İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI YÖNTEMİ İLE KAYNATILAN INCONEL 718 MALZEMESİ ÜZERİNDE SEÇİLİ DEĞİŞKENLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış BÖYÜKER

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Programı

ŞUBAT 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI YÖNTEMİ İLE KAYNATILAN INCONEL 718 MALZEMESİ ÜZERİNDE SEÇİLİ DEĞİŞKENLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış BÖYÜKER
503161322

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat VURAL

ŞUBAT 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503161322 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Barış BÖYÜKER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI YÖNTEMİ İLE KAYNATILAN INCONEL 718 MALZEMESİ ÜZERİNDE SEÇİLİ DEĞİŞKENLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Murat VURAL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Ali PINARBAŞI** Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 7 KASIM 2019
Savunma Tarihi : 27 ŞUBAT 2020

Aileme,

ÖNSÖZ

Beni bugünlere getiren kıymetli ailem ve çalışmamı hazırlamamda yardımını ve rehberliğini esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Murat VURAL başta olmak üzere, yüksek lisans ders dönemi boyunca, Eskişehir'den İstanbul'a geldiğim günlerde ayrı ayrı bana evlerini açan Sayın Deniz ERKAN'a, Sayın Aykut BEKE'ye ve Sayın Mehmet Akif ORTAK'a, deneysel çalışmalarım sırasında yardımlarını asla esirgemeyen kıymetli yöneticim Sayın Dilek AKAY'a, sevgili çalışma arkadaşlarım Sayın Yasin TOHUMCU'ya, Sayın Ezgi KILIÇ'a, deney numunelerinin metalografik muayenelerinde yardımcı olan Sayın Emre YAVUZ'a, Sayın Abdi Baturay GÖKÇEYREK'e ve tüm bu mücadele dolu üç yılda desteğini benden asla esirgemeyen sevgili eşim sayın Öyküm ÖZKÖK BÖYÜKER'e sonsuz teşekkürler.

Şubat 2020

Barış BÖYÜKER
(İmalat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ……..... vii
İÇİNDEKİLER ix
KISALTMALAR xi
SEMBOLLER xiii
ÇİZELGE LİSTESİ xv
ŞEKİL LİSTESİ xvii
ÖZET……..... ……..xix
SUMMARY xxi
1. GİRİŞ…… 1
2. ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI 5
2.1 Elektron Işın Kaynağı Nedir? 5
2.2 Elektron Işın Kaynağı Tarihi 7
2.3 Yöntemin Artıları 10
2.4 Yöntemin Sınırları 11
2.5 Elektron Işın Kaynağında Kalite Güvence Gerekliliği 12
2.6 Elektron Işın Kaynağı İşlemi 13
3. INCONEL 718 17
3.1 Inconel 718 Genel Özellikleri 17
3.2 Inconel 718 Kaynağı 18
4. DENEYSEL ÇALIŞMA 21
4.1 Numune Hazırlığı 22
4.2 Deneysel Çalışma 25
5. METALOGRAFİK İNCELEME 31
5.1 Metalografik İnceleme Nedir? 31
5.2 Deney Numunelerinin Metalografik İncelemeye Hazırlanması ve İnceleme .. 34
6. SONUÇLAR 41
6.1 Akımın Nüfuziyet Üzerine Etkisi 42
6.2 Voltajın Nüfuziyet Üzerine Etkisi 44
6.3 Kaynak Hızının Nüfuziyet Üzerine Etkisi 46
7. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER 49
KAYNAKLAR 51
EKLER…… 53
ÖZGEÇMİŞ 68

KISALTMALAR

TEI : Tusaş Engine Industry
EIK : Elektron Işın Kaynağı
EBW : Electron Beam Welding
ITAB : Isı Tesiri Altındaki Bölge
DIN : Deutsches Institut für Normung
UNS : Unified Numbering System

SEMBOLLER

mm	**:** Milimetre
kV	**:** Kilo Volt
A	**:** Amper
sn	**:** Saniye
W	**:** Watt
cm	**:** Santimetre
m	**:** Metre
C	**:** Santigrat
F	**:** Fahrenayt
in	**:** Inch
mPa	**:** Mili Pascal
MPA	**:** Mega Pascal

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Maksimum güç yoğunluğu…..……..……..……..11
Çizelge 4.1 : Deney parametreleri...……...……25
Çizelge 6.1 : Kaynak numunelerinin nüfuziyet derinlikleri….....41

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Gaz türbinli motor bölümleri..... 2
Şekil 2.1: Marcello von Pirani'nin elektron ışın fırını..... 7
Şekil 2.2: İlk EBW makinası 9
Şekil 2.3: EBW şema……..……..……14
Şekil 3.1: Inconel 718 kimyasal yapısı…..……..……17
Şekil 4.1: Elektron ışın kaynağı kaynak odası .....……..……21
Şekil 4.2: Şerit malzemeler…….....…….……22
Şekil 4.3: Numune boyutları..…….....…….……23
Şekil 4.4: Numunelerin çapaklarının alınması.....…….……24
Şekil 4.5: Çapakları alınmış kaynatılmaya hazır 30 set numune…….…..……24
Şekil 4.6: Puntalanmış numuneler…….……..26
Şekil 4.7: Fikstürlenmiş numuneler……..……..26
Şekil 4.8: Kaynak odası tavanı ile malzeme yüzeyi arasındaki mesafe ölçümü……27
Şekil 4.9: Elektron ışın kaynağı ekranı…..……..……..28
Şekil 4.10: Elektron ışın kaynağı takip ekranı…..……..29
Şekil 4.11: Kaynak dikiş eksenine dik şekilde kesilmiş numuneler.....……..30
Şekil 5.1: Laboratuvar tipi kesme cihazı...……..…..32
Şekil 5.2: Kalıplama presleri…….....……...…….…..33
Şekil 5.3: Otomatik parlatma ve zımparalama makinası…..…….…..33
Şekil 5.4: Numunelerin kalıp için kesilmesi…….....…….…..34
Şekil 5.5: Kalıp öncesi numuneler……..……..……..…….…..35
Şekil 5.6: Numunelerin kalıba alınması…..……...…..…….…..36
Şekil 5.7: Kalıp malzemesinin kalıba dökülmesi…….....…….…..36
Şekil 5.8: Kalıp malzemesinin kalıba dökülmesi……...…….…..37
Şekil 5.9: Kalıbın kapatılması ve presin çalışmaya hazır oluşu…….…..37
Şekil 5.10: Zımparalama aparatı……..…….…..38
Şekil 5.11: Zımparalama makinesi……...…….…..39
Şekil 5.12: Zımparalama makinesi……...…….…..39
Şekil 5.13: Mikroskop……..…….…..40
Şekil 5.14: Numunenin mikroskopa yerleştirilmesi…..…….…..40
Şekil 6.1: 20 mm/sn hızda ampere göre nüfuziyet değişimi…..…….…..42
Şekil 6.2: 16 mm/sn hızda ampere göre nüfuziyet değişimi…..…….…..43
Şekil 6.3: 12 mm/sn hızda ampere göre nüfuziyet değişimi…..…….…..43
Şekil 6.4: 20 mm/sn hızda voltaja göre nüfuziyet değişimi…..…….…..44
Şekil 6.5: 16 mm/sn hızda voltaja göre nüfuziyet değişimi…..…….…..45
Şekil 6.6: 12 mm/sn hızda voltaja göre nüfuziyet değişimi…..…….…..45
Şekil 6.7: 30 kV voltajda hıza göre nüfuziyet değişimi…….…….…..46
Şekil 6.8: 35 kV voltajda hıza göre nüfuziyet değişimi…….…….…..46
Şekil 6.9: 40 kV voltajda hıza göre nüfuziyet değişimi…….…….…..47

ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI YÖNTEMİ İLE KAYNATILAN INCONEL 718 MALZEMESİ ÜZERİNDE SEÇİLİ DEĞİŞKENLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Kaynaklı imalat yönteminin insanlık tarihinde metal malzemelerinin işlenmesi ile neredeyse aynı tarihten itibaren kullanıldığı bilinen bir durumdur. Çok çok eskiden kaynaklı imalat yönteminin karanlık bir sanat yada kaba bir inşaat tekniği olarak kabul edilmesi ise ilginç bir durumdur. Özellikle keşiflerin hızlanması, elektriğin yaygınlaşması gibi gelişmelerin ışığında, on dokuzuncu yüzyılda yeni tip kaynak yöntemlerinin geliştirilmesinin önü açıldı.

Mukavemet ve maliyet açısından bakıldığında kaynaklı imalat yöntemi hava araçlarının parçalarında perçinler ile yer değiştirmiştir. Bu kaynaklı imalat yöntemlerinden Elektron Işın Kaynağı yöntemi askeri hava araçlarının titanyum parçalarının kaynatılmasında sıklıkla tercih ediliyordu. Elektron Işın Kaynağı düşük ısı girdisi ve malzemenin kaynak sonrası yapısal dayanımındaki durumdan ötürü popüler olmaya başlamıştı.İlk olarak 1950'li yılların sonlarına doğru nükleer enerji ve havacılık sektörlerinde tercih ediliyordu. Diğer kaynak türlerine göre yüksek güvenilirlik ve kalite sunması önemli bir etkendi. Ayrıca imalat maliyetlerini de azaltmış, imalatı yapılan parça sayısı ise artmıştı.

Elektron Işın Kaynağı yönteminde elektronlar yüksek vakumlu ortamda hızlandırılıp, iş parçasına doğru hareket ettirilir. İş parçasına temas eden elektronların sahip olduğu kinetik enerji ısı enerjisine dönüşür ve iş parçasının ergimesi gerçekleşir. Elektronlar iş parçası üzerinde çok ufak bir noktada yoğunlaştığından ötürü bu bölgedeki enerji yoğunluğu çok yüksek seviyelere çıkar.

Çalışmamızda Inconel 718 malzeme kullanılmıştır. Inconel 718 malzeme en yaygın kullanılan ve bulunan nikel alaşım malzemelerden biridir. Kaynaklanabilirliği çok yüksek olan bu malzeme savuma ve havacılık sektörlerinde sıklıkla kullanılır.

Inconel 718 malzemeden oluşan 0,080" (2,032 mm) kalınlığında sac malzemelerin Elektron Işın Kaynağı tezgahında farklı parametreler ile kaynatılıp bu parametrelerin etkileri bu çalışmada ele alınmıştır. Bu inceleme için üç farklı parametre seçilip her bir parametre için de üç farklı değer atanmıştır. Bu üç farklı parametrei voltaj, akım ve kaynak hızıdır. Değerler ise voltaj için 30,35,40 kV; akım içim 30,33,36 A; hız için ise 12,16,20 mm/sn olarak seçilmiştir.

Toplamda 27 adet numune hazırlanarak kaynak denemesi tamamlanmıştır. Kaynak denemesi sonrasında numuneler metal laboratuvarında metalografik incelemeye tabi tutulmuşlardır. Bu inceleme sonrasında görülmüştür ki, voltajın veya akımın artışı kaynak nüfuziyetini arttırmaktadır ayrıca kaynak hızının düşüşü de nüfuziyeti arttırmaktadır.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SELECTED VARIABLES ON THE INCONEL 718 MATERIAL WELDED BY ELECTRON BEAM WELDING

SUMMARY

It is known that welded manufacturing method has been used in the history of mankind since almost the same date as the processing of metal materials. It is interesting to note that the very old welded manufacturing method is regarded as a dark art or a rough construction technique. Especially in the light of developments such as the acceleration of discoveries and the spread of electricity, the nineteenth century paved the way for the development of new types of welding methods.

In terms of strength and cost, the welded manufacturing method was replaced by rivets in the parts of aircraft. Of these welded manufacturing methods, the Electron Beam Welding method was often preferred for welding titanium parts of military aircraft. Electron Beam Welding was becoming popular due to the low heat input and the post-weld structural strength of the material. The high reliability and quality compared to other types of welds was an important factor. It also reduced manufacturing costs and increased the number of manufactured parts.

In Electron Beam Welding method, electrons are accelerated in high vacuum environment and moved to the workpiece. The kinetic energy of the electrons contacting the workpiece is transformed into heat energy and the workpiece melts. Because the electrons are concentrated at a very small point on the workpiece, the energy density in this region increases to very high levels.

Electron welding or electron beam welding (EBW) is a welding method that is applied by means of heat which is formed by a high concentration of electron beam that strikes the material surface rapidly. The electron gun operates with high voltage (10-150 kV) to accelerate the electrons, while the current values are significantly low (at milliampere). What is essential in EBW is not the power, but the power density. The electrons focus on the material at a very small point, resulting in a high energy density.

In addition to all metals that can be welded by the arc welding, EBW can weld some metals which cannot be welded by the arc welding and metals which are very difficult to weld. The materials to be welded are varied from thin foils to thick sheets. This welding method is mostly used in automotive, aerospace industry, nuclear power industry. The fields of application of the method in automotive industry are welding joining of aluminum manifolds, transmission parts, steel torque converters, catalytic converters. The high quality of the welds in the electron welds, the deep and narrow welds are very narrow ITAB and a low rate of thermal expansion. Welding speeds in this method are faster than other welding methods. There is no need for filler metal, dust or gas to cause slag. The flaws of this welding method include high cost, precise and demanding welding preparation and difficulties with vacuum.

Output variables in electron beam welding are weld penetration dimensions and the level of welding errors. Like other welding methods, welding defects can occur in

electron beam welding, such as pores, cracks, combustion chutes. Resources to be quality tested must be within the limits defined by the standards. Input variables must be strictly controlled to ensure that the source complies with these standards.

Voltage and current input parameters determine the power intensity of the beam. In most electron beam welding machines, the voltage is kept constant and the required power density is obtained by changing the current. The welding speed is the speed of the workpiece in the welding direction relative to the beam. The speed affects the heating and cooling speed and the depth of penetration. The focal current is the input variable of the magnetic lens that determines the focal distance. This distance may be below the surface of the workpiece or above the surface of the workpiece.

For special welding applications, the beam variables are controlled by the computer system during the process. However, due to interference elements or other variables, electron beam of various properties is obtained, which causes changes in penetration sizes and error types. Another variable is the human effect that decides the sharp focus setting. Because the beam itself is visible, the sharp focus is usually adjusted by the operator by observing the brightness of the beam on the workpiece, when the low-current beam is positioned on the workpiece. Consistency in adjusting the sharp focus is a big question mark because different operators may see different luminescence due to metal dust in optics. As a result, even if welding variables are set consistently, machine setup and operation can have different results in welding performance.

Simply the electron beam is formed by the electron gun containing the cathode, the source to heat the electrons, the grid, the electrode and the anode specially shaped according to the hot cathode emitter. The hot cathode emitter is made of high radiation material, for example tungsten or tantalum. This spreading material is usually available as wire or sheet metal and can be manufactured to the desired shape.

The electrons emitted from the cathode emitter are accelerated to high velocity and become a beam aligned by the electrostatic field geometry provided by the cathode / grid / anode. Thus, constant flow electrons flow towards the anode is provided.

When electrons leave the anode, they receive the highest energy input by the application voltage applied to the electron gun. The electrons descend towards the electron beam column assembly and reach the magnetic lens field. This focusing lens reduces the diameter of the electron beam. The beam continues to flow and the electron beam with a much smaller cross-sectional area is focused on the workpiece. The decrease in beam diameter increases the energy density and creates a very small, high intensity beam on the workpiece. In addition, the electromagnetic deflection coil can be used to bend the beam, which provides flexibility in moving the focused beam.

The electron gun is generally kept separate from the welding section. In some cases, the gun can be operated in a vacuum (13 mPa / 1 x 10-4 torr) environment, which generally applies to situations where the workpiece is large and difficult to access. This level of vacuum in the gun is necessary to keep the gun parts clean, to prevent oxidation and to prevent the gun from making arc. A similar amount of vacuum during welding is necessary for both the electron gun and the welding chamber, because if there is no vacuum medium during the welding, the electron beam can strike and deviate from the air molecules along the path it receives. Such an interaction produces a wider electron beam point, which leads to a reduction in energy density. Generally, electron guns are operated in the voltage range from 30 to 200 kV and in the current range from 0.5 to 1500 mA. Electron beam welding equipment is common up to 30 kW, but some units up to 200 kW are commercially available.

Generally, high-vacuum electron beam sources can be formed with diameters between 0.25 and 1.3 mm (0.010 to 0.050 in.) And a power density of 107 W / cm2 (106 W / in2). The high level beam point produces a temperature of about 14000 ° C (25000 ° F) and is sufficient to evaporate almost any metal, which provides a steam hole leading to the depth of the material.

Electron beam welding is usually only done under high vacuum (13 mPa / 1 x 10-4 torr) because vacuum medium is necessary to produce the beam. Boiling the material in a clean atmosphere is useful enough to consider. However, it has been found that the amount of vacuum in the welding chamber need not be as high as that of the electron gun, since more part manufacturing volume is desired. In addition, it has been revealed for some applications that there is no problem in welding the workpiece without any vacuum.

Inconel 718 material was used in our study. Inconel 718 material is one of the most widely used and found nickel alloy materials. This material has high weldability and is frequently used in the defense and aerospace industries.

Inconel 718 and its other commonly used name, alloy 718 is one of the most commonly used materials for nickel alloy materials. Inconel 718 material is a nickel - chromium - molybdenum composition similar to the inconel 625 material. Inconel 718, which corresponds to 2,466 according to DIN Standard, also corresponds to the UNS N07718 standard. Alloy 718, which has a very high corrosion resistance, has a chemical expansion of NiCr19Fe19Nb5Mo3.

Inconel 718, which can be hardened by aging, can maintain its mechanical properties even at different temperatures. The tensile strength of this alloy material is very high. In addition, the breaking resistance and fracture resistance are quite high. This material, which is also resistant to high temperatures, has a much harder structure when it is deposited by aging.

Inconel 718 or Alloy 718 is often welded using additional metal in the industry and subjected to post-weld heat treatment. It is highly resistant to stress cracks that may occur after welding and is a superalloy with high welding ability. Precipitation hardening Nickel alloys are normally subjected to deformation aging cracking after welding. Our material, inconel 718, is exposed to ITAB cracks, because large grains facilitate these cracks. These cracks are actually intergranular disintegration in the ITAB region and these cracks can occur in Nb-Ni-containing alloys in various welding methods. It is explained that the tendency of crack formation in the ITAB region during welding is again due to a liquid phase that occurs between the beads in the ITAB during welding.

Inconel 718 materials consisting of 0,080 "(2,032 mm) thick sheet materials are welded with different parameters in the Electron Beam Welding machine and the effects of these parameters are discussed in this study. Three different parameters are selected for this study and three different values are assigned for each parameter. These parameters are voltage, current and welding speed. So, values are 30.35.40 kV for voltage, 30.33.36 A for current and 12.16.20 mm / s for speed.

A total of 27 samples were prepared and the welding experiment was completed. After the welding test, the samples were subjected to metallographic examination in the metal laboratory.

1. GİRİŞ

Kaynağın tarihine baktığımızda, insanlığın metalleri işlemesi kadar eski bir yöntem olduğu karşımıza çıkar. Tarihin çoğunda karanlık bir sanat ya da kaba bir inşaat tekniği olarak kabul edilmiştir kaynak. Yeni keşifler ve on dokuzuncu yüzyıldaki elektrik enerjisinin varoluşu, yeni nesil kaynak yöntemlerinin geliştirilmesinin önünü açtı.

Kaynak, hem maliyet hem de yapısal sağlamlık gelişimi için perçinler ile yer değiştirmiştir askeri ve sivil uçakların parçalarının imalatında. Difüzyon, laser ve elektron ışın kaynağı sivil uçaklarda tercih edilirken elektron ışın kaynağı askeri uçakların titanyum parçalarının imalatında tercih ediliyordu [1].

Elektron ışın kaynağı ergitme ve katı hal kaynak yöntemleri sonucu ulaşılamayan mikroyapı ve mekanik özelliklerin elde edilmesine olanak sağlayan bir ileri imalat teknolojisidir.

Bu kaynak türünde düşük ısı girdisi ve malzemelerin kaynak sonrası elde ettiği mukavemet değerleri yöntemin kullanılmasında büyük etken olmuştur. Elektron ışın kaynağı yönteminin pahalı oluşu sanayide kullanım oranını düşüren bir etkendir. İlk olarak 1950li yılların sonlarına doğru nükleer endüstrisi ve havacılık sanayisinde kullanılmaya başlanmıştır. Elektron ışın kaynağı ile gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılarda diğer kaynak yöntemlerine göre daha yüksek kalite ve güvenilirlik elde edilmiş ve imalat maliyetleri azalmış dolayısıyla imalatı yapılan parça sayısı artmıştır.

Elektron ışın kaynağı, elektronların yüksek vakum altında hızlandırılarak elde ettikleri kinetik enerji kullanılarak uygulanan bir imalat yöntemidir. Elektron demetinin yönlendirilerek metallerin erimesi sağlanır ve böylece kaynak gerçekleştirilir. Elektron demetinin mevcudiyetinde bulundurduğu kinetik enerji kaynaklanacak parçaların ufak bir bölgesinde yoğunlaştığı için kaynak ağızında enerji yoğunluğu 108 W/cm^2 değerine erişebilmektedir. Bu enerji yoğunluğuna ulaşabilen ışın demetinin 1 m uzağa çalışabilme olanağı vardır.

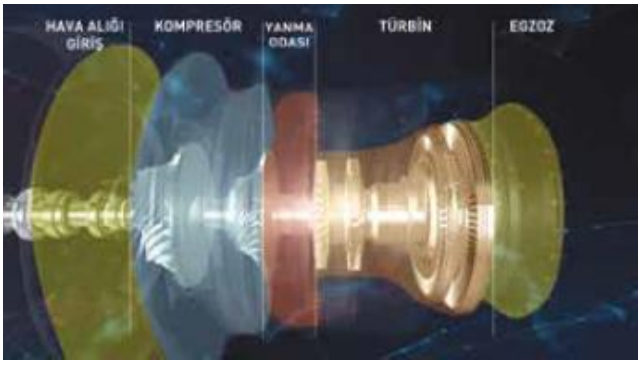
Vakumsuz yada düşük vakumlu ortamda da kayna yapılabilir ancak fazla tercih edilen bir durum değildir. Genellikle yüksek vakumda yapılır kaynak işlemleri [2].

Bu çalışmada kullanacağımız Inconel 718 malzemesi ise nikel alaşım malzemeler içinde en yaygın şekilde kullanılan malzemelerden biridir. Nikel-Krom-Molibden birleşiminden oluşmaktadır. Aynı zamanda Alloy 718 olarak da adlandırılan bu malzeme DIN Standartına göre 2.4688'e denk gelmektedir. Kimyasal açılımı NiCr19Fe19Nb5Mo3 olan bu nikel alaşım malzeme, yüksek korozyon direncine sahiptir.

Kaynak yapılabilirliği çoğu malzemeye göre çok daha iyi olan Inconel 718 malzeme oldukça yaygın kullanıma ve bulunabilirliğe sahiptir. Havacılık ve Uzay Sanayisinde sıklıkla kullanılır. Temel olarak Nikel, Krom ve Molibden'den oluşan bu nikel alaşım malzeme, içeriğinde bulundurduğu Niobyum, Alüminyum ve Titanyum sayesinde daha da mukavemetli hale gelmektedir [3].

Havacılık ve Uzay Sanayisinde sıklıkla kullanılan bu malzeme doğal olarak birçok gaz türbinli motor parçasının da hammalzemesini oluşturur. Gaz türbinli motorların savunma, havacılık ve enerji gibi sektörlerdeki rolü büyüktür. Hava platformlarının ana organı olan gaz türbinli motorlar, Şekil 1.1'de görüldüğü gibi 5 temel modülden oluşur.

- Hava Alığı(Giriş)
- Kompresör
- Yanma Odası
- Türbin
- Egzoz



Şekil 1.1: Gaz türbinli motor bölümleri [4].

Kompresör bölümü, bu motorlarda havanın sıkıştırılıp arka tarafa doğru yönlendirildiği bölümdür. Bu bölümde sıkıştırılan havanın basıncı yaklaşık 15 bar civarındadır.

Yanma odası ise sıkıştırılan bu havanın yakıt ile karıştırılıp, ateşlendiği bölümdür. Bu sayede yüksek basınca sahip olan hava yüksek sıcaklıklara çıkarılıp bu şekilde türbine iletilir.

Türbine iletilen 1300 °C sıcaklığına sahip yüksek basınçlı havanın oluşturduğu iş ile, hava aracının ihtiyacı olan güç elde edilmiş olur [4].

Tusaş Motor Sanayi (TEI) dünya çapında çeşitli firmaların gaz türbinli motorları için çok sayıda ve çeşitte parça imalatı yapar. Bu parçalardan önemli bir kısmı nikel alaşımlıdır. Inconel 718 malzemesinin ham malzeme olduğu parça sayısı da azımsanmayacak kadar çoktur. Bu parçaların üretimi esnasında Elektron Işın Kaynağı (EIK-Electron Beam Weld-EBW) yöntemi de sıklıklar kullanılır. Bu kaynak işlemi yapılırken, doğru kaynak dikişini oluşturmak için kaynak parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple ana parçanın imalatına başlanmadan önce aynı malzeme ve aynı kalınlıkta numuneler kesilir ve kaynatılır. Bu numuneler metal laboratuvarında incelenir. Bu incelemede kaynak nüfuziyeti, kaynak fazlalığı, kaynak genişliği gibi özellikler incelenir. Bu özelliklerin, genel standartlara yada müşteri tarafından belirlenmiş değerlere ve durumlara uygun olması gerekmektedir. Böylece gerekliliklere uygun kaynak numunelerinin parametreleri, esas parçanın imalatında kullanılabilir.

