

**T.C.**  
**İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TİTANYUM KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE**  
**ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Murat SÖNMEZ**

**Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı**

**HAZİRAN 2019**

**T.C.**  
**İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TİTANYUM KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE**  
**ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Murat SÖNMEZ**

**(161202002)**

**Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Polat TOPUZ**

**HAZİRAN 2019**



T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz Savunma Teknolojileri Yüksek Lisans Programı 161202002 numaralı öğrencisi **Murat SÖNMEZ**'in "TİTANYUM KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 20/05/2019 tarih ve 2019/09 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *g. b. l. g. i.* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak **KABUL** edilmiştir.

**Öğretim Üyesi Adı Soyadı**

**İmzası**

Tez Savunma Tarihi : *26.06.2019*

1) Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Polat TOPUZ

2) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Savaş DİLİBAL

3) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BİLİCİ

*[Signature]*

*[Signature]*

**Not:** Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “TİTANYUM KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (26/06/2019)

Murat SÖNMEZ



## ÖNSÖZ

"Yeni nesil, en büyük Cumhuriyetçilik dersini bugünkü öğretmenler topluluğundan ve onların yetiştirecekleri öğretmenlerden alacaktır."

M. Kemal ATATÜRK

Bu çalışmada emeği geçen tüm kıymetli öğretmenlerime, sevgili arkadaşlarıma ve hayattaki en önemli varlığım olan aileme sonsuz teşekkürler.

Haziran 2019

Murat SÖNMEZ  
Kaynak Mühendisi

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>İV</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>V</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Çalışma Konusu .....	1
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.3 Hipotez .....	1
<b>2. TİTANYUM KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ</b> .....	<b>3</b>
2.1 Kaynağın Tarihçesi .....	3
2.2 Kaynak Yöntemleri .....	4
2.2.1 Oksi-gaz kaynak yöntemi.....	4
2.2.2 Elektrik ark kaynak yöntemi .....	5
2.2.3 MIG-MAG kaynak yöntemi.....	8
2.2.4 TIG kaynağı .....	10
2.2.4.1 TIG kaynak yönteminin tanımı .....	10
2.2.4.2 TIG kaynak donanımı .....	12
2.2.4.3 Tungsten elektrotların şekillendirilmesi.....	16
2.2.4.4 TIG kaynağında torç ve ilave metalin açısı.....	17
2.2.4.5 TIG kaynağında kaynak yönü ve ark boyu .....	18
2.2.4.6 TIG kaynağında amper ayarı.....	18
2.2.4.7 TIG kaynağında koruyucu gazlar .....	19
2.2.4.8 Koruyucu gaz debisinin ayarlanması .....	21
2.2.4.9 TIG kaynağında kullanılan koruyucu ekipmanlar .....	21
2.2.4.10 TIG Kaynak Hataları .....	22
2.3 Titanyum ve Özellikleri .....	24
2.3.1 Titanyumun tanımı .....	24
2.3.2 Titanyumun tarihçesi.....	24
2.3.3 Titanyumun kullanım alanları .....	26
2.3.3.1 Titanyumun uzay ve havacılık alanında kullanımı .....	27
2.3.3.2 Titanyumun askeri alanında kullanımı.....	28
2.3.3.3 Titanyumun tıbbi alanında kullanımı .....	28
2.3.3.4 Titanyumun okyanus mühendisliğinde kullanımı .....	29
2.3.3.5 Titanyumun spor alanında kullanımı .....	29
2.3.3.6 Titanyumun moda ve tekstil alanında kullanımı .....	30
2.3.4 Titanyumun kaynaklanabilirliği .....	31
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>33</b>
3.1 Deneysel Çalışmanın Amacı .....	33
3.2 Malzeme Seçimi ve Kaynak İşlemine Hazırlık.....	33

3.3 Kaynak İşleminde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar .....	34
3.4 Kaynak İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi .....	36
3.5 Numunelere Uygulanan Testler .....	37
3.5.1 Eğme testi .....	38
3.5.2 Çekme testi .....	40
3.5.3 Mikro ve makro yapı incelemeleri .....	41
3.5.4 Sertlik testleri .....	42
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>44</b>
4.1 Eğme Deneylerinin Sonuçları (TS EN ISO 5173) .....	44
4.2 Çekme Deneylerinin Sonuçları (TS EN ISO 4136) .....	45
4.3 Mikro ve Makro Yapı İncelemelerinin Sonuçları (TS EN ISO 17639) .....	47
4.4 Sertlik Testlerinin Sonuçları (TS EN ISO 9015-2) .....	51
4.5 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler .....	52
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>55</b>

## **KISALTMALAR**

<b>A</b>	: Amper
<b>AC</b>	: Alternatif Akım
<b>Ar</b>	: Argon
<b>CC</b>	: Sabit Akım
<b>CV</b>	: Sabit Voltaj
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>EN</b>	: Avrupa Normu
<b>He</b>	: Helyum
<b>HF</b>	: Hafniyum
<b>HNO<sub>3</sub></b>	: Nitrik asit
<b>hPa</b>	: Hektopaskal
<b>HV</b>	: Vickers Sertlik
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>ISO</b>	: Uluslararası Standart Organizasyonu
<b>ITAB</b>	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
<b>MAG</b>	: Metal Aktif Gaz
<b>MIG</b>	: Metal İnert Gaz
<b>TIG</b>	: Tungsten İnert Gaz
<b>TS</b>	: Türk Standartları

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Tungsten Elektrotların Karakteristik Özellikleri.....	15
Çizelge 3.1: Kaynak Parametreleri .....	35
Çizelge 3.2: Sertlik Sonuçları .....	43
Çizelge 4.1: Eğme Test Sonuçları .....	46
Çizelge 4.2: Çekme Test Sonuçları .....	48

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Oksi-Asetilen Sistemi.....	5
Şekil 2.2 : Elektrotlar ve Pense.....	6
Şekil 2.3 : Rutil Elektrot.....	7
Şekil 2.4 : Selülozik Elektrot.....	8
Şekil 2.5 : Bazik Elektrot.....	8
Şekil 2.6 : MIG-MAG Kaynak Makinesi.....	9
Şekil 2.7 : MIG-MAG Kaynak Torcu.....	9
Şekil 2.8 : MIG-MAG Kaynak Teli.....	10
Şekil 2.9 : TIG Kaynak Yöntemi.....	11
Şekil 2.10: TIG Kaynağında Akım ve Kutup Etkisi.....	11
Şekil 2.11: TIG Kaynak Makinesi Kontrol Paneli.....	12
Şekil 2.12: TIG Kaynak Torç Parçaları.....	13
Şekil 2.13: Collet.....	14
Şekil 2.14: Collet Body.....	14
Şekil 2.15: Cap.....	14
Şekil 2.16: Seramik Nozul.....	14
Şekil 2.17: Tungsten Elektrot İçin Renk Kodları.....	15
Şekil 2.18: Tungsten Elektrot Bileme Makinesi.....	16
Şekil 2.19: Tungsten Elektrot Bileme Yönü.....	16
Şekil 2.20: Tungsten Elektrot.....	17
Şekil 2.21: TIG Kaynağında Torç ve İlave Telin Tutuş Açısı.....	17
Şekil 2.22: TIG Kaynağında Kaynak Yönü ve Ark Boyu.....	18
Şekil 2.23: Gaz Tüpleri ve Renk Kodlarının Gösterimi.....	19
Şekil 2.24: He ve Ar Gazlarının Kaynak Dikişi Üzerindeki Etkisi.....	20
Şekil 2.25: Koruyucu Gaz Debisi Seçimi.....	21
Şekil 2.26: TIG Kaynak Maskesi.....	21
Şekil 2.27: TIG Kaynak Eldiveni.....	22
Şekil 2.28: TIG Kaynak Önlüğü.....	22
Şekil 2.29: TIG Kaynağında Gaz Hataları.....	22
Şekil 2.30: TIG Kaynağında Tungsten Uç Hataları.....	23
Şekil 2.31: TIG Kaynağında Torç Açısı Hataları.....	23
Şekil 2.32: TIG Kaynağında Paso Hataları.....	23
Şekil 2.33: Titanyum Cevheri.....	24
Şekil 2.34: DC-7 Douglas Afişi.....	25
Şekil 2.35: Uçaklarda Titanyum Kullanımı.....	27
Şekil 2.36: Lockheed SR-71 Backbird.....	28
Şekil 2.37: 3D Yazıcı Üretimi Titanyum Göğüs Kafesi.....	29
Şekil 2.38: Titanyum Saat.....	30
Şekil 3.1 : Saf Titanyuma ait Sertifika Bilgileri.....	33
Şekil 3.2 : Aseton ile Temizlenen Ana Parçalar ve İlave Tel.....	34
Şekil 3.3 : Gedik Marka Matrix 2200 AC/DC TIG Kaynak Makinesi.....	34

Şekil 3.4 : Kök Koruma Gazı için Yapılan Altlık .....	35
Şekil 3.5 : Torç İçine Takılan Koruyucu Filtre .....	36
Şekil 3.6 : 40 Amperde Kaynak Yapılan 'A' Parçası .....	36
Şekil 3.7 : 60 Amperde Kaynak Yapılan 'B' Parçası .....	37
Şekil 3.8 : 80 Amperde Kaynak Yapılan 'C' Parçası .....	37
Şekil 3.9 : Test için Hazırlanan Parçalar .....	38
Şekil 3.10: Eğme Testi için Parça Numunesi .....	38
Şekil 3.11: Mohr&Federhaff Marka Eğme/Çekme Test Cihazı.....	39
Şekil 3.12: Parçaların Eğme Testinden Sonraki Görüntüleri.....	39
Şekil 3.13: Zwick Marka Çekme Test Cihazı.....	40
Şekil 3.14: Çekme Testi Numunesi .....	40
Şekil 3.15: Çekme Testinden Sonra Parçalar .....	41
Şekil 3.16: Metalografik Numune Hazırlama Cihazı (Döner Disk).....	41
Şekil 3.17: Mikro ve Makro Yapı İncelemelerinde Kullanılan Numuneler .....	42
Şekil 3.18: Görüntü Analiz Sistemi .....	42
Şekil 3.19: Vickers Mikro Sertlik Cihazı .....	42
Şekil 3.20: Parça Test Noktaları .....	43
Şekil 4.1 : 'A' Parçasının Eğme Testinden Sonraki Görüntüsü.....	45
Şekil 4.2 : 'B' Parçasının Eğme Testinden Sonraki Görüntüsü.....	45
Şekil 4.3 : 'C' Parçasının Eğme Testinden Sonraki Görüntüsü.....	46
Şekil 4.4 : 'A' Parçası Çekme Test Sonucu Görünümü.....	47
Şekil 4.5 : 'B' Parçası Çekme Test Sonucu Görünümü.....	47
Şekil 4.6 : 'C' Parçası Çekme Test Sonucu Görünümü.....	47
Şekil 4.7 : 'A' Parçası Makroskobik Görüntüsü .....	48
Şekil 4.8 : 'B' Parçası Makroskobik Görüntüsü .....	48
Şekil 4.9 : 'C' Parçası Makroskobik Görüntüsü .....	48
Şekil 4.10: 'A' Numunesine ait Ana Malzeme Yapısı .....	49
Şekil 4.11: 'A' Numunesine ait Kaynak Yapısı.....	49
Şekil 4.12: 'A' Numunesine ait HAZ Yapısı.....	49
Şekil 4.13: 'B' Numunesine ait Ana Malzeme Yapısı.....	50
Şekil 4.14: 'B' Numunesine ait Kaynak Yapısı.....	50
Şekil 4.15: 'B' Numunesine ait HAZ Yapısı .....	50
Şekil 4.16: 'C' Numunesine ait Ana Malzeme Yapısı.....	51
Şekil 4.17: 'C' Numunesine ait Kaynak Yapısı.....	51
Şekil 4.18: 'C' Numunesine ait HAZ Yapısı .....	51
Şekil 4.19: 'A' Parçasına ait Sertlik Değişimini Gösteren Grafik .....	52
Şekil 4.20: 'B' Parçasına ait Sertlik Değişimini Gösteren Grafik .....	52
Şekil 4.21: 'C' Parçasına ait Sertlik Değişimini Gösteren Grafik .....	53



## TİTANYUM KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

### ÖZET

Kaynak teknolojisinin tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Tarih öncesi yapılan kaynak işlemleri genellikle aksesuar ve savaş malzemesi yapmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Kaynak; malzemelerin birleştirilmesi, tamir edilmesi veya dolgu yapılması için kullanılır. Kaynak yöntemleri kaynağın yapılış amacına, kullanılan ekipmana ve kaynak yapılacak malzemeye göre değişiklik gösterir. En çok kullanılan kaynak yöntemleri; elektrik ark kaynağı, oksii-asetilen kaynağı, MIG/MAG kaynağı ve TIG kaynağıdır.

Oksijen kaynağı veya gaz kaynağı olarak adlandırılan yöntem oksijen ve yanıcı gaz karışımı ile yapılan bir kaynak yöntemidir. Genellikle yüksek verimli olduğu için karışım gaz olarak asetilen kullanılır. Bu yöntem oksii-asetilen kaynağı denir. Gaz aleviyle oluşan ısının, malzeme ve ilave metale etkisi ile malzemeler birleştirilir. Yanıcı gaz olarak kullanılan asetilen, kaynak gazı karıştırma sisteminde oksijen ile uygun oranda karıştırıldığında, ortaya çıkan alev, yaklaşık olarak 3150-3200 °C arasında olur. Bu alev sayesinde, dökme demir, çelik, bakır ve alüminyum gibi ticari metallere herhangi birini birleştirmek mümkün olmaktadır. Eğer, ilave metal kullanılırsa, birleştirme ilk halinden daha da güçlü hale getirilir.

Korumalı metal ark kaynağı veya elektrot kaynağı, elektrot çubukları ısıtarak ergimiş metalleri karıştıran ve birleştiren bir süreçtir. Elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan elektriksel kısa devreye kaynak arki denir. Elektrotun dış kaplaması, ark oluşturulurken, kaynak bölgesini olumsuz dış etkenlerden korumak için cüruf oluşumu sağlar. Kaynak dolgu metalinin büyük bir kısmını elektrot çekirdek sağlar, ve iş parçası boyunca kararlı bir şekilde hareket ettirilirse, kaynak dikişi, düzgün katmanlar halinde oluşur. Kaynak makinesi, kaynak yapmak için gerekli enerjiyi üreten, bir çeşit güç kaynağıdır ve alternatif akımla (AC) veya doğru akımla (DC) çalışan çeşitleri vardır. En iyi kaynaklı birleştirmeler, genellikle doğru akım kullanıldığında elde edilmektedir.

Kaynak makinelerinde, güç, voltaj ve akım değerlerini bilmek önemlidir. Elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark, elektrotun çapına göre belirlenir. Arkın boyutunu ayarlamak için ise, voltaj değeri ayarlanmalıdır. Akım ise, elektrot çapı, parça boyutu ve kaynak konumuna bağlı olarak değiştirilebilen ve amper (A) ile ölçülebilen bir değerdir. İnce parçalar kalın parçalardan daha az akım değerine ihtiyaç duyar. Küçük çaplı bir elektrot, büyük çaplı olandan daha az akım değeri gerektirir. Düz veya yatay pozisyonda kaynak yapılması, kaynak kalitesi ve uygulama için daha iyi sonuçlar verir. Ancak, dikey veya tavan kaynağı yapılırken, pozisyona bağlı olarak, amper değerini azaltmak gerekir.

MIG veya MAG bir çeşit ark kaynağı yöntemidir. Bu yöntemde, kaynak teli otomatik olarak sisteme girmektedir. Ayrıca sisteme devamlı olarak koruyucu gaz da

verilmektedir. Kaynakçı tarafından belirlenen akım değeri sabit kalmak koşulu ile, kaynak makinesi, ilave teli sürekli olarak kaynak bölgesine iletir. Kaynakçı tarafından özellikle dikkat edilmesi gereken kontroller ise; otomatik çalışma için torç konumlandırma, rehberlik ve kaynak hızıdır. Ark uzunluğu ve tel besleme hızı otomatik olarak korunur. Torç ve kablo düzeneği üç görevi gerçekleştirir. Bunlar; kaynak ve ark bölgeleri için koruyucu gaz iletimi, sarf malzemelerin devamlılığının sağlanması ve elektroda akım memesi vasıtası ile elektrik enerjisinin iletilmesidir. Torç tetiğine basıldığında, gaz, güç ve elektrot eş zamanlı olarak çalışmaya başlar ve ark oluşturulur. Tel besleme ünitesi ve güç kaynağı, kararlı bir şekilde arkın devamlılığını sağlar. Bu kararlılığı sağlamak için sabit voltaj (CV) değeri gerekmektedir. Temel olarak, kaynakçı ark boyunu ne kadar değiştirirse değiştirsin, akım büyük oranda değişmesine rağmen voltajdaki değişme kısmen daha az olur. Bununla birlikte, bazı MIG veya MAG makineleri sabit akım da (CC) kullanabilmektedir.

Tungsten İner Gaz (TIG) kaynağı olarak bilinen TIG kaynağı, ergimeyen bir tungsten elektrot ve kaynak yapılacak parça arasında bir gaz koruması altında elektrik arkı üretilerek yapılan bir kaynak sürecidir. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB), erimiş metal ve tungsten elektrodun tamamı, korumalı TIG torcundan beslenen bir koruyucu gaz ile atmosferik etkilerden korunur. Böylelikle, kaynak yapısı dış etkenlerden korunmuş olur. Koruyucu gaz (genellikle argon), kaynak metalini kimyasal olarak etkilemeyen veya reaksiyona girmeyen bir gazdır. Argon'un yanı sıra, azot ve helyum'da koruyucu gaz olarak kullanılabilir. Koruyucu gazlar aynı zamanda, kaynakçının görüş açısını kısıtlamayan şeffaf gazlardır. TIG yönteminde, 19426 °C'ye kadar ısı açığa çıkabilir. Burada Torcun işlevi, ısının iş parçasına iletilmesidir. Kaynak yaparken ilave tel biter ise, oksitlenen kaynağındaki gibi elle besleme yapılabilir. TIG yöntemi, titanyum, alüminyum, magnezyum, bakır, pirinç ve bronzun yanı sıra, çelik, paslanmaz çelik, nikel alaşımlarının kaynağını yapmak için de kullanılır. Ayrıca, bu yöntem ile birbirinin benzeri olmayan metallerin de birbirine birleştirilmesi de mümkündür.

Kimyasal gösterimi Ti ve atom numarası 22 olan Titanyum, periyodik cetvelin 4. grubunda yer alan, oldukça sert, gümüşsü beyaz ve parlak bir elementtir. Yoğunluğu 4,51 g/cm<sup>3</sup>, ergime derecesi 1660 °C ve kaynama noktası 3287 °C'dir. Metalik hali, kuvars kristalini çizebilecek kadar serttir. Nadir bir element olarak bilinen titanyum, aslında yer kabuğunda en fazla bulunan 9. elementtir. Cevher dağılımının seyrek olması ve cevherinden titanyum elde edilmesinin zor olması, onu pahalı bir metal yapmaktadır. Titanyum, üstün özelliklerine ve maden olarak bolca bulunmasına karşın, yapısal metaller arasında ticari kullanım bakımından en yeni metaldir. Atmosferik korozyona karşı bütün metaller arasında en yüksek korozyon direncine sahip, çelikten daha mukavemetli ve neredeyse bütün kimyasal etkilere karşı dayanıklı bir metal olan titanyum, uçak, uzay, medikal ve daha birçok alanda aranan bir malzemedir. Titanyum, doğada saf halde bulunmayıp, bir takım minerallerin içerisinde bulunmaktadır. Bunların en yaygın olanları, titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), ilmenit (FeTiO<sub>3</sub>) ve titanittir (CaTiSiO<sub>5</sub>).

Titanyumunun ticari üretimi ilk olarak, 1952'de ilk uçuşunu gerçekleştirmiş olan DC-7 tipi uçağın motor kısmındaki yanma odasında ve kanatlarda bulunan motor birleşim yeri için kullanılmasıdır. 1970'li yıllarda döküm yoluyla üretilmeye başlayan titanyum ve alaşımları, gelişen teknoloji ile birlikte pek çok endüstri dalında kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, kompresörlerin disklerinde, ticari uçakların çeşitli gövde kısımlarında ve jet motorlarının pervanelerinde bulunan

kanatlarda kullanılmıştır. Günümüzde, uzay endüstrisinde vaz geçilmez bir malzeme olan titanyum ve alaşımları, genel ticari endüstrisinde %30 ila %35, uzay endüstrisinin ise %60 ila %70 oranında kullanılmaktadır. Son yıllarda, ergime derecesinin ve hafifliğinin dikkate alınmasıyla beraber, Amerikan Ordusunda kullanılmak üzere geliştirilen silahların yapımında, titanyumun özellikle nikel ve kobalt ile oluşturduğu alaşımları kullanılmaya başlanmıştır.

Titanyumu kaynak edebilmek için genel olarak 5 yöntem bulunmaktadır. Bunlar TIG, gazaltı kaynağı, elektron ışın kaynağı, plazma ark ve lazer kaynağıdır. Bununla beraber, kalın kesitli titanyum parçaların elektro-slag kaynak yöntemiyle birleştirilmesi denenmiş, fakat bazı sınırlamalar nedeniyle kısmi başarı elde edilmiştir. Bu yöntemlerin içinde en yaygın olan TIG kaynağı için toryum ilaveli tungsten elektrot kullanılması tavsiye edilmektedir. Kaynak esnasında tungsten elektroda temastan kaçınılmasına dikkat edilmelidir. Kalın kesitli parçaların kaynağında, TIG kaynağına alternatif olarak MIG kaynağı da kullanılabilir, fakat kaynak dikişinin daha geniş olması kaçınılmazdır. Hangi yöntem olursa olsun, titanyum kaynağında, kendi özellikleriyle eşleşen dolgu teli kullanılmalıdır.

