

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ÇOKLU NOKTA KAYNAĞI ELEKTRODU
TASARIMI VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enes KORKUT

Enstitü Anabilim Dalı : MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nuri AKKAŞ

Ocak 2021

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU NOKTA KAYNAĞI ELEKTRODU
TASARIMI VE UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enes KORKUT

Enstitü Anabilim Dalı : MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 20/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Salim ASLANLAR	KABUL
Üye: Doç. Dr. Nuri AKKAŞ	KABUL
Üye: Dr. Öğretim Üyesi Serkan APAY	KABUL



*Sevgili Eşime
ve
Canım Kızıma,*

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Enes KORKUT

20/01/2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansım boyunca yönlendirme, bilgi ve tecrübeleriyle bana çalışmalarım konusunda destek olan, çalışmalarımın tamamlanmasından tezin yazılmasına kadar geçen süreçte desteklerini esirgemeyen, cesaretlendiren çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Nuri AKKAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yaptığım çalışmalarda ve uygulamalarda tüm imkanlarıyla destek olan mensubu olmaktan onur ve gurur duyduğum Toyotetsu ailesine ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Beni Eğitim hayatım boyunca destekleyen ve hep yanımda olan annem Remziye KORKUT ve babam Şaban KORKUT'a, desteklerini her daim hissettiren değerli kardeşlerim; Tuba KORKUT, İrem KORKUT ve Tuğçe KORKUT'a teşekkür ederim.

Ayrıca bana olan sonsuz desteğini bir an olsun eksik etmeyen sevgili eşim Görkem KORKUT ve varlığıyla beni motive eden, neşe veren canım kızım İpek KORKUT'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR	vii
SİMGELER	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın İhtiyaçları	2
1.2. Literatür ve Tarihçe	2
1.2.1. Basınç kontrollü çoklu nokta kaynağı makineleri.....	3
1.2.2. Anahtar kontrollü çoklu nokta kaynağı makineleri.....	3
1.2.3. Çoklu transformatörlü tip çoklu nokta kaynağı makineleri	4
1.2.4. Özel elektrot tipli çoklu nokta kaynağı	4

BÖLÜM 2.

DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI	6
2.1. Direnç Nokta Kaynağı Çalışma Şekli	6
2.2. Isı Oluşumuna Parametrelerin Etkisi.....	7
2.2.1. Kaynak bölgesindeki ısı	7
2.2.2. Isı oluşumuna kaynak akımının etkisi.....	7
2.2.3. Isı oluşumuna elektrot kuvvetlerinin etkisi	7
2.2.4. Isı oluşumuna kaynak zamanının etkisi	8
2.3. Kaynak Parametrelerin Ayarlanması	8
2.3.1. Kaynak akım ayarı	8
2.3.2. Elektrot kuvveti ayarı.....	8
2.3.3. Kaynak zamanı ayarı.....	9
2.4. Kalite Kontrolü.....	9
2.4.1. Kaynak noktasının güvenilirliği.....	9
2.4.2. Tahribatsız muayene	11

2.5.	Direnç Nokta Kaynak Makineleri	12
2.5.1.	Sabit nokta kaynağı makineleri	13
2.5.2.	Taşınabilir nokta kaynağı makineleri	14
2.5.3.	Çoklu nokta kaynak makineleri	15
2.6.	Kaynak Makinesi Sistemleri	15
2.6.1.	Elektrik devresi	15
2.6.2.	Kaynak transformatörü	16
2.6.3.	Kontrol cihazı	16
2.6.4.	Zaman ayar cihazları	16
2.6.5.	Kaynak akımının ayarı için faz kaydırma	17
2.6.6.	Mekanik kısım	17

BÖLÜM 3.

TASARIM VE ANALİZ	18
3.1. Üç Boyutlu Tasarım	18
3.2. İhtiyaçların Belirlenmesi ve Taslak Tasarım	19
3.3. Elektrotun Üç Boyutlu Tasarımı	20
3.3.1. Tasarım kısımları	20
3.3.1.1. Hareketli elektrot grubu	21
3.3.1.2. Denge bloğu	22
3.3.1.3. Sabit alt çene	22
3.4. Elektrodun çalışma şekli	22
3.5. Soğutma kanalları	23
3.6. Statik Analiz ile Tasarımın Doğrulanması	24
3.6.1. Elektrot malzeme özellikleri	25
3.6.2. Uygulanacak kuvvet ve sınır şartları	26
3.6.3. Analiz sonuçları	30
3.6.3.1. Von Mises gerilmesi	30
3.6.3.2. Sonuçların yorumlanması	31

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
4.1. Elektrodun İmalatı	33
4.1.1. Kuvvet dağılımları	33
4.1.2. Akım dağılımları	34
4.1.3. Isı oluşumu ve sıcaklık dağılımı	35
4.2. Kaynak İşlemleri	35
4.2.1. Kaynak bağlantıları	37
4.2.2. Numune parçalarla denemeler	39

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	41
5.1. Deneme Sonuçları	41
5.1.1. Parametreler	42
5.1.2. Karşılaştırma	42
5.2. Çoklu Nokta Kaynağının Geleceği	42

KAYNAKLAR	44
EKLER.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	48



KISALTMALAR

CAD	: Computer Aided Design
CYC	: Cycle
DIN	: Deutsches Institut für Normung
FEA	: Finite Element Analysis
FEM	: Finite Element Method
KVA	: Kilo-Volt Amper
MHZ	: Megahertz

SİMGELER

a	: Dalga boyu
c	: Işık hızı
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
CuCrZr	: Bakır krom zirkonyum
D	: Kaynak çekirdek çapı
f	: frekans
F	: Kuvvet
I	: Akım
kA	: Kilo amper
kN	: Kilo newton
N	: Newton
R	: Direnç
t	: Zaman
T	: Parça kalınlığı
Q	: Isı miktarı
Zr	: Zirkonyum
°F	: Fahrenheit
°C	: Santigrat

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1 : Elektrot Kuvveti Dağılımları.	33
Tablo 4.2 : Kaynak Makinesi Kaynak Parametreleri.	35
Tablo 4.3 : Ultrasonik muayene sonuçları	37
Tablo 4.4 : Numune parça çekirdek çapı kontrol sonuçları.	39



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Salınımlı Çoklu Nokta Kaynağı Elektrodu. [4]	3
Şekil 1.2: Çoklu Elektrot Tutucu. [5].....	4
Şekil 1.3: Kendinden Ayarlanan Nokta Kaynağı Tutucusu. [6]	5
Şekil 2.1: Nokta direnç kaynağının çalışma şekli.	6
Şekil 2.2: Tahribat testi.	10
Şekil 2.3: Nokta kaynağında oluşan çekirdek.	10
Şekil 2.4: Nokta kaynağında kopma örnekleri.	10
Şekil 2.5: Ultrasonik muayene cihazı.	12
Şekil 2.6: Nokta kaynağı makine örnekleri.	13
Şekil 2.7: Sabit direnç nokta kaynak makinesi.	14
Şekil 2.8: Elde taşınabilir nokta kaynak makinası.	15
Şekil 3.1: Dengensha sabit nokta kaynağı makinesi.	19
Şekil 3.2: Konsept tasarımlar.	20
Şekil 3.3: Hareketli elektrot grubu, denge bloğu ve sabit alt çene.....	21
Şekil 3.4: Elektrodun çalışma prensibi.....	23
Şekil 3.5: Çoklu nokta kaynağı elektrodu üç boyutlu tasarımı.	24
Şekil 3.6: Mekanik ve Kimyasal Özellikleri.	25
Şekil 3.7: Uygulanan kuvvet.	26
Şekil 3.8: Sınır şartları.	27
Şekil 3.9: Temas yüzeyleri.	28
Şekil 3.10: Analize yay eklenmesi.	29
Şekil 3.11: Sabitlemiş noktalar.	29
Şekil 3.12: Von mises.	31
Şekil 3.13: Sonlu elemanlar dağılımı. (Mesh)	31
Şekil 3.14: Von Mises gerilim dağılımı.	32
Şekil 3.15: Gerilim noktasının ayrıntısı.	32
Şekil 4.1: Çoklu nokta elektrodunun sabit nokta kaynağı makinesine montajı	32
Şekil 4.2: Akım dağılımları grafiği	33
Şekil 4.3: Termal Kamera Ölçümleri.	34
Şekil 4.4: İş parçası ve kaynak noktaları.....	35
Şekil 4.5: Kaynak denemeleri.	36
Şekil 4.6: Tahribatlı muayene yapılmış iş parçası.	38
Şekil 4.7: Numune parça fikstürü.....	38
Şekil 4.8: Numune parça kaynak denemeleri.....	39
Şekil 5.1: Denemelerde kullanılan iş parçası.	40
Şekil 5.2: Nokta kaynağı robotu.....	42
Şekil A.1: Tasarım Görselleri: (a) Üst hareketli elektrot. (b) Alt sabit elektrot.....	45
Şekil A.2: Analiz Sonuçları: (a)Mesh dağılımı, (b) Özel Mesh bölgesi, (c) Statik analiz gerilme dağılımı, (d) En yüksek gerilim noktası, (e) Denge bloğundaki max yer değiştirme, (f) Elektrot grubundaki max yer değiştirme.....	46

ÇOKLU NOKTA KAYNAĞI ELEKTRODU TASARIMI VE UYGULAMASI

ÖZET

İki elektrodun iki veya daha fazla sac metali belli bir kuvvet ile sıkıştırması ve bu sırada elektrotların üzerinden yüksek akım geçmesi ile metallerin erimesi ve eriyen metallerin ek bir birleştirme malzemesi olmadan birleştirilmesi işlemine nokta kaynağı denilmektedir.

Nokta kaynağı, 20. yüzyılın başlarından itibaren otomotiv gövde parçalarının birleştirilmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Araç gövdesinin oluşturulması esnasında kullanılan kaynak yöntemlerinin %85'i nokta kaynağı olup, genellikle tek zamanda ve tek noktaya yapılan birleştirme işlemi şeklinde kullanılmaktadır. Nokta kaynağının kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber, kaynak zamanlarını azaltmak ve daha verimli sistemler için çoklu nokta kaynağının yapılabildiği sistemler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada elektrik direnç nokta kaynağında iki noktaya aynı anda kaynak yapabilecek “çoklu nokta kaynağı elektrodu” tasarımı yapılarak kaynak prosesinin verimliliğinin artırılması amaçlanmaktadır. Bu elektrot yapısı sayesinde iş parçasının yapısında olan veya tip kaynaklı oluşabilecek kot farkı tolere edilerek basınç dengesi sağlanmıştır. Kaynak numuneleri çoklu nokta kaynağı elektrotlu 50 kVA'lık sabit nokta kaynağı makinesi kullanılarak hazırlanmıştır. Kaynak zamanı 17 periyot (1 periyot = 0,02 s) olarak seçilmiş bununla birlikte kaynak akım şiddeti 16 kA uygulanmıştır. Elektrot kuvveti ise 4,4 kN olarak sabit tutulmuştur Kaynak işlemleri öncesinde makine üstünde basınç ve akım ölçümleri yapılmış, elektrotların üzerindeki kuvvet ve akım dağılımları gözlemlenmiştir. SCGA980DUB-45 malzemeye sahip 1,8 mm ve 1,4 mm kalınlıktaki iki parçanın nokta kaynağı ile birleştirilmesi sonucu elde edilen bağlantıların ultrasonik ve tahribatlı muayeneleri yapılmıştır. Sonuç olarak çoklu nokta kaynağı elektrotlarının özellikle otomotiv sektöründe farklı nokta kaynağı proseslerinde kullanılmasının verimliliği artırıcı bir etkisi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çoklu Nokta Kaynağı, Otomotiv, Elektrot, Ultrasonik muayene, Tahribatlı Muayene

MULTI SPOT WELDING ELECTRODE DESIGN AND APPLICATIONS

SUMMARY

The process of pressing two or more sheet metals with a certain force by two electrodes and melting metals by passing high current over the electrodes and joining the melted metals without an additional joining material is called spot welding.

Spot welding has been used extensively for joining automotive body parts since the early 20th century. The welding methods used during of 85% the creation of the vehicle body are spot welding, and they are generally used in a single time and single point joining process. With the widespread use of spot welding, systems where multi-spot welding can be performed have been developed to reduce welding times and to achieve more efficient systems.

In this study, it is aimed to increase the efficiency of the welding process by designing a "multi spot welding electrode" that can weld two points simultaneously in electrical resistance spot welding. Thanks to this electrode structure, the level difference in the structure of the workpiece or that may occur due to the type is tolerated and pressure balance is provided. Welding samples were prepared using a 50 kVA fixed spot welding machine with multiple spot welding electrodes. Welding time was chosen as 17 periods (1 period = 0.02 s), however, the welding current intensity was applied as 16 kA. Electrode force was kept constant at 4.4 kN. Before welding, pressure and current measurements were made on the machine and the force and current distributions on the electrodes were observed. Ultrasonic examination and destructive test of the joints obtained as a result of combining two parts with SCGA980DUB-45 material with 1.8 mm and 1.4 mm thickness by spot welding were performed. As a result, it has been observed that the use of multiple spot welding electrodes in different spot welding processes, especially in the automotive sector, has an efficiency-increasing effect.

Keywords: Multi Spot Welding, Automotive, Electrode, Ultrasonic examination

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otomotiv gövde parçalarının birleştirilmesi sürecinde en sık uygulanan kaynak yöntemi olan nokta kaynağı; 1877’de Elihu Thomson tarafından keşfedilmiştir [1]. Nokta kaynağı 20. yüzyılın başından itibaren otomotiv üreticileri başta olmak üzere üretim yapan farklı sektörlerde kullanılmaktadır. İki elektrodun iki veya daha fazla sac metali belli bir kuvvet ile sıkıştırması esnasında elektrodların üzerinden yüksek akım geçmesi ile metaller erimekte ve bu yöntem ile metaller ek bir birleştirme malzemesi olmadan birleştirilmektedir. Bu proses sırasında önemli olan parametreler; sıkıştırma kuvveti, kaynak zamanı, kaynak akımı ve malzemelerin özellikleridir. Diğer kaynak proseslerinde olduğu gibi nokta kaynağının kalitesi de parametrelerden doğrudan etkilenir. Bu sebeple gerekli sağlamlıkta, kaliteli bir bağlantı için kaynak parametrelerinin doğru seçimi önemlidir [2].

Araç gövdesinin oluşturulması esnasında kullanılan kaynak yöntemlerinin %85’i nokta kaynağıdır. Nokta kaynağı; ısıya maruz kalan bölgenin küçük olması, hızlı yapılabilmesi ve kolay erişilebilirliği sebebiyle tercih edilmektedir [1]. Montaj hattında diğer üretim operasyonlarıyla birleştirilebilmesi, kaynağın kontrol edilebilirliği, yarı otomatik makina kullanımının ekonomik oluşu ve bu sayede kaynak parametrelerinin ayarlanabilirliği ile hızlı bir üretim ve kaliteli kaynak üretilmesi de nokta kaynağının diğer avantajlarıdır [3].

Otomotiv endüstrisinde kullanılan nokta kaynağı; tek bir zamanda tek bir noktanın birleşmesinde kullanılmaktadır. Bu tek noktanın birleştirilmesi için yapılan kaynak, sabit nokta kaynağı makineleri ile yapılabildiği gibi robotlar yardımıyla da yapılabilmektedir. Mevcut durumda kaynak için harcanan süreler, özellikle çok fazla kaynak noktası olan parçalar için oldukça uzun olmaktadır. Bu çalışmada kaynak verimliliğini arttırmak için, klasik elektrotlar yerine kullanılabilecek ve aynı anda iki adet nokta kaynağı yapabilen elektrot tasarımı yapılması ve tasarlanan ekipman ile elde edilen bağlantıların kalitesi tez konusu olarak seçilmiştir.

1.1. Çalışmanın İhtiyaçları

Nokta kaynağı kolay uygulanabilir olduğu için çok fazla tercih edilen kaynak yöntemlerinden birisidir. Kalite kontrolü diğer kaynak yöntemlerine göre daha kolaydır. Tahribatlı muayene ile kontrol edilebildiği gibi görüntüleme teknolojilerinin gelişmesiyle beraber imalat parçasına zarar vermeyen ultrasonik muayene yöntemiyle de nokta kaynağı kalitesi ve çekirdek çapı kontrol edilebilmektedir.

