**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# UÇAK ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN TİTANYUM ALAŞIMLARININ TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK AKIMININ MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**GÖKSEL BARAN**

**KOCAELİ 2020**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# UÇAK ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN TİTANYUM ALAŞIMLARININ TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK AKIMININ MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**GÖKSEL BARAN**

| | | |
|---|---|---|
| **Prof. Dr. Ali ÇINAR** | | |
| **Danışman,** | **Kocaeli Üniversitesi** | ..... |
| **Prof. Dr. Mehmet UÇAR** | | |
| **Jüri Üyesi,** | **Kocaeli Üniversitesi** | ..... |
| **Prof. Dr. İbrahim SEVİM** | | |
| **Jüri Üyesi,** | **Yalova Üniversitesi** | ..... |

**Tezin Savunulduğu Tarih: 16.01.2020**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Titanyum ve alaşımları sahip oldukları yüksek dayanım, yoğunluk oranı, ısı ve korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı özellikle uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Günümüzde, bu malzemelerin kullanımının artışıyla birlikte kaynaklı birleştirmeleri de önem teşkil etmeye başlamıştır. TIG kaynak yöntemi bu malzemelerin birleştirilmesinde en çok tercih edilen metotlardan biridir. Bu çalışmada Ti6Al4V titanyum alaşımları TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde kaynak akımının numuneler üzerinde mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Bu tezi hazırlamamda bana yardımcı olan ve tez çalışmalarım süresince, bana vaktini ayırıp yol gösteren, çalışmalarırımın sonuçlanması için benimle yakından ilgilenen değerli danışman hocam Prof. Dr. Ali ÇINAR'a öncelikle teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım süresinde bir fiil destek aldığım ve laboratuvar imkânlarını kullandığım THY Teknik, MKEK, Pratt Whitney THY Teknik Uçak Motor Bakım Merkezi, IMKOSAN Test Birimi ve Gedik Kaynak Test Merkezine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Tez çalışmamı destekleyen Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca manevi katkılarından dolayı aileme ve beni her zaman motive eden sevgili eşime ve yanımda oldukları için kızım Ada Derin ve oğlum Aras Kuzey'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık – 2019 Göksel BARAN

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... i
İÇİNDEKİLER ..... ii
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... iv
TABLOLAR DİZİNİ ..... vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... vii
ÖZET ..... ix
ABSTRACT ..... x
GİRİŞ ..... 1
1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ..... 3
2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI ..... 10
2.1. Titanyum ve Alaşımlarının Genel Özellikleri ..... 10
2.2. Üretim Yöntemi ve Teknoloji ..... 12
2.3. Titanyum Alaşımlarının Sınıflandırılması ..... 12
2.3.1. Ticari saf titanyum ..... 13
2.3.2. Alfa (α) fazlı titanyum alaşımları ..... 13
2.3.3. Alfa yakın (near α) fazlı titanyum alaşımları ..... 14
2.3.4. Alfa-Beta (α+ß) fazlı titanyum alaşımları ..... 15
2.3.5. Beta (ß) fazlı titanyum alaşımları ..... 16
2.4. Titanyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları ..... 16
2.4.1. Titanyum ve alaşımlarının uçak endüstrisindeki kullanımları ..... 17
2.4.2. Titanyum ve alaşımlarının diğer kullanım alanları ..... 18
3. TIG (GTAW) KAYNAK YÖNTEMİ ..... 20
3.1. TIG Kaynağı Akım Üreteçleri ..... 21
3.2. TIG Kaynak Elektrotları ..... 21
3.3. Koruyucu Gazlar ..... 22
3.4. TIG Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları ..... 22
4. MATERYAL VE METOT ..... 24
4.1. Deney Malzemeleri ..... 24
4.2. Malzemelerin Kaynak Öncesi Hazırlığı ..... 25
4.3. TIG Kaynak Uygulaması ..... 26
4.4. Numune Hazırlama ..... 28
4.5. Yapılan Tahribatsız Deneyler ..... 30
4.5.1. Görsel muayene ..... 30
4.5.2. Penetrant muayene ..... 30
4.5.3. Radyografik muayene ..... 31
4.5.4. Metalografik muayene ..... 33
4.6. Yapılan Tahribatlı Deneyler ..... 34
4.6.1. Sertlik testi ..... 34
4.6.2. Çekme testi ..... 35
5. BULGULAR VE TARTIŞMA ..... 37
5.1. Görsel Muayene (VT) Sonuçları ..... 37
5.2. Penetrant Muayene (PT) Sonuçları ..... 38
5.3. Radyografik Muayene (RT) Sonuçları ..... 39

5.4. Makroskobik Muayene Sonuçları ..... 40
5.5. Mikroskobik Muayene Sonuçları ..... 41
5.6. Sertlik Testi Sonuçları ..... 50
5.7. Çekme Testi Sonuçları ..... 51
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 54
KAYNAKLAR ..... 56
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER ..... 62
ÖZGEÇMİŞ ..... 63

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Titanyum alaşımlarının motorda kullanım oranları ..... 17
Şekil 2.2. IAE V2500 Turbofan uçak motoru fan palleri ..... 18
Şekil 3.1. TIG kaynağı şematik görüntüsü ..... 21
Şekil 4.1. Deneyde kullanılan Ti6Al4V titanyum ..... 24
Şekil 4.2. Numunelerin kaynak öncesi zımparalanma işlemi ..... 25
Şekil 4.3. Kaynak öncesi asetonlu bezle temizlenen numuneler ..... 25
Şekil 4.4. Inverter tip CC DC TIG kaynak makinası ..... 26
Şekil 4.5. Sabitleme fikstürü ..... 27
Şekil 4.6. TIG kaynak uygulaması ..... 27
Şekil 4.7. Kaynaklı deney numuneleri ..... 28
Şekil 4.8. Numunelerin kesim işleminde kullanılan tel erozyon makinası ..... 29
Şekil 4.9. Tel erozyon ile kesilmiş kaynaklı numuneler ..... 29
Şekil 4.10. Kaynaklı numunelere yapılan görsel muayene ..... 30
Şekil 4.11. Sprey penetrant uygulaması ..... 31
Şekil 4.12. X-Ray deney düzeneği ..... 32
Şekil 4.13. Deneyde kullanılan Olympos marka optik mikroskop ..... 34
Şekil 4.14. Sertlik ölçümü alınan lokasyonlar ..... 35
Şekil 4.15. Deneyde kullanılan sertlik ölçüm cihazı ..... 35
Şekil 4.16. Çekme deneyi numuneleri ..... 36
Şekil 4.17. Çekme deney numune teknik resmi ..... 36
Şekil 4.18. Çekme test cihazı ..... 36
Şekil 5.1. Numunelerin kaynak dikişlerinin görsel incelenmesi ..... 37
Şekil 5.2. Numunelerin kaynak kep dikiş genişliği ve yüksekliği ..... 38
Şekil 5.3. Numunelerin kaynak dikişlerinin radyografik görüntüleri ..... 40
Şekil 5.4. Kaynaklı numunelerin makroskobik görüntüleri ..... 41
Şekil 5.5. ITAB mikroyapısı ..... 42
Şekil 5.6. Tanecik yapısına göre haritalandırılmış Ti6Al4V kaynak bölgesi ..... 42
Şekil 5.7. Numune #1 ana malzeme mikroskobik görüntüsü ..... 43
Şekil 5.8. Numune #1 ITAB mikroskobik görüntüsü ..... 43
Şekil 5.9. Numune #1 kaynak metali mikroskobik görüntüsü ..... 44
Şekil 5.10. Numune #2 ana malzeme mikroskobik görüntüsü ..... 44
Şekil 5.11. Numune #2 ITAB mikroskobik görüntüsü ..... 45
Şekil 5.12. Numune #2 kaynak metali mikroskobik görüntüsü ..... 45
Şekil 5.13. Numune #3 ana malzeme mikroskobik görüntüsü ..... 46
Şekil 5.14. Numune #3 ITAB mikroskobik görüntüsü ..... 46
Şekil 5.15. Numune #3 kaynak metali mikroskobik görüntüsü ..... 47
Şekil 5.16. Numune #4 ana malzeme mikroskobik görüntüsü ..... 47
Şekil 5.17. Numune #4 ITAB mikroskobik görüntüsü ..... 48
Şekil 5.18. Numune #4 kaynak metali mikroskobik görüntüsü ..... 48
Şekil 5.19. Numune #5 ana malzeme mikroskobik görüntüsü ..... 49
Şekil 5.20. Numune #5 ITAB mikroskobik görüntüsü ..... 49
Şekil 5.21. Numune #5 kaynak metali mikroskobik görüntüsü ..... 50
Şekil 5.22. Vickers sertlik ölçüm grafiği ..... 51

Şekil 5.23. Kaynaklı numunelerin çekme gerilmesi değerleri ..... 52
Şekil 5.24. Kaynaklı numunelerin % uzama değerleri..... 52
Şekil 5.25. Kaynaklı numunelerin kırılma bölgeleri ..... 53

## TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Ti, Fe ve Al fiziksel bazı özellikleri ..... 11
Tablo 2.2. Ticari saf titanyum genel özellikleri ..... 13
Tablo 2.3. Near alfa kimyasal bileşikleri ve uygulama alanları..... 15
Tablo 2.4. α+β alaşımlarının kimyasal kompoziyonları ve mekanik özellikleri..... 15
Tablo 4.1.Ti6Al4V alaşımının kimyasal kompozisyonu (%) ..... 24
Tablo 4.2. Ti6Al4V mekanik özellikleri ..... 24
Tablo 4.3. Kaynak parametreleri..... 28
Tablo 5.1. Çekme deneyi sonuçları..... 51

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A : Amper
Al : Alüminyum
C : Karbon
Fe : Demir
H : Hidrojen
HCI : Hidroklorik asit
GPa : Giga Pascal
MPa : Mega Pascal
N : Azot
O : Oksijen
Ti : Titanyum
V : Vanadyum
α : Alfa
β : Beta
W : Watt

### Kısaltmalar

AMS : Aerospace Materials Specifications (Havacılık Malzemeleri Spesifikasyonları)
ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu)
CC : Constant Current (Sabit Akım)
CMM : Coordinate Measuremnt Machine (Koordinat Ölçüm Makinası)
CP : Commercially Pure (Ticari Saflıkta)
DC : Direct Current (Doğru Akım)
DCEP : Direct Current Electron Positive (Doğru Akım Elektron Pozitif)
EM : Esas Metal
EN : European Norm (Avrupa Standardı)
FPI : Fluorescent Penetrant Inspection (Sıvı Penetrant Muayenesi)
GTAW : Gas Tungsten Arc Welding (Gaz Tungsten Ark Kaynağı)
HMK : Hacim Merkezli Kübik
IEB : Isıdan Etkilenmiş Bölge
ISO : International Standarts Organization (Uluslararası Standartlar Örgütü)
ITAB : Isı Tesiri Altındaki Bölge
KM : Kaynak Metali
LBW : Laser Beam Welding (Lazer Işın Kaynağı)
MIG : Metal Inert Gas (Metal Asal Gaz Kaynağı)
MKE : Makine ve Kimya Endüstrisi
Nd YAG : Neodymium: Yitrium Aluminium Garnet Lazer
NDT : Non Destructive Test (Tahribatsız Muayene)

| | |
|---|---|
| PT | : Penetrant Test (Sıvı Penetrant Muayenesi) |
| PTA | : Plazma Tugsten Ark |
| RT | : Radiographic Testing (Radyografik Muayene) |
| SEM | : Scanning Electron Microscopy (Taramalı Electron Mikroskobu) |
| SPH | : Sıkı Paket Hegzagonal |
| TS | : Türk Standartları |
| TIG | : Tungsten Inert Gas (Tungsten Asal Gaz Kaynağı) |
| UV | : Ultraviyole |
| VT | : Visual Test (Görsel Muayene) |
| YMK | : Yüzey Merkezli Kübik |
| 3D | : Three Dimensional (3 Boyutlu) |

## UÇAK ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN TİTANYUM ALAŞIMLARININ TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK AKIMININ MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

## ÖZET

Titanyum ve alaşımları sahip oldukları yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı kimya, otomotiv, sağlık ve özellikle uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Günümüzde, titanyum ve alaşımlarının kullanımının artışına paralel olarak, kaynağının da daha önemli hale geldiği bir gerçektir. Bu malzemelerin birleştirilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden birisi de TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemidir. Bu çalışmada 1,6 mm kalınlığındaki Ti6Al4V titanyum alaşımlarının farklı kaynak akımlarında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesi sonucu kaynak akımının mekanik ve mikroyapı özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Kaynaklı numunelere uygulanan tahribatlı muayene yöntemlerinden çekme ve sertlik testleri, tahribatsız muayenelerden ise görsel muayene, penetrant muayene, radyografik muayene, makroskobik ve mikroskobik muayeneler ile kaynak akımının mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mekanik Özellikler, Mikroyapı, TIG Kaynağı, Titanyum Alaşım, Ti6Al4V.

**EFFECT OF WELD CURRENT ON MECHANICAL AND MICROSTRUCTURE PROPERTIES OF TIG WELDED TITANIUM ALLOYS USED IN AEROSPACE INDUSTRY**


## ABSTRACT

Titanium and it's alloys are materials used commonly in chemisty, automotive, healtcare field and especially aerospace industry due to their properties such as high strength, low weight, high durability to corrosion. At the present time, correspondingly increment of usage in these materials, it is a real that it's welding come to the fore. GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) is one of methods used mostly in welding of titanium alloys. In this study, the effect of weld current on mechanical and microstructure properties as a result of joining through TIG welding in different weld currents for Ti6Al4V titanium alloys in 1,6 mm thickness was investigated. It was analyzed effect of weld current on mechanical and microstructure properties of welded samples via conducted tensile and hardness tests, visual examine, FPI, X-ray examines, macrostructure and microstrucre examines.



**Keywords**: Mechanical Properties, Microstructure, TIG Welding, Titanium Alloy, Ti6Al4V.

# GİRİŞ

Titanyum ve titanyum alaşımları endüstriyel uygulamalar konusunda en iyi mühendislik malzemelerinden biri olarak görülmektedir [1-2]. Titanyum demir esaslı olmayan en önemli metallerden biridir [3]. Sahip oldukları yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, mükemmel korozyon direnci ve yüksek kırılma dayanımı gibi özelliklerinden dolayı bu alaşımlar uçak ve uzay endüstrisinde, otomotiv, kimya ve biyomedikal sanayinde tercih edilmektedir [4-7, 12]. Üstün özellikleriyle ön plana çıkan titanyum, günümüzde alüminyum, demir ve magnezyumdan sonra en çok kullanılan 4. malzeme olarak listelenmektedir.

Bu malzemeler çelikten daha dayanaklı ancak %60 daha hafif olması bakımından özellikle uçak ve uzay endüstrisinde birçok parçanın imalatında kullanılmaktadır [8]. Bu anlamda Ti6Al4V, havacılık alanındaki en iyi mühendislik malzemelerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Üretilen titanyumun yaklaşık % 80'lik kısmı uçak ve uzay endüstrisinde kullanılmaktadır.

Ti6Al4V, dünyadaki titanyum alaşım üretiminin yarısından fazlasını oluşturan en yaygın titanyum alaşımıdır [9-10]. Ti6Al4V titanyum alaşımları yüksek gerilme mukavemeti ve sürünme özellikleri gerektiren genellikle gaz türbinli motorların kompresör parçalarında, fan disk ve pallerinde kullanılmaktadır [11].

Titanyumun olağanüstü özelliklerinden dolayı her geçen gün endüstriyel uygulamalardaki kullanım artışına paralel olarak endüstrinin vazgeçilmezi olan kaynak teknolojisinin de önemli hale gediği bir gerçektir. Titanyum ve alaşımları farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilebilir. Ancak endüstrideki yaygın kullanımı, ekonomiklik, sağlamlık, güvenilirlik ve kolay uygulanabilirliği açısından titanyum alaşımları için GTAW kaynağı en çok tercih edilen kaynak yöntemlerinden biri olmuştur [13-16].

Bu çalışmada kaynak kalitesini birincil derecede etkileyen parametre olan kaynak akımının TIG kaynaklı numuneler üzerindeki mekanik ve mikroyapı özelliklerine olan etkisi analiz edilmiştir.

Literatürde farklı kaynak parametreleri ile yapılmış çalışmalar mevcuttur. Ancak konuyu deneysel olarak geniş bir yelpazede alan çalışma sayısı sınırlıdır.

Bu çalışmanın amacı GTAW kaynak yöntemi ile farklı kaynak akımlarında birleştirilmiş kaynaklı numunelerin tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleriyle analiz ederek literatürde bulunan boşluğun giderilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla deney numunelerine çekme testi, sertlik testi, görsel muayene, radyografik muayene, penetrant muayene, makroskobik ve mikroskobik muayeneler uygulanmıştır. Mekanik ve mikroyapı özelliklerine olan etkilerine istinaden optimum kaynak parametreleri saptanmıştır.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde literatür araştırmalarına ilişkin bilgi sunulmuştur. İkinci bölümde titanyum ve alaşımlarının genel özellikleri, üretim yöntemi, alaşımların sınıflandırılması ve kullanım alanları üzerine bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde TIG kaynak yöntemi konusunda akım üreteçleri, kaynak elektrotları, koruyucu gazlar, kullanım alanları, avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Dördüncü bölümde deneysel çalışmalar olarak materyal ve metotlar açıklanmıştır. Beşinci bölümde deneysel sonuçlar olarak bulgular ve tartışmaya yer verilmiştir. Son olarak altıncı bölümde deneylerde elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve öneriler sunulmuştur.

# 1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Titanyum ve alaşımları mükemmel korozyon, düşük ağırlık ve yüksek mukavemet özellikleriyle nitelendirilmektedirler. Titanyum alaşımlarının bu özellikleri sayesinde özellikle uçak endüstrisinde, kimya, tıp ve spor alanlarında bu malzemelerin başarılı bir şekilde geniş ve çeşitli uygulamalarına yol açmıştır. Günümüzde Ti6Al4V dünyadaki tüm titanyum rezervlerinin % 50 sinden fazlasını oluşturarak en yaygın kullanılan titanyum alaşımıdır [17].

Günümüzde teknolojinin gelişimi ile birlikte titanyum alaşımlarının yoğun bir şekilde kullanımına paralel olarak kaynaklanabilirliklerine yönelik çalışmalar da artmıştır. Literatürde titanyum alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ve diğer kaynak metodları ile ilgili çalışmalar çalışmalar bulunmaktadır. Bu bağlamda konuya ilişkin literatür çalışmaları aşağıda sunulmuştur.

Zhou ve Chew titanyum alaşımlarının TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde çentik darbe etkisini araştırmak üzere deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada esas metal olarak 15 mm kalınlığında Ti6Al4V titanyum alaşımı, dolgu malzemesi olarak ise 3 m çapında Ti6Al4V, birleştirme şekli olarak alın alına olacak şekilde ve V kaynak ağzı açılarak ve koruyucu gaz olarak yüksek saflıktaki argon gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynak öncesi temizlik prosedürleri yapılmış ve standart V çentik darbe numuneleri esas metal, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak metali olarak ayrı ayrı işlenmiştir. Mikro yapı çalışmaları için numuneler bakalite alma, polisaj ve dağlama işlemlerinden geçirilmiştir. Dağlama işlemi için 5% HF, 20% $HNO_3$ ve 75% glycerol çözeltisinde 30 sn sürede yapılmıştır. Vickers mikro sertlik ölçümleri ise 300 gr yük altında esas metal, ITAB ve kaynak metalinde yapılmış olup elde edilen sonuçlarda en iri taneli ve en yüksek mikro sertliğin kaynak metali bölgesinde olduğu ve dolayısıyla da bu bölgenin en kırılgan bölge olduğu tespit edilmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen çentik darbe testlerinde kaynak metalinin darbe tokluğunun ITAB ve esas metale oranla %50 daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Kaynak metalindeki bu kayda değer

iyileşmenin ise kaynak metali bölgesindeki ana α tanecik miktarının çok fazla azalmasının bir sonucu olduğu görülmüştür [18].

Yung ve diğ. titanyum alaşımı (Ti6Al4V) TIG kaynağının çekme özelliklerini etkileyen kaynak parametreleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Kaynak soğutma oranının artışıyla artan bir çekme mukavemeti eğimi olurken kaynak ısı miktarının artışıyla ise azalan bir çekme mukavemeti eğimi olduğunu bulmuşlardır. Süneklik ile ilgili soğutma oranı etkisi düşünüldüğünde, daha yüksek soğutma oranının nispeten daha büyük uzamaya ve böylece daha yüksek kaynak sünekliği olacağı belirtilmiştir. Yapılan çekme testlerinde en iyi mukavemet 1048 MPa olarak ölçülmüş ve bu değerin de ana malzemeden % 3,2 daha düşük olduğu tespit edilmiştir [19].

Lathabai ve diğ. bu çalışmada ticari saflıktaki saf titanyum (Grade-2) plakalarını anahtar deliği TIG kaynağı ve geleneksel TIG kaynağı metoduyla birleştirerek her iki kaynak metodunu karşılaştırmak üzere deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Keyhole GTAW (anahtar deliği TIG kaynağı) kaynak dolgu malzemesi ve kaynak ağzı gibi kaynak öncesi hazırlığı olmadan tek pasoda yapılan bir kaynak yöntemidir. Bu deneysel çalışmada 12,7 mm kalınlığındaki ve 400 x 200 mm ebatlarındaki Grade-2 titanyum plakaları anahtar deliği TIG kaynağı methoduyla dolgu malzemesi ve kaynak ağzı hazırlığı yapılmadan tek pasoda birleştirilmiş ve aynı parçalar geleneksel TIG kaynak yöntemiyle de Erti-1 dolgu malzemesi ve V kaynak ağzı kullanılarak 6 pasolu olarak birleştirilmiştir. Her iki kaynak metodundan çıkan numuneler mekanik ve mikroyapı özellikleri bakımından mukayese edilmişlerdir. Sonuç olarak her iki kaynağın çekme ve mikroyapı özellikleri bakımından birbirine benzer oldukları ve nispeten daha düşük maliyet ve basitlikle anahtar deliği TIG kaynak yöntemiyle kalın ticari saflıktaki titanyum plakaların bu yöntemle oldukça iyi sonuçlar alınabileceğini belirtmişlerdir [20].

