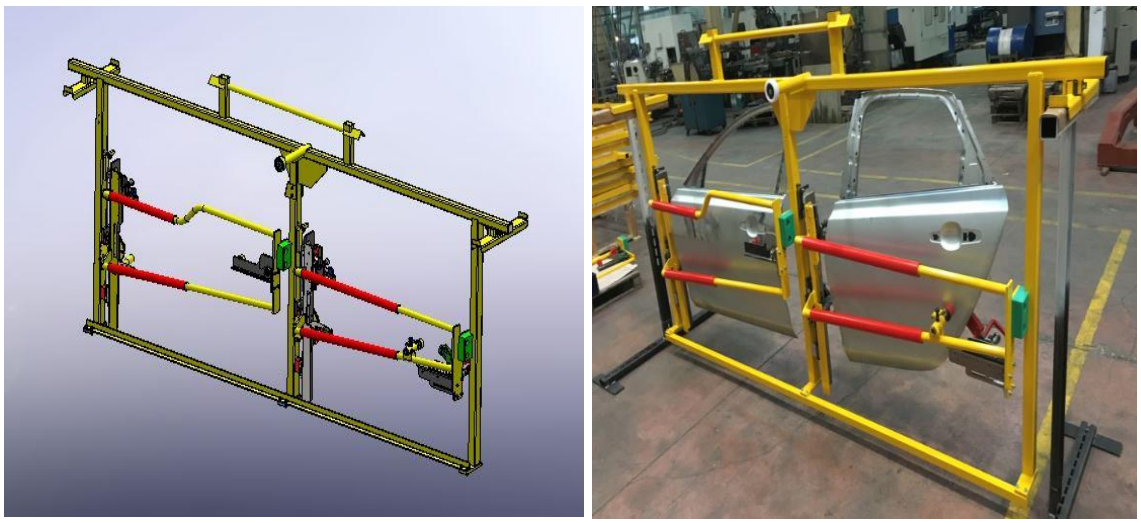
Montaj fikstürleri, ağırlıklı olarak seri imalat yapan işletmeler olmak üzere birçok işletme tarafından montaj sürelerinin kısalması, ölçüsel hataların önlenmesi ve doğruluğunun sağlanması amacıyla kullanılan yardımcı üretim elemanları şeklinde ifade edilebilir. Özellikle üretim esnasında veya üretilmiş parçaların bir araya getirilmesi aşamasında tekrarlanan operasyonel işlemlerde zamanın kısalması açısından önemli kazanç sağlamaktadır. Ayrıca operatörün daha ergonomik bir şekilde uygun pozisyonda işlem yapmasına olanak sağladığı için iş sağlığı ve güvenliği açısından da büyük katkı sağlamaktadır.

Bu sebeple montaj fikstürlerinin kullanım amacı ile kaynak fikstürlerinin kullanım amacı birbirine benzerdir. Montaj fikstürleri özellikle sürdürülebilir kalitenin sağlanması açısından savunma ve havacılık sanayi başta olmak üzere otomotiv ve diğer birçok sektörde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu fikstürler parçaların doğru konumda montajlanmasını sağlayarak istenilen ölçülere uygun bir montajın gerçekleşmesini sağlarlar.

Şekil 3.12'de bir otomotiv sektöründe kullanılan montaj fikstürü ve beraberinde montajı yapılan ürün gösterilmiştir. Üretilen fikstür bir otomobil fabrikasında araç

kapılarının montajı için kullanılmaktadır. Günümüzde artık birçok fabrikanın üretim hattı bu şekilde hidrolik-pnomatik ve otomasyon yazılımları ile güçlendirilmiş mekanik olarak tasarlanmış sistemlerin, üretim hattına entegrasyonu ile montaj esnasında operatöre ergonomik bir çalışma ortamı hazırlanarak pratikte montaj kolaylığı sağlanmaktadır.

Günümüzde işletmeler üretimdeki verimi arttırmak, kalite ve ergonomik problemleri engellemek amacıyla otomasyona dayalı sistemleri tercih etmektedir. Otomotivde de bu gibi kaygılar mevcut olduğundan, pnömatik yapılardan oluşan, otomasyon için dizayn edilmiş fikstürlerin kullanımı da günden güne artmaktadır. Bu fikstürlerde kullanılan pnömatik ekipmanların çalışması, yazılımsal, makanik veya elektronik sinyaller ile kontrol edilen birtakım sensör, siviç ve valfler ile sağlanmaktadır. Bununla birlikte fikstürler üzerinde hava koşullarını ve çalışma biçimlerini belirleyen çeşitli pnömatik ara elamanlarda bulunmaktadır.



Şekil 3.12. Ürün ve 3D fikstür modeli.

Günümüzde teknolojiyi iyi kullanan işletmelerde, ekipmanların kontrol edilmesi, yönetilmesi ve yönlendirilmesi bilgisayarlar aracılığıyla sistemler üzerinden yapılabilmekte ve bu ekipmanlar kendi arasında iletişim sağlayarak, kendi çalışma koşullarını düzenleyebilmektedirler. Çağımızın 4.sanayi devrimi olarak ifade edilen Endüstri 4.0 kapsamında çok sayıda işletme, fabrika artık üretim entegrasyonunu, bilgi yönetimi ve nesnelerin interneti kapsamında dizayn etmektedir.

3.2.3. Kaynak Fikstürleri

Kaynak fikstürlerini, geometrik yapı olarak karmaşık ve montajı zor olan kompleks parçaların seri olarak kaynatılmasına ve puntalama işlemlerinin yapılmasına imkan sağlayan yardımcı üretim elemanları, aparatları veya ekipmanları şeklinde ifade etmek mümkündür. Kaynak fikstürleri genellikle kullanım olarak otomotiv sektöründe büyük bir yoğunluğa sahiptir. Çünkü bilindiği üzere otomotiv karmaşık geometrili sac parçaların birleştirme işleminden meydana gelmektedir. Bu araçlar çok sayıda bileşenlerden oluşmakta ve bu araç gövdelerini meydana getiren iskelet yapısı ve konstrüksiyon onlarca sac parçanın birbirine puntalanması veya kaynaklanarak birleştirilmesi işlemlerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla bunları birbirine montajlamak oldukça zordur ve bunun için kaynak fikstürleri dediğimiz yardımcı elemanlar kullanılarak üretim kolaylığı ve pratikliği sağlamaktadır.

Endüstride kaynak hususu geniş bir alana sahip olmakla birlikte, bu alan içerisinde farklı birçok kaynak yöntemi tercih edilmektedir. Birçok yöntem için esasında fikstür kullanımı çok gerekli ve önemlidir. Bu sebeple fikstür tasarımı ve imalatı, seri üretim açısından çok önemlidir. Şayet tasarımı yapılan fikstür iş parçasının üretim konusunda verimliliğini ve kalitesini arttırıyor, üretim akışınının sürekliliğini engellemiyor ise doğru ve istenen amaca uygun bir fikstür çalışmasının yapıldığı ifade edilebilir. Kaynak fikstürlerinin yapısını, çalışmasını, üretim kurgusunu etkileyen en önemli etken iş parçasıdır. Uzun yıllardan bu yana fikstür yapıları incelendiğinde sürekli değişiklik gösterdiği, gelişen ve değişen teknoloji ile birlikte sürekli olarak yenilendiği aslında iş parçasına yönelik özgün bir çalışma olduğu ve günümüz koşullarına adaptasyon sağlanarak tasarlanan fikstürlerin artık daha güvenilir ve kontrollü üretimlerin yapılmasına imkan sağlandığını söylemek mümkündür. Eski dönemlerde birçok fonksiyon manuel olarak yapılırken, günümüz koşullarında daha çok otomasyon sistemleri ve yazılımla uyarlanmış elektrik-elektronik, hidrolik-pnömatik ve mekanik ekipmanların kullanımıyla tasarlanmış yeni dönem teknolojik fikstürler kullanılmaktadır. Bu teknolojik fikstürlerin kullanımı bir kaynak robotu aracılığıyla daha efektif hale gelmiş seri üretim kapasiteleri günden güne artarak büyük bir ivme kazanmıştır. Robot yardımı ile yapılan kaynak işlemlerinde, özellikle operatör ve ortam güvenliği ve sağlığı açısından etraflıca bir koruma sistemi yapılmaktadır. Robotik sistemlerin işlevsel olarak

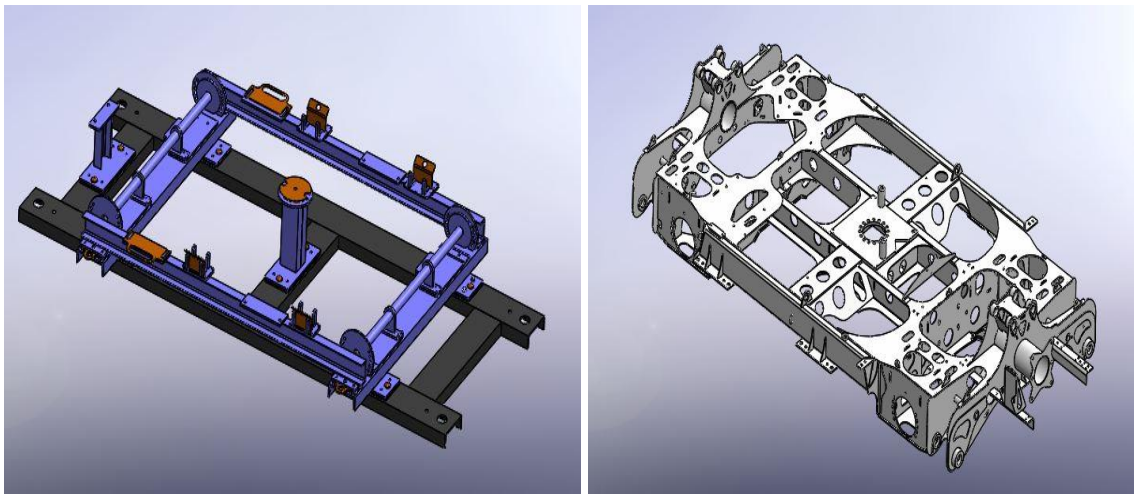
çalışabilmesi için üretim yapılacak parçaların, sürekli olarak aynı koordinatlarda olması gerekir. İşte bu noktada yine bunu sağlayacak olan iş parçasına göre hassas bir şekilde tasarlanmış fikstürler devreye girmektedir. Kaynak fikstürleri kullanım amacına ve kaynak yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Genelde manuel ve robot kaynak fikstürleri olarak sınıflandırılmaktadır.

Manuel kaynak fikstürleri, operatörün kaynak techizatını kaynak yapılacak lokasyondaki fikstürün bulunduğu noktaya taşıdığı ve genel itibari ile fikstürlerin de taşınabilir olduğu hafif ekipmanlardır. Robot kaynağı fikstürleri ise son dönemlerde özelliklede otomotiv sektöründe kaynak proseslerinin vazgeçilmez bir parçası olan , otomasyonun da etkin kullanıldığı belirli bir yazılım dahilinde ,robotun kaynak yapması için tasarlanmış fikstürlerdir. En sık kullanılan kaynak yöntemleride özellikle otomotiv sektöründe genelde elektrik direnç kaynağı ve gazaltı ark kaynağıdır.

Bir CAD programında tasarlanan fikstürlerin imalat sonrası sorunsuz bir şekilde devreye alınması için öncelikle üretilen fikstürlerin tasarlanan fikstürlerle tolerans ve hassasiyet açısından uygunluğunun ölçülerek test edilmesi gerekir. Buda günümüz teknolojisinde çok iyi bir noktaya gelmiş üç boyutlu ölçüm yapabilen kordinat ölçme makinaları (Coordinate Measurement Machines-CMM) aracılığıyla yapılabilmektedir. CMM'ler üretilmiş bir parçanın doğruluğunun kontrolünün yapıldığı, programlanabilir bir teknolojiye sahip ölçüm cihazlarıdır. Bir iş parçası üzerinde kontrolü sağlanmak istenen bütün boyutsal ve geometrik toleranslar bu ölçüm programı aracılığıyla kolay bir şekilde belirlenmektedir. Daha önceden çizimi mevcut olan parçaların CAD çizimine göre kontrolünün ve mukayesesinin yanında, tersine mühendislik işlemleride yapılabilmektedir. Genellikle otomotiv ve havacılıkta yoğun olarak kullanılan bu ölçüm cihazları, bir yüzey veya alan üzerindeki noktasal koordinatları tespit etmek amacıyla hareket halinde olan ölçüm probunu takip eden mekanik sistemler olmakla beraber üç boyutlu ölçümler için dizayn edilmiş yazılımsal ve donanımsal bileşenlerden oluşan çözümlerdir. Şekil 3.13'de elektrik bakım istasyonlarında kullanılan,üzerinde dizel motor bulunan normal yol, engebeli arazi ve raylı sistemler üzerinde gidebilen uzaktan kumandalı bir araç şasisinin kaynak işlemlerini ve bu kaynak işlemlerinde kullanılan fikstür tasarımını ve yardımcı aparatları inceleyeceğiz. Bu tarz ortalama 5-10 mm kalınlıklara sahip karmaşık geometrili parçaların kaynak işlemi sırasında meydana

gelecek distorsionların önlenmesi zor bir işlemdir. S235JRG2, S275JR, S355JR ve yoğun olarak S700MC malzemelerden oluşan bu kompleks yapıdaki konstrüksiyonun kaynak işlemleri sırasında distorsiyonlara tam anlamıyla engel olmak güç olmakla beraber bir nebzede olsa tolere edilebilir seviyede bir distorsiyon meydana gelebilmektedir.

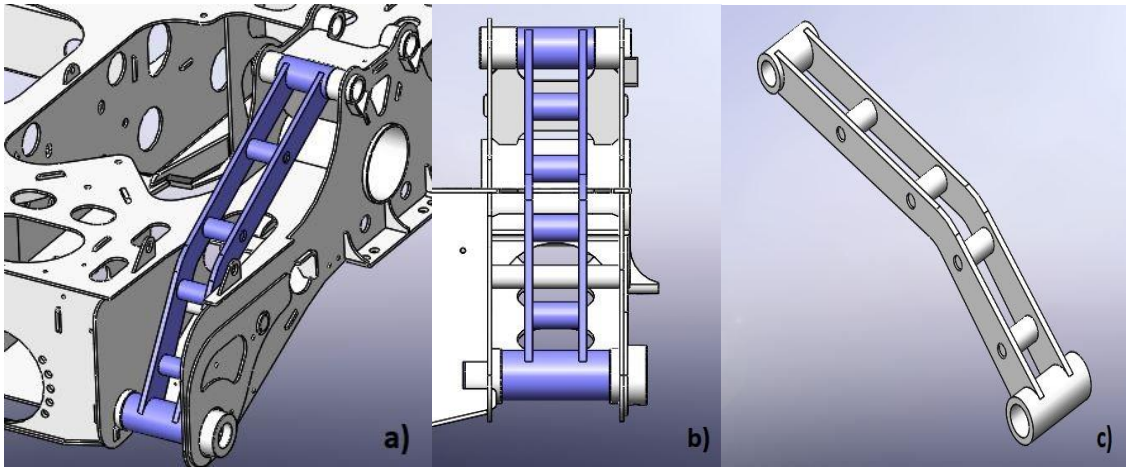
Farklı türde mekanik özelliklere sahip bu parçaların kaynatılmasında Gazaltı kaynak yöntemi kullanılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken durum mekanik özellikleri birbirinden farklı olan bu parçaların kaynağında kullanılacak telin ne tür bir mekanik özelliğe sahip olması gerektiğidir. Örneğin S355JR malzeme ile S700MC'nin birleştirilmesinde kullanılacak telin mekanik özelliklerinin içeriği önemlidir. Akma ve çekme dayanımları birbirinden farklı olan bu malzemelerin birleştirilmesinde dayanım özellikleri dikkate alınmalıdır. S700MC'nin dayanım özellikleri daha yüksek olduğundan ona yakın bir tel kullanılmıştır. Tabi burada akma dayanımı çok yiksek bir telin kullanılması da S355JR malzeme için kopmalara neden olabilir. İdeal bir dolgu metal dayanımının belirlenmesi, kaynakta oluşacak hataları minumuma indirir. Uygulamalarda çoğunlukla istisnai durumlar haricinde kaynak metalinin akma ve çekme dayanımlarının ana malzeme ile eşleşmesi esastır. Dayanım dereceleri, olabildiğince birbirine yakın olmalı ve uygulamanın tasarım gerekliliklerine uygun bir şekilde belirlenmelidir.



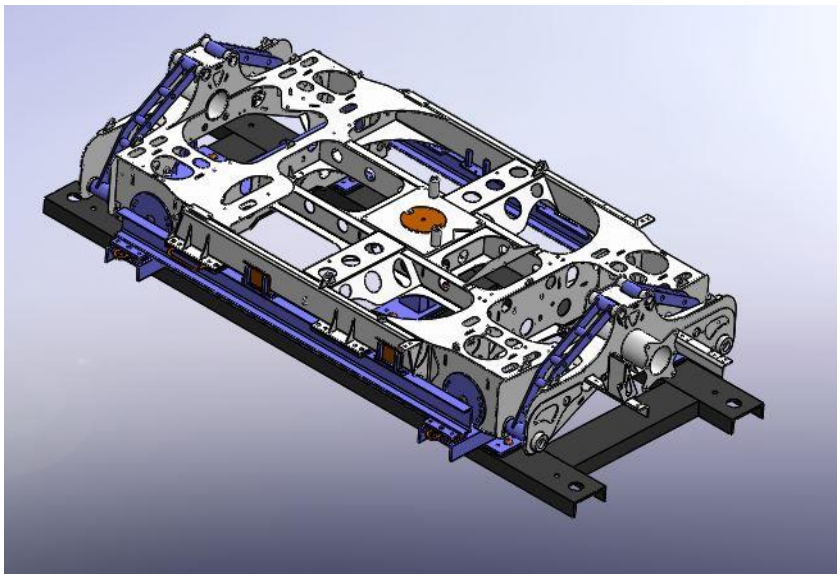
Şekil 3.13. 3D fikstür ve 3D ürün modeli.

Düşük dayanıma sahip bir malzeme ile yüksek dayanıma sahip bir malzemenin kaynağında, genelde sarf malzemesi düşük olan malzemeye eş dayanımda bir seçim yapılmalıdır. Böylelikle malzemenin kırılganlığı ve çatlama riski azalır. Sadece bazı

kaynak uygulamalarında, artık gerilmeleri en aza indirgemek için sarf malzeme dayanımının ana malzemeden düşük olması istenebilir. Tabi burada bu detaylarla birlikte torç açısından ilerleme hızına ve uygun amperdeki ısı girdisine kadar bütün detaylar fikstürün işlevi ile birlikte distorsionun önlenmesi açısından çok önemli parametrelerdir. Fikstürün haricinde Şekil 3.14'de ilaveten yardımcı kaynak aparatları kullanılmıştır. Bu aparatlar kaynak sırasında ve sonrasında ince cidarlı parçaların distorsiyonuna engel olmakta, ayrıca çaplı manşonlar arasındaki mesafe ölçülerinin doğruluğunu sağlamaktadır. Şekil 3.15'de tasarlanmış fikstür ve ürün modeli birlikte gösterilmiştir.



