

**TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN SAF TİTANYUM (GR2)
VE ALÜMİNYUM 2024 MALZEMESİNİN KAYNAK
KALİTESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ**

İSMAİL TAYGUN TASALI

OCAK 2025

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN SAF TİTANYUM(GR2) VE
ALÜMİNYUM 2024 MALZEMESİNİN KAYNAK KALİTESİNİN
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**



İSMAİL TAYGUN TASALI

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

OCAK 2025

DİYARBAKIR

**TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN SAF TİTANYUM(GR2) VE
ALÜMİNYUM 2024 MALZEMESİNİN KAYNAK KALİTESİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

İsmail Taygun TASALI tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

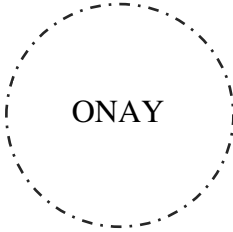
Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI
Danışman, **Makina Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ (*)
Teknoloji Fakültesi Metalurjisi ve Malzeme Mühendisliği,
Fırat Üniversitesi

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI (**)
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi



Savunma Tarihi: 08 / 01 / 2025

(*) Jüri Başkanı.
(**) Tez Danışmanı.



Aileme...

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: İsmail Taygun TASALI

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI'ya çalışmanın henüz en başında, ilintileme, yol haritasını oluşturma, etüt sonuçlarının yorumlanması ve tez aşamasındaki düzeltmelere kadar gösterdikleri destek ve alakadan ötürü teşekkür ederim. Ek olarak jüri üyelerime de çalışmanın daha nitelikli bir hale gelmesi için bulundukları eleştiri ve önerilerinden ötürü teşekkür ederim.

Tezin her aşamasında yaptığım çalışmalarda yanımda bulunan ve desteklerini esirgemeyen değerli mesai arkadaşlarım Havacılık ve Uzay Mühendisi Sayın Ahmet Melih KİRİŞ'e, Havacılık ve Uzay Mühendisi Sayın Ekrem DERİN'e ve Makine Mühendisliği Öğrencisi Sayın Ali Arda AYDIN'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

En önemlisi, hayat yoğunluğundan dolayı işbu çalışmadan her vazgeçmeye kalktığımda, motivemi artıran ve enerjimi yenileyen eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MALZEME VE YÖNTEM	8
3.1 Titanyum ve Alaşımları.....	8
3.2 Titanyumun Özellikleri	8
3.2.1 Saf titanyumun özellikleri	9
3.2.2 Titanyumun alaşımları ve sınıflandırılması	9
3.2.3 Titanyum ve alaşımlarının kullanım alanları	14
3.2.4 Dünyada ve ülkemizde titanyum sektörü	15
3.3 Alüminyum ve Alaşımları.....	17
3.3.1 Saf alüminyumun özellikleri ve üretimi.....	18
3.3.2 Alüminyum alaşımları ve sınıflandırılması.....	19
3.3.3 Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları	22
3.3.4 Al 2024 kimyasal ve mekanik özellikleri	23
3.3.5 Al 2024 alaşımının kullanım alanları	24
3.4 Tungsten Inert Gas (TIG) Kaynağı	27
3.4.1 TIG kaynak yönteminin avantaj ve dezavantajları.....	28
3.4.2 TIG kaynak yönteminin kullanılan koruyucu gazlar	29
3.4.3 Dolgu malzemesi.....	30

3.4.4	Akım türü ve kutuplama şekilleri.....	31
3.4.5	Pulse frekansı	32
4.	DENEYSEL ÇALIŞMA	33
4.1	Kullanılan TIG Kaynak Makinası ve Özellikleri	34
4.2	Numunenin Hazırlanışı	37
4.3	Mikrosertlik Testi.....	39
4.4	Çekme Testi	40
4.5	X-Ray Testi	41
5.	ARAŞTIRMA VE BULGULAR	42
5.1	X-Ray Testi Görüntüleme Sonuçları.....	42
5.2	Mikrosertlik Test Sonuçları.....	44
5.3	Çekme Testi Sonuçları	50
6.	SONUÇLAR	59
	KAYNAKLAR	62
	ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Titanyumun elementinin yapısı.....	9
Şekil 3.2 Titanyuma ait mikroyapılar (Sıkı paket hekzagonal ve hacim merkezli kübik)	9
Şekil 3.3 Titanyuma alaşımlarına ait faz diyagramı.....	10
Şekil 3.4 Alaşım elementlerinin titanyumun faz diyagramına etkisi	11
Şekil 3.5 Isıl işlem uygulanmış Ti alaşımının atomik yapıları.....	13
Şekil 3.6 IAE V2500 Turbo-fan uçak motoru fan palleri	15
Şekil 3.7 Audi A8 marka araçlarda kullanılan alüminyum parçalar	19
Şekil 3.8 Temel alüminyum alaşımları	20
Şekil 3.9 Cu – Al bileşiğinin alüminyum bakımından yüksek bölümünü ifade eden faz diyagramı.....	22
Şekil 3.10 Farklı alaşımların doğal yaşlandırma ile akma mukavemetinin değişimi	24
Şekil 3.11 Hava Aracında Kullanılan Malzemeler ve Kullanım Bölgeleri.....	24
Şekil 3.12 Ticari ve askeri uçaklardaki alüminyum kullanım oranları	25
Şekil 3.13 Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Bölgeleri	26
Şekil 3.14 TIG kaynağı torcunun şematik görüntüsü	28
Şekil 3.15 Al 2024 ve GR2 malzemelerinin Al 2024 dolgu malzemesi ile TIG kaynağı ile birleştirilmesi sonucu elde edilen malzemenin görüntüsü	29
Şekil 4.1 Lincoln Electric Precision TIG 375 modeli TIG kaynak makinası ve kontrol ünitesi	34
Şekil 4.2 TIG kaynak makinasının kaynağa hazır görseli.....	35
Şekil 4.3 Back-up, torc ve kaynak edilen malzemelerin görseli	36
Şekil 4.4 Argon basınç saati.....	36
Şekil 4.5 Hassas kesme cihazı.....	37
Şekil 4.6 Kaynak yapılacak malzemelerin ve torcun konumlandırılması.....	38
Şekil 4.7 Sertlik testinin prensibi a) Basma ucu b) Köşegen uzunlukları.....	39
Şekil 4.8 Mikro Sertlik Cihazı	39
Şekil 4.9 Instron BS 8801 Çekme Test Cihazı.....	40
Şekil 4.10 YXLON WL 3001 X-Ray Test Cihazı	41
Şekil 5.1 X-Ray Testi görüntüsü	43
Şekil 5.2 Mikrosertlik ölçümü yapılan noktaların lokasyonları.....	44

Şekil 5.3 30 A akım ve 10 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği	44
Şekil 5.4 30 Amper akım ve 14 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği	45
Şekil 5.5 30 Amper akım ve 18 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği	46
Şekil 5.6 40 Amper akım ve 10 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği	46
Şekil 5.7 40 Amper akım ve 14 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği	47
Şekil 5.8 40 Amper akım ve 18 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği	48
Şekil 5.9 50 Amper akım ve 10 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği	48
Şekil 5.10 50 Amper akım ve 14 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği	49
Şekil 5.11 50 Amper akım ve 18 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği	50
Şekil 5.12 30 Amper akım ve sırasıyla 10, 14, 18 Hz pulse frekansı ile kaynaklanmış numunelerin çekme testi sonucu kopma görselleri	51
Şekil 5.13 40 Amper akım ve sırasıyla 10, 18, 14 Hz pulse frekansı ile kaynaklanmış numunelerin çekme testi sonucu kopma görselleri	52
Şekil 5.14 50 Amper kaynak akımı uygulanmış ve sırasıyla 10, 14, 18 Hz pulse frekansı ile kaynaklanmış numunelerin çekme testi sonucu kopma görselleri	53
Şekil 5.15 30 Amper 10 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği.....	54
Şekil 5.16 30 Amper 14 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği.....	54
Şekil 5.17 30 Amper 18 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği.....	55
Şekil 5.18 40 Amper 10 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği.....	55
Şekil 5.19 40 Amper 14 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği.....	56
Şekil 5.20 40 Amper 18 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği.....	56
Şekil 5.21 50 Amper 10 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği.....	57
Şekil 5.22 50 Amper 14 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği.....	57
Şekil 5.23 50 Amper 18 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği.....	58

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 $\alpha+\beta$ alaşımlarının kimyasal kompozisyonları ve mekanik özellikleri	12
Tablo 3.2 α , $\alpha + \beta$ Alaşımları, β Alaşımlarının Genel Özellikleri	13
Tablo 3.3 Dünyadaki Titanyum Rezervleri.....	16
Tablo 3.4 MTA genel müdürlüğü tarafından Batı Anadolu’da bulunan titanyum rezervleri	17
Tablo 3.5 Alüminyumun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	18
Tablo 3.6 Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları	21
Tablo 3.7 Al 2024 alaşımın ısıtma işlem uygulandığında mekanik özellikleri	23
Tablo 3.8 Alüminyum 2024 T351 alaşımının kimyasal bileşimi.....	23
Tablo 3.9 2024 ve 7075 havacılıkta kullanım bölgeleri ve sebepleri	27
Tablo 3.10 Koruyucu gaz özellikleri (x:zayıf, xx: orta, xxx: yüksek)	30
Tablo 3.11 Akım türleri ve özellikleri.....	31
Tablo 4.1 Ti GR2 kimyasal özellikleri.....	33
Tablo 4.2 Al 2024 kimyasal özellikleri.....	33
Tablo 4.3 Al 2024 ve GR2 kaynak parametreleri	38
Tablo 5.1 X-Ray çıktısında görülen numune numaraları ve numunelerin parametreleri	42

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
Ti	Titanyum
μm	Mikrometre
Al	Alüminyum
Gr2	Grade 2
Hz	Hertz
A	Amper
P	Basınç
V	Vanadyum
W	Watt
He	Helyum
Ar	Argon
$^{\circ}\text{C}$	Derece
Psi	Basınç Birimi
Cm^3	Santimetre küp
gr	Gram
α	Alfa
Fe	Demir
β	Beta
Ni	Nikel
O	Oksijen
Hv	Vickers Sertliği
N	Newton
Ar	Argon
Sn	Kalay
Mg	Magnezyum
Cr	Krom
Zr	Zirkonyum

Kısaltma**Açıklama**

MPa

Megapascal

TIG

Tungsten Inert Gas

AC

Alternatif Akım

DC

Doğru Akım

ITAB

Isı Tesiri Altındaki Bölge

GTAW

Anahtar Deliği Modeli Kaynaklama

PWHT

Kaynak Sonrası Isıl İşlem

HSP

Sıkı Düzen Hegzogonal

HMK

Hacim Merkezli Kübik

MTA

Maden Tetkik Arama

YMK

Yüzey Merkezli Kübik

ÖZET

TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN SAF TİTANYUM(GR2) VE ALÜMİNYUM 2024 MALZEMESİNİN KAYNAK KALİTESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

TASALI, İsmail Taygun
Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI
Ocak 2025, 82 sayfa

Titanyum içeren malzemeler üstün mekanik özellikleri nedeniyle yüksek teknoloji içeren alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle havacılık ve uzay sanayi gelişimine paralel olarak kullanımı yüksek teknoloji içeren sanayi ürünlerinde artmıştır. Titreşimli ve yüksek ısıya mukavemet gerektiren bileşen parçalarında yüksek oranda kullanılmaktadır. Kimya, savunma, uzay ve elektrokimya sektörleri asıl kullanım noktalarıdır. Alüminyum alaşımları da aynı şekilde sanayinin gelişimine paralel olarak kullanım alanı artış göstermiştir. Özellikle hafifliği ve korozyon dayanımı bunun en önemli sebeplerindendir. Korozyona karşı dayanımı malzemeyi havacılık sanayisi için kıymetli bir metal haline getirmiştir. Ayrıca otomobil sanayisi gibi alanlarda da kullanımı çok fazladır. Şekil verilebilirliğinin yüksek olması sanayide kullanımını artırmıştır. Bu çalışmada Titanyum (GR2) ve Alüminyum TIG kaynağı uygulanarak birleştirilmiştir. Kaynak işlemi 30,40 ve 50 A akım ve her bir akım için de 10,14 ve 18 Hz pulse frekansı uygulanarak ile yapılmıştır. Akabinde elde edilen 9 adet numuneye çekme testi, x-ray testi ve sertlik testi uygulanmıştır. Elde edilen verilere göre akımın ve frekansın kaynağın mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: TIG Kaynağı, GR2, Al 2024.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE EFFECT OF WELDING QUALITY OF PURE TITANIUM (GR2) AND ALUMINUM 2024 MATERIAL JOINED BY TIG WELDING ON MECHANICAL PROPERTIES

TASALI, İsmail Taygun

Master of Science in Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Dr. Haluk KEJANLI

January 2025, 82 pages

Titanium-containing materials are used in high-tech areas due to their superior mechanical properties. Especially in parallel with the development of the aerospace industry, its use has increased in high-tech industrial products. It is highly used in component parts that require vibration and high temperature resistance. Chemistry, defence, space and electrochemistry sectors are the main points of use. Aluminium alloys have also increased in use in parallel with the development of the industry. Especially its lightness and corrosion resistance are the most important reasons for this. Its resistance to corrosion has made the material a valuable metal for the aviation industry. It is also widely used in areas such as the automobile industry. Its high formability has increased its use in industry. In this study, Titanium (GR2) and Aluminium were joined by TIG welding. The welding process was performed by applying 30, 40 and 50 A current and 10, 14 and 18 Hz pulse frequency for each current. Subsequently, tensile test, x-ray test and hardness test were applied to 9 specimens obtained. According to the data obtained, the effect of current and frequency on the mechanical properties of the weld was analysed.

Keywords: TIG Welding, GR2, Al 2024.

1. GİRİŞ

Titanyum ve alaşımları endüstriyel uygulamalar noktasında sıklıkla kullanılan malzemelerden bir tanesidir. Titanyum demir içerikli malzemelerin dışındadır. Mukavemetinin yüksek, yoğunluğunun düşük, korozyon direncinin yüksek ve kırılma dayanımının yüksek olması havacılık sanayisi, otomotiv sanayisi ve kimya alanında kullanımını artırmaktadır. Günümüzde titanyum alüminyum, demir ve magnezyumun ardından en çok kullanılan 4. metaldir (Kahraman, 2007).

Dayanım olarak paslanmaz çelikten daha dayanıklı ancak yüzde 60 oranda daha hafiftir. Buda yüksek dayanım ancak hafiflik gerektiren uzay sanayi uygulamalarında titanyumu cazip kılmaktadır. Dünyada üretilen titanyumun yüzde 80'i havacılık sektöründe kullanılmaktadır (Güven vd., 2007).

Titanyum GR2 uçaklarda hareketli motor parçalarında özellikle motor bölgesindeki pallerde yüksek ısı dayanımı nedeniyle tercih edilmektedir (Dikbaş, 2015).

Titanyumun olağanüstü mekanik özelliklerinden dolayı sanayideki kullanım alanı her geçen gün artmaktadır. Titanyum alaşımları farklı yöntemler ile kaynaklanabilmektedir. Ama sanayideki yüksek kullanımı, sağlamlığı, güvenilirliği ve kolay tatbik edilebilmesi nedeniyle TIG kaynağı en çok tercih edilen kaynak uygulamalarından biri haline almıştır (Yang vd., 2015).

Günümüzde kullanılan ulaşım araçlarının büyük bir bölümünde Al alaşımları kullanılmaktadır. Buna sebep ise görünümleri, korozyon direnci, yüksek şekil verilebilirlik, fiziksel ve mekanik özellikleri sıralanabilir. Kopma mukavemetleri 600 MPa'a kadar ulaşabilir. Genel olarak 300°C'ye kadar olan sıcaklıklarda rahatlıkla kullanılabilir. Önemli özelliklerinden birisi de Düşük çevre sıcaklıklarında da kullanılabilmesidir. Bu da uçak yüzeylerinde kullanılmasının en önemli etkenlerinden birisidir. En önemli handikaplarından birisi ise düşük kaynaklanabilme özelliğidir. Bu nedenle hava araçlarında kaynak değil perçinleme yönteminin kullanılmasına neden olmaktadır (Yurdakul vd, 2002). Alüminyum 2024 malzemesinin korozyon direncini daha da artırmak için içeriğine kromat, nitrit ve benzoat gibi inhibitörler eklenmektedir (Minareci, 2020).

Bu çalışmada Al 2024 ve GR2 levhalarının TIG kaynağı ile birleştirilmesinde akımın ve frekansın mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Literatür incelendiğinde bu alanda ki çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Çalışmadaki amacımız TIG kaynağı ile birleştirilen numunelerin birleştirilme parametrelerine göre tahribatlı ve tahribatsız yöntemler uygulanarak mekanik özelliklerinin incelenerek en optimal kaynak parametrelerinin tespit edilebilmesidir. Ayrıca literatür boşluğunun kısmen de olsa doldurulabilmesidir. Bu nedenle numunelere çekme testi, sertlik testi, görsel muayene ve radyografik muayene uygulanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Mekanik özelliklere atıf yapılarak en iyi şartlar çözümlenmiştir.

TIG kaynak yönteminde Alüminyum malzemesi AC akımda kaynaklanamadığından DC akım kullanılmıştır. Ayrıca DC negatif akımda Al parça fazla ısınıp akma yaptığından DC pozitif akım tercih edilmiştir (Baran, 2020).

Aynı şekilde TIG kaynağında teorik olarak frekansın, kaynak havuzunun oluşumunda pozitif etkiye sebebiyet verdiği ve kaynak kalitesini artırdığı değerlendirilmiştir. Bu sebepten 10, 14 ve 18 Hz pulse frekans değerleri kullanılarak bu sav incelenmiş ve üzerine yorum yapılmıştır (Baran, 2020).

Pulse frekansı anlık bir saniyede kaynak bölgesine gelen akımdaki alt ve üst akım değerleri arasında kaç kez tekrar ettiğinin sayısı olup, bu tekrar yani frekans arttıkça kaynak bölgesindeki aşırı ısınma engellenmektedir (Durgutlu, 2013).

Tez toplamda 5 kısımdan oluşmaktadır. Birinci bölüm olan giriş bölümünde çalışmaya ait genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde ise literatürde bulunan benzer çalışmalar irdelenmiş ve bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölümde Al 2024, Ti GR2 metallerinin genel özellikleri, mekanik ve fiziksel özellikleri, kullanım alanları, avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Ayrıca TIG kaynak yöntemi ile alakalı bilgi verilmiş, Kullanılan aparatla, koruyucu gazlar, kaynak kalitesini etkileyen etkenler, avantaj ve dezavantajları irdelenmiştir. Dördüncü bölümde deneysel çalışmadan bahsedilmiş, kullanılan makineler ve test yöntemlerinden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde araştırma bulguları ele alınmıştır. İlk olarak 9 ayrı numune ayrı ayrı analiz edilmiş, sonrasında tüm analizler yapılmış en optimal değer belirlenmeye çalışılmış ve tüm sonuçlar

yorumlanmıştır. Kavramsal ve kuramsal çerçeve belirlenmiş, akabinde tüm deneysel sonuçlar analiz edilerek sonuç olarak açıklanmıştır. Başarılı bir kaynağın çekme testinde kaynak bölgesinden değıl de malzeme bölgesinden kopması bekleneceğinden mekanik özellikler kaynak bölgesi üzerinden değıerlendirilmiştir (Kejanlı, 2007). Kaynak bölgesinden deneyler sonucu elde edilen mekanik özellikler çalışmadaki en önemli doneler olmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan literatür araştırmasında, tez konumuz ile ilgili benzer bir çalışma olmadığı görülmüş, Al 2024 ve GR2 malzemeleri TIG kaynak yöntemi ile birleştirilip mekanik mukavemetlerini belirlemek için gerekli testler yapılmıştır.

Ti elementini incelediğimizde günümüzde Titanyumun kullanım alanlarının artmasıyla beraber, ihtiyaca hasılan kullanılan kaynak yöntemleri de çeşitlenmiştir. Literatürde TIG kaynağı ile kaynağa dair birçok kaynağa ulaşmak mümkündür.

Zhou ve arkadaşları titanyum alaşımlarının TIG kaynağı ile birleştirilmesine dair bir çalışma yapmış ve akabinde çentik darbe etkisini incelemiştir. Çalışmada 15 mm kalınlığındaki Ti alaşımı kullanılmış, v kaynak ağzı açılmış ve alın altına kaynak yapılmıştır. Koruyucu gaz olarak yüksek saflıktaki Ar gazı kullanılmıştır. Kaynak uygulamasında önce temizlik işlemleri uygulanmış, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak metali olarak farklı prosedürlerle işlenmiştir. Ara dolgu malzemesi olarak kaynaklanacak Ti alaşımı ile aynı çubuk tel kullanılmıştır. Kaynaklama işleminden sonra Vickers sertlik deneyi 300 gr. sabit yük altında kaynak metaline ve ITAB bölgesine ayrı ayrı uygulanmıştır. Sonuç olarak en iri taneli yapıya ve en sert bölgeye kaynak metali bölgesinde rastlanmıştır. Çekme testi uygulanmış numunelerde kopma beklendiği gibi ana malzemede gerçekleşmiştir. Darbe tokluğu deneylerinde kaynak metali bölgesinin, ITAB bölgesine göre yüzde 50 daha iyi tokluk değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin ise kaynak metali bölgesinde yüksek ısıya maruziyetten α tanecik miktarının azalması olarak değerlendirilmiştir (Zhou, 2003).

Yung ve arkadaşları ise Ti alaşımının (Ti6Al4V) TIG kaynağı ile birleştirmede çekme özelliklerini etkileyen parametreler üzerinde çalışmıştır. Buradan yapılan tespit ise kaynak bölgesindeki ısı artışının çekme mukavemetini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Yani daha yüksek soğuma oranının sünekliği artıracığı ve kaynak bölgesindeki uzama oranını artıracığı değerlendirilmiştir. Çekme testi farklı numunelere uygulandığında en iyi değer 1048 MPa olarak elde edilmiştir (Yung vd., 1997).

Lathabai ve arkadaşları ise Ti GR2 saf metalini anahtar deliği yöntemi ile TIG kaynağı ve sıradan TIG kaynağı ile birleştirmeyi denemiş ve akabinde karşılaştırma yapmıştır.