Babu ve diğ. Ti6Al4V titanyum alaşımının darbeli ve darbesiz akım TIG kaynağı yöntemiyle birleştirilmesinde mikroyapı ve mekanik özelliklerinin ilişkisi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Her iki yöntemde sertlik ve mukavemetin esas metaldan daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yine aynı şekilde süneklik ve mukavemet değerlerinin her iki kaynak methodunda hemen hemen aynı değerlerde olduğunu belirtmişlerdir [21].

Balasubramanian ve diğ. Ti-6Al-4V titanyum alaşımının TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde darbe akımının çekme mukavemetine olan etkisini incelemişlerdir. Ti-6Al-4V özellikle uçak motor ve yapı malzemelerinde, petro-kimya tesislerinde ve medikal uygulamalarda kullanılan olağanüstü çekme ve yorulma mukavemeti ve korozyon direncine sahip bir titanyum alaşımıdır. Gaz tungsten ark kaynağı ise titanyum alaşımlarını birleştirmede genellikle tercih edilen bir yöntemdir. Deney çalışmasında uygun kaynak parametrelerini saptamak için 1,6 mm kalınlığındaki Ti6Al4V titanyum alaşımı üzerinde birçok deneme çalışması yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen min-max çekme mukavemet değerleri 975 – 1160 MPa, min-max çentik darbe mukavemet değerleri 985 – 1450 MPa, min-max akma mukavemet değerleri 923 – 1110 MPa ve min-max uzama yüzdeleri ise %2,4 - %5,9 olarak ölçülmüştür. Kaynak akımın 60 amperden 80 ampere çıktığında çekme ve akma mukavemetinin arttığı ancak 80 amperden 100 ampere çıktığında ise çekme ve akma mukavemetinin düştüğü gözlemlenmiştir. Kaynak akımının 60 amperden 90 ampere çıktığında uzama yüzdesinin arttığı ancak 90 amperden 100 ampere çıktığında ise uzama yüzdesinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca çekme ve akma mukavemetlerinin esas metalden biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir [22].

Li ve diğ. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının TIG kaynağıyla birleştirilmesinde darbe akımının çekme özellikleri ve eğme davranışı üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarının sonucunda kaynak akım yoğunluğu çekme mukavemeti ve uzamayı önemli derecede etkileyeceği, akım yoğunluğunun artışıyla akma gerilmesinin önemli derece düşüp ve uzamanın bariz şekilde artacağı ve son olarak darbe akımıyla eğme çatlakları engellenebileceği konularına değinmişlerdir [23].

Gao ve diğ. Ti6Al4V titanyum alaşım plakaları üzerinde yapılan TIG kaynağı ile darbeli lazer kaynağını mukayese etmeyi amaçlamışlardır. 0,8 mm kalığındaki Ti6Al4V titanyum alaşımları lazer ışın kaynağı (LBW) ve TIG kaynağı yöntemiyle kaynatılmış ve her iki kaynaktan elde edilen kaynaklar mikroyapı, mekanik özellikler, kaynak geometrisi ve tortu deformasyonu yönünden mukayese edilmişlerdir. TIG kaynağıyla karşılaştırıldığında lazer ışın kaynaklı kaynağın iyi bir mikroyapı, dar bir ITAB, yüksek vickers sertliği ve küçük tortu deformasyon özelliklerine sahip olduğu gözlenmiştir.

LBW kaynak metodu ile daha yüksek mukavemet ve sünekliğe sahip kaynaklar yapılabileceğini not etmişlerdir. Sonuç olarak ise ince Ti6Al4V titanyum alaşımlarının kaynağıyla ilgili LBW kaynak yönteminin TIG kaynak yönteminden daha uygun olduğunu belirtmişlerdir [24].

Kaya ve diğ. bu çalışmada, ticari saflıktaki titanyum levhalar TIG kaynak yöntemi ile hem geleneksel, hem de darbeli akım kullanılarak birleştirilmiş ve uygulanan farklı akım türlerinin birleştirmeler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla; mikrosertlik, çekme ve çentik darbe testleri yapılmış ayrıca kaynaklı bağlantılar üzerinde mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 1,5 mm kalınlığa sahip ticari saf (Grade 2) titanyum levhalar, TIG kaynak yöntemi ile farklı akım türleri kullanılarak (geleneksel akım ve darbeli akım) birleştirilmiştir. Kaynak işlemlerinde, kimyasal bileşimi ana metale yakın olmasından dolayı AWS Erti-1 standardında 2 mm çapında saf titanyum ilave kaynak metalleri kullanılmıştır.

Elektrot olarak, 2,4 mm çapında ve 60° uç açılı Toryum oksit (WT20) alaşımlı tungsten elektrot kullanılmıştır. Mikrosertlik sonuçları incelendiğinde en yüksek sertlik değerleri kaynak bölgesinden ölçülürken, onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği görülmüştür. Kaynak dikişi ve ITAB'da ısı girdisinin etkisi ile sıcaklık yükselmiş ve kaynak sonrası ani soğuma şartlarında kısmi dönüşüm gerçekleşerek, ana malzemenin sertliğinden daha yüksek sertlik elde edilmiştir. Ayrıca farklı akım türlerinde birleştirilen numunelerden en yüksek sertlik değeri geleneksel akım ile birleştirilen numunede elde edilmiştir. Bunun nedeni geleneksel akım ısı girdisinin darbeli akım ısı girdisinden daha yüksek olmasıdır. Literatürdeki titanyum malzemelerin kullanıldığı benzer çalışmalarda, en yüksek sertliğin kaynak metalinde olduğunu ve ana metale ilerlerken sertliğin azaldığını, ayrıca sertliğin ısı girişine paralel bir şekilde artış gösterdiği belirtilmiştir. TIG kaynağında farklı akım türleriyle kaynatılmış numunelerde çekme deneyi sonucunda kopma ve kesit daralmasının ana malzemede olduğu görülmüştür. Kaynaklı numuneler makro olarak gözle muayene edildiğinde, darbeli akım ile birleştirilen numunelerde ısı girdisinin düşüklüğünden dolayı geleneksel akımla birleştirilen numunelere göre daha dar bir kaynak bölgesi gözlenmiştir.

Kaynaklı numuneleri birbirleriyle kıyaslamak amacıyla yapılan çentik darbe deney sonuçlarına göre, kaynaklı numunelerin tümünden ölçülen tokluk değerlerinin, esas metalden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda, ısı girdisine bağlı olarak kaynak bölgesindeki tanelerin irileştiği ve kaynak metalinde ikizlenmelerin oluştuğu görülmüştür [25].

Doğan, yapmış olduğu çalışmada kalite 265,2 titanyum malzemelerinin GTAW kaynak yöntemi ile koruycu gaz olarak argon gazı, dolgu malzemesi olarak Erti-1 kaynak teli ve kaynak akımı olarak 80, 90 ve 100 A akım şiddetlerindeki kaynaklanabilirliklerini incelemiştir. Numunelere sertlik, eğme ve çekme deneyleri ile makro ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Akım şiddetinin artması ile sertlik ve çekme sonuçlarında düşme olurken eğme açısında artış olduğu görülmüştür. ITAB genişliğinin ise kaynak akımına paralel olarak ısı girdisi yükseldikçe arttığı gözlemlenmiştir. GTAW kaynak metodu ile etkin gaz koruması yapılarak kalite 265,2 titanyum parçalarının bu çalışma kapsamında başarı ile birleştirilebilecekleri görülmüştür [26].

Keskin, titanyum malzemesinin (Grade 1) lazer kaynağı yöntemiyle birleştirilmesi konusunu incelenmiştir. Laser kaynak edilmiş numunelere mikro yapı incelenmesi, vickers sertlik, çekme, egme deneyi yapılarak; kaynaklı metalinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen kaynak dikişi geleneksel yöntemlere göre çok dar sınırlar içinde olup, dikiş genişliği yaklaşık 1,5 mm'dir. Kaynak dikişinde herhangi bir çatlak, eksik nüfuziyet ve porozite oluşmamıştır. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş Titanyum Grade1 malzemede çekme deneyi sonucunda kopma ve kesit daralmasının kaynak metalinde değil ana malzeme tarafında gerçekleştiği görülmüştür. Birleşme sonrası en yüksek sertlik kaynak dikişinde elde edilmiştir. Lazer ısını ile birleşmede ilave malzeme kullanılmadan kaynak edilmiştir. Katılaşma çok hızlı gerçekleşmiştir. ITAB geleneksel yöntemlere göre dar sınırlarda oluşmuştur. Kaynak sırasında oda sıcaklığından ani soğuma nedeni ile dokuda kısmen dönüşmüştür. Ana malzemeye göre sertlik artarak yaklaşık 277 HV değerine yükselmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre, Titanyum Grade1, lazer ışın kaynağı ile ilave malzeme kullanılmadan emniyetli bir şekilde birleştirilebilmektedir [27].

Gür ve diğ. Bu çalışmada Plazma Tungsten Ark (PTA) kaynak yöntemiyle Ti6Al4V alasım çiftini birleştirmişlerdir. Bu işlemde 80x40x1,5 mm ölçülerindeki Ti6Al4V titanyum alaşımı 50 ve 60 amperde ve sabit ilerleme hızında kaynak edilmişlerdir. Kaynak işleminden sonra kaynak metali hem makroskobik ve hem de mikroskobik olarak incelenmistir. Kaynak metalinden sertlik ölçülmüş ve max. 166 HV mikrosertlik elde edilmiştir. Ti6Al4V çifti kaynak metalinde herhangi bir makro ya da mikro çatlağa rastlanmamıştır. Mikroyapı sonuçları incelendiğinde her iki numunede de ITAB'ın bariz şekilde görüldüğü ve özellikle kısmen erimiş bölgeden iri taneli bölgeye geçişin çok belirgin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her iki numunenin de aynı özelliklere sahip olduğu için mikroyapıları arasında bir fark olmadığı belirtilmiştir [28].

Kilerci yapmış olduğu çalışmada Grade 2 ticari saflıktaki titanyum alaşım levhaları GTAW ve lazer kaynak yöntemleri ile farklı kaynak parametrelerinde birleştirilen titanyum alaşım malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştir. GTAW ile yapılan kaynaklarda dolgu malzemesi olarak Erti-2 ilave tel ve koruyucu gaz olarak argon kullanılarak 220 voltajda doğru akım pozitif polaritede çift taraflı olarak tek pasoda 80 amper şiddetinde birleştirmeler gerçekleştirilmiştir. Lazer kaynağında ise ilave tel kullanılmadan koruyucu gaz olarak agron gazı kullanılarak tekrarlama oranı 30 Hz ve darbe süresi 5 ms olarak ve ortalama güç 270 W ile Nd. YAG lazer kullanılarak çift taraflı olarak birleştirme gerçekleştirilmiştir. Çekme ve eğme deneyleri sonucunda esas malzemenin mukavemet değerinin en yüksek olduğu görülürken TIG kaynaklı numunelerin mukavemet değerinin lazer kaynaklı numunelerden düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çekme testinde kopma bölgesi ana malzemede olduğu görülmüştür. Sertlik ölçümlerinde esas malzemenin ortalama 190-200 HV değerinde, TIG kaynaklı numunelerin kaynak metali sertlik değeri 400 HV'nin üzerinde oluğu ve lazer kaynaklı numunelerin kaynak metali sertlik ölçüm değeri ise 280-300 HV değerde olduğu tespit edilmiştir. İçyapı değişimlerini görmek için numunelere kaynak metalinden ana malzemeye doğru SEM ve optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen metalografik inceleme ve mekanik deneyler sonucunda Grade-2 titanyum alaşım malzemesi için lazer kaynağının en uygun metot olduğu belirlenmiştir [29].

Kıral, yapmış olduğu bu çalışmasında farklı kalınlıklardaki Grade 7 titanyum alaşımlarını GTAW ve plazma ark kaynak yöntemi ile birleştirmiş ve numunelere tahribatlı ve tahribatsız deneyler uygulayarak kaynak kabiliyetini incelemiştir. Deney sonuçlarında koruyucu gazın yeterli bir şekilde sağlanamadığı durumlarda kaynak bölgesinde gevrekleşmelerin ve kaynak metalinde renkleşmenin olabildiği görülmüştür. Mikroyapı incelemelrinde tanecik büyümesinin plazma ark kaynak metodunda GTAW kaynak yöntemine göre daha belirgin olduğu ve kaynak dikiş sayısı ile direkt bağlantısı olmadığı tespit edilmiştir. Malzeme et kalınığı ve kaynak tel çapının artmasıyla sağlıklı kaynak dikişlerini yapabilmek amacıyla kaynak akım şiddeti 20 ampere kadar yükseltilmiştir [30].

Beriş, bu çalışmasında Ti6Al4V titanyum alaşımlarının GTAW kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde koruyucu gaz parametresinin kaynak kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Görsel muayenede koruyucu gaz akış hızının düşmesiyle kaynak metalindeki yüzey renginin sırasıyla sarı, kahverengi, lacivert ve en düşük hızlarda ise köpük görünümünde beyaz rengin olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde koruyucu gazın azalması ile kaynak metalinde sıcaklık yükselmiş ve soğuma hızı düşmüştür ve bu bağlamda tane boyutlarında büyüme görülmüştür. Sertlik ölçümlerinde koruyucu gazın azalmasıyla tane boyutunun büyümesiyle sertlik sonucunda hafif bir azalma görülmüştür. Ancak en düşük koruyucu gaz durumunda ise sertlik değerinde büyük bir yükselme görülmüştür.

Çekme deney sonuçları baz alındığında optimum gaz akış hızı 10 cfh olarak belirtilirken kaynak kalitesi açısından ise optimum akış hızının 30 cfh olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçları incelendiğinde koruyucu gaz parametresinin GTAW kaynak yönteminde Ti6Al4V titanyum alaşımının mekanik ve malzeme karakteristiğini önemli bir şekilde etkilediği saptanmıştır [31].

# 2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI

Titanyum, minerolojist ve İngiliz araştırmacısı olan William Gregor tarafından 1791 yılında keşfedilmiştir. Titanyum metalinin elementi olarak William Gregor tarafından adlandırılan kara tuz manyetik etki altında demirden ayrıştırılmış ve HCI ile dağlanarak yeni bir elementin oksidi elde edilmişir ve Gregor tarafından bu mekanit olarak adlandırılmışır. 4 yıl sonrasında Alman kimyager Martin Heinrich Klaproth yunan mitolojisinden esinlenerek adını titanyum olarak koymuştur.

Titanyum, dünyada yapısal olarak kullanılan metaller arasında alüminyum, demir ve magnezyumdan sonra dördüncü sırada yer alırken; en çok rezervi olan metaller sıralamasında da dokuzuncu sırada yer almaktadır. Ancak doğada titanyum saf olarak bulunmamakta ve saf hale getirme işlemleri bu metali pahalı kılmaktadır [32].

Endüstriyel uygulamalar için titanyum ve alaşımları en iyi mühendislik metallerinden biri olarak düşünülmektedir. Bunun nedeni mükemmel korozyon direnci, yüksek yorulma ömrü ve mukavemeti, tokluk ve ağırlık oranına karşın artan mukavemet gibi mükemmel özelliklerinden kaynaklanmaktadır [33-34].

Dayanım/yoğunluk oranı açısından titanyum alaşımları bilinen en yüksek değere sahip malzemelerdir. Üretim kalitesine bağlı olarak mukavemetleri 480-1100 MPA arasında değişmekte iken yoğunlukları ise 4,5 g/cm$^3$ değerindedir. En çok kullanılan titanyum alaşımı ise alfa-beta sınıfındaki % 6 alüminyum ve % 4 vanadyum içeren Ti6Al4V alaşımıdır [35].

## 2.1. Titanyum ve Alaşımlarının Genel Özellikleri

Periyodik cetvelin dördüncü grubunda yer alan titanyumun ergime derecesi 1668 °C ve kaynama derecesi ise 3287 °C'dir. 4,54 gr/cm$^3$ özgül ağırlığa sahip parlak ve sert bir malzemedir. Tablo 2.1'de titanyum ve yaygın kullanıma sahip demir ve alüminyum ile karşılaştırmalı önemli özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Ti, Fe ve Al fiziksel bazı özellikleri [36]

| **Özellikler** | **Alüminyum** | **Demir** | **Titanyum** |
|---|---|---|---|
| Yoğunluk (gr/cm$^3$) | 2,7 | 7,87 | 4,54 |
| Ergime Noktası (°C) | 660 | 1536 | 1668 |
| Elastiklik Modülü (GPa) | 62 | 194 | 115 |
| Oda sıcaklığında kristal yapısı | SPH | YMK | HMK |

Titanyum ağırlık olarak alüminyumdan %60 kadar ağır olmasına rağmen mukavemet açısından 2 kat daha fazladır. Çelikle kıyaslamaya gelindiğinde ise %45 civarında hafif olmasına karşın mukavemet anlamında titanyum, çelik kadar dayanıklıdır. Titanyumun avantajları aşağıda sıralanmıştır.

• Mükemmel korozyon direnci
• Yüksek mukavemet özellikleri
• Farklı şekillerde yarı mamüller elde edilebilir (kütük, altıgen, yuvarlak, plaka, sac, çubuk, tel, lama, vb.)
• Kolaylıkla kaynak edilebilir
• İyi darbe dayanımı ve yüksek sıcaklık uygulamaları için uygunluğu
• Biyolojik uyumluluk
• Maliyet açısından diğer yüksek maliyetli malzemelere yakın olması
• İyi kriyojenik özellikler (-150 °C sıcaklık altındaki ortamlardaki davranışları)

Titanyumunun bu mükemmel özellikleri sayesinde özellikle uçak endüstrisinde ve otomotiv, kimya ve biyomedikal alanlarında tercih edilmektedir. Bu üstün özelliklerine rağmen sürtünme ve aşınma özellikleri sebebiyle hareketli temasın olduğu mühendislik uygulamalarında istenilen performansı sergilememektedir. Sahip olduğu yetersiz tribolojik özellikler, yüksek ve değişken sürtünme katsayısından dolayı titanyum ve alaşımlarının kullanımı bu anlamda kısıtlanmaktadır. Bundan dolayı bu malzemeler genellikle aşınmanın kritik olmadığı yerlerde tercih edilmektedir. Titanyum ve alaşımlarının kullanıldığı uygulamalarda sürtünme ve aşınmanın sonucu olarak malzeme ve enerji kaybı olmaktadır. Aşınmanın olmasıyla korozyon direncini sağlayan koruyucu oksit tabaka bozulur.

Sürtünme ve aşınma problemini gidermek için yüzey modifikasyon tekniklerinin uygulanması gerekmektedir. Yetersiz olan bu özelliklerin iyileştirilebilmesi için günümüzde çok çeşitli yüzey işlemleri mevcuttur ve başarılı bir şekilde sonuçlar elde edilebilmektedir [36-37].

## 2.2. Üretim Yöntemi ve Teknoloji

Titanyum cevheri $FeTiO_3$ olarak bilinen ilmenit ve $TiO_2$ olarak bilinen rutilden oluşmaktadır. Titanyum cevherinin ısıl işlemden geçirilmesi yöntemi ile saf titanyumun elde edilmesi oldukça maliyetlidir. Öncelikle içerisindeki demir oksitden arındırılabilmesi amacıyla cevher öğütülüp manyetik alandan geçirilir. Sonrasında yapılan çökeltme yöntemi ile yabancı maddelerden uzaklaştırılması sağlanır. Sülfirik asitle ile kalan $TiO_2$ reaksiyon işlemine sokulur ve sonucunda titanül sülfirik asit oluşur. Titanül sülfirik asit, $H_2O$ ile karıştırılıp $TiO_2$ çökelmesi sağlanır sonra bir filtre aracılığıyla süzdürülüp çökelen $TiO_2$ alınır. Bu şekilde saf olarak $TiO_2$ sağlanmış olur. $TiO_2$ bileşiğini indirgemek için Kroll Yönteminden yararlanılır. Bu yöntem 1939 senesinde Kroll tarafından keşfedilmiştir.

Kroll tekniğine göre oluşan $TiO_2$, karbon ve klor ile karıştırılır sonrasında 800 °C'ye kadar ısıtılıp böylece $TiCl_4$ elde edilmiş olur. 135 °C'de yoğunlaştırılan $TiCl_4$ kısmi destilasyon tekniği ile saflaştırma işlemi yapılır. Sonrasında yaklaşık 800 °C'de olan ergimiş magnezyum üzerinden geçirilir. Bu işlemin sonucunda titanyum süngeri olrak nitelendirilen iri taneli poröz bir malzeme oluşur. Oluşan bu metal ark fırınında ve vakum ile ısıtılır ve kalan magnezyum parçaları buharlaştırılır. Niyahetinde sonuç olarak % 99 saflıkta titanyum eldesi sağlanır [38].

## 2.3. Titanyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Titanyum alaşımları yapılarındaki faz değişikliklerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Buna göre bu alaşımlar genel olarak α, α+β ve β olarak sınıflandırılırlar. Sınıflandırma detaylandırıldığında alfa yakın (near α) ve yarı kararlı β olarak da sınıflandırma olabilir. Titanyum,

a) Ticari Saf Titanyum (Cp-Ti)
b) α alaşımları
c) α-yakın (near-α) alaşımları

d) α+β alaşımlar

e) β alaşımları olarak da sınıflandırılır [39].