Şekil 3.14. 3D yardımcı aparat ve ürün birlikte izometrik (a), 3D yardımcı aparat ve ürün birlikte (b),Yardımcı kaynak fikstür aparatı (c).



Şekil 3.15. 3D fikstür ve 3D ürün modeli birlikte gösterimi.

Çok yoğun bir kaynağa maruz kalacak olan şasenin tamamında daha öncede ifade ettiğimiz gibi meydana gelecek distorsiyonlara engel olmak bütünüyle çok mümkün değildir. Fakat Şekil 3.16'da imal edilmiş fikstürlerden de anlaşılacağı üzere şasenin montaj aşamasında ve sonrasında çok önemli görülen kritik noktalar baz alınarak bir fikstür tasarımına gidilmiştir. Bu doğrultuda şasede tekerlerin bağlandığı noktalar ile yüzeylerin birbirlerine göre olan paralellikleri ve diklikleri gibi noktalar önemlidir. Şekil 3.17'de imal edilen ürün ile fikstürün birlikte imalat durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Kaynak esnasında kullanılmak üzere imal edilmiş fikstür.



Şekil 3.17. Ürünün fikstür üzerinde kaynağı.

3.3. Kaynağın Ülkemizdeki Gelişimi

Ülkemizde kaynak konusunda 1937 ilk planlı çalışmaya geçilmiş ve Eskişehir Devlet Demiryolları Fabrikasında bir kaynak bölümü kurulmuş ve eğitim için Almanya'dan Knoch adında bir kaynak uzmanı getirilmiştir. Nüvit Osmay bir süre bu uzmanla çalıştıktan sonra uzmanın Almanya ya dönmesiyle birlikte bu kaynak bölümünün başına getirilmiştir.

Ülkemizde 1950'li yılların ortasından itibaren kaynak konusu Üniversite öğretim planına alınmış ve 1955'te endüstride ilk kaynak kursları verilmeye başlanmıştır. Günümüzde artık kaynak ile ilgili birçok elektrot, kaynak telleri, üfleç, detantör, dekapan gibi birçok kaynak materyali, malzemesi, otomotik robot kaynağı ve lazer makinaları makinaları üretilmektedir (Gedik Eğitim Vakfı, 1983).

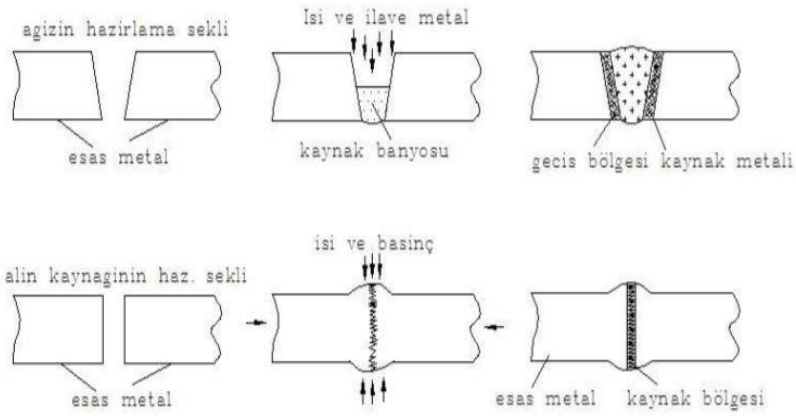
3.4. Kaynak Yöntemleri

Kaynak işlemlerini, genel hat itibari ile malzeme cinsine, işlemin cinsine, uygulanış şekline ve kaynağın amacına göre dört aşamada sınıflandırmak mümkündür.

Malzeme türüne göre, metalik ve plastik malzeme kaynağı olarak iki aşamada sınıflandırılabilir (Yamık & Erzen, 2021). Metal kaynağı, metalik malzemelerin, ısı, basınç veya her ikisinin birden kullanılması suretiyle ergitilerek, genelde ergitme özellikleri kaynatılacak malzeme ile aynı veya çok yakın özelliklerde ileve bir malzeme katarak veya katmadan yapılan birleştirme yada dolgu işlemidir. İki parçanın birleştirme işleminde ilave bir metal katılırsa, buna ilave metal denir. Plastik malzeme kaynağı ise, aynı yada farklı türden termoplastik malzemenin ısı ve basınç altında aynı türden ilave bir plastik malzeme katarak yada katmadan yapılan birleştirme işlemidir.

İşlem cinsine göre kaynak işlemi şematik olarak Şekil 3.18'de gösterildiği gibi , ergitme ve basınç kaynağı olarak ikiye ayrılmaktadır. Ergitme kaynağında malzeme sadece sıcaklığın etkisi ile bölgesel olarak ergiyerek, ilave bir metal katılarak yada katılmadan yapılan birleştirme işlemidir. Bu yöntemde kaynatılacak parçalara basınç uygulanmaz. Ergitme kaynağını da yine kendi içerisinde Şekil 3.19'da belirtildiği üzere altı alt başlıkta toplamak mümkündür. Basınç kaynağı ise, malzemeye genel olarak ilave bir metal katma işlemi olmadan basınç altında bölgesel olarak ısıtılarak birleştirilmesi

işlemidir (Yamık & Erzen, 2021). Basınç kaynağınıda yine kendi içerisinde Şekil 3.19'da ifade edildiği üzere, dokuz alt başlık altında toplamak mümkündür.

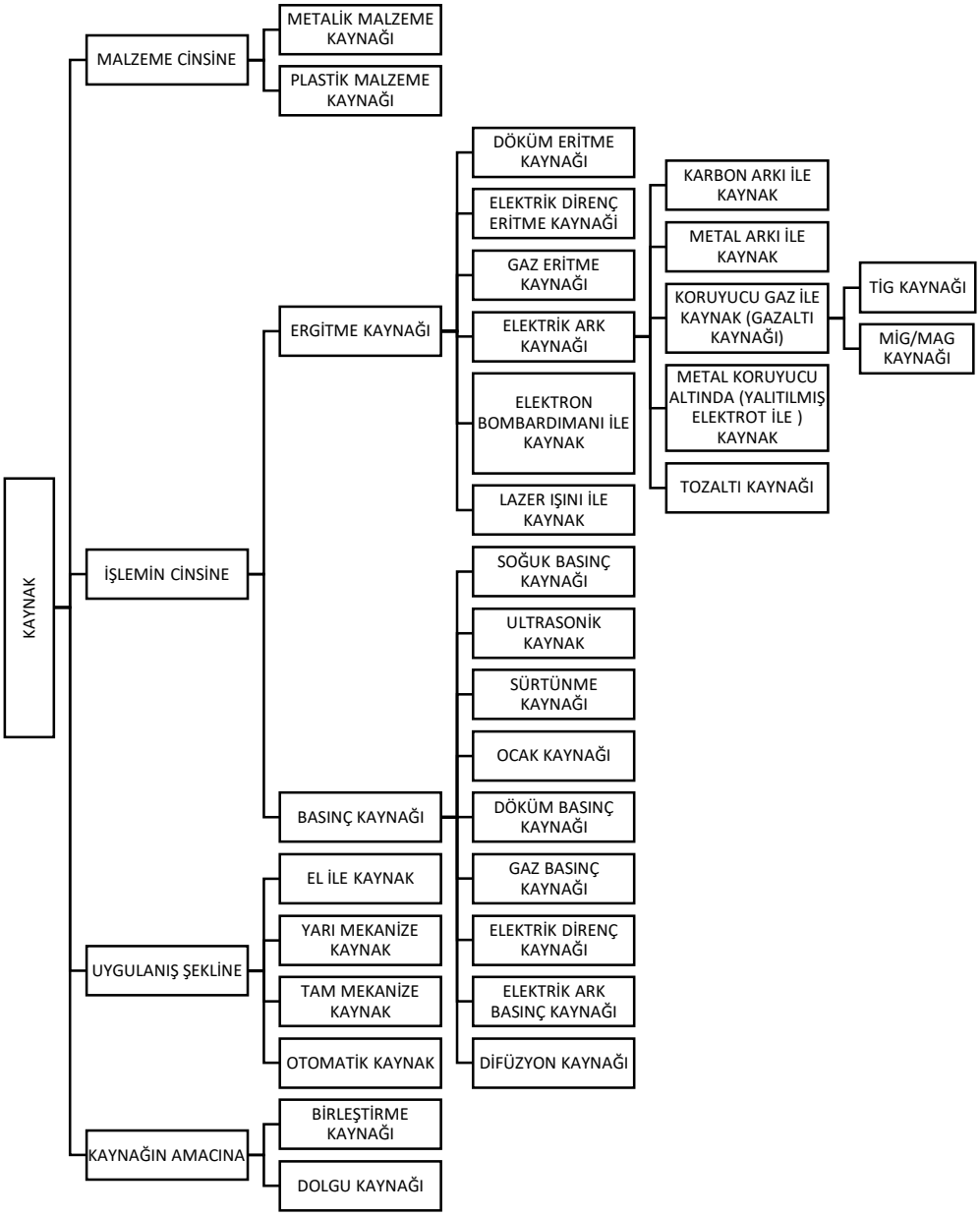


Şekil 3.18. Yamık ve Erzen (2021)'in çalışmasına göre ergitme ve basınç kaynağının şematik gösterimi.

Uygulanış şekline göre, imalat yöntemi bakımından dört aşamada ele alınabilir. Bunlar ; el ile kaynak işlemi, yarı mekanize kaynağı, tam mekanize kaynağı ve otomotik kaynak olarak ifade edilebilir. El kaynağı işleminde, kaynak cihazı elle kumanda edilerek yönetilir.

Mekanik kaynak işleminde, kaynak makinesi yine el ile kaynakta olduğu gibi elle idare edilir ancak diğer mekanik aksamlar çalışmaya devam eder. Yarı otomatik kaynak işleminde, işlem operatör aracılığıyla idare edilmek suretiyle kontrol edilirken, kaynak otomotik devam eder. Otomatik kaynak işleminde ise, işlem operatör aracılığıyla başlar ancak otomasyona dayalı bir yazılım söz konusu olduğundan öncesinde yazılmış olan programa göre işlem devam eder ve durdurma işlemi operatör tarafından yapılır. Şu anki teknolojide programa göre kendisi duran otomatik kaynak makinalarıda mevcuttur.

Amacına göre sınıflandırma, birleştirme kaynağı ve dolgu kaynağı olarak ikiye ayırmak mümkündür, birleştirme kaynağı, iki yada daha çok parçaların çözülemez bir şekilde bir bütün haline getirilmesi işlemidir. Doldurma kaynağı ise, bir iş parçası üzerindeki boşluğu doldurmak,eksiği tamamalamak yada bu iş parçasının hacmini büyütmek amacıyla belirli bir bölgede sınırlı bir alan içerisinde yapılan kaynak işlemidir. Kaynağı genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz ;



Şekil 3.19. Kaynağın genel olarak sınıflandırılması

3.5. Gazaltı Kaynak Yöntemleri

Kaynak sınıflandırmasında işlem türüne göre, ergitme kaynağı alt başlığı altında bulunan elektrik ark kaynağı yöntemlerinden biri olan gazaltı kaynak yöntemi, kaynağın meydana geldiği bölgeyi, olumsuz hava ve çevre koşullarından korumak amacı ile çeşitli gazlar kullanılmaktadır. Kullanılan koruyucu gazlar yanma işlemini hızlandırarak daha çok ısının oluşumunu sağlamaktadırlar. Buda kaynaktaki nüfuziyeti arttırarak istenilen

özelliklerde daha sağlam bir kaynak işlemine olanak sağlamaktadır. Kaynakta kullanılan gaz ve elektrot türleri, kaynağa ismini vermektedir. Gazaltı ark kaynağı türleri;

Ergiyen Elektrotla Yapılan Gazaltı Ark

- Soygaz atmosferinde (MIG)
- Karbondioksit atmosferinde (MAG)

Ergimeyen Elektrotla Yapılan Gazaltı Ark

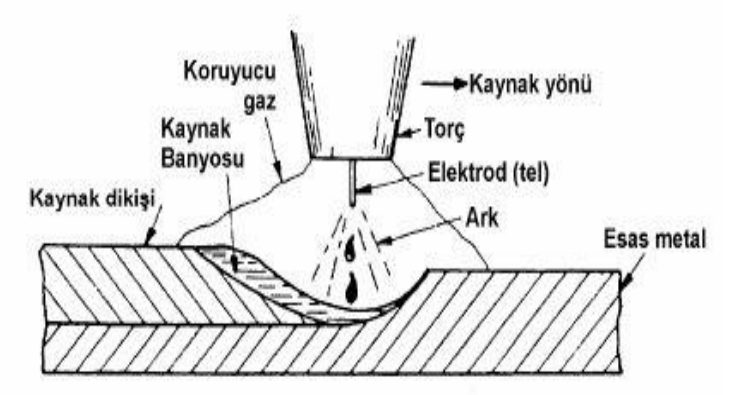
- Erimeyen tek elektrotla (TIG)
- Erimeyen çift elektrotla (Ark Atom)

3.5.1. MIG Kaynağı (Metal Inert Gas)

MIG kaynağının gelişimi, 1947'de ABD'de kaynak makinalarının üretilmesiyle başlamıştır. 1952'de Rusya'da CO_2 koruyucu gaz olarak ilk olarak denenmiş ve bugün ki MAG kaynağı ortaya çıkmıştır. Ar gazı o zamanlar pahalıya imal edildiğinden bu yöntem ilk olarak düşük alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin kaynağında uygulanmaya başlamıştır. Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağı konusu endüstride geniş bir yer kaplamaktadır. Bu yöntem, uygulama olarak basit bir yöntemdir. Operatör zorlanmadan rahat bir şekilde, topraklamayı iş parçasına bağlayarak torçun ucunda bulunan tel elektrotu da kaynak ağzına değdirilmesi yeterlidir. Uygulama kolaylığı sebebiyle birçok metal ve alaşımların kaynağında popüler ve aranan bir yöntem haline gelen MİG kaynak yöntemi sade C ve az alaşımlı çeliklerde tercih edilmemesine asal gazların pahalılığı sebep olmuştur. MIG sembolü, Metal Inert Gas ifadesinin baş harflerinden oluşmuştur. Soygaz olarak çoğunlukla, argon kullanılmakla beraber helyum yada argon+helyum karışımı da kullanılmaktadır. Çelik malzemelerin MIG kaynak işleminde argon gazına % 3-6 oksijen oranı ise , % 5-13 CO_2 karıştırılır. Bu karışım işleminde O_2 bulunması, ark işleminin kararlılığı ile ergimiş damlaların yüzeyde kolay bir şekilde tutulmalarını sağlamaktadır. Ayrıca gözenek oluşumlarını da engeller (Yamık & Erzen, 2021).

MIG kaynağında DC akım kullanılır, elektrot çoğunlukla pozitif kutupa bağlanır (ters kutuplama). Böylelikle hem oksit tabakasının parçalanması sağlanır hemde daha iyi bir nüfuziyet sağlanmış olur. Birçok malzemenin kaynaklanması bu yöntemle

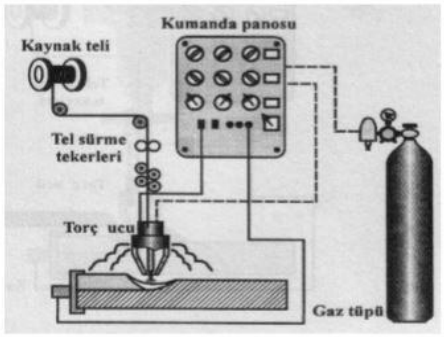
mümkündür. Lakin bazı noktalara dikkat edilmelidir. Mesela Al ve alaşımlarının kaynak işleminde sadece DC kullanılır ve oksit çözme özelliğinden dolayı kaynak teli her zaman pozitif olan kutba bağlanır (Yamık & Erzen, 2021). Şekil 3.20'de koruyucu gaz altında yapılan kaynak işleminde oluşan ark bölgesi ile alakalı şematik gösterim verilmiştir (Gedik Holding A.Ş., 1990).



Şekil 3.20. Gedik Holding A.Ş. (1990)'nın çalışmasına göre MIG/MAG kaynak yönteminde ark bölgesi.

Kaynak yapılmadan önce kaynak bölgesinin temizlenmesi, kaynak dikişinde oluşabilecek gözenekleri minimize edebilir. Cu ve alaşımlarının kaynak işlemlerinde ise, gerekirse 200-400 °C arasında ön tavlama işlemi uygulanabilir. MIG kaynak makinelerinde de elektrik ark kaynak makinelerinde ki gibi akım miktarı ayarlanabilir. Akım şiddeti kaynatılacak parça kalınlığına ve kullanılan tel çapına göre değişiklik gösterir (Yamık & Erzen, 2021). Şekil 3.21'de bir gazaltı kaynak makinasının genel olarak çalışma prensibi ile ilgili şematik gösterim verilmiştir.

Saç Kalınlığı	Amper
1 mm	45 -70 Amp
2 mm	100 - 130 Amp
3 mm	120 - 170 Amp
4 mm	140 - 200 Amp
6 mm	160 - 220 Amp



Şekil 3.21. Yamık ve Erzen (2021)'in çalışmasına göre MIG/MAG şematik gösterim.

3.5.2. MAG Kaynağı (Metal Activ Gas)

Karbodioksit atmosferi altında yapılan, diğer bir ifade ile CO_2'nin koruyucu gaz olarak kullanıldığı yöntemdir. İsmen Metal Activ Gas kelimesinin baş harflerinden oluşmaktadır. Al ve Mg gibi kolay bir şekilde oksitlenen malzemelerin kaynağında, karbondioksit gibi aktif bir gaz kullanıldığı halde, bu gaz çeliklerin kaynağında yeni olanakların meydana gelmesine vesile olmuştur. Mn ve Si kaybının kaynak telinin bileşimi tarafından karşılanması sebebiyle, çeliklerin kaynak işleminde kullanılan MIG kaynak teli, MAG'da kullanılmamaktadır. (Gedik Eğitim Vakfı, 1983). Çoğunlukla çeliklerin kaynak işleminde kullanılmaktadır. CO_2 gazı saf ve kuru olmalıdır. Oluşabilecek bir rutubet durumunda, kaynak dikişi gevrekleşir ve gözeneklerin oluşmasına neden olabilir. Kaynak sıcaklığında, karbondioksit reaksiyona girerek karbonmonoksit($CO_2 \leftrightarrow CO + ½\ O_2$) ve oksijene ayrışmaktadır (Yamık & Erzen, 2021).