İyi bir kaynak dikişi elde etmek için, birleştirilecek parçalarının birleşim yerleri ve bunların her iki tarafından en az 25 mm mesafedeki kısımları, büyük titizlik ve dikkatle temizlenmelidir. Temizlik yeterince yapılmaz ise, kaynak bölgesinde kalın bir oksit tabakası meydana gelir. Ayrıca, kaynak işlemi öncesi, parçaların yüzeyinde, talaşlı işlemeden sonra kalmış yağ, kir vb.'den muhakkak arındırılmalıdır. Bu temizlik, buhar uygulaması, alkali temizlemesi, solvent temizlemesiyle yapılabilir. solvent buharı temizlemesinde klorürlü solventler yerine tolüen tercih edilmelidir, şöyle ki klorürlü artıklar (ve silikatlı artıklar da), titanyumun kaynak dikişinde çatlamalara yol açabilirler. Kullanılan solventler, metil etil keton, tolüen, aseton ve klorürsüz solventlerdir. Özellikle metil alkol, gerilme korozyonuna yol açabildiğinden dolayı, havacılık ve uzay sektörlerinde kullanımı yasaklanmıştır. Temizlik aşamasında ayrıca, temizliği yapan kişinin plastik eldiven kullanması ve solvent temizlemede kullanılan bezin iplik bırakmayan cinsten olması önem arz etmektedir. Titanyum üzerinde bulunan oksit tabakası, 535 °C'den düşük sıcaklıklarda oluşabilecek korozyonlara karşı iyi bir şekilde dayanım sağlar. Fakat bu sıcaklığın üzerinde oksit tabakası parçalanır ve C, N ve H atomları malzemeyi gevrekleştirir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, saf titanyum malzemenin, TIG kaynak metodu ile farklı parametreler kullanarak birleştirilmesi ve sonuçta en optimum kaynak parametresinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Aynı boyut ve özellikteki plakaların, aynı ortam koşullarında, 3 farklı amper değeri kullanılarak, ilk gaz, son gaz, gaz debisi, kaynak hızı, kullanılan ekipman ve ilave tel aynı kalmak suretiyle kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaynakla birleştirilen bu plakalardan elde edilen numunelerin, standartlara göre çekme, eğme, mikro yapı incelemesi, makro yapı incelemesi ve sertlik testleri gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak en uygun parametre belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Kaynak, TIG, Saf Titanyum, Kaynak Parametreleri*

## **TITANIUM WELDING AND INVESTIGATION OF EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES**

### **ABSTRACT**

The history of welding technology goes back to ancient times. Prehistoric welding processes have generally arisen to make accessories and war material. Welding; It is used for joining, repairing or filling of materials. The welding methods vary according to the purpose of the welding, the equipment used and the material to be welded. The most commonly used welding methods are; electric arc welding, oxy-acetylene welding, MIG / MAG welding and TIG welding.

The so-called oxygen welding or gas welding is a welding process with a mixture of oxygen and shielding gas. Acetylene is generally used as a mixture gas because it is highly efficient. This method is called the oxy-acetylene welding. The materials are joined with the effect of heat generated by the gas flame on the material and the filler metal. When acetylene, which is used as a flammable gas, is mixed with oxygen in the welding gas mixing system with the appropriate ratio, the resulting flame is between approximately 3150-3200 °C. Owing to this flame, it is possible to joining any of the commercial metals such as cast iron, steel, copper and aluminum. If filler metal is used, the joint is made stronger than the initial state.

Shielded metal arc welding or electrode welding is a process that mixes and combines molten metals by heating electrode rods. An electrical short circuit between the electrode and the workpiece is called the welding arc. The outer coating of the electrode provides slag formation to protect the welding zone from adverse external influences when the arc is formed. The electrode core provides a large part of the weld filler metal, and if it is stably moved along the workpiece, the weld seam is formed in smooth layers. A welding machine is a kind of power source that generates the energy required for welding, and there are variants operating with alternating current (AC) or linear current (DC). The best welded joints are usually obtained when direct current is used.

In welding machines, it is important to know the power, voltage and current values. The arc formed between the electrode and the workpiece is determined by the diameter of the electrode. To adjust the arc size, the voltage value must be set. The current is a value that can be varied depending on the electrode diameter, part size and welding position and can be measured in ampere (A). Thin parts require less current than thick ones. A small diameter electrode requires less current than the larger diameter. Welding in flat or horizontal position gives better results for welding quality and application. However, when performing vertical or ceiling welding, it is necessary to reduce the ampere value, depending on the position.

MIG or MAG is a kind of arc welding method. In this method, the welding wire enters the system automatically. In addition, the shielding gas is continuously supplied to the system. The welding machine continuously delivers the additional

wire to the welding zone, provided that the current value determined by the welder remains constant. The controls that should be paid special attention by the welder; The torch for automatic operation is positioning, guidance and welding speed. The arc length and wire feed speed are maintained automatically. The torch and cable assembly perform three tasks. These; shielding gas transmission for welding and arc zones, ensuring the continuity of consumables and transmitting electrical energy to the electrode via the current nozzle. When the torch trigger is pressed, the gas, power and electrode start simultaneously and the arc is formed. The wire feeder and power supply ensure stable arc continuity. To achieve this stability, a constant voltage (CV) value is required. Basically, no matter how much the welder changes the arc length, the change in voltage is partially less, although the current varies greatly. However, some MIG or MAG machines can also use constant current (CC).

TIG welding, known as Tungsten Inert Gas (TIG) welding, is a welding process by producing an electric arc between a non-melting tungsten electrode and the workpiece under gas protection. The heat-affected zone (ITAB), the molten metal and the tungsten electrode are all protected from atmospheric influences by a shielding gas supplied from the shielded TIG torch. Thus, the welding structure is protected from external factors. The shielding gas (usually argon) is a gas that does not chemically affect or react to the weld metal. Besides argon, nitrogen and helium can also be used as protective gas. Shielding gases are also transparent gases that do not limit the viewing angle of the welder. In the TIG process, heat can be released up to 19426 ° C. The function of the torch here is the transfer of heat to the workpiece. If additional wire ends when welding, manual feeding can be done as in oxy-acetylene welding. The TIG method is used for welding titanium, aluminum, magnesium, copper, brass and bronze as well as steel, stainless steel, nickel alloys. It is also possible to joint unique metals with this method.

Titanium, which chemical representation is Ti and atomic number 22, is a very hard, silvery white and bright element in the 4th group of the periodic table. It has a density of 4.51 g / cm<sup>3</sup>, a melting point of 1660 °C and a boiling point of 3287 °C. Titanium, known as a rare element, is actually the 9th element found most in the earth's crust. The fact that ore distribution is sparse and titanium from ore is difficult to obtain makes it an expensive metal. Despite its superior properties and abundance as a mineral, titanium is the newest metal among structural metals for commercial use. Titanium, which has the highest corrosion resistance among all metals against atmospheric corrosion, is more durable than steel and resistant to almost all chemical effects, is a sought after material in aircraft, space, medical and many other fields. Titanium is not found in nature in pure form and is present in a number of minerals. The most common are titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>), ilmenite (FeTiO<sub>3</sub>) and titanite (CaTiSiO<sub>5</sub>).

Commercial production of titanium was first used in the combustion chamber in the engine compartment of the DC-7 type aircraft, which made its first flight in 1952, and for the engine junction in the wings. Titanium and its alloys, which started to be produced by casting in 1970s, started to be used in many industries with the developing technology. In particular, it has been used in the discs of compressors, in various fuselage parts of commercial airplanes and in propellers of jet engines. Today, titanium and its alloys, which are an indispensable material in the space industry, are used between 30% and 35% in the general commercial industry and 60% to 70% of the space industry. In recent years, considering the degree of melting

and lightness, the alloys of titanium, especially nickel and cobalt, have been used in the construction of weapons developed for use in the US Army.

There are generally 5 methods for welding titanium. These are TIG, arc welding, electron beam welding, plasma arc welding and laser welding. However, it has been tried to combine thick-section titanium parts with electro-slag welding method, but partial success has been achieved due to some limitations. Thorium added tungsten electrodes are recommended for TIG welding, which is the most common of these methods. Care must be taken to avoid contact with the tungsten electrode during welding. MIG welding can also be used as an alternative to TIG welding, but it is inevitable that the weld seam is wider. Regardless of the method, filler wire that matches their properties must be used for the titanium welding.

In order to obtain a good weld seam, the joints of the parts to be joined and sections of at least 25 mm from both sides must be cleaned with great care and attention. If the cleaning is not done sufficiently, a thick oxide layer forms in the welding zone. In addition, before welding, the surface of the parts must be cleaned of any oil, dirt, etc. left after machining. This cleaning can be done by steam application, alkali cleaning, solvent cleaning. Solvent vapor cleaning should be preferred to toluene instead of chlorinated solvents such that chlorinated residues (and silicate residues) can cause cracking of the weld seam of titanium. The solvents used are methyl ethyl ketone, toluene, acetone and chlorine-free solvents. In particular, methyl alcohol is prohibited for use in aerospace industries as it can cause tensile corrosion. During the cleaning step, it is also important that the cleaning person uses plastic gloves and that the swab used for solvent cleaning is of a yarn-free type. The oxide layer on the titanium material provides good resistance to corrosion that may occur at temperatures below 535 ° C. However, above this temperature, the oxide layer breaks down and the C, N and H atoms brittle the material.

In this master thesis, it is aimed to joining pure titanium material with different parameters using TIG welding method and to determine the optimum welding parameter. The welding process was carried out by using 3 different amperage values of the same size and properties under the same ambient conditions, with the first gas, last gas, gas flow rate, welding speed, equipment used and additional wire remaining the same. Tensile, bending, microstructural examination, macrostructural examination and hardness tests of the samples obtained from these plates joined by welding were performed according to the standards and the most suitable parameter was determined by comparing the obtained results.

**Keywords:** *Welding, TIG, Pure Titanium, Welding Parameters*

# **1. GİRİŞ**

## **1.1 Çalışma Konusu**

Günümüzde kullanılan malzemeler arasında gerek yapısal gerekse kullanılabilirlik amacıyla birçok mühendislik malzemesi vardır. Kullanılan bu malzemeler hayatımızı kolaylaştırmakta ve karşı koyamadığımız ilerleme duygusunu desteklemektedir. Bu çalışmada, özellikle havacılık, otomobil ve raylı sistemlerde kullanımı yaygın olan saf titanyum malzemenin kaynak edilebilirliği ve optimum kaynak parametrelerinin belirlenebilmesi için deneyler gerçekleştirilmiştir.

## **1.2 Tezin Amacı**

Saf titanyumun kaynakla birleştirilmesi için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiş olup farklı kaynak yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemlerden birisi olan Tungsten Inert Gas (TIG) kaynağı bu çalışmada 3 farklı parametrede gerçekleştirilmiştir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında, saf titanyumun farklı parametreler kullanılarak TIG kaynağıyla birleştirilmesi amaçlanmış, yapılan deneyler sonucunda, standartlara uygun şekilde gerçekleştirilen muayenelerin (çekme testi, eğme testi, sertlik testi, mikro ve makro yapı inceleme) verileri ışığında en uygun parametrede saf titanyumun kaynak edilebilirliği hakkında kanaate varılmıştır.

## **1.3 Hipotez**

Genellikle havacılık ve uzay alanında kullanılan ve artık günümüzde takı ve mücevher olarak birçok alanda kullanılan titanyum malzemesinin önemi artmaktadır. Ülkemizde yapılan birçok uygulama arasından bu malzemenin kaynaklanabilirliği ve işlenmesinin zorluğunun farkına varılması sonucunda yapılan deneysel çalışmalarda seçilen malzeme boyutlarına ve özelliğine göre uygun parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu yüksek lisans bitirme tezinde de temel amaç, özellikle saf titanyumun kaynağında kullanılan TIG yönteminde en uygun parametrelerin belirlenebilmesidir. Aynı ebat, özellikteki saf titanyum plakalar, aynı ortam koşullarında, farklı TIG kaynağı



parametreleri kullanıldığında, birbirlerine göre farklı sonuçlar vermesi gerektiği kanaatinden yola çıkılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm deneysel çalışmaların tamamlanması sonucunda, farklı parametrelerin, saf titanyumun kaynağında farklı sonuçlar verdiği görülmüş ve en optimum koşulun hangisi olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır.



## 2. TİTANYUM KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

### 2.1 Kaynağın Tarihçesi

Metal birleştirme teknolojisinin büyük bir bölümü son yıllarda icat edilmiştir. Ancak bazıları, özellikle demir, lehimleme ve lehimleme için dövme kaynağı çok uzun bir geçmişe sahiptir. Altının lehim ile birleştirilmesi ve çekiçle kaynaklanması Bronz Çağında biliniyormuş gibi görünse de çoğunlukla süs yapımında kullanılmıştır. Kaynak, demir kullanımının yaygınlaşması nedeniyle, ekonomik önemi olan bir teknik olarak gelişmiştir. Çelik Roma dönemi ve Orta Çağ boyunca oldukça pahalı bir malzemeydi. Bu nedenle, sert ya da keskin kenarın gerekli olduğu aletler sık sık, çelikten yapıma aletin kenarına ince bir çelik şerit döverek birleştirilmesi ve daha sonra sertleştirilmesi ve uygun dereceye kadar temperlenmesiyle yapılmıştır. Kaynak, özellikle sert ve keskin kılıçlar üretiminde etkin rol oynamıştır. Vikingler, ince demirleri karbürize ederek güçlü, sert kılıç ve bıçakları üretmiştir. Daha sonra uzunlamasına kaynaştırarak, tamamlanmış bir demir bıçağına karbon emdirerek elde edilenden çok daha iyi bir karbon dağılımı elde etmiştir. Orta Çağ boyunca üretilen diğer silahlar da kaynak ile üretilmiştir. Cıvatalar çelikle kaplanmış ve uçları kaynak tekniği ile tutturulmuştur. Toplar, kaynak yapılarak üretilmiş ve savunmada, zırh yapımında ve demir noktalarının takviye edilmesinde kullanılan demir işlerinde kaynak kullanılmıştır (Lancaster, 2010).

Birinci Dünya Savaşından sonra kaynak teknolojisi oldukça yol almış ve tamir yöntemi olarak kullanılması ile birlikte, üretim aracı haline de gelmiştir. Kaynağın teknolojisinin en dikkat çeken bir uygulaması da, saldırıya uğrayan Alman gemilerinin tamirinde yapılmıştı. 1917 yılında başlayan denizaltı savaşlarında, Alman askeri birlikleri Amerikan limanlarında esir olarak bulunan Alman gemilerinin yok edilmelerini istemişlerdi. Bununla birlikte, bu gemilerin en azından 18 ila 24 aylık sürede tamire ihtiyaç duyacak şekilde saf dışı bırakılmaları idi. Zira bu gemilerin çoğunda tamir edilmesi oldukça güç yaralar açılmıştı. Bütün olumsuzluklara rağmen, kaynağın hızlı bir şekilde uygulanması ile 8 ay gibi kısa bir sürede, gemilerin

onarılması tamamlanmıştır. Avrupa'da patlak veren savaş söylentileri, 1939 yılında Amerikan endüstrisinde büyük ölçüde endişeye yol açmıştı. Bu durumun kaynak teknolojisi üzerindeki en önemli tesiri, talep azalmasından dolayı, gelişme hızını yavaşlatması olmuştur. Avrupa'daki söylentiler arttıkça, Amerikan sanayisi gelecek günler için hazırlığa başladı. Kaynak endüstrisine ilk başlarda az, daha sonraları da oldukça çok talep görülmeye başlandı. 1940 ila 1942 yılları arasında kaynak endüstrisi %350 artışla büyük bir kapasiteye ulaştı. Bu durum, geleceğin sadece küçük bir parçası idi. Artık kaynak teknolojisi en önemli ve en üstün bir birleştirme yöntemi haline gelmişti. Savaş sırasında metalden elde edilen bütün ürünler (gemi, tank, uçak ve silahlar) kaynaklı konstrüksiyon olarak yapılıyordu. Günümüz kaynak teknolojisinin gelişimi son 40 yıl içerisinde yapılan araştırmalar ve gelişmeler sonucu kaydedilmiştir. Bunların kaynağı genellikle uzay programı ve savunma planlarının sonucu doğan istekler olmuştur (Anık, 1991).

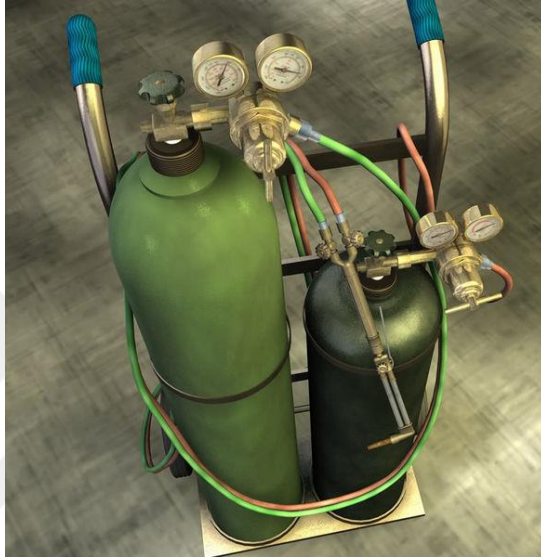
## **2.2 Kaynak Yöntemleri**

Kaynak teknolojisi tarih boyunca birçok gelişme kaydetmiştir. İlk kaynak bulguları mücevher işlemek için dövme yolu ile parçaların birbirine tutturulması ile oluşturulmuştur. Daha sonra teknolojik gelişmeler kaynak endüstrisinin gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Çeşitli gazların tutuşturulması ve bunların açığa çıkardığı ısı enerjisi metallerin ergime derecesine çıkacak derecede etkili olmuştur. Gazların yanı sıra elektrik enerjisinin kaynak teknolojisine entegre edilmesi ile günümüz popüler kaynak yöntemlerinin temelleri atılmıştır.

### **2.2.1 Oksi-gaz kaynak yöntemi**

Genellikle oksijen kaynağı veya gaz kaynağı olarak adlandırılan bu yöntem oksijen ve yanıcı gaz karışımı ile yapılan bir kaynak yöntemidir. Genellikle yüksek verimli olduğu için karışım gaz olarak asetilen kullanılır. Gaz alevi ile oluşan ısının malzemeye uygulanmasıyla metaller birleştirilir. Yanıcı gaz olarak asetilen, kaynak karıştırma sisteminde oksijen ile uygun oran ile karıştırıldığında ortaya çıkan alev, yaklaşık olarak 3.150-3.200 °C arasında çok sıcak bir alev üretir. Bu alevle ticari metallerden herhangi birini üretmek; döküm, çelik, bakır ve alüminyum, erimiş halde iki metal benzeri bir kaynaşmaya neden olur. Benzer nitelikteki ilave metal eklenirse, birleştirme ilk halinden daha da güçlü hale getirilir. Bu yöntemde oksi-asetilen kaynağı

denir. Oksi-gaz işlemleri ile kaynak yapılabilirdi gibi kesme işlemleri de yapılabilir. Kesme işlemleri, kaynağın tam tersidir. Oksi-gaz ile kesim yapabilmeyi mümkün hale getirmek üzere metali yeniden ısıtmak için asetilen ve oksijen kullanılır. Önceden ısıtılmış metal yakılarak kesim işlemleri yapılır. Bu yöntem ile yüksek sıcaklıklara çıkıldığından metallerin kesim işlemleri oldukça kolay bir şekilde gerçekleştirilir. Geleneksel olarak oksi-gaz ile yapılan uygulamaların başında lehimleme, kaynak, alevle sertleştirme, stres giderme, kesme ve bükme işlemleri yapılabilir (Bahatia, 2011). Oksi-asetilen sistemi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Oksi-Asetilen Sistemi (URL-1, 2018)

Oksi-asetilen kaynağı yapılabilmesi için gerekli alev, yanıcı asetilen gazı ile yakıcı oksijen gazının karıştırılması ile elde edilir. İki ayrı tüpten çekilen bu gazlar sistem üzerinde karıştırılır ve gaz hortumları ile alevin ayarlandığı ve tutuşturulmanın sağlandığı üflece iletilir. Burada kaynak alevi yumuşak, orta ve sert olarak 3 ayrı şekilde ayarlanabilir. Açık alev ile çalışıldığından tehlikeli bir yöntemdir. Gazların patlama riskine ve alevin tüplere ulaşmasını engellemek amacıyla emniyet ventilleri kullanılmalıdır.

