

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



**HAVACILIKTA KULLANILAN ÖZEL ALAŞIM TİTANYUM  
MALZEMELERE UYGULANAN BİLYALI DÖVME İŞLEMİNİN  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Oğuzhan SEZER**

**Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı**

**Savunma Teknolojileri Programı**

**OCAK 2020**

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



**HAVACILIKTA KULLANILAN ÖZEL ALAŞIM TİTANYUM  
MALZEMELERE UYGULANAN BİLYALI DÖVME İŞLEMİNİN  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Oğuzhan SEZER  
(171202001)**

**Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı**

**Savunma Teknolojileri Programı**

**Tez Danışmanı: Dr.Öğr. Üyesi Zeynep TAŞLIÇUKUR ÖZTÜRK**

**OCAK 2020**

## **ONAY SAYFASI**

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “HAVACILIKTA KULLANILAN ÖZEL ALAŞIM TİTANYUM MALZEMELERE UYGULANAN BİLYALI DÖVME İŞLEMİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya ’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (01/01/2020)

Oğuzhan SEZER

**Şehit Eren Bülbül**  
**Şehit Jandarma Astsubay Kıdemli Başcavuş Ferhat Gedik**  
**Ve**  
**Tüm Türk Silahlı Kuvvetleri Şehitlerine İthaf Edilmiştir.**

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında çalışmakta bulunduğum fabrikada ki gerek çalışma alanları gerekse deneysel işlemler sırasında yardımları dokunan başta Kale Havacılık Operasyonlar Direktörü Sayın Yasin KARABULAK'a, Operasyonlar Direktörlüğü Mühendislik Müdürü Bilal YAKA 'ya, Kalite Güvence Bölümü Kalite Kontrol Mühendisi Aytaç ŞİMŞEK'e, Kale Havacılık Operasyonlar Direktörlüğü Takım Fikstür Aparat İmalat Bölümü CNC Freze Operatörü Ersin SAVAŞ'a, Milli Savunma Üniversitesi Öğretim Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Zeynep TAŞLIÇUKUR ÖZTÜRK'e ve tüm desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Ocak 2020

Oğuzhan SEZER

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ÇALIŞMANIN AMACI</b> .....	<b>3</b>
<b>3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>4</b>
3.1 Titanyum Alaşımları ve Ti6Al4V Atomik Yapısı.....	4
3.2 Bilyalı Dövme ve İşleminin Amacı .....	11
3.2.1 Bilyalı dövme parametrelerinin belirlenmesi .....	19
3.3 Yüzey Pürüzlülük Testi .....	21
3.4 Yüzey Sertlik Testi .....	22
3.4.1 Rockwell sertlik testi .....	22
3.5 Tel Erezyon .....	24
3.6 Plastik Yüzey Dislokasyonları .....	24
3.7 Kimyasal Dağlama Operasyonu .....	26
3.8 Aşındırma Testi Operasyonu .....	27
2.7.1 Aşınma türleri .....	29
2.7.1.1. Adezyon aşınması .....	30
2.7.1.2. Abrazyon aşınması .....	30
2.7.1.3. Korozyon aşınması.....	31
2.7.1.4 Erozyon aşınması .....	31
2.7.1.5 Yorulma aşınması .....	31
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>33</b>
4.1 Kullanılan Cihazlar.....	33
4.1.1 Frezeleme operasyonu makinesi .....	33
4.1.2 Tel erozyon operasyonu makinesi .....	33
4.1.3 Bilyalı dövme operasyonu makinesi.....	34
4.1.4 Yüzey pürüzlülük ölçüm operasyonu makinesi.....	35
4.1.5 Sertlik ölçüm operasyonu makinesi .....	36
4.1.7 Aşındırma testi operasyonu makinesi .....	36
4.1.8 Optik mikroskop görüntüleri operasyonu makinesi.....	37
4.1.9 Taramalı elektron mikroskop görüntüleri operasyonu makinesi .....	38
4.2 Numunelerin Hazırlanması.....	38
4.2.1 Numune hazırlanması frezeleme operasyonu .....	38
4.2.2 Numune hazırlanması tel erozyon operasyonu .....	39

4.2.3 Numune hazırlanması bilyalı dövme operasyonu.....	39
4.2.4 Numune hazırlanması yüzey pürüzlülük ölçüm operasyonu.....	41
4.2.5 Numune hazırlanması sertlik ölçüm operasyonu.....	42
4.2.6 Numune hazırlanması kimyasal dağlama operasyonu.....	43
4.2.7 Numune hazırlanması aşındırma testi operasyonu .....	46
4.2.8 Numune hazırlanması optik mikroskop görüntüsü alınması operasyonu..	47
4.2.9 Numune hazırlanması taramalı elektron mikroskop görüntüsü alınması operasyonu .....	66
<b>5.DENEYLERİN SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>67</b>
5.1 Yüzey Pürüzlülük Sonuçları.....	67
5.2 Sertlik Testi Sonuçları .....	68
5.3 Aşındırma Testi Operasyonu Sonuçları .....	69
5.4 Elektron Mikroskop Görüntüsü Alınması ve Analiz Operasyonu .....	71
<b>6. GENEL SONUÇ VE TARTIŞMA.....</b>	<b>76</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>
<b>8. KAYNAKÇA .....</b>	<b>77</b>



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1: Ti6Al4V Alaşımının özellikleri.....	7
Çizelge 3.2: Bilya Çeşitleri.....	19
Çizelge 3.3: Bilya Standartları.....	19
Çizelge 4.1: Frezeleme Parametreleri.....	38
Çizelge 4.2: Deney 1 Parametreleri.....	39
Çizelge 4.3: Deney 2 Parametreleri.....	39
Çizelge 4.4: Deney 3 Parametreleri.....	40
Çizelge 5.1: Ölçülen Pürüzlülük Değerleri.....	68
Çizelge 5.2: Ölçülen Sertlik Değerleri.....	68

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1:Titanyum Özellikleri .....	6
Şekil 3.2: Titanyum faz diyagramının bazı alaşım elementlerine göre değişimi .....	7
Şekil 3.3: Titanyum ve alaşımlarının sınıflandırılması için sınıflandırmak üzere vanadyum (V) ve alüminyum (Al) elementlerinin kullanımı ile oluşan faz diyagramı .....	9
Şekil 3.4: Ti6Al4V Alaşımı Atomik Yapısı, .....	10
Şekil 3.5: Bombardıman Görüntüsü .....	16
Şekil 3.6: Bombardıman Görüntüsü .....	16
Şekil 3.7: B737 İniş Takımı.....	17
Şekil 3.8: Bilyalı Dövme Parametreleri.....	18
Şekil 3.9: Bilya Çeşitleri.....	18
Şekil 3.10: Dövme Açısı Gösterimi.....	19
Şekil 3.11: Geometrik Gösterim .....	20
Şekil 3.12: Boeing Firması Tasarım İsterileri.....	20
Şekil 3.13: Yüzey Profili Gösterimi .....	21
Şekil 3.14: Yüzey Profili Hesaplama Formülasyonu .....	22
Şekil 3.15: Sertlik Testi Gösterimi .....	23
Şekil 3.16: Sertlik Testi Gösterimi .....	23
Şekil 3.17: Tel Erezyon Cihazı Çalışma Prensibi.....	24
Şekil 3.18: Krater Yapı Gösterimi .....	25
Şekil 3.19: Dağlama Gösterimi .....	27
Şekil 3.20: Aşındırma Çeşitleri.....	29
Şekil 4.1: FJV-250 Tezgahı .....	33
Şekil 4.2: Tel Erezyon Tezgahı .....	34
Şekil 4.3: Kale Havacılık Shot Peen Makinası.....	34
Şekil 4.4: Pürüzlülük Ölçüm Cihazı .....	35
Şekil 4.5: Sertlik Ölçüm Cihazı .....	36
Şekil 4.6: Aşındırma Cihazı.....	37
Şekil 4.7: Optik Mikroskop Cihazı.....	37
Şekil 4.8: Jeol Marka SEM Cihazı (kullanılan cihaz) .....	38
Şekil 4.9: Ti6Al4V Kullanılan malzemeler kısmı .....	39
Şekil 4.10: Makina İçerisi Görünüm .....	40
Şekil 4.11: Makina İçerisi Yerleşim .....	41
Şekil 4.12: Pürüzlülük Ölçümü Gösterimi .....	41
Şekil 4.13: Ölçüm Makinesi .....	42
Şekil 4.14: Sertlik Ölçüm Cihazı.....	43
Şekil 4.15: Kale Havacılık Özel Prosesler Parkuru .....	44
Şekil 4.16: Akar Yıkama Havuzu.....	45
Şekil 4.17: Daldırma Havuzu Aparatı .....	45
Şekil 4.18: Kimyasal Dağlama Gösterimi .....	46

Şekil 4.19: Aşındırma Cihazı.....	47
Şekil 4.20: Referans Numune Görüntüsü .....	48
Şekil 4.21: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge .....	48
Şekil 4.22: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge .....	48
Şekil 4.23: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge .....	49
Şekil 4.24: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge .....	49
Şekil 4.25: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge .....	49
Şekil 4.26: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge .....	50
Şekil 4. 27: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge .....	50
Şekil 4.28: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge .....	50
Şekil 4.29: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge .....	51
Şekil 4.30: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge .....	51
Şekil 4.31: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge .....	52
Şekil 4.32: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge .....	52
Şekil 4.33: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge .....	53
Şekil 4.34: 0,5 Bar İle Dövülen Numune Görüntüsü .....	53
Şekil 4.35: 0,5 Bar ile Dövülen Numune Görüntüsü.....	54
Şekil 4.36: 0,5 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	54
Şekil 4.37: 0,5 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	54
Şekil 4.38: 0,5 Bar İle Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	55
Şekil 4.39: 0,5 Bar İle Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	55
Şekil 4.40: 0,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	56
Şekil 4.41: 0,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	56
Şekil 4.42: 0,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	56
Şekil 4.43: 0,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	57
Şekil 4.44: 1 Bar ile Dövülen Numune Görüntüsü.....	57
Şekil 4.45: 1 Bar ile Dövülen Numune Görüntüsü.....	58
Şekil 4.46: 1 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	58
Şekil 4.47: 1 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	58
Şekil 4.48: 1 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	59
Şekil 4.49: 1 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	59
Şekil 4.50: 1 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	60
Şekil 4.51: 1 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	60
Şekil 4.52: 1 Bar ile Dövülen, 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	60
Şekil 4.53: 1 Bar ile Dövülen, 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	61
Şekil 4.54: 1 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	61
Şekil 4.55: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Numune Görüntüsü.....	62
Şekil 4.56: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Numune Görüntüsü.....	62
Şekil 4.57: 1,5 Bar İle Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	63
Şekil 4.58: 1,5 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	63
Şekil 4.59: 1,5 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	63
Şekil 4.60: 1,5 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	64
Şekil 4.61: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	64
Şekil 4.62: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	64
Şekil 4.63: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	65
Şekil 4.64: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	65
Şekil 4.65: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü .....	66
Şekil 4.66: Ti6Al4V Kullanılan malzemeler kısmı .....	66

<b>Şekil 5.1:</b> Referans Malzeme Sürtünme Kuvveti Gösterimi .....	69
<b>Şekil 5.2:</b> 0,5 Bar Basınçtaki Malzeme Sürtünme Kuvveti Gösterimi .....	70
<b>Şekil 5.3:</b> 1 Bar Basınçtaki Malzeme Sürtünme Kuvveti Gösterimi .....	70
<b>Şekil 5.4:</b> 1,5 Bar Basınçtaki Malzeme Sürtünme Kuvveti Gösterimi .....	71
<b>Şekil 5.5:</b> Ti6Al4V Kullanılan malzemeler kısmı .....	71
<b>Şekil 5.6:</b> Referans Numune SEM Görüntüsü (Sonuçlara gidecek).....	72
<b>Şekil 5.7:</b> 0,5 Basınç İle Dövülen Malzemenin Sem Görüntüsü .....	73
<b>Şekil 5.8:</b> 1 Basınç İle Dövülen Malzemenin Sem Görüntüsü .....	74
<b>Şekil 5.9:</b> 1,5 Basınç İle Dövülen Malzemenin Sem Görüntüsü .....	75

# HAVACILIKTA KULLANILAN ÖZEL ALAŞIM TİTANYUM MALZEMELERE UYGULANAN BİLYALI DÖVME İŞLEMİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Havacılık sanayisinde kompozit malzemelerin kullanımları her ne kadar artış gösterse de metalik malzemeleri kullanımı belirli istenilen yerlerde kullanılmaya devam etmektedir. Bu kullanım yüksek basınç, yüksek kuvvet altına maruz kalma veya ani kuvvetlere maruz kalma olarak kompozit malzemelerin kullanımın istenmediği yerlerde metalik malzemeye yöneltmektedir. Metalik malzemelerin kendine has avantaj ve dezavantaj özellikleri göz önünde bulundurulduğunda metal malzemeleri yorulması sorunu kontrolü zorlaştırmaktadır. Bu yorulma kuvvetine maruz kalan malzemelerin ömür hesabı yapılması zaman zaman mümkün olmamaktadır. Metalik malzemeler kendi iç yapılarına göre belirli bir sertlik ve yorulma dayanımları olsa da yüzey işlemleri veya ısı işlemler gibi yöntemler ihtiyaca yönelik yöntemler ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerden bir tanesi olan bilyalı dövme metalik malzemelerin yüzey sertlik seviyelerini yükselttiği gibi, malzeme yapısında da değişikliklere sebep olmaktadır. Bu çalışmada Boeing 737 uçağının iniş takımlarının iç aksamında bulunan titanyum alaşım malzemesinin belirli parametrelerinin sabit tutularak dövme işleminin gözlemlenmesi ve bilyalı dövme sonrasında belirli sabit değerler ile aşınma testi yapılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada bilyalı dövme işleminde kontrollü olarak değiştirilen basınç değerinin bilyalı dövme işlemindeki malzeme üzerinde oluşturduğu etkileri ele alınmaktadır. Üç farklı basınç değerinde uygulanan bilyalı dövme işlemi sonucu titanyum alaşım malzemenin (Ti-4Al-6V) sertlik, yüzey pürüzlülük testi, aşındırma testi yapılmış olup mikro yapısı optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ( SEM )ile incelenmiştir.

Malzemeler Kale Havacılık Sanayi A.Ş. seri imalat bölümünden hurda malzemelerden seçilmiştir. Kale Havacılık Sanayi A.Ş. Seri İmalat bölümü, Kalite Güvence bölümü ve Özel Prosesler Bölümünde mikroyapı analizi için titanyum alaşımı kimyasal dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Aşındırma testi ve optik mikroskop görüntüleri Milli Savunma Üniversitesi Deniz Harp Okulu Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında, taramalı elektron mikroskobu görüntüsü Doğu Üniversitesi Makine İleri Teknolojiler laboratuvarında alınmıştır.

**Anahtar Kelime:** *Havacılık, Bilyalı dövme, Titanyum, Aşınma*

# INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SHOT PEENING PROCESS ON THE SPECIAL ALLOY TITANIUM MATERIALS USED IN AVIATION

## ABSTRACT

Although the use of composite materials in aviation industry has increased, the use of metallic materials continues to be used in certain desired locations. This use is directed to metallic material where the use of composite materials is undesirable, such as high pressure, exposure to high force, or exposure to sudden forces. Considering the unique advantages and disadvantages of metallic materials, the problem of fatigue of metal materials makes it difficult to control. It is not possible to calculate the life of the materials exposed to this fatigue force from time to time. Although metallic materials have a certain hardness and fatigue strength according to their internal structure, methods such as surface treatments or heat treatments have emerged to address the need. Shot peening, one of these methods, increases the surface hardness levels of metallic materials and also causes changes in the material structure. In this study, it was aimed to observe the forging process by keeping certain parameters of the titanium alloy material in the interior assembly of the landing gear of the Boeing 737 aircraft fixed and to perform wear testing with certain fixed values after the ball forging.

In this study, the effects of controlled changing pressure in shot peening process on material in shot peening process are discussed. The hardness, surface roughness test, etching test of titanium alloy material (Ti-4Al-6V) was performed as a result of ball forging process applied at three different pressure values and its microstructure was examined with optical microscope and scanning electron microscope (SEM).

The materials was selected from scrap materials from the serial manufacturing department of Kale Aviation Industries. Kale Aviation Industries Titanium alloy has been subjected to chemical etching for microstructure analysis in the series Manufacturing Division, Quality Assurance Division and special Processes division. The etching test and optical microscope images were taken in the laboratories of the Department of Mechanical Engineering of the Naval Warfare School of the National Defense University and the scanning electron microscope image was taken in the Laboratory of Advanced Technologies of machinery of Dogus University.

**Keyword:** *Aerospace, Shot Peening, Titanium, Abrasion*

## 1. GİRİŞ

21. yüzyıl başlarından itibaren gerek bilimsel araştırmalar ve gerek imalat sanayi sektörü havacılık ve alaşım malzemeler üzerine çalışmaları artırması ile beraber, havacılık sektörünün gelişmesine katkıda bulunmuşlardır. Bu katkıların başında geleneksel malzemelerden olan paslanmaz çelik ve imalat demirinden vazgeçişler başlamış ve deneysel araştırmalar sonuçlarına dayanarak hem metal hem de metal olmayan malzemelere yönelimler başlamıştır. Bu yönelimler esnasında metal malzemelerin işlenmesi ve şekil verilmesinde üstüne uygulanan kuvvetler sonucunda malzeme içerisinde hapsolan ve daha sonra malzemenin son halini aldıktan sonra kullanım esnasında ortaya çıkabilme ihtimali olan kuvvetlerin oluşturduğu deformasyonlar bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Bu ortaya çıkan deformasyonlar üretim şekillerine bağlı olarak değişmekle beraber azaltıcı işlemlerin araştırılması ve uygulanmaya başlaması bir talep olarak ortaya çıkmıştır. Bu işlemler malzeme içerisindeki biriken artık kuvvetlerin ortaya çıkmasını mekanizma içerisinde gözükmesinin malzemenin ömür hesaplamasında değişkenliğin ön görülemediğini tespit etmiştir. Bu tespit sonucunda imalat sonrasında malzeme üzerine uygulanacak uygulamalar ile içerisinde birikmiş olan artık kuvvetleri aza indirme çalışması daha uygun görülmüştür. Bu uygulamalardan bir tanesi de bilyalı dövme işlemdir.

Bilyalı dövme, imalat sonrasında çapak alma işleminden geçen parçaların yüzeylerine kontrollü bir şekilde belirli standartlar ve belirli malzeme istemleri ile uygulanan yüzey sertleştirme işlemdir. Bu işlem sonrasında malzemelerin yüzeyinde sertliklerinin arttığı ve bu işlemle beraber plastik deformasyon izlerinin görüldüğu gözlemlenmiştir. Bu gözlem bilyalı dövme işleminin düşük alaşımlı çelik iş malzemesine yapıldığı zamanda plastik deformasyon izlerinin olduğu görülmüştür (Karaduman,2010).

Mühendislik işlemlerinde yüzey işlemleri üretilen malzemenin ve mühendislik bilim dalında önemli bir yer kaplamaktadır. Bu yüzey işlemleri içerisinde bilyalı dövme işlemleri de yer almaktadır. Bilyalı dövme işlemleri üst düzey yüzey işleme metodu olarak

da kabul edilmektedir (Ming Chen, Chuanhai Jiang, Zhou Xu ve Vincent Ji, 2019). Bu işlem sonrasında yüzey pürüzlülük değerleri, sertlik değerleri ve uygulama yapılan malzemenin yorulma değerlerinde iyileştirmeler meydana gelir.

Bilyalı dövme işlemi için titanyum alaşımı olan Ti6Al4V malzeme seçilmiştir. Malzeme Kale Havacılık Sanayi A.Ş. Hurda Malzeme Bölümünden temin edilmiştir. Numuneler Kale Havacılık Sanayi A.Ş. Operasyonlar Direktörlüğü, Seri İmalat bölümünde 3 eksen CNC freze ve tel erozyon cihazları ile kesilmiştir. Kesme işleminden sonra Kale Havacılık Sanayi A.Ş. Özel Prosesler bölümünde bilyalı dövme işlemine alınmıştır. Bir adet malzeme dövme işlemi yapılmamış olup referans numune olarak kullanılmıştır. Daha sonrasında Kale Havacılık Sanayi A.Ş. bünyesinde bulunan Kalite Güvence bölümünde yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve sertlik testi yapılmıştır. Sertlik testinden sonra iş parçaları frezeleme ve tel erozyon operasyonlarına maruz kaldığından malzeme yüzeyinde oluşabilecek kirlenmeler veya oluşabilecek tabakalar için kimyasal dağlama yapılmıştır.

Kimyasal dağlama işlemi Boeing firmasının isterileri doğrultusunda reçetesi hazırlanan daldırma havuzlarında yapılmıştır. Aşındırma testi ve optik mikroskop görüntüleri Milli Savunma Üniversitesi Deniz Harp Okulu Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında, taramalı elektron mikroskobu görüntüsü Doğu Üniversitesi Makine İleri Teknolojiler laboratuvarında alınmıştır. Bu çalışmada bilyalı dövme işleminde değiştirilen basıncın malzeme üzerindeki etkileri incelenmiş, artan basıncın malzeme özelliklerinde iyileştirmeye yol açtığı ortaya konmuştur.



## **2. ÇALIŞMANIN AMACI**

Bu çalışmada 0,5 bar, 1 bar ve 1,5 bar olarak 3 farklı basınç değerinde yapılan bilyalı dövme işleminin basınç değişimine bağlı olarak yüzey üzerinde oluşturduğu etkiler gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bu kıyas için malzeme 3 eksen frezede lamel halinde eşit kalınlıklarda ve boylarda kesilmiş olup, bilyalı dövme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonrasında ise elektron mikroskobu görüntüsü alınabilmesi için dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlanmış yüzey görüntüleri alındıktan sonra 3 iş parçası aşınma testine maruz kalmıştır. Aşınma testi sonrasında optik mikroskop ile görüntü alınmıştır. Son olarak SEM görüntüleri alınmış olup 3 iş parçası hakkında kıyas ve yorum yapılmıştır.

### 3.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 3.1 Titanyum Alaşımaları ve Ti6Al4V Atomik Yapısı

21. yüzyılda geçmiş yüzyıllara göre malzeme teknolojisinin gelişmesi ve gerek endüstriyel kullanımda gerekse medikal kullanımlarda performans olarak geleneksel metalik malzemeler gerekli gereksinimlere karşılık vermemesi üzerine malzeme bilim dalında sürekli bir mükemmel malzeme arayışına daha fazla gerekli önem verilmiştir. Bu öneme cevap olarak malzeme bilimi ile ilgilenen bilim adamları ve endüstriyel üreticiler arayışlara devam ederken günümüzün en popüler ve performans açısından yüksek sayılabilecek olan titanyum malzemesi ortaya çıkarmışlardır. Bu metal malzeme hem korozyon direnci olarak hem mekanik özellikler olarak hem de medikal sektörde kullanılabilirliği açısından tercih edilen malzemeler arasına girmiştir.

Titanyum malzemesi, ilk olarak İngiltere de 1791 yılında William Gregor tarafından oksit formunda keşfedilmiştir. Alman kimyacı Klaproth 1795 yılında Macaristan'da titanyum dioksitin analizini yaparak titanyum elementinin oksidini de keşfetmiştir. Klaproth bu elemente Yunan mitolojisinde üstün güç ve dayanıklılıkları ile bilinen Titanlardan esinlenerek titanyum adını vermiştir (Coşkun, 2011).

Yerkabuğunun %0,6'sını oluşturan titanyum, metal sıralamasında demir, alüminyum, magnezyumun ardından dördüncü sırada gelmektedir (İçdem, 2007; Leyens ve Peters, 2003). Titanyum yeryüzünde fazlaca bulunmasına rağmen üretimi zor olduğu için piyasa değeri yüksektir. Saf halde bulunmayan titanyum, yüksek konsantrasyon değerlerinde de az bulunmaktadır (Leyens ve Peters, 2003; Sıcakyüz, 2007).

Saf titanyum malzemesi 1950 yıllarından beri havacılık ve uçak sanayisinde paslanmaz çelikten hafif, alüminyumdan daha yüksek ısı dirence sahip olması tercih edilebilir hale gelmesinin baş sebeplerinden birisidir. Ayrıca yüksek korozyon direnci ve kaynaklana birlik tercih sebeplerindedir. Bu özelliklere sahip olması ile üzerine çalışmaların ve üretiminin artmasına sebep olmuştur (Duman, 2010).

Titanyum metalinin endüstriyel olarak ilk kullanım denemesi, 1952 yılında DC-7 tipi bir uçağın motorundaki uçak bağlantı noktalarında ve motor içerisindeki kanatçıklardaki yanma odalarında kullanılmıştır (Coşkun, 2011).

Bir geçiş elementi olan titanyumun atom numarası 22'dir ve allotropiktir. Atom ağırlığı ise 47,90'dır. 882 oC altında olan sıcaklık koşullarında  $\alpha$  fazında kararlıdır. Yapısı sıkı paket hekzagonal (SPH) yapı olup, erime sıcaklığı 1668 oC'dir. Hacim merkezli kübik (HMK) yapıdaki  $\beta$  faz için 882 oC ile 1668 oC arasında kararlıdır (İçdem, 2007; ASM Metals Handbook).

Titanyumun dayanımının yoğunluğa oranı yüksek olmaktadır fakat maliyeti yüksek olduğu için kullanım alanı sınırlıdır. Oksijenle etkileşime girme eğilimi, maliyeti arttırmaktadır. Titanyumun tercih edilme nedeni, bir yapı bileşeni olarak hafif kullanımın gerektiği uygulamalar ve 150 °C üstündeki uygulamalarda, erime sıcaklığının alüminyumdan daha yüksek olmasıdır. Oksijenle reaksiyon içerisine girme eğiliminden dolayı, kullanım sıcaklığı ortalama 600 °C'dir. 600 °C'nin üstündeki durumlarda oksijende bulunan oksit tabakasının difüzyonunu hızlandırıp oksit tabakasını kalınlaştırmakta, sınırdaki bulunan oksijen ile yoğun bölgeyi gevrekletmektedir (Balaban, 2007; Lütjering ve Williams, 2003).

Titanyum ve alaşımları fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurularak, yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bu özellikleri ile savunma sanayisinde uçak, uzay ve deniz sektörlerinde kullanılmaktadır. Metalin ve alaşımlarının kuvvetli ve rijit yapısı, düşük özgül ağırlığı ve göreceli olarak hafif oluşu, yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı ve korozyona karşı direnci kullanım alanlarının yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bu özelliklerle savunma sanayisi dışında medikal sektöründe de kullanımı yaygınlaşmakta olup özellikle kemik ve diş protez yapımlarında kullanılmaktadır (Williams, J. C. ve Lütjering, 2007).

Titanyum alaşımları, iki farklı birim kafes yapıya sahiptir. Bu yapılar allotropik dönüşümü etkilediği için, kullanım alanları da etkilenmektedir. Titanyum ve alaşımların kristal yapısı, ayrıca difüzyon ve plastik deformasyon üzerinde de etkiye sahiptir. SPH kristal yapı,  $\alpha$  titanyumun sahip olduğu mekanik özelliklerin üzerinde anizotropinin belirgin bir şekilde görülmesine yol açmaktadır. Young Modülü, SPH kristal yapıdaki tek titanyum kristalidir. Kristalin taban düzlemine paralel yönde 100

GPa, dik yönde 145 GPa etki etmektedir (Leyens ve Peters, 2003; Akdaş, 2006). Kristal bir kafes yapısı içerisinde metallerin plastik deformasyon yatkınlığı en fazla yüzey merkezli kübik kristal (YMK) yapıda, en az ise SPH kristalde gerçekleşmektedir. Bu nedenle HMK kristal yapısındaki  $\beta$  titanyum malzemelere kıyasla SPH'deki  $\alpha$  titanyum, plastik deformasyonda daha düşük bir performansa sahiptir (Akdaş, 2006).

Birim kafeste  $\alpha$  titanyum atomları yoğun bir şekilde paketlenmiş için SPH kristal yapıda görülen difüzyon, HMK kristal yapısında bulunan  $\beta$  titanyum malzemelerle kıyasla daha zor gerçekleşmektedir.  $\alpha$  ve  $\beta$  arasındaki bu difüzyon katsayısı farklılığının nedeni, mikro yapılarındaki farklılıktır. Süper plastisite ve sıcak işlenebilirlik gibi özellikler, iki ayrı faz yapısı tarafından belirlenmektedir. Limitli hacimsel difüzyonun olduğu  $\alpha$  titanyum ve alaşımlarındaki sürünme dayanımı,  $\beta$  alaşımlarına oranla daha yüksektir. Yüksek hızlarının sonucunda ince lamel yapıya sahip taneler oluşmakta, yavaş soğutma hızı ise kaba taneli lamel yapıya sahip taneler oluşturmaktadır. Soğuma sürecinde yeterince zaman verildiği zaman oluşan lamelli yapılar, daha önceden oluşmuş lamelli tanelerini etkileyerek, boyutlarını büyütmektedir (Akdaş, 2006).

Titanyum elementinin genel özellikleri aşağıdaki Şekil 3.1'deki özelliklerdir.

<b>Ti elementinin özellikleri</b>	<b>Değer</b>
Ergime Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )	1670
Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	4.51
Atom numarası	22
Atomik ağırlık (g)	47.90
Kristal yapısı	<882.5 $^{\circ}\text{C}$ SPH >882.5 $^{\circ}\text{C}$ HMK
Elastisite Modülü (GPa)	120
Isıl İletkenlik ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	11.4 (oda sıcaklığında)
Elektrik İletkenliği	%3 (bakıra göre)
Renk	Koyu gri

**Şekil 3.1:**Titanyum Özellikleri

Endüstriyel kullanımda uçak, uzay ve medikal kullanımda kullanıldığı bilinen Ti6Al4V alaşımı Titanyum alaşımları üretiminin yıllık üretiminin %50 sini kaplamaktadır. Bu üretim sonrasında alaşımın %80 ni uçak uzay sanayisinde, %3 nü

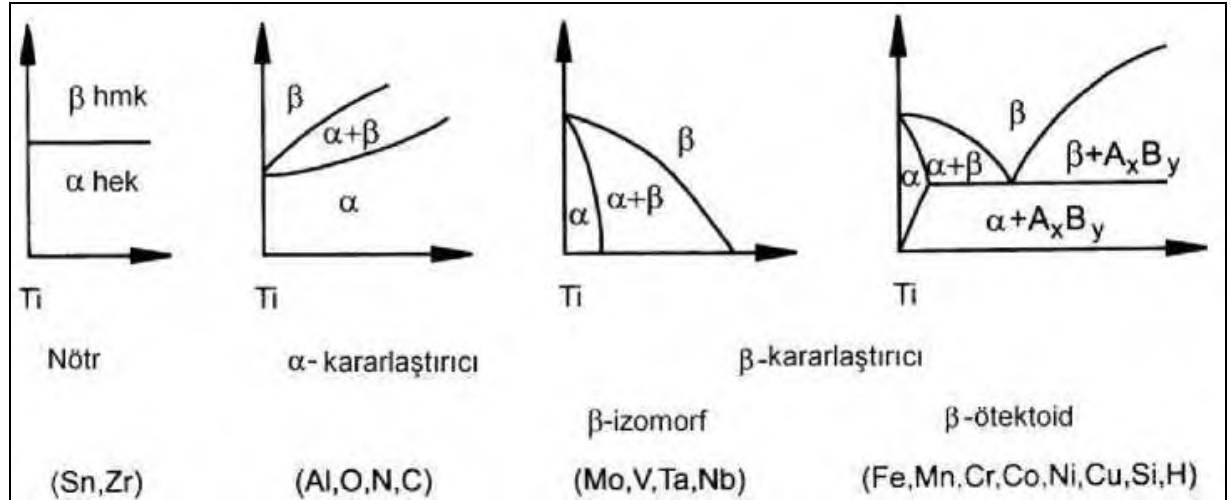
ise medikal sektör kapsamaktadır. Denizcilik, otomotiv ve kimya endüstrileri ise geri kalan dağılımda ise yüzdeler değişkenlik göstererek üretimi kapsamaktadır (Duman, 2010).

Ti6Al4V alaşımının özelliklerini Çizelge 3.1 de görülmektedir (Yurtkuran, 2011).

**Çizelge 3.1:** Ti6Al4V Alaşımının özellikleri

Özellik	Değer
Ergime Sıcaklığı	1649°C
Dönüşüm Sıcaklığı	980-990°C
Yoğunluk	4,43 g/cm <sup>3</sup>
Çekme Dayanımı	890-1000 MPa
Sertliği (HRB)	36
Poisson Oranı	0.33

Titanyum alaşımları elde ediliş biçimlerine göre üç kategoride sınıflandırılırlar. Bu kategoriler  $\alpha$ ,  $\alpha+\beta$  ve  $\beta$  dır. Tıp ve endüstri alanında en çok kullanılan Ti6Al4V alaşımı  $\alpha+\beta$  alaşımlarından biridir (Williams, J. C. ve Lütjering, 2007).