MAG kaynak işleminde DC akım (ters kutuplama) kullanılır. Ergime direnci akım şiddetine bağlıdır. MAG yönteminde kısa ark boyu ile çalışılmakta olup, bu boy 1-2 mm arasındadır. Torc olabildiğince parçaya dik bir şekilde tutulmalıdır. Ark boyu miktarının fazla olması halinde dikişlerde gözenekler oluşabilmektedir. Otomatik MAG yönteminde, daha iyi bir nufüziyet ve güzel görünümlü dikişler elde edilir. CO_2 gazının Ar gazına göre fiyat olarak daha uygun olması, iyi bir nüfuziyet, iyi bir kaynak hızı ve ortaya çıkan UV ışınlarının daha düşük olması MAG kaynağını MİG kaynağından üstün tutan taraflardır. Fakat yüzey MİG yöntemine göre daha prüzlüdür (Yamık & Erzen, 2021).

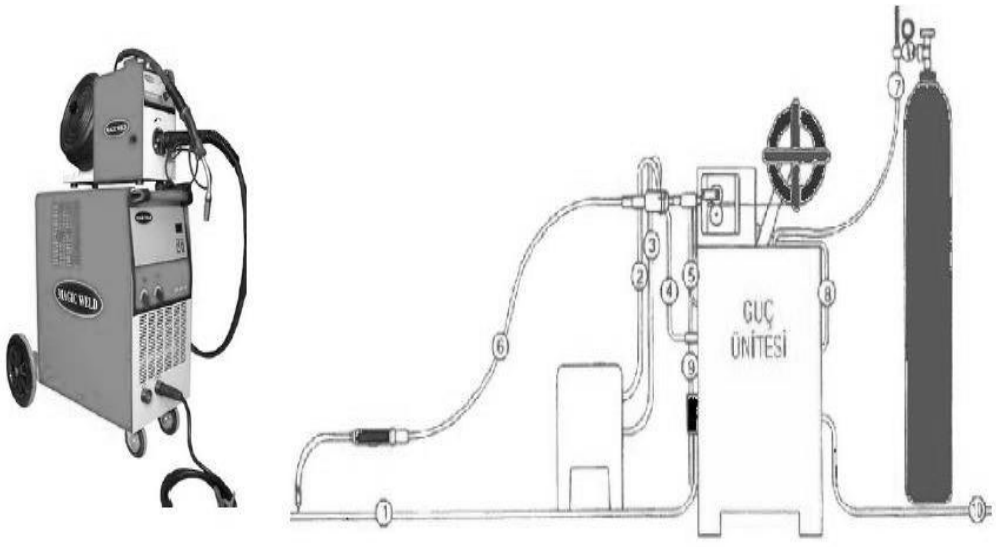
3.5.3. MIG-MAG Kaynak Donanımları

MIG-MAG kaynak donanımları aşağıdaki kısımlardan meydana gelir :

- Kaynak tabancası olarak ifade edilen bir kaynak torcu.
- Torç bağlantı (Tel elektrod grubu ve muhafazası, şalter ve kaynak kablosu, soğutma suyu giriş-çıkış hortumları, gaz hortumu) sistemi
- Tel elektroda hareketi veren mekanizma sistemi
- Ayarların yapıldığı (Soğutma suyunu devreye alma, gaz akışını ve akım ayarı) kumanda paneli
- Kaynak akım üreteci.

- Koruyucu gaz tüpü (basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı)

Kaynak torçları; MIG-MAG kaynağında tel elektroda akım verilmesi ve ark noktasına koruyucu gazın iletilmesi torçun görevi olup, arktaki yüksek sıcaklıktan ötürü operatörün olabildiğince etkilenmemesi için çok çeşitli torçlar geliştirilmiştir. En yaygın olan şekli ise oksi asetilen hamlacını andıran bükülmüş olan türüdür (Gedik Eğitim Vakfı, 1983).



Şekil 3.22. Uzun (2021)'in çalışmasına göre MİG-MAG gazaltı kaynak ekipmanları.

1. İş parçası kablosu
2. Torca soğutma suyu girişi
3. Torçtan geri su dönüşü
4. Torç tetiği devresi
5. Torca koruyucu gaz girişi
6. Kablo grubu
7. Hortumdan gelen koruyucu gaz
8. Tel sürme mekanizmasının kontrolü
9. Güç kablosu
10. Primer güç girişi

Torç bağlantı paketi; kaynak makinasına, bir elektrod kılavuzu, akım kablosu, gaz hortumu ve soğutma suyu giriş-çıkış hortumlarını kapsayan metal spiral takviyeli kalın bir hortum ile kaplanmıştır, bu hortuma torç bağlantı paketi ismi verilmektedir (Gedik Holding A.Ş., 1990).

Tel sürme tertibatı; Tel elektrot sürme sistemi, teli makaradan çekip, belirlenmiş bir hızla arkın olduğu noktaya gönderen sistemdir (Gedik Holding A.Ş., 1990).

Kumanda tertibatı; Gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra ana şalter kapatılması ile çalışmaya hazır vaziyete gelmesi durumunda yarı mekanize MİG-MAG kaynak makinalarında torçda bulunan düğmeye basmak yeterlidir. Bu durumda önceden

ayarlanmış olan debide koruyucu gaz akımı başlayarak ,ark oluşur ve devamında tel sürme tertibatı devreye girer (Gedik Holding A.Ş., 1990).

MIG-MAG kaynağı akım üreteçleri; Bu kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiklidir, sabit gerilimli olarak da isimlendirilen bu akım üreteçleri işleminde gerilim olayı tamamen sabit olma olayının olmamasının yanında zaman konusu da sıkıntılı bir durumdur. Böyle bir durum karşısında elektrod iş parçasına temas ederse gerilim düşer ve akım şiddeti artarak elekrod'ta patlama ve sıçramaya sebep olacaktır (Gedik Holding A.Ş., 1990).

Koruyucu gaz tüpleri; Genelde ülkemizde koruyucu gaz basınçlı tüplerden elde edilir, asalgaz tüpü olarak, O_2 tarzında üretilenlere benzer 40 litre hacimli 150 bar 'lık tüpler kullanılmaktadır (Gedik Holding A.Ş., 1990). Şekil 3.22'de gazaltı kaynağında kullanılan ekipmanlarının numaralandırılmış bir şekilde gerekli olan donanımlarının şematik gösterimi verilmiştir (Uzun, 2021).

BÖLÜM 4

KAYNAKTA DİSTORSİYONLAR

Metallerin yüksek sıcaklıklarda ısıtılması, esas metalin iç yapı özelliklerinde farklılıklar oluşturur ve etrafındaki atmosferle sıcak ya da erimiş durumdaki metal veya alaşım elementleri arasında birtakım kimyasal tepkimelerin oluşmasına neden olabilir. Sıcaklığın kimyasal tepkimelere yoğun bir etkisi vardır ve yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça tepkimeler daha hızlı oluşur. Sıcaklık aynı zamanda difüzyonu da etkilemektedir. Metallerde oluşan birçok yapı farklılıklarının nedeni difüzyondur. Bu durumda sıcaklık için, ısı tesiri altında kalan bir metalde oluşan iç yapı farklılıklarında önemli bir etkiye sahip olup, ergime kabiliyeti de sıcaklığa bağlı bir parametredir. Yükselen sıcaklıkla birlikte metaller içerisindeki ergime kabiliyeti artar ve doymuş solusyonlar soğutulduğu vakit çökelme oluşur ve metal özelliklerine büyük oranda etkisi olur (Çelik, 2021).

Her zaman mekanik özellikler sıcaklığın artmasıyla azalır. Örnek verilecek olursa bir metale ait çekme gerilmesinin sıfıra indiği ergime noktasında metal hiçbir şekilde gerilmeye karşı gelemez. Kaynak sırasında bölgesel ısınmalardan dolayı, ısınma ve soğuma esnasında birtakım gerilmeler oluşur ve ısıtma esnasında yüksek orandaki sıcaklık farklarının oluşturduğu plastik deformasyonlar metalde kalıntı gerilmelerinin meydana gelmesine neden olur (Çelik, 2021).

Malzemelerin kaynaklı birleştirmeleri sırasında termal bir etki meydana gelmektedir. Bu etki malzemenin ısı etkisiyle bünyesinin genişlemesine, sıcaklık düşüşü sırasında da büzülmesine neden olmaktadır. Kaynaklı birleştirme sırasında malzemeler ergime sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldığından dolayı malzemede

sıcaklık dağılımı düzenli değildir. Bu düzensiz sıcaklık dağılımları birleştirilen malzemeler üzerinde artık gerilmeler ve distorsiyon gibi yapıda istenmeyen durumları meydana getirir (Aktaş, 2007).

Kaynaklı birleştirmede meydana gelen gerilme ve distorsiyon, kaynaklı malzemeler soğuyarak normal sıcaklığa geldiğinde malzemede kısalmaya neden olmaktadır. Kaynağı yapılan malzemenin fiziksel özellikleri, operatörün kaynak tekniği, kaynak parametreleri ve kaynak işlemi gerilmeleri ve distorsiyonları etkilemektedir. Gerilme ve distorsiyonların meydana gelmesini etkileyen faktörler; ısıl gerilmeler, konstrüksiyonun rijitliği ve malzemenin metalürjik özellikleri olarak sıralanabilir.

4.1. Temel Kavramlar

4.1.1. Çelik Malzemenin Tanımı ve Türleri

Demir, içinde az miktarda karbon barındıran bir alaşımdır. Çelik, Fe elementi ile genellikle % 0,2 ile % 2,1 oranında bir 'C' miktarının bileşiminden oluşur. Çelik alaşımlarındaki 'C' oranları çeliklerin sınıflandırılmasında önemli bir yere sahiptir. % 2-6.67 arasında bir karbon içeren alaşımlar ise dökme demir ismini alırlar. Alaşımlandırma işlemi ile metallerin dayanım ve sertlik dereceleri arttırılabilir. Demire ilk olarak ilave edilen element karbon olmuştur (Çelik, 2021).

Karbonun çok az oranda ilavesi, mekanik özellikleri ve sertliği önemli oranda arttırmaktadır. Tabi bu durumda çeliğin işlenmesini ve kaynaklanabilirliğini azaltmaktadır. Karbonlu çelikler, sadece karbon ilave edilen alaşımlardır. Oran % 0.15-0.50 arasında olan çelikler yapı çelikleri olarak isimlendirilir. Çeliğin kolay bir şekilde işlenmesini ve kaynak kabiliyeti özelliğini yitirmeden dayanımını arttırmanın bir başka yöntemi de içine karbon haricinde V, Ni, Cr, Mo, Si, Mn gibi alaşım elementleri biraz sert ancak yüksek dayanım kazandırılabilir. Katılan bu elementlerin oluşturduğu alaşım çeliklerine düşük alaşımlı çelikler denir. Eğer ilave edilen bu alaşım elementleri düşük ise alaşıma demir hükmetmeye devam eder. Bu tarz yapılar ferritik çelik olarak adlandırılır. Bu gruba karbonlu ve düşük alaşımlı çelikleri dahil etmek mümkündür (Çelik, 2021).

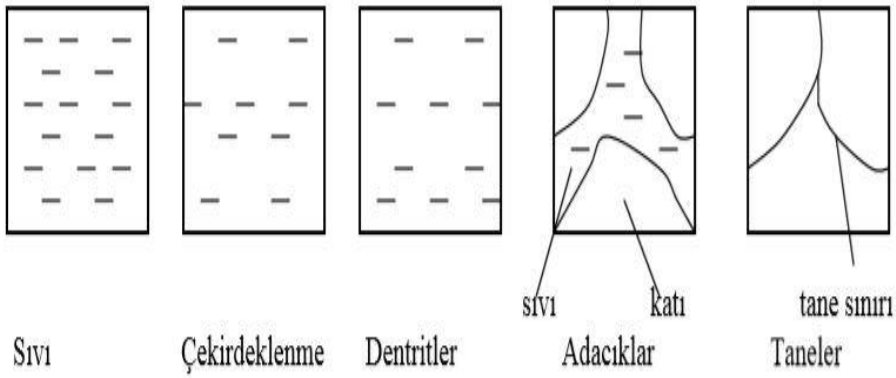
Kaynaklanabilir olma konusunda bu grup çok önemlidir. Katılan alaşım element miktarları belli bir değeri aşarsa, demir hakimiyetini yitirir ve değişik yapılar meydana gelir ki bunlara da yüksek alaşımlı çelikler adı verilir. En önemli grupta paslanmazlardır. Ayrıca demir esaslı olmayan alaşımlar da vardır ve bu alaşımların içerisinde demir ya olmaz veya az miktarda mevcuttur. Alaşım içeriğine hangi element miktar olarak hakimse o ismini verir. Nikel alaşımları, bakır alaşımları ve titanyum alaşımları gibi. Demir-karbon alaşımlarının isimlendirilmesi aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Çelik (2021)'in çalışmasına göre Fe-C alaşımlarının almış olduğu isimler

% C Oranı	*İsim*
< 0.05	Demir
0.05 – 2.0	Çelik
0.15 - 0.50	Yapı çeliği
0.50 - 2.0	Makine takım çeliği
2.0 – 4.5	Dökme demir

4.1.2. Tane Yapısı (Billur)

Çelik tanesel bir yapıda olan katıdır. Bilinen tabiatta var olan 92 elementin 70 tanesi tanesel yapıya sahip olmakla birlikte, amorf yapıdadır. Bu tanesel yapılar bir şekil ve büyüklüğe sahip değildir. Mesela, çeliğin tane büyüklükleri μm (mikron) seviyesinden mm seviyesine geçebilir. Bu bağlamda çelikler ince ya da kaba taneli adını almaktadırlar. Orta büyüklüğe sahip bir tane 10^{18} atomdan meydana gelir ve 0.1 mlg gelmektedir.



Şekil 4.1. Çelik (2021)'in çalışmasına göre tane oluşum aşamaları

Taneler şekil 4.1'de görüldüğü üzere bellirli bir aşama ile oluşur. Katılaşma aşamasında atomlar ufak bir topluluk şeklinde çekirdekleşir sonra giderek büyümek suretiyle dentrit dediğimiz yapıyı ve akabinde yüzen adacık dediğimiz yapılar meydana gelir. Adacıkların doğrudan birbiri ile bağlantıda olduğu anda katılaşma tamamlanır. Katılaşma işleminden sonra hareketlilik özelliğini kaybeden adacıklara tane denir (Çelik, 2021).

Çekirdeğin meydana gelme hızının, tane gelişim hızına göre oranla daha büyük olması ile yapı ince taneli olur. Ergiyen metaldeki küçük kalıntılar çekirdeğin meydana gelmesini tetikleyen parametrelerdir. Çok fazla bir soğuma çekirdeğin daha önce meydana gelmesini sağlayan başka bir unsurdur. Ancak türbülansın güçlü olduğu kaynak havuzunda bunun pek bir kıymeti yoktur. Çekirdeğin meydana gelmesinde soğuma süresi, kristal büyüme hızına göre daha büyük bir etki yaratır. Böylelikle soğuma hızın arttırmak suretiyle tane küçültülebilir (Çelik, 2021).

4.1.3. Kristal Kafes Yapısı

Tane yapısı içerisinde atomlar mükemmel yapıda geometriler şeklinde dizilmişlerdir. Bu düzgün yapıya kristal kafes ismi verilir. Kafesin geometrik anlamda aynı olan en küçük yapısına birim hücre denilir ve binlerce, milyonlar ve trilyonlarca birim hücrenin bir araya gelmesi ile kristal kafes meydana gelir. Çeliklerde birim hücre bir küp şeklindedir. Bütün köşelerde demir atomu, merkezde ise karbon atomu mevcuttur.

Bu duruma hacim merkezli kübik (HMK) yapı denilir. Kübün kenar uzunluğu 2.86 ºA (angstron) dur. Uzunluk değeri olarak 1 ºA = 10^{-10} m = 10^{-7} mm 'dir.

En az 350 birim hücre yan yana gelerek, 1 µm (mikron) uzunluğu oluşturur. 35.000 adet birim hücrenin bir araya gelmesiyle 0.1 mm uzunluğundaki bir birim hücre çıplak gözle ancak fark edilebilir (Çelik, 2021). Bazı metallerin birim hücre şekil ve büyüklüğü Çizelge 4.2'de verilmiştir. Örnek verilebilecek önemli birim hücre geometrik şekilleri:

- Yüzey merkezli küp (YMK)
- Kare prizma (Tetragonal)
- Dikdörtgen prizma (Ortorombik)
- Altıgen prizma (Hexagonal)

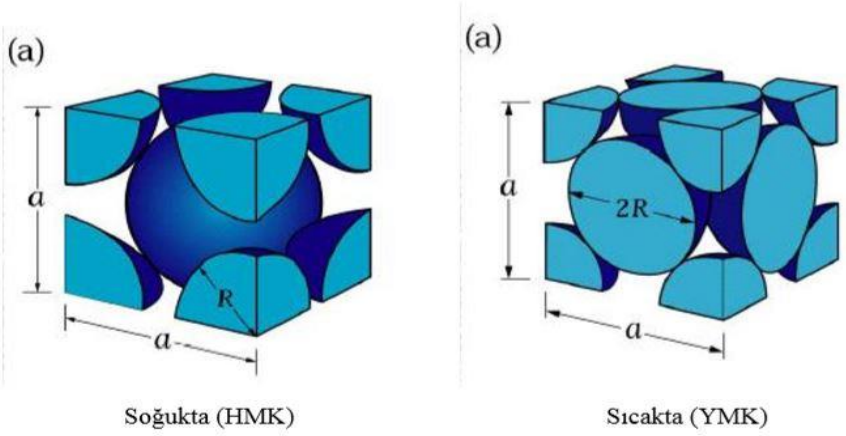
Çizelge 4.2. Çelik (2021)'in çalışmasına göre bazı metallerin birim hücre şekli ve büyüklüğü

Birim Hücre	Element	Kenar Uzunluğu ºA
HMK	Fe	2,86
	Cr	2,88
	V	3,04
	Mo	3,14
	W	3,16
YMK	Ni	3,52
	Cu	3,61
	Al	4,04

4.1.4. Allotropi

Bir çok malzemenin belli bir kristal yapısı vardır. Bu kristal yapının anlamı malzemenin içindeki atomların belli bir düzene göre sıralanmasıdır. Şayet sıcaklık ile bu kristal dizilimin şekli değişiyorsa buna allotropi nedir. Bazen bu kristal yapı hem sıcaklığa hem de dış basınca bağlıdır. Kısaca bir metalin farklı sıcaklıklarda kristal kafes yapısının değişmesi durumudur. Sıcaklıkla kristal kafes yapılarını değiştiren ve değiştirmeyen metaller örnek olarak Çizelge 4.3'te verilmiştir (Çelik, 2021).