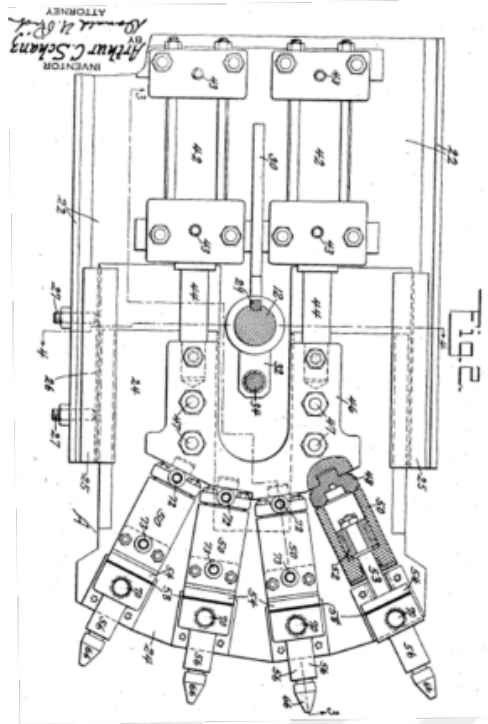
Tek nokta kaynağı yapan makina veya elektrotların oluşturduğu çekirdek çapı veya kalitesi parametrelerin değişkenliği ile ayarlanabilmektedir. Bu çalışmada tasarlanan elektrot yapısı ile yapılan nokta kaynaklarında bu parametrelerin değişiminin kontrolü çok daha fazla önem taşımaktadır.

Makinede bir problem bulunmaması halinde tek bir noktadan yapılan kaynaklarda kaynak noktasında oluşacak basınç ve akım değeri teorik olarak bilinmektedir. Ancak ikili elektrot yapısında akım ve basınç dağılımı farklı parametrelere bağlı olarak değişebilmektedir. İkili elektrot yapısında istenilen şekilde kaynak kalitesinin elde edilebilmesi için basınç ve akım dağılımının eşit miktarda ve varyasyonsuz olması önem taşımaktadır. Yapılan ikili elektrot tasarımında bu noktalar göz önünde bulundurulmuş ve istenilen kalitede nokta kaynağı sağlanması amaçlanmıştır.

Kaynağa etki eden direncin eşit olması gerekmektedir. Bunun için özel tedbirler alınmalıdır. Dirençlerdeki eşitsizlik akım değerlerini etkiler ve her kaynak için farklı olmasına neden olur. İki elektrodun da uç şekli ve yüzey şartları aynı olmalıdır. Ayrıca iki elektrodun iş parçası üzerine uyguladığı kuvvet ve iş metali kalınlığındaki eşitsizlikler her durumda aynı olmalıdır [3].

1.2. Literatür ve Tarihçe

Nokta kaynağının kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber, kaynak zamanlarını azaltmak ve daha verimli sistemler oluşturmak için çoklu kaynak sistemleri arayışlarına girilmiştir. A.C. Shanz 1942 yılında yaptığı patent başvurusunda; oval parçalar için sıra ile nokta kaynağı yapan bir makinaı tescilletmiş ve aynı anda birden çok nokta kaynağı atan makinaların ilk örneklerinden birini ortaya koymuştur [4].



Şekil 1.1 : Salınımlı Çoklu Nokta Kaynağı Elektrodu [4].

Üç genel tipte çoklu nokta kaynak makinesi vardır; basınç kontrollü, anahtar kontrollü ve çoklu transformatörlü.

1.2.1. Basınç kontrollü çoklu nokta kaynağı makineleri

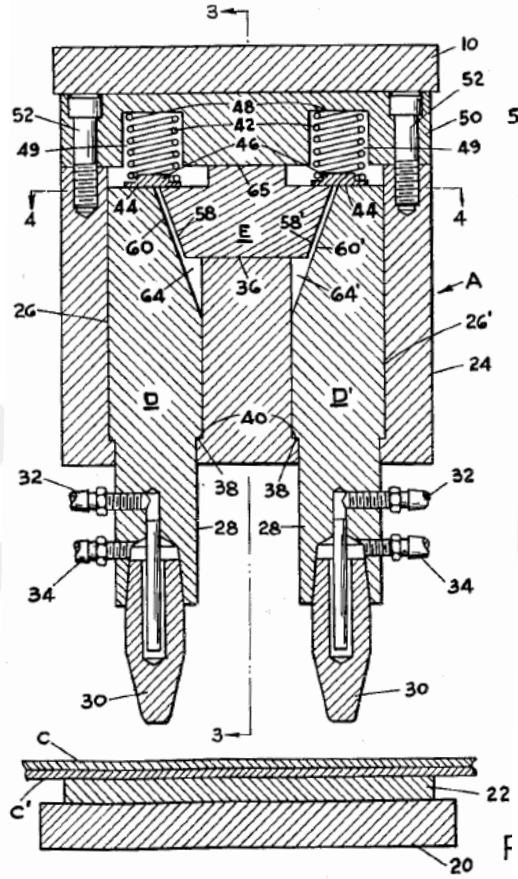
Basınç kontrollü makinede her bir tabanca veya elektrot tutucu; tabancaları istenen sırada çalıştıran valfler sayesinde tetiklenen hidrolik veya pnömatik silindir ile basınç sağlar ve aynı zamanda valf ile senkronize olan bir anahtar, tabancaların hareketiyle kaynak akımını başlatır. Tüm tabancalar ortak bir baraya bağlı olup, aynı anda enerjilendirilse de, sadece iş parçası ile temas eden tabanca akım taşır. Böylece her bir tabanca, diğer tabancalardan bağımsız olarak basınç uygulamak için ayrı ayrı çalıştırılır ve sadece basınç uygulayan tabanca akım taşır.

1.2.2. Anahtar kontrollü çoklu nokta kaynağı makineleri

Anahtar kontrollü makinelerde, tabancalar hidrolik veya pnömatik olarak tek bir valf ile ortak bir başlığa bağlanır ve böylece çalışma sırasında tüm tabancalar tam basınç altında aynı anda çalışmaya başlar. Bununla birlikte elektriksel olarak her bir tabanca istenildiği zaman açılabilen bir kontrol anahtarı bağlanır ve bu sayede kaynak akımı bir seferde yalnızca bir tabancaya beslenir.

1.2.3. Çoklu transformatörlü tip çoklu nokta kaynağı makineleri

Anahtar kontrollü tipte olduğu gibi çoklu transformatörlü tip makinede de; tüm tabancalar aynı anda kaynak basıncı uygular. Tüm tipler ayrı ayrı çoklu transformatöre bağlanarak tüm kaynaklar aynı anda yapılır. Ancak bu tür sistemlerde karışık bir devre şeması ortaya konmaktadır [5].

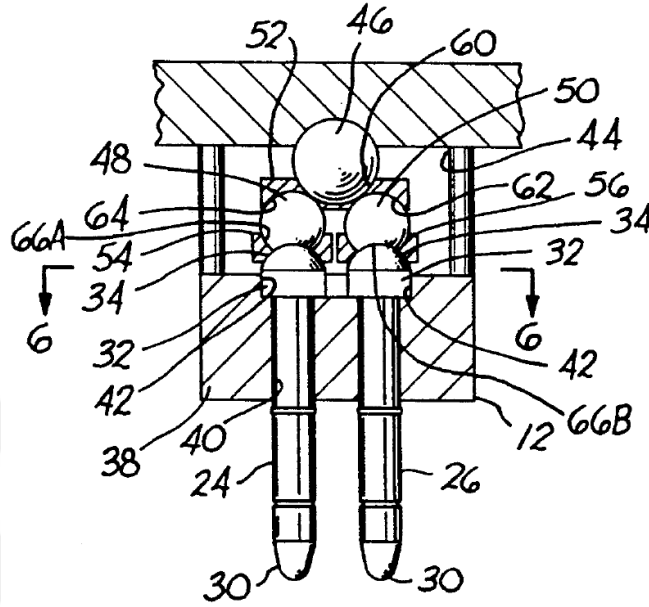


Şekil 1.2 : Çoklu Elektrot Tutucu. [5]

1.2.4. Özel elektrot tipli çoklu nokta kaynağı

Çoklu nokta kaynağı sistemlerinde genellikle her biri yerine sabitlenmiş birden çok elektrot kullanır. Bazı elektrotlar iş parçası kalınlığındaki ve elektrot aşınmasındaki farklılıklar nedeniyle iş parçasına diğer elektrotlardan daha fazla basınç uygular. Elektrotlar; akımı uçlar arasında eşit bölerek iş parçası üzerine eşit basınç uyguladıklarında en iyi şekilde çalışırlar. Düzensiz uç basıncı bu sistemlerin düzenli çalışmasını engeller. Robert L. Smith 1994 yılında patentini aldığı tasarım ile çok elektrotlu bir nokta kaynak aparatını tescillemiştir. Elektrot uçları bir iş parçasına

temas ettiğinde, elektrotlardan biri tarafından uygulanan eşit olmayan basınç diğer elektrotları hareket ettirecek şekilde küçük bilyeli yataklarda yerleştirilmiş elektrot şaftlarının iç uçlarına sahiptir. Böylece tüm uçlardaki basıncı eşitleme imkanına sahip olunmuştur [6].



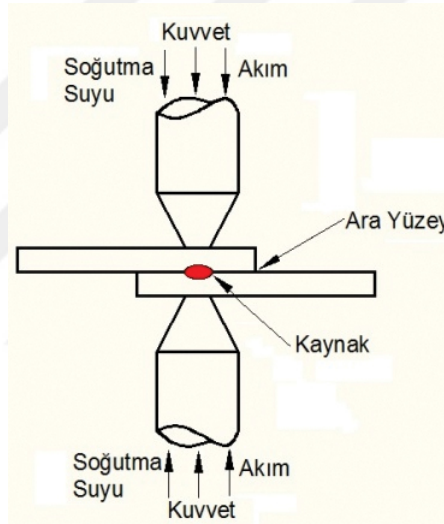
Şekil 1.3: Kendinden Ayarlanan Nokta Kaynağı Tutucusu [6].

Nokta kaynağı; günümüzde daha fazla otomasyon elde etme çabası sebebiyle araba gövdesi üretiminde daha sık kullanılmakta ve bu kaynakların çoğunluğu robotlar tarafından yapılmaktadır. 2018 yılında önde gelen otomotiv üreticilerinden Volkswagen tarafından alınan patentte; Mafsallı bir yapı oluşturularak çoklu nokta kaynağı yapısı robotlara entegre edilmiştir [7].

BÖLÜM 2. DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

2.1. Direnç Nokta Kaynağı Çalışma Şekli

Direnç nokta kaynağı; Uygulanan kuvvet etkisi ile iki elektrot arasında sıkıştırılan parçaların, üzerlerinden geçen elektrik akımına gösterdikleri direnç sonucu ortaya çıkan ısı enerjisi ile kaynak yapılması yöntemidir.



Şekil 2.1 : Nokta direnç kaynağının çalışma şekli.

Kaynak için ihtiyaç duyulan akım; şebekeden gelen elektrik akımını, kaynak için uygun akıma çeviren makinalardan sağlanır. Gerekli kuvvet genellikle pnömatik etkili donanımlarla gerçekleştirilir.

I akımı ifade eder, R dirençtir, t ise kaynak zamanı; aşağıda görüldüğü gibi joule kanununu ile çıkan J birim ısı miktarı hesaplanabilir.

$$Q = I^2 R t \quad (2.1)$$

Burada (2.1)'de R olarak; iş parçasının direnci, elektrot direnci ve temas dirençlerinin toplamı alınarak ısı hesabı yapılır [8].

2.2. Isı Oluşumuna Parametrelerin Etkisi

2.2.1. Kaynak bölgesindeki ısı

Kaynak bölgesinde ihtiyaç duyulan ısı enerjisi; sadece akım, direnç ve zamanın Joule etkisi ile ilgili olmayıp, aynı zamanda malzemenin kaynağa olan uygunluğu ile de ilgilidir. Kaynak akımının etkisi ile kaynak zamanı sırasında oluşan ısı miktarının şartları şu şekildedir;

- Malzemelerin ve elektrotların ısı iletim özellikleri,
- Elektrot ve malzemelerin temas noktalarının yüzey durumu ve yüzeyin temiz yada kirli oluşu,

Nokta kaynağının oluşabilmesindeki en önemli faktör; ısının birikmesidir. ısı birikmesi; iletilen ısıdan daha büyük ısı üretilmesidir. Fazla olan soğuma hızları, malzemelerde sertleşme sebebiyle çatlağa neden olabilir. Su yardımıyla soğutulan elektrotlarda ısı iletim kabiliyetinin yüksek olması istenir, bu sayede elektrot ile kaynak yapılan malzeme arasında oluşan sıcaklığı düşük tutmak mümkün olur. Böylece alaşımlaşma (malzeme ve elektrot için) en az miktarda kalır [9].

2.2.2. Isı oluşumuna kaynak akımının etkisi

Kaynak akımı Joule kanununda ısıya etki eden en önemli değişkendir. İstenen değerlerin altında kalan ısı enerjisi miktarı, istenen bağlantıyı oluşturmaya yeterli olmakta, bununla beraber kaynak dayanımının düşmesine de neden olmaktadır [10].

2.2.3. Isı oluşumuna elektrot kuvvetlerinin etkisi

Yetersiz olarak oluşturulan basınç, temas noktasındaki direncin düzensiz olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, farklı kaynak akımları yani farklı kaynak noktası dayanımları oluşur. Büyük elektrot kuvveti uygulandığında ince olan yüzey tabakaları ezilmekte ve böylece elektrot temas yüzeyi büyük olmaktadır [11].

2.2.4. Isı oluşumuna kaynak zamanının etkisi

Kaynak süreleri malzeme kalınlığı ve özelliklerine göre değişmektedir. Bir kaç periyottan oluşabildiği gibi saniyeler içerisinde de olabilmektedir. Yüksek ısı iletimi için gereken ısı miktarını bir anda üretmek yerine, akımı daha düşük güçte uzun süreler uygulamak kaynak kalitesi açısından çok daha uygundur.

Kaynak süresinin uzamasıyla kaynak bölgesinde eriyen kısım artmakta ve böylece kaynak çekirdek çapı büyüyerek içindeki eriyen malzeme miktarı da çoğalmaktadır. Bunun sonucunda çapak oluşumu artmakta, gözenek ve malzeme yüzeylerinde istenmeyen deformasyonlar oluşmaktadır. Özellikle kalınlığı belli sınırların üstünde olan parçalarda sürekli bir kaynak zamanı yerine, farklı çevrimlerde verilen kaynak süreleri daha kaliteli bağlantı noktaları oluşmasını sağlamaktadır [9].

2.3. Kaynak Parametrelerin Ayarlanması

2.3.1. Kaynak akım ayarı

Kaynak akımı iş parçasının kalınlığı ve malzeme özelliklerine göre belirlenir. Sabit nokta kaynağı makineleri yada robot kaynak tabancalarında akım sekonder devreden akar.

Kaynağın kalitesinin değişmemesi için kaynak akımının uygulamalar sırasında tekrarlanabilir olması çok önemlidir. Değişken kaynak akımı parametresi kaynak kalitesinde değişkenliklere sebep olabilir.

2.3.2. Elektrot kuvveti ayarı

Elektrot kuvveti, kaynak noktasında kaynak çekirdeği oluşması için iki malzemenin temas yüzeyini arttırır. Yetersiz kuvvetin yarattığı etki kaynakta çapak, gözenek ve kırılma gibi uygunsuzluklara neden olur. Bundan dolayı

elektrotları sıkıştırarak olan kuvvetin, malzeme özellikleri ve kaynak yöntemine göre doğru seçilmesi gerekmektedir.

Aynı şekilde fazla uygulanacak kuvvet yani elektrot kuvveti fazla olur ise, parçaların temas direnci azalır, bu noktada kaynak sebebiyle oluşacak ısının azalmasına sebep olabilir [12].

2.3.3. Kaynak zamanı ayarı

Kaynak akımının ne kadar süre uygulanacağı, kaynak akım şiddeti ile bağlantılıdır. Yüksek akım değerlerinde kısa süreli kaynak süreleri tercih edilirken, düşük kaynak akımlarında uzun süreli kaynak akımları tercih edilir. Kaynak süreleri saniyenin 1/50'si olan periyot ile ifade edilir.

