

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖNER KAYNAK MAKİNESİ VE ENDÜSTRİYEL ARK
ROBOTUNDAKİ TİTREŞİMLERİN PARÇA KALİTESİ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ANALİZİ

Murat ONAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Erdem BOĞOÇLU

Şubat, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖNER KAYNAK MAKİNESİ VE ENDÜSTRİYEL ARK
ROBOTUNDAKİ TİTREŞİMLERİN PARÇA KALİTESİ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ANALİZİ

Murat ONAT tarafından hazırlanan tez çalışması 06.02.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.


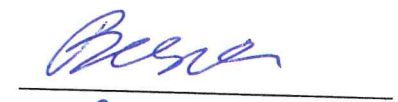
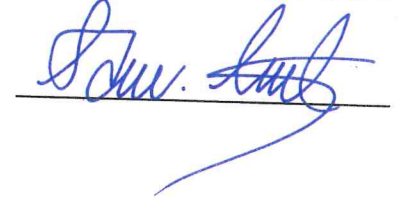
Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Erdem BOĞOÇLU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem E. BOĞOÇLU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Berna BOLAT, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. C. Erdem İMRAK, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Muharrem E. BOĞOÇLU sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Döner Kaynak Makinesi ve Endüstriyel Ark Robotundaki Titreşimlerin Parça Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin Analizi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Murat ONAT

İmza



Bu çalışma, TOYOTETSU Türkiye tarafından desteklenmiştir.



Aileme
ve
biricik eşime

TEŐEKKÜR

Bana vazgeçmemeyi öğreten ve attığım adımlarda arkamda değil, daima yanımda benimle birlikte olan sevgili annem Nurcan Onat ve babam İsmail Onat'a, her daim bana örnek olan ve kalitesiyle bana daima ilham veren sevgili ablam Nihan Onat'a, yaşadığım zorluklara benimle birlikte göğüs germekten çekinmeyen ve beni daima destekleyen sevgili eşim Büşra Onat'a, bu çalışmayı gerçekleştirirken ilgisi ve bilgisiyle beni destekleyen hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Boğoçlu'ya ve yaptığım çalışmalar sırasında bana yardımcı olan TOYOTETSU Türkiye çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Murat ONAT

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	ix
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.1.1 Kaynak Uygulamalarında Robot Kullanımı	1
1.1.2 Kaynak uygulamalarında titreşim.....	3
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez.....	4
2 Kaynak Çeşitleri	5
2.1 Ark Kaynak Çeşitleri.....	6
2.1.1 Korumalı Metal Ark Kaynağı	7
2.1.2 Elle Yapılan Metal Ark Kaynağı	7
2.1.3 Tozaltı Ark Kaynağı.....	8
2.1.4 Gaz Korumalı Ark Kaynağı	9
2.1.5 Gazaltı Ark Kaynağı.....	10
3 Kaynak İşleminde Kullanılan Fikstürlerin Yeri Ve Önemi	12
3.1 Kaynak Fikstürlerinin Otomotiv Sektöründeki Yeri	12
3.1.1 Otomotiv Sanayisinde Kullanılan Fikstürlerin Sınıflandırılması	14
4 Fikstür Konstrüksiyonunun Kaynak Kalitesi Üzerine Etkileri	20
4.1 Tersine Mühendislik Yöntemi İle Konstrüksiyon Analizi	20
4.1.1 Döner Kaynak Makinesi Tasarımı	21

4.2	Döner Kaynak Makinesi Üzerinde Oluşan Sistem Titreşimlerinin Analizi..	26
4.2.1	Sistem Çalışmasında Stabilizasyonun İncelenmesi	26
4.2.2	1.Deney Düzeneği	29
4.2.3	1.Deney Çalışması Genel Değerlendirme.....	37
4.3	Ark robotu üzerinde oluşan sistem titreşimlerinin analizi.....	37
4.3.1	2. Deney Çalışması Genel Değerlendirme	43
4.4	Ark Robotunda Kontrollü Titreşim Deneyi.....	43
4.5	Döner Kaynak Makinesine Ait Döner Tabla Katılık Değeri Hesaplaması	47
4.5.1	Döner Tablaya Ait Sehim Miktarının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi	49
5	Sonuç ve Öneriler	51
5.1	Kesme Testi Sonuçlarının Yorumlanması.....	51
5.2	Mikro Analiz Sonuçlarının Yorumlanması.....	54
5.3	Sistem Katılık Değeri ve Titreşime Etkisi.....	54
5.4	Öneriler	55
5.4.1	Titreşimin Kaynak Dikişi Üzerindeki Faydalı Etkileri.....	55
5.4.2	Titreşimin Kaynak Dikişi Üzerindeki Zararlı Etkileri.....	56
5.4.3	Genel Sonuç.....	56
	Kaynakça	57
	Tezden Üretilmiş Yayınlar	61

SİMGE LİSTESİ

a	Akım
d/dk	Dakikadaki Devir Sayısı
F	Kuvvet
k	Yaylanma Katsayısı
$L2$	Kaynak Uzunluğu
m	Kütle
$P1$	Kaynak Nüfuziyeti
t	Zaman
T	Kaynak Kalınlığı
V	Voltaj
w	Açısal Hız
x	Sehim Miktarı
$^{\circ}/sn$	Saniyedeki Açısal Salınım

KISALTMA LİSTESİ

CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
Hz	Hertz
Kg	Kilo gram
MÖ	Milattan Önce
MPa	Mega Pascal
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyeci
RE	Tersine Mühendislik
RPM	Dakikadaki Dönüş Sayısı
3D	Üç Boyutlu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1 El Cezeri'nin El Yıkama Mekanizması [2].....	2
Şekil 1. 2 Endüstriyel Robot [2].....	3
Şekil 2. 1 Otomotiv Parça İmalatında Sıklıkla Kullanılan Kaynak Çeşitleri.....	5
Şekil 2. 2 Metal Ark Kaynağı [14]	7
Şekil 2. 3 Ark Kaynağı Nüfuziyet Karşılaştırması	8
Şekil 2. 4 Tozaltı Ark Kaynağı [16].....	9
Şekil 2. 5 Gazaltı Ark Kaynak İşlemi[20].....	10
Şekil 3. 1 1900'lü Yıllarda Kullanılan Endüstriyel Fikstür [26]	12
Şekil 3. 2 Krank Mili Fikstürü [26]	13
Şekil 3. 3 Günümüzde Seri İmalatta Kullanılan Fikstür [30].....	14
Şekil 3. 4 Elle İşletilen Kaynak Fikstürü [33]	15
Şekil 3. 5 Robot Kaynak Fikstürü [34]	16
Şekil 3. 6 Kaynak Fikstür Pimleri.....	17
Şekil 3. 7 Şim Ayar Bloğu	17
Şekil 3. 8 Kenetleme Bloğu.....	18
Şekil 4. 1 Tasarımsal Süreçlerin Birbirleriyle Olan İlişkisi [41]	20
Şekil 4. 2 Döner Kaynak Makinesinde Üretilen Parça	21
Şekil 4. 3 Döner Kaynak Makinesi Şematik Gösterim [44]	22
Şekil 4. 4 Döner Kaynak Makinesi Fikstürü.....	23
Şekil 4. 5 Döner Kaynak Makinesi Sabit Torç Yapısı.....	24
Şekil 4. 6 Döner Kaynak Makinesi Bileşen Montaj Görünümü	24
Şekil 4. 7 Döner Kaynak Makinesi Kabin Tasarımı	25
Şekil 4. 8 Döner Kaynak Makinesine Ait Sürücü- Motor- Redüktör [45]	26
Şekil 4. 9 Döner Kaynak Makinesine Ait Servo Motor Çalışma Görseli.....	27
Şekil 4. 10 Servo Motor Grafiği "A" Bölgesi	28
Şekil 4. 11 Servo Motor Grafiği "A1" Bölgesi Ve Hızlanma Zamanı.....	28
Şekil 4. 12 Servo Motor "A" Bölgesi Sabir Hızlı Hareket Grafiği.....	29
Şekil 4. 13 Arduino ve Mpu6050 Sensörü.....	30
Şekil 4. 14 Döner Kaynak Makinesi Titreşim Grafiği	31
Şekil 4. 15 K1 Bölgesi Titreşim Grafiği	31
Şekil 4. 16 Kesme Testi Analizi Kontrol Bölgeleri.....	32

Şekil 4. 17 Kesme Testi Analizinde Kullanılan Kesme Bölgeleri	32
Şekil 4. 18 A1 Bölgesi Kesme Testi Sonuçları	33
Şekil 4. 19 A2 Bölgesi Kesme Testi Analiz Sonuçları	34
Şekil 4. 20 A3 Bölgesi Kesme Testi Analiz Sonuçları	35
Şekil 4. 21 A1 Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları	36
Şekil 4. 22 A2 Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları	36
Şekil 4. 23 A3 Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları	37
Şekil 4. 24 Ark Robotu Titreşim Grafiği	38
Şekil 4. 25 Ark Robotu "R1" Bölgesi Kesme Testi Analiz Sonuçları	39
Şekil 4. 26 Ark Robotu "R2" Bölgesi Kesme Testi Analiz Sonuçları	40
Şekil 4. 27 Ark Robotu "R3" Bölgesi Kesme Testi Analiz Sonuçları	41
Şekil 4. 28 Ark Robotu "R1" Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları	42
Şekil 4. 29 Ark Robotu "R2" Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları	42
Şekil 4. 30 Ark Robotu "R3" Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları	42
Şekil 4. 31 Pedal Burç Kaynağı Görseli	44
Şekil 4. 32 1.Robot Programlamasına Ait Titreşim Grafiği	44
Şekil 4. 33 2. Robot Programlamasına Ait Titreşim Grafiği	45
Şekil 4. 34 3. Robot Programlamasına Ait Titreşim Grafiği	45
Şekil 4. 35 Pedal Ark Kaynağı İçin Farklı Robot Programlamalarına Ait Titreşim Grafiği ve Grafiklerin Çakıştırılmış Hali	45
Şekil 4. 36 Pedal "C" Bölgesi Kesme Testi Analizi	46
Şekil 4. 37 Farklı Robot Programında Üretilmiş Pedallara Ait Mikro Analiz Sonuçları	47
Şekil 4. 38 Döner Tabla Sehîm Analizi	50
Şekil 5. 1 Birinci ve İkinci Deneye Ait Titreşim Grafiklerinin Çakıştırılması	52
Şekil 5. 2 Ark Robotu ve Döner Kaynak Makinesinde Üretilen Parçaların Kesme Testi Sonuçlarının Birleştirilmesi	53
Şekil 5. 3 Çeşitli Robot Kontrol Programlamalarına Ait Titreşim Grafiği Çakıştırılması	54

TABLO LİSTESİ

Tablo 4. 1 Kaynak Parametreleri	30
Tablo 4. 2 Ark Robotu Titreşim Genlikleri	38
Tablo 4. 3 Tabla Malzeme Özellikleri	49
Tablo 4. 4 Mesh Özellikleri.....	49
Tablo 5. 1 1. Deneye Ait Kesme Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	51
Tablo 5. 2 2.Deneye Ait Kesme Testi Sonuçları Karşılaştırması.....	52



DÖNER KAYNAK MAKİNESİ VE ENDÜSTRİYEL ARK ROBOTUNDAKİ TİTREŞİMLERİN PARÇA KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ANALİZİ

Murat ONAT

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muharrem E. BOĞOÇLU

Otomotiv sanayisinde sıklıkla kullanılan gazaltı ark kaynağı, karbondioksit ve argon gazı yardımıyla eriyen elektrodun iki metali birleştirdiği kaynak metodudur. Bu metot ile yapılan kaynak uygulamalarında kaynak kalitesini etkileyen pek çok etken mevcuttur. Sistemin hızı ve kaynak sırasında yarattığı titreşimler, bu unsurları oluşturan mekanik davranışlardır. Bu tez çalışmasında, kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan mekanik davranışların dairesel ark kaynağına olan etkileri incelenmiştir. Bu sebeple sabit torç ve servo motor tahrikli döner fikstür yapısı ile endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan ark robotu karşılaştırılmıştır.

Servo motor tahrikli döner fikstürün çalışması sırasında ortaya çıkan titreşimler, arduino MPU6050 sensörü ile ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda titreşimin kaynak kalitesine olan etkisini araştırmak için dairesel kaynağına sahip parça üzerinde denemeler yapılmıştır. Bu bağlamda, kaynak kalitesini doğrudan etkileyecek olan, kaynak hızı, torch açısı ve kaynak gazı gibi etkenler değiştirilmeden, dairesel kaynak işlemi ark robotu üzerinde tekrarlanmıştır. MPU6050 sensörü robot torcuna bağlanmış, robot eksenlerinin hareketi sırasında

torç ucunda meydana gelen titreşimler analiz edilmiştir. Farklı mekanik titreşimlere sahip iki yapı üzerinde üretilen parçaların kaynak kalitesi incelenmiş, kaynak dikişleri üzerinde mikro yapı analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ile birlikte, parça kalitesini etkileyecek optimal titreşim frekansı irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gazaltı ark kaynağı, titreşim, mikro yapı, kaynak kalitesi, fikstür



ANALYSIS OF THE EFFECTS OF VIBRATIONS IN ROTARY WELDING MACHINE AND INDUSTRIAL ARC ROBOT ON PART QUALITY

Murat ONAT

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Asst. Prof. Muharrem Erdem BOĞOÇLU

Gas metal arc welding, commonly used in the automotive industry, is a welding method in which the melting electrode combines two metals with the aid of carbon dioxide and argon gas. There are many factors affecting the quality of welding in this method. The speed of the system and the vibrations during welding are the mechanical behaviors that affect the welding quality. In this thesis, the effects of mechanical behaviors during circular arc welding are investigated. For this reason, the fixed torch and rotary welding fixture structure is compared with the commonly used arc robot in the industrial field. The vibrations during the operation of the rotating fixture were measured by the arduino MPU6050 sensor. In order to investigate the effect of vibration on welding quality, experiments were performed on the part with circular weld. In this context, the circular welding process was repeated on the arc robot without affecting the welding speed, torch angle and welding gas, which would directly affect the welding quality. The

MPU6050 sensor is connected to the robot torch, the vibrations at the torch tip during the movement of the robot axes are analyzed. The weld quality of the parts produced on two structures with different mechanical vibrations were examined and microstructure analyzes were performed on the weld seams. Together with the studies, the optimal vibration frequency which will affect the part quality is examined.

Keywords: Arc welding, vibration, microstructure, welding quality, fixture



1.1 Literatür Özeti

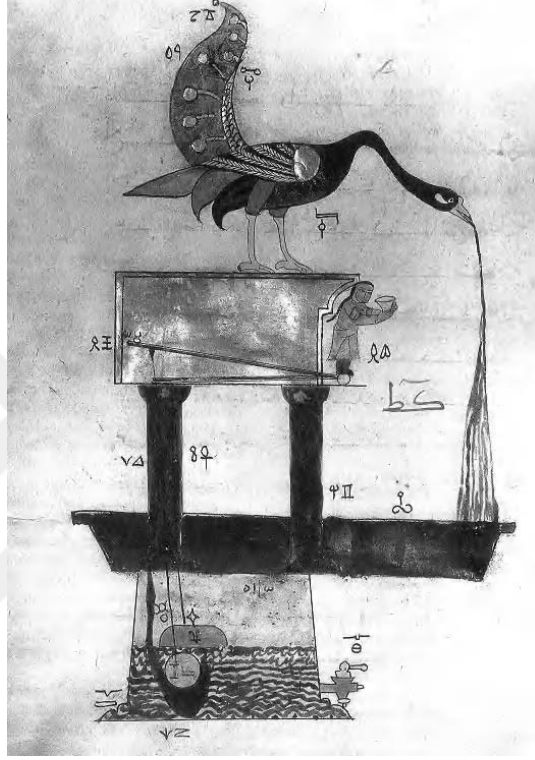
Eski çağlarda kaynak, insan yeteneği ve bilimin birlikte harmanlandığı bir sanat olarak değer görmekteydi. Kaynak uygulamalarına dair bilgiler, Sümerliler ve Mısırlıların arasında bulunduğu MÖ 3000 yılına kadar uzanmaktadır. Sümerliler kılıç yapabilmek için parçaları birbirine sert lehim kullanarak birleştirmekteydi. Mısırlılar ise daha sonraları demiri ısıtmayı bulmuşlardır. Bu yöntem sayesinde parçaları birbirine çok daha kolay birleştirmekteydiler. Geçmişle ilgili yer alan bu bilgiler, tarihteki ilk kaynak uygulamaları olarak geçmektedir. Eski çağlarda mezarlıklarda bulunan bazı objelerin, eski kaynak teknikleri kullanılarak oluşturulduğu görülmüştür.

16.Yüzyıla gelindiğinde kaynak teknikleri yeterince bilinmesine rağmen yaygın olarak kullanılmamaktaydı. Bu yıllarda demirciliğin gelişmesiyle beraber dövme kaynak yöntemiyle parçalar birleştirilmekteydi. 1820'li yıllarda elektrik arkının keşfedilmesi, modern ark kaynak uygulamaları için öncülük etmiştir. Bu gelişmeyi, 1886 yılında karbon elektrot kullanılarak yapılmış ark kaynak patenti, 1900 yılında örtülü elektrot ile yapılan kaynak ve 1940 yılında beslemeli elektrotla yapılan ilk kaynak uygulaması takip etmiştir [1]. Günümüzde kullanılan gazaltı kaynağının icadı ise 1948 yılına dayanmaktadır. O yıllarda gazaltı kaynağını tungsten elektrot kaynağından öne çıkararak en büyük özellik küçük çapa sahip elektrotlar ile de rahat bir şekilde kaynağın yapılabilir olmasıydı [2]. Bu yıllarda asetilen ve oksijenin kaynak gazı olarak kullanılmasıyla birlikte, diğer hidrokarbon içerikli karışımlara oranla çok daha yüksek bir sıcaklık olan 3100 °C'de kaynak yapabilme imkanı doğmuştur [3].

1.1.1 Kaynak Uygulamalarında Robot Kullanımı

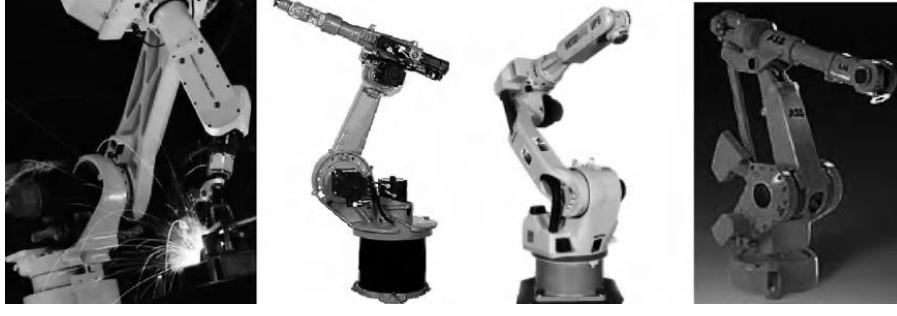
Endüstriyel kaynak uygulamalarında kullanılan robotların günümüzdeki hale ulaşmasındaki ilk adımlar milattan önce 270 yıllarında atılmıştı. Eski Yunan mühendisi olan Ktesibios'un su saati robotik alanındaki bilinen ilk örnektir.

Ktesibios'un bu çalışmasını MÖ 200'lü yıllarda İskenderiyeli Filon, MÖ 85 yılında yine İskenderiyeli Heron ve MÖ 25 yılında Romalı Marcus Vitruvius takip etmiştir. Eski çağlarda robotik alanında atılan bu adımları, 12. Yüzyıla gelindiğinde El Cezeri'nin yaptığı icatlar takip etmiştir (Şekil 1.1). Ancak o zamanlarda mekanik bilimindeki en büyük problem hareket iletiminin tam olarak anlaşılabilmesiydi [2].



Şekil 1. 1 El Cezeri'nin El Yıkama Mekanizması [2]

15. Yüzyıla gelindiğinde Leonardo da Vinci pek çok transfer mekanizması tasarımı yapmasına rağmen hiçbiri tam olarak kalıcı bir güç kaynağı içermemekteydi. 19. Yüzyılda Nicola Tesla ve Henrich Hertz tarafından yapılan çalışmalar ile birlikte otomatik hareket eden mekanizmalar geliştirildi. 1970'li yıllarda robot endüstrisi multi milyon dolarlık sektör haline ulaştı. 1995'li yıllarda ise günümüz robotları üretim sektörüne dahil olmuştur (Şekil 1.2) [2].



Şekil 1. 2 Endüstriyel Robot [2]

1.1.2 Kaynak uygulamalarında titreşim

Titreşim kavramı, elastik özellikte olan cisimler üzerine uygulanan kuvvet neticesinde cismin mevcut konumunu geri kazanma isteği doğrultusunda yaptığı periyodik harekettir [4]. Özellikle eski çağlardan bu yana kendine oldukça geniş uygulama alanı bulan kaynak işleminin otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılması, titreşim konusunun kaynak üzerindeki etkileri inceleme ihtiyacı doğurmuştur. Ancak titreşim kavramı, mekanik sistemlerde her ne kadar istenmeyen bir gibi gözükse de uygun bir araştırma ve mekanik geliştirme sayesinde, kaynak işlemi sırasında meydana gelen ısı girdisini iyileştirebileceği düşünülmektedir [5]. Değişen ısı girdisiyle beraber, kaynağın tanecik boyutunun değişmesi ve buna bağlı olarak kaynak kalitesinin olumlu yönde etkilenebileceği, mekanik titreşimin etkileri hakkında merak edilen bir diğer araştırma unsuru olmuştur [6].

Endüstriyel üretim koşullarında, kaynak fikstürü, ark kaynak uygulaması ve titreşim kavramlarının bu tez çalışmasında birlikte ele alınması, bu konu hakkında literatüre katkı sağlayacak bir unsur olmuştur.