Buna demir örnek verilebilir. Demir allotropik bir metal olmakla beraber, ergime derecesi 1535 ºC'dir. Fe ergime derecesinden çok düşük sıcaklıklara kadar olan sıcaklık süreci içerisinde kristal kafes yapısını dönüştürme özelliğine sahiptir. 0-910 ºC hacim merkezli kübik, 910 ºC'den sonra ise yüzey merkezli kübik yapıya ve 1400 ºC de yeniden HMK'ya dönüşmektedir. Katılaşmada da işlem aynıdır. Çelikte de konu aynı, tek fark çelikteki karbon miktarına göre dönüşüm sıcaklıklarının farklılık göstermesidir. Karbonlu çelik için iki birim hücresi Şekil 4.2'de verilmiştir. Tabi kaynak bakımından allotropi büyük öneme sahiptir. Çünkü sadece allotropik özelliği olan alaşımlar soğuma esnasında sertleşir. Kaynak işlemi esnasında sertleşen malzemeler allotropiktir. Isıl işlem ile tavlama işlemi de allotrop metal ve alaşımların kaynak işleminde kullanılmakta olup bu bakımdan ferritik çelikler allotropik olup, östenitik paslanmaz çelikler allotrop değildir (Çelik, 2021).



Şekil 4.2. Çelik (2021)'in çalışmasına göre karbonlu çeliğin iki birim hücresi.

Çizelge 4.3. Çelik (2021)'in çalışmasına göre sıcaklıkla kristal kafes geometrilerini değiştiren ve değiştirmeyen bazı metaller.

Değiştirenler	Değiştirmeyenler
Fe Mn Co Sn	Al V Cr Ni Cu Mo W
	Metalsiler C Si

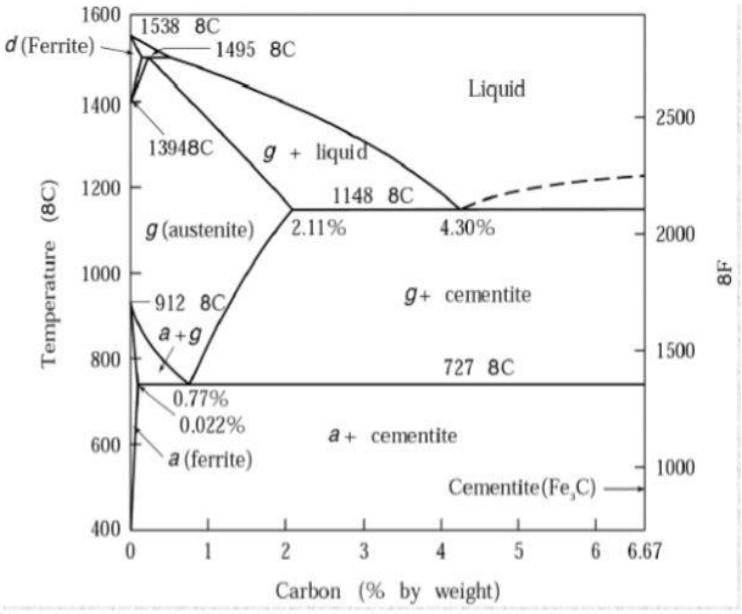
4.1.5. Katı Eriyik ve Karbür

İki maddenin atom veya molekül seviyesinde karışımına eriyik bu durumun katı halde meydana gelmesine katı eriyik denilir. Ergime sınırına doyma diyoruz ve buda sıcaklıkla artar. Demirde karbonu içinde ergitir ve allotropik sıcaklıkta bu durum 100 kat artar. Oda sıcaklığında eriyik α , ilk allotropik sınırın üstündekine γ, ikinci allotropik seviyenin üstündeki katı eriyik δ katı eriyiği olarak ifade edilir (Çelik, 2021). Kaynak işlemlerinde α ve γ katı eriyiği önemlidir. Çeliğin soğuma esnasında karbon ergitme yeteneği azalır ve karbon çökelmesi meydana gelir. Bilhassa da allotropik sıcaklığın üstüne çıkarken eritme yeteneği birden düşer ve kütlesel karbon çökelmesi meydana gelir. Sıcaklığın yaptığı etki ile bu karbon çökelmesi (723-910 ºC) arasında demir ile kimyasal reaksiyona girerek Fe_3C molekülünü meydana getirir. Bu duruma sementit ismi verilmiş

olup, oda sıcaklığında çelik yapısı α katı eriyiği ve sementit karışımıdır. Katı eriyiklerin yapısı genelde sünek, karbürlerin ise gevrek ve serttir. Bundan dolayı çeliğin sünek oluşu (α) katı eriyiği olmasından sertliği ise Fe_3C'den dolayı meydana gelir. Bu karışım değiştirilerek istenen yapı oluşturulabilir. Çeliğe ilave edilecek elementler (Mn,Si,Mo,Cr,Ni) demirde erirler fakat erime ölçüsünde katılım sağlanır (Çelik, 2021).

4.1.6. Demir-Karbon Denge Diyagramı ve Faz Yapıları

Çeliğin metallurjik yapı durumlarının sıcaklık ve karbon oranı ile değiştiğini gösteren diyagrama demir-karbon (Fe – C) denge diyagramı adı verilir. Faz, kendine has atom tertibine sahip olup, çevrili sınırları olan bir yapı elemanıdır. Çelik çeşitli fazların karışımı şeklindedir. Bu yapıların ne kadar bir ‘‘C’’ miktarına ve sıcaklığa sahip olduğu ve çelik yapısındaki miktarlarını, faz diyagramından tespit etmek mümkündür. Fakat, fazlar arasındaki yapı farklılıklarının görülebilmesi mikroskop ile büyütülerek metalografik bir işlem ile sağlanabilir (Çelik, 2021). Burada şekil 4.3'te görüldüğü üzere, Fe – C diyagramının kaynak açısından önemli olan bölümü soldaki ilk sütündur. Burdan yola çıkarak çelik oda sıcaklığında hacim merkezli kübik yapıya sahiptir. Şekil 4.4 ‘te çeliğin karbon oranıyla değişen yapısının şematik gösterimi verilmiştir. Yapısındaki karbon miktarına göre isim verilir. Şu şekilde ifade edilebilir;

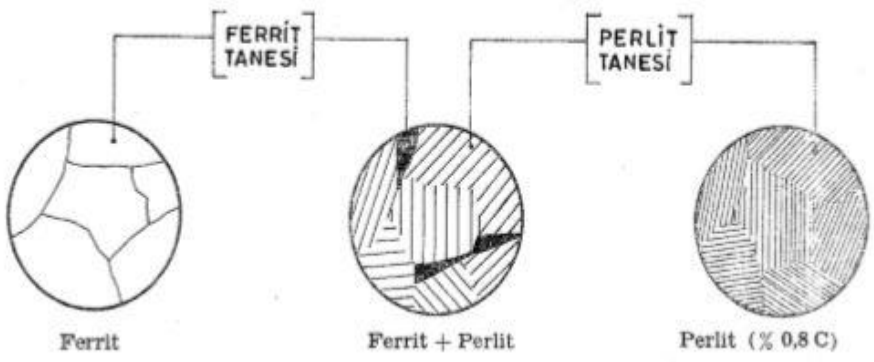


Şekil 4.3. Çelik (2021)'in çalışmasına göre demir-karbon denge diyagramı.

FERRİT; bir katı eriyik olup, (α) katı eriyiği olarakta ifade edilir. Demirin soğukta karbonu eritme kabiliyeti az olduğundan ferrit düşey eksene çokça yakın neredeyse çakışıktır (Çelik, 2021).

PERLİT; %0,8 C içerir. Bir başka ismi ötektoid 'dir. 723 ºC'ye kadar çelik, hacim merkezli kübük, bu sıcaklığın üstünde kafes yapısı değişerek yüzey merkezli kübik bir yapıya dönüşür. Ferrit ve perlit de eriyerek tek bir faza dönüşür (Çelik, 2021).

OSTENİT; Üst kritik sıcaklık seviyesinin üstünde çelik için oluşan yeni bir yapı olup, γ katı eriyiği olarakta ifade edilir. Karbonun demir içerisinde daha fazla eriyebildiği bir fazdır. Mikroskop incelemesinde α ve γ katı eriyikler aynı şekilde görünmektedir. İki fazın farkı ancak elektron mikroskobu ile 4 milyon kat büyütülmesi sonucunda hacim merkezli ve yüzey merkezli kübik yapı seçilebilir (Çelik, 2021).



Şekil 4.4. Çelik (2021)'in çalışmasına göre çeliğin karbon oranıyla değişen yapısı.

Kaynak bakımından çok üst sıcaklıklarda çelik yapısı mühim değildir. Kaynak dikişi soğumaya bırakıldığında bahsedilen işlemler tersine dönerek oda sıcaklığına iner, fakat tek bir koşulda bu dönüşüm olayları gerçekleşir. Oda soğuma işleminin çok yavaş bir şekilde olmalıdır. Gerçekte bu pek olmaz ve diyagramda ifade edilen teorik dönüşümler ile karşılanılmaz (Çelik, 2021).

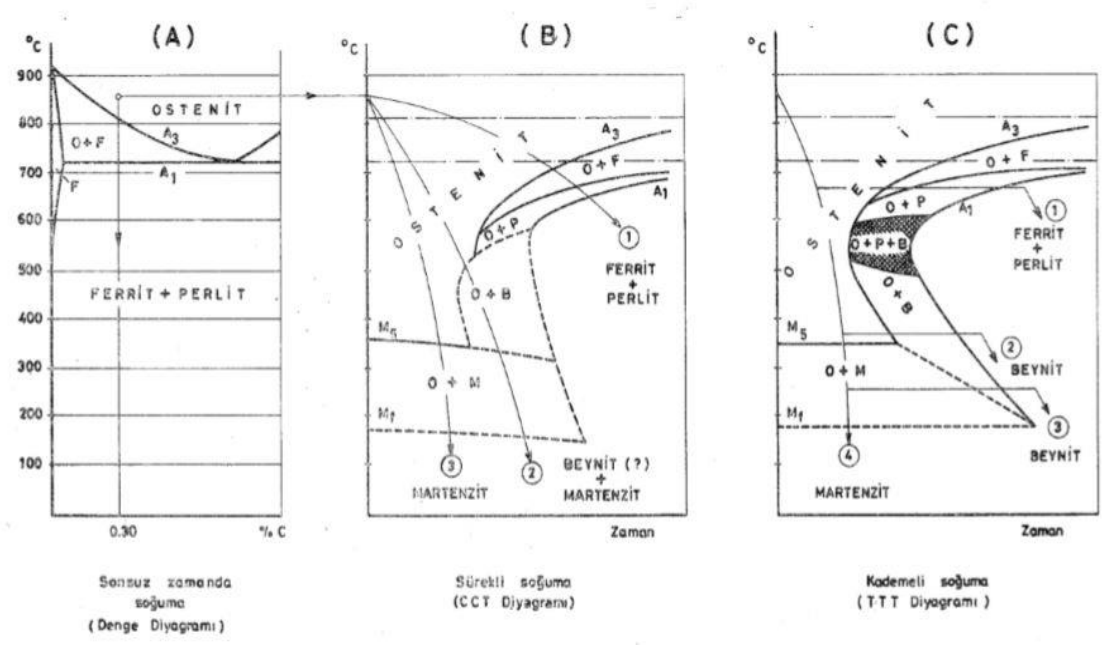
4.1.7. Çelikte Soğuma Diyagramları

Şekil 4.5'de çeliğin soğuma diyagramlarının sıcaklık, zaman ve karbon oranına göre grafikleri verilmektedir. ''C''lu çelik 3 farklı rejim ile soğumaktadır. Bunlar ; (A)

diyagramı; aşırı yavaş soğuma, (B) diyagramı; sürekli soğuma ve (C) diyagramı; kademeli soğuma olarak ifade edilir. Diyagramaların çiziminde A diyagramında düşey sütün sıcaklık, yatay ise % C oranı alınmış olup zaman parametre alınmıştır. B ve C diyagramlarında sıcaklık ve zamana bağlı % C oranı ele alınmıştır (Çelik, 2021).

A Diyagramı: % 0,3 karbon içeren bir çeliğin çok uzun zamanda (aşırı yavaş) ile yapı dönüşümlerini görmekteyiz. Soğuma hızının artması ile karbon miktarı da esas alınarak yapı dönüşümünün daha az sıcaklıklara düştüğü görülmektedir (Çelik, 2021).

B Diyagramı (Sürekli Soğutma): Bu diyagramda yapı dönüşümleri 3 farklı soğuma hızı ile görülmektedir. 1 nolu soğumada 700 ºC'de östenit bozulma, 670 ºC'ye kadar ferrit, 645 ºC'de perlit oluşmakta ve dönüşüm işlemi bitirilmektedir. 2 noluda östenit bozunma 500 ºC'ye kadar düşer ve bu dereceye kadar olan kısımda beynit ismi verilen bir yapı meydana gelmiştir. Bu yapı yüksek mukavemetli ve sünek ve yüksek darbe direncine sahiptir. 3 nolu soğumada östenit bozunma 350 ºC'ye düşer ve beraberinde martenzit yapı meydana gelir. Kaynak dikişlerinde hiç istenmeyen sert ve kırılgan bir yapı ortaya çıkar (Çelik, 2021).



Şekil 4.5. Çelik (2021)'in çalışmasına göre çeliğin soğuma diyagramları.

C Diyagramı (Kademeli Soğutma): B ve C arasındaki diyagramlarda benzer durumlar vardır. Bununla birlikte bu diyagramlar arasındaki en mühim fark ise, beynit bölgesidir.

B'de kararsız iken, C'de kararlı bir duruma dönüşmektedir. C diyagramında amaç, arzu edilen dönüşümün meydana gelmesi için imkan sağlamaktır (Çelik, 2021).

4.2. Kaynakta Oluşan Isı Alanları

Birçok kaynağın temeli parçanın belli bir bölümünün ergime derecesine kadar ısıtılarak tekrardan soğuması işlemine dayanır. Kaynakta sıcaklık dağılımı zaman ve yön açısından homojen olmamakla beraber, kaynakta oluşan deformasyonlarında temel nedenidir. Kaynak işlemlerinde meydana gelen deformasyon ve gerilme problemlerini çözümlemek için en uygun sıcaklık dağılımının belirlenmesi temelde esastır. Bu konuda çok sayıda bilimsel çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir (Yılmaz, 2007).

Bu araştırmalardan birkaçı aşağıdaki gibidir ;

- 3 boyutlu sıcaklık dağılımı ve ısı kayıplarının tespit edildiği analitik çalışmalar,
- Sonlu Elemanlar Analizi (FEA),
- Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM),

Isı iletim çözümlerinin tespiti bilgisayar özelliklerinin artması ile gelişim göstermiştir. Son yıllarda FEM yoğun olarak kullanılmaktadır. Analitik çalışmalar basit kaynak işlemlerinde, kabul edilebilir miktarda sıcaklık dağılımı tespitinde kullanılmaktadır. İşlemin doğruluk payı, sıcaklık değişiminin arka yakın olmadığı alanlarda daha fazladır. Ayrıca analitik çalışmaların temel problemlerinden biride doğrusal olmayan sorunların çözümüne imkan sağlamamasıdır. FEA yönteminin temel avantajı basit ve fiziksel olarak daha anlaşılır olup, fakat bu yöntemde kullanılan eğrisel bölgeler fazlaca karışıktır. Son zamanlarda teknolojinin çok yüksek kapasitelere çıkması ile FEA kullanımı daha yaygın bir hal almıştır (Yılmaz, 2007).

4.2.1. Kaynakta Oluşan Isı Girdisi

Kaynağın başarılı olması, kaynakta oluşan ısı girdisinede bağlıdır. Isı ne şekilde sağlanmış olursa olsun kaynak alanına ısının verilmesi ile düşük sıcaklıkta olan metalde ısı her iki yöne metal aracılığıyla uzaklaşır ve metalde bir sıcaklık gradyanı meydana gelir. Bununla birlikte ergimenin oluşması için verilen ısı girdisi hızının, ana metalde olan ısı transfer hızından daha fazla olmalıdır. Dolayısı ile ana levhanın ısı transferi, kaynak

işleminde göz önünde bulundurulması gereken önemli bir hususdur (Yamık & Erzen, 2021).

Kaynak işlemlerinde kullanılan birçok metalin ısı iletim hızı farklıdır. Mesela, bakırın kaynak işleminde ısı iletim hızı, demire göre daha hızlıdır. Buda aynı kalınlıklara sahip bakır ve demir malzemelerinin kendi içerisinde yapılan kaynak işlemlerinde, bakır kaynağına demir'e göre daha yüksek hızda ısı sağlanması anlamına gelir. Kaynakta malzemelerin ergime derecesi önemlidir.

Aluminyumun ısı transferi yüksek olup, 660 °C'de ergir ve 1083 °C'de ergiyen bakıra oranla ergitilme derecesi daha düşüktür. Kaynak işleminden önce yapılan tavlama, yani ısıtma işlemi sıcaklık farkını düşürerek, ergime sıcaklığına daha çabuk ulaşılır. Kaynaklanacak parçaların her biri ısı akışı yönünden bir yol sağlayan iki veya daha çok parçadan meydana gelmektedir. Mesela bir T bağlantı kaynağı üç ısı akış yönüne sahip olup, iki ısı akış yönüne sahip olan alın kaynağı işlemine nazaran daha çabuk soğumaktadır (Yamık & Erzen, 2021). Kısaca ana metal kaynak ergimesine etki eden hususlar şunlardır;

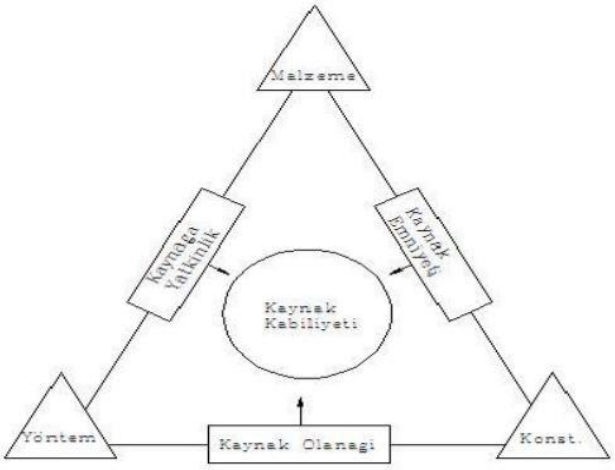
- Malzeme kalınlığı ve bağlantı türü
- Isıl iletkenlik
- Esas malzemenin kaynaktan önce ısıtılması (ön tavlama)
- Ergime sıcaklığı
- Elektrod hareket ve açısı
- Isı girdisi

4.2.2. Metallerin Kaynak Kabiliyeti

Şekil 4.6'da bir kaynak işlemi için gerekli olan kaynak kabiliyetinin değerlendirilmesinde bağlı olduğu parametreler gösterilmektedir. Metal parçalar, kaynak ile şekillendirilmeye aynı oranda yatkındırlar. Kaynak işlemine uygunluk şeklinde ifade edilen bu kavram, birleştirme ve dolgu amaçlı seçilen malzemenin, kullanılan metot, konstrüksiyon ve malzeme kalınlığı parametreleri birlikte hesaplanmalıdır.