2.4. Kalite Kontrolü

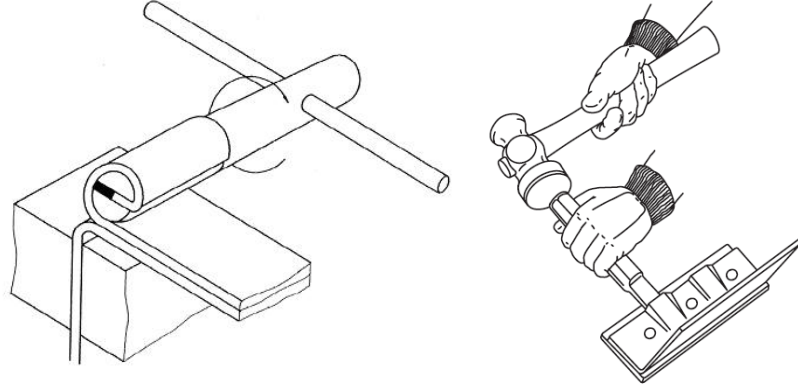
Kaynak kalitesinin kontrolü için farklı yaklaşımlar uygulanmaktadır. Ortaya çıkan bağlantının görsel olarak uygunluğuna bakılmakta, nokta kaynağında delik, çukur, yanık gibi anormallikler istenmemektedir.

2.4.1. Kaynak noktasının güvenilirliği

Nokta kaynağında statik sağlamlığının kontrolü için şu deneyler yapılmaktadır; Çekme - makaslama deneyi, U biçimi çekme deneyi, haç biçimi çekme deneyi, burulma deneyi vb. Bu deneyler kaynaklanan parçayı deforme ederek kaynak çekirdek kalitesinin kontrolünü sağlamaktadır.

İmalat sırasında yukarıdaki testleri yapmak pratik değildir. Bundan dolayı imalat sürecinde tahribat testleri yada görüntüleme teknolojilerinin gelişmesiyle ortaya çıkan ultrasonik muayene yöntemleri kullanılmaktadır.

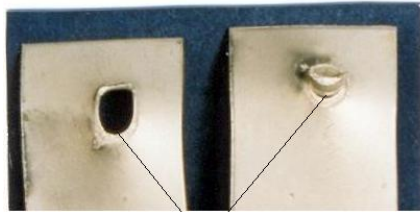
Böylece kaynak kalitesi zaman kaybı yaşamadan kontrol edilebilmekte, parametreler gerekiyorsa tekrar düzenlenmektedir.



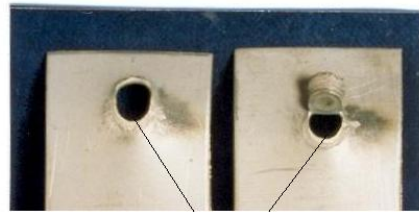
Şekil 2.2 : Tahribat testi.



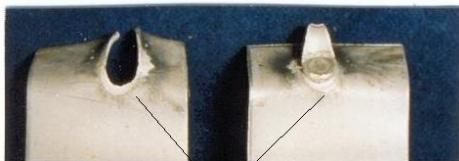
Şekil 2.3 : Nokta kaynağında oluşan çekirdek.



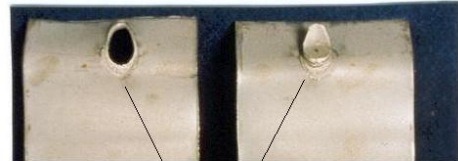
YIRTILMA TIPI KOPMA



YIRTILMA TIPI KOPMA



YIRTILMA TIPI KOPMA



YIRTILMA TIPI KOPMA

Şekil 2.4 : Nokta kaynağında kopma örnekleri.

Tahribat sonucu ortaya çıkan çekirdek çapları yukarıdaki resimlerde görülmektedir [12].

2.4.2. Tahribatsız muayene

Tahribatsız muayene terimi; bir malzeme veya parçaya zarar vermeden veya kullanışsız hale getirmeden, o anki proses hakkında bilgi veren malzeme test yöntemleridir. Tahribatsız muayene sadece tamamlanmış ürünlerin değil, farklı şekillerde yarım kalmış ve hatta ham madde olan ürünlerin kalite kontrolünde de önemli rol almaktadır. Tahribatsız muayene üretim işlemleri sırasında, ürün kalitesi kontrolü ve yeni bir ürün geliştirilmesi sırasında kullanılabilir. Kaynaklı bağlantılarda kalıcı belge bırakması açısından kullanılan yöntemler radyografik ve ultrasonik yöntemlerdir. Ultrasonik test, radyografik teste göre avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Ama yine de birbirini tamamlayan testlerdir. Ultrasonik muayenenin tek dezavantajı gerçekten eğitilmiş ve tecrübeli operatörlere ihtiyaç duyulmasıdır.

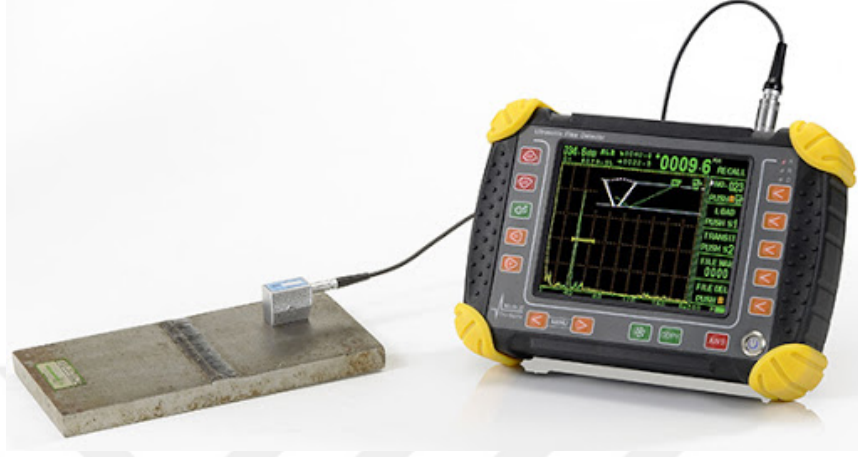
Ultrasonik prensip katı malzemelerin ses dalgaları için iyi bir iletken olması temeline dayanır. Bu vasıta ile dalgalar sadece sınırlarda geri yansımazlar. Aynı zamanda iç hatalar tarafından (malzeme ayırmaları, inklüzyonlar vs.) geri yansıtılmaktadır. Malzeme ile ses dalgalarının etkileşimleri daha güçlüdür. Dalga boyunun küçüklüğü, dalga frekansını etkiler çünkü aralarında ters orantı vardır.

$$a = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

a = dalga boyu (mm), f = frekans (MHz), c = ses hızı (km/s)

Ultrasonik dalgalar genel olarak 0,5 MHz ile 25 MHz arasındaki frekans aralığında kullanılır. Dalga boyu bu formülden mm olarak bulunur. Daha düşük frekanslarda iç hatalarla dalgaların etkileşimleri çok az olduğundan, algılanması oldukça güçtür. Her iki test metodu radyografi ve ultrasonik test, iç hatalar için farklı test parçalarını muayene etmede çok sık olarak kullanılır. Bugün çoğu testi daha ekonomik ve hiçbir

riski olmayan ultrasonik test metoduyla yapmak mümkündür. Öbür yandan özel test problemleri daha önceleri olduğu gibi radyografi kullanılarak çözülmektedir. Çok yüksek emniyet gereksinimi duyulduğu durumlarda (örneğin nükleer reaktörler, uzay endüstrisi) her iki metotta kullanılır [13].



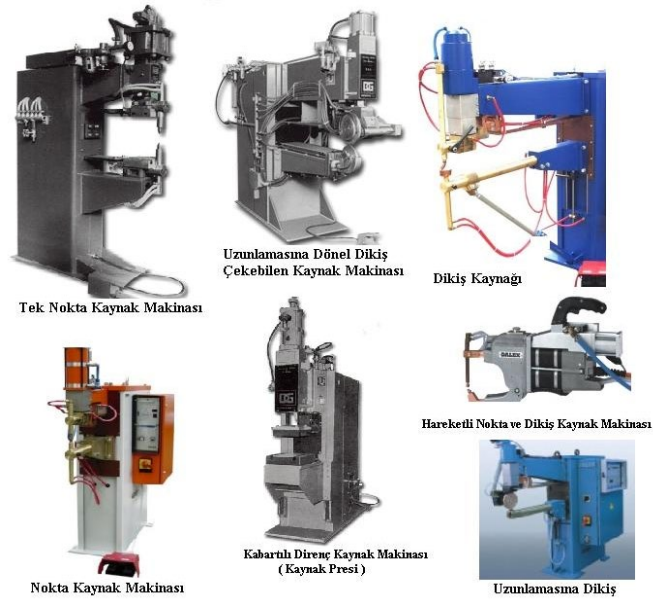
Şekil 2.5 : Ultrasonik muayene cihazı.

2.5. Direnç Nokta Kaynak Makineleri

Direnç nokta kaynağı için kullanılan makineler, otomasyonel gereksinimine göre basit veya karmaşık olabilmektedir. Otomotivde kullanılacak makineler için tam otomatiklik, hassaslık ve yüksek güç gerekir.

Son teknoloji makinelerde kaynak parametreleri ayarlanabilmekte farklı program ve impulsu parametreler tanımlanabilmektedir.

Nokta kaynak makineleri iki çeşit olarak sınıflandırabilir; bunlar hareketli ve sabit makinelerdir. Şekil 2.5'te direnç nokta kaynak makinaları gösterilmektedir.



Şekil 2.6 : Nokta kaynağı makine örnekleri.

Kaynak makinelerini kullanım şekline göre üç gruba ayırabiliriz

1. Sabit Nokta Kaynağı Makineleri
2. Taşınabilir Nokta Kaynağı Makineleri
3. Çoklu Nokta Kaynak Makineleri

2.5.1. Sabit nokta kaynağı makineleri

Bu makinelerin üst grubu doğrusal bir şekilde hareket ederken alt grup sabittir. Alt elektrot grubu dikey yönde ayarlanabilmektedir. Üst grubun hareketi genellikle hava nadiren hidrolik silindirler ile sağlanır. Kuvveti oluşturmak için genellikle hava basıncı kullanılır, Hidrolik silindirler çok yüksek (500 KVA'den daha büyük) değerlere sahip makinelerde kullanılmaktadır.

Hava etkili makinelerde valf tetiklemesiyle silindiler hareket ettirilir. Hareket eden üst elektrot aşağıya doğru iner ve alt elektrotla beraber parçayı sıkıştırır. Elektrotların sağlandığı kuvvet sabittir yada ayarlanabilir olur. Günümüzde kuvvet ayarlı makineler çoğunluktadır.

Sabit nokta kaynağı makineleri, genel olarak nokta ve kabartma kaynağının her ikisini de yapabilecek şekilde elektrot kolları ve tablaları ile donatılmışlardır [12].



Şekil 2.7 : Sabit direnç nokta kaynak makinesi.

2.5.2. Taşınabilir nokta kaynağı makineleri

Parçalar geometrileri yada bulundukları konum gereği bazen kaynak makinelerine taşınamazlar. Böyle durumlarda kaynak makinesi parçaya taşınır.

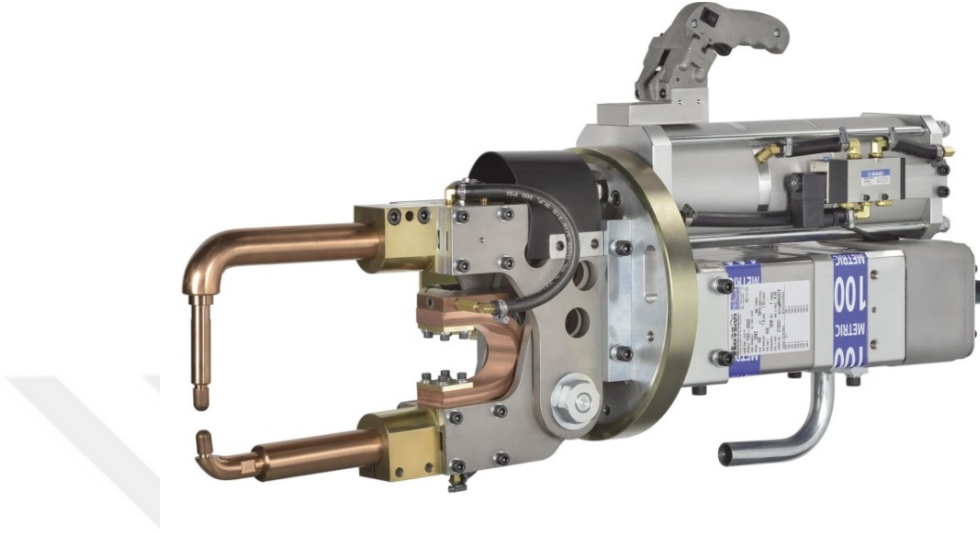
Üç kısımdan oluşurlar;

1. Taşınabilir kaynak tabancası
2. Kontrol ünitesi
3. Transformatör

Transformatör ve kaynak tabancası arasında elektrik iletimini sağlayan sekonder devre kabloları ve hortumlar, kaynak tabancası ve su yardımıyla soğutulan elektrotları, elektrotların kolları ve hortumları, pnömatik veya hidrolik olan elektrotların kapanıp gerekli basıncı sağlamasını sağlayan silindirler ve bu mekanizmayı başlatma butonları içerir.

Hidrolik basınçlı sistemler genellikle bir hidro-pnömatik yapı kullanılarak istenen basınç sağlanır. Taşınabilir makinelerde sekonder kayıpları yüksek olmasından dolayı taşınabilir makinelerin sekonder voltajları aynı kapasitedeki sabit makinelerinkinden 4 kat fazladır. Taşınabilir makinelerde, transformatör, primer

devre sargı sayısı değiştirme anahtarı, kontrol üniteleri çalışma bölgesinin üstüne asılarak kullanılır. Kaynak tabancasında benzer olarak bir dengeleme sistemi yardımıyla çalışma bölgesinin üstüne asılır. Bu dengeleme sistemi tabancanın kullanımını kolaylaştırır [12].



Şekil 2.8 : Elde taşınabilir nokta kaynak makinası.

2.5.3. Çoklu nokta kaynak makineleri

Bunlar özel imalat makineleridir. İmalat hızının yüksek olduğu veya çok fazla noktadan kaynak yapılan işlemlerde kullanılırlar. Bu makinelerin ilk kurulum masrafları yüksektir. Fakat işletme masrafları tek nokta kaynağı makinelerine göre düşüktür.. Bu makinelerde çoğu zaman her bir kaynak kafası ayrı bir transformatöre bağlıdır.. Kaynaklar aynı anda veya sıralı gerçekleştirilir [12].

2.6. Kaynak Makinesi Sistemleri

Kaynak makinelerinde bulunan sistemleri üç ana sınıfa ayırılır;

2.6.1. Elektrik devresi

Elektrik devresi, primer sargı sayısını değiştirmek için anahtar, kaynak transformatörü, ve sekonder devreden oluşur. Sekonder devre kaynaklanan parçalara akım ileten elektrotları da kapsar.

Direnç nokta kaynağında kullanılan kaynak makineleri tri fazlı şebeke alternatif akımını, 2 ile 20 volt arasında düşük bir gerilime düşürürler. Makinenin tri fazlı veya mono olarak seçilmesinde makinenin kapasitesi, ilk maliyet, işletme ve bakım maliyeti dikkate alınır. Mono fazlı makineler daha ekonomiktir bundan dolayı sıklıkla tercih edilirler.

2.6.2. Kaynak transformatörü

Kaynak transformatörü şebekenin yüksek gerilim gücünü, yaklaşık güçteki düşük gerilim gücüne çevirirler. Transformatör devresi genel olarak:

- manyetik devre,
- Şebeke ile bağlı primer sargı,
- Elektrotlara gücü sağlayan sekonder sargıdan (genellikle bir veya iki sargıdan oluşur) meydana gelir.

2.6.3. Kontrol cihazı

Kaynak akımının ne zaman başlatılacağını, işlemlerin ne kadar süreceğini ve hangi sırada gerçekleştirileceğini bu cihaz sağlar. Ayrıca bazen kaynak akım parametresinin değiştirilmesinde kullanılabilir.

Kontrol cihazının üç temel fonksiyonu vardır.

- Kaynak akımının başlatılması ve sonlandırılması,
- Kaynak makinesindeki mekanik hareketlerin zamanlamasını ayarlamak,
- Kaynak akımı parametresini ayarlamak

2.6.4. Zaman ayar cihazları

Kaynak işlemlerinin sırasını ve bu kaynak işlemlerindeki sürelerin ayarlanmasını sağlar. Bunlar iki tiptir; senkronize veya nonsenkronize. Zaman ayar cihazları, hemen hemen tüm kaynak prosesleri için gerekli olan dört ana işlemin zamanının ayarlanmasında kullanılırlar. Bu işlemler:

- Elektrotların kapatılması ve kuvvet uygulanması,
- Kaynak akımının başlatılması

- Kaynak akımının sonlandırılması ve elektrot kuvvetinin devamlılığını sağlamak,,
- Elektrotların açılması,.