1.2 Tezin Amacı

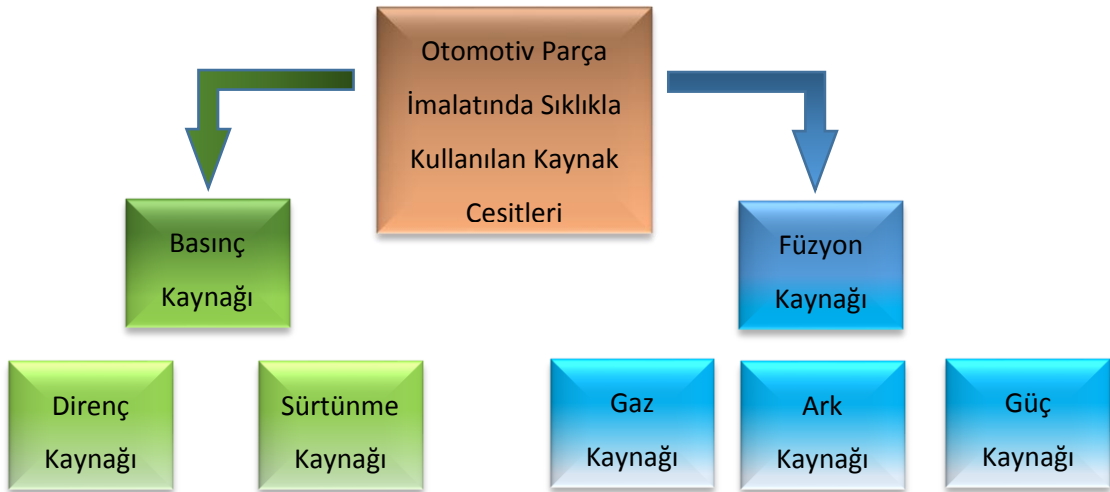
Günümüz otomotiv sanayisinde kaynaklı parça üretimleri gün geçtikçe artmaktadır. İlerleyen teknoloji ile birlikte parça imalat yöntemleri de değişmekte, hedef parça kalitesi için alternatif çözüm yöntemleri aranmaktadır. Bu nedenle mevcut tez çalışmasında otomotiv sanayisinde sıklıkla kullanılan kaynaklı birleştirme yöntemlerinde titreşim etkisinin, hedef parça kalitesine ulaşma sürecinde bir “yöntem” olarak kullanılması amaçlanmıştır. Bu hedef doğrultusunda endüstriyel ark robotunda ve sabit torç-döner fikstür yapısına sahip sistem

üzerinde, aynı kaynak parametrelerinde farklı titreşim deneyleri yapılarak kaynak kalitesi analiz edilecektir.

1.3 Hipotez

Tez amacı doğrultusunda; endüstriyel fabrikalarda kaynaklı birleştirme yöntemiyle imal edilen parçalar, değişik titreşim seviyesine sahip sistemler üzerinde analiz edilmiştir. Endüstriyel ortamda parça kalitesini etkileyen etkenler arasında mekanik titreşim seviyesinin etkili olabileceği düşüncesi, kalitesel çözüm sürecinde gerek zaman, gerek de ekipman darlığından ötürü arka planda kalmaktadır. Özellikle literatürde, sistem titreşimlerinin seri üretim koşullarında üretimi yapılan parçalara olan etkisine dair yeterli çalışma bulunmaması, titreşim konusunun karşılaşılan sorunların çözümü olabileceği düşüncesini oluşturmaktadır. Bu kapsam içinde, yapılan çalışmalarla birlikte parça kalitesini etki etmede kaynak parametrelerinin önemine ek olarak, sistemin mekanik titreşim davranışının da kalitesel sonuca etki eden değişkenler olarak kabul görmesini sağlayacağı düşünülmektedir.

Günümüzde herhangi bir endüstride yer alan uygulamalar genellikle parçaya olan güvenilirliği artırırken malzeme boyutunu azaltmaya yöneliktir. Bu sebeple, iki veya daha fazla metalin birbirine birleşmesini sağlayan ve üretim sanayisinde sıklıkla kullanılan kaynak işlemi, parçaların birbirleriyle homojen bir şekilde birleşmesini sağlamaktadır. Pek çok çeşidi bulunan ark kaynak prosesi uçak, uzay ve otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanıma sahip önemli bir mühendislik alanı olmaktadır [7]. Ayrıca kaynak işleminin alternatif birleştirme yöntemlerine kıyasla yüksek hızda uygulanabiliyor oluşu, üretim endüstrisinde üretim maliyetlerini düşürmede önemli etken olmaktadır [8]. Kaynak işlemi, uygulanacak olan malzemeye göre ele alınmakla birlikte metal yada plastik kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır. İki veya daha fazla metali çeşitli yöntemler kullanarak birleştirme işlemine metal kaynağı adı verilmektedir. Metal kaynağında kullanılan yöntemlerin sınıflandırmasında kaynağın yapılış şekli önemli bir etken olmaktadır [9].



Şekil 2. 1 Otomotiv Parça İmalatında Sıklıkla Kullanılan Kaynak Çesitleri

Şekil 2.1'de de belirtildiği üzere kaynak işlemi basınç ve füzyon(ergitme) kaynağı olarak iki ana grupta incelenmektedir. Basınç kaynağı işleminde kaynak olacak parçalar dışında herhangi bir ek malzeme gerekmeden sadece kaynak yapılacak

olan plakalara yüksek basınç uygulaması yapılmaktadır. Uygulanan yüksek basınç, kaynatılacak olan plakalar arasında belirli bir ısı yaratarak plakaların birbirine kaynamasını sağlamaktadır. Füzyon kaynağında ise kaynak yapılacak olan parçaları birleştirmek için ilave metal kullanılabilir. Bu kaynak grubunda malzemeler, harici ısı girdisinin etkisiyle bölgesel olarak etkilenmektedir [10].

Şekil 2.1’de yer alan kaynak işlemleri arasından seçilen kaynak metodu, parçaları birleştirmede kullanılan dolgu malzemesinin özelliği ve dolgu yöntemi kaynağın özelliğini belirleyen temel etkenlerdir. Kaynak işlemi sırasında meydana gelen ısı yayılımı, kaynaklı parçalarda mikro yapısal değişikliklere yol açmaktadır. Kaynak bölgesi etrafında malzeme özelliğinin değişebilirlik oranı, büyük oranda kaynak yapılan ana parçaların fiziksel yapısına ve kaynak sırasında ısıyı yayabilme özelliğine bağlı olarak değişmektedir [11].

2.1 Ark Kaynak Çeşitleri

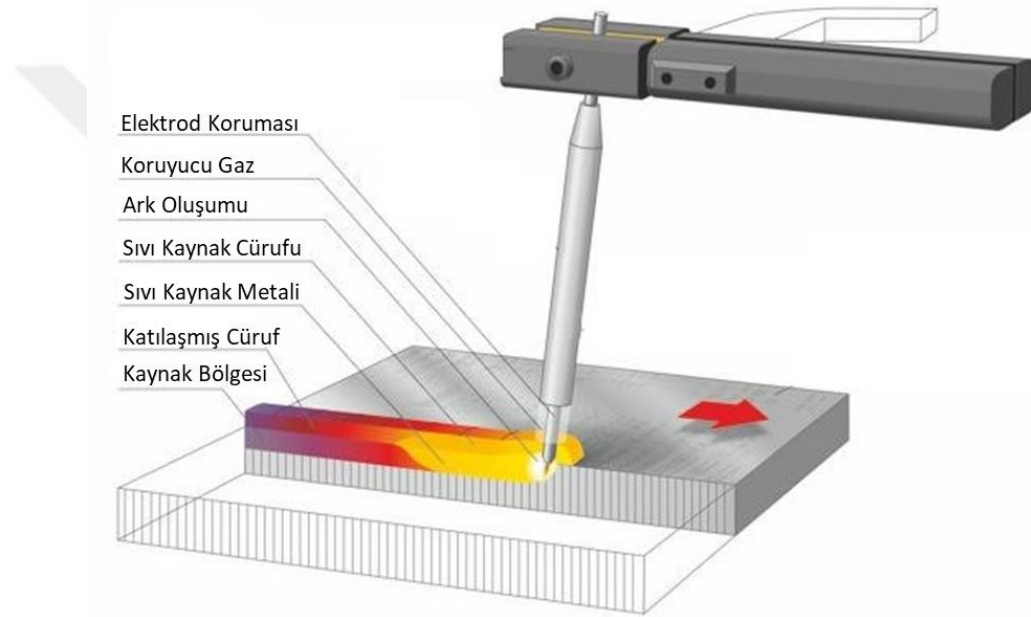
Ark kaynak prosesi yüksek verim elde edilebilen bir metal birleştirme prosesidir [12]. Konvansiyonel ark kaynak işlemi elektrot kullanım şekline bağlı olarak, tüketilebilen ve tüketilemeyen elektrotlu ark kaynağı olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. İki yöntemin de kendi içinde çeşitli avantajları ve kendi sınırlamaları bulunmaktadır [13]. Tüm ark kaynak proseslerinde ark, elektrik döngüsüyle tamamlanmaktadır.

Özellikle gazaltı kaynaklarında kullanılan otomatik tel sürme mekanizması sayesinde kullanımı kolay yarı otomatik proses olarak bilinmektedir. Tungsten elektrot kullanılan manuel ark kaynak proseslerinde ise yapılan işlemin kaynakçı tarafından takip edilmesi ve kaynak havuzunun sürekli olarak beslenmesi gerekmektedir. Bu sebeple manuel kaynak prosesi yetenek isteyen bir proses olmaktadır.

Son yıllarda yapılan araştırmalar hibrid kaynak metodları sayesinde, fabrikalarda ve diğer üretim sanayilerinde 75’ten fazla kaynak çeşidi olduğunu göstermiştir. Bu kadar fazla uygulama çeşidine sahip olması, kaynak işleminin birleştirici avantajlarından kaynaklanmaktadır. Ark kaynak prosesi düşük maliyet ve taşınabilirlik gibi avantajlar sunmaktadır [1].

2.1.1 Korumalı Metal Ark Kaynağı

Metal ark kaynağı, uygulama yöntemleri göz önüne alındığında en kolay, ucuz ve bu sebeplerden ötürü sıklıkla tercih edilen bir ark kaynak metodudur. Bu yöntem ile, metal elektrot kullanılmasıyla kaynak yapılacak metal parçalar arasında ark akımı oluşturulmaktadır. Metal parçalar arasında oluşan arkların oluşturduğu ısı, parçaları birbirine birleştirmektedir. Metal ark kaynağının korumalı olarak adlandırılmasının nedeni, kaynak işlemi sırasında oluşan arkın ve sıcak metalin atmosfer gazlarıyla birlikte kimyasal reaksiyona uğramasını engellemektir.



Şekil 2. 2 Metal Ark Kaynağı [14]

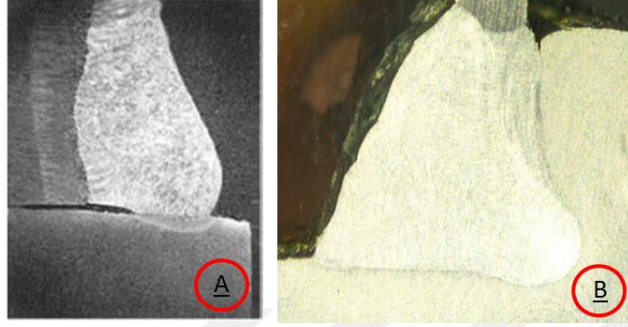
Şekil 2.2'de gösterilen metal ark kaynak işlemi, elektrod ve iş parçası arasında meydana gelen ark akımı ve ısı etkisiyle olmaktadır [15].

2.1.2 Elle Yapılan Metal Ark Kaynağı

Elle yapılan metal ark kaynağı, 1980'li yılların başından itibaren ark kaynak uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmuştur. Bu dönemlerde dışı çeşitli kimyasallar, mineraller ve demir tozuyla kaplamalı elektrod çubukları kullanılmaktaydı.

Bu elektrod çubuklarının çapları uygulanacak olan kaynak akımına göre çeşitli ölçülerde imal edilebilmektedir. Elektrod ve iş parçası arasında meydana gelen ark,

ısının etkisiyle kaplamalı metali koruyucu cüruf haline getirmektedir. Kaynak işlemi sonrasında kaynak birleşiminde oluşan yığılmış cürufların temizlenmesi gerekmektedir. Aksi halde cüruf inklüzyonları kaynak birleşme yüzeyinde oluşabilmektedir. Yüzeyde oluşan cüruf kalıntıları partikül halinde veya daha büyük bölgelere ayrılmış şekilde olabilmektedir.

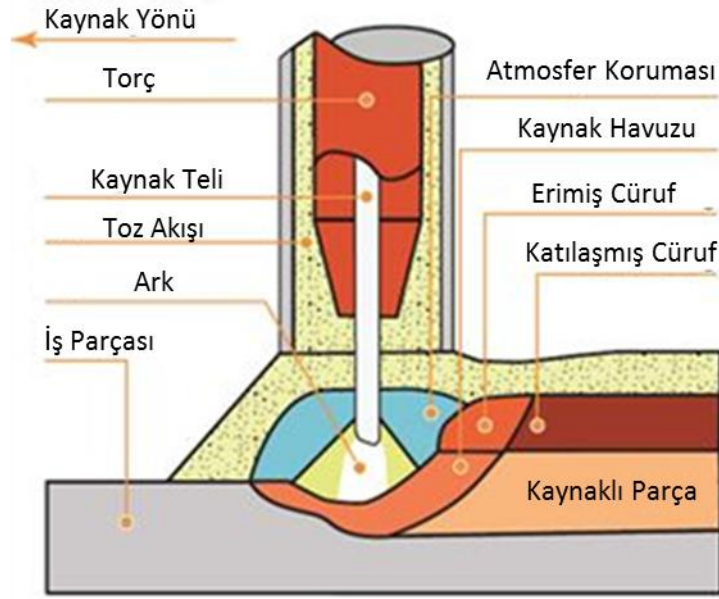


Şekil 2. 3 Ark Kaynağı Nüfuziyet Karşılaştırması a)Kötü Nüfuziyet b)İyi Nüfuziyet

Yapılan kaynağın kalitesi ve kullanılan elektrodun çapı yüzeyde oluşan cüruf üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Olması gerekenden daha büyük çapa sahip elektrodlar yardımıyla yapılan kaynak işleminde, iş parçaları arasında yeterli nüfuziyet sağlanamamaktadır. [3] Şekil 2.3'te A ve B numunesine ait görsel yer almakta, kaynak nüfuziyetleri arasında karşılaştırma yapılmaktadır. A görselinde kaynak nüfuziyetinin az olduğu buna karşın B görselinde nüfuziyetin iyi olduğu gözükmemektedir.

2.1.3 Tozaltı Ark Kaynağı

Tozaltı ark kaynağı 1933 yılında başlayan uygulamalarından sonra İkinci Dünya Savaşıyla birlikte kaynak endüstrisinde kullanımı yaygınlaşmış bir kaynak çeşididir [9]. Tozaltı ark kaynağı yüksek verimliliğe sahip, çoklu elektrodun kullanılabilirdiği bir kaynak türüdür. Bu kaynak işleminde kaynak elektrodu kaynak noktasına devamlı olarak sürülmektedir. Kaynak bölgesine uygulanan toz akışının, elektrodun ucunda oluşan arka ve kaynak sonrası yüzeyde oluşan cürufa yakın bir bölgeden uygulanmasıyla birlikte, kaynak işlemi sırasında eriyen metalin havadaki oksijen ve nitrojen ile tepkimeye girmesinin önüne geçilmiş olur (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 Tozaltı Ark Kaynağı [16]

İlgili kaynak işlemi sonrasında yüzeyde biriken tozlar vakum yardımıyla emilerek tekrardan kullanılabilir. Kaynak işlemi sırasında birleşme noktasına toz akışının sürekli olarak uygulanması, tozların oluşan kaynak ışığına ve kaynak dumanına karşı koruyucu bir katman oluşturmasını sağlamaktadır [3]. Genellikle büyük parçalar üzerinde kullanılan tozaltı kaynak metodunda eriyen metalin 1/3'lük oranda ilave toz metalden oluşması ve manuel ark kaynağına oranla sarfiyatın az oluşu, bu işlemi diğer kaynak yöntemlerinden ayıran özellik olmaktadır [9].

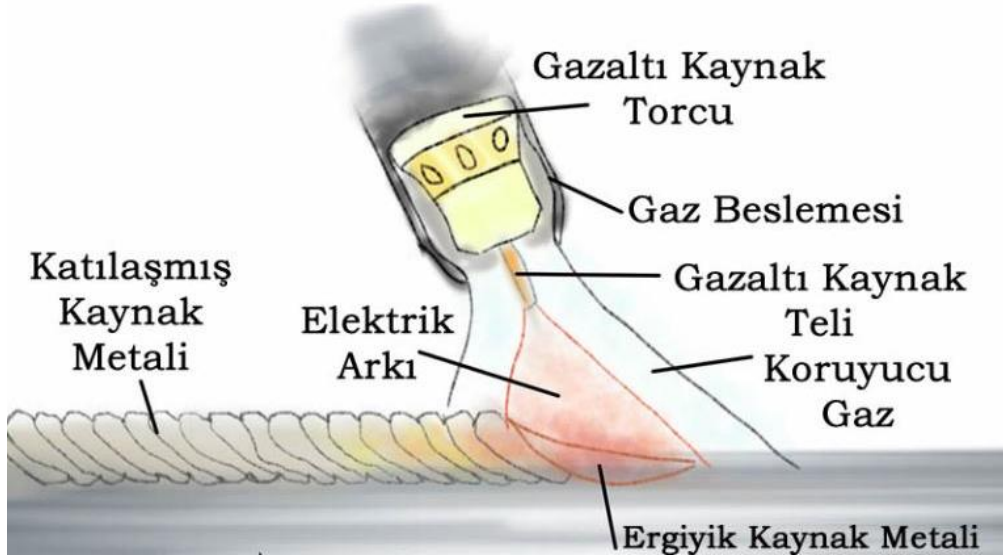
2.1.4 Gaz Korumalı Ark Kaynağı

Gaz korumalı ark kaynağı, 1926 yılında "Alexander" yöntemi adıyla ortaya çıkan bir kaynak yapma metodudur. Bu yıllarda yapılan çalışmalarda ilgili kaynak havuzu ilk başlarda metanol gazı ile korunmaktaydı. Bu yöntem üzerinde çalışmalar devam ettikçe koruyucu gaz olarak, hidrojen, oksijen, asetilen, alevi, karbondioksit ve helyum, argon gibi gazların kullanımı gerçekleştirilmiştir [9].

Kaynak işlemlerinin temel amacı, kaynağı olabildiğince ana metale benzetmek ve kaynak havuzunu atmosfer gazlarının olumsuz etkilerine karşı korumaktır. Kaynak işlemi sırasında kullanılan bu harici gazlar kaynağı dış etkilerde koruyabilmektedir. Gaz korumalı ark kaynağı uygulama yöntemlerine göre, tungsten ark kaynağı ve gazaltı ark kaynağı olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.1.5 Gazaltı Ark Kaynağı

Gazaltı ark kaynağı, diğer kaynak metodlarıyla kıyaslandığında düşük maliyeti, kolay uygulanabilirliği ve güçlü etkileri sebebiyle endüstriyel üretim sanayisinde sıklıkla kullanılmaktadır [17]. Bu yöntem kalın metal parçalarını birleştirmek için yaygın olarak kullanılmakta ve çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar, kaynak noktasında tel elektrodun yüksek birikme oranı, ısı dağılımlarının kontrol edilebilir oluşu ve koruyucu gaz kullanımı sayesinde parça oksidasyonunun engellenmesidir (Şekil 2.5) [18]. Bu sayede kaynağın gelişmiş mekanik özelliklere sahip olması sağlanmaktadır [19]. Gazaltı ark kaynağı yöntemi aynı zamanda, uzun yıllardan bu yana yaygın olarak kullanılan gaz korumalı kaynak metodudur. Atomik hidrojen kaynağı adıyla da bilinen bu yöntemde, hidrojen gazı aldığı ısı sayesinde önce atomik yapıya ardından da tekrar moleküler hale geçerek ortam koruması sağlamaktadır [9].



Şekil 2. 5 Gazaltı Ark Kaynak İşlemi[20]

Gazaltı ark kaynağının uygulanış yöntemi incelendiğinde, tüketilebilir elektrod olarak teller kullanılmaktadır. Kaynak torcunun ağzından sürülen telin bu uygulamada iki adet amacı bulunmaktadır. Birincisi torç ile iş parçası arasında ark oluşturmak, ikincisi ise iş parçalarının birleşim noktasını eriyerek doldurmaktır. Bu yöntem ile yapılan kaynak işleminde kaynak hızı, kaynak kalitesine doğrudan etki etmektedir. Özellikle otomotiv sanayisinde sıklıkla tercih edilen gazaltı ark kaynağı sırasında metal parçalar, erime noktasına yakın bir sıcaklığa gelmekte ve

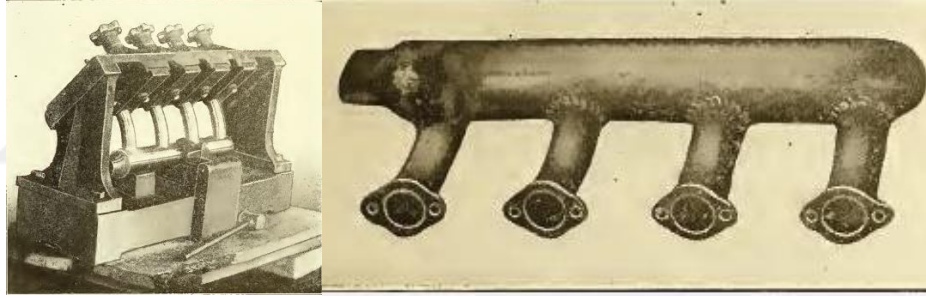
ardından ani bir şekilde oda sıcaklığına ulaşmaya çalışmaktadır. Metal parçalarda meydana gelen bu sıcaklık değişimleri parça üstündeki artık gerilmeleri artırmaktadır [21]. Bu artık gerilmeler, stres korozyonuna bağlı olarak parça üstünde çatlamalara sebebiyet verebilmektedir [22].



Kaynak İşleminde Kullanılan Fikstürlerin Yeri Ve Önemi

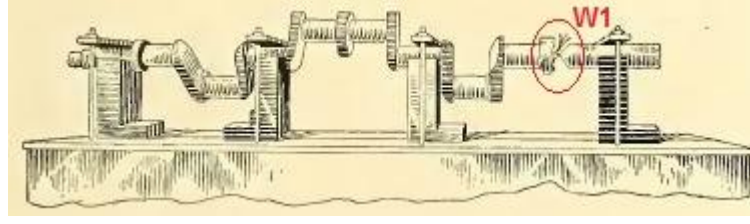
3.1 Kaynak Fikstürlerinin Otomotiv Sektöründeki Yeri

Talaşlı işlem, kaynaklı birleştirme ve montaj işlemleri sırasında, ilgili parça veya parçaların işlenmesi veya bir araya getirilmesinde fikstürler kullanılmaktadır. Fikstürler, farklı şekillerde olan iş parçalarını istenilen konumlarda sabit tutarak, imalatta standart üretimi sağlamaktadır [23]. 20. yüzyılın başlarında sanayileşmenin ortaya çıkışı ile birlikte, üretimde kullanılan adama olan ihtiyaç da artmaya başlamıştır [24]. Bu doğrultuda kalitesel anlamda istenilen adetlerde üretimi karşılayabilmek için de 1900'lü yılların başından itibaren fikstür kullanımı imalat sektöründe yaygınlaşmaya başlamıştır [25].



