T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRON KAYNAKLAMA CİHAZI KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

Taha Batuhan İLHAN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Erol UZAL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2021

Bu çalışma, 26.01.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Erol UZAL (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Gökhan N. ÜNEL
University of California, Irvine
Physics and Astronomy

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek enerjili elektron demeti teknolojileri 1950'lerden beri sanayinin bir parçasıdır. Yurt dışı kaynaklarda bu yöntemin yüksek hassasiyet ve kalite isteyen imalatlarda kullanılmasının birçok örneği mevcuttur. Ülkemizde ise bu teknoloji sadece bu cihazların yurt dışından ithal edilmesi ile kullanılabilir.

Elektron demeti teknolojileri kaynaklama, kablolarda çapraz bağlama, atık suların dezenfeksiyonu, güç santrallerinin çevreye saldığı gazların temizlenmesi, polimer modifikasyonları, kauçuk vulkanizasyonu, selüloz depolimerizasyonu, kürleme gibi çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır.

Elektron demeti teknolojilerinin temeli çoğunlukla aynı prensibe dayanmaktadır. Bu çalışma sayesinde, elektron demeti teknolojilerinin temel bilgisine hakim olunarak gelecek teknolojilere sahip olmak için büyük bir adım atılmıştır.

Bu proje ile elektron demet kaynağı gibi yüksek teknoloji bir ürünün yerlileştirilmesi, yeteneklerimiz arasına katılması hedeflenmiştir.

Endüstriyel uygulamalara uygun elektron demet kaynağı cihazı 117F462 numaralı proje kodu ile TÜBİTAK ve 14821 numaralı proje kodu ile Boğaziçi Üniversitesi BAP tarafından desteklenmiş KAHVELab çalışanları tarafından işlevsel hale getirilmiştir.

Bu yüksek lisans tezinde ilk yerli elektron demetiyle kaynaklama cihazının kontrol kısmı ele alınmıştır.

Bu tezi yazmamda öncülük eden Prof. Dr. Erol Uzal ve Öğr. Gör. Aydın Özbey'e, proje yürütücüsü Prof. Dr. Erkcan Özcan'a, bilgi birikimleri ile yardımlarını esirgemeyen Dr. Gökhan Ünel ve Dr. Hakan Çetinkaya'ya, elektron demeti deneyimlerini paylaşan Dr. Ümit Kaya ve Dr. Görkem Türemen'e, mekanik tasarım ve montajı yapan Sinan Öz'e, laboratuvar olanaklarını sağlayan Boğaziçi Üniversitesi ile KAHVELab'a teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Ocak 2021 Taha Batuhan İLHAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xi**
SUMMARY ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **4**
2.1 ELEKTRON DEMETİ NEDİR VE NASIL ELDE EDİLİR? 4
2.2 ELEKTRON DEMET KAYNAĞI NEDİR? 5
2.3 ELEKTRON DEMET KAYNAĞI CİHAZI 7
2.3.1 Yüksek Vakum Elektron Demet Kaynağı 13
2.3.2 Orta Vakum Elektron Demet Kaynağı 13
2.3.3 Vakumsuz Elektron Demet Kaynağı 14
2.4 ELEKTRON DEMET KAYNAĞI CİHAZLARINDA KONTROL 14
2.5 ELEKTRON DEMET KAYNAĞI ÖRNEKLERİ 15
2.6 KAHVELAB VE TÜBİTAK 117F462 21
3. MALZEME VE YÖNTEM **22**
3.1 ELEKTRON DEMETİYLE KAYNAKLAMA CİHAZI PROTOTİPİ 22
3.2 SİSTEM KONTROLÜ 23
3.2.1 LabVIEW 24
3.2.2 PLC 26
3.2.3 Arduino 27
3.3 YÜKSEK GERİLİM KATI 28
3.3.1 Yüksek Gerilim Kaynağı 29
3.3.2 Bipolar Güç Kaynağı 33
3.3.3 Filaman için Güç Kaynağı 36
3.4 DEMET KONTROLÜ 37
3.4.1 Odaklayıcı Mıknatıs 37

3.4.2 Yönlendirici Mıknatıslar 38
3.5 VAKUM ODASI 39
3.5.1 Turbomoleküler Pompa 39
3.5.2 Vakum Ölçerler 40
3.5.3 İş Parçası Tahrik Sisemi 41
3.6 ANA KONTROL SİSTEMİ 42
4 BULGULAR 46
5 TARTIŞMA VE SONUÇ 56
KAYNAKLAR 59
EKLER 61
ÖZGEÇMİŞ 62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Kıtalara Göre EDK Cihazlarının Dağılımı[1] 1

Şekil 2.1: EDK Cihazı Şeması 7

Şekil 2.2: Kaynak Genişlik-Derinlik Farkını Gösteren Çizim[1] 8

Şekil 2.3: 3 mm Kalınlığındaki Paslanmaz Çeliğe Yapılan Kaynak Örneği 15

Şekil 2.4: 15 kW Demet Gücüyle Kaynaklanmış Dubleks Çelik Örneği 16

Şekil 2.5: 100 W Demet Gücüyle Kaynaklanmış Martensitik Çelik 16

Şekil 2.6: 2.7 kW Demet Gücüyle Kaynaklanmış Östenitik Paslanmaz Çelik 17

Şekil 2.7: 9 mm Kaynak Derinliğine Sahip Sementasyon Çeliği 17

Şekil 2.8: Yüksek Basınç Bağlantı Elemanlarına Yapılan Kaynak 18

Şekil 2.9: 6000 Serisi 80 mm Çaplı Alüminyum Tahrik Mili 18

Şekil 2.10: 200 mm, 150 mm ve 50 mm Kaynak Derinliğine Sahip Alüminyum Parçalar 19

Şekil 2.11: Zamak Malzemeye Yapılan Elektron Demet Kaynağı 20

Şekil 2.12: Kaynaklanmış Dişli Parçaları 20

Şekil 2.13: Kaynaklanmış Bronz ve Çelik Parçalar 21

Şekil 3.1: EDK Cihazı Görseli 22

Şekil 3.2: EDK Cihazı Bilgisayarı CPU Özellikleri 23

Şekil 3.3: EDK Cihazı Bilgisayarı RAM Özellikleri 24

Şekil 3.4: LabVIEW Ön Panel ve Blok Diyagram Örnekleri 25

Şekil 3.5: TIA Portal Programında Cihaz Konfigürasyon Görseli 27

Şekil 3.6: Gerilim ve Akım Gözlem Elektrik Bağlantı Şeması 29

Şekil 3.7: Gerilim ve Akım Kontrol Çıkışları Elektrik Bağlantı Şeması 30

Şekil 3.8: Yüksek Gerilim Aktifleştirme Röle Bağlantıları 30

Şekil 3.9: Spellman Yüksek Gerilim Kaynağı için Oluşturulan Kontrol Göstergeleri 31
Şekil 3.10: Glassman Yüksek Gerilim Kaynağı için Oluşturulan Kontrol Göstergeleri.....32
Şekil 3.11: DAC8563 Haberleşme Komutları.....34
Şekil 3.12: Bipolar Analog Çıkış Kartı 35
Şekil 3.13: Bias Kontrolünün Ön Panel Görüntüsü.....35
Şekil 3.14: Bluetooth'dan RS232'ye Dönüştürücü 36
Şekil 3.15: Filaman Ön Panel Kontrol Göstergeleri.....37
Şekil 3.16: Odaklayıcı Mıknatısın Ön Panel Göstergeleri 38
Şekil 3.17: OdaklayıcıdanÖncekiYönlendirici Mıknatısların Ön Panel Göstergeleri.....38
Şekil 3.18: Odaklayıcıdan Sonraki Yönlendirici Mıknatısların Ön Panel Göstergeleri.....39
Şekil 3.19: Turbomoleküler Pompanın Ön Panel Göstergeleri 40
Şekil 3.20: Vakum Ölçerlerin Gerilim-Birim Dönüşüm Formülleri 41
Şekil 3.21: Vakum Ölçer Ön Panel Göstergeleri.....41
Şekil 3.22: Motor Ön Panel Kontrol Göstergeleri.....42
Şekil 3.23: Ana Kontrol Programı Gösterge Paneli 43
Şekil 3.24: Kaynak Sırasındaki Değerleri Kaydetme Diyagramı Görseli 43
Şekil 3.25: Konfigürasyonları Kaydeden Diyagramın Görseli 44
Şekil 3.26: Kaynak Otomasyonu Ön Panel Görseli 44
Şekil 4.1: İlk Kaynak Denemesi 46
Şekil 4.2: İkinci Kaynak Denemesi 47
Şekil 4.3: Üçüncü kaynak denemesi.....48
Şekil 4.4: Altıncı Kaynak Denemesi 49
Şekil 4.5: Zımpara Öncesi Numunenin Mikroskop Altında Görseli 50
Şekil 4.6: Zımpara Sonrası Numunenin Mikroskop Altında Görseli 51
Şekil 4.7: Parlatma Sonrası Numunenin Mikroskop Altında Görseli 52
Şekil 4.8: Kimyasal Dağlama Sonrası Kaynak İzleri 53
Şekil 4.9: Kimyasal Dağlama Sonrası Kaynak İzleri 54

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Kaynak Yöntemine Göre Paso Adetleri 8

Tablo 2.2: Kaynak Tiplerine Göre Isı Girdisi ve Çarpılma 9

Tablo 2.3: Kaynak Tiplerine Göre Güç Yoğunluğu 12

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

A : Akım
AC : Alternatif Akım
cm : Santimetre
DC : Doğru Akım
eV : Elektron Volt
kV : Kilovolt
keV : Kilo Elektron Volt
mA : Mili Amper
MeV : Mega Elektron Volt
mm : Milimetre
s : Saniye
V : Gerilim
W : Güç
ºC : Santigrat Derece

Kısaltmalar **Açıklama**

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ADC : Analog to Digital Converter
CNC : Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
COMECON : Karşılıklı Ekonomik Yardımlaşma Konseyi
DAC : Digital to Analog Converter
EDK : Elektron Demet Kaynağı
HAZ : Isıdan Etkilenmiş Bölge
LIFA : LabVIEW Interface For Arduino
MMC : Metal Matrisli Kompozit
PLC : Programlanabilir Mantıksal Kontrolcü
SPI : Serial Peripheral Interface Bus
SSCB : Sosyalist Sovyetler Cumhuriyetleri Birliği
USB : Universal Serial Bus

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRON KAYNAKLAMA CİHAZI KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

Taha Batuhan İLHAN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Erol Uzal

Elektron demet kaynağı 1950'lerden beri kullanılan, yüksek enerjili elektronların kinetik enerjisinin, ısı enerjisine dönüşmesi prensibi ile çalışan bir kaynaklama sistemidir. Mükemmele yakın kaynaklar, sistemin kontrol edilebilirliğinin yüksek olması ve çok dar alanda yüksek sıcaklık seviyelerine ulaşılabilmesi ile sağlanır. Yakın zamanda dünyada oluşan az maliyet ile yüksek teknolojili ürünler elde edilebilmesi bu tip teknolojilerin önünü açmıştır. KAHVELab bünyesinde TÜBİTAK desteği ile yapımı başarı ile biten elektron demet kaynağı cihazının kontrolü bu tezde ele alınmıştır.

Ocak 2021, 74 sayfa.

Anahtar kelimeler: Elektron, Elektron Demeti, Kaynak, Elektron Demet Kaynağı, LabVIEW

SUMMARY

M.Sc. THESIS

ELECTRON BEAM WELDING DEVICE CONTROL SYSTEM DESIGN

Taha Batuhan İLHAN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Erol UZAL

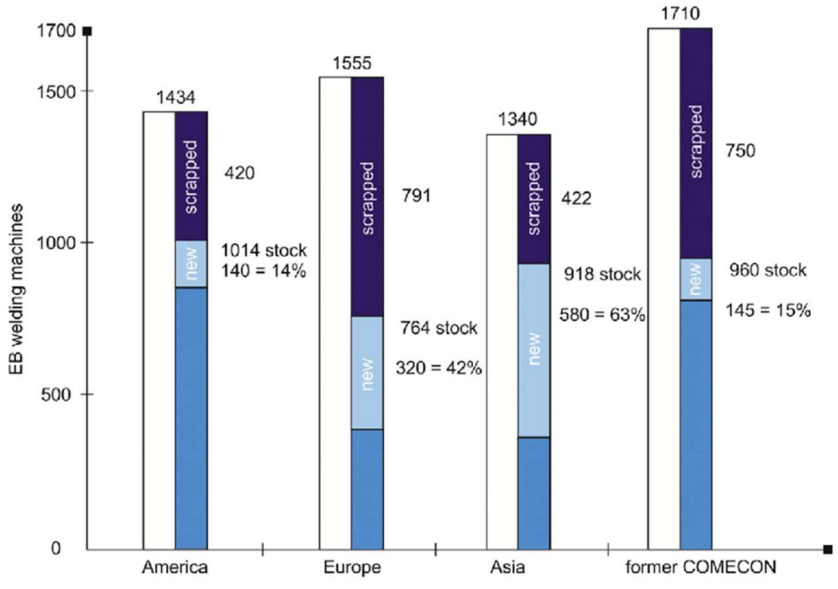
Electron beam welding is a welding system that works with the principle of converting the kinetic energy of high energy electrons into heat energy, which has been used since the 1950s. Near-perfect welds are provided by the high controllability of the system and the ability to reach high temperature levels in a very narrow space. The ability to obtain high-tech products with low cost, which has recently occurred in the world, has paved the way for such technologies. In this thesis, the control of the electron beam welding device, which was successfully completed within KAHVELab with the support of TUBITAK is presented.

January 2021, 74 pages.

Keywords: Electron, Electron Beam, Welding, Electron Beam Welding, LabVIEW

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında yaklaşık 3500 civarında elektron demet kaynağı(EDK) cihazı olduğu düşünülmektedir. EDK cihazlarının dünya üzerindeki dağılımı Asya'daki teknolojik gelişmenin hızla arttığını göstermektedir(Şekil 1.1). Ülkemizde tıp ve endüstri alanlarında kullanılan hızlandırıcılar olmakla birlikte, bunların tamamı yurtdışından satın alınmış durumdadır, yani üretimi ülkemizde yapılmamaktadır. Bu durum katma değer olarak ülke ekonomisine iki yönlü zarar vermektedir. Bu zararlardan ilki, hızlandırıcı teknolojisinin ülkemizde yerleşmiş olmamasından kaynaklı olarak ürün ve malzeme alımların yurtdışından yapılması ve bunun sonucu olarak ülkenin bağımlı hale gelmesidir. İkincisi ise bu kritik teknolojinin yabancı ülkelerce çok yüksek fiyatlarla ülkemize satılması sonucu yaygınlaşamamasıdır. Bu sorunların doğal sonucu olarak Türk sanayisinde ve biliminde elektron hızlandırıcısı uygulamaları hak ettikleri önemi ve yeri bulamamıştır. Oysaki, en düşük (<100 keV) enerjilere sahip elektron hızlandırıcılarının dahi akademide (elektron mikroskopları) ve endüstride (elektron demetiyle kaynaklama) ciddi kullanım alanları vardır. Elektron mikroskoplarının büyütme katsayısı ve çözünürlük açısından optik mikroskoplara olan üstünlükleri tartışılmazdır. EDK ise, kaynak derinliği ve genişliğinin kontrol edilebilmesine olanak sağlamakta ve geleneksel kaynaklama yöntemleriyle elde edilemeyen hassaslıkta ve dayanıklılıkta üretimi mümkün kılmaktadır.



Şekil 1.1: Kıtalara Göre EDK Cihazlarının Dağılımı[1]

Yüklü parçacık demetleri endüstride geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bu uygulamaların birçoğunda da elektronlar, protonlara göre daha hafif oldukları için öne çıkmaktadırlar. Elektronlar 1-2 MeV enerji kazandıktan sonra ışık hızına yaklaşırlar, bu da tasarıma göre, hızlandırıcının yaklaşık ilk birkaç metresine karşılık gelir. Ek olarak elektron hızlandırıcıları basit ve kullanımı kolay olduğu için tercih edilir. Hızlandırıcı, yüksek radyasyon çıkışını düşük maliyette sağlar [2].

Elektron demetlerinin endüstrideki uygulama alanları 1930'lardan günümüze kadar çeşitlenerek artmaktadır. Örneğin, yüksek enerjili düzenekler (5-20 MeV) ile medikal hızlandırıcılar yapılabilir, medikal cihaz sterilizasyonu, gıda ışınlaması gibi elektron ve foton demeti servisi (ve bu şekilde elde edilen x-ışınlarıyla yapılabilecek uygulamalar) verilebilir. Orta enerjili düzeneklerde (~400 keV – 5 MeV) ile tel ve kablolar iyileştirilir, lastik endüstrisine katkı verilir, fabrika baca gazları temizlenebilir (flue gas treatment). Düşük enerjili düzeneklerde ise (80 keV– 300 keV) aşılama (grafting), kurutma (curing), çapraz bağlama (crosslinking), ayrıştırma (degrading) gibi işlerde kullanılır. Bunlardan yavaş elektron demetleri dahi (20-80 keV) hem akademi hem de endüstride rol oynarlar[3].

EDK, ergitme ve katı hal kaynak yöntemleri ile elde edilemeyen mekanik ve mikroyapı özelliklerin elde edilmesi için kullanılan bir ileri kaynak teknolojisidir.Yüksek vakum altında yüksek enerjilere çıkartılan elektronların iş parçasına çarptırılarak kaynak yapılması prensibine dayanır. Elektron yayınımı ve elektron enerji korunumu için sistemin vakum altında olması en azından elektron tabancası kısmı için gereklidir. İş parçasının bulunduğu kısmın vakum altında olup olmaması sistemin minimum güç gereksinimini ve kaynak derinliğini etkiler. İş parçasının atmosfer basıncı altında olmasının avantajı, iş parçası değişim hızı ve iş parçası boyutlarının vakum haznesi sınırlamasından bağımsız olmasıdır.

EDK'nın en önemli avantajlarından birisi, elektrik ark kaynağında gerekli olandan daha az bir toplam ısı girdisi ile kaynak yapabilmesidir. Isıdan etkilenen bölge (HAZ- Heat effected zone) çok düşük ısı girişi ile iş parçasında daha az bir termal etki fark edilmektedir. Bu yöntemin avantajları olarak[4];

1. Odaklanma anında çok yüksek güç yoğunluğu 10^7 Wcm^{-2},
2. Malzemenin kalınlığından bağımsız olarak ek malzeme gerekmeden kaynak yapılabilir,
3. Refrakter malzemelerin kaynağının yapılabilmesi,

4. Diğer kaynak yöntemlerine nazaran kaynak hızının daha yüksek oluşu, toplam üretimde zamandan ve maliyetten avantaj sağlaması, kaynak genişliğinin ve derinliğinin ayarlanabilmesi,
5. Yüksek enerji yoğunluğu ve kontrol edilebilir demet boyutu ve kaynak bölgesi sayesinde benzer ve farklı metallerin kaynağına uygun kaynak yönetimi olması,
6. Vakumsuz elektron demet kaynağının atmosferde yapılabiliyor olması,
7. Ayrıca tel besleme sistemine de adapte edilebiliyor olması, delik ve boşluk problemlerinin uygun şekilde kaynakla birleştirilmesine olanak vermesi,
8. 1 kW - 300 kW arası demet gücünde 300 mm'ye kadar kalınlıkta malzemelerin kaynaklanabilmesi,
9. Yapı çelikleri, alaşım çelikleri, demir dışı metalleri başarılı bir şekilde kaynaklanabilir,
10. Kaynak parametreleri ve kaynak kalitesinin tekrarlanabilirliği yüksektir.

Genel kısımlarda EDK cihazının nasıl çalıştığı ve çeşitleri açıklanmıştır. Malzeme ve yöntem kısmında ürettiğimiz EDK cihazından nasıl bir kontrol yolu izledik ve neler yaptığımız hakkında bilgiler bulunmaktadır. Bulgular kısmında yaptığımız ilk kaynak denemeleri ve numunelerin tahribatlı muayeneleri hakkında bilgiler yer almaktadır. Son kısımda ise EDK'nın gelişmesi için yapılması planlananlar ve bu teknolojinin ileriye dönük olarak bize kazandıracakları anlatılmıştır.

Dünyada hızlandırıcı teknolojileri muazzam seviyelere gelmiştir. Hali hazırda büyük ekonomilerin veyahut küçük ekonomilerin birleşerek inşa ettikleri hızlandırıcı tesisleri büyük teknolojik gelişmelerin önünü açmaktadır. Yapılan düşük enerjili elektron hızlandırıcısı ile yerel ölçekte mühendislik ve fizik alanında bir altyapı, yetişmiş insan gücü elde edilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 ELEKTRON DEMETİ NEDİR VE NASIL ELDE EDİLİR?