Bu tezde yapacağımız çalışma da Inconel 718 malzemesinin 0,080" (2,032 mm) kalınlığındaki numunelerinin elektron ışın kaynağında farklı parametreler ile kaynatılması sonucu ortaya çıkan kaynağın incelenmesi olacak. Bu inceleme için üç farklı parametre belirlendi, bunlar: Voltaj (kV), Amper (A) ve Hız (mm/sn). Her bir parametre için de üçer adet değer belirlendi. Voltaj için 30,35,40 kV, amper için 30,33,36 A ve hız için ise 12,16,20 mm/sn değerleri belirlendi.

2. ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI

2.1 Elektron Işın Kaynağı Nedir?

Elektron kaynağı, elektron demeti kaynağı yada elektron ışın kaynağı(EIK/ Electron Beam Welding-EBW) odağı yüksek, yoğunluğu yüksek bir elektron demetinin malzeme yüzeyine hızlı bir şekilde çarpması sonucu oluşan ısı vasıtası ile uygulanan bir kaynak yöntemidir. Elektron tabancası elektronların ivme kazanması için yüksek gerilim (10-150 kV) ile çalışırken, akım değerleri ciddi derecede düşüktür (miliamper seviyesinde). EIK'da aslolan güç değil güç yoğunluğudur. Elektronların malzeme üzerinde çok ufak bir noktaya odaklanması sonucu, yüksek enerji yoğunluğu elde edilir. Güç yoğunluğu PD, aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$PD = \frac{f1.E.I}{A} \tag{2.1}$$

- PD: Güç Yoğunluğu (W/mm$^{2)}$
- $f1$: Isı transferi faktörü
- E: İvmelendirme gerilimi (V)
- I: Akım (A)
- A: Malzemede elektron demeti tarafından odaklanılan alan (mm^2)

Bu kaynak yöntemi ilk defa, 1950 li yılların başında atom enerjisi ile ilgili alanlarda kullanılmıştır. İlk denemelerde kaynak bir vakum odasında gerçekleştirilerek elektronların havadaki moleküller yüzünden yön değiştirmesinin önüne geçilmiştir. Bu vakumlu ortam zorunluluğu, kaynaktan hemen önce kaynak odasındaki havanın boşaltılması ve vakumun oluşması için ciddi bir zaman gerektirdiği için hala imalatta bir olumsuzluktur. Boşaltma süresi olarak da anılan bu süre, odanın boyutlarına ve istenilen vakum miktarına göre yaklaşık bir saat kadar sürebilir. Yeni nesil tezgahlarda ise bu kaynak yönteminin vakum olmadan da yapılması için bazı gelişmeler yaşanmıştır. Bu kaynak yönteminde üç farklı uygulama vardır. Bunlar:

1. Yüksek Vakumlu Elektron Kaynağı

- Kaynak, elektron demeti oluşturulan vakumlu ortamda yapılır.

2. Orta Vakumlu Elektron Kaynağı

- Kaynak, yarı vakuma sahip başka bir odada yapılır.

3. Vakumsuz Elektron Kaynağı

- Kaynak, atmosfer basıncı veya yakın bir basınçta gerçekleştirilir.

Orta vakumlu kaynakta, malzemenin odaya koyulması ve çıkarılması sırasında vakum boşaltma süresi azaltılmış, vakumsuz kaynakta ise neredeyse sıfırlanmıştır. Fakat bu yararın bir karşılığı bulunmatadır. Yüksek vakumlu elektron kaynağı haricinde, yüksek vakum ihtiyacı bulunan elektron demeti oluşturulan kısımı kaynak edilecek malzemenin bulunduğu bölümden ayıran bir veya birden çok vakum ayırıcı (içeri hava girmesini engelleyen ve elektronların dışarı çıkmasına müsade eden çok ufak bir boşluk) gerekmektedir. Buna ek olarak, vakumsuz ortamda yapılacak kaynak işleminde malzemenin elektronların çıkış yaptığı noktaya çok yakın yani 13 mm veya daha az mesafede olması gerekmektedir. Ancak her ne kadar imalat süresi kısalsa da düşük vakumlu yöntemlerde kaynak kalitesi ve kaynak nüfuziyeti (derinliği/genişliği) yüksek vakumlu ortamda yapılan kaynakta elde edilen kalite ve nüfuziyete ulaşamıyor.

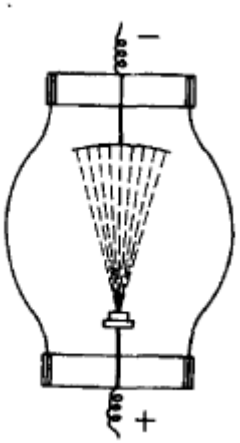
Elektron ışın kaynağı (EIK), ark kaynağı tarafından kaynatılabilen tüm metallere ek olarak ark kaynağı tarafından kaynatılamayan bazı metaller ve kaynağı çok zor olan metaller de kaynak edilebilirler. Kaynak işlemi yapılacak malzemeler ince folyolardan kalın levhalara kadar çeşitlidir. Bu kaynak yöntemi en çok otomotiv, havacılık ve uzay sanayii, nükleer enerji sanayii gibi alanlarda kullanılır. Yöntemin otomotivdeki kullanım alanları, alüminyum manifoltların,transmisyon parçalarının, çelik tork konvertörlerinin, katalitik konvertörlerin kaynakla birleşme işlemleridir. Elektron kaynaklarındaki kaynak kalitesinin yüksekliği, derin ve dar kaynaklar çok dar ITAB ve düşük bir oranda ısıl genleşme gibi ayrıcalıklar dikkat çekmektedir. Bu yöntemdeki kaynak hızları diğer kaynak yöntemlerine göre daha hızlıdır. Dolgu metaline, cürufa neden olacak toz veya koruma amaçlı gaza ihtiyaç yoktur. Bu kaynak yönteminin kusurları arasında, yüksek maliyet, hassas ve zorlu kaynak hazırlığı ve vakum nedeni ile yaşanan zorluklar bulunmaktadır.

Bu kusurlara ek olarak yöntemin yapılışı sırasında ortaya x ışınları çıktığından ötürü güvenlik önlemleri alınmak zorundadır işçi sağlığı açısından [5].

2.2 Elektron Işın Kaynağı Tarihi

Günümüzde hayatı kolaylaştıran teknik başarılar öne çıkarken, bu başarıları elde edenler tarafından yürütülen geliştirme, buluşlar ve testler genellikle göz ardı edilir. Elektron ışını kaynak makinesi tabii ki günlük kullanımda olan bir öğe değildir ancak yüksek yaşam standardına katkıda bulunacak ürünlerin üretiminde kullanılırlar. Yüz yılı aşkın süre önce Fizikçiler Hittorf ve Crookes tarafından yapılan ilk deneylerde gaz içinde katod ışınları üretildi ve bu ışınların metalleri eritmek için kullanılması bugünün jet motor parçalarının elektron ışın kaynağı için kullanılan CNC imalat makinelerine giden yolu açtı.

Başlangıçta katod ışınları ilginç bir fiziksel olaydan biraz daha fazlasıydı ki katod ışınları 1895'te Rontgen tarafından belirli bir radyasyon türünün keşfedilmesine neden oldular. Thompson ve Milikan tarafından bu radyasyon türü "hızlı hareket eden elektronlar" olarak tanımlanmıştı. Malzemenin işlenmesiyle ilgili olarak, böyle ışınların o kadar önemi yoktu. Nitekim, tam tersi, o zaman yapılan tüm deneylerde, çarpışma tarafından üretilen ısı anot için büyük bir dezavantaj olarak kabul edildi ve anotun erimesini önlemek için su soğutması kullanılarak sürekli denemeler yapıldı. Marcello von Pirani, katod ışınını uyumlu hale getirerek Şekil 2.1'de gördüğümüz tantalum tozları ve diğer metalleri eritecek elektron ışın fırınını inşa edip patentleyen ilk kişidir.

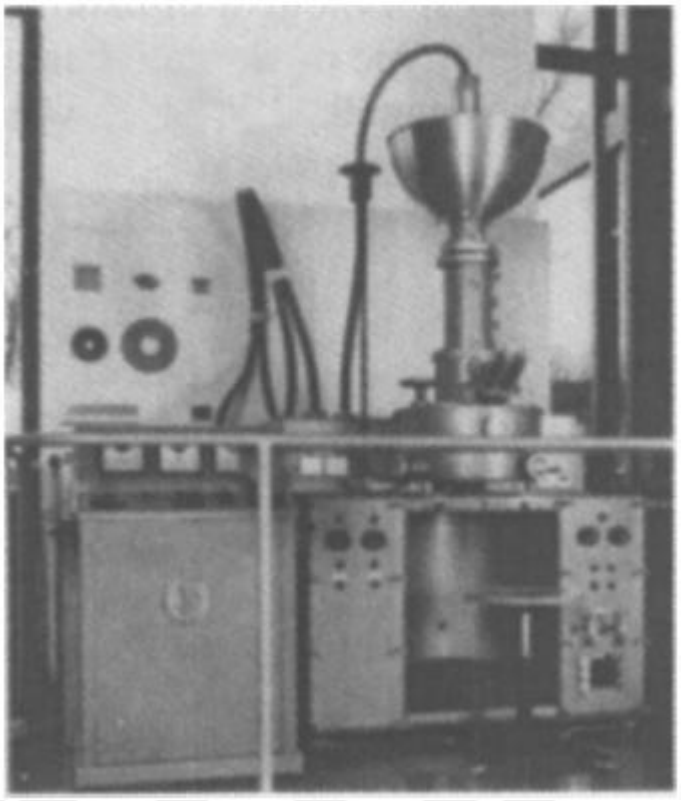


Şekil 2.1: Marcello von Pirani'nin elektron ışın fırını [6].

Takip eden yıllarda bir çok bilim insanı elektron ışın kaynağı ile ilgili olmaya başladı. Langmuir, Child, Richardson, Dushman ve Wehnelt bu gibi ışınların üretimini düzenleyen yasaları araştırdı. Rogowski, Flegler, Davisson, Calbrick ve diğerleri elektron optiği temeli üzerine çalışmalar yaptı. Elektron ışınlarının ilk en önemli kullanım yeri osiloskopların ve mikroskopların yapımıydı. Von Ardenne elektron ışınlarını metalleri delmek için, Rühle ise eritmek ve buharlaştırmak için kullandı.

Elektron ışın kaynağı kullanılarak metallerin işlenmesinde yeni bir çağ 1948 yılında başladı. Aynı zamanda elektron mikroskoplarında kullanılması için daha güçlü ışın üretimi üzerine çalışan fizikçi Steigerwald, elektron ışınlarının termik alet olarak saatlerin hassas parçalarını delinmesinde, tel çekme kalıplarının delinmesinde ve vakum altında metallarin lehimlenmesi, ergitilmesi ve kaynatılması için kullanılabileceğini fark etti.

İlk denemelerin sonuçları oldukça ümit verici oldu ve bir Amerikan firması ile lisans anlaşması yapılmasını sağladı. Bunlar yaşanırken elektron ışın kaynağı ark ya da gaz kaynağı ile aynı koşullarda düşünülüyordu. Şöyle ki, elektron ışın kaynağının da sabit bir ısı kaynağı kullanması, atmosfer ile metalin reaksiyona girmesini engellemesi gibi durumlar yüzünden bu düşünce hakimdi. Endsütriyel elektron ışın kaynağında dönüm noktası, 1958'de 5 mm kalınlıkta Zircaloy malzemesinin alın kaynağı yapılmasına gerek duyulduğunda yaşandı. Yavaş yavaş arttırılan elektron ışını ile sonunda iş parçasının kalınlığının tamamında nüfuziyet elde edecek ve gerekliliği karşılayacak kaynak dikişi yapıldı. Kaynak yönteminde yakalanan bu nüfuziyet başarısı hızlı bir şekilde tüm dünyaya yayıldı. Bu başarıdan sonra Steigerwald iki adet Elektron Işın Kaynağı makinası sattı. Bunlardan bir tanesi Pittsburg'da (Amerika) denizaltı parçalarının kaynatılması için kurulurken, diğeri (Şekil 2.2) yıllarca Almanya endüstrisinde kullanıldı ve şu an Münih'teki Deutsche Museum'da sergilenmekte.



Şekil 2.2 : İlk EBW makinası [6].

Derin nüfuziyet etkili kaynağın keşfinden sonra, Fransa'da ve Büyük Britanya'da yeni makinaların geliştirilmesinde ani ve hızlı bir artış meydana geldi. Başlarda elektron ışın kaynağının sadece malzeme yüzeyi ile ilişkide olduğu sanılıyordu ancak şu anki atılımlar güç yoğunluğunu ve ışın akımını arttırıp daha kalın malzemeleri kaynatmak üzerine gelişiyor. Nükleer ve uzay sanayisi elektron ışın kaynağını kontrol eden ilk sanayiler. Süreç ve ekipmanların birbirini takip eden gelişmelerindeki dönüm noktaları arasında ışın haznesinde yüksek voltaja yalıtım yağı olmadan ulaşmak, klempleme sistemi ile katodu değiştirmek, ışın tabancasındaki vakumu çalışma odasından ayırmak, daha fazla ışın gücü ve daha büyük çalışma odası olan kaynak makinaları inşa etmek ve seri imalat için döngü tipi kaynak makinaları kullanmak var. Bütün bunlar çok sayıda yeni elektron ışın kaynağı uygulamalarına olanak sağladı [6].

2.3 Yöntemin Artıları

Diğer birleştirme yöntemleri ile karşılaştırıldığında, elektron ışın kaynağının karakteristik özellikleri bulunmaktadır:

- Işın odağında yaklaşık 107 W/cm^2 dolaylarında çok yüksek güç yoğunluğu bulunmaktadır
- Enerji transferi malzeme yüzeyinden ısının kondüksiyon ile iletimi vasıtası ile olmaz, daha etkili ve verimli bir şekilde malzemenin tamamından olur.
- Köşe hazırlığına gerek olmaz, malzemelerin kalınlığından bağımsız dolgu metali gerekmez.
- Yüksek kaynak hızı, malzemede az çarpılma ile dar kaynak ve dar ısı tesiri altında bölgelere sebebiyet verir.
- Çeşitli çalışma mesafeleri sebebi ile çok farklı şekillerde malzemelerin kaynatılabilmesine olanak sağlar.
- Kaynak vakumlu ortamda yapıldığından ötürü, kaynak havuzunu oksidasyondan korumak için herhangi bir koruma yöntemine gerek yoktur.
- Kaynak odasını malzemelere göre düzenleyerek kısa tahliye süresi elde edilebilir.
- Elektriksel ve mekanik kaynak parametrelerini bilgisayar ile izleme ve kontrol mümkün
- Kaynak parametreleri ve buna bağlı kaynak kalitesi yüksek oranda tekrarlanabilir ve sabit.
- Voltajın 60 kV üzeri olduğu durumlar için kurşun zırh kaynak makinasında x-ray ışınlarının dışarı çıkmasını engeller.

Çizelge 2.1 : Maksimum güç yoğunlukları.

Isı Kaynağı	Maksimum Güç Yoğunluğu W/cm^2
Gaz Alevi	5.10^3
Elektrik Arkı	10^4
Plazma	10^5
Lazer Işını	10^7
Elektron Işını	10^7

Diğer imalat yöntemlerinin aksine, görece kısıtlı çeşitlilikte elektron ışın kaynağı makinası çeşit çeşit güç gerekliliği olan birbirinden farklı uygulamaları karşılama kapasitesine sahiptir. Kalınlığı 0.5 mm den 300 mm ye kadar değişen malzemeler ışın gücü aralığı 1 kW dan çok düşük olup 300 kW a kadar uygulanabilir.

- Makinalar bir parça için kullanılabildiği gibi, otomotiv gibi seri üretim sektörlerinde de kullanılır.
- Tek uzun kaynak çizgisi elde edilebileceği gibi, karmaşık üç boyutlu kaynaklar da programlama sayesinde elde edilebilir.
- Yapı çelikleri, alaşımlı çelikler, demir esaslı olmayan metaller ve gaz duyarlılığı olan özel metallar başarıyla kaynatılabilir [6].

2.4 Yöntemin Sınırları

Daha önce belirtildiği gibi, elektron ışın kaynağı vakumlu ortamda yapılan bir kaynak çeşididir. Vakuma alınan ve kaynağın yapıldığı kaynak odasının ebatları kaynak yapılacak malzemenin ebatları için bir sınır oluşturur. Ayrıca kaynak odasının vakuma alma ve vakumdan çıkma zamanları da odanın büyüklüğü ile ilgilidir.

1950 lerde elektron ışın kaynağı vakumsuz ortamda geliştirilip patentlenmişti AEG tarafından. Bu tip kaynaklar genellikle 12 mm den daha az kalınlıkta malzemeler için kullanıldı. Ayrıca Sanderson da 150 kW vakumsuz elektron ışın kaynağının gelişimini raporlamıştı.

Son yıllarda elektron ışın kaynağının lokal vakum odası ile uygulanması keşfedildi. Bu teknolojide, 250 mm ye kadar kalınlığı olan malzemeler kaynak odasına göre daha ufak olan mobil vakum ünitesi ile kaynatılabiliyor. Bu imkan sayesinde kaynak odasına yerleştirmenin zor olduğu büyük yapıların kaynağı yapılabiliyor.

Örneğin gemi parçaları, rüzgar türbini parçaları, enerji santralleri ve nükleer kazanların kaynağında kullanılabiliyor bu yöntem.

Elektron ışın kaynağının bir diğer olumsuz durumu ise kaynak esnasında X-ray ışınları üretmesidir. 60 kV voltajda, çelik kaynak odası duvarları genellikle X-ray ışınlarının dışarı çıkmasını engeller. Ancak, daha fazla voltajlarda üretilen X-ray ışınları daha fazla nüfuz eder. Bu gibi durumlar için kaynak odası duvarları kurşundan yapılıp X-ray ışınlarının kontrolü sağlanır.

Elektron ışın kaynağı oldukça dar bölgelerde çalışabilir bu sebeple kaynak yapılacak parçaların hassas bir şekilde konumlandırılması ışının kaynak ağızını ıskalamaması için önemlidir. Demir esaslı malzemeler eğer manyetik alana sahiplerse, bu durum ışının sapmasına ve birleşme hattını ıskalamasına neden olur. Birbirinden farklı metalleri kaynatırken, hatta bunlar demir dışı malzemeler bile olsalar, ışın bu farklı malzemelerin oluşturduğu termoelektrik akımın sebebiyet verdiği manyetik alan yüzünden sapabilir [7].

2.5 Elektron Işın Kaynağında Kalite Güvence Gerekliliği

Diğer imalat yöntemleri gibi, Elektron Işın Kaynağı da girdiler, çıktılar ve kontrol elemanları olarak tanımlanabilir.

Elektron ışın kaynağındaki çıktı değişkenleri kaynak nüfuziyet boyutları ve kaynak hatalarının seviyesidir. Diğer kaynak yöntemleri gibi, kaynak hataları elektron ışın kaynağında meydana gelebilir, bunlara örnek olarak gözenekler, çatlaklar, yanma olukları verilebilir. Kalite testinden geçirilecek kaynaklar, standartlar tarafından tanımlanan sınırlar içerisinde olmalıdır. Kaynağın bu standartlara uygun olması için girdi değişkenlerinin sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gerekir.

Voltaj ve akım girdi parametreleri ışının güç yoğunluğunu belirler. Çoğu elektron ışın kaynağı makinasında voltaj sabit tutulup, gerekli güç yoğunluğu akım değiştirilerek elde edilir. Kaynak hızı, iş parçasının ışına göre kaynak doğrultusundaki hızıdır. Hız, ısınma ve soğuma hızı ile nüfuziyet derinliğini etkiler. Vakum seviyesi genellikle 10-3 mbar veya daha iyi bir seviyede sabit bir şekilde tutulur. Odak akımı, odak mesafesini belirleyen manyetik lensin girdi değişkenidir. Bu mesafe keskin odak, aşırı odak yani iş parçasının yüzeyinin altında olabilir ya da düşük odak yani iş parçasının yüzeyinden yukarıda olabilir.

Özel kaynaklar için, ışın değişkenleri işlem esnasında bilgisayar sistemi ile kontrol edilir. Ancak parazit elemanları ya da diğer değişkenler yüzünden, nüfuziyet boyutlarında ve hata tiplerinde değişimlere neden olan çeşitli özelliklerde elektron ışını elde edilir. Bir başka değişken ise keskin odak ayarına karar veren insan etkisidir. Işının kendisi görünebilir olduğundan ötürü, keskin odak genellikle operatör tarafından ışının parlaklığının çalışma parçası üzerinde gözlemlenmesi ile ayarlanır, düşük akım ışını iş parçası üzerinde konumlandırıldığında. Keskin odağın ayarlanmasındaki tutarlılık büyük bir soru işaretidir çünkü farklı operatörler optikteki metal tozlarından ötürü farklı parlaklıklar görebilir. Sonuç olarak, kaynak değişkenleri tutarlı bir şekilde ayarlansa bile, makine kurulumu ve operasyon kaynak performansında farklı sonuçlara neden olabilir.

Bu sorundan uzaklaşmak için, numune inceleme sistemi kullanılmakta. Numune inceleme sisteminin amacı esas kaynak öncesi elektron ışınının kalitesinin doğruluğundan emin olmaktır. Parça yüksek değere sahip olduğu zaman, tekrar işleme yada hurdaya ayırma hiç ekonomik olmayan çözümler olur. Bu sebeple numune inceleme önemli bir konudur [7].

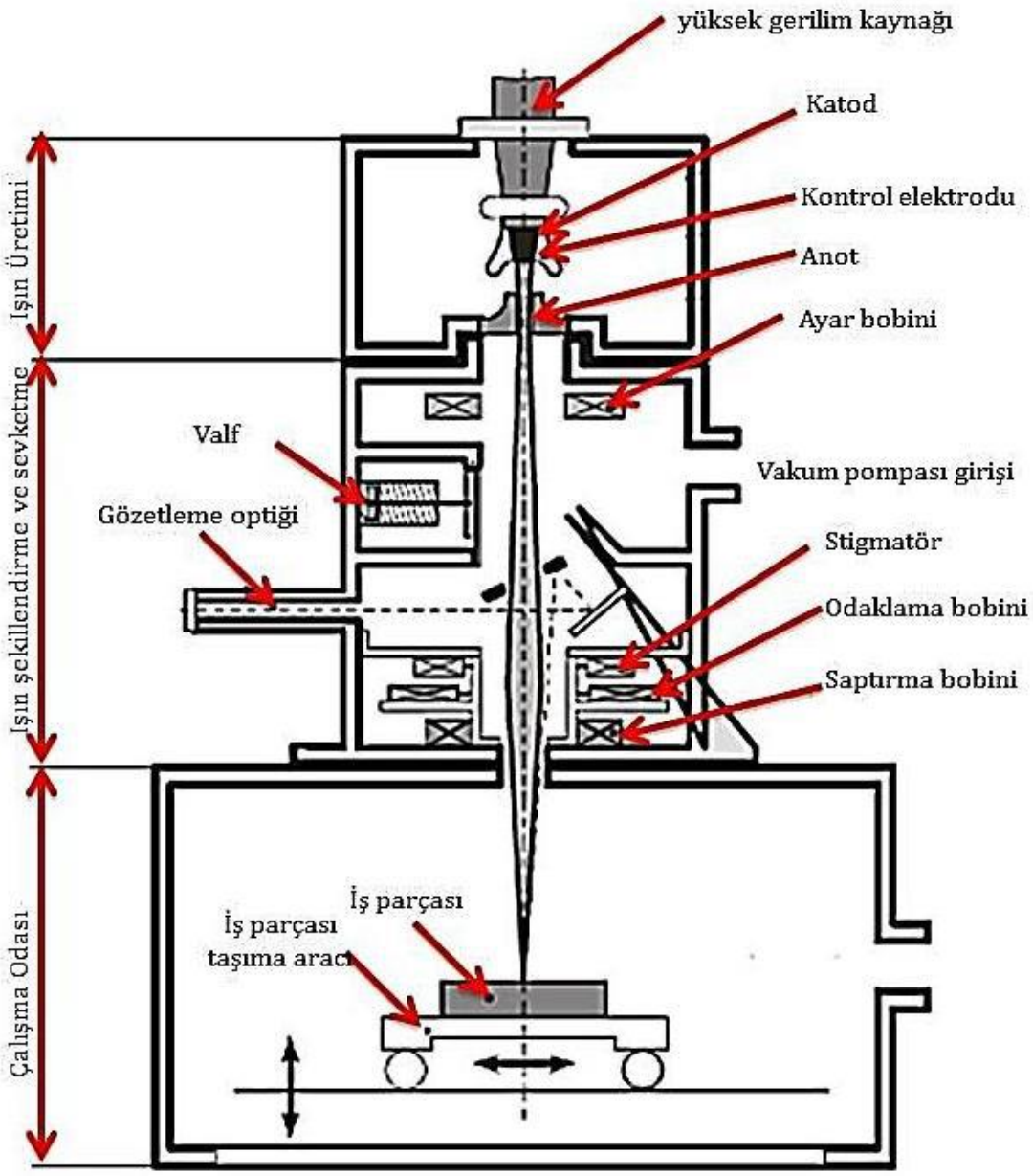
2.6 Elektron Işın Kaynağı İşlemi

Basitçe elektron ışını, katot içeren elektron tabancası, elektronları ısıtacak kaynak, grid, sıcak katot yayıcısına göre özel şekillendirilmiş elektrot ve anot tarafından oluşturulur. Sıcak katod yayıcısı (filament) yüksek ışıma malzemesinden yapılır örneğin tungsten veya tantalum. Bu yayıcı malzeme genellikle tel yada sac levha olarak bulunup istenilen şekle imal edilir.