2.6.5. Kaynak akımının ayarı için faz kaydırma

Kaynak akımı ana ayarı için primer devre üzerindeki, sargı sayısı değiştirme anahtarı, kullanılır. Eğer ara veya daha hassas bir ayar gerekiyorsa bu takdirde elektronik olan faz kaydırma cihazları kullanılabilir.

2.6.6. Mekanik kısım

Mekanik kısımlar ise makine gövdesi, kaynak kuvveti sağlamak için ekipmanlar ve elektrotları soğutmak için soğutma devresi içerir [12].

BÖLÜM 3. TASARIM VE ANALİZ

3.1. Üç Boyutlu Tasarım

Bilgisayar destekli tasarım programları 1980'lerden itibaren, özellikle büyük bir iş gücü olmayan daha küçük şirketlerde teknik ressamalara olan ihtiyacı önemli ölçüde azalttı. 3 boyutlu tasarım yazılımlarının satın alınabilirlikleri ve kişisel bilgisayarlarda çalışabilme yetenekleri, mühendislerin kendi taslak işlerini yapmalarına izin vererek tüm departmanlarda teknik ressamalara olan ihtiyacı neredeyse ortadan kaldırdı. Günümüzde, üniversitelerdeki pek çok öğrenci manuel çizim tekniklerini öğrenmeye artık ihtiyaç duymuyor. Nihai çizimler için elle çizim günleri neredeyse bitmiştir.

Üniversiteler çizimler için açölçer ve pusula kullanımı yerine artık CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımının kullanımına odaklanmaktadır. Mimaride, mekanik veya mühendislik alanlarında, bir tasarımın üç boyutlu modelini oluşturan, malzeme ve aydınlatma efektlerini veren; tasarımı gerçek boyutlarıyla oluşturan CAD yazılımı ile çalışmak hayati önem taşımaktadır. CAD, otomotiv, gemi yapımı ve havacılık endüstrileri, endüstriyel ve mimari tasarım, protez vb. birçok iş kolunda yaygın olarak kullanılmakta olan önemli bir endüstriyel araçtır. Yüksek ekonomik önemi nedeniyle CAD, hesaplamalı geometri, donanımsal ve yazılımsal bilgisayar grafikleri ve ayrık diferansiyel geometri araştırmalarında önemli bir güç olmuştur. Solidworks üç boyutlu CAD çözümleri, yeni fikirleri hızlı bir şekilde yeni ürünlere dönüştürmeyi sağlar. Sezgisel arayüzü ve güçlü tasarım yetenekleri, şirketlerin başarısına güç veren daha akılcı ve daha hızlı ürün geliştirmesine imkan tanır. Kullanımı kolay ve işlevsel araç setleri, tasarım bilgilerinin net iletişimi, sanal prototipleme ve üretim için çizimlerin ve verilerin hızlı bir şekilde oluşturulması rekabetçi bir pazarda kullananlara farklı bir avantaj sağlamaktadır [14].

3.2. İhtiyaçların Belirlenmesi ve Taslak Tasarım

Otomotivde tek seferde tek noktaya yapılan nokta kaynağı yaygın uygulama alanı ile öne çıkmaktadır. Çoklu nokta kaynağı uygulamasının geliştirilmesi üretim maliyetlerin düşürülmesi için oldukça önem taşımaktadır. Ancak otomotiv parçalarının çeşitliliği ve gelişen tasarımları gereği iş parçasının formlarının karmaşıklığı çoklu nokta kaynağı uygulamasını zorlaştırmaktadır.

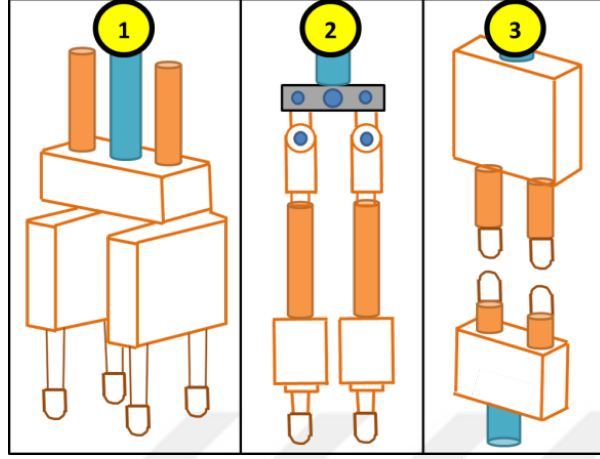
Paralel yüzeylerde olan iki noktaya yapılabilecek nokta kaynağı nispeten daha kolay uygulanabilir. Fakat otomotiv gövde parçalarında araçların kompleks yapısı gereği paralel yüzeylerden daha fazla, kaynak noktaları arasında kot farkı olan parçalar kullanılmaktadır.

Çoklu nokta kaynağı ile ilgili tasarım yapılırken en önemli nokta akım ve basınç dağılımının eşit olarak yapılabilmesidir. Ayrıca yapılacak tasarımın sabit nokta kaynağı makinalarına uyumlu olması önem taşımaktadır.



Şekil 3.1 : Dengensha sabit nokta kaynağı makinesi.

Bu ihtiyaçlar doğrultusunda çeşitli konsept tasarımlar oluşturularak aralarından en uygun olan üzerinde üç boyutlu olarak tasarım aşamasına geçilmiştir.



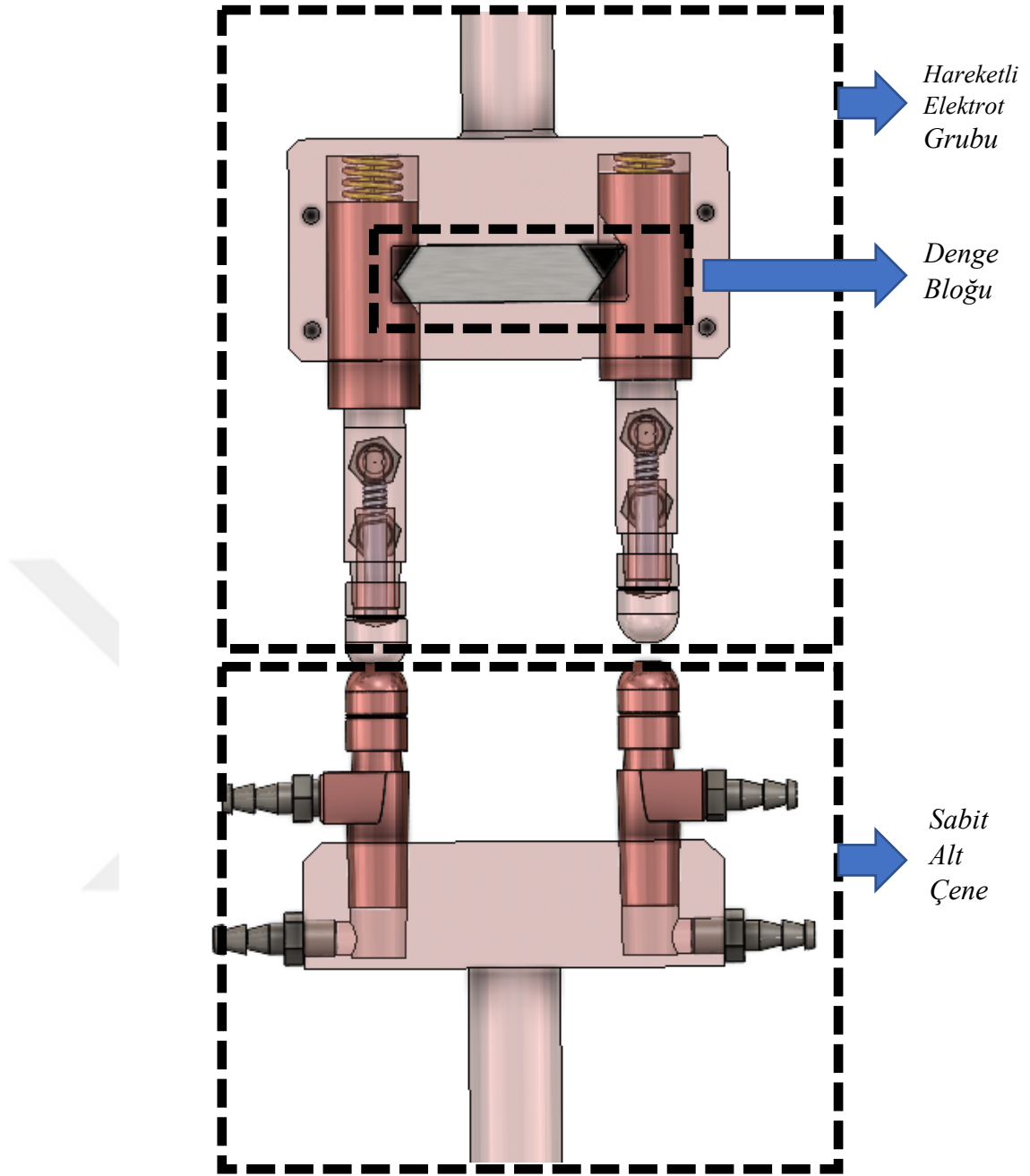
şekil 3.2 : Konsept tasarımlar.

3.3. Elektrotun  Boyutlu Tasarımı

Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile beraber bilgisayar destekli tasarım oldukça önem kazanmıştır. İmalatını yapmadan önce tasarımlar üç boyutlu olarak oluşturulup yine bilgisayar yardımıyla test edilebilmekte ve çeşitli analizler yapılabilmektedir. Günümüzde bu kabiliyete sahip bir çok program bulunmaktadır. Solidworks, Catia, Autodesk inventor, Pro Engineer önde gelen programlardır. Bu projede tasarım ve analizler, Solidworks ve aynı programın analiz modülü olan simulation programları ile yapılmıştır.

3.3.1. Tasarım kısımları

Belirlenen ihtiyaçlar ve tasarımın uygunluğu açısından iki nokta kaynağının aynı anda atılabileceği elektrot tasarımı üzerine çalışılmıştır. Tasarımı yapılan elektrot bir çok alt parçadan oluşmaktadır. Tasarımda oklu nokta kaynağı elektrotu üç farklı grubun birleşmesi ile ortaya çıkmıştır. Hareketli elektrot grubu, denge bloğu ve sabit alt ene.



Şekil 3.3 : Hareketli elektrot grubu, denge bloğu ve sabit alt çene.

3.3.1.1. Hareketli elektrot grubu

Birbiriyle etkileşim halinde hareket edebilen iki elektrot ucunun, elektrotlara uygun kanal yapısının içerisine yerleştirilmesi ile hareketli piston yapısında bir tasarım grubu oluşturulmuştur. Bu elektrot grubunun sabit nokta kaynağı makinasının baskısı ile iş parçasına doğru hareket etmesiyle, iki elektrot da iş parçasına temas edinceye kadar elektrot grubu harekete devam eder. Böylece iki nokta kaynağı yüzeyleri birbirine paralel olmasa bile hazırlanan piston yapısı sayesinde, her iki elektrotta iş

parçasına tam temas edecek, böylece kaynak işlemi her iki nokta için başlayacaktır. Üst elektrotlar hareketli olmaz ise, kaynak noktaları arasında var olan kot farkı sebebiyle noktalardan birinde temassızlık oluşacak; bir noktada kaynak oluşmazken, diğer noktada fazla akım sebebiyle uygun olmayan bir kaynak ortaya çıkacaktır. Elektrotların yerleştirildiği kanalın içine her elektrot için birer adet yay eklenmiştir. Kaynak işlemi bittikten sonra elektrotlar bu yaylar vasıtasıyla tekrar başlangıç pozisyonuna gelmektedir.

3.3.1.2. Denge bloğu

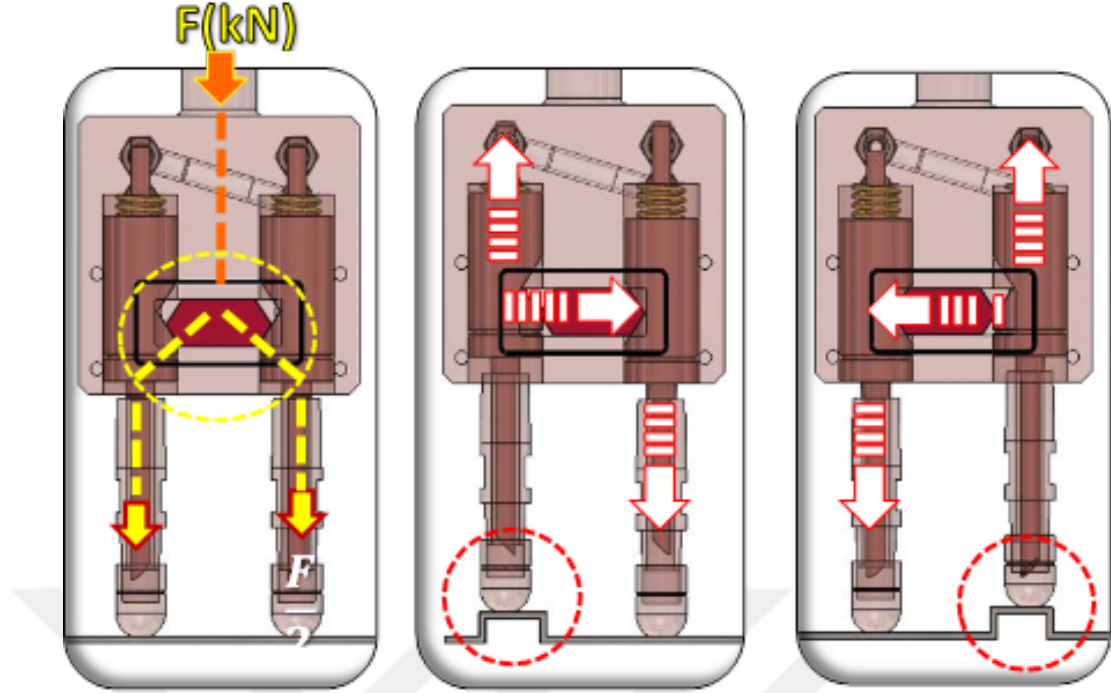
İş parçasında bulunan kaynak noktaları çoğu zaman paralel değildir. Bu nedenle hareketli blokların iş parçasının şeklini alıp, kaynak işlemi tamamlandıktan sonra dengeye gelmeleri gerekmektedir. Denge bloğu; elektrotlar üzerinde bulunan V şeklindeki çentikler yardımı ile elektrotları dengeye gelinceye kadar sağa yada sola doğru ittirir. Böylece ilgili elektrot, aşağıda kalan kaynak yüzeyine diğerine göre daha fazla iner. Temas sağlandığı anda elektrotların üzerine gelen kuvvet dengeli bir şekilde dağılmıştır. Denge bloğu, bu çalışma prensibi ile elektrotların üzerine gelen kuvveti eşit miktarda dağıtma görevini yerine getirmektedir.

3.3.1.3. Sabit alt çene

Nokta kaynağında kaynak yapılacak iş parçalarının sıkıştırılması işlemi yapılırken alt çenene ve üst çenenin ikisinin de hareketli olması kaynak tutarlılığı için problemler çıkarabilmektedir. Bunu önlemek için alt çene sabit bırakılmıştır. Kaynak işleminin yapılacağı iş parçası incelenmeli ve yüzeyin şekline göre sabit alt çene özel olarak tasarlanmalıdır.

3.4. Elektrodun çalışma şekli

Elektrot grubu, paralel olmayan parçaların yüzeylerinde meydana gelen kuvveti dengeli dağıtana kadar hareket etmekte ve denge pozisyonuna geldiğinde kaynak işlemini yapmaktadır.

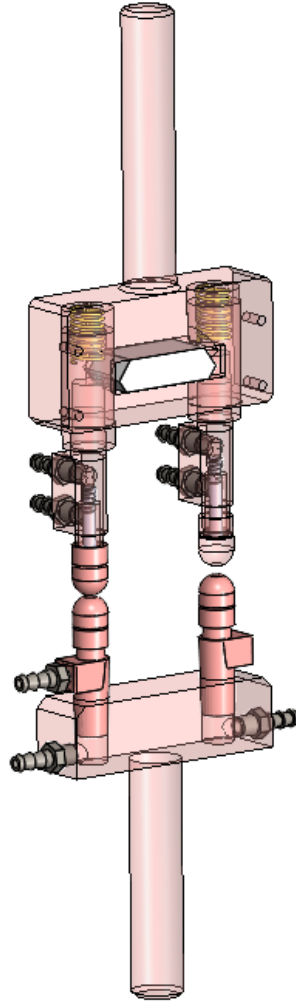


Şekil 3.4: Elektrodun çalışma prensibi.