### 2.3.1. Ticari saf titanyum

CP titanyum olarak da bilinmektedir ve CP, commercially pure kelimelerinin kısaltmasıdır. Cp-Ti yaklaşık % 98,63 - % 99,5 oranında titanyum içermektedir. Tica saf titanyum genellikle korozyon direncinin önemli olduğu uygulamalarda kullanılmakta ve yüksek mukavemet gereksinimi olmayan alanlarda tercih edilmektedir. Cp-Ti oda sıcaklığı koşullarında mikroyapısında tamamen α fazı barındırmaktadır. Bu malzemenin akma mukavemeti 170-480 MPa arasında değişmektedir. Cp titanyum içerdiği saflık derecesi baz alınarak ASTM standardına göre gruplandırılmıştır. Tablo 2.2'de ticari saf tutanyum sınıfında olan her bir grade için malzemelerin genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Ticari saf titanyum genel özellikleri [40]

| ASTM STANDARDI | Akma Dayanımı (MPa) | Çekme Dayanımı (MPa) | Dönüşüm sıcaklıkları (°C) | | Katkı Elementleri (Ağırlıkça max %) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Alfa (α) | Beta (β) | N | C | H | Fe | O |
| Grade 1 | 170 | 240 | 888 | 880 | 0,03 | 0,1 | 0,015 | 0,2 | 0,18 |
| Grade 2 | 280 | 340 | 913 | 890 | 0,03 | 0,1 | 0,015 | 0,3 | 0,25 |
| Grade 3 | 380 | 450 | 920 | 900 | 0,05 | 0,1 | 0,015 | 0,3 | 0,35 |
| Grade 4 | 480 | 550 | 950 | 905 | 0,05 | 0,1 | 0,015 | 0,5 | 0,4 |

Tablo incelendiğinde grade seviyesi arttıkça akma ve çekme mukavemet değerlerinin de arttığı görülmektedir. Benzer şekilde ticari saf titanyum içeriğindeki katkı elementlerinden demir ve oksijen yüzdeliği arttıkça akma ve çekme mukavemetlerinin de arttığı görülmektedir [40].

### 2.3.2. Alfa (α) fazlı titanyum alaşımları

Alfa (α) alaşımları tek fazlı olup yüksek sıcaklıklarda iyi özelliklere ve yüksek kararlılığa sahiptir. Alfa (α) fazını Al ve O gibi alaşım elementleri kararlı hale getirirler. Örnek olarak Cp-Ti ve Grade 6 Ti5Al2.5Sn titanyum alaşımları en önemli alfa fazlı alaşımlar olarak gösterilebilir.

Bu alaşımların uygulama alanları ise yüksek sıcaklıkta gösterdiği olumlu özelliklerinden dolayı yüksek sıcaklıktaki çalışma alanları olabilir. Benzer şekilde yüksek korozyon direncine sahip olması bakımından kimya endüstrisinde tercih edilmektedir. α alaşımları, β ve α+β alaşımlarına kıyasla içerdikleri kararlı α fazından dolayı ısıl işlem ile sertleştirilememktedir. Soğuk işlem sonrası meydana gelen gerilmeleri gidermek maksadıyla yeniden kristalleşme tavı ve ya sadece tavlama uygulanabilmektedir.

Dövülme kabiliyetleri oldukça düşüktür. Dövme sıcaklık aralığı β ve α+β alaşımlarına göre azdır. Dövme işlemi sırasında meydana gelen merkezdeki kırılmalar ya da yüzeysel çatlaklar da bunu teyit etmektedir [41].

### 2.3.3. Alfa yakın (near α) fazlı titanyum alaşımları

Alfa faz yapısında bir miktar β faz dağılımı içeren alaşımlara alfa yakın (near α) fazlı titanyum alaşımları denilmektedir. Yaklaşık %1-2 oranında β karalaştırıcı elementleren olan molibden ve vanadyum alfa yakın fazlı alaşımlara eklenir. Ayrıca kalay ve zirkonyum da bu alaşımlara eklenirler. Bu alaşımlardaki α fazı yüksek kararlılığa sahiptir ve β fazını kararlaştıran elementlerden ise sınırlı miktarda bulunabilir.

Bu alaşımlara örnek olarak Ti-8Al-1Mo-1V, Ti-6Al-5Zr-0,5Mo-0,25Si alfa yakın alaşımları verilebilir. Alfa yakın alaşımlar, α alaşımlarına benzer karakteristik özellikler gösterirler lakin farklı olarak yaklaşık 400-500 °C sıcaklık koşullarında yüksek dayanım gerektiren alanlarda kullanılırlar. 8Al-1Mo-1V alaşımı, gaz türbinli motorların kompresör bölgesinde orta yüksek sıcaklık seviyesindeki uygulamalar ve uçak dış gövde kaplamalarında kullanılmıştır. Alfa yakın alaşımlar kaynaklanabilirlik ve sürünme direnci bakımından olumlu özelliklere sahiptir. Ayrıca bu alaşımlar düşük süneklik, yüksek dayanım ve tokluk özelliklerine sahiptir. Dezavantaj olarak tuz ortamında gerilim korozyonuna karşı zayıf olmasıdır [42].

Alfa (near α) yakın alaşımlar, yüksek sıcaklıktaki mukavemetlerini olumlu yönde etkileyen % 0,5 civarında siliyum içerirler. Bu siliyum sayesinde yüksek sıcaklıklardaki sürünme direnci de fazladır [43]. Bu alaşımların kimyasal bileşikleri ve uygulama alanları Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Near alfa kimyasal bileşikleri ve uygulama alanları [43]

| **Alaşım Kompozisyonu** | **Şartlar** | **Tipik Uygulamalar** |
|---|---|---|
| %8 Al, %1 Mo<br>%1 V | Çift Tavlanmış | 455°C'a kadar yüksek dayanım gerektiren uçak iskelet ve jet motor parçaları,<br>iyi sürünme ve tokluk özellikleri,<br>iyi kaynaklanabilirlik. |
| %6 Al, %2 Sn<br>%4 Zr, %2Mo | | Uçak motor kompresörleri için parçalar ve kılıflar,uçak iskeleti yüzey parçaları. |
| %5 Al, %5 Sn, %2 Zr<br>%2 Mo, %0,25 Si | 975°C' de yarım saat<br>soğutma<br>600°C'de<br>2 saat soğutma | Uçak motor parçaları, 538°C' de yüksek sürünmedayanımı. |
| %6 Al, %1 Mo<br>%2 Cd, %1 Ta | 1 inç kalınlığında haddelenmiş | Yüksek tokluk, orta dayanım, deniz suyuna ve sıcak tuz gerilim korozyonuna karşı iyi direnç. |

### 2.3.4. Alfa-Beta (α+ß) fazlı titanyum alaşımları

α+β fazlı titanyum alaşımları α ve β fazlarının karışımından meydana gelmektedir. α+β alaşımları oda sıcaklığı koşullarında %10-50 oranında içeriklerinde β fazı bulundururlar. Bu alaşımların sertleştirme işlemleri ısıl işlem ve yaşlandırma yöntemleriyle gerçekleştirilir. α+β fazlı titanyum alaşımlarının kimyasal kompoziyonları ve mekanik özellikleri Tablo 2.4'de verilmiştir [44-45].

Tablo 2.4. α+β alaşımlarının kimyasal kompoziyonları ve mekanik özellikleri [44]

| Alaşım Tipi | % Bileşim | | | | | Çekme Muk. (MPa) | Akma Muk. (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Al | Sn | Zr | Mo | Diğer | | |
| Ti-0,3Mo-0,8Ni | - | - | - | 0,3 | 0,8 Ni | 480 | 380 |
| Ti-5Al-2,5Sn | 5 | 3 | - | - | - | 790 | 760 |
| Ti-5Al-2,5Sn-EU | 5 | 2,5 | - | - | - | 690 | 620 |
| Ti-8Al-1Mo-1V | 8 | - | - | 1 | 1V | 900 | 830 |
| Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo | 6 | 2 | 4 | 2 | - | 900 | 830 |
| Ti-6Al-2Nb-1Ta-0,8Mo | 6 | - | - | 1 | 2Nb,1Ta | 790 | 690 |
| Ti-2,25Al-11Sn-5Zr-1Mo | 2,25 | 11 | 5 | 1 | 0,2Si | 1000 | 900 |
| Ti-5Al-5Sn-2Zr-2Mo | 5 | 5 | 2 | 2 | 0,25Si | 900 | 830 |

En çok kullanılan ve en eski titanyum alaşımı olan Ti6Al4V, α+β fazlı titanyum alaşım sınıfındadır. Düşük yoğunuğa sahip olan bu alaşımlar mukavemet ve korozyon direnci gibi özelliklerini yüksek sıcalıklara kadar korurlar [46].

### 2.3.5. Beta (ß) fazlı titanyum alaşımları

β fazlı titanyum alaşımları, yüksek oranda β fazını kararlaştırmaya yardımcı olan elementleri içerirler. Yüksek yoğunluk, kolay sertleştirilebilirlik, dövülebilirlik ve soğuk şekillendirebilirlik özellikleriyle diğer titanyum alaşımlarından ayrılmaktadır. β fazlı titanyum alaşımları, α+β alaşımları ile benzer mukavemet özellikleri sergilemektedir. Ancak yüksek sıcaklıklarda bu alaşımlar, α+β alaşımlarından daha düşük düzeyde mukavemet değerleri göstermektedir [47].

Çalışma sıcaklıkları açısından β alaşımlar, α+β fazlı alaşımlarından daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilirler. Böyle olmasına rağmen β alaşımlar, buhar türbinli güç santralleri ve metal matris kompozitler örneklerindeki gibi yeni yeni kulanım alanları bulabilmektedir [48].

Bu alaşımlar karasızdırlar, ve ayrıca α fazının β matrisi içinde çökeltilmesi metodu ile sertleştirilirler. Molibden içeren β fazlı titanyum alaşımları yüksek korozyon direncine sahiptir ve β alaşımları yüksek kırılma tokluk özelliği göstermektedirler [49]. Ayrıca kullanım alanlarına yüksek dayanımlı bağlama elemanları, kirişler ve uzay uygulamalarındaki bağlantılar örnek olarak verilebilir [50].

## 2.4. Titanyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları

Titanyum ve alaşımlarının ilk kullanım alanı havacılık ve uçak endüstrisi olmuştur. Sahip olduğu üstün özellikleriyle zamanla birçom alana yayılmaya başlamıştır. Yüksek mukavemet ve hafiflik özelliklerinden dolayı uçak ve uzay endüstrisinde kullanılırken mükemmel korozyon direnci özelliği ile denizcilik ve kimya uygulamalarında tercih edilen vazgeçilmez bir metal olmuştur. Dahası ortopedi ve dişcilik gibi biyomedikal uygulamalarında ise sahip olduğu bu üç özellik sayesinde artan oranda talep görmüştür.

Bu alaşımların kimya, havacılık, denizcilik ve endüstriyel uygulamalarında oldukça güvenilir, ekonomik ve üstün olduğu teknik olarak ispatlanmıştır.

Sahip olduğu düşük özgül ağırlık, yüksek sıcaklıklara kadar dayanım, iyi korozyon direnci, rijitlik ve göreceli hafiflik özellikleri bu alaşımların bahsi geçen özel uygulamalarda yaygınlaşmasına sebep olmuştur [32].

### 2.4.1. Titanyum ve alaşımlarının uçak endüstrisindeki kullanımları

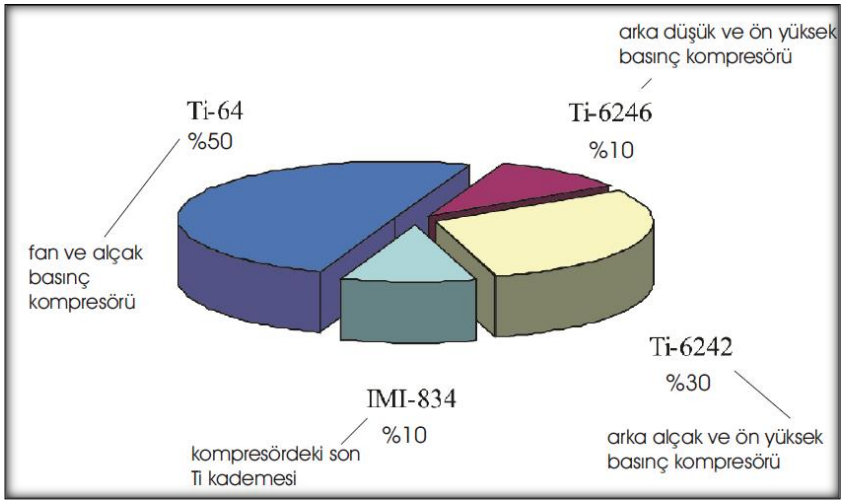
Titanyum alaşımları mükemmel korozyon direnci, yüksek mukavemet ve düşük yoğunluk gibi üstün özelliklerinden dolayı uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca titanyum ve alaşımlarının yağın bir şekilde kullanılmasının başka bir nedeni ise yoğunluk/çalışma sıcaklık aralığının düşük olmasıdır.

Havacılık endüstrisinde kullanılan titanyum alaşımlarına Ti-10V-2Fe-3Al, Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al, Ti-15Mo-2,8Al-3Nb-0,2Si örnek olarak verilebilir. Uçak endüstrisinde özellikle gaz türbinli motorlar, uçak gövde ve iniş takımlarında titanyum ve alaşımları kullanılmaktadır [51].

Ti-6Al-4V (Ti-64) titanyum alaşımı uzun tecrübeler sonucu ispatlanmış bir malzemedir ve titanyum alaşımları içerisinde ve uçak endüstrisinde en yaygın kullanıma sahiptir.

Motor ve uçak iskeletinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Gaz türbinli motorların stator parçalarında ve kompresör dış cidarlarında kullanılmaktadır.

Titanyum alaşımlarının gaz türbinli motorda kullanım oranları Şekil 2.1'de verilmiştir [52].




Şekil 2.1. Titanyum alaşımlarının motorda kullanım oranları [52]

IAE V2500 turbofan ticari uçak motorlarının fan pallerinde Ti6Al4V titanyum alaşımı kullanılmıştır ve Şekil 2.2'de bu motora ait fan palleri görülmektedir.



Şekil 2.2. IAE V2500 Turbofan uçak motoru fan palleri

### 2.4.2. Titanyum ve alaşımlarının diğer kullanım alanları

Titanyum ve alaşımlarının en yaygın kullanımı havacılık uygulamaları olsa da günümüzde otomotiv, kimya, denizcilik, biyomedikal alanlarında da gelişmektedir.

Yakıt tasarruflu ve çevre dostu olan araçlara olan talebin artmasıyla araç ağırlıklarının hafifletilmesi ve performansın artırılması gereksinimi doğmuştur. Bu gereksinimle mükemmel korozyon direnci ve yüksek dayanıma sahip olan bu alaşımlar araçlarda kullanım konusunda başlıca tercih maddesi olmuştur. Ancak titanyumun yüksek maliyetinden dolayı bu malzemelerin otomotiv endüstrsinde yaygınlaşamamasının en büyük nedenlerinden biri düşünülmektedir. Bu bağlamda kullanımları Fomula 1 araçları, yarış otomobilleri ve motorlar ile sınırlı kalmıştır [53].

Enerji ve kimya alanlarında mukavemet yerine korozyon direci daha önemlidir. Bu nedenle saf titanyum daha çok tercih edilmektedir.

Saf titanyum daha az maliyetli ve ekonomiktir. Titanyum alaşımları bu alan özelinde nükleer enerji santrallerinde kullanılmaktadır [54].

Titanyum ve alaşımlarının üstün mekanik özellikleri ve korozyon direncinden dolayı denizcilik uygulamalarında da kullanımı yaygındır. Denizcilik uygulama alanlarına deniz çiftlikleri, deniz kenarlarında kullanılan korkuluklar ve denizaltıların dış gövdeleri örnek olarak verilebilir [54].

Titanyum oksijenle çok hızlı bir şekilde reaksiyona girer ve yüzeyde oksit tabakası oluşur. Bu şekilde korozyona karşı yüksek direnç gösterir. Bu bağlamda doku uyumu da iyi olan bir malzemedir. Titanyum son yıllarda en çok tercih edilen metal implanttır [53].

# 3. TIG (GTAW) KAYNAK YÖNTEMİ

TIG kaynak yöntemi koruyucu gaz olarak genellikle argon gazı kullanıldığından dolayı Argon Ark kaynağı olarak da adlandırılmaktadır.

TIG kısaltması ise Tungsten Inert Gas kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Wolfram da Tugsten anlamına gelmektedir. Bu yüzden TIG kaynak metodu WIG olarak da bilinmektedir [55].

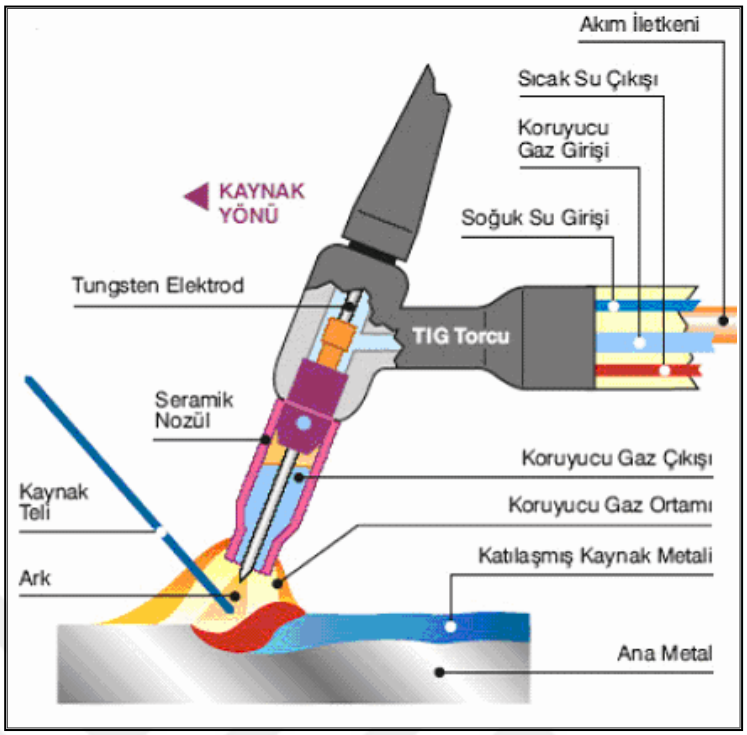
Bu yöntemde kaynak işlemi arkın ısısından faydalanılarak gerçekleştirilir ve ark erimeyen bir tungsten elektrot ve iş parçası arasında yapılmaktadır. Kaynak durumuna göre dolgu malzemesi kullanılabilir ya da duruma göre kullanılmadan da yapılabilir. Bu yöntemde kaynak arkı ve banyosu kaynakçı tarafından kolay ve net bir şekilde görülebilir. Ayrıca TIG kaynak yönteminde cüruf tabakası oluşmaz ve böylece cüruf kalıntısı ve temizleme problemi de bulunmamaktadır [56].

Kaynak bölgesi de havanın olumsuz etkileriden korunması için elektrot ile merkezlenmiş bir torçdan koruyucu gaz ile desteklenir. Koruyucu gaz olarak genellikle argon gazı veya helyum kullanılır.

Amerika'da koruyucu gaz olarak helyum gazı kullanıldığı için bu yönteme heliark denilmektedir. Avrupada ise argon gazı kullanımdan dolayı bu yönteme argon gazı da denilmektedir [57].

Genel olarak kaynak, basınç ve ergime ile ilave tel kullanılarak ya da kullanılmadan ergimeyen bir elektrot aracılığıyla ve koruyucu gaz altında gerçekleştirilen kaynağa TIG kaynak metodu denir.

Şekil 2.3'de TIG kaynak metodunun şematik görüntüsü verilmiştir. Burada torcun iç yapısı gösterilmektedir. Kaynak makinasının bir kutbu torca bağlıdır, şase ise iş parçasına bağlıdır. Tungsten elektrot ile iş parçası arasında ark meydana gelmektedir. Dolgu malzemesine akım yüklemesi yapılmaz. Tungsten elektrot ile kaynak havuzu ve ilave metalin erimiş ucu koruyucu gaz ile korunmaktadır [58].




Şekil 3.1. TIG kaynağı şematik görüntüsü [58]

## 3.1. TIG Kaynağı Akım Üreteçleri

GTAW kaynak yöntemi için geliştirilmiş çeşitli tip ve büyüklüklerde akım üreteçleri bulunmaktadır. Şantiye tipi için içten yanmalı motorla akım üreteçleri sağlanır. Elektrik ark kaynağı için jenaratör tipi kaynak makinaları kullanılır. Bu makinalar genel olarak DC akım üretirler. Yapılacak değişikliklerle AC akım da üretebilirler.

TIG kaynak yönteminde alüminyum ve magnezyum hariç malzemelerin hemen hemen hepsi elektron negatif olarak doğru akım kullanırlar. Akım üreteçleri azalan türde bir akım gerilim özelliğine sahiptirler.

Gerilimdeki büyük değişiklikler (ark boyu değişimleri) amper şiddetini sadece önemsiz ölçüde değiştirmektedir. Kademesiz olarak kaynak akım şiddeti ayarlanabilmektedir [59].

## 3.2. TIG Kaynak Elektrotları

GTAW metodu ile diğer elektrik ark kaynak metotları arasındaki en önemli fark, dolgu malzemesinin elektrot tarafından sağlanmaması ve elektrotun sadece ark oluşturma görevini almış olmasıdır. Dolayısıyla erime sıcaklığı yaklaşık 3500°C olan tungsten (wolfram), elektrot malzemesi olarak belirlenmiştir. Tungsten, çok güçlü bir

elektron yayıcıdır ve yayılan elektronlar ark sütunu içerisinde güçlü bir elektron akımı meydana getirir ve ark sütunundaki atomları iyonize eder ve arkın kararlılığını sağlamaktadır.