### 2.2.2 Elektrik ark kaynak yöntemi

Korumalı metal ark kaynağı veya elektrot kaynağı, elektrot çubukları ısıtarak ergimiş metalleri karıştıran ve birleştiren bir süreçtir. Elektrot örtüsü ile kaplanmış bir metal çubuk elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan elektriksel kısa devreye kaynak arki denir. Arkın oluşturulmasında elektrot, dış kaplamaya yardımcı olur ve kaynak kirliliğinden korumak için koruyucu gaz ve cüruf kaplaması sağlar. Elektrot çekirdek,

kaynak dolgu metalinin büyük bir kısmını sağlar. Elektrot, iş parçası boyunca sabit ve kararlı bir şekilde hareket ettiğinde, kaynak metali iyi bir katmanda toplanır. Kaynak makinesi, güç kaynağı olarak adlandırılır ve güç kaynağı sabit akım sağlar. Güç kaynağı olarak alternatif akım (AC) veya doğru akım (DC) makinesi kullanılabilir. Kullanılan elektroda bağlı olarak akım türü seçilir. En iyi kaynak karakteristikleri genellikle doğru akım kullanılarak elde edilir. Güç kaynakları bir kaynak devresindeki güç, voltaj ve akım olarak ölçülebilir. Voltaj, arkın boyutuna göre yönetilir. Elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan ark, elektrot çapından etkilenir. Akım, daha pratik bir ölçüdür. Bir kaynak devresindeki güç ve amper (A) cinsinden ölçülür. Kaynak işleminde çalışılması gereken amper değeri; elektrot çapına, kaynak yapılacak parçaların boyutuna, kalınlığına ve kaynağın konumuna bağlıdır. İnce parçalar kalın parçalardan daha az akım değerine ihtiyaç duyar. Küçük çapta bir elektrot, büyük çapta olandan daha az akım değeri gerektirir. Düz veya yatay pozisyonda kaynak yapılması, kaynak kalitesi ve uygulama için daha iyi sonuçlar verir. Ancak, dikey veya tavan kaynağı yapmak gerektiğinde pozisyona bağlı olarak yatay olarak kaynak yaparken kullanılan amper değerini azaltmak gerekir. En iyi kaynak elde etmek kısa bir ark devamlılığıyla elde edilir. Elektrodu sabit bir hızla hareket ettirmek ve ergiyen elektrodu kaynak bölgesine beslemek gerekir (Miller Welds, 2018). Elektrotlar ve pense Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2:** Elektrotlar ve Pense (URL-2, 2018)

Elektrik ark kaynağı yönteminde kullanılan elektrot seçimi genel olarak kullanılan malzeme cinsine, malzemenin çalışacağı ortama, malzeme kalınlığına ve uygulama alanına bağlı olarak belirlenir. Aşağıda elektrot çeşitlerinden en yaygın olarak kullanılanlar belirtilmiştir:

- Rutil elektrotlar
- Selülozik elektrotlar
- Bazik elektrotlar
- Paslanmaz çelik elektrotları
- Tamir bakım elektrotları
- Kesme ve ağız açma elektrotları

Rutil elektrotlar genel amaçlar çerçevesinde en yaygın olarak kullanılan elektrot tiplerindedir. İçeriğinde titanyum dioksit bulunmaktadır. Aksi belirtilmedikçe örtü tabakasının yapısını bozmamak ve elektroda zarar vermemek amacıyla kaynak makinesinin eksi (-) kutbuna bağlanmalıdır. Kaynakçı için uygulaması en kolay elektrot tipidir. Sıfır derecenin altındaki sıcaklıklarda dayanım sağlamaz. Demir doğrama, dekoratif ve ağır sanayide yaygın olarak kullanılır. Rutil elektrot Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.3:** Rutil Elektrot (URL-3, 2018)

Selülozik elektrotların yapısında selüloz bulunmaktadır. Genel olarak en fazla ısı açığa çıkaran örtü ve elektrot tipidir. Açığa çıkan ısı kaynak yapılan bölgeye fazlasıyla zarar verebileceğinden dikkatli kullanılması gerekmektedir. Özellikle boru hatlarında sıklıkla kullanılır. Kaynaklanacak malzemenin yapısına göre kök veya dolgu pasosunda kullanılabilir. Ergime gücü çok fazla olduğu için aksi belirtilmediği takdirde kök pasolarında eksi (-), dolgu pasolarında artı (+) kutupta kullanılması gerekmektedir. Elektrotun yapısında bulunan nemin kaynak kalitesini etkilediği için kaybedilmemesi gerekir. Selülozik elektrotlar kurutma fırınında kurutulmamalıdır. Selülozik elektrot Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Selüozik Elektrot (URL-4, 2018)

Bazik elektrotlar genellikle sıfır derecenin altındaki sıcaklıklarda çalışacak olan malzemelerin kaynağında kullanılır. Örtü yapısı gereği hidrojene olan ilgisi fazladır. Hidrojen atomu, kaynak bölgesinde başka bir hidrojen atomu ile birleşirse istenilmeyen çatlaklara neden olabilir. Bazik elektrotlar bu özelliği sebebi ile aksi belirtilmedikçe elektrot kurutma fırınlarında, elektrot özelliğine bağlı olarak kurutulmalıdır. Bazik elektrotların uygulaması diğer elektrot türlerine göre daha zordur. Aksi belirtilmedikçe elektrik ark makinesinde artı (+) kutupta kaynak yapılması tavsiye edilir. Bazik elektrot Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Bazik Elektrot (URL-5, 2018)

### 2.2.3 MIG-MAG kaynak yöntemi

MIG-MAG bir ark kaynağı prosesidir. Devamlı bir otomatik tel beslemeyi içeren ve harici olarak gaz ile korunan sarf malzemesi olan tel elektrodun kaynak metalinin beslenmesiyle oluşan yarı otomatik yöntemdir. Kaynakçı tarafından belirlenen akım gerilim değeri sabit olmak şartıyla, kaynak makinesi ilave teli sürekli olarak kaynak bölgesine iletir. Kaynakçı tarafından bizzat dikkat edilmesi gereken kontroller ise otomatik çalışma için torç konumlandırma, rehberlik ve kaynak hızıdır. Ark uzunluğu ve mevcut tel besleme hızı otomatik olarak korunur. Süreç kontrolü ve işlevi aşağıdaki üç ekipmanın temel elemanları aracılığıyla sağlanır:

1. Torç ve kablo aksamı
2. Tel besleme ünitesi
3. Güç kaynağı



Torç ve kablo düzeneği üç görevi gerçekleştirir. Bunlar kaynak bölgesine ve ark bölgesine koruyucu gaz, sarf malzemelerin devamlılığı ve elektroda akım memesi ile elektrik enerjisinin iletilmesidir. Torç tetiğine basıldığında gaz, güç ve elektrot eş zamanlı olarak çalışmaya başlar ve ark oluşturulur.

Tel besleme ünitesi ve güç kaynağı, arkın otomatik olarak kararlı bir şekilde devamlılığını sağlar. Bu kararlılığı sağlamak için kullanılan temel fikir sabit voltaj (CV) güç kaynağından oluşur. Temel mantık kaynakçı ark boyunu ne kadar değiştirirse değiştirsin, güç kaynağı karakteristiği gereği akım büyük oranda değişmesine rağmen voltajdaki değişme kısmen daha azdır. Bununla birlikte, bazı MIG-MAG makineleri sabit akım (CC) kullanabilir.

Güç kaynağı (karakteristik olarak volt amper eğrisi) artı ark voltaj kontrollü tel besleme birimidir. Bu ikinci kombinasyon ile güç kaynağı ark boyunun değişimine göre tel sürme hızını arttırıp akımı sabitlemiş olur ve gerilimi değiştirir (Lincoln Electric, 1997). MIG-MAG kaynak makinesi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

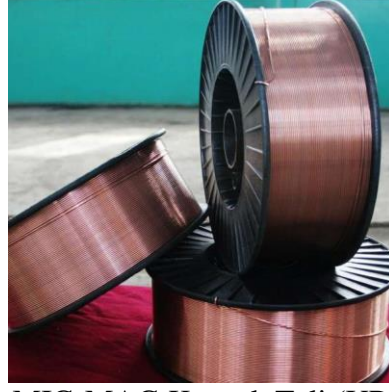


**Şekil 2.6:** MIG-MAG Kaynak Makinesi (URL-6, 2018)

MIG-MAG kaynak torcu Şekil 2.7'de ve MIG-MAG kaynak teli de Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.7:** MIG-MAG Kaynak Torcu (URL-7, 2018)



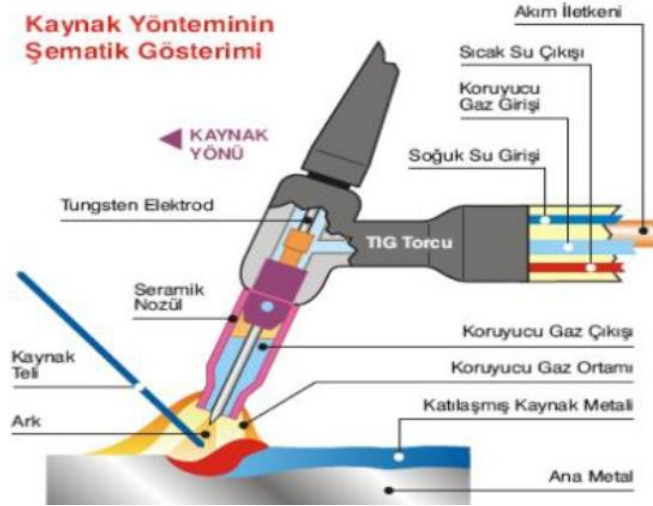
**Şekil 2.8:** MIG-MAG Kaynak Teli (URL-8, 2018)

Gazların kullanım amaçları kaynak banyosunu havanın olumsuz etkilerinden korumak, kararlı ark oluşumunu sağlamak ve kaynak metalini alaşımlandırmaktır (MAG kaynağı için). MIG-MAG kaynağı seri üretimde pratiklik, kullanım kolaylığı, maliyet göz önünde bulundurulduğunda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

## **2.2.4 TIG kaynağı**

### **2.2.4.1 TIG kaynak yönteminin tanımı**

Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı olarak bilinen TIG kaynağı, ergimeyen bir tungsten elektrot ve kaynak yapılacak parça arasında bir gaz koruması altında elektrik arkı üretilerek yapılan bir kaynak sürecidir. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB), erimiş metal ve tungsten elektrodun tamamı korumalı TIG torcundan beslenen bir inert gaz ile atmosferik kirlere korunur. İnerit gaz (genellikle argon) kaynak metalinde, aktif kimyasalda etkisiz veya reaksiyona girmeyen bir gazdır. Koruyucu gazın görevi kaynak bölgesini sarmak ve aktif havayı çevreleyen havayı dışarıda bırakmaktır. Argon gibi inert gazlar azot ve helyum, kimyasal olarak reaksiyona girmez veya diğer gazlarla birleşmez. Kaynakçıya görüş açısından oldukça avantaj sağlayan, koku yapmayan ve şeffaf gazlardır. Bazı durumlarda, kaynak hızını azaltmak için hidrojen gazı eklenebilir. TIG yöntemi 19.426 °C'ye kadar sıcaklık üretebilir. Torç, ısının yalnızca iş parçasına iletilmesinde katkıda bulunur. Kaynak yapmak için ilave metal gerekli ise oksitlenen kaynak yönteminde eklendiği gibi elle aynı şekilde ilave metal eklenebilir. TIG yöntemi titanyum, alüminyum, magnezyum, bakır, pirinç, bronz gibi çelik, paslanmaz çelik, nikel alaşımlarının kaynağını yapmak için kullanılır. TIG kaynak yöntemi ayrıca, benzer olmayan metalleri bakır, pirinç ve paslanmaz çelikten alaşımsız çeliğe kadar kaynak yapabilir (Miller Welds, 2018). TIG kaynak sistemi Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: TIG Kaynak Yöntemi (URL-9, 2018)

TIG kaynak yöntemi, diğer kaynak yöntemlerine göre daha çok tecrübe isteyen, hassas işçilik gerektiren ve gerekli koşullar sağlandığında mükemmel sonuçlar elde edilen bir yöntemdir. Mükemmel oksit temizleme özelliğinden ötürü metal dışı malzemelerin kaynağında çok kullanılır. Çelik malzemelerin kaynağında DC akım ile çalışmak gerekmektedir. Alüminyum gibi oksit tabakası olan malzemelerin kaynağında ise AC akım kullanılması tercih edilir. TIG kaynağında akım ve kutup etkisi Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

AKIM TİPİ	DCEN	DCEP	AC
ELEKTROT KUTUP	Negatif	Pozitif	Dengeli
ELEKTROT VE İYON AKIŞI			
NÜFUZİYET KARAKTERİSTİĞİ			
OKSİT TEMİZLEME	Hayır	Evet	Her yarım saykılada bir
ARKTA ISI DENGESİ	%70 iş parçasında %30 elektrodun ucunda	%30 iş parçasında %70 elektrodun ucunda	%50 iş parçasında %50 elektrodun ucunda
NÜFUZİYET	Derin-dar	Siğ-geniş	Orta
ELEKTROT DAYANIMI	Mükemmel 3.2 mm 400A	Zayıf 6.4 mm 120A	İyi 3.2mm 225A

Şekil 2.10: TIG Kaynağında Akım ve Kutup Etkisi (URL-10, 2018)

TIG kaynak yönteminin avantajları aşağıda verilmiştir.

- Dayanım ve kalite bakımından mükemmel dikişler elde edilebilir.
- ITAB çok dardır ve ısı girdisi çok azdır.

- Kaynak kabiliyeti kolay veya çok zor olan bütün metal ve alaşımlar kaynatılabilir.
- İnert gaz kullanılması sebebiyle oksidasyon sonucu alaşım elemanlarından kayıp söz konusu değildir.
- Açısal çarpılmalar ve distorsiyonlar azdır.
- Kaynak sonrası temizliğe gerek yoktur.
- Bütün pozisyonlarda kaynak yapılabilir.

TIG kaynak yönteminin dezavantajları da aşağıdaki gibidir.

- Tungsten ucun kaynak metaline değmesi ile kaynak metaline karışması.
- Oksit kalıntılarının oluşması.
- Gözenek oluşması.
- Yetersiz ergime.
- Uç kraterlerde çatlak oluşumuna zemin hazırlanması.
- Uygulama için tecrübe gereksinimi. (Gedik Eğitim Vakfı )

#### 2.2.4.2 TIG kaynak donanımı

TIG kaynak makinesi;

TIG kaynak makineleri sabit akımlı (CC) güç kaynaklarıdır. Kaynakçı ark boyu ile ne kadar oynarsa oynasın, gerilim değerinde büyük değişimler olmasına karşın akım değerinde kayda değer değişimler olmaz. Diğer kaynak makinelerine oranla donanım olarak daha küçüktür. Özellikle inverter tip makineler kartlı sistemler olduğu için daha hafif ve daha kararlıdır. TIG kaynak makinesi kontrol paneli Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11: TIG Kaynak Makinesi Kontrol Paneli (r-tech Welding, 2009)

- 1) Temel akım kontrolü: Bu kısımdan ana kaynak akımı ayarlanır ve makine ekranında akım değeri gösterilir.
- 2) Darbe tepe akımı ayarı: Darbe amperini ayarlar, baz (ana) akım amperi üstünde olmalıdır. Sıfır darbeleri akıma ayarlanmışsa devre dışı kalır.

- 3) Darbe frekans ayarı: Frekansın meydana geleceği sıklığı ayarlar (0,5-25 Hz).
- 4) Ana akım çıkış süresi: Tetiğe basıldığında ana akıma kaç saniyede çıkılacağını belirler.
- 5) Darbe genişliği ayarı: Darbe frekans uzunluğunu ayarlar (0,1 saniye).
- 6) Ana akım iniş süresi: Kaynak bitiminde tetik bırakıldığında ana akımın sıfıra kaç saniyede inileceğini belirler.
- 7) AC-DC seçici anahtarı: Bu anahtar çelikleri kaynatmak için DC'yi ya da metal dışı malzemeler için AC'yi seçer.
- 8) 2/4 anahtarı: Kaynakçı için tetik modunu seçmeye yarar.
- 9) Elektrik ark - TIG geçişi: İstenilen yöntemin seçilmesini belirler.
- 10) AC frekansın ayarı: Frekans değerinin belirlenmesini sağlar.
- 11) Led ekran: Seçilen ayarların ekrandan okunmasını sağlar.
- 12) Kaynak sonrası gaz: Kaynak bitiminden sonra koruma amaçlı gaz süresi.
- 13) AC kare frekans ayarı: Kare frekansı ayarlar.
- 14) Ark kuvveti: Elektrik ark kaynağında kullanılır.

TIG kaynak torcu;

TIG torcu, özel olarak tasarlanmış tungsten elektrot tutucusudur. Torç, çeşitli boylarda ve çaplarda tungsten elektrotları kolaylıkla kullanabilecek tarzda üretilir. Koruyucu gazın kaynak bölgesine yönlendirilmesini sağlar. Torçlar yüksek sıcaklıklara maruz kaldığı için soğutulması için havalı ya da su soğutmalı sistemleri bulunmaktadır. TIG kaynak torç parçaları Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.12:** TIG Kaynak Torç Parçaları (URL-11, 2018)

Şekil 2.13'teki Collet; akım üreticisinin ürettiği kaynak enerjisini tungsten elektroda aktarır ve ayrıca koruyucu gazın nozul içerisinde homojen şekilde dağılmasını sağlar.



**Şekil 2.13:** Collet (Gedik Eğitim Vakfı)

Collet body; tungsten elektroda kaynak enerjisinin iletilmesini sağlar. Ayrıca tungsten elektrodu sabitleyerek kaynak sırasında olası temaslar sonucunda hareket etmesini engeller. Collet body Şekil 2.14'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.14:** Collet Body (Gedik Eğitim Vakfı)

Cap; tungsten elektrodun torcun arka taraftan şase almasını engeller. Koruyucu gazın kaynak bölgesine iletilmesine yardımcı olur. Cap Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.15:** Cap (Gedik Eğitim Vakfı)

Seramik nozul; koruyucu gazın kaynak bölgesine homojen bir şekilde dağılmasını sağlar. Seramik nozul Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



**Şekil 2.16:** Seramik Nozul (Gedik Eğitim Vakfı)

TIG kaynak elektrotları;

TIG kaynak yönteminde tungsten elektrotların kullanılma nedeni genellikle yüksek sıcaklıklara (3.400 °C) dayanabilmesi, kararlı ve stabil bir ark başlangıcı sağlamasıdır. Tungsten elektrotlar için renk kodları Şekil 2.17'de gösterilmiştir. Üretimi, yüksek ergime derecesine sahip olduğu için toz metalürjisi yöntemi ile üretilir. Çeşitli boylarda ve çaplarda üretilebilirler. Farklı alaşım elementi içeren çeşitleri mevcuttur. Farklı alaşım elementi içeren elektrotların görünüşleri birbirine benzediği için belirli







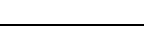


renklerle ayrılmış ve baş kısmına bu renkler eklenmiştir. Tungsten elektrotların karakteristik özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

TUNGSTEN ELEKTROT İÇİN RENK KODLARI				
Standart Gösterim		Kimyasal bileşimler		UÇ RENKLERİ
ISO 6848	AWS A5.12	OKSİT İLAVESİ	TUNGSTEN	
WT20	EWTh-2	ThO <sub>2</sub> : 1.70–2.20%	2% THORIATED	Kırmızı
WP	EWP	~~~~~	SAF	Yeşil
WL15	EWLa-1.5	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 1.30–1.70%	1.5% LANTHANATED	Altın
WC20	EWCe-2	CeO <sub>2</sub> : 1.80–2.20%	2% CERIATED	Gri
WL20	EWLa-2	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 1.80–2.20%	2% LANTHANATED	Mavi
WZ8	EWZr-8	ZrO <sub>2</sub> : 0.70–0.90%	0.8% ZIRCONIATED	Beyaz
LaYZr™	EWG	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 1.3–1.7%; Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0.06–0.10%; ZrO <sub>2</sub> : 0.6–1.0%	1.5% LANTHANATED 0.8% YTRIATED 0.8% ZIRCONIATED	Açık yeşil

Şekil 2.17: Tungsten Elektrot İçin Renk Kodları (URL-12, 2018)

Çizelge 2.1: Tungsten Elektrotların Karakteristik Özellikleri (URL-13, 2018)

Tungsten Elektrotların Karakteristik Özellikleri		
Tungsten	Renk Kodu	Karakteristik Özellik
Saf	 Yeşil	AC Akımda kaynakta iyi ark kararlılığı sağlar. Kirlenmeye karşı direnci iyidir. Daha düşük akım değerleri yüklenebilir. Ucuzdur. Genellikle küreselleşmiş şekilde kullanılır. Sadece AC akımda kullanılır.
%2 Seryumlu	 Gri	Toryumlu tungstene benzer özellikler gösterir. Ark başlatmaması kolay, iyi ark kararlılığı sağlar ve uzun ömürlüdür. Toryumlu elektrot yerine kullanılabilir.
%2 Toryumlu	 Kırmızı	Daha kolay ark başlatır. Daha yüksek akım değerlerinde çalışabilir. Ark kararlılığı yüksektir. Kaynak havuzundan kirlenmeye karşı direnci yüksektir. AC akımda küreselleşmiş ucu sürdürmek zordur.
%1,5 Lantan	 Altın	Toryumlu tungstene benzer performans gösterir. Ark başlaması kolay, iyi ark kararlılığı sağlar, uzun ömürlüdür ve yüksek akım değerlerinde çalışabilir. %1,5 olan toryumlu tungsten yerine kullanılabilir.
%2 Lantan	 Mavi	
%0,8 Zirkonyumlu	 Beyaz	İyi ark başlangıcı, kirlenmeye karşı yüksek direnç ve küreselleşmiş ucu koruduğundan dolayı AC akımda kaynak için mükemmel bir seçim olabilir. Kaynakta tungsten kirlenmesi olduğu zaman tercih edilebilir. Saf tungsten yerine kullanılabilir.
LaYZr	 Açık Yeşil	Otomatik veya robotik uygulamalar için en iyi seçimdir. Uzun ömürlü %2 toryumlu elektrottan daha verimlidir. (Daha soğuktur). Düşük-orta amper aralığında çalışır.