Şekil 3.4’te gösterilen görselde göüldüğü gibi yukarıdan gelen F kuvveti elektrotların üstünde dağılırken., ortadaki denge bloğu yüzeydeki kot farkına göre sağa ya da sola hareket ederek sistemin dengeye gelmesini sağlar Böylece F kuvveti elektrotların üzerinde $F/2$ olacak şekilde dağılır.

3.5. Soğutma kanalları

Nokta kaynağında ısı oluşumu istenen bir durumdur. Ancak ısı oluşumunun kaynak noktası dışındaki bölgelerde yaratacağı tahribatı önlemek de ekipmanın sağlıklı çalışması için önemlidir. Isının kaynak bölgesi dışındaki yerlerden uzaklaştırılması için elektrotların içinden soğutma suyu geçirilir. Soğutma suyu ısınan elektrotların deforme olmasını engeller. Tasarlanan çoklu nokta kaynağı elektrodunda soğutma su kanalları kaynak noktasına en yakın bölgede seçilmiş ve böylece oluşan ısı hızlı bir şekilde sistemden uzaklaştırılmıştır.



Şekil 3.5: Çoklu nokta kaynağı elektrodu üç boyutlu tasarımı.

3.6. Statik Analiz ile Tasarımın Doğrulanması

Günümüzde sonlu elemanlar analizi, mekanik parçaların üzerine gelen yüklerin ve malzeme dayanımlarının imalat öncesi kontrol edilmesi konusunda büyük fırsatlar sunmaktadır.

Sonlu elemanlar metodu (FEM) günümüzde makine tasarımlarında simülasyonlar için kullanılan en yaygın sayısal metotlardan biridir. Modern yazılım sistemleri genellikle matematiksel olarak zor ve zaman alıcı işlemlerin bir arada çözülmesini sağlayan FEM kullanımına izin verir. Çözülme istenen alanı; sınırlı sayıda alt alana ve öğelere bölmeyi gerektirdiğinden, FEM'in temel fikri basittir. Model üzerinde bir sonlu elemanlar ağı oluşturmak gereklidir. Ağı yoğunluğu, kullanılan bilgisayar

kapasitesine bağılı olmakla birlikte yoğunluğun fazlalığı sonuçların kalitesine de etki eder. FEM, statik, dinamik, sıvı ve gaz akışı, vb. problemlerini çözmek için kullanılmaktadır. SolidWorks Simulation, sonlu eleman analizi FEA kullanımına izin veren bir yazılımdır. Kullanıcının gerilme, yer değiştirme, doğal frekans, vb. gibi yapısal özellikleri analiz etmesini sağlar. Ayrıca, hareketli tertibatların (kuvvetlerin, yayların, sönümleyicilerin ve sürtünmenin etkileri) doğru şekilde simülasyonunu ve analizi için hareket analizini sağlar. Analiz, kinetik etütlerin unsurlarını ve hareket hesaplamasındaki bağları birleştirir. Hareket kısıtlamaları, malzeme özellikleri, fiziksel özellikler ve temas parçaları da çözüme dahil edilir [15].

Özet olarak Solidworks Simulation; mekanik bir ürünün gerçek dünyadaki fiziksel davranışlarını CAD modellerin yardımıyla test ederek sonuçları tahmin etmek için Sonlu Eleman Analizi (FEA) yöntemini kullanan, işletmesi kolay bir yapısal analiz çözümleri programıdır. Analiz çözümleri programı doğrusal veya doğrusal olmayan dinamik ve statik analizler için giriş seviyesinden daha ileri seviyeye kadar tasarımcıların ihtiyaç duyduğu tüm özellikleri sunar [16].

3.6.1. Elektrot malzeme özellikleri

Tasarımı yapılan elektrot CRM 16X kod nolu CuCrZr tip Bakır-Krom-Zirkonyum alaşımlı malzemeden imal edilecektir. DIN 44759 Class 2'ye dahil olan bu elektrot; özellikle seri imalatla kullanılmak üzere geliştirilmiştir ve otomotiv sanayinde yaygın bir yeri bulunmaktadır. Kimyasal birleşimleri Cr % 0,4, Zr %0,03, Cu % 99,57 şeklindedir [17].

Hardness HB 30 ≤ HB	0.2% Yield strength R _p ≥ N/mm ²	Tensile strength R _m N/mm ²	Elongation A ₅ ≥ %	Modulus of elasticity kN/mm ²
175	310	400-550	8-10	125
Density g/cm ³	Specific heat capacity J/kg K	Thermal conductivity W/m K	Electrical conductivity MS/m	
8.91	370	310-340	≥ 43	

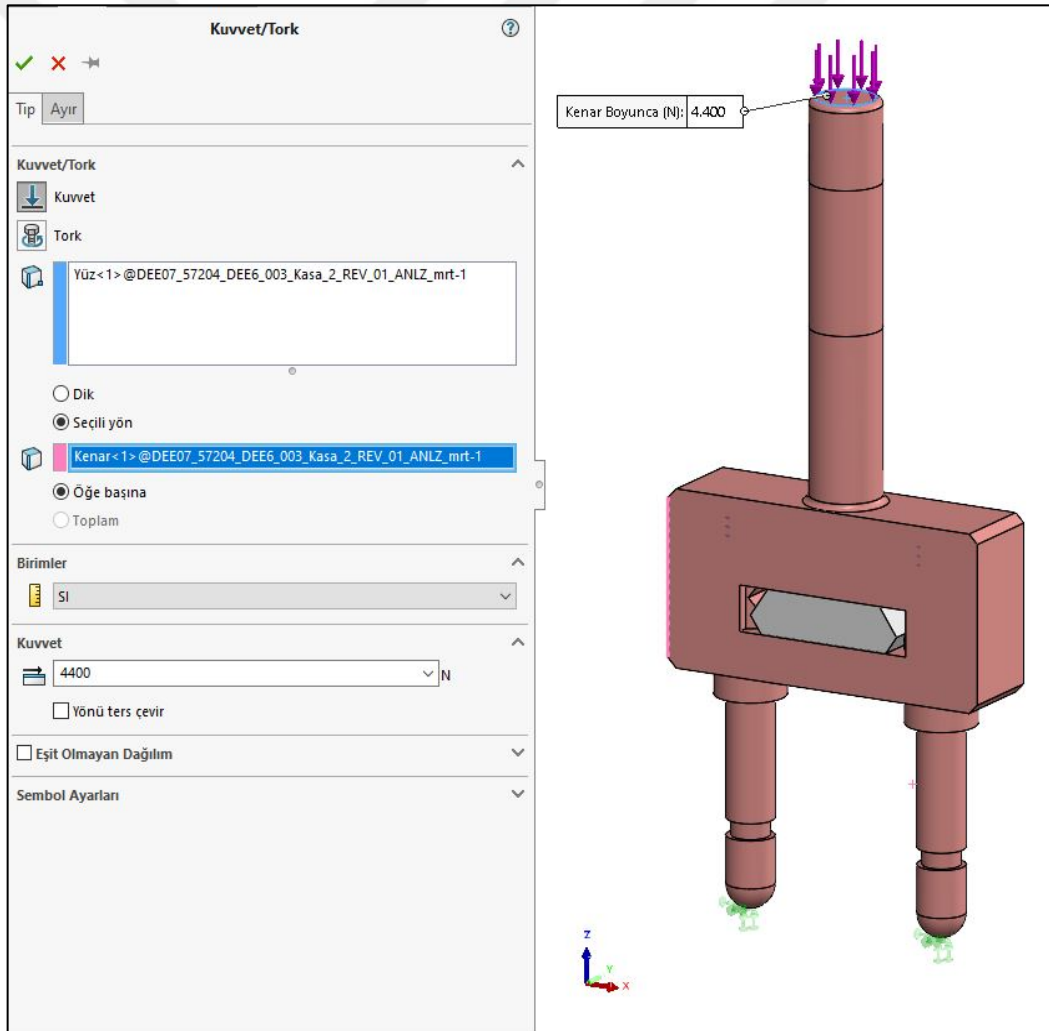
Şekil 3.6: Mekanik ve Fiziksel Özellikleri.

Şekil 3.6'da Mekanik ve fiziksel özelliklerini gördüğümüz malzemenin akma dayanımı 310 N/mm²'dir.

Analiz öncesi ilgili malzeme Solidworks kütüphanesine eklenerek tasarımda kullanılacak üç boyutlu modellere tanımlanmıştır.

3.6.2. Uygulanacak kuvvet ve sınır şartları

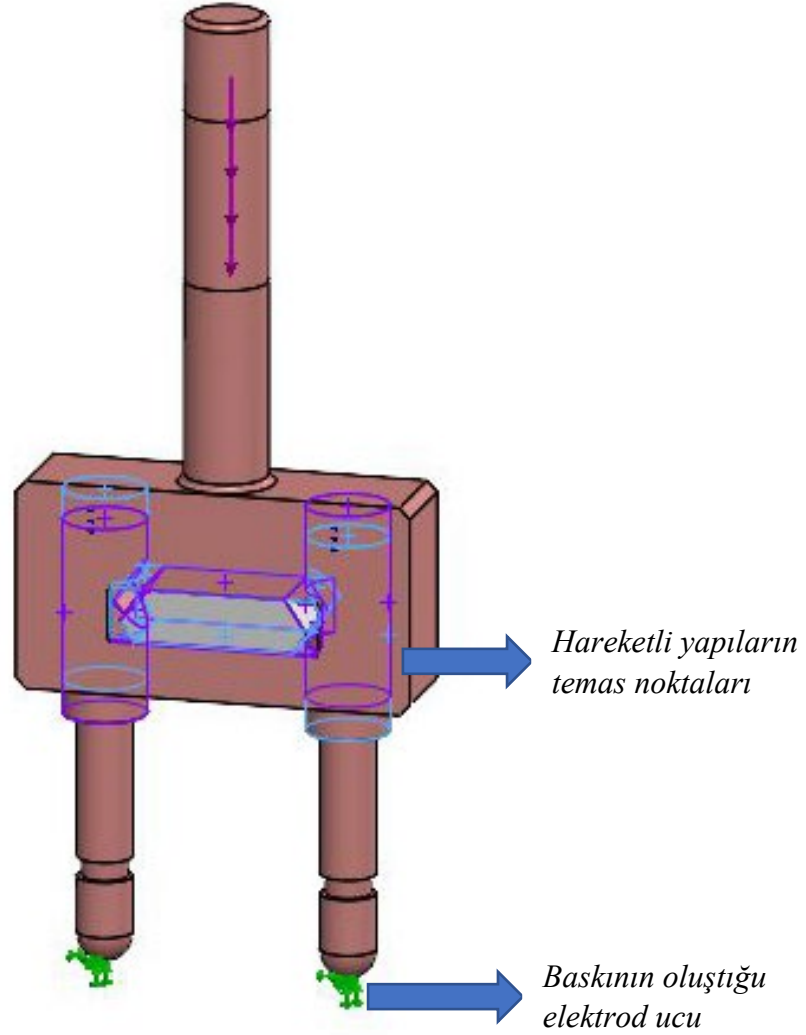
Solidworks programında yapılacak analiz öncesi uygulanacak kuvvetin şiddeti ve yönü seçilmelidir. Aynı zamanda sistemin sınır şartları, temas yüzeyleri belirlenerek ilgili ilişkilerin verilmesi gerekmektedir. Şekil 3.7’de uygulanan kuvvetin yönü ve şiddeti gösterilmektedir.. Kuvvet sabit nokta kaynağı makinasının hareketli üst grubundan gelmektedir. Bundan dolayı kuvvet yönü seçilirken üst elektrot grubunun bağlantı yüzeyi seçilmiş ve aşağı yönlü olarak kuvvet verilmiştir. 4400 N değeri denemeler sırasında uygulanması düşünülen kuvvet değeridir.



Şekil 3.7: Uygulanan kuvvet.

4400 N'luk bir kuvvet elektrot bağlantı bölümünden merkezine paralel şekilde aşağı yönlü uygulanmıştır.

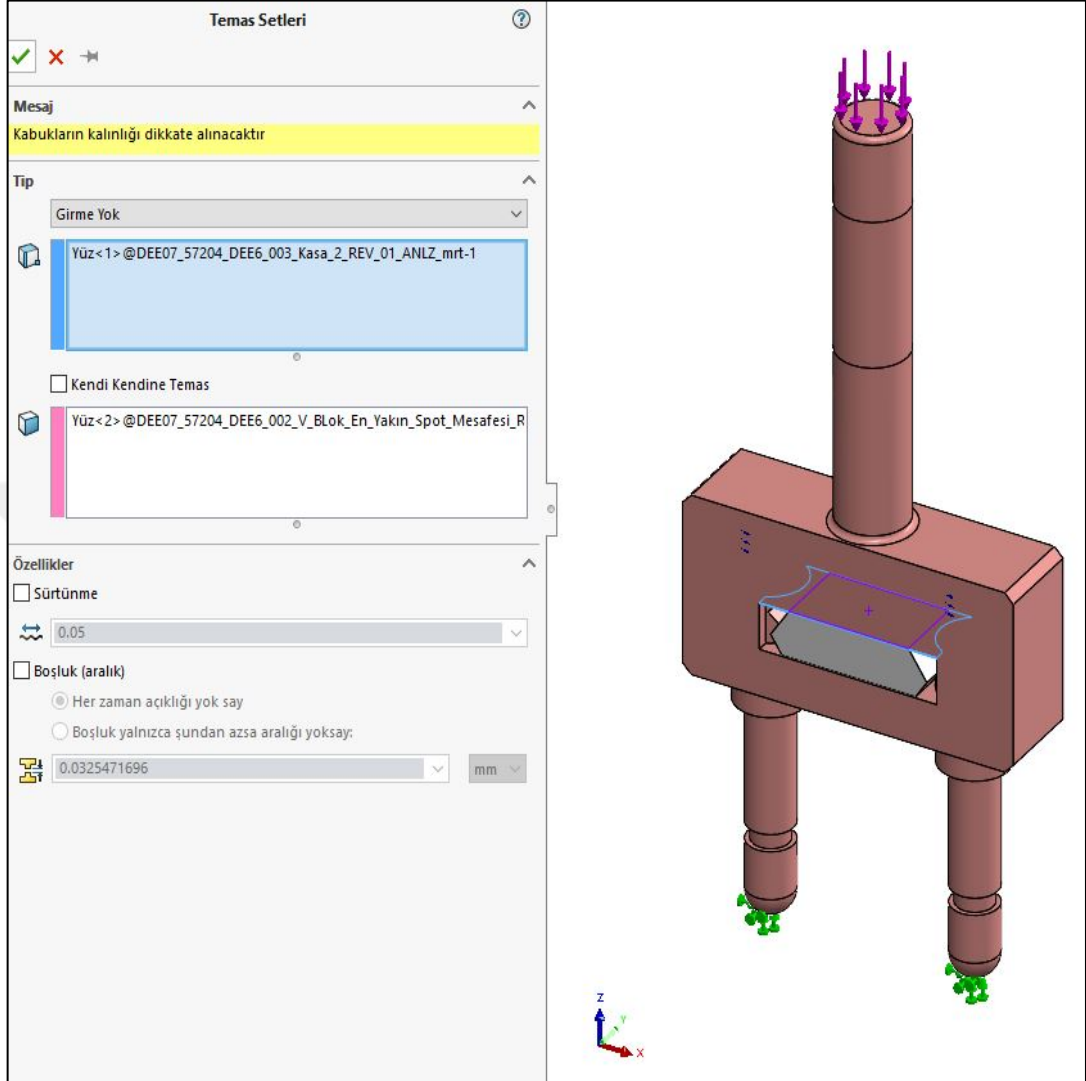
Kuvvet kadar önemli olan bir diğer nokta da mekanik elemanların sınır şartlarının belirlenmesidir. Birbirine göre durumları, temas yüzeyleri ve birbirlerine girişim yapıp yapmadıkları programa tanıtılmalıdır. Şekil 3.8'de sınır şartları gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Sınır şartları.