Şekil 3. 1 1900'lü Yıllarda Kullanılan Endüstriyel Fikstür [26]

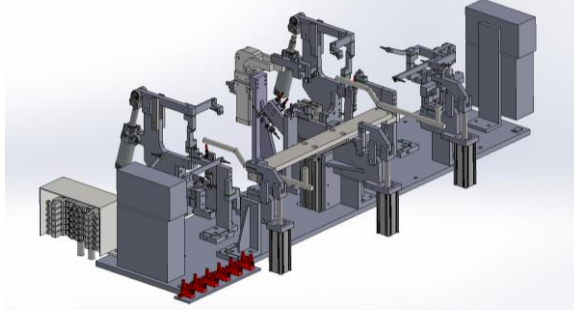
Fikstürler ilk olarak talaşlı imalat sektöründe yaygın olarak kullanılmakta, ilgili iş parçaları fikstür üzerinde sabitlenerek işlem yapılmaktaydı. Kaynak tekniğinin gelişmesi ve imalat sektöründe kaynaklı birleştirmeye olan talebin artması sayesinde fikstür ve ekipmanlarına olan ihtiyaç da artmış, bu doğrultuda gelişim süreci başlamıştır [25]. Şekil 3.1'de 1921 yılında motosiklet manifoldunun kaynaklı birleşimi için kullanılan fikstür, aşağıdaki Şekil 3.2'de ise krank milinin işaretlenmiş olan "W1" bölgesine yapılacak kaynak için kullanılan fikstür yer almaktadır.



Şekil 3. 2 Krank Mili Fikstürü [26]

Kaynak işlemi, iki veya daha fazla metalin birbirine birleşmesini sağlayan ve üretim sanayisinde sıklıkla kullanılan bir prosestir. Bu işlem sayesinde parçaların birbirleriyle homojen bir şekilde birleşmesi sağlanmaktadır. Pek çok çeşidi bulunan ark kaynak prosesi uçak, uzay ve otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanıma sahip önemli bir mühendislik alanı olmaktadır [21].

İmalat sanayisinin gelişmesi, makinelerin yaygınlaşması otomotiv imalat sektöründe, özellikle araç şase parçalarının imalat ve birleştirme işleminde yüksek miktarda otomasyonel sistemi gerekli kılmıştır. Yüksek miktarlarda olan imalat adetlerini gerçekleştirebilmek için de yüksek yatırım bütçeleri, otomobil imalatçıları için gereklidir. Değişkenlik gösteren araç pazarı, özellikle artan araç ihtiyacı ve araç çeşitliliğinin artarak elektrikli ve alternatif otonom araçların talebi doğrultusunda daha esnek bir üretime ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple esnekliğin sağlanması amacıyla yatırım maliyetleri de artmakta, bu yatırım maliyetlerinin ise %35'lik kısmını fikstürler oluşturmaktadır. Bu gerekliliğin temel sebebi, üretimde kullanılan fikstürlerin parçaların varyasyon miktarının önüne geçmesidir. Özellikle günde 1000-2000 gibi adetlerde imal edilen araçlar ve prototip araçların imalatı için de kaynak fikstürleri araç üretim endüstrisinde önemli bir yere sahiptir.[27] Ayrıca, imalat sanayisinde sıklıkla kullanılan fikstürler, imal edilebilirlik, maliyet ve imalat kalitesini doğrudan etkilemektedir [28]. Bu doğrultuda kaynak işleminde kullanılacak olan fikstürün, iş parçasına ait nominal konumu ve emniyeti korumayı sunarken kolay kullanılabilirliği ve üretkenliği artırıp imalat maliyetlerini azaltacak etkilere sahip özellikte olması gerekmektedir [29].



Şekil 3. 3 Günümüzde Seri İmalatta Kullanılan Fikstür [30]

Kaynak işlemlerinde fikstür kullanılmasının önemi incelendiğinde, fikstür üzerinde yapılan kaynak sonrası parça deformasyonlarının daha az olduğu görülmüştür. Özellikle kaynak uygulamalarında fikstür kullanımı, kaynağa bağlı açısal distorsiyonları etkili bir şekilde azalttığı görülmüştür [31]. Özellikle imalat sanayisinde kaynaklı uygulamaların geniş yer tutması, pek çok kaynak yönteminin de kullanılmasını sağlamıştır. Şekil 2.1'de de kategorileştirilmiş olan kaynak yöntemlerinden hangisi kullanılırsa kullanılsın endüstriyel üretimlerde fikstür kullanımı gerekli bir hale gelmiştir [25].

Kaynak endüstrisinde kullanılan fikstürlerin tarihsel gelişim süreci incelendiğinde kullanılan yapıların zamanla değiştiği, teknolojik gelişmelerin ışığında daha kontrollü ve daha güvenli imalata imkan sağladığı görülmüştür. Önceki zamanlarda fikstür üzerinde manuel olarak uygulanan kaynak işlemi, günümüzde otomasyonel sistemlerin gelişmesiyle beraber elektronik, mekanik ve pnömatik bileşenlerin harmanlandığı yapılarda otomatik olarak gerçekleşebilmektedir [30]. Şekil 3.3'te modern anlamda kaynaklı uygulamalarda kullanılan fikstür yer almaktadır. Üzerinde taşıdığı pimler sayesinde ilgili iş parçasını istenilen konumda sabitlemekte, pnömatik kenetleme ekipmanları sayesinde ise kaynaklı imalat sırasında parçanın sabit kalmasını sağlamaktadır.

3.1.1 Otomotiv Sanayisinde Kullanılan Fikstürlerin Sınıflandırılması

Otomotiv sanayisinde kaynaklı uygulamalarda temel olarak iki çeşit fikstür kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi kaynak operatörünün elle kaynak yapabilmesine imkan sağlayan kaynak fikstürleridir.

Diğeri ise seri imalata uygunluğu, uygulama veriminin yüksekliği ve imal kolaylığı sunan robot kaynak fikstürleridir. Robot hatlarında kullanılan kaynak fikstürleri

göreceli olarak elle işletilen kaynak fikstürlerinden daha çok maliyete sahiptir. Bu tip fikstürler genel olarak parça bazlı özel imal edilmektedir [32]. Ancak günümüz teknolojisinde değişen parça sıklığı ve maliyet konuları göz önüne alındığında modüler fikstür kavramı da fabrikasyon uygulamalarında kendine yer bulmaktadır.

3.1.1.1 Elle İşletilen Kaynak Fikstürleri

Elle işletilen kaynak fikstürleri, kaynak operatörünün ilgili iş parçalarını üzerinde kaynak torcu kullanarak birleştirdiği ekipmanlardır. Bu fikstürler, gelişen teknoloji ile birlikte pnömatik ve elektrik altyapı içerebildiği gibi, genellikle daha yalın ve elle işletilen kenetleme mekanizmasına sahip tarzda seri imalat hatlarında kullanılmaktadır. Bu fikstürlerdeki en belirgin özellik, ilgili kaynak bölgelerini niteleyecek tarzda klavuzlar içermeleridir. Bu sayede operatörün kaynağı nominal bir şekilde gerçekleştirmesi amaçlanır [30].



Şekil 3. 4 Elle İşletilen Kaynak Fikstürü [33]

3.1.1.2 Robot Kaynak Fikstürleri

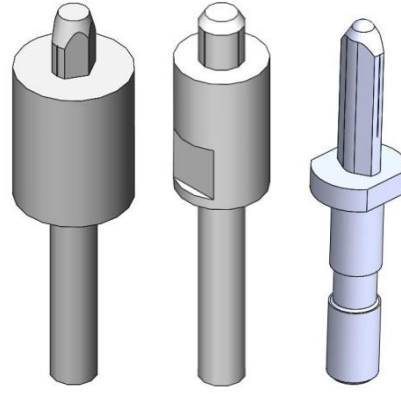
Robot kaynak fikstürü, iş parçasına otomasyonel robotlar tarafından otomatik olarak kaynak yapılmasını sağlayan ekipmanlardır. Bu sistemler pnömatik ve elektrik altyapıya sahip olmakla birlikte, genellikle servo motorlu döner yapıyla beraber hareket etmektedir. Bu sayede fikstüre 360 derece dönme kabiliyeti verilmiş olup, robot ve fikstürün birbirleriyle uyumlu bir halde çalışması sağlanmış olmaktadır [30].



Şekil 3. 5 Robot Kaynak Fikstürü [34]

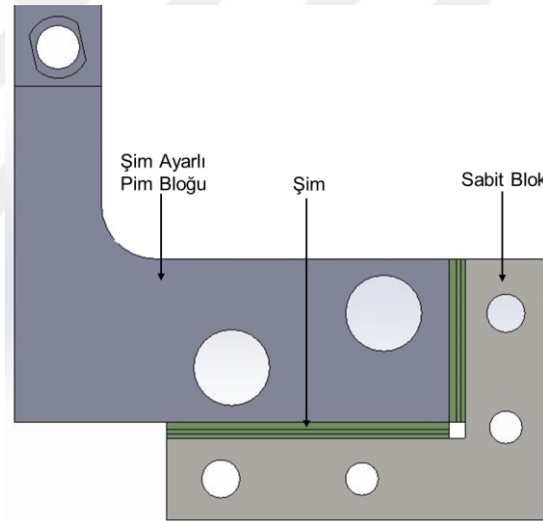
Ayrıca robot kaynak fikstürlerinin yapıları itibariyle tasarımsal süreçleri de elle işletilen kaynak fikstürlerinden farklı olmaktadır. Bu fikstürler, kaynak işlemi sırasında kullanılacak olan robota göre dizayn edilmekte, ilgili kaynak bölgeleri robotun ulaşımını engellemeyecek şekilde olmaktadır. Ayrıca bu tür fikstürlerde kaynak bölgesine yakın olan fikstür ekipmanları kaynak sırasında oluşan sıcaklığa karşı dirençli malzemeden üretilmekte ya da bu sıcaklığa karşı başka önlemler alınarak imal edilmektedir [35].

Kaynak fikstürü sistemsel olarak gerekliliklerini yerine getirebilmek için çeşitli fonksiyonel bileşenlerden oluşmaktadır. Bu fonksiyonel yapılar üç kategoride incelenmektedir. Birinci kategoride, parçaya göre farklılık gösteren özel şekilli pimler ve üretimi yapılacak parçaya özgü fonksiyonel yapılar bulunmaktadır.



Şekil 3. 6 Kaynak Fikstür Pimleri

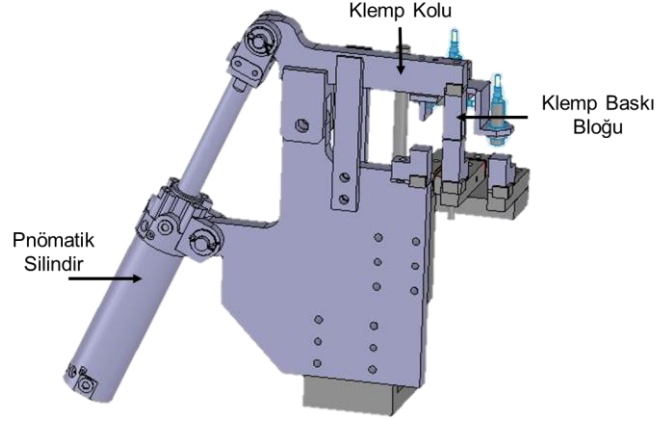
İkinci kategoride ise, ayar mekanizmaları yer almaktadır. Genellikle şim adı verilen çeşitli kalınlıklara sahip parçalar ile iki veya üç eksende de ayar yapabilme imkanı sağlanmaktadır. Yapılan bu ayarlar sayesinde parça imalatı sırasında nominal imal edilebilirlik koşullarını sağlamaktadır [28].



Şekil 3. 7 Şim Ayar Bloğu

Şekil 3.7'de gösterildiği gibi pim bloğu ile sabit blok arasına çeşitli kalınlıklara sahip şimler koyulmuştur. Koyulan şimler sayesinde parçayı merkezleyecek pime iki eksen doğrultusunda hareket imkanı sağlanmaktadır.

Üçüncü kategori ise, parçayı imalat sırasında sabitleyecek kenetleme sistemleri ve çeşitli bağlantı elemanları yer almaktadır [27] (Şekil 3.8).



Şekil 3. 8 Kenetleme Bloğu

Kenetleme sistemleri, kaynak işlemi sırasında robotun hareketlerinden ve sıkıştırma kuvvetine bağlı olarak oluşan titreşimleri önleyen, iş parçasının olası hareketini engelleyen önemli tasarım unsurlarıdır [30]. Bu önemli tasarım unsurlarının uzun yıllar boyunca seri imalat koşullarında çalışacağı göz önüne alındığında, kullanılan malzeme seçiminde yüksek sertlik mukavemet ve tokluk gibi özelliklere dikkat edilmesi gerekmektedir. Sürekli bir sıkıştırma momenti etkisinde çalışan kenetleme sistemlerinde aşınma ve gevşemeye bağlı deformasyonlara karşı önlemler alınmalıdır [24].

3.1.1.3 Titreşim, Kaynak ve Fikstür İlişkisi

Titreşim kavramı, elastik özellikte olan cisimler üzerine uygulanan kuvvet neticesinde cismin mevcut konumunu geri kazanma isteği doğrultusunda yaptığı periyodik harekettir. Bazı cisimler tek başına her ne kadar esneklikten uzak olsa da, başka cisimlerle birleştirildiğinde elastik özellikte bir yapı oluşturabilirler. Bu yapının elastikiyeti bağlantı şekline göre değer bulmaktadır. Titreşim kavramı bu noktada, serbest titreşim ve zorunlu titreşim olarak ikiye ayrılmaktadır. Serbest titreşim kavramı, bir sistemin anlık rahatsız edilmesi ve hiçbir kısıtlama olmadan hareket edebilmesi durumunda verdiği tepki olarak düşünülebilir. Bir yayın titreşmesi serbest titreşim kavramına örnek olarak gösterilebilir. Zorunlu titreşim ise, sistemin sürekli olarak rahatsız edilmesi durumunda oluşan tepkidir [4].

Mekanik sistemlerdeki bazı titreşimler, döner parçaların dengesizliğinden, düzensiz sürtünmelerden veya dişli sistemlerindeki iç içe geçmelerden kaynaklı olabilmektedir. Tasarım sürecinde bu tür durumların tasarımcı tarafından analiz

edilip karşı önlemler alınması, istenmeyen türdeki titreşimlerin önüne geçebilmektedir. Kaynaklı sistemlerde ise titreşim doğrudan kaynak kalitesine etki etmektedir. Özellikle parçaların birleşimi sırasında oluşan stres seviyesi, yüksek gerilim altındaki bölgelerde kaynağın mikro yapısına tesir etmektedir [36].

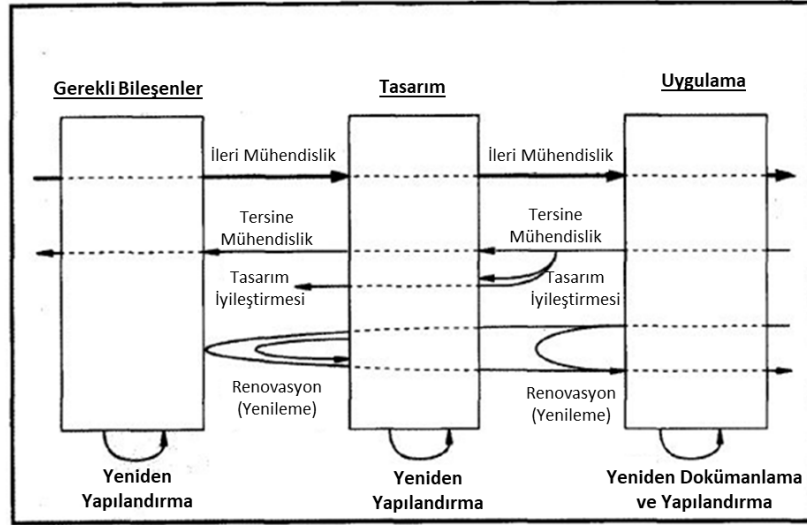
Fikstürlerin sahip olduğu yapıların bağlantı şekilleri ve mekanik montaj boşlukları, kaynaklı üretimin yapıldığı alanlarda kalitesel sonuçlara doğrudan etki etmektedir.

Yapılan çalışmalar, titreşimli koşullarda üretilen kaynaklı bağlantıların, nispeten yüksek akma ve çekme dayanımına sahip olduğunu göstermektedir [37]. Özellikle ark kaynağının uygulandığı robot fikstürlerinde, kaynağın sahip olduğu mikro yapının ve tanecik boyutunun, mekanik titreşim etkisiyle farklılaşabildiği ve artık gerilmeleri etkiledi görülmüştür. Yapılan araştırmalarla ince tanecikli mikro yapıya sahip kaynağın mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu ve kaynak işlemi sırasında meydana gelen sıcak çatlama hassasiyetini düşürdüğü bilinmektedir [38]. Pek çok araştırmacı, meydana gelen artık gerilmelerin etkisini azaltmak, kaynak kalitesini ve parçaların mekanik dayanımını iyileştirmek için; manyetik alan ve ultrasonik titreşim metotları kullanmaktadır [39]. Ayrıca parça üzerinde oluşan gerilmeleri azaltmak için parça boyutunda değişiklik yapmak yerine titreşimli sistem kullanımının da etkili bir yöntem olduğu bilinmektedir [40].

Fikstür Konstrüksiyonunun Kaynak Kalitesi Üzerine Etkileri

4.1 Tersine Mühendislik Yöntemi İle Konstrüksiyon Analizi

Bilgisayarların otomatik olarak yararlı bilgiler bulma fikri, pratikte kullanılması amaçlanan herhangi bir uygulamanın heyecan ve umut verici yanını oluşturmaktadır. On yıllar önce Chikofsky ve Cross tersine mühendisliği “mevcut bileşenlerini ve bağımlılıklarını tanımlamak için bir özne sistemini analiz etmek, sistem soyutlamalarını ve tasarım bilgilerini çıkarmak ve yaratmak” olarak tanımladılar. Bu doğrultuda son on yılda araştırmacılar, yazılım eserlerini keşfetmek, manipüle etmek, analiz etmek, özetlemek, köprülemek, sentezlemek, birleştirmek ve görselleştirmek için birtakım yöntemler geliştirmiştir [41].



Şekil 4. 1 Tasarımsal Süreçlerin Birbirleriyle Olan İlişkisi [41]

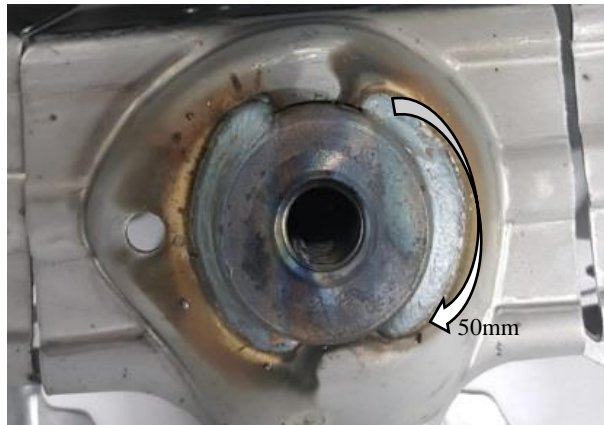
Tersine mühendislik (Şekil 4.1), bir konuyu analiz etme sürecidir. Sistemin bileşenlerini ve birbirleriyle olan ilişkilerini tanımlamak ve sistemin başka bir biçimde veya daha yüksek düzeyde bir briefing düzeyinde temsillerini oluşturmak için kullanılır. Kendi başına tersine mühendislik, özne sisteminin değiştirilmesini veya tersine mühendislik konusu özne sistemine dayalı yeni bir sistem yaratmayı içermez. Bu bir inceleme sürecidir, değişim ya da çoğaltma süreci değildir [41]. Çoğunlukla kaynak sisteme veya kısmi kaynak sisteme anlamsal olarak eşdeğer

olan ancak anlaşılması daha kolay olan daha yüksek bir soyutlama gösterimi çıkarmak için kullanılır.

Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) alanında ise genellikle Tersine Mühendislik (RE) olarak belirtilen fiziksel nesnelerin dijital geometrik modellerinin yeniden yapılandırılması, 3D tarama teknolojilerinin geliştirilmesi ve yayılması ve kullanımının artması nedeniyle son yıllarda yoğun bir şekilde incelenmiştir [42]. Bu mühendislik yönteminde şablon temelli yeniden yapılandırma modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama tekniğinde, özellikleri bilinen ve geometrik ilişkileri içeren CAD datası, tersine mühendislik sürecinin başında tanımlanır ve yeniden yapılandırma sürecinin başlangıcını oluşturur [43].

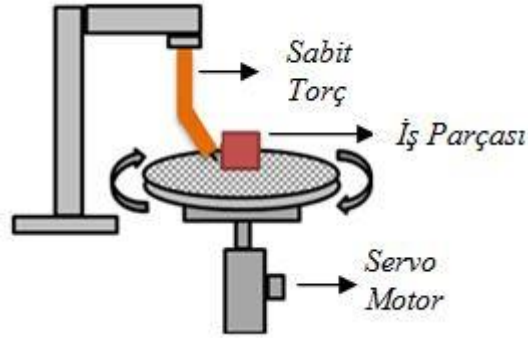
4.1.1 Döner Kaynak Makinesi Tasarımı

Otomotiv sektöründe, özellikle dairesel ark kaynakları için endüstriyel ark robotları kullanılmaktadır. Kaynaklı imalat proseslerinde yüksek imalat adetlerine sahip olunması, kaliteli üretim yapılabilmesi adına kaynak fikstürlerinin kullanılmasını bir ihtiyaç haline getirmiştir. Özellikle dairesel olan ark kaynağında, robotlu imalat yöntemlerinin tercih edilmesi imalat maliyetlerini artırmakta ve imalatçıları farklı çözüm arayışlarına yöneltmektedir. Bu sebeple dairesel hareket ile bu kaynağın atılabileceği düşünülerek, döner fikstür tasarımı yönünde araştırmalar yapılmıştır [44]. Yapılan çalışmalar servo motor ile tahrik edilen sabit torç yapısına sahip fikstür ile de dairesel ark kaynağının yapılabileceğini göstermiştir.