Bir malzemenin kaynağa elverişliliğinin iyi olmasından, öngörüsü yapılan yöntem ile hiçbir şekilde tedbir alınmadan tasarımı yapılmış yapıya uygulanır olması anlaşılmakta

ve bu işlem neticesinde oluşan kaynak dikişinin ise hedeflenen kalitede olması bir ön koşul şeklinde ortaya çıkmaktadır (Yamık & Erzen, 2021). Mesela, alaşımlı ve alaşımsız çelikler değerlendirildiğinde, kimyasal bileşimlerinde bulunan elementlerin, ergitme ve basınç kaynağında kaynaklanabilirliğe etkileri farklılık göstermektedir. Kaynak metotlarının, kaynaklanabilirlik kavram içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu metotların iyileştirilmesinde temel hedef, kaynak kabiliyetini arttırmaktır. Belirlenen bir yöntemle iyi kaynatılan bir malzeme, kalınlık arttırılarak bu yöntemle ön tavlama yapılarak kaynak yapılabilmekte farklı bir bileşime sahip malzeme ise ele alınan bu yöntemle sadece koşullu olarak veya kaynatılamamaktadır (Yamık & Erzen, 2021).

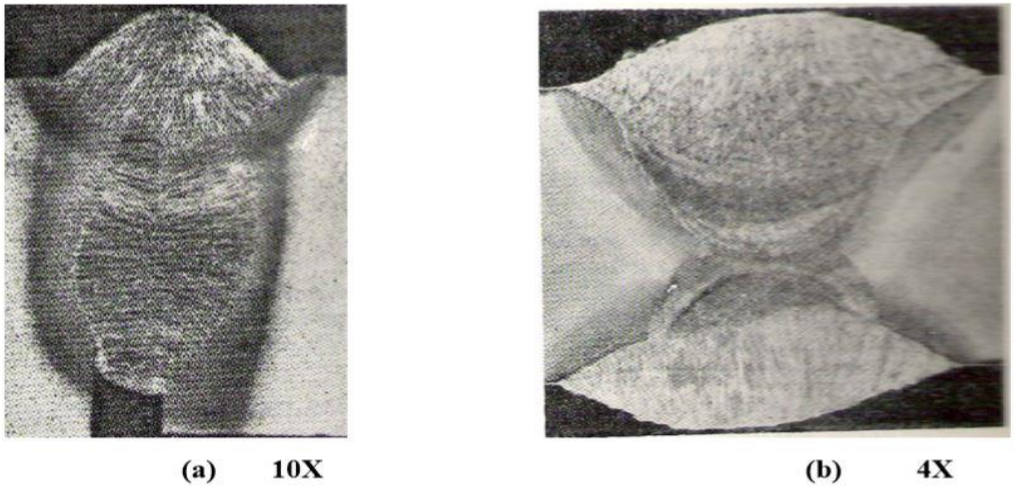


Şekil 4.6. Yamık ve Erzen (2021)'in çalışmasına göre kaynak kabiliyeti.

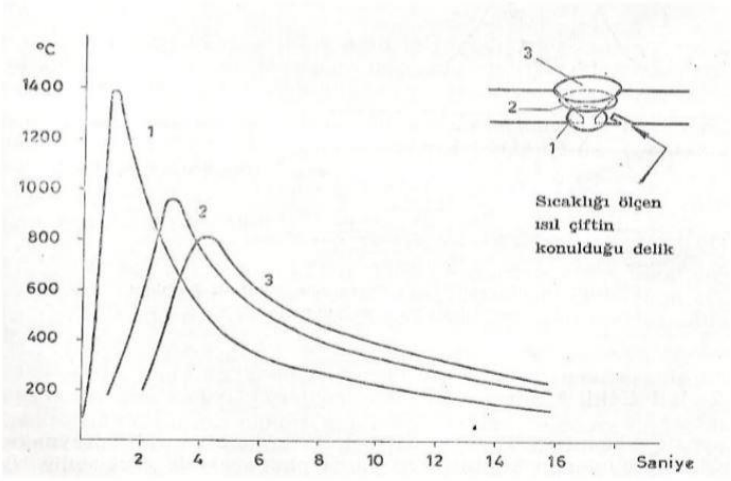
4.2.3. Kaynak Dikişinin Alaşım ve Tanesel Yapısı

Dikişin alaşım yapısı; kaynak bir ergitme işlemi sonrasında, bir katılaşma işlemi olması sebebi ile kendine has bir metalurjik yapı ile meydana gelir. Oluşan dikişin yapısı esas metalden farklıdır. Kaynak dikişinin kimyasal yapısı esas metal ile elektrot sentezinden meydana gelmiştir. Seçilen uygun bir elektrot ile esas metal yapısı ile kaynak dikişinin yapısı birbirine yakın hale getirilebilir. Fakat bire bir aynı olan bir yapı elde etmek mümkün değildir. Nedeni de birtakım alaşım elementleri yüksek ısıda farklı sebeplerle yanması sonucu kimyasal bileşik oluşturur veya ayrışmak sureti ile kaybolurlar. Zengin bir karışıma sahip elektrod ile bu kayıplar telafi edilmeye çalışılır (Çelik, 2021). Bununla birlikte kullanılan ısı kaynağı, kaynak bölgesini saran sıcaklık atmosfer ve tercih edilen kaynak metoduna göre farklılık gösterir. Eğer havaya karşı

korunma iyi değilse, ergime bölgesi atmosferi aracılığı ile O_2 ve N absorbe edilir. O_2 çok sayıda elementle reaksiyona girerek kaynak kalitesini etkileyen oksitler oluşturur. Mesela, ergimiş kaynak havuzu içerisinde bulunan C ile CO meydana getirir ve bu gazda katılaşma sırasında gözenekler oluşturabilir. Kaliteli bir dikiş için, kaynak bölgesi ile hava etkileşimini kesmek gerekir. Sorun sadece esas metal ile kaynak dikişi arasındaki fark değil, alaşımın kaynak dikişinde homojen olmamasıda problemdir. Kök pasoda esas metal, kapak pasoda ise elektrodun katkısı fazladır (Çelik, 2021). Dikişin tanesel yapısı; tane büyüklüğü açısından da homojen olmayıp, tane yapısına etki eden birinci unsur soğuma işlemidir. Soğuma yavaş bir şeklde olursa taneler iri, eğer hızlı bir şekilde olursa ince taneler meydana gelir. Taneler sıcaklığın en fazla olduğu yöne uzar, bazende sutün şeklinde olurlar. Buda metalik özelliklerin zayıflamasına sebep olmaktadır. Bu duruma yapının yönlenmesi ismi verilir. Tane yönlenmesi istenmeyen bir durumdur (Çelik, 2021). Şekil 4.7(a); Sütunsal ve iri taneli kötü dikiş yapısı gösterilmektedir. Kaynak işlemi iki pasodan oluşmaktadır. Birinci pasoda yönlenme yatay,ikinci pasoda ise düşey yöndedir. Kaynak ısısı esas metal kütlesi tarafından emildiği için tane yönlenmesi bu olaya uyum sağlar (Çelik, 2021). Şekil 4.7(b); İlk paso kesit alınan bölgenin merkezinde olup, İnce taneli izotroptur. En dış tarafı meydana getiren pasolar, iri ve sütunsal olarak yönlenmiştir. Şayet kaynak çok pasolu ise her paso diğerine ısıl işlem uygular ve tane yapısını ıslah eder. Taneler küçülerek yönlenme yok olur. Ancak son paso için bu durum geçerli değildir (Çelik, 2021).



Şekil 4.7. Çelik (2021)'in çalışmasına göre a), Sütunsal ve kaba taneli kötü kaynak yapısı b)İnce ve kaba taneli bölgeleriyle kaynağın tipik yapısı.



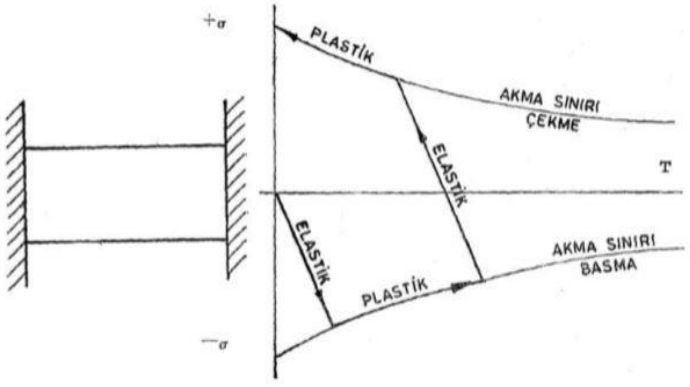
Şekil 4.8. Çelik (2021)'in çalışmasına göre üç pasolu dikişte köke çok yakın bir noktada sıcaklık değişimi.

Şekil 4.8'de üç pasolu bir kaynak işlemi esnasındaki sıcaklık çevrimi görülmektedir. Şekilde birinci pasoda sıcaklık neredeyse ergime sıcaklığına ulaşırken, ikinci ve üçüncü pasolarda daha aşağılara düşmektedir.

4.3. Kaynakta Artık Gerilmeler ve Distorsiyonlar

4.3.1. Artık Gerilmelerin Oluşumu

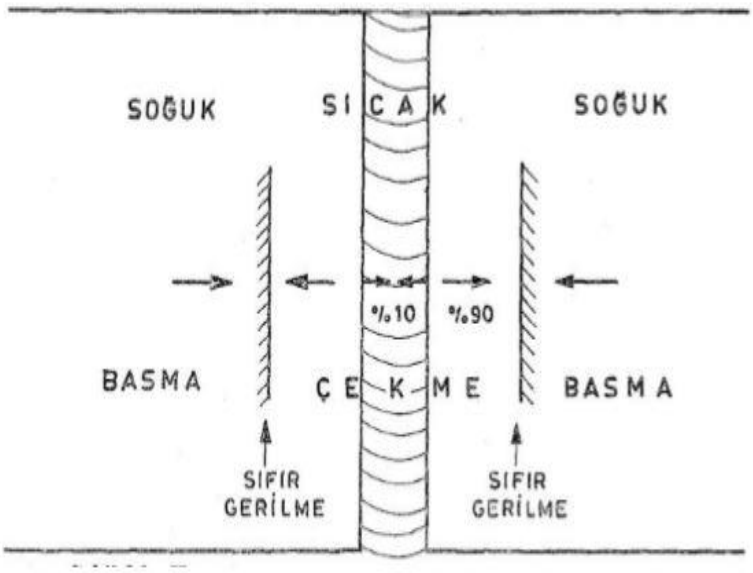
Tüm malzemler ısı etkisi altında genleşir, soğuma esnasında ise çekerler. Bu genleşme yada çekme durumları birtakım sebeplerle engellenmesi halinde iç gerilmeler meydana gelir ve bununda en basit tarifi Şekil 4.9'daki çubuk üstünden yapılır.



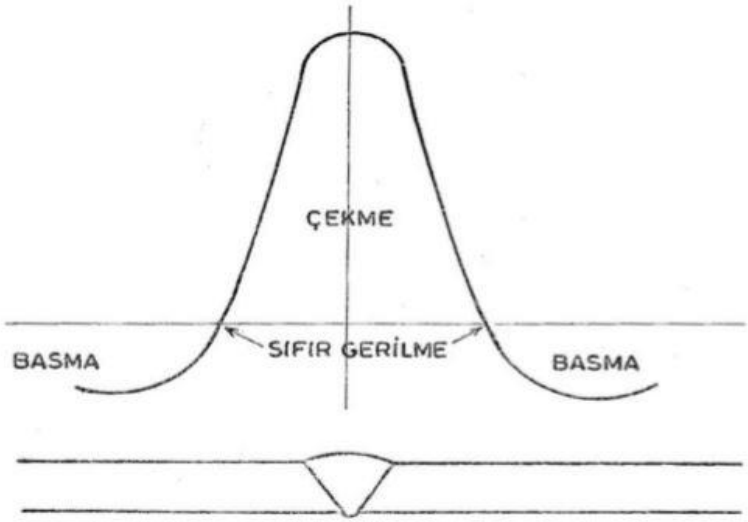
Şekil 4.9. Çelik (2021)'in çalışmasına göre sabitlenen bir çubuğun ısınma ve soğumada iç gerilme değişimi.

Şekil 4.9'daki çubuk her iki uc kısmından uzama ve kısalmaya imkan tannmadan tespit edilmiştir. Çubuğun ısıtılması ile basın gerilmeleri ortaya çıkar. Bu gerilme elastik sınırlar içerisinde Şekil 4.9'daki (T – σ) diyagramında belirtildiği üzere sıcaklıkla oransal bir şekilde artar ve akma sınırına ulaşıldığında metalde hareket başlayacağı için gerilmeler o değerin üstüne çıkamazlar. Çubuğun soğutulması ile boy kısalmaya yönelecek ve basınç gerilmeleride küçülerek sıcaklığında düşmesiyle çekme gerilmeleri meydana gelecek ve bunlarda elastik ve plastik olarak büyüyecektir. Çubuk ilk ısıtıldığında sıcaklık değerine gelmesi ile, içerisinde (σ_{ak}) dayanımına eş değer çekme gerilmeleri kalmıştır.

Kaynak dikişide kendinden daha soğuk bir esas metal kütlesi ile çevrili olduğu için çubuk örneğinde olduğu gibi aynı şeyler oluşur. Kaynak dikişine göre daha serin olan kütle dikişin soğuması sırasında çekmeyi engellediği için içerde çekme gerilmesi kalabilmektedir. Kaynak esnasında (ITAB) bölgesinin çok fazla ısınması ile bu bölgede çekme ve basmadan dolayı kaynak dikişinde iç gerilmeler oluşur. Şekil 4.10'de kaynak dikişi çevresinde oluşan çekme ve basma bölgeleri gösterilmektedir. Şekil 4.11'de kalıntı gerilmelerinin enine dağılımı gösterilmektedir (Çelik, 2021).



Şekil 4. 10. Çelik (2021)'in çalışmasına göre kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma bölgeleri.

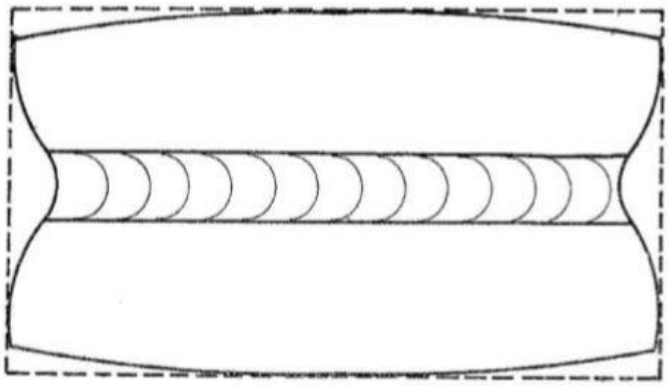


Şekil 4.11. Çelik (2021)'in çalışmasına göre kaynakta kalıntı gerilmelerin enine dağılımı.

Kaynak dikişi ekseninde max. seviyede olan çekme gerilmesi biraz ilerde sıfıra düşer. Sonrada basınç gerilmesi olayına dönüşür ve her iki gerilmede dengededir.

4.3.2. Distorsiyon

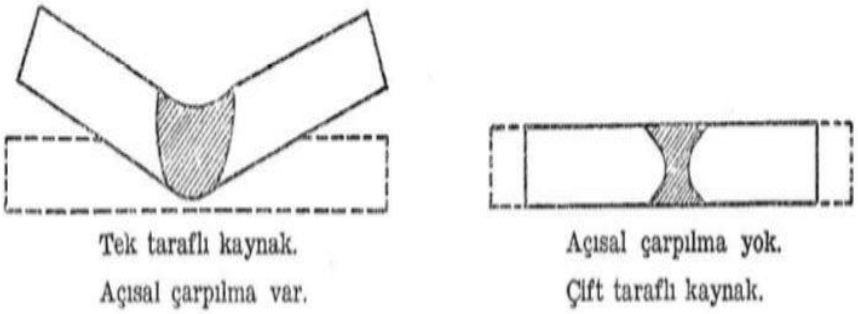
Kaynak işlemindeki bölgesel sıcaklık değişimleri genleşmeye ve çekmeye sebep olmakla birlikte bu durumda çarpılmalara neden olur.



Şekil 4.12. Çelik (2021)'in çalışmasına göre kaynak yapılan bir levhanın boydan ve enden distorsiyonu.

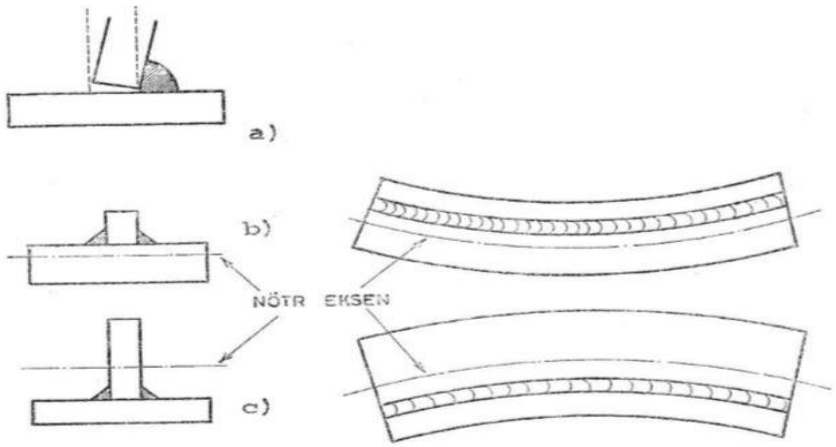
Şekil 4.12'deki alın kaynağı işleminde enden ve boydan bir distorsiyon görülmektedir. Çoğunlukla ince ve düz olan levhalarda kaynak işleminden sonra

dalgalanma ve dikiş arasındaki alanda ise kabarıklıklar meydana gelir. Enine çekmede 6 mm levhada 1 mm, 12 mm levhada ise 1.5 mm'dir. Dolayısı ile boyuna çekme levha uzunluğuna bağlı olarak değişmekle birlikte 0.2 mm 'dir. Eğer tek taraflı bir kaynak işlemi yapılıyor ise açısal distorsiyon meydana gelebilir. 6 mm kalınlığa sahip levhada açısal distorsiyon 1º, 12 mm'de 3º denilebilir. Bu durum dar ve kendi ağırlığınca kolay dönen levhalarda geçerlidir denebilir. Açısal distorsiyon tek taraflı asimetrik kaynak dikişleri için geçerlidir. İki taraflı simetrik kaynak işlemlerinde açısal distorsiyon olmamaktadır. Şekil 4.13'de tek ve çift taraflı yapılan kaynak işleminde oluşan distorsiyon durumlarının şematik gösterimi verilmiştir (Çelik, 2021).