Katot yayıcısından yayılan elektronlar, yüksek hıza ivmelenirler ve kathod/grid/anod tarafından sağlanan elektrostatik alan geometrisi tarafından hizalanmış ışın demeti halini alırlar. Böylece anoda doğru sabit akışlı elektronlar akışı sağlanır.

Elektronlar anodu terk ettiğinde, elektron tabancasına uygulanan uygulama voltajı tarafından en yüksek enerji girişi alırlar. Elektronlar daha sonra elektron ışın sütun montajına doğru iner ve manyetik lens alanına ulaşır. Bu odaklanma lensi elektron ışınının çapını düşürür. Böylece ışın akışına devam eder ve iş parçasında çok daha ufak kesit alanlı elektron ışını odaklanır. Işın çapındaki düşüş, enerji yoğunluğunu arttırır ve çok ufak, yüksek yoğunluklu ışın oluşturur iş parçasında. Buna ek olarak

elektromanyetik saptırma bobini ışını bükmek için kullanılabilir, bu da odaklanmış ışını hareket ettirmede esneklik sağlar. Aşağıdaki görsel elektron ışın kaynağının ana elementlerini göstermekte. Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, elektronlar katottan yayılır, katot ve anot arasında voltaj tarafından yüksek hızlara ivmelendirilir.



Şekil 2.3: EBW şema [2].

Elektron tabancası genellikle kaynak bölümünden ayrı tutulur. Tabanca vakumlu (13 mPa / 1 x 10^{-4} torr) ortamda çalıştırılabilir bazı durumlarda, bu durumlar genelde iş parçasının büyük olduğu ve ulaşım zorluğu olan durumlar için geçerlidir. Tabancada bu seviyede vakum tabanca parçalarını temiz tutmak, oksidasyonu engellemek, tabancanın ark yapmasını engellemek için gereklidir. Kaynak sırasında benzer vakum

miktarı hem elektron tabancası hem de kaynak odası için gereklidir, çünkü kaynak esnasında vakumlu ortam olmazsa elektron ışınının aldığı yol boyunca hava moleküllerine çarpıp yolundan sapması mümkün olur. Bu tarz bir etkileşim daha geniş elektron ışın noktası oluşturur bu da enerji yoğunluğunun azalmasına sebep olur. Genellikle elektron tabancaları 30 dan 200 kV a kadar voltaj aralığında ve 0,5 de 1500 mA e kadar akım aralığında işlem görürler. Elektron ışın kaynağı ekipmanlarının 30 kW a kadar çıkmaları yaygındır ancak 200 kW a kadar çıkan bazı birimler ticari olarak ulaşılabilirdir.

Genellikle yüksek vakum elektron ışın kaynaklarının ışınları 0,25 ile 1,3 mm (0,010 ile 0,050 in.) arasında çap boyutlarında ve 107 W/cm^2 (106 W/in^2) güç yoğunluğu ile oluşturulabilir. Yüksek seviye ışın noktası yaklaşık 14000 °C (25000 °F) sıcaklık oluşturur ve neredeyse her metali buharlaştırmaya yeter bir sıcaklıktır bu da malzemenin derinliklerine giden bir buhar deliği elde etmeye yarar. Bu buhar deliği kaynak bağlantısı boyunca geliştiğinde, kaynak 3 adet etkinin eş zamanlı olması ile oluşur: 1) buhar deliği ön tarafına gelen malzemenin erimesi, 2) bu eriyen malzemenin buhar deliğinin yanlarından arka tarafa doğru hareket etmesi 3) bu erimiş malzemenin süregelen akışının gelişmiş buhar deliğinin arka tarafını doldurması ve katılaşması, buhar deliğinin ileri doğru hareket etmesi ve devam eden kaynağı oluşturması.

Elektron ışın kaynağı genellikle sadece yüksek vakum altında (13 mPa / 1 x 10^{-4} torr) yapılır çünkü vakum ortamı ışın üretmek için gereklidir. Malzemeyi temiz atmosferde kaynatmak dikkate alınacak kadar faydalıdır. Ancak, daha fazla parça imalat hacmi istendiğinden, kaynak odasındaki vakum miktarının elektron tabancasındaki kadar olmasına gerek olmadığı bulunmuştur. Buna ek olarak hiçbir vakum olmadan iş parçasının kaynatılmasında bir sorun olmadığı bazı uygulamalar için ortaya çıkarılmıştır. Üç adet farklı elektron ışın kaynağı modu bulunmaktadır:

1) Yüksek Vakum : 0,13 MPA / 0,30 MPA (10^{-6}/10^{-3} TORR)

2) Orta Vakum : 0,13 PA / 3300 PA (10^{-3} / 25 TORR)

3) Sıfır Vakum : Atmosfer Basıncında

Tüm elektron ışın kaynağı uygulamalarında, elektron tabancasının bulunduğu bölümün vakumu 13 mPa / 1 x 10^{-4} torr ya da daha az değere ayarlanır [8].

Yüksek enerjili elektronun (güç yoğunluğu 107 W/cm^2 olan) malzemeye çarpması onu sınır tabakasına nüfuz ettirir ancak orada hemen durdurulurlar. Burada kinetik

enerji ısıya ve bir miktar da radyasyona dönüşür. Bu ısı malzemeyi eritir ve buharlaştırır. Eriyik malzemenin yüksek buhar basıncından ötürü, merkezde bir gaz kanalı oluşur. Buhar oyuğu olarak da anılan bu gaz kanalı tek pasoda 200 mm malzeme kalınlığına kadar derin kaynak etkisine imkan kılar. 350 mm kalınlığa kadar olan alüminyum malzemeler kaynatılabilir [9].

Yüksek enerji yoğunluğuna sahip ışın kaynağı süreci artıları arasında düşük ısı girdisi, yüksek kaynak nüfuziyeti, dar bir ITAB bölgesi ve düşük çarpılma bulunmaktadır. Geleneksel ark kaynağı süreçleri ile birleştirilebilen Nikel esaslı alaşımlar, elektron ışın kaynağı ile de çok rahatlıkla işlenebilirler. Elektron ışın kaynağı yöntemi ark kaynağı yöntemine göre ortalamada daha iyi kaynak özellikleri verir. Hatta bu yöntem normal ark kaynağı yöntemi ile kaynatılması zorlu olan malzemeler için bile çok daha uygundur. Bu uygunluk katılaşma sıcaklık bölgesindeki geçen zamanı azaltabilir. Ancak bu imalat yönteminde kaynak ağızı hazırlığı ve birbirine uyumu önem arz etmektedir. Ayrıca elektron ışın kaynağının vakumlu ortamda uygulanması gerekmektedir, bu zorunluluk da bir kısıt oluşturur. Kaynak bölgesinde boşluklar, hızlı soğumanın bir etkisi olarak gaz çıkışının engellenmesi nedeniyle oluşur, yüksek kaynak hızları etkendir. Kaynak havuzunun elektron ışını tarafından uyarılması bu hapsolmuş gazların çıkışını sağlayıp boşlukları azaltabilir [10].

3. INCONEL 718

3.1 Inconel 718 Genel Özellikleri

Inconel 718 ve diğer sık kullanıma sahip ismi ile alloy 718 malzeme nikel alaşım malzemeler için en çok kullanılan malzemelerden biridir. Inconel 718 malzeme de inconel 625 malzemeye benzer şekilde nikel – krom – molibden bileşiminden oluşur. DIN Standardına göre 2.466 e denk gelen Inconel 718, aynı zamanda UNS N07718 standardına da denk gelmektedir. Korozyona karşı çok yüksek bir dayanıma sahip olan alloy 718, NiCr19Fe19Nb5Mo3 kimyasal açılımına sahiptir.

Yaşlandırılarak sertleştirilebilen inconel 718, farklı sıcaklıklarda bile mekanik özelliklerini muhafaza edebilmektedir. Bu alaşım malzemenin gerilme direnci çok yüksektir. Ayrıca kopma direnci ile kırılma direnci de hayli yüksektir. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan bu malzeme, yaşlandırılarak çökertilince çok daha sert bir yapıya bürünür.

Inconel 718 malzemesinin kaynak yapılabilirliği bir çok malzemenin aksine oldukça iyidir. Kaynak yapılan yerlerde tercih edilebilir olan Alloy 718, bu özellikleri sayesinde sanayide sıkça kullanılan ve kolayca bulunabilen bir nikel alaşım malzemedir.

Çok ender alanlarda kullanım amacı ile üretilmiş olan ve özellikleri çok ender olan Inconel 718 malzemesi havacılık ve uzay sanayisinde çokça kullanılmaktadır. Kimyasallar ile etkileşimde olan parçalarda, denizcilikte kullanılan araçlarda ve parçalarda, nükleer reaktör parçalarında, özel amaçla üretilmiş depo tanklarında, nükleer reaktör parçalarında, bağlantı elemanlarında, vanalarda, ve türbin pervane bıçaklarında çoğunlukla inconel 718 tercih edilmektedir [3].

Ni	Cr	Fe	Mo	Nb + Ta	C	Mn	Si	B	P	S	Al	Co	Ti
%50 ile 55 arası	%17 ile 21 arası	%12 ile 24 arası	%2.8 ile 3.3 arası	%4.75 ile 5.50 arası	%0.08 maks	%0.35 maks	%0.35 maks	%0.006 maks	%0.015 maks	%0.015 maks	%0.2 ile 0.8 arası	%0.3 maks	%0.65 ile 1.15 arası

Şekil 3.1: Inconel 718 kimyasal yapısı [3].

Inconel 718 yada diğer adı ile alloy 718 malzemesinin kalite özelliklerini toparlamamız gerekirse şu şekilde sıralayabiliriz:

- Bu malzeme türü temelde Nikel-Krom-Molibden elementlerinin birleşiminden ortaya çıkan, korozyon direnci çok yüksek olan bir malzeme türüdür.
- Inconle 718 malzemesinin korozyon direnci çoğu paslanmaz çelik malzemelerden ciddi oranda fazladır.
- Inconel 718 kullanım oranı Inconel malzeme çeşitleri içinde ciddi bir yer tutar.
- Bu nikel alaşım UNS N07718 olarak yada DIN normuna göre 2.4668 olarak isimlendirilir.
- EN standartlarına göre malzemenin açılımı ise NiCr19Fe19Nb5Mo3 şeklinde belirtilir.
- Demir esaslı olmayan bir malzeme olarak mıknatıslanması söz konusu değildir.
- Kaynak yapılabilirliği oldukça iyi bir malzemedir.
- Yaşlandırılarak sertleştirilmesi sayesinde hem mekanik olarak hem de sertlik olarak dayanıklılığı arttırılabilir.

3.2 Inconel 718 Kaynağı

Inconel 718 yada Alloy 718, sanayide çoğunlukla ek metal kullanılarak kaynatılır ve kaynak sonrası ısıl işleme maruz kalır. Kaynaktan sonra ortaya çıkabilecek gerilme çatlaklarına karşı oldukça dirençlidir ve kaynak kabiliyeti çok yüksek olan bir süperalaşımdır. Çökelme sertleşmesi uygulanabilen Nikel alaşımları normalde kaynak sonrasında deformasyon yaşlanması çatlamasına maruz kalırlar. Bizim malzememiz olan inconel 718 ITAB çatlaklarına maruz kalır, çünkü büyük taneleri bu çatlakları kolaylaştırır. Bu çatlaklar aslında ITAB bölgesindeki taneler arası ayrışmadır ve bu çatlaklar çeşitli kaynak yöntemlerinde Nb-Ni içeren alaşımlarda ortaya çıkabilir.

Kaynak esnasında ITAB bölgesinde çatlak oluşma yöneliminin, yine kaynak sırasında ITAB'da taneler arasında ortaya çıkan bir sıvı faz nedeni ile olduğu açıklanmıştır.

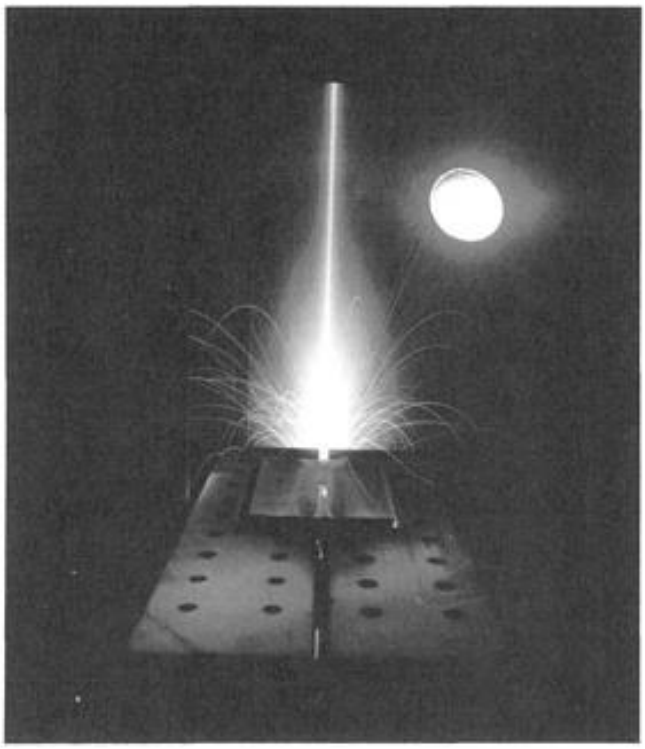
Bu sıvı zarar verecek şekilde dağılmadığı sürece, kendisi bir sıcak çatlamaya neden olmaz. Islanma açısının sıfırdan büyük olması mikro çatlaksız bir ortamı işaret ederken, sıfır olduğu durumlar ise mikro çatlaklı yapıyı verir.

Nikel ve demir nikel esaslı süper alaşımlar, MIG Kaynağı, TIG Kaynağı, Elektron Işın Kaynağı ve Lazer kaynağı gibi yöntemler ile kaynatılabilirler. İlave metallerin kullanımı çoğunlukla olumsuz etkiye sebebiyet verir. Kullanım elzem ise sünek ve sıcak yırtılmanın az olduğu ostenitik alaşımlar tercih edilir. Bazı durumlarda da ana metal bileşimi ilave metal niyeti ile kullanılır. Bu malzeme eğer sac levha halinde ise direnç kaynağı da kullanılabilir. Bunlara ek olarak sert lehimleme ve difüzyon kaynağı da yapılabilir. Eğer kaynak esnasında yüksek zorlanma oluşursa ergime bölgesinde sıcak çatlamalar meydana gelebilir [12].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Tusaş Motor Sanayi (TEI) Inconel 718 malzemesinin çok sayıda kullanıldığı bir savunma sanayi firmasıdır. Bu parçaların imalatı da Elektron Işın Kaynağı ile gerçekleştirilmektedir genellikle. Kaynak işlemi sonrasında kaynak dikişinin müşteri tarafından istenilen standartlara uygun olması için parametrelerin uygun bir biçimde seçilmesi gerekmektedir. Bu sebepten ötürü gerçek parka kaynağı öncesi numuneler hazırlanır ve kaynakları yapılır. Bu numunelerin gerçek parça ile aynı kalınlıkta olmaları önem arz etmektedir.

Kaynak sonrasında ise bu parçalar metal laboratuvarına gider ve gerekli incelemeler yapılır. Kaynak nüfuziyeti, kaynak fazlalığı, kaynak genişliği gibi detaylara bakılır. Bu kriterlerin müşterilerin isteklerine uygun olması gerekmektedir. Bu işlem ile birlikte kaynak numunelerinin uygun parametreleri esas parçanın kaynağında kullanılabilir.



Şekil 4.1: Elektron ışın kaynağı kaynak odası [8].

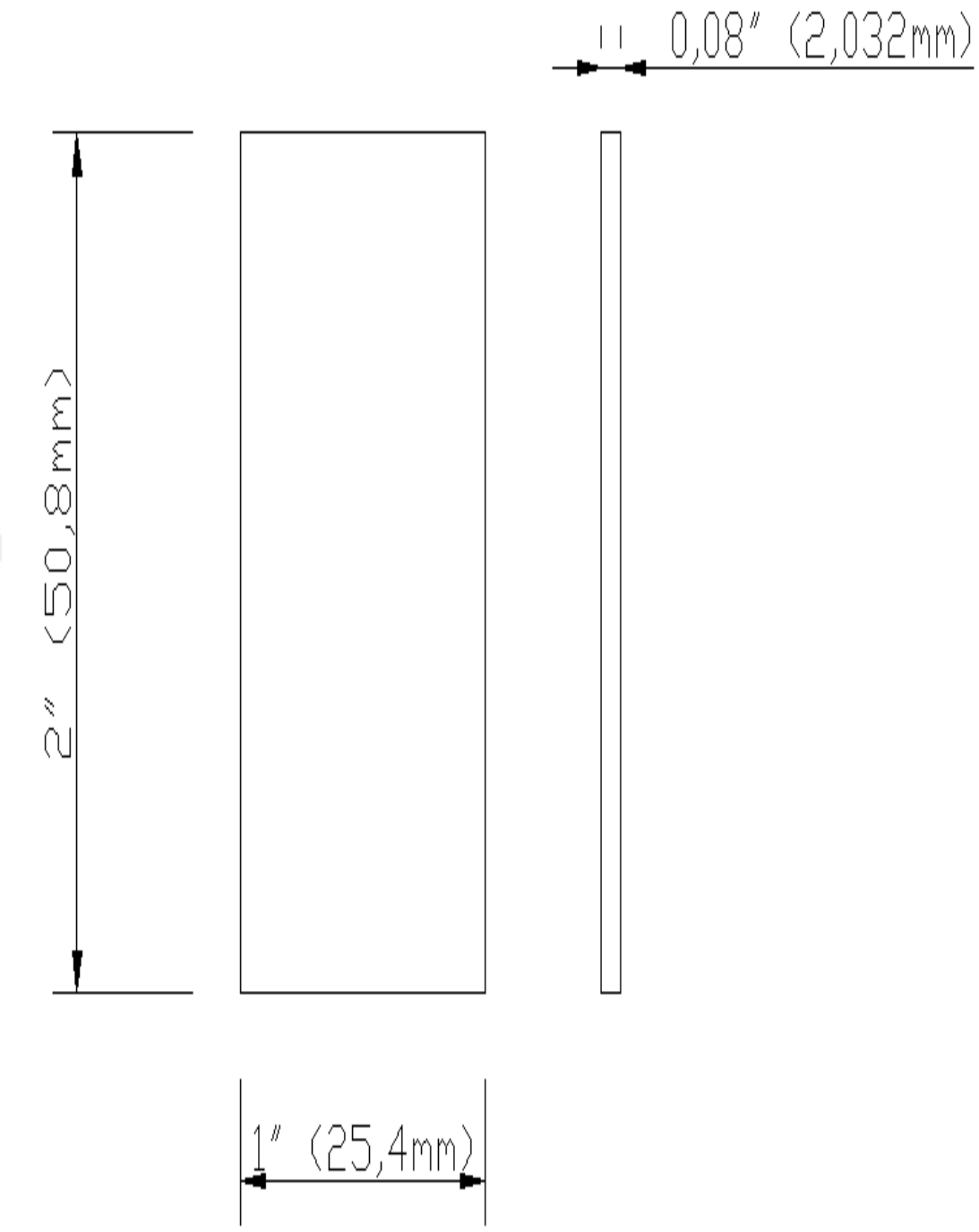
4.1 Numune Hazırlığı

Tusaş Motor Sanayi Pressler bölümünde hurda olarak duran 40" (1016 mm) boyunda, 1"(25,4 mm) genişliğinde ve 0,080" (2,032 mm) kalınlığında bulunan 3 adet şerit sac, numunelerin çıkarılacağı malzemeler olarak belirlendi.



Şekil 4.2 : Şerit malzemeler.

Bu şerit malzemeler 2" (50,8mm) boyunda ve 1" (25,4 mm) genişliğinde olacak şekilde giyotin makasta kesilerek istenilen boyutlara getirilmiştir.



Şekil 4.3: Numune boyutları.

Bundan sonraki adım ise numunelerin etrafında kesim kaynaklı bulunan çapakların alınması ve kenar keskinliklerinin giderilmesidir.



Şekil 4.4: Numunelerin çapaklarının alınması.



Şekil 4.5: Çapakları alınmış kaynatılmaya hazır 30 set numune.

4.2 Deneysel Çalışma

Daha önce belirtildiği gibi deneysel çalışmada üç adet parametre ve her bir parametre için üçer adet değer belirlendi. Bundan ötürü 30 çift numunenin 27 çifti deneyde kullanılırken 3 çift numune de yedek olarak kaldı.

Çizelge 4.1: Deney parametreleri.

Numune No	Voltaj(kV)	Amper(A)	Hız(mm/sn)
1	30	30	20
2			16
3			12
4		33	20
5			16
6			12
7		36	20
8			16
9			12
10	35	30	20
11			16
12			12
13		33	20
14			16
15			12
16		36	20
17			16
18			12
19	40	30	20
20			16
21			12
22		33	20
23			16
24			12
25		36	20
26			16
27			12

Numuneler hazırlandıktan sonra sıra elektron ışın kaynağı tezgahının hazırlanmasına gelmektedir. Öncelikli olarak parçaları fikstüre düzgün yerleştirebilmek ve sabit bir şekilde tutmak için punta işlemi (Şekil 4.6) gerçekleştirilmektedir. Punta işlemi manuel bir şekilde TIG kaynağı yöntemi ile gerçekleştiriliyor.



Şekil 4.6: Puntalanmış numuneler.

Daha sonra puntalanmış numuneler 3 erli şekilde 3 adet fikstüre (Şekil 4.7) yerleştiriliyor. Fikstür olmadan kaynak gibi bir işlem yapmak pek olası değildir. Parçanın sabit bir şekilde kalması, hiçbir şekilde en ufak bir harekete uğramaması gerekmektedir. Olası hareketler kaynak ışınının bambaşka yerleri kaynatmasına ve bu da parçanın hurda olmasına sebep olur. Bu durum havacılık ve uzay sanayi gibi malzemelerin ve işçiliğin yüksek maliyetlerde olduğu yerlerde hiç hoş karşılanmayacak bir durumdur.



Şekil 4.7: Fikstürlenmiş numuneler.

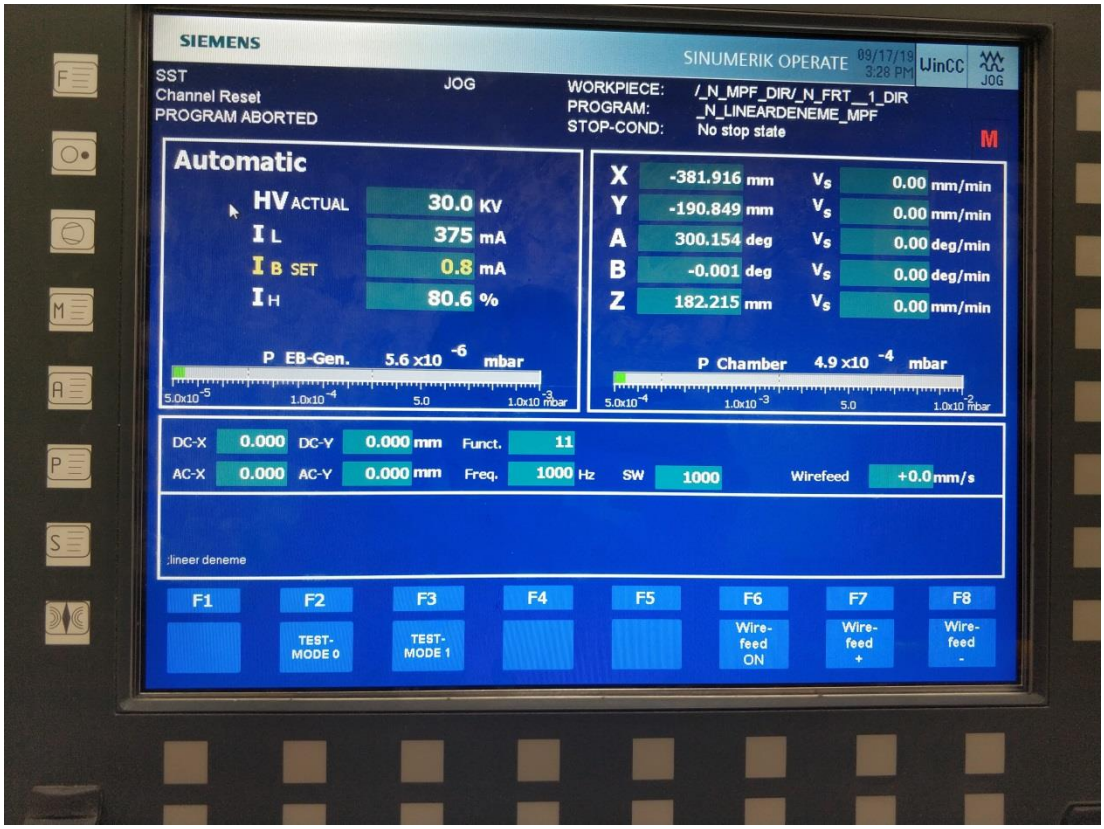
Numuneler fikstürlendikten sonra fikstür yüzeyi, fikstürde kullanılan civatalar bağlantı elemanları manyetik alan ölçer ile kontrol edilir. Manyetik alan miktarının 1 Gauss'dan daha düşük olması gerekmektedir aksi takdirde elektron ışını hedeflenen kaynak bağlantı hattına düşmez ve kaynak uygun bir şekilde yapılamaz.