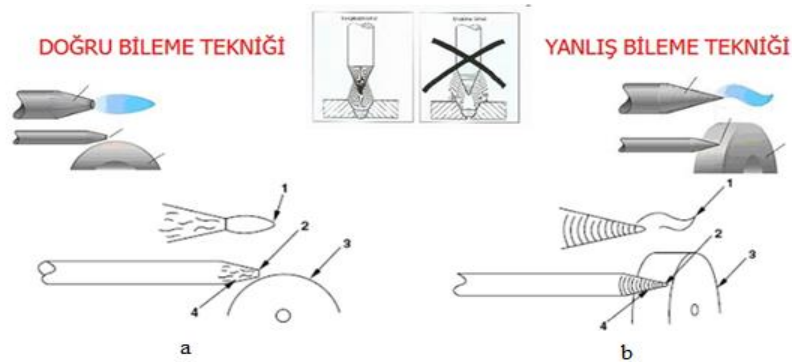
### 2.2.4.3 Tungsten elektrotların şekillendirilmesi

Tungsten elektrotlar uçları küt olacak şekilde satılırlar, ancak her zaman bu şekilde kullanılamazlar. Özellikle DC akımda çelik malzemelerin kaynağında muhakkak uçlarının bilenmesi gerekmektedir. Bu, kaynak akımının tek bir noktada toplanıp etkili bir şekilde kaynak yapılmasına yardımcı olur. Genellikle kaynakçılar bu işlemi taşlama motorları ile gerçekleştirir. Özellikle kırmızı başlıklı elektrotların bu şekilde bilenmesi oldukça zararlıdır. İçeriğinde toryum olması sebebiyle bilenmesi durumunda çıkan tozların solunması insan sağlığı açısından çok tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Tungsten sert bir malzeme olduğu için uçlarını bilemek çok kolay değildir. Bu yüzden kapalı sistemleri olan elmas taşları olan taşlama makinelerinde bilenmesi gerekir. Bileme yönü kaynak kalitesi için önemli bir parametredir. Bileme yönü elektrodun uç kısmına paralel olacak şekilde olmalıdır. Tungsten elektrot bileme makinesi Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



Şekil 2.18: Tungsten Elektrot Bileme Makinesi (URL-14, 2018)

AC akımda elektrotların uçlarını bilememize gerek yoktur. Alternatif akım prensip olarak pozitif ve negatif alanda sürekli yön değiştirdiği için uçun yuvarlak bileye şeklini almasına neden olacaktır. Tungsten elektrot bileme yönü Şekil 2.19'da gösterilmiştir ve bölümleri 'a' ve 'b' maddelerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.19: Tungsten Elektrot Bileme Yönü (URL-15, 2019)



a)

- 1) Kararlı ark sütunu
- 2) Elektrot ucunun düzeltilmesi
- 3) Bileme taşı
- 4) Bileme yönü

b)

- 1) Kararsız ark sütunu
- 2) Elektrot ucu
- 3) Bileme taşı
- 4) Bileme yönü

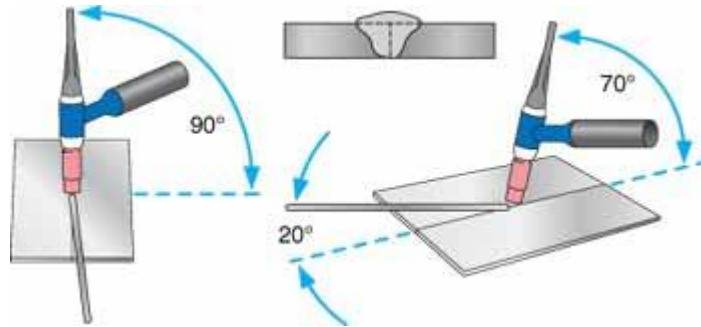
Tungsten elektrot Şekil 2.20'de gösterilmiştir.



Şekil 2.20: Tungsten Elektrot (URL-16, 2019)

#### 2.2.4.4 TIG kaynağında torç ve ilave metalin açısı

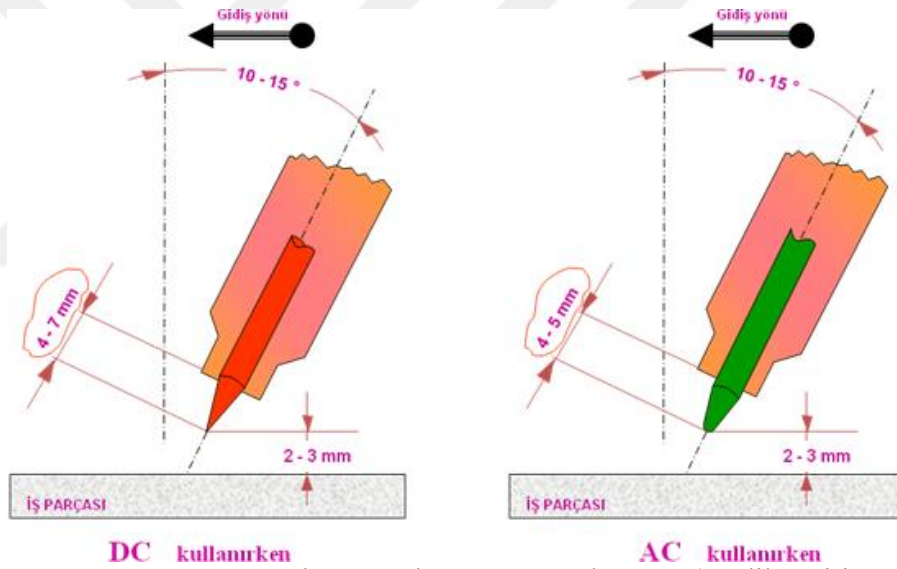
TIG kaynağında torç ve ilave telin konumu ve açısının önemi büyük olup doğrudan nüfuziyeti etkiler. Torç ile kaynak yapılacak malzeme arasında yaklaşık olarak 70 derecelik bir açı sağlanması gereklidir. Buna karşılık ilave telin iş parçasıyla arasında yaklaşık 20 derecelik bir açı olması kaynak kalitesi açısından önemlidir. Torç açısının bozulması, kaynak bölgesinin ve ilave telin gaz korumasından çıkmasına ve ark sapmasına neden olabilir. Torç ve ilave telin tutuş açısı Şekil 2.21'de gösterilmiştir.



Şekil 2.21: TIG Kaynağında Torç ve İlave Telin Tutuş Açısı (URL-17, 2019)

#### 2.2.4.5 TIG kaynağında kaynak yönü ve ark boyu

TIG kaynağında kaynak her zaman iterek olmalıdır. İterek kaynak, ergimiş kaynak banyosunun torç ile süpürülmesi veya itilmesidir. TIG kaynağında iterek kaynak yapılma nedeni ilave bir teli dışarıdan kaynakçının vermesidir. Banyonun her zaman ulaşılabilir ve kontrol edilmesi için kolaylık sağlar. Bazı kitaplarda sağa kaynak veya sola kaynak tabirleri kullanılabilir. Fakat bu, iki farklı elini kullanan kaynakçı için farklılıklar gösterebilir. Bunun için kaynakçı hangi elini kullanırsa kullansın iterek ya da çekerek kaynak tabiri daha doğru olacaktır. Sağ elini kullanan bir kaynakçı için torcun sağ elinde olması ve ilave telin de sol elinde olması şartı ile sol tarafa doğru ilerlemesi demektir. Tam tersi şekilde sol elini kullanan bir kaynakçı için torcun sol elinde olması ve ilave telin de sağ elinde olması şartı ile sağ tarafa doğru ilerlemesi demektir. Ark boyunun ise genellikle elektrot çapı kadar olması tavsiye edilir. TIG kaynağında kaynak yönü ve ark boyu Şekil 2.22'de gösterilmiştir.



Şekil 2.22: TIG Kaynağında Kaynak Yönü ve Ark Boyu (Gedik Eğitim Vakfı)

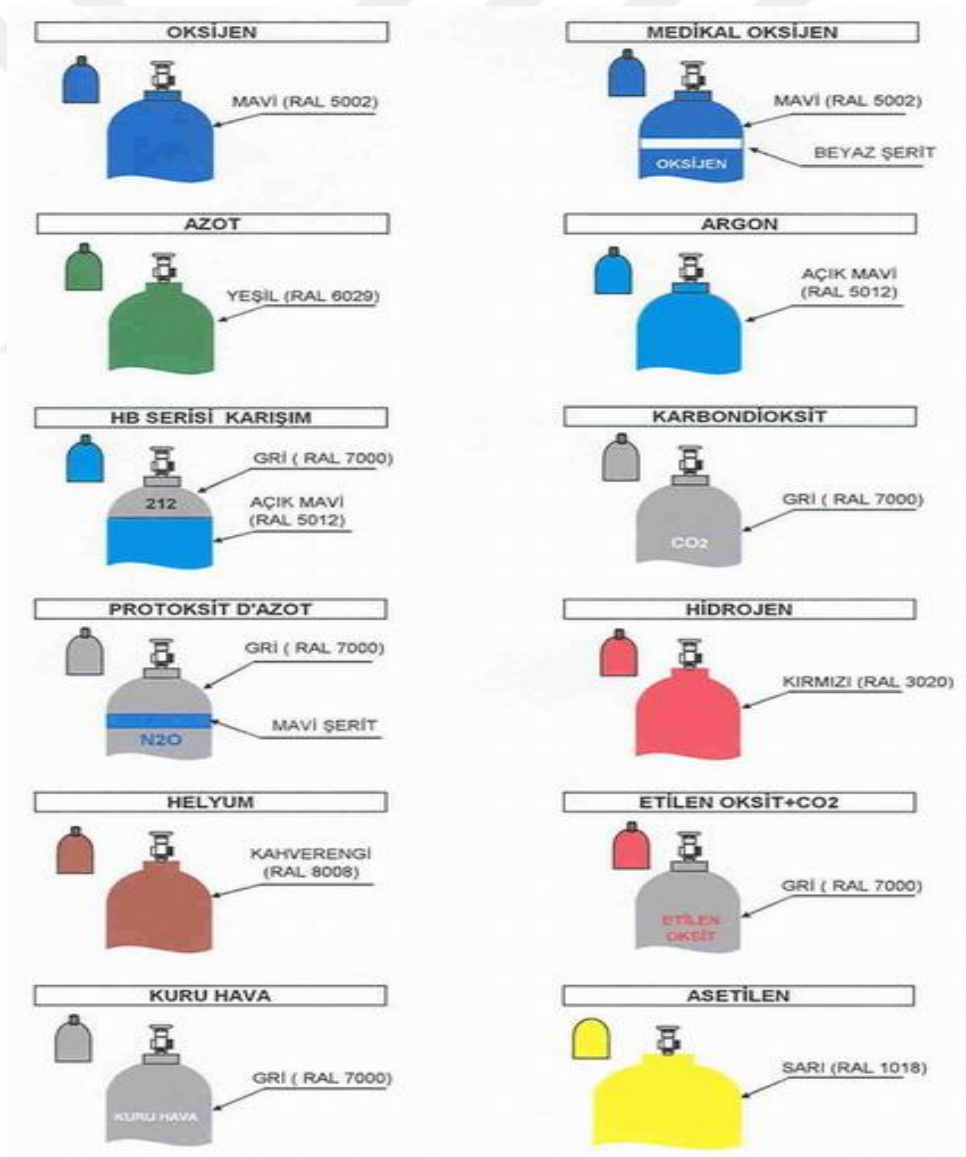
#### 2.2.4.6 TIG kaynağında amper ayarı

TIG kaynağında çelik ve demir dışı malzemelerin kaynaklanabildiği daha önce belirtilmişti. Kaynak işlemine başlamadan önce bilinmesi ve önemi büyük olan bir ayar da, kaynak akımının amper ayarıdır. Amper ayarı aşağıdaki gibi tavsiye edilmektedir. Bu tavsiye yaklaşık değer olup kaynakçıya, ortama ve kullanılan malzeme ve ekipmana göre değişiklik gösterebilir. Çelik malzemeler için DC akım torç negatif (-) kutup ve  $45\text{ A/mm}$  tavsiye edilir. Alüminyum malzemeler için AC akım torç kutbu fark etmez ve  $40\text{ A/mm}$  tavsiye edilir.

### 2.2.4.7 TIG kaynağında koruyucu gazlar

Kaynak teknolojisinde kaynak bölgesinin korunması her zaman büyük önem teşkil etmiştir. Kaynak bölgesini korurken elektrot örtüsü, toz altı kaynak tozları ya da gaz kullanılır. TIG kaynağında koruyucu gaz olarak asal (soy) gazlar kullanılır.

Gazın görevi iyi bir ark başlangıcı, kaynak bölgesini ve ilave metalini havanın olumsuz etkilerinden korumak ve kaynak dikişinin formunu etkilemektir. Kullanılan gazlar renksiz, kokusuz ve tatsızdır. Fakat kaynak bölgesinin teneffüs havasını kirletir. Kapalı ortamlarda yapılan TIG kaynağında fazla koruyucu gaz solunması baş ve karın ağrısına neden olabilir. TIG kaynağında koruyucu gaz olarak genellikle argon, helyum ve çok istenmese de azot kullanılabilir. Gaz tüpleri ve renk kodlarının gösterimi Şekil 2.23'te gösterilmiştir.



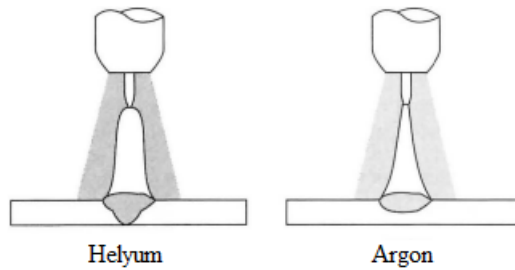
Şekil 2.23: Gaz Tüpleri ve Renk Kodlarının Gösterimi (URL-18, 2019)

Argon gazı oksijen üretimi sırasında bir yan ürün olarak elde edilir. Dünya atmosferi %0,9 argon, %78,0 azot, %21,0 oksijen ve %0,1 diğer gazlardan oluşmaktadır. Bu yüzdelere bakıldığında, argon gazını elde etmek için birçok gazın işlenmesi gerektiği görülebilir. Argonun fiyatı, satın alınan yer ve hacme bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. Argon, düşük amperlerde bile mükemmel ark stabilitesi ve temizleme etkisi sağlar. Argon, tüm TIG kaynak uygulamaları için en yaygın kullanılan inert gazdır (Swartz ve Hemmert, 2008).

Argon, gerek maliyet gerekse kaynak kalitesine etkisi nedeniyle ülkemizde sıklıkla kullanılır. Havadan 10 kat daha ağır bir gaz olup bu sayede çok iyi bir koruma sağlar.

Helyum gazı argondan farklı olarak helyumun yüksek ısı iletkenliği bulunmaktadır. Bu da yüksek ısıl iletkenliğe bağlı olarak ark kolon genişlemesine ve ark içindeki akım yoğunluğunun azalmasına neden olur. Ark sütunu, argon koruyucu gazı olan ark kolonundan daha geniştir ve daha geniş bir alana yayılır. Ark kolonundan ne kadar fazla alev çıkarılırsa, kaynak yüzeyi alanı daha fazla ısıtılır. Helyum gazı kullanılırken arkın ortasındaki ısı çok yüksektir ve bu da daha derin bir nüfuziyete neden olur. Helyum, argondan daha yüksek bir ark voltajı üretir. Toplam güç, voltaj ve amper ürünü olduğundan, helyumla daha fazla ısı enerjisinin mevcut olduğu açıktır. Helyum veya argon/helyum karışımları, kalın malzeme üzerinde ve yüksek hareket hızlarının istendiği yerlerde tercih edilir. Tipik argon/helyum karışımları %75/25 ve %50/50, argon/helyumdur (Swartz ve Hemmert, 2008).

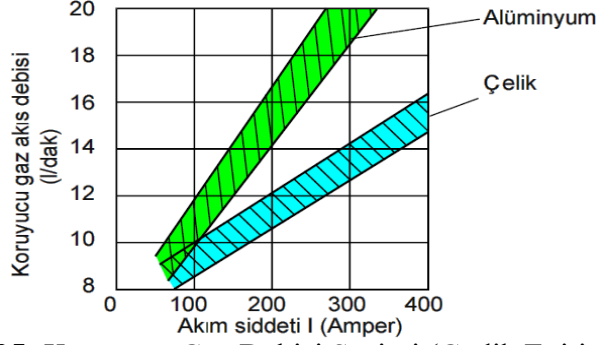
Helyum gazı ülkemizde pahalı olduğu için genellikle önemi yüksek işlerde daha sık kullanılır. Ayrıca havadan daha hafif olduğu için sarfiyatı da fazla olup bu da maliyeti oldukça yükseltir. Havadan hafif olması sebebiyle tavan kaynaklarında avantaj sağlar. He ve Ar gazlarının kaynak dikişi üzerindeki etkisi Şekil 2.24'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.24:** He ve Ar Gazlarının Kaynak Dikişi Üzerindeki Etkisi (Swartz ve Hemmert, 2008)

#### 2.2.4.8 Koruyucu gaz debisinin ayarlanması

Kaynak işleminden önce gaz debisinin ayarlanması gerekir. Pratikte kaynakçılara kolaylık sağlaması amacıyla, kullanılan nozulun numarasının 1,5 katı gaz debisi kullanılması tavsiye edilir. Koruyucu gaz debisi seçimi Şekil 2.25'te gösterilmiştir.



Şekil 2.25: Koruyucu Gaz Debisi Seçimi (Gedik Eğitim Vakfı)

#### 2.2.4.9 TIG kaynağında kullanılan koruyucu ekipmanlar

TIG kaynağında kaynak bölgesini korumak için gaz kullanıldığı belirtilmiştir. Ortamın havalandırılması sağlık açısından önemlidir. Ayrıca yüksek kaynak ışığı çıkmasından dolayı vücutta yanıklar ve gözde hasarlara neden olabilir.

##### TIG kaynak maskesi

TIG kaynağında ilave tel kullanımından ötürü maskenin tutulması söz konusu değildir. Bunun için kaynak yapıldığı sırada kendinden kararan kolomatik maskeler kullanılmaktadır. Kaynak maskesi Şekil 2.26'da gösterilmiştir.



Şekil 2.26: TIG Kaynak Maskesi (URL-19, 2019)

##### TIG Kaynak Eldiveni

Kaynak esnasında yüksek sıcaklıklara çıkıldığı için koruyucu ekipman olarak deri yanmaz eldivenler kullanılması gerekmektedir. Yalnız TIG yöntemi hassas bir işçilik gerektirdiğinden diğer kaynak yöntemlerinde kullanılan eldivenlerden daha ince eldivenler kullanılır. TIG kaynak eldiveni Şekil 2.27'de gösterilmiştir.



Şekil 2.27: TIG Kaynak Eldiveni (URL-20, 2019)

### TIG kaynak önlüğü

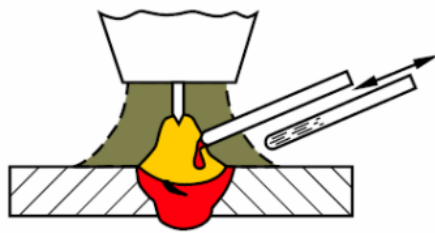
Kaynak esnasında sıcak iş parçasından ve sıçramalardan korunmak için önlük kullanılması gerekmektedir. TIG kaynak önlüğü Şekil 2.28'de gösterilmiştir.



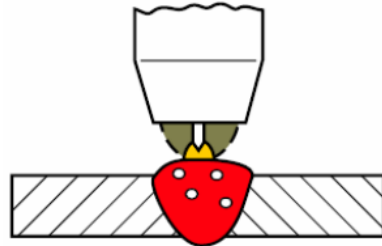
Şekil 2.28: TIG Kaynak Önlüğü (URL-21, 2019)

### 2.2.4.10 TIG Kaynak Hataları

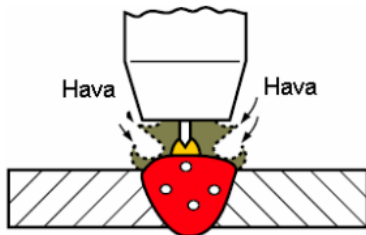
TIG kaynağında gaz hataları Şekil 2.29 gösterilmiştir.



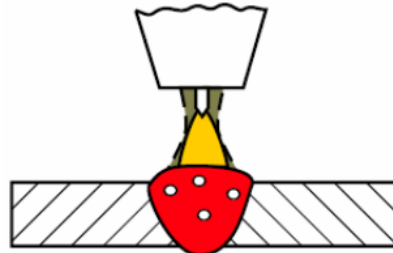
Kaynak sırasında dolgu telinin koruyucu gazın dışına çıkması



Gözeneklerin nedenleri: Gaz debisi az.



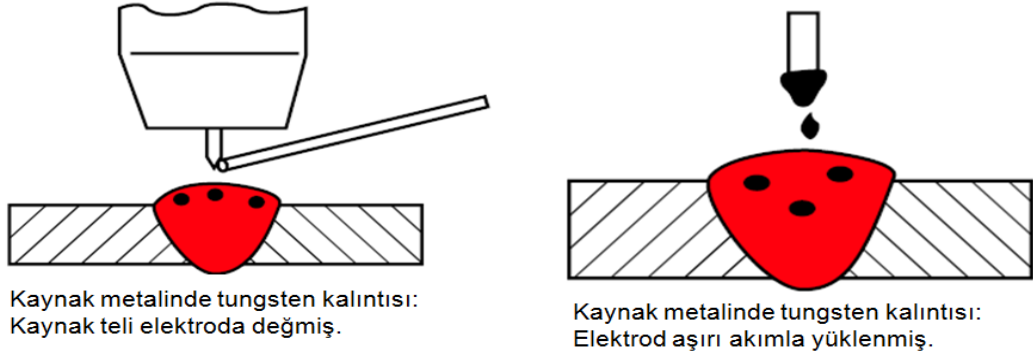
Gözenek: Gaz debisi fazla



Gözenek: Gaz nozulu küçük. Gaz nozulunun çapı, dikiş genişliğinin en az 1,5 katı olmalıdır.