Günümüzde %99,5 oranında ticari saflıktaki tungsten ile lantanyum, toryum, seryum ve zirkonyum ile alaşımlandırılmış olan elektrotlar mevcuttur [60].

### 3.3. Koruyucu Gazlar

Genellikle koruyucu gaz olarak argon veya helyum gibi soy gazlar kullanılır. Tungsten elektrotu çevreleyen soy gazlar, elektrotun havadaki oksijenle reaksiyonunu engeller. Aksi durumda tungsten de ark ile birlikte eriyip biter. Aynı zamanda koruyucu gaz iş parçasında eriyen malzemeyi de havanın oksidasyonundan korur. Dahası seçilen gaz, iyonizasyonun kolay ya da zor olabileceğini belirleyen en önemli faktördür.

Helyum tabiatta hidrojenden sonra gelen en hafif gazdır ve özgül ağırlığı ise 0,179 kg/m³ olup ayrıca havadan ortalama 7 kat daha hafiftir. Argonun özgül ağırlığı ise 1,784 kg/m³'tür, ayrıca havadan 1,4 kat daha ağırdır. Aradaki farklılık sadece her iki asal gazın kaynakta kullanımında gaz tüketim miktarını etkilemektedir.

Hızlı kaynaklarda veya kalın parçalarda, derin nüfuziyet için helyum gazı tercih edilir. Argonda ısıyı kontrol altına almak daha kolaydır. Elle yapılan TIG kaynaklarında argon gazı tercih edilmelidir. Otomatik tezgâhlarda elde edilebilen hızlı kaynaklarda helyum kullanılabilir [61].

### 3.4. TIG Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

GTAW kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Avantajları:

- Endüstride kullanılan hemen hemen bütün malzemelerin ve alaşımlarının kaynağında kullanılabilir.
- Cürufsuz bir kaynak dikişi sağlandığından kaynak sonunda temizleme işlemine gerek kalmaz.
- Sıçrantı sorunu yoktur.

- İlave tele her zaman ihtiyaç yoktur.
- Her pozisyonda rahatça kaynak yapma olanağı mevcuttur..
- Darbeli akımının kullanılabilme olanağı olduğundan çok ince metallerin kaynağı (çarpılma olmadan) mümkündür.

Dezavantajları:

- Kaynak hızı diğer bazı kaynak metotlarına göre göreceli olarak yavaştır.
- Tungsten (wolfram) elektrodun ucu dikkat edilmezse kolayca bozulabilir (metal yapışması, uç kırılması, bombe oluşması vb.).
- Kalın malzemelerin kaynağı için çok iyi bir teknik değildir (erime oranlarının düşüklüğü sebebi ile).
- Arkın her türlü hava akımından korunması gerekir. Aksi durumda koruyucu gaz arkı gerektiği gibi koruyamaz [62].

# 4. MATERYAL VE METOT

## 4.1. Deney Malzemeleri

Deneysel çalışmalarda 1.6 mm kalınlığında ve 127x50 mm boyutlarında Ti6Al4V (Grade 5) titanyum alaşım levhalar kullanılmıştır. Deneyde kullanılan titanyum alaşım levhaların resmi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.




Şekil 4.1. Deneyde kullanılan Ti6Al4V titanyum

Ti6Al4V titanyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu Tablo 4.1'de, mekanik özellikleri ise Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1.Ti6Al4V alaşımının kimyasal kompozisyonu (%)

| C | Al | V | Fe | N | O | H | Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,010 | 6,02 | 4,14 | 0,098 | 0,007 | 0,12 | 0,002 | Kalan |

Tablo 4.2. Ti6Al4V mekanik özellikleri

| Çekme Mukavemeti (MPa) | Akma Mukavemeti (MPa) | Sertlik (Hv) | Uzama (%) |
|---|---|---|---|
| ≥ 895 | ≥ 830 | 330 | 10 |

## 4.2. Malzemelerin Kaynak Öncesi Hazırlığı

TIG kaynak işlemi öncesi titanyum alaşım levha numuneler yağ, kir ve olası yabancı maddelerden arındırmak amacıyla yüzey temizliğe tabii tutulmuştur.

Numunelerin tüm yüzeylerine zımparalama işlemi yapılmıştır. Şekil 4.2'de numunelere uygulanan kaynak öncesi zımparalama işleminin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.2. Numunelerin kaynak öncesi zımparalanma işlemi

Mekanik yüzey temizliği akabinde numuneler yaklaşık 1 saat asetonlu sıvıda bekletilip ve sonrasında asetonlu bezle silinerek kurutulmuştur. Benzer şekilde dolgu malzemesi olan ilave tel de asetonlu bez ile silinmiştir. Şekil 4.3'de kaynak öncesi asetonlu bezle temizlenen numunelerin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.3. Kaynak öncesi asetonlu bezle temizlenen numuneler

### 4.3. TIG Kaynak Uygulaması

Birleştirme işlemlerinde Miller Maxstar 152 marka inverter tip doğru akım TIG kaynak makinası ve koruyucu gaz olarak %99,99 saf argon gazı kullanılmıştır.

Numuneler, kaynak ağzı açılmadan ve aralarında boşluk bırakılmadan alın alına olacak şekilde ve bir sabitleme fikstürü kullanılarak sabitlenmiş ve çarpılmayı önlemek amacıyla her iki taraftan birer punta atılmıştır.

Şekil 4.4'de deneysel çalışmalar sırasında numunelerin birleştirilmesi işleminde kullanılan inverter tip CC DC TIG kaynak makinasının resmi verilmiştir.




Şekil 4.4. Inverter tip CC DC TIG kaynak makinası

Koruyucu gaz nozuldan ve sabitleme olarak kullanılan aparatın alt kısmından verilmiştir. Böylece kaynak kök koruması sağlanmıştır.

Şekil 4.5'de kaynak işlemleri sırasında iş parçalarının çarpılmasını ve buna benzer olası olumsuzlukların engellenmesi amacıyla kullanılan sabitleme fikstürünün görüntüsü verilmiştir.

Kaynak işlemi tek pasoda ve dolgu malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elektrot olarak 1,6 mm çapında %2 seryum katkılı tungsten elektrot kullanılmıştır.



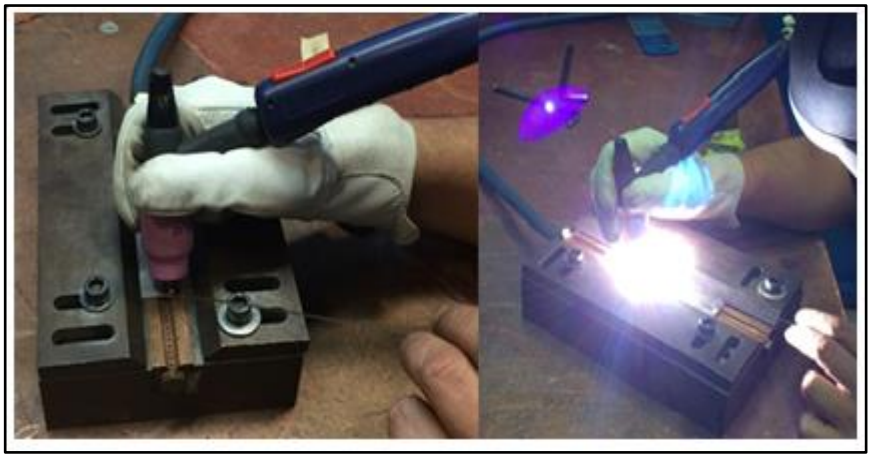

Şekil 4.5. Sabitleme fikstürü

Dolgu malzemesi olarak ise 0,045” çapında Ti6Al4V (AMS4954) titanyum alaşım kaynak teli kullanılmıştır.

Koruyucu gaz debisi 10 lt/dk olup, torç hava soğutmalıdır. Kaynak işlemi bitiminde numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Her bir kaynak işlemi sonunda numuneler görsel muayene edilip kontrol edilmiştir.

Yapılan denemeler sonucu ve literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda deneylerde kullanılması planlanan kaynak akımı tayin edilmiştir.

Şekil 4.6’da deneysel numunelere uygulanan TIG kaynak işleminin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.6. TIG kaynak uygulaması

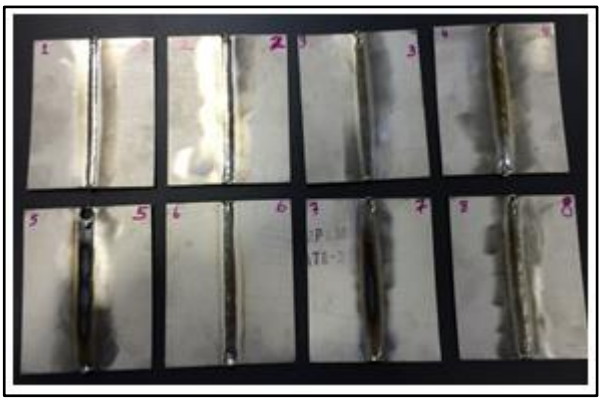
Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Kaynak parametreleri

| # | Numune #1 | Numune #2 | Numune #3 | Numune #4 | Numune #5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Kaynak Akımı | 50 A | 60 A | 70 A | 80 A | 90 A |
| Akım Türü | DCEP | DCEP | DCEP | DCEP | DCEP |
| Elektrot | Tungsten + %2 Seryum | Tungsten + %2 Seryum | Tungsten + %2 Seryum | Tungsten + %2 Seryum | Tungsten + %2 Seryum |
| Elektrot Çapı | 1,6 mm | 1,6 mm | 1,6 mm | 1,6 mm | 1,6 mm |
| Gaz Tipi | Argon | Argon | Argon | Argon | Argon |
| Gaz Debisi | 10 lt/dk | 10 lt/dk | 10 lt/dk | 10 lt/dk | 10 lt/dk |
| Elektrot Uç Açısı | 45º | 45º | 45º | 45º | 45º |
| İlave Tel | Ti6Al4V | Ti6Al4V | Ti6Al4V | Ti6Al4V | Ti6Al4V |
| İlave Tel Çapı | 0,045" | 0,045" | 0,045" | 0,045" | 0,045" |
| Nozul Çapı | 10 mm | 10 mm | 10 mm | 10 mm | 10 mm |

## 4.4. Numune Hazırlama

Deney numuneleri olarak 1,6 mm kalınlığında 127x50 mm boyutlarında Ti6Al4V (Grade 5) titanyum alaşım levhalar TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Şekil 4.7'de TIG kaynak yöntemiyle yapılan deney numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Kaynaklı deney numuneleri

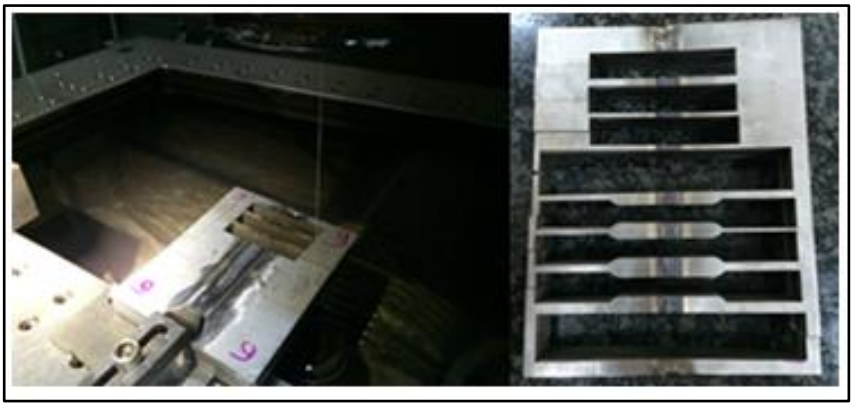
MKE Kurumunda kaynaklı numunelerden tel erozyon kesme yöntemi ile çekme, sertlik, metalografi, radyografik, penetrant ve görsel muayenelerde kullanılmak üzere deney numuneleri elde edilmiştir.

Şekil 4.8'de kaynaklı numunelerin kesme işleminde kullanılan tel erozyon makinası gösterilmiştir.




Şekil 4.8. Numunelerin kesim işleminde kullanılan tel erozyon makinası

Kaynak başlangıç ve bitiş noktalarında nüfuziyet eksikliği görüleceğinden dolayı bu olumsuzlukları gidermek amacıyla numunelerin her iki tarafından 10 mm boşluk bırakılarak kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.9'da tel erozyon yöntemiyle kesilmiş kaynaklı numunelerin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.9. Tel erozyon ile kesilmiş kaynaklı numuneler

## 4.5. Yapılan Tahribatsız Deneyler

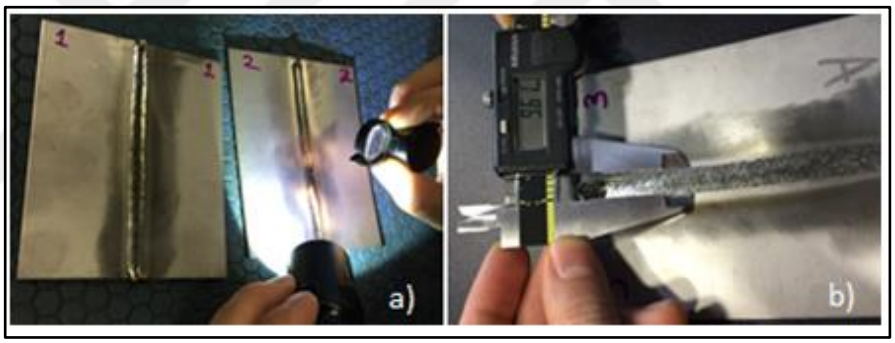
### 4.5.1. Görsel muayene

Tahribatsız muayene yöntemlerinin en eskisidir. Bu yöntemle test edilecek parçaların doğrudan göz veya ara bir ekipman yardımıyla kontrolü sağlanır. Işık miktarının kabul edilebilir düzeyde olması bu yöntem için önem arz etmektedir.

Görsel muayene yönteminde kontrol edilen ürünün yüzeyindeki süreksizlikler, göze çarpan yapısal olumsuzluklar ve kalitesini etkileyecek ayrıntılar incelenmektedir.

Deneysel çalışmalarda kaynaklı numunelerin görsel muayenesi 10X zoom mercek ile yapılmıştır. Kaynak kep ve kök dikiş genişlikleri kumpas ile ölçülmüştür. Kaynak kep ve kök yükseklikleri ise CMM makinasında hassas bir şekilde ölçülmüştür.

Şekil 4.10'da kaynaklı numunelere yapılan görsel muayenenin görüntüsü verilmiştir.




Şekil 4.10. Kaynaklı numunelere yapılan görsel muayene a) Kaynak dikişinin mercek ile kontrolü, b) Kaynak dikiş genişliğinin kumpas ile ölçümü

### 4.5.2. Penetrant muayene

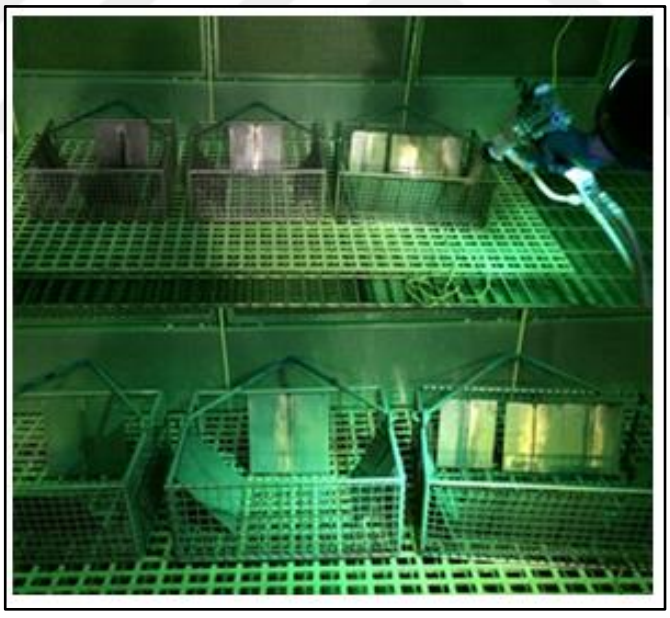
Penetrant (sıvı girinim) muayenesi, özel sıvılar aracılığıyla uygulanacak parça yüzeyindeki çok küçük kılcal çatlakları ortaya çıkarmak için kullanılan bir tahribatsız muayene metodudur. Ayrıca sıvı penetrant muayenesi basit, hassas, ucuz ve hızlı bir NDT yöntemidir [63].

Deneysel çalışmalar sırasında yapılan tüm FPI işlemleri seviye II sertifikasına sahip inspektör tarafından ASTM E 1417 standardına göre yapılmıştır. Numunelere NDT öncesi ön yüzey temizliği uygulanmak üzere basınçlı buhar tatbik edilmiştir.

Daha sonra numuneler 45ºC'de 30 dk. süresince kurutma fırınında kurutulmaya bırakılmıştır. Sonrasında numuneler asetonlu bezle silinerek tekrar temizlenmiştir. Elektrostatik sprey yöntemi kullanılarak parçalara floresan penetrant uygulanmıştır. Penetrantın nüfuziyeti için 30 dk. temas süresi uygulanmıştır. Fazla penetrant yüzeyden su ile yıkanarak giderilmiştir. Daha sonra numuneler 45ºC'de 30 dk. boyunca kurutma fırınında kurutulmuştur.

Sonrasında numunelere olası kılcal çatlakların görünür hale gelmesi için developer (geliştirici) tatbik edilmiştir. 15 dk. bekleme süresinden sonra numuneler UV ışık altında kontrol edilmişlerdir.

NDT sonrası numuneler üzerindeki penetrantın giderilmesi amacıyla temizleme yöntemi olarak yine basınçlı buhar metodu ile temizlenip sonrasında kurutulmuşlardır. Şekil 4.11'de deney numunelerine yapılan floresan sprey penetrant uygulama görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.11. Sprey penetrant uygulaması

### 4.5.3. Radyografik muayene

Hacimsel bir metot olan radyografik muayenenin iki temel prensibi bulunmaktadır. Bu prensipler ise algılayıcı ve nüfuz edici nüfuz edici özelliklerdir. Filmler algılayıcı eleman olarak tanımlanırken X ve gama ışınları ise nüfuz edici eleman olarak rol almaktadır.

Endüstriyel alanda bu yöntem oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. X ve gama ışınlarından faydalanılarak röntgen filmleri çekilen örnek olarak uçak parçaları, buhar kazanları ve borular gibi ürünlerde herhangi bir bulgu olup olmadığı gözlemlenebilmektedir.

Radyografik kontrol, x ışını üreten veya gama ışını yayan radyoizotop içeren cihazlarla yapılmaktadır.

X ışınları deney parçalarına zarar vermeden onların içyapılarını kontrol etme imkanı sağladığından tahribatsız muayene yönteminde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu metodun ana amacı göz ile tespit edilemeyen yerlerde çatlak veya hataların teşhisinin yapabilmesidir. Bu yöntem ile malzemelerdeki kalınlık değişimleri, aşınmalar, çatlaklar, bal peteği malzemelerde su kontrolü, yapısal değişiklikler, montaj detayları, korozyon ve malzeme içindeki hatalar x veya gama ışınları ile tespiti mümkün kılınmaktadır [64].

Deney numunelerinin içyapılarındaki çatlak ve hataların tespit edilmesi amacıyla radyografik muayene yapılmıştır. Deney çalışmaları THY Teknik A.Ş NDT merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.12'de deneysel çalışmalar sırasında kullanılan X-Ray cihazı ve numunelerle birlikte deney düzeneği görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.12. X-Ray deney düzeneği

### 4.5.4. Metalografik muayene

TIG kaynak yöntemiyle farklı kaynak parametrelerinde birleştirilmiş titanyum alaşım malzemelerde kaynak akımının kaynak bölgesindeki tane morfolojisine etkileri belirlenmesi maksadıyla makroyapı ve mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Makroyapı ve mikroyapı deney çalışmaları Gedik Kaynak Test Merkezinde yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda bakalite alınan kaynaklı numunelerin yüzeyi kaba zımpara taşı ile yüzeydeki çizik ve olumsuzluklar giderilmiştir. Zımpara kademeleri kalından inceye doğru ilerlemektedir.

Mikroskobik çalışmalar için numuneler 120-220-320-500-600-800-1000-1200-2500 gritlik SiC zımpara ile zımparalanmıştır.

Zımparalama işlemi tamamlandıktan sonra malzeme yüzeyini hazırlamada son adım olan parlatma işlemine geçilmiştir. Parlatmanın gayesi yüzeyin düzgün, çiziksiz ve ayna gibi bir görünüm elde etmesini sağlamaktır.

Bu aşamada 3 μm ve 1 μm keçe ile ve keçe üzerine elmas pasta emdirilip parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemden sonra yüzeyde çizik olup olmadığı kontrol edilir. Yok ise sonraki aşama olan dağlama işlemine geçilir.

Gerçek içyapı özelliklerini tayin etmek için malzemelerde parlatılmış numune yüzeyine uygun bir reaktif uygulanır ve buna dağlama (etching) denir.

Dağlama ile parlatma sonunda tespit edilemeyen mikroyapı özellikleri ortaya çıkar. Dahası fazların cinsini tayin etmede ve yönlenme etütlerinde dağlama işlemi kullanılır. Dağlamanın amacı tane sınırlarının ve kaynak ara yüzeylerinin daha iyi görülebilmesini sağlamaktır [65].

Dağlama çözeltisi olarak %20 HF %10 HNO %70 $H_2O$ kullanılmıştır. Daldırma yöntemi ile 10 sn bekledikten sonra saf su ile malzeme temizlenmiştir. Ardından etil alkol ile iyice çözeltiden ayırdıktan sonra hava süspansiyonu ile kurutulmuştur.