Keyhole GTAW (anahtar deliği TIG kaynağı) dolgu metali olmadan ve kaynak ağzı hazırlanmadan tek pasoda yapılan bir prosestir. Aynı proseste ise standart TIG kaynağı için V kaynak ağzı hazırlanmış ve ara dolgu olarak Erti-1 dolgu malzemesi kullanılmıştır. Sonuç olarak iki kaynak yöntemi ile yapılan numuneler incelenmiş ve benzer mekanik özellikleri verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle nispeten ekonomik olan GTAW yönteminin kullanımının daha efektif olduğu değerlendirilmiştir (Lathabai vd., 2001).

Balasubramanian ve arkadaşları Ti alaşımını (Ti-6Al-4V) TIG kaynağını değişken darbe akımı ile kaynaklamayı denemiştir. 60, 80 ve 100 A akım kullanılarak 3 farklı numune kaynaklanmıştır. Yapılan analiz sonucunda 60'dan 80 Ampere yükseldiğinde çekme ve akma mukavemetinde artış, 80'den 100 Ampere yükseldiğinde aynı değerlerde azalma görülmüştür. Sonuç olarak tüm numunelerin çekme ve akma mukavemetleri esas metale göre daha iyi olduğu belirlenmiştir (Baran, 2020).

Doğan, yaptığı çalışmada kalite 265,2 titanyumun GTAW kaynağı ile birleştirilmesi yapılmış, 80, 90 ve 100 Amper akım şiddeti kullanılmıştır. Parçaların sertlik, eğme ve çekme testleri yapılmış, akım şiddeti arttıkça sertlik ve çekmede düşme, eğme açısında ise artış gözlenmiştir (Doğan, 2002).

Kilerci, gerçekleştirdiği çalışmada Grade 2 ticari saflıktaki titanyumu hem TIG kaynağı hem de lazer kaynağı ile birleştirip sonuçları karşılaştırmıştır. TIG ile yapılan kaynakta Erti-2 ara dolgu teli kullanılmış, 80 amper akım şiddeti uygulanmıştır. Her iki kaynak yönteminde de safa yakın Ar gazı kullanılmıştır. Lazer kaynağı ise frekans 30 Hz ve gerilim 270 W olarak kullanılmıştır. Numuneler incelendiğinde, lazer kaynağı yapılan numunenin mukavemetinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca çekme testinde her iki malzemede kaynak bölgesinden değil de ana malzemeden kopmuştur. Gerçekleştirilen metalurjik değerlendirmelerde, GR2 alaşım için en uygun yöntemin lazer kaynağı olduğu değerlendirilmiştir (Kilerci, 2011).

Menzemer çeşitli Al alaşımlarının TIG kaynağı ile kaynaklanmasından sonra mikroyapılarını incelemiştir. Yapılan incelemelerde kaynak bölgesinde çatlaklara

rastlanmıştır. Bunun nedeninin yüksek ısı girişi kaynaklı yüzey gerinimi olduğu düşünülmüştür (Menzemer vd., 2001).

Farklı plaka kalınlıkları için farklı Al alaşımları için yapılan TIG kaynağı testlerinde yapılan incelemelerde, özellikle ITAB bölgesinde mukavemetin ciddi oranda düştüğü gözlemlenmiştir. Buna neden olarak, kalınan yüksek ısı maruziyeti sonrası hızlı soğuma gösterilmiştir (Luijendijk, 2000).

Ji-kun Ding ve arkadaşları AA2219 alaşımının TIG kaynağı ile kaynaklanması sonrası mekanik davranışlarını ve kaynak sonrası ısıtılma işlemi (PWHT) çeşitli mukavemet değerleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. AC akım levhalar üzerinde oksit tabakasının kaldırılması için kullanılmış ve tungsten tel tercih edilmiştir. Kaynaklama sonrası bazı numunelere ısıtılma işlemi uygulanmış, bazı numunelere ise uygulanmamıştır. Isıtılma işlemi olarak yapay yaşlandırma ve daldırma kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonrasında tüm numunelerin akma ve çekme dayanımında artış, ısıtılma işlemi görenlerde ise ısıtılma işlemi görmeyenlere göre daha iyi akma ve çekme değerleri gözlemlenmiştir (Çetin, 2020).

Bitharas ve arkadaşları TIG kaynağında koruyucu gazların kaynak kalitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ar ve He koruyucu gaz olarak kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonrasında He, Ar gazına göre daha derin kaynak nüfuziyeti sağlar fakat He daha hafif olduğundan kaynak banyosunu oksitten korumada yetersiz kalmaktadır. Ayrıca He ve Ar karıştırılmış şekilde ve aralıklarla her iki gazın dönüşümlü olarak verildiği durumlar incelenmiş ve ikinci durum daha iyi nüfuziyet ve daha iyi koruma sağlamıştır (Bitharas vd., 2016).

Karabulut, AA5005 levhaları TIG ve lazer kaynağı ile birleştirmiş ve kaynak özelliklerini karşılaştırmıştır. Lazer kaynağında, TIG kaynağına göre daha ince şeritte bir kaynak bölgesi elde edilmiştir. Akabinde yapılan çekme, akma ve mikrosertlik testlerinde lazer kaynağı, TIG kaynağına göre daha iyi mekanik değerlere sahip olduğu anlaşılmıştır (Karabulut, 2019).

Durgutlu, pulse frekans kullanarak 4000 serisi alüminyum levhaları birbirine kaynatmış ve sonuç olarak ısı girişı bu yöntem ile kontrol altına alınabildiğini gözlemlemiştir. Sonuç olarak bu düşüşün metalin tanelerini küçülttüğü ve geleneksel akım yöntemlerine göre kaynak sertliğinde artışa sebep olduğı belirlenmiştir (Durgutlu, 2013).



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Titanyum ve Alaşımları

Titanyum, değişken sıcaklıklarda iki çeşit kristal yapıya bürünebilecek bir geçiş metalidir. Nominal sıcaklıkta sıkı düzen hekzagonal (HSP) kristal yapıya sahipken 883°C ve sonrasında hacim merkezli kübik (HMK) kristal yapıya (Beta-Ti) evrilir. Mekanik özelliklerini güçlendirmek ve istenilen özellikleri sağlamak için titanyum çeşitli metaller ile alaşımlı hale getirilir. Bu sayede diğer malzeme türlerine göre daha yüksek mukavemete sahip olabilirler (Özkan, 2019).

3.2 Titanyumun Özellikleri

Saf titanyumun atom numarası 22 olup, atomik ağırlığı ise 47,87'dir. Karakteristik olarak sert bir yapıya sahiptir. Erime ve kaynama sıcaklıkları sırasıyla 1668°C ve 3287°C'dir. Özgül ağırlığı 4,51 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Doğada sık rastlanan bir metaldir. Titanyum ve alaşımlarının çekme dayanımları içeriğindeki metallere göre değişkenlik gösterir ve 30.000 - 200.000 Psi (210-1380 MPa) arasında olabilir. Veriler çoğu çelik alaşımlarından daha iyi değerlerdir. Düşük yoğunluklu bir metal olup, genleşme katsayısı çelik ve alüminyumun yaklaşık yarısı kadardır (Yeşiltaş, 2022).

Titanyum sıkı düzen hekzagonal yapısı α fazı, hacim merkezli kübik fazı ise β fazı olarak adlandırılır. 883°C α fazından β fazına geçiş sıcaklığı yani " β dönüşüm sıcaklığı" olarak adlandırılır.

Titanyum asitlere ve minerallere karşı dirençli olduğundan insan bedenine, dokulara ve kemiklere kolayca uyum sağlar. Bu nedenden dolayı biyomedikal sektöründe kolaylıkla kullanılabilir (Zeren, 2016).

Titanyum iyi bir elektrik direnci yüksektir. Bu değer %3,1 olarak kabul görmektedir. Bu değer baz alındığında ve değerleri %3,1 olan paslanmaz çelik ve %30 olan alüminyum ile karşılaştırıldığında daha az bir elektrik iletkenliğine sahip olduğu görülmektedir (Kejanlı vd., 2018).

3.2.1 Saf titanyumun özellikleri

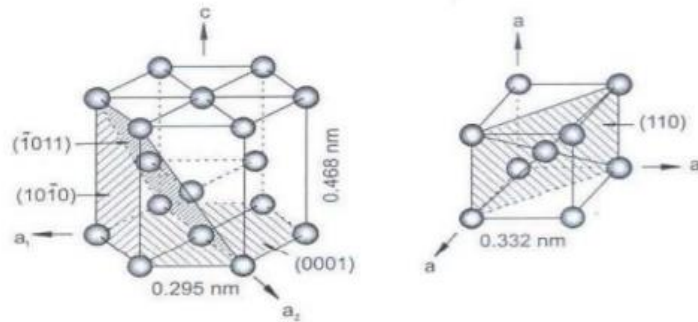
Saf titanyum doğadaki en hafif ağır metal olmasına rağmen en yüksek mukavemet değerlerinden birine sahiptir. Yoğunluğu çeliğin yaklaşık yarısı kadar olup, alüminyumdan ise %60 daha yoğundur. Korozyon direnci ve mukavemet olarak incelendiğinde, muadili birçok metalden daha iyi özellik gösterir. Ancak oksijenle olan reaktivitesinin yüksek olması çıkarılmasını ve işlenmesini zorlaştırdığından fiyatı oldukça yüksektir (Yılmaz, 2012). Şekil 3.1’de Titanyum elementinin saf hali verilmiştir.



Şekil 3.1 Titanyumun elementinin yapısı (Yılmaz, 2012)

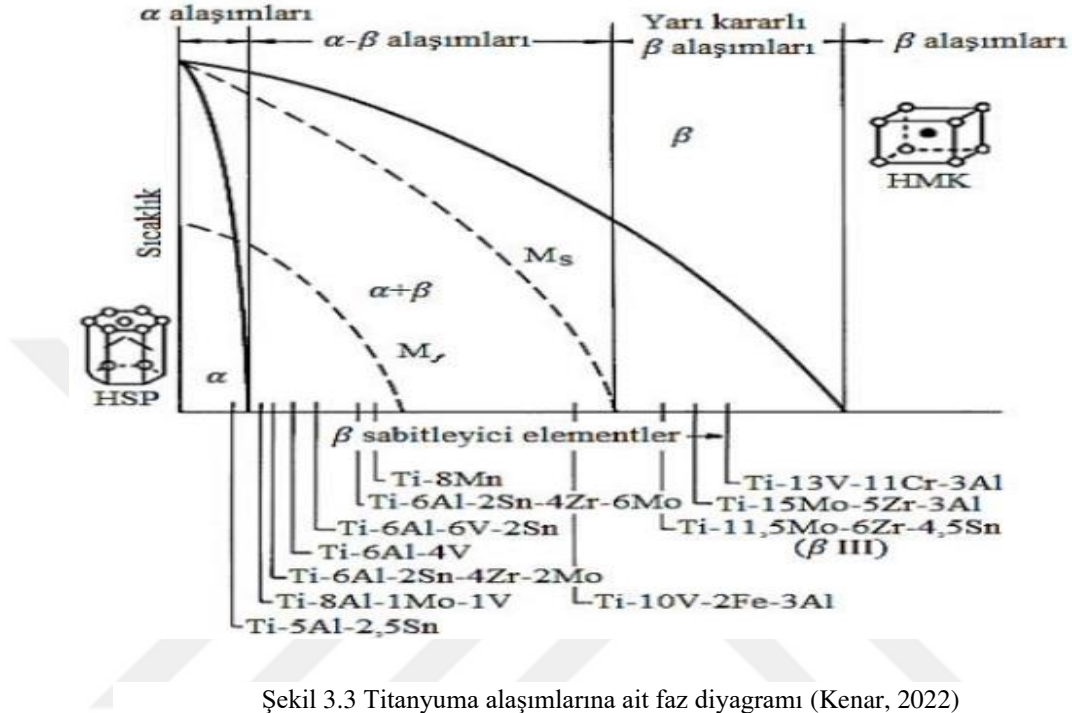
3.2.2 Titanyumun alaşımları ve sınıflandırılması

Daha öncede ele aldığımız gibi 883°C’de α fazdan β faz titanyumuna allotropik dönüşüm gerçekleşir. HSP ve HMK yapıdaki titanyumların kristal yapıları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 Titanyuma ait mikroyapılar (Sıkı paket hekzagonal ve hacim merkezli kübik)

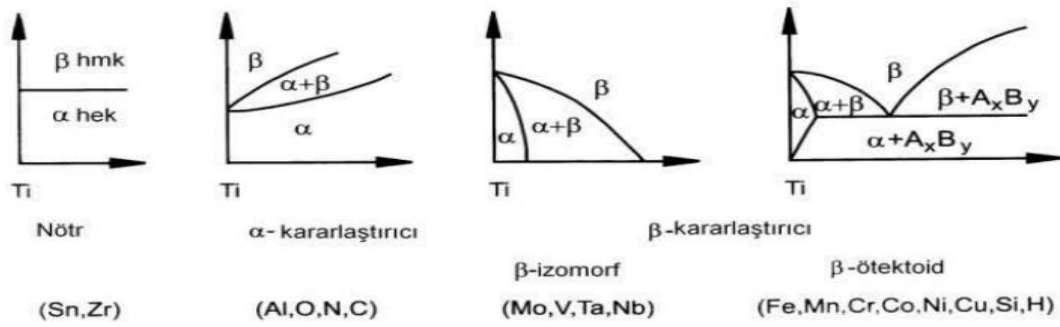
Titanyum alaşımları ise mikro yapıları dahilinde α , β ve $\alpha+\beta$ alaşımları olarak kategorize edilirler. Alaşımlar ise $\alpha \rightarrow \beta$ dönüşüm sıcaklığının yükseltilip ve alçaltılması için alaşıma ihtiva edilen elementler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Alaşım materyallerinin faz değişimine etkisi Şekil 3.3'deki diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Titanyuma alaşımlarına ait faz diyagramı (Kenar, 2022)

Al, O, N, C, gibi elementler α fazı ve Mo, V gibi metaller ise β fazı sabitleyicileri olarak bilinmektedirler. Sn ve Zr ise nötr elementlerdir. α fazı sabitleyicileri faz karalılığını artırarak alfa-beta geçiş sıcaklığını da arttırmaktadır. Aynı durum β fazı sabitleyicileri içinde geçerli olup geçiş sıcaklığını düşürme üzerinde etki etmektedirler (Kenar, 2022).

Ötektoid alaşımları ise α fazında çözünürlüğü düşük elementler kullanarak β faza geçiş sıcaklığını 333°C aşağıya çekerek yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkan ve istenmeyen intermetalik yapıların oluşumundan kaçınmak içindir. Mg, Fe, Cr, Ni bu elementlere örnek olarak gösterilebilir. Şekil 3.4'de çeşitli alaşım elementlerinin faz diyagramları verilmiştir (Gökmen, 2023).



Şekil 3.4 Alaşım elementlerinin titanyumun faz diyagramına etkisi (Gökmen, 2023)

3.2.2.1 α-Titanyum alaşımları ve mekanik özellikleri

Alfa (α) alaşımları tek fazlı olup kararlılıkları ve mekanik özellikleri genel olarak iyidir. Al ve O elementleri bu fazı daha da kararlı hale getirirler. Yüksek sıcaklıklara karşı göstermiş olduğu iyi özellikler sebebiyle bu koşullar altında değerlendirilebilirler. Ayrıca çok yüksek korozyon direncine sahip olmasından dolayı kimya sektöründe de kullanım alanı yüksektir. β ve $\alpha+\beta$ alaşımlarına kıyasla daha kararlı bir yapıya sahip olduklarından ısıtım işlemi uygulayarak sertleştirme yapılamamaktadır. Soğuk işlemler sonrasında ise oluşan gerilmeleri yok etmek için tavlama işlemi uygulanmalıdır (Çalığülü, 2008).

Bu alaşımlar yüksek mukavemet ve sertliğe sahip olup, işlenebilirliği ise diğer fazlarına göre daha düşüktür. Dayanımı kabul edilebilir seviyede, iyi darbe tokluğuna ve sıcaklığa bağlı olarak iyi sürünme direncine sahiptir. Dövme dayanımları ve ısıları çok düşük olup, bu sebeple yüzey çatlakları düşük sıcaklıklarda bile oluşabilmektedir.

3.2.2.2 Alfa-Beta ($\alpha+\beta$) Titanyum alaşımları ve mekanik özellikleri

Alfa-Beta fazı isminden de anlaşılacağı gibi her iki fazında bulunduğu bir geçiş bölgesi olarak da tanımlanabilir. Nominal oda şartlarında %10-50 oranında β fazı içerebilir. Bu fazı oluşturmak için oldukça zor oluşturulan şartlara ihtiyaç duyulurken, işlenebilirliği ise çok iyidir. Bu fazdaki β miktarı uygulanan ısıtım işlemleri ile kontrol edilebilir. Ayrıca içerdiği alaşım metalleri β yüzdesini etkileyebilmektedir. Bu da mekanik özellikleri değiştirmektedir. Örneklendirme amacıyla $\alpha+\beta$ fazlı alaşımın kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 $\alpha+\beta$ alaşımlarının kimyasal kompozisyonları ve mekanik özellikleri

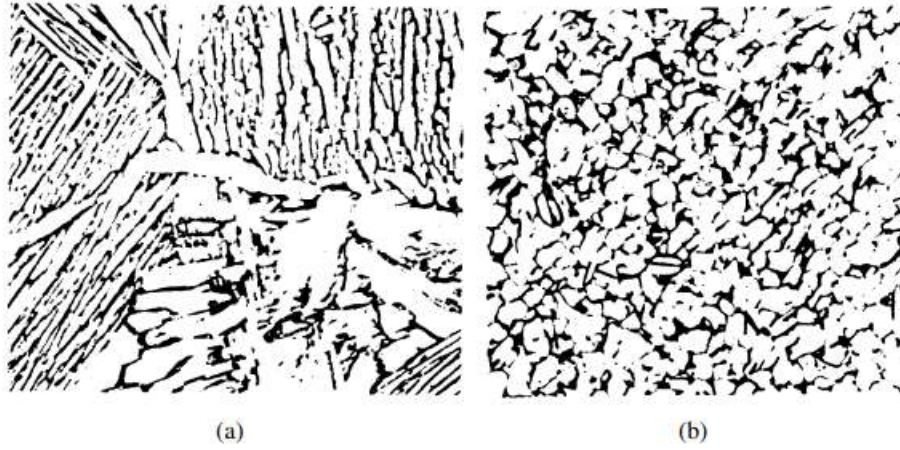
Alaşım Tipi	% Bileşim					Çekme (MPa)	Akma (MPa)
	Al	Sn	Zr	Mo	Diğer		
Ti-0,3Mo-0,8Ni	-	-	-	0,3	0,8 Ni	480	380
Ti-5Al-2,5Sn	5	3	-	-	-	790	760
Ti-5Al-2,5Sn-EU	5	2,5	-	-	-	690	620
Ti-8Al-1Mo-1V	8	-	-	1	1V	900	830
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	6	2	4	2	2Nb,1Ta	900	830
Ti-6Al-2Nb-1Ta-0,8Mo	2,25	11	5	1	0,2 Si	790	690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

$\alpha+\beta$ fazlarının mikroyapıları uygulanan işlemlerle değişkenlik gösterir. Ti6Al4V alaşımının uygulanan ısıtma işlemiyle oluşan mikroyapısı soğutma işlemine de endekslidir. 1066°C’de fırında soğutma uygulanan alaşımımız, β fazı geçişin yaklaşık 50°C üzerindedir. Akabinde fırında yavaş soğumaya bırakılan alaşımımız daha dengeli bir faz yapısına sebebiyet vermiştir. Nihayetinde kaba plakalı çekirdeklenme irileşme ile oluşur. Ağır soğuma nedeniyle Şekil 3.5’de gösterildiği gibi belli miktarda β kalır ve tane sınırlı olarak meydana gelir (Koyuncu, 2008).

Havacılık sanayiinde kullanılan ve yüksek sıcaklıklarda mukavemet gerektiren elemanların üretiminde kullanılmak üzere spesifik $\alpha+\beta$ fazında alaşıma ihtiyaç duymaktadır. Bu malzemeler daha çok sertleşebilirler. Havacılık titanyum alaşımları bu sebepten daha fazla Alüminyum içerirler ve mukavemeti artırır (Koyuncu, 2008).

Şekil 3.5’de ısıtma işlemi uygulanmış Ti alaşımının atomik yapıları verilmiştir. Şekildeki ifadelerden (a) Ti6Al4V bileşiği beta fazından yaklaşık 500C üzerinde 1066°C’de çözündürme ısıtma işlemi yapılmış ve fırında soğumaya bırakılmış, yapı plaka görünümünde α (beyaz) ve tane sınırları boyunca beta’dan (koyu) meydana gelmiştir.

(b) ifadesi ise Ti6Al4V bileşiğine 954°C’de (yaklaşık β fazının 50°C altı) çözündürme ısı işlemi uygulanmış ve fırında soğutulmuş; yapı, eş eksenli α tanelerini (açık) ve tane sınırı boyunca beta’yı (koyu) göstermektedir (Koyuncu, 2008).



Şekil 3.5 Isıl işlem uygulanmış Ti alaşımlarının atomik yapıları (Koyuncu, 2008)

3.2.2.3 β -Titanyum alaşımları ve mekanik özellikleri

Beta-kararlaştırıcı olarak içeriğe katılan elementlerin kullanımı beta fazının, beta geçiş sıcaklığının altına inerek nominal oda sıcaklığına kadar fazın devam etmesini sağlayarak iki fazlı bir yapı oluşmasına sebebiyet verir. Alfa ve beta geçiş sıcaklığını alçaltan Vanadyum, Niyobyum gibi kararlaştırıcılar bu fazın oluşumuna olumlu yönde katkı sağlar. Diğer fazlarla kıyaslandığından bu faz bölgesinin en avantajlı özellikleri sertleştirilebilme, dövülebilirlik, soğuk şekillendirilebilme olarak gösterilir. Tablo 3.2’de üç fazın birbirleriyle mekanik özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir (İşler, 2017).

Tablo 3.2 α , $\alpha + \beta$ Alaşımları, β Alaşımlarının Genel Özellikleri

	α	$\alpha + \beta$	β
Yoğunluk	Düşük	Düşük	Yüksek
Mukavemet	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek
Süneklik	Düşük/Yüksek	Yüksek	Düşük/Yüksek
Kırılma Tokluğu	Yüksek	Düşük/Yüksek	Düşük/Yüksek
Sürünme Dayanımı	Yüksek	Düşük/Yüksek	Düşük
Korozyon Dayanımı	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük/Yüksek
Soğuk Şekillendirilebilme	Çok Düşük	Düşük	Düşük/Yüksek
Kaynaklanabilirlik	Yüksek	Düşük/Yüksek	Düşük

Bu fazdaki alaşımlar mukavemet ve dayanım olarak büyük ölçüde $\alpha+\beta$ fazı ile benzerlik göstermektedir. Bu mukavemet yüksekliğine sebep olan şey α fazının β matrisi içinde çökelim oluşturması ve sıcaklığın yavaş soğuma yöntemiyle soğumasıyla beraber sert bir yapıya kavuşmasıdır (Cingi, 2008).