Elektron demeti veya eski adıyla katot ışını, vakum tüplerinde gözlemlenen elektron akışlarıdır. İki elektrot içeren ve bir gerilim uygulanan havası boşaltılmış cam tüpte, elektronların katottan yayılması nedeniyle pozitif elektrodun parlamasıyla gözlemlenmektedir. Seyreltilmiş gazlarda elektriksel iletkenlik üzerine çalışmalarda bulunan Julius Plücker, 1859 yılında, katottan yayılan radyasyonun yol açtığı fosforesans ışığın, katodun yanındaki tüpte göründüğü ve bu ışığın, manyetik alan uygulamasına bağlı olarak hareket ettiği gözlemledi. 1869'da Johann Wilhelm Hittorf, katot ile tüpün duvarları arasına koyduğu katı bir cismin bir gölge oluşturduğunu tespit etti. 1876'da Eugen Goldstein, bu cismin gölgesinin, cismin kendisinden daha büyük olduğunu gözlemleyerek fosforesansı oluşturan ışınların katottan direkt bir yol izleyerek geldiğini belirledi ve bu ışınlara katot ışınları adını verdi. 1897'de J.J. Thomson, katot ışınlarının daha önceleri bilinmeyen, sonraları elektron olarak adlandırılan negatif yüklü parçacıklardan meydana geldiğini tespit etmiştir. Günümüzde bu kavram, daha yaygın biçimde "elektron demeti" olarak adlandırılmaktadır[5].

Katot ışınlarına ilginin akademik dünyanın dışına ulaşması fazla zaman almamıştır. Örneğin 1913 yılında General Electric Şirketi'nden William Coolidge, ilk yüksek vakum içerisindeki ısıl katodun patent başvurusunda bulunmuş, burada elektron demeti üretmek için gaz deşarjı yerine ısıl katot kullanılmasını önermiştir. Böylece ilk modern elektron demeti hızlandırıcıları üretilmiştir [3]. Yaklaşık 100 yıl önce başlayan bu teknoloji ile çeşitli elektron tabancaları ve hızlandırıcıları üretilmiştir ve halen birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır.

Elektron hızlandırıcıları temel fizik araştırmaları gibi bilimsel amaçlarla kullanılmalarının yanı sıra, elektron mikroskobu veya x-ışını kaynakları gibi bilimin ve teknolojinin birleştiği uygulamalarda ve elektron demetiyle kaynaklama ve şekillendirme gibi tamamen endüstriyel uygulamalara yönelik çalışmalarda da kullanılır. Amaçlanan uygulamaya göre de elektronların elde edildiği kaynak yani elektron tabancası farklı yöntemlerle üretilir. Söz gelimi bilimsel amaçlı uygulamalarda, düşük demet yayınımı amaçlandığından fotoelektrik etki ile çalışan foto-enjektör tipi elektron kaynakları kullanılabilir. Endüstriyel uygulama alanlarında ise elektron demetlerinin düşük maliyetli, yüksek akımlı, kullanımı kolay ve yüksek verimlilikte olması beklenir. Bu kriterlere uygun olarak geliştirilen elektron kaynağı ısıl kaynaktır. Bu

yöntemde elektronların yeterince ısıtılan bir metalin yüzeyinden (katot) kaçmalarından faydalanılır. Vakum altında uygun elektrik alan uygulandığında bu elektronlar hızlandırılabilir ve bir elektron demeti oluşturur. Bu yapıya elektron tabancası adı verilir.

Burada tanımlanan tüm parçalar arasında teknoloji olarak en çok farklı alternatifi olan parça katottur. Bilimsel amaçlı modern hızlandırıcılarda alan yayınımı veya ışıkla uyararak gibi yöntemler demet yayınımını düşük tutmak amacıyla kimi zaman tercih edilmektedirler. Geleneksel olarak V-şeklinde bükülmüş bir tungsten teli içinden AC veya DC akım geçirerek oluşturulan ısıl katot yerine farklı çözümler de üretmek mümkündür. Örneğin, katotların materyaline ve ısıtma şekillerine göre performansları çeşitlilik göstermektedir. Doğrudan ısıtılan saf tungsten filaman katotlar 2500 ºC civarında çalıştırılmaktadır. Buna karşılık toryum, vb. maddelerle kaplı tungsten katotlar için daha düşük sıcaklıklar tercih edilmektedir. Dolaylı olarak ısıtılan katotlarda ayrı bir ısıtıcı tel olarak tungsten bulunmakta ve daha düşük sıcaklıklarda çalışmaktadırlar [6]. Ayrıca Tungsten dispenser katotlar da katot olarak kullanılmaktadır.

Elektron demeti elde etmek için elektronlar bir katottan kopartıldıktan sonra, anot ile katot arasına uygulanan yüksek gerilim sebebiyle hızlandırılır. Anot ile katot arasına demeti şekillendirmek ve fazla dağılmasını engellemek amacıyla ara elektrotlar yerleştirilip bunlara anot gerilimi bölünerek uygulanabilir. Gene aynı amaçla katodun hemen çevresine ondan daha düşük gerilimde tutulan bir Wehnelt elektrodu yerleştirilmesi mümkündür. Bu yöntemlerle elde edilecek elektron demetinin anot çıkışından daha uzakta yer alan bir hedef üzerinde odaklanabilmesi için bir veya daha fazla manyetik lens kullanılır. Bu şekilde yüksek enerji yoğunluklu elektron demeti elde edilebilir.

2.2 ELEKTRON DEMET KAYNAĞI NEDİR?

1949'da Karl-Heinz Steigerwald tarafından geliştirilmeye başlanan ilk EDK makinesi 1950'lerde kullanıma alınmıştır [1]. İlk referans ve kaynak derinliğinin genişliğine oranı 20:1 olan kaynak görseli 20 Kasım 1959'da anonim olarak Metalworking Production dergisinde yayınlanmıştır. İlk ticari olarak üretimi 1958 sonlarında İngiltere'de yapılmıştır. İlk üretilen makinelerin çoğunluğu nükleer enerji uygulamalarında kullanılmıştır. Altmışlı yılların başından beri bazı ülkelerde bu teknoloji alanında diğer ülkelere göre daha hızlı bir gelişme olmuştur. ABD, SSCB (Rusya ve Ukrayna), Almanya, Fransa, Japonya ve İngiltere bu

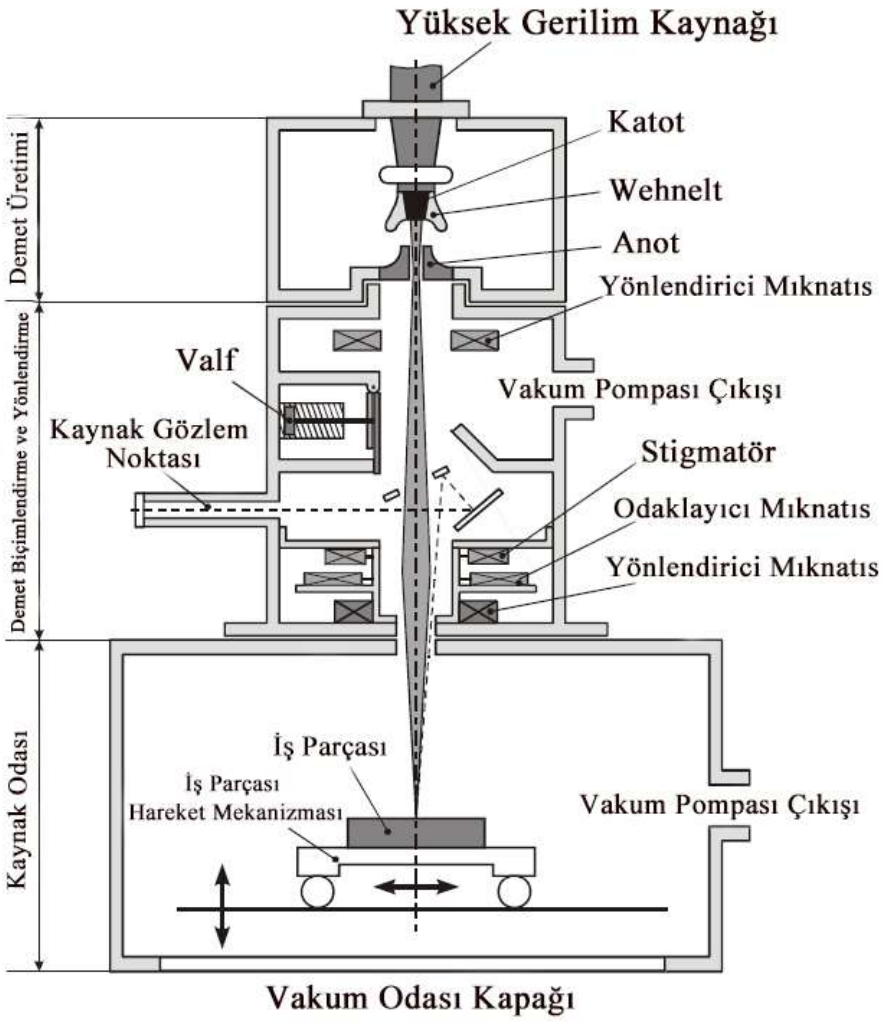
teknolojiye öncülük etmiş ülkelerdir. Daha sonraları otomotiv endüstrisinde 1967 yılında ABD ve sonra da diğer Avrupa ülkelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Otomotiv sektöründe ise ilk olarak volan üzerine dişlileri kaynaklamak için Michigan'da kullanılmıştır. Avrupa'da da üçlü hız dişli kutusunda frenleme bandının iki parçasını kaynaklamak için Almanya'da uygulanmıştır. Transmisyon, hız dişlilerinin ve senkronize dişlilerin kaynağını içeren uygulamalar bu yöntemle yapılmıştır.[7]

Elektron demet kaynağı yöntemi gelişmekte ve birçok endüstrideki uygulamaları artmaktadır. Farklı metallerin elektron demet kaynağı kullanılarak birleştirilmesi son yıllarda ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. Bronz-Çelik, Titanyum-Çelik gibi konvansiyonel kaynak ekipmanları ile kanyaklanamayan malzemeler EDK ile kaynaklanabilmektedir. EDK'nın yüksek enerji yoğunluğu, kontrol edilebilir demet boyutu ve kaynak bölgesi, benzer veya farklı metallerin kaynağında bu kaynak yöntemini önemli hale getirmiştir.

EDK bir ergitme kaynak yöntemi olmasına rağmen, geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında üstün özelliklere sahiptir. Kaynak işlemi esnasında az sayıdaki kaynak pasosu büyük bir avantaja sahip olup, toplam maliyet açısından ekonomiktir.

2.3 ELEKTRON DEMET KAYNAĞI CİHAZI

Elektron demet kaynağında diğer ergitme kaynak yöntemlerinden farklı olarak uzun bir kaynak derinliği elde edilir. Elektron ışın kaynağında elde edilen uzun kaynak derinliği, yüksek hıza çıkartılmış olan elektronların ana metale vuruşuyla elde edilir. Elektronların çarptığı noktalarda önemli sıcaklık artışı, ana metalde ergimeye ve buharlaşmaya neden olur. Oluşan metal buharı içerisinden elektron ışınları katı metalde olduğundan daha kolayca hareket ederler. Bu da ana metalde daha derinlere etki etmesini sağlar.



Şekil 2.1: EDK Cihazı Şeması

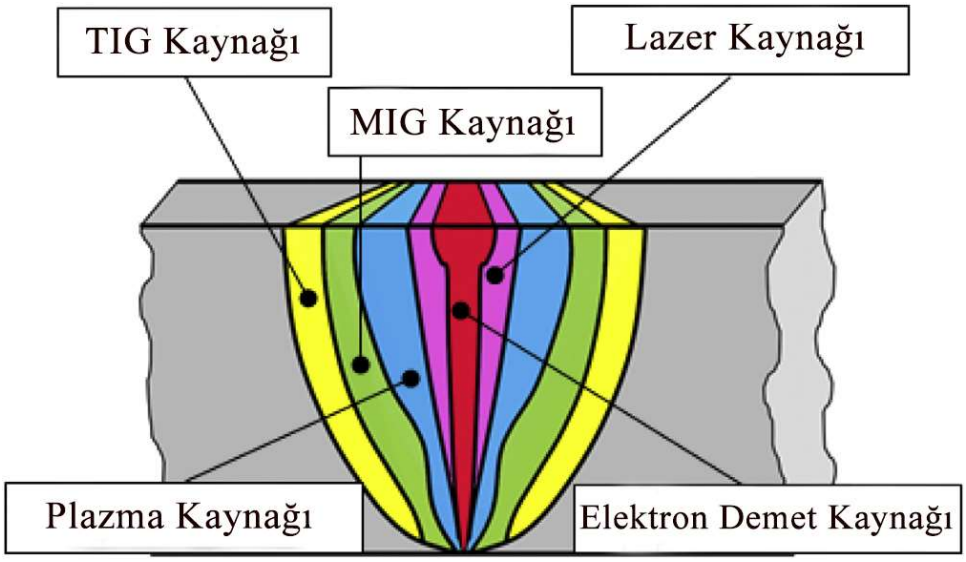
EDK yöntemi ile diğer ergitmeli kaynak yöntemlerinin kaynak derinliği karşılaştırılması ve kaynak işlemi için parça kalınlığına bağlı olarak kaynak yöntemlerinin gerektirdiği kaynak pasosu karşılaştırılması Tablo 2.1'de verilmiştir[8].

Tablo 2.1: Kaynak Yöntemine Göre Paso Adetleri

Parça Kalınlığı	EDK	TIG	Elektrik Ark	MIG	Tozaltı
200 mm	1	280	80	80	60
100 mm	1	140	32	32	25
35 mm	1	50	30	25	--

EDK, yüksek performans istenen malzemelerin kaynağı için özellikle kullanılan bir kaynak yöntemi olup avantajları aşağıda açıklanmıştır.

Kaynak derinliği; bu kaynak yönteminde ergime bölgesi, kaynaklı bölgenin sadece %5-10 kadar bir bölgesini kapsar.



Şekil 2.2: Kaynak Genişlik-Derinlik Farkını Gösteren Çizim[1]

Kaynak yapılacak plakaların kalınlıkları sınırlı bile olsa yüksek güç yoğunluğu ve düşük güç yoğunluğu sağlanabilmekte, ark kaynağına göre yüksek dayanım ve düşük iç gerilmeler elde edilmektedir. 30 mm HY130 çeliği TIG kaynağı ile 48 pasoda kaynaklanabilirken, EDK ile tek pasoda kaynak yapılabilme imkanı vardır. Başka bir önemli avantajı da östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında düşük ısı girdisi sayesinde kaynak bölgesinde oluşan kaynak çatlağı riski azaltılmaktadır. Ayrıca kaynak sonrası gerilme giderme tavlaması işlemine gerek kalmamaktadır. Tablo 2.2'de çeşitli kaynak yöntemlerine göre ısı girişi ve enine büzülme değerleri verilmiştir. Burada EDK ile yapılan ısı girdisi ve enine meydana gelen büzülmedeki farklılık açıkça görülmektedir[8].

Tablo 2.2: Kaynak Tiplerine Göre Isı Girdisi ve Çarpılma

Kaynak Metodu	Parça Kalınlığı(mm)	Isı Girişi(kj/mm)	Enine Büzülme(mm)
EDK	12	0.2-0.5	0.06-0.07
Elektrik Ark	12	3.0-3.2	0.8-0.9
Daldırma Ark	12	5.6-6.0	0.75-0.8
TIG	12	1.2-1.3	0.38-0.42

EDK ile yapılan kaynaktaki enine ve boyuna büzülme değerleri ark kaynağı ile yapılan kaynağın %10'u kadardır. Ark kaynağı ile karşılaştırıldığında EDK kaynağı bütün malzemelerin kaynaklı birleştirilmesine uygundur. Ayrıca benzer veya farklı malzemelerin kaynağına elverişlidir.

EDK kaynak yönteminin görülen bu avantajları yeni kullanım alanlarının artmasına neden olmuştur. Alüminyum ve alaşımlarının da geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynaklanması zordur. Geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynaklanamayan malzemelere 7075 alüminyum alaşımları örnek verilebilir. Bu alaşımın geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynağında, kaynakta aşırı çekme ve kaynak çatlakları meydana gelmektedir. Özellikle 7075 alaşımının EDK ile kaynağında kaynak nüfuz edişi ana alaşım elementi bakır olan 2XXX serisi alüminyum alaşımından daha iyidir. Bu da yüksek buharlaşma basıncına sahip olan çinko ve

magnezyumdan dolayı sağlanmaktadır. Diğer yandan mekanik özelliklere bir göz atıldığında, ana metalin uzama gerilmesi ile EDK ile kaynaklanmış 7075 alaşımı karşılaştırıldığında, küçük uzama ile oldukça sünek bir kırılma meydana gelmiştir. Kaynağın kırılma tokluğunun, ana malzemeden daha yüksek olduğu belirtilmektedir[9].

Günümüz teknolojisi hızla gelişmekte ve yeni malzemeler üretilmektedir. Metal matrisli kompozitlerde (MMC) bu yeni malzemelerdendir[10]. MMC yapı malzemeleri olarak popülerliğini gittikçe arttırmaktadır ve kompozit malzemelerin birleştirilmesinin önemi de gittikçe artmaktadır[11,12,13]. Kompozit malzemelerin kullanım alanları arttığı için optimum birleştirme tekniklerinin belirlenmesi gerekir. Bu malzemelerin birleştirilmesi için de; TIG kaynağı, EDK ve lazer demet kaynağı, direnç kaynağı, plazma kaynağı, difüzyon kaynağı, sürtünme kaynağı, lehimleme, adhesive birleştirme yöntemleri vb. uygulamalar vardır[14]. Farklı metalleri birleştirmek için sürtünme, basınç, direnç, difüzyon, lehimleme gibi kaynak yöntemleri kullanılmakta olup birleştirme esnasında ana metal katı halde olduğu için ergime problemleri elimine edilebilir[13]. Bu bakımdan bu kaynak yöntemleri ergitme kaynak yöntemlerinden daha avantajlıdır. Son yıllardaki EDK'daki artışa sebep olarak; EDK ekipmanlarındaki hızlı artış, EDK ile gerçekleştirilebilen yüksek kalite, diğer geleneksel kaynak yöntemleri ile gerçekleştirilemeyen özel işlemler, toplam üründe bu yöntem ile edilen ekonomik avantajlardır[15]. Genellikle, EDK yüksek vakum altındaki basınç koşullarında uygulanmaktadır. Çünkü elektron demetinin elde edilmesi için vakum odası gereklidir. Fakat bunun yanında büyük parçaların kaynağında kaynak odası vakum basıncının, kaynak tabancası bölgesindeki kadar yüksek olmasına gerek yoktur. İş parçasının bulunduğu bölge bazı durumlarda vakumsuz ortam olabilir[16].

Genel olarak EDK, filamandan ayrılan elektronların katot-anot arasına yüksek gerilim uygulanması sayesinde enerji kazandırılıp manyetik lenslerle odaklanması prensibi ile çalışır. Kaynak işleminde kullanılan tabancalar, X-ışınları tüplerinde kullanılan tabancalara benzerdir. EDK makinesinin üç ana elemanı elektron tabancası, güç sağlayıcı kontrolü, iş parçası vakum odasıdır. EDK'nın ısı girişi ise dört şekilde kontrol edilebilir. Bunlar demet akımı veya iş parçasına ikincil elektron vuruşunun yüzdesi, dakikada vuruş yapan elektronların hızı ve arttırılmış gerilim, demet ile iş parçası arasındaki mesafe, kaynak hızı veya elektronların ilerleme hızıdır. Demetin ilerleme hızı ana metalin kalınlığına bağlı olarak ayarlanabilir. Malzemeye nüfuz etme demet enerjisi ile ilgilidir. Demet enerjisi arttıkça nüfuz etme miktarı

artar. Diğer bir değişken ilerleme hızı arttıkça da nüfuz etme miktarı azalır. Güç yoğunluğu 4-400 kW/mm^2 ile ifade edilir ve bu işlem bir vakum içerisinde yapılır. Metal yüzeyine çarpan elektronların kinetik enerjisi ısı enerjisine dönüşerek kaynak işlemi için kullanılır. Elektron demetinin güç yoğunluğu yaklaşık 10^6 Wcm^{-2}'dir ki bu TIG kaynağında 10^2 Wcm^{-2}'dir[14]. Elde edilen güç yoğunluğu ile tabancadan bir metre uzaklıklara kadar çalışma imkanı sağlar. EDK'nda çok düşük ısı girişi ile yüksek nüfuz etme, ısıdan etkilenen bölgede ark kaynağında olduğundan çok daha küçüktür. İlaveten paralel alın kaynaklarında çarpılma hemen hemen minimumdur. Soğuma oranı birçok malzeme için çok yüksektir ve yüksek karbonlu çelikler için bu bir dezavantaj olup, çatlama ile sonuçlanabilir. Normal çalışmalarda ilave dolgu malzemesi kullanılmamasına rağmen kullanılması gerektiği durumlarda, ilave metal kullanımına müsaittir. Elektron demetinin ısı yoğunluğu, gaz alevi ve elektrik arkı ile oluşan ısı yoğunluğundan 10000 misli daha yüksektir. Elektrik ark kaynağında yüzeye bırakılan ısı yarım daire şeklinde bir yüzeye dağılırken, elektron demetinin yüksek ısı yoğunluğu sebebi ile parçanın derinliğine nüfuz eden kanal şeklinde bir ısı dağılımı ortaya çıkar[17]. EDK'da elektronlar yaklaşık ışık hızının %70'i bir hızla hareket ederler[18]. Elde edilen toplam enerjinin %65'i ısıya dönüşür. Bu oran lazer ışın kaynağında da yaklaşık aynıdır. Diğer geleneksel kaynak yöntemlerinde bu oran çok daha düşüktür ve de yüksek enerji yoğunluğu diğerlerinde olduğundan çok daha yüksektir[19]. Tablo 2.3'de kaynak yöntemlerine göre ısı kaynaklarının güç yoğunluğu görülmektedir[17].