Dağlama işlemi sonrasında numuneler Olympos marka optik mikroskop ile incelenmişlerdir.

Şekil 4.13'de mikroskobik deneysel çalışmalarda kullanılan Olympos marka optik mikroskobun fotoğrafı verilmiştir. Ana malzeme, ITAB ve kaynak bölgesi mikroyapısal açıdan incelenmiştir.

Mikroyapı muayenesi TS EN ISO 17639 standardına göre gerçekleştirilmiştir.




Şekil 4.13. Deneyde kullanılan Olympos marka optik mikroskop

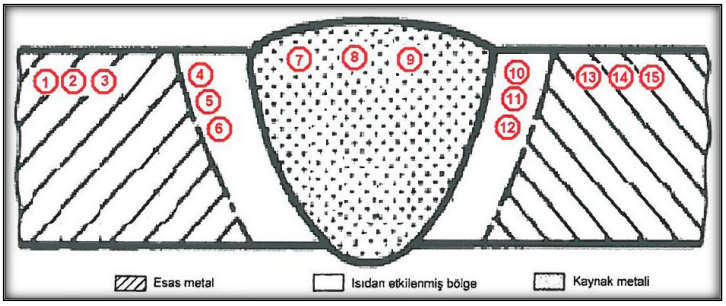
## 4.6. Yapılan Tahribatlı Deneyler

### 4.6.1. Sertlik testi

TIG (GTAW) kaynak yöntemi ile farklı kaynak parametrelerinde birleştirilen Ti6Al4V titanyum alaşım levhaların kaynak akımının deney numunelerinin ana malzeme, IEB ve kaynak bölgesi üzerindeki sertlik değişimini saptamak amacıyla numunelere sertlik testi uygulanmıştır.

Sertlik deney çalışmaları Gedik Kaynak Test Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri ana malzeme, IEB ve kaynak bölgesinden alınmıştır. Şekil 4.14'de gösterildiği üzere her bir deney numunesinin ana malzemeden 6 nokta, IEB'den 6 nokta ve kaynak bölgesinden 3 nokta olmak üzere toplam 15 nokta üzerinden sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Sertlik ölçümleri vickers sertlik yöntemine göre 10 kg yük altında HV10 skalası ile yapılmıştır. Sertlik ölçüm sonuçları kaynaklı numunelerin belirtilen lokasyonlarından alınan sertlik ölçümlerinin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.




Şekil 4.14. Sertlik ölçümü alınan lokasyonlar

Sertlik testi, TS EN ISO 9015-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan sertlik ölçüm cihazının fotoğrafı Şekil 4.15'de verilmiştir.

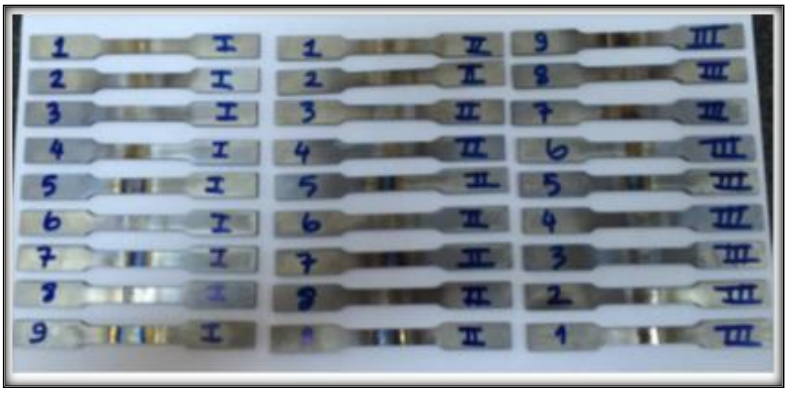


Şekil 4.15. Deneyde kullanılan sertlik ölçüm cihazı

### 4.6.2. Çekme testi

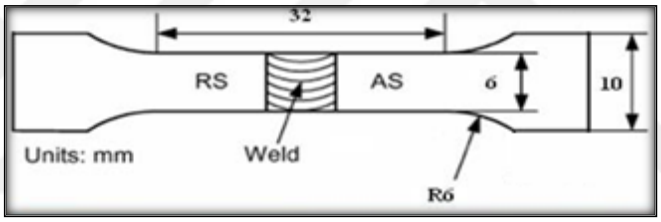
TIG kaynaklı titanyum alaşımların mekanik özelliklerini tespit etmek için çekme testi uygulanmıştır. Deney sonucunun doğruluğunu artırmak ve olası kaynak hatalarını minimuma indirgemek amacıyla her bir numuneden 3 adet çekme numunesi hazırlanmış ve sonuçlar bunların ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.

Çekme numunelerinin fotoğrafları Şekil 4.16'da verilmiştir. Çekme deneyi Mares marka çekme test cihazında 2 mm/dk hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.16. Çekme deneyi numuneleri

Çekme deney numuneleri Şekil 4.17'de gösterilen ölçüler baz alınarak ASTM E8 standardına göre hazırlanmıştır.




Şekil 4.17. Çekme deney numune teknik resmi

Deneyde kullanılan çekme test cihazının resmi Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18. Çekme test cihazı

# 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

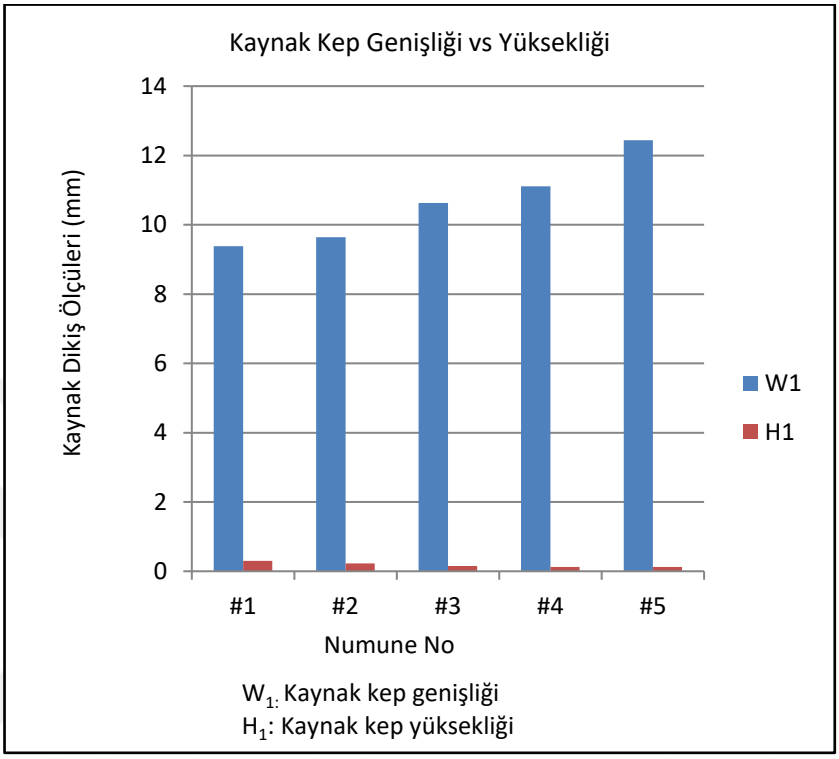
## 5.1. Görsel Muayene (VT) Sonuçları

Kaynaklı numunelere ışık altında 10x mercek ile görsel inceleme yapıldı. Yapılan incelemelerde 1 nolu numunenin kaynak kök dikişi bölgesinde yetersiz nüfuziyete sahip olduğu görülmüştür. 2 ve 3 nolu numunelerin yeterli nüfuziyete sahip oldukları ve kaynak dikişlerinin homojen ve düzgün oldukları görülmüştür. Yanma oluğu, cüruf kalıntısı ve yüzeysel çatlak tespit edilmemiştir. 2 nolu numunenin kaynak kep dikiş rengi gümüş, 3 nolu numunenin ise saman sarısı olduğu belirlenmiştir. Titanyum alaşımlarının TIG kaynaklı numuneleri için gümüş rengi arzu edilen bir renk olmasına rağmen saman sarısı da kabul edilebilir limitler içerisindedir. 4 ve 5 nolu numunelerin yüksek akımdan dolayı kaynak kep tarafında yanmanın olduğu ve koyu mavi renkte olduğu görülmüştür. Şekil 5.1'de deney numunelerinin kaynak kep ve kök dikiş görüntüleri verilmiştir.

| Numune | Kaynak Kep Dikiş Görüntüsü | Kaynak Kök Dikiş Görüntüsü |
|---|---|---|
| #1 |  |  |
| #2 |  |  |
| #3 |  |  |
| #4 |  |  |
| #5 |  |  |

Şekil 5.1. Numunelerin kaynak dikişlerinin görsel incelenmesi

Görsel incelemeler kapsamında ayrıca kaynaklı numunelerin kaynak kep dikiş genişlik ve yükseklikleri 3D CMM makinasında ölçülmüş ve ölçüm sonuçlarını gösteren grafik Şekil 5.2'de verilmiştir.




Şekil 5.2. Numunelerin kaynak kep dikiş genişliği ve yüksekliği

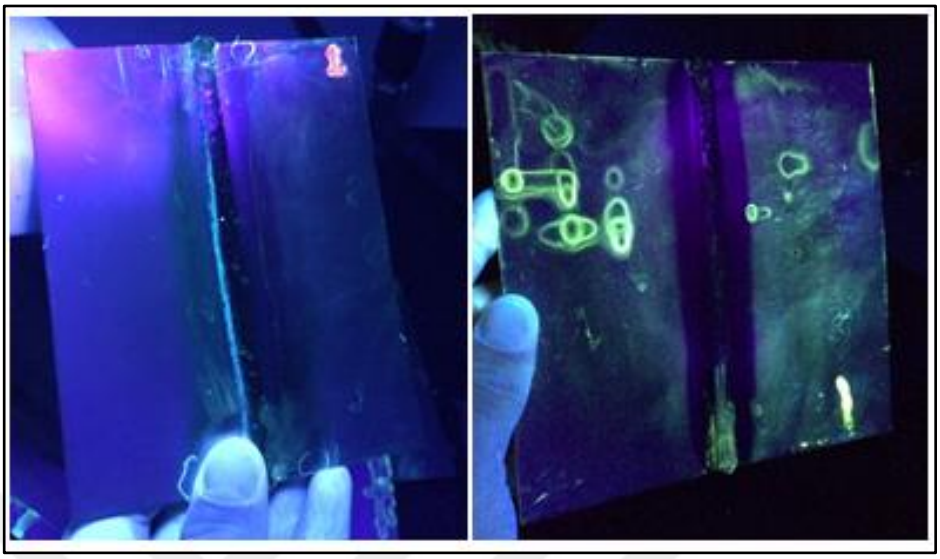
Grafik incelendiğinde kaynak akımının artışı ile $W_1$ ölçüsü artarken $H_1$ ölçüsünün ise azaldığı görülmektedir. Bu durum artan kaynak akım şiddeti ile ısı girdisinin yükselmesi sonucu yığılan metal miktarının artışı ile ilişkilendirilebilir.

Düşük akım şiddetinde malzemeye etki eden ısı enerjisinin az olması sebebiyle ergimiş metal malzemeye nüfuz edemeyerek malzeme üzerine yığılması olarak ifade edilebilir. Bir başka deyişle kaynak akımın düşük olması durumunda düşük ısı girdisinden kaynaklı olarak ergimiş metalin nüfuziyet kabiliyeti olmayacak ve metal yığılmasının sonucu olarak kaynak kep yüksekliğinde artışına neden olabilecektir.

## 5.2. Penetrant Muayene (PT) Sonuçları

TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş numunelerin kaynak dikiş bölgelerine yapılan FPI uygulaması sonucunda herhangi bir çatlak bulgusuna rastlanmamıştır.

Şekil 5.3’de kaynaklı numunelere yapılan FPI işleminin UV ışık altında değerlendirilmesine ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 5.3. Kaynaklı numunelere yapılan FPI işlemi

## 5.3. Radyografik Muayene (RT) Sonuçları

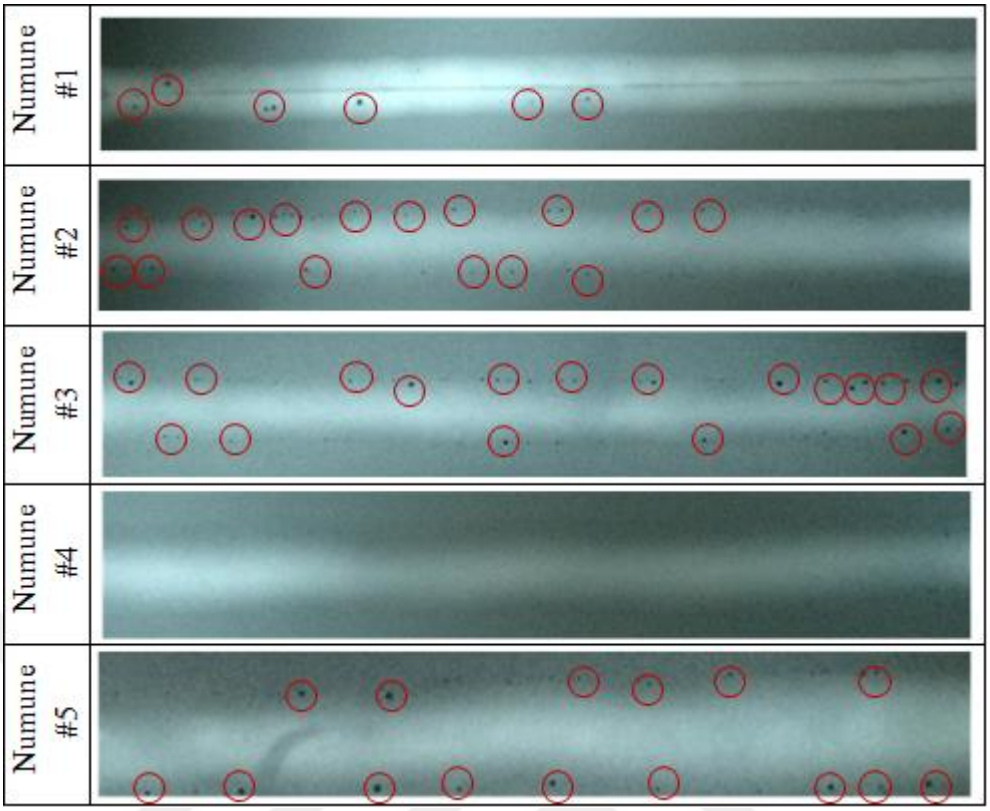
Farklı kaynak akımlarında gaz tungsten ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş kaynaklı numunelerin iç yapılarındaki çatlak, süreksizlik ve olumsuzlukların tespit edilmesi amacıyla ASTM E 1032 standardına göre radyografik test gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deney işlemleri sonrasında radyografik filmler incelendiğinde ilk numunede düşük kaynak akımından kaynaklı olarak yetersiz nüfuziyet olduğu ve ayrıca kaynak başlangıç bölgesinde ve cidarlarında birkaç porozite (gözenek) olduğu görülmüştür.

Numune 2 ve 3 üzerinde yapılan incelemede yeterli nüfuziyetin olduğu ve kaynak dikiş kenarlarında kümelenmiş poroziteler görülmüştür. Yanma olukları ve cüruf kalıntıları görülmemiştir.

4 numaralı numunede porozite görülmezken numune 5 üzerinde poroziteler ve cüruf kalıntısı görülmüştür. Numunelerin hiç birinde çatlak bulgusuna rastlanmamıştır.

Şekil 5.4’de deney numunelerine ait kaynak dikişlerinin radyografik görüntüleri verilmiştir. Numuneler üzerindeki poroziteler kırmızı ile işaretlenmiştir.




Şekil 5.3. Numunelerin kaynak dikişlerinin radyografik görüntüleri

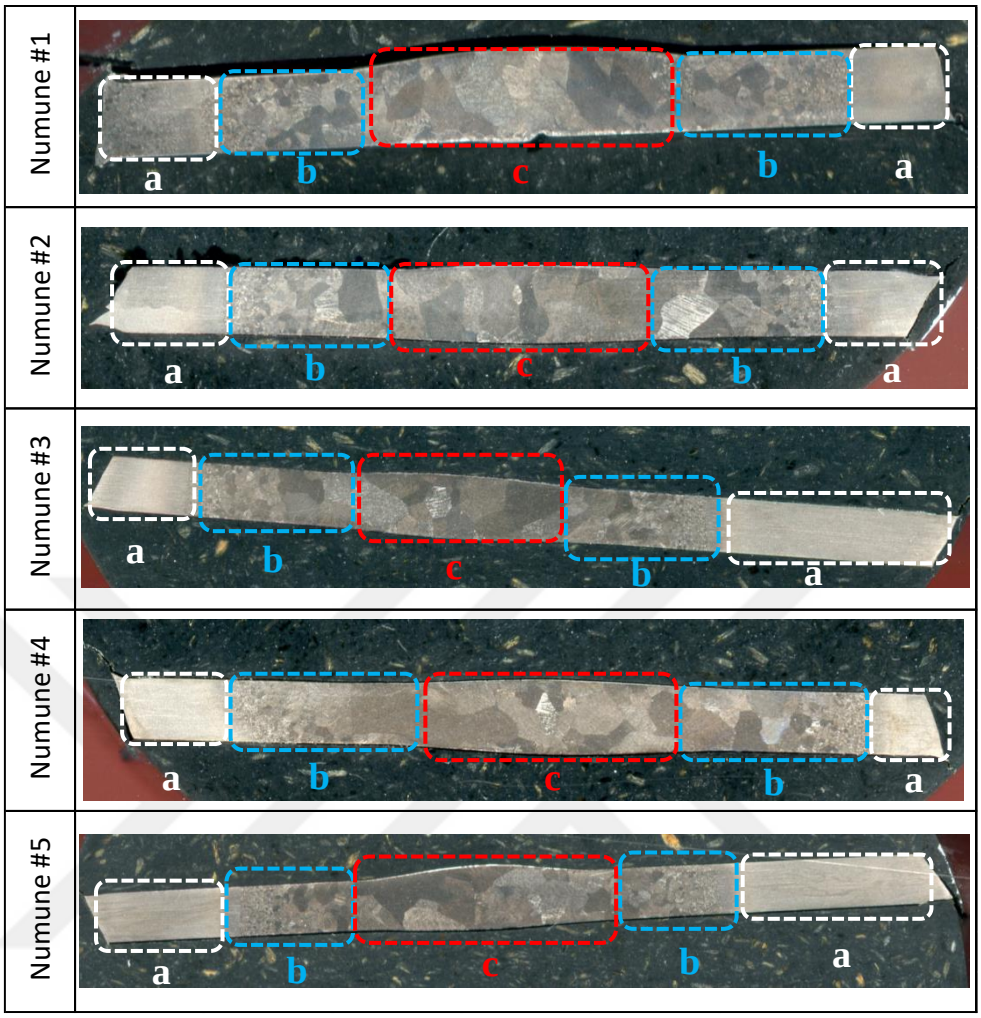
## 5.4. Makroskobik Muayene Sonuçları

Numunelerin optik mikroskopta görüntülenebilmesi amacıyla deney öncesi kaynaklı numuneler bakalite alınmıştır. Şekil 5.5'de bakalite yerleştirilmiş kaynak numunelerinin makroskobik görüntüleri verilmiştir.

Numunelere ait makroskobik görüntüler incelendiğinde ana malzemenin tanecik yapısının düzgün ve homojen olduğu görülmektedir.

Şekil 5.5'de gösterildiği üzere beyaz çizgilerle "a" ile belirtilen alan ana malzemeyi, mavi çizgilerle "b" ile belirtilen alan ITAB, kırmızı çizgilerle "c" ile belirtilen kısım ise kaynak bölgesini göstermektedir. Tüm numunelerde ITAB kısmı taneciklerin irileşmeye başladığı geçiş bölgesi olarak görülmektedir.

Kaynak akımının artışı ile taneciklerin irileşmeye başladığı düşünülmektedir. Kaynak bölgesinde ise yüksek ısı girdisinin etkisiyle çok irileşmiş tanecikler olduğu gözlemlenmektedir.



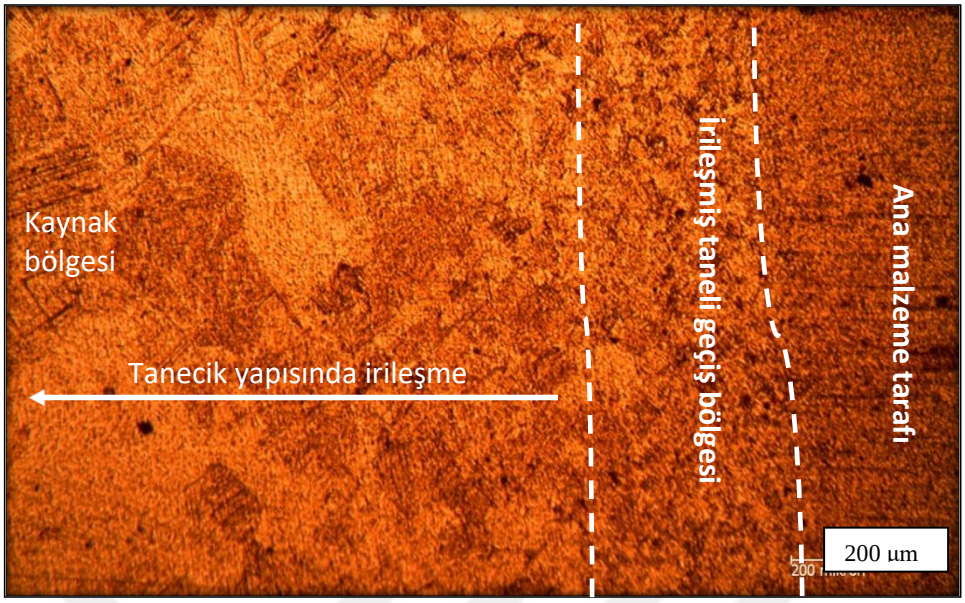

Şekil 5.4. Kaynaklı numunelerin makroskobik görüntüleri a) Ana malzeme b) ITAB c) Kaynak metali

## 5.5. Mikroskobik Muayene Sonuçları

TIG kaynak prosesinde kaynak akımının deney numunelerin tanecik yapısına etkilerini analiz etmek amacıyla yapılan tüm numunelerin EM (Esas Metal), ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) ve KM (Kaynak Metali) mikroskobik muayene sonuçları Şekil 5.7 – 5.21'de verilmiştir.