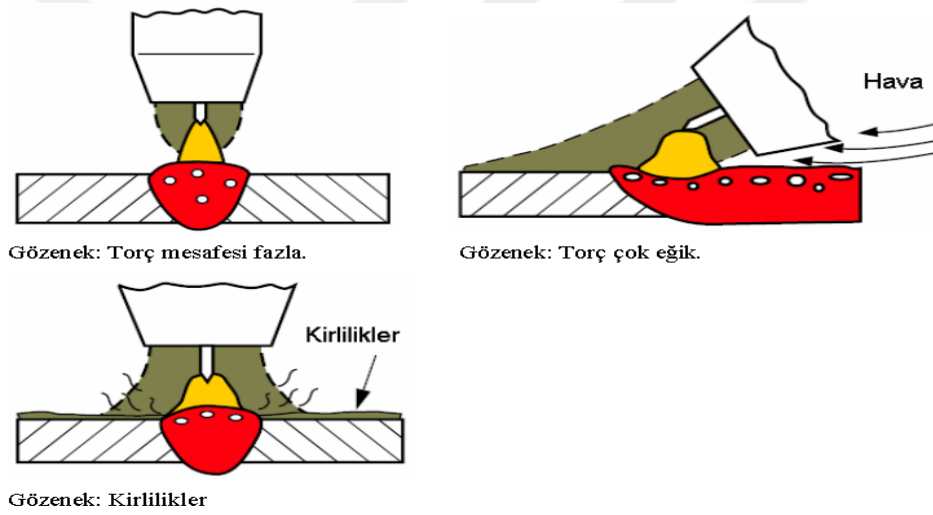
Şekil 2.29: TIG Kaynağında Gaz Hataları (Gedik Eğitim Vakfı)

TIG kaynağında tungsten uç hataları Şekil 2.30’da gösterilmiştir.



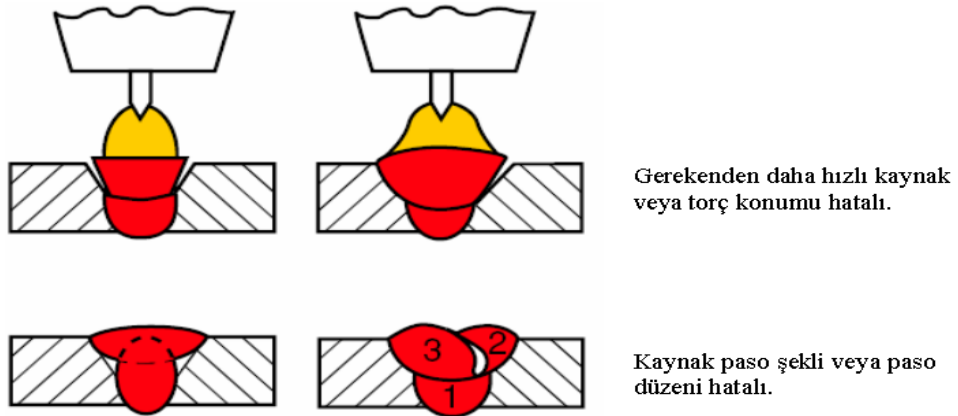
Şekil 2.30: TIG Kaynağında Tungsten Uç Hataları (Gedik Eğitim Vakfı)

TIG kaynağında torç açısı hataları Şekil 2.31’de gösterilmiştir.



Şekil 2.31: TIG Kaynağında Torç Açısı Hataları (Gedik Eğitim Vakfı)

TIG kaynağında paso hataları Şekil 2.30’da gösterilmiştir.



Birleşme hatalarının nedenleri

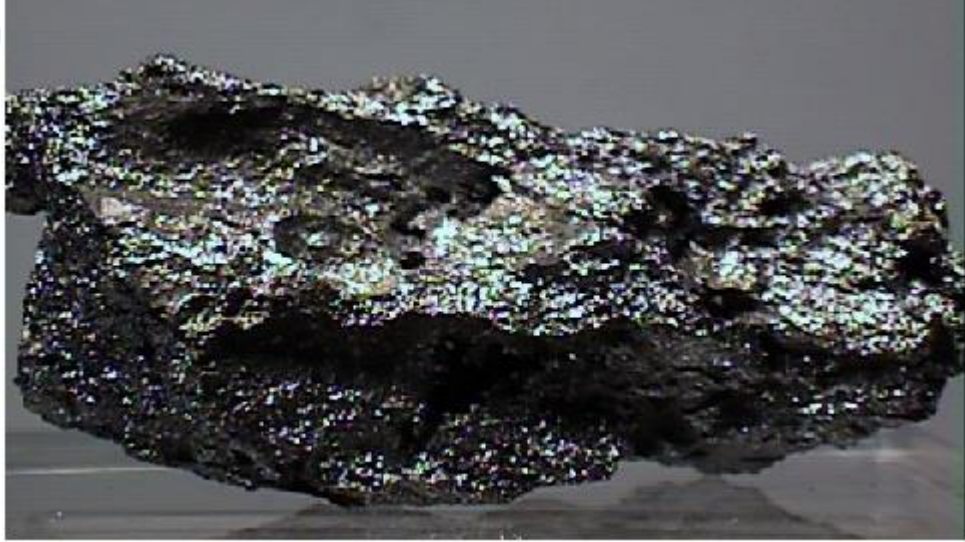
Şekil 2.32: TIG Kaynağında Paso Hataları (Gedik Eğitim Vakfı)



## 2.3 Titanyum ve Özellikleri

### 2.3.1 Titanyumun tanımı

Titanyum, periyodik cetvelin 4. grubunda yer alan, oldukça sert, gümüşü beyaz ve parlak bir elementtir. Kimyasal gösterimi Ti ve atom numarası 22'dir. Ergime derecesi 1.660 °C, kaynama noktası 3.287 °C, yoğunluğu 4,51 g/cm<sup>3</sup>'tür. Metalik haldeyken kuvarı çizebilecek kadar serttir. Nadir bir element olarak bilinen titanyum aslında yer kabuğunda en fazla bulunan 9. elementtir. Cevher yoğunlaşmasının seyrek olması ve cevherden titanyum elde edilmesinin zor olması onu pahalı bir metal yapar. Üstün özelliklerine ve maden olarak bolca bulunmasına karşın titanyum, yapısal metaller arasında ticari kullanım bakımından en yenisidir. Atmosferik korozyona karşı bütün metaller arasında en yüksek korozyon direncine sahip, sağlamlık ve dayanım açısından çelikten daha üstün olması ve neredeyse bütün kimyasal etkilere karşı dayanıklı bir metal oluşu titanyumu uçak, uzay, medikal alanda ve daha birçok alanda aranan bir malzeme yapmaktadır. Titanyum doğada saf halde bulunmaz, bir takım mineraller ile birlikte bulunmaktadır. En önemli titanyum mineralleri; rutil (TiO<sub>2</sub>), ilmenit (FeTiO<sub>3</sub>) ve titanittir (CaTiSiO<sub>5</sub>) (Yılmaz, 2008). Titanyum cevheri Şekil 2.33'te gösterilmiştir.



Şekil 2.33: Titanyum Cevheri (URL-22, 2019)

### 2.3.2 Titanyumun tarihçesi

Titanyum elementi İngiliz William Gregor tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, 1791 yılında Madagaskar'ın Mankara bölgesinde bulunmuştur. İlk olarak Menakirit olarak adlandırılmıştır. Alman kimyacı Martin Heinrich Klaproth tarafından yapılan çalışmalar sonucunda William Gregor tarafından bulunan elementin daha önce





Titanyumun saf olarak elde edilmesiyle birlikte karşılaşılan en büyük zorluk bu üretimi gerçekleştirecek olan teknolojiye olan ihtiyaçtır. 1940 yılında Dr. Wilhelm Kroll kendi geliştirdiği ve aynı zamanda kendi adını taşıyan bir yöntem olan "Kroll işlemi" bu problemin çözümüne yardımcı olmuştur. Bu yöntemle birlikte gözenekli bir yapı olan titanyum süngeri elde edilmiştir. Kroll yöntemi, bugün hala en yaygın üretim yöntemleri arasında yer almaktadır. Bu gelişmeler ışığında yapılan çalışmalar Amerika Birleşik Devletlerinin Maden Bürosu tarafından göz ardı edilememiştir. Bu yüzden Nevada şehrinde bu çalışmalar için bir tesis ayarlanmıştır. Bu tesiste yapılan araştırmalar sonucu titanyumun genel nitelikleri tespit edilmiş ve 2. Dünya Savaşı ile titanyum endüstrisi de oldukça önem kazanmıştır. Düşük yoğunluğa sahip olması, korozyona karşı oldukça dirençli olması ve dünyamızda oldukça fazla bulunması ticari alanda büyük ilgi görmüştür (Günyüz, 2007).

### **2.3.3 Titanyumun kullanım alanları**

Titanyum çelik kadar güçlü ama daha az yoğun bir metaldir. Bu nedenle alüminyum, molibden ve demir gibi önemli bir malzemedir. Titanyum alaşımlar, düşük yoğunlukları ve aşırı sıcaklıklara karşı dayanma kabiliyetleri nedeniyle, daha çok hava taşıtlarında, uzay araçlarında ve füzelerde kullanılır. Golf kulüplerinde sopaların üretiminde, dizüstü bilgisayarlarda, yarış bisikletlerinde ve koltuk değneklerinde de kullanılırlar.

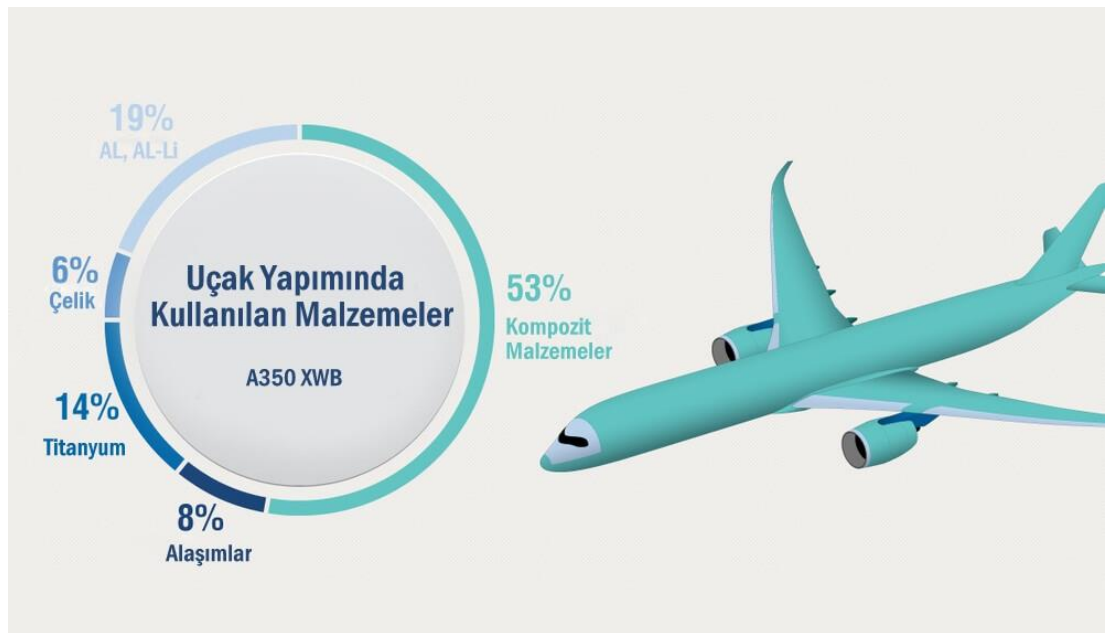
Santral kondansatörleri korozyona karşı dirençlerinden dolayı titanyum boruları kullanılırlar. Titanyum, tuzlu sudaki korozyona karşı mükemmel direnç gösterdiğinden, deniz suyu arıtma tesislerinde kullanılır ve gemilerin, denizaltıların ve deniz suyuna maruz kalan diğer yapıların yapısını korumak için kullanılır.

Titanyum metalinin insan vücuduna uyumlu olması nedeniyle, eklem replasmanları (özellikle kalça eklemleri) ve diş implantları gibi cerrahi uygulamalarda kullanılır. Titanyumun en büyük kullanımı titanyum oksit formundadır. Ev boyası, tablo boyaları, plastikler, emayeler ve kâğıtlarda bir pigment olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mükemmel kaplama gücüne sahip parlak beyaz bir pigmenttir. Aynı zamanda kızılötesi radyasyonun iyi bir yansımadır ve bu nedenle ısının zayıf görünümüne neden olduğu güneş gözlemevlerinde kullanılır (URL-24, 2019).

### 2.3.3.1 Titanyumun uzay ve havacılık alanında kullanımı

Havacılık endüstrisi, titanyum ürünlerinin en fazla kullanıldığı sektörlerin başında gelir. Bu endüstri için yüksek mukavemet oranı ve yüksek sıcaklık özellikleri taşıyan titanyum faydalı bir malzemedir. Titanyum, genellikle uçak parçaları ve bağlantı elemanları için kullanılır. Bu özellikleri nedeniyle gaz türbini motorlarının üretiminde özellikle titanyum kullanılması tavsiye edilir. Titanyum, bunlara bağlı olarak kompresör bıçakları, muhafazaları, motor kaputları ve ısı kalkanları gibi diğer parçalar için de kullanılabilir. Havacılık sektöründe titanyum kullanımındaki artış, artan CFRP [karbon fiber takviyeli polimer veya (plastik)] bileşimi ile daha yeni uçak tasarımlarına yönelik talep de dâhil olmak üzere birçok etkenle açıklanabilir.

Birçok popüler kompozit malzeme ile aynı termal genişleme oranlarını paylaşan titanyum kompozit bir ara yüz malzemesi olarak oldukça tercih edilen bir malzemedir. Yeni Boeing 787 Dreamliner'ın %15 titanyum ağırlığında, çelikten %5 daha fazla olduğu tahmin ediliyor ve ticari uçak üretiminde titanyum kullanımının artması için kesinlikle örnek teşkil ediyor. Uçakta artan titanyum kullanımı, malzemelerin uyumluluğuna dayalı olarak kompozit bileşenlerinkine doğrudan karşılık gelir. Kompozit tasarım, inşaat ve kullanımdaki artış, titanyum parça üretiminde ilave artışların güçlü bir göstergesidir (URL-25, 2019). Uçaklarda titanyum kullanımı Şekil 2.35'te gösterilmiştir.



Şekil 2.35: Uçaklarda Titanyum Kullanımı (URL-26, 2019)

### 2.3.3.2 Titanyumun askeri alanında kullanımı

SR-71 Blackbird savaş uçağı, yapısında ve kaplamasında titanyumun yaygın olarak kullanıldığı ilk uçaktı. Uçağın sahip olduğu yüksek hızlardan kaynaklanan aerodinamik sürtünme, diğer bir metal kullanılırsa, bu durumunda sadece havadaki sürtünmenin yaratacağı etki ile eriyebileceği kadar aerodinamik sürtünme ortaya çıkacaktır. Aslında, uçak o kadar yüksek hızlara çıkıyordu ki, bir füze ateşlendiğinde standart kaçış prosedürü basitçe hızlandırmak ve bu durumu atlatmaktı. 30 yıldan fazla bir zaman zarfında dünyanın en hızlı uçaklarının rekorunu elinde tutan Blackbird, saatte 3.500 km hıza çıkabiliyordu. Bu da sesin üç katı hızına çıktığı anlamına geliyordu. Bugün, üretilen tüm titanyum metallerin yaklaşık üçte ikisi uçak motorlarında ve çerçevelerinde kullanılmaktadır. Örnek olarak A380 Aerobus, uçak yapısı ve bağlantı parçaları için yaklaşık 70 ton titanyum kullanıyor (URL-27, 2019). Lockheed SR-71 Blackbird Şekil 2.36'da gösterilmiştir.

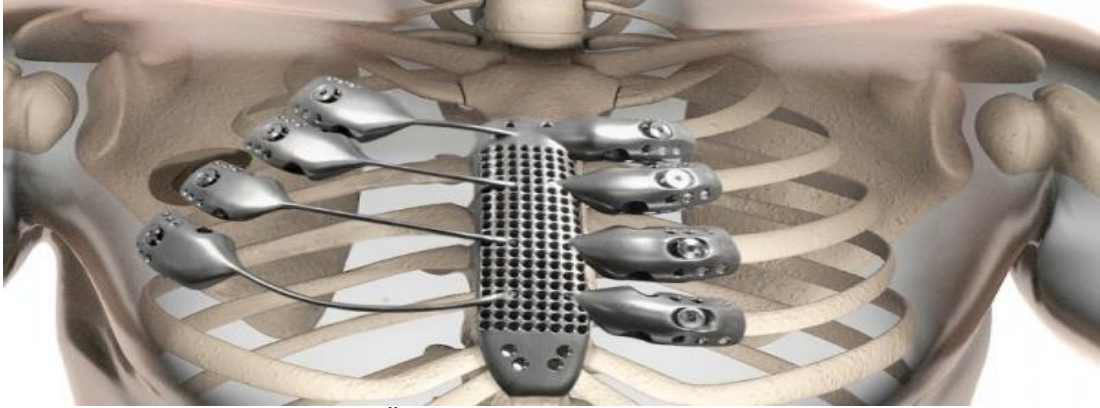


Şekil 2.36: Lockheed SR-71 Backbird (URL-28, 2019)

### 2.3.3.3 Titanyumun tıbbi alanında kullanımı

Titanyumun bio-uyumluluk özelliğinden dolayı (toksik değildir ve vücut tarafından reddedilmemiştir) tıp alanında kullanılmaktadır. Titanyum, cerrahi aletler ve implantlar başta olmak üzere farklı tıbbi müdahalelerde (örneğin kalça kemiklerinde) kullanılmaktadır. Titanyum, vücutta 30 yıldan fazla bir süre kalacak şekilde dental implantlarda kullanıma olanak tanıyarak, osseointegrasyonun doğal özelliğini taşır. Bu özellik, ortopedik implant uygulamaları için oldukça başarılı sonuçlar verir. Titanyum ayrıca cerrahi aletlerin yanı sıra tekerlekli sandalyeler, koltuk değnekleri ve yüksek mukavemet ile düşük ağırlık gerektiren diğer ürünler için de kullanılır. Titanyumun benzersiz özellikleri ile MRI (Manyetik Rezonans

Görüntüleme) ve CT (Bilgisayarlı Tomografi) gibi cihazlarda da kullanılmaktadır (URL-29, 2019). 3D yazıcı ile üretilen titanyum göğüs kafesi Şekil 2.37'de gösterilmiştir.



Şekil 2.37: 3D Yazıcı Üretimi Titanyum Göğüs Kafesi (URL-30, 2019)

#### 2.3.3.4 Titanyumun okyanus mühendisliğinde kullanımı

Karadaki kaynakların tükenmesi nedeniyle insanlar okyanus kaynaklarını kullanarak teknolojiye ilerlemeye çalışmışlardır. Titanyum, yüksek oranda korozyon direncine sahip olması nedeniyle okyanus mühendisliği uygulamaları için büyük önem kazanmıştır. Bu nedenle deniz suyunun arıtılmasında, gemilerin ve okyanus kaynaklarının geliştirilmesinde çok sayıda titanyum ürün kullanılmıştır. 1960'ların başlarında, gemilerde titanyum kullanımının etkilerini görmek amacıyla Çin'de çalışmalar yapılmıştır. Uzun uğraşlar ile bir gemiye titanyum ses sistemi kurulmuştur. Titanyum, tersane ve deniz endüstrisinde oldukça önem kazanmıştır. Denizaltılar, buz kırıcılar, hidrofoiller, hoverkraftlar, mayın tarama gemileri ve pervanelerin yapısında titanyum kullanılmıştır. Rusya'da, gemilerde titanyum tüketimi %15-20'ye ulaşmıştır, bu da titanyum endüstrisinin büyük ölçüde artacağı ve piyasa değerinde yüz milyarlarca dolara ulaşacağı anlamına gelmektedir. Petrol arama platformlarında 1.500-2.000 ton titanyum gerekmektedir. Çin, önümüzdeki birkaç yıl içerisinde 70 platform inşa etmeyi planlıyor. Bunun sonucunda titanyum tüketiminin de 140 bin tona ulaşması düşünülmektedir (URL-31, 2019).

#### 2.3.3.5 Titanyumun spor alanında kullanımı

Titanyum, dayanıklılık ve ağırlık oranı nedeniyle tenis raketleri, lakros sopaları, golf sopaları, bisikletler, kamp malzemeleri ve daha birçok spor malzemesinde kullanılır. Titanyum, hafif ekipmanların avantaj sağladığı spor ürünleri pazarında büyük bir



tercih nedeni olmuştur. Titanyumun kullanılması, 1990'lı yıllarda ilk spor malzemesi uygulaması olarak golf sopası kafalarının üretiminde kullanılmıştır. Titanyumun hafif olması büyük başlıkların üretiminde olanak sağlamış ve böylece topa vurmak için daha büyük bir avantaj sağlanmıştır. Titanyumun düşük elastisite modülü, mukavemet ve ağırlık özellikleriyle birleştiğinde bisiklet çerçeveleri ve bileşenleri, tenis racketleri, beyzbol sopaları, kayak takımlarında kullanılmasında büyük önem kazanmıştır (URL-32, 2019).