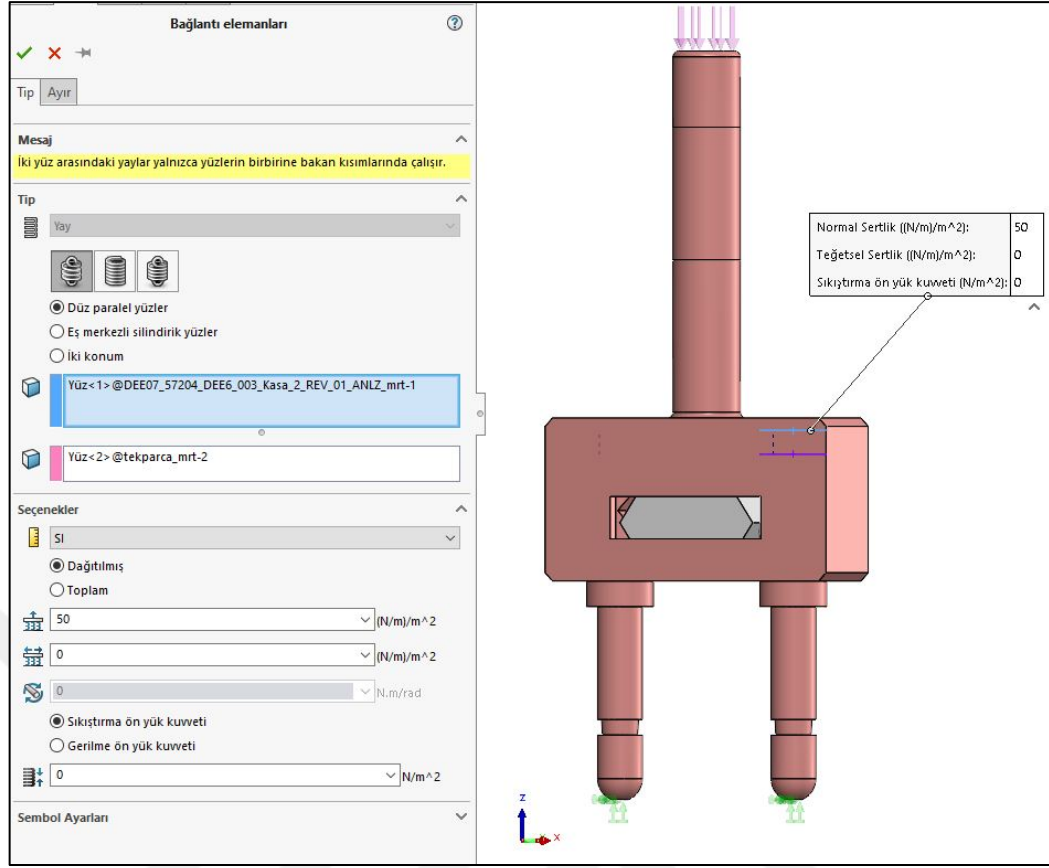
Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi elektrotlar, kanalların içinde silindirik olacak şekilde hareket etmektedir. Denge bloğu elektrotların yüzeylerine baskı yapmaktadır. Denge bloğu kuvvetin etkisi ile serbestçe hareket etmektedir. Bu mekanik yapının doğru olarak modellenebilmesi için temas yüzeyleri seçilerek program üstünden

ilişkileri verilmiştir. Şekil 3.9’da örnek bir temas yüzeyinin programa tanıtılması gösterilmiştir.



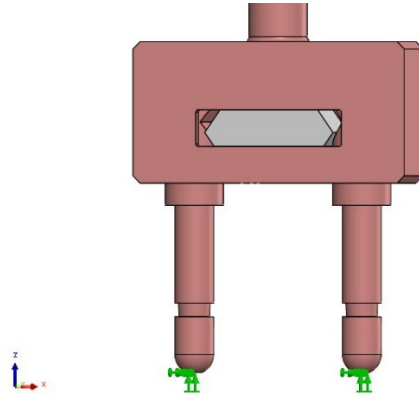
Şekil 3.9: Temas yüzeyleri.

Kuvvetler ve temas yüzeyleri tanımlandıktan sonra ekipmanın çalışması için gerekli olan diğer elemanların programa tanıtılması gerekmektedir. Elektrotların baskı sonrası geri dönüşü için kullanılan yay, programın kütüphanesinde bulunan listeden seçilerek tanımlanmış ve analize eklenmiştir. Şekil 3.10’da analize yay eklemesinin nasıl yapılacağı görülmektedir.



Şekil 3.10: Analize yay eklenmesi.

Sabit nokta kaynak makinelerinin üst çenesi hareketli, alt çenesi sabittir. Tasarlanan çoklu nokta kaynağı elektrotu da, bu yapıya uygun olarak, alt çenesi sabit şekilde yapılmıştır. Analizin sınırları belirlenirken hangi noktanın sabit alınacağı sonuçların doğruluğu açısından önemlidir. Alt çene sabit olduğundan dolayı alt elektrotun temas noktası olan tip uçları sabit alınmıştır. Şekil 3.11’de elektrot uçlarının sabit olarak tanımlanması görülmektedir.



Şekil 3.11: Sabitlemiş noktalar.

Sonuç olarak; analizin gerçeğe yakın sonuç verebilmesi için hareketli yapılar birbirlerine temas ederek geometrilerinin sınırları içinde serbestçe hareket etmelidir. Kuvvet bağlantı noktasından sabit nokta kaynağı makinasının üst hareket silindrine paralel aşağı yönlü etki etmektedir. Bu şartlar analiz için yeterlidir.

3.6.3. Analiz sonuçları

3.6.3.1. Von Mises gerilmesi

Solidworks simulation programı stress analizi olarak von mises gerilmesini kullanmaktadır. Von Mises teorisine kısaca bakmak gerekirse; Mises'in gerilme (stress) hesaplama fikri, ilk olarak 1904'te Huber önermiştir ancak Richard Von Mises 1913 yılında tekrar bu fikri sunduğunda çok daha fazla ilgi gösterilmiştir. Daha önceki önerilerde sadece bir matematik denklemi önerilirken, Hencky "Von Mises gerilmesi" fikri ile daha mantıklı bir şekilde teoriyi fiziksel olarak yorumlamıştır.

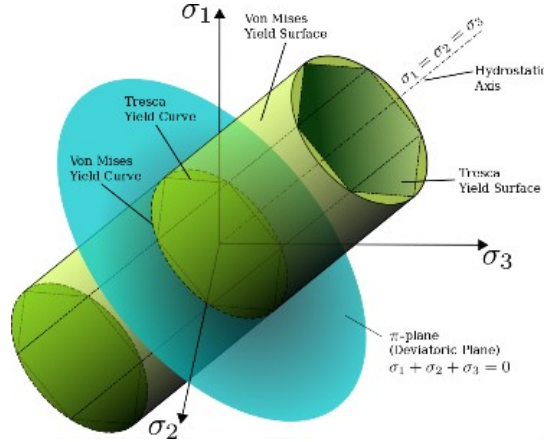
Malzemelerdeki mekanik davranışların termodinamiğin iki kanununa uygun gerçekleştiğini unutmamak gerekir. Termodinamiğin birinci kanununu derki; enerji ne yoktan var edilebilir ne de yok edilebilir. Ancak; yalnızca bir formdan diğerine dönüştürülebilir. Bundan dolayı, bir parçaya bir mekanik kuvvet uygulandığında (veya önceden belirlenmiş bir yer değiştirme uygulandığında), parça üzerinde bir miktar iş yapılır. Bu enerji parça üzerinde şekil değiştirme enerjisi (gerinme enerjisi) olarak depolanır.

Bu enerji başka bir deyişle, parçanın her bir diferansiyel hacminde depolanan şekil değiştirme enerjisidir. Bu şekil değiştirme enerjisi tüm diferansiyel hacimler üzerinden toplanırsa (veya tüm hacim boyunca integrasyon yapılırsa), parça üzerinde depolanan toplam şekil değiştirme enerjisini elde edebiliriz.

Toplam enerjinin bir kısmı, maddenin hacmini (veya hacimsel gerinimini) değiştirir ve volümetrik enerji olarak bilinir. Enerjinin geri kalan kısmı malzemenin şeklini bozmak için kullanılır ve deviatorik enerji olarak bilinir. Von Mises gerilmesi, deviatorik enerji olan bu gerilme bileşeniyle ilgilidir.

Aşağıdaki bulunan resim asal gerilme uzayındaki akma kriterini belirtmektedir. Herhangi bir gerilme durumu, üç asal gerilmeye dönüştürülebilir. Bu durum eğer üç

koordinat olarak düşünülürse, farklı kombinasyonlar için von Mises gerilmesi aşağıdaki Şekil 3.12’de gösterildiği gibi silindirik bir yüzey olarak çizilir.

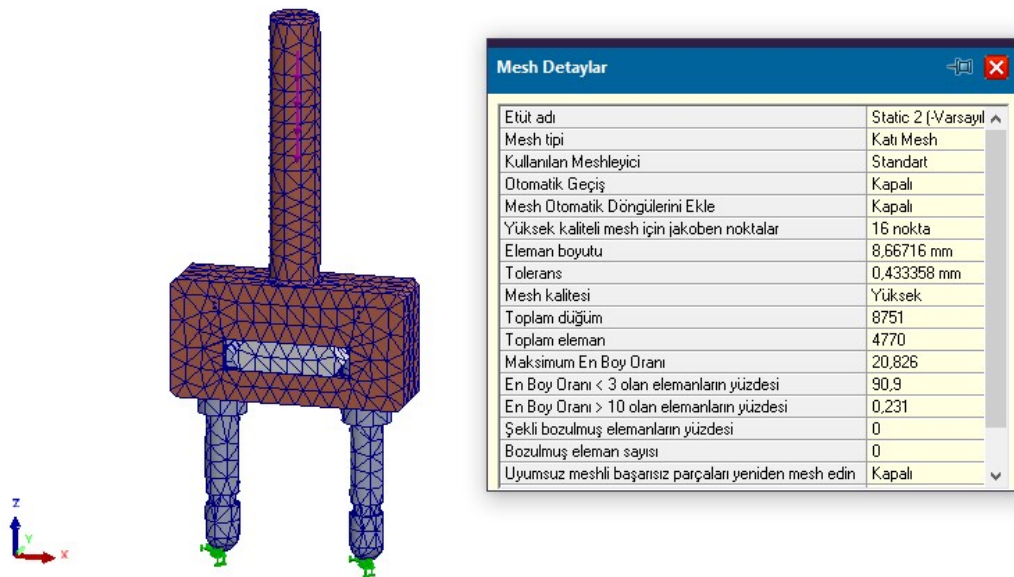


Şekil 3.12: Von mises.

Başka bir şekilde söylemek gerekirse herhangi bir noktadaki gerilme durumu silindir dışında bulunuyorsa, yapıdaki bu noktada plastik şekil değiştirme başlamıştır [18].

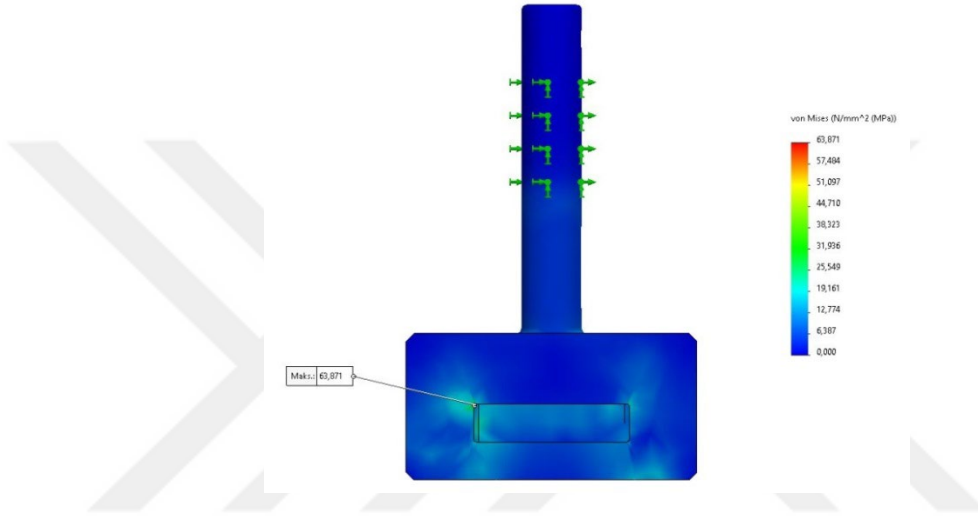
3.6.3.2. Sonuçların yorumlanması

Program üç boyutlu datayı verilen sınır şartlarını dikkate alarak sonlu elemanlara (mesh) bölmektedir. Şekil 3.13’de sonlu elemanların (mesh) tasarım üzerindeki dağılımı ve parametreleri görülmektedir.



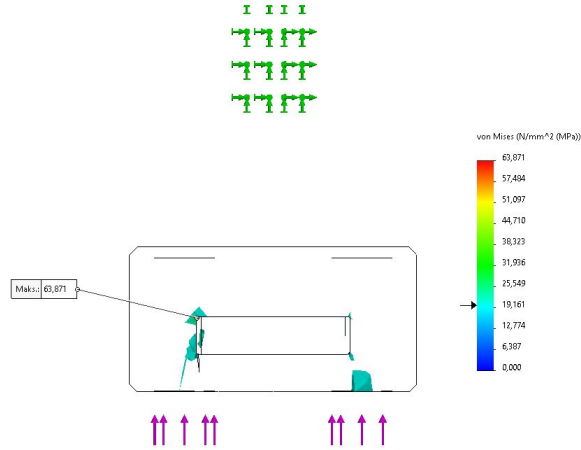
Şekil 3.13: Sonlu elemanlar dağılımı. (Mesh)

Bu şartlar altında analiz çalıştırıldığında Şekil 3.14’de yapı üzerinde oluşan gerilim dağılımını ve en yüksek gerilimin hangi noktada oluştuğu görülebilmektedir. Köşe olan bölgede gerilimin yüksek çıkmasının sebebi o noktada mesh bağlantılarının yeterince oluşturulamamasıdır. Bu tür mekanik yapılarda keskin köşelerde gerilim birikmesi beklenen bir durumdur. Yapının diğer bölgelerine bakıldığında gerilimin 25 ile 40 N/mm² olduğunu gözlemlemekteyiz. Bakır krom zirkonyum malzemenin akma gerilmesi de dikkate alınarak analiz yorumlanmalıdır.



Şekil 3.14: Von Mises gerilim dağılımı.

Analiz sonuçları incelediğinde sadece noktasal olarak tek noktada 63,871 N/mm² gerilime ulaştığı gözlemlenmiştir. Elektrot için kullanılan malzemenin akma geriliminin 310 N/mm² olduğu düşünüldüğünde mekanik yapının kalıcı deformasyona uğramayacağı öngörülmektedir.



Şekil 3.15: Gerilim noktasının ayrıntısı.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Elektrodun İmalatı

Tasarımı tamamlanan ve analiz sonuçları ile doğrulanan elektrot, teknik resimleri çıkartılarak imal ettirilmiştir. Hassas bir talaşlı imalat sürecinden sonra tasarım, DENGENSHA marka sabit nokta kaynağı makinasına montajlanmıştır.



Şekil 4.1: Çoklu nokta elektrodunun sabit nokta kaynağı makinesine montajı.

Montaj sonrası test ve denemeler yapılarak ekipmanın akım ve kuvvet dağılımları gözlemlenmiştir.

4.1.1. Kuvvet dağılımları

Elektrot kuvvetlerinin her durumda eşit bir şekilde dağılması beklenmektedir. Yapılan denemeler tablo 4.1’de gösterilmektedir.