Şekil 4. 2 Döner Kaynak Makinesinde Üretilen Parça

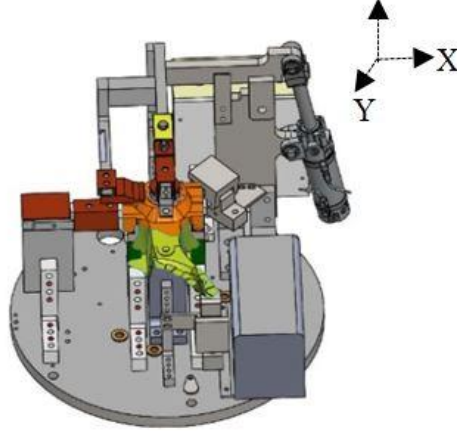
Şekil 4.2’de gösterilen kaynaklı parça robotlu imalat hatlarında kolaylıkla yapılabilecek bir kaynağa sahiptir. Ancak maliyetler göz önüne alındığında alternatif imalat yöntemleri araştırılarak, kaba tasarım ile Şekil 4.3’teki yapının oluşturulması planlanmış, 3D tasarımlar bu doğrultuda yapılmıştır. Tasarıma, parçanın doğru konumda sabitlenmesini sağlayan referans pimleri ve pnömatik kenet mekanizmasının tasarlanmasıyla başlanılmıştır.



Şekil 4. 3 Döner Kaynak Makinesi Şematik Gösterim [44]

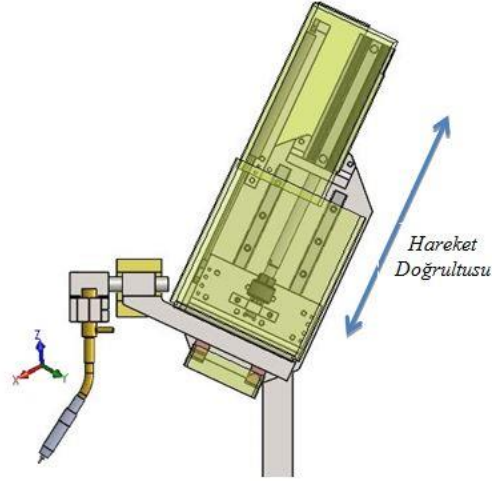
Kaynak işleminin dairesel oluşu, servo motorun tablanın tam merkezine konumlandırılmasını gerekli kılmıştır. Bu doğrultuda redüktör montaj ve sabitleme pim delikleri tasarıma eklenmiştir.

Şekil 4.4’te gösterilen fikstür yapısında parçanın set edildiği sabitleme pimi, tablaya civata ile bağlanmış bloklardan oluşmaktadır. Birbirine bağlı olan blokların fikstürün hareketi sırasında hareket etmemesi için, pim bloklarının bağlantısında iki adet sabitleme pimi blok bağlantı noktalarına eklenmiştir. Tasarım, sistemin çalışması sırasında konumunu kaybetmeyecek şekilde tasarlanmıştır.



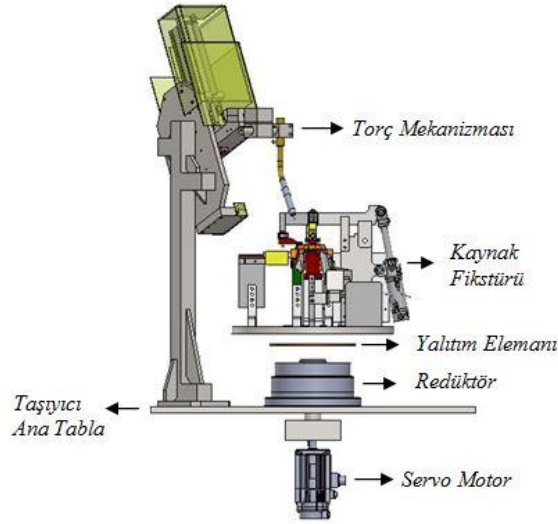
Şekil 4. 4 Döner Kaynak Makinesi Fikstürü

Fikstürün tasarımının ardından torç mekanizmasının tasarımı yapılmıştır. Tasarımda, C45 malzemeden torç bağlantı mili yapılmış, yapılan bu mile bakır torç vidalı birleştirme yöntemiyle bağlanmıştır. Torcun 45°'lik açığa sahip boyun kısmı 8cm gelmektedir. Torç, bağlandığı C45 bağlantı mili birlikte 35cm'lik uzunluğa sahiptir. Kaynak başlangıç noktasında sabit duran kaynak torcu, fikstürün servo motor yardımıyla hareket etmesiyle birlikte kaynak işlemine başlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarımda kullanılan servo motor, 1,5 kW'lık kapasiteye sahip olup, 4,9 Nm tork üretebilmektedir. 3000 devir/dk hıza sahip olup yapmış olduğum çalışmanın devamında motor kapasitesi hız analizlerinde önem taşımaktadır. Kaynak öncesi parçanın set edilebilmesi ve yine kaynak sonrası parçanın alınabilmesi için; kaynak işlemi bittikten sonra kaynak torcunun iş parçasından hem z ekseninde, hem de x ekseninde uzaklaşması gerekmektedir. Ancak hem proses süresini uzatmamak hem de maliyeti daha uygun bir yapı tasarlayabilmek için, torcun hareket doğrultusu açılı olacak şekilde tasarlanmıştır. Torç belirlenen 45° açı ile kaynak noktasına girmekte ve aynı doğrultudaki açı ile parçadan uzaklaşmaktadır. Bu doğrusal hareketi pnömatik silindir ile gerçekleştirmektedir. Bu tasarımda kullanılan pnömatik silindir tek yataklı bir silindir olup, silindir milinin ucuna kasıntı alıcı bağlantı parçası bağlanmıştır. Bu kasıntı alıcı ise, iki adet kılavuz ray üzerinde kayma hareketi yapan torç bloğuna bağlıdır. Tasarımda kasıntı alıcı ve çift kılavuz ray kullanımı sayesinde torcun düşey hareketlerinde aksel anlamda daha stabil hareket imkanı sağlamakta ve silindir kaynaklı kasılmaların önüne geçilmektedir.



Şekil 4. 5 Döner Kaynak Makinesi Sabit Torç Yapısı

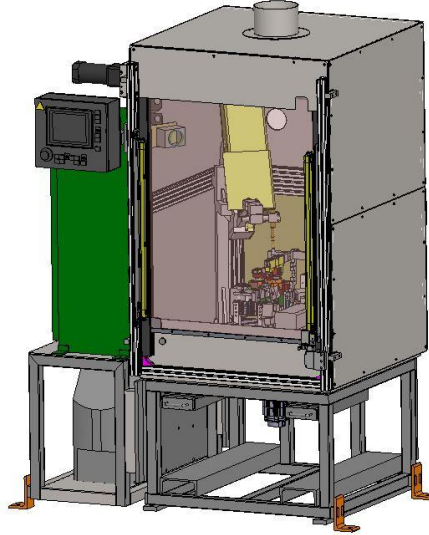
Torç aparatının istenen noktaya ulaşabilmesi için; üzerindeki mekanik sistem ile hem açı hem de mesafe ayarı yapılabilmesi sağlanmıştır. Bu ayar mekanizmasındaki önemli noktalardan biri, yapılan değişikliğin kontrol edilebilir, geri alınabilir ve tekrarlanabilir olmasıdır. Ayar bloklarının üstüne açı ve mesafe cetvelleri eklenerek, açı ya da mesafe ayarı yapıldıktan sonra gerekmesi halinde geri alınabilir olması sağlanmıştır.



Şekil 4. 6 Döner Kaynak Makinesi Bileşen Montaj Görünümü

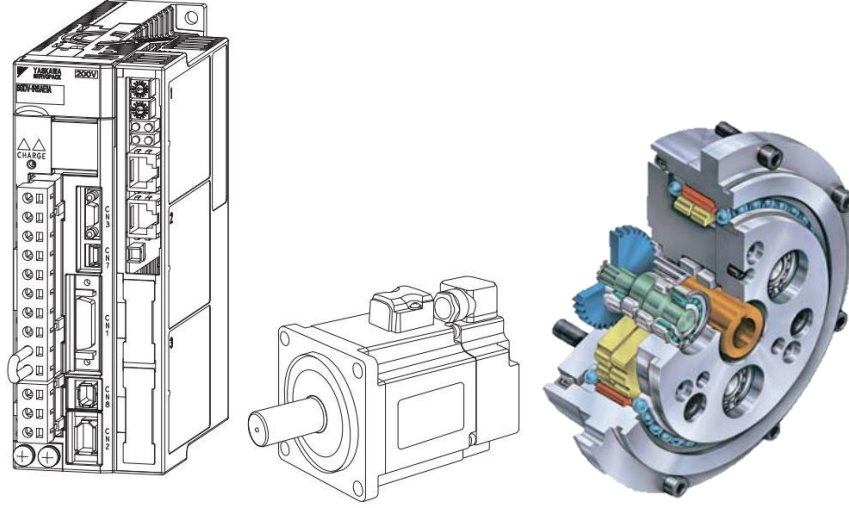
Ark kaynağı işlemi, çok yoğun çapak üreten bir kaynak metodudur. Ortaya çıkan çapakların üretim esnasında kaynakta çalışan operatöre ulaşmaması iş güvenliği açısından önemlidir. İş güvenliği sağlanması için sac metal ile kapatılmış bir kabin tasarlanmıştır. (Şekil 4.7) Kaynak perdesi hem kaynak çapağının operatöre

gelmesini engellemekte, hem de kaynak işlemi sırasında operatörün kaynak alanına girişini önlemektedir. Ayrıca ark kaynağının yarattığı ışık etkisinin de engellemesi sağlanmakta ve böylece üretimde çalışan operatörlerin özel bir kaynak gözlüğü kullanmasına gerek kalmamaktadır.



Şekil 4. 7 Döner Kaynak Makinesi Kabin Tasarımı

Konstrüksiyon tasarımında servo motor ve redüktör kullanılmış, redüktörün üstüne fikstür yerleştirilmiştir. (Şekil 4.8) Çevrim oranı 1:145 olan planet redüktör sisteme entegre edilmiştir. Fikstür ile redüktör arasında yalıtım sağlanmış, böylece ekipmanların şase akımından zarar görmesi engellenmiştir. Özel olarak tasarlanan torç mekanizması da sistemden yalıtılmıştır. Operatörün iş parçasını fikstüre yerleştirmesi ve yerleştirdikten sonra işlemi başlatması buton yardımıyla yapılmıştır. Bahsedilen bu işlemlerin gerçekleştirilmesi sırasında 400 V 3kW'lık 3fazlı motor sürücüsü kullanılmıştır. 1,6 kHz'lik çalışma frekansına sahip sürücü, 2'si analog 3'ü ise dijital olmak üzere toplamda 5 adet çıkış birimine sahiptir. USB ile doğrudan data aktarımına ve gerçek zamanlı kontrole izin veren sürücüde DeviceNet haberleşme sistemi kullanılmıştır.



Şekil 4. 8 Döner Kaynak Makinesine Ait Sürücü- Motor- Redüktör [45]

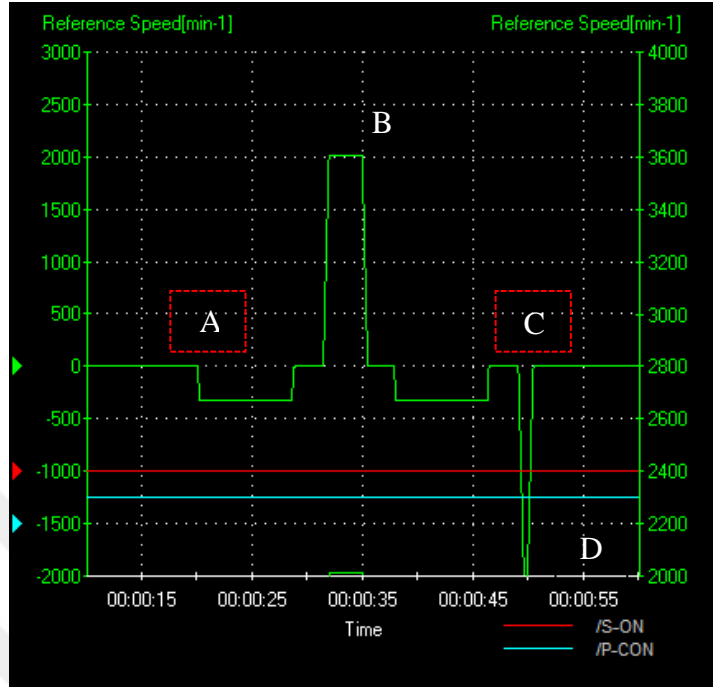
4.2 Döner Kaynak Makinesi Üzerinde Oluşan Sistem Titreşimlerinin Analizi

Döner kaynak makinesi üzerinde, parça üretimi sırasında oluşan kaynak titreşimlerinin analizi, yapılan bu çalışmanın 1.deney basamağını oluşturmaktadır. İlk deneyde sistem titreşimlerinin analizinin yapılabilmesi için arduino ve titreşim sensörlü deney düzeneği, döner kaynak makinesinin üzerine bağlanmış, sistemin çalışması sırasında oluşan tepkiler analiz edilmiştir. Bu deneyde 50mm'lik çapa sahip olan burç, yarım ay şeklinde iki bölge halinde ark kaynağıyla diğer parçaya birleştirilecektir. Deneyin yapıldığı sistemde kaynak sırasında torç daima sabit kalmakta, parçanın bağlandığı fikstür döner hareket yapmaktadır.

4.2.1 Sistem Çalışmasında Stabilizasyonun İncelenmesi

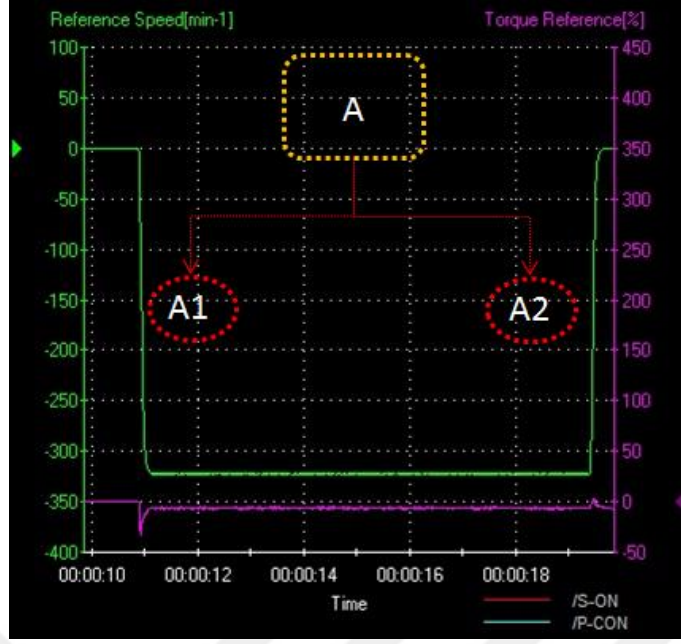
Motor, redüktör ve fikstürün birbirine montajlanmasının ardından, öncelikli olarak motorun çalışma tepkileri incelenmiştir. Motorun hız-ivmelenme değerleri Sigma Win+ programı ile motor sürücüsüne bağlanılarak elde edilen verilerden oluşmaktadır. Motor ve sürücünün programa tanıtılması sayesinde sürücü ile uyum içinde çalışıp, sürücünün USB çıkışından veri almaktadır. Eş zamanlı olarak sistem tepkilerini inceleyen bu program, aynı zamanda içerdiği kontrol ve deneme modülleri sayesinde servo motora hareket verebilmektedir. Sistem tepkilerini incelemek ve sürücü-motor bağlantısı üzerinde denemeler yapmak için kullanılan özelleştirilmiş bir programdır.

Sigma win programı ile elde edilen veriler, sistemin kaynak modunda çalışması sırasında alınmış ve incelenmiştir.



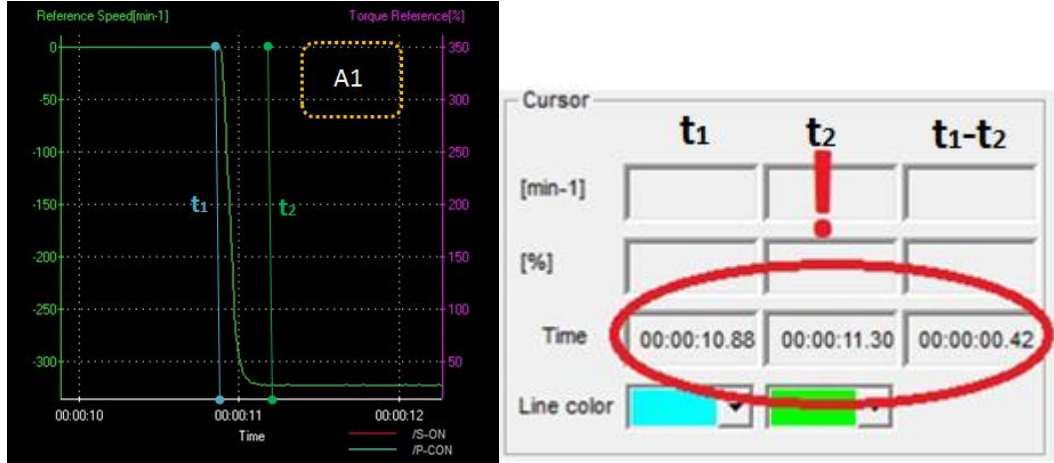
Şekil 4. 9 Döner Kaynak Makinesine Ait Servo Motor Çalışma Görself

Şekil 4.9'da sistemin çalışması sırasında motorun sahip olduğu devir değerleri yer almaktadır. Burcun kaynaklanması sırasında sistem üç kez hız yön değişimi yapmaktadır. Değişen yönlerin ardından stabil bir hız ile kaynak işleminin gerçekleşmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca şekil 4.9'da hız değişimleri ve bu değişimler sırasında yapılan kaynak işlemi gözükmemektedir. A ve C bölgeleri tablanın sabit bir hız ile dönerken kaynak yaptığı alanları göstermektedir. B ve D bölgelerindeki ivmelenmeler ise tablanın istenilen konuma ulaşması sırasında herhangi bir kaynak işlemi yokken dönüşünü temsil etmektedir.



Şekil 4. 10 Servo Motor Grafiği "A" Bölgesi

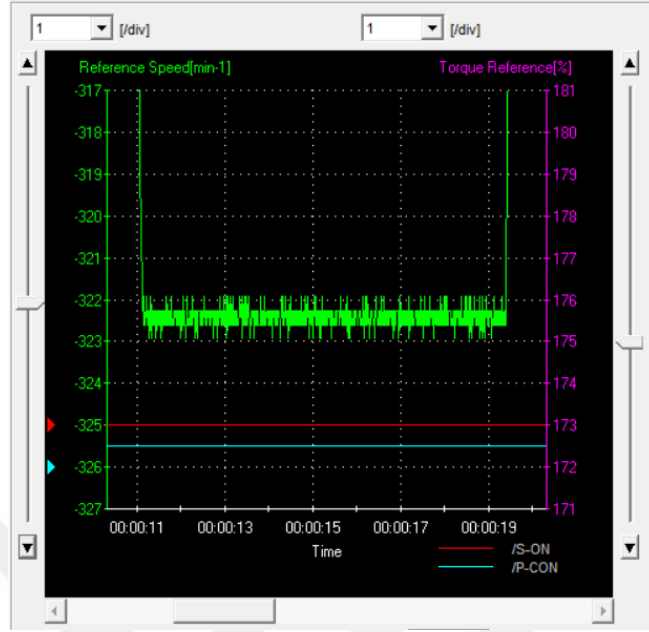
Başlangıç koşulunda incelemeler, sistemin A bölgesindeki davranışları üzerinde yoğunlaşmıştır.(Şekil 4.10) Bu bölge üzerindeki motorun hızlanma tepkisi yakından incelenmiş, motor hız geçişlerinde ve sabit hızlı hareketlerinde sürücüden gelen değerlere göre hız dalgalanmalarının olup olmadığı araştırılmıştır.



Şekil 4. 11 Servo Motor Grafiği "A1" Bölgesi Ve Hızlanma Zamanı

Hız dalgalanmalarının araştırılması kapsamında motorun istenilen hıza ulaşma süresi, A grafiğinin A1 ve A2 bölgelerine indirgenmesiyle incelenmiştir.(Şekil 4.10) İndirgenmiş grafik üzerinden ise, hızlanma bölgesi olan A1 bölgesi şekil 4.11'deki grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafikte okunan değerler doğrultusunda, motorun

başlangıç konumundan, 322,5 D/Dk hıza ulaşma süresinin 0,42 sn olduğu görülmüştür.

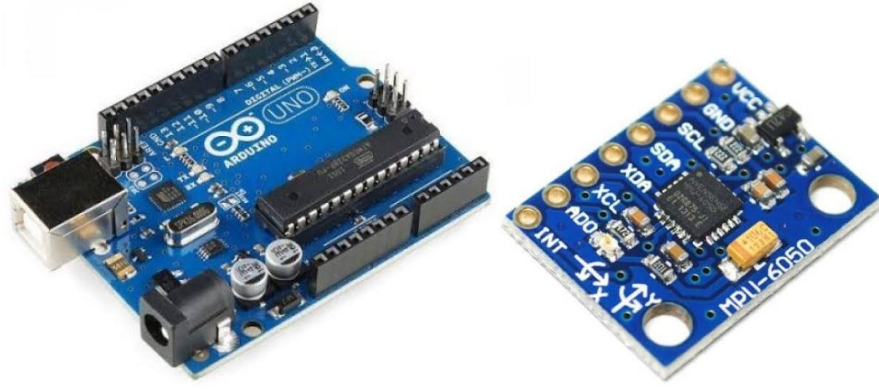


Şekil 4. 12 Servo Motor "A" Bölgesi Sabir Hızlı Hareket Grafiği

Şekil 4.12'de ise servo motorun şekil 4.10'daki görselde yer alan A1 ve A2 bölgeleri arasındaki sabit hızlı hareketi yer almaktadır. Motorun ulaştığı devir sayısına ait genlik değerini ve hız stabilizasyonunu görmek amacıyla grafik yakınsanmıştır. 322,5 d/dk hıza sahip motorun $\pm 0,5$ d/dk hız değişimine sahip olduğu görülmektedir. Bu verilerin incelenmesindeki temel amaç sistem titreşimlerinin oluşmasında, hız dalgalanmaların analiz edilip titreşim etkisinin araştırılması olmuştur

4.2.2 1.Deney Düzenegi

Tasarımı yapılmış olan döner kaynak makinesi üzerinde dairesel ark kaynak uygulaması gerçekleştirilmektedir. Kaynak işlemi sırasında motor encoder değerlerinin kaynağı etkileyecek kadar bir dalgalanma göstermediği belirli bir değer aralığında (325-326 RPM) hızın değiştiği görülmüştür. Ancak tasarımdaki diğer bağlantı elemanlarının, bağlantı şekillerinin ve bir bütün halinde sistemin çalışması sırasında kaynağı etkileyebilecek derecede bir titreşime sahip olup olmadığı ve tasarımın bu titreşime etkisi, incelenmesi gereken bir diğer konu olmuştur.