### 2.3.3.6 Titanyumun moda ve tekstil alanında kullanımı

Titanyum malzemelerin kullanıldığı bir diğer alan da moda tekstildir. Gözlük çerçeveleri, mücevher ve saatlerde titanyum malzemeler oldukça önem kazanmıştır. Titanyumun özellikleri keşfedildikçe normal hayata dâhil edilmesi kaçınılmazdı. Bu uygulamalarda titanyum ağırlığı düşük, dayanıklı ve şık bir malzeme olarak tanıtıldı. 1980'lerde moda sahnesine ilk kez saat olarak çıkmıştır. Şu anda titanyum optik alanında esneklik, hafiflik, rahatlık ve çekici olduğundan gözlük çerçevelerinde yer almaktadır. Moda endüstrisinde mücevherlere dâhil olmuştur. Şıklığı ve kullanışlı olması onu özel ve çekici yapmaktadır (URL-33, 2019). Titanyum saat Şekil 2.38'de gösterilmiştir.



Şekil 2.38: Titanyum Saat (URL-34, 2019)

### 2.3.4 Titanyumun kaynaklanabilirliği

Titanyumu kaynatabilmek için genel olarak 5 yöntem vardır. Bunlar TIG, gazaltı kaynağı, elektron ışın kaynağı, plazma ark ve lazer kaynağıdır. Kalın kesitli titanyum parçaların elektro-slag kaynağının kullanılmasına karşı girişimlerde bulunulmuş fakat sınırlamalar nedeniyle kısmi başarı elde edilmiştir. TIG kaynak işlemleri sıklıkla kullanılan yöntemdir. TIG kaynağında tungsten elektrodun temasından kaçınmak için özen gösterilmelidir. Genellikle toryumlu tungsten elektrotların kullanılması tavsiye edilir. Kalın kesitli parçaların kaynağında MIG kaynağı kullanılabilir. MIG kaynağında kaynak banyosu TIG kaynağına göre nispeten daha büyük olur. Genellikle, titanyum özellikleri ve bileşimi ile eşleşen dolgu teli kullanılmalıdır (Leyens ve Peters, 2003).

İyi bir kaynak elde etmek için, kaynaklanacak parçalarının birleşim yerleriyle bunların her iki tarafının en az 25 mm'si büyük temizlik ve dikkatle temizlenmiş olmalıdır. Titanyumun kaynağında temizlik çok önemlidir. Temizleme süreci, kaynak bölgesinde oluşan oksit tabakasının ince veya kalın olmasına bağlıdır. Şekillendirme ve talaşlı işleme sırasında birikmiş gres, kir ve diğer yağlar kaynaktan önce temizlenmelidir. Eğer kaynaklanacak bölgede çapak yoksa sadece yağ-gresten arındırma ile temizlenebilir. Bir oksit tabakasıyla kaplı malzeme, tabakanın temizlenmesinden önce yağdan arındırılır. Bu arındırma buhar uygulaması, alkali temizleme, solvent temizlemesiyle yapılabilir. Solvent buharı temizlemesinde klorürlü solventler yerine tolüen tercih edilmelidir, şöyle ki klorürlü artıklar (ve silikatlı artıklar da), titanyumdan oluşan kaynaklı yapıların çatlamasına yol açabilirler. Özellikle büyük parçaların kaynağında, özel kabinlerde kaynak yapmaya müsaade vermeyen parçalarda solvent temizleme, özellikle buhar arındırıcı veya alkalik temizleme ile yıkama yapılabilir. Kullanılan solventler metil etil keton, tolüen, aseton ve sair klorürsüz solventlerdir. Metil alkolün gerilme korozyonuna yol açabileceğinden havacılık ve uzay sektörlerinde bu solventin kullanımı yasaklanmıştır. Kaynak bölgesi, kaynaktan hemen önce solventli temiz ve iplik bırakmayan bir kumaşla silinir. Temizlik aşamasında plastik eldivenler giyilmelidir; kauçuk eldivenler, kaynak bölgesinde gözeneklere sebep olabilen izler bırakma riski taşıyabilir ( <https://magnaweld.com.tr>).

Titanyum malzemenin üzerinde bulunan oksit tabakası 535 °C'den düşük sıcaklıklarda oluşabilecek korozyonlara karşı iyi bir şekilde dayanım sağlar. Fakat bu sıcaklığın üzerinde oksit tabakası parçalanır ve C, N ve H atomları malzemeyi gevrekleştirir.

Titanyum ve alaşımlarının gazlara karşı hassasiyeti çeşitli kaynak proseslerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır (Kaya ve ark, 2011).

Ticari olarak büyük öneme sahip saf titanyumun kaynağı oldukça zordur. Bazı kaynak parametreleri dikkate alınarak uygulamanın yapılması mümkündür. Bu parametreler genel olarak uygun ilave metali, temizlik ve uygun koruyucu koruma gaz seçimidir. Titanyumun oksijen afinitesi oldukça yüksektir. Ayrıca diğer kimyasal elementlerle de zayıf birleşimler gerçekleştirebilir. Titanyumun oksijene olan bu ilgisi açık havada oldukça hızlı bir şekilde oksit tabakası oluşturmasını sağlar. Oksit oluşumu yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça artmaya başlar. Buna karşın titanyumun ergime derecesi oldukça yüksektir (1.668 °C). Bu da kaynak işlemi sırasında, kaynak havuzunda hata oluşmasına neden olur. Titanyum kaynağında oluşan kırılabilirlik ve hatalar genellikle malzemede oluşan renk değişimiyle fark edilebilir (Bendikiene ve ark, 2018).

Bir kaynak koruma gazı olarak argonun, kaynak dikişinin her iki tarafını da koruması gerekir. Gaz koruması özellikle 1.795 °C ve 427 °C arasında etkili olmalıdır. Aksi halde kirlilikten kırılabilirlik oluşabilir ve sonuçta çatlama meydana gelebilir. Kaynak, 427 °C'nin altına soğuyana kadar kaynağın tüm bölgelerinde koruma sağlanması gerekir (Finch, 2007).

Titanyum alaşımları 20 mm'ye kadar kaynak yapılabilir. 2 mm'den daha kalın levhalar için genellikle iki veya daha fazla kaynak pasosu gereklidir. Kaynak yapıldığında, kaynağın görsel muayenesi, kirletici maddelerin mevcut olup olmadığını ve kaynak kalitesi hakkında bize yol gösterebilir. Kaynakta, parlak gümüş bir kaynak dikiş rengi, kirletici maddelerin olmadığını belirtir. Altın veya saman rengi, bazı gevrekliklerin kaynak dikişinde olduğunu gösterir. Sertlik testi, kaynak kalitesinin ve bağlantı elemanının dayanımının en güvenli şekilde ölçülmesini sağlar. İyi bir kaynak sadece ana metal ile karşılaştırıldığında sertlikte hafif bir artış ortaya çıkarmalıdır (Leyens ve Peters, 2003).



### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Deneysel Çalışmanın Amacı

Saf titanyumun TIG kaynağı ile birleştirilmesinde, optimum proses parametrelerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneylerde, proses parametrelerini en çok etkileyecek olan değerin kaynak amperi olduğu sonucundan yola çıkarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2 Malzeme Seçimi ve Kaynak İşlemine Hazırlık

Deneylerde kullanmak için Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, sertifikalı saf titanyum plakalar temin edilmiştir.

QUALITY CERTIFICATION 生产许可证编号: XK16-003-00009									
CERTIFICATE TO EN10204 3.1			编号 Series No: 18101612 日期 Date: 2018-10-16						
合同号 Contract No.	产品名称 Commodity	牌号 Designation	状态 Condition	技术标准 Specification					
YST1-Bag18-08	Titanium sheet	Gr-2	退火/Annealed	ASTM B265					
尺寸 Size[mm]	型号 Item No.	批号 Lot No.	数量 Quantity[pcs]	净重 Net Weight [kg]					
2.5 x 1000 x 2000	1802-15	180803							
化学成分 Chemical Composition(wt.%)									
Requirement (Max)	Fe	C	N	H	O	each	total	TT	
Result	0.30	0.08	0.03	0.015	0.25	0.10	0.40	Balance	
Result	0.13	0.01	0.006	0.001	0.073	<0.10	<0.40	Balance	
力学性能 Test									
Requirement	抗拉强度 Rm Tensile Strength, min (MPa)		屈服强度 Rp0.2 Yield Strength, 0.2% Offset, min (MPa)			延伸率 Elongation in 2 in. or 50mm, min (%)			
	245		275-450			20			
Result	408		330			25			
其它测试 Other Test									
表面质量 Visual Inspection			弯曲试验 Bend Test			尺寸检验 Dimensional Inspection			
合格 Acceptable			合格 Acceptable			合格 Acceptable			
Note: We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of the contract confirmation, inspection and dimensional control without complaints.									
质检员 (INSPECTOR):			审核员 (AUDITOR):			盖章 (STAMP)			

Şekil 3.1: Saf Titanyuma Ait Sertifika Bilgileri

Plakalar; 2,5 x 100 x 150 mm boyutlarında 6 adet eş parça olacak şekilde hazırlanmıştır. Kaynak işlemi için aynı kimyasal özelliklere sahip 2,5 mm çapında

ilave tel kullanılmıştır. Parçaların et kalınlığı az olduğu için kaynak ağzı amaya gerek kalmamıştır. Şekil 3.2'den de görülebileceği üzere, kaynak işlemleri öncesi hem plakalar hem de kaynak teli aseton ile iyice temizlenmiştir.



Şekil 3.2: Aseton ile Temizlenen Ana Parçalar ve İlave Tel

### 3.3 Kaynak İşleminde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Şekil 3.3'te Gedik Marka Matrix 2200 AC/DC TIG kaynak makinesi gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Gedik Marka Matrix 2200 AC/DC TIG Kaynak Makinesi

**Çizelge 3.1:** Kaynak Parametreleri

Akım Türü (AC/DC)	İlk Gaz (sn.)	Akım Değeri (A)	Son Gaz (sn.)	Gaz Debisi (lt/dk)
DC	0,95	40	14	12
DC	0,95	60	14	12
DC	0,95	80	14	12

Kaynak işlemleri için TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi seçilmiştir. Kaynak sırasında, koruyucu gaz ve kök koruma gazı olarak saf argon kullanılmıştır. TIG kaynağında kullanılmak üzere gri renkli (% 2 seryumlu) tungsten uç seçilmiştir. Ayrıca bu kaynak işlemi için özel olarak tasarlanan kök koruma aparatı kullanılmıştır. Aparat Şekil 3.4'te yer almaktadır.



**Şekil 3.4:** Kök Koruma Gazı için Yapılan Altlık

Kaynak işlemleri, TIG Kaynakçı Sertifikasına sahip usta kaynakçı tarafından, standartlara uygun İş Güvenliği koruyucu ekipmanları (kaynak maskesi, deri önlük, deri eldiven vb.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, TIG torcunun içine, kaynak esnasında dışarıdan gelebilecek gaz ve toz gibi yabancı maddeleri önlemek amacıyla Şekil 3.5'te gösterilen filtre takılmıştır.



**Şekil 3.5: Torç İçine Takılan Koruyucu Filtre**

### **3.4 Kaynak İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi**

Eşit ebatlarda hazırlanan plakalar, kaynak esnasında uygulanacak amper farklılıklarına göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma şu şekildedir;

A plakası: 40 Amper

B plakası: 60 Amper

C plakası: 80 Amper

Aynı sertifikalı kaynakçının ön gaz, son gaz, kaynak hızı, gaz debisi ve ortam şartlarını sabit tutup sadece amperi değiştirerek tek paso çift taraflı gerçekleştirdiği kaynak işlemleri sonucunda elde edilen kaynaklı A plakası Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Kaynaklı B plakası Şekil 3.7'de verilmiştir. Kaynaklı C plakası Şekil 3.8'de yer almaktadır.



**Şekil 3.6: 40 Amperde Kaynak Yapılan 'A' Parçası**





**Şekil 3.7:** 60 Amperde Kaynak Yapılan 'B' Parçası

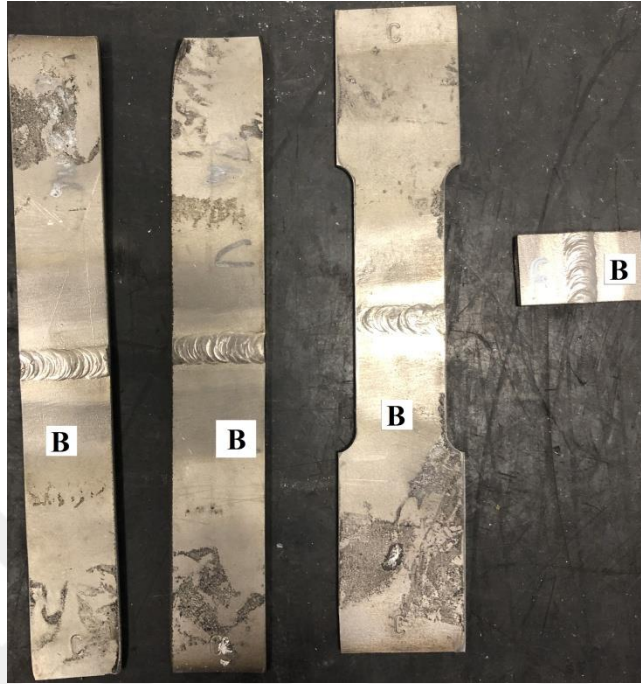


**Şekil 3.8:** 80 Amperde Kaynak Yapılan 'C' Parçası

### **3.5 Numunelere Uygulanan Testler**

Saf titanyum plakalar kaynak için hazırlandıktan sonra, daha önce literatür araştırmalarından yola çıkarak belirlenen üç farklı amper değeri ile kaynaklanmıştır. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra, kaynak bölgesindeki olumsuzlukların tespiti amacıyla görsel muayene gerçekleştirilmiş ve herhangi bir probleme rastlanmamıştır. Görsel muayenesi tamamlanan plakalardan, standartlara uygun şekilde çekme

numuneleri, eğme numuneleri, sertlik numuneleri ve mikro-makro yapı numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanmış test numunelerinin parça örnekleri Şekil 3.9'da yer almaktadır.



Şekil 3.9: Test için Hazırlanan Parçalar

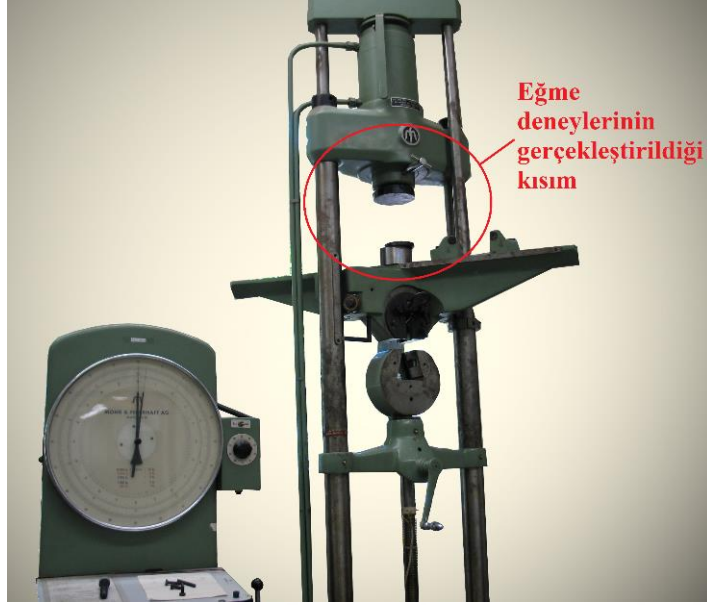
### 3.5.1 Eğme testi

Eğme testleri TS EN ISO 5173 (Metalik malzemelerde kaynak dikişleri üzerinde tahribatlı muayeneler- Eğme deneyleri) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Standart uyarınca test numuneleri, kaynak dikişinin hem kökünün hem de yüzünün kontrol edilebilmesi için ikişer numune halinde hazırlanmıştır. Eğme testlerinde kullanılan numunelere örnek Şekil 3.10'da yer almaktadır.



Şekil 3.10: Eğme Testi için Parça Numunesi

Eğme testleri, kalibrasyonu yapılmış Mohr&Federhaff Marka, max. 20 ton yük kapasiteli çekme cihazının eğme deneylerinde kullanılan mesnetli kısımda gerçekleştirilmiştir. Cihaza ait fotoğraf Şekil 3.11'de yer almaktadır.



Şekil 3.11: Mohr&Federhaff Marka Eğme/Çekme Test Cihazı

2,5 mm kesit kalınlığı ve 25 mm uzunluktaki eğme test numuneleri, 22 °C'de, 1029 hPa basınçta ve %62 nem oranına sahip koşullarda test edilmişlerdir. Deneylerde, standarda göre kesit kalınlığının 4 katı kalınlıkta, yani 10 mm olarak seçilen mandrel kullanılarak 25 mm mesnet aralığında, 180° eğme açısı tamamlanana kadar gerçekleştirilen deneylerde, kök ve yüz olarak her amper değeri için ikişer tane numune kullanılmıştır. Eğme testleri sonucu numunelerin durumlarını gösteren görsel Şekil 3.12'de yer almaktadır.



Şekil 3.12: Parçaların Eğme Testinden Sonraki Görüntüleri

### 3.5.2 Çekme testi

Çekme testleri için Gedik Test Merkezi Tahribatlı Test Laboratuvarında bulunan yeni nesil “Zwick” marka “z-600e” model çekme test cihazı kullanılmıştır. Cihaz Şekil 3.13’te yer almaktadır.



Şekil 3.13: Zwick Marka Çekme Test Cihazı

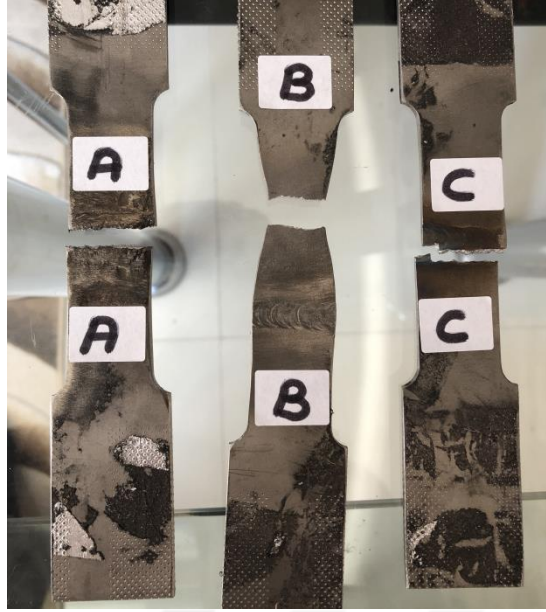
Çekme testleri için, TS EN ISO 4136 (Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler- Enine çekme deneyi) standardına göre her bir plakadan birer adet numune hazırlanmıştır. Standarda göre 2,5 x 25 x 50 mm olarak hazırlanan numunelere ait örnek, Şekil 3.14’te yer almaktadır.



Şekil 3.14: Çekme Testi Numunesi

Şekil 3.15’te çekme testinden sonra parçaların görüntüsü verilmiştir.





Şekil 3.15: Çekme Testinden Sonra Parçalar

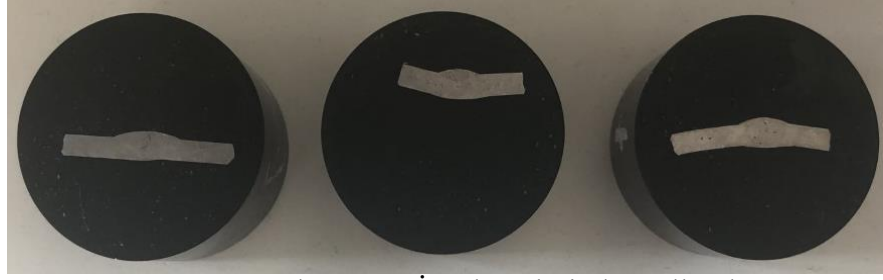
### 3.5.3 Mikro ve makro yapı incelemeleri

Metalografik etüt için döner disk tabir edilen “Bulut Makine” markalı cihaz kullanılmıştır. Cihaz, Şekil 3.16’da yer almaktadır.



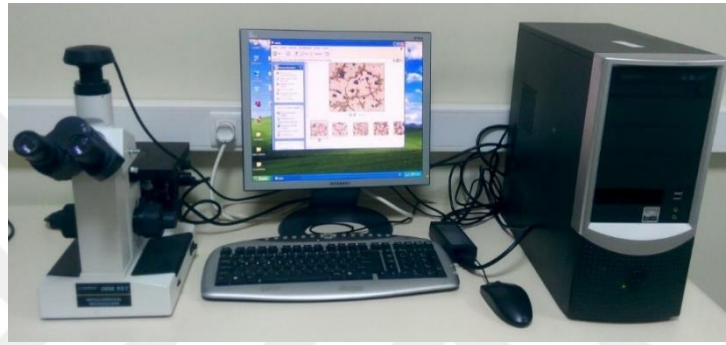
Şekil 3.16: Metalografik Numune Hazırlama Cihazı (Döner Disk)

Mikro ve makro yapı incelemeleri için Şekil 3.17’de gösterildiği gibi TS EN ISO 17639 (Metalik malzemelerdeki kaynaklarda tahribatlı muayene- Kaynakların makroskopik ve mikroskopik muayenesi) standardına göre her bir kaynaklı plakadan birer adet numune bakalite alınarak öncelikle döner disk yardımıyla, 120 - 240 - 320 - 400 - 600 - 800 - 1000 numaralı zımparalar ile zımparalanmıştır. Bu işlemin ardından 10 µm tane boyutlu alümina (alüminyum oksit tozu + saf su) ile parlatılmış ve son olarak da %5 HF (hidroflorik asit), %10 HNO<sub>3</sub> (nitrik asit) ve %85 H<sub>2</sub>O (saf su) karışımıyla (Markle, 2015) dağlanmıştır.