**Şekil 3.2:** Titanyum faz diyagramının bazı alaşım elementlerine göre değişimi

**Kaynak:** (Leyens ve Peters, 2003; Balaban, 2007).

Titanyumun 882 °C olan  $\alpha \rightarrow \beta$  dönüşüm sıcaklığını değiştirici etki yaratan element katkıları ile alaşımlıma yapılmaktadır. Alaşım elementleri ise  $\alpha$  ya da  $\beta$  kararlaştırıcı elementler şeklinde ikiye ayrılmaktadırlar (Balaban, 2007). Bu alaşım elementleri,  $\beta$  geçiş sıcaklığına etki etmekte; nötr,  $\alpha$  ya da  $\beta$  kararlaştırıcı şeklinde sınıflandırılmaktadırlar (Akdaş, 2006).

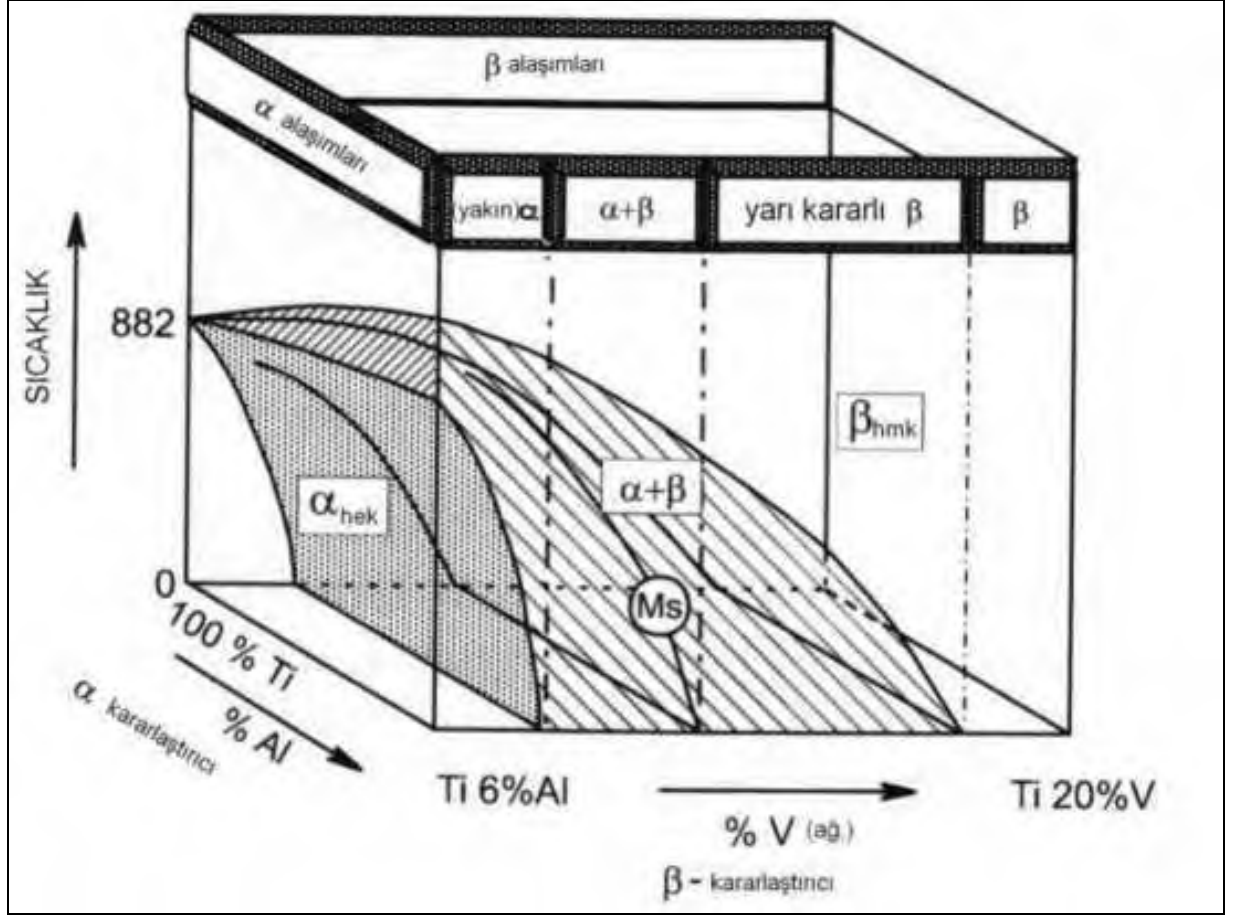
$\beta$  fazı bölgesi sıcaklığı  $\beta$  titanyum kararlaştırıcı elementler tarafından düşürülürken,  $\alpha$  fazı bölgesi sıcaklığı  $\alpha$  titanyum kararlaştırıcı elementlerce artırılmaktadır. Bu

elementlerden başka, mikro yapıda 100 ppm gibi bir oranda yer alan ametalik elementler, faz yapısını empürite biçiminde etkilemektedir (Akdaş, 2006).

$\alpha$  fazı alüminyum, oksijen, karbon, azotun da katkısı ile en etkin biçimde kararlaştırılmaktadır. Tp sıcaklığını yükselten alüminyum,  $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarını da ayrı ayrı ayrıştırabilmektedir ve titanyum alaşımlandırmasında en fazla seçilen element niteliğindedir. Ti-Al faz diyagramında,  $\alpha$  +Ti<sub>3</sub>Al bölgesi çift fazlı bir bölgedir ve bölge, yaklaşık 500 °C'de ve %5 Al bileşiminde başlamakta, artan alüminyum miktarıyla da Ti<sub>3</sub>Al fazı oluşmaktadır. Alüminyum ile alaşımlandırılan  $\alpha$  fazında Ti<sub>3</sub>Al çökeltileri yaşanmasından kaçınmak için alüminyum miktarının %6'yla sınırlandırılması gerekmektedir (Balaban, 2007; Lütjering ve Williams, 2003). Oksijen, titanyumun imalat yeteneğini ve mukavemetinin artmasını sağlamaktadır (Balaban, 2007; Ensarioğlu ve Çakır, 2005).

$\beta$  titanyum kararlaştırıcı elementleri,  $\beta$  ötektik ve  $\beta$  izomorf olmak üzere iki element sınıfından oluşmaktadır. Nb, Mo ve V, en çok tercih edilen; Re ve Ta ise nadiren kullanılan  $\beta$  izomorf kararlaştırıcı elementlerdir. Bu kararlaştırıcılar belli miktarda kullanıldığında  $\beta$  fazı oda sıcaklığında kararlı hale gelmektedir. Si, Fe ve Cr en çok tercih edilen; Bi, Pd, W, Mn, Cu ve Ni ise daha az kullanılan  $\beta$  ötektik kararlaştırıcı elementlerdir. Nötr etkiye sahip elementlerse Sn ve Zr'dir (Balaban, 2007; Lütjering ve Williams, 2003).

Titanyum ve alaşımlarının sınıflandırmasında yaygın olarak  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\alpha$ + $\beta$  kullanılmakta olup; yarı kararlı  $\beta$  ve  $\alpha$ 'ya yakın fazlarda detaylı sınıflandırmalarda yer almaktadır. Aşağıdaki şekilde 3 boyutlu faz diyagramı gösterilmektedir (Akdaş, 2006).



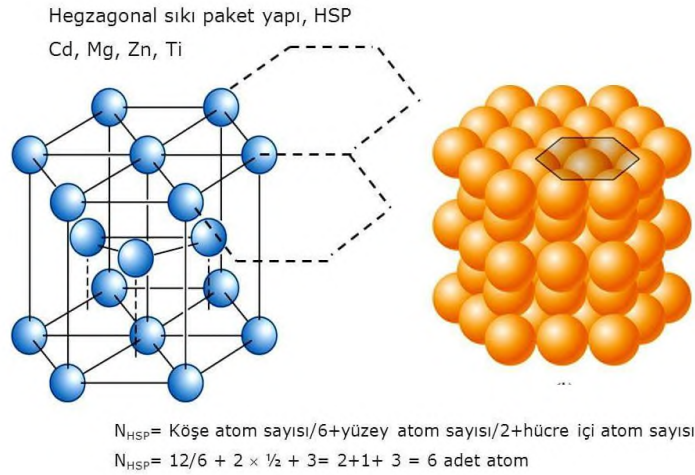
**Şekil 3.3:** Titanyum ve alaşımlarının sınıflandırılması için sınıflandırmak üzere vanadyum (V) ve alüminyum (Al) elementlerinin kullanımı ile oluşan faz diyagramı  
**Kaynak:** (Leyens ve Peters, 2003; Akdaş, 2006).

$\alpha$  alaşımlarının, nötr ya da  $\alpha$  titanyum kararlaştırıcı elementlerin de katkısıyla alaşımı yapılmaktadır.  $\beta$ 'nin az bir miktarda da olsa alaşıma ilave olmasıyla,  $\alpha$  titanyuma yakın alaşımlar oluşmaktadır.  $\alpha+\beta$  alaşımları, en çok tercih edilen titanyum alaşımıdır. Bu alaşımı elde etmek için daha fazla  $\beta$  kullanılmaktadır. Bu birleşik alaşım, oda sıcaklığında ve %5-%40 hacimlerinde  $\beta$  fazından meydana gelmektedir.  $\beta$  belli bir miktarda eklendiği zaman,  $\beta$  fazına su verilmekte ve Widmanstatten yapısına dönüşmesi engellenmektedir. Bu noktada alaşımların iki fazlılığı sürmektedir ve bu yapıya kararlı  $\beta$  faz adı verilmektedir. Tek fazlı  $\beta$  fazı, alaşımlandırma diyagramının son sırasındadır (Akdaş, 2006).

Titanyum alaşımlarının farklı yapı ve özellikler göstermesinin nedeni,  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\alpha+\beta$  titanyum fazları ve bunların mikro yapıda farklı hacimsel miktara sahip olmasıdır. Ayrıca bu faz yapılarındaki kristal kafesler de mekanik ve fiziksel özellikleri etkilemektedir (İçdem, 2007; Leyens ve Peters, 2003).

Tek fazlı  $\alpha$  titanyum alaşımlarının mukavemet değeri kabul edilebilir ölçülerdedir. Yarı kararlı  $\beta$  alaşımları ve iki fazlı  $\alpha+\beta$  titanyum alaşımlarının sertleştirilmesi için yüksek seviyelerde kuvvet değeri gerekmektedir. Yarı kararlı yapıdaki  $\beta$  alaşımlarının sertlik değeri yüksek olduğu için, süneklik özellikleri düşüktür.  $\beta$  titanyum alaşımları üzerinde yaşlandırma sertleştirme işlemi yapılırsa  $\alpha$  ve  $\alpha+\beta$  düzeyinde süneklik özelliği göstermesi mümkündür. Yorulma tokluğu özelliği, mikro yapılardan etkilenmektedir. Lamelli ve iri bir mikro yapıya sahip titanyum alaşımları, bu açıdan yüksek özelliğe sahiptir. Alaşımın oksijen ile etkileşime girme eğilimi ve korozyon direnci arasında bağlantı bulunmakta olup; yüksek tepkime eğilimli olan alaşımların yüzeyinde yoğun ve ince bir oksijen tabakası oluşmaktadır. Bu tabaka sayesinde malzeme, korozyona karşı daha dirençli bir hale gelmektedir (İçdem, 2007; Leyens ve Peters, 2003).

Ti6Al4V alaşımı atomik yapı açısından hegzagonal sıkı paket yapıdadır. Şekil 1.3 de görülmektedir.



**Şekil 3.4:** Ti6Al4V Alaşımı Atomik Yapısı,

**Kaynak:** (<https://slideplayer.biz.tr/slide/2795947/>)

Titanyum ve alaşımlarının hem kimyasal hem de fiziksel özellikleri oldukça güçlüdür (<http://www.mta.gov.tr>). Isıl direnç, yüksek özgül mukavemet ve korozyon direnci gibi özellikleri sayesinde çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Akyol, 2007; Brooks, 1982). Fakat işlenmesi maliyetli ve zor olduğu için, daha çok özel alanlarda kullanılmaktadır. Titanyum dioksit pigmentinin, önemli bir hammaddedir. Elektrokimya ve kimya endüstrileri, askeri uygulamalar, uçak ve uzay sanayisi, kâğıt, plastik ve boya endüstrileri gibi pek çok alanda, yaygın bir şekilde



kullanılmaktadır (<http://www.mta.gov.tr>). Dünyadaki pek çok ülkede titanyum, rezerv şeklinde bulunmaktadır. Rezerv miktarıyla ilgili veriler sınırlıdır ancak en çok şu ülkelerde görülmektedir: Ukrayna, Norveç, Güney Afrika, Hindistan, Kanada, Avustralya, Çin, Sri Lanka, Mozambik, Vietnam, ABD ve Brezilya.

Titanyum cevheri işlendiğinde, TiO<sub>2</sub> bileşimini kolayca elde etmek mümkündür. Mevcut rezerv miktarı, gerekli ihtiyacı uzun bir süre karşılayabilecek miktardadır ancak günümüzdeki üretim teknolojileri ve proseslerinin yapısının karmaşık olması nedeniyle üretim maliyeti, dolayısıyla da titanyumun fiyatı artmaktadır (<http://www.mta.gov.tr>). Yarı mamul maliyetinin yüksek olması, ticari uygulamalardaki en büyük dezavantajdır. Maliyetinin yüksek olmasının sebebi; cevher çıkarılırken ve ayrıştırılırken çok karmaşık proseslerin uygulanması, cevher yoğun olarak bulunmadığı için tesis yatırımlarını karşılamada problemler yaşanması, ürünü işleme maliyetlerinin yüksek olmasıdır (Akyol, 2007; Çakır ve Ensarioğlu, 2005).

Türkiye'ye bakıldığında Hakkari'deki kuvarsitlerde, Karadeniz plajlarındaki kumlarda, Uşak, İzmir ve Manisa'daki plaselere titanyum bulunduğu saptanmıştır. Türkiye'deki titanyum minerallerinin tenor miktarı %1'in üzerine çıkmamaktadır (İçdem, 2007; T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 1996). Bu yüzden Türkiye'nin titanyum ihtiyacını karşılamak için ithalat yapılmaktadır. Türkiye'de titanyumun pigment olarak en fazla kullanıldığı alanlar seramik, plastik ve boya sanayileridir (<http://www.mta.gov.tr>).

### **3.2 Bilyalı Dövme ve İşleminin Amacı**

Bilyalı dövme, metal malzemelerin yorulma ve gerilme kuvvetlerine karşı mukavemetlerini artırmak için mekanik bir metot olarak uygulanan yüzey işlemdir. Bu uygulama malzeme yüzeyine soğuk veya ılık seviyede yapılarak etkisini göstermesi beklenerek uygulanmaktadır. Bu etkilerin başında yüzey sertlik derecelerinin artması ve frezeleme sonrası malzeme içerisinde kalan artık kuvvetlerin ortaya çıkması ile şekil deformasyonu olması beklenmektedir. Havacılıkta uygulanma amacı ise mekanik tasarım esnasında tasarlanan materyalin tasarım gereği üzerine uygulanan kuvvetlere karşı materyal ömrünün artık kuvvetler sebebi ile azalmasını engellemeye çalışmaktır.

Bilyalı dövme; üretme ve şekil verme işlemlerinin ardından uygulanan bir yüzey işleme metodudur. İşlemden nozul aracılığıyla bir metal parça yüzeyi kapalı ortama, yüksek bağıl hızlı bilyalarla yüksek basınçlarda dövülmektedir. Bunun sonucunda metal yüzeyde iki eksenli kalıntı basma gerilmeleri oluşturulmakta, yorulma dayanımı arttırılmaktadır. Bilyalı dövme, bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan en az maliyetli işlemdir.

Temelde bilyalı dövme, yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ve yüzeyin iyileştirilmesi işlemidir. Bu işlemle gerilmeli korozyon, yorulma, korozyon sebepli yorulma gibi durumlar karşısında metallerin mukavemet değeri arttırılmak istenmektedir. Dövme işleminin sağladığı pek çok avantaj ve fayda vardır. Bunların en önemlileri malzemelerin mukavemet değerinin artması, yorulma dayanımının artması, korozyon oluşumu ve hasarların azalması, yükün altında çatlakların oluşumunun azalması, işletme maliyetlerinin azalması ve malzeme ömrünün %30'dan fazla artmasıdır.

Bilyalı dövme işlemiyle birlikte metalik malzemelerde sertlik artmaktadır. Ayrıca yüzeyde ve yüzeyin altındaki basma nitelikli kalıntı gerilmeleri oluşmaktadır. Bu işlem, sıcaklığın farklı olduğu ortamlarda etkin bir şekilde uygulanabilmekte, yüke karşı mukavemet performansı ve yüzey özellikleri iyileştirilebilmektedir. İşlemin uygulanacağı yüzey üzerine küçük çaplı, farklı özellik ve yapılarda bilyalar fırlatılmaktadır. Bilyaların çarpma etkisiyle yüzey üzerinde enerji aktarımı olmaktadır. Atılan bilyalar, dövülme işleminin yapılacağı malzemeden daha yüksek bir mukavemet değerine ve sertliğe sahip olmalıdır (Johnson ve ark., 2001).

Bilyalı dövme işleminde tek bir işlem değil, işlemler zinciri bulunmaktadır ve bilyalı dövme tezgâhı bir bütün şeklinde çalışmaktadır. Tank içerisinde bulunan çok sayıda bilya, nozul aracılığıyla ve yüksek bir basınçla, işlemin yapılacağı malzemenin özelliklerine ve işlemin amacına göre fırlatılmaktadır. İşlem, daha önceden belirlenmiş vuruş açısı, yüzey sarma oranı, yoğunluk, hız, bilya boyutu, tipi ve süre gibi faktörler çerçevesinde, kapalı bir tezgahta gerçekleştirilmektedir. Bilyaların hızı, malzeme üzerinde kalıcı bir deformasyon oluşturacak yoğunluk ve hızda olmaktadır. Yüzeyin tamamına dağılım yapmak için ya el yardımı ile kontrol edilmekte ya da otomatik robot kullanılmaktadır.

Bilyalı dövme, metalin yorulma ömrü ve mekanik karakteristiğini etkilemektedir. Deneysel çalışmalara göre bilyalı dövme; yorulma dayanımı, titanyum alaşımlar, yay

çelikleri, yapı çelikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Bilyalı dövme işleminin sonuçları yüzeyin sertlik değeri, yüzey sarma oranı, malzeme, bilya tipi, şekil ve hıza göre belirlenmektedir (Sledz ve ark., 2013).

Bu işlemdeki en önemli kriter, malzeme yüzeyinde gerçekleştirilmek özelliklerin önceden belirlenmesi ve bu belirleme yapılırken malzemenin de özelliklerine dikkat edilmesidir. Yüksek çaplı bilyaların kullanılması ve dövme süresinin uzatılması, malzemenin ömrünü her zaman uzatmamaktadır. Malzeme, aşırı plastik deformasyonun sonucunda gevreklik yaşamakta, bunun sonucunda da ömrü kısalmaktadır. Farklı bilya hızı ve çapıyla farklı dayanım ve sertlik değerleri elde edilmektedir. Yüksek bir hızda fırlatılan bilyalar, çarpma hız ve açısına göre deformasyon miktarını belirlemektedir. Bu değişkenlerin etkisine göre malzeme yüzeyi sertlik ve mukavemet değeri kazanmaktadır.

Bilyalar malzeme yüzeyine çarptıktan sonra, çarpma etkisiyle bu bölgeler genişlemeye çalışmakta, yüzeyin altında yalnızca elastik deformasyon yaşayan bölgeler tarafından engellenmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle yüzeyde ve altında kalıntı basma gerilmesi, iç kesimlerdeyse çekme gerilmesi oluşmaktadır. Çekme gerilmesi, yüzeyde çukurlar oluşturmaktadır. Basma gerilmesi ise yüzeyin altında bulunan metali eski haline getirmek için çabalamaktadır. Bu nedenle yüzeyin altında metal yüksek basma gerilmesiyle yüklenmektedir. Birbirinin üstünde çakışan çukurcukların altındaysa basma nitelikli kalıntı gerilme profili oluşmaktadır (Ünal, 2011). Yüzeydeki kalıntı basma gerilme değeriye, merkeze doğru indikçe azalmaktadır çünkü bilyanın dövme etkisi sınırlıdır.

Dövme işlemiyle; çeşitli üretim yöntemlerinin sonucunda, malzemede meydana gelen ve istenmeyen gerilmeler, malzemenin yüzeyinde eşit bir şekilde dağılmaktadır. Özellikle taşlanmış ya da tornalamış yüzeylerdeki etkisi büyüktür çünkü bu işlemlerle malzemenin yüzeyinde oluşan ve istenmeyen çekilme gerilmeleri, yararlı kalıntı basma gerilmelere dönüştürülmektedir. Bu işlem, istenmeyen gerilme birikimlerini oluşturan çap değişikliklerinde, yüzey hatalarında, kaynak yapılmış parçaların ısı etkisindeki bölgelerde ve keskin kenarlarda düşük mukavemete sahip malzemenin karbon kayıplarında etkiye sahiptir (Yılmaz ve ark., 2007).

İşlemin uygulandığı yüzeyler, korozyona ve aşınmaya karşı dayanıklıdır ve mukavemet gücü uzun sürmektedir. Korozyon ve yorulma sonucunda oluşan hasarlar, yüzeyden merkeze doğru ilerlemekte ve yorulma hasarına yol açmaktadır. Malzemeyi etkileyen yükleri ve potansiyel yükleri matematiksel olarak toplamak mümkündür. Bilyalı dövme işleminin amacı, çekmeyle yüklenen malzeme yüzeyinde bir kalıntı basma gerilme oluşturmaktır. Bu gerilmelerle, yükleme ve çalışma koşullarına göre değişken yükler taşıyan yüzeylerdeki gerilmeler toplanabilmekte; kalıntı basma gerilmesinin seviyesine paralel bir şekilde malzeme ömrü de artmaktadır (Wang ve ark., 1998).

Bir yükün altında çalışan bağlantı pimleri gibi metaller, çekme gerilmelerine direk olarak maruz kalmakta, bu da yorulmanın temel noktasını oluşturmaktadır. Bilyalı dövmenin uygulandığı yüzeyin kalıntı basma gerilme potansiyeli ne kadar büyük olursa, yükün gerilme etkisi de o derecede minimuma indirgenmektedir. Kalıntı basma gerilmeleri sayesinde ani burkulma, eğme ve çevrimsel yüklerin sonucunda yüzey üzerinde çatlakların oluşması ve ilerlemesi engellenmekte, bu şekilde malzemenin performansı ve çalışma ömrü artmaktadır.

Günümüzdeki teknoloji sayesinde bilyalı dövme yöntemleri çeşitlenmiş ve gelişmiştir. Dövme işlemi, hem yüzeyde hem de iç kısımda boşlukları olan parçalarda yorulma mukavemetini arttırmak için kullanılabilir. Bu şekilde metal hem içten hem de dıştan daha yüksek bir mukavemete sahip olmaktadır. Yüzey üzerinde uygulanan dövme işlemleri boşluk kısımlarda da uygulandığı zaman, sonuçlar daha olumlu olmaktadır (Barker, 2019).

Bilyalı dövme işlemi metalik malzemelerde birçok farklı uygulamalarda kullanılmakta ve literatürde yüzey işlemlerinde yer bulmaktadır.

Bilyalı dövme işlemi üst düzey yüzey işleme methodu olarak da kabul edilmektedir (Ming Chen, Huabing Liu, Liaobo Wang, Zhou Xu, Vincent Ji ve Chuanhai Jiang, 2018)

Bilyalı dövme işlemi metalik malzemelerden paslanmaz çeliğin östenitik ve ferritik hallerine de uygulanarak deneysel çalışmalar yapılmaktadır (Ming Chen, Huabing Liu, Liaobo Wang, Zhou Xu, Vincent Ji ve Chuanhai Jiang, 2018). Paslanmaz çeliğin östenitik ve ferritik hallerine bilyalı dövme işlemi yapıldıktan sonra mikro

yapısındaki hareketleri gözlenmiştir (H. Kovacı, Y.B. Bozkurt, A.F. Yetim, M.Aslan, A.Çelik, 2019)

Bilyalı dövme işlemi paslanmaz çelik 316 serisine farklı sürelerde uygulanarak ve daha sonra korozyon testi uygulanarak yüzey davranış hareketleri de gözlenmiştir (Qiang Feng, Chuanhai Jiang, Zhou Xu, Lechun Xie ve Vincent Ji, 2013) Dövme işleminin sonu malzemenin sertlik değerinin artması malzemenin gevrekliğinde arttığını göstermiştir.

Bilyalı dövme işlemi paslanmaz çelik S32205 serisine uygulanarak mikro yapısındaki etkileri gözlemlenmiştir (Ming Chen, Huabing Liu, Lianbo Wang, Chengxi Wang, Kaiyuan Zhu, Zhou Xu, Chuanhai Jiang ve Vincent Ji, 2017) Mikro yapıda meydana gelen bilyalı dövme iyileştirmesi mekanik özelliklerinin geliştiği gözlemlenmiştir.

SAF 2507 serisinde de aynı işlemler yapılarak etkiler gözlemlenmiştir (Ming Chen, Chuanhai Jiang, Zhou Xu, Ke Zhan ve Vincent Ji, 2018) Deney sonucunda yüzeyde oluşan plastik deformasyonlar görüntülenmiştir.

Bilyalı dövme işlemi alüminyum serisi 7A85 malzemesine uygulanmış olup daha sonra korozyon testlerine sokularak malzeme yüzey davranış hareketleri de gözlenmiştir (Ming Chen, Huabing Liu, Lianbo Wang, Chengxi Wang, Kaiyuan Zhu, Zhou Xu, Chuanhai Jiang ve Vincent Ji, 2017) Korozyon işlemi sonrasında malzemenin çözelti ile reaksiyona girmesi sonrasında yorulma deneyi yapılmıştır ve yorulma değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Bilyalı dövme, bükme, burulma, sürekli olarak çekme ve basma yüklerine maruz kalan parçaların yorulma ömürlerinin uzamasına yardımcı olur. Bu işlem havacılıkta ve makina sanayisinde türbin diskleri, türbin bıçakları, konik dişliler, krank şatları gibi parçalara uygulama yapıldığı bilinmektedir (Yalçınkaya, 2019).

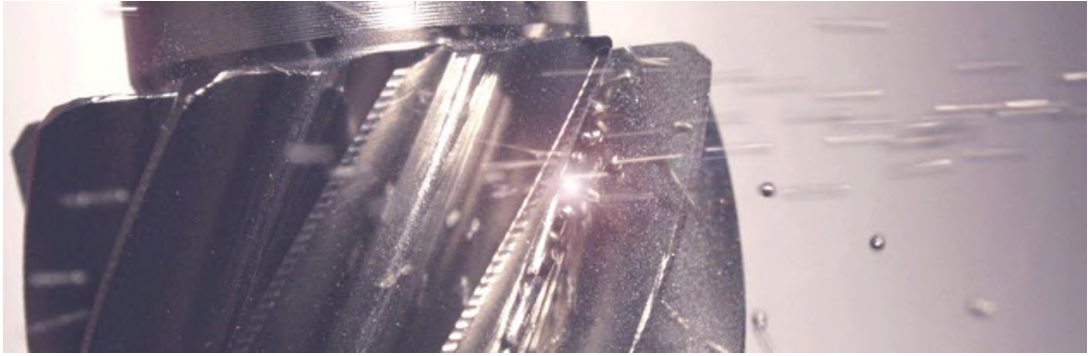
Dövme işlemi, üretilen parçanın üretim metoduna göre üzerinde kalan artık gerilmeleri eşit şekilde dağılımını düzenlemek içinde yapılmaktadır. Bilyalı dövme bu etkisi ile talaşlı imalat sonrasında uygulanması durumunda yüzey şekillerinde, delik çaplarında ve parça geometrisinde geometri değişikliğine de sebep olmaktadır. Bilyalı dövme öncesi ve sonrası geometrik ölçüm değerlerinde değişiklik görülmektedir (Yalçınkaya, 2019).

Bilyalı dövme yüzeyin metal bilyeler ile malzeme cinsine bağlı olarak seçilmiş bilya taneleri ve malzemesi ile bombardıman yapılmasıdır. Buradaki amaç yüzeyde bir artık kuvvet tabakası oluşturarak yüzey sertliği oluşturmaktır. Şekil 3.5 ve 3.6 den bombardıman görüntüsü görülebilir.



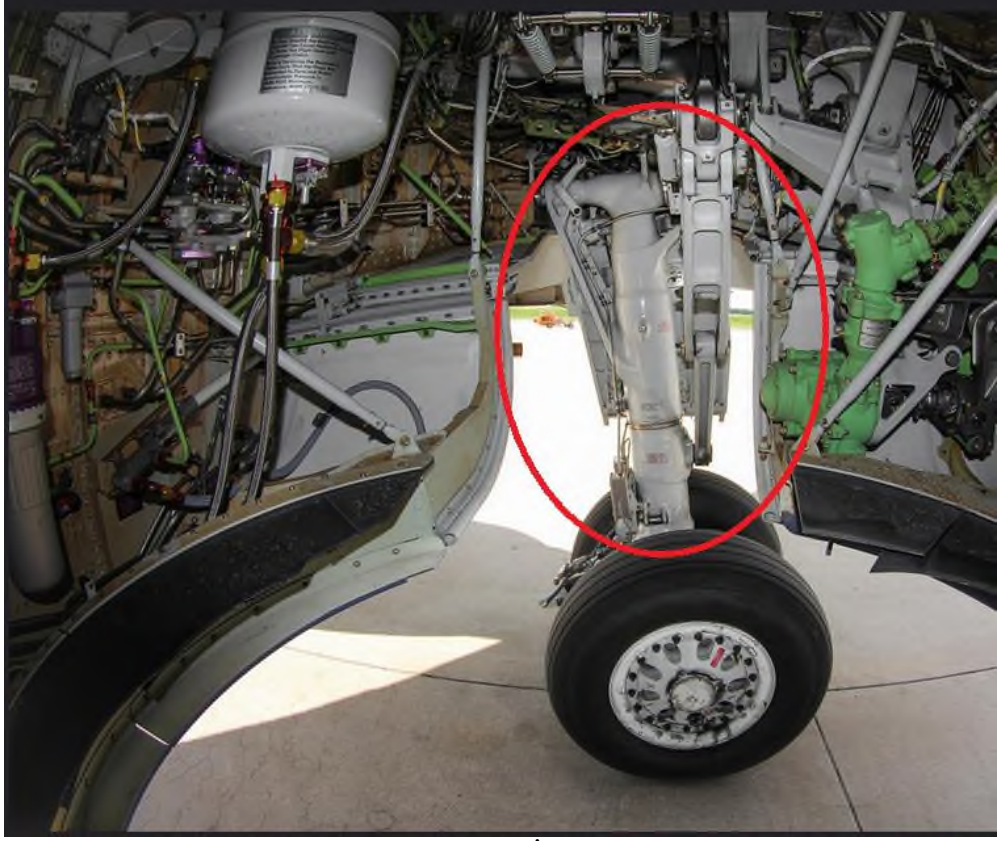
**Şekil 3.5:** Bombardıman Görüntüsü

**Kaynak:** (<http://www.sspst.com/icerik/goTo/5/shot-peening-bilyali-dovme-nedir.html>)



**Şekil 3.6:** Bombardıman Görüntüsü

**Kaynak:** (<http://www.sspst.com/icerik/goTo/5/shot-peening-bilyali-dovme-nedir.html>)



**Şekil 3.7:** B737 İniş Takımı

**Kaynak:** (<https://www.flickr.com/photos/golfcharlie232/34296374274>)

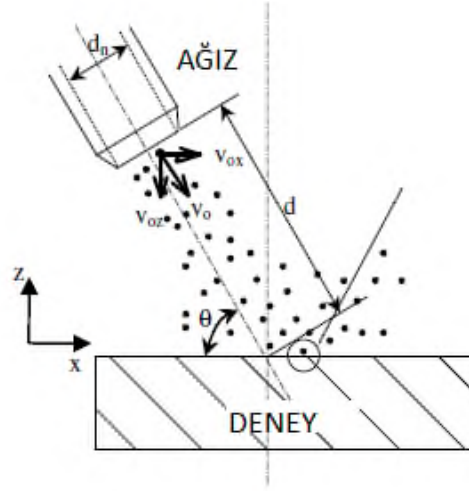
Genellikle kompozit ve alüminyum malzemelerden oluştuğu bilinen yedi yüz serisi uçaklarda iniş takımlarında ani yüklemeye maruz kaldığından mukavemet gerektiren parçalarda titanyum ve özel alaşım paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Şekil 3.7.

737 uçağı Boeing firmasının en çok tercih edilen serisi içerisinde yer almaktadır. Ülkemizdeki havacılık firmaları da Airbus firmasına göre daha çok tercih etmekte ve uçuş eğitimi alan pilot adaylarında tercih edilmektedir.