Bu kontrol de yapıldıktan sonra tezgah tablası işlemin yapılacağı parametrelere uygun bir yüksekliğe çıkarılır. Bu yükseklik ise kaynak odasının tavanı ile yani elektron ışınlarının odaya girdiği nokta ile iş parçası arasındaki ölçüyü elde edecek bir yükseklik olmalıdır. Bu çalışma içilin seçilen parametrelere göre kaynak odasının tavanı ile kaynatılacak malzeme yüzeyi arasında 180 mm olması gerekmektedir. Şekil 4.8'de bu ölçüm gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Kaynak odası tavanı ile malzeme yüzeyi arasındaki mesafe ölçümü.

Parçaların ve fikstürün yerleştirilme işlemi bittikten sonra tezgahın kapısı kapatılır ve vakum alma işlemi başlatılır. Kaynak odasındaki basınç $4{,}9x10^{-4}$ mbar (Şekil4.9) olana kadar vakum işlemi devam eder. Bu sırada elektron ışınının oluşturulup gönderildiği alanda ise basınç $5{,}6x10^{-6}$ mbar dolaylarındadır. Vakum alma işlemi yaklaşık olarak 15 dk sürer. Elektron ışın kaynağı işleminin belki de en büyük kısıtı vakuma alma işleminin uzunluğudur.



Şekil 4.9: Elektron ışın kaynağı ekranı.

Vakuma alma işlemi devam ederken programın genel ayarları yapılmıştır. Ancak her bir parça için parametrede değişiklik yaparak gitmek ve tezgahın katedeceği yolu tanımlamak gerekmektedir. Kaynak işlemi tezgahın ekranında (Şekil 4.10) takip edilip, kaynağın dikişi doğru takip edip etmediği burada anlaşılabilmektedir. İlk 9 numunenin kaynağında, Çizelge 4.1'deki parametrelere göre voltaj 30 kV'a sabitlenmiş, ilk 3 numune için akım 30 A'e ayarlanmış ve sadece kaynak hızları ile oynanmıştır. Numune 4-5-6 için akım 33 A'e ayarlanmış ve yine sadece kaynak hızları değiştirilmiştir. Numune 7-8-9 için ise akım 36 A'e ayarlanmış, hızlar değişkendir.

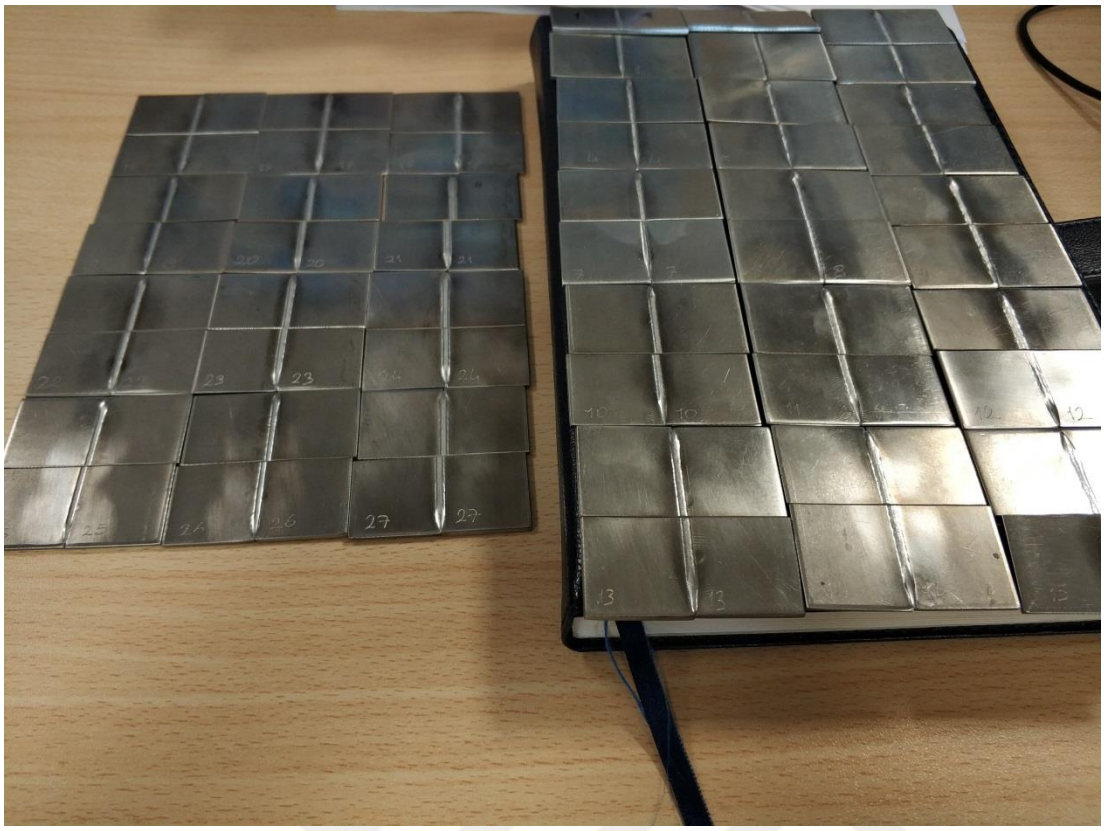


Şekil 4.10: Elektron ışın kaynağı kaynak takip ekranı.

İlk 9 numunenin kaynak işlemi bittiğinde, tezgahın vakumu boşaltması beklenmiştir. Tezgah vakumu boşaltınca diğer 9 lu set fikstürle sabitlendi ve tekrar tezgah vakuma alındı. Bu sefer bu 9 lu set için voltaj 35 kV'a ayarlandı. Numune 10-11-12 için akım 30 A'e sabitlendi ve hız değiştirilerek kaynak yapıldı. Sonrasında numune 13-14-15 için akım 33 A'e sabitlendi ve farklı hızlarda kaynak işlemi gerçekleştirildi en son ise numune 16-17-18 için akım 36 A ayarlandı ve yine hızlar değiştirilerek kaynak işlemi yapıldı. Böylece ikinci set de bitirilmiş oldu. Tekrar tezgahın vakumu boşaltıldı ve kaynatılan numuneler çıkarıldı.

Son olarak son 9 lu set fikstüre bağlandı. Voltaj 40 kV'a sabitlendi. Numune 19-20-21 için akım 30 A ayarlandı ve hız değiştirilerek kaynak yapıldı. Sonrasında Numune 22-23-24 için amper 33 A'de sabitlendi, hız farklı seçilerek kaynak işlemi gerçekleştirildi. Son olarak Numune 25-26-27 için amper 36 A'e sabitlendi ve farklı hızlarla kaynak işlemi sonlandırıldı. Tezgahın vakumu alındı ve numuneler çıkarıldı.

Numuneler tezgahtan alındıktan sonra, kaynak dikişine dik eksenden olacak şekilde taşta kesildiler (Şekil 4.11) ve böylece numuneler artık metal laboratuvarında incelenmeye hazır hale gelmişlerdi.



Şekil 4.11: Kaynak dikiş eksenine dik şekilde kesilmiş numuneler.

.

5. METALOGRAFİK İNCELEME

5.1 Metalografik İnceleme Nedir?

Metalografik inceleme, malzemelerin iç yapısının incelenmesi ile malzeme özellikleri hakkında bilgi edinmektir. Kalite kontrol süreçlerinde oldukça önem arz etmektedir. Malzemelerin hangi süreçlerden geçtiği, iç yapılarında hata bulunup bulunmadığı (örnek olarak kaynak işlemi sonrası) gibi çıktılara ulaşılır. Bu inceleme sayesinde malzeme ömrü, çalışma şartları gibi önemli ve hayati bilgiler hakkında tahmin yürütülebilir[13].

Malzemelerin iç yapısının incelenmesinde basilica dört kademe vardır. Bunlar:

- Numune Alınması
- Numunenin Hazırlanması
- Numunenin İncelenmesi
- Sonuçların Raporlanması

Metalografik incelemede ele alınan numunenin bir degree sahip olabilmesi için bu numunenin fiziksel ve kimyasal bileşim açısından esas malzemeyi tam olarak karşılaması gerekmektedir. Bu nedenle numune alma işi bu işin temelini oluşturur. Numune alırken en uygun kesici aletin kullanılması büyük önem arz eder. Testere, keski, kesici taş, torna ve oksiasetilen gibi yöntemler numune alırken kullanılabilecek yöntemler arasındadır. Burada dikkate alınması gereken en önemli noktalardan biri, iç yapıyı en az etkileyecek yöntem seçimidir. Söz konusu yöntemlerden hemen hepsi, kesilen yüzeyi belli bir derinliğe kadar etkiler ve malzeme iç yapısında ufak da olsa değişikliklere sebep olabilir. Bu durum da inceleme esnasında bizi yanıltan bir sonuca ulaşmamıza neden olur. Bu sebepten ötürü, oksiastilen dışındaki kesme işlemlerinde kesme işini yavaş yaparak ve işlem esnasında su ile soğutarak numune iç yapısını değiştiren etkiler en aza indirilebilir. Yüzeydeki plastik şekil değişimi sorunu ise zımparalama yöntemi ile giderilebilir.

Numuneye eğer elle parlatma uygulanacak ise, rahatça tutmaya yarayacak bir büyüklükte kalıba alınabilir. Metalografi laboratuvarlarında çoğunlukla, su sirkulasyonlu abrasive diskli kesim cihazları (Şekil 5.1) bulunur.



Şekil 5.1: Laboratuvar tipi kesme cihazı [14].

Eğer numuneler çok ufak ise yada biçimsiz şekile sahipler ise zımparalama ve parlatma sırasında elle tutmak çok zor olur. Bundan ötürü numuneler çoğunlukla kalıba alınır. Bununla birlikte otomatik parlatma makinaları için tek tip numuneler gerekmektedir. Bundan ötürü de numunelerin kalıplanmasıyla, birden çok numunenin kolaylıkla kodlanarak saklanması kolaylaşır.

Numuneleri kalıplamanın bir diğer önemli nedeni de, zımparalama ve partlama sırasında temizliğin kolaylıkla yapılmasıdır. Kalıplanan ve bakalite alınmış numunede tozlar bakalite yapışır ve rahatça yıkanarak temizlenir.

Numuneyi kalıplamada sıcak kalıplama ve soğuk kalıplama olarak iki ayrı yöntem bulunmaktadır. Kalıplama için genellikle özel olarak üretilen presler kullanılır. Bu yöntemde kullanılanlar genellikle plastik tozlardır. Basınç ve sıcaklık etkisi ile tozlar eriyerek numune etrafını sarar. Kullanılan plastik malzemenin dağlama sırasında

etkilenmemesi de gerekmektedir. Bakalit bu iş için en uygun olan ve en yaygın kullanılan malzemedir.

Kalıplama presinde (Şekil 5.2) uygulanan basınç ve sıcaklık, erime noktası düşük, yumuşak metallerde deformasyona sebep olacağı için uygulanmaz. Bunun yerine soğuk kalıplama ile işlem yapılır. Soğuk kalıplama yönteminde polyester, epoksi ve akrilik gibi malzemeler kullanılır.



Şekil 5.2: Kalıplama presleri [14].

Numuneler kesilip kalıba alındıktan sonar, mikroskopta inceleme için parlatma işlemi gerekmektedir. Parlatma, çeşitli kademeler ile gerçekleşir. Her kademe, bir önceki kademede kullanılandan daha ince bir aşındırıcı ile gerçekleşir. Böylece her kademede numune yüzeyinde oluşan deformasyon ve çizik en aza indirilir.



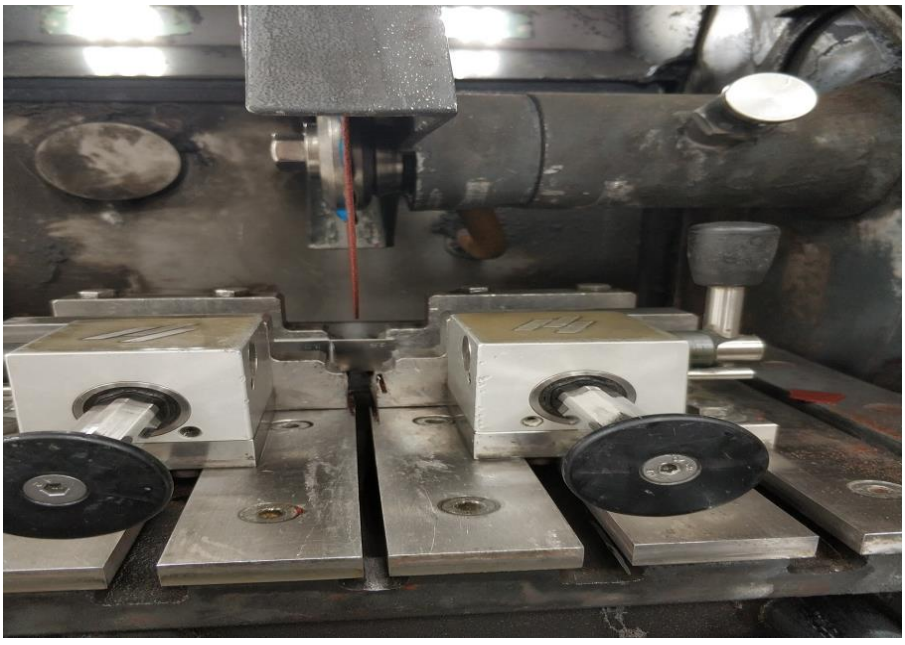
Şekil 5.3: Otomatik parlatma ve zımparalama makinası [14].

Malzemelerde iç yapı özelliklerini net bir şekilde elde etmek için parlatılmış yüzeye uygun bir reaktif sürülür. Bu işlem dağlama olarak adlandırılır. Dağlama ile parlatma sonunda elde edilemeyen ve görüntülenemeyen mikroyapı açığa çıkar. Dağlama, buna ek olarak fazların tipini bulmada ve dislokasyonların yerlerini tespit etmede kullanılır [14].

5.2 Deney Numunelerinin Metalografik İncelemeye Hazırlanması ve İnceleme

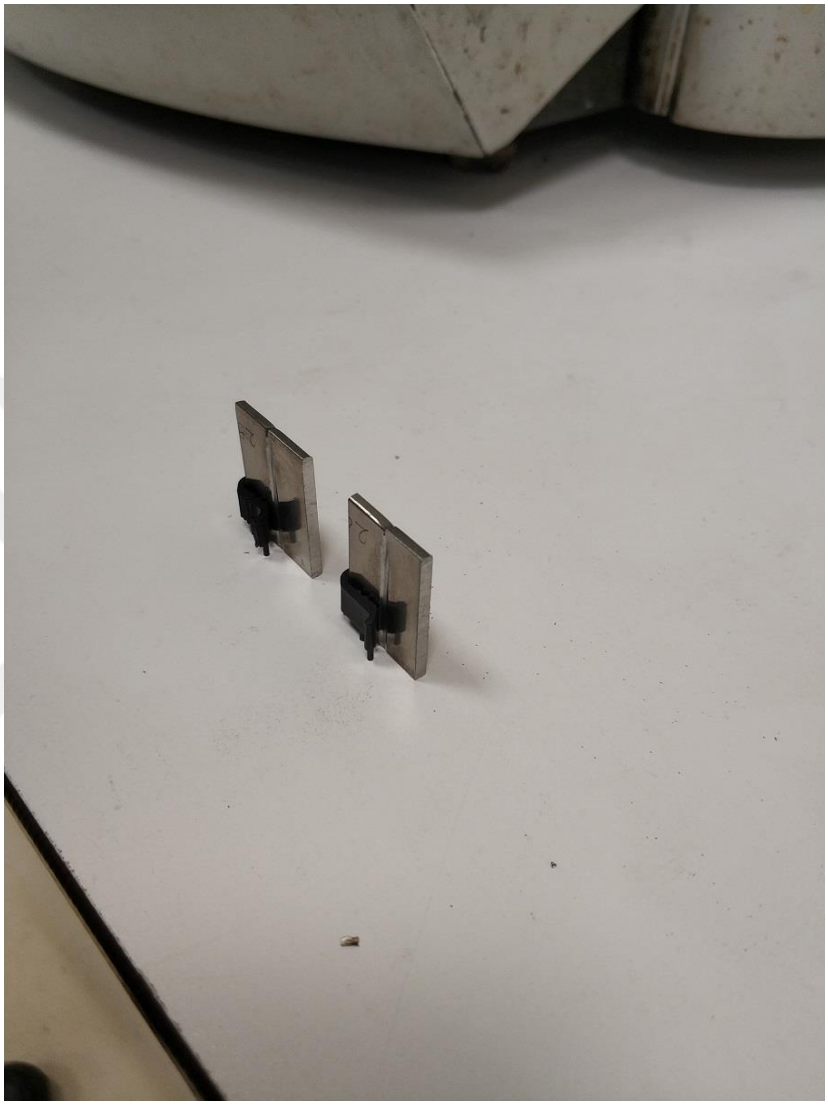
TEI'de metalografik incelemeler, fabrika bünyesinde bulunan metal laboratuvarında gerçekleştirilir. Gerek kaynak işlemleri için çekilen numuneler gerekse diğer özel prosesler (shotpeen, plazma kaplama, braze vb.) için hazırlanan numuneler metal laboratuvarında incelemeye tabi tutulurlar. Bu incelemenin sebebi daha önce de belirttiğimiz gibi ana malzemenin işlenmesi sürecinde doğru parametreler ile doğru sonucu almayı garanti altına almaktır. Böylece esas parçanın sağlıklı bir şekilde imal edilmesi sağlanmış olur. Hurda riski en aza indirilir. Daha önce belirttiğimiz gibi, havacılık sektöründe gerek malzeme maliyeti gerekse işçilik maliyeti çok yüksektir ve hurda riski alınabilecek bir risk değildir maliyetlerden ötürü.

Hazırladığımız 27 adet numunenin metalografik incelemesi de firma bünyesinde bulunan metal laboratuvarında gerçekleşmiştir. Öncelikle Şekil 5.4'de görüldüğü gibi kalıplama işlemine uygun olacak şekilde numunelerimiz metal laboratuvarında kesilmişlerdir.



Şekil 5.4: Numunelerin kalıp için kesilmesi.

Her bir numune bu şekilde kalıp ölçülerine uygun bir biçimde kesildikten sonra Şekil 5.5’ de görüldüğü gibi plastik bir parka yardımı ile dik duracak şekilde hazırlanmışlardır. Bu plastik parça numunenin kalıplandığı preste dik durmasını sağlamak için kullanılan bir aparattır.



Şekil 5.5: Kalıp öncesi numuneler.

Bu şekilde aparat takılan numuneler sırası ile kalıp presine alınırlar. Burada iki farklı kalıplama yöntemi bulunmaktadır daha önce anlatıldığı gibi. Bunlar sıcak kalıba alma ve soğuk kalıba alma yöntemleridir. TEI’de tercih edilen yöntem genellikle sıcak kalıba alma yöntemidir çünkü numunelerin malzemeleri presin sıcaklığından etkilenecek malzeme özelliklerine sahip değildir. Soğuk kalıplama 5-6 saat gibi bir sürede gerçekleşirken, sıcak kalıplama 275 Bar basınçta 180 °C sıcaklıkta 6 dk ısıtma ve sonrasında 3 dk soğutma ile gerçekleşir (Şekil 5.6-5.7-5.8-.5.9).



Şekil 5.6: Numunenin kalıba alınması.



Şekil 5.7: Kalıp malzemesinin kalıba dökülmesi.



Şekil 5.8: Kalıp malzemesinin kalıba dökülmesi.



Şekil 5.9: Kalıbın kapatılması ve presin çalışmaya hazır oluşu.

İşlemler tamamlandıktan sonra kalıplar presten çıkarılır ve zımparalama işlemi için özel bir aparata (Şekil 5.10) yerleştirilirler. Özel aparat, zımpara makinasına (Şekil 5.11-5.12) takılır ve incelenecek olan malzeme yüzeyi bu makinada işlemden geçirilir. Sırasıyla 80,120,240,320,400,600,800,1000 lik zımparalar ile numuneler zımparalanır.



Şekil 5.10: Zımparalama aparatı.



Şekil 5.11: Zımparalama makinesi.

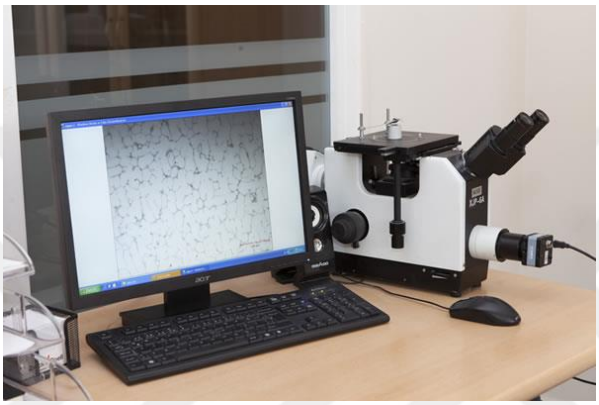


Şekil 5.12: Zımparalama makinesi.

Zımparalama işlemi bittikten sonra numuneler aynı tezgahta parlatma işlemine alınırlar. Parlatma işlemi için çadır bezi, poplin, kadife gibi parlatma kumaşları kullanılır.

Parlatma işleminden sonra parlatılmış yüzeyler ışığı eşit miktarda yansıttığından ötürü detaylar açığa çıkmaz ve gözlemlenemez. Bunun önüne geçmek için yapıda kontrast oluşturmak gerekmektedir. Bu da dağlama sayesinde gerçekleştirilir.

Deney numuneleri kontrole hazırlandıktan sonra metal laboratuvarında bulunan mikroskop cihazlarında taker taker kontrole alınırlar ve penetrasyon ölçümleri yapılır.



Şekil 5.13: Mikroskop.



Şekil 5.14: Numunenin mikroskopa yerleştirilmesi.

6. SONUÇLAR

Farklı voltaj, akım ve kaynak hızı ile toplamda 27 adet numune kaynatılmıştır. Kaynatılan numunelerin de nüfuziyet derinlikleri ölçülmüş, sonuçlar Çizelge 6.1'de belirtilmiştir.

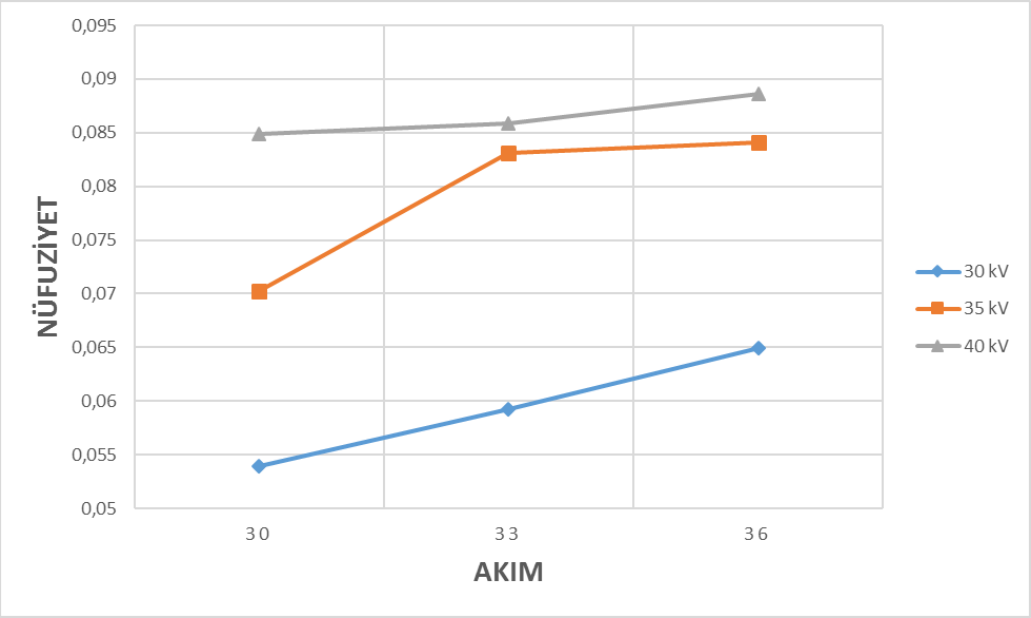
Çizelge 6.1: Kaynak numunelerinin nüfuziyet derinlikleri.