Şekil 4.13. Çelik (2021)'in çalışmasına göre kaynak yapılan iki levha için açısal distorsiyon.

Ancak kaynaklar ağırlık merkezinin ne tarafında olursa o tarafa doğru sistem meyillenir. Şekil 4.14'de köşe kaynağında oluşan distorsiyonlar şematik olarak gösterilmektedir (Çelik,2020).

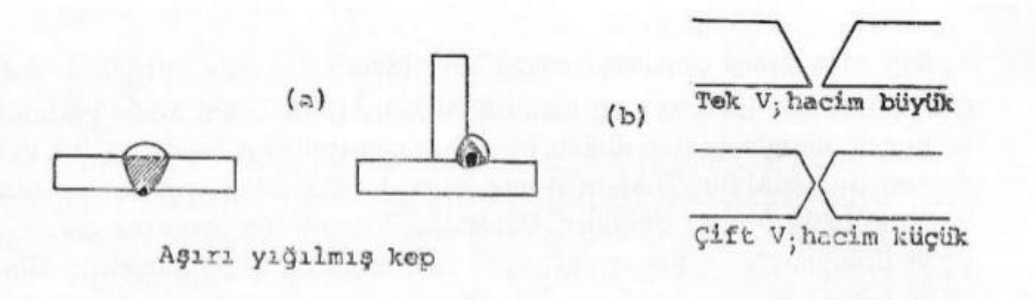


Şekil 4.14. Çelik (2021)'in çalışmasına göre köşe kaynağında oluşan distorsiyonlar.

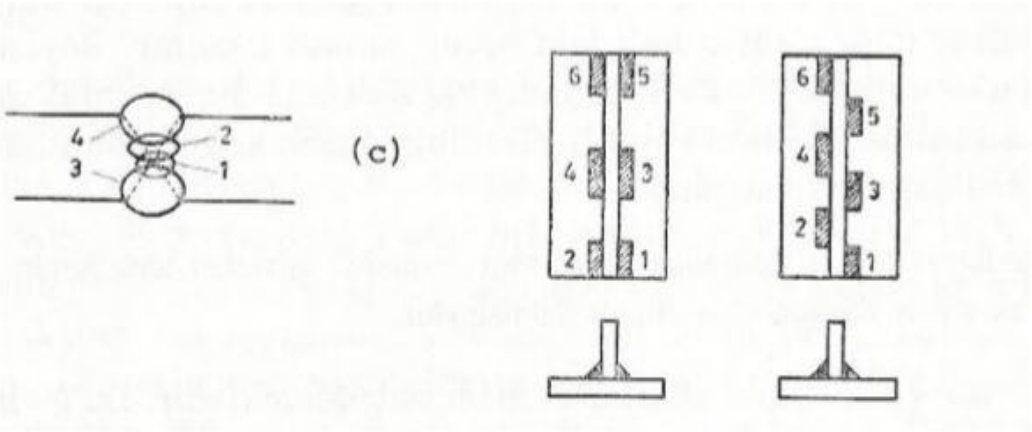
4.3.3. Distorsiyonları Azaltıcı Önlemler

Distorsiyon zorunlu olarak engellenirse iç gerilmeler artar. Bu yüzden distorsiyonu engellemektense hiç oluşmamasını sağlamak veya minumum düzeyde sınırlamak daha mantıklıdır (Çelik, 2021).

1. Dikiş değerleri en küçük seviyede tutulmaya çalışılmalıdır. Kalın levhalarda kaynak ağzı tek V yerine çift V (X) şeklinde oluşturulması ile dolgu metali ihtiyacı yarı oranda düşer. Kaynak kep ölçüleri fazla olmamalıdır. Fazla olması halinde daha fazla elektrot, işçilik, enerji ve maliyet artışı getirir.

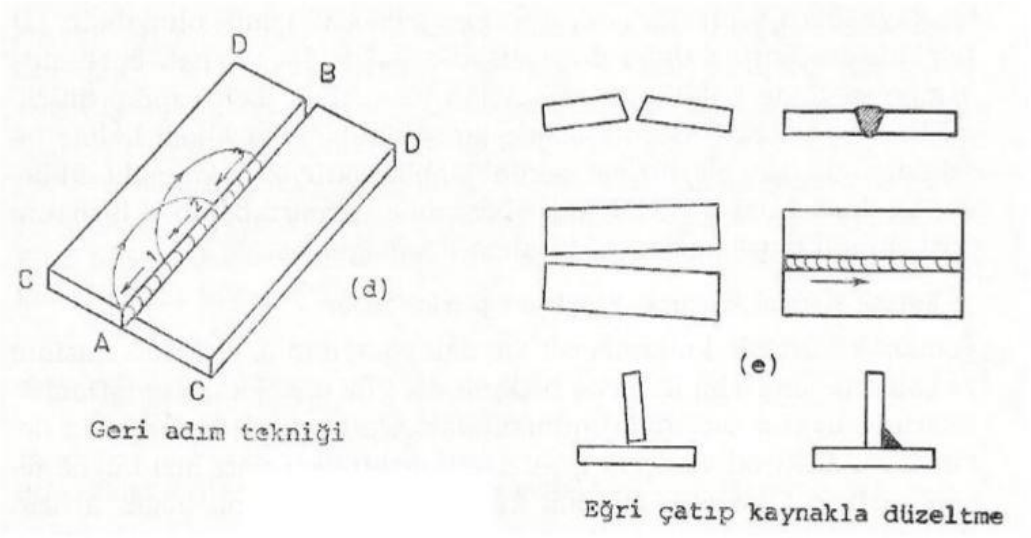


2. Çift taraflı kaynak işlemi tercih edilmeli, çünkü çift taraflı kaynakta distorsiyon minumuma düşer heleki pasolar belli bir sırada yapılırsa distorsiyon engellenerek minumum seviyeye indirgenir.



3. Geri adım yöntemi distorsiyonu büyük oranda azaltan bir tedbirdir. Bu teknik, kaynak işlemini kısa parçalar şeklinde kesik kesik yaparak her seferinde geriye doğru bir adım sıçrama işlemidir. Diğer bir husus çekme kuvvetlerinin kaynaktan

sonra oluşturacağı distorsiyonu öncesinde ters yönde oluşturarak distorsiyon engellenebilir (Çelik, 2021).



4. Kaynak süresinin kısaltılması konusu, işlemde kullanılacak birtakım parametrelere bağlıdır. Bunlar kullanılacak yöntem, elektrot türü, çapı, amper oranı ve tel hızı gibi temel kaynak unsurlarının doğru belirlenmesi ile sağlanmaktadır. Mesela, el kaynak işleminde demir tozlu elektrot ve nüfuziyetin derin olması, elektrot cinsi, hızı yüksek oranda arttırır ve bu gibi tedbirlerde esas metalin ısınmasını önleyerek, distorsiyon eğilimini minumuma düşürür (Çelik, 2021).
5. Paso miktarı çok arttırılmamalıdır. Paso sayısı artarsa çekme ve distorsiyonda artar. Dolayısı ile bu tür durumlarda çapı büyük ve demir tozlu elektrot kullanılması suretiyle az sayıda paso ile dikişin tamamlanması distorsiyon eğilimini azaltabilir bir tedbirdir.
6. İç gerilmelerin kaynak işleminden sonra giderilmesi önemlidir (Çelik, 2021).

4.3.4. Distorsiyon Üzerinde Etkili Olan Malzeme Özellikleri

Isıl Genleşme Katsayısı (λ): Malzemenin ısınma durumunda uzama, soğuma esnasında kısalma ölçüsünü belirleyen özelliktir (Çelik, 2021).

λ > ise kalan kesitlerde iç gerilme, ince kesitlerde distorsiyon,

Örnek; Paslanmaz çelik λ ≥ 1,5 kat yumuşak (C)‟lu çelik O halde paslanmaz çeliğin kaynağında distorsiyon önemli bir problem.

Isıl İletkenlik (k): Isıl iletkenlik, malzeme içerisindeki ısı akışının durumunun belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Paslanmaz çelik, Ni ve alaşımları, Ti ve alaşımları gibi malzemelerin iletkenliği düşüktür. Bu malzemeler ısıyı çok rahat bir şekilde yayarlar fakat geç soğurlar. Bu sebeple bu malzemelerde kaynak dikişi ile çevresinde bulunan esas metal arasında oluşan sıcaklık farkı yüksektir. Al ve Cu ısıl iletkenlikleri yüksektir. Isı dağılımları kaynak bölgesinde yumuşak dağılır ve distorsiyon azdır (Çelik, 2021).

Akma Sınırı (σa): Soğuma esnasında kaynak çevresinde öncelikle elastik çekme meydana gelir. Bundan dolayıda iç gerilmeler oluşur ve iç gerilmeler akma sınırına erişince kalıcı büzülmeler oluşur (Çelik, 2021).

σa< küçükse sünek malzemedir, distorsiyon az olur.

σa> büyük ise gevrek malzemedir, iç gerilme ve distorsiyon fazladır.

4.3.5. Distorsiyon Eğilimi Yönünden Malzemelerin Mukayesesi

A) Yumuşak C'lu Çelik		Paslanmaz Çelik
1. σa (yaklaşık)	=	σa
2. k C (ısıl ilet.)		kpa = ⅓ k C
3. λC (ısı gen.)		λpa =1,5 λC

Yukardaki sonuçlara göre paslanmaz çeliğin kaynak işleminde çekme olayı, yumuşak "C" çeliğe nazaran daha fazladır (Çelik, 2021).

B) Yumuşak C'lu Çelik	Alüminyum
1. σak	Al alaşımına göre değişmektedir.
2. kC	kAl = 4 kC
3. λC	2λC = λAl

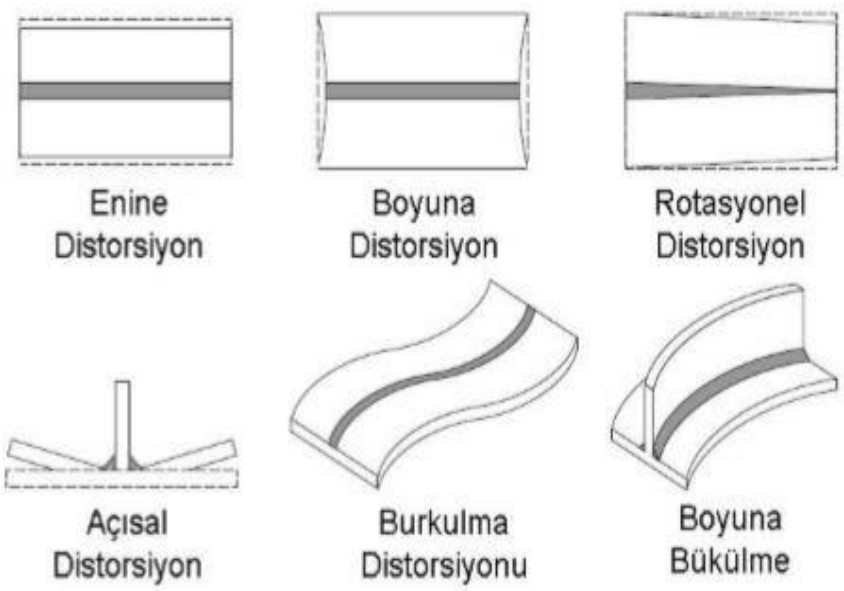
Bu sonuçlara göre (Al) da distorsiyonu "C"lu çeliğe nazaran artıran ve azaltan unsurlar birbirlerini dengelerler (Çelik, 2021).

C) Yumuşak C'lu Çelik		Yüksek Dayanımlı (düşük alaşımlı) Çelik
1. σak	<	σak
2. -	=	-
3. -	=	-

En önemli unsur (σa) olduğundan σa > büyük olan çelik daha fazla distorsiyona maruz kalma durumu içerisinde olacaktır (Çelik, 2021).

4.4. Kaynaklı Yapılarda Oluşan Distorsiyon Tipleri

Kaynaklı birleştirme sırasında malzemede ısınma ve soğumalar meydana gelir. Bu düzensiz sıcaklık dağılımları sonucunda malzemede istenmeyen plastik şekil değişiklikleri olur. Bu etkilere bağlı olarak gerilmeler iç gerilmeleri oluşturur, iç gerilmelerde kaynaklı malzemede istenmeyen boyutsal değişim, eğilme ve burulmaya sebep olur (Gedik Eğitim Vakfı, 1983). Kaynaklı yapılarda meydana gelen iç gerilmelerden dolayı oluşan kalıcı şekil değişimlerine distorsiyon veya çarpılma adı verilir. Kaynaklı birleştirmelerde distorsiyon tipleri 6 tiptedir. Şekil 4.15'de kaynaklı parçalarda meydana gelen distorsiyon tipleri verilmiştir. Kaynaklı yapılarda en çok karşılaşılan distorsiyon tipleri enine, boyuna ve açısal distorsiyondur (Yiğit, 2019).



Şekil 4.15. Yiğit (2019)'un çalışmasına göre kaynaklı birleştirmede oluşan distorsiyon tipleri.

4.4.1. Enine Distorsiyon

Malzemede kaynak dikişine dik eksen boyunca meydana gelen çekmedir. Ark sıcaklığından etkilenen malzeme, ağız aralığını daraltır. Kaynak havuzunun soğuma ve katılaşması sonucu da ortaya çıkabilir. Genel olarak esas metalin ısıl uzaması ve kaynak metalinin kendini çekmesi sonucu oluşur. Kaynak ısısından etkilenen bölgeye verilen

sıcaklık miktarı, ağız genişliği ve kaynak dikiş boyuna bağlı olarak enine distorsiyonun boyutları değişebilir (Yiğit, 2019).

Alın kaynağında enine distorsiyon; Kaynak dikişine dik yönde meydana gelen boyutsal azalması veya esas metalin daralması olarak tanımlanabilir. Malzeme kaynak sırasında genişler ve soğuma sırasında büzülür. Bu durum, kaynaklı malzeme oda sıcaklığında soğuduğu zaman ortaya çıkmaktadır (Yiğit, 2019). İç köşe birleştirmelerde enine distorsiyon; İç köşelerde meydana gelen distorsiyon, alından yapılan kaynaklara göre daha küçüktür. Yatay sacın kaynaklı birleştirme sırasında kaynak ısısı etkisiyle tavlanması, bu tavlanan kısımların genişlemeyi sınırlaması enine distorsiyonların meydana gelmesine neden olmaktadır. Dikiş kalınlığının sac kalınlığına oranlanması şeklinde hesapları yapılmaktadır (Aktaş, 2007).

4.4.2. Boyuna Distorsiyon

Kaynak yapılırken metalin erimesi sırasında, kaynak dikişinin komşu bölgeleri genleşmeye yönelir. Soğuk olan bu bölgeler boyuna uzamayı kısıtlar ve plastik bir yığılma meydana getirerek, boyuna distorsiyonları oluşturur. Kaynak dikiş boyunun artışının, boyuna distorsiyona azaltıcı etkisi vardır. Kaynak hızı arttırılması veya kaynağın aralıklı olarak yapılması distorsiyon miktarını azaltabilir (Yiğit, 2019).

4.4.3. Açısal Distorsiyon

Enine distorsiyonun özel bir şeklidir. Açısal distorsiyonlar, birleşmenin şekline, boyutlarına, levha kalınlığı, kaynak ağız şekli ve kaynak yöntemine bağlıdır. Bu distorsiyon türünün çift taraflı ve simetrik kaynakta oluşması beklenmez (Yiğit, 2019). Tek taraflı veya simetrik olmayan kaynak dikişlerinde geçerlidir. Boyuna ve enine gerilmelerin her ikisini de içeren köşe kaynaklarında birleştirmenin düşey parçası kaynak yapılan tarafa doğru çekilecektir. Bu çekilme de açısal distorsiyonu meydana getirir (Yiğit, 2019). Alın dikişlerinde oluşan açısal distorsiyonun miktarı; kaynak ağzı, pasoların oluşum durumu ve malzeme kalınlığına bağlıdır. Oluşan açısal distorsiyonun, kaynak işleminden önce malzemelere ters yönde bir meyil verilerek azaltılması sağlanabilir. Eğer malzemenin kalınlığı fazla ise bu tür malzemelerde sıcaklık farkı büyük olacaktır. Buna bağlı olarak da meydana gelen yüksek gerilmeler ısıl distorsiyonlara karşı

koyacaktır. Bu nedenle de kalın malzemelerde açısal çarpılmanın miktarı daha az olması beklenir (Yiğit, 2019). Açısal distorsiyonun ölçmenin bir yolu da hesaplamalar üzerinden olmaktadır. Artem Pilipenko yapmış olduğu çalışmada, açısal distorsiyon miktarını hesaplamak için 4.1'de verilen denklemi vermiştir (Pilipenko, 2001).

$$\text{Açısal distorsiyon } (\beta) = \frac{0{,}13\ x\ I\ x\ U}{v\ x\ h^2} \qquad (4.1)$$

4.4.3.1. Açısal Distorsiyona Etki Eden Faktörler

- Açısal distorsiyon miktarına etki eden faktörler aşağıda sıralanmıştır.
- "V" alın birleştirme işlemlerinde paso sayısının artışına bağlı olarak açısal distorsiyon da artar.
- Paso çekildikten sonra uygun çekiçleme işlemi açısal distorsiyon miktarını etkiler.
- Kaynak süresi ve elektrot çapının distorsiyona etkisi vardır.
- İnce malzemelerin kaynağında düşük kaynak hızında oluşacak olan distorsiyon miktarı büyük olacaktır.
- Kaynak hacmine bağlı olarak çekme miktarı artar ve ısı girdisi yükseldikçe azalır (Yiğit, 2019).

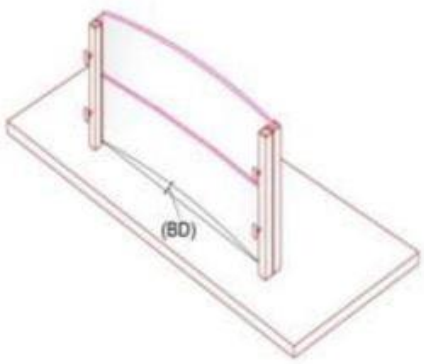
4.5. Kaynaklı Yapılarda Distorsiyon Ölçme Yöntemleri

Kaynaklı imalatta distorsiyonların belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Distorsiyonun oluşma şekline göre giderilmesi için uygun yöntemlerin belirlenmesi ancak distorsiyon tipinin ve miktarının ölçülmesi ile sağlanacaktır. Distorsiyonların ölçülmesinde temaslı, temasız ve nokta/tam alan taraması işlemleri ile gerçekleştirilmektedir (Yiğit, 2019).