Yurt içerisinde bulunan yedi yüz serisi uçakların tercih edilmesinin bir nedeni de bakım onarım ve nesil güncelleştirilmesi yapılması istenildiğinde uzun yıllar filolarında mevcut olduğundan gerekli işlemleri daha kolay şekilde yapabilmeleridir.

Bilyalı dövme işlemi sırasında sonuçların homojen ve sağlıklı olması için dövme işlemi parametrelerinin iyi tespit edilmesi ve tekrarlanabilir olması gerekmektedir. Bu parametreler nozzle ağız çapı(da), dövme açısı ( $\Theta$ ), dövme mesafesi(d) ve nozzle ağızından bilya tanelerinin çıkış hızı ( $V_0$ ) ve basınç değeri (P) önem arz etmektedir. Şekil 3.8'te uygulama parametreleri görülebilir.

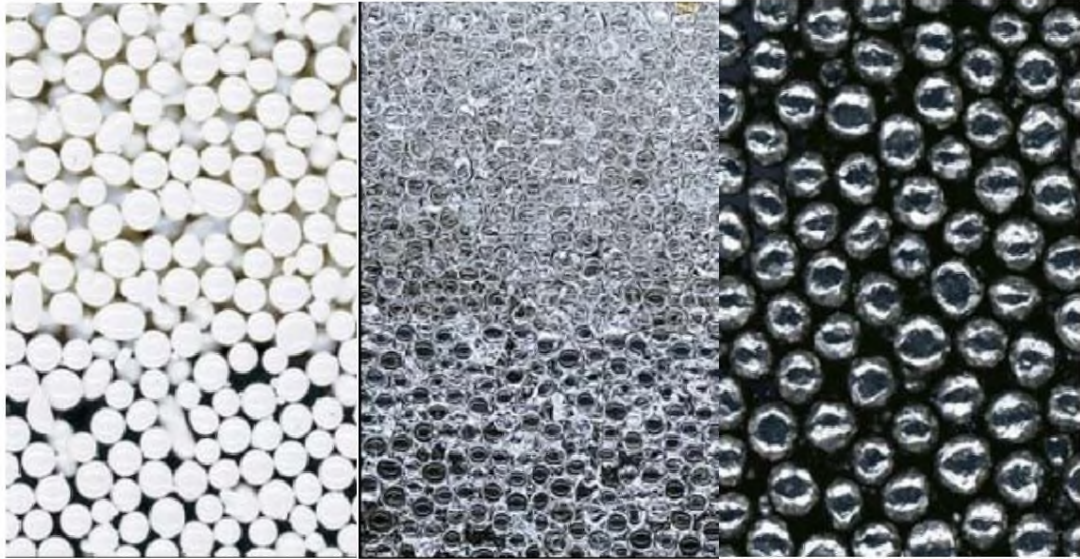




**Şekil 3.8:** Bilyalı Dövme Parametreleri

**Kaynak:** (<https://www.edemsimulation.com/spotlight/researching-advances-in-the-use-of-shot-peening-for-corrosion-fatigue-mitigation-in-steam-turbine-blades/>)

Bilyalı dövme esnasında sabit ve belirli standartlarda olması gereken parametrelerden birisi de bilya özellikleridir. Bilya özelliklerinden kasıt bilyanın çapı ve malzeme cinsidir. Şekil 3.9’te bilyalı dövme işleminde kullanılan bilya çeşitleri gösterilmiştir.



a. Seramik bilya

b. Cam bilya

c. Paslanmaz çelik bilya

**Şekil 3.9:** Bilya Çeşitleri

**Kaynak:** (Ünal, 2015).

Bilya çeşitleri Çizelge 3.2 de gösterilmiş olup kullanılan bilyaların uluslararası standartları ve sertlik dereceleri Çizelge 3.3’deki gibi gösterilmiştir (Ünal, 2015).



**Çizelge 3.2: Bilya Çeşitleri**

Bilya Çeşitleri		
Demir İçerenler	Çelik Bilya, Yuvarlatılmış Kesme Tel, Paslanmaz Çelik Bilya	
Demirdışı Olanlar	Metalik Olanlar	Alüminyum, Çinko, Bakır, Bronz
	Metalik Olmayanlar	Cam, Kürecik Seramik Bilya

**Kaynak:** (Ünal, 2015)

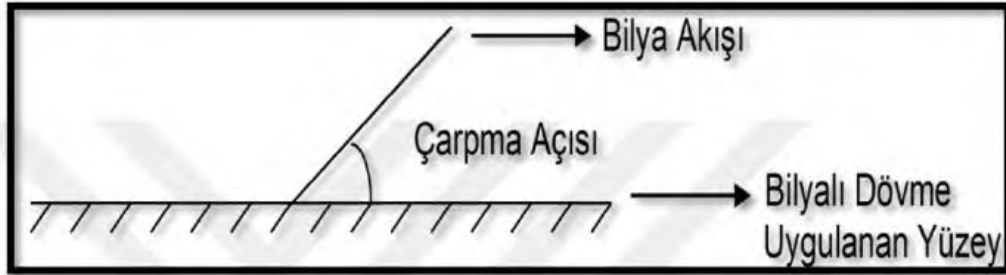
**Çizelge 3.3: Bilya Standartları**

Bilya Tipi	Uluslararası Standartı	Sertlik Derecesi
Çelik Bilya	AMS 2431/1 veya AMS 2431/2	45-52 HRC veya 55-62 HRC
Tel Kesme Bilya	AMS 2431/3 veya AMS 2431/8	45-52 HRC veya 55-62 HRC
Cam Bilya	AMS 2431/6	48-52 HRC
Seramik Bilya	AMS 2431/7	58-63 HRC

**Kaynak:** (Ünal, 2015)

### 3.2.1 Bilyalı dövme parametrelerinin belirlenmesi

Parametreler belirlenmesi ve uygulanacak malzeme geometrisine göre belirlenmesi gerekmektedir. Bu gereksinimler bilyalı dövme sonrasında oluşabilecek geometrik değişiklikleri doğrudan etkilemektedir.



**Şekil 3.10: Dövme Açısı Gösterimi**

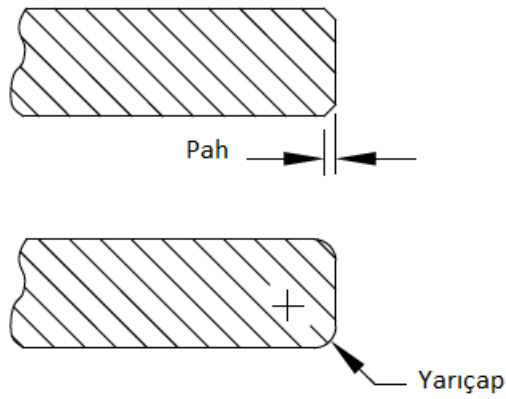
**Kaynak:** (Yalçınkaya, 2019).

Bilyalı dövme işlemindeki isterler değişkenliği sonucunda nozzle dan atılan bilyalar parça geometrisine göre dövme makinesinde yapılan programlama sonucunda her yüzeye eşit ve etkin şekilde yapılması gerekmektedir.

Bilyalı dövme işlemi yapılırken dövme makinesi içerisinde kullanılan bilyaların kullanıma alınma işlemi öncesinde makine bünyesinde bulunan bilya büyüklüğüne göre ayarlanmış elekten geçirilerek kullanım deposuna aktarılmalıdır. Bu aktarım sonrasında ise zaman içerisinde bilyalı dövme yapılan malzemelerin geometrisi ve

sertlik derecesine göre bilyaların zarar gördüğü ve aşındığı gözlemlenmiştir. Cihaz kullanımında ve yapılan iş değişikliğinde periyodik olarak bilyaların kontrol edilmesi gerekmektedir.

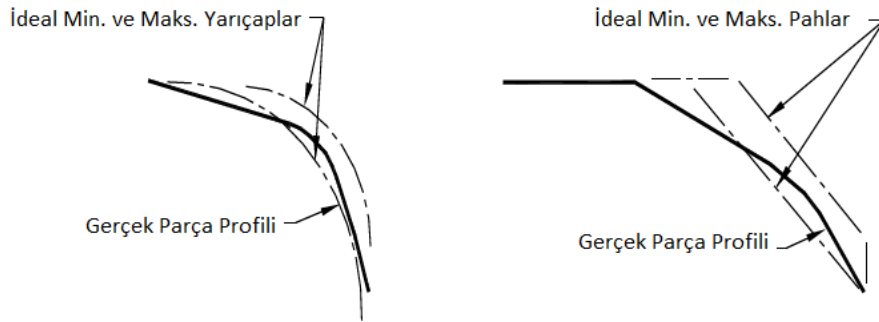
Havacılık alanında tasarım ve imalat yapan şirketler bu bilya zayıflığını azaltmak için ve iş parçasının bilyalı dövme işlemi sonrasında hurda olmasını engellemek için, bilyalı dövme özel üretim metodları dökümanları hazırlayarak, üretim veya tasarım esnasında iş parçası geometrisinde keskin köşe ve keskin duvar geometrisi bırakmamaya çalışmaktadır Şekil 3.11 ve Şekil 3.12.



**Şekil 3.11: Geometrik Gösterim**

**Kaynak:** ( www.boeing.com )

### **BOEING PAH VE KÖŞE PROFİL İSTERİ**



Parçanın bir kenarının ideal minimum ve maksimum yarıçapı veya pah arasında olması gereken isterler

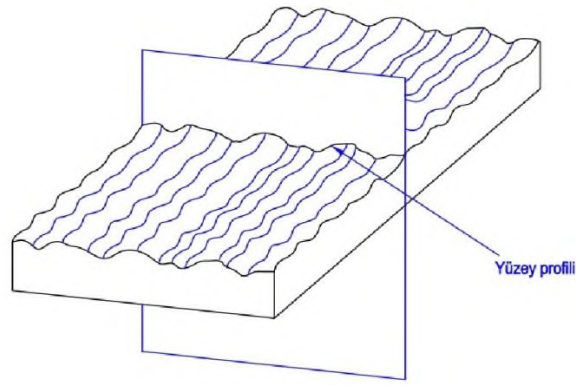
**Şekil 3.12: Boeing Firması Tasarım İsterileri**

**Kaynak:** ( www.boeing.com )

Bilyalı dövme işleminde belirlenmesi gereken parametreler istenilen dövme şiddetine ve şiddetin etkisine göre değişiklik gösterilmiştir. Dövme şiddeti ve yüzeye atılan bilyaların sahip olduğu enerji kinetik enerji ile doğru orantılıdır (Barker, 2001).

### 3.3 Yüzey Pürüzlülük Testi

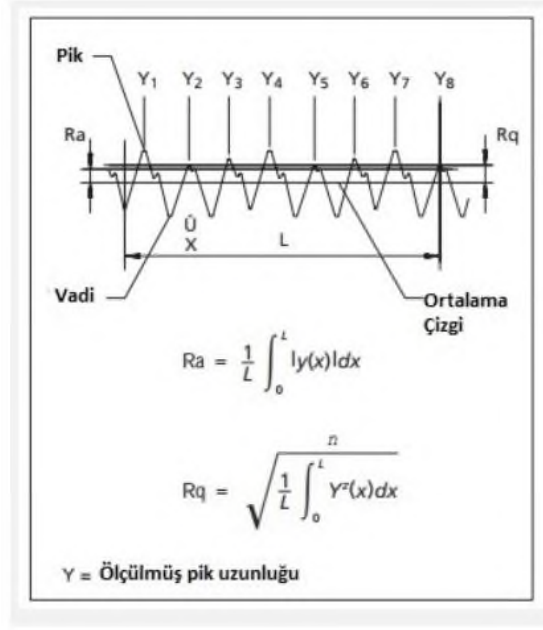
İmalat sanayisinde metal veya metal olmayan malzemelere imalat süreçleri sonucunda şekil verilirken uygulanan metodlar yüzey pürüzlülüğüne sebep olmaktadır. Bu pürüzlülük üretilen parçanın veya kullanılacak yüzeyin makine sistemlerinden diğer parçalara zarar vermesi ve aşınması sebebi ile korozyona uğratmaları sebebi ile pürüzlülük seviyelerinin kontrol altına alınması istenmiştir. Bu pürüzlülük kontrolü için ölçüm aletleri ve formülasyonlar ortaya çıkmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümü malzeme üzerinden profil seçilerek yapılmaktadır Şekil 3.13.



**Şekil 3.13:** Yüzey Profili Gösterimi

**Kaynak:** (<https://aybu.edu.tr/muhendislik/makina/contents/files/SAYFA-211-228.pdf>)

Ölçüm yapılan ve değerlendirmeye alınan profilin yüzey pürüzlülük derecesi Ra olarak değerlendirme değeri olarak alınır. Ra değeri Şekil 3.14’te gösterilen formül ile elde edilmektedir.



**Şekil 3.14:** Yüzey Profili Hesaplama Formülasyonu  
**Kaynak:** (<https://www.kuark.org/2017/10/yuzey-puruzluluk-olcumu/>)

### 3.4 Yüzey Sertlik Testi

Malzemelere yapılan yüzey sertlik testi istenilen sertlik derecesine ulaşıldığının öğrenilmesi için yapılmakla beraber, yapılan testlerin amacı malzemenin belirli noktasına zarar vermek ve geri kalanına zarar vermemek amacı ile yapılmaktadır.

Sertlik testleri 4 gruba ayrılmaktadır.

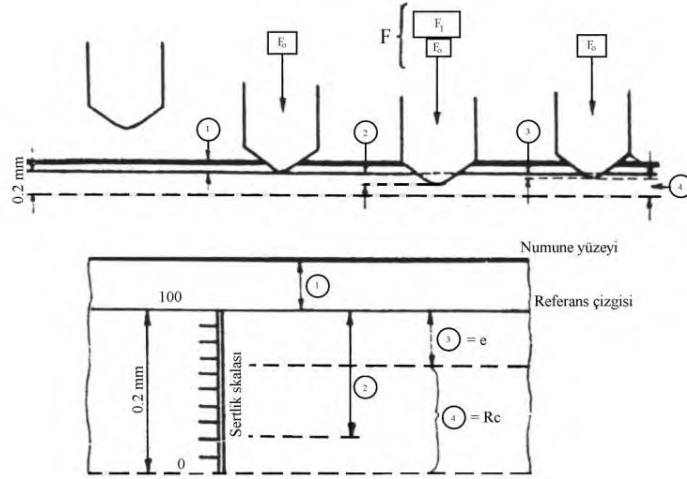
- Rockwell
- Brinell
- Vickers
- Knoop

Olmak üzere sınıflandırılmıştır.

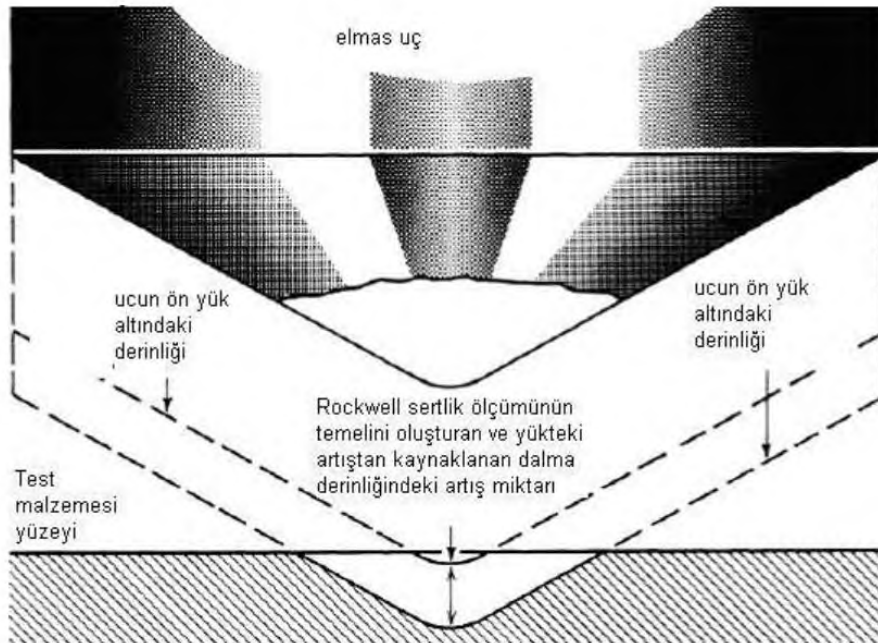
#### 3.4.1 Rockwell sertlik testi

1919 yılında bilya yatakları üretilen bir fabrikada çalışan Rockwell P. Stanley tarafından üretim sonrasında üretilen bilyaların sertliğinin daha doğru ve hızlı ölçülebilmesi için çalışmalar yaptığı esnada bulunmuştur. Daha sonrasında ise Charles H.Wilson adlı bilim adamı Rocwell'in buluşunu üzerinde çalışarak genişletmiş, dünyada üretim ve bilimsel çalışmalar için kullanılan mevcut sertlik ölçeği haline getirilmesinde yardımcı olmuş ve son haline getirmiştir.

Rockwell sertlik deneyi, malzemede belirlenen bir noktaya bir uç vasıtası ile sabit bir küçük bir yükü bastırılıp oluşan izdeki dip kısmındaki noktayı başlangıç olarak bastırma yükü artırılarak iz noktası meydana getirilmesi sağlanır. Bu iki iz arasındaki artış miktarı bulunan ve bu artışa ters orantılı olan değere sertlik değeri denir (Kuzu, 2006).



**Şekil 3.15: Sertlik Testi Gösterimi**  
Kaynak: (Kuzu, 2006)



**Şekil 3.16: Sertlik Testi Gösterimi**  
Kaynak: (Kuzu, 2006)

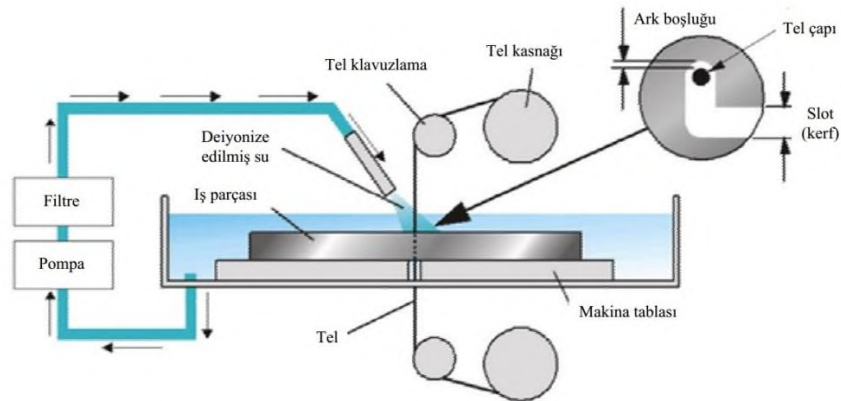
Şekil 3.15 ve 3.16 de gösterildiği ve ifade edildiği gibi Rockwell sertlik deneyinde tekrarlanan yük ve ölçüm sonucunda malzeme sertlik sonucu hesaplanmaktadır.

### 3.5 Tel Erezyon

Tel erezyon yöntemi havacılık ve otomotiv endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılan, yüksek aşındırma yöntemi ile malzemelere şekil verilmesi veya kesim işleminin yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. Yüksek yüzey hassasiyeti ve geometrik ölçüsel doğruluğu sağlayan yöntemdir. Kesim işlemi iki iletken malzeme arasında elektrik arki oluşturarak talaş kaldırma yöntemini kullanmaktadır. Şekil 3.17 (Bayraktar, 2015).

Yüksek yoğunlukta akım geçirilen tel yardımı ile malzemelerin kesilmesi işlemidir. Geleneksel talaşlı imalat yöntemleri içerisinde olmayan tel erezyon ile kesim yöntemi ile mikron hassasiyet seviyesinde imalat yapmak veya işleme yapmak mümkündür. Geleneksel talaşlı imalat ile üretilmesi mümkün olmayan geometrik olarak kompleks parçaların üretiminde kullanıldığından, son yıllarda tercih edilebilirliği artmaktadır.

Tel erozyon makineleri üç eksenli cnc mantığı ile x,y ve z eksenlerinde hareketler ile çalışmaktadır.

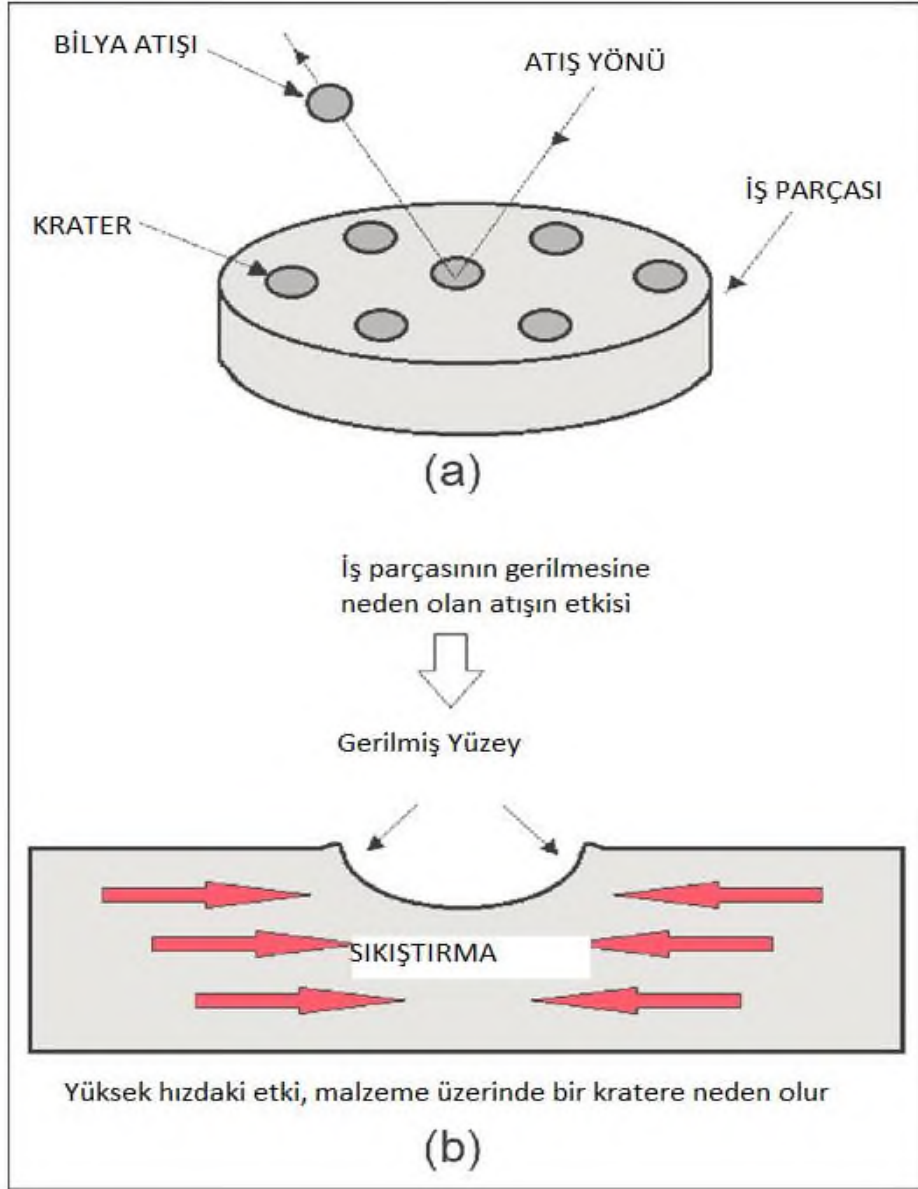


**Şekil 3.17:** Tel Erezyon Cihazı Çalışma Prensibi  
**Kaynak:** (Bayraktar, 2015)

### 3.6 Plastik Yüzey Dislokasyonları

Bilyalı dövme işlemi sonrasında bilyaların vurduğu yüzeylerde kuvvetin sebep olduğu yüzey bozunma tabakası oluşmaktadır. Bu tabaka aynı zamanda çeşitli

çeliklerin ve alaşımların yüzeyinde de gözükmemektedir (Yinsheng He, Keun-Bong Yoo, Houyu Ma ve Keesam Shin, 2017). Bu tabaka krater yapıda olup ay yüzeyine benzemektedir. Bu tabakada malzemenin özelliği gereği plastik deformasyon oluşmaktadır. Bu plastik deformasyon bilyalı dövme sonrası oluşan tabakada yüzey sertliğinin arttığı gözükmemektedir. Şekil 3.18 de görülmektedir.



**Şekil 3.18:** Krater Yapı Gösterimi

**Kaynak:** (Pratik P. Shukla ,Philip T. Swansonand Colin J. Page, Mart 2013)

Bilyalı dövme çeşitlerinden biri olan Ultrasonic Shot Peening yönteminde aynı şekilde dövme etkisinin aynı olmaktadır (J. Marteau ve M. Bigerelle, 2018).

Bu krater yapının bilyalı dövme işleminin etkilerinin ortadan kaldırıp kaldırmadığı ile ilgilide çalışmalar mevcuttur.

### 3.7. Kimyasal Dağlama Operasyonu

Geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden birisi kabul edilen kimyasal işleme yöntemi, alkali ve asidik çözelti ortamında işlenecek malzemenin kontrollü olarak korozyona maruz kalarak şekillendirmesi işlemidir.

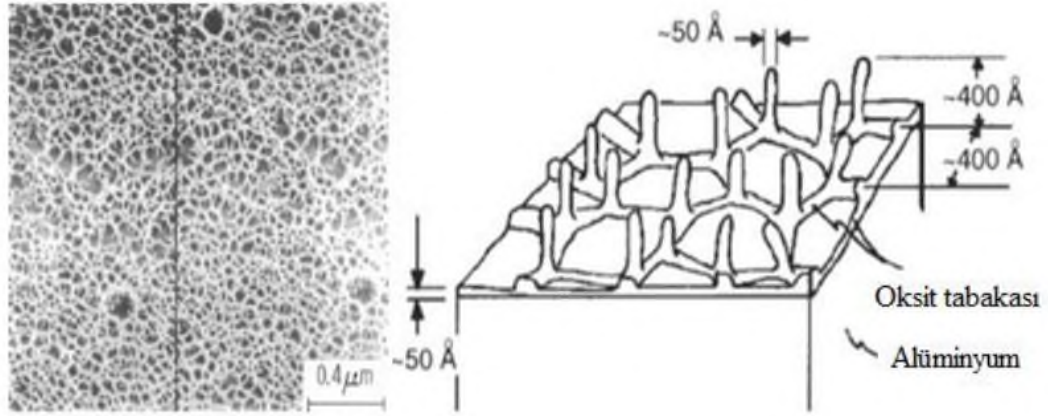
Bu işleme yöntemine tarihte ilk ve örnek olarak gösterilen en eski yöntemi MÖ 2500’lü yıllarda bakır mücevherlerini sitrik asit yardımı ile işlendiği gözlemlenmiştir (Özenç, 2014).

Kimyasal dağlama işleminde uygulama işlemi daldırma ve püskürtme yöntemi olarak uygulanmaktadır. Daldırma işleminde iş parçası dağlama operasyonunu sağlayacak olan malzemeye her yönden temas ettiğinden, reaksiyon iş parçasının tüm yüzeylerinden eşit şekilde materyal kaldırdığı görülmektedir (Özenç, 2014). Frezeleme operasyonu ve bilya dövme operasyonu sonrasında deneysel malzemelerin yüzeylerinde kalmış olan ve kalma ihtimali olan bor yağ ve benzeri kimsayaların temizlenmesi için kimyasal daldırma havuzunda kimyasal dağlama operasyonu yapılması gerekmektedir. Görüntü alınacak deneysel malzemeler SEM görüntüleme cihazı yüzeyinde parlaklık oluşmasına sebep olduğundan görüntü almasını zorlaştırmaktadır.

SEM cihazından görüntü alınırken ve malzeme analizi yapılırken malzeme yüzeyinde oksit tabakasının temizlendiği gözlemlense bile atomik düzeyde oksitlenme olduğu görülmektedir. Bu oksitlenmenin sebebi kimyasal dağlama esnasında malzeme yüzeyinde bulunan kopuk bağlara oksitlenme ile oksitlenme olduğu gözlemlenir. Geri kalan yüzeyde de oksit tabakası oluşur. Bu sebeple kimyasal dağlama operasyonu sonrasında dağlama malzemeleri yüzeyden temizlenmesi gerekmektedir.

Bu kimyasal dağlama operasyonu havacılıkta kullanılan alüminyum ve titanyum gibi metalik malzemelere uygulanmaktadır. Alüminyuma örnek olarak Pamuk Kale Üniversitesi Doktora tezi çalışması yapan Murat Özenç Alüminyum 2024 – T3 malzemeye sülfirit asit – sodyum dikromat çözeltisine malzemesini dağlama için daldırılmıştır. Reaksiyonun temsili gösterimi ise Şekil 3.19’deki gibi görülmektedir.





**Şekil 3.19:** Dağlama Gösterimi

**Kaynak:** (Ordu, 2012).

Deneyde uygulanan çözelti ile yüzeydeki oluşan oksit tabakasını temizlemek için yüzeyden kaldırdığı, fakat daha sonrasında ince bir şekilde kimyasal dağlamanın sebep olduğu oksit tabakasının oluştuğu gözükmiştir (Ordu, 2012).

### 3.8. Aşındırma Testi Operasyonu

Aşınma; birbirine temas eden malzemelerin, bir sürtünme sonucunda yüzeylerinde parçalanma veya kopma şeklinde istenmeyen değişikliklerin ve ayrılmaların yaşanmasıdır. Birbirine temas eden bu malzemelerde, sürtünme nedeniyle güç ve verim kaybı yaşanmaktadır. Bir yüzeyde aşınmadan bahsetmek için, sürtünme olan bölgede mekanik bir zorlama gerçekleşmiş olmalıdır. Aşınma, motor pistonları ve dişliler gibi hareket aktarım mekanizmalarında sıkça karşılaşılan bir durumdur (Varol, 2016).

Pek çok faktör, aşınmaya yol açabilmektedir. Malzemenin cinsi ve özellikleri, yükün boyutu, aşınma hızı ve ortamı, mekanizma, birbirine temas eden yüzeylerin yapısı, pürüzlülüğü, sertliği ve yağlama durumuna göre aşınma oluşmaktadır. Yalnızca bir malzeme kaybı olmayan aşınma, makinelerin yapısal bütünlüğünü bozmakta ve performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu da aşınmanın gerçekleştiği parçaların değişimi ya da tamiri anlamına gelmekte, maliyeti arttırmaktadır (Akkurt, 1990). Ancak aşınma yalnızca sanayide ya da makinelerde değil, metalik olmayan malzemelerde, günlük yaşamda kullanılan eşyalarda hatta insanlarda dahi görülebilmektedir. Frenler, dişliler, düz veya bilyeli rulmanlar, pompalar, öğütücüler,

ayakkabılar, mobilyalar, bıçaklar, dirsekler, dizler, eklemler gibi pek çok yerde aşınmayla karşılaşmak mümkündür (Stachowiak ve Batchelor, 2001).

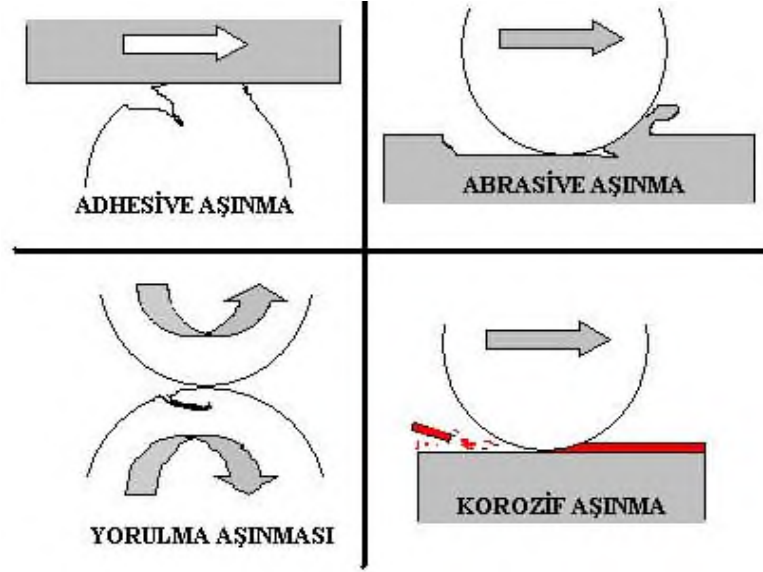
Mühendislik açısından bakıldığı zaman aşınma, makinelerin performansını ciddi yönden etkilemektedir ancak çoğu zaman tasarım sürecinde aşınma unsuru göz ardı edilmektedir. Daha tasarım aşamasındayken aşınmayı göz önünde tutarak yapılan ürünler, kullanım esnasında yaşanacak problemleri önleyebilmektedir (Bağcı, 2005). Aşınmayı arttıran ya da azaltan birçok faktör bulunmaktadır. Sertlik, bu faktörlerin en önemlilerinden bir tanesidir. Sertlik ile aşınma arasında ters orantı vardır; sertlik azaldıkça, aşınma artmaktadır. Bu nedenle malzemenin cinsine ve muhtemel aşınma kuvvetine uygun bir sertlik sağlanması gerekmektedir. Yüzeyin pürüzlü olması, aşınmayı etkileyen bir başka unsurdur. Pürüzlü olan bir yüzeyde yükün taşınacağı temas alanı azalmakta, bu da aşınmayı azaltmaktadır. Ayrıca ortamdaki oksijen miktarı sebebiyle oksit tabakalar oluşabilmekte, yüzeyin yapısı değişebilmekte; malzemeler eskidiği zaman ise deformasyon sertleşmesi ve yorulma hasarı yaşanabilmekte ve aşınmaya ortam hazırlanmaktadır (Akkurt, 1990).