Tablo 2.3: Kaynak Tiplerine Göre Güç Yoğunluğu

Kaynak işleminin ısı kaynağı	Güç yoğunluğu(W/mm^2)
Oksi-gaz kaynağı (O_2+C_2H_2)	10
Hidrojen kaynağı (O_2+H_2)	30
Argon ark kaynağı (200A)	150
EDK (darbeli)	$\geq 10^5$-10^6
(sürekli)	10^4-10^7
Lazer ışın kaynağı (darbeli)	10^5-10^6
(sürekli)	10^3-10^7

EDK'nda elde elde edilen yüksek ısı yoğunluğunda elektronlar temas ettikleri yüzeyi buharlaştırır ve elektronlar katı bir yüzeyden ziyade buhar içinde daha rahat ilerler. Bu sayede elektron demeti malzemede daha fazla derine nüfuz edebilir. Bu yüzden kaynak profili derinliğinin ortalama genişliğe oranı, 25/1'e kadar çıkar. EDK ile mikron mertebesinden 100 mm kalınlıklara kadar levhaların tek paso ile kaynağı mümkün olmaktadır. Diğer kaynak yöntemleri ile bu kadar kalın levhaların tek paso ile kaynaklaması mümkün değildir[17].

EDK'nin iki temel çeşidi vardır. Birincisi düşük gerilimli sistemlerdir ki bunlar 30 kV - 60 kV değerleri arasındadır. İkincisi de yüksek gerilimli sistemlerdir. Bunlar da 100 kV – 200 kV arası değerlerde çalışırlar. Demet ise 100 kW gücündedir. Düşük gerilimli cihazlar daha çok yüksek ve orta vakum işlemleri için uygundur. Vakumsuz EDK'nda minimum 130 kV – 175 kV değerleri arasında yüksek gerilim kullanılır[20].

Bir EDK'nın kontrolü için temel olarak; gerilim, demet akımı ayarı, kaynak hızı, odaklanma akımı, tabanca kolu ve ayarlama kolu sayılabilir. İş parçasının yerine konulduktan sonra ayarı yapılan spot boyutu şunlarla belirlenebilir; elektron tabancasının karakteristikleri, merceğin odaklanma mesafesi ve demetin odağa yerleştirilmesi ile kontrol edilebilen odaklanma akımı,

tabanca ve iş parçası arasındaki mesafe, hızlandırma gerilimi, demet akımıdır. Bu sayılanların her biri demetin son spot boyutunda etkilidir. Gerilimin arttırılması veya demet akış hızının arttırılması ile nüfuz etme miktarı artar. Demet gücü, girilen ışınlama süresi ile metalin ergime miktarını belirler. Kaynak hızının artışı, iş parçası ile demet spotu arasındaki ilerleme hızı ilişkisi diğer işlem değişkenlerinin hiçbirinde değişmezken, nüfuz etme derinliği ve kaynak genişliği uygun şekilde azalır.

2.3.1 Yüksek Vakum Elektron Demet Kaynağı

EDK, elektron ışınları havada çarpışmalardan dolayı enerjisini kaybettiği için ilk olarak vakum altında çalıştırılmıştır. Yüksek vakumlu sistemde, iş parçasından 662 mm'ye kadar elektron ışını toplatılabilmektedir. Yüksek vakumla kaynaklanabilecek malzeme kalınlığı yaklaşık 150 mm civarındadır. Bu yöntemde iş parçasının olduğu bölgede basınç 10^{-6}-10^{-4} mbar aralığındadır. Burada hem ışın hem de kaynaklanacak malzeme vakum içerisindedir. Vakum odası, ideal birleşme için çevrenin oksijen ve hidrojeninden korunmak için kullanılır. Bu tür kaynaklar genellikle nükleer sanayi, uçak sanayi, uzay sanayi, füze yapımı, elektronik sanayi ve jet motoru parçalarının kaynağında kullanılır. Zirkonyum ve titanyum gibi oksijen ve hidrojene ilgisi fazla olan metallerin, vakumsuz veya orta vakum üzerindeki basınç ortamlarında kaynatılması gerekir. Yüksek vakumlu elektron ışın kaynağı ile yapılan kaynakta, kaynak genişliğinin kaynak derinliğine oranının 50/1'e ulaştığı cihaz üretici firmalar tarafından belirtilmektedir[16,19].

2.3.2 Orta Vakum Elektron Demet Kaynağı

Orta vakumda elektron demet kaynağı yönteminde, genelde 10^{-2} mbar civarındaki çalışma basıncı uygulanır. Elektron tabancası her tip elektron demet kaynağı cihazları için yüksek vakum altında tutulur. Buradaki vakum difüzyon pompası ile sağlanır. Mekanik tipteki bir pompa istenen kaynak basıncının son kısmi vakumunu gerçekleştirecek şekilde ayarlanır. Orta vakumlu sistemde iş parçası-tabanca mesafesi 300 mm civarındadır. Bu yöntem ile kaynaklanabilecek parça kalınlığı 50 mm'dir. Bu yöntemin en önemli avantajı pompa gücünün azaltılmış olmasıdır. Orta vakumda elektron tabancası ile iş parçası odası küçük bir delik ile birbirinden ayrılmıştır[21].

Yüksek vakum kaynağı ile karşılaştırıldığında, orta vakumda kaynağın en önemli avantajı, kaynak için kısa süreli bir vakumlama yapılmasıdır. Bu da genel amaçlı bir ünite için genellikle

40 saniyeyi geçmez ve özellikle özel tasarlanmış üniteler için en kısa pompa vakum süresi 5 saniyeden fazladır. Buna göre yöntem minimum hacimli bir ünite kullanarak kütle parça üretimlerine uygundur[16]. Üretilen parça boyutuna bağlı olarak elde kumanda edilen cihazlarda yaklaşık olarak saatte 60 parça, otomatik kontrollü makinelerde ise 600-1500 civarında parça üretilmektedir.

2.3.3 Vakumsuz Elektron Demet Kaynağı

Elektron demet kaynağı hakkındaki son çalışmalarda, vakumsuz elektron demet kaynağı yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemde yalnızca elektron tabancası vakum altında çalışır. İş parçası hava atmosferinde, vakumsuz bir ortamdadır. İş parçasına atmosfer basıncında kaynak yapılır. Yüksek ve orta vakumlu kaynaklarda vakum ile koruma sağlanırken bu yöntemde kaynak korumasızdır. Vakumsuz elektron demet kaynağı ünitesi yatay ve düşey olarak montaj edilip kullanılabilir. Bu sistemde, iş parçası ile elektron tabancası arası mesafe sınırlı olmak zorundadır. Ünitenin gücü 35 kW'dan daha büyüktür. Maksimum kaynatılabilecek parça kalınlığı 50 mm kadardır. Işının %90'ı verimli olarak kullanılır.

Vakumsuz elektron demet kaynağı ile üretilen parça sayısı, orta vakumlu ve yüksek vakumlu kaynak yöntemleri ile üretilenden daha fazladır. Bu avantaj, kaynak tabancası ve kaynak odasının her bir parça için vakumlanması gereken süre ve işçilikten dolayıdır. Parçalar tek başına atmosfer şartlarında kaynak yapıldığında, pratik olarak vakumsuz işlemde çalışma uzaklığı, 9-22 mm gibi bir oranla sınırlandırılır. Bu çalışma aralığı helyum gibi koruyucu gaz ile korunduğunda 25-50 mm civarındadır[22]. Bu yüzden birçok ticari vakumsuz elektron demet kaynağı üniteleri helyum korumalı olarak kullanılırlar. Bu da elektronların havadaki yayınımını azaltır.

Orta vakumlu ve vakumsuz elektron ışın kaynağı ile karşılaştırıldığında, orta vakumlu kaynak yönteminde kaynak odası ve vakum pompası ihtiyacı nedeni ile parça boyutu sınırlıdır.

2.4 ELEKTRON DEMET KAYNAĞI CİHAZLARINDA KONTROL

EDK yazılım kontrollü bir kaynak cihazıdır. Yazılım kontrolü sayesinde kaynak yapımında esneklik, tekrarlanabilirlik ve hassaslık sağlanır. Bu avantajlar EDK cihazlarının endüstride geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlar. Modern EDK cihazları programlanabilir mantıksal kontrolcüler(PLC) ile kontrol edilirler. Bilgisayarlı sayısal kontrol(CNC) sistemlerinin

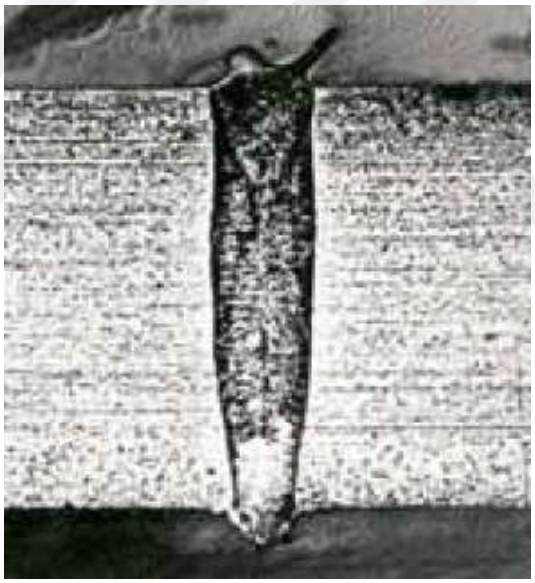
eklenmesi ile EDK cihazlarının otomasyonu tamamlanır. Vakum gibi kaynak öncesi ön koşullar otomatik bir şekilde kullanılır ve monitör edilir[23].

2.5 ELEKTRON DEMET KAYNAĞI ÖRNEKLERİ

Bu kısımda çeşitli yayınlardan alınmış EDK ile yapılmış kaynak örnekleri gösterilecektir.

Östenitik, ferritik ve dupleks çelikler gibi aside dayanıklı paslanmak çelikler elektron demetiyle kaynaklanmaya uygundur[24].

Şekil 2.3'de 3 mm kalınlığındaki bir X6 CrNiTi 18-10 paslanmaz çeliğe 1.1 kW demet gücüyle yapılmış kaynak gösterilmiştir.



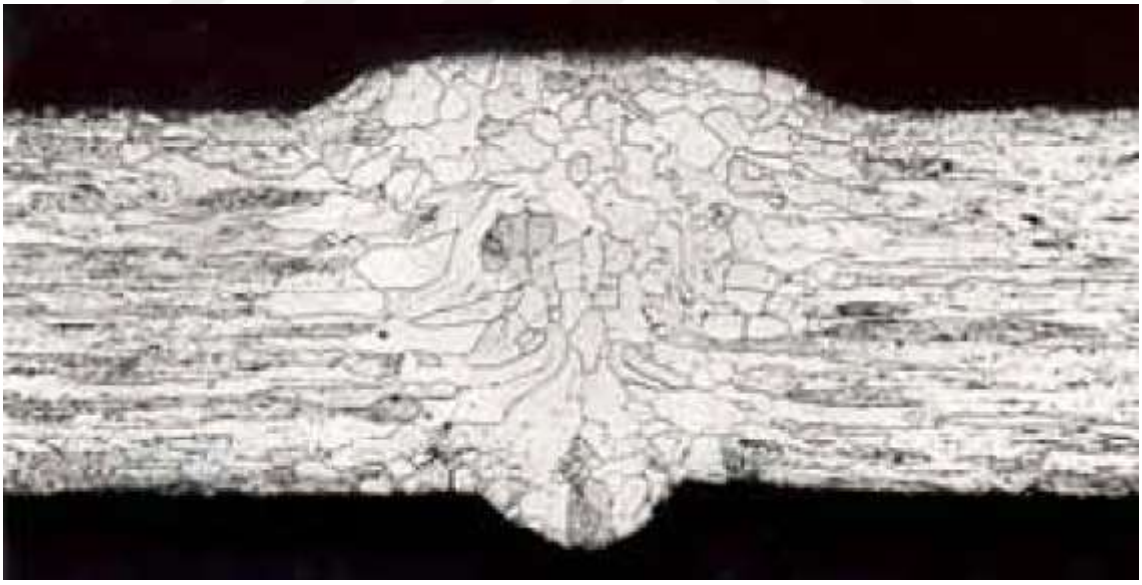
Şekil 2.3: 3 mm Kalınlığındaki Paslanmaz Çeliğe Yapılan Kaynak Örneği

Şekil 2.4'de 15 kW demet gücüyle kaynaklanmış dubleks çelik gösterilmiştir. Kaynağın genişliği 7 mm, derinliği 22 mm.



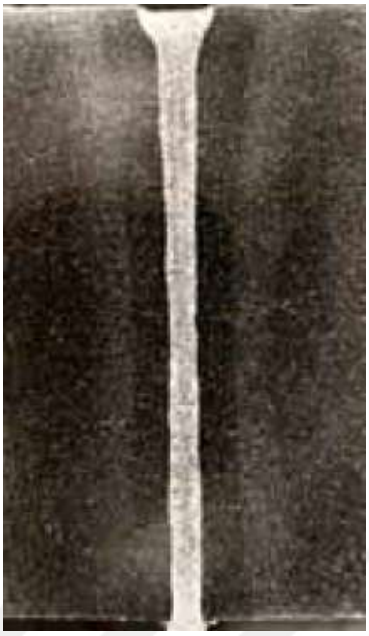
Şekil 2.4: 15 kW Demet Gücüyle Kaynaklanmış Dubleks Çelik Örneği

Şekil 2.5'de 0.5 mm kalınlığındaki X22 CrNi 17 martensitik paslanmaz çeliğe 100 W demet gücüyle yapılmış kaynak gösterilmiştir.



Şekil 2.5: 100 W Demet Gücüyle Kaynaklanmış Martensitik Çelik

Şekil 2.6'da 2.7 kW demet gücüyle kaynaklanmış X5 CrNi 18-9 östenitik paslanmaz çeliğe kaynak gösterilmiştir. Kaynak genişliği 1 mm, kaynak derinliği 25 mm'dir.



Şekil 2.6: 2.7 kW Demet Gücüyle Kaynaklanmış Östenitik Paslanmaz Çelik

Şekil 2.7'de 17 CrNi Mo 6 sementasyon çeliğine yapılan kaynak gösterilmiştir. Kaynak derinliği 9 mm'dir.



Şekil 2.7: 9 mm Kaynak Derinliğine Sahip Sementasyon Çeliği

Şekil 2.8'de X6 CrNiMoTi 17-12-2 paslanmaz çeliğinden yapılmış yüksek basınç bağlantı elemanlarına yapılan kaynak gösterilmiştir. Kaynak derinliği 15-26 mm arasındadır.



Şekil 2.8: Yüksek Basınç Bağlantı Elemanlarına Yapılan Kaynak

Şekil 2.9'da AlMgSi1, 6000 serisi alüminyum malzemeden üretilmiş tahrik mili üzerine yapılan kaynak gösterilmiştir. Tahrik mili çapı 80 mm'dir.



Şekil 2.9: 6000 Serisi 80 mm Çaplı Alüminyum Tahrik Mili

EDK cihazları alüminyum malzeme üzerinde yüksek kaynak derinliklerine ulaşabilmektedir. Şekil 2.10'da soldan sağa sırası ile 200 mm, 150 mm ve 50 mm kaynak derinliğine sahip 3 kaynak görseli verilmiştir.



Şekil 2.10: 200 mm, 150 mm ve 50 mm Kaynak Derinliğine Sahip Alüminyum Parçalar

Şekil 2.11'de zamak malzemeden yapılmış motorsiklet jantı üzerine uygulanmış elektron demet kaynağı ve kaynak enine kesiti gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Zamak Malzemeye Yapılan Elektron Demet Kaynağı

Şekil 2.12'de iki farklı dişli parçasının birbirlerine kaynaklanmış hali gösterilmiştir.



Şekil 2.12: Kaynaklanmış Dişli Parçaları

Şekil 2.13'de bronz ve çelik malzemenin kaynaklanmış hali gösterilmiştir. EDK cihazları farklı malzemelerin kaynaklamasına olanak sağlar.



Şekil 2.13: Kaynaklanmış Bronz ve Çelik Parçalar

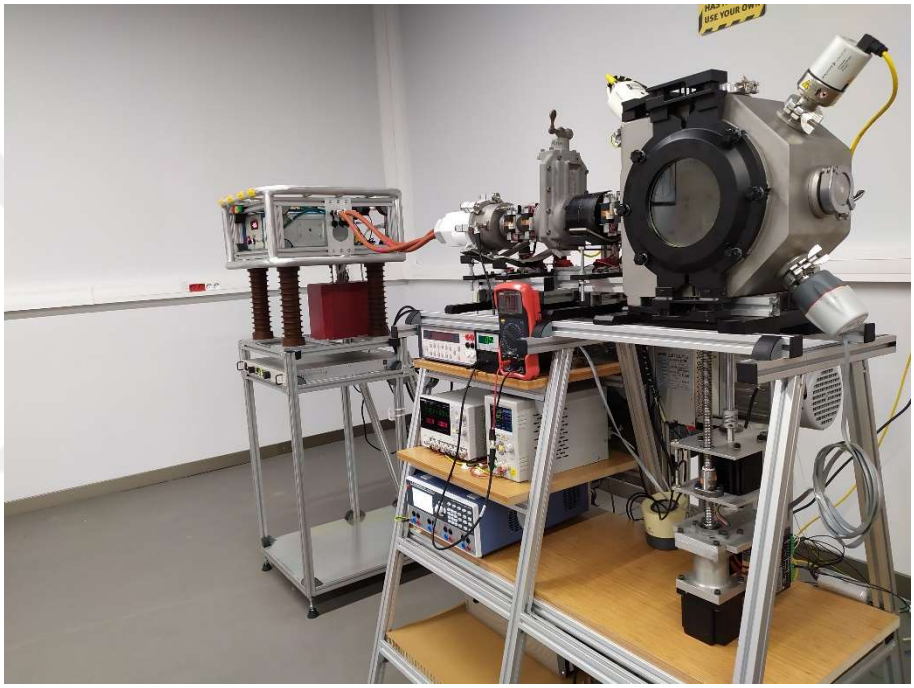
2.6 KAHVELAB VE TÜBİTAK 117F462

2017 yılında faaliyete geçen Kandilli Algıç Hızlandırıcı ve Enstrümantasyon Laboratuvarı (KAHVELab), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathane Kampüsü'nde yer almaktadır. KAHVELab hızlandırıcı ve dedektör fiziği alanında çalışmalar yürütmektedir. Başlıca Boğaziçi Üniversitesi ve İstanbul Üniversitesi olmak üzere çeşitli üniversitelerden fizikçiler ve mühendisler laboratuvar bünyesinde çalışmaktadır. Laboratuvarda aktif olarak birkaç TÜBİTAK ve üniversite destekli proje faal olarak devam etmektedir. Mikrodalga Deşarj İyon Kaynağı, Radyo Frekans Dört Kutuplusu, Ölçüm Kutusu ve Endüstriyel Uygulamalara Uygun Elektron Demet Kaynağı Cihazı bu projelere örnektir. TÜBİTAK 117F462 numaralı Endüstriyel Uygulamalara Uygun Elektron Demet Kaynağı projesi ve Boğaziçi Üniversitesi BAP 14821 numaralı proje ile ülkemizin EDK ihtiyacına milli bir çözüm sunulmak istenmiştir. Mikrodalga Deşarj İyon Kaynağı'nın kontrol kısmı EDK cihazından elde edilen kontrol deneyimi sayesinde sağlanmıştır. Bu projede dört adet akım kaynağı, bir adet yüksek gerilim kaynağı, iki adet turbomoleküler pompa, bir adet debi ölçer ve çeşitli sayıdaki vakum ölçerler tek bir kontrol sistemi altında kontrol edilebilmiştir. 117F462 numaralı projenin yürütücüsü Prof. Dr. Erkcan Özcan, Boğaziçi Üniversitesi'nde öğretim üyesidir. Düzenli olarak CERN'de çalışmakta olan ve The University of California-Irvine'de araştırma görevlisi olan Dr. Gökhan Ünel, Dumlupınar Üniversitesinde öğretim görevlisi olan Dr. Hakan Çetinkaya ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'da öğretim görevlisi olan Aydın Özbey projeye fiili olarak katkı sağlamışlardır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 ELEKTRON DEMETİYLE KAYNAKLAMA CİHAZI PROTOTİPİ

TÜBİTAK 117F462 numaralı Endüstriyel Uygulamalara Uygun Elektron Tabancası ve Elektron Kaynaklama Cihazı Tasarımı ve Üretimi isimli proje, Boğaziçi Üniversitesi KAHVELab bünyesinde hazırlanıp tamamlanmıştır. Cihaz bir yüksek gerilim katı, bir elektron tabancası, bir vakum odası ve iş parçası tahrik sisteminden oluşmaktadır.



Şekil 3.1: EDK Cihazı Görseli

Yüksek gerilim katında elektron tabancası kısmı için gerekli gücü sağlayan cihazlar bulunur. Çift kutuplu (Bipolar) güç kaynağı ve filaman ısıtıcı güç kaynağı izolasyon malzemeleri ile diğer kısımdan ayrı tutulur. Bu kat yüksek gerilim uygulandığı sürece yüksek gerilim barındırır ve biriken statik yükün boşalması için yüksek gerilim kesildikten sonra topraklama yapılmalıdır. Bipolar güç kaynağı ve filaman ısıtıcı güç kaynağı bluetooth ve wifi ile LabVIEW[25] programı üzerinden kontrol edilirler. Yüksek gerilim katı altında yer alan yüksek gerilim kaynağı da LabVIEW üzerinden kontrol edilmektedir.