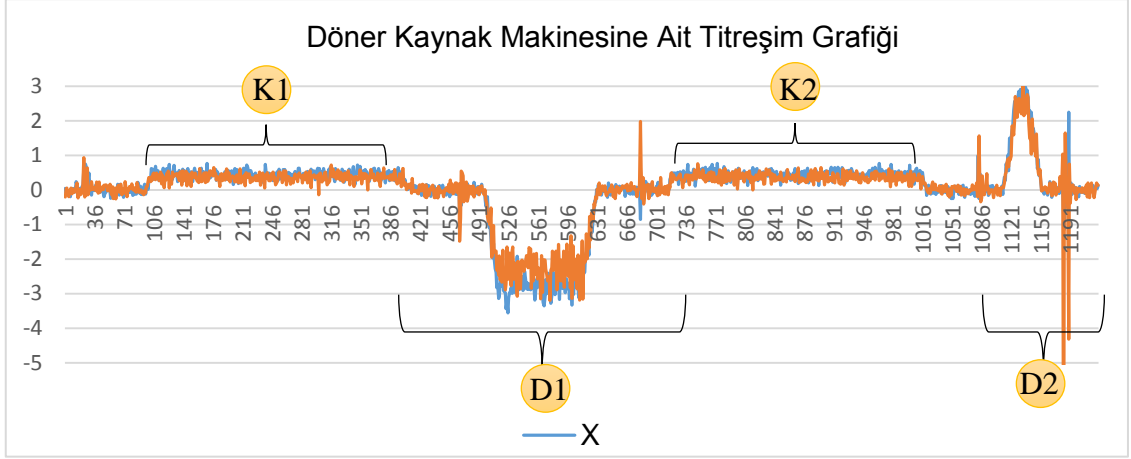
Şekil 4. 13 Arduino ve Mpu6050 Sensörü

Bu kapsamda bir programla modülü olan Arduino Uno üstüne 3 eksenli gyro sensör, 3 eksenli ivme ölçer ve dijital hareket algılama modülü içeren MPU6050 sensörü entegre edilerek döner kaynak makinesinin sistem titreşimleri analiz edilmiştir. Deney aşamasının birinci kısmını 270Mpa dayanıma sahip malzeme ile burcun dairesel ark kaynağı ile birleştirilmesi işlemi oluşturmaktadır. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1 Kaynak Parametreleri

Akım (A)	Voltaj(V)	Tel sürme hızı (cm/dk)	Ön Gaz çıkışı (sn)	Kaynak hızı (mm/sn)	Torç Açısı (°)
200	23	80	0,3 sn	7	45

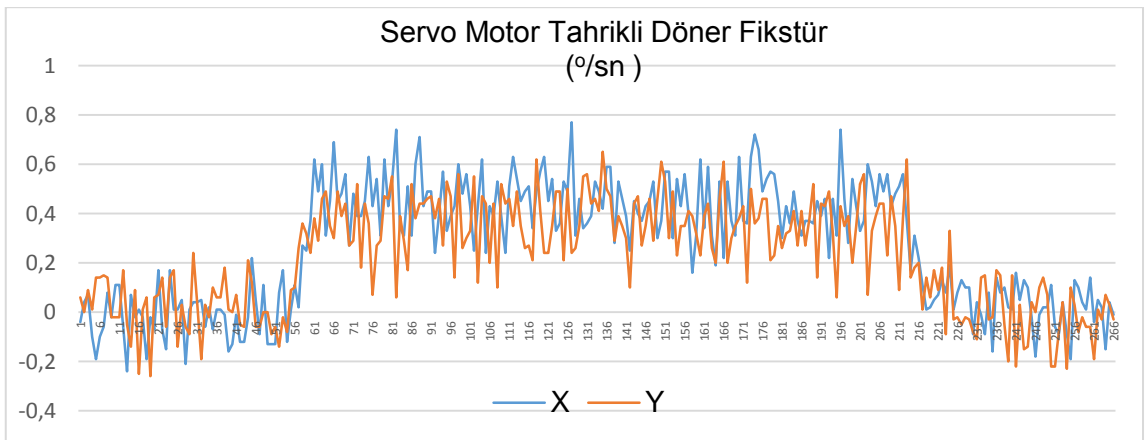
Döner fikstür üzerinde meydana gelen titreşimleri algılayabilmek için Arduino bağlantılı MPU6050 sensör kullanılmıştır. Sistemin çalışması sırasında elde edilen eş zamanlı veriler grafiğe dökülmüş, titreşim grafikleri aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.



Şekil 4. 14 Döner Kaynak Makinesi Titreşim Grafiği

Şekil 4.15'te K1 ve K2 bölgeleri, makinenin kaynak yaptığı bölgeleri temsil etmektedir. Bu kaynak bölgelerinde tablo 4.1' de yer alan kaynak parametreleri kullanılmıştır. X ve Y koordinatı olarak iki titreşim yönü grafiğe dahil edilmiştir. Düşey eksenlerde oluşan titreşimleri temsil eden bu grafikte mavi çizgiler X, turuncu çizgiler ise Y eksenlerinde oluşan düşey titreşimleri göstermektedir.

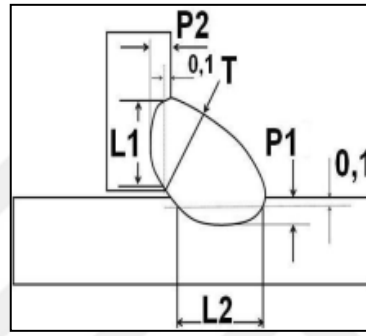
Kaynak işlemi başladıktan K1 zaman sonunda makine ters yönde tur atarak ters başlangıç pozisyonuna dönmekte ve D1 zaman aralığı boyunca kaynak işlemi olmamaktadır. K2 başlangıç pozisyonuna ulaşan sistemde, burcun diğer yarısı ark kaynağına maruz kalmakta, ardından sistem tekrardan boşa dönme hareketi yaparak (D2) başlangıç pozisyonuna dönmekte ve kaynak prosesi noktalanmaktadır. Bu bölge geçişleri arasında ve bu bölgelerde meydana gelen titreşimler bölgesel bazda indirgenerek analiz edilmiştir.



Şekil 4. 15 K1 Bölgesi Titreşim Grafiği

Yukarıda gösterilen şekil 4.16, şekil 4.15'te bulunan bölgelerden K1 bölgesinin indirgenmiş halidir. Titreşimleri daha iyi analiz edebilmek için grafikler bölgelere indirgenmiştir. K1 bölgesi aynı zamanda motor encoder değerlerinden elde edilen ve şekil 4.10'da gösterilen servo motor hızlama grafiğinin çalışmadaki yansımaları oluşturmaktadır. Bu bölge, motorun dönmesiyle 50mm'lik ilk kaynağı attığı bölgedir. Titreşimlerin analizi yapıldığında tablanın dönmesi sırasında titreşim genliğinin 0-0,77 °/sn aralığında değiştiği görülmüştür.

Mevcut parametre ve sistem titreşimi altında K1 bölgesinden 3 adet numune alınmış olup kesme testi analizi yapılmıştır.



Şekil 4. 16 Kesme Testi Analizi Kontrol Bölgeleri

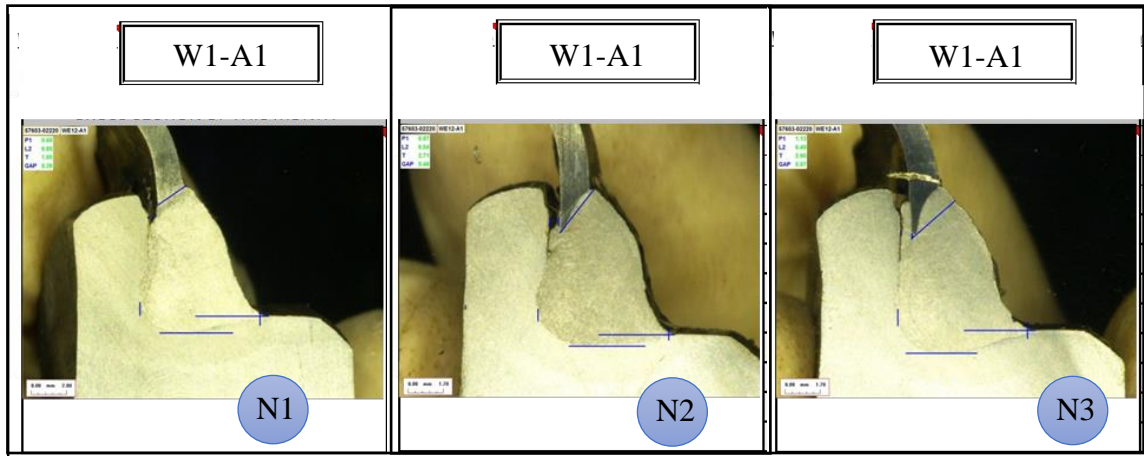
Analiz sonuçları incelenirken kaynağın, Ana parçaya penetrasyonu (P1-L2) ve kaynak boğaz kalınlığı(T) analiz edilmiştir. Analizler, parçanın K1 bölgesine ait kaynak başlangıcı, kaynak dikişi ortası ve kaynak sonu olmak üzere üç farklı noktadan yapılmıştır. K1 bölgesine ait bu bölgeler A1, A2 ve A3 bölgeleri olarak aşağıdaki Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 17 Kesme Testi Analizinde Kullanılan Kesme Bölgeleri

A1, A2 ve A3 bölgeleri kaynak kontrol masterında yer alan bölgeleri oluşturmaktadır. Parçanın kalitesel kontrolü yapılacağında standart olarak analiz

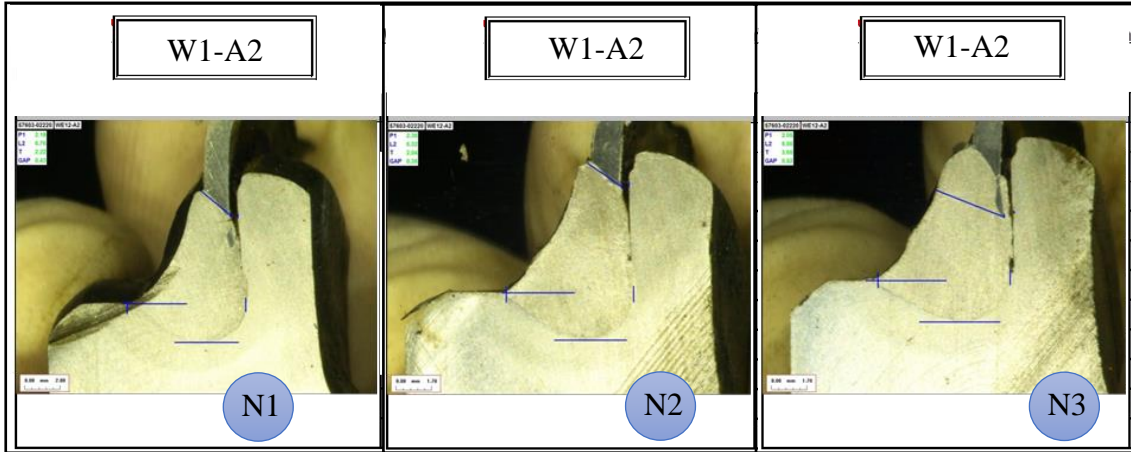
edilen bölgelerdir. Kontrol edilen numune parçaları N1, N2 ve N3 parçaları olarak adlandırılmıştır.



Numune Bölgesi	Nüfuziyet (P1)		Kaynak Uzunluğu (L2)		Kaynak Kalınlığı (T)	
	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm
<u>A1-N1</u>	0,20	0,89	1,48	6,54	1,32	1,95
<u>A1-N2</u>	0,20	0,94	1,48	6,54	1,32	2,71
<u>A1-N3</u>	0,20	1,01	1,48	6,49	1,32	2,90

Şekil 4. 18 A1 Bölgesi Kesme Testi Sonuçları

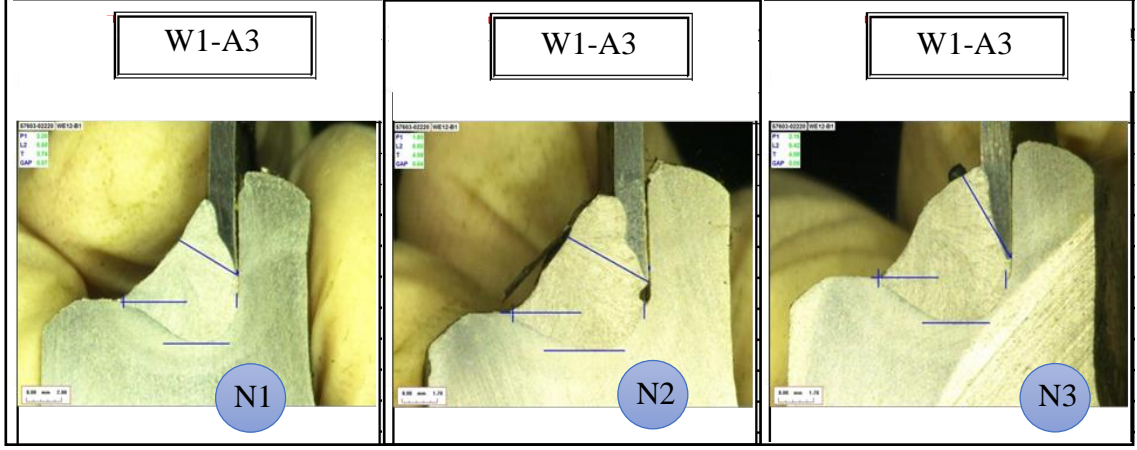
Üç numuneye ait (N1, N2 ve N3) A1 bölge analizi yapıldığında ana press panele nüfuziyetlerin(P1) 0,89-1,01 mm arasında değiştiği görülmüştür. Press panele nüfuz eden kaynak uzunluğu(L2) ise alınan üç örnekte de benzerlik göstermiştir. Kaynak kalınlığı(T) ilk numunede 1,95mm gelirken diğer numunelerde 2,71 ve 2,9 geldiği görülmüştür. Numuneler arasında kaynak kalitesine etki edecek belirgin bir fark saptanmamıştır.



Numune Bölgesi	Nüfuziyet (P1)		Kaynak Uzunluğu (L2)		Kaynak Kalınlığı (T)	
	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm
<u>A2-N1</u>	0,20	2,18	1,48	6,76	1,32	2,22
<u>A2-N2</u>	0,20	2,35	1,48	6,48	1,32	2,19
<u>A2-N3</u>	0,20	2,27	1,48	6,56	1,32	2,28

Şekil 4. 19 A2 Bölgesi Kesme Testi Analiz Sonuçları

A2 bölgesinin analizi yapıldığında ise ana press panele nüfuziyetlerin(P1) 2,18-2,35 mm arasında değiştiği görülmüştür. Press panele nüfuz eden kaynak uzunluğu(L2)'nda ise 0,28mm'lik farka rastlanmıştır. Kaynak kalınlığı(T) ise üç bölge için benzerlik göstermektedir. Numuneler arasında kaynak kalitesine etki edecek belirgin bir fark saptanmamıştır.

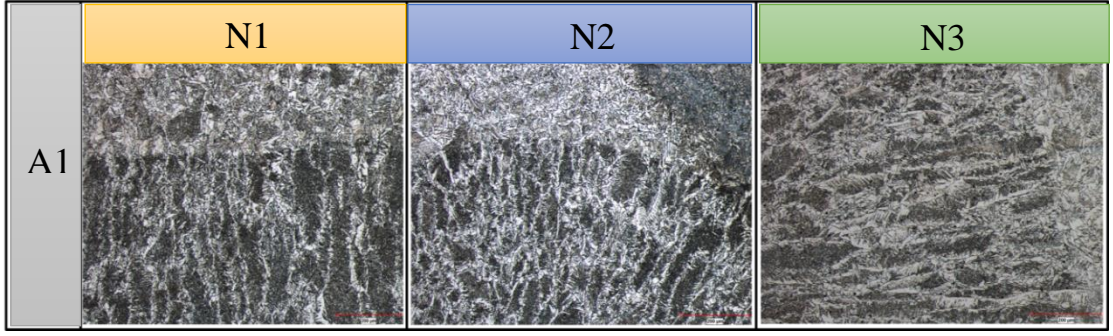


Numune Bölgesi	Nüfuziyet (P1)		Kaynak Uzunluğu (L2)		Kaynak Kalınlığı (T)	
	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm
A3-N1	0,20	2,26	1,48	6,50	1,32	4,42
A3-N2	0,20	2,24	1,48	6,60	1,32	4,58
A3-N3	0,20	2,16	1,48	6,54	1,32	4,58

Şekil 4. 20 A3 Bölgesi Kesme Testi Analiz Sonuçları

A3 bölgesinin analizi yapıldığında ise ana press panele nüfuziyetlerin(P1) 0,1 farkla değiştiği görülmüştür. Press panele nüfuz eden kaynak uzunluğu(L2) ve Kaynak kalınlığı(T) ise üç bölge için benzerlik göstermektedir.

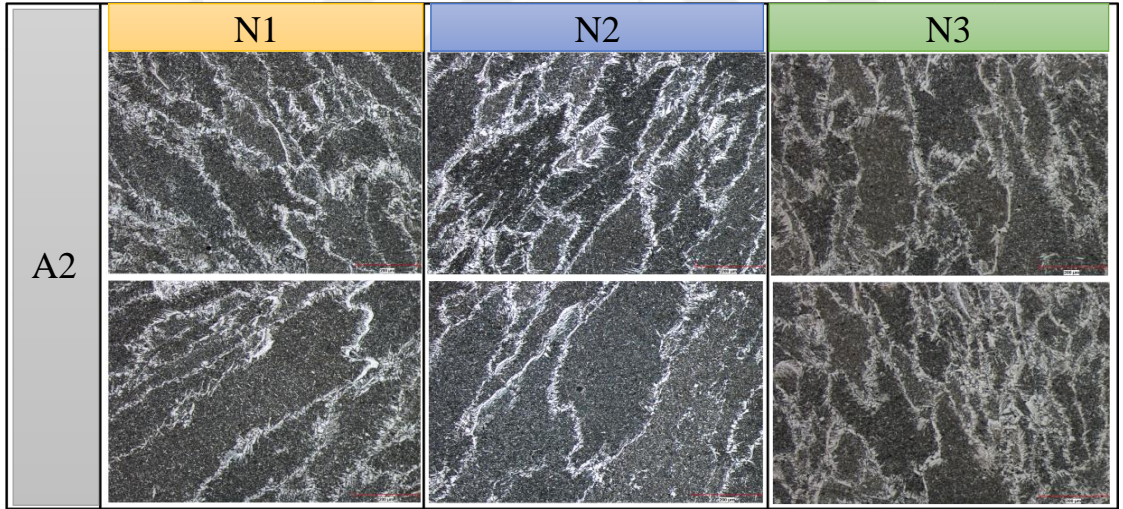
Yapılan kesme testi sonuçları incelendiğinde kontrol edilen parametrelerde belirgin olarak bir fark oluşmadığı saptanmıştır. Bu sebeple Kaynak kesit analizleri yapılan üç numuneye, yapısal olarak herhangi bir fark içerip içermediğinin kontrolü için mikro analiz testleri yapılmıştır. Aşağıdaki resimler A1, A2 ve A3 bölgelerine ait üç farklı numunenin 200µm mikro analiz sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4. 21 A1 Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları

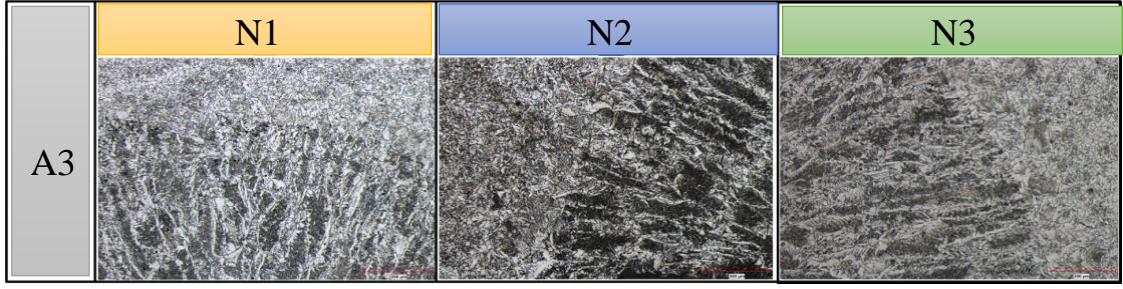
Mikro analiz sonuçları incelenirken, kaynağın iki parça arasındaki oluşum şekilleri, taneciklerin yayılış biçimleri ve sıklıkları karşılaştırılmıştır. Mikro yapıda herhangi bir çatlak oluşup oluşmadığı ise diğer bir kontrol maddesidir.

A1 bölgesinin mikro analiz sonuçları incelendiğinde, tanecik oluşum şekillerinin, boyutlarının ve dallanıp yayılma şekillerinin aynı olduğu saptanmış, numuneler arasında herhangi bir çatlakla rastlanmamıştır. A1 bölgesinin her üç numune için de aynı mikro yapısal davranışı sergilediği görülmüştür.