Aşındırma testi malzeme biliminde bir malzeme üzerinde herhangi bir farklı malzeme veya benzer bir malzeme ile yapılan tekrarlanan kuvvetler karşısında verdiği tepkiyi ölçmektedir. Bu tepki malzeme üzerinde çatlak oluşumu veya yüzeyde oluşan hasarların seviyesini ölçmek üzere tasarlanmıştır.

Bu aşındırma testi metotları;

1. Adezyon Aşınması
2. Abrasyon Aşınması
3. Korozyon Aşınması
4. Erozyon Aşınması
5. Yorulma Aşınması

İle 5 farklı metotta toplanabilir (Temiz, 2011).



**Şekil 3.20:** Aşındırma Çeşitleri

**Kaynak:** (Temiz, 2011)

Aşındırma testi yapılırken, uygulanan kuvvetler kontrollü olarak deney gözlemi yapılabilmektedir. Aşındırma testinde mecazi olarak kuru veya ıslak olarak deneyler yapılmaktadır. Bu mecazi terim, aşındırma testi sırasında aşındırıcı materyal ile, aşınma testine maruz kalan materyal için özel çözelti hazırlanmasıdır. Bu çözelti ile birlikte yapıldığında test için ıslak aşındırma testi denmektedir.

Aşınma testleri sırasında, sürtünme kuvvetleri ve sürtünme katsayıları veri toplayan cihazlar tarafından kaydedilebilmektedir. Ve bu veriler tutulduktan sonra optik mikroskop görüntüleri alınarak, yüzey üzerinde oluşan çizgiler ve yüzey morfolojisi incelenmiştir (Ordu, 2012).

### 3.8.1 Aşınma türleri

Aşınma, pek çok malzeme üzerinde çeşitli şekillerde görülebilmektedir. Aşınmanın sınıflandırılması için birkaç kıstas temel alınmaktadır. Aşınma; ortam şartlarına, malzemenin türüne, miktarına, sertliğine, harekete, uygulanan yüke, yüzeyin maruz kaldığı etkiye, zamana, ortamın sıcaklığına bağlı olarak sınıflandırılabilir. Günümüzde en çok zamana bağlı yapılan sınıflandırma türü kullanılmaktadır. Aşınma ortam şartlarına ve yüzeyin maruz kaldığı etkiye göre sınıflandırıldığında, kimyasal veya fiziksel aşınma şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Kimyasal aşınma türleri erozyon ve korozyon; fiziksel aşınma türleri ise abrazyon, adezyon ve yorulma aşınmasıdır (Adamiak, 2012).

### **3.8.1.1 Adezyon aşınması**

Adezyon aşınması ya da bilinen diğer adıyla kayma aşınması, birbirine göre kayan pozisyonda olan ve yağlayıcı unsurların bulunmadığı iki yüzeyde meydana gelmektedir. Temas eden bölgede yaşanan basınçla adezyon, plastik şekil değişimi ve kısmi birleşmeler görülmektedir. Sürtünen yüzeylerin arasında rölatif kayma gerçekleşmekte, bunun sonucunda da bir önceki aşamada gerçekleşen kısmi birleşmeler kopmakta ve bir yüzeyden diğerine geçmektedir (J. A. W. ve Karl-Heinz, 1987). Adezyon aşınması çevresel faktörler, kimyasal ve fiziksel etkileşim gibi çeşitli unsurlar nedeniyle oluşmaktadır. Sürtünen malzeme yüzeylerindeki sıcaklık değişimi ve ortam sıcaklığı, bu noktada önemli değişkenlerdir. Kayma işlemi gerçekleşirken temas eden bölgede sıcaklık yükselirse bölgede kaynak oluşmakta, bu da adezyon aşınmasına ortam hazırlamaktadır (Varol, 2016).

Adezyon aşınması, farklı türlere sahip malzemelerin aşınmasında sıkça karşılaşılan bir durumdur. Konuyla ilgili yapılan çalışmalara göre adezyon aşınması; aşınan yüzeylerin temizliği, ortam sıcaklığı, malzemelerin kaymaya maruz kalması ve farklı basınç uygulaması gibi faktörler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, düşük yüzey sertliğine sahip malzemedan yüksek yüzey sertliğine sahip malzemeye ciddi miktarda malzeme taşınmaktadır (Akkurt, 1990).

Adezyon aşınması tel çekmede kalıplarda, pistonlarda, sınırlı yağlanmış ve kuru kaymalı yataklarda, dişlilerde ve kam mekanizmalarında görülmektedir (J. A. W. ve Karl-Heinz, 1987). Adezyon aşınmasını azaltmak için yapılacak çeşitli işlemler vardır. Bunlara örnek olarak temas eden yüzeyin pürüzlülüğünü azaltma, yağlama, malzemelerin yüzey sertliklerinin fazla olmamasına dikkat etme gösterilebilir.

### **3.8.1.2 Abrazyon aşınması**

Aşınma nedeniyle kopan parçalar, dışarıdan gelen toz, talaş gibi maddeler temas eden yüzeyler arasına girdiği zaman, abrazyon aşınması yaşanmaktadır. Malzemelerin sahip olduğu yüzey sertliği, en önemli değişkendir çünkü abrazyon aşınması, malzemeyle aynı ya da daha yüksek sertliğe sahip bir yüke maruz kaldığında oluşmaktadır (Williams, Stachowiak ve Batchelor, 2001). Ancak sürtünme hızı ve uygulanan yükün yanında, aşındırıcı özelliği olan partiküllerin şekli de etkilidir (Varol, 2016).

Abrazyon aşınmasına örnek olarak, toprak kaldırma işlemini yapan kepçedeki aşınma gösterilebilir. Bunun yanında ekstrüderler, tırtıklı yüzeyle karşılıklı eş çalışan yüzeyler, toz metalürjisinde kullanılan kalıplar, kırıcılar, kirli hidrolik sistemler ve kaydırma oluklarında da abrazyon aşınması görülmektedir (J. A. W. ve Karl-Heinz, 1987). Abrazyon aşınmasına karşı malzemelerin direncini arttırmak için, malzemelerin yüzey sertliklerinin artırılması gerekmektedir. Isıl işlemler ya da yüzey kaplama yöntemleri kullanarak yüzey sertliğini arttırmak mümkündür. Buna ek olarak ortamın temizliğine dikkat edilmeli, yüzeylerin arasına kaçabilecek maddeler önlenmelidir.

### **3.8.1.3 Korozyon aşınması**

Malzeme yüzeyinde, ortam koşullarına bağlı olarak oksijen, nem veya çeşitli kimyasallar nedeniyle reaksiyonlar gerçekleşmekte, bu da sert tabaka oluşmasına yol açmaktadır. Korozyon aşınması, zaman içerisinde bu sert tabakaların malzeme yüzeyinden kopmasıyla oluşan aşınmadır. Çeşitli çalışma şartlarında çalışan makine parçalarında bu aşınma türü sıkça görülmektedir. Sert tabakalar malzemenin yüzeyinden koptuktan sonra, bölgede tekrar korozyon oluşabilmektedir. Tekrarlayabilen bu durumu engellemek için yüzey, oksitlenmeye karşı dirençli yağlar veya korozyona karşı dirençli malzemeler ile kaplanmalıdır.

### **3.8.1.4 Erozyon aşınması**

Erozyon aşınması, sıvı ya da katı haldeki aşındırıcı parçacıkların sıvı bir ortamda ya da havada malzeme yüzeyine çarpması ve malzemenin bir kısmını kaldırmasıdır. Erozyon aşınması, maden çıkarmada pompa çarklarında, toz bulutundan geçen bir uçağın gaz türbin kanatlarında sıkça görülmektedir. Çeşitli aşınma mekanizmalarını kapsayan bu aşınma çeşidinde mekanizmalar parçacık boyutu, çarpma hızı ve açısı, parçacık malzemesi gibi pek çok unsurla kontrol edilebilir (J. A. W. ve Karl-Heinz, 1987).

### **3.8.1.5 Yorulma aşınması**

Değişken ya da tekrarlı yüklerin etkisiyle malzeme dökülmesi veya çatlak oluşumu şeklinde yaşanan aşınma türü, yorulma aşınmasıdır. Birbiriyle temas halinde olan katı parçaların arasında kayma ya da yuvarlanma hareketleri, katıların ya da sıvıların

darbesi sonucunda yüzey gerilmeleri oluşmaktadır. Yüzeyin altında ise mikro çatlaklar oluşmakta, bu çatlaklar zamanla yüzeyle ilerlemekte, yüzeyin bozulmasına ya da parçacık kopmasına yol açmaktadır. Yorulma aşınması, soğuk ve sıcak haddeleme işleminde kullanılan merdanelerde, tekerlekli ve yaylı sistemlerde, kavitasyon olan pompalarda, yazıcılarda ve rulmanlarda görülebilmektedir. Yorulma aşınmasını önlemek için yüzey sertliğini artırma ve yorulma aşınmasına karşı dirençli malzemeler kullanma gibi işlemler yapılabilir (Akkurt, 1990).

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1 Kullanılan Cihazlar

#### 4.1.1 Frezeleme operasyonu makinesi



Şekil 4.1: FJV-250 Tezgahı

MAZAK marka FJV-250 3 eksen Cnc tezgâhı kullanılmıştır. bu tezgah tercih edilmesi sebebi marka ve model olarak titanyum veya paslanmaz çelik gibi malzemelerin talaşlı imalatından kullanılabilmesidir.

#### 4.1.2 Tel erozyon operasyonu makinesi

Makino marka U53TJ modeli tel erozyon makinası ile kesilmiştir. Şekil 4.2 de görülmektedir. Cnc tezgahlarında kesimi veya şekillendirmesi zor geometrilerin işlenmesinde kullanılan erozyon cihazlarından U53TJ makinesi hazırlanan Ti6Al4V parçalarının ebatlarının küçük olması sebebi ile istenilen ölçüye getirilmesi için tercih edilmiştir.



Şekil 4.2: Tel Erezyon Tezgahı

#### 4.1.3 Bilyalı dövme operasyonu makinesi



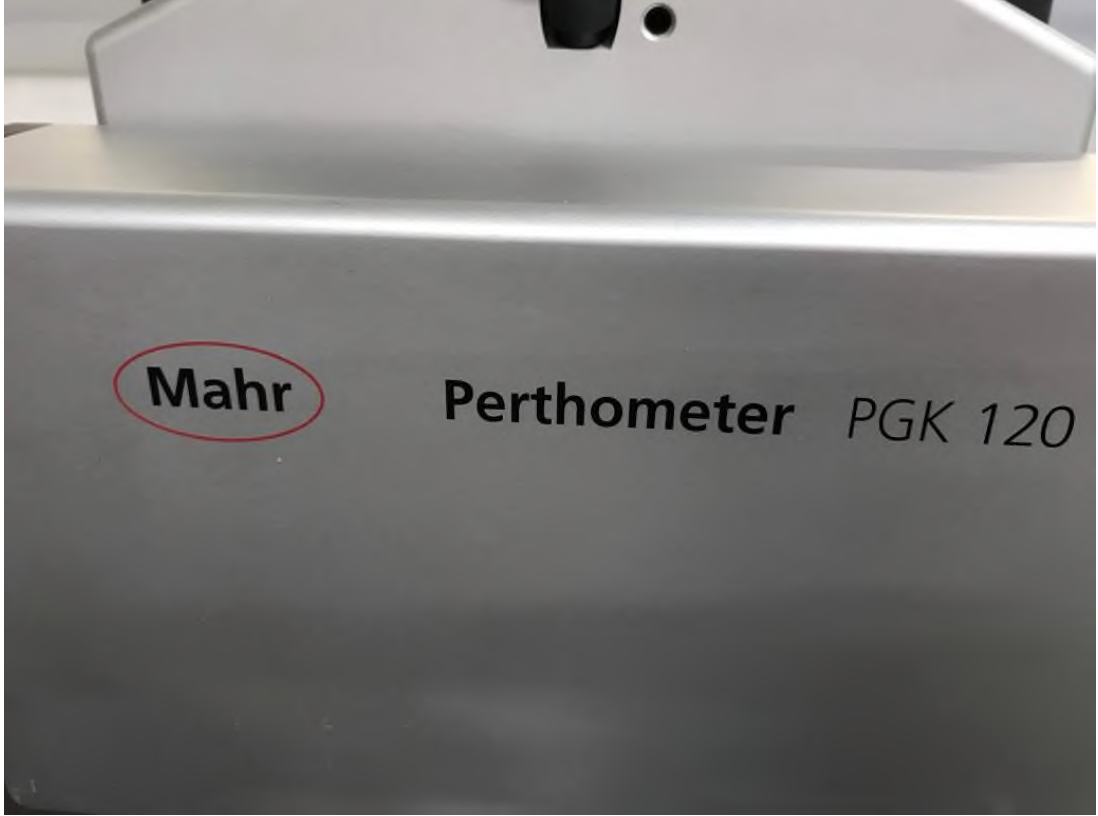
Şekil 4.3: Kale Havacılık Shot Peen Makinası



Kale Havacılık bünyesinde bulunan Sisson Lehman marka bilyalı dövme cihazı kullanılmıştır. Fabrika bünyesinde bulunması, kullanımına hâkim olunması ve kale havacılık üretim isterilerine cevap verebilmesi kabiliyeti sebebi ile tercih edilmiştir.

#### 4.1.4 Yüzey pürüzlülük ölçüm operasyonu makinesi

Kalite kontrol bölümünde, son kontrol bölümü altında bulunan son muayene bölümünde yüzey pürüzlülük bölümünde mevcutta kullanılan Mahr marka Perthometer PGK 120 modeli ile ölçümler yapılmıştır. Şekil 4.4 de görülmektedir. Kale havacılık isterilerine cevap vermesi ve Ti6Al4V malzemelerinin ebatları gereği ölçüm yapılabilmesi ve kullanım kolaylığı tercih edilmesine sebep olmuştur.



Şekil 4.4: Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

#### 4.1.5 Sertlik ölçüm operasyonu makinesi



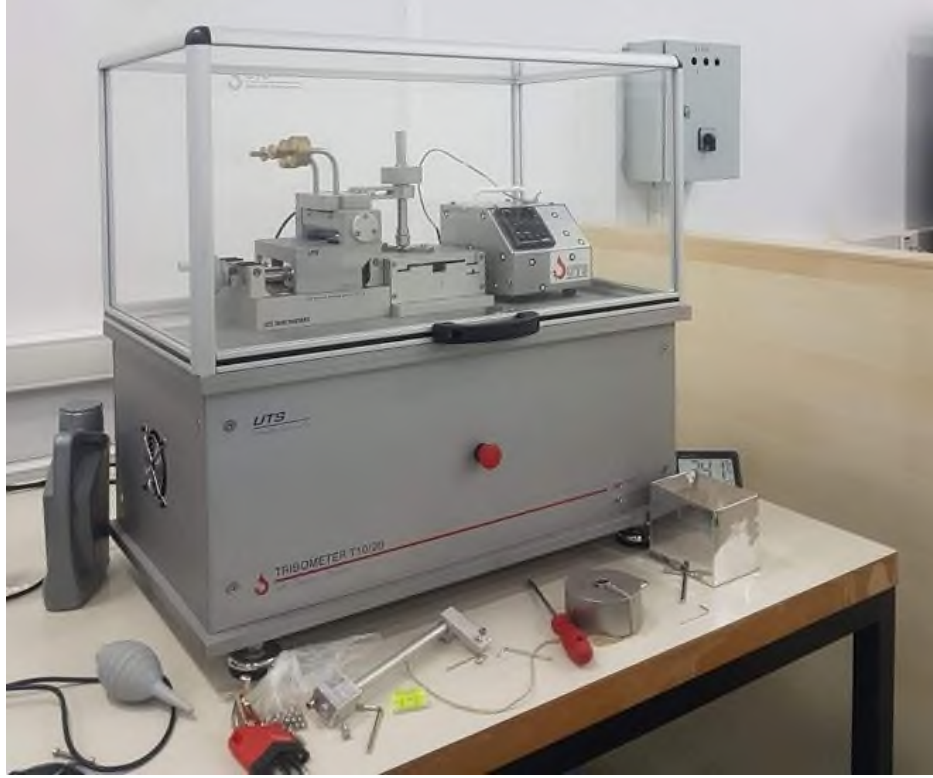
Şekil 4.5: Sertlik Ölçüm Cihazı

Kalite kontrol bünyesindeki son kontrol bölümünde bulunan Mitutoyo marka sertlik ölçüm cihazı ile Ti6Al4V malzemeleri sertliklerinin ölçümünde kullanılmıştır.

#### 4.1.7 Aşındırma testi operasyonu makinesi

UTS marka TRIBOMETER T10/20 modeli aşındırma makinesi ile 3 adet Ti6Al4V Ball on plate düzeneği kullanılmaktadır. Makine Milli Savunma Bakanlığı bünyesinde bulunan Deniz Harp Okulu Makine laboratuvarında bulunmaktadır.

Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6: Aşındırma Cihazı

#### 4.1.8 Optik mikroskop görüntüleri operasyonu makinesi



Şekil 4.7: Optik Mikroskop Cihazı

Parçaların makro görüntülerini ve yüzeylerini görebilmek için optik mikroskop (Nikon DS-Fİ2) kullanılmıştır.

#### 4.1.9 Taramalı elektron mikroskop görüntüleri operasyonu makinesi

Jeol 600 model cihaz ile Doğu Üniversitesi Malzeme Mühendisliği laboratuvarında deney iş parçalarının analizi ve görüntü alımı yapılmıştır.



Şekil 4.8: Jeol Marka SEM Cihazı (kullanılan cihaz)

## 4.2 Numunelerin Hazırlanması

### 4.2.1 Numune hazırlanması frezeleme operasyonu

Deneyisel çalışmada kullanılması planlanan malzememiz öncelikle MAZAK marka FJV-250 cnc 3 eksen tezgahında kare blok malzemeden uzun tek bir plaka halinde kalınlığından kesilmiştir.

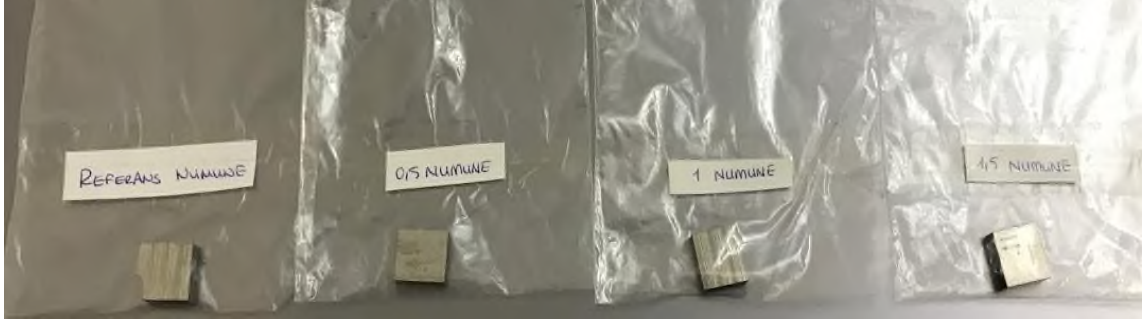
Çizelge 4.1: Frezeleme Parametreleri

Kesici Takım	Devir (devir/dk)	İlerleme (mm/dk)	Kesme Değeri (mm)
Ø10 – 40mm	1200	1000	0,3

Ti6Al4V frezeleme operasyonunda Çizelge 4.1’te verilen kesme değerleri ile hazırlanmıştır.

#### 4.2.2 Numune hazırlanması tel erozyon operasyonu

Daha sonra plaka halinde kesilen numune 4 eşit parçaya Makino marka U53TJ modeli tel erozyon makinası ile kesilmiştir. Şekil 1.27 de görülmektedir.



Şekil 4.9: Ti6Al4V Kullanılan malzemeler kısmı

Şekil 4.9 de ki gibi 4 eşit parçaya bölünen Ti6Al4V 1 tanesi malzemenin frezeleme sonrası sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve bilyalı dövme işlemleri öncesi için referans değeri olarak alınmak üzere ayrılarak 3 adet malzeme sırası ile deneysel işlemlerin yapılmasına devam edilmiştir.

#### 4.2.3 Numune hazırlanması bilyalı dövme operasyonu

Deneyimiz esasında kullanılan bilyalı dövme makinesi ve teknik olarak dövme işlemi parametreleri Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.2: Deney 1 Parametreleri

MAKİNA	SISSON LEHMANN MP1500 TI
BİLYE	S230 STEEL SHOT PER AMS 2431/2
BİLYE SERTLİĞİ	55 – 62 HRc
NOZÜL SAYISI ( ADET )	1
NOZÜL BOYUTU ( MM )	9,5
HAVA BASINCI ( BAR )	0,5

Çizelge 4.3: Deney 2 Parametreleri

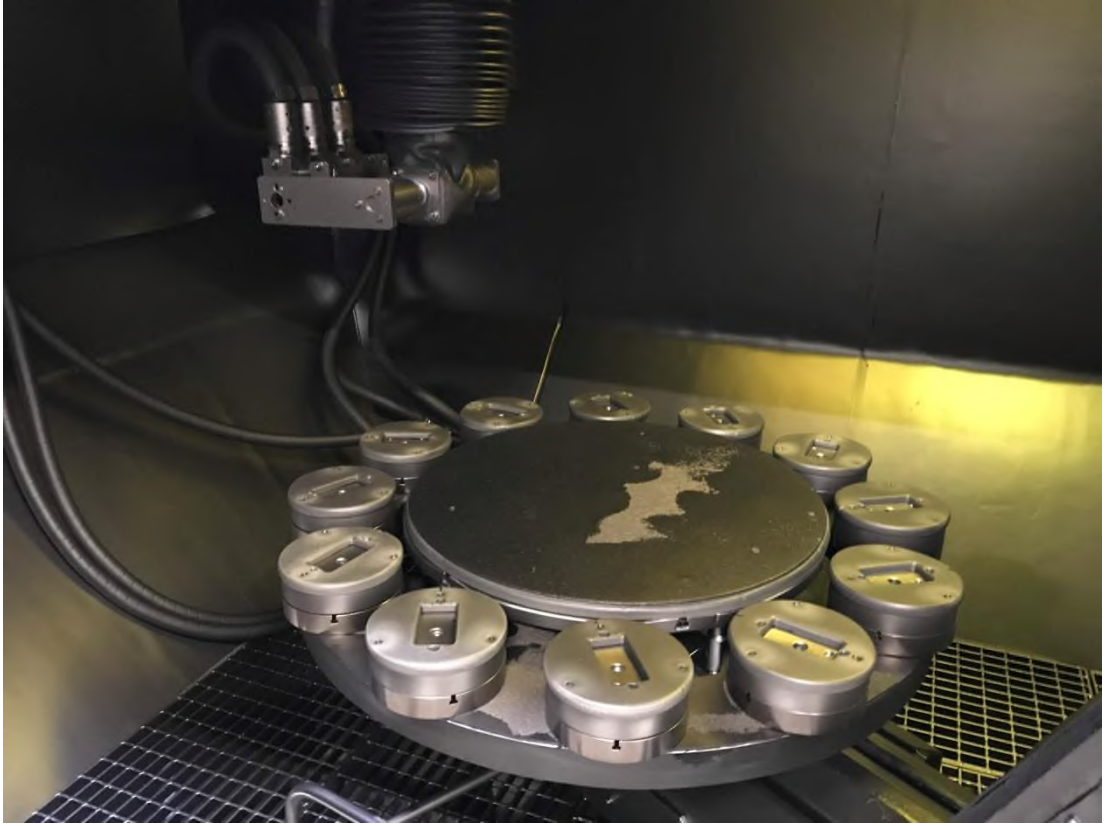
MAKİNA	SISSON LEHMANN MP1500 TI
BİLYE	S230 STEEL SHOT PER AMS 2431/2
BİLYE SERTLİĞİ	55 – 62 HRc
NOZÜL SAYISI ( ADET )	1
NOZÜL BOYUTU ( MM )	9,5
HAVA BASINCI ( BAR )	1



**Çizelge 4.4:** Deney 3 Parametreleri

MAKİNA	SISSON LEHMANN MP1500 TI
BİLYE	S230 STEEL SHOT PER AMS 2431/2
BİLYE SERTLİĞİ	55 – 62 HRc
NOZÜL SAYISI ( ADET )	1
NOZÜL BOYUTU ( MM )	9,5
HAVA BASINCI ( BAR )	1,5

Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilen değerler bilyalı dövme cihazına programlanarak Ti6Al4Vler sırası ile cihaza yerleştirilmiştir.



**Şekil 4.10:** Makina İçerisi Görünüm

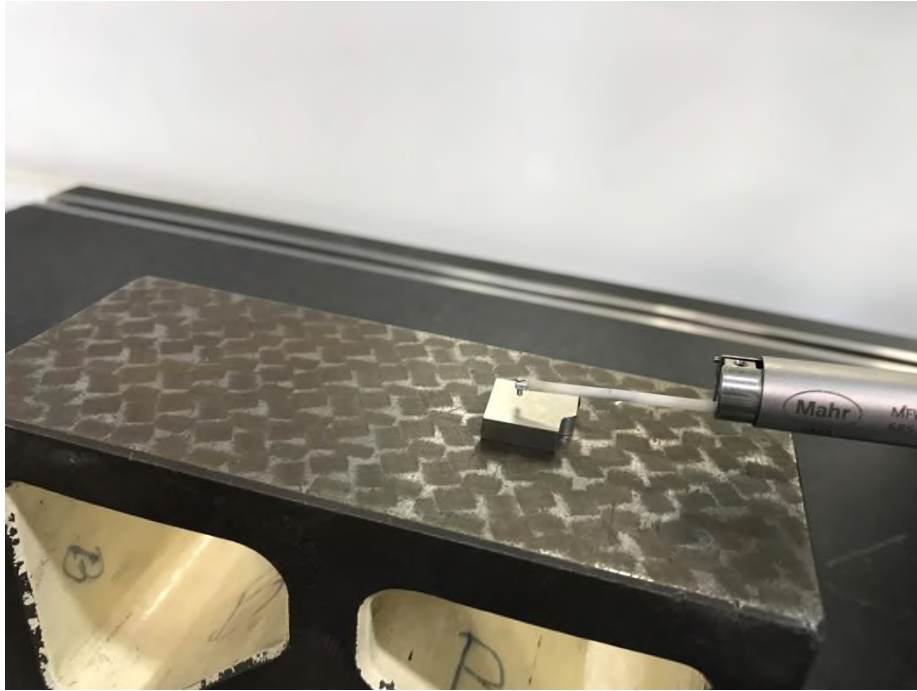
3M marka çift taraflı bant yardımı ile dövme makinesi tamburuna yerleştirilmiştir. Şekil 4.10 ve 4.11 de görülmektedir.



**Şekil 4.11:** Makina İçerisi Yerleşim

#### **4.2.4 Numune hazırlanması yüzey pürüzlülük ölçüm operasyonu**

Bilyalı dövme işlemi sonrasında referans Ti6Al4V ve üzerinde işlem yapılan Ti6Al4V kalite kontrol bölümünde, son kontrol bölümü altında bulunan son muayene bölümünde yüzey pürüzlülük bölümünde ölçülmek üzere getirilmiştir. Mahr marka Perthometer PGK 120 modeli ile ölçümler yapılmıştır. Şekil 4.12’de görülmektedir.



**Şekil 4.12:** Pürüzlülük Ölçümü Gösterimi

Şekil 1.30 deki gibi cihaz üzerine yerleştirilerek ölçümler sırası ile yapılmıştır.



**Şekil 4.13: Ölçüm Makinesi**

Gerekli kalibrasyonu ve ölçüm mesafesine karar verilmiş Ti6Al4V, yetkin mühendis personel tarafından ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4.13’de görülmektedir.

Ra değeri yüzeye uygulanan işlemler ve imal edilme yöntemlerine göre değişmektedir. Yaptığımız 3 deneyde de 3 farklı değer görülmesi beklendiği gibi ortaya çıkmıştır. Çünkü bilyalı dövme işlemini içerisinde basınç değerlerinin değiştirilmesi yüzeye uygulanan dövme seviyesinin değişmesine sebep olmaktadır.

#### **4.2.5 Numune hazırlanması sertlik ölçüm operasyonu**

Yüzey pürüzlülük testinden sonra bilya dövmenin metal malzemeler üzerinde etkisinin ortaya çıktığı sertlik seviyeleri ve sertlik değişimlerinin ölçülmesi gerekmektedir.

Referans malzeme ve işlem yapılmış malzemeler sırası ile Mitutoyo marka sertlik ölçüm cihazı ile sırası ile ölçülmüştür.





**Şekil 4.14:** Sertlik Ölçüm Cihazı

Ölçümler cihaza Şekil 4.14 gibi yerleştirilerek ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Bilyalı dövme işleminde basıncın artması ile yüzeye uygulanan dövme işlemi arttığından malzemenin sertliğinin artmıştır. Bu artış metalik malzeme yüzeyinde oluşan dislokasyon tabakası sebebi ile belirli bir sertlik seviyesinden sonra sabit kalmaktadır.

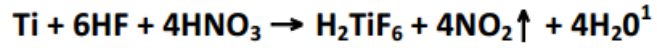
#### **4.2.6 Numune hazırlanması kimyasal dağlama operasyonu**

Sertlik ölçümü ve bilyalı dövme işleminden sonra malzemelerin yüzey yapılarında görüntü alınabilmesi için etching operasyonu yapılması gerekmektedir. Sırası ile ilk önce akar – yıkama kısmında malzeme saflığı yüksek su ile temizlendikten sonra, titanyum etching operasyonu için hazırlanmış olan çözeltinin içerisine konulup 2 ila 3 dakika arasında beklenilmesi gerekmektedir. Daha sonra tekrar akar – yıkama yapılarak malzemeler görüntü alınması için hazırla hale gelmektedirler.

Kale Havacılık Sanayi A.Ş. bünyesinde bulunan Özel Prosesler bölümünün daldırma havuzları kısmında BOEING ve LOCKHEED MARTIN firmasından alınan ve

tavsiye edilen çözelti hazırlanması ve çözelti reçeteleri ile daldırma işlemi yapılmıştır. Şekil 1.33 de görülmektedir.

Kimyasal dağlama havacılık markası olan BOEING firmasının yazmış olduğu ve deneysel çalışmalar sonucunda bulmuş olduğu formülasyona göre hazırlanan çözelti içerisinde Kale Havacılık Sanayi A.Ş. Özel Prosesler Daldırma Havuzları kısmında kimyasal dağlama yapılmıştır. Kimyasal dağlama formülünü Formül 1.1’te görülebilir. Çözelti detaylı bilgileri bilgi güvenliği sebebi ile paylaşılmamıştır.



#### Formül 1.1: Kimyasal Dağlama Formülü

Deneysel iş parçalarımız BOEING projesinde kullanılan 737 modeli uçağın iniş takımları iç sisteminde kullanılan titanyum alaşım malzemesi olduğundan çözeltiler BOEING firması isterilerine göre hazırlanmış çözeltileri kullanılmıştır.