4.5.1. Profil İzleyici Ölçümü

Profil izleme yöntemi, bir levhanın profilini bir kağıda iz düşüm çiziminden ibarettir. Kaynak bozulmalarının ölçümü, kağıt yaprağına çizilen çizgiler ölçülerek yapılır. Profil izleyici eğilme bozulmasının yanı sıra açısal bozulmayı ölçmek için de kullanılabilir. Profil izleme yönteminin basit ve güvenilir olduğu kabul edilir (Yiğit,

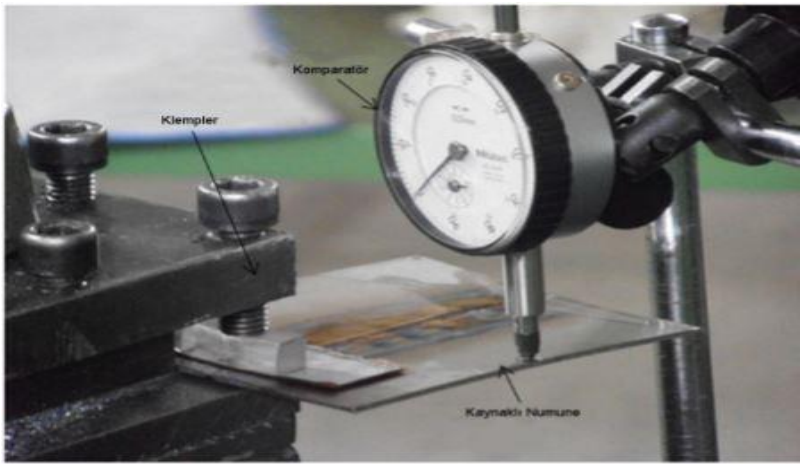
2019). Şekil 4.16'da, bükülme bozulmasını ölçen bir profil izleyicinin şematik bir diyagramını göstermektedir.



Şekil 4.16. Yiğit (2019)'un çalışmasına göre eğilme distorsiyonu ölçmek için profil izleyici şematik diyagramı.

4.5.2. Komparatör ile Ölçüm

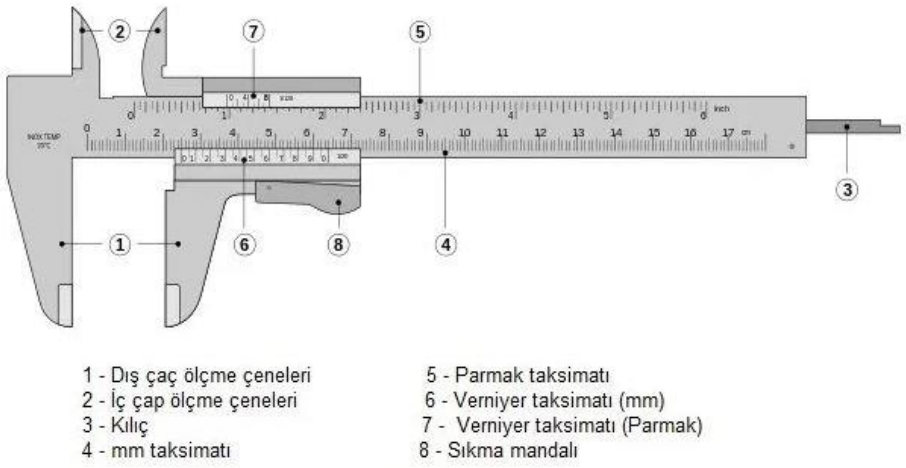
Komparatör, küçük mesafeleri veya açıları ölçmek için kullanılan bir araçtır. Komparatör, boyutsal değerlerin karşılaştırılarak ölçülmesi hususunda, özellikle küçük ölçü farklarının belirlenmesinde ve geometrik şekil farklılıklarının kontrol edilmesinde tercih edilen bir ölçüm metodudur. Karşılaştırılmalı ölçme ve kontrol aleti olarak kullanılmaları sebebi ile ölçü saatlerine komparatör ismi verilir (Yiğit, 2019). Komparatörler, bir saat ve kadrandan oluşurlar. Şekil 4.17'de bir komparatör resmi verilmiştir (Komparatör (ölçü saati) nedir, ne işe yarar,nasıl kullanılır, 2021).



Şekil 4.17. Komparatör (ölçü saati) nedir, ne işe yarar,nasıl kullanılır (2021)'in çalışmasında kompratör ile kaynakta çarpılma ölçümü.

4.5.3. Kumpas ile Ölçüm

Kumpas ile kaynaklı birleştirilen saclarda meydana gelen distorsiyon miktarları ölçülebilmektedir. Sürgülü kumpas, derinlik kumpası, çap kumpası, saatli kumpas ve dijital kumpaslar ile açısal distorsiyon gibi birçok çarpılma tipi ölçümleri yapılabilir. Şekil 4.18'de sürgülü kumpas resmi verilmiştir (Yiğit, 2019).



Şekil 4.18. Kumpas nedir, nasıl okunur (2021)'in çalışmasına göre verniyerli sürgülü kumpas

4.5.4. Üç Boyutlu Ölçüm Cihazı (CMM)

CMM cihazları Şekil 4.19'da görüldüğü üzere x,y,z koordinatlarında hareket ederek, ölçümü yapılacak olan ürünün boyutlarını, bu kordinatlar ile mukayese ederek ölçümlerini yapar (Yiğit, 2019).

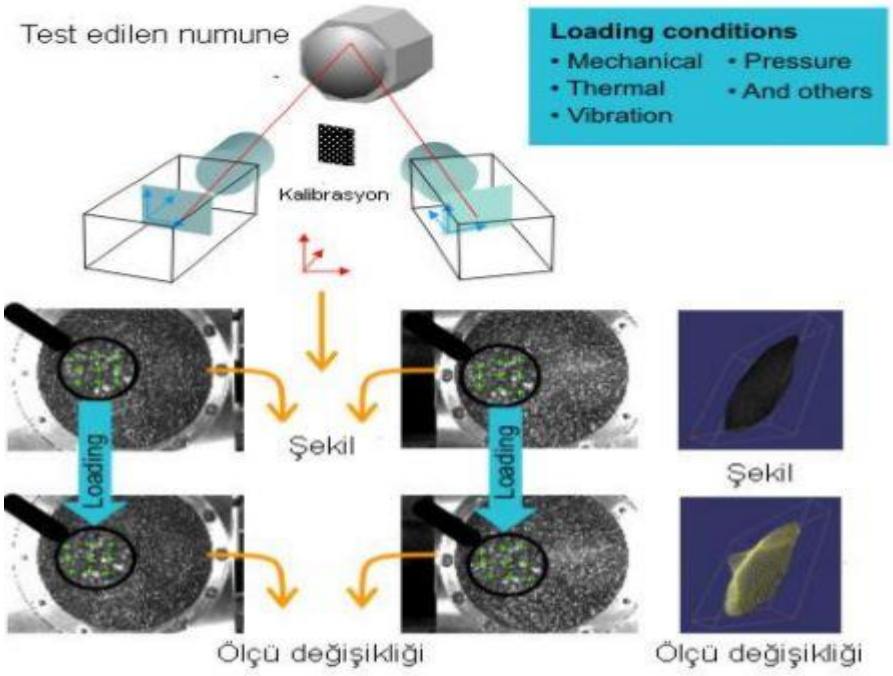


Şekil 4.19. Yiğit (2019)'un çalışmasına göre üç boyutlu ölçüm cihazı (CMM).

Cihazın en önemli özelliği ölçülen değerler ile ölçümü yapılan bir ürünün katı modeli çıkarılarak gerçekte olması beklenen değerler ile karşılaştırılmasıdır. Özellikle tersine mühendislik çalışmlarında çok başarılı bir yöntemdir. Başta otomotiv olmak çok sayıda uygulama alanlarında yüzlerce CMM cihazı kullanılmaktadır (Yiğit, 2019).

4.5.5. Dijital Görüntü Korelasyonu

Dijital Görüntü Korelasyonu (DIC), yük altındaki bir nesnenin konturunu ve yer değiştirmelerini üç boyutlu olarak belirleyebilen gri değerli dijital görüntülere dayanan tam alanlı bir görüntü analiz yöntemidir. Statik ve dinamik uygulamalar, bilgisayar teknolojisi için yüksek çözünürlüklü dijital kameralardaki hızlı yeni gelişmeler nedeniyle, yöntemin uygulama alanları genişletilmiş ve deformasyon analizi için kullanışlı bir yöntem olmuştur. Dijital görüntü korelasyonu yöntemi şematik olarak Şekil 4.20' de verilmiştir (Yiğit, 2019).

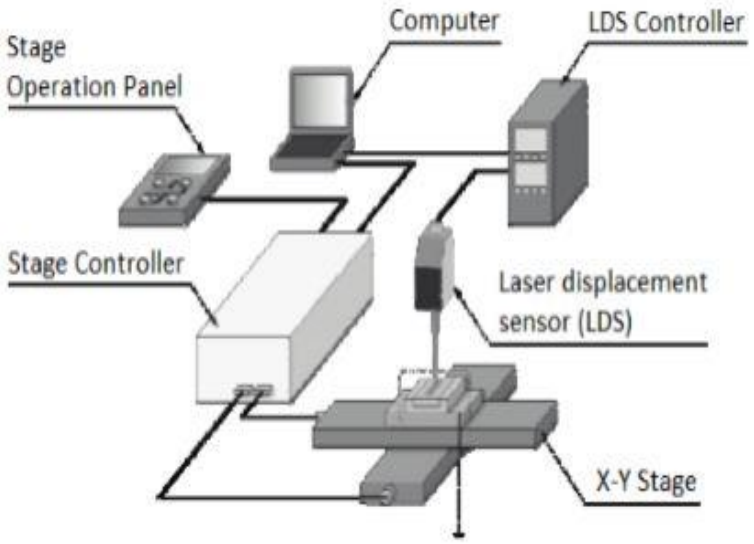


Şekil 4. 20. Measurement principles of DIC (2021)'in çalışmasına göre dijital görüntü korelasyonu ölçüm yöntemi.

4.5.6. Lazer Tarama Yöntemi ile Ölçüm

Lazer tarama yönteminde, kaynakta distorsiyonu ölçmek için lazer yer değiştirme sensörleri kullanılmaktadır. Sensörler sabit veya hareketli olabilmektedir. Sensörler, ölçülmek istenen nesne üzerine yansıyan ve geri toplanan lazer ışınlarını yayar. Geri

toplanan lazer ışın bilgileri bir bilgisayarda toplanır ve yer değiştirme miktarları ölçülmüş olur. Şekil 4.21'de kaynakta distorsiyonunu ölçmek için kullanılan bir lazer tarama düzeneğinin şematik diyagramı verilmiştir (Yiğit, 2019).



Şekil 4.21. Yiğit (2019)'un çalışmasına göre lazer tarama yöntemi

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOD

5.1. Deneyde Kullanılan Materyaller ve Özellikleri

Malzeme olarak S235JR+AR çelikten yapılmış sensör tutucu braket kullanılır. Hesaplanan distorsiyon değerlerine göre, yapılan numune çalışmalarında tasarlanmış fikstür ile soğutma sırasında parça sabitlenerek, meydana gelen distorsiyon azaltılır. Bu çalışmalarda kaynatılacak parça Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Deneysel çalışmalar için S235JR+AR çeliği kullanılmıştır ve kimyasal bileşimi Çizelge 5.1'de verilmiştir. Kaynak dolgu teli olarak Ø 1,2 mm SG3 teli kullanılmıştır. Kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Kaynatılmış parça

Çizelge 5.1. Kaynak metalinin kimyasal özellikleri

Kimyasal kompozisyon (%)						
Malzeme	*C*	*Si*	*Mn*	*P*	*S*	*Diğer*
S235JR+AR	*0,07*	*0,01*	*0,52*	*0,023*	*0,012*	*-*

Çizelge 5.2. Kaynak telinin mekanik özellikleri

Kaynak teli	*Akma dayanımı (N/m^2)*	*Çekme dayanımı (N/m^2)*	*Çentik dayanımı (ISO-V/-40 °C)*	*Gerinim (Lo=5do)(%)*
SG3	*min. 460*	*540-680*	*min.47 J*	*min. 22*

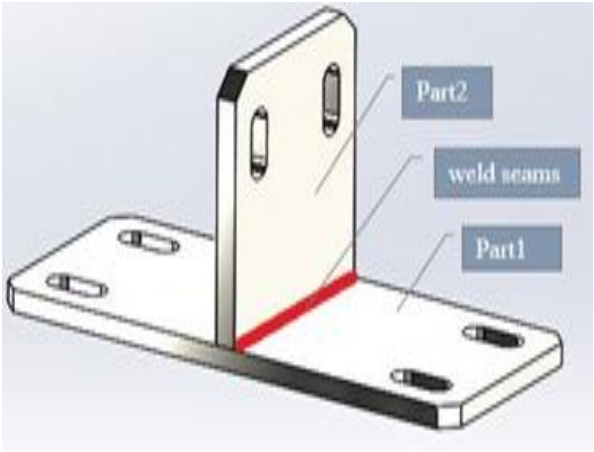
Çizelge 5.3. Kaynak telinin kimyasal özellikleri

Kaynak teli	*C*	*Si*	*Mn*
SG3	*0,1*	*1,0*	*1,7*

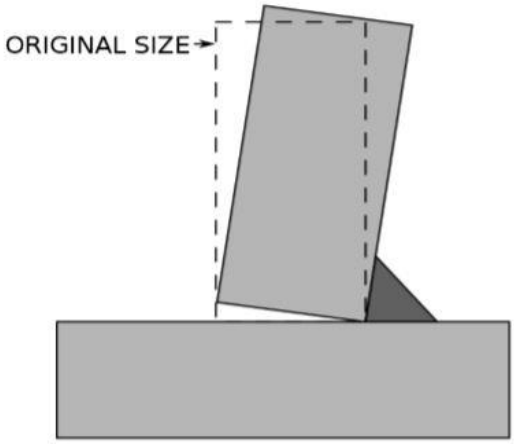
5.2. Fikstür Tasarımı

Genel olarak kaynak fikstürlerini, geometrik yapı olarak karmaşık ve montajı zor olan kompleks parçaların seri bir şekilde kaynak ve puntalama işlemlerinin yapılmasına olanak sağlayan yardımcı üretim elemanları, aparatları veya ekipmanları şeklinde ifade etmek mümkündür. Temel olarak bir fikstürde önemli birkaç yapısal bileşen vardır. Bunlar konumlandırıcı referans elemanları, sabitleyici elemanlar, hareketli kontrol elemanları ve destekleme elemanları gibi bileşenlerdir. Konumlandırıcı referans elemanları genellikle hareketsizdir ve parçanın fikstür üzerindeki konumunu belirleyen elemanlardır. Bunlar pim veya yüzey olabilir. Sabitleyici elemanlar, iş parçasını tutan veya herhangi bir noktadan kuvvet uygulayarak iş parçasının sabitlenmesine yardımcı olan elemanlardır. Hareketli kontrol elemanları iş parçasının çapını veya yüzeyini kontrol etmek için kullanılan yardımcı yapısal bileşenlerdir. Destekleme elemanları ise çoğunlukla fikstürde sabittir, iş parçasını tutar ve kaynak işlemleri sırasında ortaya çıkan gerilimlere karşı direnç göstererek iş parçası geometrisini yüksek ısı girdisi nedeniyle

meydana gelebilecek distorsiyonlara karşı korur. Şekil 5.2 ‘de sensör tutucu braket numunesinin oluşturduğu parçalar ve kaynak dikişi gösterilmiştir.

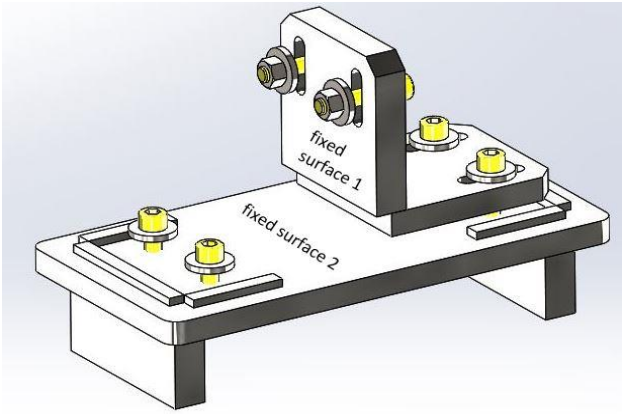


Şekil 5.2. Sensör tutucu braket parçaları



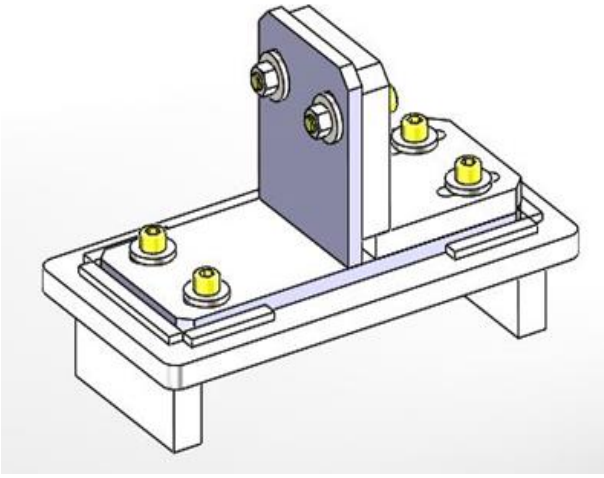
Şekil 5.3. Weman (2021)’in çalışmasına göre olası distorsiyon yönü

Şekil 5.2'de sensör tutucu braketin birleştirilmesi için kaynaklanacak iki bileşen gösterilmektedir. Kaynakları oluşturmak için şekilde görüldüğü gibi elektrot düz bir yol izlemektedir. Şekil 5.3'de kaynak işleminin termal gerilmelerden kaynaklanan olası distorsiyon yönleri gösterilmektedir. Bununla birlikte, iş parçasının cıvatalar ile sabitlendiği noktalar ve iş parçasına olan temas yüzeyleri Şekil 5.4'de gösterilmektedir. İş parçası sabit yüzey1 ve sabit yüzey2 şeklinde gösterilen yüzeylere yerleştirilerek konumlandırılmaktadır. Parça1 ve parça 2 yardımcı bir aparat ile noktasal ve yüzeysel olarak M10 imbus cıvatalar ile Şekil 5.5’de görüldüğü gibi sabitlenerek iş parçasının hareketi sınırlandırılmaktadır.