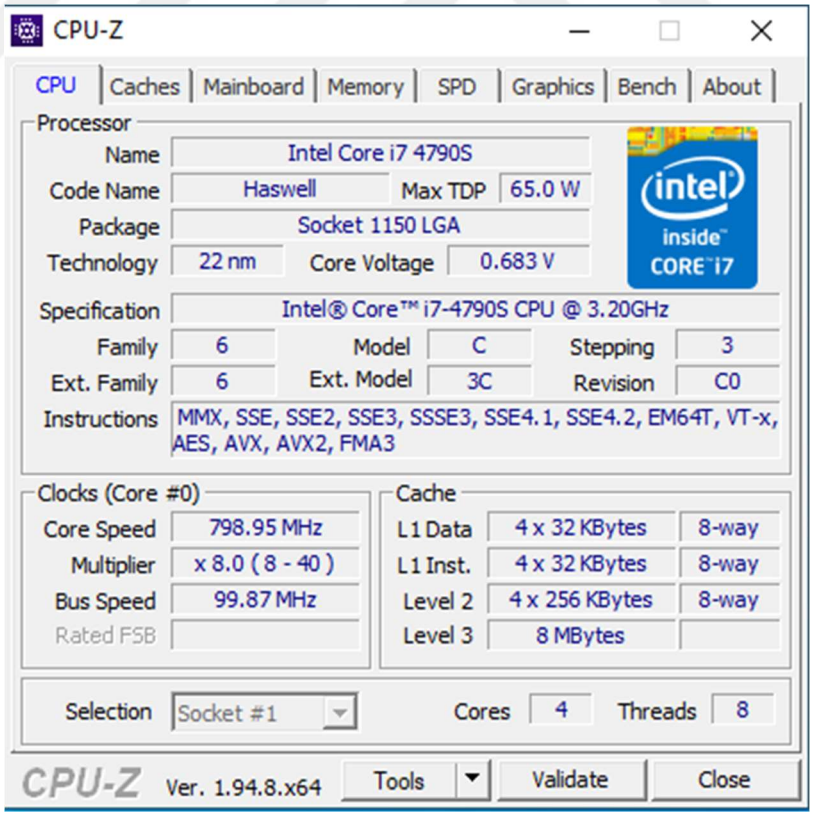
Elektron tabancası kısmı elektron demetinin elde edilip odaklandığı kısımdır. Burada tabanca kısmını vakum altında tutan turbo moleküler pompa ve elektromıknatıslar LabVIEW programı üzerinden kontrol edilir.

Vakum odası ve elektron tabancası kısmında bulunan iki adet vakum ölçer PLC[26] ile LabVIEW programı üzerinden kontrol edilir.

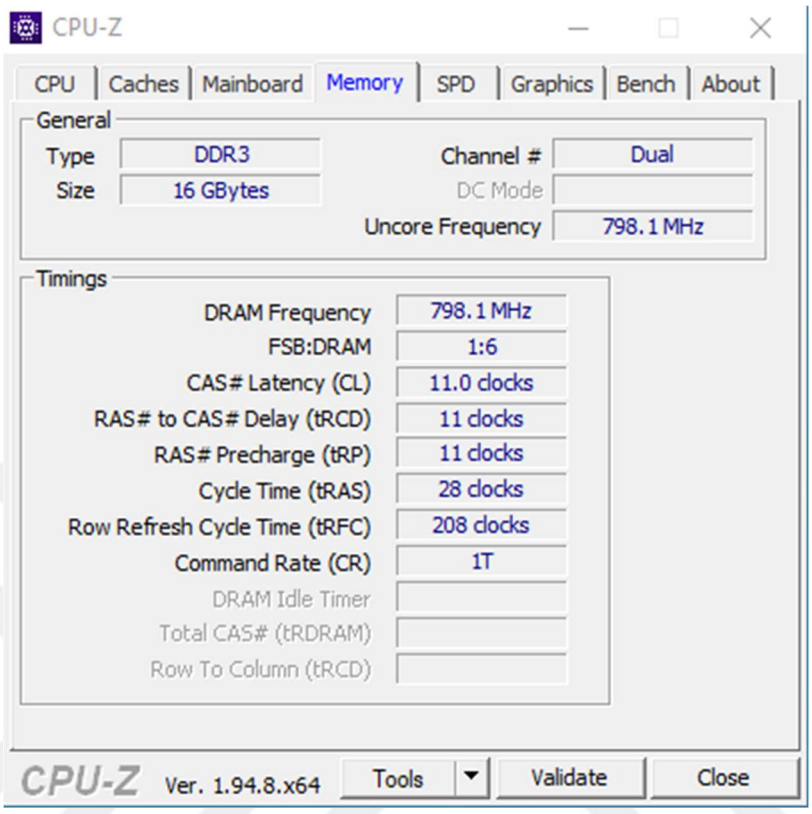
İş parçası tahrik sisteminde iki adet step motor bulunmaktadır. Bu motorlar sayesinde iş parçası vakum odasında sabitlendikten sonra hem radyal hem dikey olarak hareket serbestliğine sahip olur. Bu motorlar PLC üzerinden LabVIEW programı ile kontrol edilmektedir.

3.2 SİSTEM KONTROLÜ

Makine üzerinde bulunan tüm cihazlar PLC ve LabVIEW programı ile kontrol edilmektedir. Laboratuvar imkanları doğrultusunda bir tane bilgisayar EDK makinesinin kullanımına sunulmuştur. Bilgisayarın özellikleri aşağıdaki görseldedir.



Şekil 3.2: EDK Cihazı Bilgisayarı CPU Özellikleri



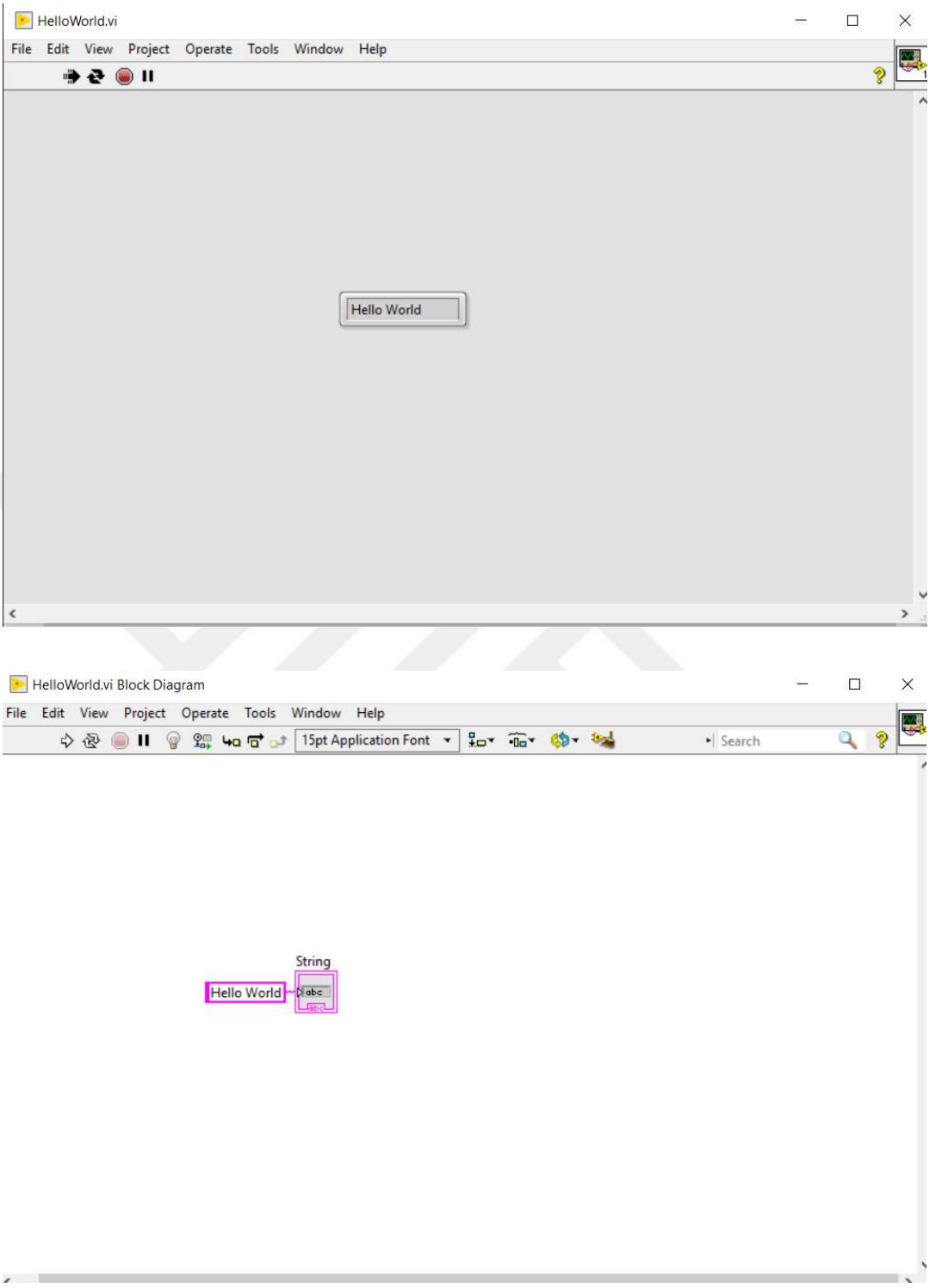
Şekil 3.3: EDK Cihazı Bilgisayarı RAM Özellikleri

3.2.1 LabVIEW

LabVIEW, Amerikan National Instruments firmasının geliştirmiş olduğu yazılım platformudur.

1986'dan beri mühendisler ve bilim adamlarınca sinyal işleme konusunda sıklıkla kullanılmaktadır. Geleneksel metin tabanlı programlama dillerinden farklı olarak görsel bir programlama dilidir. Program geliştirirken "printf("hello world"/n);" gibi yazı dili kullanmak yerine akış şeması çizilir. Sanal cihaz felsefesinde LabVIEW programlama ön panel ve blok çizelgesi olmak üzere iki kısımdan oluşur. Ön panel kullanıcılar tarafından görülen arabirimdir. Bu arabirimin arkasında şemalardan oluşan blok çizelgesi bulunur.

Gerçek zamanlı, FPGA, Mobile, Embedded, Datalogging and Supervisory Control, Vision Development, Motion Control, Sound and Vibration, Statechart, Simulation gibi ek modülleri bulunmaktadır [25].



Şekil 3.4: LabVIEW Ön Panel ve Blok Diyagram Örnekleri

3.2.2 PLC

PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) fabrikalardaki imalat hatları veya makinelerin kontrolü gibi işleçlerin denetiminde kullanılan özel bilgisayardır.

Genel kullanımlı bilgisayarların aksine PLC birçok giriş ve çıkışı olacak şekilde düzenlenir ve elektriksel gürültülere, sıcaklık farkına, mekanik darbe ve titreşimlere karşı daha dayanıklı tasarlanırlar. PLC'lere denetleyeceği sistemin işleyişine uygun programlar yüklenir. PLC programları, giriş bilgilerini milisaniyeler mertebesinde hızla tarayarak buna uygun çıkış bilgilerini gerçek zamanlıya yakın cevap verecek şekilde çalışırlar.

İçinde bir mikroişlemcisi olup karmaşık sistemlerin programlanmasında kullanabilir. PLC'lerin bilgisayardan en temel farkı sinyal girişlerinin ve çıkışlarının çalışma ve işleme şeklinden çıkmaktadır. PLC'ler ilk olarak karmaşık röle sistemlerinin yükünü hafifletmek için çıkartılmış basit mantıksal işlemleri yapan cihazlardı. Daha az yer kaplar ve ekonomiktir.

Günümüzde diğer programlanabilir bilgisayarlar ile arasındaki farklılıklar giderek azalmaktadır. PLC bir bakıma monitörü ve klavyesi bulunmayan bir bilgisayar gibidir. Bir diğer fark ise işletilecek verilerin gerçek ortamdan gelmesi ve sonuçların yine gerçek ortama analog veya dijital olarak gönderilmesidir.

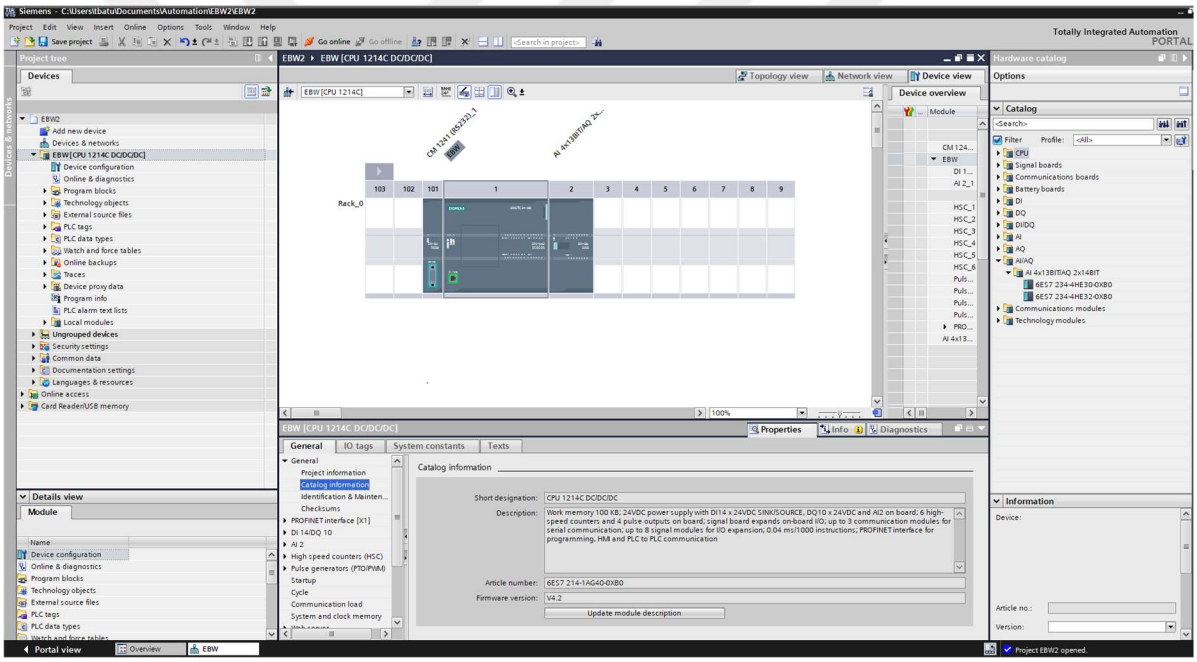
Mikroişlemcilerin maliyeti daha düşük olmasına rağmen, PLC'lerin tercih edilmelerinin sebebi; elektronik tasarım için harcanacak zamanı en aza indirmesidir. Aynı zamanda endüstriyel ortamların sahip olduğu zor koşullardan etkilenmeden çalışabilen hazır çözümler olmalarıdır.

Bir fabrikanın tüm otomasyon işlerini yüklenebilecek kadar giriş/çıkış sayısına sahip PLC'ler bulunmaktadır. Günümüzde geliştirilen modüler yapıdaki PLC'lere gerektiğinde ek giriş/çıkış modülleri, RS232, RS485, modem, Ethernet, EtherCAT, PROFINET, PROFIBUS DP, CANopen, DeviceNet, ModBus TCP, ModBus RTU, RCOM, ABB CS31 gibi haberleşme modülleri eklenebilmektedir. Ayrıca birçok modelde proses kontrolüne yönelik hazır ON-OFF, PID, Fuzzy vb. tiplerdeki denetleyiciler standart bulunmaktadır.

PLC'ler sahadan ya da herhangi bir sistemden aldıkları bilgileri çalıştırdıkları yazılım aracılığıyla değerlendirerek sahaya ya da bağlı oldukları sisteme çıkış sağlayan cihazlardır. Günümüzde yoğun olarak kullanılan PLC programlama tarzı, merdiven(Ladder)

programlamadır. Bu tarz ile elektrik şemasına benzer bir yapıda sistemin değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Piyasada bulunan farklı marka PLC'lerin merdiven yazılımı kendilerine özgü olmakla birlikte genel işleyiş mantığı benzerdir. Merdiven dışında kullanılan PLC programlama tarzlarını ST(Structured Text), FBD(Function Block Diagram), SFC(Sequential Function), IL(Instruction List) olarak sıralayabiliriz[26].

EDK makinesinde bir adet Siemens S7-1200 PLC, bir adet analog modül ve bir adet RS232 haberleşme modülü kullanılmıştır. PLC ile yüksek gerilim kaynağı, vakum ölçerler, motorlar kontrol edilmiştir. Siemens'in TIA Portal isimli programı ile PLC programı oluşturulmuş, SP7 LabVIEW eklentisi sayesinde PLC ile LabVIEW bilgisayarı LAN aracılığı ile haberleştirilmiştir. Bu sayede bilgisayar üzerindeki iş yükü de azaltılmıştır.



Şekil 3.5: TIA Portal Programında Cihaz Konfigürasyon Görseli

3.2.3 Arduino

Arduino bir G/Ç (I/O) kartı ve Processing/Wiring dilinin bir uygulamasını içeren geliştirme ortamından oluşan bir fiziksel programlama platformudur. Arduino tek başına çalışan interaktif nesneler geliştirmek için kullanılabileceği gibi bilgisayar üzerinde çalışan yazılımlara da (Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider gibi) bağlanabilir. Hazır

üretilmiş kartlar satın alınabilir veya kendileri üretmek isteyenler için donanım tasarımı ile ilgili bilgiler mevcuttur.

Arduino kartları bir Atmel AVR mikrodenetleyici (Eski kartlarda ATmega8 veya ATmega168, yenilerinde ATmega328 ya da ATmega4809) ve programlama ve diğer devrelere bağlantı için gerekli yan elemanlardan oluşur. Her kartta en azından bir 5 voltluk regüle entegresi ve bir 16 MHz kristal osilator (bazılarında seramik rezonatör) bulunur. Mikrodenetleyiciye önceden bir bootloader programı yazılı olduğundan programlama için harici bir programlayıcıya ihtiyaç duyulmaz.

Arduino IDE, kod editörü ve derleyici olarak görev yapan, aynı zamanda derlenen programı karta yükleme işlemini de yapabilen, platform bağımsız çalışabilen Java programlama dilinde yazılmış bir geliştirme çatısıdır.

Geliştirme ortamı, sanatçıları programlamayla tanıştırmak için geliştirilmiş Processing yazılımından yola çıkılarak geliştirilmiştir[27].

Çift kutuplu güç kaynağı kontrolü sırasında Arduino, wifi modül ve Arduino ile kullanılabilen bir adet bipolar analog çıkış kartı kullanılmıştır.

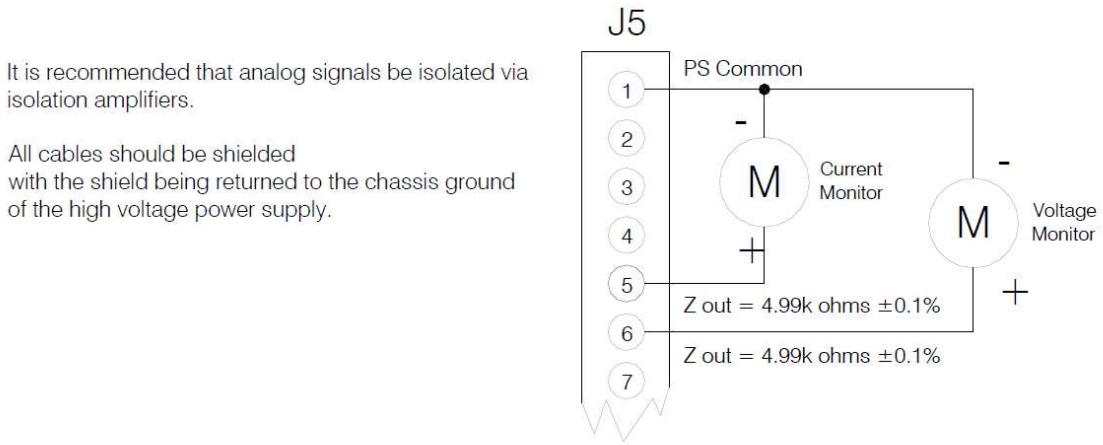
3.3 YÜKSEK GERİLİM KATI

Yüksek gerilim katı, filamanı ve wehnelt'i besleyecek olan ve düşük gerilim altında çalışan güç kaynaklarının yüksek gerilime maruz kalmamaları için onları topraktan yalıtan bir güvertedir. Güvertenin hemen altına yerleştirilen yüksek gerilim kaynağı ile güvertenin gerilimi çalışmak istenen yüksek gerilime getirilir. Üzerinde çalışacak olan cihazların toprak bağlantısı güverteye yapıldığından bu cihazların toprak gerilimi artık güvertenin gerilimi olur. Üzerinde wehnelt gerilimini ayarlamak için bir adet bipolar güç kaynağı ve filamanı ısıtmak için tek kanallı güç kaynağı bulunmaktadır. Yüksek gerilim rafı yüksek gerilime karşı izolasyon sağlayan malzemeler ile ayrılmıştır. Bu kısımda bulunan bipolar güç kaynağı ve filaman ısıtıcı güç kaynağı bluetooth ve wifi ile uzaktan kontrol edilmektedirler.