3.2.3 Titanyum ve alaşımlarının kullanım alanları

Titanyumun en sık kullanıldığı alan havacılık endüstrisi olmuştur. Yapısal ve mekanik özelliklerinden dolayı daha sonra yaygınlaşarak biyomedikal sektörü dahil birçok alanda kullanıma girmiştir. Gerek yüksek mukavemeti gerekse hafif olması hasebiyle ve yüksek korozyon direncinden dolayı havacılık sektörünün yanı sıra denizcilik ve kimya sektöründe de kullanımı artmıştır.

Biyomedikal alanında 25 yılı aşkın süredir kemik içine sağladığı uyum nedeniyle implant malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu kullanıma insan metabolizmasına olan mükemmel uyum sağlama yeteneği neden olmaktadır. Kemikğin elastisite modülüne benzer bir modüle sahip olan titanyum tercih sebebi yaratmaktadır (Cingi, 2008).

2018 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde imal edilen elementin %80'i havacılık sektöründe kullanılmıştır. Sağlamlığı, hafifliği ve yüksek sıcaklık altında üstün performans vermesi tercih sebebidir. Ticari ve askeri uçaklar ele alındığında iniş takımları, motorun fan ve kompresör bileşenleri, gövde elemanları ve hidrolik borular gibi kısımların üretiminde titanyum günümüzde alternatifsiz durumdadır. Modernleşmeyle beraber uçak üzerindeki kullanım miktarı da artmıştır. Örneklendirmek gerekirse 1960 teknolojisi olan F-4 savaş uçağı sadece %9 titanyum içerirken F-22'de bu oran %39'dur (Yücel, 2018).

Kullanılan ticari ve savaş uçağı pallerinin (kanatçık) daha yüksek dayanımı ve malzemenin kalitesi için üretim prosesleri geliştirilmiş ve mükemmel kaliteli titanyum alaşımları havacılık sektörü ile aynı ivmede ortaya çıkmıştır. Şekil 3.6'da günümüzde üretilen son teknoloji bir yolcu uçağının palleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6 IAE V2500 Turbo-fan uçak motoru fan palleri

Otomotiv sektöründe yüksek performans gösteren ayrıca hafiflik gerektiren piston, valf, valf yayı, bağlantı parçaları, karbüratör mili gibi parçalarda yoğunlukla kullanılmakta ayrıca yüksek mukavemeti nedeniyle süspansiyon üretiminde kullanılabilmektedir (Yazıcı, 2013).

Kimya sektöründe boya üretiminde, deniz radarı bileşenlerinde ve gemilerin su jetlerinde de kullanımı yoğunlukla görülebilmektedir.

3.2.4 Dünyada ve ülkemizde titanyum sektörü

Titanyum doğada çok sık görülen bir ağır metaldir. Al, Fe, Mg ile birlikte sanayide en çok kullanılan dört metalden biridir. En çok kullanılan titanyum mineralleri ise Rutil ve ilmenittir. Rutil, ilmenite göre doğada çok daha az görülmektedir. Rutil daha çok sahil kumlarında görülmekte olup ilmenit ise sahil kumları dahil diğer cevher havzalarında da görülmektedir. Rutil minareli en çok Meksika, Avustralya ve

Hindistan’da bulunur. İlmenite ise en çok Norveç, A.B.D. ve Brezilya’da rastlanmaktadır (Gökdemir, 2005).

Dünya üzerindeki titanyum elementinin miktarı hakkında kesin bir miktar verilememekte, rezerve sahip ülkeler ve yapılan oranlamalar vasıtasıyla tahmini değerler elde edilmektedir. Bu tahmini değerler Tablo 3.3’de verilmiştir. Avrupa noktasında üretim irdelendiğinde, üretimin %95’i Norveç’te yapılmaktadır.

Tablo 3.3 Dünyadaki Titanyum Rezervleri

ABD	100 000 000 ton üzerinde
Avustralya	100 000 000 ton üzerinde
Sri Lanka	5 600 000 ton
Yeni Zelenda	17 000 000 ila 31 000 000 ton
Uruguay	3 300 000 ton
Mozambik	166 000 000 ton

Titanyum sanayinin bugün hızla gelişmesinin bir sebebi de metalin doğada kolaylıkla bulunmasıdır. Bundan dolayı sektör gelişmekte, titanyum elementinin mekanik özellikleri de bu gelişimin hızlı olmasına katkı sağlamaktadır. Çünkü kolay elde edilebilirlik ve kalite günümüz sanayisinin sürekliliği ve ekonomisi açısından vazgeçilmezidir.

Ülkemiz çok uzun sahil şeridine sahip olduğundan titanyum minerallerinin bulunduğu konumlara sahiptir. Manisa ve Uşak tarafında tektonik aktivitenin bol olduğu, horst ve grabenlerin bulunduğu alanlar ve Hakkari dolaylarındaki kuvarsitlerde titanyuma rastlanmaktadır. Ama tenör hiçbir yerde %1’i geçmemektedir (İçtem, 2007). Sadece Manisa yöresinde bulunan; %1,11 TiO₂ içeren 1.272.000 ton dolayındaki rezerv bunun dışındadır (İçtem, 2007).

İstanbul-Şile sahil şeridi, Ünye'den Yeşilırmak arasında kalan bölge, Çanakkale-Geyikli sahil şeridi ve Ormanlı-Terkos bölgesi sahillerde titanyum varlığının saptandığı yerlerdir. Tablo 3.4'de Batı Anadolu'da bilinen rezerv bölgeleri rezervleri ve tahmini rezervleri verilmiştir (Yücel, 2018).

Tablo 3.4 MTA genel müdürlüğü tarafından Batı Anadolu'da bulunan titanyum rezervleri

YÖRE		REZERV (ton)	% TiO ₂
İzmir-Ödemiş-Aktaş Deresi	2	3,200,000	1,2
İzmir-Ödemiş-Rahmanlar	2	7,200,000	1,1
İzmir-Ödemiş-Işıklar Deresi	2	600,000	1,8
Manisa-Gördes-Demirci	1	1,272,000	1,11
Köseler –Benlieli	2	45,000,000	0,5
Manisa-Gördes-Demirci-Demirci Çay	2	1,700,000	0,5
Manisa-Gördes-Gördes Çayı	2	6,800,000	0,5
Manisa-Salihli-Turgutlu	3	30,000,000	1
Uşak-Eşme	3	12,000,000	1-2

1: Görünür, 2: Muhtemel, 3: Kaynak (Rezerv + Potansiyel + Bilinmeyen Kaynaklar)

Günümüzde ülkemizde üretim yapılan herhangi bir titanyum tesisi bulunmamaktadır. Sanayinin ihtiyaç duyduğu hammadde ithalat yapılarak sağlanmaktadır. Bu ise dönemsel olarak sanayide aksamalara sebep olabilmektedir. Savunma sanayii özelinde ise özel titanyum alaşımları noktasında ambargolarla karşılaşılabilir. Saf titanyumun erişilebilirliği nispeten kolay olduğundan kritik alaşımların ülkemizde üretilmesi için günümüzde çeşitli kuruluşlar çalışma yürütmektedir. Titanyum minareli üretimi için M.T.A gibi kurumlar çalışma yapmaktadır (Yücel, 2018).

3.3 Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyum günümüz gerek saf olarak gerekse alaşımlarıyla endüstriyel alanda ve metal sektöründe demir ve alaşımlarından sonra en çok kullanılan malzemedir. 1800'li yıllarda kullanılmaya başlanmasına rağmen günümüzde temel doğa elementlerinden bazı alanlarda daha fazla kullanım alanına sahiptir (Öztürk, 2012).

Sahip olduğu düşük ağırlık, korozyon direnci, yüksek işlenebilirlik ve düşük yoğunluk nedeniyle endüstride yüksek oranda tercih edilmektedir (Şişmanoğlu, 2009). Alüminyum dökülebilir, kolay şekillendirilebilir ve yüzey kalitesi olarak iyi olması başka bir tercih sebebidir.

3.3.1 Saf alüminyumun özellikleri ve üretimi

Alüminyum endüstride sık kullanımı olan bir hafif metaldir. Hafif metal tanımı, özgül ağırlığı 3.8 g/cm^3 'den az olan metaller için kullanılır. Alüminyumun özgül ağırlığı 2.7 g/cm^3 'dir. Özellikleri incelendiğinde yüksek elektrik ve ısı iletkenlik, atmosferik korozyona direnç, kolay üretilebilirlik ve diğer metallerle çekme dayanımı yüksek alaşım oluşturabilme gibi özelliklere sahiptir (Özkara, 2009). Tablo 3.5'de alüminyumun mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

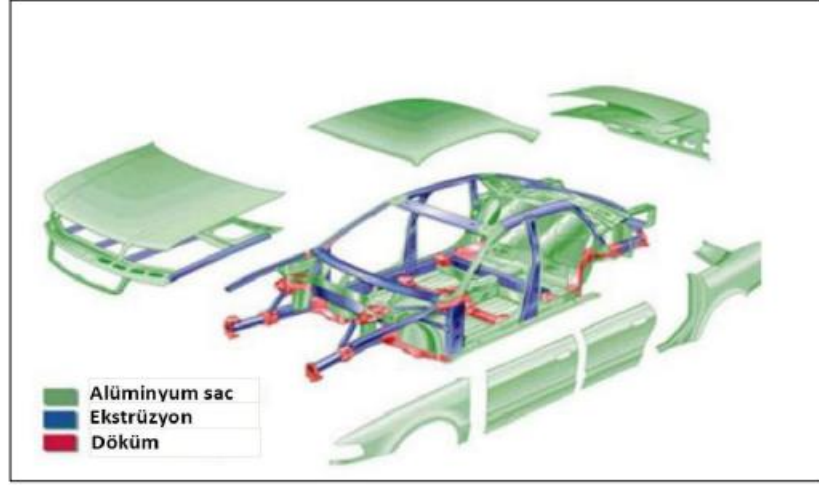
Tablo 3.5 Alüminyumun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Çekme Dayanımı, MPa	40-80*
Akma Dayanımı, MPa	10-30*
Sertlik, HB2.5	12-20
Elastiklik Modülü, GPa	71
Kayma Modülü, GPa	27
Kopma Uzaması, %	30-38*
Ergime Noktası, °C	660
Dövülme Sıcaklığı, °C	300-500
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı, °C	250-300
Yoğunluk, g/cm^3	2.7
Kristal Yapısı	Yüzey merkezli kübik (ymk)

Alüminyumun oksijene karşı olan yüksek aktivitesi nedeniyle yüzey kısmı havayla temas ettiği anda hemen etkileşime girer. Yüzeyde yüksek bir oksit (Al_2O_3) tabakası oluşur. Bu tabaka metali korozyondan korumaktadır ancak bazı asitler bu yapıyı bozup korozyona neden olabilmektedir (Kafalı, 2009).

Saf alüminyum yer kabuğunun %8'ine ihtiva etmektedir. Kelime kökeni olarak "Alüm" yani ateşten koruyan anlamına gelen Latince sözcükten gelmektedir. Çünkü bu metal ilk çağlarda ateşten koruyucu zırh olarak kullanılmıştır. 1807 yılında laboratuvar ortamında geliştirilmiş, 1908 yılında ise fabrikasyon üretime geçilmiştir. 1910 senesinde toplam ürün 17.000 ton olup, 1980 yılında 16 milyon ton olmuştur. Bu

duruma sebep sanayinin her alanında kullanılmasıdır. Buna örnek Şekil 3.7’de verilmiştir (Binal, 2006).



Şekil 3.7 Audi A8 marka araçlarda kullanılan alüminyum parçalar (Binal, 2006)

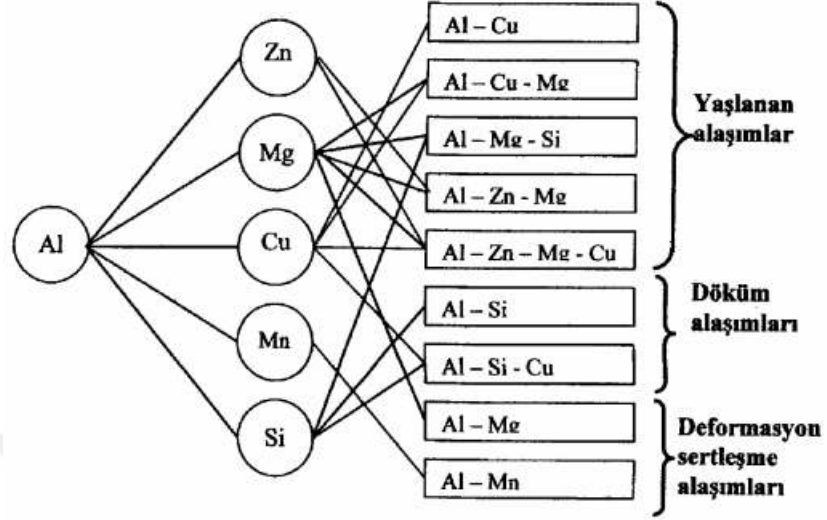
Alüminyum iki aşamada üretilir. İlk olarak Alüminyum oksit elde edilir. Akabinde ergimiş metal elektrolizi ile oksijen ayrıştırılarak saf metal elde edilir. Tüm bu işlemlerden sonra dahi saf bir metal elde edilmez. Saf alüminyum (%99,99) ortaya koymak için ekstra rafinasyon işlemi uygulanmalıdır (Binal, 2006).

3.3.2 Alüminyum alaşımları ve sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlar üretim prosesleri esas alınarak iki sınıfa ayrılır. Bunlar dövme ve dökmedir. Plastik deformasyon ile şekil verilen dövme üretimler, döküm ile üretilen parçalara göre farklı bir atomik yapıya sahip olur. İki yöntem ile üretilen alaşımlar ısıtılabilir ve yapılamaz olacak şekilde kendi içinde ayrışırlar. Dört basamaklı bir sistem ile dövme ve dökme alüminyum alaşımlarına kod verilir. Dövme alaşımlarda son iki basamak alüminyum alaşımını veya alüminyumun saflığını gösterir. İkinci basamak orijinal alaşımın modifikasyonunu gösterir. Döküm alaşımlarda, ilk basamak alaşım grubunu gösterir. Son basamak ürünün biçimini ifade eder (Binal, 2006).

Alaşım elementlerinin amacı saf alüminyumun olumlu mekanik özellikleri olan korozyona direnç, uzama kabiliyeti gibi özelliklerini koruyup olumsuz olan düşük akma sınırı gibi özelliklerini iyileştirmektir. Alaşımlandırma için kullanılan en önemli

bileşenler magnezyum, manganez, silisyum, bakır, çinko ve bazen de nikel ve titanyumdur. Şekil 3.8’de bu bileşenler gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Temel alüminyum alaşımları

Amerikan alüminyum birliğinin kriterlerine göre alaşımlar 4 sayı kullanılarak sınıflandırılır:

1XXX: Kodumuz saf alüminyum olarak değerlendirilir. Özellikle elektrik ve kimya sektöründe kullanılır.

2XXX: Al-Cu alaşımlarıdır. Alaşımın yoğunluğu bakırdır. Magnezyum gibi başka elementlerde eklenebilir, aşırı mukavemet ve düşük ağırlık istenen havacılık enstitüsünde ciddi bir şekilde yer almaktadır.

3XXX: Al-Mn alaşımları 3XXX kodunu meydana getirir. Alaşımın yoğunluk metali mangandır. İnşaat sektöründe yüksek oranda kullanılmaktadır.

4XXX: Al-Si içeren kodumuzdur. Silisyum alaşımın yoğun elementidir. Isı dayanımı yüksek, aşınma direnci ve korozyona mukavemeti fazladır. Kaynaklanması kolay isterlerde, levha üretiminde, otomotiv sektöründe kullanılmaktadır.

5XXX: Al-Mg bu kodumuzu ortaya çıkarmaktadır. Magnezyum bu kodumuzun ana bileşenidir. Magnezyum sertlik ve mukavemet yükseltir ama sünekliği azaltır. Tuzlu suya karşı korozyona dayanımı fazla olduğundan denizcilik sektöründe tercih edilir.

6XXX: Al-Mg-Si metallerinden oluşan kodumuzdur. Kodumuzun ana bileşenleri magnezyum ve silisyumdur. Şekil verilme özelliği yüksektir.

7XXX: Al-Zn alaşımları 7XXX kodunu meydana getirir. Bakır kodu oluşturan ana element olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ekstra ilavelerdir. Bütün alaşımlar arasında en yüksek mukavemete sahip kodumuzdur. Havacılık sektöründe ve yüksek dayanım gereken sektörlerde kullanılır.

8XXX: Al-Li alaşımlarıdır. Ana bileşen olarak lityum kullanılıp, kalay da ilave edilebilmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında yorulma direnci nedeniyle tercih edilir. Maliyeti en yüksek olan kodumuzdur (Kozan, 2023). Tablo 3.6'da Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 3.6 Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları

Alüminyum Serisi	Alaşım Elementi
1XXX	Elektriksel uygulamalar, dış cepheler, gıda paketleme
2XXX	Havacılık sektörü
3XXX	Eşanjör, teneke kutu, dış cepheler
4XXX	İnşaat, otomotiv sektörü
5XXX	Gemicilik, basınç tankları, inşaat
6XXX	Gemi inşaatı, kamyon gövdeleri
7XXX	Uçak, uzay endüstrisi, Apple saatler
8XXX	Havacılık ve uzay sektörü

Döküm alaşımların büyük kısmı silisyum içerir. Silisyum ötektik bileşimde olduğundan döküm özelliğini arttırmaktadır. Kaynaklanabilme ve korozyona mukavemeti aynı oranda yüksektir. Az miktarda alaşıma ihtiva edilen bakır talaşlı imalat özelliğini artırır fakat korozyon direncini azaltır (Tanrıöver, 2008).

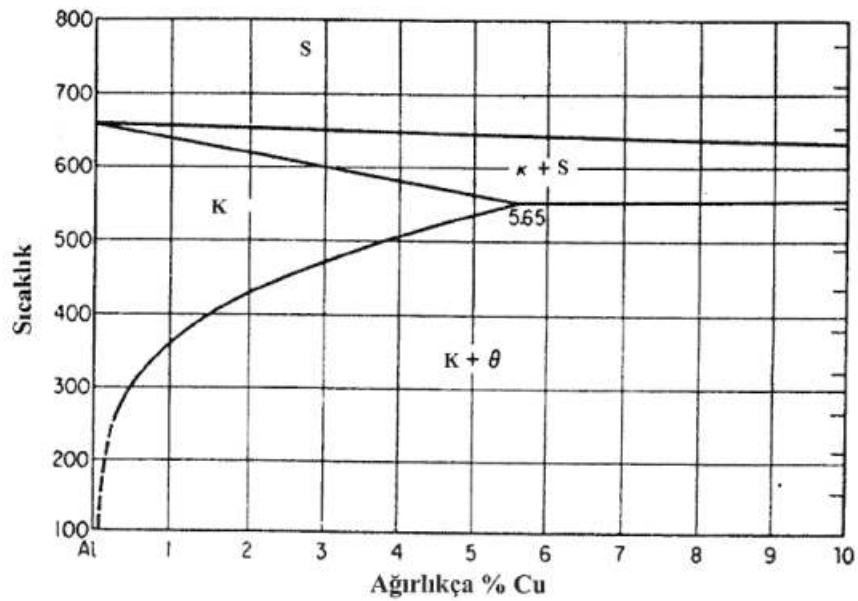
Alaşıma magnezyum ilave edilerek denizel korozyona karşı direnç artırılarak mekanik özellikler kuvvetlendirilebilir.

Alüminyuma eklenen elementler vasıtasıyla mekanik özellikler değiştirilebildiği gibi kaynaklanabilme ve korozyon direnci gibi özellikleri de değiştirilebilmektedir (Tanrıöver, 2008)

3.3.3 Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları

Uygun koşullarda ısıtma ve akabinde soğutma uygulanarak mekanik koşulları iyileştirilebilen alaşımlardır. 2xxx, 6xxx ve 7xxx kodlu alaşımlar tavlama yapıldıktan sonra su verme yöntemi veya herhangi bir hızlı soğutma yöntemi kullanılarak mukavemetleri yükseltilebilir ve hatta oda sıcaklığında mukavemetleri daha da ileri taşınabilir. Ancak bu yöntem işlenebilirliği büyük oranda düşürür (Kafalı, 2009).

2xxx kodlu alaşımlara bakırın yanında magnezyum eklenerek süreklilik arz eden yüklere dayanım artırılır. Bu da havacılık sektöründe kullanımına neden olur. Endüstriyel alanda en çok kullanılan alaşım 2024'dür. Şekil 3.9'da e Cu–Al bileşiğinin alüminyum bakımından yüksek bölümünü ifade eden faz diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.9 Cu – Al bileşiğinin alüminyum bakımından yüksek bölümünü ifade eden faz diyagramı

6xxx kodlu bileşikler Mg_2Si intermetalik bileşiği olduğundan, çökelti sertleşmesi sebebiyle güçlü mukavemet sağlar. Kullanımı en fazla olan bileşiği 6061'dir. Çekme dayanımı 290 MPa'dır. 7xxx kodlu alaşımlar $MgZn_2$ intermetalik bileşiğinden meydana gelir. Mg ve Zn'nin alüminyum içindeki yüksek çözünürlüğü nedeniyle mukavemeti çok yüksektir. Bu kodun en önemli alaşımı 7075' tir (Kafalı, 2009).

3.3.4 Al 2024 kimyasal ve mekanik özellikleri

Söz konusu alaşım alüminyum alaşımları arasında sertlik, elastiklik ve mukavemet olarak en iyi özelliklere sahip olanıdır (Aydın ve Bayram, 2010). Özellikle havacılık endüstrisinde önem arz eden bu alaşım, duralüminyum ismiyle de literatüre geçmiştir. Alaşımın kaynaklanabilme kabiliyeti iyi değildir. Aşınmaya karşı mukavemeti de diğer alaşımlara göre zayıftır. Uygulanan ısıl işlemlerin özelliklerine göre mukavemeti ve elastikliği değişkenlik göstermektedir. Tablo 3.7'de maruz kaldığı ısıl işleme göre mekanik özellikleri gösterilmiştir (Yücel, 2021).