Şekil 5.10'da görülen ana malzeme mikroyapısında açık renkli olanlar α taneciğini, koyu renkli olanlar ise β taneciğini göstermektedir.

Şekil 5.5'de görülen ITAB mikroyapısında ince taneli homojen yapıdaki sağ taraf ana malzemeyi, sol taraf kaynak bölgesine geçişi ve ana malzemenin yakınındaki kısım ise irileşmiş taneli geçiş bölgesini göstermektedir.



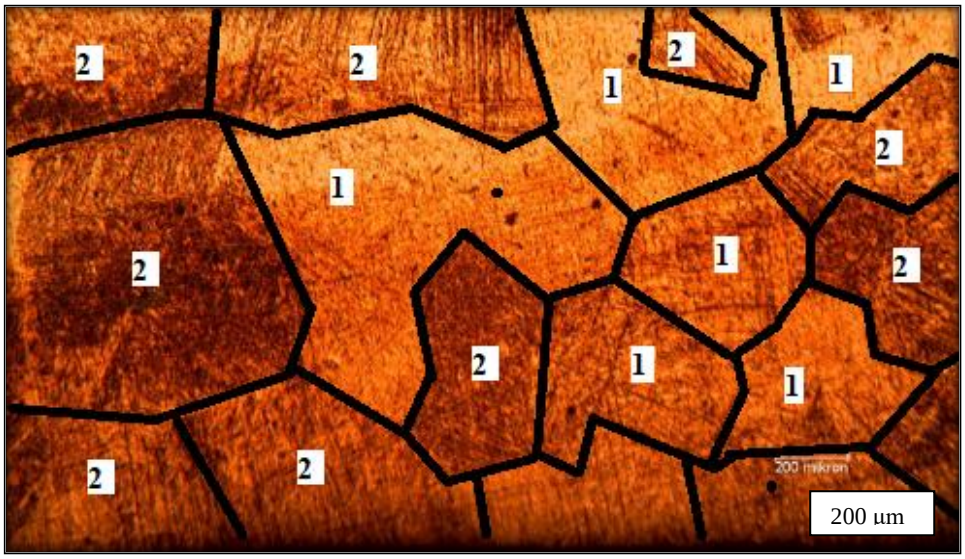

Şekil 5.5 ITAB mikroyapısı

Şekil 5.6'da 1 nolu numuneye ait tanecik yapısına haritalandırılmış kaynak bölgesi görülmektedir.

#1 : Kolonsal "β" taneleri içine yerleşmiş iğnemsi "α" taneleri

#2 : β taneleri

Çizgiler ise tane sınırını göstermektedir.

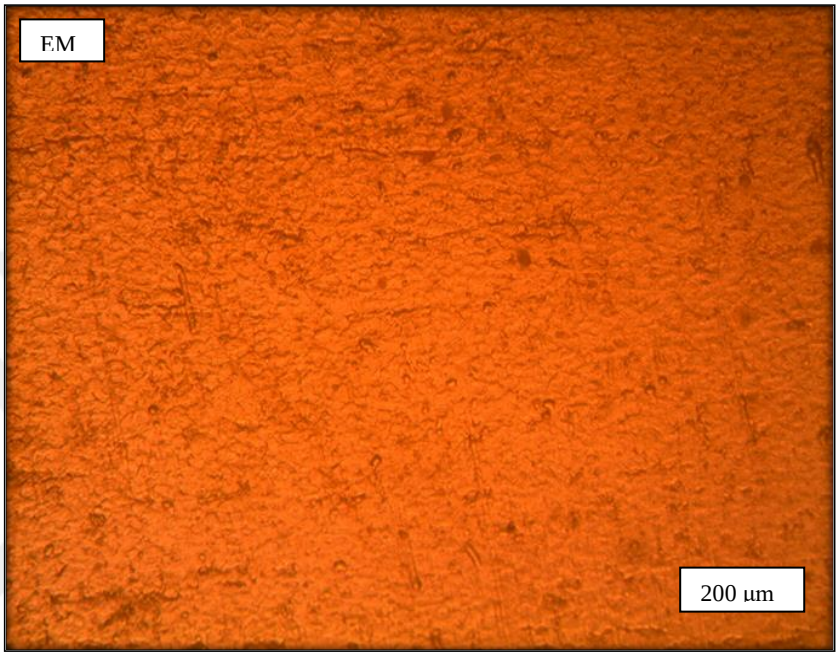



Şekil 5.6. Tanecik yapısına göre haritalandırılmış Ti6Al4V kaynak bölgesi

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde ana malzeme yapısı tipik α + β taneleri nden oluşmaktadır. Ana malzemenin ince taneli homojen bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

ITAB kaynak metaline nazaran daha küçük taneli iğnemsi α ve kolonsal β taneleri içermektedir.

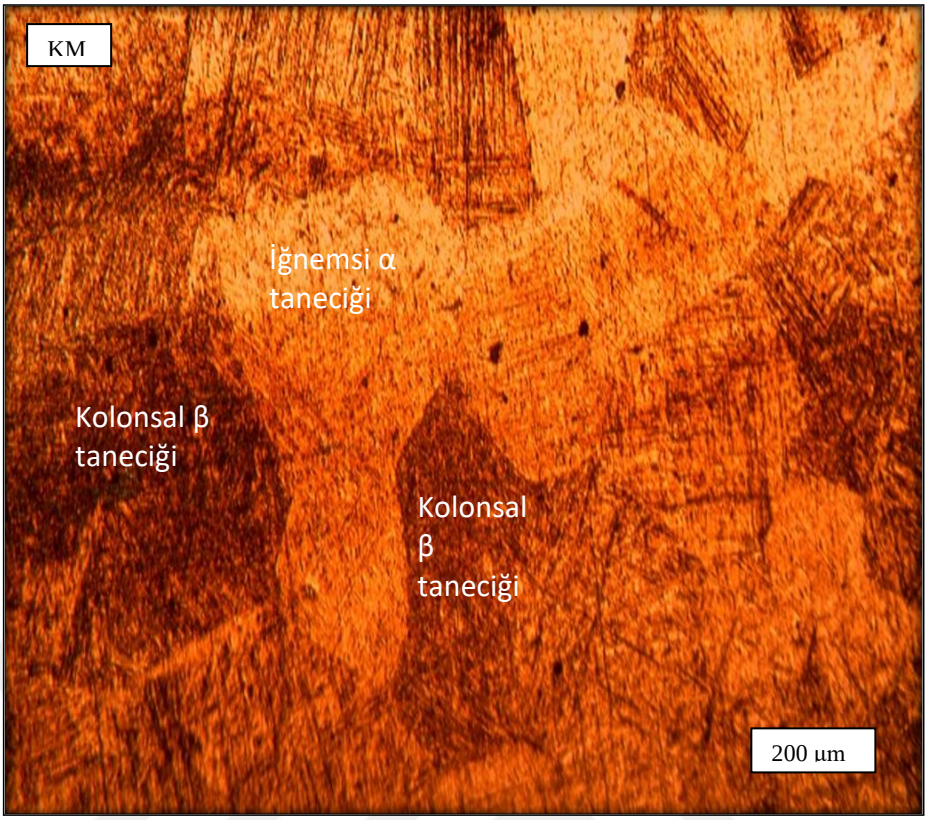
Kaynak metali bölgelerinde ise yapı ITAB'a benzemekle beraber taneler oldukça irileşmiş gözükmektedir. Yüksek ısı girdisi nedeniyle özellikle kaynak metali bölgesinde ve nispeten ITAB'da irileşmiş α ve kolonsal β taneleri görülmektedir.