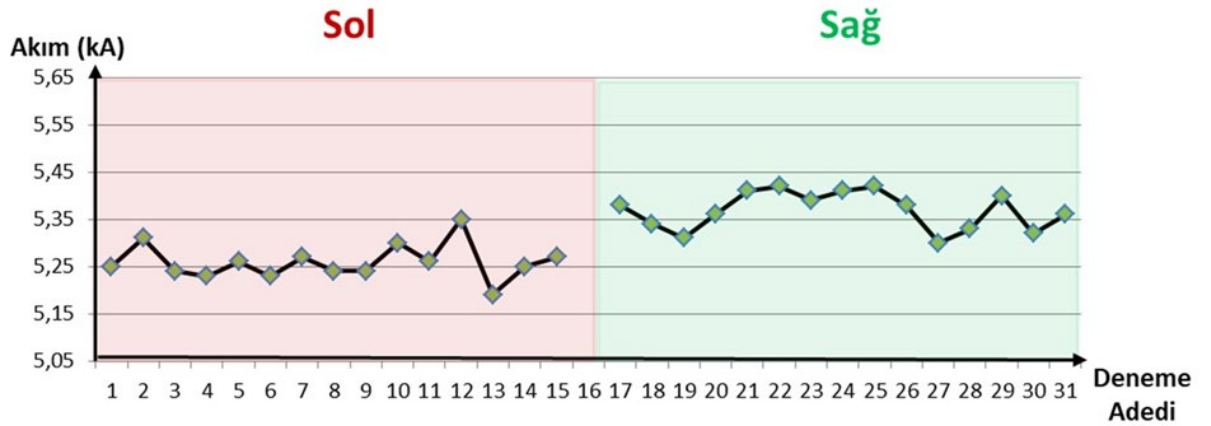
Tablo 4. 1: Elektrot Kuvveti Dağılımları

	Sol Elektrot	Sağ Elektrot
Deneme 1	2165 N	2235 N
Deneme 2	2180 N	2220 N
Deneme 3	2150 N	2250 N
Deneme 4	2190 N	2210 N

4400 N olarak uygulanan kuvvet yüzde 5'lik bir fark ile yaklaşık olarak eşit dağılmıştır. Oluşan bu farkın kaynak kalitesine bir etkisi yoktur. Kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

4.1.2. Akım dağılımları

Elektrotlara ulaşan akımların eşit olması beklenmektedir. Yapılan denemeler aşağıda grafik üzerinde görülmektedir.

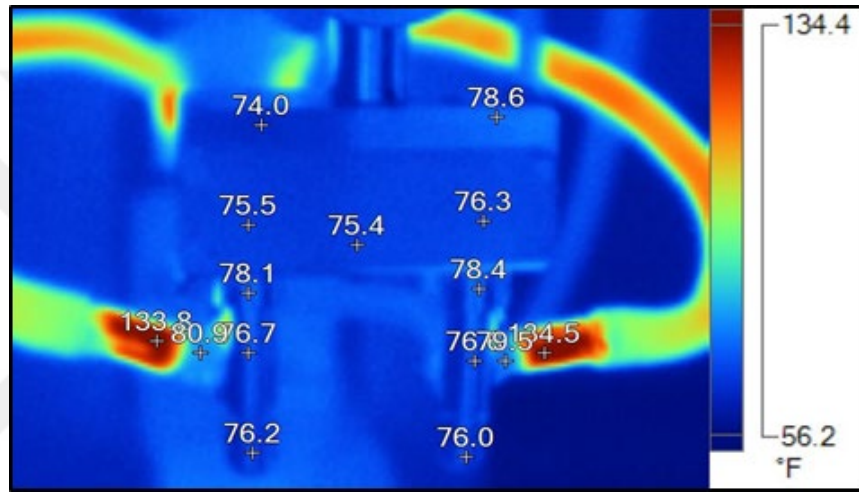


Şekil 4.2: Akım dağılımları grafiği.

10,5 kA akım ile gerçekleştirilen 15 denemede sağ ve sol elektrot arasında maksimum 0,21 kA, minimum 0,03 kA fark olduğu görülmüştür. Çalışma standardına göre $\pm 0,2$ kA fark aralığı kabul edilebilir seviyededir.

4.1.3. Isı oluşumu ve sıcaklık dağılımı

Bilindiği gibi nokta kaynağında en önemli problemlerden biri ısı girdisinin kontrolüdür. Akımın yükseltilmesi sonucu oluşan ısı eğer doğru soğutulamazsa ekipman üstünde deformasyonlara ve nihayetinde nokta kaynağında kalite problemlerine sebep olabilmektedir. Tek nokta kaynak elektrotlarına göre 2 kat akım kullanılan çoklu nokta kaynağı elektrotunda aşırı ısı oluşumunu engellemek için soğutma suyu kaynağı en yakın noktaya alınmıştır. Böylece ısının olumsuz etkisi en aza indirilerek kaynak kalitesi artırılmıştır. Şekil 4.3’de seri halde atılan 15 kaynak sonrası makinenin termal kamera ile çekilen görüntüsü gösterilmektedir.



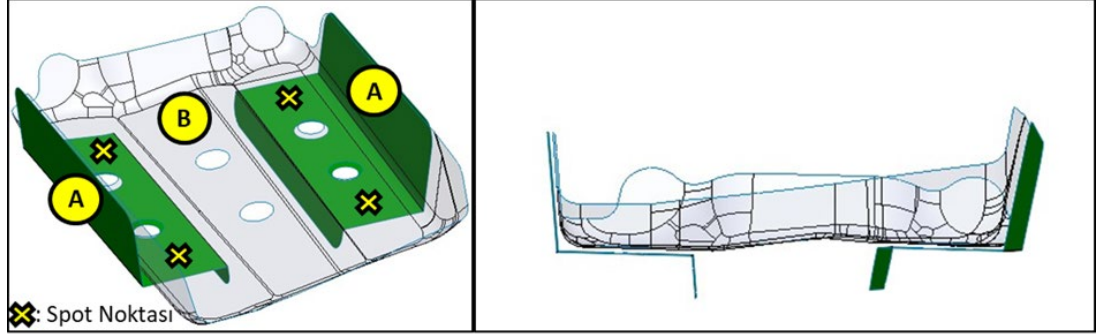
Şekil 4.3: Termal Kamera Ölçümleri.

Değerler °F olarak ekipman tarafından otomatik elde edilmiştir. Görüntünün analizi yapıldığında ve soğutma suyu aktif olarak kullanıldığında elektrot uçlarının 24,5 °C sıcaklıkta kaldığı görülmüştür. Elektrot gövdesinin üst kısımlarında ise bu değer 25,8 °C’ye kadar çıkabildiği anlaşılmıştır. Elde edilen termal veriler yorumlandığında iş parçası ile deneme yapmaya engel bir durum olmadığı belirlenmiştir.

4.2. Kaynak İşlemleri

Tasarlanan çoklu nokta kaynağı elektrodu 50kVA’lık Dengensha NDX-050-410-C sabit nokta kaynağı makinesine montajlanmıştır. Makine yapısal olarak alt elektrot kısmı sabit, üst elektrot kısmı ise hareketli olarak kaynak işlemini gerçekleştirmektedir. Bu çalışmaları gerçekleştirirken analizler; Tecna 1405N model

basınç ölçer ve Miyachi MM-315B akım ölçer kullanılarak yapılmıştır. Tamamlanan tasarım sonrasında seri üretim hattından, ekipmana uygun parça temin edilmiştir. SCGA980DUB-45 malzemeye sahip 1,8 mm ve 1,4 mm kalınlığındaki iki parçanın birbirine kaynaklanabilirliği incelenmiştir.



Şekil 4.4: İş parçası ve kaynak noktaları.

Şekil 4.4'te kaynak noktaları gösterilen otomotiv parçasının seri üretim kaynak parametreleri ve kaynak kalitesi incelenerek, parçanın benzer kalite şartlarının, tasarlanan çoklu nokta kaynağı elektrodunda sağlanıp sağlanamayacağı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.2: Kaynak Makinesi Kaynak Parametreleri

Tek Nokta Kaynak Parametresi		İki Nokta Kaynak Parametresi	
Değer	Ölçüm	Değer	Ölçüm
Kuvvet	A kN	Kuvvet	2A kN
Akım Süresi	B cyc	Akım Süresi	B cyc
Akım	C kA	Akım	2C kA
Sıkıştırma Süresi	D cyc	Sıkıştırma Süresi	D cyc
Bekleme Süresi	E cyc	Bekleme Süresi	E cyc

Tablo 4.2'de gösterildiği gibi tek nokta kaynağına göre kuvvet ve akım parametresi çoklu nokta kaynağı elektrodu için iki katına çıkartılmıştır.



Şekil 4.5: Kaynak denemeleri.

4.2.1. Kaynak bağlantıları

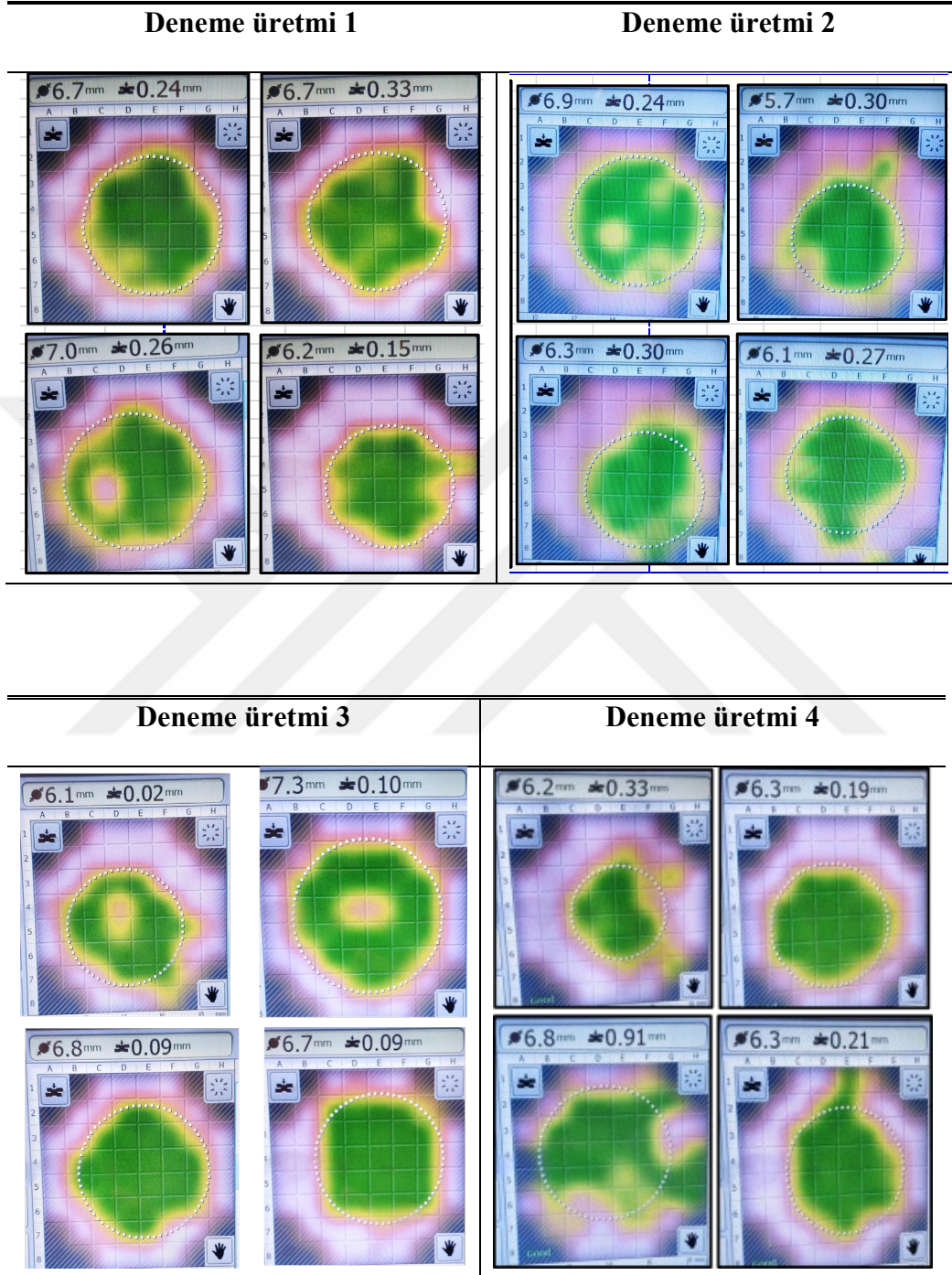
Otomotiv firmalarının kullandığı standartlar incelendiğinde nokta kaynağında çekirdek çapı için ortak bir standart belirlendiğini görmekteyiz.

$$D = 3 \sqrt{T} \quad (4.1)$$

Yukarıdaki 4.1 formülünde D olması gereken kaynak çekirdek çapını gösterirken T ise kaynak yapılan iki parçadan en ince olanının kalınlığını ifade etmektedir. Denemeleri yapılan iş parçasındaki en ince parça 1,4 mm kalınlığındadır. Yukarıdaki formülde hesaplama yapıldığında; olması gereken minimum çekirdek çapının 3,6 mm olduğu görülmektedir.

SCGA980DUB-45 malzemeye sahip otomotiv parçasının üzerinde gerçekleştirilen nokta kaynağı denemelerinde çekirdek çapları, ultrasonik muayene yapılarak ölçülmüş ultrasonik muayene sonuçları tabloda gösterilmiştir. Sonuçlara göre kaynak çekirdek çapının 5,7 mm - 7,3 mm aralığında değiştiği gözlemlenmiştir.

Tablo 4.3: Ultrasonik muayene sonuçları



Ultrasonik muayene yöntemi ile beraber aynı parçalar tahribatlı muayene yöntemi kullanılarak da analiz edilmiştir. Bu durumda ölçülen kaynak çekirdek çaplarının 6,2 mm - 7,7 mm aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Parça üretim standardına göre 3,6

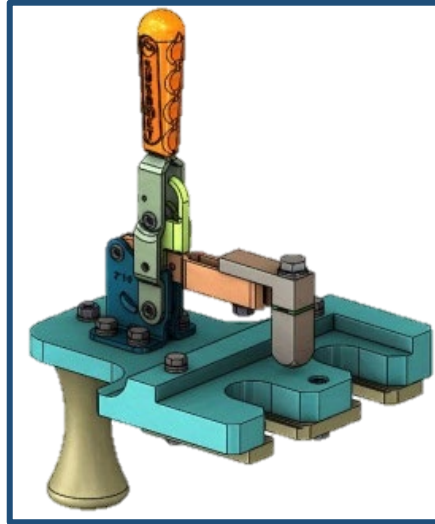
mm olması gereken minimum çekirdek çaplarının yeterli düzeyde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6: Tahribatlı muayene yapılmış iş parçası.

4.2.2. Numune parçalarla denemeler

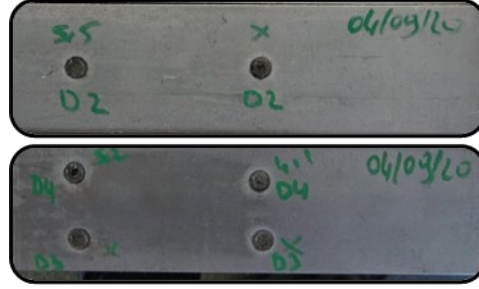
Numune parçaların denenmesi amacıyla numunelerin kaynatabileceği bir fikstür tasarımı oluşturulmuştur. Yapılan tasarım sayesinde iş parçasından bağımsız olarak kesilen numune parçaları, numune parça fikstürü ile kaynatılarak denemeler yapılmıştır.



Şekil 4.7: Numune parça fikstürü.

50 mm x 120 mm ölçülerinde numune parçalar hazırlanmıştır Hazırlanan numune parçalar. 1,8 mm kalınlığındadır. İş parçası ile aynı malzemeye sahiptirler. (SCGA980DUB-45)

Numune parçalar üzerinde farklı akım parametreleri ile kaynak denemeleri yapılmış denemeler sırasında akım dağılımları kontrol edilmiştir. Ortaya çıkan kaynaklı parçaların görsel kontrolleri yapılmış, numune parçalar birbirinden ayrılarak kaynak çekirdek çapları ölçülmüştür.



Şekil 4.8: Numune parça kaynak denemeleri.

Tablo 4.4: Numune parça çekirdek çapı kontrol sonuçları

	Ultrasonik çekirdek çapı(sol)	Ultrasonik çekirdek çapı(sol)	Tahribatlı çekirdek çapı(sol)	Tahribatlı çekirdek çapı(sağ)
Numune No : 1	7,5	7,3	6,8	6,9
Numune No : 2	7,0	6,9	7,2	7,0
Numune No : 3	6,4	6,6	6,3	6,5
Numune No : 4	6,8	6,7	6,6	6,8
Numune No : 5	5,8	6,0	6,2	6,1

1,8 mm kalınlığındaki iki malzemenin kaynaklanması sonucu minimum çekirdek çapı beklentisi 4 mm dir. Numune parçalar tabloda gösterildiği gibi önce ultrasonik, daha sonra tahribatlı muayene ile kontrol edilmiştir. Ortaya çıkan çekirdek çap ölçülerinin standartları karşıladığı açıkça ortadadır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çoklu nokta kaynağı proseslerinin günümüzde uygulamaları oldukça seyrek. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen çoklu nokta kaynağı elektrodu uygulamadaki eksikliğin kapanması açısından oldukça önem taşımaktadır. Üç boyutlu modelinden, analiz ve imalat aşamalarına kadar çalışabilirliği gösterilen bu elektrot; seri üretim hatlarında verimliliği artırıcı bir ekipman olarak kullanılabilir.