Numune No	Voltaj (kV)	Amper (A)	Hız (mm/sn)	Nüfuziyet (in/mm)	
1	30	30	20	0,054	1,369
2			16	0,059	1,509
3			12	0,074	1,882
4		33	20	0,059	1,504
5			16	0,076	1,920
6			12	0,083	2,106
7		36	20	0,065	1,648
8			16	0,078	1,991
9			12	0,084	2,123
10	35	30	20	0,070	1,783
11			16	0,083	2,106
12			12	0,084	2,131
13		33	20	0,083	2,111
14			16	0,084	2,123
15			12	0,087	2,200
16		36	20	0,084	2,136
17			16	0,085	2,149
18			12	0,088	2,238
19	40	30	20	0,085	2,156
20			16	0,085	2,162
21			12	0,088	2,243
22		33	20	0,086	2,182
23			16	0,087	2,220
24			12	0,091	2,306
25		36	20	0,089	2,250
26			16	0,091	2,319
27			12	0,093	2,352

6.1 Akımın Nüfuziyet Üzerine Etkisi

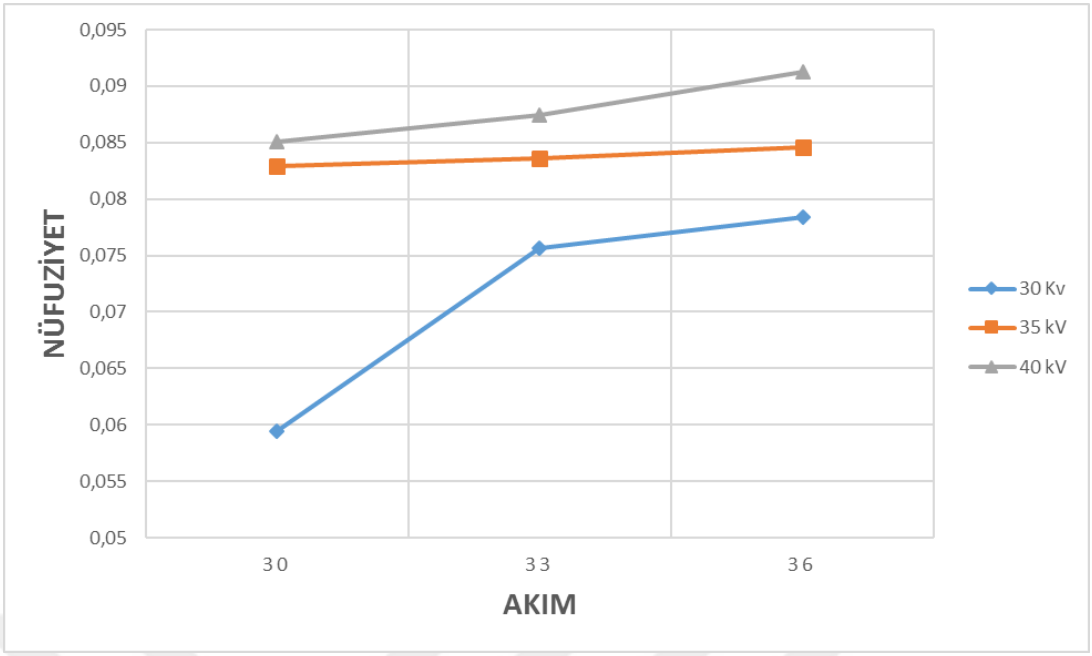
Çizelge 6.1'deki değerlerden yararlanılarak akımın nüfuziyet üzerine etkisi Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te incelenmiştir.

Şekil 6.1'de kaynak hızı 20 mm/sn olarak sabitlenmiş ve kaynak nüfuziyetinin 30,35 ve 40 kV voltaj değerlerinde akım arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. En büyük nüfuziyet değeri 0,093" (2,352 mm) olarak 40 kV ve 36 A değerlerinde elde edilmiştir. Buna karşın 0,054" (1,369 mm) ile en düşük nüfuziyet ise 30 kV ve 30 A ile yapılan kaynakta elde edilmiştir. Üç farklı durumda da nüfuziyet derinliği akım arttıkça artmaktadır.



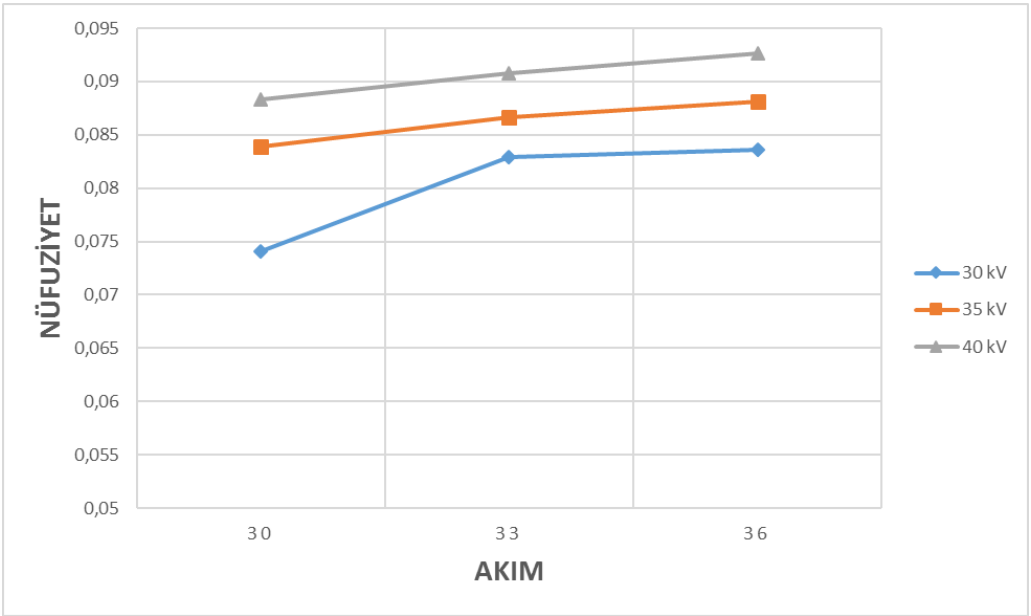
Şekil 6.1: 20 mm/sn hızda ampere göre nüfuziyetin değişimi.

Şekil 6.2'de kaynak hızı 16 mm/sn olarak sabitlenmiş ve kaynak nüfuziyetinin 30,35 ve 40 kV voltaj değerlerinde akım arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. En büyük nüfuziyet değeri 0,089" (2,25 mm) olarak 40 kV ve 36 A değerlerinde elde edilmiştir. Buna karşın 0,059" (1,509 mm) ile en düşük nüfuziyet ise 30 kV ve 30 A ile yapılan kaynakta elde edilmiştir. Üç farklı durumda da nüfuziyet derinliği akım arttıkça artmaktadır.



Şekil 6.2: 16 mm/sn hızda ampere göre nüfuziyetin değişimi.

Şekil 6.3'e baktığımızda ise Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de gördüğümüze benzer davranışı görülmektedir. 12 mm/sn olarak sabitlenen kaynak hızında, kaynak nüfuziyetinin 30,35 ve 40 kV voltaj değerlerinde akım arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. En büyük nüfuziyet değeri 0,091" (2,319 mm) olarak 40 kV ve 36 A değerlerinde elde edilmiştir. Buna karşın 0,074" (1,882mm) ile en düşük nüfuziyet ise 30 kV ve 30 A ile yapılan kaynakta elde edilmiştir.

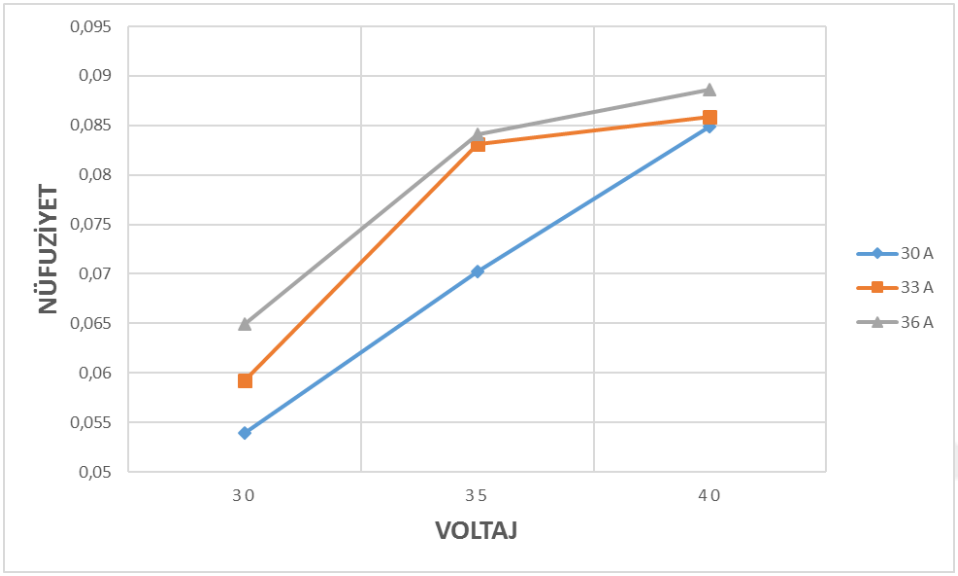


Şekil 6.3: 12 mm/sn hızda ampere göre nüfuziyetin değişimi.

6.2 Voltajın Nüfuziyet Üzerine Etkisi

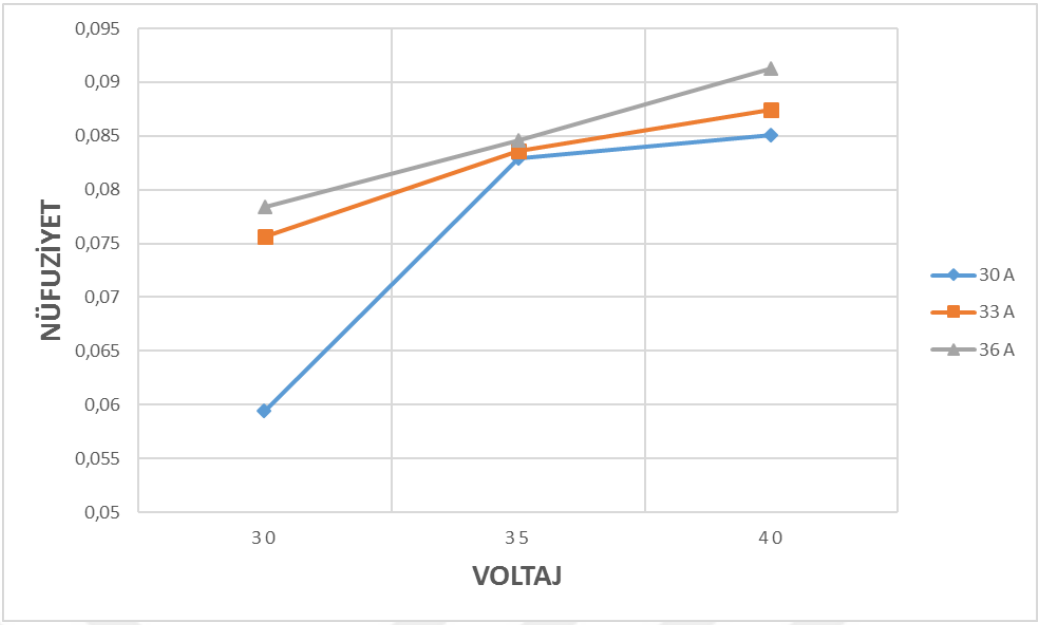
Voltajın kaynak nüfuziyeti üzerine etkisi Çizelge 6.1'deki sonuçlara göre; Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da incelenmiştir.

Şekil 6.4'de kaynak hızı 20 mm/sn olarak sabitlenmiş ve kaynak nüfuziyetinin 30,33 ve 36 A akım değerlerinde voltaj arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. En büyük nüfuziyet değeri 0,093" (2,352 mm) olarak 36 A ve 40 kV değerlerinde elde edilmiştir. Buna karşın 0,054" (1,369 mm) ile en düşük nüfuziyet ise 30 A ve 30 kV ile yapılan kaynakta elde edilmiştir. Üç farklı durumda da nüfuziyet derinliği voltaj arttıkça artmaktadır.



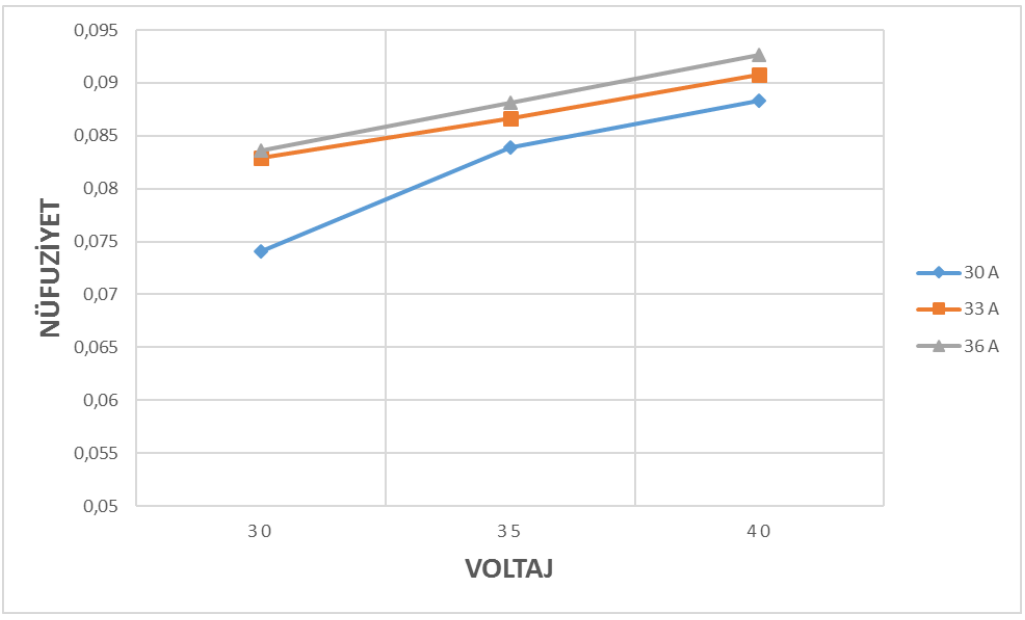
Şekil 6.4: 20 mm/sn hızda voltaja göre nüfuziyetin değişimi.

Şekil 6.5'de kaynak hızı 16 mm/sn olarak sabitlenmiş ve kaynak nüfuziyetinin 30,33 ve 36 A akım değerlerinde voltaj arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. En büyük nüfuziyet değeri 0,089" (2,25 mm) olarak 36 A ve 40 kV değerlerinde elde edilmiştir. Buna karşın 0,059" (1,509 mm) ile en düşük nüfuziyet ise 30 A ve 30 kV ile yapılan kaynakta elde edilmiştir. Üç farklı durumda da nüfuziyet derinliği akım arttıkça artmaktadır.



Şekil 6.5: 16 mm/sn hızda voltaja göre nüfuziyetin değişimi.

Şekil 6.3'e baktığımızda ise Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de gördüğümüze benzer davranışı görülmektedir. 12 mm/sn olarak sabitlenen kaynak hızında, kaynak nüfuziyetinin 30,33 ve 36 A akım değerlerinde voltaj arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. En büyük nüfuziyet değeri 0,091" (2,319 mm) olarak 36 A ve 40 kV değerlerinde elde edilmiştir. Buna karşın 0,074" (1,882mm) ile en düşük nüfuziyet ise 30 A ve 30 kV ile yapılan kaynakta elde edilmiştir.

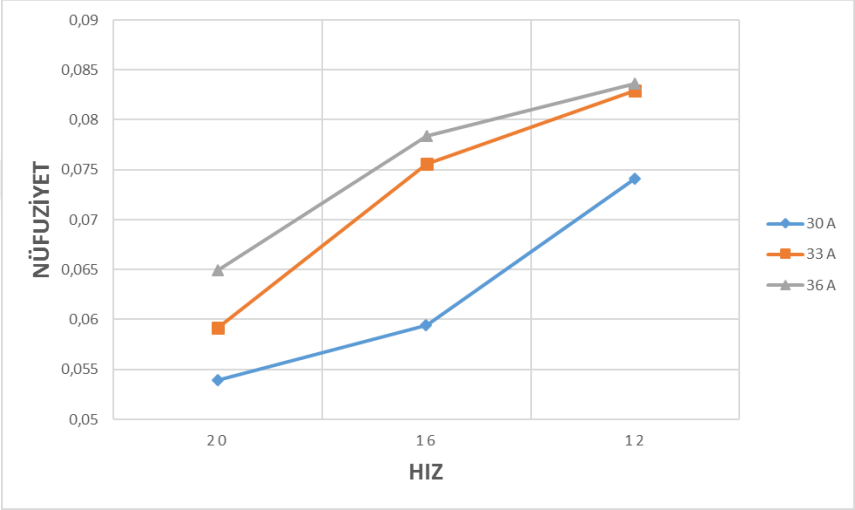


Şekil 6.6: 12 mm/sn hızda voltaja göre nüfuziyetin değişimi

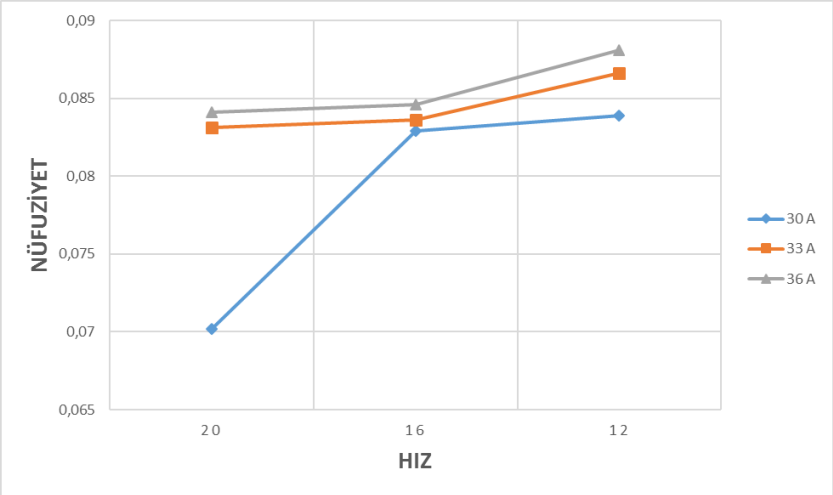
6.3 Kaynak Hızının Nüfuziyet Üzerine Etkisi

Kaynak hızının, nüfuziyete etkisini gösteren grafiklerimiz 30,35 ve 40 kV sabit voltajlarda; 30,33 ve 36 A akım değerlerinde çizdirilmiştir. Bu grafikler Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9 olarak belirtilmiştir.

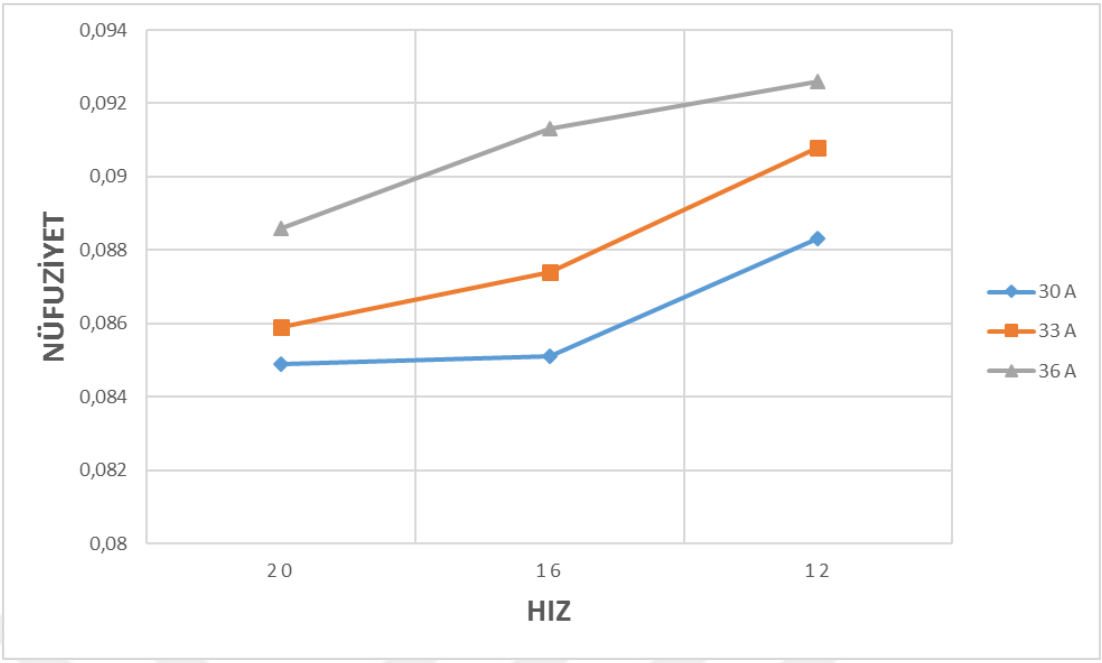
Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da görüyoruz ki 30 kV, 35 kV ve 40 kV sabit voltajda, 3 farklı amper değeri için de hız yavaşladıkça nüfuziyet değeri artıyor. Yani hız ile nüfuziyet arasında bir ters orantı söz konusu.



Şekil 6.7: 30 kV voltajda hıza göre nüfuziyet değişimi.



Şekil 6.8: 35 kV voltajda hıza göre nüfuziyet değişimi.



Şekil 6.9: 40 kV voltajda hıza göre nüfuziyet değişimi.

7. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada öncelikle elektron ışın kaynağı ve inconel 718 malzemesi ile ilgili literatür taraması yapıldı. Literatürde bulunan aynı yada farklı malzeme ile ilgili benzer çalışmalar arandı. Bu araştırmalardan sonra TEI bünyesinde bulunan hurda malzemelerden numune olarak kullanılabilecekler çıkartıldı. Çıkarılan malzemeler deney için kararlaştırılan numune boyutlarına getirilmek için öncelikle giyotin makasta kesildiler. Sonrasında malzemelerin çapak alma işlemi tamamlandı ve kaynak operasyonuna hazır hale getirildiler. Kaynak operasyonuna hazır hale getirilen numuneler birbirlerine punta ile tutturuldu. Bu sırada kaynak operasyonu esnasında kullanılacak parametreler ve değerleri belirlendi. Bu değerler belirlendikten sonra kaynak işlemine geçildi ve tüm numuneler kaynatıldı. Kaynatılan numuneler laboratuvarda öncelikle kesildi ve kalıba alındı. Daha sonra zımpara ve parlatma operasyonları yapıldı. Bu operasyonlar sonrası numuneler metalografik incelemeye alındı. Metalografik incelemede kaynak nüfuziyetleri ölçüldü. Bu nüfuziyet değerleri sayesinde parametrelerin kaynak nüfuziyetine etkileri incelendi. Hangi parametrenin nüfuziyeti nasıl etkilediği ortaya konulmuş oldu. Bu çalışma farklı kalınlıklar ve farklı malzemeler için de yapılabilir. Bu tip çalışmalar sayesinde hangi malzeme için hangi parametrede hangi nüfuziyetin sağlanacağı ortaya konulabilir.

KAYNAKLAR

[1]**Url-1** <https://www.totalmateria.com>, erişim tarihi 05.09.2019

[2]**Url-2** <http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr>, erişim tarihi 08.09.2019

[3]**Url-3** <https://bircelik.com/tr/kategori/inconel-718>, erişim tarihi 09.09.2019

[4]**Url-4** <https://www.tei.com.tr>, erişim tarihi 15.09.2019

[5]**Groover, M.P.** (2010) Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. (4th ed., pp.729-730). New York: Wiley

[6]**Schultz, H.** (1993) Electron Beam Welding. Cambridge: Abington Publishing.

[7]**Kaur, A.P.** (2016) Electron Beam Diagnosis for Weld Quality Assurance. (Phd Thesis) Department of Electronic and Computer Engineering College of Engineering, Design and Physical Sciences, Brunel University, London

[8]**Olson, D.L.** ASM Handbook. Vol 6: Welding, Brazing and Soldering. Metals Park, Ohio: ASM International, 1993.