Şekil 4. 22 A2 Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları

A2 bölgesi iki parça arasındaki kaynak dikişinin olduğu bölgedir. Kaynağın başlangıcından ziyade kaynağın olgunlaşma bölgesi olarak adlandırılabilir. Bu bölge kaynak başlangıcı ve bitişine oranlara nispeten daha geniş bir bölge olduğundan, her bir numune için iki adet görsel kullanılmıştır. Mikro analiz sonuçları incelendiğinde ise A1 bölgesinde olduğu gibi, tanecik şekillerinin, boyutlarının ve dallanıp yayılma şekillerinin aynı olduğu saptanmış, numuneler arasında herhangi bir çatlak olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 4. 23 A3 Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları

A3 bölgesi ise iki parça arasındaki kaynak dikişinin, burcun kaynatıldığı parça üzerinde sonlandığı bölgedir. Mikro analiz sonuçları incelendiğinde taneciklerin burcun kaynatıldığı parçaya bağlanma bölgelerinde şekilsel ve boyutsal olarak aynı davrandığı görülmüştür. Kaynak başlangıcında ve bitişinde mikro yapısal taneciklerin daha yoğun bir davranış sergilediği, dallanma isteklerinin fazla olduğu görülmüştür. Buna karşın kaynağın orta bölgesinde ise mikro yapısal taneciklerin daha geniş yapıda oldukları görülmüştür.

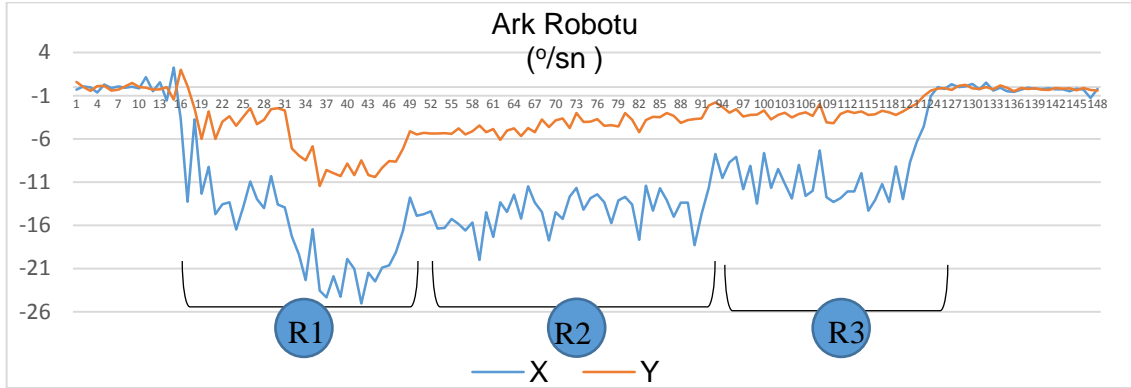
4.2.3 1.Deney Çalışması Genel Değerlendirme

1.Deneysel çalışma sonuçları, tezin devamında yer alan ikinci ve üçüncü deney çalışmaları için referans niteliğindedir. Bu deneyde var olan titreşim boyutu ve genliğine, kaynak kalitesinin nasıl tepki verdiği incelenmiştir. Yapılan kalitesel analizlerde elde edilen bulguların diğer deney düzenekleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda titreşimin kaynak kalitesi üzerindeki etkisini görebilmek için, aynı parçanın sabit fikstür üzerinde endüstriyel ark robotuyla kaynatılmasına karar verilmiştir. Titreşim etkisi dışında kaynak kalitesine doğrudan etki edecek diğer değişkenlerin döner kaynak makinesi ile aynı olması sağlanmış, kontrollü deney ortamı oluşturulmuştur. Bu işlem ikinci deneysel çalışma olarak adlandırılmaktadır.

4.3 Ark robotu üzerinde oluşan sistem titreşimlerinin analizi

Döner kaynak makinesinde fikstür üzerine bağlanan titreşim sensörü, sabit fikstür-robot sisteminde kaynak torcunun uç kısmına bağlanmıştır. 1.deneyde olduğu gibi analizler ilk yarım ay kaynağında uygulanmıştır. X ve Y ekseninde ifade edilen titreşim değerleri, parça eksenine paralel yatay titreşim değerlerini oluşturmaktadır.

Şekil 4.25'te, MPU6050 sensörünün robot torcuna bağlanmasıyla elde edilen titreşim değerleri yer almaktadır. Robotun titreşim genliğinde meydana gelen değişimler tablo 4,2'de gösterilmiş, bu değerler R1,R2 ve R3 bölgeleri olarak adlandırılmıştır.

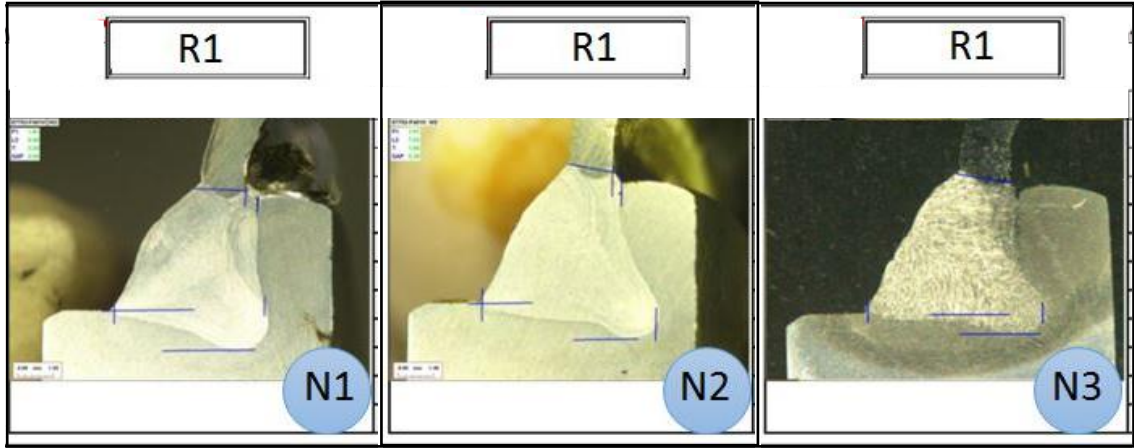


Şekil 4. 24 Ark Robotu Titreşim Grafiği

Titreşimlerin, kaynak süresi içinde değişken özellik göstermesi, kaynak dikişi üzerinde yapılan analizleri de üç bölgeye ayırmıştır. R1, R2 ve R3 bölgeleri olarak kaynak dikişi ayrılmış, kaynak başlangıcı ve bitişini temsil eden bu üç bölge için mikro yapı analizleri ayrı ayrı yapılmıştır.

Tablo 4. 2 Ark Robotu Titreşim Genlikleri

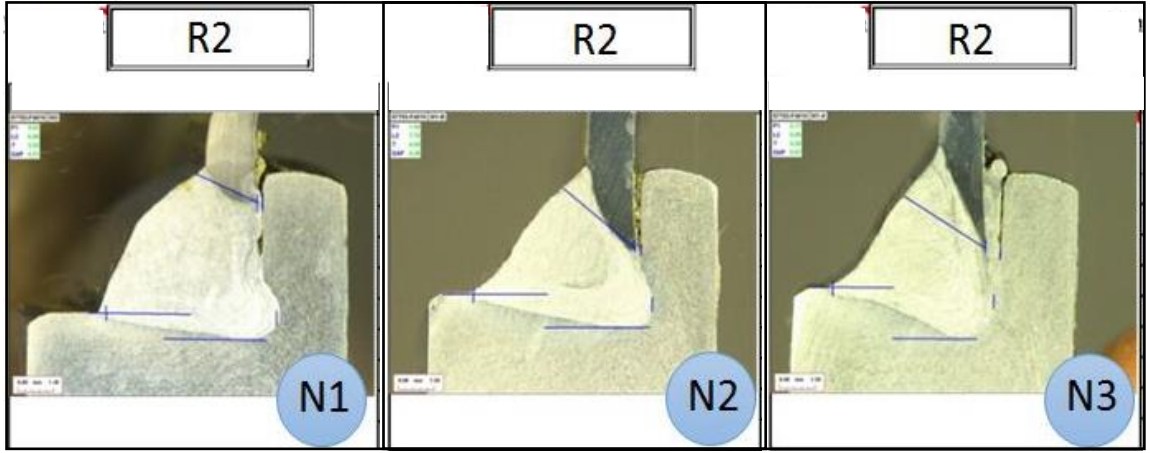
	Genlik Değerleri %/sn		
	R1 0-2 saniye arasında	R2 2-4,2 saniye arasında	R3 4,2-7,1 saniye arasında
X	0 - 25	11,43 - 20	7,33 - 14,3
Y	0 - 10,4	3,36 - 5,49	0 - 4,21



Numune Bölgesi	Nüfuziyet (P1)		Kaynak Uzunluğu (L2)		Kaynak Kalınlığı (T)	
	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm
<u>R1-N1</u>	0,20	0,91	1,48	6,46	1,32	2,25
<u>R1-N2</u>	0,20	1,02	1,48	6,23	1,32	1,85
<u>R1-N3</u>	0,20	0,84	1,48	6,49	1,32	2,05

Şekil 4. 25 Ark Robotu "R1" Bölgesi Kesme Testi Analiz Sonuçları

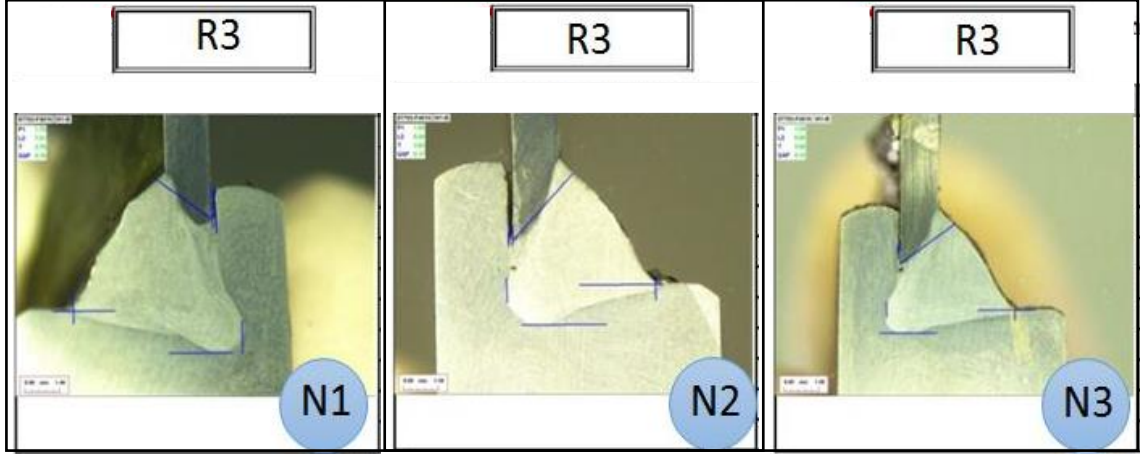
R1 Titreşim bölgesinde, örnek olarak alınan üç numunenin (N1,N2 ve N3) ana pres panel nüfuziyetlerinin 0,84-1,02 mm aralığında değiştiği, pres panele nüfuz eden kaynak uzunluğunun ise 6,23-6,49 mm aralığında olduğu görülmüştür. Kaynak kalınlığı(T) ise 0,4mm değişkenlik göstermektedir. Olması gereken ölçüler ile elde edilen sonuçlar kıyaslandığında kalitesel etki oluşturacak bulguya rastlanılmamıştır.



Numune Bölgesi	Nüfuziyet (P1)		Kaynak Uzunluğu (L2)		Kaynak Kalınlığı (T)	
	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm
<u>R2-N1</u>	0,20	1,87	1,48	6,59	1,32	2,52
<u>R2-N2</u>	0,20	2,03	1,48	6,73	1,32	4,09
<u>R2-N3</u>	0,20	2,17	1,48	6,99	1,32	4,20

Şekil 4. 26 Ark Robotu "R2" Bölgesi Kesme Testi Analiz Sonuçları

R2 Titreşim bölgesinde, örnek olarak alınan üç numunenin (N1,N2 ve N3) ana pres panel nüfuziyetlerinin 1,87-2,17 mm aralığında değiştiği, pres panele nüfuz eden kaynak uzunluğunun ise 6,59-6,99 mm aralığında olduğu görülmüştür. Kaynak kalınlığı(T) ise 1,5 mm değişkenlik göstermektedir.

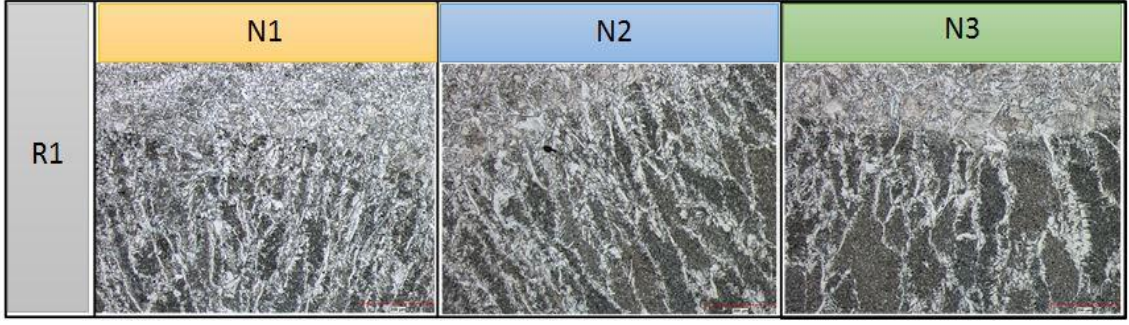


Numune Bölgesi	Nüfuziyet (P1)		Kaynak Uzunluğu (L2)		Kaynak Kalınlığı (T)	
	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm	Min.	Ölçüm
<u>R3-N1</u>	0,20	2,11	1,48	6,81	1,32	2,76
<u>R3-N2</u>	0,20	1,98	1,48	6,44	1,32	3,83
<u>R3-N3</u>	0,20	1,20	1,48	6,95	1,32	3,66

Şekil 4. 27 Ark Robotu "R3" Bölgesi Kesme Testi Analiz Sonuçları

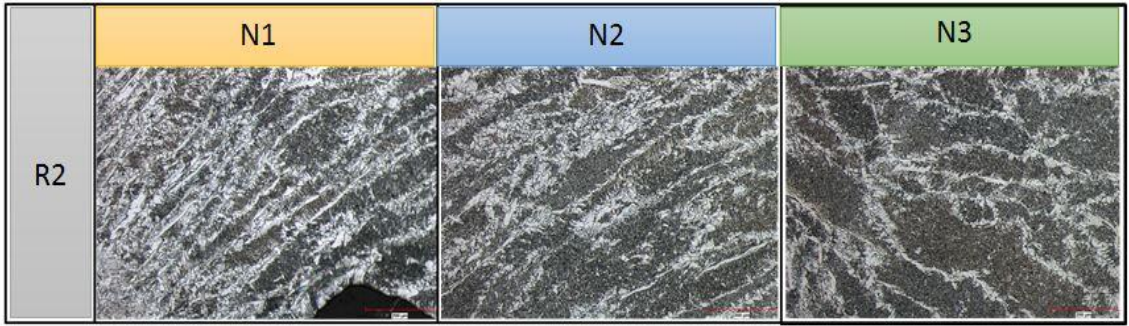
R3 Titreşim bölgesinde, örnek olarak alınan üç numunenin (N1,N2 ve N3) ana pres panel nüfuziyetlerinin 1,20-2,11 mm aralığında değiştiği, pres panele nüfuz eden kaynak uzunluğunun ise 6,44-6,95 mm aralığında olduğu görülmüştür. Kaynak kalınlığı(T) ise 0,9mm değişkenlik göstermektedir.

Numunelere ait mikro yapı analizleri, aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Herbir bölge (R1-R2-R3) üç numune için de analiz edilmiş olup robot programlamasının mikro yapı üzerinde etkisinin olup olmadığı irdelenmiştir. (şekil 4.29, şekil 4.30, şekil 4.31)



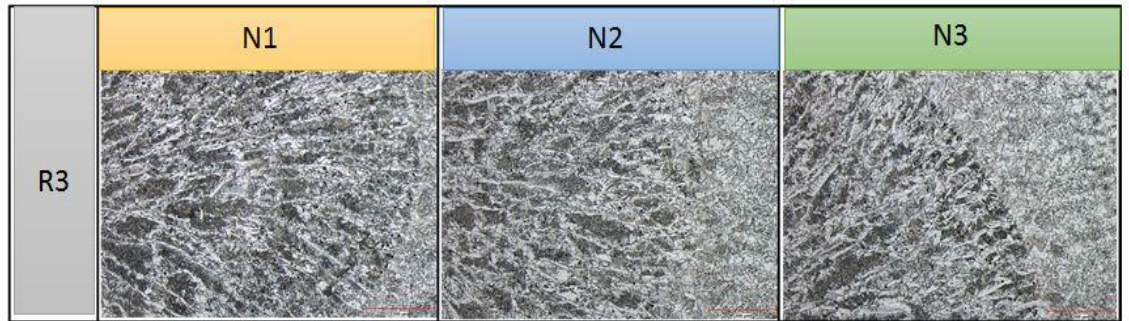
Şekil 4. 28 Ark Robotu "R1" Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları

1.Deneysel çalışma sonuçlarında olduğu gibi, 2.deney sonuçlarında da aynı kontrol maddeleri değerlendirmeye alınmıştır. R1 kontrol numunelerinde taneciklerin yayılma isteği, tanecik oluşma şekilleri birbirleriyle benzerlik göstermektedir.



Şekil 4. 29 Ark Robotu "R2" Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları

R2 kontrol bölgesinde ise tanecik çeşitliliğine ait yoğunluğun azaldığı görülmüştür. Daha az titreşim seviyesine sahip 1.deney numunelerine oranla mikro yapısal olarak N1 bölgesinde daha yoğun bir tanecik hareketine sahip olduğu görülmüştür. Ancak tek bir numunede bu farka rastlanmış olması tek başına yeterli gelmemekle birlikte R3 kontrol numuneleri de incelenmelidir.



Şekil 4. 30 Ark Robotu "R3" Bölgesi Mikro Analiz Sonuçları

Kaynak işleminin burçtan uzaklaşıp, diğer pres parçasıyla birleştiği bölge olan R3 bölgesi ise mikro yapısal olarak kıyaslandığında 1.deney numunesine oranla daha yoğun tanecik hareketliliğine sahip olduğu görülmüştür. Kaynak, pres parçasıyla benzer yapıda bir görünüm sergilemektedir.

4.3.1 2. Deney Çalışması Genel Değerlendirme

2. Deney çalışmasında da 1.deneyde kullanılan kaynak parametrelerine yer verilmiştir. Titreşim seviyeleri ilk çalışmaya oranla farklılık göstermekle birlikte kaynak kalitesinde belirgin bir iyileşme yada kötüleşme görülmemiştir. Ancak ikinci deneye ait iki numunede tanecik yoğunluğunun birinci deneye oranla artmış olması, ortaya çıkan bu durumun rastlantısallıktan uzaklaştırılmasını gerekli kılmıştır. Özellikle titreşim değerlerinin robotlu üretim hatlarında kontrollü olarak değiştirilebilecek olması, yapılan deneylerin benzer bir parça üzerinde tekrarlanabilirliğini sağlamıştır. Bu bağlamda 440Mpa dayanıma ve farklı kaynak parametreleri ile üretimi yapılan 25mm daha küçük çapa sahip burç üzerinde deneyler tekrar edilecektir.

4.4 Ark Robotunda Kontrollü Titreşim Deneyi

Ark robotu üzerinde kontrollü titreşim deneyi, robot torcunda oluşan titreşimleri otomatik kontrol yöntemiyle maksimum seviyeye çıkartarak sistem sınırlarının genişletilmesi işlemine dayanan 3.deneydir. Bu deney, şekil 4.31'de gösterilen 25mm daha küçük çapa sahip 440Mpa dayanımlı başka bir parça üzerinde tekrarlanmıştır. Bu deneyi gerçekleştirmekteki amaç, aralarında maksimum titreşim farkı bulunan robot programlamasını oluşturarak, endüstriyel ortamda oluşturulabilecek titreşimlerin etkisini daha iyi gözlemleyebilmektir.

Robotun otomatik kontrol komutları oluşturulurken, herbir deneyde eksenlerin farklı şekilde hareket etmesi sağlanarak endüstriyel ark robotunun ulaşabileceği maksimum titreşim değerlerine ulaşması hedeflenmiştir. Robot programlaması sırasında 45°'lik torç açısı sabit tutulmuş, robotun arka eksenlerinin farklı doğrultu ve hızlarda hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Bu sayede kaynak işlemi her denemede aynı şekilde gerçekleşirken, robotun arka eksenleri titreşim oluşturmuştur. Yapılan deneylerin ardından herbir numune üzerindeki ark

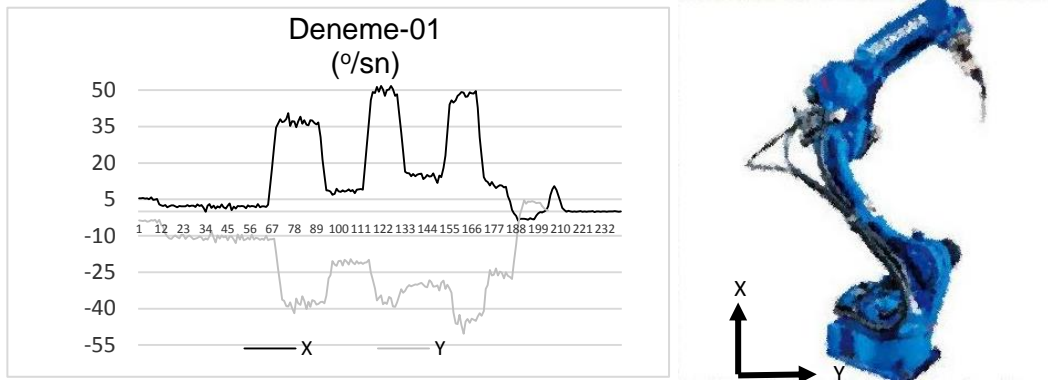
kaynağı kalitesel kontrol için üç bölgeye ayrılmış, kesme testi ve mikro yapı analizleri bu üç bölge üstünde gerçekleştirilmiştir.