Tablo 3.7 Al 2024 alaşımın ısıl işlem uygulandığında mekanik özellikleri

Temper - -	Akma Mukavemeti (MPa) Min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) Min-max	Uzama -50% Min-max	Sertlik (VB) Min-max
0	75	185	20	55
T3	340	475	18	120
T6	230-300	310-395	10-12	110
T8	275-315	370-420	10-12	115

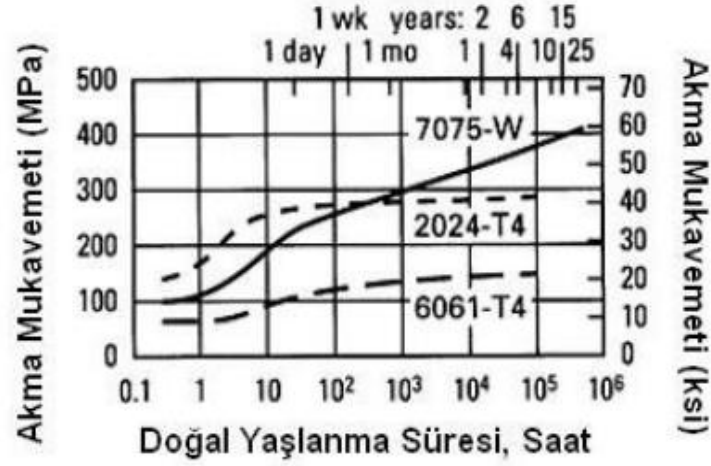
Terkibinde %4,9 Cu ve %1,8 Mg barındırır. İçerdiği diğer alaşım metalleri ve miktarları Tablo 3.8'de verilmiştir (Turgut, 2023).

Tablo 3.8 Alüminyum 2024 T351 alaşımının kimyasal bileşimi

Element Adı	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Diğer
Bileşim Oranı (%)	90,7- 94,7	Max. 0,1	3,8- 4,9	Max. 0,5	1,2- 1,8	0,3- 0,9	Max. 0,15	Max. 0,15	Max. 0,25	Max. 0,15

Daha evvelde atıfta bulunulduğu gibi dayanımı çökeltme sertleşmesi ile yükseltilebilmektedir. Bu uygulamada bakır, $CuAl_2Mg$ olarak çökeltme yapar. Bu yapı

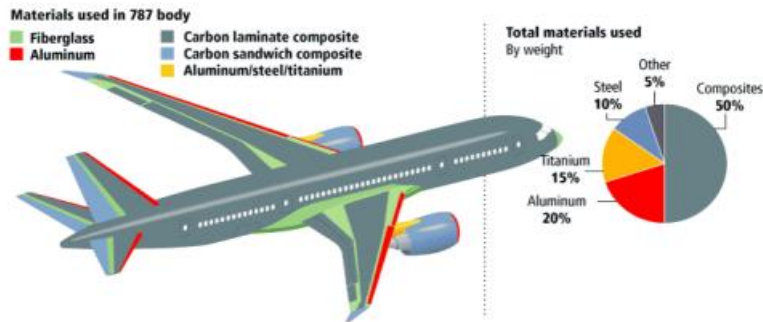
yer değiştirmeyi zorlaştırarak dayanımı artırır. Alaşım, 6000 ve 7000 serisi alaşımlarla karşılaştırıldığında ve doğal yaşlandırma uygulandığında, 2024 alaşımının doğal yaşlandırma sonucunda daha kararlı hale geldiği görülebilmektedir. Bu durum Şekil 3.10'da gösterilmiştir (Türköz, 2009).



Şekil 3.10 Farklı alaşımların doğal yaşlandırma ile akma mukavemetinin değişimi

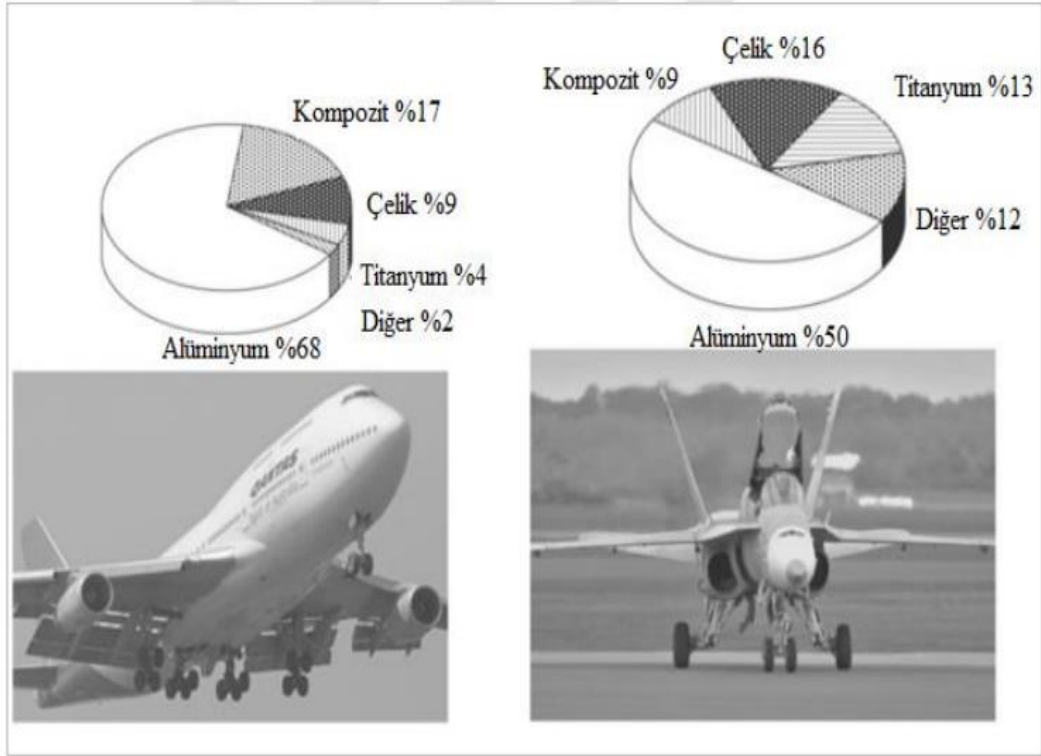
3.3.5 Al 2024 alaşımının kullanım alanları

Başlangıçta ana hatlarıyla kullanım alanları incelenecek olursa özellikle havacılık sektöründe, dişliler ve bağlantı parçalarında, iskelet yapılarında, turbo-jet motorların iç yapısında, iniş takımlarında, gövde ve gövde kapaklarında kullanılmaktadır. Bu nedenden dolayı 2024 alaşımını daha çok asıl kullanım alanı olan havacılık sektörü üzerinden inceleyeceğiz. Havacılık sektörü dışında ortopedik taban, perçin ve römork tekerlekleri gibi malzemelerde de kullanılmaktadır. Ayrıca bazı askeri teçhizatlarda, piston-dizel motor pistonlarında ve benzerinde kullanılabilmektedir (Öztürk, 2012). Şekil 3.11'de uçaklarda kullanılan alaşımların kullanım yerleri verilmiştir.



Şekil 3.11 Hava Aracında Kullanılan Malzemeler ve Kullanım Bölgeleri

Havacılık sektöründe bu alaşımin en çok tercih edilme sebebi yüksek dayanımı, hafifliği ve korozyon direnci olup günümüz uçaklarında kullanım oranı yıllara sair artmaktadır. Şekil 3.12’de sivil ve askeri uçakların alüminyum alaşım kullanım oranları verilmiştir. Yakın gelecekte kompozit malzeme kullanımının alüminyumu ikame edeceği düşünülse de alüminyum kullanımı azalarak da olsa kullanıma devam edilecektir (Dilmeç, 2012).



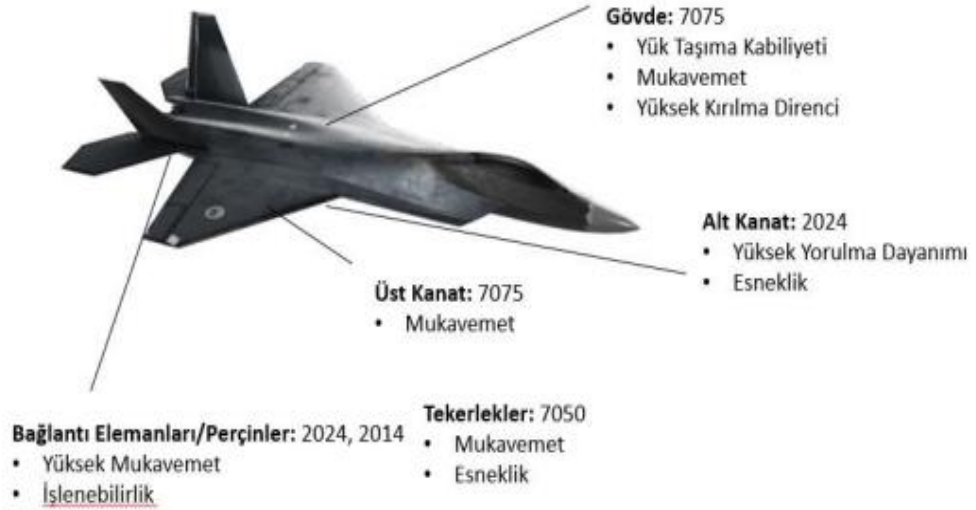
Şekil 3.12 Ticari ve askeri uçaklardaki alüminyum kullanım oranları (Dilmeç, 2012)

Günümüzde havacılık sektöründe alüminyum alaşımlarının özellikle 2024 alaşımının kullanılma sebepleri;

- Muadillerine göre nispeten düşük maliyet.
- Dövme, döküm ve ısıl işlemlerle istenilene yakın mekanik özelliklerin elde edilebilmesi.
- Düşük ağırlık (2.7g/cm^3)
- Özgül sertliğinin ve dayanımının tatmin edici olması.
- Süneklik, tokluk ve yorulma direncinin yüksekliği.

Dezavantajları ise; 150°C ve üstündeki sıcaklıklarda mekanik özelliklerinin düşmesi, gerilmeye bağlı çatlak ilerlemesinde ki zafiyetler ve Karbon fiber gibi malzemelerle temasında korozyona sebebiyet vermesi olarak özetlenebilir (Başpınar, 2022).

Uçakların aerodinamik yapısı incelendiğinde gövde, iniş takımları ve üst kanat değişken yüklere maruz kalmaktadır. Bu sebeple bu bölgelerde mukavemeti, yük taşıma kapasitesi ve yorulma direnci yüksek 7075 serisi alaşım kullanılır. Kanadın alt kesiti ve bağlantı elemanları gibi kısımlarda ise 2024 alaşımı tercih edilir. Bunun sebebi yüksek şekil alabilme yeteneği ve yorulma direncidir. Şekil 3.13’de bir savaş uçağında kullanılan havacılık alüminyumları olan 2024 ve 7075’in kullanım yerleri verilmiştir (Kozan, 2023).



Şekil 3.13 Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Bölgeleri

Sonuç olarak 2024 alaşımı havacılık sektöründe kullanım alanı 7075 alaşımı ile birlikte en yüksek kullanımı olan alaşımdır. 7075 yüksek gerilim bölgelerinde 2024 ise işlenebilirlik gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Tablo 3.9’da alaşımlarının kullanım yerleri ve tercih sebepleri verilmiştir. Tabloya göre 7075 alaşımının genel olarak değişken yüklerdeki dayanımından faydalanılmaktadır. 2024 alaşımının ise mukavemeti ve şekil verilebilmesi nedeniyle bağlantı parçası olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 3.9 2024 ve 7075 havacılıkta kullanım bölgeleri ve sebepleri

Alaşım	Yoğunluk	Erime Sıcaklığı	Kullanım Alanları	Özellikler
2024	2.78 g/cm ³	502 °C	Yapısal Uygulamalar Genel Mühendislik Uygulamaları, Uçak Kanat Yapıları	Isıl işlem uygulanabilir. Yorulma dayanımı yüksek, İşlenebilir
7075	2.81 g/cm ³	466 °C	Uçak kanat ve gövde yapıları, Enjeksiyon Kalıpları, Bobin, flanş	Yüksek mukavemet, işlenebilirlik, Isıl İşleme Uygun

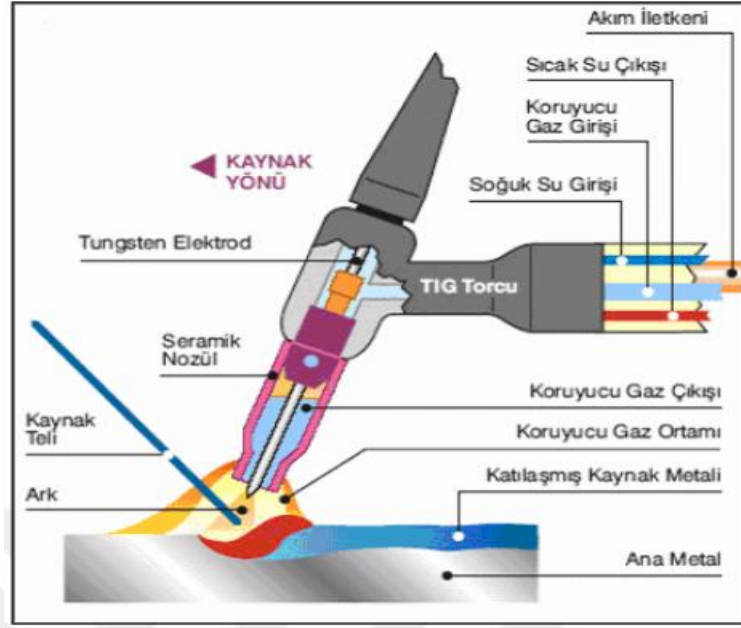
3.4 Tungsten Inert Gas (TIG) Kaynağı

Kaynak; İki farklı işlem parçasının yüksek ısı, basınç veya her ikisinin de etkisi altında birleştirilmesi ya da doldurulması işlemidir. Metallerin mekanik özelliklerine göre farklı kaynak yöntemleri kullanılabilir. Tezimizde kullanılacak olan kaynak yöntemi TIG kaynağıdır.

TIG kısaltması Tungsten Inert Gas sözcüklerinin baş harflerinin birleştirilmesi ile oluşmuştur. Kaynak tükenmeyen bir tungsten tel ve parça arasında yapılmaktadır. Ark kaynağında bir soy gaz kullanılma fikri için patent 1930 yılında ABD’de Hobart ve Devers adlı girişimciler tarafından alınmıştır. 1942 yılında ise ilk olarak uçak sanayiinde hafif metallerin birleştirilmesinde argon ve helyum gazları kullanılmıştır (Dik, 2019).

Bu yöntemde kaynak ark nedeniyle oluşan ısı nedeniyle oluşur. Dolgu malzemesi kullanılarak ya da kullanılmadan da kaynak işlemi gerçekteşir. Ark kaynak tabancasında ki tungsten ile malzeme arasında gerçekteşir. Kaynak yüzeyi operatör tarafından izlenebilir. Kaynak sonucunda cüruf tabakası oluşmaz ve bu nedenle cüruf temizleme işlemi yapılmaz (Baran, 2020).

Amerika’da genel olarak koruyucu gaz olarak helyum gazı kullanılıyor olup bu nedenle heliark kaynağı olarak anılmaktadır. Ülkemizde ise büyük oranda argon gazı kullanıldığından argon ark olarak anılmaktadır.



Şekil 3.14 TIG kaynağı torcunun şematik görüntüsü

Şekil 3.14’de kaynak metodu anlatılmıştır. Burada torcun yapısı ayrıntılı olarak verilmiştir. Şase işlem yapılacak parçaya, kutup ise torca bağlıdır. Dolgu malzemesine akım yüklemesi yapılmamakta olup kaynak bölgesi argon gazı vasıtası ile korunmaktadır.

3.4.1 TIG kaynak yönteminin avantaj ve dezavantajları

TIG kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre birtakım avantajları vardır.

Avantajları;

- Kalitesi yüksek ve iç burulmaları düşük kaynak elde edilmesi,
- Dolgu malzemesi kullanarak ya da kullanmadan çalışabilme,
- Çeşitli pozisyonlarda kaynak çalışmasına uygunluk ve özellikle ince malzemeleri kaynaklayabilme,
- Bu yöntem ile farklı cins metaller birbirine kaynak edilebilmektedir. Şekil 3.15’de buna örnek bir şekil verilmiştir.
- İzlenebilir çalışma bölgesi ve ark,
- Dolgu geçişi ark ile bağlantılı olmayıp, eklenen dolgu malzemesi ark akım şiddetine bağlı değildir. Şekil 3.15 de gösterilmiştir.
- Tungsten elektrottan kaynak malzemesine çok az miktarda karbür geçişi olur.



Şekil 3.15 Al 2024 ve GR2 malzemelerinin Al 2024 dolgu malzemesi ile TIG kaynağı ile birleştirilmesi sonucu elde edilen malzemenin görüntüsü

TIG kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre birtakım dezavantajları vardır.

Dezavantajları;

- Diğer kaynak yöntemlerine göre metal yığma hızı düşüktür.
- Et kalınlığı yüksek malzemelerin kaynağında zorluk yaşandığından ekonomik değildir.
- Koruyucu gazı ihtiyaç duyulduğundan, ekonomik olarak ek maliyete sebebiyet vermektedir.
- Kirliliğe karşı ekstra koruma önlemleri gerektirmektedir.
- İzole bir ortamda yapılması gerekmektedir.
- Ortaya çıkan son mamulün kimyasal özelliklerine müdahale edilemez.
- Erime noktası düşük metaller için kullanılamaz (Yaz, 2022).

3.4.2 TIG kaynak yönteminin kullanılan koruyucu gazlar

TIG kaynağında genel olarak tek atomlu soy gazlar olan argon ve helyum kullanılır. Tungsten telin etrafında koruyucu tabaka oluşturan gazlar, oksijen ile reaksiyonu engeller. Aksi durumda tel ark ile beraber tükenir. Ayrıca koruyucu gaz eriyen malzemenin hava ile oksitlenmesini engeller. Ayrıca seçilen gaz iyonizasyonu zorlaştırıp, kolaylaştırabilir (Baran, 2020).

Helyum gazı ele alındığında 24.5 eV iyonizasyon değerine sahip olduğundan yüksek ark gerilim elde edilir. Bu olay yüksek ısı girdisi ile kaynak nüfuziyetinin artmasını sağlar. Bu da alüminyum gibi yumuşak metallerin ön tavlama yapılmadan kaynak edilebilmesini sağlar. Helyum ve argon ele alındığından argon gazının daha fazla

tercih edilme sebebi ucuz olmasıdır. Helyum havadan daha hafif argon ise daha ağırdır (Gençdoğan, 2020).

Argon gazı elle yapılan kaynaklarda, helyum gazı ise yarı otomatik sistemlerde daha çok tercih edilir. Argon gazı kullanılırken ısıyı kontrol etmek daha kolaydır. Koruyucu gazların alevlenme, dikiş yapısı ve nüfuziyeti Tablo 3.10’da gösterilmiştir (İçli, 2023).

Tablo 3.10 Koruyucu gaz özellikleri (x: zayıf, xx: orta, xxx: yüksek)

Koruyucu Gaz	Tutuşma	Arkın Kararlılığı	Dikiş Genişliği	Nüfuziyet	Kaynak Hızı
Ar	XXX	XXX	XXX	XX	XX
Ar/He Karışımı	XXX	XXX	XX	XX	XXX
He	X	X	X	XXX	XXX
He/Ar Karışımı 25/75	XX	XX	XXX	XX	XXX
He/ar Karışımı 50/50	X	X	XX	XXX	XXX

Tablodan anlaşılacağı üzere helyum ve argon karışımli gazlarda uygulamalarda tercih edilebilmektedir. Genel olarak incelendiğinde argonun ark voltajı düşük olduğundan ince malzemelerin kaynaklanmasında, oksit temizleme özelliğinden alüminyumda, havadan ağır olmasından dolayı sarfiyatı azdır, farklı metal kaynağında kullanılabilir ve piyasada bol bulunduğundan tercih sebebidir. Helyum gazında ise; ısı etki bölgesi daha küçük, ark voltajı yüksek olduğundan ısı iletimi yüksek metallerde avantajlıdır, hızlı kaynak uygulamalarına uygundur ve dar alana fazla ısı girişi olduğundan kaynak nüfuziyeti fazladır (Güneş, 2020).

3.4.3 Dolgu malzemesi

Bu kaynak yönteminde dolgu malzemesinin belirlenmesi genel olarak kaynaklanacak ana malzemeye göre belirlenir. Bundan dolayı kaynak diğer ark kaynak yöntemlerine göre daha az sorun çıkarmaktadır. Ayrıca dolgu malzemesi direk kaynak ucundan değil de kaynak ağzına direkt besleme yapıldığından daha homojen bir yapı elde edilir. Daha verimli alaşım transferi olacağından kaynak noktası daha kuvvetli hale gelmektedir (Turhan, 2017).

Tez konumuz incelendiğinde Ti ve Al malzemeleri kaynak yapılacağından dolayı ara dolgu malzemesi olarak Al 2024 tel ($\varnothing$ 1 mm) kullanılarak daha homojen bir kaynak bölgesi amaçlanmış ve bu malzeme seçilmiştir.

3.4.4 Akım türü ve kutuplama şekilleri

Bu kaynak yönteminde genel olarak Al, Mg ve bu metallerin alaşımlarında hafif metal olduğundan genel olarak AC akım kullanılır. Arda kalan tüm metallerde ise DC akım kullanılır. Akım türü ve kutuplama en fazla nüfuziyeti etkiler (Yaz,2022).

TIG kaynağında ortaya çıkan ısı, katot yönünden anota olan elektrot akışı sonucu kaynak yüzeyine çarpma sonucu meydana gelen reaksiyondur. İyonlar elektronlara zıt yönlü hareket ederler ve kinetik enerjileri vasıtasıyla parçalara kaynak banyosu noktasında etki ederler. Pozitif kutuplamada elektrot ısınması fazla olduğundan kaynak temizlenmesi daha düşük olmaktadır (Kesen, 2023).