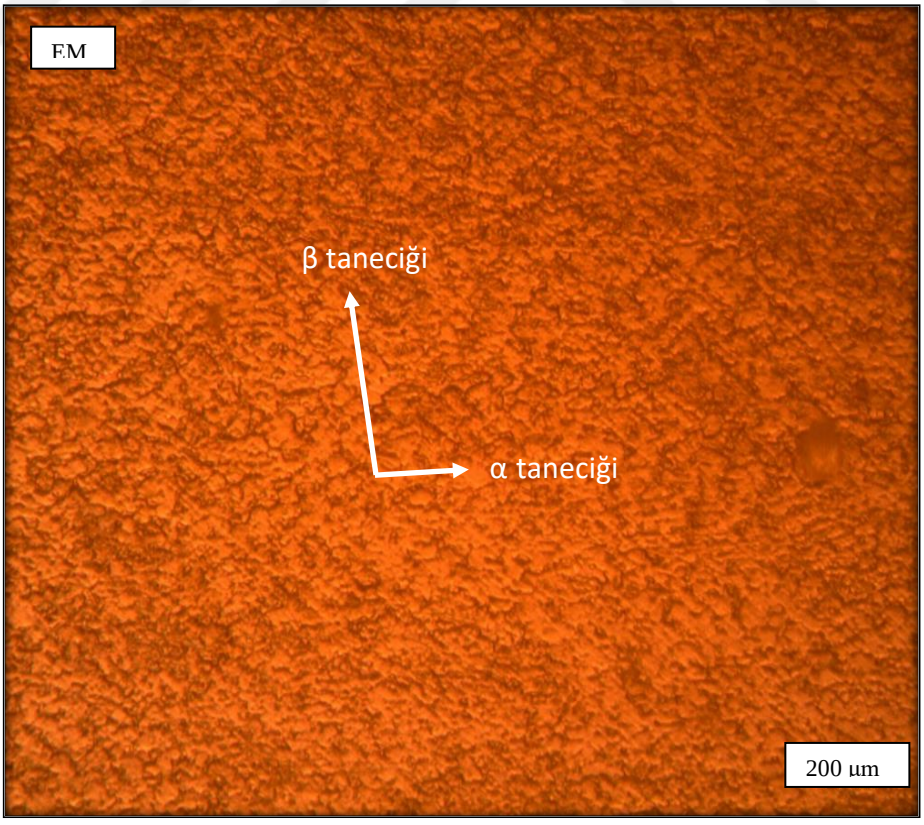

Şekil 5.7. Numune #1 ana malzeme mikroskobik görüntüsü



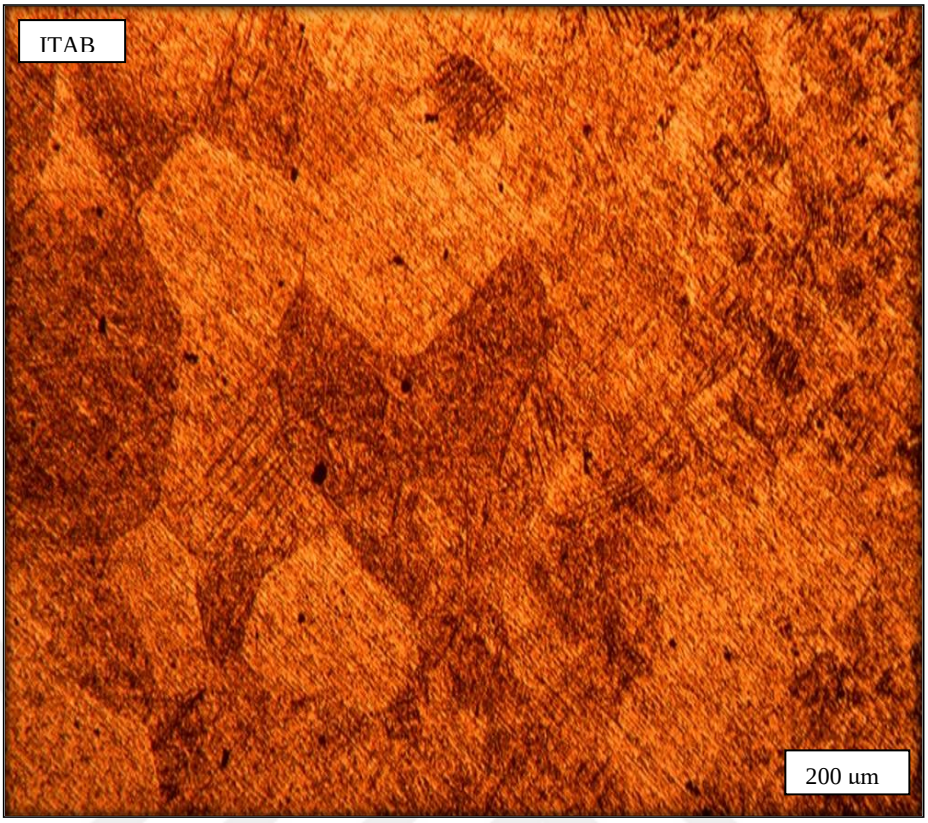

Şekil 5.8. Numune #1 ITAB mikroskobik görüntüsü



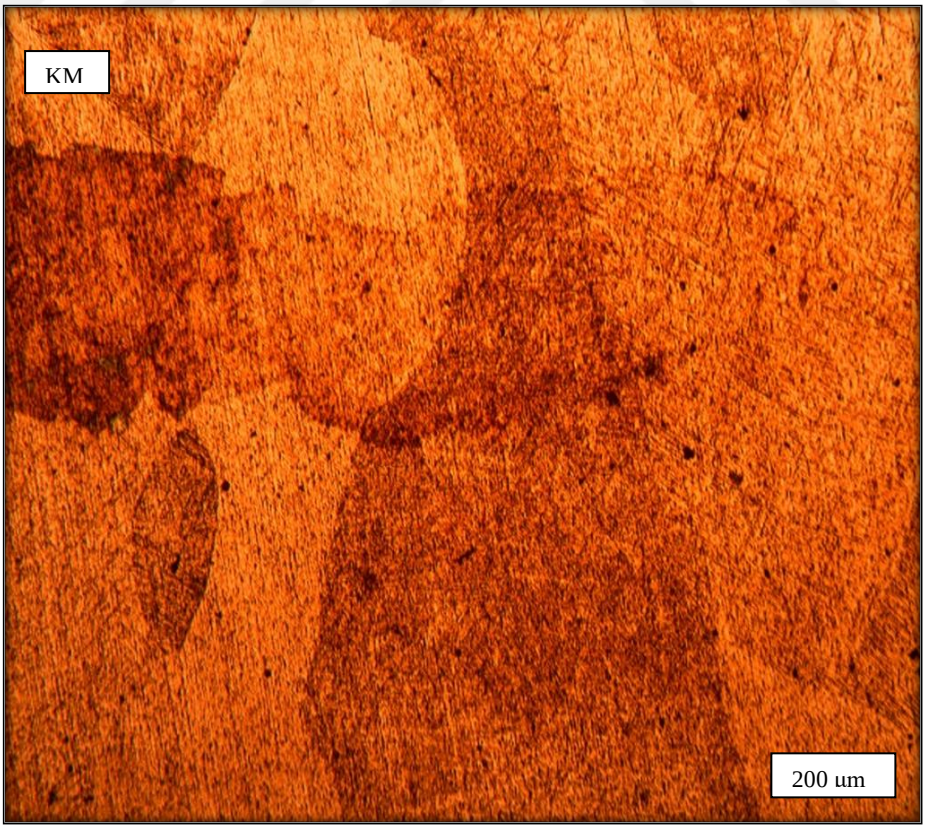

Şekil 5.9. Numune #1 kaynak metali mikroskobik görüntüsü



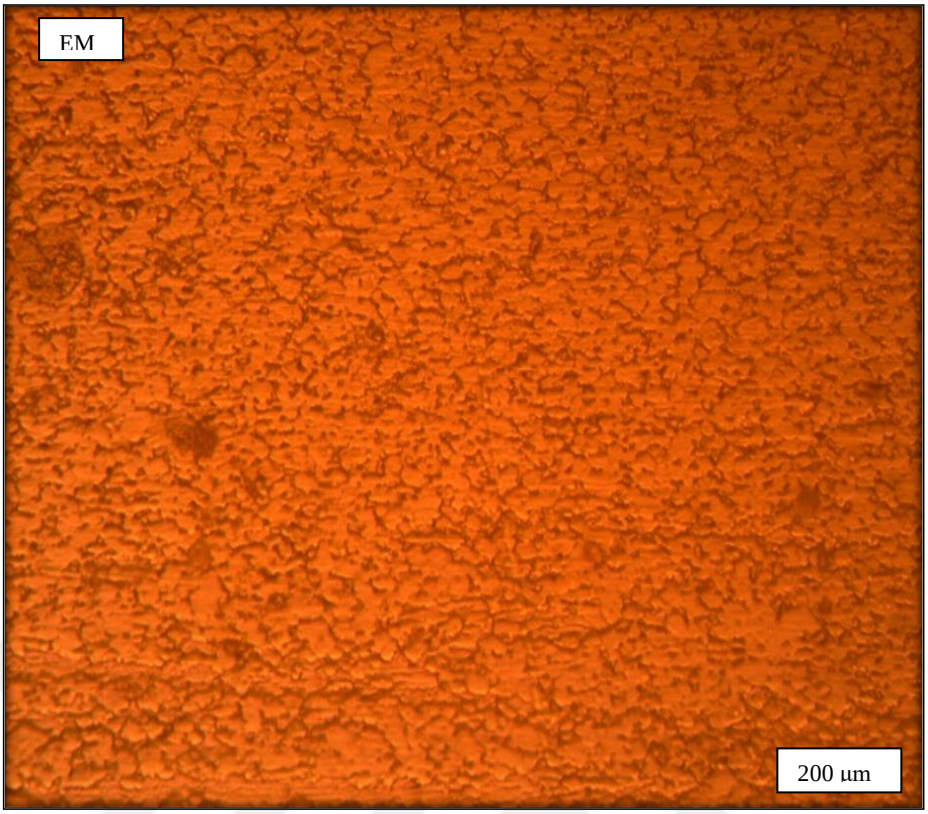

Şekil 5.10. Numune #2 ana malzeme mikroskobik görüntüsü



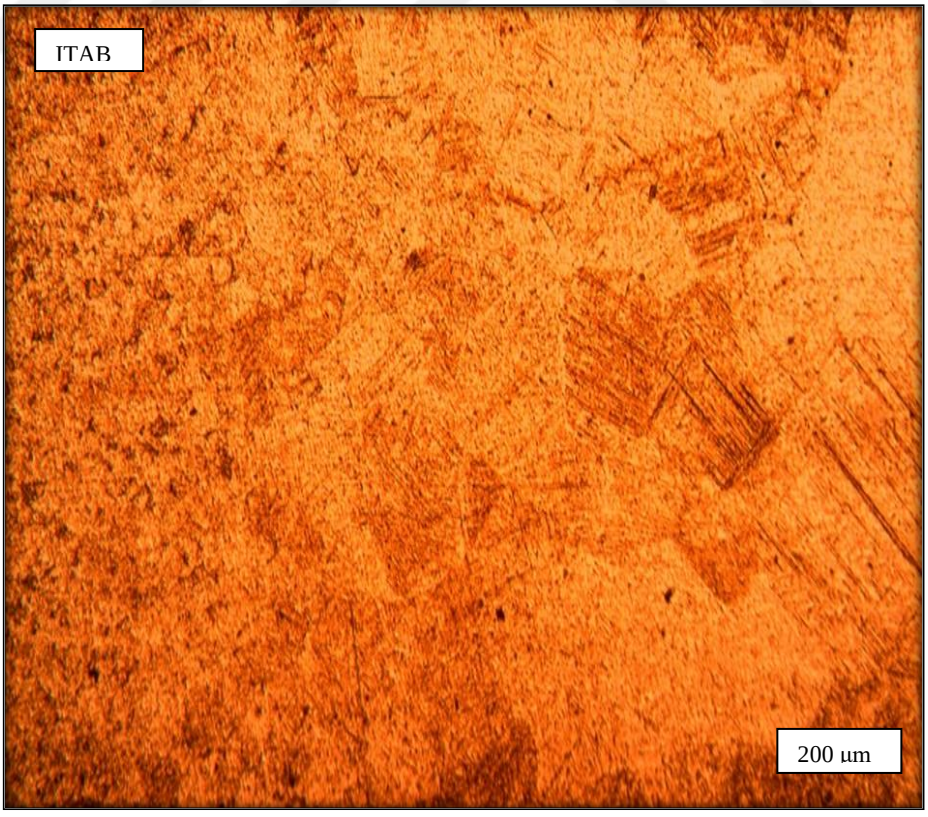

Şekil 5.11.Numune #2 ITAB mikroskobik görüntüsü



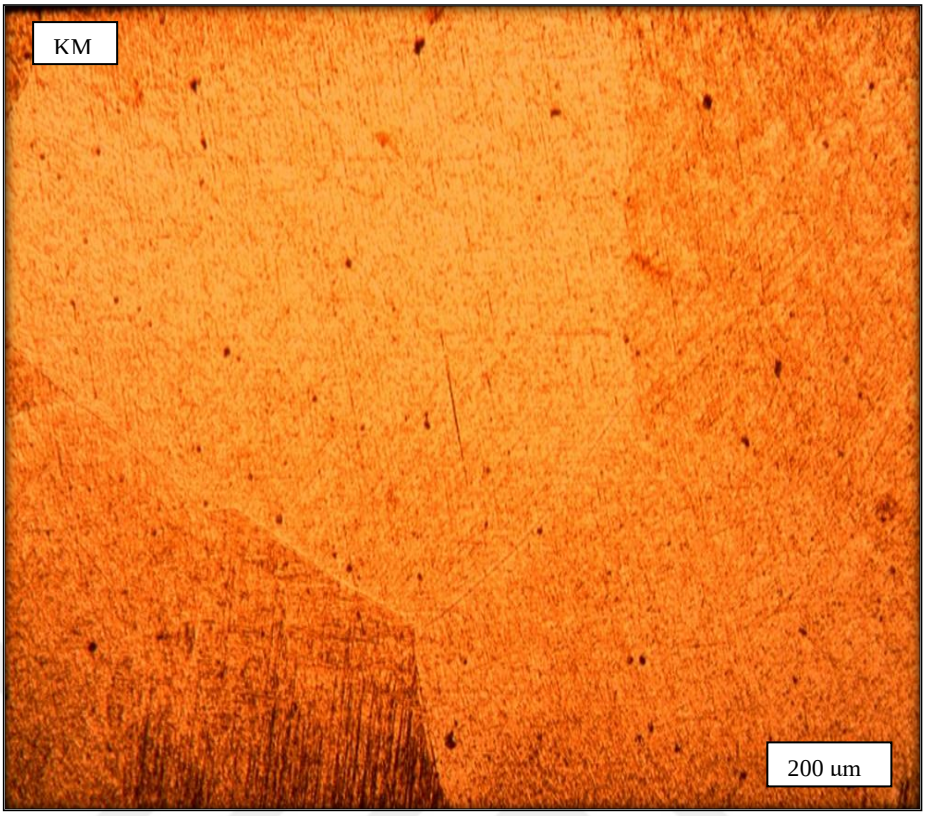

Şekil 5.12. Numune #2 kaynak metali mikroskobik görüntüsü



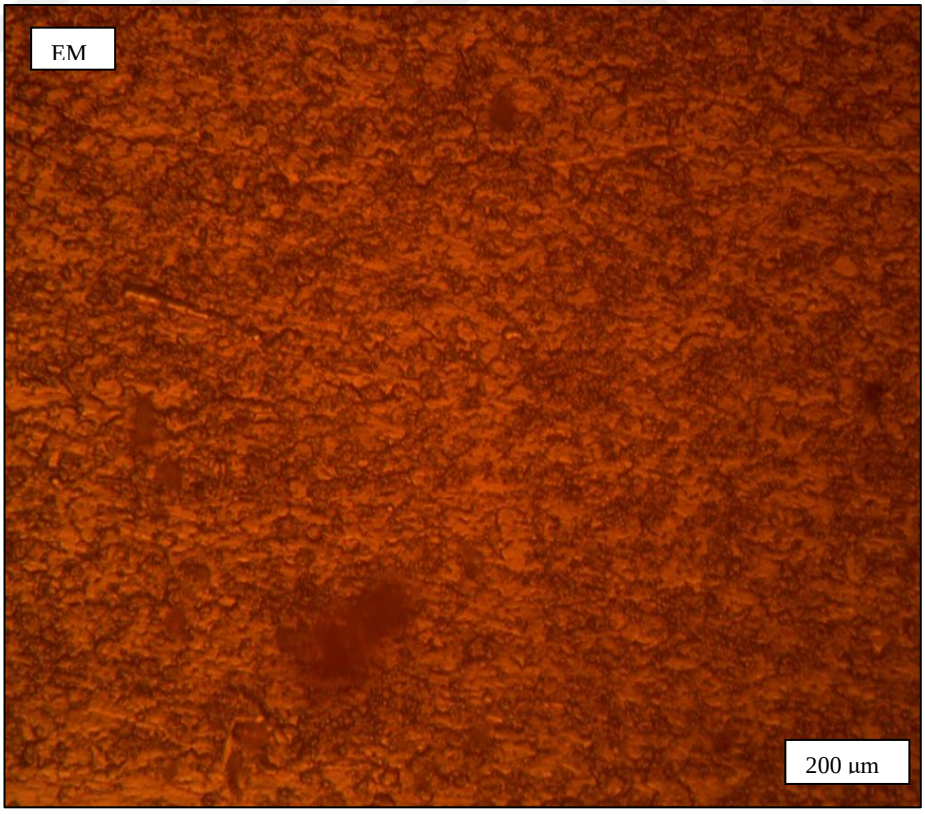

Şekil 5.13. Numune #3 ana malzeme mikroskobik görüntüsü



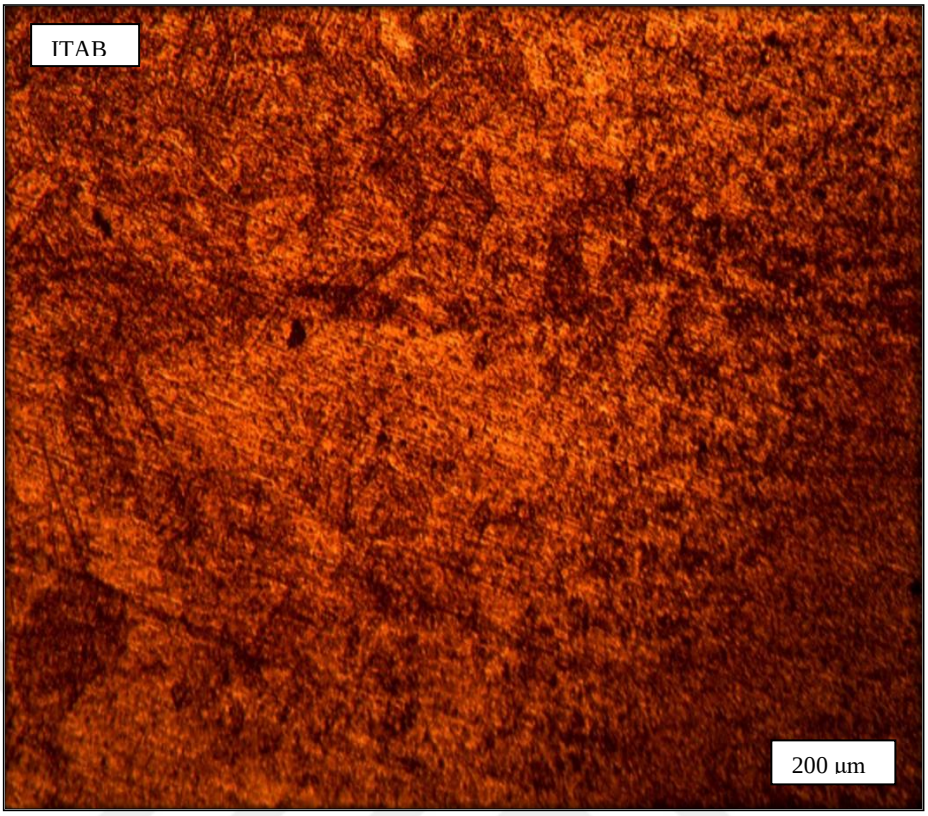

Şekil 5.14. Numune #3 ITAB mikroskobik görüntüsü



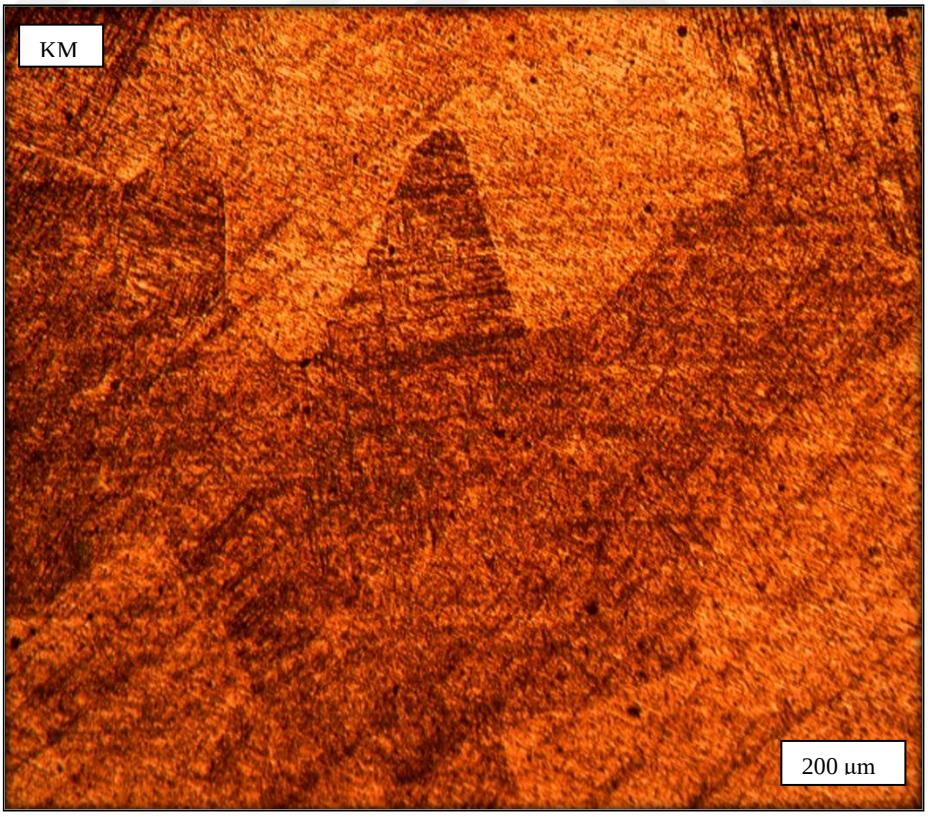

Şekil 5.15. Numune #3 kaynak metali mikroskobik görüntüsü



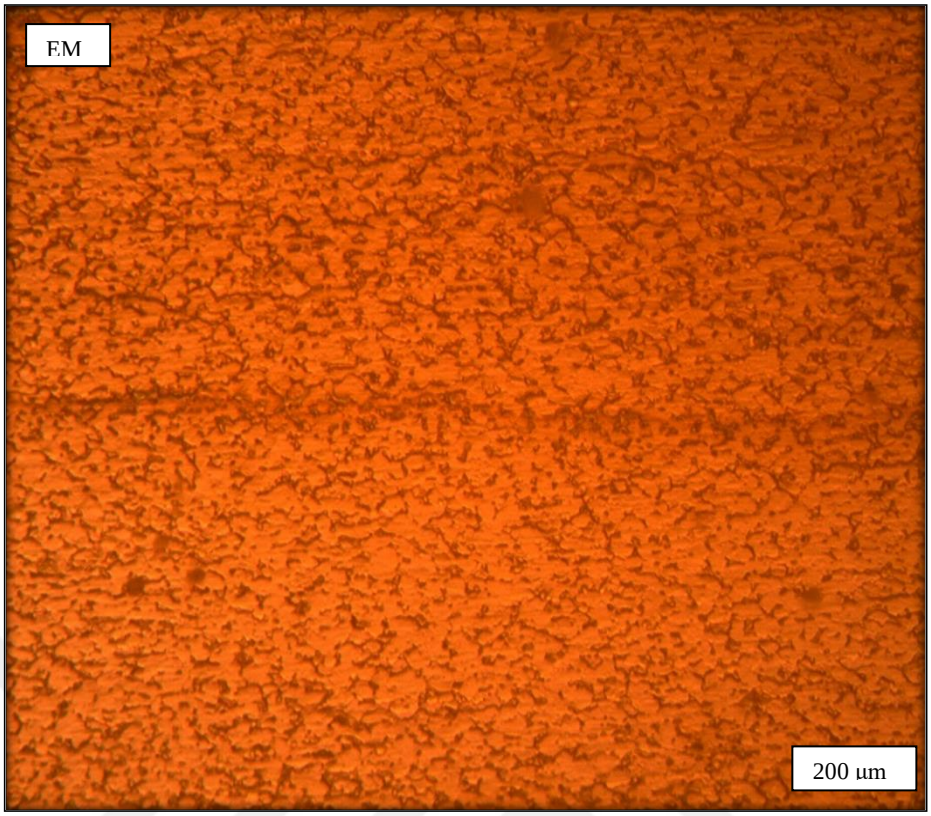

Şekil 5.16. Numune #4 ana malzeme mikroskobik görüntüsü



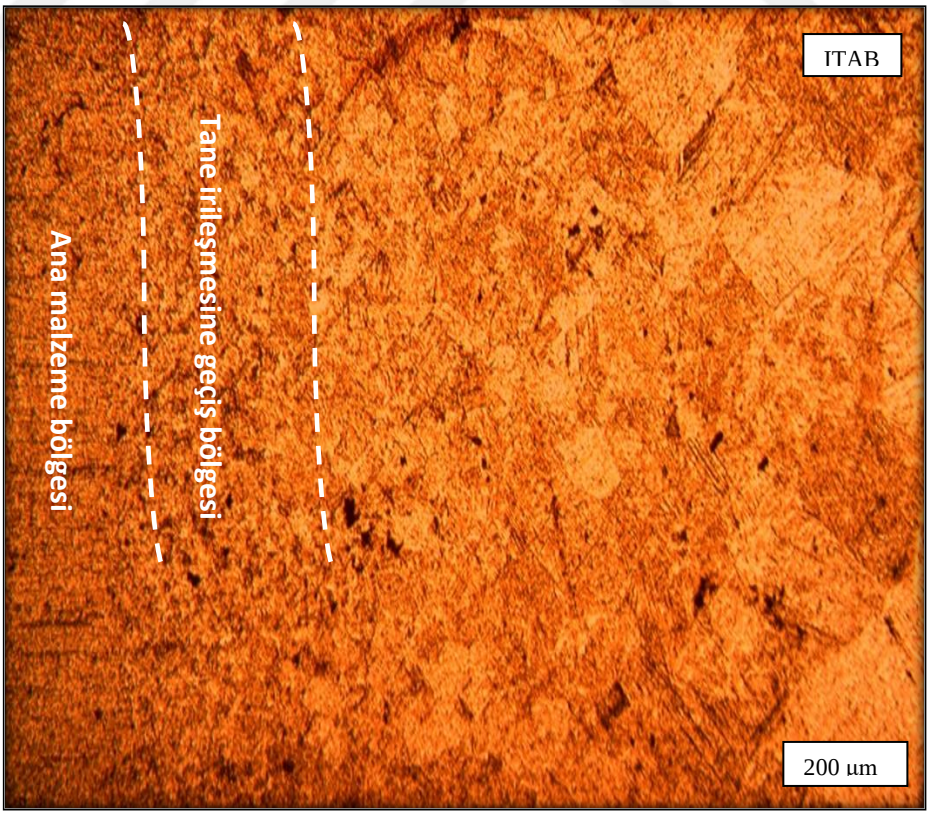

Şekil 5.17. Numune #4 ITAB mikroskobik görüntüsü



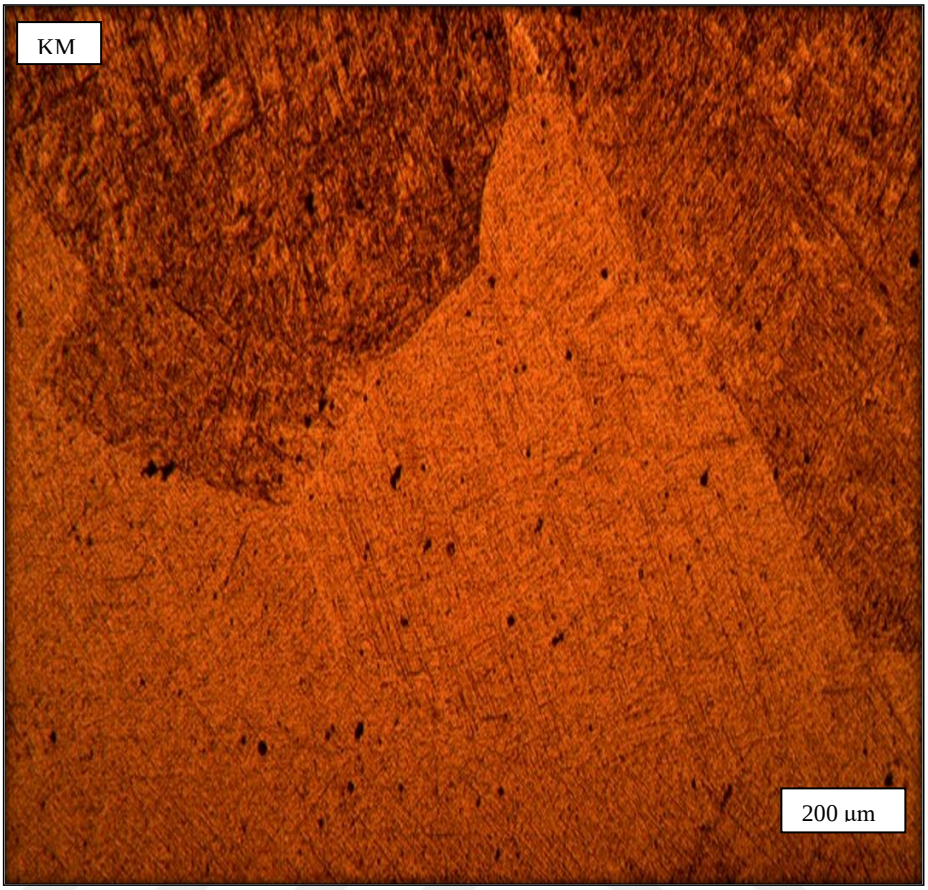

Şekil 5.18. Numune #4 kaynak metali mikroskobik görüntüsü




Şekil 5.19. Numune #5 ana malzeme mikroskobik görüntüsü




Şekil 5.20. Numune #5 ITAB mikroskobik görüntüsü




Şekil 5.21. Numune #5 kaynak metali mikroskobik görüntüsü

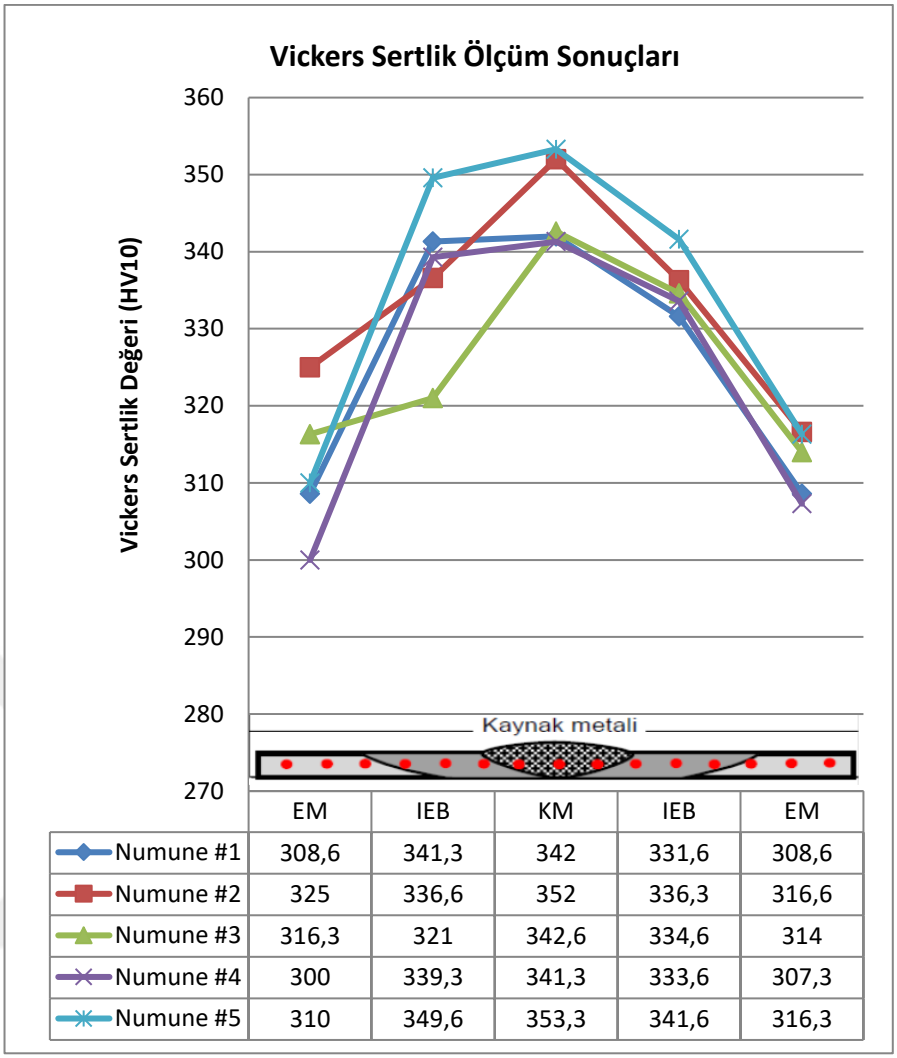
## 5.6. Sertlik Testi Sonuçları

GTAW kaynak yöntemi ile birleştirilmiş kaynaklı numunelere vickers sertlik testi uygulanmıştır.

Her bir deney numunesi için EM (esas metal), IEB (ısıdan etkilenmiş bölge) ve KM (kaynak metali) üzerinden alınan vickers sertlik sonuç grafiği Şekil 5.22'de gösterilmiştir.

Sertlik değer grafiği incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin kaynak bölgesinde olduğu, sonrasında ise sırasıyla IEB ve ana malzemede olduğu görülmüştür. Bu bağlamda sonuçlar literatürle uyumlu çıkmıştır.

Kaynak bölgesi ve IEB'de yüksek ısı enerjisinin etkisi ile sıcaklık artmış ve kaynak sonrasında ani soğuma şartlarında kısmi dönüşüm meydana gelerek, ana malzemenin sertlik değerinden daha yüksek bir sertlik ölçümü elde edilmiştir.