[9]**Vural, M.** Comprehensive Materials Processing. Vol 6: Welding and Bonding Technologies. *Welding Processes and Technologies (pp.3-48).*Retrieve from https://www.sciencedirect.com/referencework /9780080965338/comprehensive-materials-processing

[10]**Caron, J.L.** Comprehensive Materials Processing. Vol 6: Welding and Bonding Technologies. *Weldability of Nickel-Base Alloys (pp.157-179).* Retrieve rom https://www.sciencedirect.com/ referencework /9780080965338/comprehensive-materials-processing

[11]**Türker, M. & Tosun M.** Havacılık Endüstrisinde Kullanılan Modern Kaynak Teknolojileri. *X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildiriler Kitabı,* İstanbul, Türkiye

[12]**Kaur, A.P.** (1998) Elektron Işını ve TIG Kaynağı Yöntemleriyle Birleştirilmiş Inconel 718 Malzemesinin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. (Yüksek L. Tezi) Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

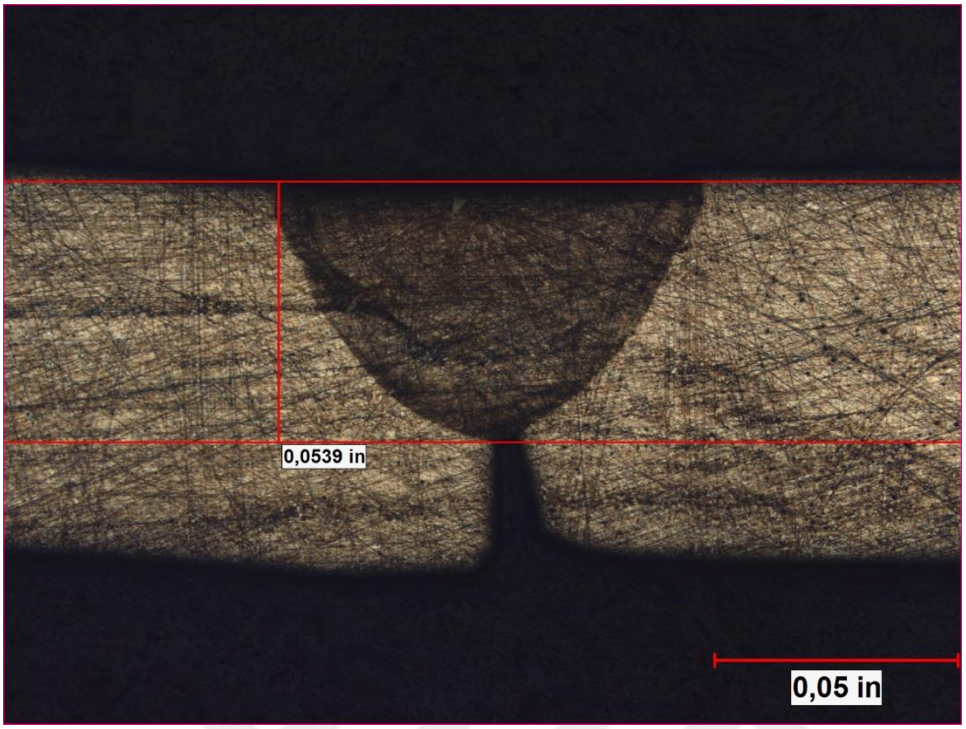
[13]**Url-4**<https://www.muhendisbeyinler.net/metalografik-muayene-nedir-ve-nasil-yapilir/>

[14]**Url-5**<https://www.mtcmetalurji.com.tr/images/resimler/e16ff3cdb531271ac88b62dfcc38a1dd.pdf>