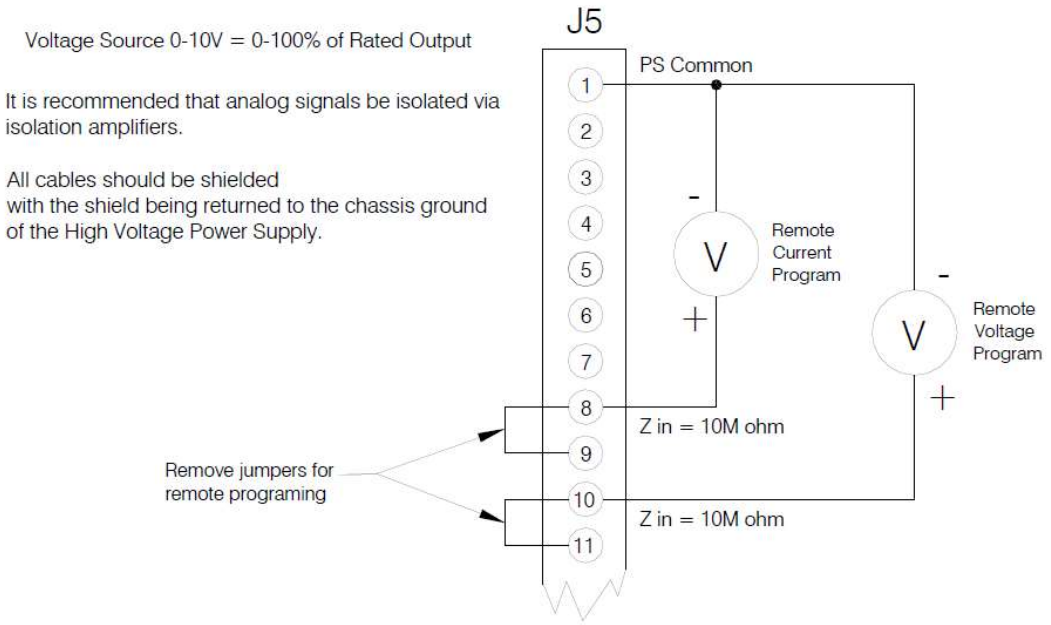
3.3.1 Yüksek Gerilim Kaynağı

Çalışmamızda biri 50 kV diğeri 20 kV olmak üzere iki farklı yüksek gerilim kaynağı kullanılmıştır. Test aşamalarında 20 kV olan yüksek gerilim kaynağı tercih edilmiş olup yüksek enerjili demet testleri için 50 kV yüksek gerilim kaynağı kullanılmıştır.

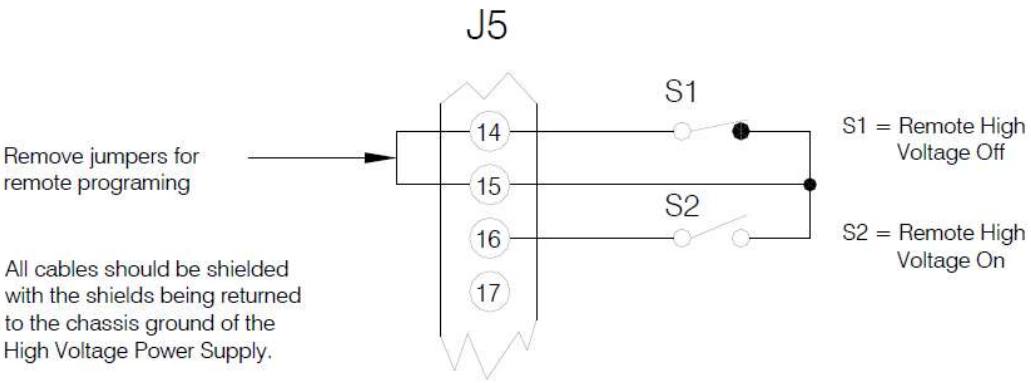
Çalışmamızda kullandığımız Spellman SL2000 yüksek gerilim kaynağı 50 kV ve 40 mA'e kadar toplamda 2 kW çıkış gücüne sahiptir. Üzerinde bulunan 25 pin soket ile cihazın tam kontrolü sağlanabilmektedir. Spellman yüksek gerilim kaynağının gerilim ve akımını kontrol etmek için birer adet 0-10 V analog çıkış, gerilim ve akımını okumak için birer adet 0-10 V analog giriş ve yüksek voltajı etkinleştirmek için iki adet röle kontrolüne ihtiyaç vardır. Cihaz kılavuzunda gösterilen bağlantı şemaları aşağıdaki görsellerdedir. Yüksek gerilim kaynağı, yüksek gerilim rafından izolatörler ile ayrıldığı için wifi ile kontrol edilmesine gerek yoktur. Kablolu olarak PLC üzerinden kontrol edilmektedir.



Şekil 3.6: Gerilim ve Akım Gözlem Elektrik Bağlantı Şeması



Şekil 3.7: Gerilim ve Akım Kontrol Çıkışları Elektrik Bağlantı Şeması



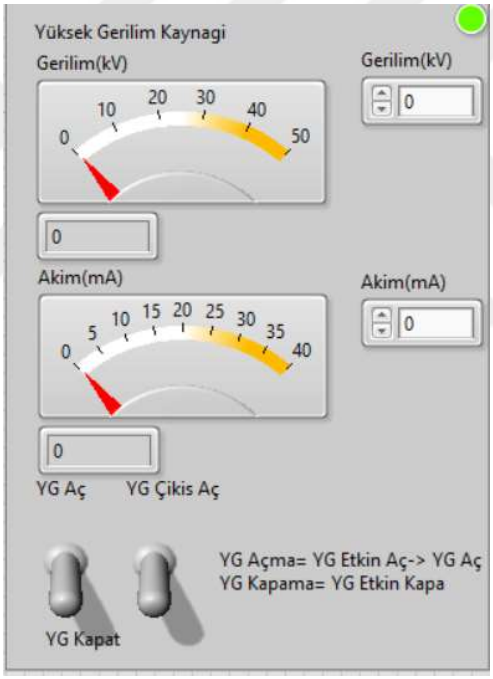
Şekil 3.8: Yüksek Gerilim Aktifleştirme Röle Bağlantıları

Spellman yüksek gerilim kaynağını kontrol etmek için Siemens S7-1200 PLC ve analog modül kullanılmıştır. PLC'nin iki dijital çıkışı röle kontrolleri için ve modül üzerindeki analog giriş-çıkışlar gerilim ve akım okuma-kontrol etme işlemleri için kullanılmıştır. PLC ile LabVIEW bilgisayarı arası haberleşme ethernet kablosu üzerinden SP7 isimli bir LabVIEW eklentisi ile sağlanmıştır.

PLC'nin analog giriş ve çıkışları 27648 çözünürlüğe sahiptir. TIA Portal programı içinde matematik fonksiyonları ile bu çözünürlük gerilim ve akım için anlamlı sayılara çevrilip LabVIEW programına aktarılmıştır.

Yüksek gerilimi aktif etme ve çıkış açma bağlantıları rölelere bağlanmış bu röleler iki adet dijital çıkış ile kontrol edilmiştir.

PLC'de işlenen giriş/çıkışlar SP7 programı ile LAN üzerinden LabVIEW programı ile haberleştirilmiştir. LabVIEW programı ön panelde girilen girdiler PLC'ye yollanarak cihaz kontrol edilmiş; cihazdan alınan veriler PLC tarafından LabVIEW bilgisayarına yollanarak ön panelde gösterilmiştir.



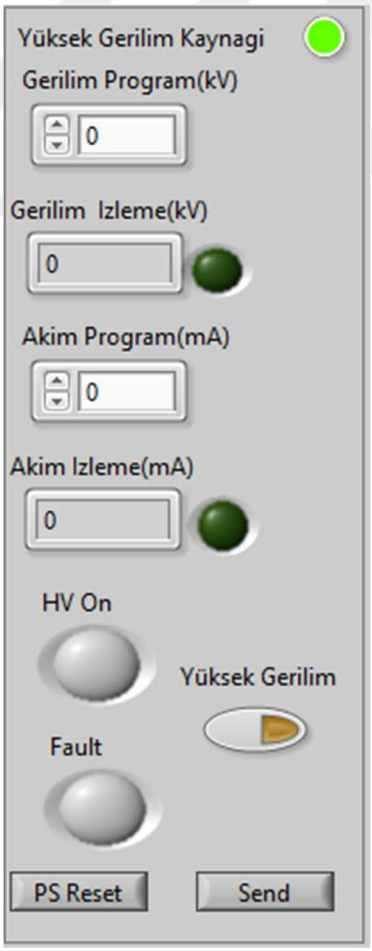
Şekil 3.9: Spellman Yüksek Gerilim Kaynağı için Oluşturulan Kontrol Göstergeleri

LabVIEW ile PLC arasında ortak kullanılan etiketler için data bloklar oluşturulmuştur. LabVIEW programında girilen bir veri önce PLC'deki bir data blok içine yazılır. PLC bu girdi ile yazılan programa göre işlemlerini yapar ve LabVIEW programına gidecek verileri data blok içine yazar. LabVIEW programı bu verileri okuyarak ön panele bu verileri yazar.

Kullanılan diğer yüksek gerilim kaynağı Glassman FJ20R6 20 kV gerilim 6 mA akım çıkışı sağlayabilmektedir. Seri haberleşme ile kontrol imkanı veren FJ20R6, USB bağlantısı ile kendi sürücüsü üzerinden sisteme uygun hale getirelerek kontrol edilmştir.

Cihazın örnek uygulması FJ tip tüm Glassman cihazlar için genel olup bu yüzden yüksek gerilim ve akım girişleri yüzde olarak ayarlı yazılmıştır. Kullanıcıda kafa karışıklığına sebebiyet vermemesi için ön panelde cihaz gerilim ve akım değerleri girilmesi sağlanıp blok diyagramda uygun katsayılar ile çarpılıp yüzdelik olarak çevrilmiştir.

Cihaz gerilim modunda iken gerilim izleme göstergesinin yanındaki led simgesi açık yeşil olmaktadır. Cihaz akım moduna geçtiğinde ise akım izleme göstergesinin yanındaki led açık yeşil olmaktadır. Cihaz yüksek gerilim uygularken HV On göstergesi kırmızı olarak yanmaktadır.



Şekil 3.10: Glassman Yüksek Gerilim Kaynağı için Oluşturulan Kontrol Göstergeleri

3.3.2 Bipolar Güç Kaynağı

Elektron tabancası içindeki Wehnelt silindirine gerilim uygulaması için kullanılan bipolar güç kaynağı ±3000 V gerilim sağlayabilmektedir. Bu cihaz, arkasındaki uzaktan kontrol pinlerine ±5 V arası uygulanan gerilim ile kontrol edilebilmektedir. Bipolar güç kaynağı yüksek gerilim katında olduğu için kablosuz bağlantı ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Filaman için kullanılan güç kaynağı bluetooth ile haberleştiğinden ve bluetooth sadece bir efendi-köle ilişkisine olanak sağladığı için wifi kullanılmıştır. Bir adet bipolar analog çıkış kartı, bir adet arduino mega ve bir adet esp8266 wifi modülü ile cihaz kontrolü başarılmıştır.

Önce bipolar çıkış veren ve Arduino ile çalışabilen bir bipolar analog çıkış kartı alınmıştır. Bu kart üzerinde bir adet Texas Instruments DAC(Digital to Analog Converter) 8563 çip bulunmaktadır. Bu çip kendine gelen dijital sinyaleri ± 10 V analog çıkışa çevirmektedir. Çip üzerinde iki adet çıkış vardır. Bu sayede iki farklı çıkışın ± 10 V çıkış vermesi sağlanabilmektedir. Çipe SPI(Serial Peripheral Interface Bus) haberleşme protokolü üzerinden ulaşılabilmektedir. LabVIEW içindeki LIFA(LabVIEW Interface For Arduino) eklentisinin SPI komutları ile denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sırasında kullanılan komutlar Texas Instruments'in sitesindeki çip kullanım kılavuzundan alınmıştır. 3 byte veri ile komutlar yollanmaktadır.

Table 17. Command Matrix for the DAC756x, DAC816x, and DAC856x Devices

DB23-DB22	Command			Address			Data						DESCRIPTION
	C2	C1	C0	A2	A1	A0	DB15-DB6	DB5	DB4	DB3-DB2	DB1	DB0	
X[1]	0	0	0	0	0	0	16-, 14-, or 12-bit DAC data						Write to DAC-A input register
				0	0	1	16-, 14-, or 12-bit DAC data						Write to DAC-B input register
				1	1	1	16-, 14-, or 12-bit DAC data						Write to DAC-A and DAC-B input registers
X	0	1	0	0	0	0	16-, 14-, or 12-bit DAC data						Write to DAC-A input register and update all DACs
				0	0	1	16-, 14-, or 12-bit DAC data						Write to DAC-B input register and update all DACs
				1	1	1	16-, 14-, or 12-bit DAC data						Write to DAC-A and DAC-B input register and update all DACs
X	0	1	1	0	0	0	16-, 14-, or 12-bit DAC data						Write to DAC-A input register and update DAC-A
				0	0	1	16-, 14-, or 12-bit DAC data						Write to DAC-B input register and update DAC-B
				1	1	1	16-, 14-, or 12-bit DAC data						Write to DAC-A and DAC-B input register and update all DACs
X	0	0	1	0	0	0	X						Update DAC-A
				0	0	1	X						Update DAC-B
				1	1	1	X						Update all DACs
X	0	0	0	0	1	0	X				0	0	Gain: DAC-B gain = 2, DAC-A gain = 2 (default with internal V_{REF})
											0	1	Gain: DAC-B gain = 2, DAC-A gain = 1
											1	0	Gain: DAC-B gain = 1, DAC-A gain = 2
											1	1	Gain: DAC-B gain = 1, DAC-A gain = 1 (power-on default)
X	1	0	0	X			X	0	0	X	0	1	Power up DAC-A
											1	0	Power up DAC-B
											1	1	Power up DAC-A and DAC-B
X	1	0	0	X			X	0	1	X	0	1	Power down DAC-A; 1 kΩ to GND
											1	0	Power down DAC-B; 1 kΩ to GND
											1	1	Power down DAC-A and DAC-B; 1 kΩ to GND
X	1	0	0	X			X	1	0	X	0	1	Power down DAC-A; 100 kΩ to GND
											1	0	Power down DAC-B; 100 kΩ to GND
											1	1	Power down DAC-A and DAC-B; 100 kΩ to GND
X	1	0	0	X			X	1	1	X	0	1	Power down DAC-A; Hi-Z
											1	0	Power down DAC-B; Hi-Z
											1	1	Power down DAC-A and DAC-B; Hi-Z
X	1	0	1	X			X				X	0	Reset DAC-A and DAC-B input register and update all DACs
											X	1	Reset all registers and update all DACs (Power-on-reset update)
X	1	1	0	X			X				0	0	$\overline{LDAC}$ pin active for DAC-B and DAC-A
											0	1	$\overline{LDAC}$ pin active for DAC-B; inactive for DAC-A
											1	0	$\overline{LDAC}$ pin inactive for DAC-B; active for DAC-A
											1	1	$\overline{LDAC}$ pin inactive for DAC-B and DAC-A
X	1	1	1	X			X				X	0	Disable internal reference and reset DACs to gain = 1
											X	1	Enable internal reference and reset DACs to gain = 2

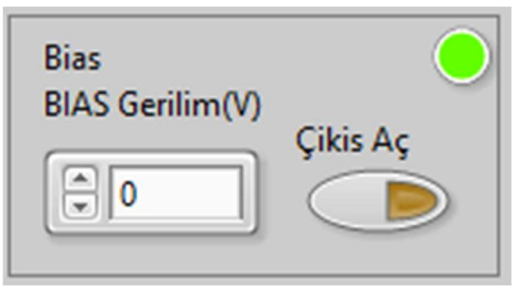
(1) *X* denotes *don't care* bits.

Şekil 3.11: DAC8563 Haberleşme Komutları

Şekil 3.11'de verilen komutlar ile önce çipin kullanıma hazır hale gelmesini sağlayan bazı komutlar yollanır. Daha sonra bir döngü içinde cihazın vermesi istenilen gerilim değeri wifi üzerinden Arduino'ya yollanır. Arduino gelen gerilim değerini uygun bit değerlerine çevirerek SPI üzerinden karta yollar. Kart ±5 V vererek Bipolar güç kaynağının ±3000 V arası çıkışını kontrol eder.



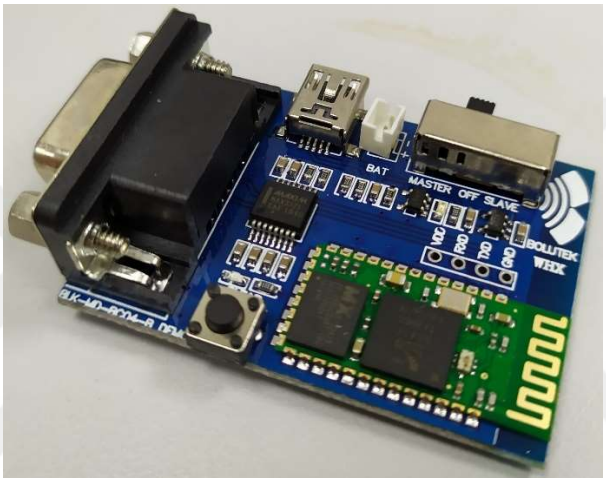
Şekil 3.12: Bipolar Analog Çıkış Kartı



Şekil 3.13: Bias Kontrolünün Ön Panel Görüntüsü

3.3.3 Filaman için Güç Kaynağı

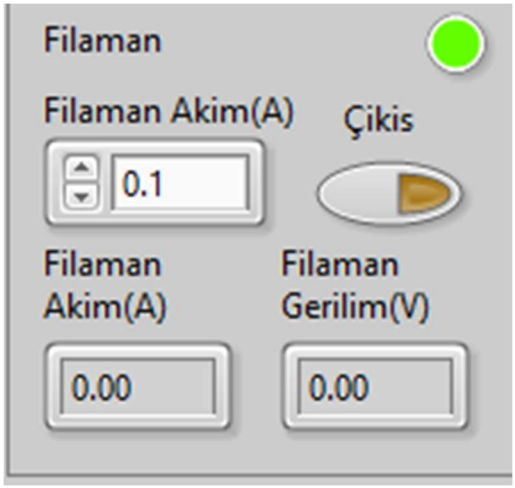
Elektron tabancası içinde bulunan toryum katkılı tungsten filaman içinden akım geçirilerek ısıtılır ve elektron yaymaya başlar. Bu işlem için bir akım kaynağı gerekmektedir. OWON P4305 güç kaynağı tek kanallı olup 30 V, 5 A'e kadar çıkış verebilmektedir. Üzerinde bulunan RS232 bağlantısı seri haberleşme ile LabVIEW üzerinden kontrolünü mümkün kılar. Yüksek gerilim rafı üzerinde bulunduğu için cihaz bluetooth ile kontrol edilmektedir. Bunun için bir RS232 bluetooth dönüştürücü kullanılmıştır.



Şekil 3.14: Bluetooth'dan RS232'ye Dönüştürücü

Cihazın ilk kullanım denemelerinde cihazla haberleşilmediği gözlemlenmiştir. Bunun üzerine cihazın kullanım kılavuzları incelenmiş ve hangi komutlarla kontrol edildiği bulunmuştur. Bir LabVIEW yardımcı programı olan NI MAX(National Instruments Measurement&Automation Explorer) ile cihaza komutlar yollanmıştır. Bu yollanan komutlara cihazın gerekli karşılıkları vermesi üzerinde herhangi bir donanımsal problem olmadığı tüm sorunun yazılımsal olduğu gözlemlenmiştir. LabVIEW programında cihazla haberleşmeyi başlatan komutlara bazı konfigürasyonlar tanıtılmıştır. Bu tanıtımlar sayesinde cihazla iletişim başarılı olmuştur. Bu konfigürasyonlar bir eklenti haline getirilip sürücü ile birleştirilmiştir.

Kullanıcının yanlışlıkla yüksek gerilim uygulamadan filamanı ısıtmaması için filaman akım kaynağının güç çıkışı yüksek gerilim çıkışı ile ve kapısı ile şartlandırılmıştır. Bu sayede elektronların kontrolsüz bir şekilde etrafa saçılması önlenmiştir.



Şekil 3.15: Filaman Ön Panel Kontrol Göstergeleri

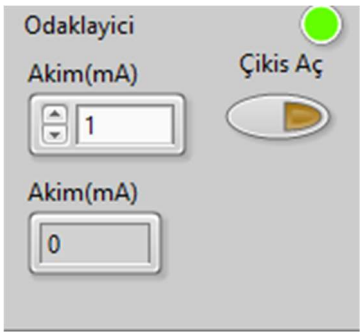
3.4 DEMET KONTROLÜ

Elektron tabancası içinde filaman etrafında oluşturulan elektron bulutu yüksek gerilim güç kaynağı ve bipolar güç kaynağı ile hızlandırıldıktan sonra kaynak yapılması için yeterli enerji yoğunluğuna ulaşmak için elektronlar odaklanmalı ve yönlendirilmelidir.