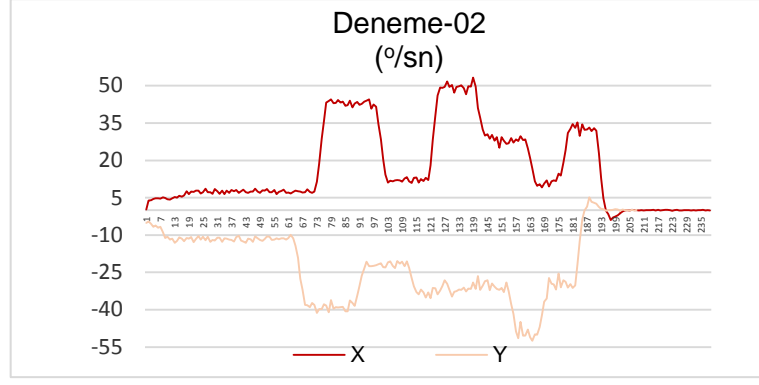
Şekil 4. 31 Pedal Burç Kaynağı Görseli

Kontrollü titreşim seviyesi deneylerine ait ilk denemede 25mm'lik burç kaynağının üç farklı titreşim seviyesinde yapılması amaçlanmıştır. Şekil 4.32 , şekil 4.33, şekil 4.34 ve şekil 4.35'de yer alan titreşim grafiklerinde şekil 4.32'de gösterilen koordinat eksenleri baz alınmıştır. Robot kontrol ekranında ana program sabit tutulmuş, her üç deney düzeneninde de aynı komut satırlarının davranışları değiştirilmiştir. Böylelikle kontrollü bir değişkenlik yaratılmıştır.

Torc açısı ve torcun parçaya olan mesafesinde herhangi bir değişiklik yapılmayan sistemde, 1.deneme numunesine ait torç titreşimlerinin 35 °/sn ile 50 °/sn aralığında değiştiği görülmüştür.

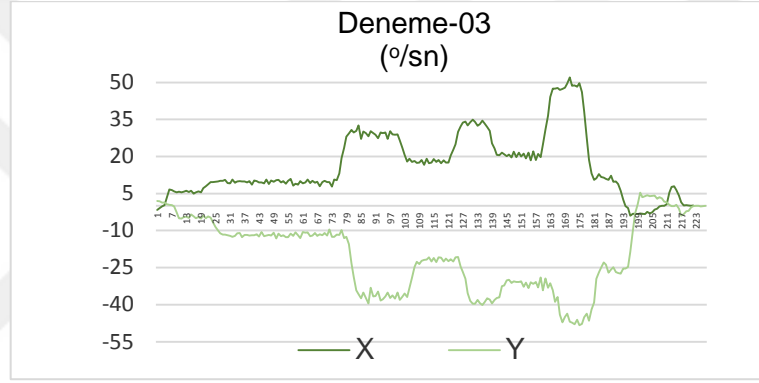


Şekil 4. 32 1.Robot Programlamasına Ait Titreşim Grafiği



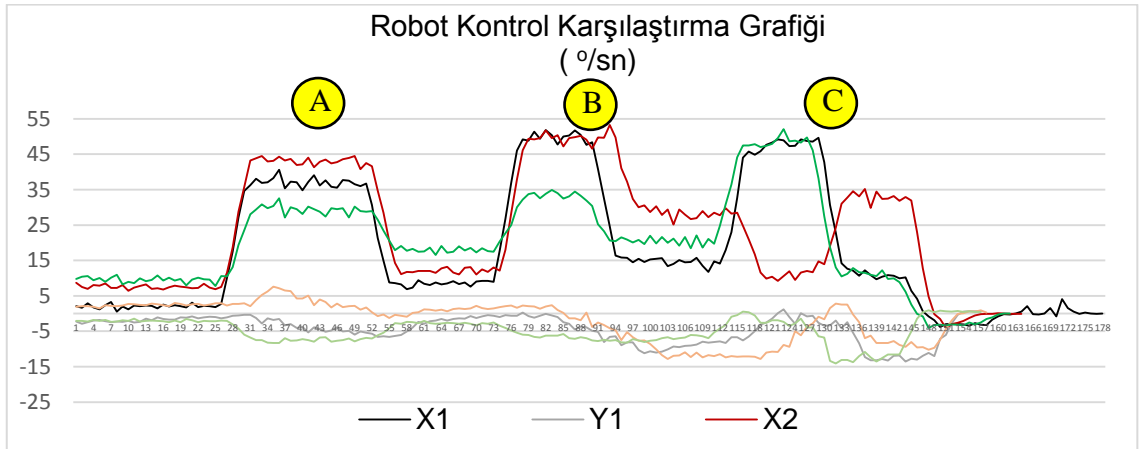
Şekil 4. 33 2. Robot Programlamasına Ait Titreşim Grafiği

2.deneme numunesine ait sistemde, her üç bölgede de farklı komutlar girilmiş titreşim değerlerinin 1.numune sisteminden farklı olması sağlanmıştır.



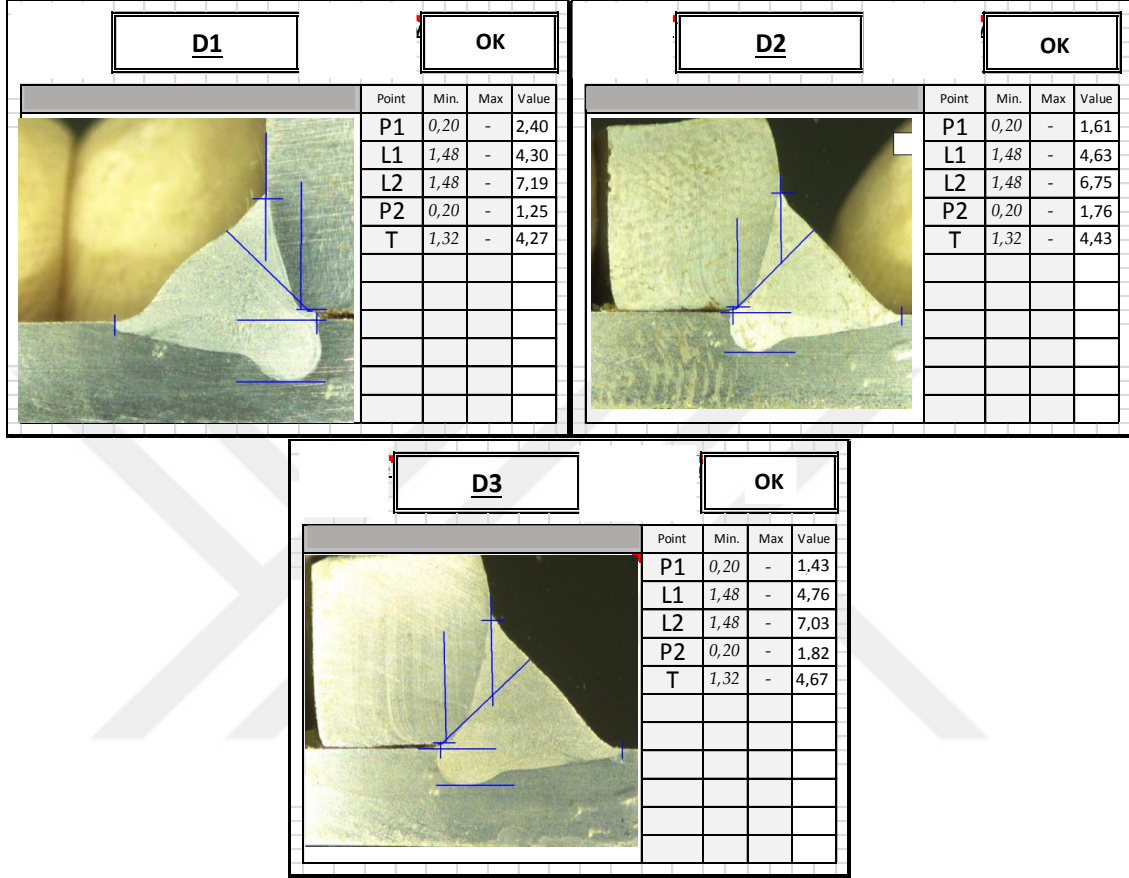
Şekil 4. 34 3. Robot Programlamasına Ait Titreşim Grafiği

3.Deneme numunesinde de bölgesel olarak farklı titreşim seviyelerine ulaşılmıştır. Elde edilen üç farklı titreşim grafiği, farklılıkların daha iyi saptanabilmesi adına aşağıdaki şekilde üst üste çakıştırılmış ve bölgeler arası farklılıklar irdelenmiştir.



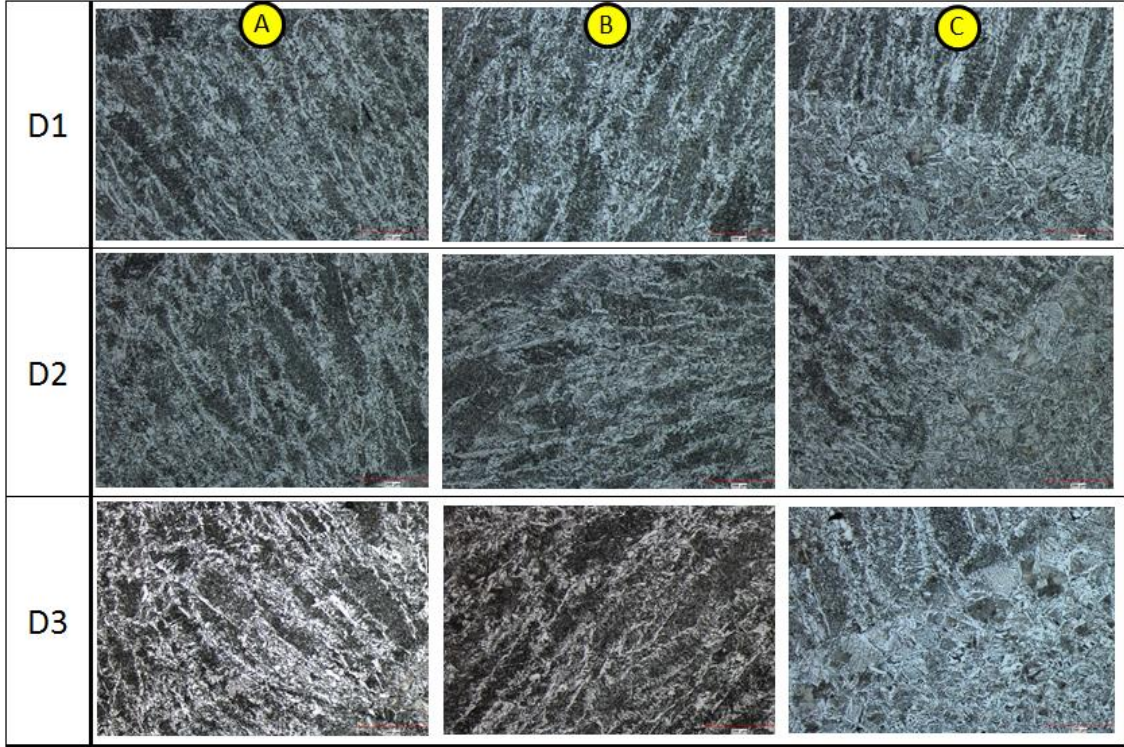
Şekil 4. 35 Pedal Ark Kaynağı İçin Farklı Robot Programlamalarına Ait Titreşim Grafiği ve Grafiklerin Çakıştırılmış Hali

Şekil 4.33'te robot torcundan elde edilen üç farklı deney numunesinin karşılaştırılmış hali yer almaktadır. Bu kapsamda en büyük titreşim farkının C bölgesinde oluşmasından dolayı, kesme testi analizi sadece C bölgesi için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar şekil 4.34'te gösterilmektedir.



Şekil 4. 36 Pedal "C" Bölgesi Kesme Testi Analizi

Şekil 4.34'te C bölgesinden alınan numunelerde, birinci ve ikinci deney düzeneklerindeki analizlerden farklı olarak L1 ve P2 bölgesinin sonuçlarına da yer verilmiştir. L1 ikincil parçada oluşan kaynak uzunluğunu temsil ederken P2 ise ikincil parçada oluşan kaynak genişliğini temsil etmektedir. Normal koşullarda parçanın endüstriyel üretim şartlarında kabul görmesi için P1, L2 ve T değerleri tek başına yeterli gelirken 3. Deneyde titreşimin etkisini saptayabilmek adına L1 ve P2 değerlerine de yer verilmiştir.



Şekil 4. 37 Farklı Robot Programında Üretilmiş Pedallara Ait Mikro Analiz Sonuçları

Şekil 4.34'te deneme numunelerinin C bölgesinden elde edilen kaynak kesit analizleri yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar, şekil 4.35'te gösterilen mikro yapılarda herhangi bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir. Özellikle titreşim seviyesinin düşük tutulduğu ikinci deneme numunesinde, diğer numunelere oranla belirgin fark olan bölge bulunmamaktadır.

4.5 Döner Kaynak Makinesine Ait Döner Tabla Katılık Değeri Hesaplaması

Yapılan bu tez çalışması, yukarıda bahsedilen ve birbirleri ile ilişkili üç deneyden oluşmaktadır. Yapılan deneye ait sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi, daha sonraki çalışmalara ışık tutacak yardımcı bilgiler içermesi ve sistemin katılık değerinin değişimiyle titreşim seviyesinin de değiştirilebilmesi amacıyla döner kaynak makinesinde jigi taşıyan tablaya ait katılık değeri hesabı yapılmak istenmektedir. Sistem titreşimlerinin, robotlu sistemde dahi 50 °/sn değerini aşmamış olması, yapılacak olan hesaplamalarda sınır değer olarak kullanılacaktır.

Bu doğrultuda;

$$F = k \times x \quad (4.1)$$

Formülünde k , tablanın sahip olduğu yaylanma katsayı değeri olarak kabul edilmiştir. x değeri ise tablanın üzerinde taşıdığı fikstürün ağırlığıyla yaptığı sehim miktarı olarak kabul edilmiştir.

Kuvvet değeri,

$$F = m \times a \quad (4.2)$$

Olarak yazılır ve ivme yalnız bırakılırsa,

$$a = \frac{k \times x}{m} \quad (4.3)$$

Şeklinde yazılabilir. x sehim miktarı ve a ivmesi arasındaki ilişki ise aşağıdaki formüllerle oluşturulabilir. Üzerinde belirli bir kütleyle sahip tablanın w açısal hızıyla dönerken t zaman içinde oluşturduğu yaylanma hareketinin sinüzoidal bir dalga şekilde oluştuğu varsayılmıştır. Bu durumda;

$$x = \sin(w \times t) \quad (4.4)$$

formülünden,

$$\frac{dx}{dt} = w \times \cos(w \times t) \quad (4.5)$$

olarak yazılabilir. Bu formülün düzenlenmesiyle,

$$\frac{d^2x}{d^2t} = -w^2 \times \sin(w \times t) \quad (4.6)$$

değeri elde edilir. Denklem 4.4'teki ifade burada yerine yazıldığında,

$$a = -w^2 \times x \quad (4.7)$$

denklemini oluşturulur. Elde edilen bu denklem, denklem 4.3 ile birleştirilirse;

$$\sqrt{w} = \frac{k}{m} \quad (4.8)$$

olduğu bulunur. Bulunan bu denklemin, yapılan çalışmada elde edilen en yüksek titreşim frekansından küçük olması gerektiğinden denklem,

$$\sqrt{w} = \frac{k}{m} \ll 50^\circ/s \quad (4.9)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda;

$$k \cong \frac{50 \times m}{3} \quad (4.10)$$

Denklemi elde edilir. Bu denklemde yer alan “3” değeri sisteme ait emniyet katsayısı olarak belirlenmiştir.

4.5.1 Döner Tablaya Ait Sehîm Miktarının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi

Yukarıda anlatılan denklemlerin karşılığını görebilmek amacıyla, döner kaynak makinesine ait yapılan tasarımda tabla, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Yapılan analizde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4. 3 Tabla Malzeme Özellikleri

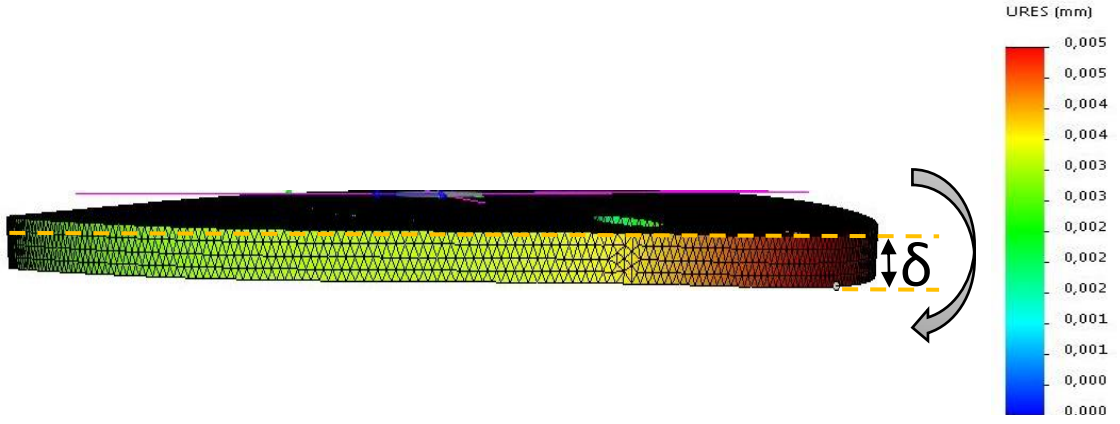
Ad:	1.0503 (C45)
Model tipi:	İzotropik Doğrusal Elastik Analizi
Akma mukavemeti:	5.8e+08 N/m ²
Gerilme mukavemeti:	7.5e+08 N/m ²
Elastik modül:	2.1e+11 N/m ²
Poisson oranı:	0.28
Kütle yoğunluğu:	7800 kg/m ³
Yırtılma modülü:	7.9e+10 N/m ²
Termal genişleme katsayısı:	1.1e-05 /Kelvin

Sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilen analizde kullanılan mesh bilgisi ise aşağıdaki Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. 4 Mesh Özellikleri

Mesh tipi	Katı Mesh
Kullanılan Meshleyici:	Standart
Jakoben noktalar	16 Noktalar
Eleman Boyutu	3.00731 mm
Tolerans	0.150366 mm
Mesh Kalitesi Grafiği	Yüksek
Toplam Düğüm	1157763
Toplam Elemanlar	800878
Maksimum En Boy Oranı	96.267
En-Boy oranı < 3 olan elemanların % oranı	99.8
En-Boy oranı > 10 olan elemanların % oranı	0
Şekli bozulmuş elemanların (Jakoben) % oranı	0

Fikstür ağırlığının 80 Kg olarak hesaplandığı yapıda aşağıdaki 3000 kat büyütülmüş görsel sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 4. 38 Döner Tabla Sehim Analizi

16 mm kalınlığa sahip, C45 malzemeden imal edilen tablanın sonlu elemanlar yöntemi analizine göre, üstünde taşıdığı 80kg ağırlık ile 0,005 mm sehim yapacağı görülmektedir. Ulaşılan bu sonuç doğrultusunda sistemin katılık değerinin azaltılması ile yapısal titreşimlerin değiştirilmesi imkanı doğmaktadır.

Bu çalışmada tasarımı yapılan döner kaynak makinesi ve endüstriyel ark robotunda olmak üzere toplamda üç adet kontrollü deney gerçekleştirilmiştir.

5.1 Kesme Testi Sonuçlarının Yorumlanması

1.Deneyde;

Döner kaynak makinesi üzerinde üretilen parçaya ait sistem titreşimlerinin analizi yapılmıştır. Parçaya ait kesme testi ve mikro analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 5. 1 1. Deneye Ait Kesme Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Numune	Nüfuziyet (P1)	Kaynak Uzunluğu (L2)	Kaynak Kalınlığı (T)
A1 - N1	0,89	6,54	1,95
A1 - N2	0,94	6,54	2,71
A1 - N3	1,01	6,49	2,90
A2 - N1	2,18	6,76	2,22
A2 - N2	2,35	6,48	2,19
A2 - N3	2,27	6,56	2,28
A3 - N1	2,26	6,5	4,42
A3 - N2	2,24	6,6	4,58
A3 - N3	2,16	6,54	4,58

Titreşim seviyesinin her üç numunede de aynı olmasına karşın kaynak kalitesinde bir miktar farklılıkların olduğu görülmüştür. Bu farklılığın temel sebebi ise, kaynak başında ve sonunda kaynak parametrelerinin değişkenlik göstermesi olarak yorumlanmıştır.

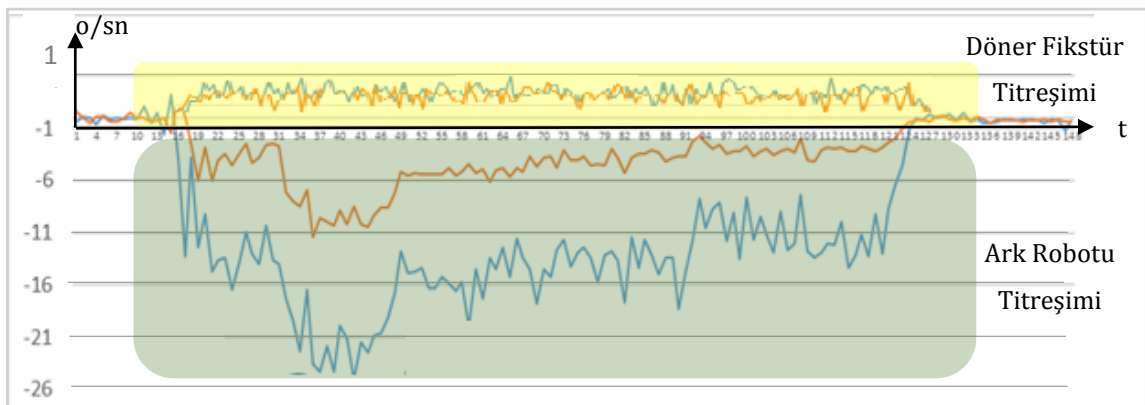
Bu deney, ikinci ve üçüncü deney için kıyaslama ölçütü olarak oluşturulmuştur.

2.Deneyde;

Döner kaynak makinesi üzerinde üretilen parçanın, sabit fikstür endüstriyel ark robot sisteminde üretilmesi sağlanmış, kaynak parametrelerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan titreşim farklılıkları irdelenmiştir. Aşağıdaki Tablo 5.2'de 2.deneye ait sonuçlar gösterilmektedir.