Şekil 4.15: Kale Havacılık Özel Prosesler Parkuru

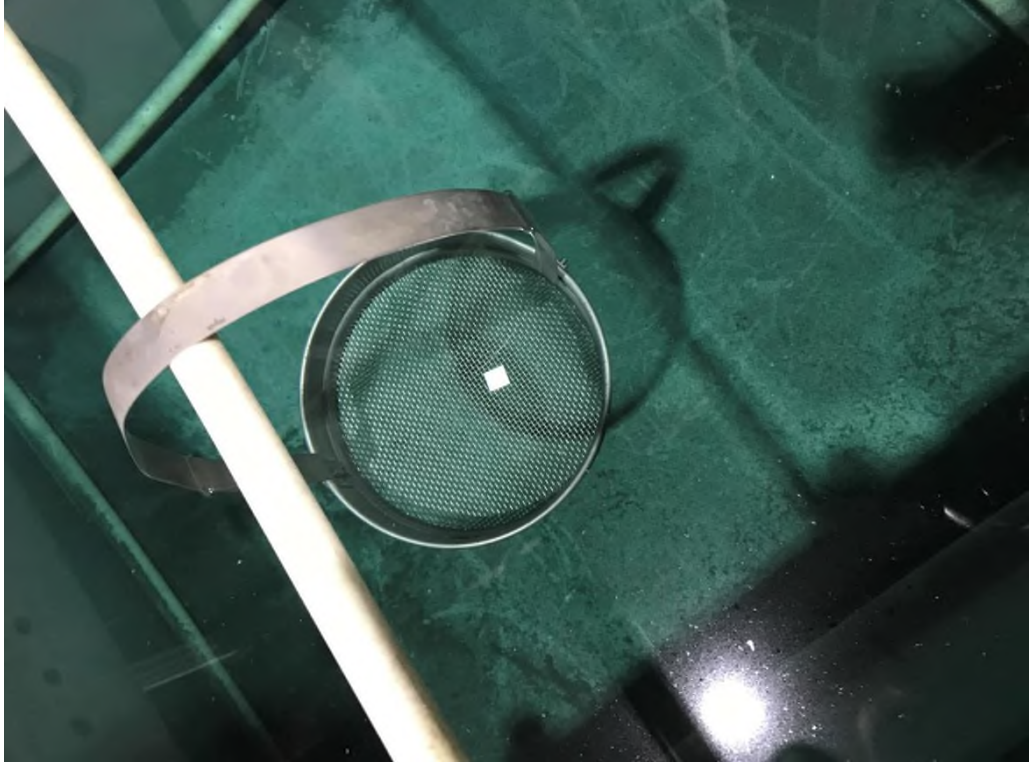




**Şekil 4.16:** Akar Yıkama Havuzu



**Şekil 4.17:** Daldırma Havuzu Aparatı



**Şekil 4.18:** Kimyasal Dağlama Gösterimi

Kimyasal dağlama işlemi Şekil 4.17 ve 4.18'deki gibi daldırma aparatları kullanılarak yapıldıktan sonra aşınma testi yapılmıştır.

#### **4.2.7 Numune hazırlanması aşındırma testi operasyonu**

UTS marka TRİBOMETER T10/20 modeli aşındırma cihazı ile 3 adet iş parçası 2 N ve 5N değerleri ile referans numune ve bilyalı dövme yapılan 3 iş parçasına aşındırma testi uygulanmıştır. Ball on plate düzeneği kullanılarak iş parçalarına deney yapılmıştır.

Şekil 4.19'da görülmektedir.



**Şekil 4.19:** Aşındırma Cihazı

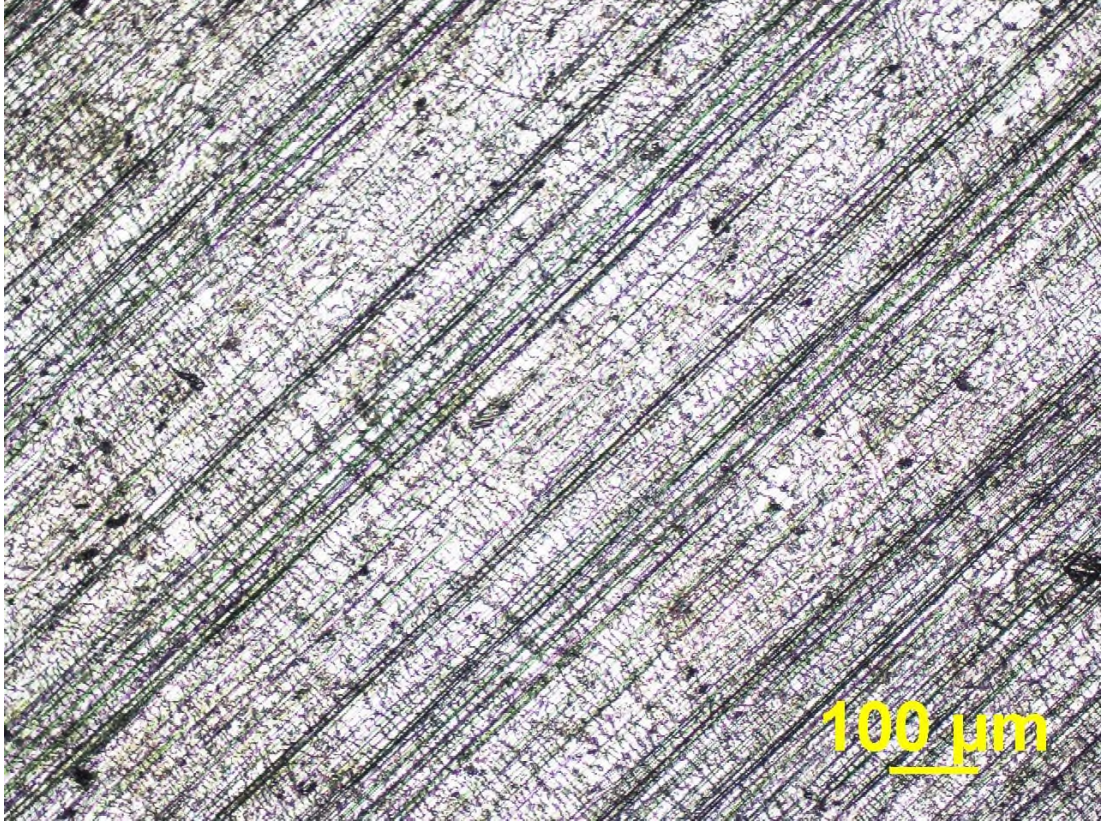
Aşındırma testi sırasında uygulanan kuvvet ile birlikte sürtünme kuvveti de meydana gelmektedir. Bu sürtünme kuvveti uygulanan kuvvetin kayma mesafesi arttıkça doğru orantılı şekilde artmaktadır.

#### **4.2.8 Numune hazırlanması optik mikroskop görüntüsü alınması operasyonu**

2N ve 5N aşındırma testine maruz kalan referans numunesi ve 3 iş parçası optik mikroskop görüntüleri alınmıştır.

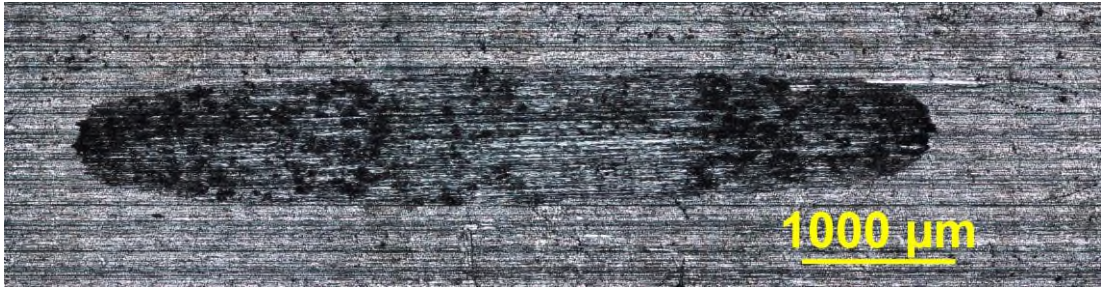
Aşındırma testi sonrası referans numune görüntüleri;



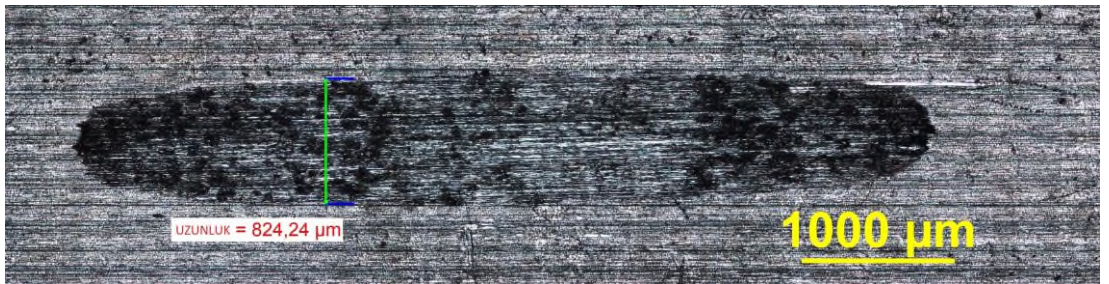


Şekil 4.20: Referans Numune Görüntüsü

2 N ile uygulanan aşındırma testi görüntüleri;

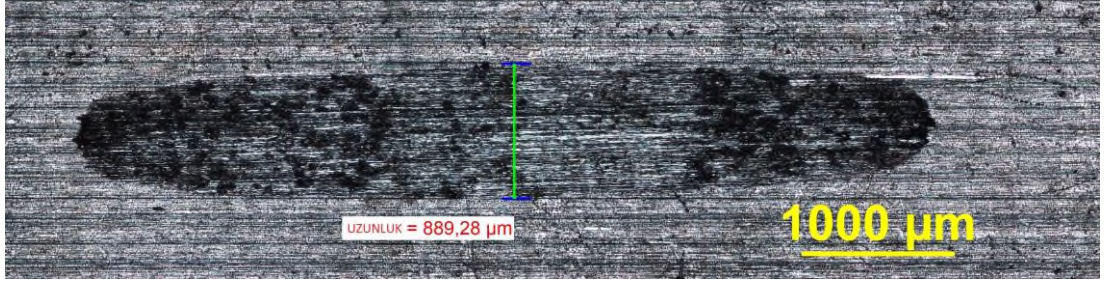


Şekil 4.21: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge

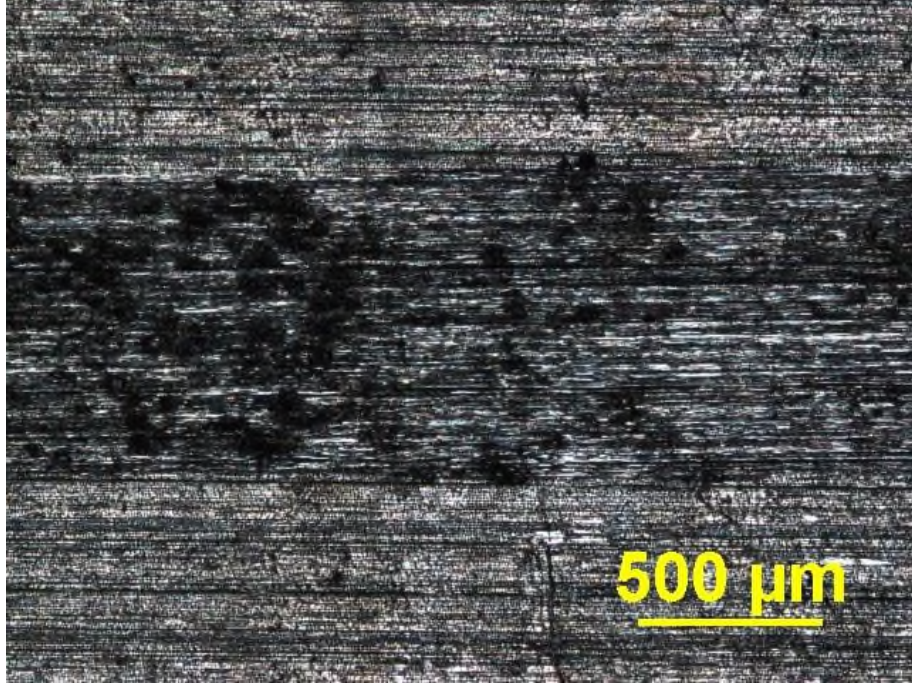


Şekil 4.22: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge





Şekil 4.23: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge

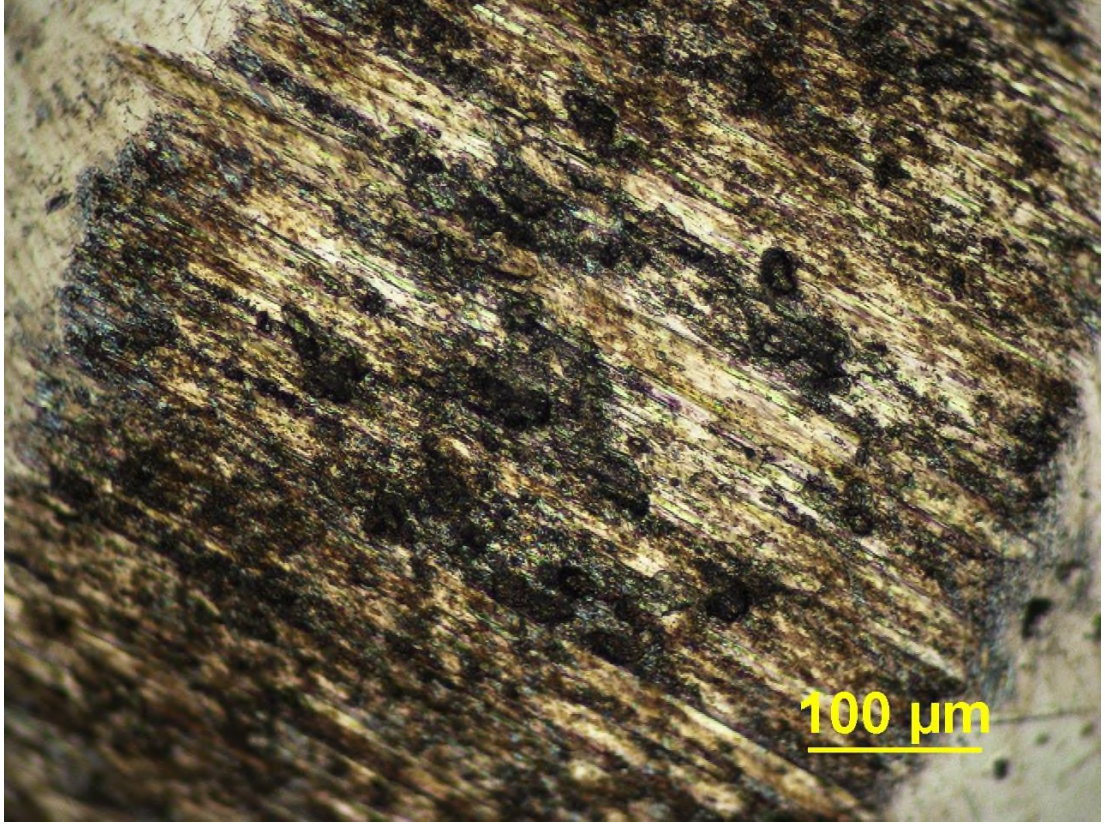


Şekil 4.24: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge



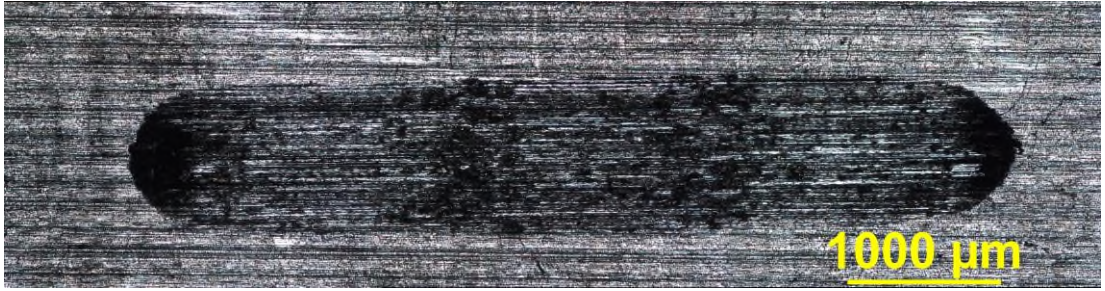
Şekil 4.25: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge



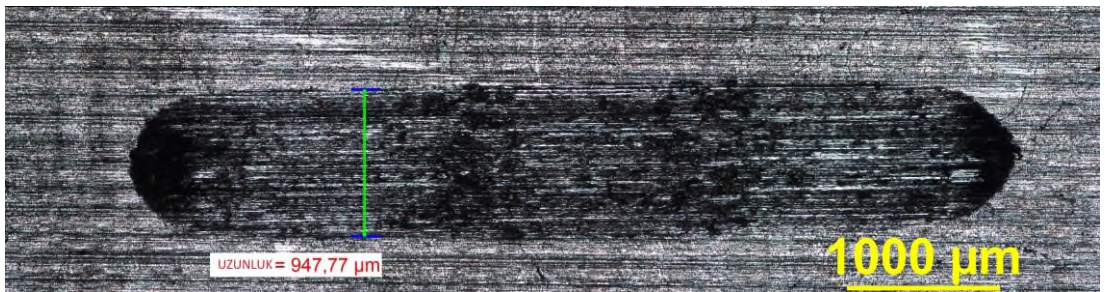


Şekil 4.26: Referans Numune 2N Uygulanmış Bölge

5 N ile uygulanan aşındırma testi görüntüleri;

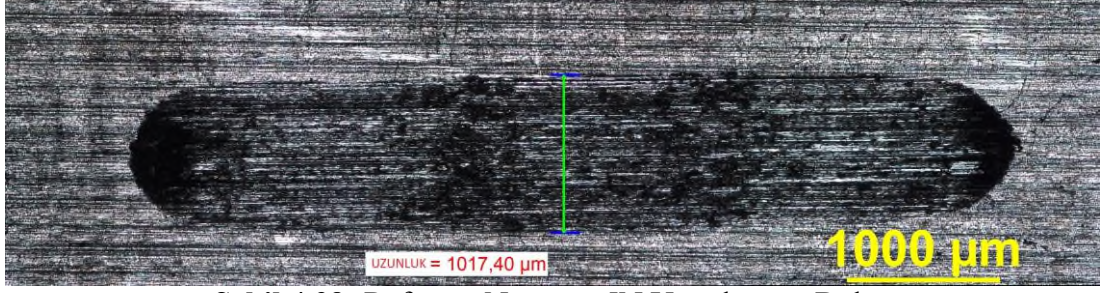


Şekil 4. 27: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge

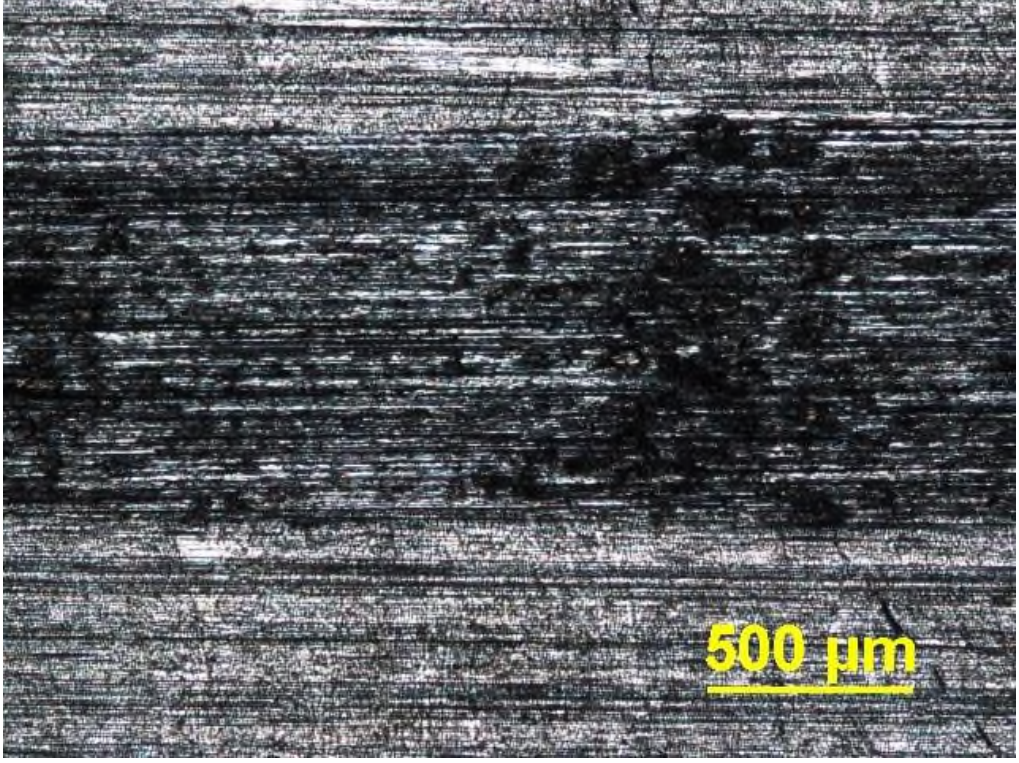


Şekil 4.28: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge

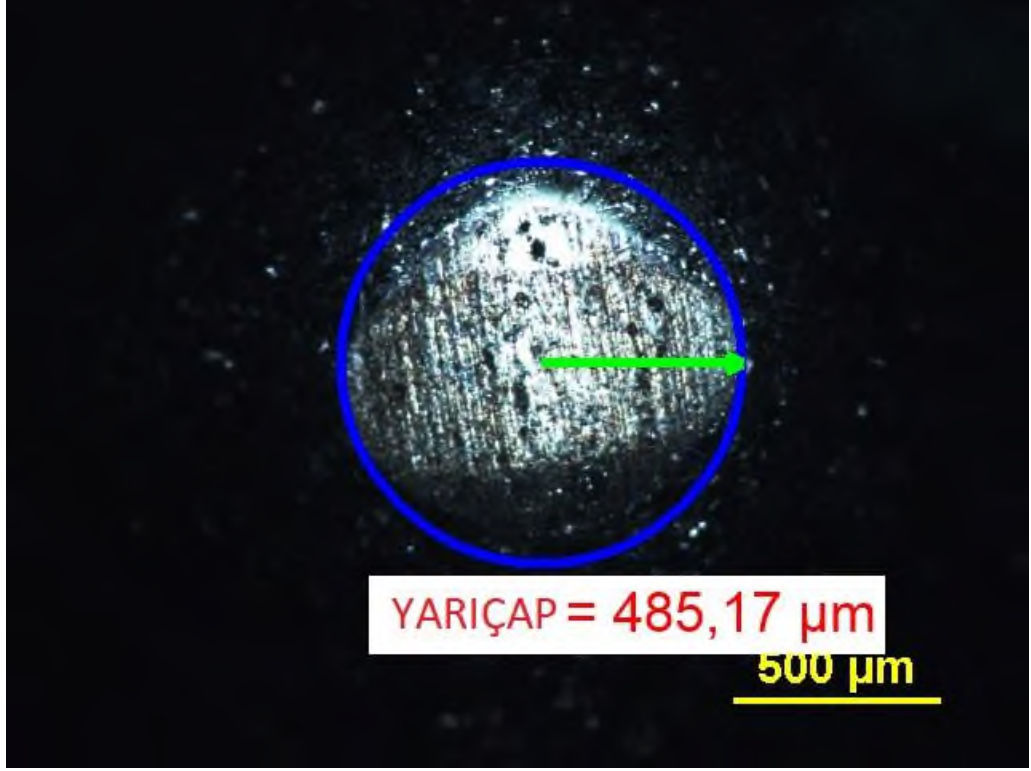




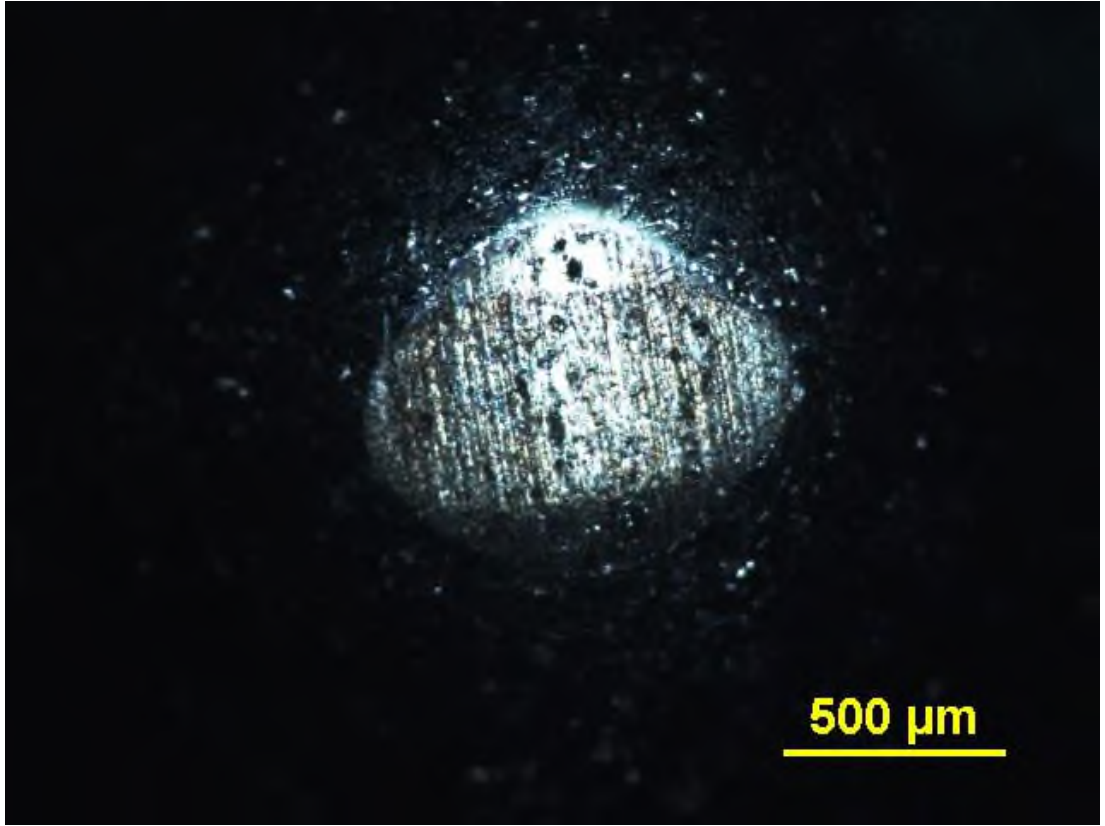
Şekil 4.29: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge



Şekil 4.30: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge

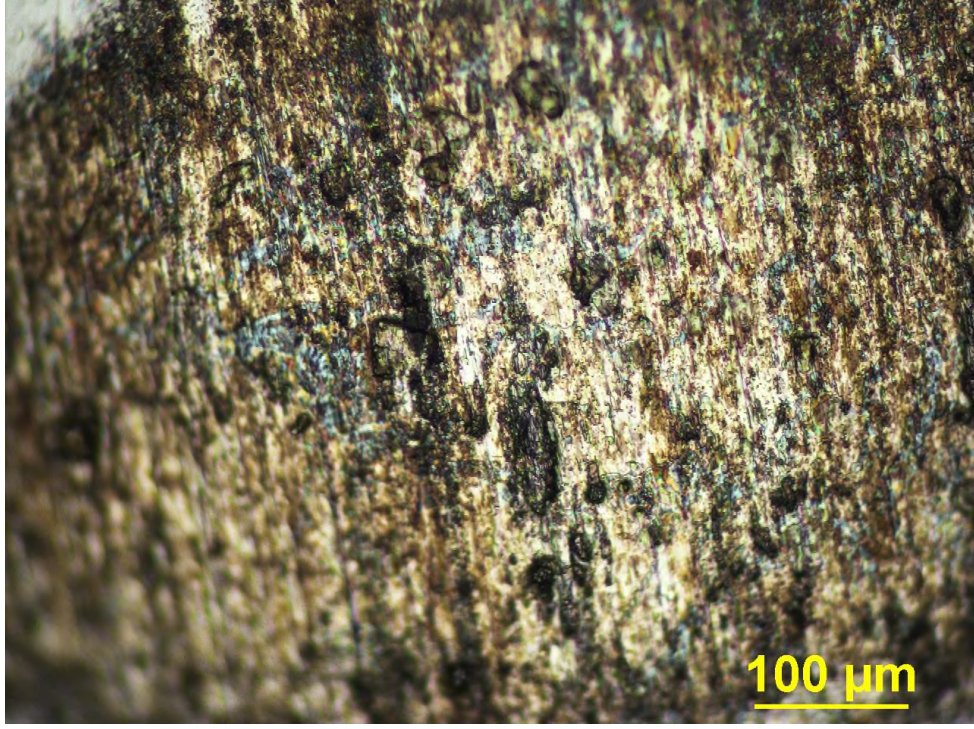


Şekil 4.31: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge



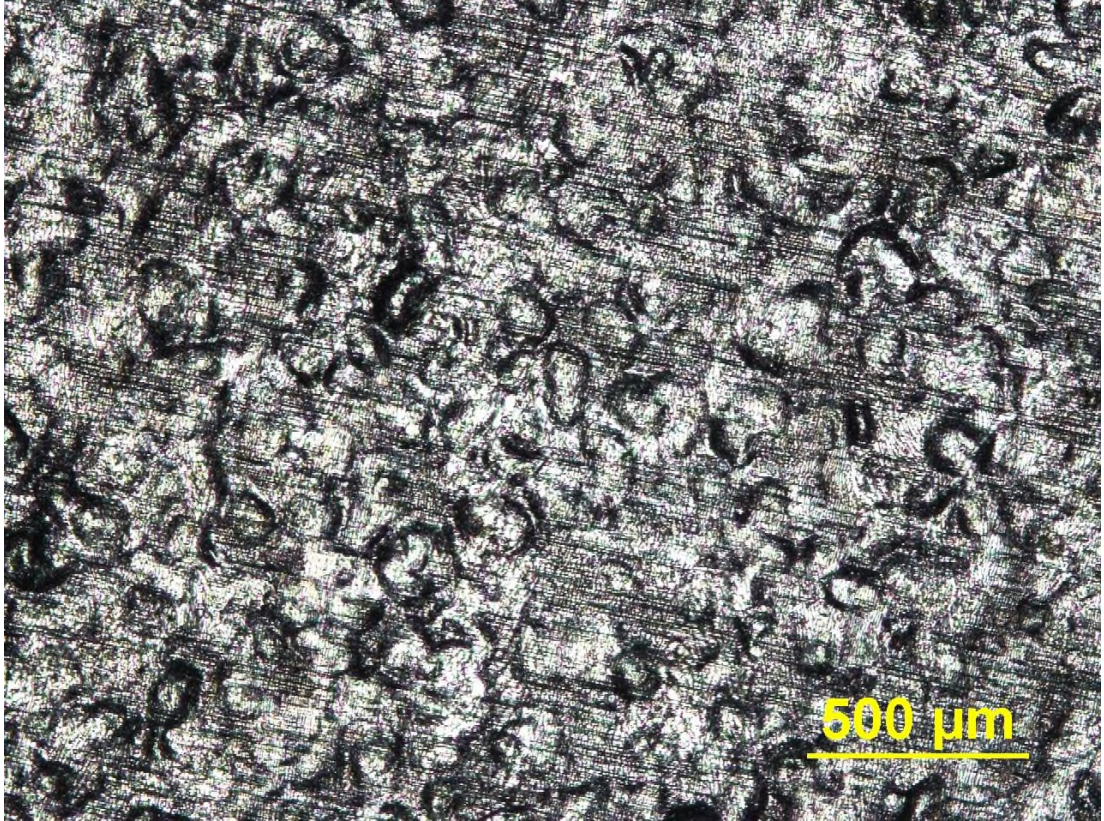
Şekil 4.32: Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge





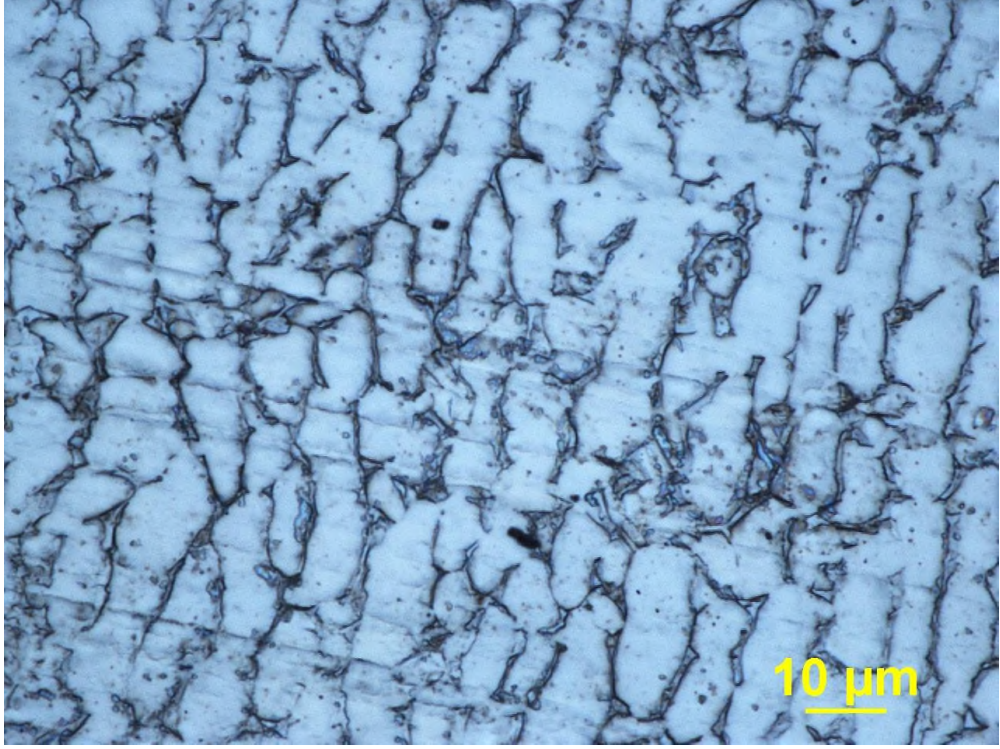
**Şekil 4.33:** Referans Numune 5N Uygulanmış Bölge