Filaman kısmından sonra yer alan ilk 4 çift, çift kutuplu mıknatıslar elektronları odaklayıcı mıknatısın merkezine getirilmek için kullanılır. Odaklayıcı selenoid mıknatıs elektronları odaklayarak yüksek enerji yoğunluklu bir elektron demeti oluşturur. Selenoid mıknatıstan sonraki ikinci 4 çift, çift kutuplu mıknatıs ise odaklanmış demeti iş parçası üzerinde bir düzlem üzerinde hareket ettirilmesine olanak sağlar.

3.4.1 Odaklayıcı Mıknatıs

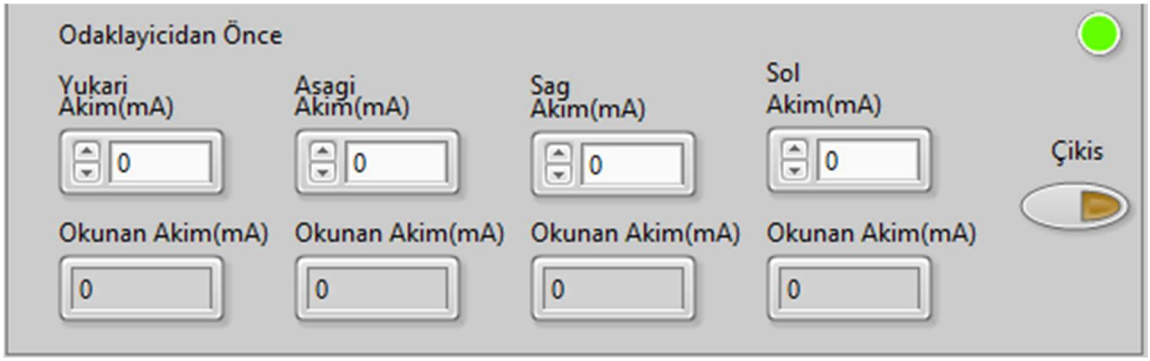
Elektronları yüksek enerji yoğunluklu bir elektron demetine çevirmek için bir selenoid mıknatıs kullanılır. Selenoid mıknatıs için gerekli güç bir adet tek kanallı güç kaynağından sağlanmaktadır. OWON P4305 güç kaynağı 30 V, 5 A'e kadar güç çıkışı verebilmektedir. RS232 bağlantısı olan cihaz bir RS232-USB çevirici ile seri haberleşme üzerinden kontrol edilmektedir.



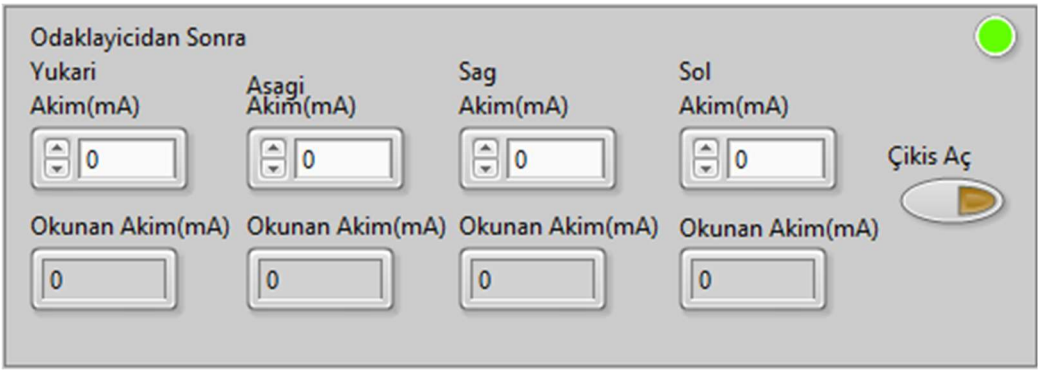
Şekil 3.16: Odaklayıcı Mıknatısın Ön Panel Göstergeleri

3.4.2 Yönlendirici Mıknatıslar

Elde edilen demeti yönlendirmek için 8 çift, çift kutuplu mıknatıs iki adet 4 kanallı güç kaynağı ile kontrol edilmektedir. İlk 4 kanallı güç kaynağı GWInstek GPD-4303S; 30 V, 3 A'e kadar iki kanal, 5 V, 3 A'e kadar bir kanal, 5 V, 1 A'e kadar bir kanaldan güç çıkışı vermektedir. Üzerinde bulunan USB bağlantısından direkt olarak seri haberleşme ile kontrol edilebilmektedir. Diğer 4 kanallı güç kaynağı Rohde&Schwarz HMP4040 her bir kanalından 32 V, 10 A'e kadar güç çıkışı verebilmektedir. Üzerinde bulunun RS232 veya USB bağlantısından direkt olarak kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.17: Odaklayıcıdan ÖncekiYönlendirici Mıknatısların Ön Panel Göstergeleri



Şekil 3.18: Odaklayıcıdan Sonraki Yönlendirici Mıknatısların Ön Panel Göstergeleri

3.5 VAKUM ODASI

Elektronların enerji kaybetmemeleri ve vakum altında yapılan kaynağın daha sağlıklı olmasından dolayı sistem vakum altında tutulmaktadır. İki adet turbomoleküler pompa ve bir mekanik pompa bu işlem için kullanılmaktadır. İki adet vakum ölçer ile elektron tabancası ve iş parçasının bulunduğu vakum odasının basınçları sürekli gözlenmektedir. İş parçası tahrik sistemi vakum odasının altında vakum odasına sabit bir şekilde bilgisayar ile kontrol edilmektedir.

3.5.1 Turbomoleküler Pompa

Agilent TwissTorr 74 FS turbomoleküler vakum pompası Varian TV81AG-NAV kontrolcü ile kontrol edilmektedir. TV81AG-NAV üzerinde bulunan RS232 bağlantısı ile seri haberleşme üzerinden kontrol edilebilir. Cihazı kontrol için gerekli heksadesimal komutlar cihazın kullanım kılavuzundan bulunmuştur. İlk olarak bilgisayar üzerinden direkt kullanım için bir LabVIEW programı hazırlanmıştır ve bu program üzerinden kontrol edilmiştir. Daha sonra PLC'ye eklenen bir RS232 modülü ile bu kontrol PLC'ye aktarılmıştır. PLC üzerindeki RS232 haberleşme modülü ile PLC'ye seri haberleşme yetisi kazandırılmış ve bu pompanın kontrolü için kullanılmıştır. PLC, ana programdan gelen verilere göre pompayı kontrol edip gerekli verileri ana programa yollamaktadır.



Şekil 3.19: Turbomoleküler Pompanın Ön Panel Göstergeleri

3.5.2 Vakum Ölçerler

Sistemde bir adet elektron tabancası kısmında bir adet de vakum odası kısmında olmak üzere iki adet vakum ölçerler vardır. Bu vakum ölçerler sayesinde sistemin basınç değeri anlık olarak izlenebilmektedir.

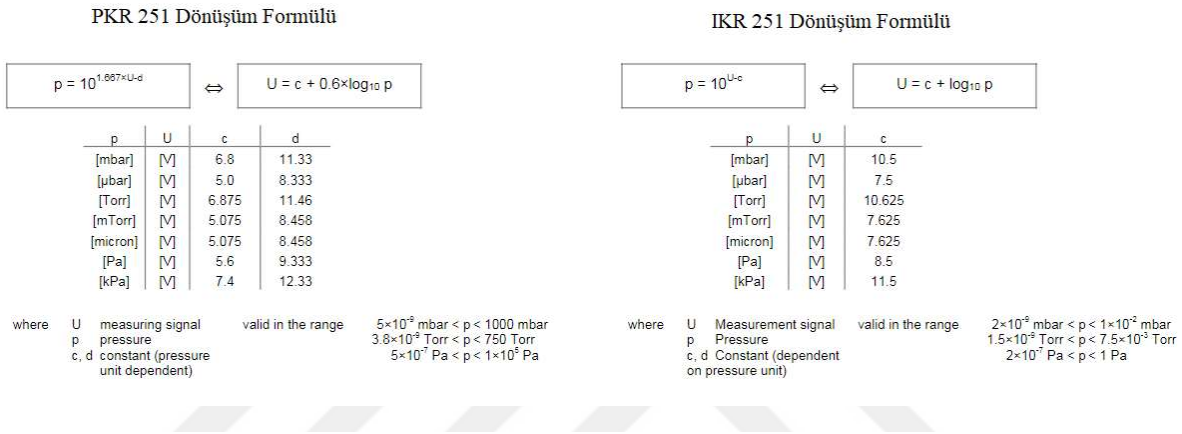
Pfeiffer IKR-251 vakum ölçer 2×10^{-9}-1×10^{-2} mbar arası basınç değerlerini okuyabilmektedir. Cihaz 0-10 V arası analog çıkış vererek ölçtüğü vakumun değerini verir. Bu gerilim değeri cihazın kullanım kılavuzunda yer alan formül ile istenilen basınç birimine çevrilebilmektedir. Cihaz 24 V gerilim ile çalışmaktadır. Bir röle ile PLC üzerinden cihazın çalışması ve PLC'ye eklenenen analog modül üzerindeki analog girişlerden 0-10 V cihaz analog çıkışı okunması sağlanmıştır.

Pfeiffer PKR-251 vakum ölçer 5×10^{-9}-10^{3} mbar arası basınç değerlerini okuyabilmektedir. Cihaz 0-10 V arası analog çıkış vererek ölçtüğü vakumun değerini verir. Bu gerilim değeri cihazın kullanım kılavuzunda yer alan formül ile istenilen basınç birimine çevrilebilmektedir. Cihaz 24 V gerilim ile çalışmaktadır. Bir röle ile PLC üzerinden cihazın çalışması ve PLC'ye eklenen analog modül üzerindeki analog girişlerden 0-10 V cihaz analog çıkışı okunması sağlanmıştır.

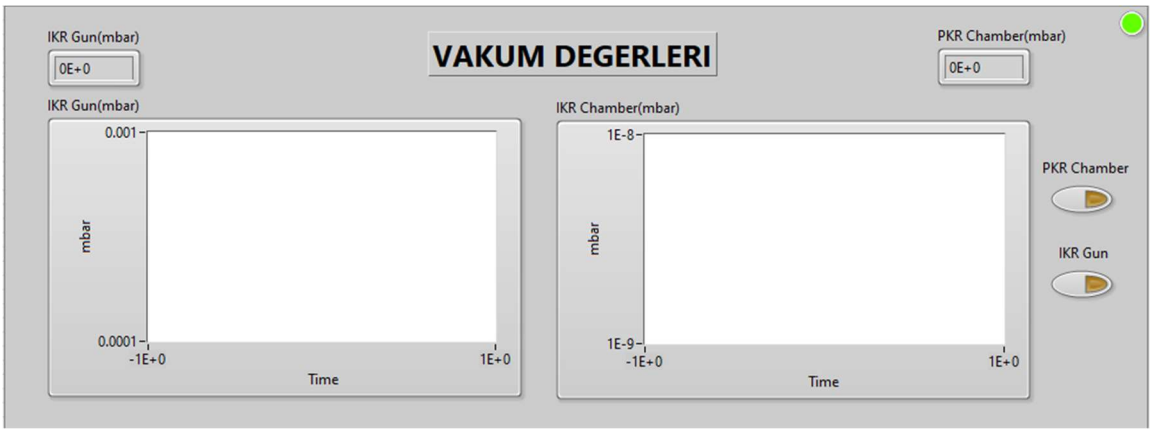
Metal kasa bir 220 V AC'den 24 V DC'ye adaptör ile 24 V DC çalışma gerilimi olan vakum ölçerlere çalıştırılmıştır. IKR vakum ölçerlerin atmosfer basıncında çalışması kirlenmesine ve hatalı ölçümler vermesine sebep olmaktadır. Bu yüzden sistem belirli bir vakum değerindeyken IKR vakum ölçerler aktif edilmelidir. Bu yüzden elektrik bağlantısı yapılırken 24 V güç kaynağı ile vakum ölçerler arasına röle konmuştur. PLC üzerinden bir dijital çıkış ile kontrol edilen

röleler, çıkış verildiği zaman elektrik bağlantısını tamamlayarak vakum ölçerlere elektrik gitmesini sağlamaktadır. PLC'den bir çıkış olmadığı takdirde devre tamamlanmadığı için vakum ölçerlere elektrik gitmemektedir.

EDK kontrol programı durdurulduğu takdirde ise vakum ölçerleri otomatik olarak kapatmaktadır. Bu sayede vakum ölçerlerin kapatılmasının unutulup kirlenmesinin önüne geçilebilmektedir.



Şekil 3.20: Vakum Ölçerlerin Gerilim-Birim Dönüşüm Formülleri

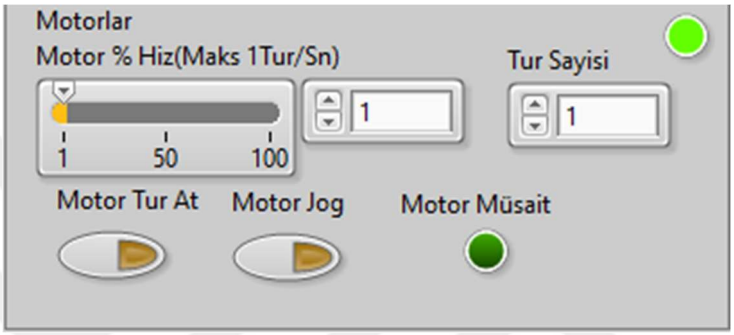


Şekil 3.21: Vakum Ölçer Ön Panel Göstergeleri

3.5.3 İş Parçası Tahrik Sisemi

İş parçası tahrik sistemi iki step motor ve sürücüden oluşmaktadır. Motorlardan biri dikey yönde hareketi diğeri ise radyal yönde hareketi mümkün kılar. Motorlar PLC üzerinden kontrol edilmektedir. Step motorlar 200 adımlıktır ancak sürücüler ile adım sayısı 51200 adıma kadar

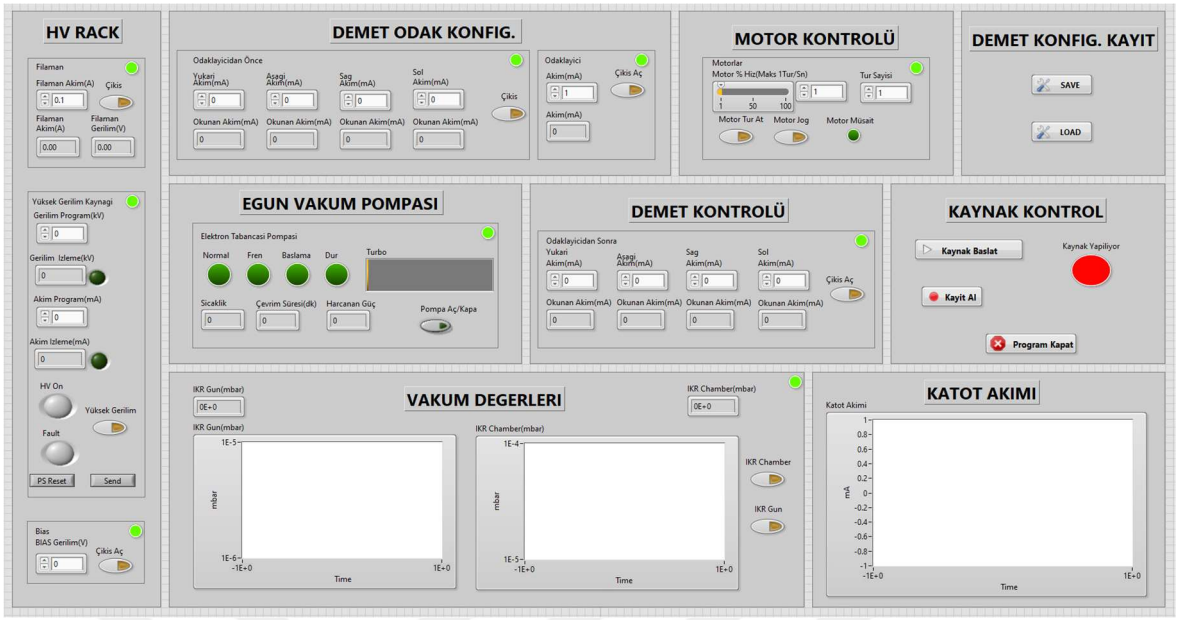
çıkarılabilmektedir. Sürücüler üzerinde üç adet sinyal ve iki adet güç girişi bulunmaktadır. 24 V ile çalışan sürücüler sinyalleri 5 V ile almaktadır. Bu yüzden PLC'den çıkan 24 V sinyaller dirençler ile 5 V civarına indirilmektedir. PLC çıkış sinyalleri saniyede maksimum 20000 dalga çıkış verebilmektedir. Bu yüzden sürücüler 10000 adım olacak şekilde ayarlanmıştır. Radyal hareket sağlayan motor maksimum 1 tur/saniye hıza ayarlanmıştır. Ana kontrol programı üzerinden yüzdelik şekilde hızı ayarlanabilmektedir. Motor belirli bir tur sayısında veya sürekli hareket edebilecek şekilde programlanmıştır.



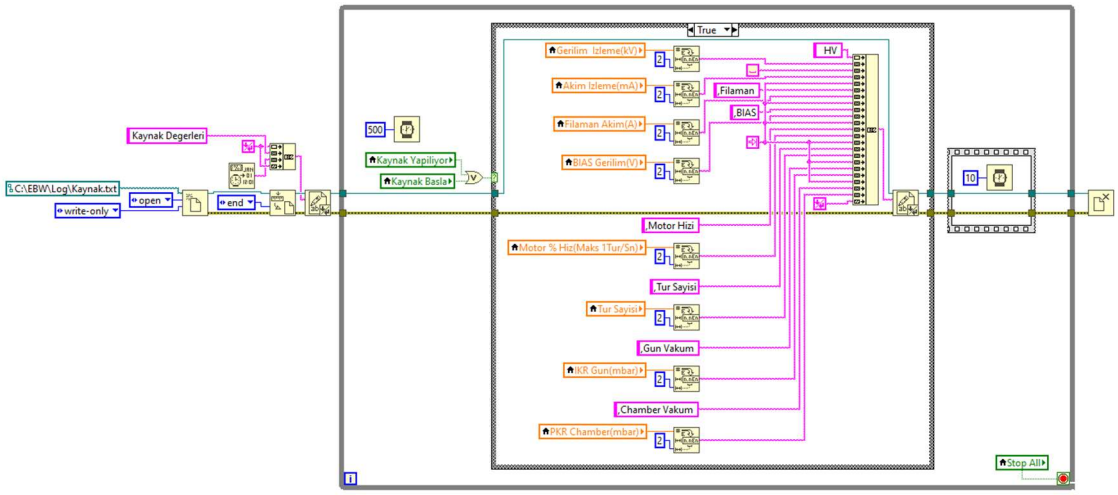
Şekil 3.22: Motor Ön Panel Kontrol Göstergeleri

3.6 ANA KONTROL SİSTEMİ

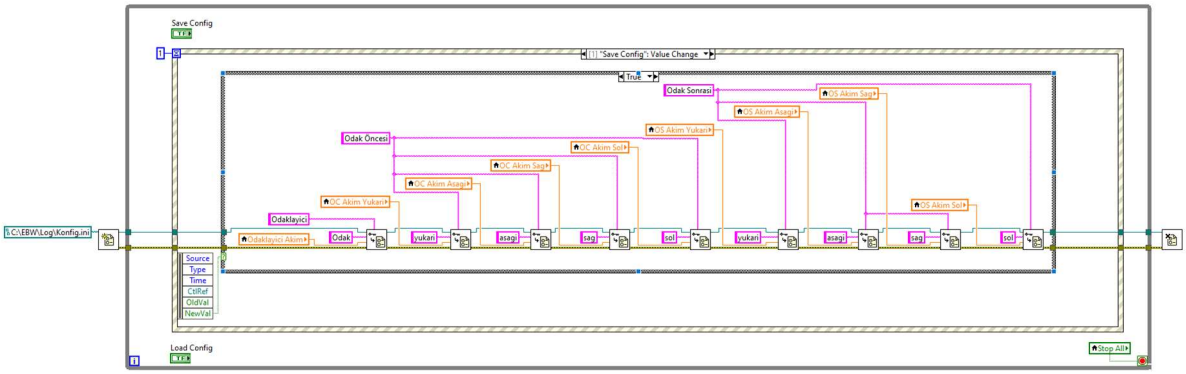
Ana kontrol sisteminde 4 adet akım kaynağı, 1 adet bipolar güç kaynağı, 1 adet yüksek gerilim kaynağı, 2 adet step motor ve 2 adet vakum ölçer tek bir ekrandan kontrol edilmektedir. Seri haberleşme, TCP/IP, bluetooth ve wifi teknolojileri bu kontrol sisteminde kullanılmaktadır. Kontrol sırasında vakum, yüksek gerilim, filaman akımı ve bias gerilimi bilgisayarın hafızasına kayıt alınmaktadır. Bu sayede herhangi bir arıza durumunda o anki sistem durumu gözlemlenebilmektedir.



Şekil 3.23: Ana Kontrol Programı Gösterge Paneli



Şekil 3.24: Kaynak Sırasındaki Değerleri Kaydetme Diyagramı Görseli



Şekil 3.25: Konfigürasyonları Kaydeden Diyagramın Görseli

Kaynak esnasında seçilen demet konfigürasyon değerleri birer adet kaydet ve yükle butonları ile kayıt edilip geri çağırılabilecek şekilde ayarlanmıştır. Bu sayede pilot demet bir kere ayarlandıktan sonra sadece bir butona basarak sistem geri başlatıldığında demeti aynı konuma getirmek mümkün olmaktadır.