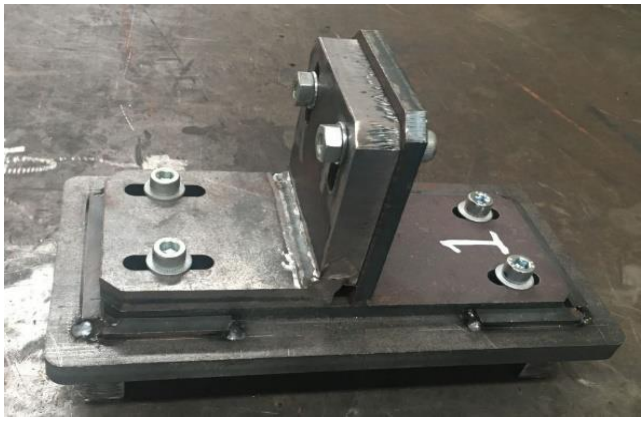


Şekil 5.4. İş parçası cıvata bağlantıları ve konumlanma yüzeyi

Cıvatalar gevşetilerek tüm eksenlerde kısıtlanan iş parçası rahat bir şekilde çıkarılabilmektedir. Bilgisayar destekli tasarım programı Solidworks'te tasarlanarak üretilen montaj fikstürü Şekil 5.5'de ve Şekil 5.6'da iş parçası bağlı bir şekilde gösterilmektedir. Operasyondan önce parçanın gereken sağlamlıkta ve uygun pozisyonda yerleştirildiği kontrol edilir ve kaynak makinası istenen parametrelerde kaynak işlemi için hazırlanır. Testlerin yapılacağı kaynak makinası Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 5.4'den de görüleceği gibi Parça1'in oturacağı yüzey, fikstür tablası üzerine dikdörtgen metal çubuklar kaynatılarak hazırlanmış ve ölçüsel olarak kotrol edilmiş yüzey formu ile sağlanmaktadır. Parça1 yerleştirildikten sonra yardımcı kaynak aparatı ile parça1 ve parça2 yardımcı kaynak aparatına bağlanarak sabitlenir. Daha sonra cıvatalar sıkılarak sağlamlaştırılır ve kaynak işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 5.5. Solidworks'de tasarlanmış montaj fikstürü ve iş parçası



Şekil 5.6. İmal edilmiş fikstür ve iş parçası



Şekil 5.7. Gazaltı kaynak makinası

5.3. Kaynak Parametreleri

Deneylerde kullanılan güç kaynağı 16-400A akım üretebilir ve 300A kadar % 100 çalışma döngüsü sağlayabilir. Katı tel 1,2 mm çapında EN ISO 14341-A G4Si1'dir. Koruyucu gaz, 12 litre /dakika akış hızıyla % 86 Ar + % 12 CO_2 ± 1,0 , % O_2 ± 0,2 idi. Deneyler sırasında oda sıcaklığı 20 ° C idi. Üç farklı akımda, aynı kalınlıkta altı farklı örnek elde edilmiştir. Her kaynak akımı için iki örnek kaynaklanır, biri fikstür üzerinde ve diğeri fikstürün dışında soğutulur. Bu şekilde kaynak akımının ve fikstürün

distorsiyonlar üzerindeki etkileri belirlenir. Deney kurulumu Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Deneylerde uygulanan kaynak koşulları

Numune no	*Kaynak akımları (amper)*			*Fikstür üzerinde soğutma*	*Fikstür dışında soğutma*
	200A	*230A*	*250A*		
Numune 1	o			o	
Numune 2	o				o
Numune 3		o		o	
Numune 4		o			o
Numune 5			o	o	
Numune 6			o		o

Kaynak gerilimi, ark süresi, kaynak hızı, kaynak tel hızı ve dolgu metal tüketimi Çizelge 5.5 'de verilmiştir. Parçalar kaynaklandıktan sonra, açısal distorsiyon oranları her bir numune için ölçülür. Ölçülen açısal distorsiyon oranları Çizelge 5.6 'da verilmiştir.

Çizelge 5.5. Testlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri

Numune no	*Kaynak gerilimi (v)*	*Ark süresi (s)*	*Kaynak hızı (m/s)*	*Kaynak tel hızı*	*Dolgu metali tüketimi (gr)*
Numune 1	*26,2*	*26,4*	*3,96*	*9*	*34,02*
Numune 2	*26,1*	*26,6*	*3,99*	*9*	*34,27*
Numune 3	*29,3*	*25,5*	*4,25*	*10*	*36,51*
Numune 4	*29,3*	*26,0*	*4,33*	*10*	*37,19*
Numune 5	*30,4*	*25,4*	*5,08*	*12*	*43,64*
Numune 6	*30,3*	*25,3*	*5,06*	*12*	*43,47*

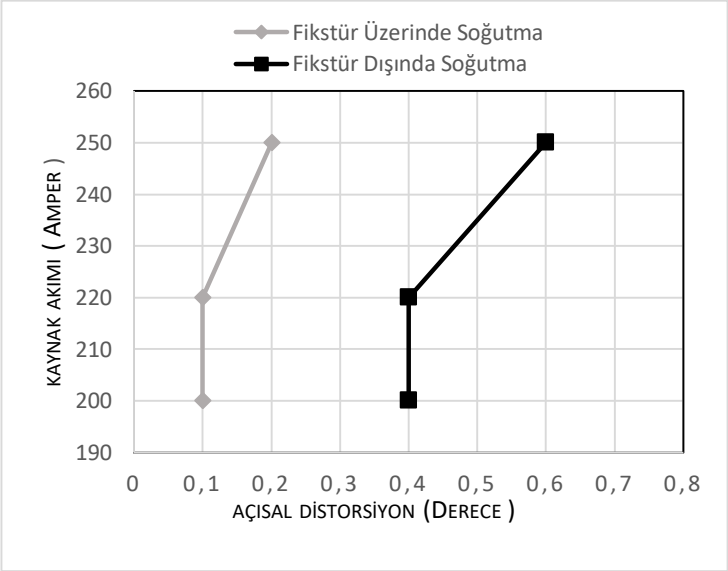
Çizelge 5.6. Kaynaklı numunelerde ölçülen açısal distorsiyonlar

Soğutma koşulları	Numune no	Açısal distorsiyon (derece)
Fikstür dışında soğutma	1	0,40
Fikstürde soğutma	2	0,10
Fikstür dışında soğutma	3	0,40
Fikstürde soğutma	4	0,10
Fikstür dışında soğutma	5	0,60
Fikstürde soğutma	6	0,20

5.4. Deneysel Sonuçlar

Altı örneğin kaynak işleminden sonra, görüldüğü gibi kaynak akımı arttırıldıkça beklendiği üzere ısı girdisinin artması sonucu parçada oluşan distorsiyonlarda artar. Şekil 5.8'de, fikstür üzerinde ve fixtür dışında soğutulan örneklerin distorsiyonları grafiksel olarak gösterilmiştir. Numune 1,3 ve 5 farklı kaynak akımında kaynatılmış ve fikstür üzerinde soğutulmuştur. Numune 2,4 ve 6 ise yine farklı kaynak akımlarında fikstür dışında soğutulmuştur.

Kaynatılan numuneler Şekil 5.8'de grafiksel Şekil 5.9'da ise görsel olarak gösterilmektedir. Numuneler kaynak sonrası Şekil 5.10'da mercekli açı ölçer ile ölçülmektedir. Numunelerin tamamı fikstür üzerinde kaynatılmış her bir numune için 30 dakikalık soğuma süresi verilmiştir. Dolayısıyla fikstür üzerinde yapılan kaynak işleminden dolayı numunelerde meydana gelebilecek distorsiyonlar önemli ölçüde engellenmiş ve devamında soğuma sürelerinin fikstür üzerinde ve fikstür dışındaki durumları irdelenmiştir. Fikstür üzerinde soğutma işlemine göre fikstür dışında soğutmada daha fazla açısal distorsiyonun olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.8. Fikstürde ve fikstür dışında ölçülen distorsiyon değerleri grafiği



Şekil 5.9. Kaynatılmış braket numuneleri



Şekil 5.10. Numunelerin kaynak sonrası ölçümü

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, bilgisayar destekli tasarım programı ile tasarlanan fikstürlere değinilmiş olup, aynı zamanda kaynak sonrası oluşan distorsiyonların tasarlanan kaynak fikstürleri ile önlendiği konusu deneysel olarak ele alınmıştır. Bu bağlamda çalışmada tasarlanan örnek kontrol fikstürleri ile ürün doğruluğunun kontrolünün yapıldığı, parçaların güven içerisinde onaylandığı, montaj fikstürleri ile üretim hızının arttığı, hataların azaldığı ve tasarlanan kaynak fikstürleri ile kaynak sonrası meydana gelen distorsiyonların engellenerek istenilen ölçü ve toleranslarda parça üretiminin sağlandığı konularına değinilmiştir.

Kaynak sonrası meydana gelebilecek distorsiyonları gözlemlemek amacıyla bir bilgisayar destekli tasarım programında bir kaynak fikstürü tasarlanmış ve bu kaynak fikstüründe sensör tutucu braket numunelerinin kaynağı yapılarak pratiğe dayalı olarak süreç deneysel olarak incelenmiştir. Farklı ısı girdileri ile yapılan bu kaynak işlemlerinde distorsiyon ve artık gerilmelere etki eden kaynak parametreleri dikkate alınmış ve tasarlanan kaynak fikstürünün distorsiyona olan etkisi gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi olmuştur :

1) Öncelikle kaynak fikstürünün distorsiyonu azaltmaya yönelik etkisi net bir şekilde gözlemlenmiş, daha detaya inilerek farklı soğutma koşullarında etkisi ele alınmıştır.

2) Altı sensör tutucu braket numunesi üzerinde yapılan çalışma sonucunda, fikstür üzerinde yapılan kaynak işlemleri sonrasında, numuneler farklı koşullarda soğumaya bırakılmış, fikstür üzerinde yapılan soğutma işleminde meydana gelen distorsiyon, serbest halde bir fikstüre bağlı olmadan yapılan soğutma işleminde meydana gelen distorsiyona göre daha az olduğu gözlemlenmiştir.

3) Çalışmada, numunelere uygulanan farklı ısı girdileri neticesinde parçalarda oluşan açısal distorsyonların farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. En büyük açısal distorsiyonun en yüksek akımda yani 250 Amper'de, fikstür dışında serbest halde yapılan soğutma işleminde görülmüştür.

4) S235JR çelik esaslı sensör tutucu braket numunesinin kaynak işleminde en düşük açısal distorsiyon ise düşük akımda, daha az ısı girdisinden dolayı 200 ve 230 Amperde fikstür üzerinde yapılan soğutma işleminde görülmüştür. Dolayısıyla parça kaynak sonrası fikstür üzerinde soğumaya bırakıldığında olabilecek en minumum seviyede distorsiyona uğramaktadır. Üretim aşamalarında özellikle çok hassas parçalarda, hassas tolerans aralıklarının bulunduğu durumlarda, parça fikstür üzerinde soğumaya bırakılarak distorsiyon minimal seviyeye çekilebilir.

5) Yapılan çalışmada yüksek ısı girdisinin olduğu numunelerde çalışmamız için 250 amperde soğumanın daha yavaş, daha düşük bir akımda 200 amperde ise daha az miktardaki ısı girdisinden dolayı soğumanın daha hızlı meydana geldiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

Aktaş, Y. (2007). *I kiriş üretiminde köşe kaynakları kaynak sırası planının distorsiyon kuvvetlerine etkilerinin araştırılması* (yüksek lisans tezi), YÖK tez merkezinden edinilmiştir (200032).

Anual, M. T., Sahroni, T. R., Akmal, S., & Nasution, F. A. (2018). Transient thermal analysis of welding fixtures design. *The 2nd International Conference on Eco Engineering Development*, 195, Malaysia: IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/195/1/012042

Buffa, G., & Fratini, L. (2011). Computer aided design of an effective fixture for fsw processes of titanium alloys. *Key Engineering Materials*, 473, 304-309. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.473.304

Çelik, S. (2021, Ocak 04). *Doç.Dr.Sare Çelik.* Makina Mühendisliği: http://w3.balikesir.edu.tr/~sare/dersler.html adresinden alındı.

Gedik Eğitim Vakfı. (1983). Kaynak tekniği el kitabı. S. Anık içinde, *Kaynak Teknolojisi El Kitabı* (s. 74-88). İstanbul: Ergör Matbaası.

Gedik Holding A.Ş. (1990). MIG-MAG eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı. K. Tülbentçi içinde, *Eriyen elektrod ile gazaltı kaynak yöntemleri* (s. 3-9). İstanbul: Bönler Yayını.

Gharib, A. R., Biglari, F. R., Shafaie, M., & Kokabi, A. H. (2019). Experimental and numerical investigation of fixture time on distortion of welded part. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104, 1121-1131. https://doi.org/10.1007/s00170-019-03874-0

Kairan, P., & Srihari, P. V. (2015). Design and development of an assembly fixture for mounting a circlip to the piston. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, *2*(4), 1476-1479.

Karmarkar, N., Dhoraje, K., & Bhumkar, O. (2015). Fixture design for nozzle bending. *International Journal for Scientific Research & Development (IJSRD)*, *3*(04), 2321-0613.

Komparatör (ölçü saati) nedir, ne işe yarar,nasıl kullanılır. (2021, Ocak 4). Teknoloji Projeleri: https://teknolojiprojeleri.com/mekanik/komparator-olcu-saati adresinden alındı.

Kumpas nedir, nasıl okunur. (2021, Ocak 4). Serdar Korkut: https://www.serdarkorkut.com/2017/08/08/kumpas-nedir-nasil-okunur/ adresinden alındı

Maniar, N. P., & Vakharia, D. P. (2014). Design & development of rotary fixture for CNC with computer aided mass balancing method as pre-mortem tool. *Procedia Technology*, *14*, 397 – 404. https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.08.051

Measurement principles of DIC. (2021, Ocak 4). DANTEC DYNAMICS: https://www.dantecdynamics.com/solutions-applications/solutions/stress-strain-espi-dic/digital-image-correlation-dic/measurement-principles-of-dic/ adresinden alındı.

Mishra, A. (2017). Designing and fabrication of fixture for friction stir welding of aluminium AA6061 alloys. *International Journal for Scientific Research & Development*, *5*(5), 2321-0613.

Monkova, K., Monka, P., Andrej, A., & Somsak, M. (2014). Design of the welding fixture for the rear headrest bracket of audi. *Advanced Materials Research*, 933, 615-618. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.933.615

Nagasankar, P., Tamilselvi, P., Babu, T. V., Salahudin, S. J., Aravindhan, S., & Deepak, J. (2018). Design and manufacturing of fixture for edge prepration of elbows. *International Journal of Engineering & Technology*, *7*(3), 339-344.

Peshatwar, S. V., & Raut, L. P. (2013). Computer aided fixture design for machining of key-ways on eccentric shaft. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, *4*(8), 2229-5518.

Pilipenko, A. (2001). Computer simulation of residual stress and distortion of thick plates in multi-electrode submerged arc welding their mitigation techniques (PhD thesis), Department of Machine Design and Materials Technology, Norwegian University, Trondheim, Norway.

Ramnath, V. B., Elanchezhian, C., Rajesh, S., Prakash, S. J., Kumaar, B. M., & Rajeshkannan, K. (2018). Design and development of milling fixture for friction stir welding. *Materials Today: Proceedings*, *5(1)*, 1832–1838. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.282

Semjon, J., Hajduk, M., Janos, R., & Vagas, M. (2013). Modular welding fixtures for robotic cells. *Applied Mechanics and Materials*,*309*, 80-87. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.309.80

Suthar, J., Patel, K., & Luhana, S. (2013). Design and analysis of fixture for welding an exhaust impeller. *Procedia Engineering, 51*, 514-519. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.073

Uzun, H. (2021, Ocak 4). *Gazaltı Kaynak Tekniği MIG-MAG / TIG*. DOCPLAYER: https://docplayer.biz.tr/42458216-Gazalti-kaynak-teknigi-mig-mag-tig.html adresinden alındı

Wang, X., Ma, P., Peng, X., & Ning, S. (2020). Study on vibration suppression performance of a flexible fixture for a thin-walled casing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *106*:4281–4291. https://doi.org/10.1007/s00170-019-04696-w

Weman, K. (2021, Ocak 4). *Schweißfehler*. WIKIPEDIA: https://de.wikipedia.org/wiki/Schwei%C3%9Ffehler adresinden alındı

Yamık, H., & Erzen, S. (2021, Ocak 04). *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği.* Kaynak Tekniği Deney Föyü: http://w3.bilecik.edu.tr/makine/wp-content/uploads/sites/27/2017/09/Kaynak-Teknigi.pdf adresinden alındı

Yılmaz, M.İ. (2007). *Ostenitik paslanmaz çelik plakanın (EN DIN 1.3964) T bağlantı kaynağında ilave ısı girdisi uygulamasının meydana gelen distorsiyona etkisinin incelenmesi* (doktora tezi), YÖK tez merkezinden edinilmiştir (223736).

Yiğit, İ. (2019). *Çelik yapılarda kullanılan T profilin kaynaklı imalatında oluşan açısal distorsiyonların optimizasyonu* (Yüksek lisans tezi), YÖK tez merkezinden edinilmiştir (575760).

Yuvaraj, M., Karthıck, H., Gopalakrıshanan , V., & Louis, S. W. (2016). Design, fabrication and analysis of welding fixture having higher accuracy without using robots. *International Journal of Chemical Sciences, 14*(2), 1-8.

Zajac, J., Hatala, M., Dupláková, D., Botko, F., Duplák, J., & Šuťák, D. (2018). Implementation of computer-aided design of fixture in the educational process. *TEM Journal, 7*(4), 808-812. doi: 10.18421/TEM74-18

ÖZGEÇMİŞ

Murat KILIÇ 1988 yılında Sivas'ta dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini Tokat Turhal Zeki Çepoğlu İlköğretim okulunda, lise öğrenimini Turhal Cumhuriyet Lisesi'nde tamamlamıştır. 2007 yılında girdiği üniversite sınavında Rize Üniversitesi Makine-Resim-Konstrüksiyon Bölümü'nü tercih ederek, önlisans öğrenimini 2009 yılında tamamlamıştır. Önlisans eğitimi sonrası 2010-2011 yılları arasında İzmir Buca Cezaevi Jandarma Bölük Komutanlığı'nda vatani görevini tamamlamıştır. 2011-2014 yılları arasında ise özel sektörde proje ve üretim departmanlarında proje yöneticisi ve üretim sorumlusu olarak görev almış, 2014'te girdiği DGS sınavı ile Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazanarak, lisans öğrenimini 2017 yılında 3.35/4 ortalama ile bölüm üçüncüsü olarak tamamlamıştır. 2017'de özel sektörde otomotiv alanında proje mühendisi olarak tekrardan iş hayatına başlamıştır. Ayrıca, 2019'da başladığı Trakya Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.