0,5 bar basınçta dövme işlemi yapılan iş parçasının görüntüleri;



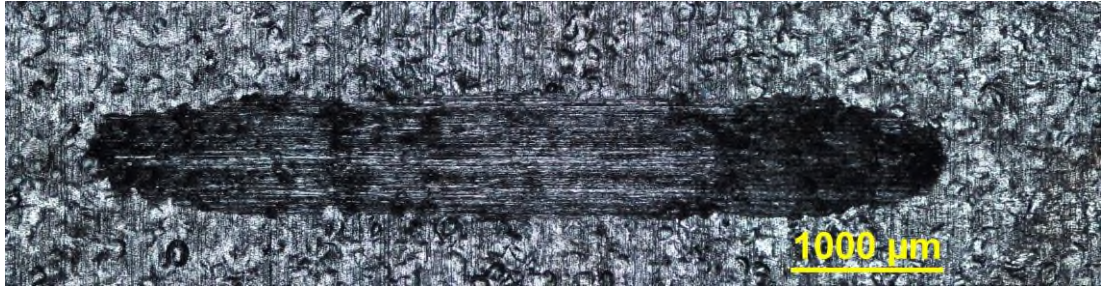
**Şekil 4.34:** 0,5 Bar İle Dövülen Numune Görüntüsü



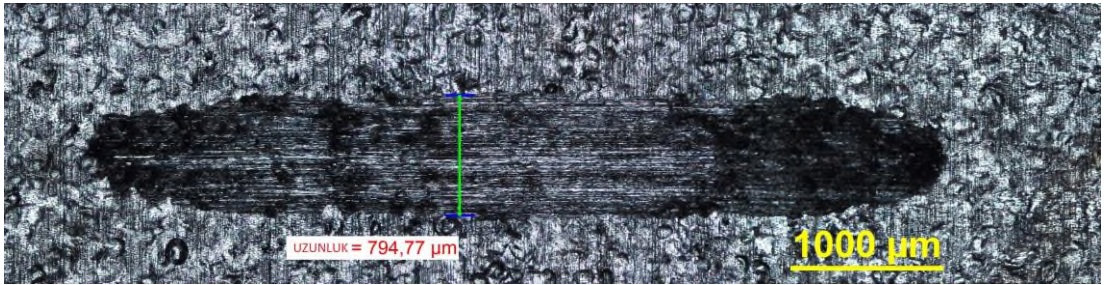


Şekil 4.35: 0,5 Bar ile Dövülen Numune Görüntüsü

2 N ile uygulanan aşındırma testi görüntüleri;

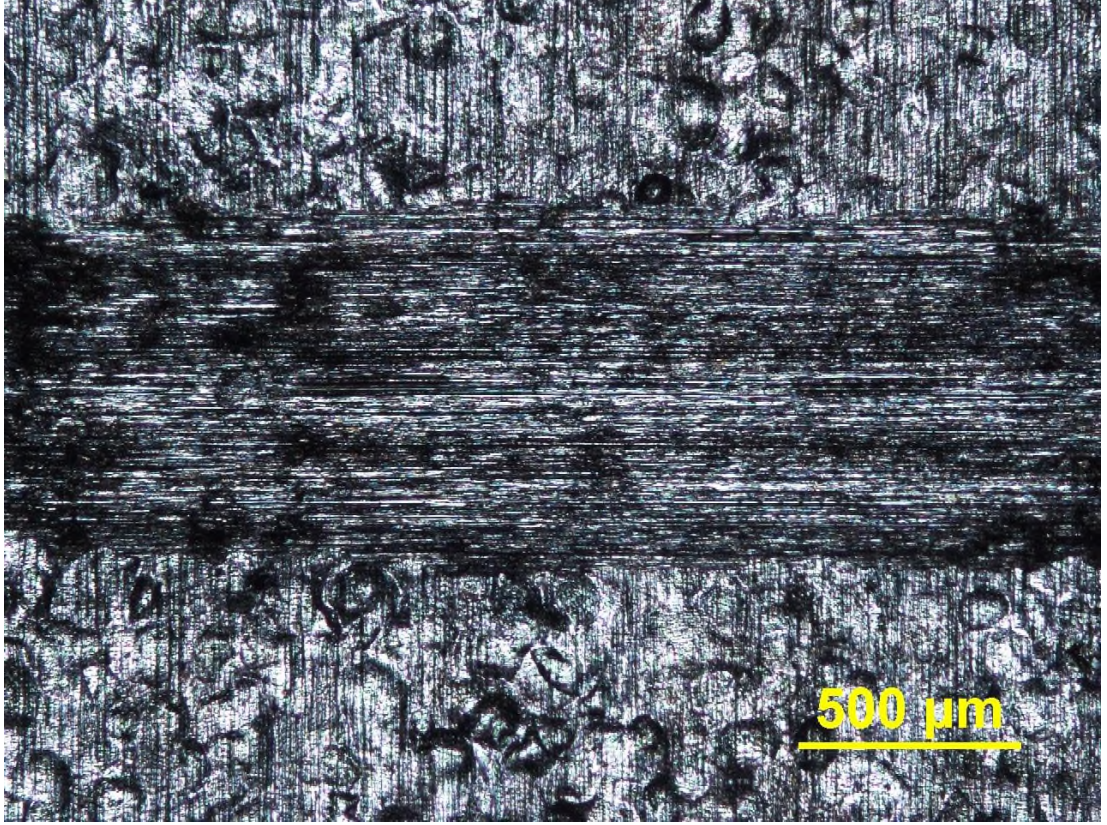


Şekil 4.36: 0,5 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

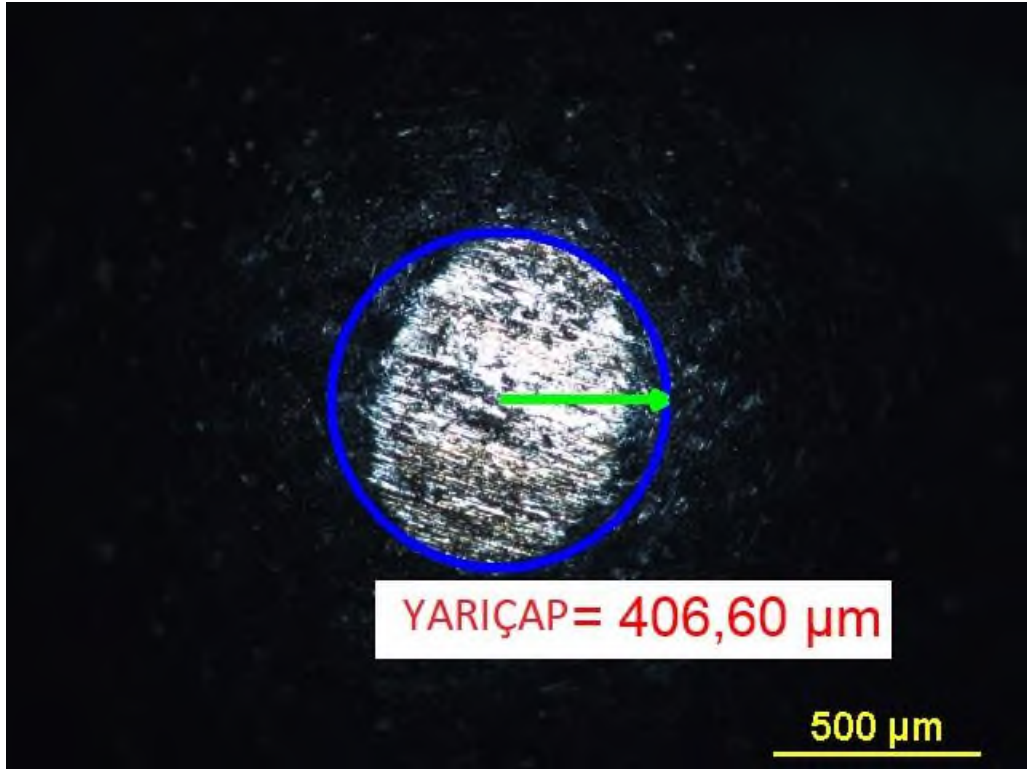


Şekil 4.37: 0,5 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü





Şekil 4.38: 0,5 Bar İle Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

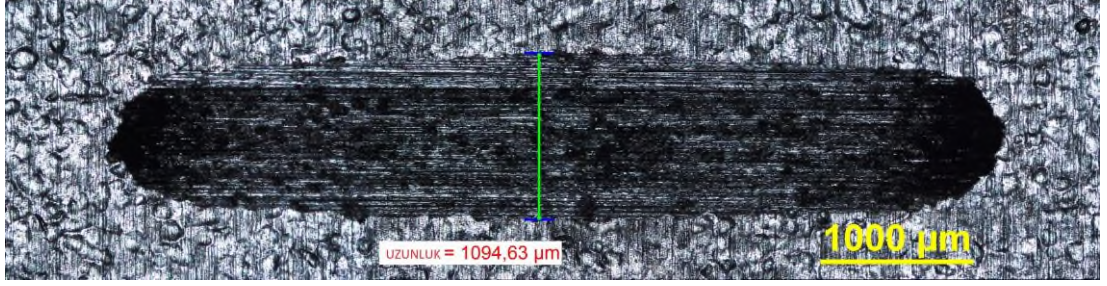


Şekil 4.39: 0,5 Bar İle Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü  
5 N ile uygulanan aşındırma testi görüntüleri;

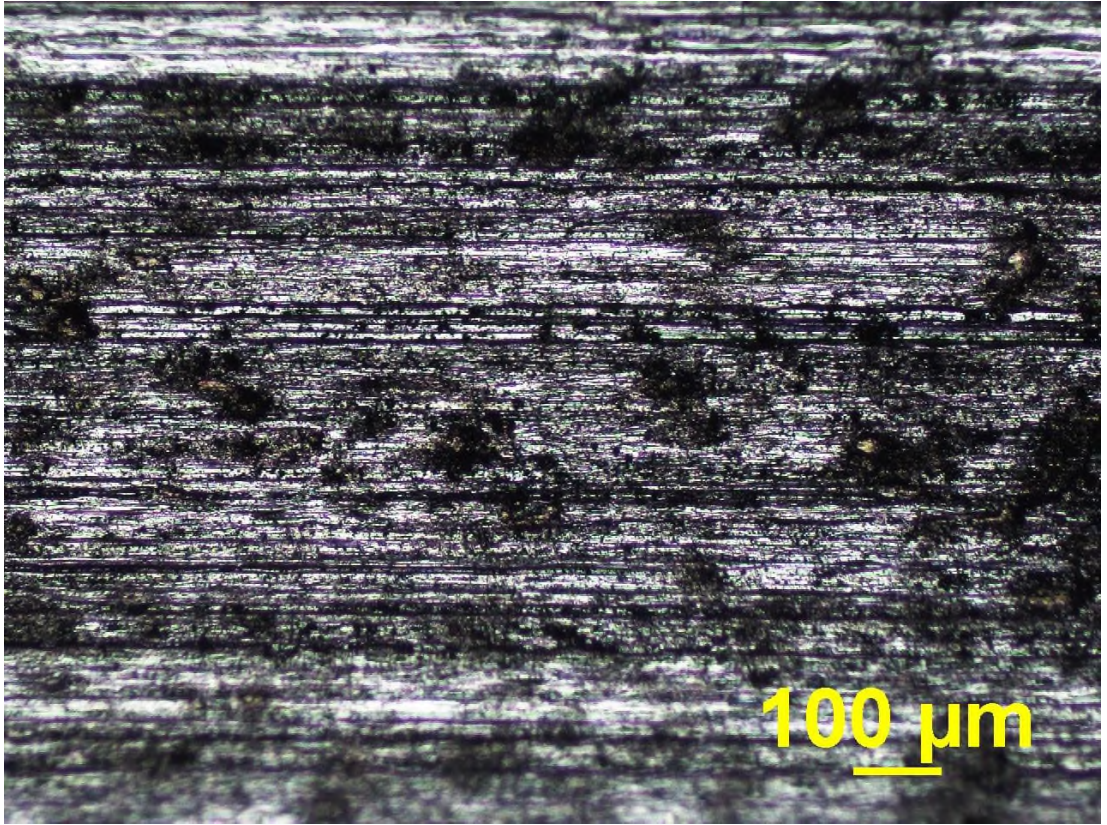




Şekil 4.40: 0,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

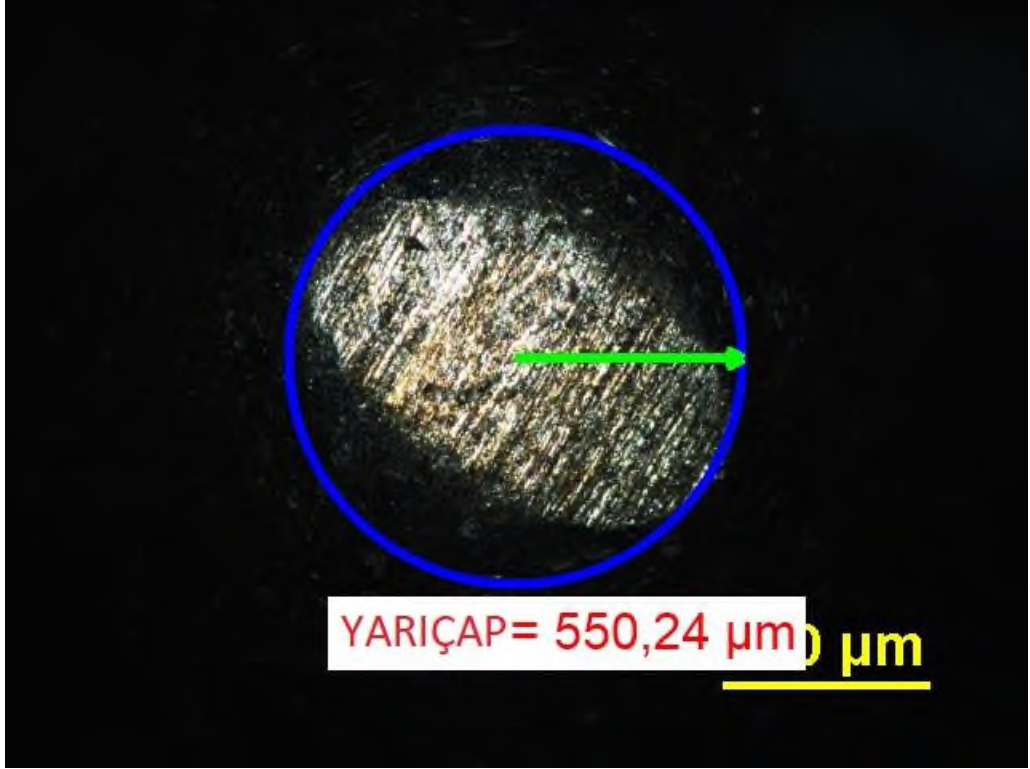


Şekil 4.41: 0,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü



Şekil 4.42: 0,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü



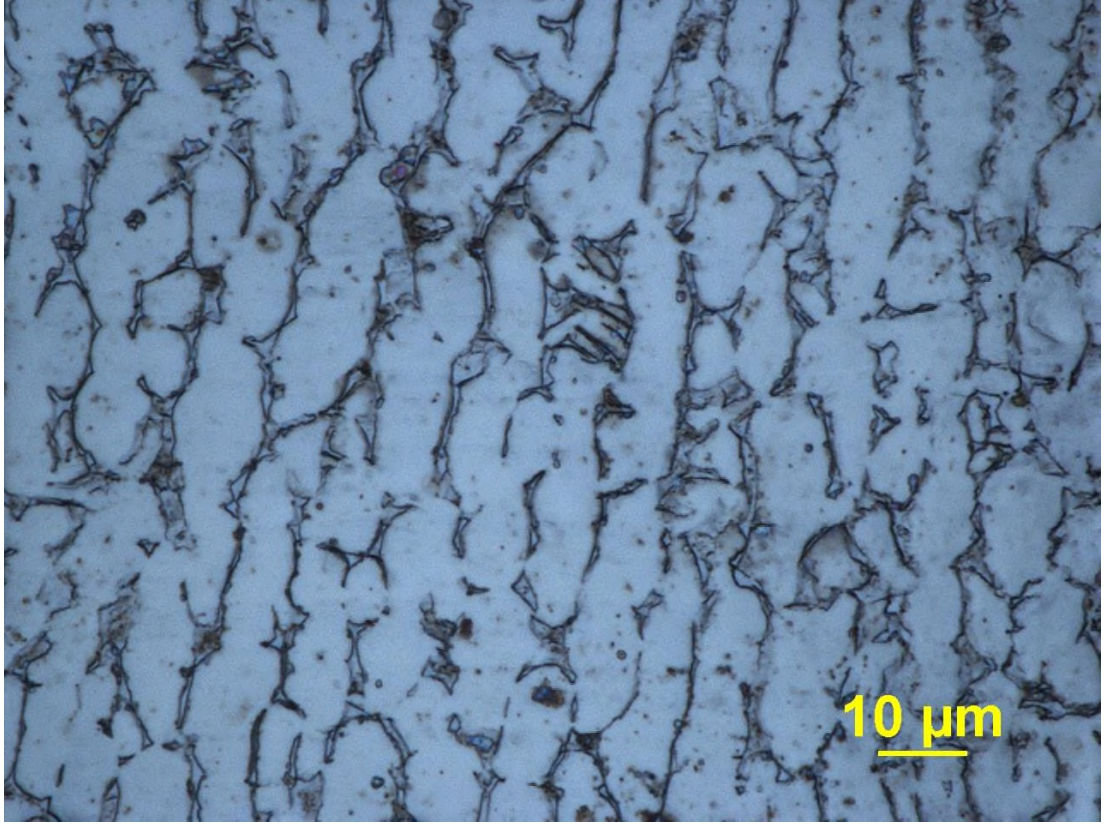


Şekil 4.43: 0,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü  
1 bar basınçta dövme işlemi yapılan iş parçasının görüntüleri;



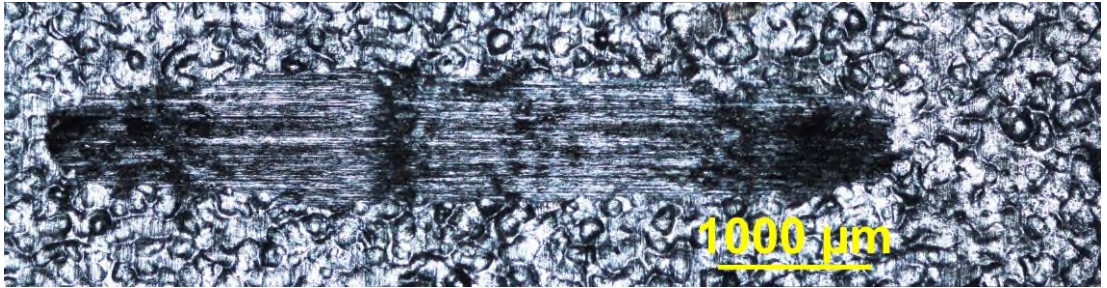
Şekil 4.44: 1 Bar ile Dövülen Numune Görüntüsü



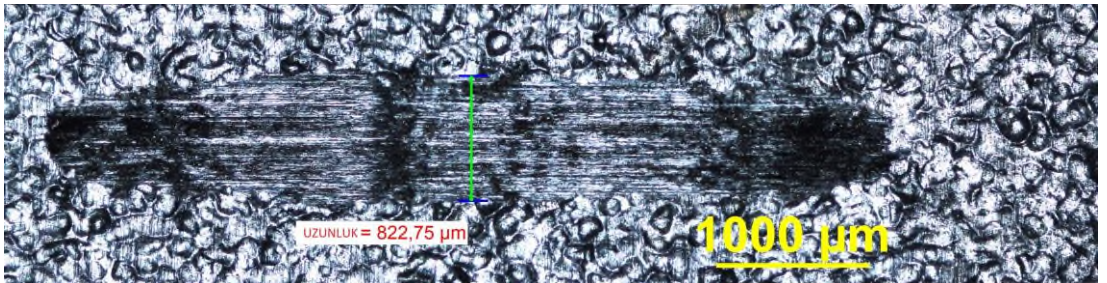


**Şekil 4.45:** 1 Bar ile Dövülen Numune Görüntüsü

2 N ile uygulanan aşındırma testi görüntüleri;

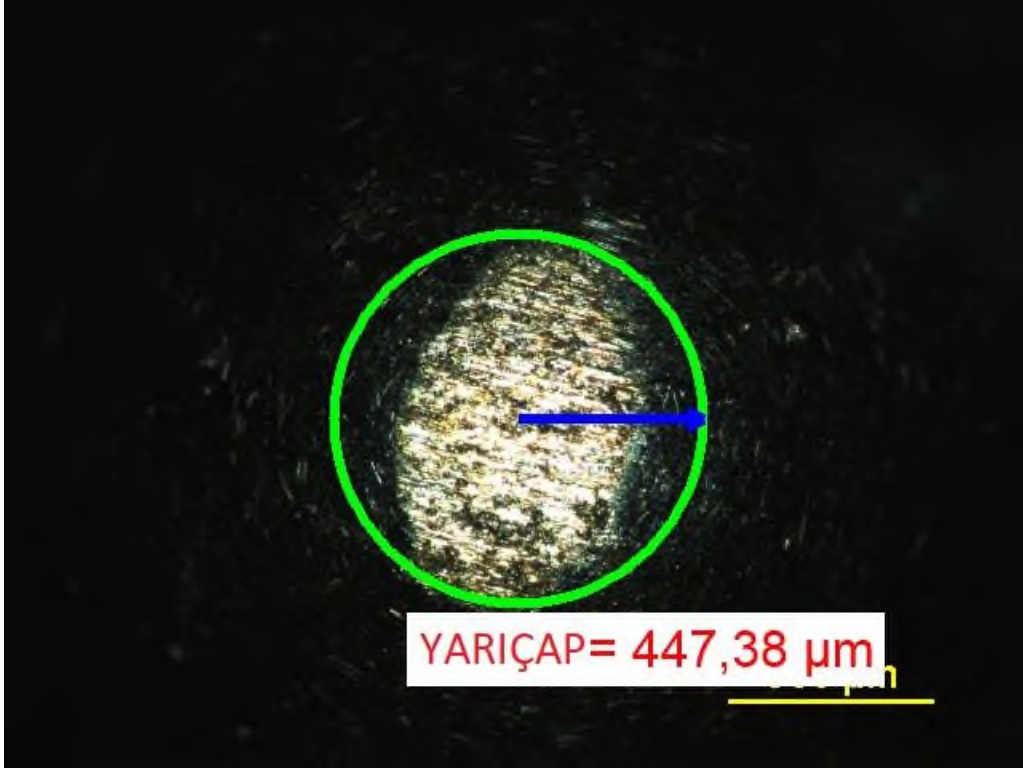


**Şekil 4.46:** 1 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

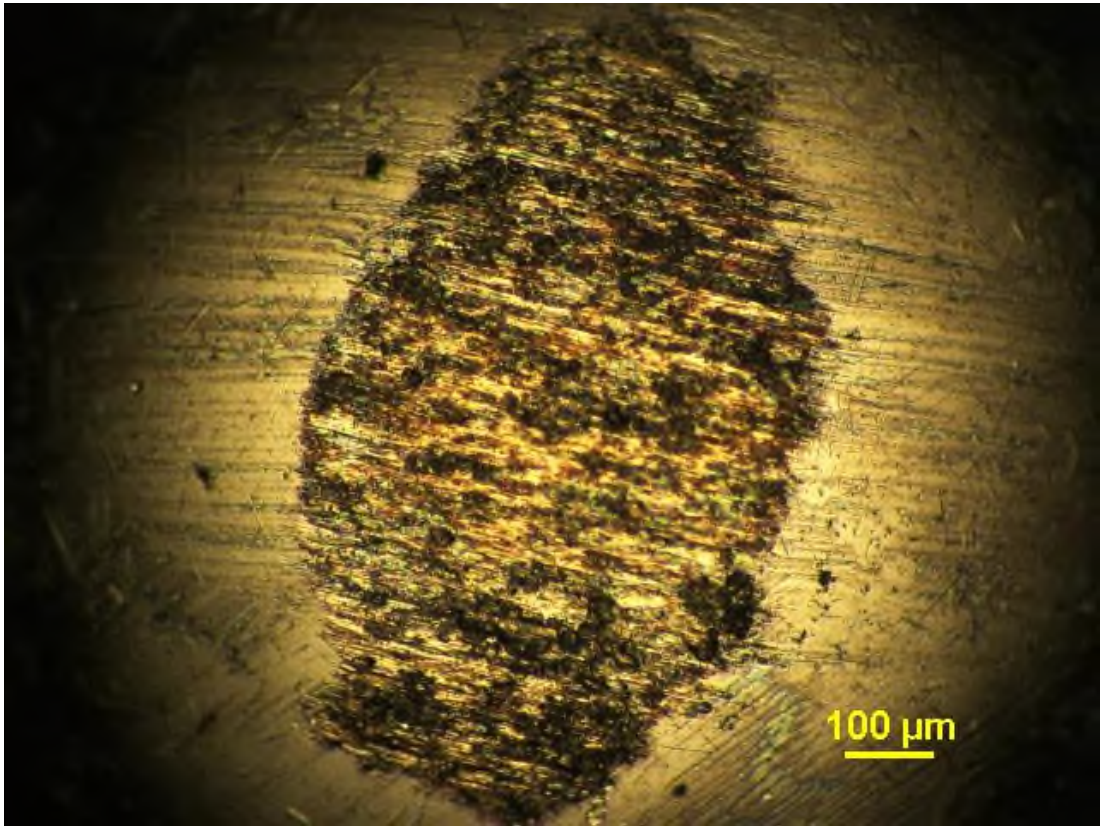


**Şekil 4.47:** 1 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü



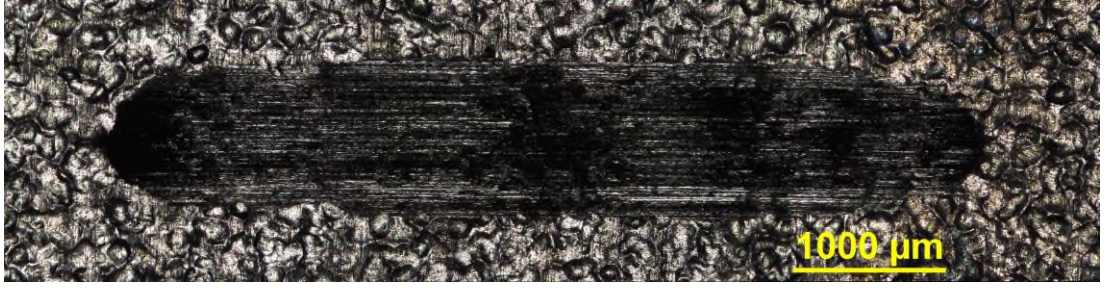


Şekil 4.48: 1 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

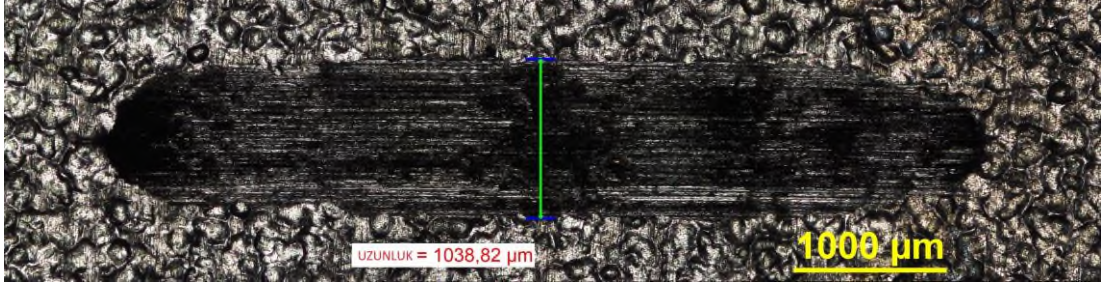


Şekil 4.49: 1 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü  
5 N ile uygulanan aşındırma testi görüntüleri;

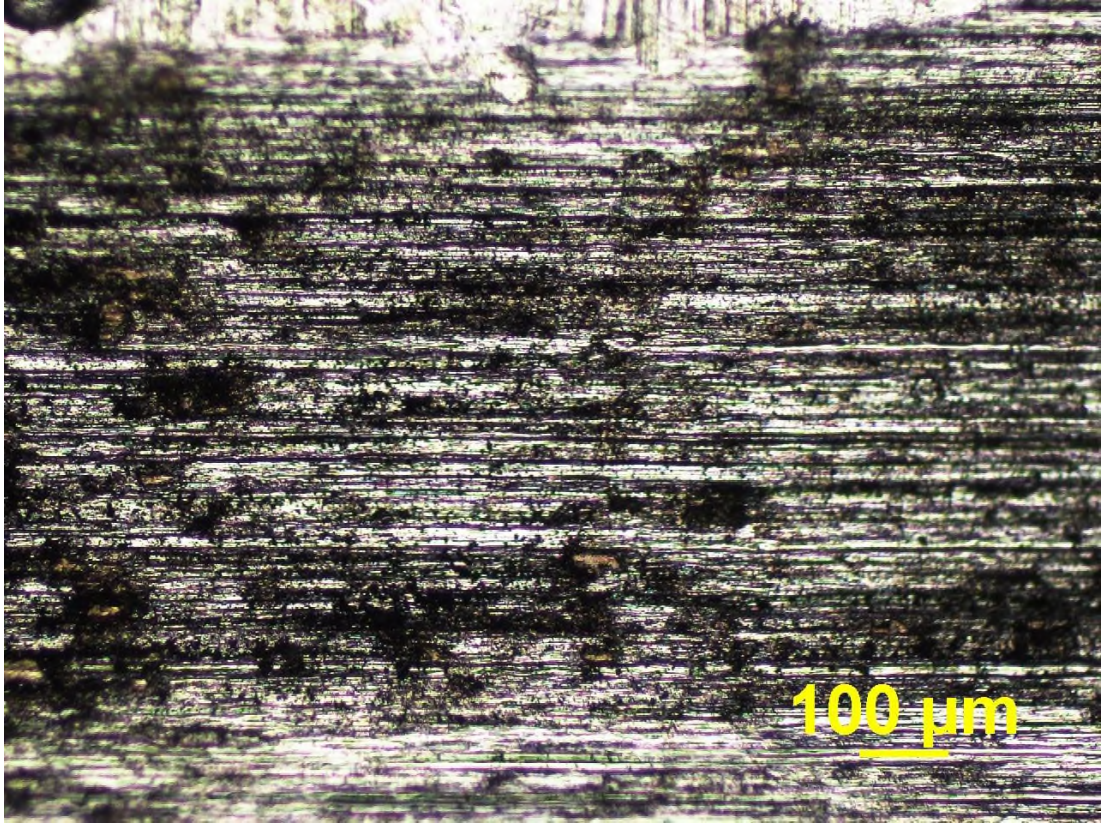




Şekil 4.50: 1 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

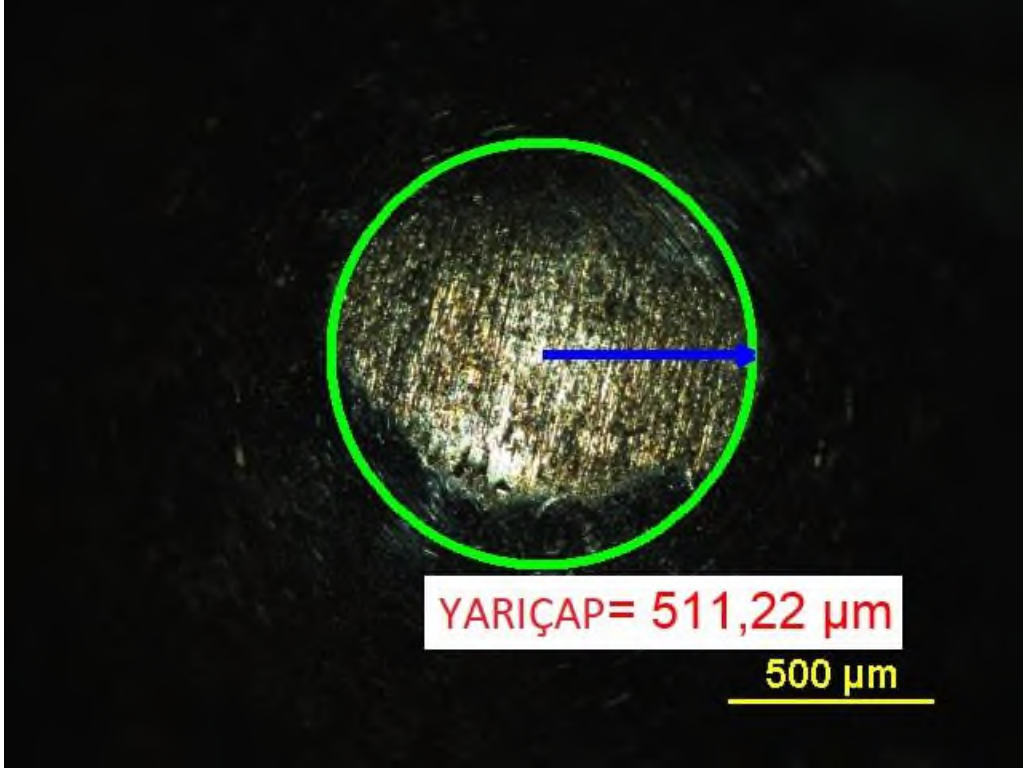


Şekil 4.51: 1 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

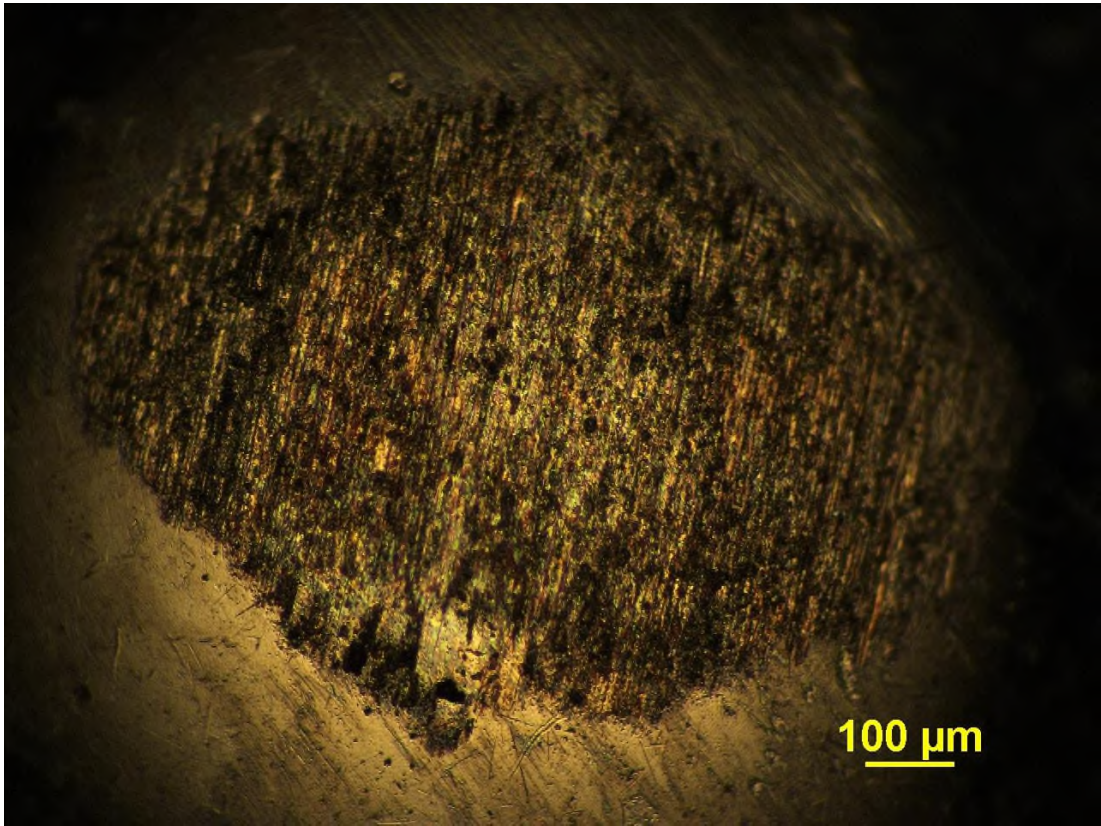


Şekil 4.52: 1 Bar ile Dövülen, 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü





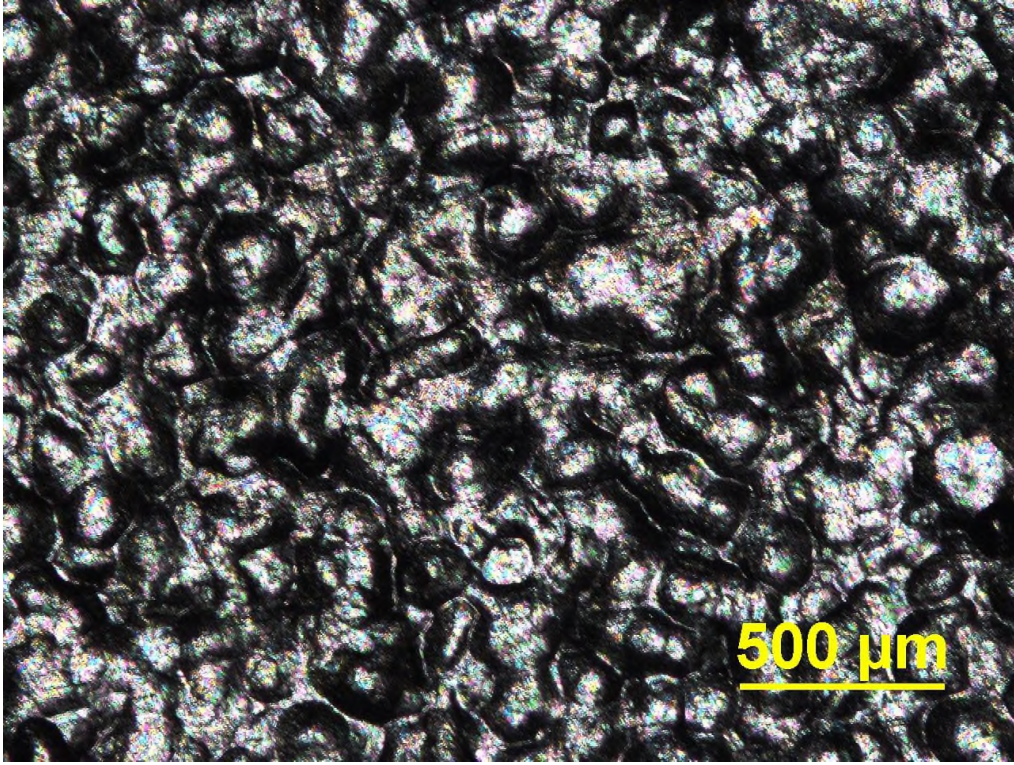
Şekil 4.53: 1 Bar ile Dövülen, 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü



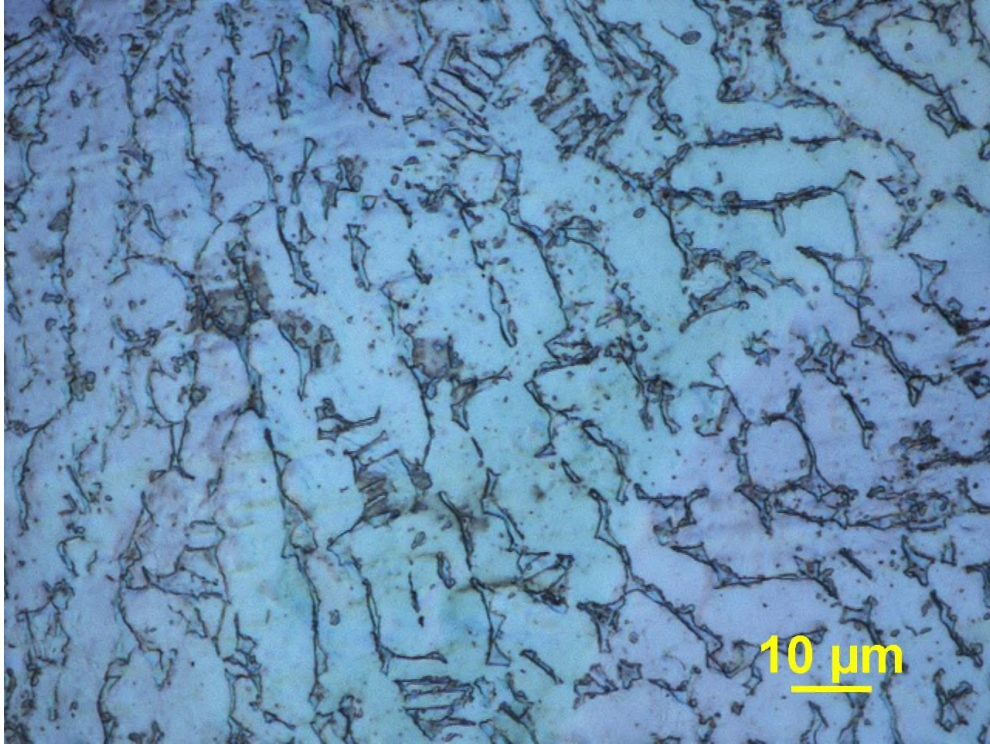
Şekil 4.54: 1 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü



1,5 bar basınçta dövme işlemi yapılan iş parçasının görüntüleri;



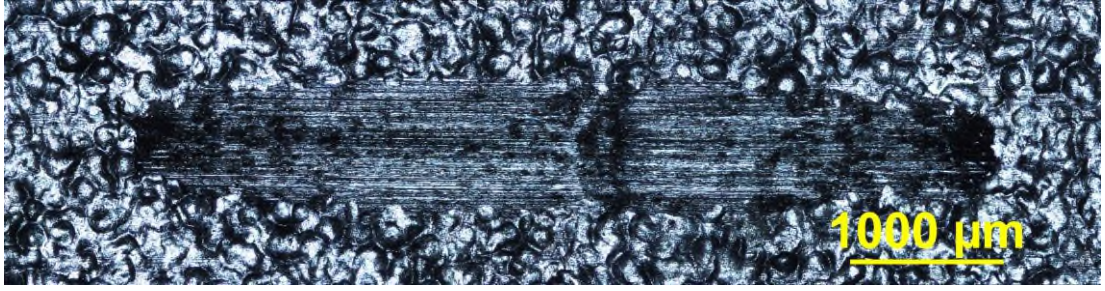
Şekil 4.55: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Numune Görüntüsü



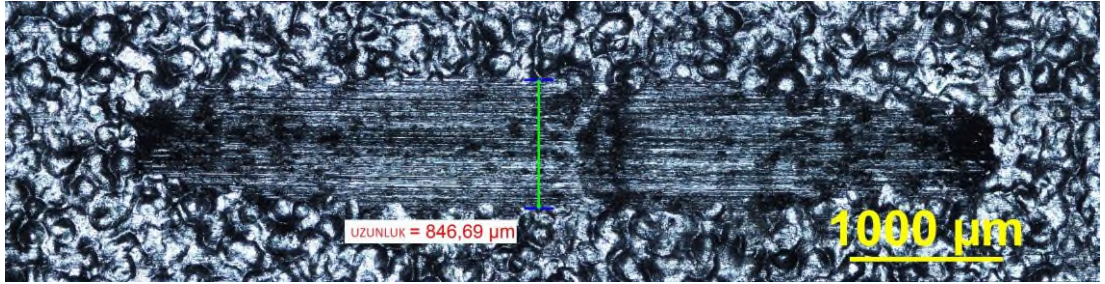
Şekil 4.56: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Numune Görüntüsü



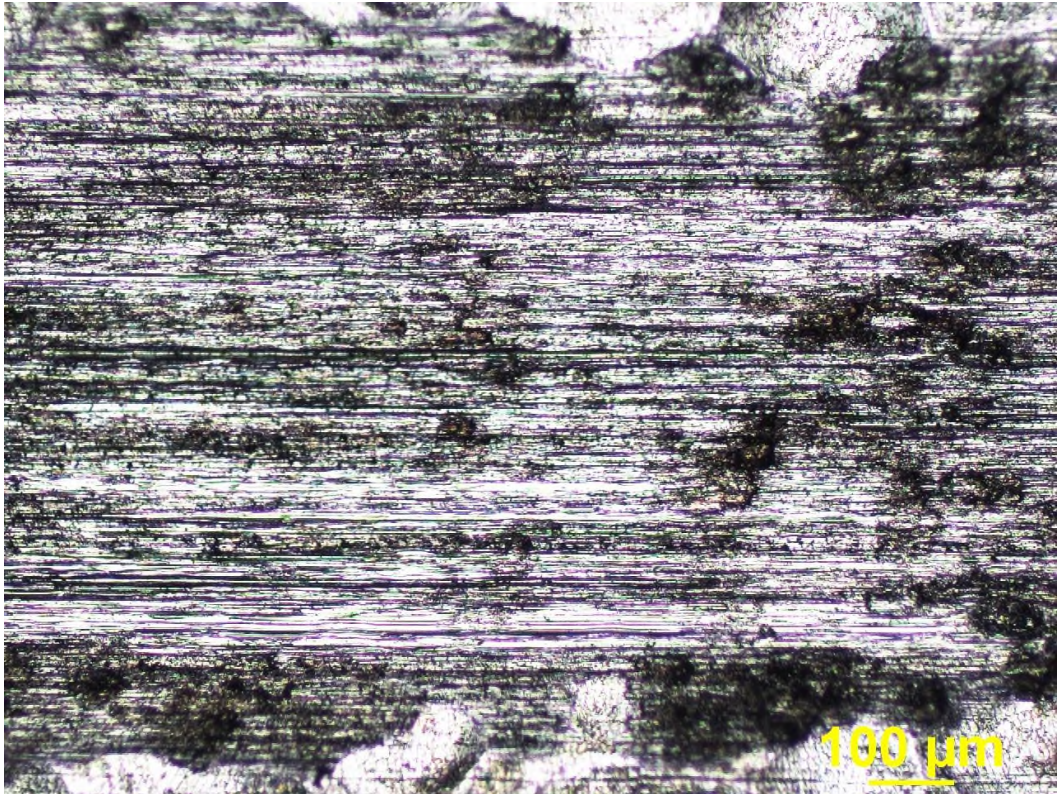
2 N ile uygulanan aşındırma testi görüntüleri;



Şekil 4.57: 1,5 Bar İle Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

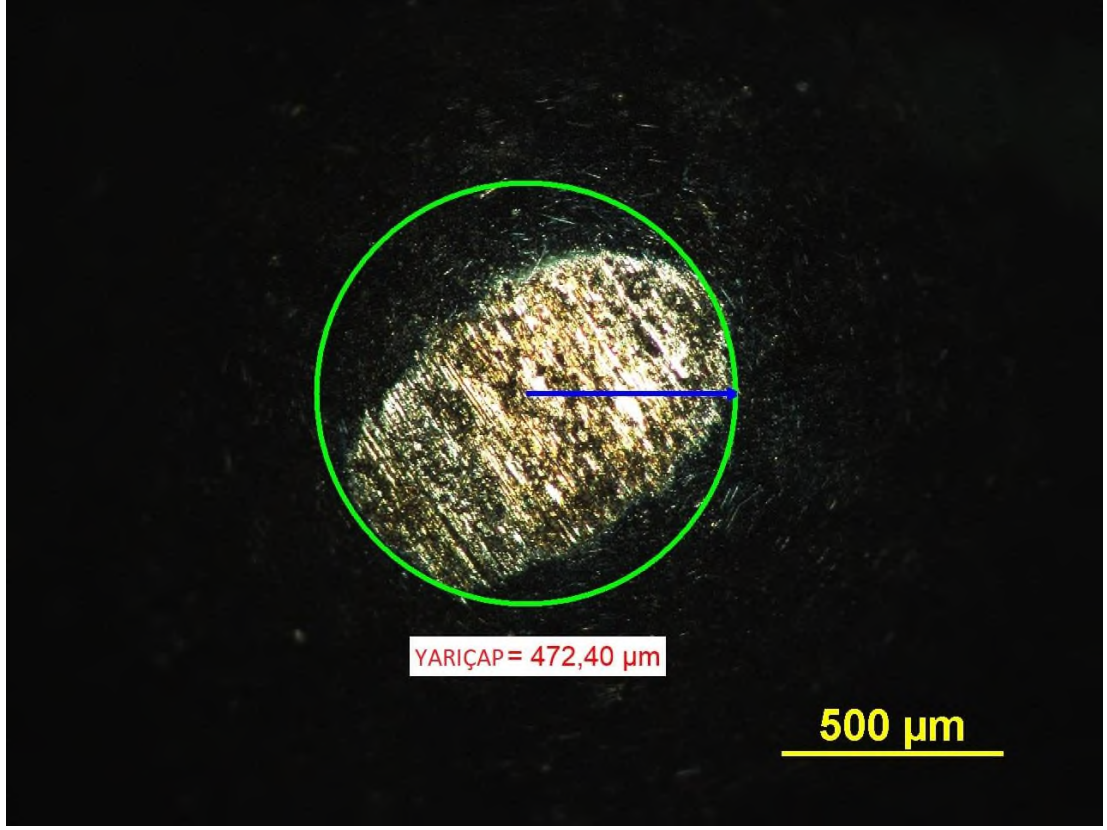


Şekil 4.58: 1,5 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü



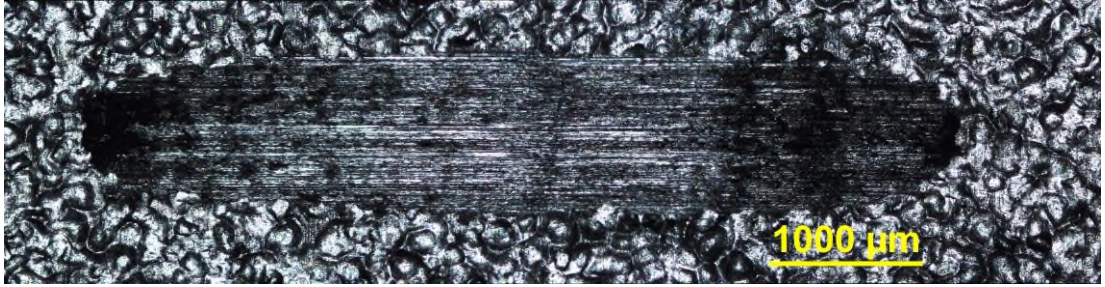
Şekil 4.59: 1,5 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü



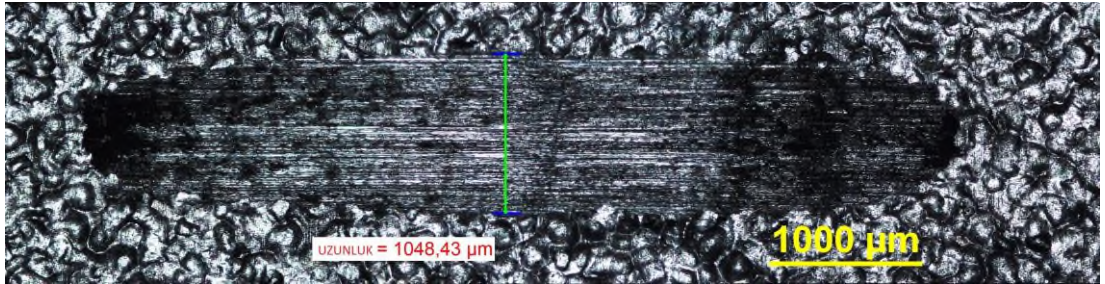


Şekil 4.60: 1,5 Bar ile Dövülen 2N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

5 N ile uygulanan aşındırma testi görüntüleri;

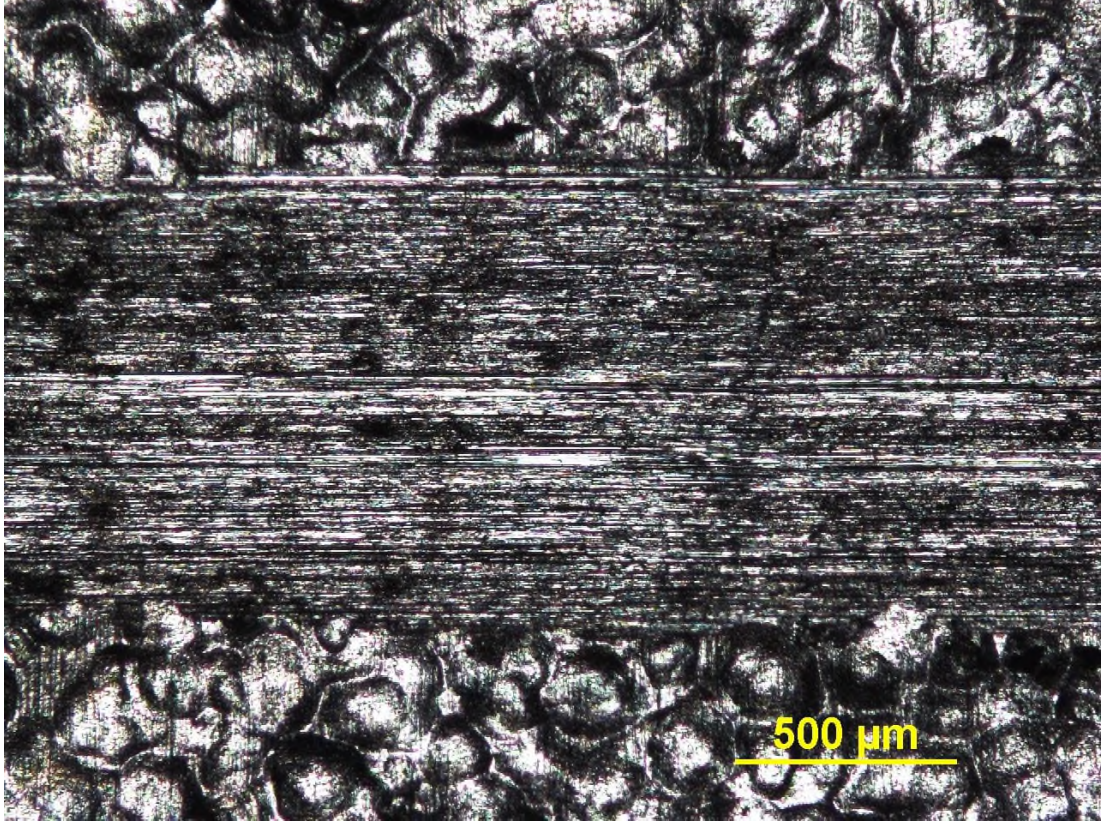


Şekil 4.61: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

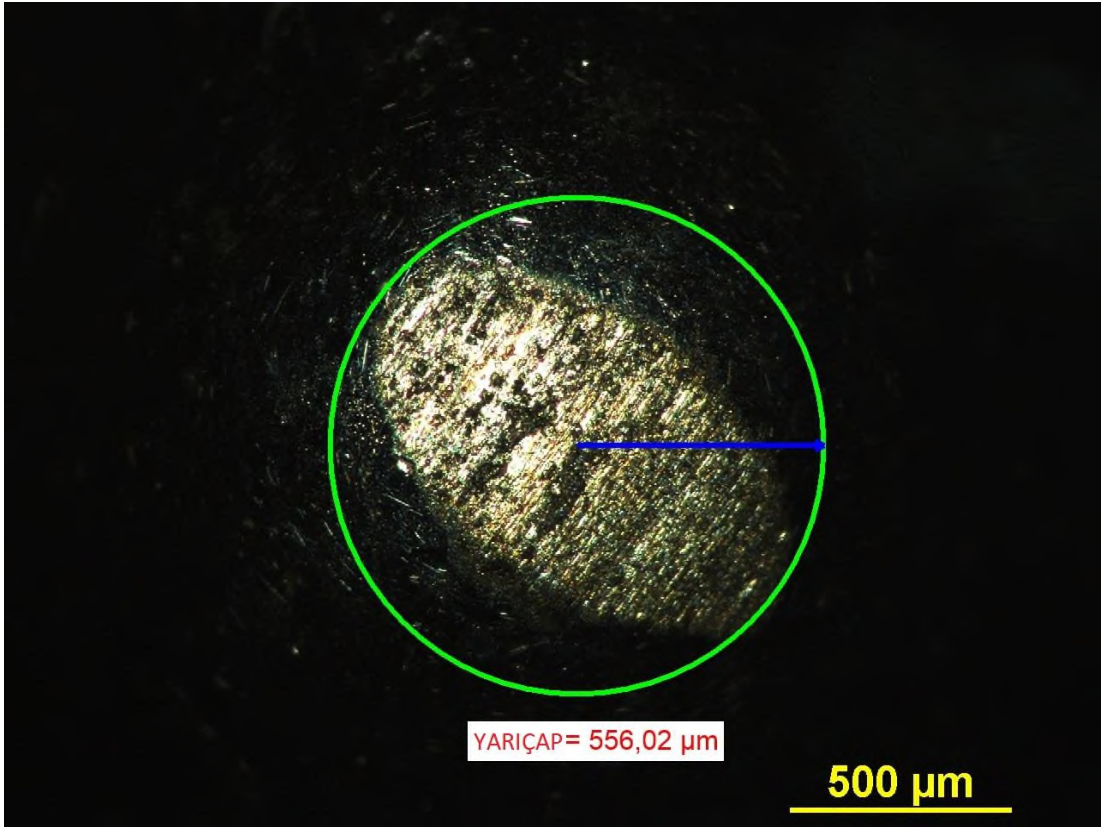


Şekil 4.62: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü



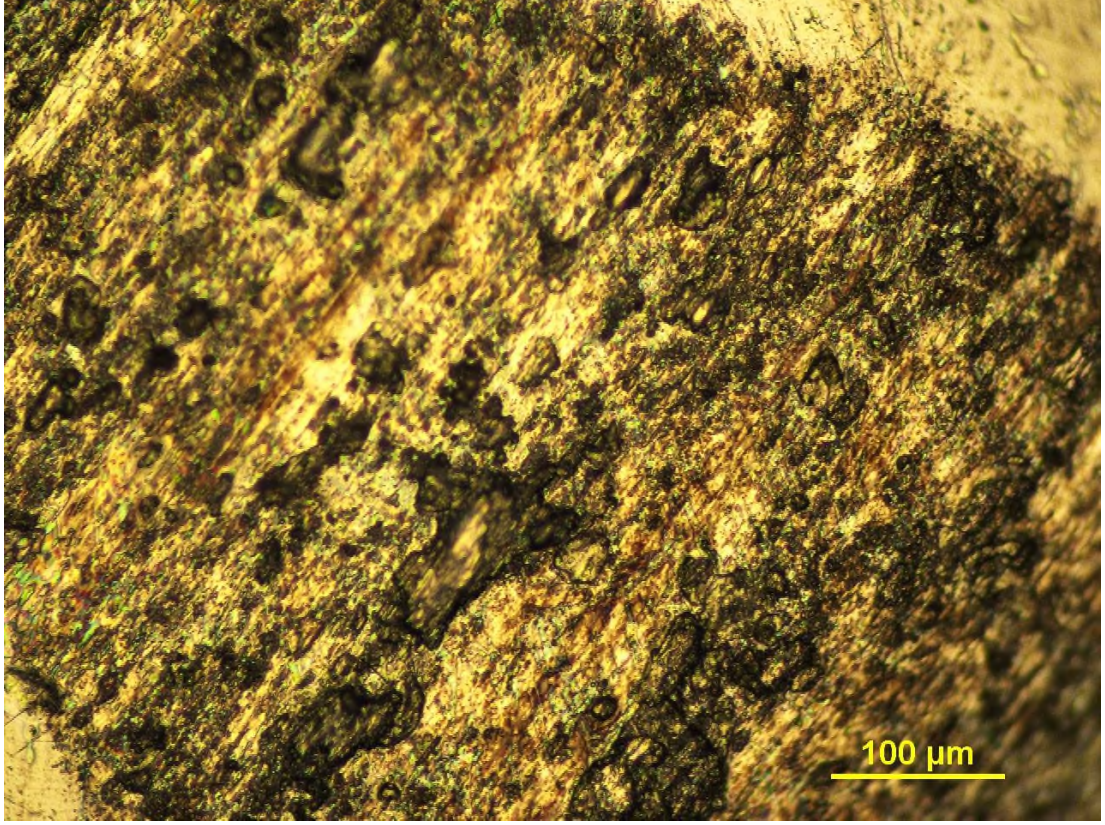


Şekil 4.63: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü



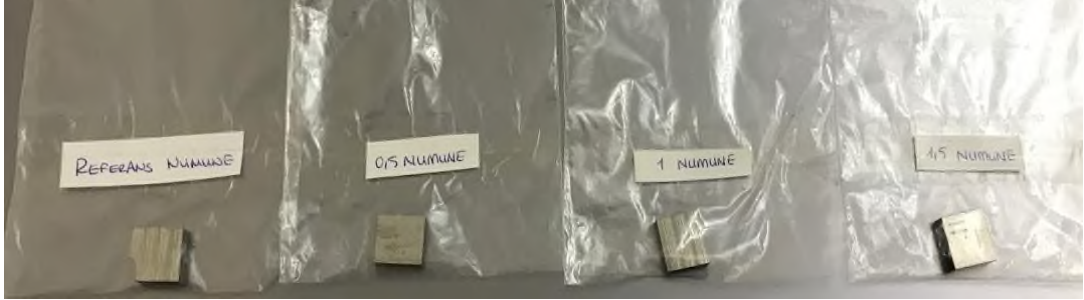
Şekil 4.64: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü





Şekil 4.65: 1,5 Bar ile Dövülen 5N Aşındırma Yapılan Numune Görüntüsü

#### 4.2.9 Numune hazırlanması taramalı elektron mikroskop görüntüsü alınması operasyonu



Şekil 4.66: Ti6Al4V Kullanılan malzemeler kısmı

Referans Ti6Al4V ve bilyalı dövme yapılan 3 iş parçası sırası ile Şekil 4.66'deki gibi hazırlandıktan sonra SEM cihazı ile görüntüleri alınmıştır. Cihazının kullanım isterileri doğrultusunda ebatlarının düşürülmesi ve cihaz içerisinde yerleşimi talepleri doğrultusunda istenilen küçüklükte numuneler SEM cihazı için hazır hale getirildikten sonra görüntüler alınmıştır.



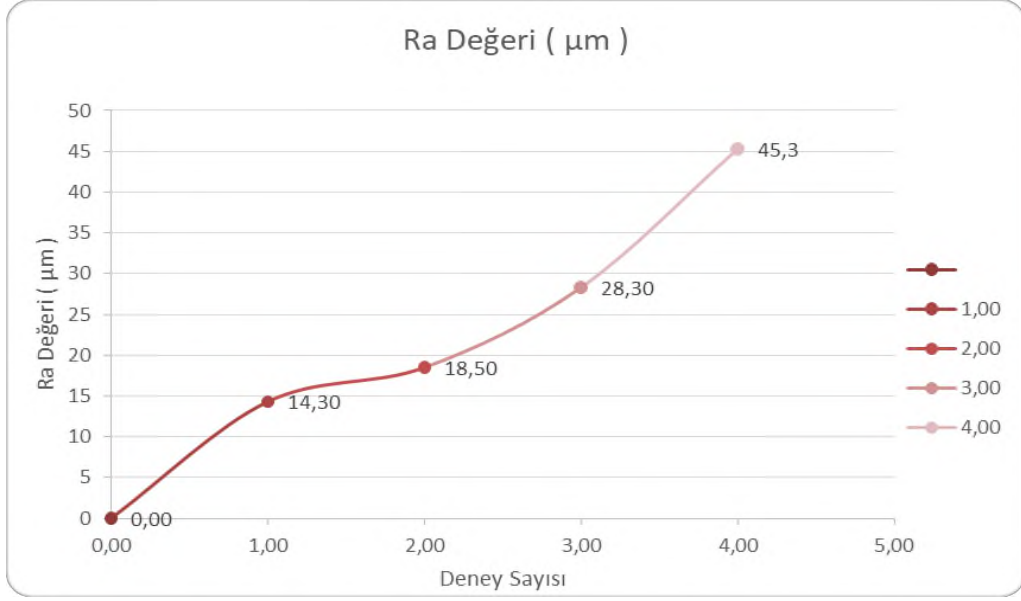
## **5.DENEYLERİN SONUÇLARI VE TARTIŞMA**

Bilyalı dövme operasyonu sonrasında 3 adet deney iş parçasına sırası ile yüzey pürüzlülük testi, sertlik testi ve aşındırma testleri yapılmıştır. Bu deneyler sonrasında ise optik mikroskobu görüntüsü alınması ve Sem cihazı analizleri için sağlıklı bir deneysel malzeme hazırlığı için Kale Havacılık bünyesinde bulunan kimyasal dağlama operasyonu ile malzeme üzerinde ara hazırlık operasyonu yapılmıştır. Bu kimyasal dağlama operasyonu sonrasında hazırlanmış olan Ti6Al4V'lar aşındırma testlerine maruz bırakılmışlardır. Bu testler sonrasında ise optik mikroskop ile görüntüleri alınmıştır. Bu görüntü alımı sonrasında ise Sem analizleri ve görüntüleri alınmıştır. Bu deneylerin hazırlanan Ti6Al4V'lara uygulanmasının sebebi bilyalı dövme ve aşındırma testleri sonrasında malzemeler üzerisin de bulunan değişimlerin gözlenmesidir. Deney Ti6Al4V'a yapılan deneylerin sonuçları tezimin devamında görmek mümkündür.