**Şekil 3.17:** Mikro ve Makro Yapı İncelemelerinde Kullanılan Numuneler

Mikro yapı incelemeleri için Gedik MYO laboratuvarında bulunan dijital kameralı optik mikroskop ve buna entegre edilmiş görüntü analiz programı kullanılmıştır. Görüntü analizinde kullanılan ekipmanlar Şekil 3.18’de yer almaktadır.



**Şekil 3.18:** Görüntü Analiz Sistemi

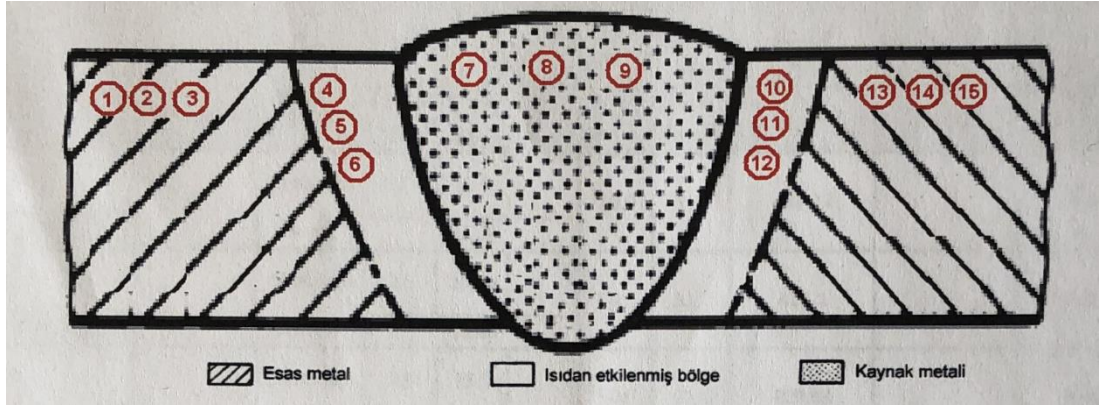
#### **3.5.4 Sertlik testleri**

Sertlik testleri için bakalite alınmış numuneler kullanılmıştır. TS EN ISO 9015-2 (Metalik malzeme kaynaklarında tahribatlı deneyler- Sertlik deneyi- Kısım 2: Kaynaklı birleştirmelerde mikro sertlik deneyi) standardına göre gerçekleştirilen testlerde Şekil 3.19’da görülen Vickers Sertlik Cihazı kullanılmıştır.



**Şekil 3.19:** Vickers Mikro Sertlik Cihazı

Sertlik ölçümleri, 22 °C'de, 1029 hPa basınçta ve %62 nem oranına sahip koşullarda, 10 kg'lık yük kullanılarak Şekil 3.20'de yer alan bölgelerden alınarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik testlerine ait sonuçlar Çizelge 3.2'de yer almaktadır.



Şekil 3.20: Parça Test Noktaları

Çizelge 3.2: Sertlik Sonuçları

SERTLİK TESTİ								
A Parçası			B Parçası			C Parçası		
Nokta	Ölçüm Yapılan Alan	Ortalama Sertlik Değeri	Nokta	Ölçüm Yapılan Alan	Ortalama Sertlik Değeri	Nokta	Ölçüm Yapılan Alan	Ortalama Sertlik Değeri
1	Malzeme	193	1	Malzeme	216	1	Malzeme	201
2	Malzeme	188	2	Malzeme	206	2	Malzeme	218
3	Malzeme	200	3	Malzeme	213	3	Malzeme	215
4	ITAB/Haz	239	4	ITAB/Haz	202	4	ITAB/Haz	249
5	ITAB/Haz	235	5	ITAB/Haz	199	5	ITAB/Haz	238
6	ITAB/Haz	245	6	ITAB/Haz	214	6	ITAB/Haz	240
7	Kaynak	256	7	Kaynak	282	7	Kaynak	282
8	Kaynak	256	8	Kaynak	308	8	Kaynak	259
9	Kaynak	259	9	Kaynak	273	9	Kaynak	266
10	ITAB/Haz	233	10	ITAB/Haz	210	10	ITAB/Haz	235
11	ITAB/Haz	237	11	ITAB/Haz	212	11	ITAB/Haz	230
12	ITAB/Haz	242	12	ITAB/Haz	210	12	ITAB/Haz	241
13	Malzeme	195	13	Malzeme	206	13	Malzeme	210
14	Malzeme	208	14	Malzeme	209	14	Malzeme	199
15	Malzeme	199	15	Malzeme	210	15	Malzeme	209

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Saf titanyumun kaynaklanması için kullanılan TIG yönteminde, parametre değişikliği olarak akım değerlerinde farklılıklar yapılmıştır. Üç (3) farklı amper değerinde (40, 60 ve 80 Amper) gerçekleştirilen birleştirme işlemi sonrası, parametre değişikliklerinin, mekanik özellikler üzerindeki etkilerinin tespiti için standartlar dâhilinde mekanik testler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar aşağıda yer almaktadır.

### 4.1 Eğme Deneilerinin Sonuçları (TS EN ISO 5173)

TS EN ISO 5173 standardına göre gerçekleştirilen eğme deneylerinde, 40 Amperde kaynaklanmış olan 'A' numunesi, HAZ bölgesinden kırılmıştır. Kırılması, standart açısından ret edilmesini gerektirmektedir. 40 Amperde kaynaklanmış numunenin eğme deneyine ait görüntüsü Şekil 4.1'de yer almaktadır.



Şekil 4.1: 'A' Parçasının Eğme Testinden Sonraki Görüntüsü

60 Amper değerinde kaynaklanmış olan 'B' numunesi, eğme deneyleri sonucunda herhangi bir hasara uğramamıştır. Numunenin deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.2'de yer almaktadır.



Şekil 4.2: 'B' Parçasının Eğme Testinden Sonraki Görüntüsü

80 Amper değerinde kaynaklanmış olan 'C' numunesi, eğme deneyleri sonucunda kaynak bölgesinden koparak hasara uğramıştır. Aynı 'A' numunesinde olduğu gibi standarda göre 'C' numunesi de olumsuz sonuç vermiştir. Numunenin deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.3'te yer almaktadır.



Şekil 4.3: 'C' Parçasının Eğme Testinden Sonraki Görüntüsü

Eğme deneylerine ait koşullar, numunelerin özellikleri ve test sonuçları Çizelge 4.1'de yer almaktadır.

Çizelge 4.1: Eğme Test Sonuçları

Numune Adı	Mesnetler		Mandrel Çapı (mm)	Eğme Açısı	Boyutlar (mm)		Sonuç
	Arası (mm)	Mesafe			Kalınlık	Genişlik	
A) A:40	25		10	180°	2,5	25	RET
B) B:60	25		10	180°	2,5	25	KABUL
C) C:80	25		10	180°	2,5	25	RET

#### 4.2 Çekme Deneylerinin Sonuçları (TS EN ISO 4136)

TS EN ISO 4136 Standardına göre gerçekleştirilen çekme deneylerinde, 40 Amperde kaynaklanmış olan 'A' numunesinin akma mukavemeti  $412,12 \text{ N/mm}^2$ , çekme mukavemeti  $544,61 \text{ N/mm}^2$  ve uzaması ise %2,44 olarak ölçülmüştür. Kopma, kaynak bölgesinden gerçekleştiği için standartlara göre uygun olmadığı belirlenmiştir. Numuneye ait deney sonrası görüntü Şekil 4.4'te yer almaktadır.





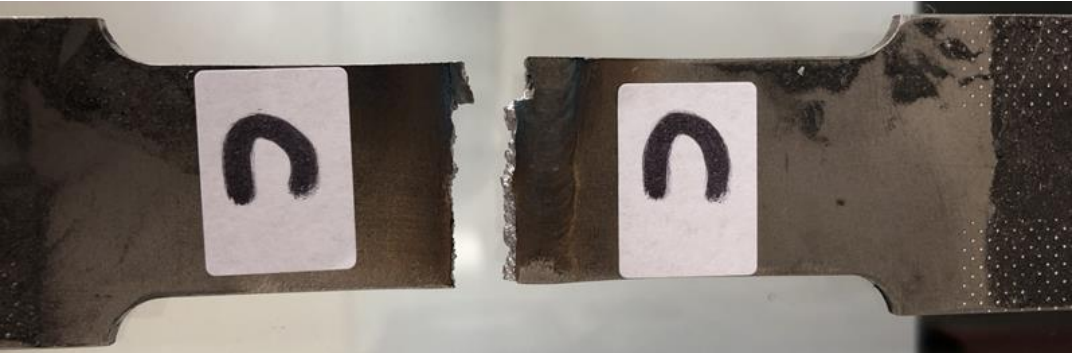
**Şekil 4.4:** 'A' Parçası Çekme Test Sonucu Görünümü

60 Amperde kaynaklanmış 'B' numunesinde, akma mukavemeti  $403,63 \text{ N/mm}^2$ , çekme mukavemeti  $538,28 \text{ N/mm}^2$  ve uzaması ise %15,61 olarak ölçülmüştür. Numune, standarda göre kopması gereken ana malzeme bölgesinden kopmuştur. Numunenin test sonrası görüntüsü Şekil 4.5'te yer almaktadır.



**Şekil 4.5:** 'B' Parçası Çekme Test Sonucu Görünümü

80 Amperde kaynaklanmış 'C' numunesinde, akma mukavemeti  $417,12 \text{ N/mm}^2$ , çekme mukavemeti  $511,54 \text{ N/mm}^2$  ve uzaması ise %2,82 olarak ölçülmüştür. Numune HAZ bölgesinden kopmuştur. Numunenin test sonrası görüntüsü Şekil 4.6'da yer almaktadır.



**Şekil 4.6:** 'C' Parçası Çekme Test Sonucu Görünümü

Her üç amper değerinde kaynaklanmış olan numunelerin çekme sonuçları Çizelge 4.2'de yer almaktadır.

**Çizelge 4.2: Çekme Test Sonuçları**

Numune Adı	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )		Ölçme Boyu (mm)		Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama %	Kopma Bölgesi
	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	İlk Boy (mm)	Son Boy (mm)				
A:40	2,5	25,36	50	51,2	412,1	544,61	2,44	Kaynak
	63,4							
B:60	2,5	25,5	50	57,8	403,63	538,28	15,61	Ana Malzeme
	63,75							
C:80	2,57	25,2	50	51,4	417,12	511,54	2,82	HAZ
	64,76							

### 4.3 Mikro ve Makro Yapı İncelemelerinin Sonuçları (TS EN ISO 17639)

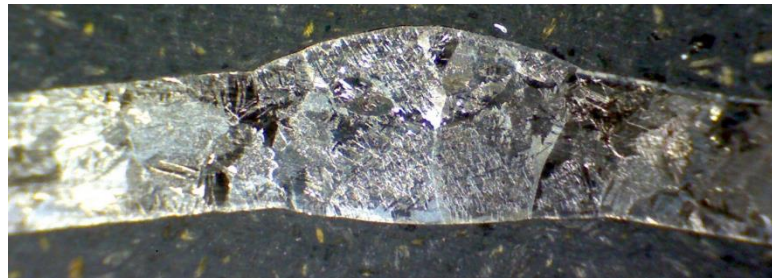
TS EN ISO 17639 standardına göre hazırlanan numunelerin makroskobik yapıları Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da yer almaktadır. Şekillerden de görülebileceği üzere herhangi bir kaynak hatası mevcut değildir.



**Şekil 4.7: 'A' Parçası Makroskobik Görüntüsü**



**Şekil 4.8: 'B' Parçası Makroskobik Görüntüsü**

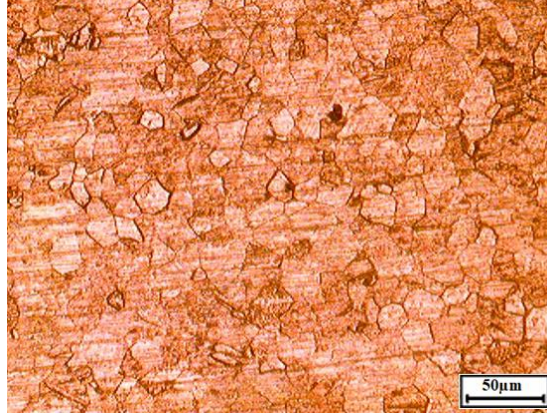


**Şekil 4.9: 'C' Parçası Makroskobik Görüntüsü**

Makro yapı incelemeleri tamamlanan numunelerin mikro yapı incelemeleri, ana malzeme, HAZ ve kaynak bölgesi olmak üzere 3 ayrı bölgede yapılmıştır.

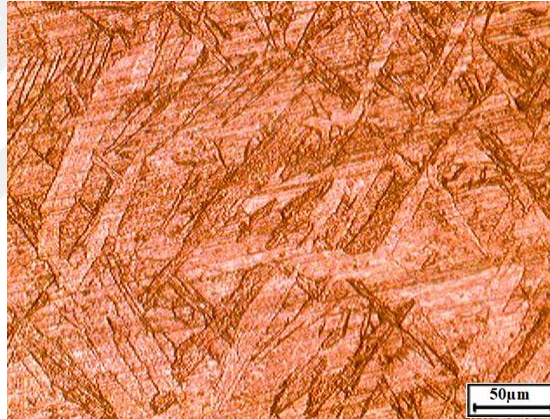


40 Amperde kaynaklanmış olan 'A' numunesinin Şekil 4.10'da gösterilen ana malzeme mikro yapı görüntüsü tipik saf titanyum yapısı olup “ $\alpha$ ” tane yapısına sahiptir.



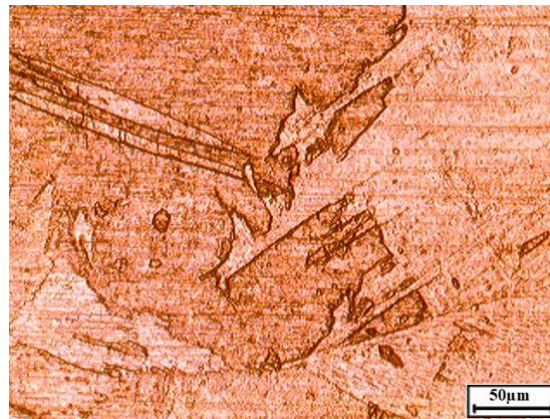
**Şekil 4.10:** 'A' Numunesine ait Ana Malzeme Yapısı

Şekil 4.11'de gösterilen 'A' numunesinin kaynak mikro yapısı incelendiğinde, “ $\alpha$ ” tanelerinin iğnemi bir şekil aldığı ve kolonsal “ $\beta$ ” taneleriyle çevrilmiş olduğu görülmektedir. Bu yapıya Widmanstatten yapısı denilmektedir.



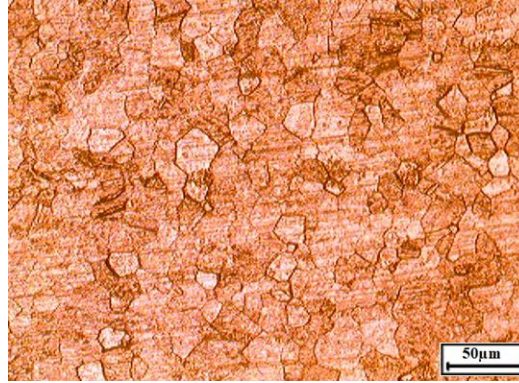
**Şekil 4.11:** 'A' Numunesine ait Kaynak Yapısı

Şekil 4.12'de gösterilen 'A' numunesinin HAZ mikro yapısı incelendiğinde ise, kabalaşmış bir tane yapısı göze çarpmaktadır.  $\alpha$  ve  $\beta$  tanelerinin kolonsal bir yapı sergilediği ve tane yapılarının oldukça büyüdüğü gözlemlenmektedir.



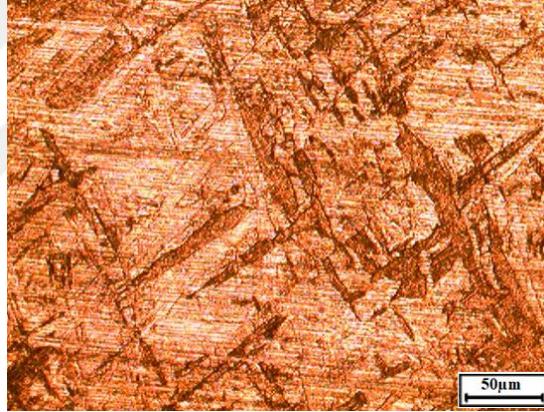
**Şekil 4.12:** 'A' Numunesine ait HAZ Yapısı

60 Amperde kaynaklanmış olan 'B' numunesinin ana malzeme mikro yapısı Şekil 4.13'te yer almaktadır. Mikro yapısı, 'A' numunesinde olduğu gibi tipik saf titanyum yapısı olup “ $\alpha$ ” tane yapısına sahiptir.



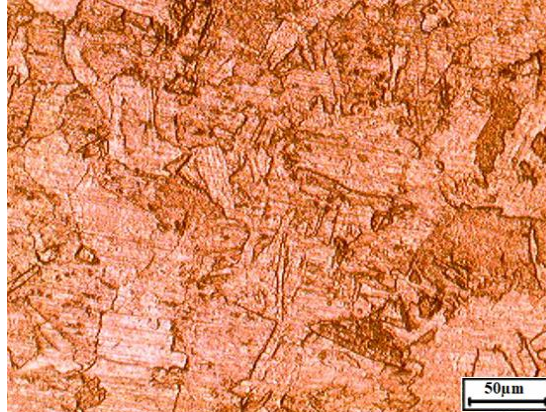
**Şekil 4.13:** 'B' Numunesine ait Ana Malzeme Yapısı

'B' numunesinin kaynak mikro yapısı incelendiğinde, yapının kolonsal “ $\beta$ ” taneleriyle çevrilmiş, iğnemsli “ $\alpha$ ” tanelerinden oluşan Widmanstatten yapısı olduğu belirlenmiş olup 'B' numunesine ait kaynak mikro yapısı Şekil 4.14'te yer almaktadır.



**Şekil 4.14:** 'B' Numunesine ait Kaynak Yapısı

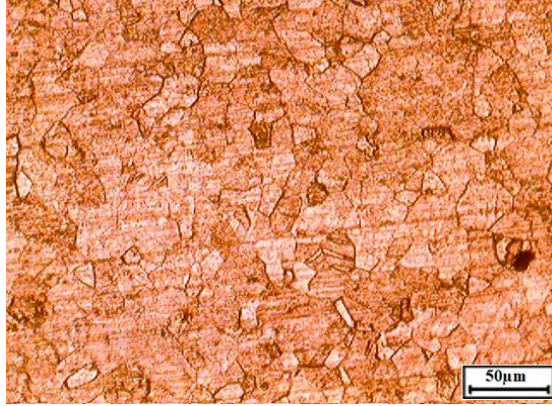
'B' numunesinin HAZ mikro yapısı incelendiğinde ise “ $\alpha$ ” tanelerinin kısmen kabalaştığı, kaynağa yaklaştıkça iğnemsli bir yapıya dönüştüğü belirlenmiştir. 'B' numunesine ait HAZ mikro yapısı Şekil 4.15'te yer almaktadır.



**Şekil 4.15:** 'B' Numunesine ait HAZ Yapısı

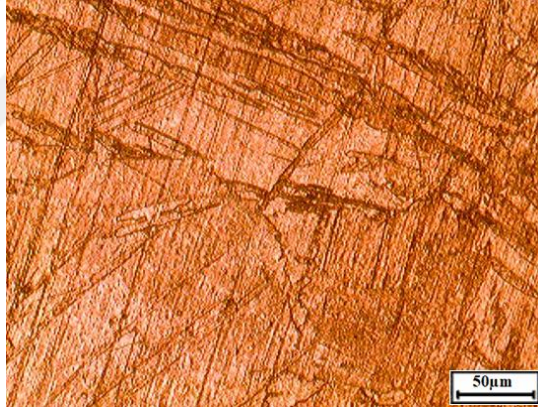


80 Amperde kaynaklanmış olan 'C' numunesinin ana malzeme mikro yapısı Şekil 4.16'da yer almaktadır. Mikro yapısı, 'A' ve 'B' numunelerinde olduğu gibi tipik saf titanyum yapısı olup “ $\alpha$ ” tane yapısına sahiptir.