5.1. Deneme Sonuçları

Seri üretimde kullanılan bir otomotiv parçası seçilmiş; seçilen bu parçanın öncelikle tek nokta kaynağı elektrodu ve daha sonra çoklu nokta kaynağı elektrodu ile kaynak denemeleri yapılmış, ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.1: Denemelerde kullanılan iş parçası.

Şekil 5.1’de görülen iş parçası SCGA980DUB-45 malzemeye sahip üç parçadan oluşmaktadır. Ana panel parça kalınlığı 1.8 mm , braketlerin parça kalınlığı 1.4 mm dir. Bu parçalar 4 noktadan nokta kaynağı ile birleştirilmektedir.

5.1.1. Parametreler

Tekli nokta kaynağı için kaynak parametreleri elektrot kuvveti 2200 N, kaynak akımı 8 kA, kaynak zamanı 17 cyc dır. Bu parametrelerle yapılan kaynak işlemi sonrası ultrasonik ve tahribatlı muayene ile ölçülen kaynak çekirdek çapı 5.4 mm ile 7.2 mm arasında değişmektedir.

Çoklu nokta kaynağı için kaynak parametreleri elektrot kuvveti 4400 N, kaynak akımı 16 kA ve kaynak zamanı 17 cyc alınarak denemeler yapılmıştır. Çoklu nokta kaynak elektrodu ile yapılan denemeler sonucu parça kaynak çekirdek çapı 5.8 mm ile 7.5 mm arasında değişmektedir.

5.1.2. Karşılaştırma

Yapılan denemelerde görülmüştür ki; tek nokta kaynağı yapan elektrotların sağladığı kalite ve standartları bu yeni tip elektrot da sağlamaktadır. Çoklu nokta kaynağı elektrodunun, nokta direnç kaynağının kullanıldığı tüm sektörlerde kullanılabileceği ortaya konmuştur. Özellikle otomotivde yoğun olarak kullanılması beklenmektedir.

Otomotiv imalatında kalite ve maliyet önemli birer faktördür. Kaynak parçalarının üretiminde kullanılan nokta kaynağı da bu iki faktöre direkt etki etmektedir. Proses zamanının kaliteden ödün vermeden kısalması maliyet avantajı sağlayacaktır. Sonuç olarak; tasarlanan ve imalatı yapılan bu elektrot yapısı daha verimli proseslerin önünü açacak ve otomotivde sabit nokta kaynak makinelerinde kullanılabilecektir.

5.2. Çoklu Nokta Kaynağının Geleceği

Bir işin çok daha kısa sürede, daha az insan kullanılarak yapılması verimliliği önemli ölçüde arttırmaktadır. Azaltılan iş gücü firmalara maliyet anlamında avantajlar getirmektedir. Bu avantajlar rekabetçi piyasada firmaları öne çıkarmaktadır. Otomotiv parçalarının kaynaklanma prosesi; otomotiv üreticilerin yüksek maliyet harcadığı ve üzerinde çalışmalar yaptığı bir alandır. Çoklu nokta kaynağı elektrotları

sayesinde nokta kaynağı sürelerinin neredeyse yarıyarıya indirilmesi çoklu nokta kaynağı proseslerinin gelecekte de üzerine çalışılacak bir konu haline getirmektedir.

Otomotivde insan iş gücü zamanla robot iş gücüne evrilmektedir. Ancak robotların yüksek maliyetli oluşu, bunların mümkün olan en verimli şekilde kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Nokta kaynağı yapan robotların aynı anda ve birden fazla noktaya kaynak yapması robot kullanım verimliliğini arttıracaktır. Projenin çıktılarına baktığımızda bundan sonraki hedefin; tasarlanan bu ekipmanı robotların kaynak tabanca ünitelerine entegre edilebilir hale getirerek, robotlarla yaygın kullanılması olacağını söyleyebiliriz.



Şekil 5.2: Nokta kaynağı robotu.

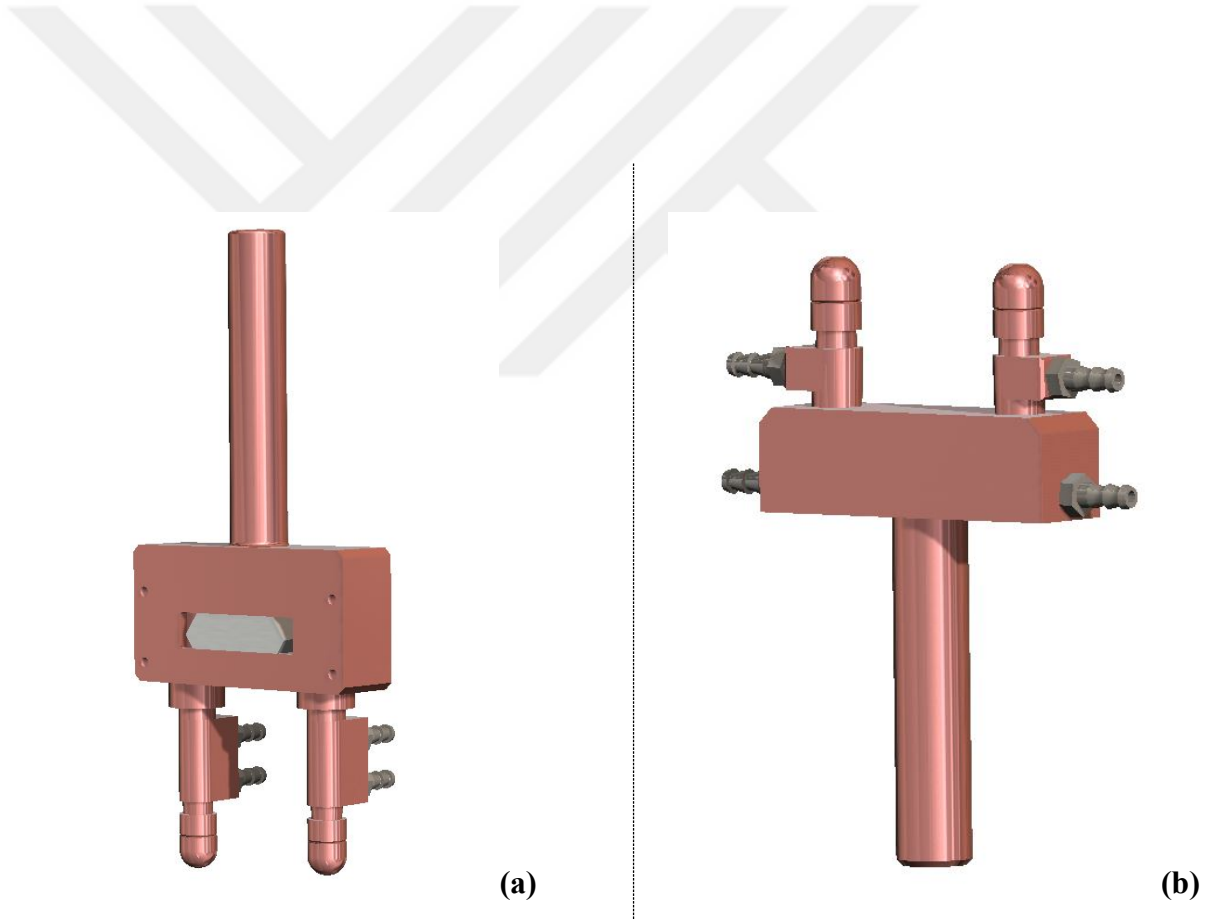
KAYNAKLAR

- [1] Ünlükal E. (2007). Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Artırılması, *İtü Yüksek Lisans Tezi*.
- [2] Akkas N., İlhan E. (2013). Effect of Welding Current on Mechanical Properties of Welding Joints in SPA-C Steel Sheets in Resistance Spot Welding, Proceedings of the 3rd International Congress APMAS2013, April 24, 28, 2013.
- [3] Akyol M. (2001). Otomotiv Sanayiinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları Ve Karşılaşılan Sorunlar, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Schanz A. C., Ridge G. (1941). Swinging Multiple Spot Welding Electrode, N. J., assignor to American Car and Foundry Company, New York, N. Y., a corporation of New Jersey Application February 7, 1941, serial No. 37,911 USA Patent Office.
- [5] Width R. B., Rochester (1959). Multiple Electrode Holder, Mich. assignor to Air Reduction Company, Incorporated, New York, N.Y., a corporation of New York Filed May 12, 1959, Ser. No. 812,689 12 Claims. (Cl. 239-87) USA Patent Office.
- [6] Smith R. L. (1993). Self-Adjusting Spotwelding Electrode Holder, 2129 - 10th St., Patent Number: 5,285,043 USA Patent Office.
- [7] Voigt A., Graul M. (2018). Method And Device For Resistance Welding And Coupling Of Forces Between Electrodes, Patent no: US 10 , 099 , 312 B2 USA Patent Office.
- [8] Aslanlar S (1999). Galvanizli Kromatlı Mikro Alaşımlı Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygun Hasar Modunun Tespiti, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [9] N. N. (1980). Welding processes resistance welding and solid- State welding and other joining processes, Welding handbook, vol 3 / 7. Ed., Aws Miami 1980.
- [10] Fritz H., Schulze G. (1991). Fertigungstechnik, VDI, verlag, 1991.
- [11] Eryürek B. (1983). Elektrik direnç kaynağı, mühendis ve makina, Sayı 279 1983, S22/31.

- [12] Aktaş S. (2008). Otomotiv Sektöründe Kullanılan Dual Faz Sacların Direnç Nokta Kaynağında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [13] Türker M., Güven E. A. , Ertürk A.T.(2017). Ultrasonik Yöntem ile Tahribatsız Malzeme Muayenesi, Malzeme, Metalurji, Otomasyon ve Üretim Teknolojisi dergisi.
- [14] MD. Hazrat A. , Katsuki A. , Kurokawa S. , Sajima T. (2013). Design of Mechanical Actuator in 3D CAD Software, International Conference On Design and Manufacturing, Icondm 2013.
- [15] Glodová I., Lipták T., Bockoc J.(2014). Usage of finite element method for motion and thermal analysis of a specific object in SolidWorks environment, Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems MmaMS.
- [16] Url-1 <<http://www.solidworks.com>>, date retrieved 10.12.2020.
- [17] Anık S., Oğur A., Vural M. , Turan H. (2016). Direnç Nokta Kaynak Elektrodu Ömrünün Deneysel Analiz, kaynak teknolojisi 2. ulusal kongresi.
- [18] Korkut S. (2017). Url-2 <<https://www.serdarkorkut.com/2017/05/22/von-mises-gerilmesi>>, date retrieved 15.12.2020.

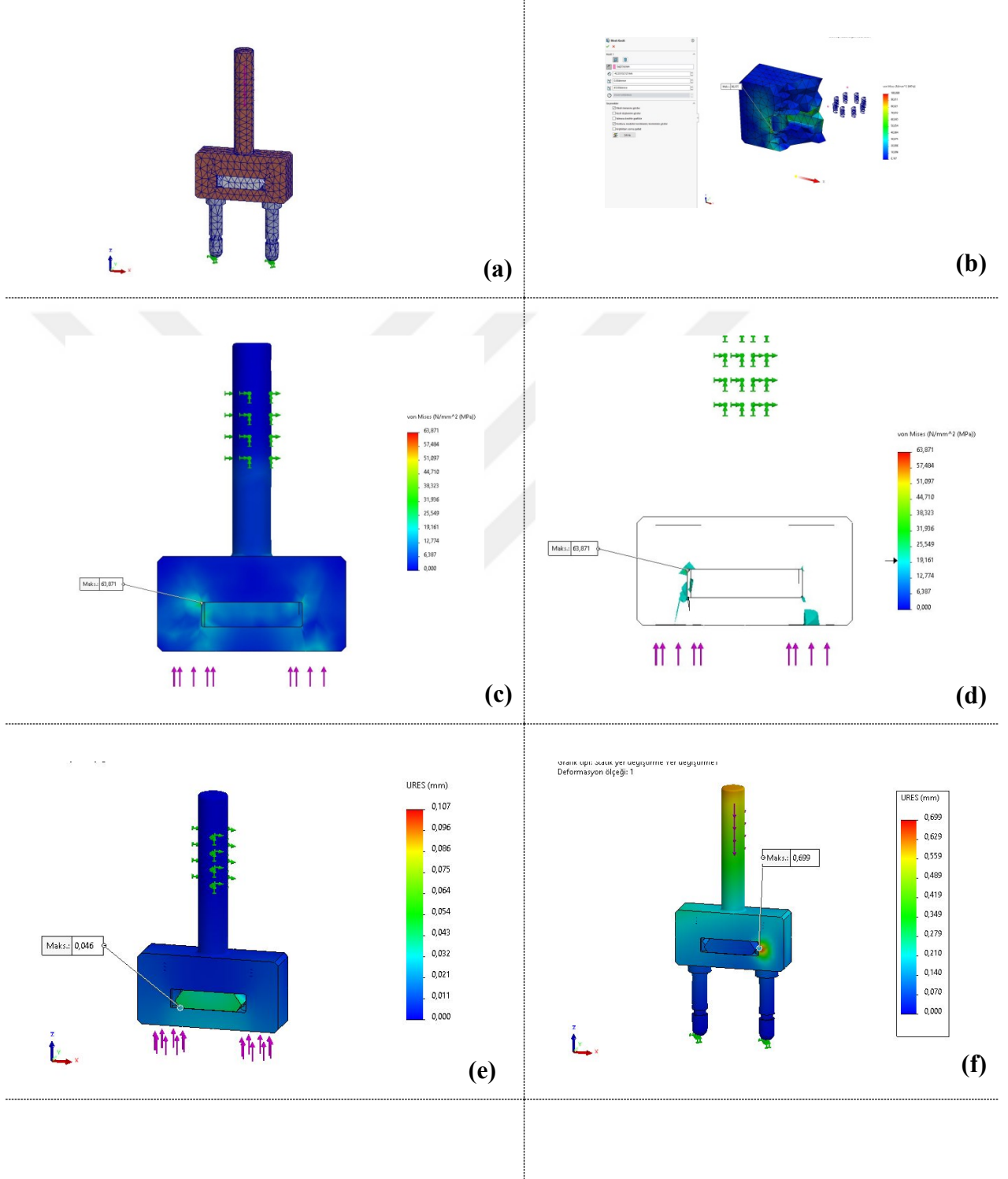
EKLER

EK A.1 : Tasarım Görselleri



Şekil A.1 : Tasarım Görselleri: (a) Üst hareketli elektrot. (b) Alt sabit elektrot

EK A.2 : Analiz Sonuçları



Şekil A.2 : Analiz Sonuçları: (a)Mesh dağılımı, (b) Özel Mesh bölgesi, (c) Statik analiz gerilme dağılımı, (d) En yüksek gerilim noktası, (e) Denge bloğundaki max yer değiştirme, (f) Elektrot grubundaki max yer değiştirme

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Enes Korkut

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2010-2011 yılları arasında Bilkent Üniversitesi, Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM)'da Tubitak projesinde çalıştı.
- 2011 yılında Bıçakçılar firmasında AR-GE mühendisi olarak çalıştı.
- 2012 yılında beri Toyotetsu Otomotiv'de AR-GE departmanında Müdür yardımcısı olarak çalışmaktadır

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Korkut E., Akkas N.** 2020. Çoklu Nokta Kaynağı Elektrodu Tasarımı Ve Uygulamaları, 5. *Uluslararası Battalgazi Bilimsel Çalışmalar Kongresi*, 18-20 Aralık 2020 Malatya, Türkiye.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Korkut E., Onat M., Akdikmen O.,Yöntem O.** 2019. Otomatik Dairesel Gazaltı Ark Kaynağı Makinesi Tasarımı, 1. *Ulusal Mühendislik ve Teknoloji Kongresi*, 17-19 Ekim 2019, Karaman, Türkiye.
- **Yaman M., Khudiyev T., Ozgur E., Kanik M., Aktas O., Ozgur E., Deniz H., Korkut E., Bayindir M.** 2011. Arrays of indefinitely long uniform nanowires and nanotubes, *Nature Materials*, July 2011– 10/7 – 494-501