Tablo 3.11 Akım türleri ve özellikleri

AKIM TİPİ	DCEN	DCEP	AC
Elektrot Kutup	Negatif	Pozitif	Dengeli
Oksit Temizleme	Hayır	Evet	Her yarım saykılada bir
Arkta Isı Dengesi	%70 iş parçasında %30 elektrodun ucunda	%30 iş parçasında %70 elektrodun ucunda	%50 iş parçasında %50 elektrodun ucunda
Nüfuziyet	Derin-dar	Sığ-Geniş	Orta
Elektrot	Mükemmel	Zayıf	İyi
Dayanımı	3.2 mm 400A	6.4 mm 120A	3.2mm 225A

Alternatif akımda kutupların sürekli değişim göstermesi yarı zamanlı olarak kaynak parametrelerinin zaman DC negatif ve pozitif olarak davranış göstermesine neden olmakta ve daha yüksek kalitede kaynak vermektedir. Ama deneyimize konu olan titanyumun kaynaklanmasında bu akım kullanılamamaktadır. Akım türlerinin karşılaştırılması Tablo 3.11’de gösterilmiştir (Kesen, 2023).

Darbeli akım ise kaynak yapılan akıma ilave olarak birde kaynak esnasında, kaynak akımının inebileceği minimum akım olan akım değeri belirlenmektedir. Böylece kaynak yapılan malzemeye uzun süreli akım uygulandığında akım otomatik düşerek ısınmanın ve çarpılmanın önüne geçilmektedir (Durgutlu vd., 2008).

3.4.5 Pulse frekansı

Pulse, yani darbe frekansı, kaynak akımı ile belirlenen minimum akım arasında saniyede geçiş yapacağı sayıdır. Ne kadar çok fazla geçiş olursa yani frekans artarsa kaynak bölgesi o kadar dar olur. Bunun sebebi frekans arttıkça kaynak bölgesindeki ısının düşmesi olarak gösterilmektedir. Bu şekilde frekans ayarlaması yapılarak numune üzerindeki çarpılmalar engellenebilmektedir (Durgutlu vd., 2008).

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel aşamada belli ebatlarda kesilmiş Al 2024 levha ve GR2 levhanın Al 2024 ara dolgusu ile farklı akım şiddeti ve pulse frekanslarda eşit sürelerde TIG kaynağı ile birleştirilmesi incelenmiştir. Akım olarak DC pozitif akım kullanılmıştır. Her bir akım değeri için 20 Amper taban akım değeri kullanılmıştır. Akabinde elde edilen 9 adet farklı numuneye X-ray, çekme ve sertlik testleri uygulanmıştır. Bu sonuçlara göre en uygun kaynak parametresinin değerleri irdelenmiştir.

GR2 yüzde 99 oranında saf titanyum içermekle beraber kimyasal bileşenleri Tablo 4.1’de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.1 Ti GR2 kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşimi (Grade 2)						
Kalite	Ti	H	C	Fe	O	N
GR2	Kalan miktar	%0.015 maks.	%0.08 maks.	%0.30 maks.	%0.30maks.	%0.03maks.

Al 2024 malzemesinin kimyasal bileşenleri Tablo 4.2’de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiş olup, yüzde 95 oranında Al içermektedir.

Tablo 4.2 Al 2024 kimyasal özellikleri

Malzeme	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
2024	0,40	0,41	4,50	0,50	1,50	0,20	0,12	0,07

Kullanılan ara dolgu malzemesi ise özellikler kaynak edilecek malzemelerden Al 2024 seçilmiştir olup GR2’nin erime noktasının yüksek olması ve o sıcaklığa ulaşılırken Al 2024’ün akmasına sebebiyet verileceğinden bu malzeme seçilmiştir.

Ayrıca malzemeler seçilirken karbon eşdeğerleri hesaplanarak her iki malzemenin de kaynaklanabilirliği incelenmiştir. Hesaplama da alaşımlardaki tüm Karbon yüzdesi, Krom, Molibden ve Vanadyumun beş de biri, Mangan element yüzdesinin altı da biri ve Nikel ve Bakır yüzde toplamının on beş de biri alınarak tüm değerler toplanarak hesaplanmıştır. Al 2024 için değer 0,41 çıkmış ve bu değer iyi bir kaynaklanabilme

kabiliyetine işaret etmektedir. Ti GR değeri ise 0,08 çıkmış ve bu değer mükemmel bir kaynaklanabilme değerine işaret etmektedir. Tüm bunlar bu iki metalin seçilmesinde etken olmuştur.

4.1 Kullanılan TIG Kaynak Makinası ve Özellikleri

Kaynaklama için kullanılan kaynak makinası Lincoln Electric firmasına ait Precision TIG 375 modelidir. Bu makine kullanıcıya birçok konuda opsiyonel değişiklik fırsatı tanımakta ve kaynak için en efektif değerlerin elde edilmesi için hareket imkânı sağlamaktadır. Şekil 4.1’de makinanın kontrol paneli ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 4.1 Lincoln Electric Precision TIG 375 modeli TIG kaynak makinası ve kontrol ünitesi

Kullanılan kaynak makinası hem otomatik hem de ayak pedalı vasıtası ile kaynak yapabilmekte otomatik modda akımı kesintisiz olarak sabit vermekte pedallı sistemde ise operatör kesintili olarak kaynak akımını verebilmektedir. Yapılan çalışmada akım sürekliliği otomatik sistem ilk olarak denenmiş ancak Al 2024 malzemesi üzerinde

kaynak esnasında yük ısıya akabinde erimeye neden olduğundan operatör vasıtasıyla pedallı sistem kullanılmıştır.

Torç ucu olarak tungsten tel kullanılmıştır. Kaynak akımı olarak 3 farklı değer olan 30, 40 ve 50 A uygulanarak kaynak yapılmıştır. Taban akım değeri için 20 A seçilmiştir. Her bir akım değeri için 10, 14 ve 18 Hz pulse frekans değerleri kullanılmış ve toplamda 9 numune elde edilmiştir. Her bir numune için mekanik testler yapılmıştır. Şekil 4.2’de Kaynak makinasının kaynak yapmaya hazır hali verilmiştir.



Şekil 4.2 TIG kaynak makinasının kaynağa hazır görseli

Kaynak parçalarını tutmak ve sadece torç üzerinden değil aynı zamanda kaynak malzemesinin altından da argon gazı verilmesi böylece daha iyi kaynak kalitesi elde etmek için back-up kullanılmıştır. Back-up vasıtası ile alttan üflenene argon gazı kaynak nüfuziyetini artırmış ve kaynak bölgesindeki O miktarını minimize etmiştir. Şekil 4.3’de back-up, torç ve kaynak edilen malzemelerin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.3 Back-up, torc ve kaynak edilen malzemelerin görseli

Kaynak bölgesine verilen Ar gazı basıncı sürekli olarak kontrol edilmiş ve 175 Bar olarak sabitlenmiştir. Bu vasıta ile tüm kaynak numuneleri arasında oluşabilecek farklılıklar engellenmiştir. Şekil 4.4’de Argon basınç saati verilmiştir.



Şekil 4.4 Argon basınç saati

4.2 Numunenin Hazırlanışı

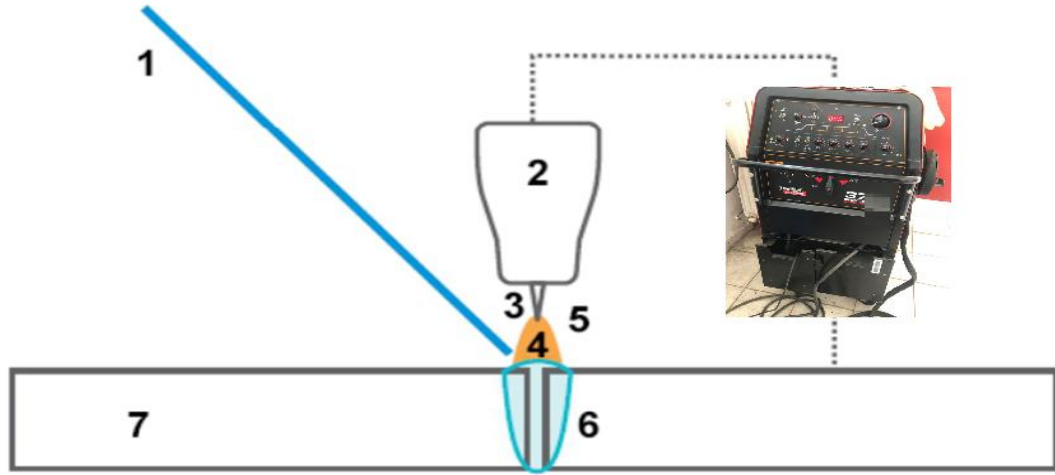
Al 2024 ve Ti GR2 malzemeleri ilk olarak giyotin vasıtası ile istenilen boyutlara yakın olarak kesilmiş kabinde Metcon Micracut 151 marka ve modeli cihaz ile dijital konumlandırma vasıtası ile 1x20x100 mm olacak şekilde sentetik soğutma ile hassas bir şekilde kesilmiştir. Hassas kesme makinesi Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Hassas kesme cihazı

Kesilen tabakaların kaynak edilecek uç kısımları, birbirini karşılayacak şekilde konumlandırılmış, istemeyen kalıntıların ortadan kaldırılması ve kaynağın daha iyi tutması için 300’den 1200 gride kadar silisyum karbür içerikli zımpara ile aşındırılmış ve temizlenmiştir. Akabinde saf alkol ile yüzey temizlenip, oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Şekil 4.6’de kaynak numunelerinin kaynak öncesi konumlandırılması ve kaynak yüzeyleri gösterilmiştir. Görseldeki 1 sayısı kaynak dolgu malzemesini, 2 torcu, 3 tungsten elektrodu, 4 arkı, 5 koruyucu gazı, 6 ve 7 1x20x100 mm ebadındaki kaynak levhalarını ifade etmektedir.



Şekil 4.6 Kaynak yapılacak malzemelerin ve torcun konumlandırılması

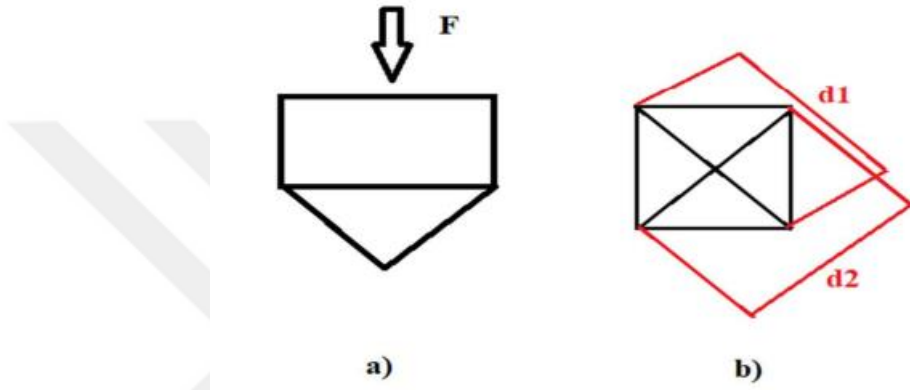
TIG kaynak işlemi için Tablo 4.3’de verilen parametre kullanılmıştır. Olası Oksit tabakası engellenmesi için torç ucu haricinde ayrıca back-up vasıtasıyla Yüzde 99,9 saflıkta Ar gazı kaynak bölgesine alt bölgeden ihtiva ettirilmiştir. Ayrıca kaynak edilecek malzemelerin kaymaması ve ısı aktarımı için malzemeler back-up üzerindeki mengene vasıtasıyla back-up üzerine sabitlenmiş ve kayması engellenmiştir. Bu şekilde kaynak edilen malzemenin kaynak bölgesinde akma yapması engellenmiş ve daha düzgün kaynak elde edilmiştir.

Tablo 4.3 Al 2024 ve GR2 kaynak parametreleri

DENEY NO	TIG KAYNAK PARAMETRELERİ	
	AKIM ŞİDETİ (AMPER)	PULSE FREKANSI (Hz)
1	30	10
2	30	14
3	30	18
4	40	10
5	40	14
6	40	18
7	50	10
8	50	14
9	50	18

4.3 Mikrosertlik Testi

Kaynak işleminden sonra birleştirilen numunelerin kaynak bölgesindeki sertliğini ölçmek için piramit uçlu basma ucu ile kaynak bölgesine bası uygulanır. Bu şekilde iki uç arasından dikdörtgensel bir alan oluşur. Ortaya çıkan izin köşegenlerinin mesafesi ölçülerek, formül vasıtası ile sertlik sonucu elde edilir (Yeşiltaş, 2022). Sertlik testinin prensibi Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 Sertlik testinin prensibi a) Basma ucu b) Köşegen uzunlukları

Sertlik kaynak bölgesine AOB markalı Hardness Vickers Test cihazı ile sertlik değerleri farklı yüklerin farklı sürelerde uygulanması ile elde edilebilir. Şekil 4.8’de test cihazının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.8 Mikro Sertlik Cihazı

4.4 Çekme Testi

Elde edilen toplamda 9 adet numune çekme testi için hem statik hem de dinamik yüklerde test için kullanılabilen Instron BS 8801 model makine kullanılmıştır. 200 cm uzunluğundaki birleştirilen iş parçaları t ağızlı mengenalere özenle yerleştirilmiş akabinde parçanın herhangi bir noktasından kopma gerçekleşene kadar 3 mm/dk sürekli yüke maruz bırakılmıştır. İş parçalarının bir kısmı kaynak bölgesinden bir kısmı ise direk olarak nispeten yumuşak olan Al 2024 kısmından kopmuştur. Şekil 4.8’de çekme testi cihazı gösterilmiştir.

Kopma sonrasında numuneler alınarak incelemesi yapılmış, buna tabi olarak en uygun kaynak parametreleri belirlenmesi için yorumlamada kullanılmıştır. Çekme sonuçları makinadan döküm alınarak gerekli grafiklendirmeler ve malzemenin kaynak bölgesinin akma dayanımı gibi özelliklerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Buda numunelerin kaynak bölgesindeki mekanik özellikleri makine vasıtasıyla belirlenebilmesi sayesinde olmuştur.



Şekil 4.9 Instron BS 8801 Çekme Test Cihazı

4.5 X-Ray Testi

X-ray ışın muayenesi parçaların yapısal olarak değerlendirilmesi için kullanılan hacimsel bir tekniktir. Gönderilen X ışınları malzemenin yoğunluğuna göre alttaki film tabakasına farklı renk tonlarıyla geçiş yaparak zayıf noktaların görülmesini sağlar. Yani yoğunluğa göre bir nevi yoğunluk haritası ortaya çıkmaktadır (Sorgun,2022).

Numuneler YXLONWL 3001 marka ve modelli X-ray test cihazı ile yapılmıştır. Cihazımız 230 V sabit elektrik gücü ile çalışmaktadır. Çalışma frekansı 50-60Hz aralığındadır. Şekil 4.9’da gösterilen cihaz görselinde görülen sarı renkteki tüp başından x ışını malzeme üzerine gönderilerek, film üzerine yoğunluğa bağlı olarak siyahtan beyaza doğru renklendirilmiş bir yoğunluk filmi ortaya çıkarılır. Makinanın değişkeni olmayıp otomatik olarak kendi çalışma aralığında çalışmaktadır. Bu şekilde yoğunluğa bağlı olarak otomatik olarak X-ray röntgeni çekilmektedir. Bu şekilde kaynak üzerindeki noktasal renk farkları bize noktasal hataları vermektedir. Eğer film üzerinden sürekliliği bozan noktasal emareler varsa bu hatalar bu şekilde tespit edilebilmektedir.



Şekil 4.10 YXLON WL 3001 X-Ray Test Cihazı

5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Çalışmada Alüminyum 2024 ve Titanyum (GR2) malzemelerinin TIG kaynağı ile birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numuneler ilk olarak X-ray incelemesi yapılmış daha sonra ise mikrosertlik ve çekme testleri yapılmıştır. Yapılan testler komplike olarak incelenerek hangi kaynak parametrelerinin optimal kaynak kalitesinin elde edilmesinde uygun olacağı irdelenmiştir.

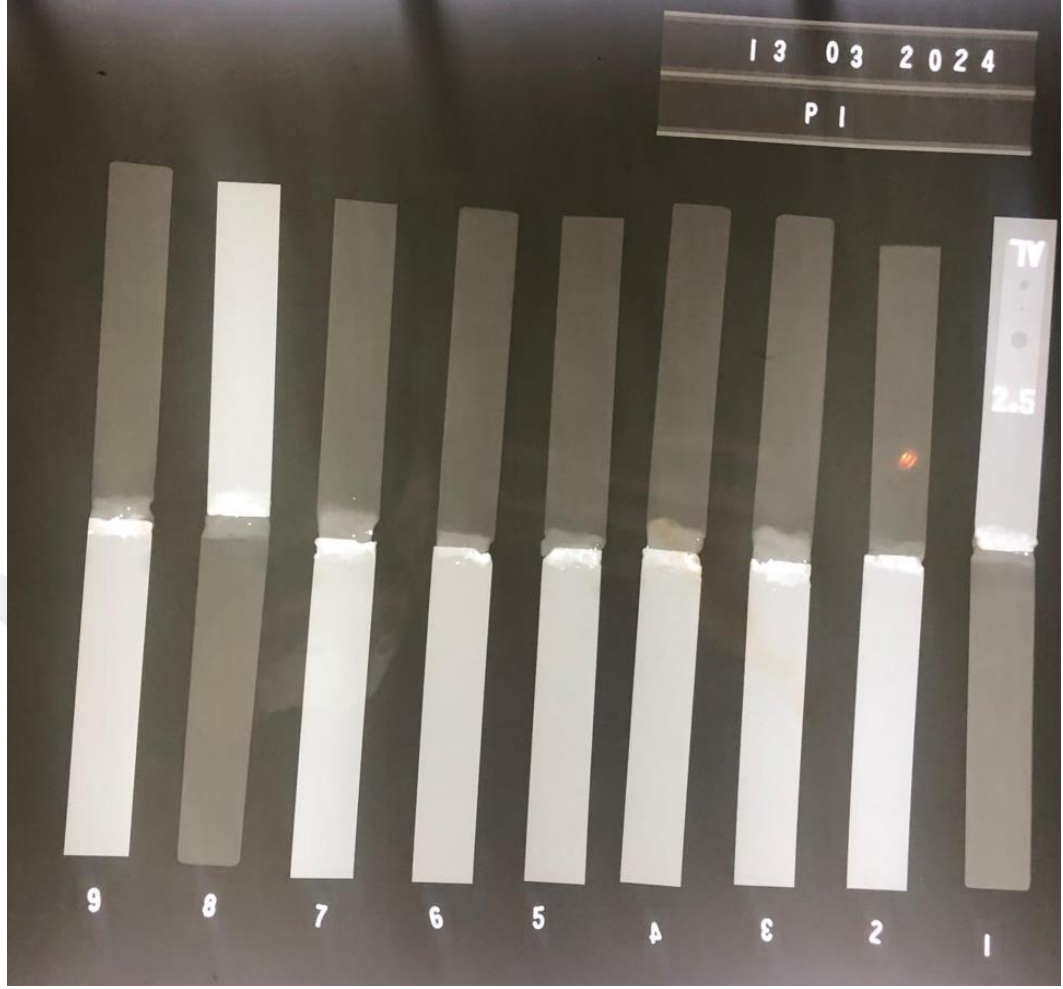
5.1 X-Ray Testi Görüntüleme Sonuçları

Bu yöntem uygulanarak numunelerin yüzeysel ve yüzey altı olmak üzere kaynak sürekliliği incelenmiştir. Herhangi bir çatlak veya süreksizlik oluşup oluşmadığı ve iki farklı numunenin birbirine kaynaklanıp kaynaklanmadığı irdelenmiştir.

Tablo 5.1 X-Ray çıktısında görülen numune numaraları ve numunelerin parametreleri

NUMUNE NO	TIG KAYNAK PARAMETRELERİ	
	AKIM ŞİDETİ (AMPER)	PULSE FREKANS (MHz)
1	30	10
2	30	14
3	30	18
4	40	10
5	40	14
6	40	18
7	50	10
8	50	14
9	50	18

Tüm numuneler tek bir X-Ray tablası üzerine dizilmiş ve çelik numaratorler ile numaralandırılmıştır. Akabinde X-Ray görüntülemesi gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.1’de tabla üzerindeki numunelere verilen numaralar verilmiş ayrıca ilgili numunenin kaynak parametreleri yazılmış ve işlem gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1 X-Ray Testi görüntüsü

Şekil 5.1’de X-Ray testi görüntüleme sonucu gözükmemektedir. Açık renkli numuneler Al 2024 numunesi, koyu renkli numune ise GR2 numunesidir. Yapılan inceleme sonucunda kaynak bölgesindeki renk tonu farklılıkları numuneler arası atomik geçiş olduğunun kanıtıdır. Buda sonuç olarak kaynaklama işleminin doğru bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

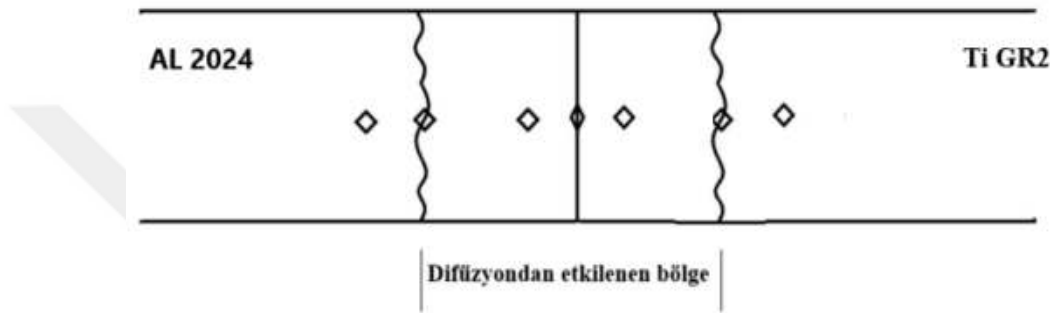
Yapılan deney sonucu kontrollerinde, X-Ray filminde kaynak bölgesinde herhangi bir yüzeysel ya da yüzey altı çatlak görülmemiştir. Bu durum da kaynak işleminin başarılı bir şekilde sonuçlandığının başka bir göstergesidir.