Sistem çalışırken yüksek gerilim, filamandan geçen akım, vakum değerleri ve bipolar gerilim kaynağının gerilim değerleri saniyede iki kere farklı .txt uzantılı dosyaları kayıt edilmektedir. Bu sayede geçmişe dönük sistem koşulları gözlenebilmektedir. Ayrıca kaynak sırasındaki değerleri okumak için ayrı bir kayıt dosyası oluşturulmuştur. Şekil 3.25'de bu kayıt alma işlemini çalıştıran blok diyagramı gösterilmiştir.

İlk kaynak denemeleri sonrasında basit bir otomasyon ana programa eklenmiştir. Demet konfigürasyonu ayarlandıktan ve yüksek gelirim ile bipolar gerilim kaynağı gerilimi ayarlandıktan sonra kaynak başlat butonuna basıldığında kaynak işlemi başlamaktadır.



Şekil 3.26: Kaynak Otomasyonu Ön Panel Görseli

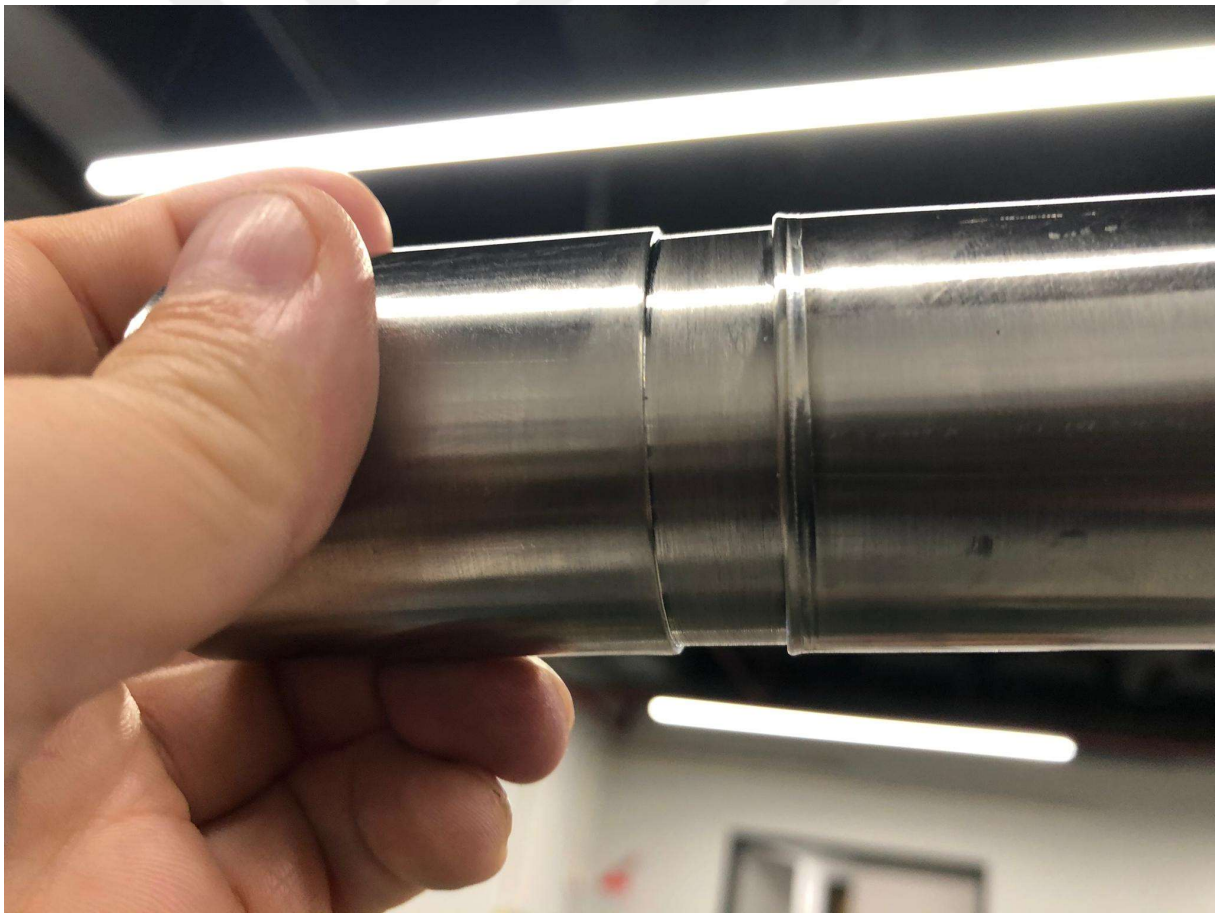
Radyal motor, jog modu denilen sabit hızda dönme halideyken **Kaynak Baslat** butonuna basıldığı takdirde girilen hızda tur sayısı tamamlanana kadar sistem filaman akımını arttırarak demeti akımını arttır. Tur sayısını tamamladığında demet akımını düşererek jog modda parçanın dönmeye devam etmesini sağlar. Bu sayede istenilen konfigürasyon ve değerlerde kaynaklama işlemi tamamlanabilir.

Sistem çalışması yanı sıra sadece kaynak denemesi yapılan andaki değerleri kaydedecek sistem manuel olarak kontrol edilebilsin diye sisteme **Kayit Al** butonu eklenmiştir. Bu sayede otomasyondan bağımsız olarak yapılan bir kaynak denemesi sırasında alınan değerler kayıt edilebilmektedir.

4 BULGULAR

Kaynak testlerinden önce demet dinamiklerini anlamak için testler yapılmıştır. Düz bir paslanmaz çelik plaka üzerine floresan kaplanarak demet incelenmiştir. Bu incelemeler sonunca uygun demet için yönlendirici mıknatıslar ve odaklayıcı mıknatıslar için uygun akım değerleri bulunmuştur.

İlk deneme için 304 serisi paslanmaz çelik malzemeden yapılmış 30mm çapındaki 100mm boyundaki boru enlemesine ikiye bölünmüştür. İç içe geçebileceği şekilde bir taraf içten diğer taraf dıştan tornalanmıştır. İki taraf için de et kalınlığı 0.5 mm'dir. Toplam 1mm paslanmak çelik malzemesine 20 kV, 5 mA demet gücü ile kaynak denenmiştir. Motor, dönüş hızı 0.02 devir/s hızla iki devir boyunca iş parçasını döndürmüştür.



Şekil 4.1: İlk Kaynak Denemesi

İkinci kaynak denemesinde ise aynı özelliklerde olan malzemeye farklı hızlarda iki devir boyunca 20 kV, 5 mA demet gücüyle kaynak denemesi yapılmıştır.



Şekil 4.2: İkinci Kaynak Denemesi

Şekilde görülen kaynak izleri sağdan sola sırası ile 0.1 devir/s, 0.067 devir/s, 0.05 devir/s hızlarladır.

Numune tahribatlı muayane için tel erezyonda boylamasına ikiye bölünmüştür. İkinci numunede kaynak tutmadığı gözlemlenmiştir.

Üçüncü kaynak denemesinde aynı özellikteki malzeme aynı demet enerjisi ile bu sefer 0.01 devir/s hız ile iki devir boyunca kaynaklanmaya çalışılmıştır. Bu testten önce kaynak süresince filaman akımını belirli bir değere yükseltip dönme işlemi bittiğinde geri azaltacak bir otomasyon eklenmiştir. Bu test sırasında iki kez kaynak başladıktan sonra filamana dönen iyonlar yüzünden spark gözlemlenmiş ve yüksek gerilim kaynağı kendini kapatmıştır. Üçüncü

deneme ise başarılı olmuştur. İki kere test sırasında demet tarafından vurulan kısımlar üçüncü denemede tekrar üzerlerinden geçildiği için deformasyona uğradığı gözlemlenmiştir.

Tel erezyonda ikiye bölünen malzemenin sadece bir yerden kaynak tuttuğu gözlemlenmiştir. Bu testler ile 20 kV, 5 mA değerlerinde demetin 0.5 mm 304 seri paslanmaz çeliği geçerek alt katmana ulaşmadığı ve kaynaklayamadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.3: Üçüncü kaynak denemesi

Dördüncü denemede elektron demetinin alüminyum malzeme üzerindeki etkisi test edilmiştir. 30 mm kalınlığında içi dolu 7000 serisi alüminyum üzerinde yapılan testlerden sonuç alınamamıştır.

Bunun sebebi ise alüminyumun çelikten daha fazla ısıl iletkenliğe sahip olması ve malzemenin dolu olmasından kaynaklı olarak ısının hızlı bir şekilde dağılması olduğu tespit edilmiştir.

Beşinci denemede yine 7000 seri alüminyumda test yapılmıştır. 30 mm çapında içi boş iki parça bir parça içten bir parça dıştan talaş kaldırmak üzere iç içe geçecek şekilde ayarlanmıştır. Kaynak yapılacak kısımda et kalınlığı karşılıklı 0.4 mm olacak şekilde toplam 0.8 mm'dir.

İlk denemede 20 kV, 5 mA değerlerinde demet malzeme üzerine vurulmuştur. 0.02 devir/s hızla dönen malzemede deformasyon gözlenmiştir. İçi dolu olmayan 7000 seri alüminyum için 5 mA

demet akımının fazla geldiği düşünelerek 3 mA demet akımı ile aynı malzeme üzerinde tekrar kaynak yapılması denenmiştir. Malzemenin et kalınlığının 5 mm olduğu kısımda demetin ne kadar derine işlediğini ölçebilmek için 5 mA demet akımı ile tekrar bir test yapılmıştır. Numune boylamasına tel erezyonda kesilmiş ve kaynak tutmadığı gözlenmiştir.

Altıncı demede 304 paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. 30 mm çapında içi boş iki parça bir parça içten bir parça dıştan talaş kaldırmak üzere iç içe geçecek şekilde ayarlanmıştır. Kaynak yapılacak kısımda et kalınlığı karşılıklı 0.4 mm olacak şekilde toplam 0.8 mm'dir.

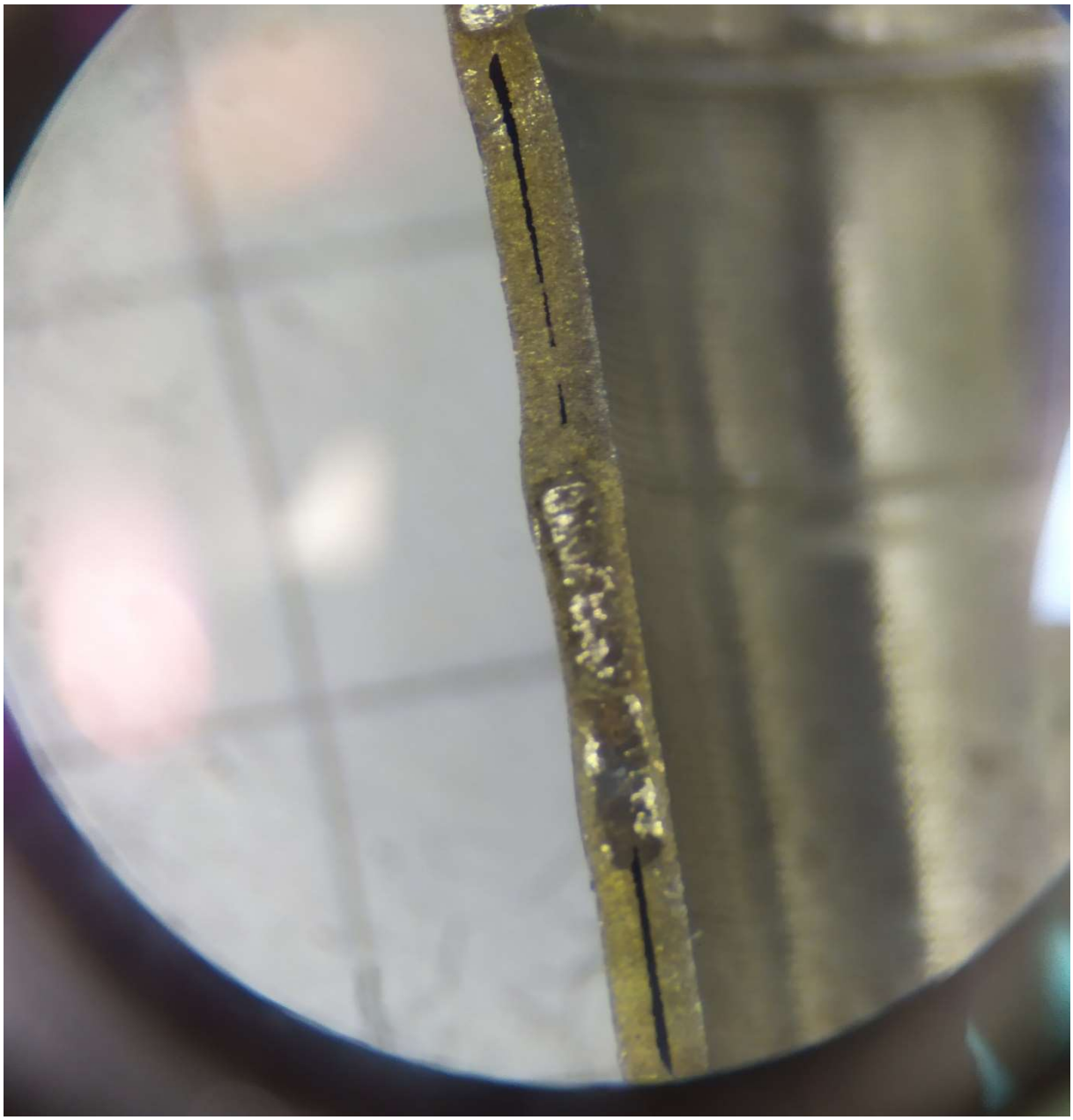
Motor hızı 0.02 devir/s olacak şekilde her testte 1 tur atılması sağlanmıştır. Aşağıdan yukarıya sırası ile 2.5 mA, 3 mA, 4 mA ve 4.5 mA demet akımları 20 kV gerilimde kaynak testleri yapılmıştır.



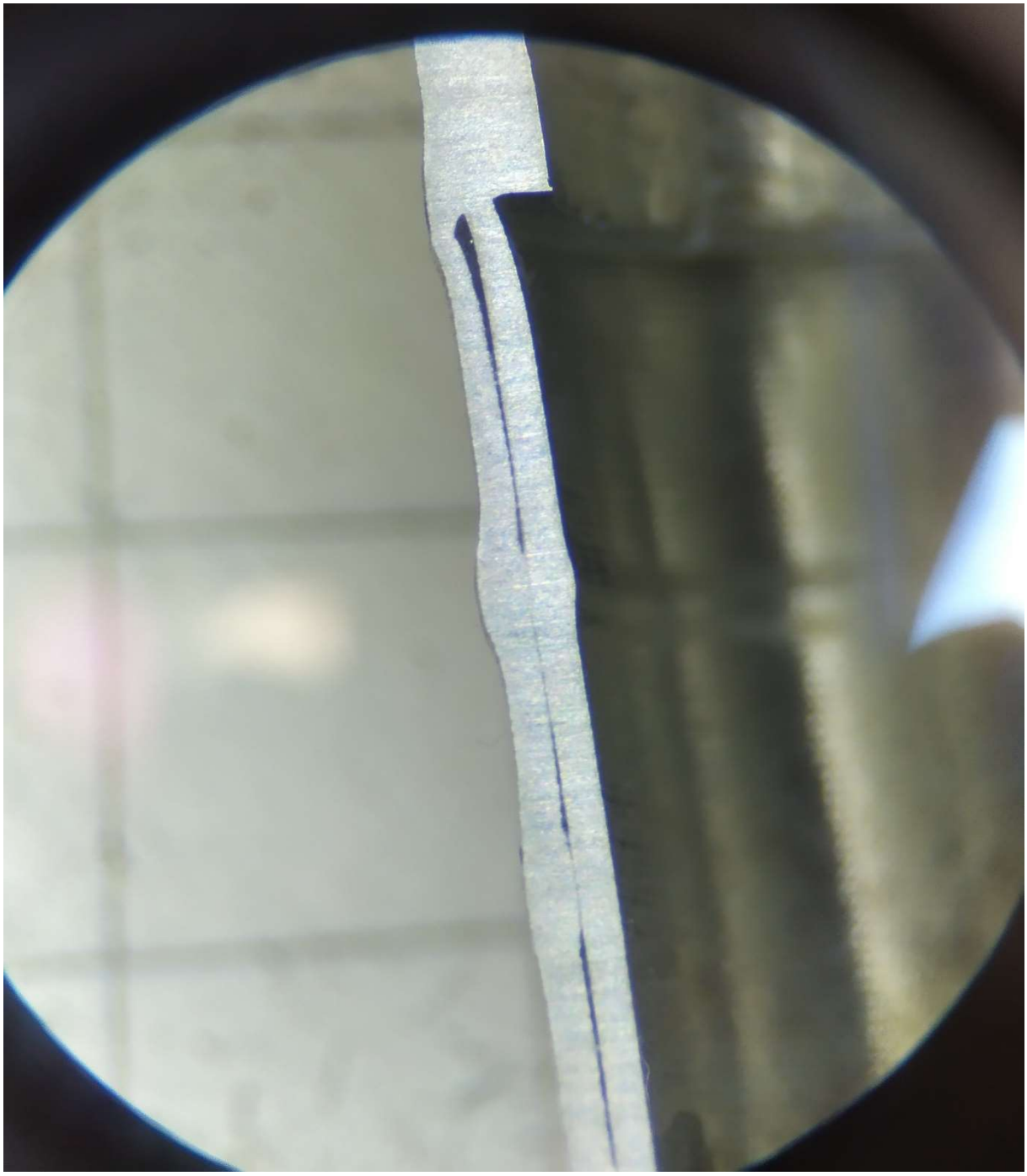
Şekil 4.4: Altıncı Kaynak Denemesi

Tel erezyonda boylamasına kesilen numuna kaynak derinlik ve genişliklerinin görülebilmesi için bazı işlemlere tabi tutulmuştur.

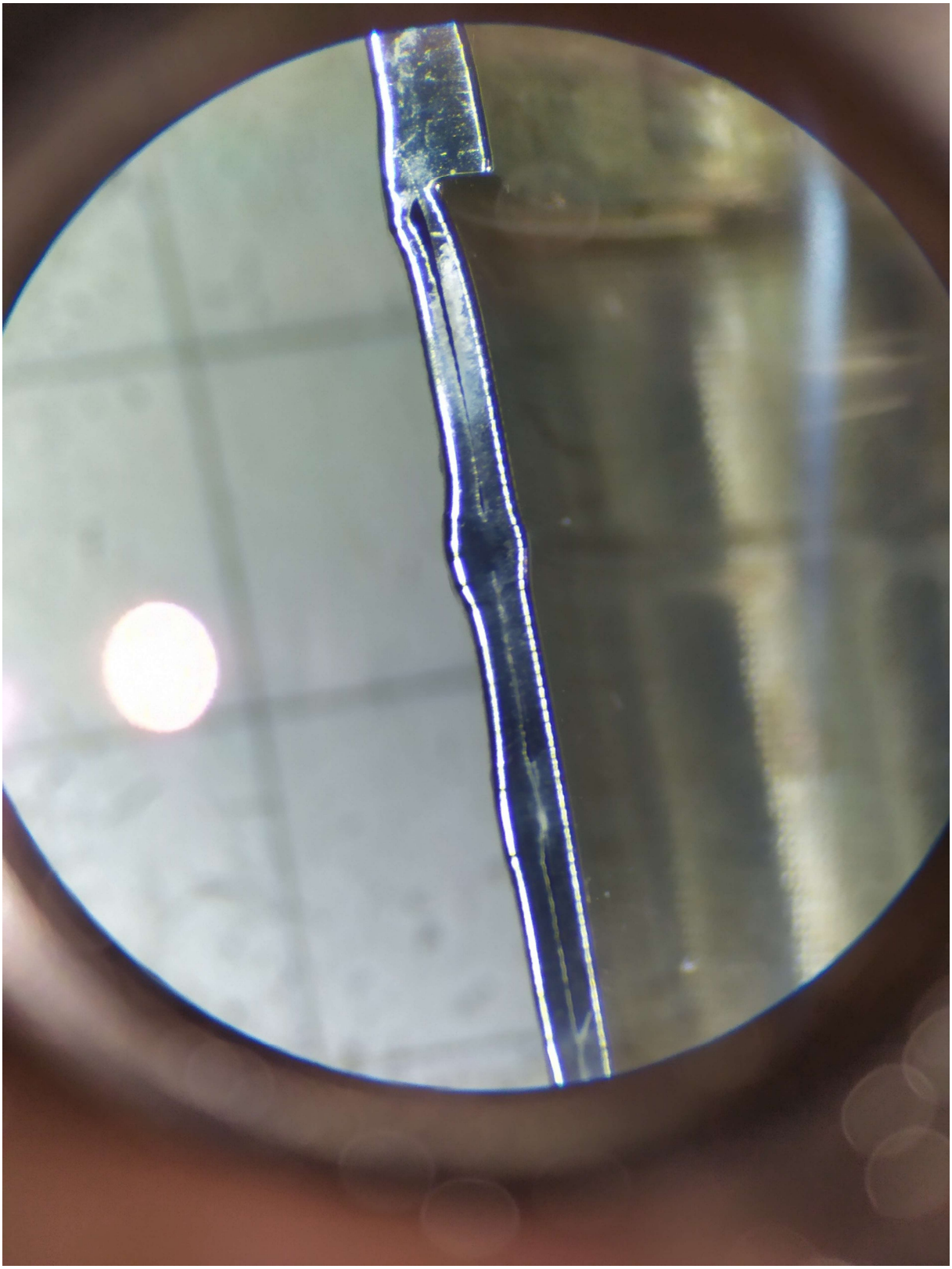
Bu işlemler sırasıyla zımparalama, parlatma ve kimyasal dağlamadır.