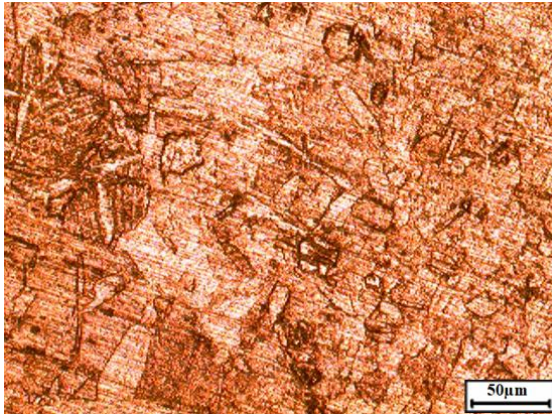
**Şekil 4.16:** 'C' Numunesine ait Ana Malzeme Yapısı

'C' numunesinin Şekil 4.17'de gösterilen kaynak mikro yapısı incelendiğinde, 'A' ve 'B' numunelerinin kaynak yapılarına nazaran daha keskin ve sık yapılı “ $\alpha$ ” tanelerinin, kolonsal “ $\beta$ ” taneleriyle çevrilmiş Widmanstatten yapısı olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4.17:** 'C' Numunesine ait Kaynak Yapısı

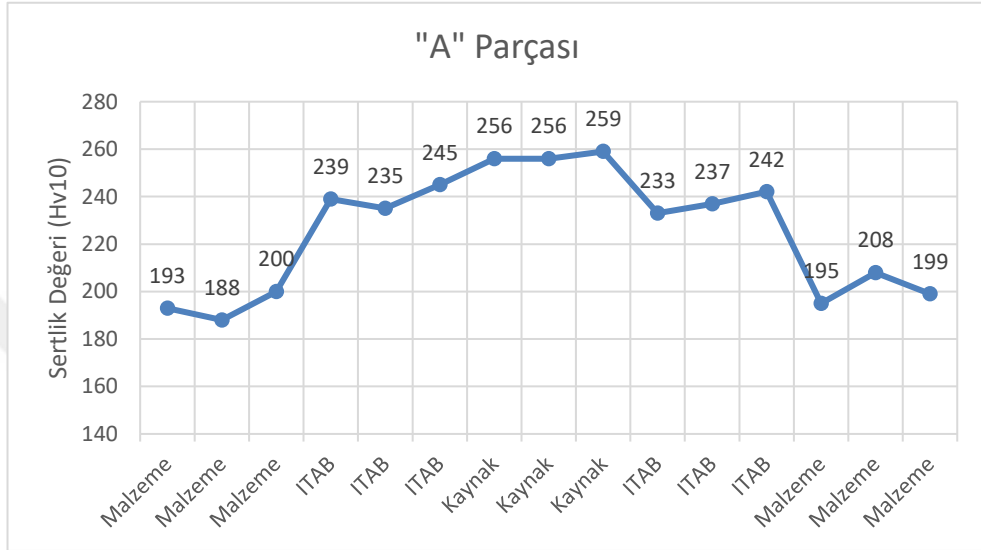
'C' numunesinin Şekil 4.18'de gösterilen HAZ mikro yapısı incelendiğinde ise, “ $\alpha$ ” tanelerinin kaynağa yaklaştıkça iğnemsî bir yapıya dönüştüğü belirlenmiştir.



**Şekil 4.18:** 'C' Numunesine ait HAZ Yapısı

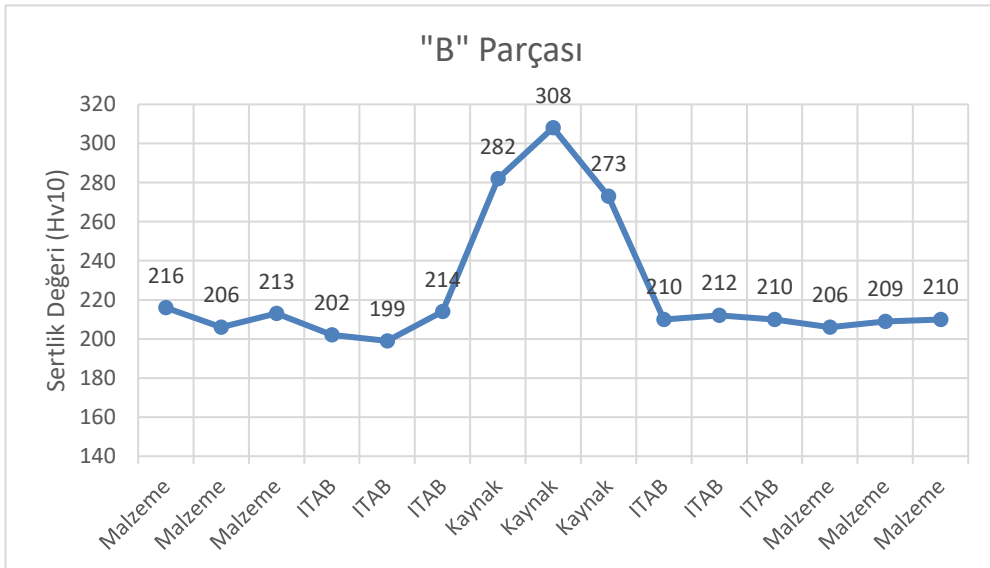
#### 4.4 Sertlik Testlerinin Sonuçları (TS EN ISO 9015-2)

TS EN ISO 9015-2 Standardına göre gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde, 40 Amperde kaynaklanmış olan 'A' numunesinde sertlik değerlerinin, ana malzemeden kaynak dikişine doğru yükseldiği görülmüştür. Ana malzeme ortalama  $199 \text{ kg/mm}^2$ , HAZ ortalama  $238,5 \text{ kg/mm}^2$  ve kaynak bölgesi ise ortalama  $258 \text{ kg/mm}^2$  sertlik değeri göstermiştir. Ölçümlere ait grafik Şekil 4.19'da yer almaktadır.



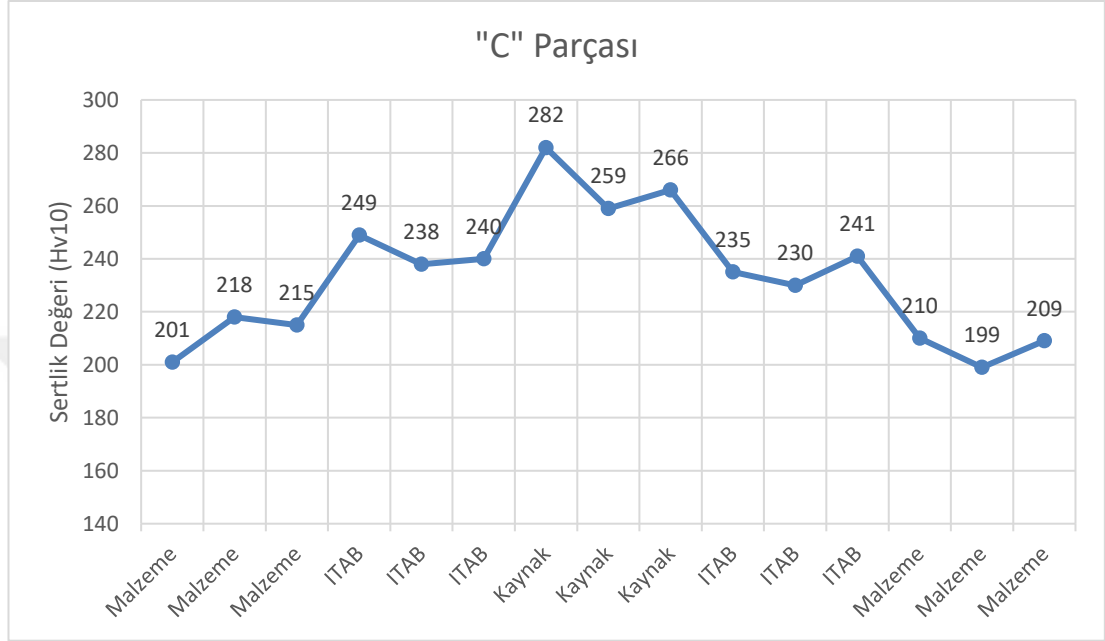
Şekil 4.19: 'A' Parçasına ait Sertlik Değişimini Gösteren Grafik

60 Amperde kaynaklanmış olan 'B' numunesinde sertlik değerlerinin, ana malzeme ve HAZ bölgesinde birbirine yakın değerlerde, fakat kaynak bölgesinde yükseldiği görülmüştür. Ana malzeme ortalama  $210 \text{ kg/mm}^2$ , HAZ ortalama  $208 \text{ kg/mm}^2$  ve kaynak bölgesi ise ortalama  $288 \text{ kg/mm}^2$  sertlik değeri göstermiştir. Ölçümlere ait grafik Şekil 4.20'de yer almaktadır.



Şekil 4.20: 'B' Parçasına ait Sertlik Değişimini Gösteren Grafik

80 Amperde kaynaklanmış olan 'C' numunesinde sertlik değerlerinin, 'A' numunesinde olduğu gibi ana malzemeden kaynak dikişine doğru yükseldiği görülmüştür. Ana malzeme ortalama 209 kg/mm<sup>2</sup>, HAZ ortalama 239 kg/mm<sup>2</sup> ve kaynak bölgesi ise ortalama 269 kg/mm<sup>2</sup> sertlik değeri göstermiştir. Ölçümlere ait grafik Şekil 4.21'de yer almaktadır.



Şekil 4.21: 'C' Parçasına ait Sertlik Değişimini Gösteren Grafik

#### 4.5 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler

Kaynak yöntemleri için en önemli parametrelerden bir tanesi akım (amper) değerinin en optimum değerde kullanılmasıdır. Eğer amper değeri çok düşük olursa, dengesiz ark oluşumuna, elektrot yapışmasına, cüruf oluşumuna, zor temizlenmeye ve dolayısıyla korozyon mukavemetinin düşmesine sebep olur. Tam tersine amper değeri çok yüksek olur ise, parçada çatlamlar meydana gelebilir. Bu nedenle bu yüksek lisans tez çalışmasında, saf titanyumun TIG yöntemiyle kaynaklanması için üç farklı amper değerinde birleştirmeler yapılmıştır. Uygulanan bu farklı amper değerleri sonrasında, kaynaklı malzemelerin mekanik özellikleri araştırılarak en optimum akım değerinin hangisi olduğuna karar verilmiştir. Eğme deneylerinin sonuçlarına bakıldığında 60 Amperde kaynaklanan parçada hasar meydana gelmezken, 40 ve 80 Amperde kaynaklanmış numunelerde kırılma meydana gelmiştir. Kırılmaların HAZ veya kaynak bölgesinde gerçekleşmiş olması, kaynak işleminde değiştirilen amper değerlerinin uygunluğu konusunda kısmen fikir sahibi olunmasını sağlamıştır.

Eğme testleri sonrası gerçekleştirilen çekme deneylerinde, yine en uygun sonucu 60 Amperde kaynaklanmış numune vermiştir. Parça, çekme standardının öngördüğü üzere ana malzemedan kopmuş ve ayrıca uzama, çekme ve akma mukavemet değerleri de malzeme standardına göre uygun çıkmıştır. 40 Amperde kaynaklanmış malzemede kopma, kaynak bölgesinde gerçekleştiğinden standart dışı olduğu belirlenmiştir. 80 Amperde kaynaklanmış malzemede kopma HAZ bölgesinde meydana gelmiştir. Akma ve çekme mukavemeti değerleri her ne kadar standardı karşılasa da, uzama çok düşük değerde kalmıştır.

Makro yapı incelemelerinde, her 3 parçada da görsel açıdan bir olumsuzluğa rastlanmamıştır. Mikro yapı incelemelerinde ise her 3 numunenin ana malzeme bölgelerinin aynı “ $\alpha$ ” tane yapısına sahip olduğu görülmüştür. Her 3 numunenin kaynak yapısı ise tipik kaynak yapısı (Widmanstatten) olduğu belirlenmiştir. HAZ bölgelerinde ise yapılarda bir kısım değişiklikler tespit edilmiştir. 40 Amperde kaynaklanmış malzemenin HAZ yapısı, oldukça kaba “ $\alpha$ ” ve “ $\beta$ ” tanelerinden oluşmuş, 60 Amperde kaynaklanmış numunede “ $\alpha$ ” tanelerinin kısmen kabalaştığı, kaynağa yaklaştıkça iğnemsî bir yapıya dönüştüğü, 80 Amperde kaynaklanmış malzemede ise 60 Amperde kaynaklanmış malzemeye nazaran “ $\alpha$ ” tanelerinin daha küçük yapı ve kaynağa yaklaştıkça iğnemsî bir yapıya dönüştüğü belirlenmiştir.

Sertlik ölçümlerine bakıldığında genel olarak ana malzemedan kaynağa doğru belli bir artış her 3 numunede de göze çarpmaktadır. 40 Amperde kaynaklanmış numunede en sert bölgenin kaynak olduğu ve HAZ’ın da ana malzemeye oranla oldukça sertleştiği belirlenmiştir. Bu numunenin HAZ bölgesinin mikro yapısındaki değişiklik ve eğme deneyinde bu bölgeden kırılması, bu amper değerinin uygun olmadığı kanaatine yol açmaktadır. 60 Amperde kaynaklanan numunede en sert bölgenin kaynak olduğu, HAZ bölgesi sertliğinin, ana malzeme sertliğine yakın değerlerde olması, ayrıca eğme ve çekme deneylerinde herhangi bir hasar meydana gelmemiş olması, bu amper değerinin uygun olduğu ihtimalini güçlendirmiştir. 80 Amperde kaynaklanmış numunede de yine en sert bölge kaynak olup, ana malzemeye doğru orantısal bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu numune de hem eğme hem de çekme deneyleri sonucunda hasara uğradığı için çok verimli bir amper değerinde kaynaklanmamış olduğu izlenimi vermiştir.

Sonuç olarak; üç farklı amper değerinde, aynı koşul ve aynı kaynakçı tarafından, saf titanyumun TIG kaynağıyla birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Mekanik testler neticesinde, 40 Amperde gerçekleştirilen kaynak, standartların dışında sonuçlar verdiği için uygun amper parametresinde gerçekleşmediği sonucunu doğurmuştur. Aynı şekilde 80 Amperde gerçekleştirilen kaynak işlemi, mekanik testlerde standartlara uygun olmayan sonuçlar vermiştir. 60 Amperde kaynaklanmış numune, mekanik testler neticesinde standartlara uygun sonuçlar vermiştir. Genel olarak bakıldığında 40 Amper değerinin düşük kaldığı, 80 Amper değerinin ise yüksek olduğu, en optimum değer 60 Amper olduğu belirlenmiştir. Saf titanyumun TIG kaynağı ile birleştirilme işlemlerinde, akım değerinin önemi ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında çıkan sonuçlar neticesinde, 40, 60 ve 80 Amper akım değerlerinde gerçekleştirilen TIG kaynağında, optimum kaynak akım değerinin 60 Amper olduğu ve gelecekte yapılacak çalışmalar için bir yol haritası olarak değerlendirilebileceği öngörülmüştür.



## KAYNAKLAR

**Anık, Selahaddin.** Kaynak Tekniği El Kitabı

**Bendikine, R., Baskut, S., Baskutiene, J., Ciuplys, A., Kacinskas, T.** (2018). Comparative Study of TIG Welding Commercially Pure Titanium

**Bhatia, A.** Fundamentals of Gas Cutting and Welding

**Finch, R.** (2007). Welder's Handbook: A Guide to Plasma Cutting, Oxyacetylene, ARC, MIG and TIG Welding, Revised and Updated

**Gedik Eğitim Vakfı.** (2010). Kaynak Mühendisliği Modül I

**Günyüz, M.** (2007). Titanyum ve Alaşımlarının Mikro Ark Oksidasyon İşlemi ile Kaplanması

**İçdem, C.** (2007). Saf Titanyum ve Ti6Al4V, Ti6Al7Nb Alaşımlarının Akışkan Yatak Ortamında Termal Oksidasyonu

**Kaya, Y., Durgutlu, A., Kahraman, N. ve Gülenç B.** (2011). Titanyum Levhaların TIG Kaynağı ile Birleştirilmesinde Akım Türünün Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi

**Lancaster, J. F.** Metallurgy of Welding

**Leyens, C. and Peters, M.** (2003). Titanium and Titanium Alloys

**Lincoln Electric** (1997). For Gas Metal Arc Welding (GMAW)

**Miller Welds.** (2018). Guidelines for Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

**Miller Welds.** (2018) Guidelines for Shielded Metal Arc Welding

**R-Tech Welding Equipment Ltd.** (2009). Guide to TIG Welding

**Swartz, J. and Hemmert B.** (2008). TIG Welding for Dummies

**Yılmaz, N.** (2008). Mimaride Titanyum Kullanımı

## İnternet Kaynakları

**Url-1** <<https://www.i3detroit.org/wiki/File:Oxy-AcetyleneRig.jpg>>, alındığı tarih: 12.11.2018.

**Url-2** <<http://www.gedikkaynak.com.tr/wp-content/uploads/2016/05/GeKa-Elektrot-238x300.jpg>>, alındığı tarih: 12.11.2018.

**Url-3** <<http://www.networkasansor.com/urun-detaylar.php?id=358>>, alındığı tarih: 12.11.2018.

**Url-4** <<https://shopweldingsupplies.com/products/lincoln-electric-fleetweld-5p-stick-electrodes-50lb-ed010203>>, alındığı tarih: 12.11.2018.

**Url-5** <<https://www.askaynak.com.tr/urunler/kaynak-elektrodlari-telleri-ve-tozlar/ortulu-kaynak-elektrodlari/as-b-248>>, alındığı tarih: 13.11.2018.

**Url-6** <<http://www.gedikaynak.com.tr/urun/power-mig-gs-wb-400-l-mig-mag-kaynak-makinesi>>, alındığı tarih: 13.11.2018.

**Url-7** <<https://www.merkle.de/en/products/welding-torches/migmag-fume-extraction-torches/migmag-fume-extraction-torches.html>>, alındığı tarih: 13.11.2018.

**Url-8** <<https://www.eworldtrade.com/pd/ew79702894/hot-selling-ers-co/282655/>>, alındığı tarih: 14.11.2018.

**Url-9** <<http://www.metaluzmani.com/tig-kaynagi-sematik-gosterim-ve-ozet-bilgi/>>, alındığı tarih: 14.11.2018.

**Url-10** <<http://www.metaluzmani.com/tig-kaynaginda-akim-tipine-gore-nufuziyet-ve-elektrot-kapasitesi/>>, alındığı tarih: 15.11.2018.

**Url-11** <<https://weldfixsupplies.co.uk/wp17-tig-welding-torch-package-1>>, alındığı tarih: 15.11.2018.

**Url-12** <<http://www.metaluzmani.com/tungsten-elektrotlarin-renk-kodlari-ve-karakteristik-ozellikleri/>>, alındığı tarih: 15.11.2018.

**Url-13** <<http://www.metaluzmani.com/tungsten-elektrotlarin-renk-kodlari-ve-karakteristik-ozellikleri/>>, alındığı tarih: 15.11.2018.

**Url-14**

<<http://www.kaynakmerkezi.com.tr/index.php?lang=&mn=65fc52ed8f88c81323a418ca94cec2ed&mid=e74c0d42b4433905293aab661fcf8ddb>>, alındığı tarih: 28.11.2018.

**Url-15** <<http://www.metaluzmani.com/tungsten-elektrodlarin-bilenmesi/>>, alındığı tarih: 11.01.2019.

**Url-16** <<http://www.metaluzmani.com/tungsten-elektrodlarin-bilenmesi/>>, alındığı tarih: 11.01.2019.

**Url-17** <<http://www.metaluzmani.com/baglanti-tipine-gore-tig-kaynak-torcu-acilari/>>, alındığı tarih: 11.01.2019.

**Url-18** <<http://www.habas.com.tr/Category/Alias/emniyet->>, alındığı tarih: 15.01.2019.

**Url-19** <<https://www.askaynak.com.tr/urunler/aksesuarlar-ve-diger-urunler/aksesuarlar/otomatik-kararan-kaynak-maskesi>>, alındığı tarih: 15.01.2019.

**Url-20** <[https://www.kaynak-market.com/?attachment\\_id=3614](https://www.kaynak-market.com/?attachment_id=3614)>, alındığı tarih: 15.01.2019.

**Url-21** <<http://www.ozmetalsan.com/onluk>>, alındığı tarih: 15.01.2019.

- Url-22** <<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/titanyum>>, alındığı tarih: 16.01.2019.
- Url-23** <[https://www.etsy.com/listing/206569165/1953-douglas-aircraft-ad-1950s-douglas?show\\_sold\\_out\\_detail=1](https://www.etsy.com/listing/206569165/1953-douglas-aircraft-ad-1950s-douglas?show_sold_out_detail=1)>, alındığı tarih: 16.01.2019.
- Url-24** <<http://www.rsc.org/periodic-table/element/22/titanium>>, alındığı tarih: 17.01.2019.
- Url-25** <<http://metalpedia.asianmetal.com/metal/titanium/application.shtml>>, alındığı tarih: 17.01.2019.
- Url-26** <<https://www.muhandisbeyinler.net/ucak-yapiminda-kullanilan-malzemeler/>>, alındığı tarih: 17.01.2019.
- Url-27** <<https://titanium.com/the-most-fascinating-titanium-uses/>>, alındığı tarih: 17.01.2019.
- Url-28** <[https://tr.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_SR-71\\_Blackbird](https://tr.wikipedia.org/wiki/Lockheed_SR-71_Blackbird)>, alındığı tarih: 17.01.2019.
- Url-29** <<https://continentalsteel.com/titanium/applications/>>, alındığı tarih: 18.01.2019.
- Url-30** <<https://malzemebilimi.net/titanyumu-ustun-kilan-7-ozelligi.html>>, alındığı tarih: 18.01.2019.
- Url-31** <<http://metalpedia.asianmetal.com/metal/titanium/application.shtml>>, alındığı tarih: 18.01.2019.
- Url-32** <<https://titanium.com/markets/consumer-products/>>, alındığı tarih: 19.01.2019.
- Url-33** <<https://titanium.com/markets/consumer-products/>>, alındığı tarih: 19.01.2019.
- Url-34** <<https://tr.redsearch.org/images/7576243>>, alındığı tarih: 19.01.2019.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Murat Sönmez  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 14.04.1990, Tokat  
**E-posta** : murat\_sonmez34@hotmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU

**Lisans** : 2013, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metal Öğretmenliği  
**Yüksek Lisans** : 2019, İstanbul Gedik Üniversitesi, Savunma Teknolojileri