Şekil 5.22. Vickers sertlik ölçüm grafiği

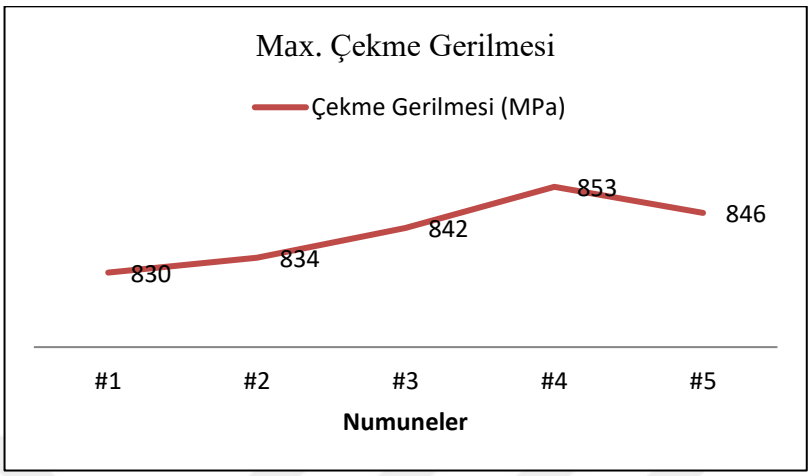
## 5.7. Çekme Testi Sonuçları

Çekme deneyi yapılmadan önce çekme numunelerindeki kaynaklı kısımlar taşlanmıştır. Deney numuneleri ASTM E8 spesifikasyonlarına göre hazırlanmıştır. Çekme deneyi sonuçları Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Çekme deneyi sonuçları

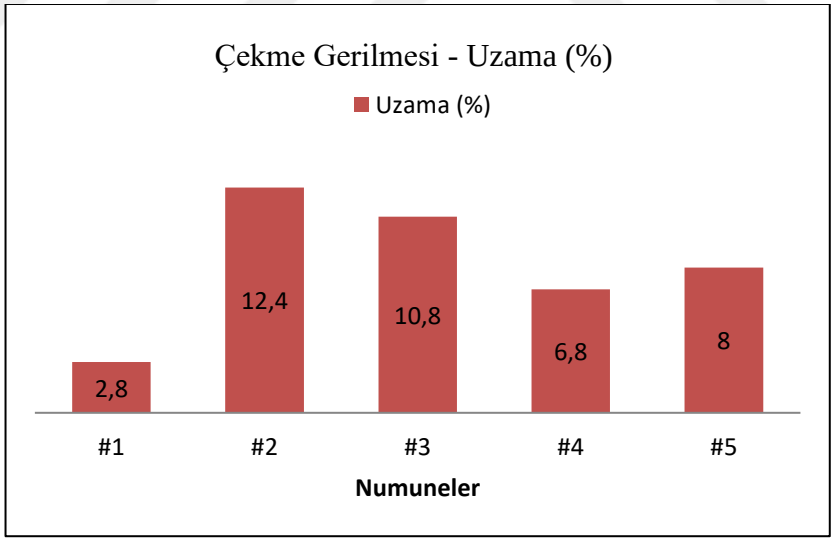
| Numune | Max. Çekme Gerilmesi (MPa) | Uzama (%) | Kopma Bölgesi |
|---|---|---|---|
| #1 | 830 | 2,8 | Kaynak |
| #2 | 834 | 12,4 | Ana Malzeme |
| #3 | 842 | 10,8 | Ana Malzeme |
| #4 | 853 | 6,8 | Ana Malzeme |
| #5 | 846 | 8 | Ana Malzeme |

Kaynaklı numunelerin çekme gerilmesi değerlerini gösteren grafik Şekil 5.23'de gösterilmiştir.




Şekil 5.23. Kaynaklı numunelerin çekme gerilmesi değerleri

Kaynaklı numunelerin çekme gerilmesi toplam % uzama değerlerini gösteren grafik Şekil 5.24'de gösterilmiştir. Belirtilen % uzama değerleri sadece kaynaklı kısmın değil numunenin çene bölgesi hariç toplam boyunu içermektedir.




Şekil 5.24. Kaynaklı numunelerin % uzama değerleri

Çekme deneyi sonrasında 1 nolu numune kaynak bölgesinden diğer numuneler ise ana malzeme kısmından kırılmıştır. 1 nolu numunede düşük akımdan dolayı yetersiz nüfuziyet meydana gelmiş ve bunun sonucu olarak da gerekli mukavemet sağlanamadığından çekme deneyinde kaynak bölgesinden kopma gerçekleşmiştir. Bu durumu görsel ve radyografik muayene sonuçları da destekler niteliktedir.

Şekil 5.25’de çekme deneyi sonrası numunelerin kırılma bölgelerinin görüntüsü verilmiştir.




Şekil 5.25. Kaynaklı numunelerin kırılma bölgeleri

En düşük topam % uzama değeri (% 2,8) 1 nolu numuneye aittir. Kopma kaynaklı bölgede olduğu için bu kısım yüksek ısıya maruz kalması sebebiyle yüksek sertliğin olduğu dolayısıyla gevrekleşmenin olduğu bir alandır.

Kaynaklı kısmın gevrek olması sebebiyle malzeme uzaması sınırlı olacaktır. Nitekim 1 nolu numunede kopma şekli gevrek olarak görülmüştür. Diğer numunelerde kırılma bölgesinin ana malzeme tarafında olduğu görülmüştür.

Ana malzeme ısıya maruz kalmadığından ve düzgün tanecik yapısına sahip olması bakımından daha sünek olması beklenir. Nitekim sünek olması sebebiyle diğer numunelerde malzeme uzaması daha fazla görülmüştür.

# 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmalar kapsamında özellikle havacılık alanında yaygın bir şekilde kullanılan ve gün geçtikçe de yaygınlaşan titanyum alaşımları içerisinde en çok tercih edilen ve kullanım miktarı en yüksek olan Grade 5 Ti6Al4V titanyum alaşım malzemelerinin GTAW kaynak yöntemi ile birleştirilmesi sonrasında kaynaklı numunelere tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri olmak üzere çekme testi, sertlik ölçüm testi, görsel inceleme, penetrant muayene, radyografik muayene, makroskobik ve mikroskobik incelemeler uygulanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen bilgi ve sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Görsel muayene incelemelerinde hiçbir numunede çarpılma bulgusu görülmemiştir. Bunun nedeninin kaynak sırasında sabitleme fikstürünün kullanılması ve kaynak öncesi parçaların puntalanmasının olduğu düşünülmektedir.

Görsel muayenede optimum kaynak renginin gümüş olduğu ve kaynak akım artışı ile kaynak renginde değişmeler olduğu ve yüksek akımlarda kaynak renginin koyu mavi ve koyuya doğru geçtiği görülmüştür. Kaynak artışının kaynak genişliğini artırırken kaynak yüksekliğinde azaltma etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan sıvı penetrant muayenesinde numunelerde herhangi bir çatlak bulgusuna rastlanmamıştır.

Vickers sertlik testinde beklendiği gibi en yüksek sertlik ölçüm değerinin kaynak metalinde olduğu ve onu sırasıyla ITAB ve esas malzemenin izlediği görülmüştür.

Radyografik muayenede düşük akımlarda yetersiz nüfuziyet görülürken kaynak akımının artışıyla penetrasyon fazlalığı ve kaynak çevresinde cürufların olduğu gözlemlenmiştir. Hemen hemen tüm numunelerde porozite gözlemlenirken düşük akımlarda fazla iken yüksek akımlarda azalma yönünde olabileceği değerlendirilmiştir. Radyografik muayene incelemelerinde numunelerde çatlak bulgusuna rastlanmamıştır.

Mikroyapı incelemeleri sonucunda, ısı girdisine bağlı olarak ITAB'da tanelerin irileşmeye başladığı kaynak metalinde ise tanelerin oldukça irileştiği görülmüştür. Esas malzemede ise tanecik yapısının ince ve homojen olduğu görülmüştür.

Çekme testleri sonucunda kaynak akımının artışı ile birlikte yüksek ısı girdisinden dolayı kaynak bölgesinde gevrekleşmenin olduğu tespit edilmiştir.

Çekme testleri sonucunda kırılma şekli olarak 1 nolu numunenin gevrek, diğer numunelerin ise sünek olduğu görülmüştür. Kırılma yeri 1 nolu numunede kaynak metalinde, diğer numunelerde ise esas metalde gerçekleşmiştir.

Mevcut parametreler ışığında TIG kaynak yöntemi ile Ti6Al4V titanyum alaşımının başarılı bir şekilde kaynaklanabilirliği görülmüştür.

Ti6Al4V titanyum alaşımlarının TIG kaynak yöntemine ilişkin gelecek çalışmalar konusunda kaynak sonrası ısıl işlem uygulanması ve darbeli akım yöntemi kullanılarak mekanik ve mikroyapısal özellikler araştırılabilir.

## KAYNAKLAR


[1] Balusubraminian M., Jayabalan V., Balusubraminian V., Modeling Corrosion Behavior of Gas Tungsten Arc Welded Titanium Alloy, *Transactions of Nonferrous Society of China*, 2007, **17**, 676-680.

[2] Kahraman N., The Influence of Welding Parameters on the Joint Strength of Resistance Spot-Welded Titanium Sheets, *Materials & Design*, 2007, **28**, 420-427.

[3] Gao X., Zhang L., Liu J., Zhang L, Zhang J., Effect of the Overlapping Factor on the Microstructure and Mechanical Properties of Pulsed Nd: YAG laser Welded Ti6Al4V Sheets, *Materials Characterization*, 2014, **93**, 136-149.

[4] Esmaily M., Mortazavi S., Todehfalah P., Rashidi M., Microstructural Characterization and Formation of a0 Martensite Phase in Ti–6Al–4V Alloy Butt Joints Produced by Friction Stir and Gas Tungsten Arc Welding Processes, *Materials & Design*, 2013, **47**, 143-150.

[5] Zhou L., Liu H., Liu Q., Effect of Rotation Speed on Microstructure and Mechanical Properties of Ti–6Al–4V Friction Stir Welded Joints, *Materials & Design*, 2010, **31**, 2631-2636.

[6] Yunlian Q., Ju D., Quan H., Liying Z., Electron Beam Welding, Laser Beam Welding and Gas Tungsten Arc Welding of Titanium Sheet, *Materials Science and Engineering A*, 2000, **280**, 177-181.

[7] Köse C., Karaca E., Nd:YAG Lazer Kaynağı ile Birleştirilen Ti6Al4V Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Isıl İşlemlerin Etkileri, BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, DOI: 10.25092/baunfbed.543606.

[8] Güven A., Sınmazçelik T., Günay V., Ti6Al4V Alaşımlarında Çentiklerde Süperpozisyon Etkisinin İncelenmesi, *8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı*, İstanbul, 7-9 Kasım 2007.

[9] Arrazola P., Garay A., Iriarte L., Armendia M., Marya S., Maitre F., Machinability of Titanium Alloys (Ti6Al4V and Ti555.3), *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, **209**, 2223-2230.

[10] Balusubraminian T., Balakrishnan M., Balusubraminian V., Munickam M., Influence of Welding Processes on Microstructure, Tensile and İmpact Properties of Ti-6Al-4V Alloy Joints, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2011, **21**, 1253-1262.

[11] Dikbaş H., Katı N., Ti6Al4V Alaşımının PTA Kaynağında 1800 W Kaynak Gücünde Birleştirilebilirliğin Araştırılması, *Mühendislik Dergisi*, 2015, **1**(6), 19-30.

[12] Raju R., Duraiselvam M., Petley V., Verma S., Rajendran R., Microstructural and Mechanical Characterization of Ti6Al4V Refur-bished Parts Obtained by Laser Metal Deposition, *Materials Science and Engineering A*, 2015, **643**, 64-71.

[13] Yang Z., Qi B., Cong B., Liu F., Yang M., Microstructure, Tensile Properties of Ti-6Al-4V by Ultra High Pulse Frequency GTAW with Low Duty Cycle, *Journal of Materials Processing Technology*, 2015, **216**, 37-47.

[14] Leary R., Merson E., Birmingham K., Harvey D., Brydson R., Microstructural and Microtextural Analysis of InterPulse GTCAW Welds in Cp-Ti and Ti–6Al–4V, *Materials Science and Engineering A*, 2010, **527**, 7694-7705.

[15] Mao J., Lü W., Wang L., Zhang D., Qin J., Microstructure and Mechanical Properties of GTA Weldments of Titanium Matrix Composites Prepared With or Without Current Pulsing, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2014, **24**, 1393-1399.

[16] Romero A., Garcia I., Arenas M., Lopez V., Vazquez A., Ti6Al4V Titanium Alloy Welded Using Concentrated Solar Energy, *Journal of Materials Processing Technology*, 2015, **223**, 284-291.

[17] Karimzadeh F., Salehi M., Saatchi A., Meratian M., Effect Of Microplasma Arc Welding Process Parameters On Grain Growth And Porosity Distrubution Of Thin Sheet Ti6Al4V Alloy Weldment, *Materials and Manufacturing Processes*, DOI: 10.1081/AMP-200041857.

[18] Zhou W., Chew K. G., Effect of Welding on Impact Toughness of Butt-joints in a Titanium Alloy, *Materials Science and Engineering A*, 2003, **347**, 180-185.

[19] Yung W. K. C., Ralph B., Lee W. B., Fenn R., An Investigation into Welding Parameters Affecting the Tensile Properties of Titanium Welds, *Journal of Materials Processing Technology*, 1997, **63**, 759-764.

[20] Lathabai S., Jarvis B. L., Barton K. J., Comparison of Keyhole and Conventional Gas Tungsten Arc Welds in Commercially Pure Titanium, *Materials Science and Engineering A*, 2001, **299**, 81-93.

[21] Babu N., Raman S. G. S., Mythili R., Saroja S., Correlation of Microstructure with Mechanical Properties of TIG Weldments of Ti–6Al–4V Made With and Without current pulsing, *Materials Characterization*, DOI: 10.1016/j.mat char.2006.07.001.

[22] Balasubramanian V., Jayabalan V., Balasubramanian M., Effect of Current Pulsing on Tensile Properties of Titanium Alloy, *Materials and Design*, DOI: 10.1016/j.matdes.2007.07.007.

[23] Li X., Zhou Q., Zhao S., Chen J., Effect of Pulse Current on Bending Behavior of Ti6Al4V Alloy, *Procedia Engineering*, 2014, **81**, 1799 – 1804.

[24] Gao X., Zhang L., Liu J., Zhang J., A Comparative Study of Pulsed Nd:YAG Laser Welding and TIG Welding of Thin Ti6Al4V Titanium Alloy Plate, *Materials Science & Engineering A*, 2013, **559**, 14-21.

[25] Kaya Y., Durgutlu A., Kahraman N., Gülenç B., Titanyum Levhaların TIG Kaynağı ile Birleştirilmesinde Akım Türünün Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11*), Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.

[26] Doğan İ., Titanyum Malzemenin (Kalite 265.2) Tig Kaynak Yöntemiyle Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002, 125981.

[27] Keskin M. S., Titanyum (Grade 1) Malzemenin Lazer Kaynağı Yöntemiyle Birleştirilmesinin İncelenmesi, *5. Uluslararası ileri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.

[28] Gür A. K., Taşkın M., Orhan A., Çalıgülü U., Dikbaş H., Ti6Al4V Alaşım Çiftinin PTA Yöntemiyle Kaynak Edilebilirliği, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.

[29] Kilerci İ., Titanyum Alaşımlarının Farklı Kaynak Yöntemleriyle Kaynağının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2011, 287513.

[30] Kıral M., Titanyumun Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012, 361061

[31] Beriş B., Ti6Al4V Alaşımı TIG Kaynağında Uygulanan Koruyucu Gaz Parametresinin Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 323900.

[32] Avcu E., Titanyum Alaşımlarının Partikül Erezyonu ile Pürüzlendirilmesi ve Aşındırılması İşlemlerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 348736.

[33] Balusubraminian M., Jayabalan V., Balusubraminian V., Developing Mathematical Models to Predict Grain Size and Hardness of Argon Tungsten Pulse Current Arc Welded Titanium Alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, **196**, 222-229.

[34] Balusubraminian M., Jayablan V., Balusubraminian V., Developing Mathematical Models to Predict Tensile Properties of Pulsed Current Gas Tungsten Arc Welded Ti–6Al–4V Alloy, *Materials & Design*, 2008, **29**, 92-97.

[35] Akman E., Ti6Al4V Titanyum Alaşımlarının Atımlı Nd: YAG Lzeri Kullanılarak Kaynak Edilmesi Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2006, 197940.

[36] Avcu E., Farklı Büyüklüklere Sahip Aşındırıcı Partikül Karışımlarının Ti6Al4V Alaşımının Erozif Aşınma Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 283038.

[37] Avcu Y., Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Bilyalı Dövme Sonrası Aşınma Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019, 575805.

[38] Yücel Z., Lazer ve Kumlama Yöntemleri ile Ti6Al4V Alaşımında Fonksiyonel Yüzeylerin Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008, 232710.

[39] Akagündüz E., Isıl İşlem Görmüş Ti6Al4V Alaşımının Yüzey Özelliklerinin Mikroyapı ve Yüzey Çizilme Dayanımları Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008, 179147.

[40] Özdemir K., Ti4Al4Mo ve Ti6Al4V Alaşımlarının Sıcak Pres ile Üretimi ve Erozif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 521172.

[41] İçdem C., Saf Titanyum ve Ti6Al4V, Ti6Al7Nb Alaşımlarının Akışkan Yatak Ortamında Termal Oksidasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 252003.

[42] Eser G., Gemi Çeliği-Tianyum Kompozitlerin Patlatmalı Kaynak Yöntemi ile Üretilmesi ve Birleştirme Arayüzeyinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2018, 495136.

[43] Yıldız T., Ti6Al4V Alaşımının Tornalanmasında İşleme Parametrelerinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvveti Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2015, 405857.

[44] Uzun G., Ti6Al4V Titanyum Alaşımında Kılavuz ile Vida Açma Problemlerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013, 222068.

[45] Çaydaş U., Ti6Al4V Alaşımının Elektro Erozyon ve Elektro Kimyasal İşleme Yöntemleriyle İşlenebilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2008, 232124.

[46] Ensarioğlu C., Çakır C., Titanyum ve Alaşımlarının İşlenebilirlik Etüdü Bölüm 1, *Mühendis ve Makina*, 2005, **46**(546), 36-46.

[47] Demirbaş A., Dental Uygulamalarda Kullanılan Ti-6Al-4V Alaşımına Lazer Kaynak Uygulamasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2018, 511808.

[48] Üngören S., Ti-Al-V Alaşımlarının Difüzyon Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007, 232699.

[49] Aksyol S., Ti6Al4V Titanyum Alaşımının İşlenebilirliğinin Isıl İşlem Yardımıyla Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 223609.

[50] Dursun M., Titanyum ve Inconel 718 Malzemelerinin Frezelenmesinde Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fan Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007, 203004.

[51] Yumak N., Ti6Al4V Sac Malzemesinin Düşük Darbe Hızlarındaki Deformasyon Davranışının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2015, 387276.

[52] Erdem M., Aydın K., Gaz Türbinli Uçak Motorlarında Titanyum Alaşımlarının Kullanımı, *Mühendis ve Makine*, **47**(558), 44-53.

[53] Bıçakcı N., Tİ6Al4V Titanyum Alaşımının Delinebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2015, 405849.

[54] Çetin G., Ti-6Al-4V Sacların Mikroyapı Değişimi ve Geri Yaylanma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2019, 594229.

[55] Yıldırım G., AISI 321 Paslanmaz Çeliğin TIG Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinde Kaynak İlave Metalinin ve Koruyucu Gazın Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2010, 266025.

[56] Bulut E., Bakır (Cu) ve Çelik (St) Plakalarının TIG (Tungsten Inert Gas) Kaynağı Yöntemiyle Kaynaklanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2008, 256847.

[57] Karadağ A., Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Dikiş Geometrisine ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2011, 287228.

[58] Gülşah F., 13 CR Mo 4-5 Yüksek Sıcaklık Dirençli Çelik Kaynaklı Bağlantılarının Tekrarlı Isıl İşlem Koşullarında Dayanım Özelliklerinin Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 507004.

[59] Demirtaş M., Hafif Metallerde A-TIG Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013, 343499.

[60] Eratıcı E., Magnezyum Alaşımlarının TIG Kaynak Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 304617.

[61] Elektirikçi O. TIG Kaynağı İle Birleştirilmiş Demir Esaslı TM Malzemelerin Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2007, 201988

[62] Seyitoğlu M. TIG Kaynağı Kaynatılmış Otomotiv Saclarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013, 342883.

[63] Onursal M., Uçaklarda Kullanılan Metal Malzemelere Uygulanan Tahribatsız Muayene Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 295718.

[64] Korkmaz E., Ö., Uçaklarda Kullanılan Alüminyum Malzemelerdeki Korozyonun İncelenmesi, Önlenmesi ve Tahribatsız Muayene İle Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 295682.

[65] Kaya Y., Titanyum Sacların Nokta Direnç Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2010, 266023.

## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

[1] **Baran G**., Çınar A., Uçak Endüstrisinde Kullanılan Titanyum Alaşımlarının TIG Kaynağı Yöntemiyle Birleştirilmesinde Kaynak Akımının Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi, *International Marmara Sciences and Social Sciences Congress (Autumn) 2019*, Kocaeli, 01-03 Kasım 2019.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Kırıkkale'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimi sonrasında 2006 yılında Bülent Ecevit Üniversitesinde lisans eğitimini tamamladı. Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden Makine Mühendisi olarak mezun oldu. Profesyonel iş hayatına Uzel Holding çatısı altındaki Uzel Otomotiv Sistemleri A.Ş'de Üretim Mühendisi olarak başladı. Daha sonrasında Hidrel Hidrolik Elemanlar A.Ş'de Satış Mühendisi ve Arpaçoğlu Makine Ltd. şirketinde ise Proje ve Satış Mühendisi olarak rol aldı. Şuan ise Pratt & Whitney THY Teknik Uçak Motor Bakım Merkezinde Mühendislik bölümünde Proses Metot Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Ayrıca Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimini tamamladı.