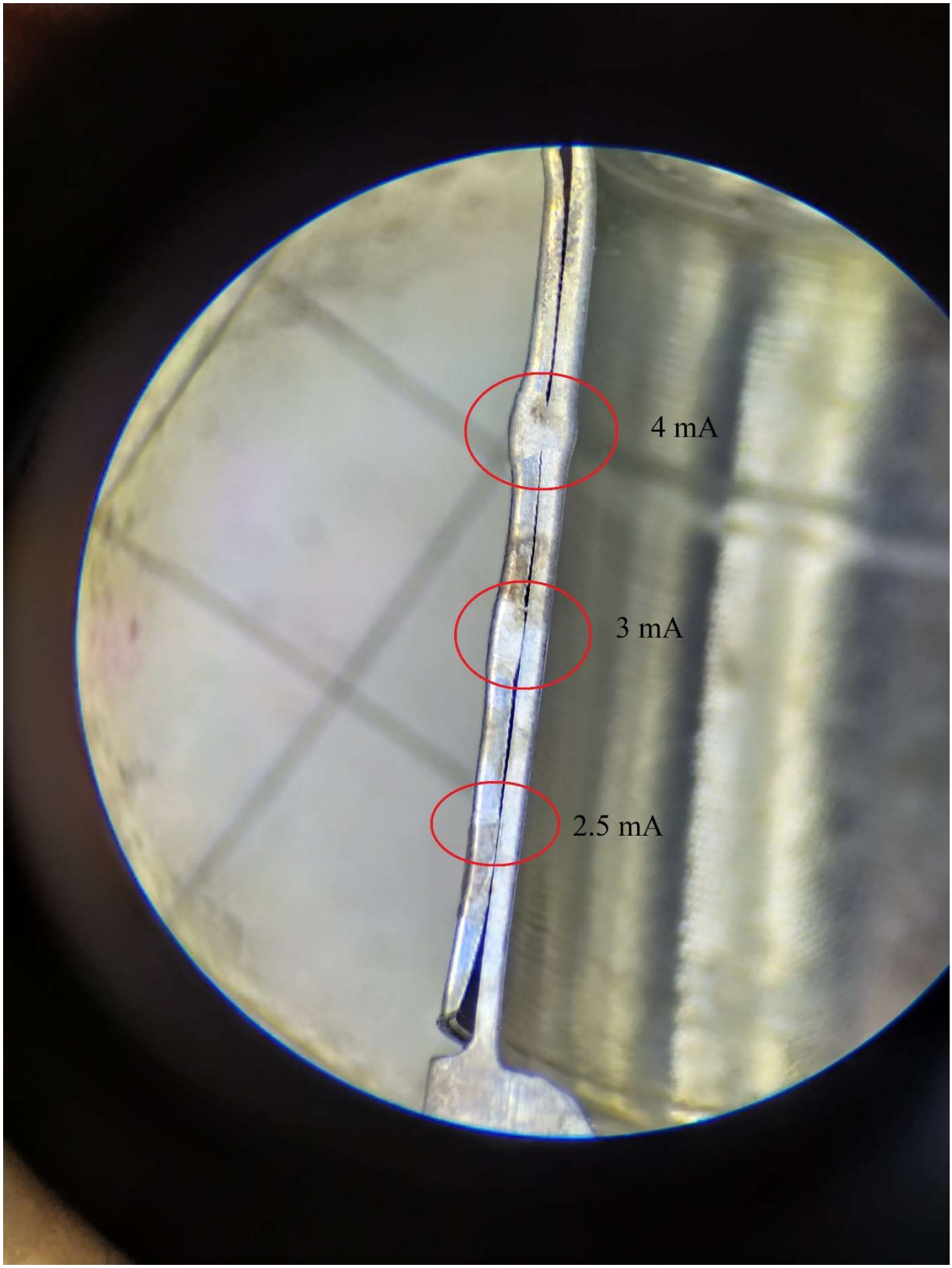
Şekil 4.5: Zımpara Öncesi Numunenin Mikroskop Altında Görseli



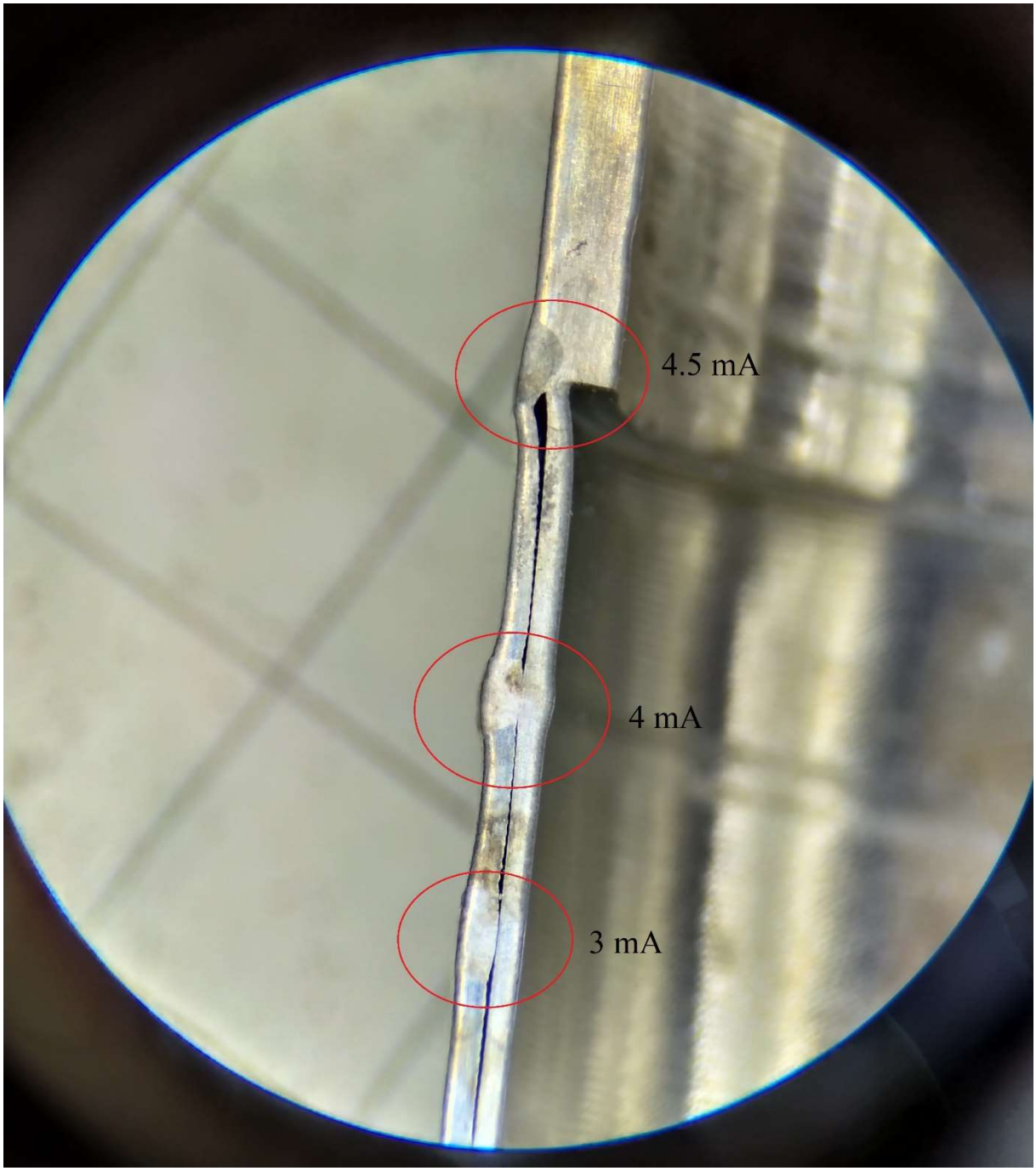
Şekil 4.6: Zımpara Sonrası Numunenin Mikroskop Altında Görseli



Şekil 4.7: Parlatma Sonrası Numunenin Mikroskop Altında Görseli



Şekil 4.8: Kimyasal Dağlama Sonrası Kaynak İzleri



Şekil 4.9: Kimyasal Dağlama Sonrası Kaynak İzleri

Yapılan test sonucu anlaşılmıştır ki 20 kV, 4 mA değerlerinde 80 W gücünde bir elektron demeti ile 0.4 mm kalınlığındaki parça başka bir parça ile kaynaklanabilmektedir. Daha düşük akım değerleri için elektron demetinin 0.4 mm'den daha derine nüfuz edemediği görsellerde belli olmaktadır.

Yapılan testler sonucu 304 paslanmaz çelik ve 7000 serisi alüminyumun elektron demet kaynağına karşı reaksiyonları incelenmiştir. Ayrıca malzeme doluluk miktarının ısının dağılması gibi bir sorunsalı oluşturduğu gözlenmiştir. Bu çalışmalar sayesinde deneysel çalışmalar ile benzetim çalışmaları arasında bir bağlantı kurulması ve benzetim yolu ile kullanılan sistem için deney yoluna gitmeden parçaların kaynaklanması hakkında ön bilgiye sahip olunabilir.

5 TARTIŞMA VE SONUÇ

EDK kontrol sistemi sadece bu tez çalışmasında bahsedildiği kadarıyla kalmayacaktır. Hali hazırda bu çalışma yazıya aktarılırken üzerine çalışılan veya üzerine çalışması planlanan sistemler mevcuttur.

Elektron demeti hedefe giderken bir kısmı anoda vurabilmektedir. Bunun başlıca sebebi demeti yönlendirmekten kaynaklıdır. Eğer anoda vuran demet akımı dikkate alınmaz ise anoda zarar verebilmektedir. Bunun için anoda gelen akımı ölçecek bir sistem tasarlanmıştır. Bu devre sayesinde anot ve hedefe gelen akımlar kontrol ekranında gözlemlenebilecektir. Anot ve hedefe gelen akım bir devre üzerinde 0-5 V aralığına ölçeklenecektir. Bu gerilim bir ADC(Analog to Digital Converter) ile digital sinyallere dönüştürülüp Arduino'ya aktarılacaktır. Arduino ise bir ESP8266 modülü ile bu gerilim değerlerini ana kontrol programına yollayacak ve ana kontrol programından izlenecektir. Bu sayede anota çarpan elektron miktarı belirli bir seviyeyi aşar ise operatör uyarılarak cihaza zarar vermesi önlenmiş olacaktır.

Kaynak sırasında elektron tabancasının ne kadar ısındığını ölçmek elektron tabancasına aşırı ısınmadan gelecek bir zararı önleyecektir. Bu yüzden üzerinde hassas bir sıcaklık sensörü olan sıcaklık sensörü kartı, gelişmiş versiyon bir ESP8266 ile kontrol edilecektir. Bu sayede hem Arduino kullanmadan veri alımı sağlanacak hem de cihaz üzerinde sıcaklık kontrol noktaları oluşturulabilenecektir.

Bipolar güç kaynağı ±5 V analog çıkış ile kontrol edildiği gibi ±5 V analog giriş ile de verdiği güç gözlemlenebilmektedir. Bunun için -5 V'u 5 V'a çevirecek bir kart tasarlanmakadır. Negatif gerilimler ayrı pozitif gerilimler ayrı kanalda okunacak şekilde iki analog giriş üzerinden bipolar güç kaynağının da gerilim değerleri ana kontrol programı üzerinden okunması planlanmaktadır.

Step motorların hassasiyeti kaynak için önemlidir. Bu yüzden hassas indüktif sensörler ve enkoderler ile step motorların yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilirlikle çalışması sağlanacaktır.

Odaklayıcı mıknatıs sonrası yönlendirici mıknatısları kontrol eden Rohde&Schwarz HMP4040 4 kanallı akım cihazı hafızasında akım ve gerilim değerleri saklayabilmektedir. Bu sayede elektron demeti bir düzlem üzerinde sadece bu cihaz kullanılarak hareket ettirilebilir ve bir

yörünge üzerinde hareketi sağlanabilir. Bu özellik ile iş parçası tahrik sisteminin serbestlik derecesi arttırılmış olacaktır.

Vakum sistemi el ile kontrol edilebilen kapı valfleri ile birbirinden ayrılabilmektedir. Bu sistem PLC çıkışları ile kontrol edilebilen ve açık-kapalı bilgisi verebilen valfler ile değiştirelerek vakum süreci otomasyonu gerçekleştirilecektir. Bu sayede insan hatası kaynaklı turbomoleküler pompalara zarar verecek durumların önüne geçilecektir. Ayrıca vakumdan atmosfere geçiş süresinden de kazanç sağlayacaktır.

Elektron tabancası tarafını vakum altında tutan turbomoleküler pompa kontrolcüsü PLC'ye eklenen bir RS232 haberleşme modülü kontrol edilmektedir. Bu modül sisteme sonradan eklenmiş ve bilgisayar üzerindeki işlem yükünün azaltılması planlanmıştır. Bir sonraki aşama olarak RS232 haberleşme modülünün RS485 haberleşme modülü ile değiştirilmesi planlanmaktadır. RS485 haberleşme protokolonün RS232 haberleşme protokolünden farkı RS485 32 adet efendi-köle bağlantısına izin vermektedir. Bu sayede seri haberleşme ile kontrol edilen tüm cihazlar PLC üzerinden kontrol edilebilecektir.

Arduino temelli sistemler ucuz olması avantajının yanında çabuk arızalanma, kablosuz haberleşmede süreksizlik, analog girişlerde çözünürlük düşüklüğü gibi bazı problemleri de beraberinde getirmektedir. Arduino, deneme-yanılma testleri sırasında büyük kolaylıklar sağlasa da endüstriyel bir cihaz tasarımında uzun vadede problemlere sebebiyet vereceği açıktır. Kaynak sırasında bir çok kez bipolar güç kaynağının bağlantı problemleri ile karşılaşılmıştır. Yüksek gerilim rafında olduğu için sistem kapatılmadan müdahele de söz konusu olamamaktadır. Bu durumlar göz önüne alındığında, uzun vadede, cihazın tamamen PLC tabanlı bir sistem ile kontrol edilecektir.

Tamamen PLC tabanlı bir kontrol sisteminin kazandıracağı en önemli şey sistemin kararlılığıdır. Kararsız bir sistem kaynak kalitesini düşürecektir. Bu yüzden yüksek gerilim rafı bölgesi için de PLC wifi bağlantısı eklenmesi planlanmaktadır. Planlanan bu PLC kontrol sistemleri tamamlandığında kararlılığı yüksek, endüstriyel şartlar için tamamen uygun bir kaynak kontrol sistemi elde edilmiş olacaktır.

Kısa süre boyunca elde edilen test sonuçları ile EDK cihazlarının başarısı gözler önündedir. EDK cihazlarının otomasyona yatkınlığı hem kontrol ve otomasyon alanında hem de kaynak mühendisliği alanında çok değerli AR&GE bilgileri kazandırmaktadır. Yüksek enerjili, yüksek

vakum hacimli, daha fazla serbestlik derecesi olan iş parçası hareket mekanizmasına sahip EDK cihazları bir çok sanayi kolunda kendine yer edinebilir. Yerlileşme ile ilk maliyet büyük oranda düşürülebilmektedir.

EDK çok disiplinli bir mühendislik yaklaşımı ile çalışan sistemdir. Yüksek gerilim, vakum, malzeme bilgisi, kaynak bilgisi, kontrol ve otomasyon bu disiplinlerden sadece bir kaçıdır. Yapılacak çalışmalar ile bu konularda yetişen insan sayısı artacak ve bu teknoloji ülkemizde yer edecektir.

Bir sonraki aşama olarak planlanan ve üzerine çalışılmaya başlanan konu ise benzetim çalışmalarıdır. EDK cihazından elde edilecek deneysel veriler ile benzetimler kıyaslanacaktır. Bu kıyaslama sonucunda elde edilecek yeni bir benzetim programı ile kaynaklanması planlanan numune için benzetimler yapılabilecektir. Benzetimler ile parçanın ne kadar verimli kaynaklanacağı, ne kadar sürede kaynaklanacağı ve nasıl bir elektron demeti ile bu işlemlerin gerçekleşebileceği hakkında ön bilgi sahibi olunacaktır.

EDK cihazı için yapılanlar sadece EDK cihazı değil elektron demeti temelli bir çok teknoloji için alt yapı oluşturmaktadır. Bu çalışmanın giriş kısmında bahsedilen ve yüksek enerjili elektron demeti ile yapılacak çeşitli uygulamalar mevcuttur. Kararlı çalışan bir elektron tabancası bu uygulamalar için önemli bir yapı taşıdır.

EDK cihazından elde edilen bilgiler ve deneyimler ile planlanan bir sonraki aşama ise medikal malzemelerin sterilizasyonunu sağlayacak bir cihazın yapımıdır. Bu kontrol çalışması geliştirilerek yazılımsal olarak, güç yükselticileri ile birlikte donanımsal olarak EDK yükseltilecek ve MeV seviyesinde elektron demeti elde edilecektir. MeV mertebesindeki elektron demeti sayesinde medikal malzemeler sterilize edilebilecektir.

KAYNAKLAR

[1] D. Dobeneck, Electron Beam Welding a Key Technology to Construct Vehicles for Road, Rail, Sea, Air, Pro-beam AG & Co. KGaA, 2007, pp. 1e60.

[2] Vretenar, M. 2006. "Differences between electron and ion linacs", 179-200. CERN Accelerator School Small Accelerators Proceedings, Editor: Brandt, D. Geneva

[3] Council on Ionizing Radiation Measurements and Standarts (CIRMS), "Industrial Radiation Processing With Electron Beams and X-rays". http://www.cirms.org/pdf/Industrial%20Radiation%20Processing%20-%20May%202011%20-%20Revision%206.pdf , Ziyaret Tarihi : 23.09.2020

[4] Schultz H, "Electron beam welding", 1993, Cambridge, England: Woodhead Publishing/The Welding Institute.

[5] https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektron_demeti Ziyaret Tarihi : 23.09.2020

[6] Types of Cathodes and their use, RCA Victor Division, June 1, 1943

[7] Rizkalla, H. L. and Abdulwahed, A., Some Mechanical Properties of Metal-Nonmetal AI Si02 Particulate Composites, Journal of Materials Processing Technology, 5, 1996, 398-403.

[8] Türker, M., Özdemir, A. T., Öğel, B. ve Yavuz, A., AI-SiC Tozlarının Mekanik Alaşımlama Değirmeninde Öğütme Zamanının Kompozit Toz Yapısına Etkisinin Araştırılması, Uluslararası Katımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı,1999.425-432.

[9] BY D. Powers and G. Schubert, Electron beam welding: A useful tool for the Automative Industry, February 2000, p 35-38.

[10] ASM Handbook, Welding, brazing and soldering, 7th edition,v 6, Mat. Park, Ohio p 427, 1983.

[11] M B D. Ellis, Joining of aluminium based metal matrix composites, International Materials Reviews 1996, vol 41, no 2, p 41.

[12] S. Anık, Kaynak tekniği el kitabı yöntemler ve donanımlar, Gedik holding 1991, İstanbul, 47-54.

[13] By E. Gaydusek, Advences in non-vacuum electron beam technology, Welding journal, November 1997, p 59.

[14] By D. E. Powers, Nonvacuum electron beam welding enhances automative manufacturing, Welding journal, November 1997, p 59.

[15] G. Mladenov, K. Vutova and S. Wojcicki, Experimental invastigation of the the weld depth and thermal efficiency during electron beam welding, Vacuum, v: 51, No: 2, 1998, 231.

[16] Z. Sun, R. Karppi, The application of electron beam welding for the joining of dissimilar metals: an overview, Journal of materials processing technology, no 59, 1996, p 257.

[17] S. Tosto and F. Nenci, Electron beam welding and post-weld treatments of 2219-T6, journal of physique IV, vol 3, November 1993, p 1029.

[18] P S.Wei, C Y. Chang, C T. Chen, Surface ripple in electron beam welding solidification, Journal of heat transfer, vol 118, November 1996, p 960.

[19] By A. Munitz, C. Cotler, H. Shaham, and G. Kohn, Electron beam welding of magnesium AZ91D plates, Welding journal supplement, July 2000, p 202.

[20] P. Petrov, C. Georgiev and G. Petrov, Experimental investigation of pool formation in electron beam welding, Vacuum 1998, V 51, p 339.

[21] Arsenault, R. J. and Wu, S. B., A Comparison of PM vs. Melted SiC/Al Composites, Scripta Metallurgica, 22, 1998, 767-772

[22] E.Koleva, G.Mladenov, K.Vutova, Calculation of weld parameters and thermal efficiency in electron beam welding, Vacuum 53, 1999, 67.

[23] Band_neu sayfa 68. (Düzenlenecek)

[24] Band_Examples sayfa 11 (Düzenlenecek)

[25] https://tr.wikipedia.org/wiki/LabVIEW Ziyaret Tarihi: 24.09.2020

[26] https://tr.wikipedia.org/wiki/PLC Ziyaret Tarihi: 21.12.2020

[27] https://tr.wikipedia.org/wiki/Arduino Ziyaret Tarihi: 21.12.2020

EKLER