Ek olarak 1, 4, 7 ve 9 numaralı numunelerin kaynak bölgelerinde noktasal olarak parlaklıklar görülmektedir. Bu noktaların kaynak başından kaynaklı olarak o bölgeye geçen ve zararsız bir kaynak hatası olan Tungsten olduğu düşünülmektedir. Kaynak

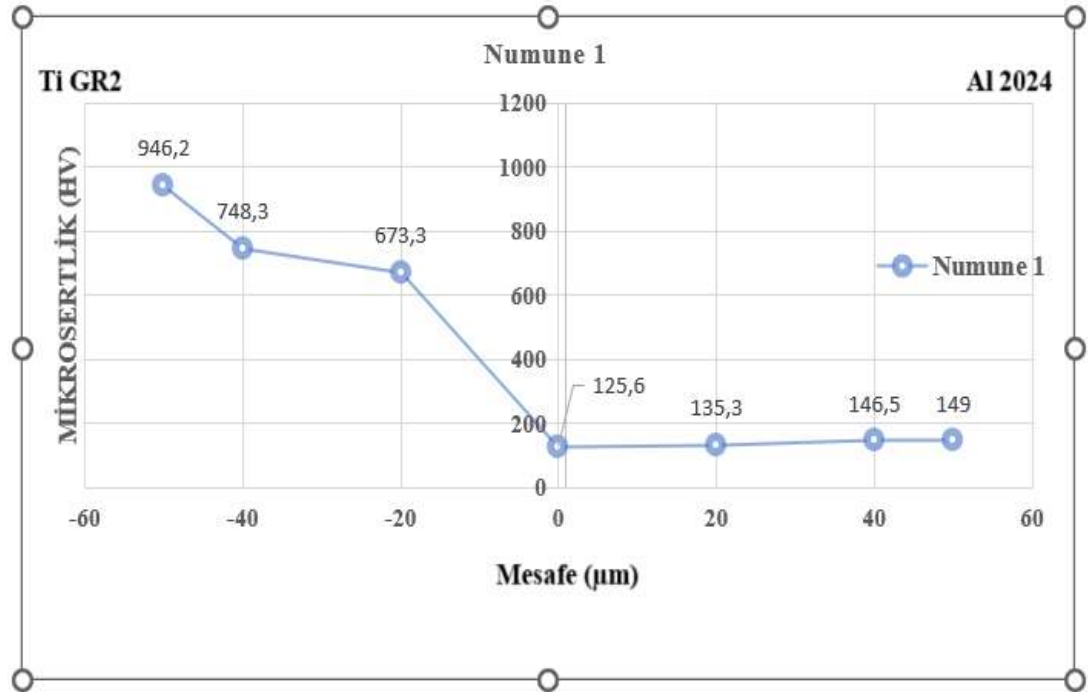
esnasında yapılan hatalı bir dokunuş sonucu bölgede kalmıştır ve kaynak kalitesine bir etkisi yoktur.

5.2 Mikrosertlik Test Sonuçları

Bu yöntem ile kaynak merkezi, ısıdan etkilenen alan ve bu alanın dışı olmak üzere toplam 7 noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır. Şekil 5.2’de yaklaşık ölçüm noktaları verilmiştir.

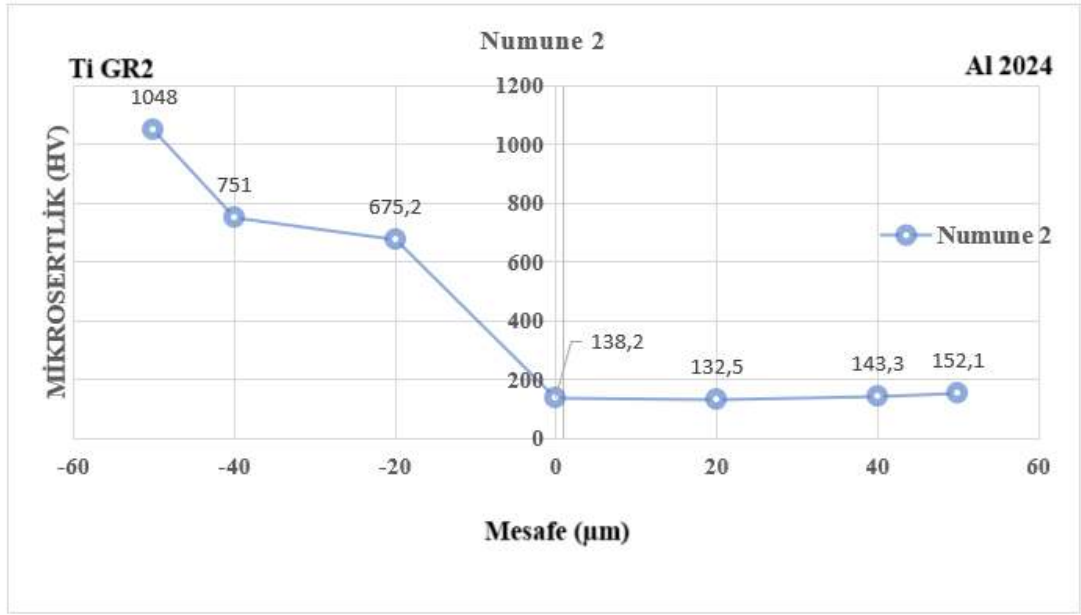


Şekil 5.2 Mikrosertlik ölçümü yapılan noktaların lokasyonları



Şekil 5.3 30 A akım ve 10 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 125,6 olan sertlik Al 2024 yönünde 20 μm artışta 135,3 HV değerine yükselmiş ve bu yöndeki her mesafe artışında değer yükselmiştir. 50 μm mesafede 149 HV değerine gelerek ortalama Al 2024 sertlik değerine çok yaklaşmıştır. Aynı şekilde kaynak merkezinden GR2 yönüne doğru 20 μm artışla 673,3 HV değeri görülmüş ve artış 50 μm noktasında ortalama GR2 değerine ulaşmıştır. Şekil 5.3’de grafik halinde gösterilmiştir.

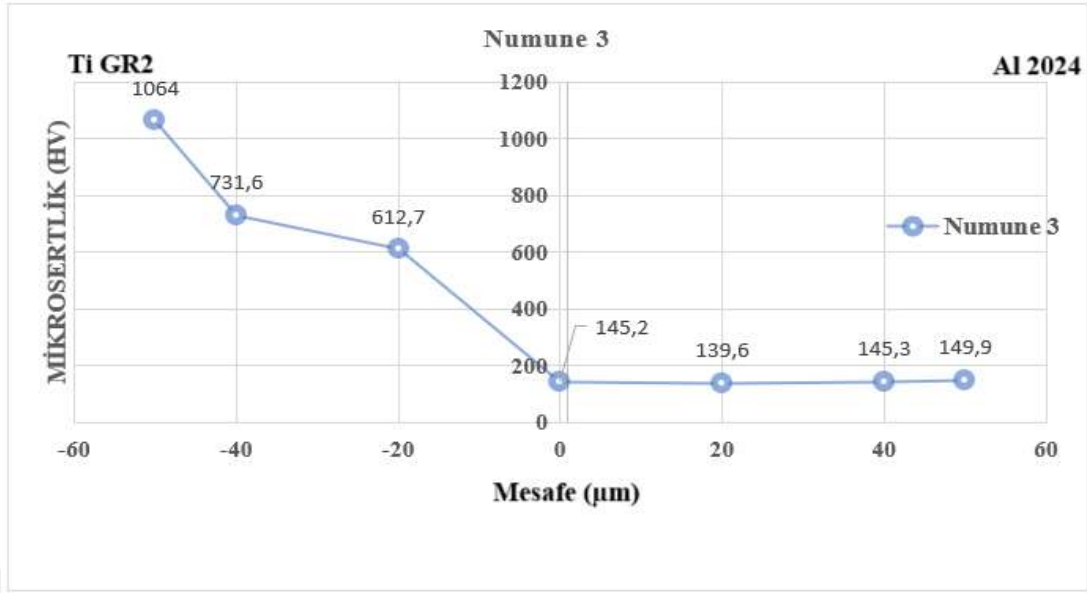


Şekil 5.4 30 Amper akım ve 14 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 138,2 olan sertlik Al 2024 yönünde 20 μm artışta 132,5 HV değerine düşmüş ve bu yöndeki her mesafe artışında değer yükselmiştir. 50 μm mesafede 152,1 HV değerine gelerek ortalama Al 2024 sertlik değerine çok yaklaşmıştır.

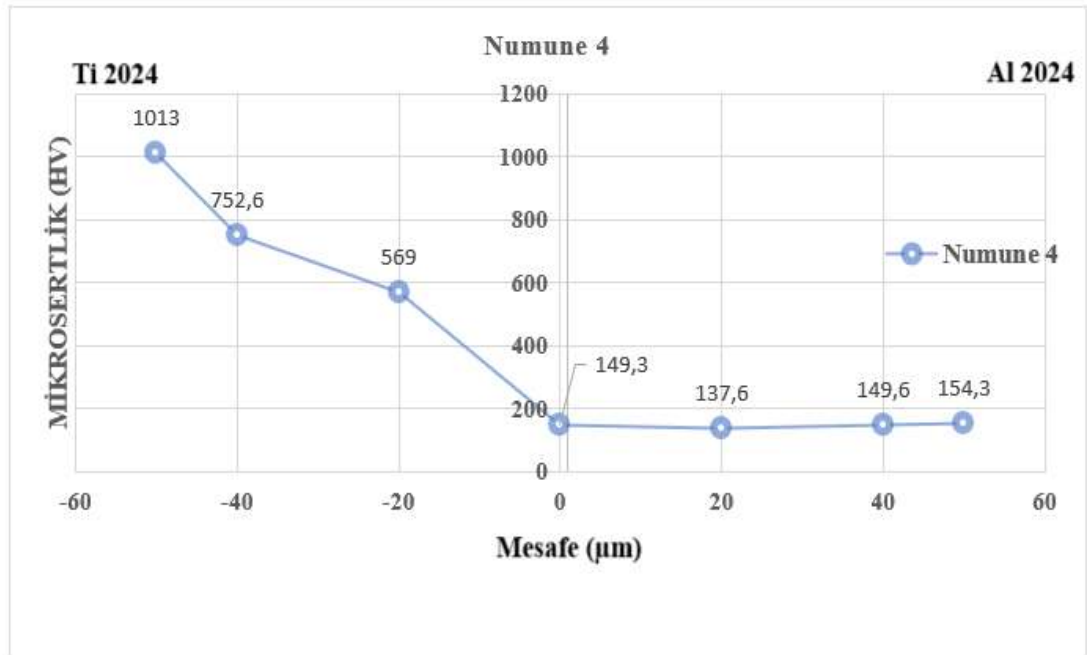
Aynı şekilde kaynak merkezinden GR2 yönüne doğru 20 μm artışla 675,2 HV değeri görülmüş ve artış 50 μm noktasında 1048 HV ölçülerek, ortalama GR2 değerine çok yaklaşmıştır. Elde edilen değerler Şekil 5.4’de grafik halinde gösterilmiştir.

Bu değerler özellikle Al 2024 bölgesinde, mesafe artışına göre Numune 1’e göre farklılık göstermiştir.



Şekil 5.5 30 Amper akım ve 18 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği

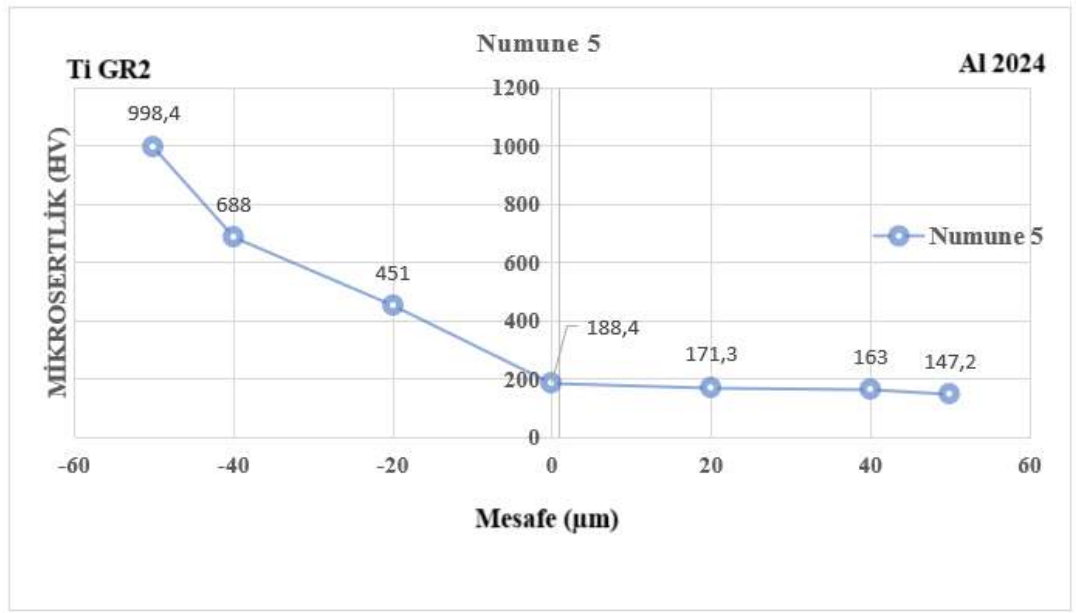
Kaynak merkezinde 145,2 olan sertlik Al 2024 yönünde 20 μ m artışta 139,6 HV değerine düşmüş ve bu yöndeki her mesafe artışında değer yükselmiştir. 50 μ m mesafede 149,9 HV değerine gelerek ortalama Al 2024 sertlik değerine çok yaklaşmıştır. Aynı şekilde kaynak merkezinden GR2 yönüne doğru 20 μ m artışla 612,7 HV değeri görülmüş ve artış 50 μ m noktasında 1064 HV ölçülerek, ortalama GR2 değerine çok yaklaşmıştır. Şekil 5.5’de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 5.6 40 Amper akım ve 10 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 149,3 olan sertlik Al 2024 yönünde 20 μm artışta 137,6 HV değerine düşmüş ve bu yöndeki her mesafe artışında değer yükselmiştir. 50 μm mesafede 154,3 HV değerine gelerek ortalama Al 2024 sertlik değerine çok yaklaşmıştır.

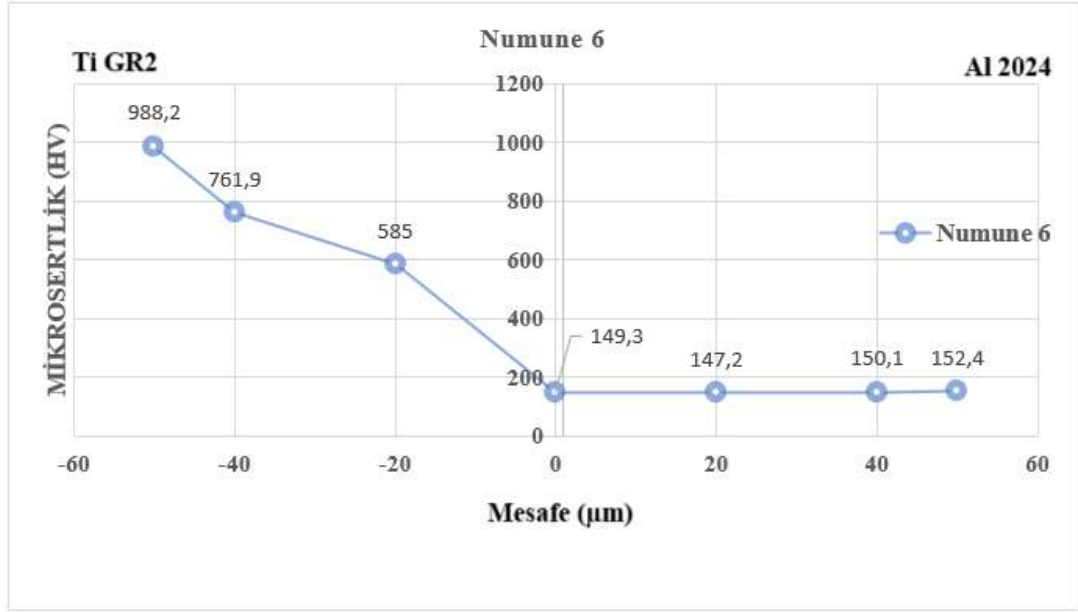
Aynı şekilde kaynak merkezinden GR2 yönüne doğru 20 μm artışla 569 HV değeri görülmüş ve artış 50 μm noktasında 1013 HV ölçülerek, ortalama GR2 değerine çok yaklaşmıştır. Şekil 5.6'de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 5.7 40 Amper akım ve 14 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 188,4 olan sertlik Al 2024 yönünde 20 μm artışta 171,3 HV değerine düşmüş ve bu yöndeki her mesafe artışında değer düşmeye devam etmiştir. 50 μm mesafede 147,2 HV değerine gelerek ortalama Al 2024 sertlik değerine çok yaklaşmıştır.

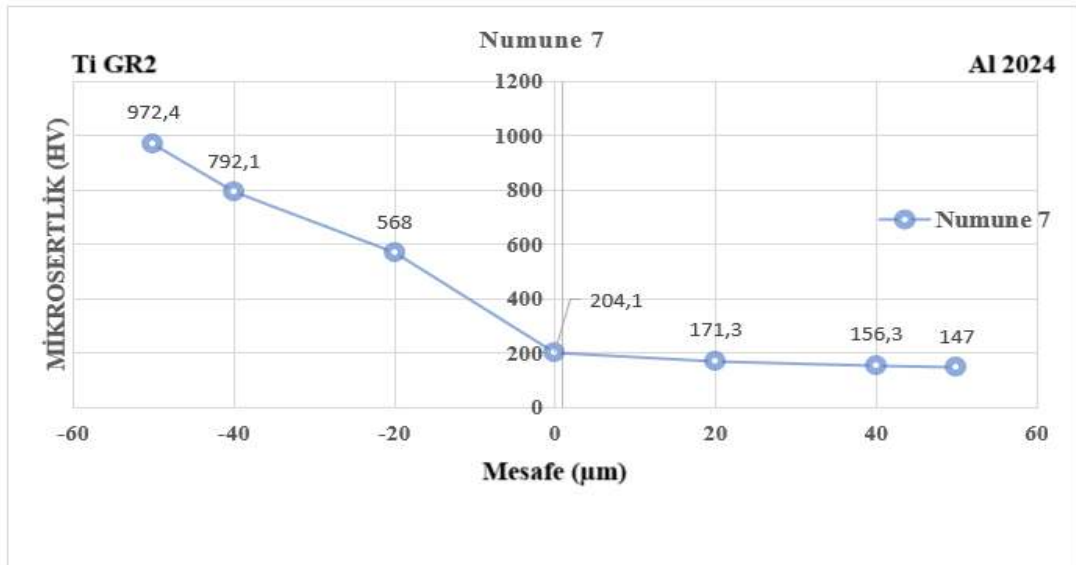
Aynı şekilde kaynak merkezinden GR2 yönüne doğru 20 μm artışla 451 HV değeri görülmüş ve artış 50 μm noktasında 998,4 HV ölçülerek, ortalama GR2 değerine çok yaklaşmıştır. Şekil 5.7'de grafik halinde gösterilmiştir. Bu grafikte okunan -20 μm bölgesindeki değer, şimdiye kadar incelenlere göre nispeten düşüktür.



Şekil 5.8 40 Amper akım ve 18 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 149,3 olan sertlik Al 2024 yönünde 20 μm artışta 147,2 HV değerine düşmüş ve bu yöndeki her mesafe artışında değer yükselmiştir. 50 μm mesafede 152,4 HV değerine gelerek ortalama Al 2024 sertlik değerine çok yaklaşmıştır.

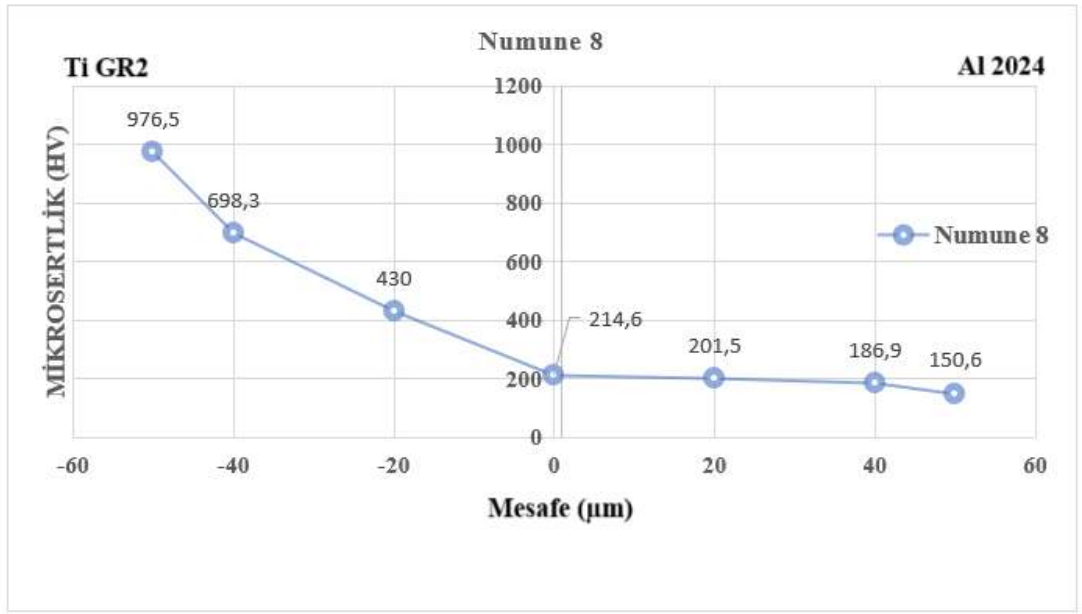
Aynı şekilde kaynak merkezinden GR2 yönüne doğru 20 μm artışla 585 HV değeri görülmüş ve artış 50 μm noktasında 988,2 HV ölçülerek, ortalama GR2 değerine çok yaklaşmıştır. Şekil 5.8’de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 5.9 50 Amper akım ve 10 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 204,1 olan sertlik, Al 2024 yönünde 20 μm artışta 171,3 HV değerine düşmüş ve bu yöndeki her mesafe artışında değer düşmeye devam etmiştir. 50 μm mesafede 147 HV değerine gelerek ortalama Al 2024 sertlik değerine çok yaklaşmıştır.