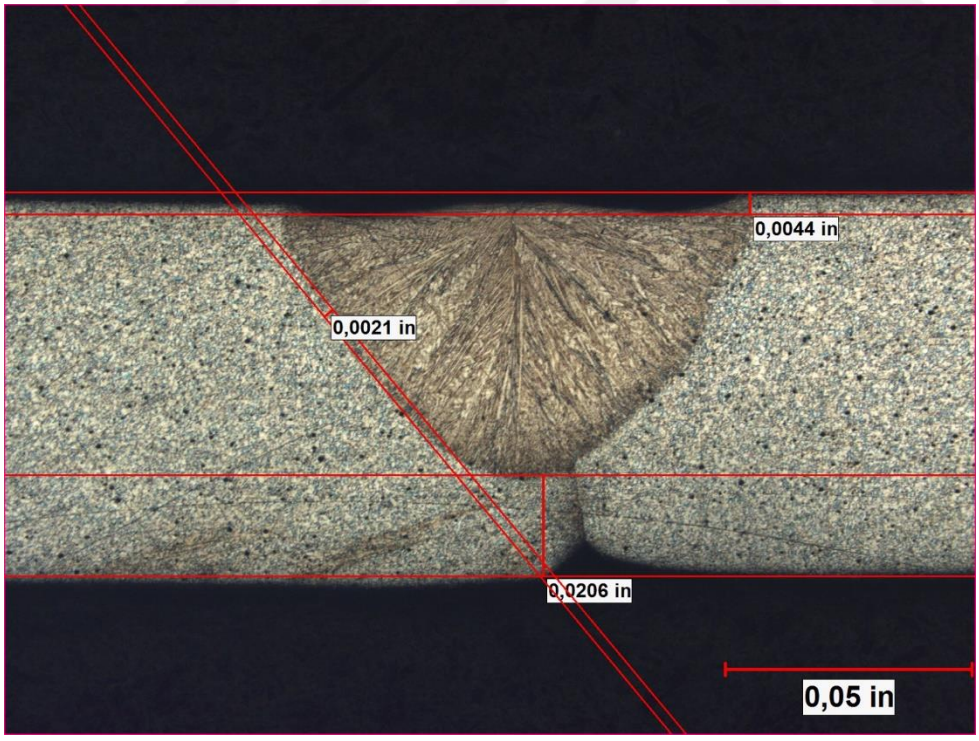
EKLER

EK A: Metalografik Fotoğraflar

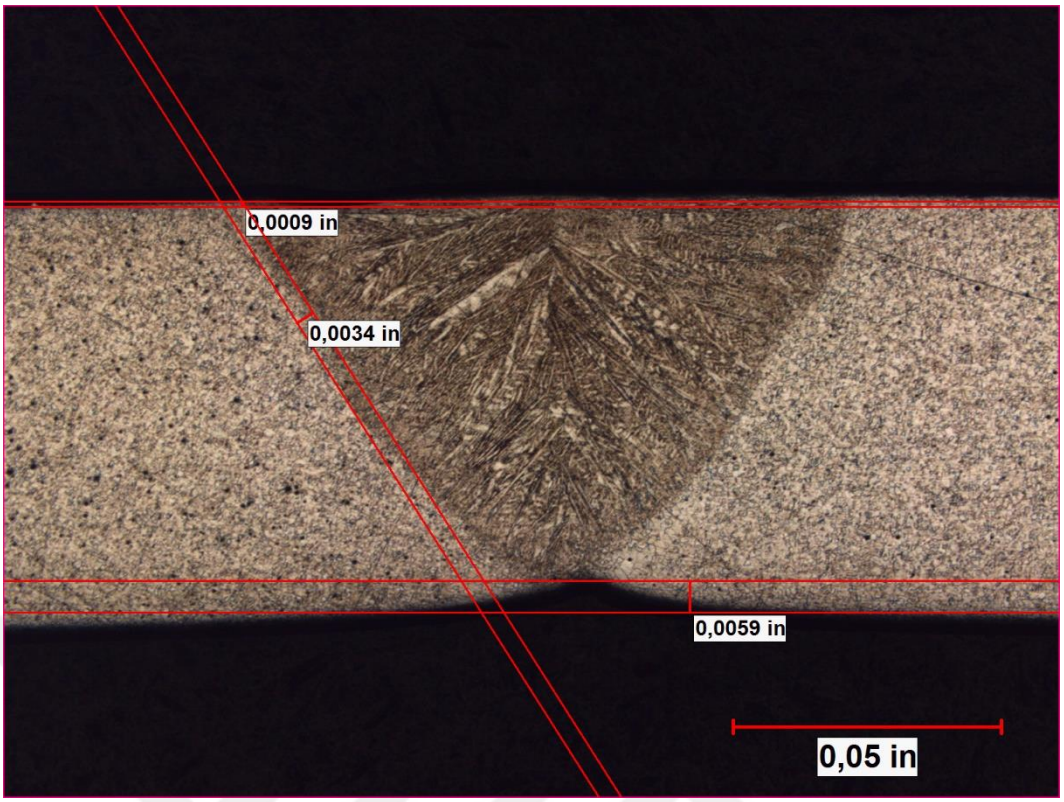
EK A



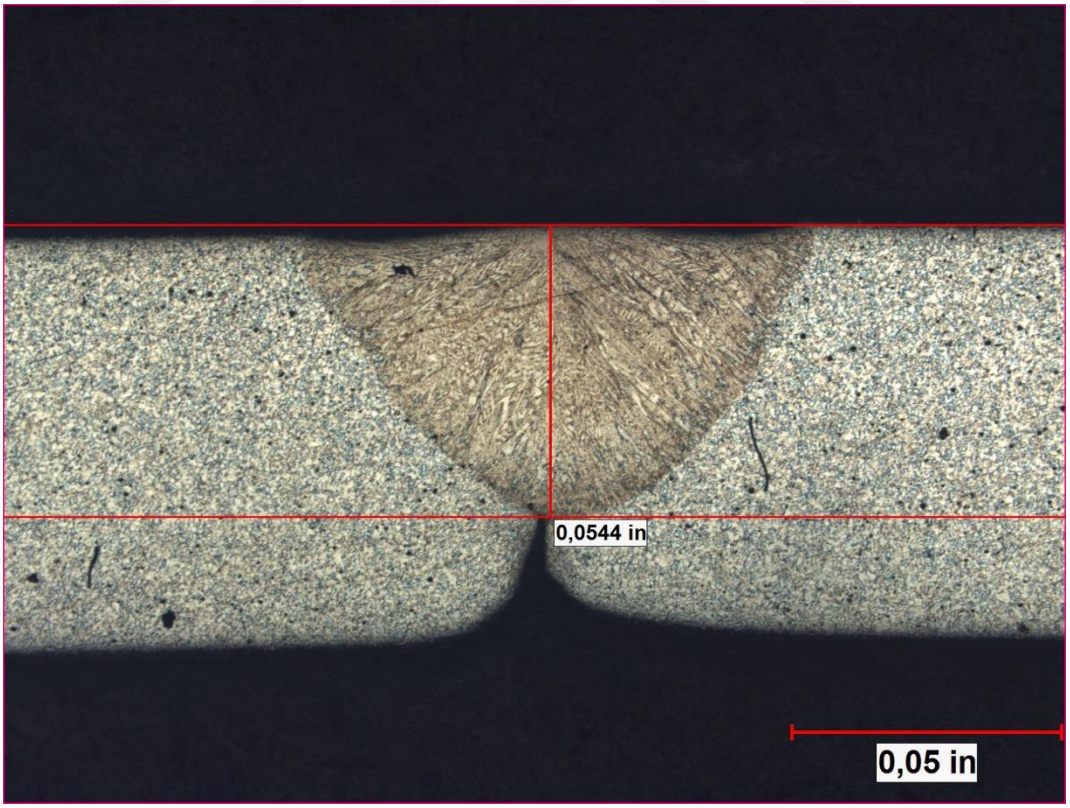
Şekil A.1: Numune 1



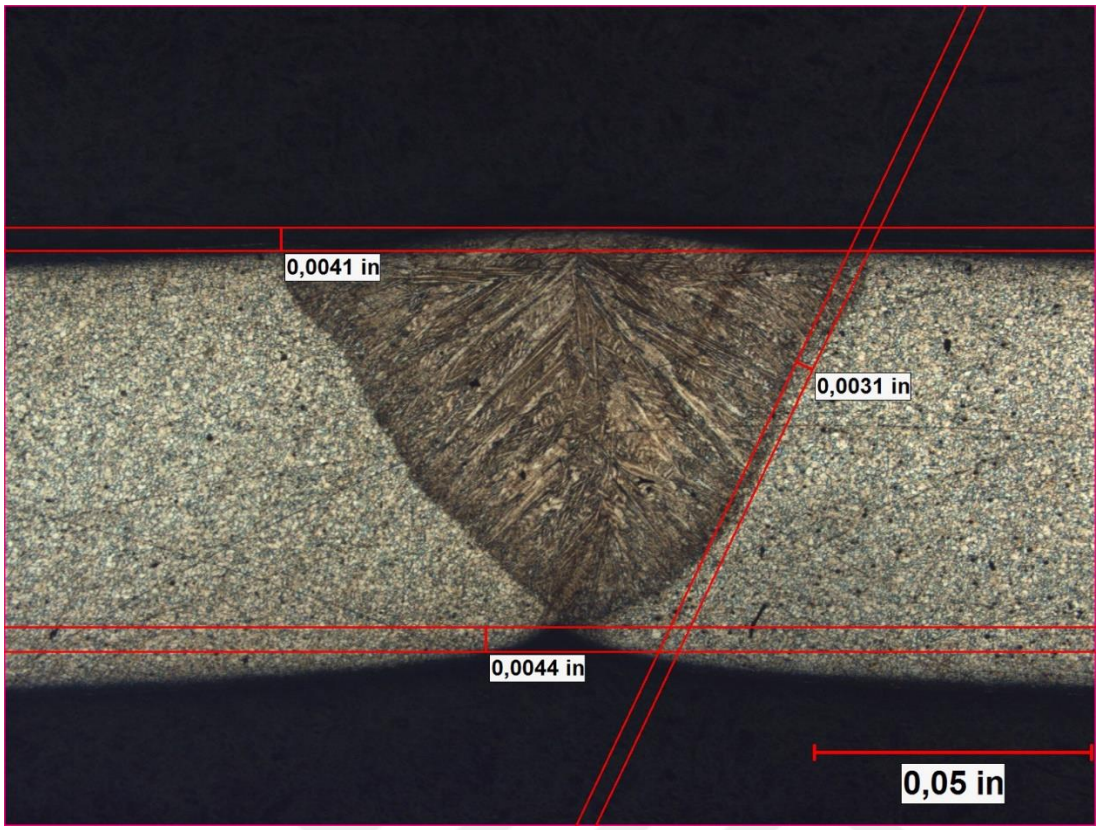
Şekil A.2: Numune 2



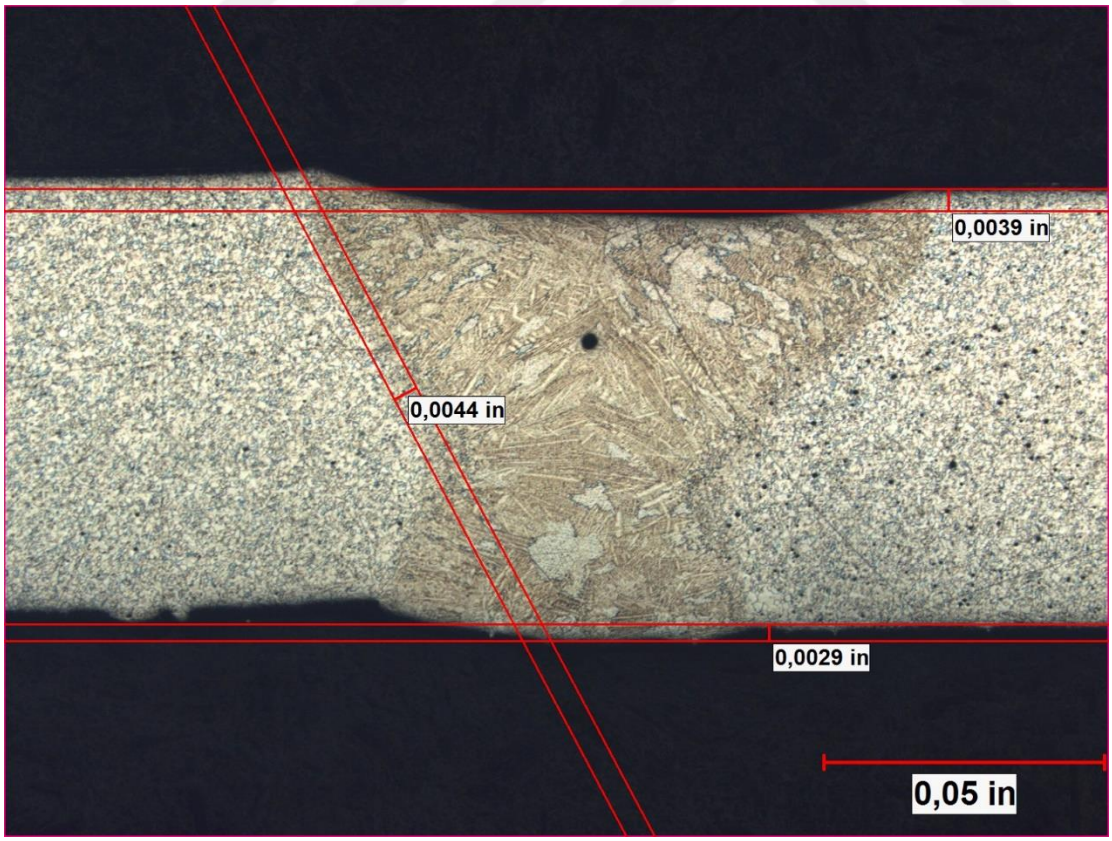
Şekil A.3: Numune 3



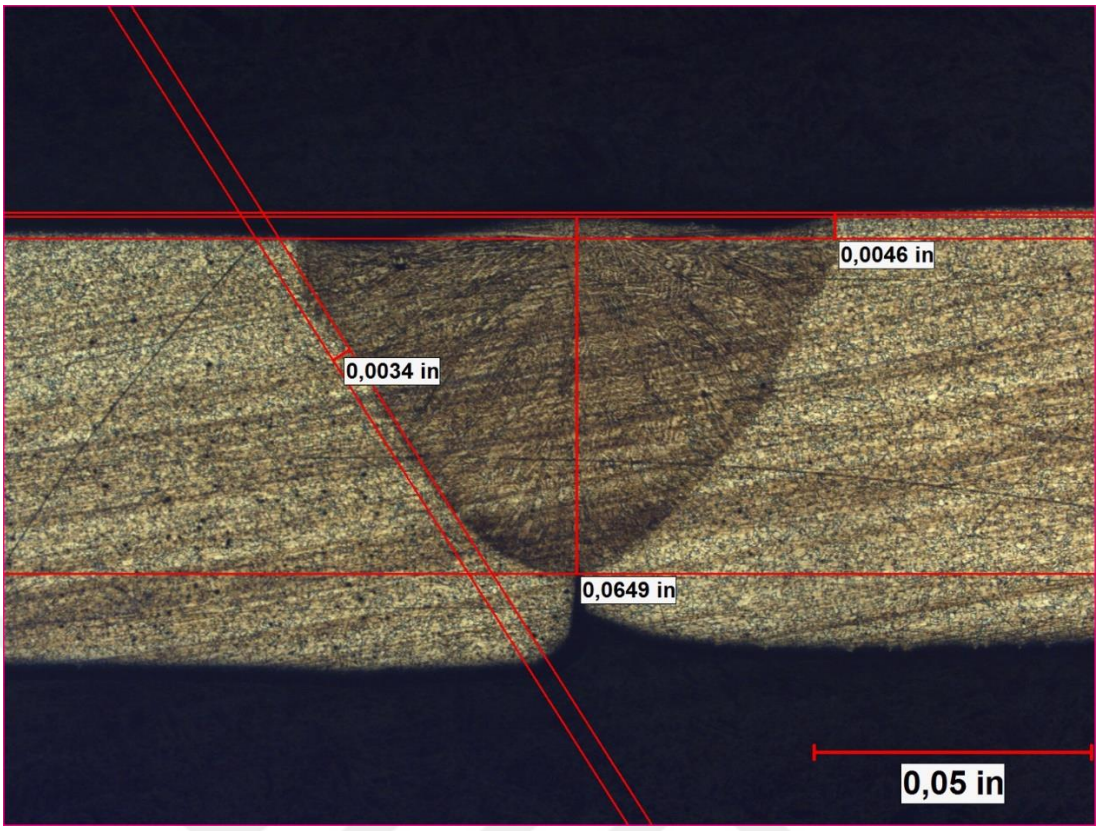
Şekil A.4: Numune 4



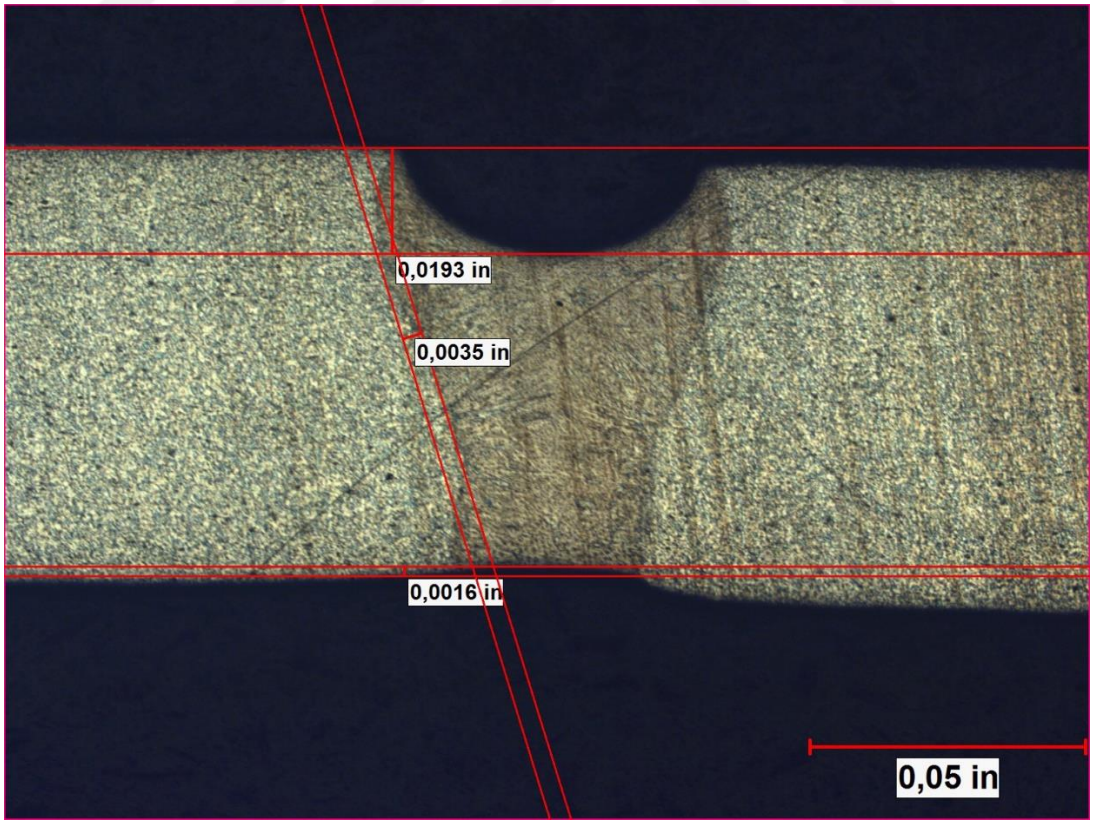
Şekil A.5: Numune 5



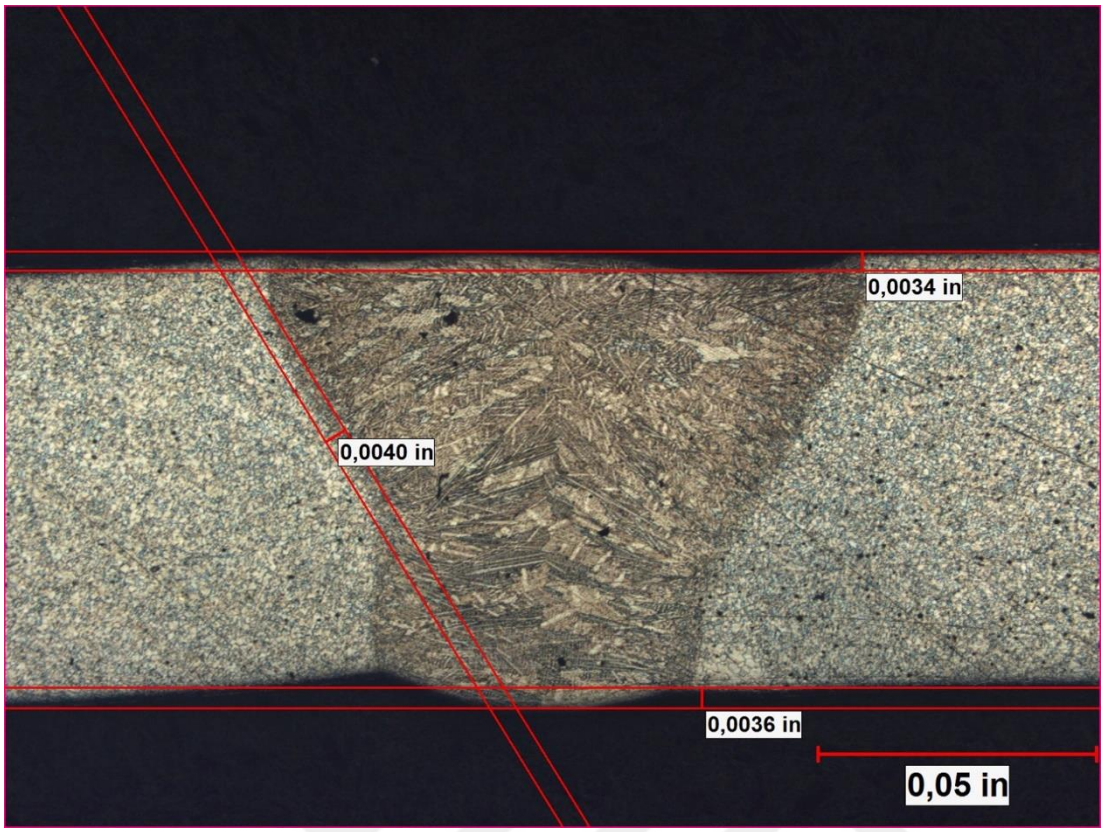
Şekil A.6: Numune 6



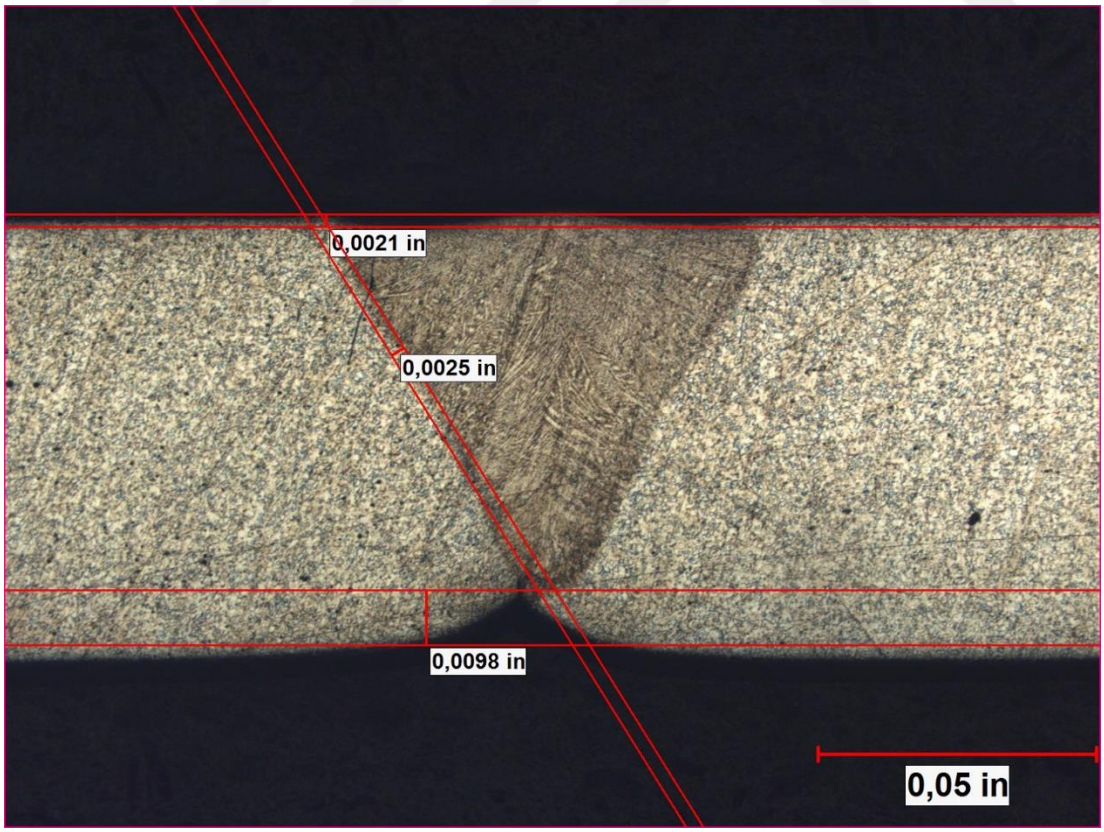
Şekil A.7: Numune 7



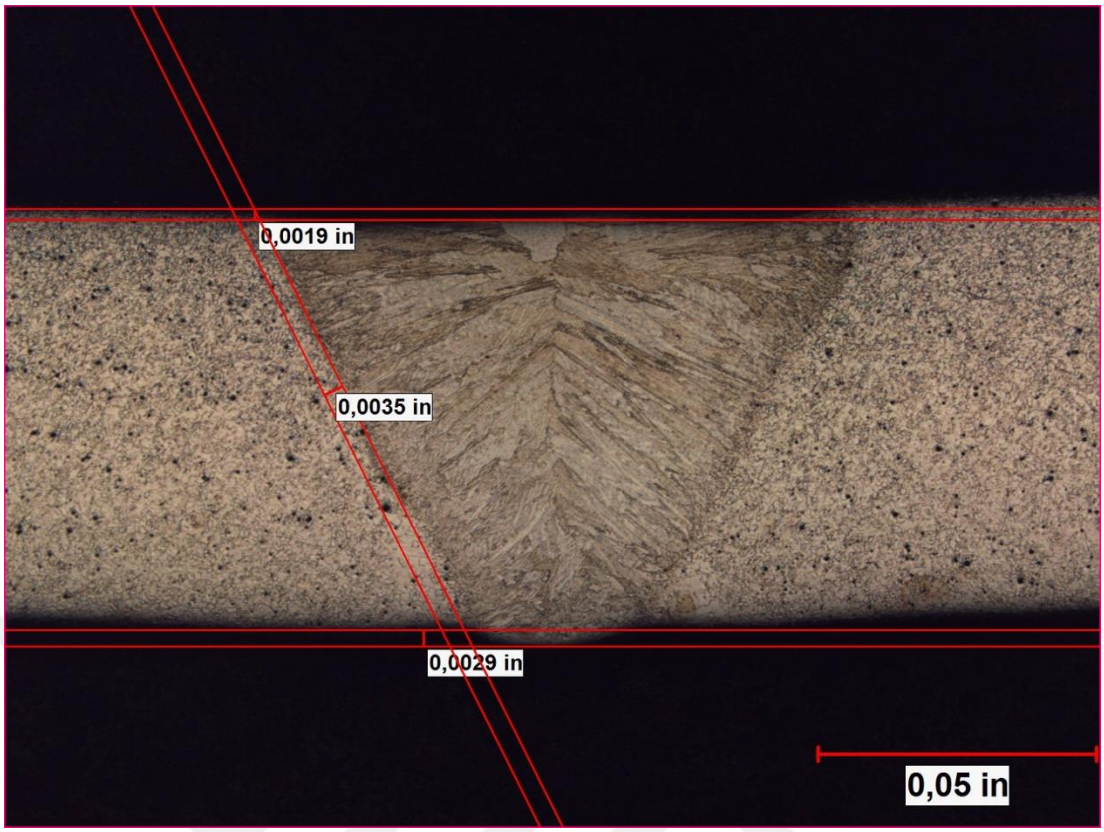
Şekil A.8: Numune 8



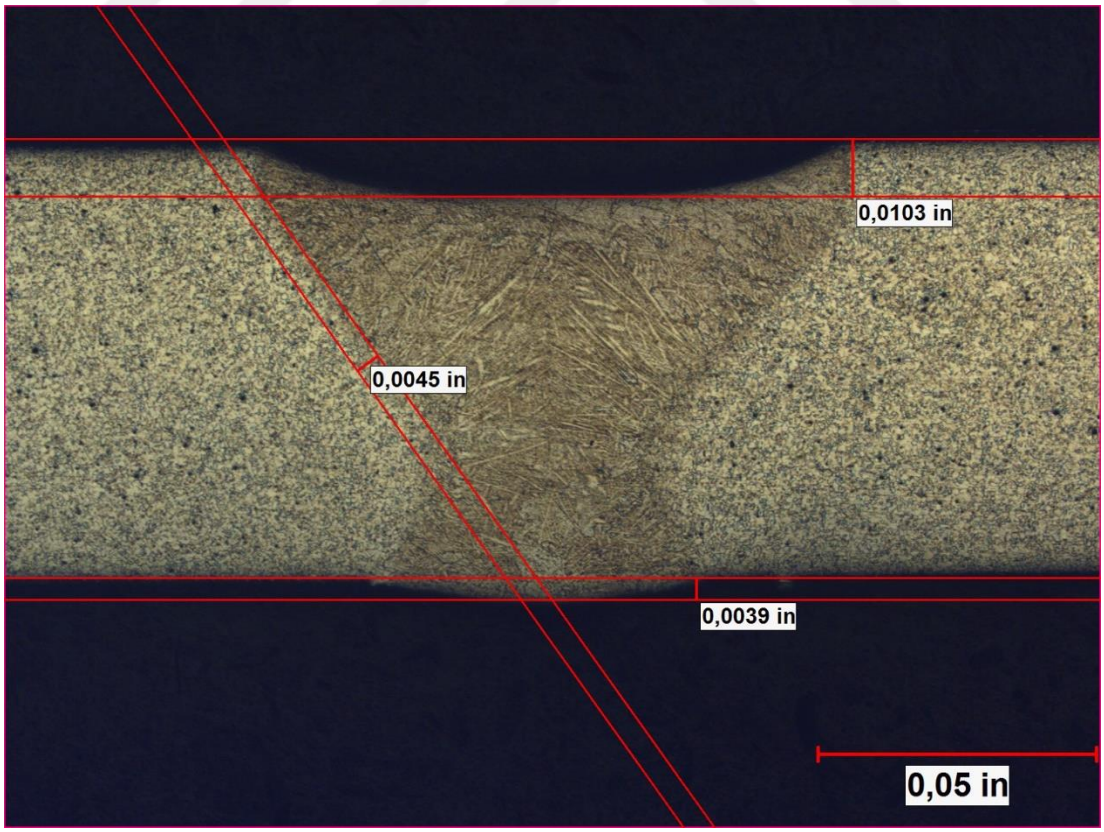
Şekil A.9: Numune 9



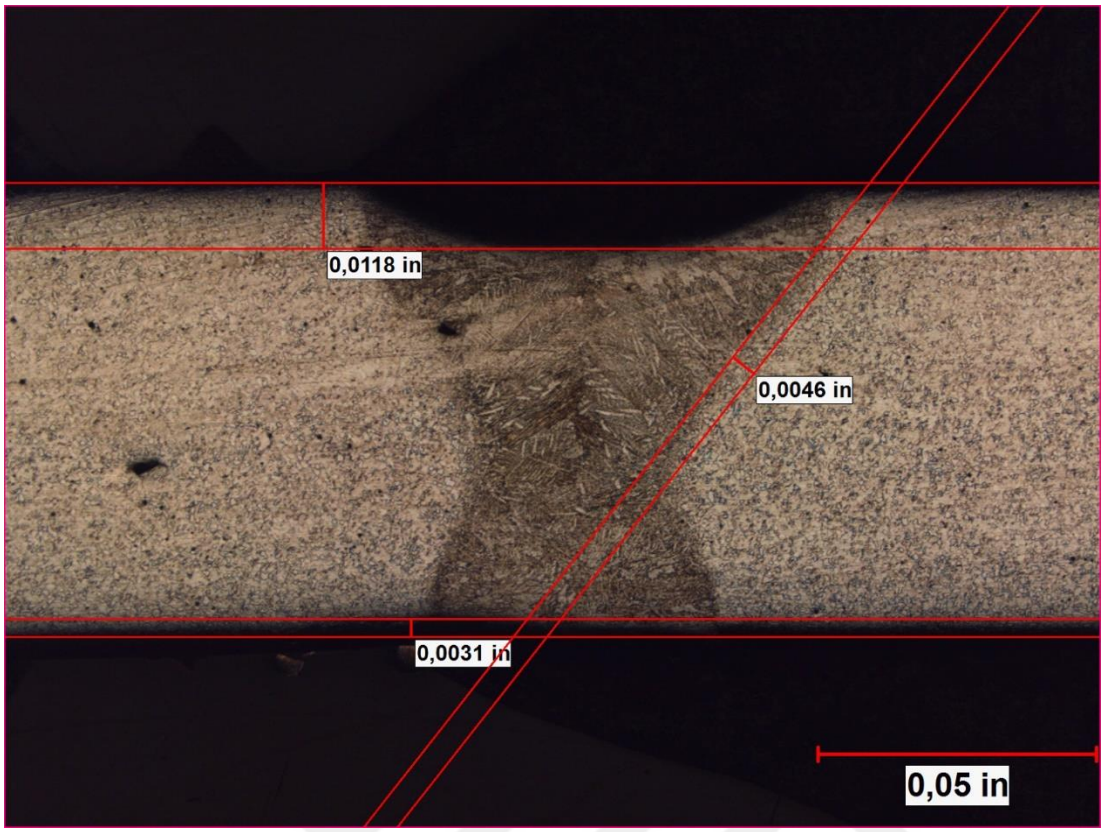
Şekil A.10: Numune 10



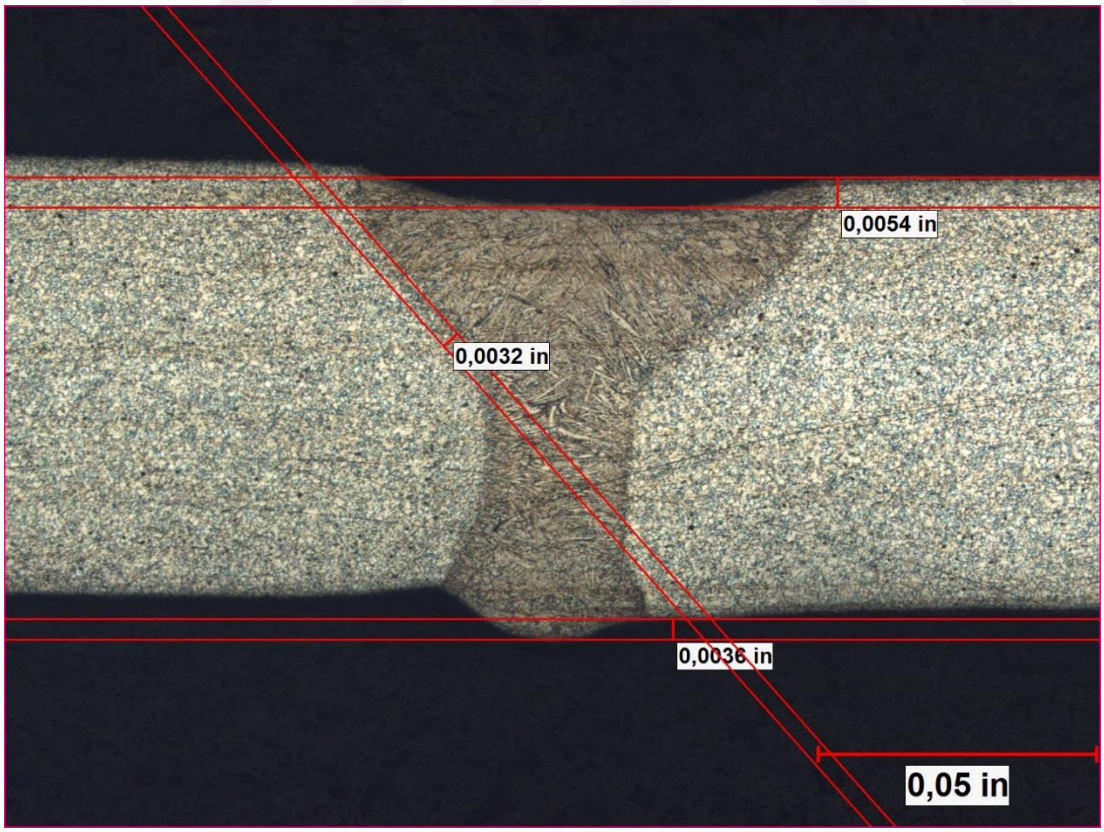
Şekil A.11: Numune 11



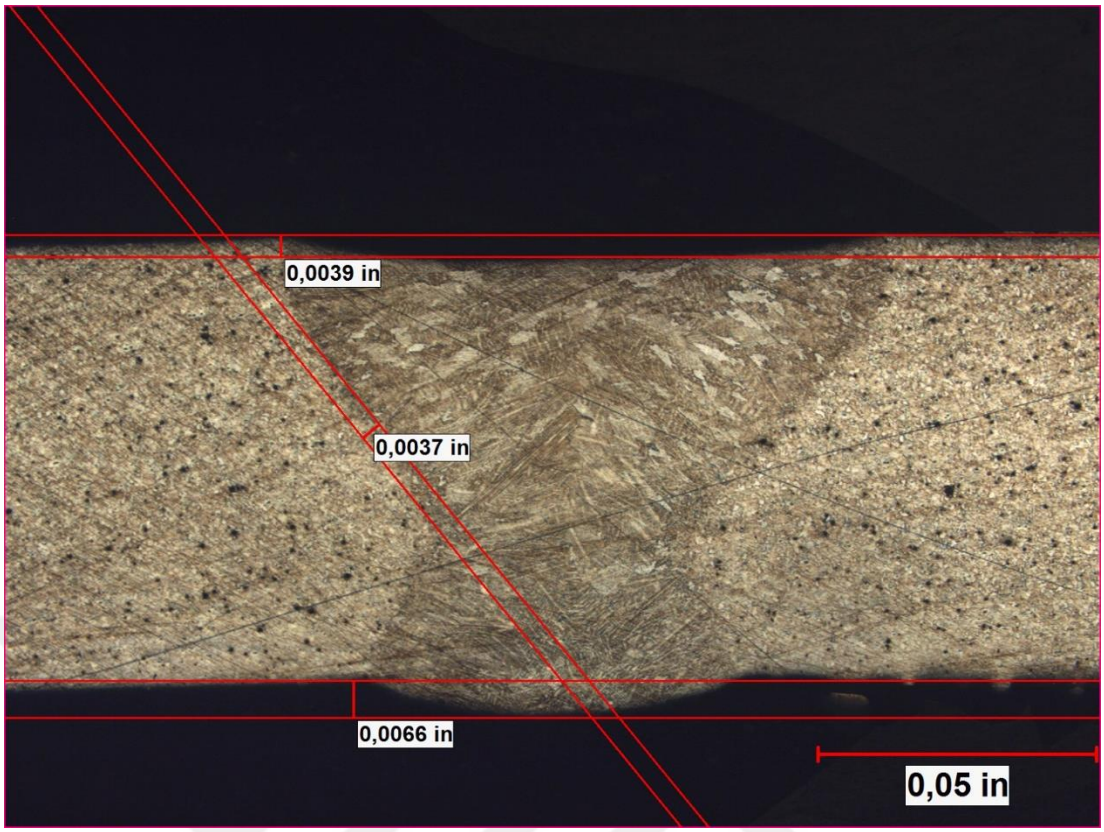
Şekil A.12: Numune 12



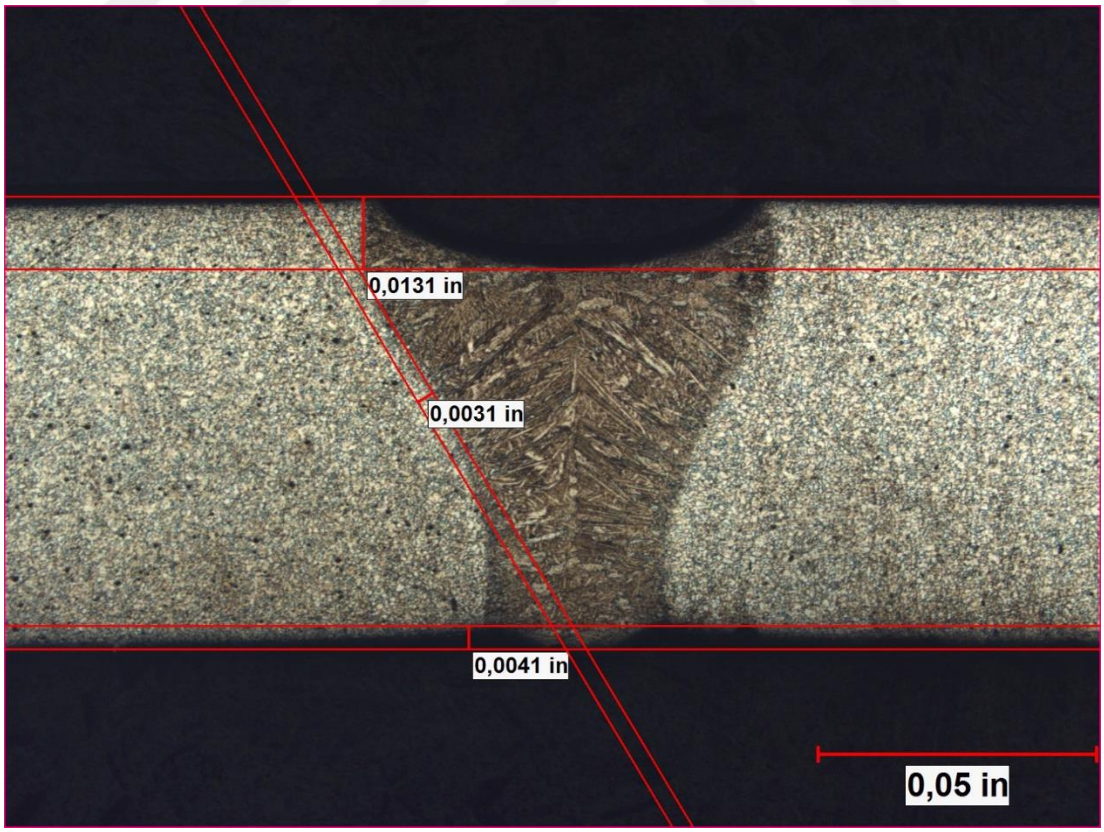
Şekil A.13: Numune 13



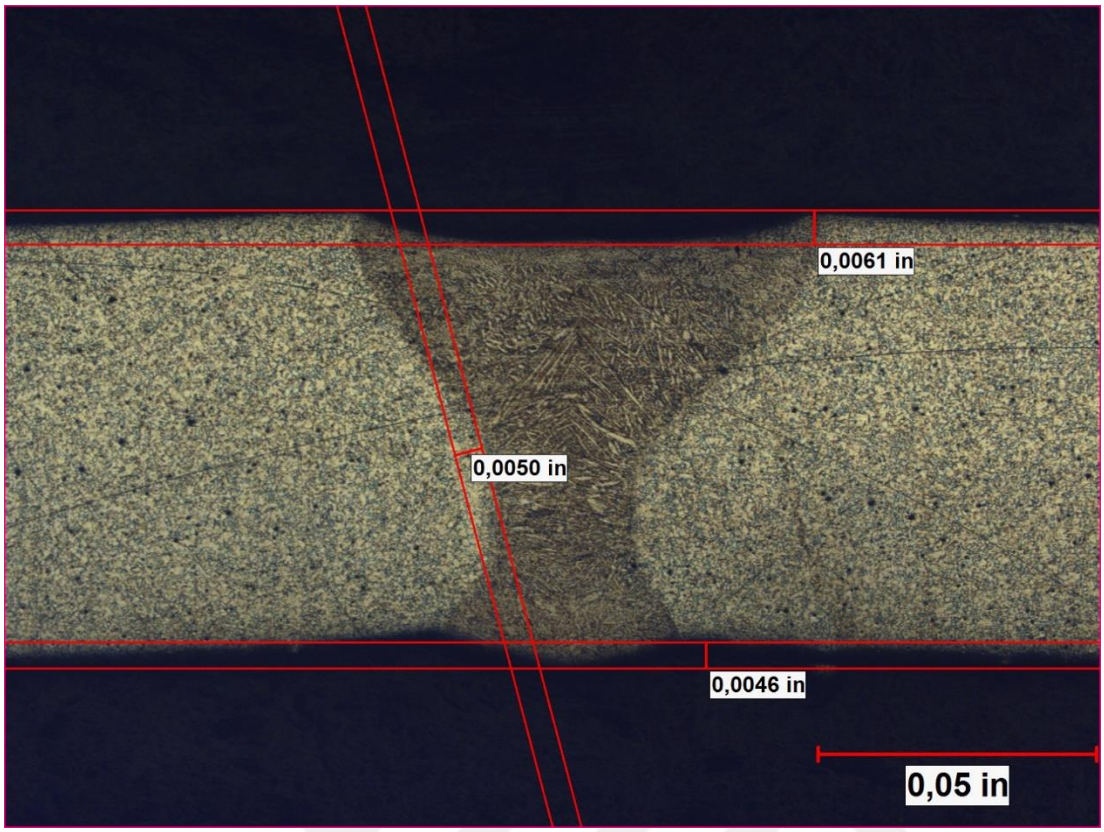
Şekil A.14: Numune 14



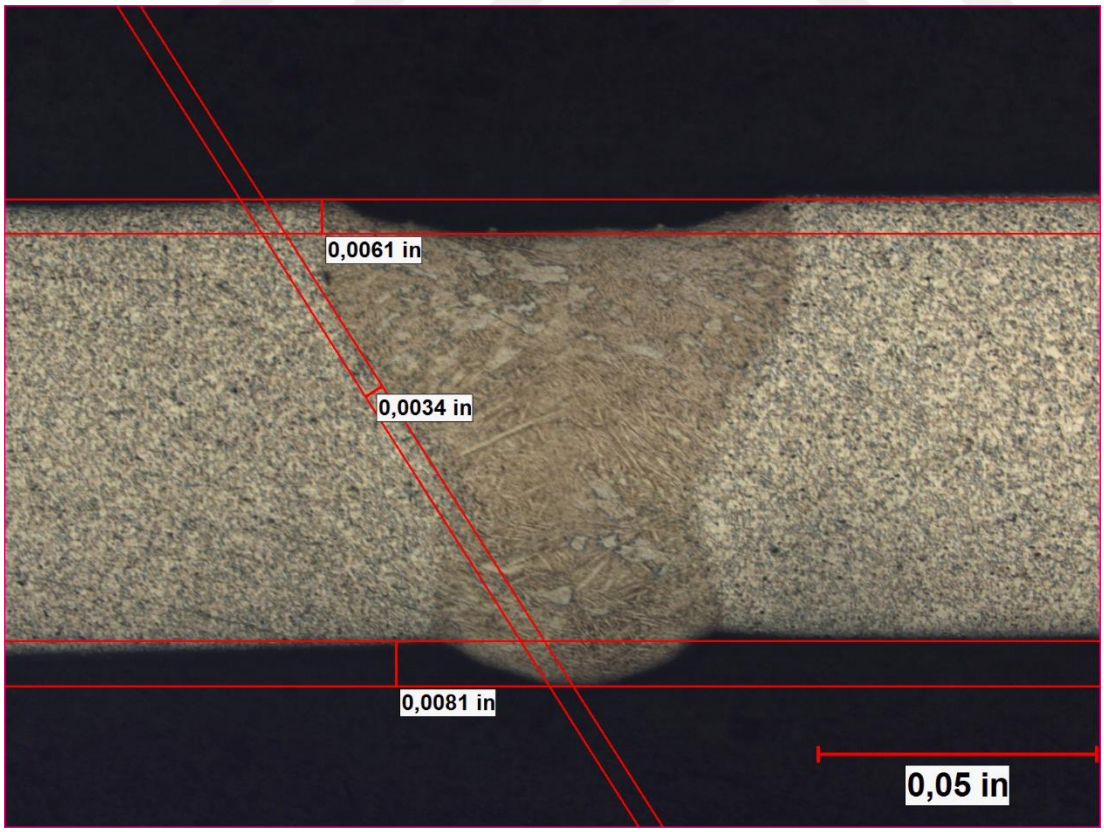