Tablo 5. 2 2.Deneye Ait Kesme Testi Sonuçları Karşılaştırması

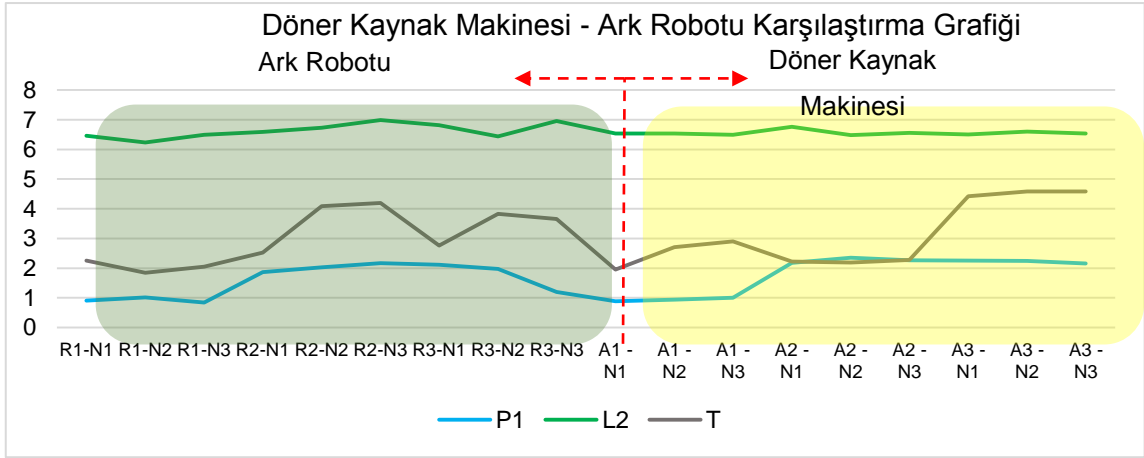
Numune	Nüfuziyet (P1)	Kaynak Uzunluğu (L2)	Kaynak Kalınlığı (T)
R1-N1	0,91	6,46	2,25
R1-N2	1,02	6,23	1,85
R1-N3	0,84	6,49	2,05
R2-N1	1,87	6,59	2,52
R2-N2	2,03	6,73	4,09
R2-N3	2,17	6,99	4,2
R3-N1	2,11	6,81	2,76
R3-N2	1,98	6,44	3,83
R3-N3	1,2	6,95	3,66



Şekil 5. 1 Birinci ve İkinci Deneye Ait Titreşim Grafiklerinin Çakıştırılması

Yukarıdaki Şekil 5.1'de birinci ve ikinci deneyden elde edilen titreşim değerlerinin tek bir grafikte çakıştırılmış hali yer almaktadır. İki deneyde de kaynak parametrelerinin aynı tutulup, titreşim etkisi incelenmek istenmiştir. Bu

titreşimler altında üretilen parçalar üzerinde yapılan ve yukarıdaki tablolarda gösterilen kalitesel ölçüm sonuçları ise, aşağıdaki tabloda tek bir grafik halinde birleştirilmiştir.



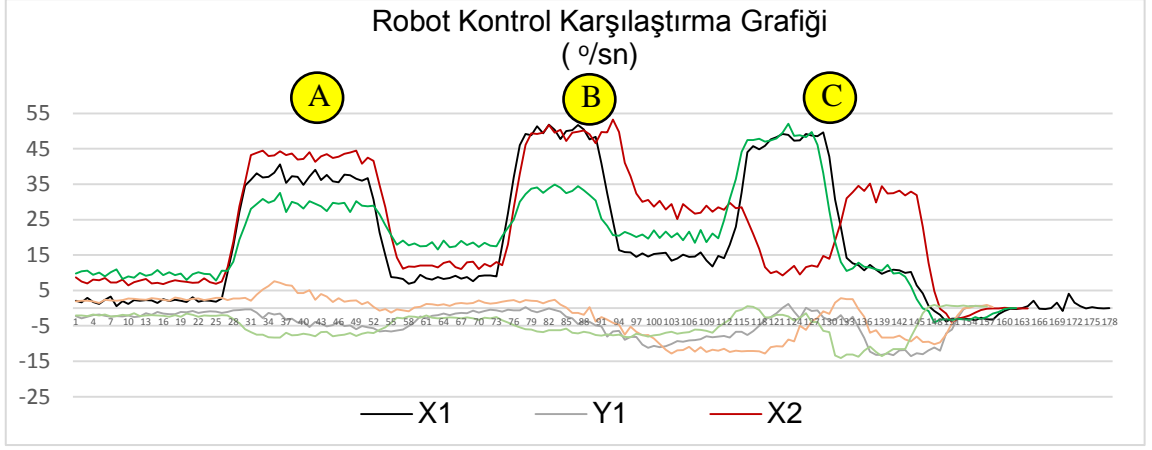
Şekil 5. 2 Ark Robotu ve Döner Kaynak Makinesinde Üretilen Parçaların Kesme Testi Sonuçlarının Birleştirilmesi

Yukarıdaki Şekil 5.2’de, titreşim düzeyleri farklı olmasına rağmen ölçülebilir kalitesel sonuçların mevcut titreşim seviyelerinden etkilenmediğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda daha yüksek titreşim seviyesine ulaşmak için 3. bir deney düzeneği oluşturulmuştur.

3.Deneyde;

Birinci ve ikinci deneyden farklı bir parça üzerinde, ark robotunun hareket komutları değiştirilerek farklı titreşim seviyelerinde parça üretilmesi sağlanmıştır.

İlk deneylerde maksimum 25 %/sn titreşim değerine ulaşıldığından bu deney düzeneğinde daha yüksek değerlere çıkılması hedeflenmiştir.



Şekil 5. 3 Çeşitli Robot Kontrol Programlamalarına Ait Titreşim Grafiği Çakıştırılması

Yukarıdaki tablo, farklı parça üzerinde robotun farklı programlama komutlarının oluşturduğu titreşimleri temsil etmektedir. Üç farklı hareket komutu üst üste çakıştırılmıştır. C bölgesinde titreşim değerlerinin 55 °/sn'ye ulaştığı görülmüştür. Buna karşın üç numune arasından ikinci deney numunesine ait programlamada 12 °/sn değer elde edilmesi titreşim farkının artmasını sağlamış, böylelikle C bölgesinin analizi yapılmıştır. 3 deney numunesinin karşılaştırıldığı bölgede kaynak nüfuziyetleri ve kaynak kalınlığında belirgin bir fark oluşmadığı gözlemlenmiştir.

5.2 Mikro Analiz Sonuçlarının Yorumlanması

Gerçekleştirilen üç kontrollü deney de birbirinden farklı titreşim değerleri içermektedir. Buna karşın mikro analiz sonuçlarında bir fark oluşmamıştır. Bu sonuç kaynak kalitesini oluşturan unsurların belirli değer aralıklarında birbirinden bağımsız olarak tek başına ele alınamayacağını göstermiştir. Özellikle endüstriyel seri üretim şartlarında ulaşılan maksimum seviyedeki titreşim değeri ile (55 °/sn), minimum seviyedeki titreşim değeri (0,9 °/sn) arasında kaynak kalitelerinin etkilenmediği görülmüştür.

5.3 Sistem Katılık Değeri ve Titreşime Etkisi

Yapılan tez çalışmasında, döner kaynak makinesine ait sistemin rijit bir davranış sergilemesi, sistem katılığının incelenmesini gerektirmiştir. Solidworks üzerinde analizler yapılmış ve tablanın mevcut durumda 0,005 mm sehim yapacağı görülmüştür. Bu değer açık bir şekilde sistemin sahip olduğu katılık değeriyle

ilişkilendirilmektedir. Robotlarda otomasyonel işlemler ile titreşimlerin 50°/sn seviyelerine getirilmesi sağlanırken, sistem katılık değeri üzerinde değişiklikler yapılarak döner fikstüre ait sistem titreşimlerinde de değişimlerin oluşturulabileceği görülmüştür.

5.4 Öneriler

5.4.1 Titreşimin Kaynak Dikişi Üzerindeki Faydalı Etkileri

Yapılan bu tez çalışmasının robotlu üretimde 55 °/sn titreşim değerinde kalitesel değişken oluşturulamamış olmaması, kabul edilebilir şartlarda robot titreşimini artıracak yeni yöntemler ile bu deneylerin çok daha yüksek titreşim seviyelerinde gerçekleştirilebilir olmasını sağlamıştır. Bu kapsamda yapılan literatür araştırmasında aşağıdaki bulgulara rastlanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarda;

Yapılan bir çalışmada 300Hz titreşim seviyesinde ark kaynağı üzerinde denemeler yapıldığında, akma dayanımında %27, çekme dayanımında ise metalin %23 daha kuvvetli bir yapıya ulaştığı saptanmıştır [39].

Başka bir çalışmada, ultrasonik titreşim metodu kullanılarak 15-19 kHz frekans aralığında kaynak yapıldığında kaynak özelliklerinin iyileştiği görülmüştür [46].

Başka bir çalışmada, AZ91D magnezyum alaşımı üzerinde titreşimli kaynak denemeleri yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada 25-120 Hz aralığında mekanik titreşimler uygulanmış, malzemenin bu titreşim değerleri altındaki tepkileri analiz edilmiştir. Bu çalışmada 55Hz seviyelerine kadar malzemenin akma ve çekme mukavemeti doğrusal olarak artmış, 55-100Hz aralığında lineer olarak artış göstermiş, 100Hz seviyesinden itibaren ise mukavemetlerde azalmalar olduğu saptanmıştır [47].

Literatürdeki bir diğer çalışmada elektrik motoru üzerine plaka bağlanmış, motorun belirli bir devirde çalışması sırasında plakanın üzerindeki kaynak kalitesi üzerinde incelemeler yapılmıştır. Testler, motor durgun haldeyken, 800RPM, 950RPM ve 1050RPM dönüş hızlarına ulaştığında SS316 malzeme üzerinde gerçekleştirilmiştir. Durgun halde 494,62 MPa çekme dayanımına sahip kaynak bölgesi, 800RPM'de 614,61Mpa, 950RPM'de 622,54 Mpa seviyelerine kadar

çıkıştır. Hızın 1050 RPM'e çıkartılmasıyla birlikte mukavemetin 444,30 MPa seviyelerine düştüğü gözlemlenmiştir [5].

5.4.2 Titreşimin Kaynak Dikişi Üzerindeki Zararlı Etkileri

Bu tez çalışması kapsamında titreşimin kalitesel etkileri üzerine araştırmalar yapılmış ancak deney imkanlarımız 55°/sn'lik titreşime kadar çıkabilmesine müsaade etmiştir. Bu değerlerde ise yapılan kaynak dikişi üzerinde kalitesel değişim saptanamamıştır.

Endüstride kullanılan robot ve kaynak fikstürlerinin kabul edilebilir harici zorlama durumunda bile ulaşabileceği titreşim mertebeleri, bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlardan öteye gidememektedir. Endüstriyel üretim şartlarına uygun olarak tasarlanan fikstürlerde, sistem titreşimlerinin kaynak kalitesini etkilemediği ve titreşimin üretim alanlarında bir parametre olarak kullanılamayacağını göstermiştir.

5.4.3 Genel Sonuç

Bu tezde gerçekleştirilen çalışma ve literatürde yapılan diğer çalışmalar göz önüne alındığında titreşimin kaynak kalitesine olumlu olarak etki edebilmesi için yüksek Hz seviyelerinde titreşim olması gerektiği gözlemlenmiştir. Titreşimin kalite artırıcı etkisinin malzeme kaynaklı değiştiği ise bir diğer konudur. Özellikle bu çalışmada uygulanan teknikler ile döner kaynak makinesindeki titreşimlerin 0,02Hz mertebesinde olduğu ancak buna karşın literatürdeki çalışmaların 50-200Hz aralığında değiştiği görülmüştür. Literatürdeki çalışmaların seri üretim şartlarından ziyade kontrollü deney ortamlarında yapılması, seri üretim şartlarına uygun kalite artırıcı bir titreşim metodunun bulunamadığını, bu tez çalışması dışında da seri üretim şartlarındaki titreşimin analiz edilmediğini göstermiştir. Ancak bu tez çalışmasında ve literatürdeki diğer çalışmalardan edinilen bulgular doğrultusunda, gelecekte endüstriyel üretim şartlarına uygun titreşim metodunun uygulanabilir olduğu görülmektedir. Böylelikle daha az kaynak akımı ile aynı mukavemete ulaşılabilir, enerji tasarrufu sağlanıp daha teknolojik imalat yöntemlerinin uygulanabilir olması sağlanacaktır.

- [1] D. H. Phillips, *Welding engineering: an introduction*, 1.baskı, West Sussex, İngiltere: John Wiley & Sons, 2015, ss. 1-187.
- [2] J. N. Pires, A. Loureiro, ve G. Bölmsjo, *Welding robots: Technology, system issues and applications*. 2006.
- [3] K. Weman, *Welding processes handbook: second edition*. 2012, ss. 1-270.
- [4] Britannica. (2020, 8 Ocak). *Vibration*. Erişim: <https://www.britannica.com/science/vibration>.
- [5] P. Sakthivel ve P. Sivakumar, "Effect of vibration in tig and arc welding using aisi316 stainless steel," *International Journal Of Engineering Reaserch And Science & Technology*, c. 3, sayı 4, ss. 116-130, 2014.
- [6] M. J. Jose, S. S. Kumar, ve A. Sharma, "Vibration assisted welding processes and their influence on quality of welds," *Science and Technology of Welding & Joining*, c. 21, sayı 4, ss. 243-258, 2016, doi: 10.1179/1362171815Y.0000000088.
- [7] H. R. Ghazvinloo, A. Honarbakhsh-Raouf, ve N. Shadfar, "Effect of arc voltage, welding current and welding speed on fatigue life, impact energy and bead penetration of AA6061 joints produced by robotic MIG welding," *Indian Journal of Science Technology*, c. 3, sayı 2, ss. 156-162, 2010, doi: 10.17485/ijst/2010/v3i2/29669.
- [8] T. Debroy ve S. A. David, "Physical processes in fusion welding," *Reviews of Modern Physics*, c. 67, sayı 1, ss. 85-112, 1995, doi: 10.1103/RevModPhys.67.85.
- [9] S. Anık, *Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar*, İstanbul, Türkiye: Gedik Holding, ss. 12-243, 1991.
- [10] C. Özdirikman, "Hidrolik pres imalinde kaynaklı birleştirmelerin etüdü," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [11] K. Okan, "An Investigation On Fatigue Crack Propagation In Gas Metal and Hybrid Plasma-Gas Metal Arc Weldments Of Aa5083-H111," Doktora tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [12] A. R. Kohandehghan ve S. Serajzadeh, "Arc welding induced residual stress in butt-joints of thin plates under constraints," *Journal of Manufacturing Process*, c. 13, sayı 2, ss. 96-103, 2011, doi: 10.1016/j.jmapro.2011.01.002.
- [13] O. S. Sahasrabudhe ve D. Raut, "Effect of heat source positioning on hybrid TIG-MAG arc welding process," *Materials Today: Proceedings*, c. 5, sayı 9, ss. 18518-18526, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.06.194.
- [14] Kjellberg, (2019, 12 Aralık). *Welding methods*. Erişim: <http://www.kjellberg.de/Welding-Equipment/Service/Welding-Methods/MMA-Welding.html>.

- [15] J. M. Antonini, "Health Effects Associated with Welding," *Comprehensive Materials Process*, c. 8, ss. 49–70, 2014, doi: 10.1016/B978-0-08-096532-1.00807-4.
- [16] Canambridges,(2019, 12 Aralık). *Welding*. Erişim: <https://www.canambridges.com/category/welding/>
- [17] X. Wang, D. Fan, J. Huang, ve Y. Huang, "Numerical simulation of arc plasma and weld pool in double electrodes tungsten inert gas welding," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, c. 85, ss. 924–934, 2015, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.132.
- [18] S. Sivakumar ve J. R. V. Kumar, "Experimental Investigation On MIG Welded Mild Steel," *International Journal of Machine and Construction Engineering*, c. 2, sayı 1, 2015.
- [19] T. E. Abioye, O. E. Ariwoola, T. I. Ogedengbe, P. K. Farayibi, ve O. O. Gbadeyan, "Effects of welding speed on the microstructure and corrosion behavior of dissimilar gas metal arc weld joints of AISI 304 stainless steel and low carbon steel," *Materials Today: Proceedings*, c. 17, ss. 871–877, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.06.383.
- [20] Instructables, (2019, 12 Aralık). *MIG Weld*. Erişim: <https://www.instructables.com/lesson/Beginning-to-MIG-Weld/>
- [21] A. Abugh ve I. K. Kuncy, "Microstructure and Mechanical Properties of Vibrated Castings and Weldments: a Review," *Journal of Engineering Studies and Research*, c. 19, sayı 1, ss. 7–12, 2016, doi: 10.29081/jesr.v19i1.132.
- [22] M. Mochizuki, "Control of welding residual stress for ensuring integrity against fatigue and stress-corrosion cracking," *Nuclear Engineering and Design*, c. 237, sayı 2, ss. 107–123, 2007, doi: 10.1016/j.nucengdes.2006.05.006.
- [23] M. Koca, "Bilgisayar destekli fikstür tasarımı ve analizi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [24] K. Venkataraman, *Design of jigs, fixtures and press tools*. West Sussex, İngiltere: John Wiley & Sons, 2015, ss. 19-239.
- [25] C. Karahasanoğlu ve B. Altınok, "Kaynak işleminde kullanılan ilave donatımlar – kaynak teknolojisi," *Kaynak Teknolojisi 3. Ulusal Kongresi*, İstanbul, Türkiye 2001, ss. 321-331.
- [26] E. Vial, *Gas torch and thermit welding*, 1. baskı, New York, Amerika Birleşik Devletleri: McGraw-Hill, 1921, ss. 221-230.
- [27] A. Kampker, G. Bergweiler, A. Hollah, K. Lichtenthäler, ve S. Leimbrink, "Design and testing of the different interfaces in a 3D printed welding jig," *52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*, c. 81, ss. 45–50, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.03.009.
- [28] H. Wang, Y. Rong, H. Li, ve P. Shaun, "Computer aided fixture design: Recent research and trends," *CAD Computer Aided Design*, c. 42, sayı 12, pp. 1085–1094, 2010, doi: 10.1016/j.cad.2010.07.003.

- [29] M. Vural, H. F. Muzafferoglu, ve U. C. Tapici, "The effect of welding fixtures on welding distortions," *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, c. 20, ss. 511-514, 2007.
- [30] M.O. Sevengil, E. Korkut, ve O. Akdikmen. (2018, 10 Şubat). *Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kaynak Fikstürlerine Genel Bakış*. Erişim: <http://makinatek.com.tr/uncategorized/173-otomotiv-sektorunde-kullanilan-kaynak-fiksturlerine-genel-bakis/>
- [31] N. Ma, H. Huang, ve H. Murakawa, "Effect of jig constraint position and pitch on welding deformation," *Journal of Materials Processing Technology*, c. 221, ss. 154-162, 2015, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2015.02.022.
- [32] U.Ç. Tapıcı, "Robotla kaynak uygulaması için fikstür tasarımı ve kaynak distorsiyonlarının analizi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [33] Pravitengineers. (2019, 12 Aralık). Erişim: <http://pravitengineers.com/products.php>
- [34] Top Talent Automotive Fixture and Jigs. (2020, 28 Ocak). Erişim: <http://turkish.robotic-weldingfixtures.com/sale-10625469-customized-robotic-welding-systems-with-spot-welding-fixture-for-automotive-parts.html>
- [35] I. N. Williams, "Design and implementation of a fixture for robotic welding," Lisans tezi, Üretim Mühendisliği, Fen Fakültesi, California Polytechnic State Üniversitesi, California, Amerika Birleşik Devletleri, 2016.
- [36] D. S. Gosani, P. T. Kikani, ve T. Rajkot, "Effect of vibration in arc welding using sae 1010 stainless steel," *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, c. 3, sayı 2, ss. 17-20, 2016.
- [37] J. Singh, G. Kumar, ve N. Garg, "Influence of vibrations in arc welding over mechanical properties and microstructure of butt-welded-joints," *International Journal of Science & Technology*, c. 2, sayı 1, ss. 1-6, 2012.
- [38] W. Wu, "Influence of vibration frequency on solidification of weldments," *Scripta Materialia*, c. 42, sayı 7, ss. 661-665, 2000, doi: 10.1016/S1359-6462(99)00416-9.
- [39] P. K. Singh, D. Patel, ve S. B. Prasad, "Development of vibratory welding technique and tensile properties investigation of shielded metal arc welded joints," *Indian Journal of Science and Technology*, c. 9, sayı 35, 2016, doi: 10.17485/ijst/2016/v9i35/92846.
- [40] A. Jurčius, A. V. Valiulis, ve V. Kumšlytis, "Vibratory stress relieving - It's advantages as an alternative to thermal treatment," *Journal of Vibroengineering*, c. 10, sayı 1, ss. 123-127, 2008.
- [41] E. J. Chikofsky ve J. H. Cross, "Reverse engineering and design recovery: a taxonomy," *IEEE Software*, c. 7, sayı 1, ss. 13-17, 1990, doi: 10.1109/52.43044.

- [42] F. Buonamici, M. Carfagni, R. Furferi, L. Governi, A. Lapini, ve Y. Volpe, "Reverse engineering of mechanical parts: A template-based approach," *Journal of Computational Design and Engineering*, c. 5, sayı 2, ss. 145–159, 2018, doi: 10.1016/j.jcde.2017.11.009.
- [43] R. A. Khan, "Reverse engineering : a different perspective," *Advances in Computers and Software Engineering: Reviews*, 1.baskı, IFSA Yayıncılık, 2019, böl. 1, ss. 56.
- [44] E. Korkut, M. Onat, O. Akdikmen ve O. Yöntem, "Otomatik dairesel gazaltı ark kaynağı makinesi tasarımı," 1.Ulusal Mühendislik ve Teknoloji Kongresi'nde sunuldu, Karaman, 2019.
- [45] Reducer. (2020, 04 Şubat). Erişim: <https://zhuanlan.zhihu.com/p/51782273>
- [46] S. İ. Matsuoka ve H. Imai, "Direct welding of different metals used ultrasonic vibration," *Journal of Materials Processing Technology*, c. 209, sayı 2, ss. 954–960, 2009, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2008.03.006.
- [47] J. Chen, X. Chen, ve Z. Luo, "Effect of mechanical vibration on microstructure and properties of cast AZ91D alloy," *Results in Physics*, c. 11, ss. 1022–1027, 2018, doi: 10.1016/j.rinp.2018.10.047.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: muratt.onatt@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. M. Onat, M. E. Boğoçlu ve E. Korkut, "Sistem titreşimlerinin dairesel ark kaynağına olan etkilerinin incelenmesi," 2.Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi'nde sunuldu, Mardin, 2019.