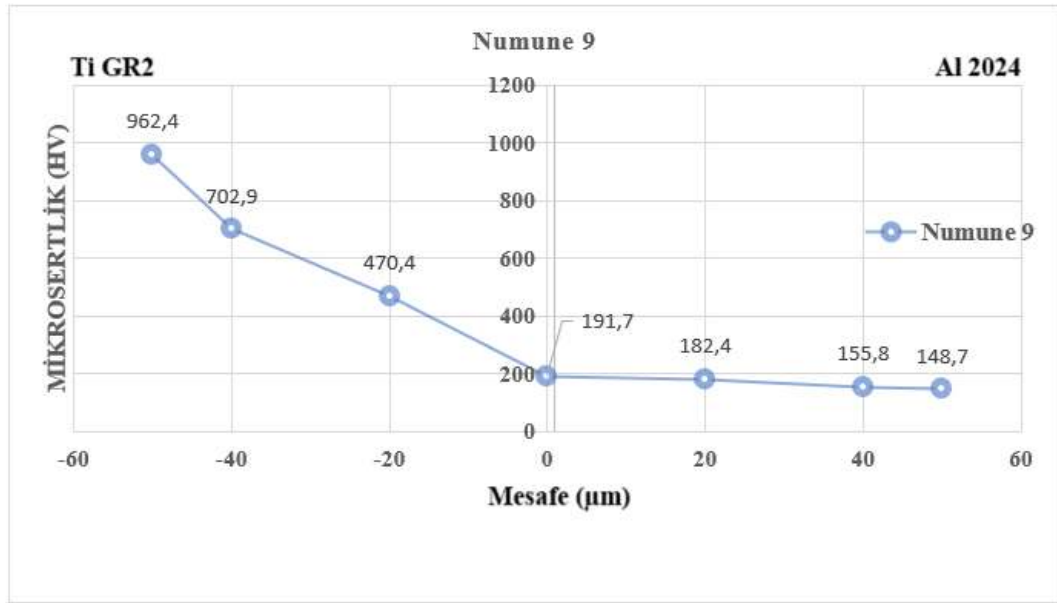
Aynı şekilde kaynak merkezinden GR2 yönüne doğru 20 μm artışla 568 HV değeri görülmüş ve artış 50 μm noktasında 972,4 HV ölçülerek, ortalama GR2 değerine çok yaklaşmış, sonuç Şekil 5.9'de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 5.10 50 Amper akım ve 14 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 214,5 olan sertlik Al 2024 yönünde 20 μm artışta 201,5 HV değerine düşmüş ve bu yöndeki her mesafe artışında değer düşmeye devam etmiştir. 50 μm mesafede 150,6 HV değerine gelerek ortalama Al 2024 sertlik değerine çok yaklaşmıştır.

Aynı şekilde kaynak merkezinden GR2 yönüne doğru 20 μm artışla 430 HV değeri görülmüş ve artış 50 μm noktasında 976,5 HV ölçülerek, ortalama GR2 değerine çok yaklaşmış ve Şekil 5.10'de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 5.11 50 Amper akım ve 18 Hz pulse frekans ile kaynaklanmış numunenin sertlik grafiği

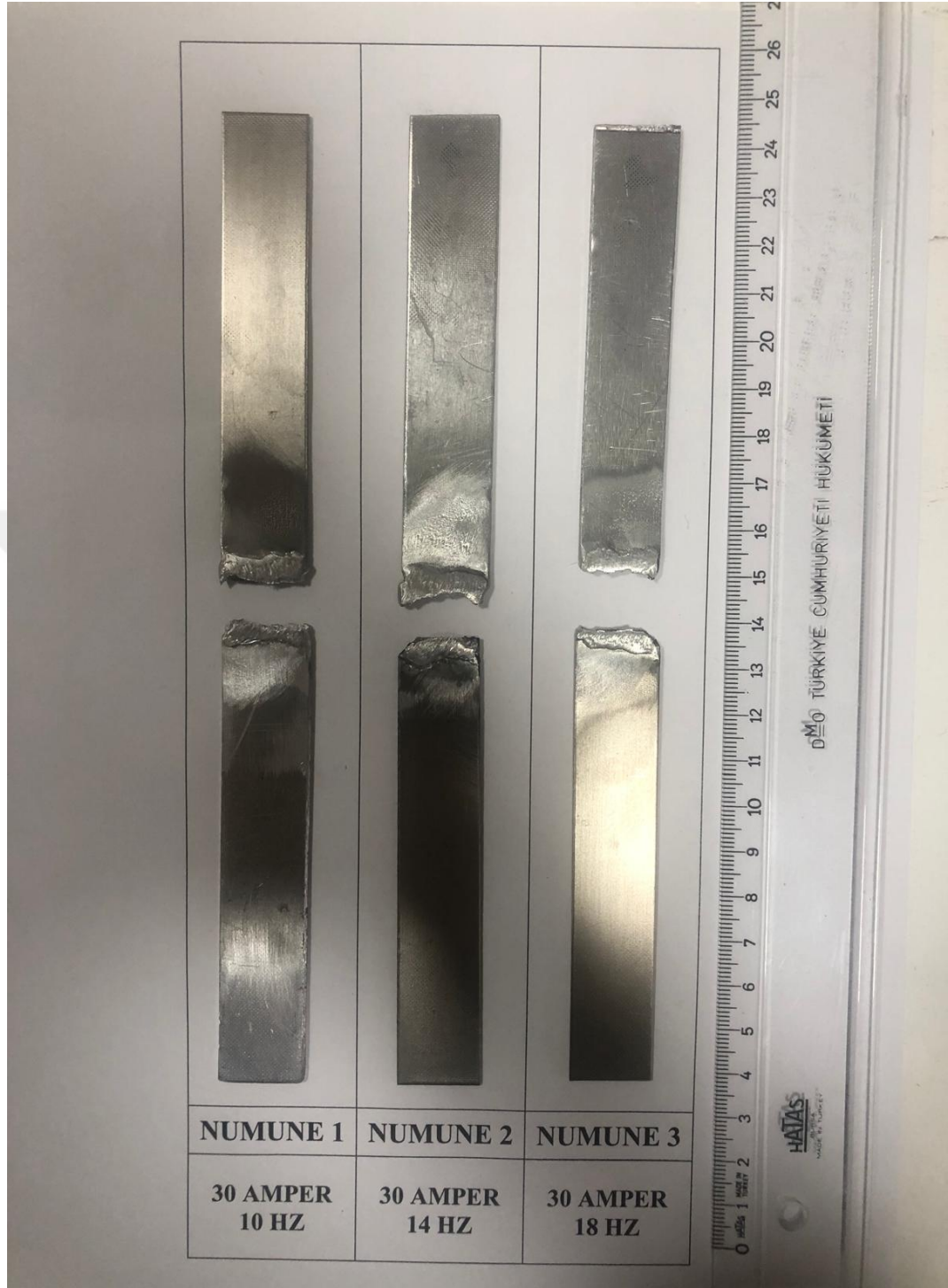
Kaynak merkezinde 191,7 olan sertlik Al 2024 yönünde 20 μm artışta 182,4 HV değerine düşmüş ve bu yöndeki her mesafe artışında değer düşmeye devam etmiştir. 50 μm mesafede 148,7 HV değerine gelerek ortalama Al 2024 sertlik değerine çok yaklaşmıştır.

Aynı şekilde kaynak merkezinden GR2 yönüne doğru 20 μm artışla 470,4 HV değeri görülmüş ve artış 50 μm noktasında 962,4 HV ölçülerek, ortalama GR2 değerine çok yaklaşmıştır. Şekil 5.10'de grafik halinde gösterilmiştir.

5.3 Çekme Testi Sonuçları

Çekme deneyinde numuneler 3mm/dk güç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bazı numuneler kaynak bölgesinden kopmuş, bazı numuneler ise ana metalden koptuğu gözlemlenmiştir.

Şekil 5.12'de 30 Amper kaynak akımında birleştirilmiş, 10, 14 ve 18 Hz pulse frekansına sahip numunelerin çekme sonuç görselleri verilmiştir. Tüm numuneler görüleceği üzere kaynak bölgesinden kopmuştur.



Şekil 5.12 30 Amper akım ve sırasıyla 10, 14, 18 Hz pulse frekansı ile kaynaklanmış numunelerin çekme testi sonucu kopma görselleri

Şekil 5.13’de 40 Amper akımla kaynak yapılmış, 10, 14 ve 18 Hz pulse frekansındaki numunelerin kopmuş haldeki görselleri verilmiştir. 14 Hz dalga boyu hariç tüm numuneler kaynak bölgesinden kırılmıştır. 14 Hz ise Alüminyum bölgesinden kopmuştur.

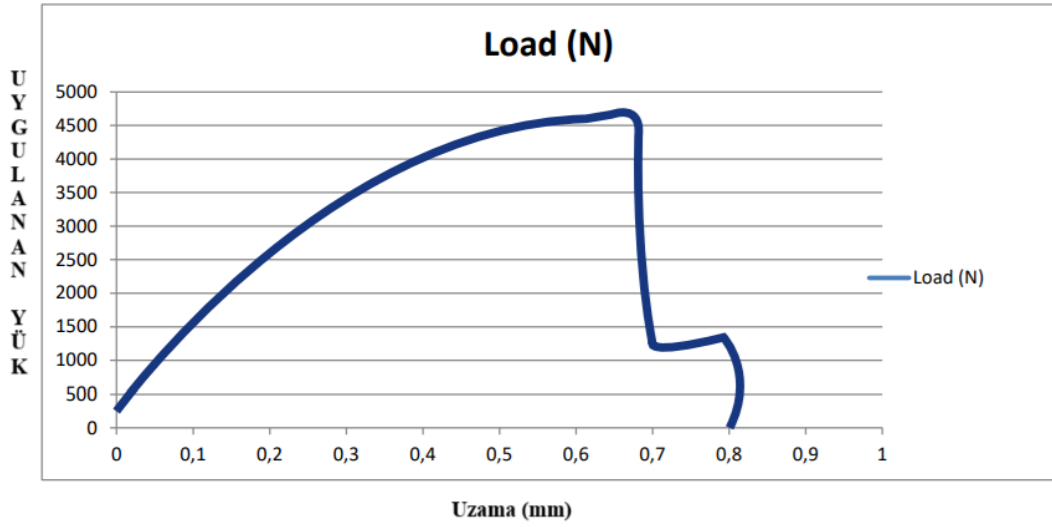


Şekil 5.13 40 Amper akım ve sırasıyla 10, 18, 14 Hz pulse frekansı ile kaynaklanmış numunelerin çekme testi sonucu kopma görselleri

Şekil 5.14’de 50 Amper kaynak akımında yapılmış, 10, 14 ve 18 Hz pulse frekansındaki numunelerin kopmuş haldeki görselleri verilmiştir. Tüm numuneler Alüminyum ana malzemesinden kopmuştur.



Şekil 5.14 50 Amper kaynak akımı uygulanmış ve sırasıyla 10, 14, 18 Hz pulse frekansı ile kaynaklanmış numunelerin çekme testi sonucu kopma görselleri



Şekil 5.15 30 Amper 10 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği

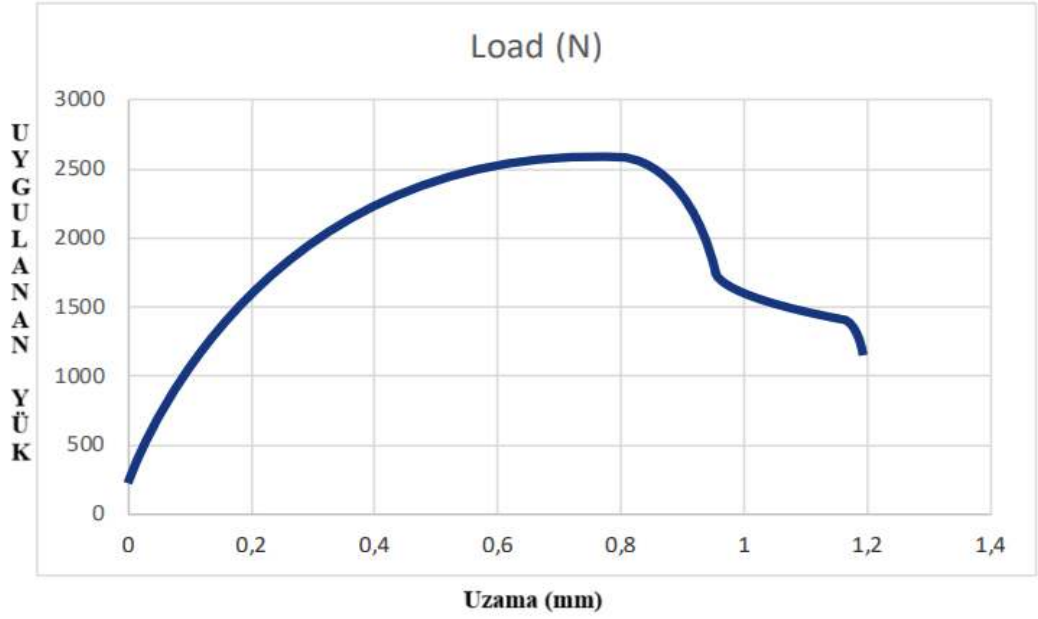
Şekil 5.15’de 30 Amper kaynak ve 20 A taban akımında yapılmış, 10 Hz pulse frekansındaki numunelerin kopma dayanımı verilmiştir. Malzeme 4514,20 N değerinde yükte iken kopmuştur. Uzama miktarı 0.81 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca numune 125,65 MPa değeri akmanın başladığı basınç, kopmanın gerçekleştiğinde uygulanan basınç ise 225,70 MPa’dır.



Şekil 5.16 30 Amper 14 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği

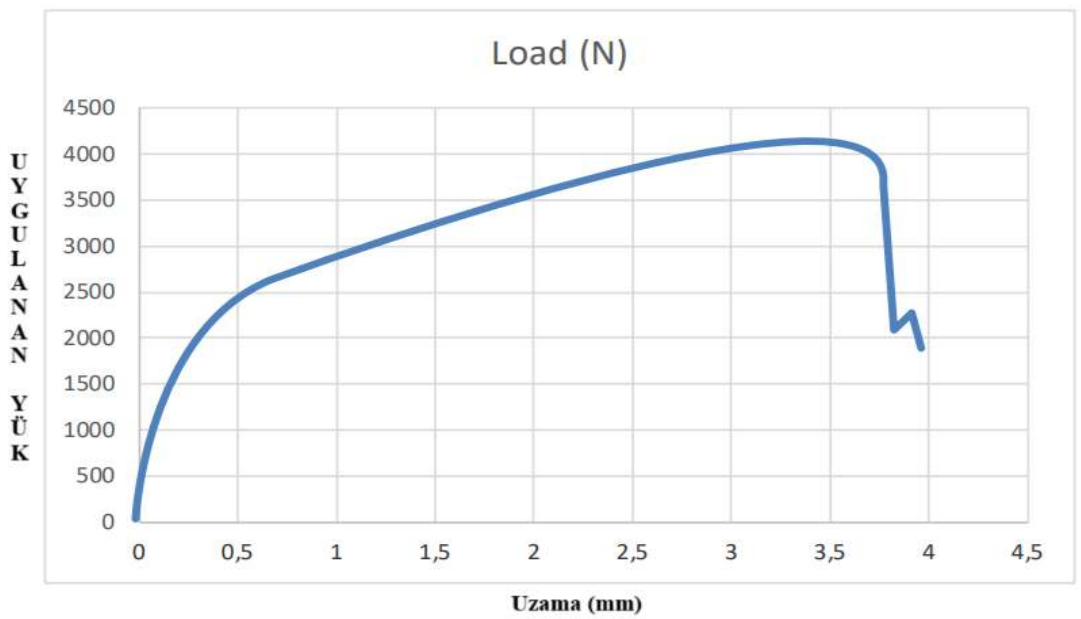
Şekil 5.16’de 30 Amper kaynak ve 20 A taban akımında yapılmış, 14 Hz pulse frekansındaki numunelerin kopma dayanımı verilmiştir. Malzeme 3501,32 N değerinde yükte iken kopmuştur. Uzama miktarı 2.42 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca

numune 113,18 MPa değeri akmanın başladığı basınç, kopmanın gerçekleştiği basınç ise 183,52 MPa'dır.



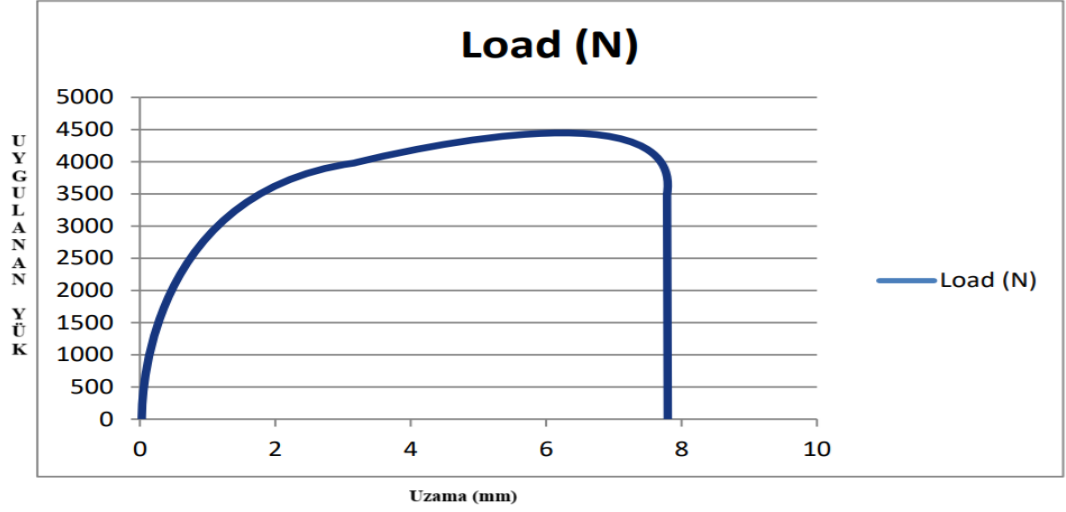
Şekil 5.17 30 Ampere 18 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği

Şekil 5.17'de 30 Ampere kaynak ve 20 A taban akımında yapılmış, 18Hz pulse frekansındaki numunelerin kopma dayanımı verilmiştir. Malzeme 2601,99 N değerinde yükte iken kopmuştur. Uzama miktarı 1,18 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca numune 95,33 MPa değeri akmanın başladığı basınç, kopmanın gerçekleştiği basınç ise 135,10MPa'dır.



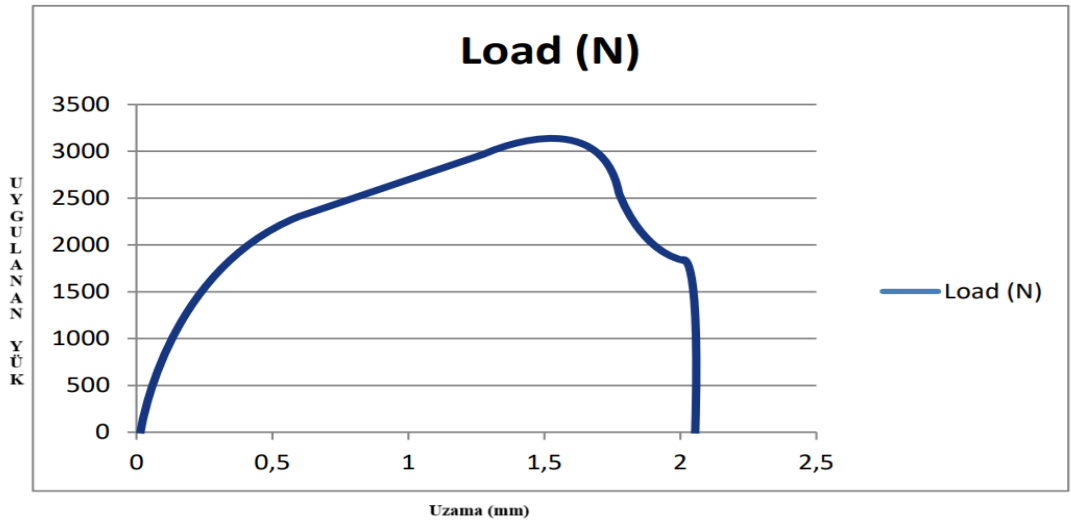
Şekil 5.18 40 Ampere 10 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği

Şekil 5.18’de 40 Amper kaynak ve 20 A taban akımında yapılmış, 10 Hz pulse frekansındaki numunelerin kopma dayanımı verilmiştir. Malzeme 4146,09 N değerinde yükte iken kopmuştur. Uzama miktarı 3,93 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca numune 104,07 MPa değeri akmanın başladığı basınç, kopmanın gerçekleştiği basınç ise 207,30 MPa’dır.



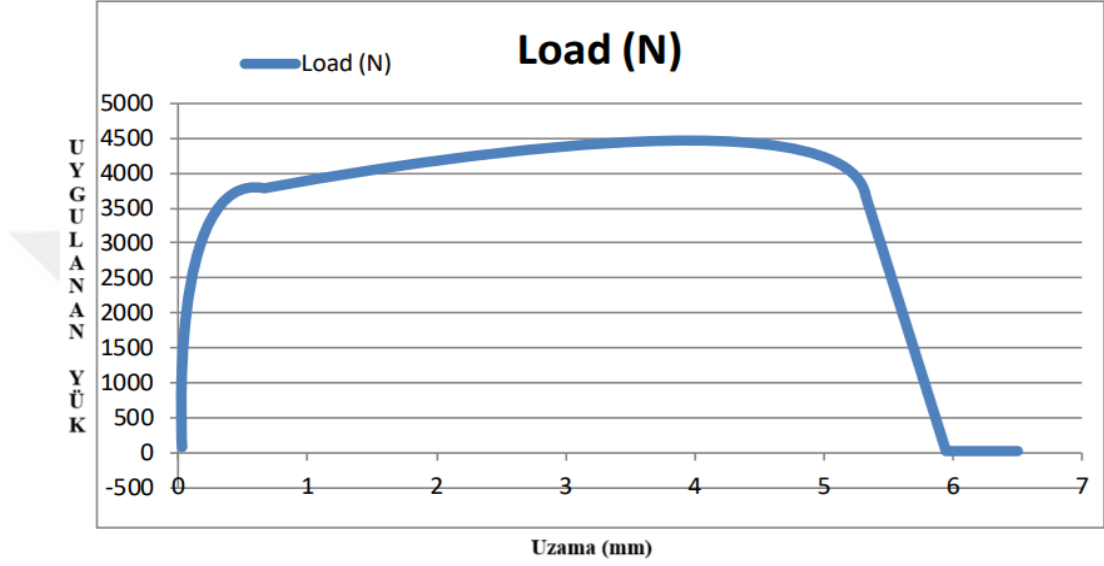
Şekil 5.19 40 Amper 14 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği

Şekil 5.19’de 40 Amper kaynak ve 20 A taban akımında yapılmış, 14 Hz pulse frekansındaki numunelerin kopma dayanımı verilmiştir. Malzeme 4507,22 N değerinde yükte iken kopmuştur. Uzama miktarı 7,88 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca numune 113,04 MPa değeri akmanın başladığı basınç, kopmanın gerçekleştiği basınç ise 225,36 MPa’dır.