Şekil A.15: Numune 15



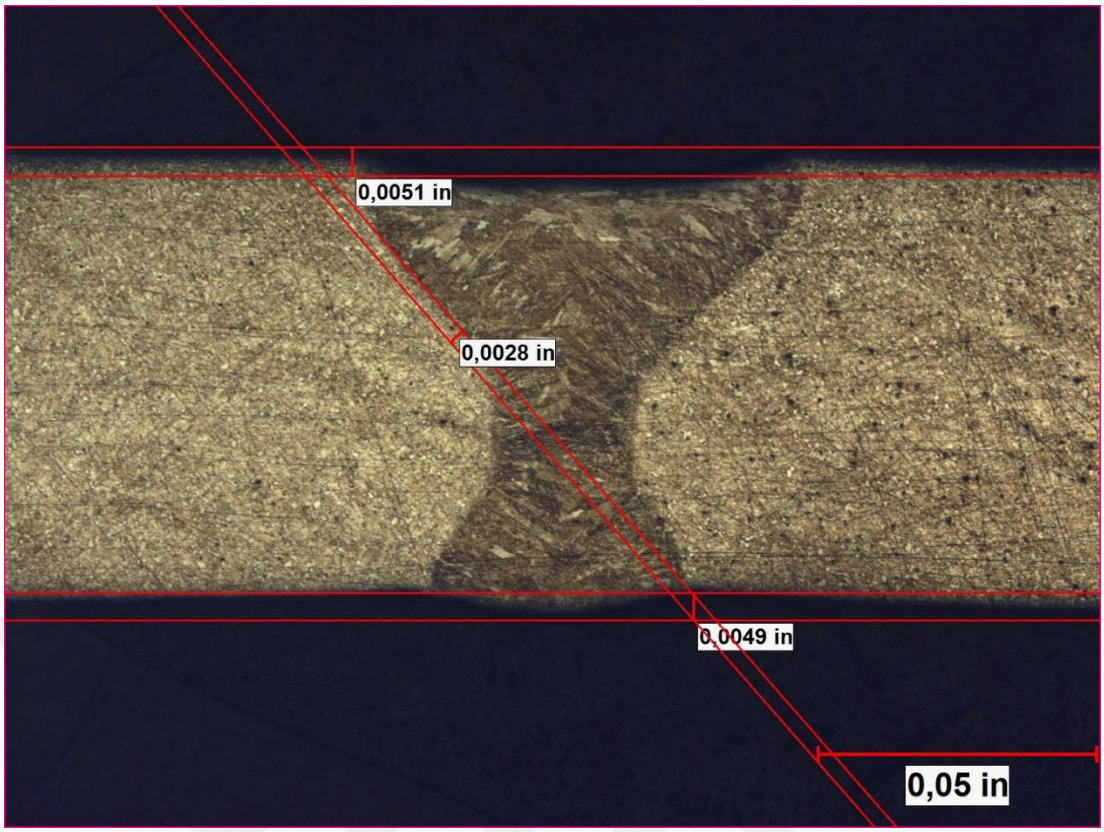
Şekil A.16: Numune 16



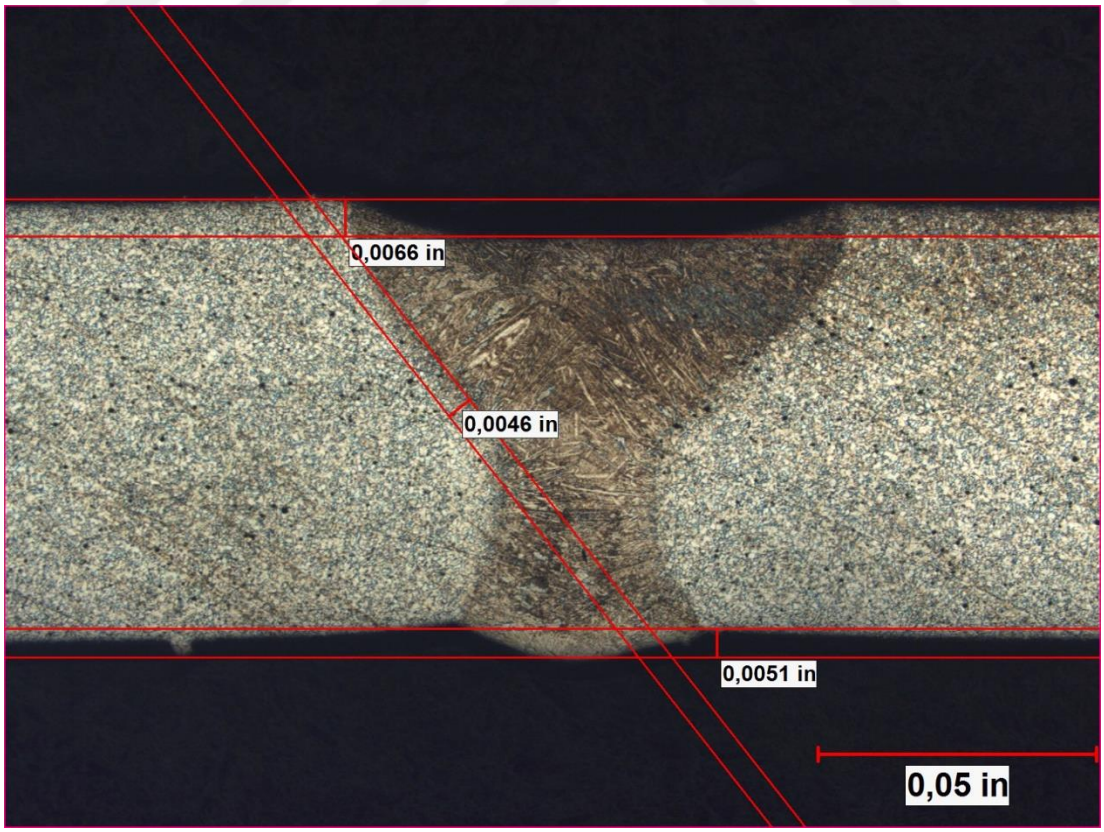
Şekil A.17: Numune 17



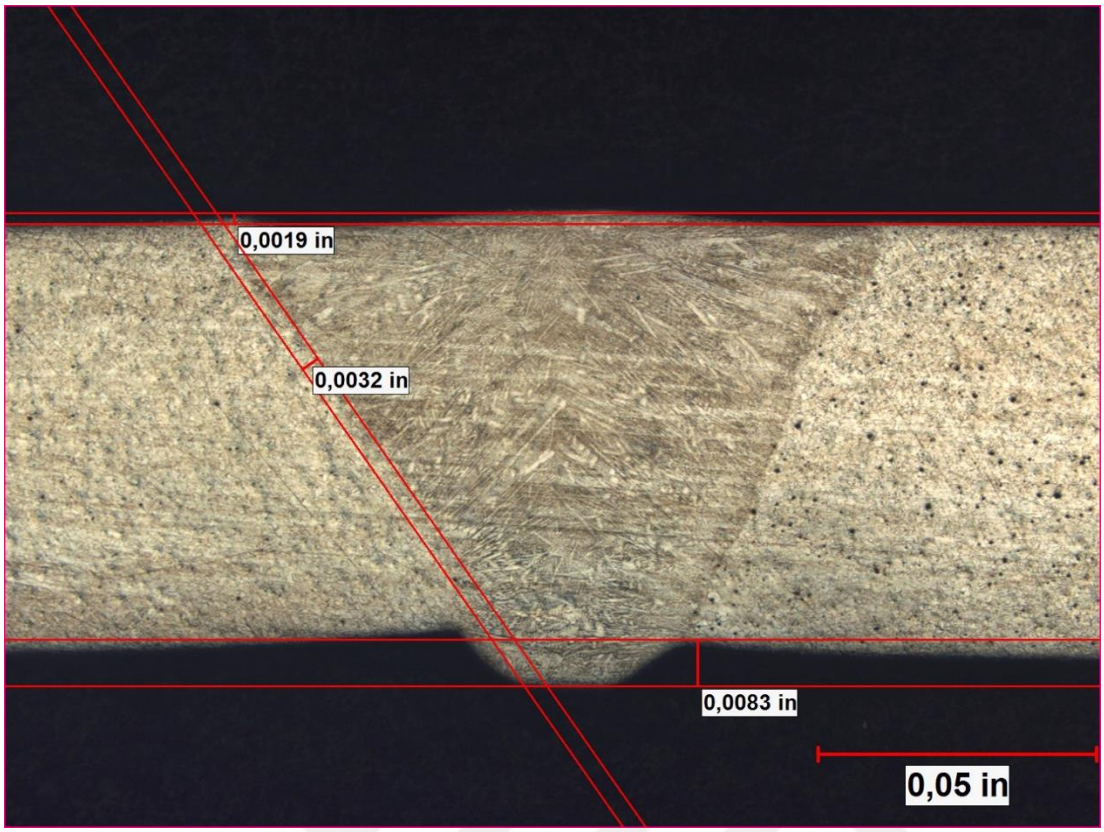
Şekil A.18: Numune 18



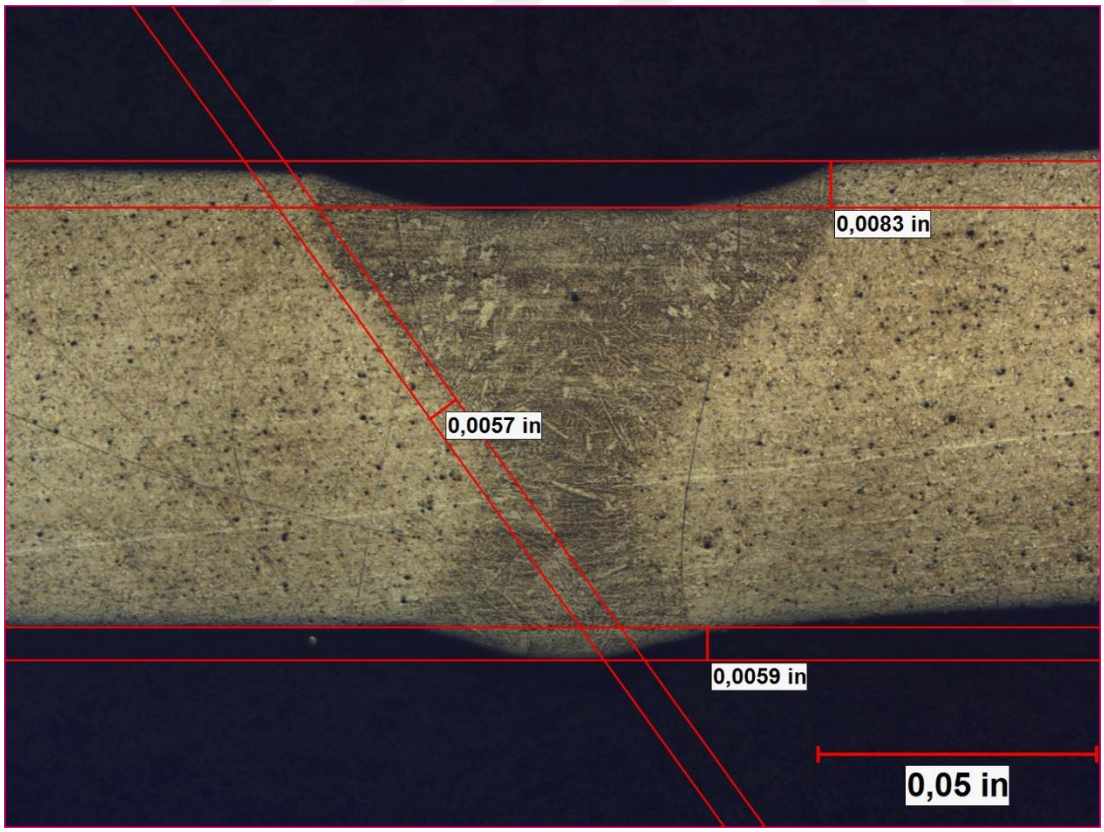
Şekil A.19: Numune 19



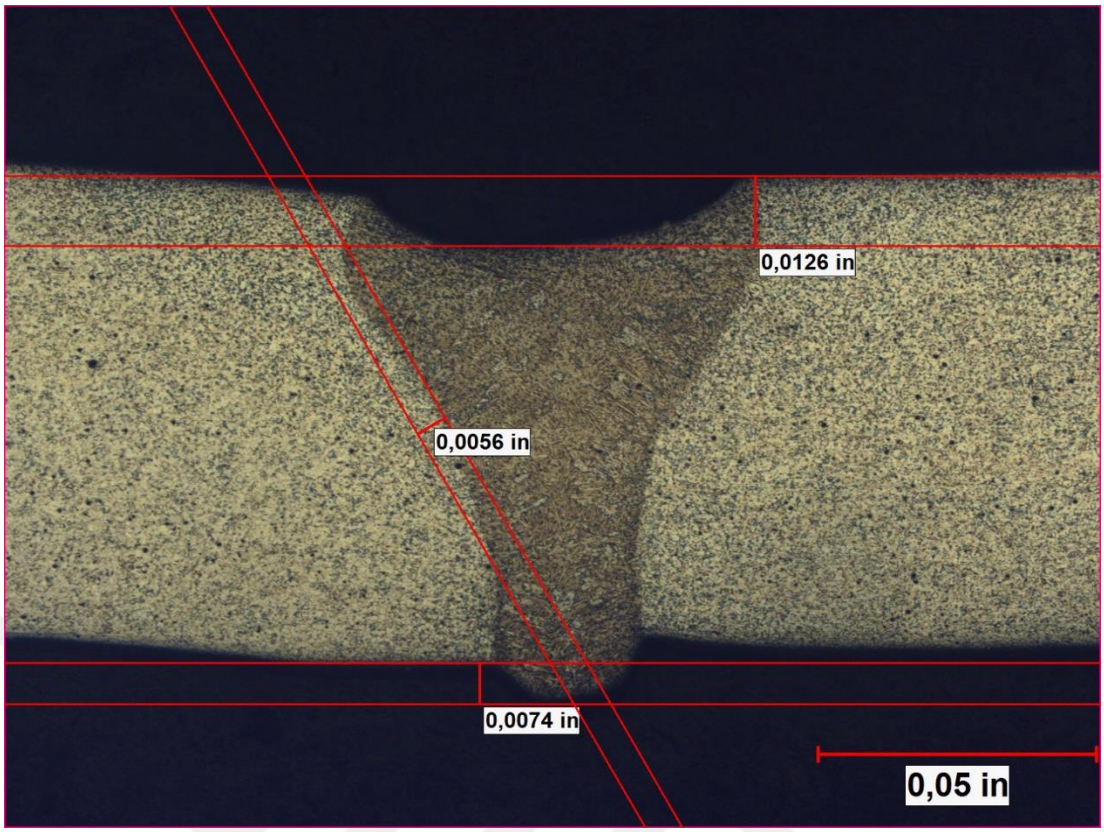
Şekil A.20: Numune 20



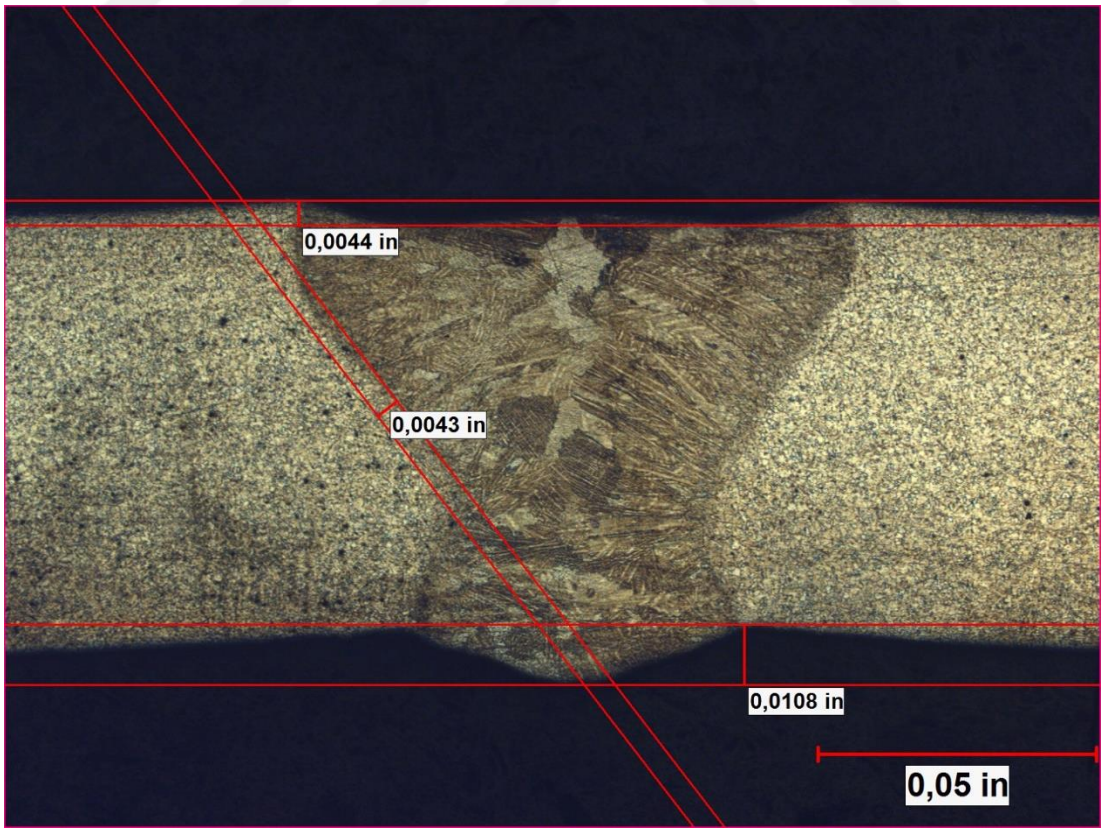
Şekil A.21: Numune 21



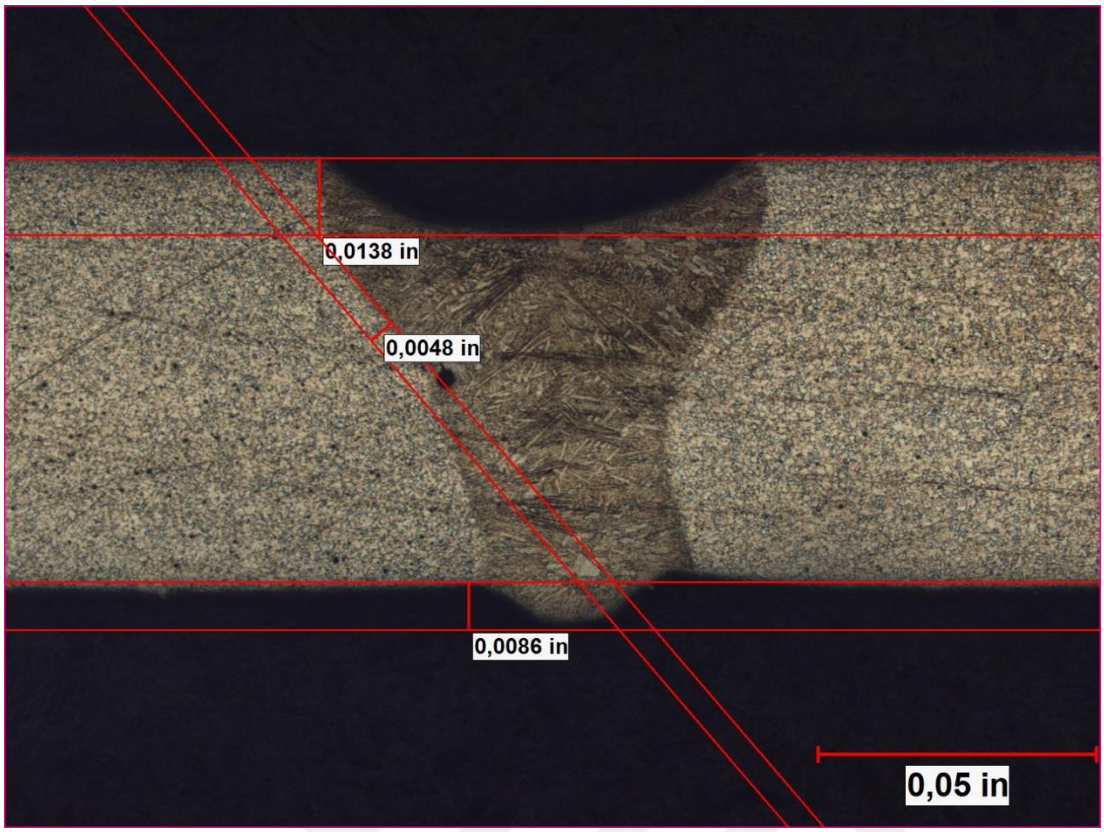
Şekil A.22: Numune 22



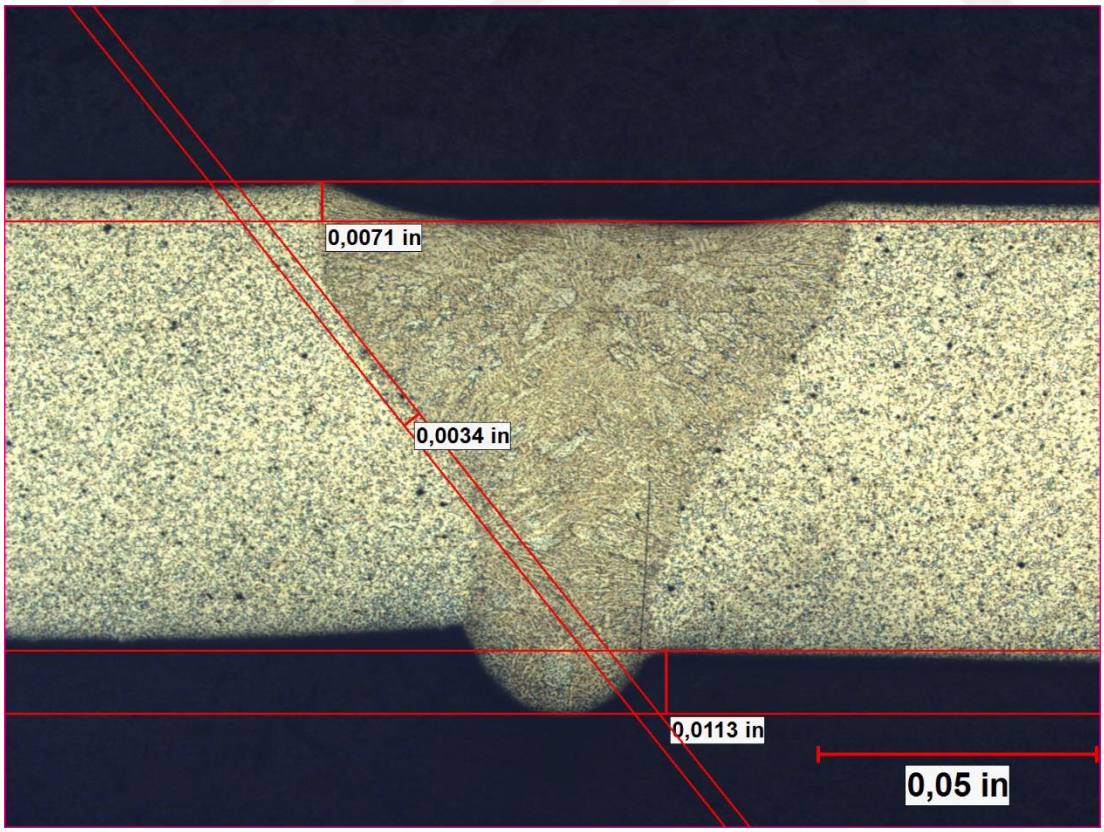
Şekil A.23: Numune 23



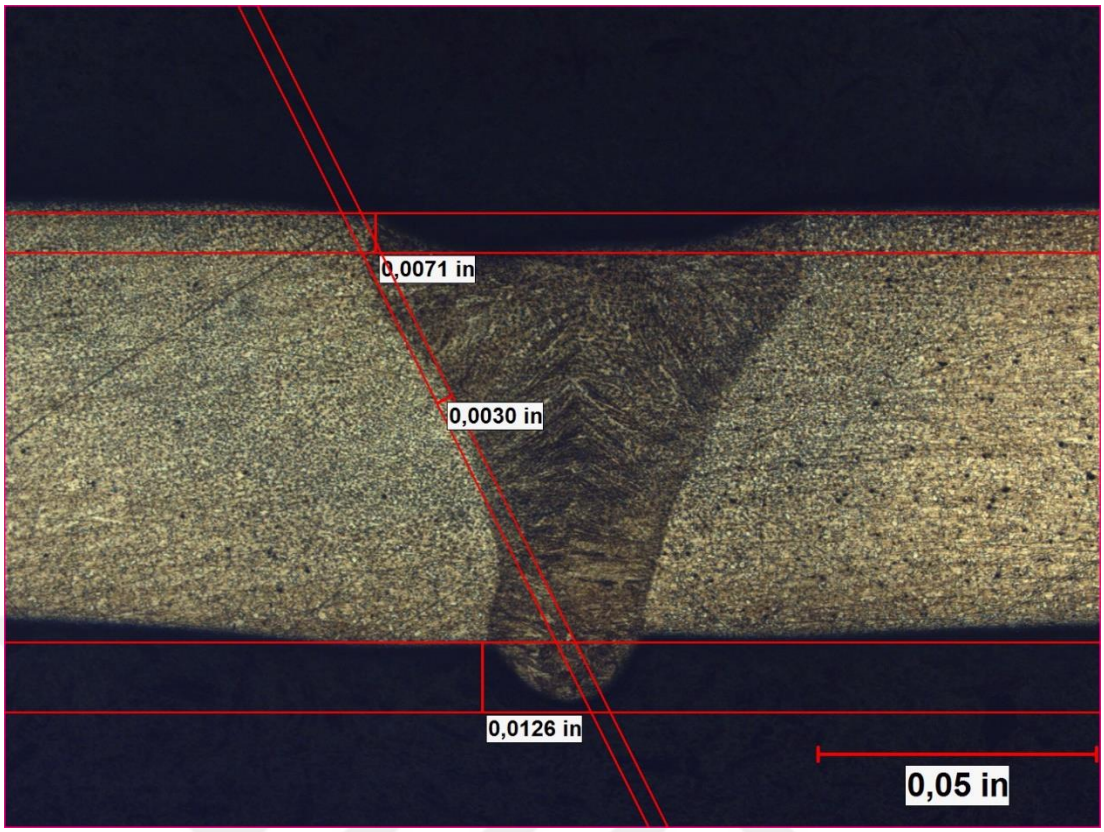
Şekil A.24: Numune 24



Şekil A.25: Numune 25



Şekil A.26: Numune 26



Şekil A.27: Numune 27

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Barış BÖYÜKER

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 04.11.1991 / İZMİR

E-posta **:** barisboyuker@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İmalat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2015-2017, Dalgakıran Kompresör, Kalite Mühendisi
- 2017-, Tusaş Motor Sanayi (TEI), İmalat Mühendisi