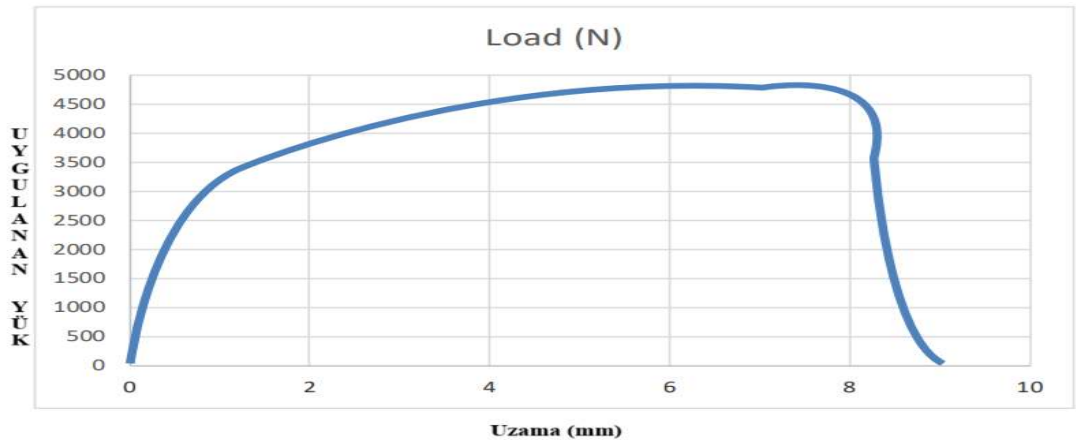
Şekil 5.20 40 Amper 18 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği

Şekil 5.20’de 40 Amper kaynak ve 20 A taban akımında yapılmış, 18 Hz pulse frekansındaki numunelerin kopma dayanımı verilmiştir. Malzeme 3178,80 N değerinde yükte iken kopmuştur. Uzama miktarı 2,11 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca numune 96,80 MPa değeri akmanın başladığı basınç, kopmanın gerçekleştiği basınç ise 158,94 MPa’dır.



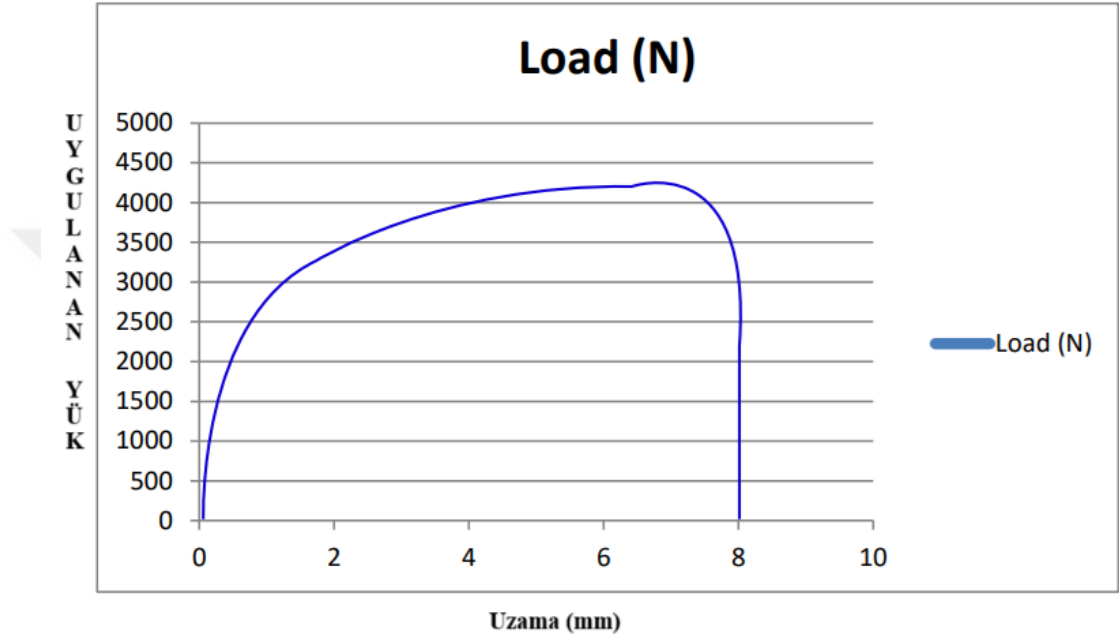
Şekil 5.21 50 Amper 10 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği

Şekil 5.21’de 50 Amper kaynak ve 20 A taban akımında yapılmış, 10 Hz pulse frekansındaki numunelerin kopma dayanımı verilmiştir. Malzeme 4507,34 N değerinde yükte iken kopmuştur. Uzama miktarı 5,86 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca numune 108,12 MPa değeri akmanın başladığı basınç, kopmanın gerçekleştiği basınç ise 218,63 MPa’dır.



Şekil 5.22 50 Amper 14 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği

Şekil 5.22’de 50 Amper kaynak ve 20 A taban akımında yapılmış, 14 Hz pulse frekansındaki numunelerin kopma dayanımı verilmiştir. Malzeme 4621,13 N değerinde yükte iken kopmuştur. Uzama miktarı 9,04 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca numune 111,50 MPa değeri akmanın başladığı basınç, kopmanın gerçekleştiği basınç ise 231,05 MPa’dır.



Şekil 5.23 50 Amper 18 Hz ile kaynatılan numunenin yük-uzama grafiği

Şekil 5.23’de 50 Amper kaynak akımı uygulanmış, 18 Hz pulse frekansındaki numunelerin kopma dayanımı verilmiştir. Malzeme 4312,77 N değerinde yükte iken kopmuştur. Uzama miktarı 8,08 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca numune 114,87 Mpa değeri akmanın başladığı basınç, kopmanın gerçekleştiği basınç ise 215,63 MPa’dır.

6. SONUÇLAR

Deneyisel çalışmamızda GR2 ve Al 2024 malzemeleri sırasıyla 30, 40 ve 50 Amper kaynak ve 20 Amper taban akımı altında ve sırasıyla 10,14 ve 18 Hz pulse frekansında TIG kaynağı ile kaynatılmıştır. Numuneler eşit boyutlu ve dikdörtgendir. Kaynak akım olarak DC pozitif akım ile kaynatılmıştır ve koruyucu gaz olarak Ar gazı kullanılmıştır. Ayrıca daha iyi bir kaynak elde edebilmek için back-up kullanılarak kaynak bölgesine alttan Ar gazı verilmiştir.

Kaynaklama sonrasında elde edilen numunelerin ilk olarak X-Ray ışınları uygulanarak röntgeni çekilmiştir. Akabinde yedi farklı noktadan sertlik ölçülerek, sertliğe bağlı durum yorumlanmıştır. Daha sonra parçalar çekme testine tabi tutularak çekme dayanımları ve mukavemetleri belirlenmiştir. Tüm bu sonuçlara göre ana numuneler ve kaynak sonrası numuneler sonuçlara göre karşılaştırılmış ve irdelenmiştir.

Tüm bu veriler sonrasında aşağıda sunulan sonuçlara varılmıştır;

- Çalışmamızda GR2 ve Al 2024 malzemelerinin, TIG kaynağı ile birleştirilmesi sırasında, kaynak kalitesine etki eden parametreler belirlenmiş ve iki numune arasında başarılı kaynaklama yapılmıştır.
- Kaynak parametreleri belirlenmesi aşamasında AC, DC negatif ve DC pozitif akım denenmiştir. AC akım, Ti gibi metallerin kaynaklanmasında kullanılamadığından, bu kaynak gerçekleştirilememiştir. DC negatif akım denemesi yapıldığında ise, negatif akımın kaynak bölgesinde aşırı ısınmaya ve bu sebepten kaynak bölgesinde Al parçada akmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. DC pozitif akım denemesinde ise kaynak bölgesi incelenmiş ve en uygun kaynak akımına bu şekilde DC pozitif olarak karar verilmiştir. Ayrıca malzememiz ince olduğundan aşırı ısınmanın önüne geçmek ve ısınmayı kontrol etmek için 20 Amper taban akımı kullanılmasının yerinde olacağı sonucuna varılmıştır

- DC pozitif ile yapılan kaynakta, gözle yapılan numune kontrollerinde, iyi bir kaynak bölgesi gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesinde olası mikro çatlakları belirlemek için X-Ray röntgen testine başvurulmuştur. Yapılan incelemede numunelerin kaynak bölgesinde herhangi bir çatlığa rastlanmamıştır. Bu veri bize kaynak sürekliliğinin sağlandığını ve numunelerin birbirine düzgün bir şekilde kaynaklandığını göstermiştir. Ayrıca ısıya maruz kalan bölgenin yoğunluk farkından dolayı ana metalden ve kaynak bölgesinden farklı renkte görünmesi kaynağın başarılı olduğunun bir göstergesidir.
- Pulse frekans kullanımının, ince kalınlıktaki numunelerin kaynaklamasında yüksek ısıya bağlı olan çarpılmayı ve bükülmeyi engellediği tespit edilmiştir. Buna sebep olan durumun yüksek ısıya bağlı olarak gelişen tane irileşmesinin önüne geçilmesi olarak değerlendirilmiştir.
- Sertlik testi sonuçlarına göre ise, her akım artışında kaynak merkezindeki sertlik değerleri artmıştır. Tüm numunelerde kaynak merkezinden, GR2 ana metaline doğru ilerlemede sertlik değerleri artmış ve en sonunda GR2'nin sertlik değerine yakınsamıştır. Al için ise, genel olarak kaynak ısısına maruz kalan bölgede sertlik kaynak merkezine göre düşmüştür. Sonrasındaki bölgelerde ise artarak Al 2024 sertlik değerine yakınsamıştır. Elde edilen sonuçlara göre akım arttıkça sertlik değeri artmıştır. Eşit akım değerlerimde ise en iyi sertlik değerleri 14 Hz pulse frekansında elde edilmiştir. 18 Hz değerinin, 14 Hz değerine göre daha kötü sonuç vermesinin sebebinin, kaynak bölgesindeki ısının frekans arttıkça düşmesi olarak değerlendirilmiştir.
- Çekme sonuçları incelendiğinde ise artan akım şiddetine göre çekme mukavemetinde artış gözlenmiştir. Tüm 30 A'lik numuneler kaynak bölgesinden, 50 A'lik numuneler ise iyi bir kaynaktan bekleneceği üzere Al ana metalinden kopmuştur.
- 40 A'de ise 10 ve 18 Hz'lik numuneler kaynak bölgesinden, 14 Hz'lik numune ise Al ana metalinden kopmuştur. Bu sonuç pulse frekansındaki artışın, belli bir noktadan sonra kaynak kalitesini düşürdüğü göstermiştir. Bu frekans

artışının Al üzerinde düşük ısıya neden olduğu ve kaynak kalitesinde düşmeye neden olduğunu şeklinde yorumlanmıştır.

- Ek olarak uzama miktarları incelendiğinde, çekme mukavemetine paralel sonuçlar elde edilmiş ve en iyi uzama mukavemetine 50 A ve 14 Hz numunesinde ulaşılmıştır.
- Sonuç olarak; Akım yükselmesinin numunelerin kaynak mukavemetini ve kalitesini artırdığı, pulse frekansının ise 14 Hz değerine kadar artırdığı akabinde ise artan frekansın kaynak mukavemetini ve kalitesini düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aydın, H. ve Bayram, A. (2010). Farklı Isıl İşlem Koşullarındaki 2024 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Sonrası Mekanik Özelliklerindeki Kaybın Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 15(1), 1-23. <https://doi.org/10.17482/uujfe.20211>
- Baran, G. (2020). Uçak Endüstrisinde Kullanılan Titanyum Alaşımlarının TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinde Kaynak Akımının Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Başpınar, B.B. (2022). Alüminyum 2024 Sacların Sürünme-Yaşlandırma Şekillendirme Prosesindeki Geri Yaylanma Davranışının DeneySEL Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Binal, A. (2006). AA2024-T3 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında İşlem Parametrelerinin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bitharas, I., Campbell, S.W., Galloway, A.M., McPherson, N.A., Moore, A.J. (2016). Freedom next time. London, England: Bantam. Visualisation of alternating shielding gas flow in GTAW. Materials & Design Dergisi, 91, 424–431.
- Cingi, M. (2008). Oksit Kaplı Titanyum Ve Alaşımlarının Yorulma Davranışının İncelenmesi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çalığözü, U. (2008). Ti45.2Ni49.1Cu5.7 Kompozitinin 910-940-970 °C Sıcaklıklarda Cu-Ni Folyolu Difüzyon Kaynağında Sıcaklık Ve Sürenin Birleşmeye Etkisinin Araştırılması. Engineering Sciences, 3 (3), 515-523.
- Çetin, M.A. (2020). Alüminyum Kılıflı Al/B4C Özlü Kompozit Sert Dolgu Çubuğu Üretimi Ve Tig Kaynak Yöntemiyle Oluşturulan Yüzey Kaplamanın Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dik, S. (2019). Tig Kaynağında Akım Türü Ve Kaynak Parametrelerinin Isıdan Etkilenen Bölgeye Etkisi Ve Tahribatsız Muayenesi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dikbaş, H. (2015). Ti6Al4V Alaşımının PTA Kaynağında 1800 W Kaynak Gücünde Birleştirilebilirliğin Araştırılması. Mühendislik Dergisi, 1(6), 19-30.
- Dilmeç, M. (2012). 2024-T4 Alüminyum Sacların Şekillendirme Sınır Eğrilerinin Kalınlığa Göre Değişimi. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doğan, İ. (2002). Titanyum Malzemenin (Kalite 265.2) Tig Kaynak Yöntemiyle Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Durgutlu, A. (2013). 4000 Serisi Alüminyum Levhaların Tig Kaynağında Akım Türünün Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi. İleri Teknoloji Bilimleri

Dergisi, 2(3), 1-9.

Durgutlu, A., Kahraman, N., & Gülenç, B. (2008). Al - Si Alaşımının TİG Kaynağında Darbeli Akımın Mikroyapı, Sertlik, Eğme ve Çekme Dayanımına Etkisi. Politeknik Dergisi, 11(4), 339-344.

Gençdoğan, D. (2020). AISI 430/Hardox 450 Çeliğinin Nikel Ara Tabaka Kullanılarak Tıg Çift Taraflı Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gökdemir, Y. (2005). Saf Titanyum Ve Ti6Al4v Alaşımının Yüksek Sıcaklıkta Oksidasyon Davranışı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gökmen, Ş. (2023). Titanyum GR2 Sac Malzemesinin Sıcak Şekillendirilebilirliğinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi.Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güneş, A. (2020). AISI 304/Durostat 500 Çeliğinin Tıg Çift Taraflı Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi.Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

İçli, E.C. (2023). Farklı Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Mekanik Özelliklerinin DeneySEL Olarak İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi.Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

İşler, Ö. (2017). Titanyum Ve Alaşımlarının Elektrokimyasal Davranışları.Yüksek Lisans Tezi.Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kafalı, H. (2009). AA 2024 Al Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında (SKK) Kaynak Parametrelerinin Birleşmeye Etkilerinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi.Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kahraman, N. (2007). The Influence of Welding Parameters on the Joint Strength of Resistance Spot-Welded Titanium Sheets.Materials & Design Dergisi,2007, 28, 420-427.

Karabulut, T.Y. (2019). AA5005 Al Alaşımının Lazer ve Tıg Kaynak Yöntemi Kullanılarak Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması.Yüksek Lisans Tezi.Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kejanlı, H. (2007). Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Ni-Ti-Cu alaşımlarının sıvı faz difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kejanlı, H. ve Avcı, M. (2018). "T/M yöntemiyle üretilmiş Mg-Ti alaşımının difüzyon kaynağı ile birleştirilmesine aratabakanın etkisi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 9 (1), 279-289.
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/452896>.

- Kenar, A. (2022). Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Titanyum Alaşımlarının Farklı Isıl İşlemler Sonucunda Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi.Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kesen, U. (2023). A-TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen 304 Kalite Paslanmaz Çelik Levhaların Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi.Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kilerci, İ. (2011). Titanyum Alaşımlarının Farklı Kaynak Yöntemleriyle Kaynağının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koyuncu, E. (2011). Titanyumun Yüksek Sıcaklıklarda İyonitürasyonda Sertleştirilip Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kozan, Y.T. (2023). Farklı Asitlerle Yapılan Anodik Oksidasyon İşlemlerinin 2024 Ve 7075 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Direncine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi.İstanbul Teknik Üniversitesi,Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Lanhabai, S., Jarvis, B.L. ve Barton K.(2001).Comparison of Keyhole and Conventional Gas Tungsten Arc Welds in Commercially Pure Titanium.Materials Science and Engineering Dergisi, 299, 81-93.
- Luijendijk, T. (2000). Welding of dissimilar aluminium alloys. Journal of Materials Processing Technology Dergisi. 103(1), 29-35.
- Menzemer,C.C.,Lam, P.C., Wittell, C.F. ve Srivarsan, T.S. (2001). A Study of Fusion Zone Microstructures of Arc-Welded Joints Made from Dissimilar Aluminum Alloys. Journal of Materials Engineering and Performance Dergisi, 10(2), 173-178.
- Minareci, S. (2020). Havacılık Sektöründe Kullanılan Al (2024) Alaşımının Korozyonuna Bazı İnhibitörlerin Etkisinin Teorik Yöntemlerle Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi.Bursa Teknik Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkan, O. (2019). Saf Titanyum (CP-Ti) Ve Titanyum Alaşımının (Ti-6Al-4V) Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi.Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkara, İ.M. (2009). 2024 Alüminyum Alaşımının Mikro Ark Oksidasyon Yöntemiyle Kaplanması Ve Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi.İstanbul Teknik Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztürk, Z. (2012). Gaz Atomizasyon Yöntemi İle Al 2024 Tozu Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi.Karabük Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sorgun, Ö. (2022). X-Ray Görüntülerinde Faster R-Cnn Kullanılarak Yasaklı Nesne Tespiti. Yüksek Lisans Tezi.Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Şişmanoğlu, T. (2009). Anodik Oksidasyon Yöntemiyle 2024, 6082 Ve 7075 Kalite

- Aluminyum Alaşımlarının Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi.İstanbul Teknik Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tanrıöver, L. (2008). AA5052/2024 Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi.Fırat Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Turhan, F. (2017). 1100 Serisi Alüminyum Malzemelerde Tig Kaynağı İle Oluşan Kaynak Dikiş Geometrisinin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi.İzmir Katip Çelebi Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Turgut, Y.Z. (2017). Alüminyum 2024 T351 Malzemenin Delik Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Ölçümü İle Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi.Sakarya Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Türköz, M. (2009). Al 2024 Ve Al 5754 Alaşımlı Alüminyum Sacların Şekillendirilebilme Kabiliyetinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi.Selçuk Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yang, Z., Qi, B., Cong, B., Liu, F. ve Yang, M.(2015). Microstructure, Tensile Properties of Ti-6Al-4V by Ultra High Pulse Frequency GTAW with Low Duty Cycle.Journal of Materials Processing Technology Dergisi, 216, 37-47.
- Yaz, S.O. (2022). Tig Kaynağı İle Birleştirilen AISI304 Paslanmaz Çeliği Ve Saf Bakırın Mekanik Ve Metalografik Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi.Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Yazıcı, S.K. (2013). Mikro Ark Oksidasyon İşleminde Elektrolite Karbon Nanotüp İlavesinin Titanyum Ve Alaşımlarının Yüzey Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi.İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yeşilbaş, A.S. (2022). Saf Titanyum (Gr2) Ve Ferritik (430) Paslanmaz Çelik Levhaların Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi.Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, M.S. (2012). Saf Titanyum Malzeme Yüzeyinde Titanyum Alüminyum İntermetalik Tabakasının Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi.İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yung,W.K.C., Ralph, B., Lee, W.B. ve Fenn, R. (1997). An Investigation into Welding Parameters Affecting the Tensile Properties of Titanium Welds.Journal of Materials Processing Technology Dergisi, 63, 759-764.
- Yurdakul, M., Özbay, O. ve Yusuf, İ.Ç. (2002). Havacılık alanında kullanılan alüminyum alaşımlarının seçimi.Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(2), 1-23.
- Yücel, M.B. (2018). Dünyada Ve Türkiye’de Titanyum. Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü. Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.
<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/madenseri/IMG/Titanyum.pdf>.
- Yücel, A. (2021). AL 2024 Alaşımının Tornalanmasında Molibden Disülfür Katkılı

Nano Kesme Sıvısının İşleme Performansı Üzerindeki Etkisi. Yüksek Lisans Tezi.Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zhou, W. (2003). HEffect of Welding on Impact Toughness of Butt-joints in a Titanium Alloy.Materials Science and Engineering Dergisi, 347, 180-185

Zeren, Z.Ö. (2016). Farklı Çaplardaki Titanyum, Zirkonyum Ve Titanyum-Zirkonyum Alaşımılı İmplantlarda Ve Çevreleyen Kemik Dokusunda Oluşan Streslerin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Stres Analizi Yöntemi İle Karşılaştırılması.Yüksek Lisans Tezi.Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

TASALI, İsmail Taygun

E-Posta

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2025
Lisans	Karaelmas Üniversitesi	2012

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2012-2013	Enerji Mühendislik	Makine Mühendisi
2014-2015	Doğa Isı Sistemleri	Makine Mühendisi
2015-2017	Milimetre İnşaat	Makine Mühendisi
2017-2020	Akmercan-BATIKAR	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1.5. BİLSEL INTERNATIONAL GORDİON SCIENCE RESEARCHES CONGRESS”
08-09 DECEMBER 2024 ANKARA/TÜRKİYE

Özel İlgiler

Futbol ve Havacılık

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	İsmail Taygun TASALI		
Öğrenci No	22818002		
Ana Bilim Dalı	Mühendislik		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Dr. Öğr. Üyesi Haluk Kejanlı		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	TIG Kaynağı İle Birleştirilen Saf Titanyum (Gr2) Ve Alüminyum 2024 Malzemesinin Kaynak Kalitesinin Mekanik Özelliklere Etkisinin Belirlenmesi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	82		
Raporlama Tarihi	09/01/2025		
Benzerlik Oranı (%)	%11		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 82 sayfalık kısmına ilişkin, 10/01/2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 11 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☒Kaynaklar hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☐Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: İsmail Taygun TASALI

Tarih: 13/01/2025

İmza:

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI

İmza:

Tarih: 13/01/2025

Ana Bilim Dalı Başkanı: Prof. Dr. Sedat BİNGÖL

İmza:

Tarih: 13/01/2025