### **5.1 Yüzey Pürüzlülük Sonuçları**

Hazırlanan 3 adet deney malzemesinin ve referans olarak kabul edilen malzemenin bilyalı dövme işlemi sonrasında yüzey pürüzlülük deneyleri sonucu aşağıdaki çizelgedeki gibidir.

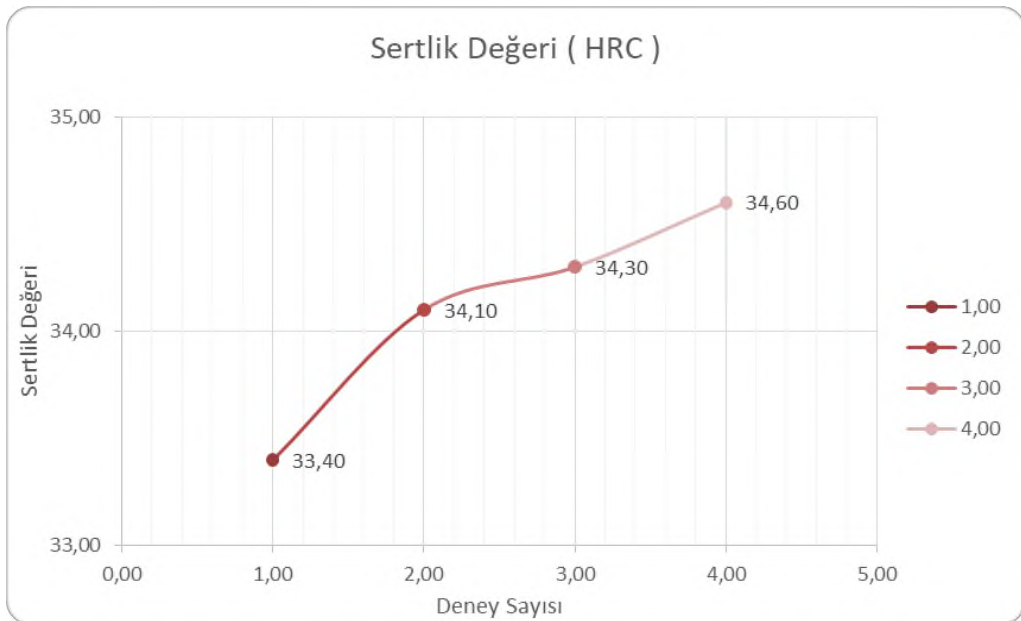
**Çizelge 5.1: Ölçülen Pürüzlülük Değerleri**



Yüzey pürüzlülük testleri sonucu bilyalı dövme operasyonunda basınç değerinin artması ile dövme şiddetinin artmasının doğru orantılı olarak artması sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ra değeri şiddetin artması ile yükseldiğinden sadece pürüzlülük ölçümü sonucu ile değil gözle muayene sonrasında bozulma gözlemlenmiştir.

## 5.2 Sertlik Testi Sonuçları

**Çizelge 5.2: Ölçülen Sertlik Değerleri**

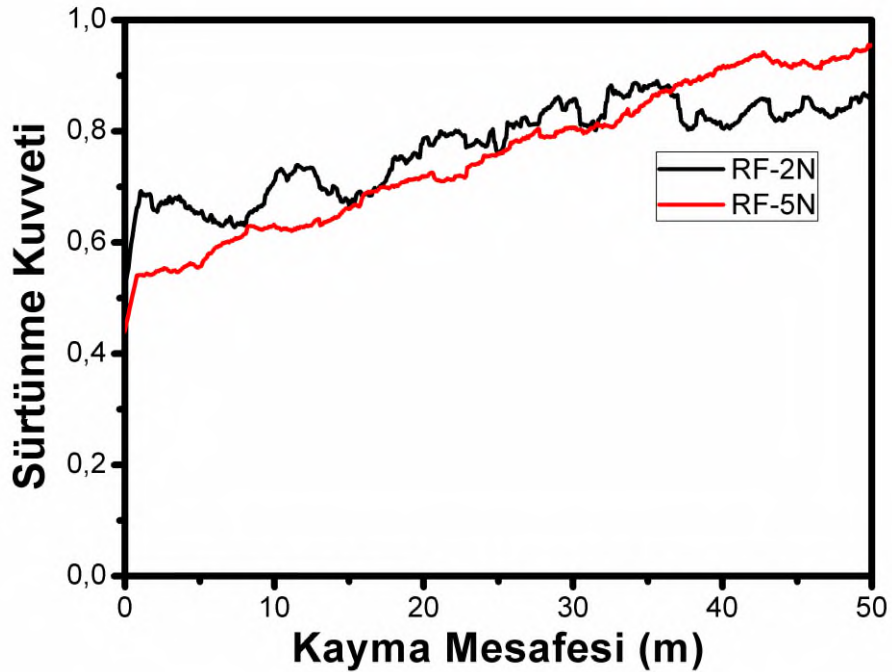


3 adet deney malzemesi ve referans Ti6Al4V'a yapılan sertlik ölçüm sonuçları yukarıdaki gibidir. Bu ölçüm sonucunda bilyalı dövmenin maruz kaldığı malzemelerin yüzeylerinde oluşması beklenen sertlik artışının yüzey pürüzlülük testine nazaran daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Titanyum malzemesi havacılıkta tercih edilmesinin başlıca sebeplerinden birisi ısıl direncinin yüksek olması ve hafif olmasıdır. Bu sebeple havacılık sanayisinde tercih edilmektedir. Deney esnasında kullandığımız Ti-4Al-6V alaşım malzemesi iç yapısı gereği sertlik değeri yüksek olmasa da frezeleme operasyonunda da karşılaşıldığı gibi işlenebilirlik zorluğu sebebi ile bilyalı dövme operasyonu sonrasında sertlik derecesinin arttığı fakat bilyalı dövme operasyonu ile sertlik değeri artırma beklentisinin verimli olmadığı gözlemlenmiştir.

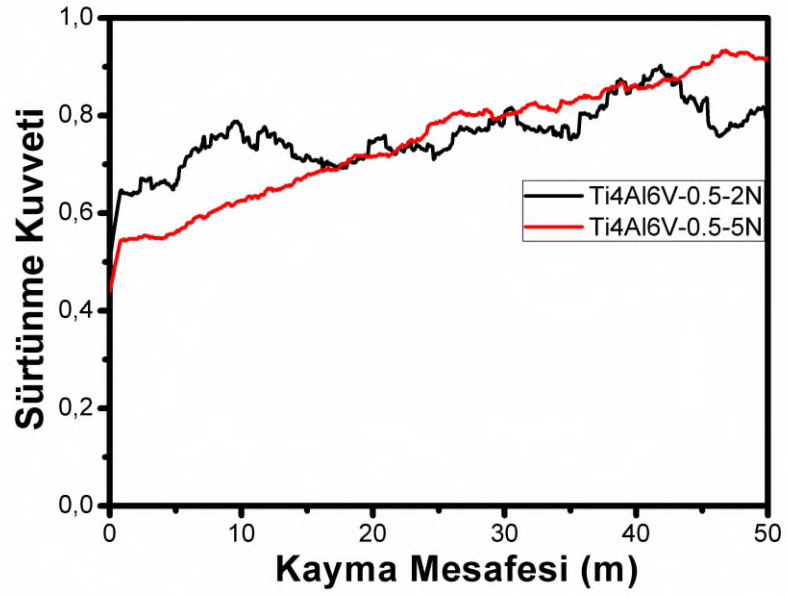
### 5.3 Aşındırma Testi Operasyonu Sonuçları

Bilyalı dövme yapılmamış ve şahit parça olarak kabul edilen Ti6Al4V'nın malzeme sürtünme kuvveti grafiği Şekil 5.1 teki gibidir.



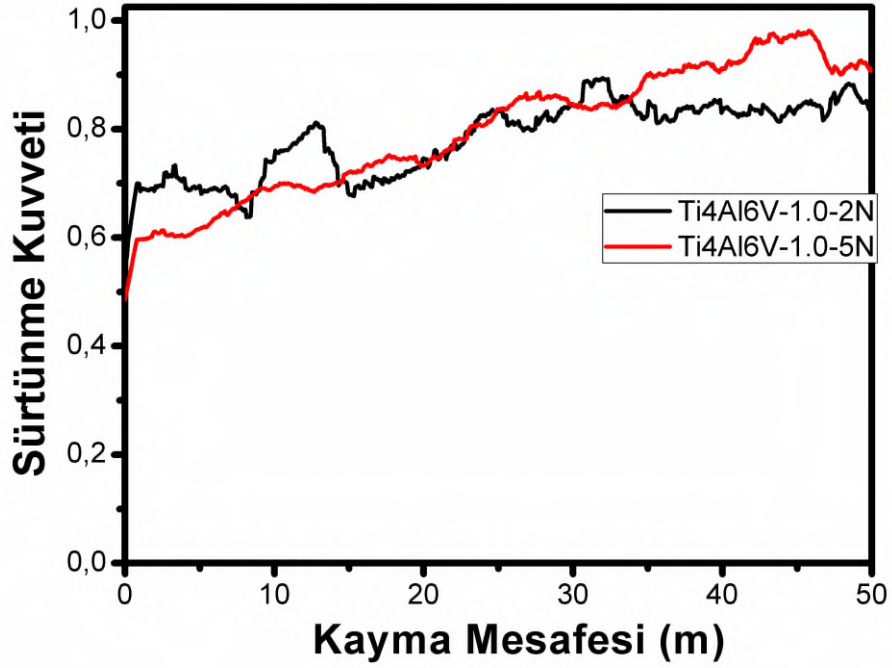
Şekil 5.1: Referans Malzeme Sürtünme Kuvveti Gösterimi

0,5 bar basınçta dövülen malzemenin sürtünme kuvveti grafiği Şekil 5.2' teki gibidir.



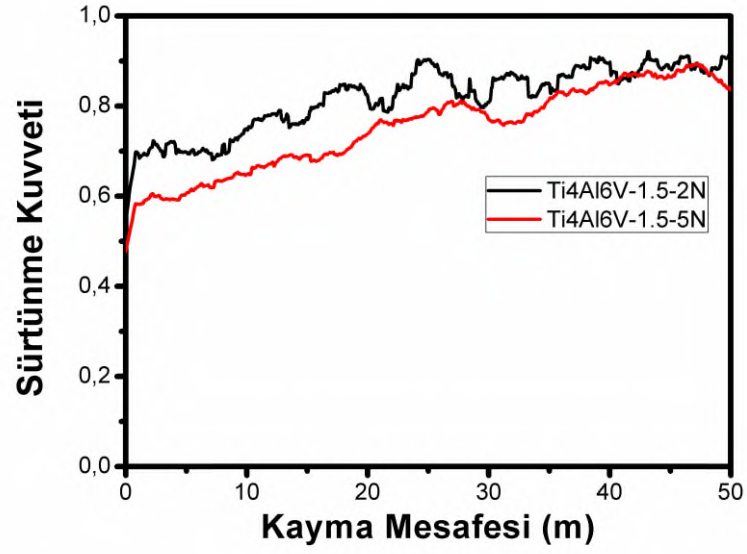
Şekil 5.2: 0,5 Bar Basıncındaki Malzeme Sürtünme Kuvveti Gösterimi

1 bar basınçta dövülen malzemenin sürtünme kuvveti grafiği Şekil 5.3'teki gibidir.



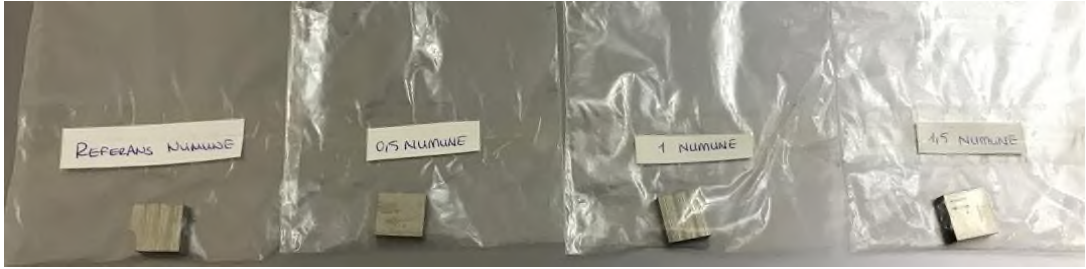
Şekil 5.3: 1 Bar Basıncındaki Malzeme Sürtünme Kuvveti Gösterimi

1,5 bar basınçta dövülen malzemenin sürtünme kuvveti grafiği Şekil 5.4'teki gibidir.



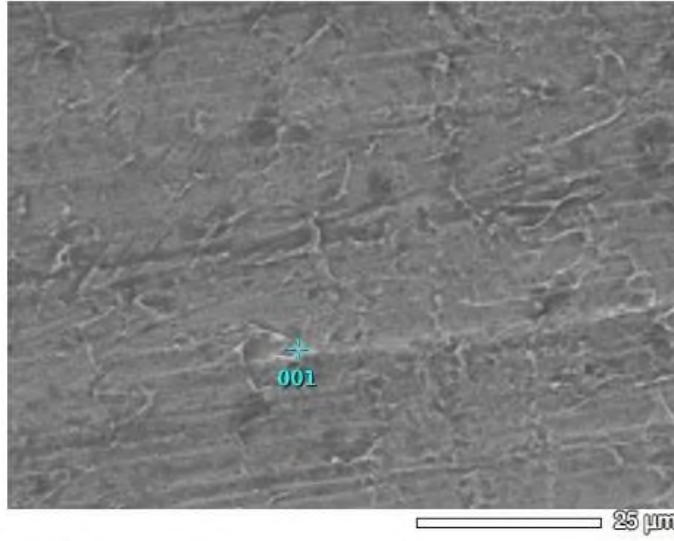
Şekil 5.4: 1,5 Bar Basıncıdaki Malzeme Sürtünme Kuvveti Gösterimi

#### 5.4 Elektron Mikroskop Görüntüsü Alınması ve Analiz Operasyonu

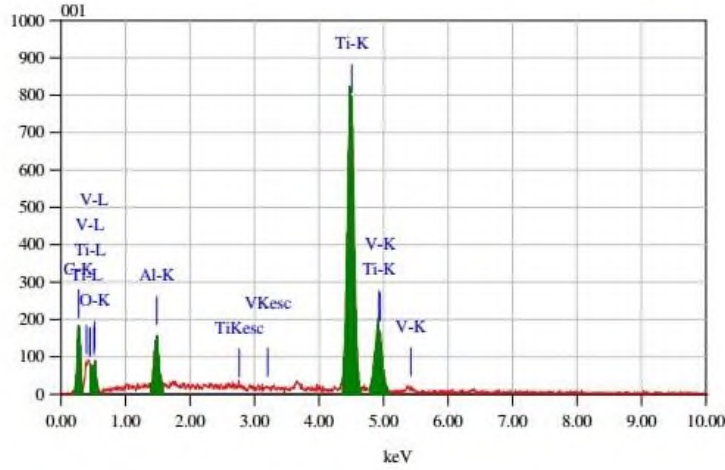


Şekil 5.5: Ti6Al4V Kullanılan malzemeler kısmı

Referans Ti6Al4V ve bilyalı dövme yapılan 3 iş parçası sırası ile Şekil 5.5'teki gibi hazırlandıktan sonra SEM cihazı ile görüntüleri alınmıştır. Cihazının kullanım isterileri doğrultusunda ebatlarının düşürülmesi ve cihaz içerisinde yerleşimi talepleri doğrultusunda istenilen küçüklükte numuneler SEM cihazı için hazır hale getirildikten sonra görüntüler alınmıştır.



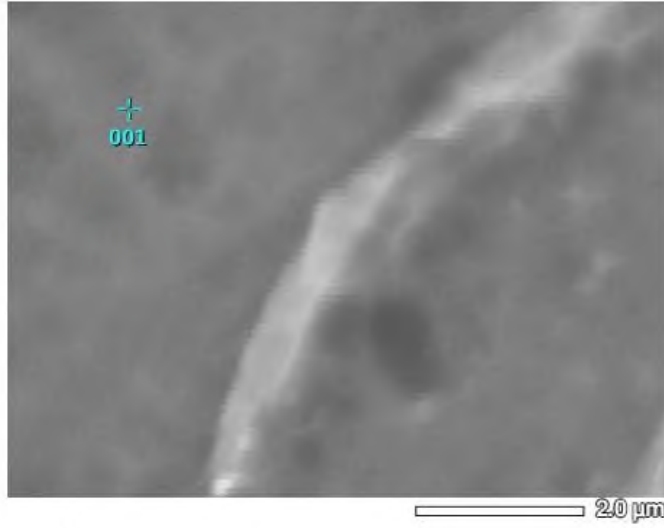
	: IMG1
CİHAZ	: JCM-6000PLUS
VOLTAJ	: 15.00 kV
	: x 1,300
TARİH	: 2019/09/06
ÖZÜNÜRLÜK	: 512 x 384



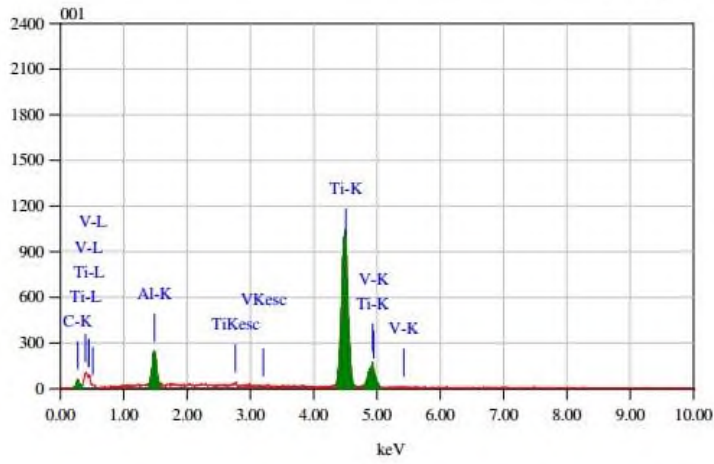
ÖLÇÜM PARAMETRELERİ	
CİHAZ	: JCM-6000PLUS
VOLTAJ	: 15.0 kV
MEVCUT UÇ	: 7.47500 nA
MOD	: T3
TOPLAM ZAMAN	: 50.55 sn
ÖLÇÜM ZAMANI	: 50.00 sn
KAYIP ZAMAN	: 1 %
SAYIM ORANI	: 565 cps
ENERJİ ARALIĞI	: 0 - 20 keV

**Şekil 5.6:** Referans Numune SEM Görüntüsü (Sonuçlara gidecek)

Referans numunenin SEM görüntüsü ve analiz sonuçları alınarak Şekildeki 5.6'daki gibi eklenmiştir.



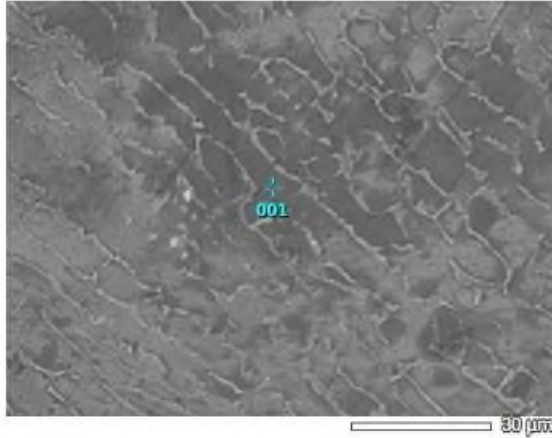
	: IMG1
CİHAZ	: JCM-6000PLUS
VOLTAJ	: 15.00 kV
	: x 15,000
TARİH	: 2019/09/06
ÇÖZÜNÜRLÜK	: 512 x 384



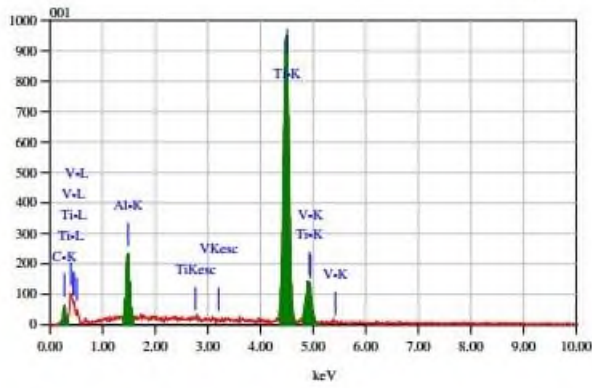
ÖLÇÜM PARAMETRELERİ	
CİHAZ	: JCM-6000PLUS
VOLTAJ	: 15.0 kV
MEVCUT UÇ	: 7.47500 nA
MOD	: T3
TOPLAM ZAMAN	: 50.48 sec
ÖLÇÜM ZAMANI	: 50.00 sec
KAYIP ZAMAN	: 0 %
SAYIM ORANI	: 584 cps
ENERJİ ARALIĞI	: 0 - 20 keV

**Şekil 5.7:** 0,5 Basınç İle Dövülen Malzemenin Sem Görüntüsü

0,5 basınç ile dövülen malzemenin SEM görüntüsü ve analiz sonuçları Şekil5.7'deki gibidir.



: IMG1	
CİHAZ	: JCM-6000PLUS
VOLTAJ	: 15.00 kV
	: x 1,000
TARİH	: 2019/09/06
ÇÖZÜNÜRLÜK	: 512 x 384



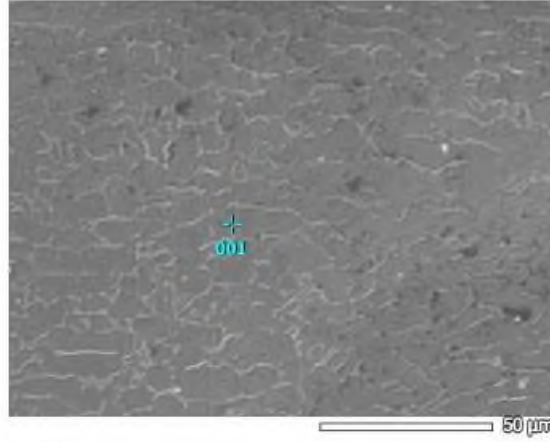
Acquisition Parameter	
CİHAZ	: JCM-6000PLUS
VOLTAJ	: 15.0 kV
MEVCUT UC	: 7.47500 nA
MOD	: TS
TÖRÜLME ZAMANI	: 50.25 sec
ÖLÇÜM ZAMANI	: 50.00 sec
KAYIP ZAMAN	: 0 %
SAYIM ORANI	: 565 cps
ENERJİ ARALIĞI	: 0 - 20 keV

**Şekil 5.8:** 1 Basınç İle Dövülen Malzemenin Sem Görüntüsü

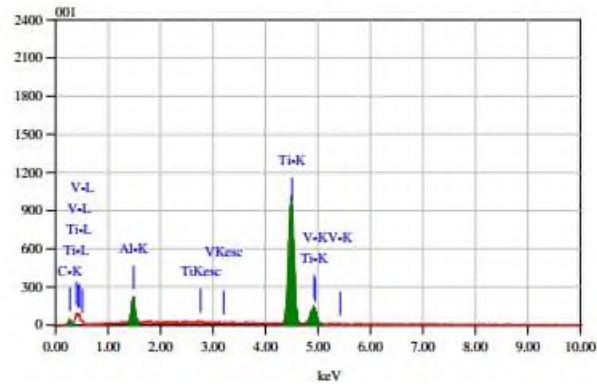
1 bar basınçta dövülen malzemenin SEM görüntüsü ve analiz sonuçları Şekil 5.8'deki gibidir.



JEOL I/1



CIHAZ	: JCM-6000PLUS
VOLTAJ	: 15.00 kV
YAKLAŞIK	: x 750
TARİH	: 2019/09/06
ÇÖZÜNÜRLÜK	: 512 x 384



Acquisition Parameter	
CIHAZ	: JCM-6000PLUS
VOLTAJ	: 15.0 kV
MEVCUT ÜÇ	: 7.47500 nA
MOD	: T3
TOPLAM ZAMAN	: 50.55 sec
ÖLÇÜM ZAMANI	: 50.00 sec
KAYIT ZAMANI	: 1 s
SAYIM DİREK	: 553 cps
ENERJİ ARALIĞI	: 0 - 20 keV

Şekil 5.9: 1,5 Basınç İle Dövülen Malzemenin Sem Görüntüsü

1,5 bar basınçta dövülen malzemenin SEM görüntüsü ve analiz sonuçları Şekilde 5.9'daki gibidir.

## 6. GENEL SONUÇ VE TARTIŞMA

Havacılık sektöründe ve savunma sanayisinde alüminyum alaşımları ve çelik malzeme alaşımlarında ileri yüzey işlemlerinden birisi kabul edilen bilyalı dövme operasyonunun titanyum alaşımlarından Ti6Al4V'a uygulanması incelenmiştir. Bilyalı dövme operasyonu dışında aşındırma testi uygulanmış olup deneylerin sonuçları gözlemlenmiştir. Bilyalı dövme işlemi sonucu Ti6Al4V alaşımında sertlikte az da olsa bir artış gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin de alüminyum alaşımı ve çelik malzemede olduğu gibi olmaması Ti alaşımının diğerlerinden daha sert yapıda olmasından kaynaklanmaktadır.

Bilyalı dövme işlemi sonrasında aşındırma testine tabi tutulan numunelerde bilyalı dövmede uygulanan akım oranı ve uygulanan yük arttıkça aşınma izlerinin arttığı mikro yapılardan da anlaşılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Ahmet Yalçınkaya Bilyalı Dövme Uygulanan Tank Palet Pimlerinin Yorulma Analizi, T.C Milli Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara 2019.
- Akdaş, Y.F. (2006). Termal Oksidasyon Yöntemi ile Cp-Ti ve Ti6Al4V Alaşımının Yüzey Modifikasyonu. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Balaban, N. (2007). Titanyum ve Alaşımlarının Biyouyumluluklarının İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Banu Eriş Effects Of Gas Shielding Flow Rate On Weld Quality Of Tıg Welding In Tı6al4v Alloy 2012
- Bill Barker “Shotmeter: A New Tool for Evaluating Shot Peening Intensity”, Progressive Technologies. 2001
- Burak Karaduman Titanyum Matrisli Titanyum Karbür Takviyeli Kompozit Üretimi Ve Karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010 İstanbul
- Dilek Duman Titanyum Talaşından Titanyum Karbür Üretimi Ve Sert Metal Üretiminde Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, , 2010 İstanbul
- Coşkun M.K. „Biomalzeme Amaçlı Ti-6Al-4V Alaşım Tozlarının SPS İle Sinterlenmesi ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik üniversitesi, İstanbul 2011
- Burhan Oğuz, Aşınma Sorunları Ve Dolgu Kaynakları, Oerlikon Yayını, 1993 sayfa 1-3
- Cihan Kuzu, Birincil Seviyeli Rocwell Sertlik Standardı Makinesi Tasarımı, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi 2006
- Dursun Temiz , İmplant imalatında kullanılan aısı 316l alaşımının mekanik-tribolojik özellikleri ve talaşlı işlenebilirliğinin araştırılması, T.C Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta 2011
- EMC 2016: The Sixth International Conference On Structural Engineering, Mechanics And Computation, 5 – 7 September 2016 | Cape Town, South Africa.
- Conference to be attended in 2016 with title of article: Modelling-Simulation of Shot Peening and Compressive Residual Stress Assessment.
- Egemen Avcu, Bilyalı Dövme Parametrelerinin AA7075 T6 Alüminyum Alaşımının Yüzey Altı Özelliklerine Etkileri, Gazi Üniversitesi, 2018
- Emre Yurtkuran, T/M İle Üretilmiş Alüminyum Esaslı Malzemelerin Alaşım Elementleri Ve Takviye Elemanı İçermelerine Bağlı Tel Erezyonda İşlenebilirliklerinin Araştırılması, Karabük Üniversitesi, , Karabük 2011

- Fatih Ordu, Metalik yüzeylerde kimyasal işleme yöntemi ile hidrofobik yüzey oluşturulması, T.C Trakya Üniversitesi, Edirne 2012
- Okan Ünal, Aşırı plastik deformasyonun metalik malzemelerde difüzyon karakteristiklerine etkisi / The effect of severe plastic deformation on diffusion characteristics of metallic materials, Süleyman Demirel Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2015
- Şenol Bayraktar, Farklı kesme yöntemleri ile üretilen silisli sac paketlerinin elektrik makinalarının performansı üzerine etkisi, Gazi Üniversitesi, Aralık 2015
- SAE Manual on Shot Peening 2001 Edition”, Surface Enhancement Division of the SAE Fatigue Design and Evaluation Committee, SAE HS-84, (2001).
- J. Marteau, M. Bigerelle, Laboratoire Roberval Relation between surface hardening and roughness induced by ultrasonic shot peening, , UMR 7334, Université de Technologie de Compiègne, Centre de Recherches de Royallieu, CS 60319, 60203 Compiègne Cedex, France LAMIH, UMR 8201, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, Le Mont Houy, F59313 Valenciennes Cedex 9, France 2013 Turnbull, L. Crocker, S. Zhou. National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex TW11 0LW, UK 2018
- Ming Chen, Huabing Liu, Liaobo Wang, Zhou Xu, Vincent Ji, Chuanhai Jiang Residual stress and microstructure evolutions of SAF 2507 duplex stainless steel after shot peening, School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, PR China 2018
- Ming Chen, Chuanhai Jiang, Zhou Xu, Vincent Ji Surface layer characteristics of SAF2507 duplex stainless steel treated by stress shot peening, , School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, PR China 2019
- Qiang Feng, Chuanhai Jiang, Zhou Xu, Lechun Xie, Vincent Ji Effect of shot peening on the residual stress and microstructure of duplex stainless steel, School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, No. 800 Dongchuan Road, Shanghai 200240, PR China LEMHE/ICMMO, UMR 8182, Université Paris-Sud 11, 91405 Orsay, France 2013
- Ming Chen, Huabing Liu, Lianbo Wang, Chengxi Wang, Kaiyuan Zhu, Zhou Xu, Chuanhai Jiang, Vincent Ji Evaluation of the residual stress and microstructure character in SAF 2507 duplex stainless steel after multiple shot peening process, School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, PR China, LEMHE/ICMMO, UMR 8182, Université Paris-Sud 11, 91405 Orsay, France 2017
- Ming Chen, Chuanhai Jiang, Zhou Xu, Ke Zhan, Vincent Ji, Experimental study on macro- and microstress state, microstructural evolution of austenitic and ferritic steel processed by shot peening, School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, PR

China, School of Materials Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, 516 Jungong Road, Shanghai 200093, PR China, LEMHE/ICMMO, UMR 8182, Université Paris-Sud 11, 91405 Orsay, France 2018

- Leyens, C., Peters, M. (2003). Titanium and Titanium Alloys. Weinheim: John Wiley.
- H. Kovacı, Y.B. Bozkurt, A.F. Yetim, M.Aslan, A.Çelik, The effect of surface plastic deformation produced by shot peening on corrosion behavior of a low-alloy steel, Ataturk University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Erzurum, Turkey, Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Erzincan, Turkey, Erzurum Technical University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, Erzurum 2019
- J. A. W. Karl-Heinz Z. G. (1987). Microstructure and Wear of Materials. Tribology Series.
- Johnson, J., Whetstone, A., Johnson, J. (2001). Shot Peening. Shot Peening Poster
- Murat Özenç, Perçin ve yapıştırma hibrit bağlantılarının deneysel ve sayısal analizi, T.C Pamukkale Üniversitesi, Denizli Haziran 2014
- Akdaş, Y.F. (2006). Termal Oksidasyon Yöntemi ile Cp-Ti ve Ti6Al4V Alaşımının Yüzey Modifikasyonu. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- İçdem, C. (2007). Saf Titanyum ve Ti6Al, Ti6Al7Nb Alaşımalarının Akışkan Yatak Ortamında Termal Oksidasyonu. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sledz, M., Bşk, L., Stachowicz, F., Zielecki, W. (2013). Analysis of the Effect of Shot Peening on Mechanical Properties of Steel Sheets Used as Screener Sieve Materials Journal of Physics: Conference Series – 451.
- Stachowiak, A. W., Batchelor, G. W. (2001). Engineering Tribology. Engineering Tribology. Akkurt, M. (1990). Makine Elemanları. Cilt-1.
- Rogelio L., Hecker a, Steven Y. Liang b Predictive Modeling of Surface Roughness in Grinding , Volum 43, Issue 8, June 2003, Pages 755-761
- Pratik P. Shukla, Philip T. Swanson and Colin J. Page ( Mart 2013 )
- Laser shock peening and mechanical shot peening processes applicable for the surface treatment of technical grade ceramics: A review
- Varol, T. (2016). Laboratuvar Föyü Aşınma Deneyi. [http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/metalurji\\_5d3fc.pdf](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/metalurji_5d3fc.pdf)
- V. Azar, B. Hashemi, Mahboobeh Rezaee Yazdi, The effect of shot peening on fatigue and corrosion behavior of 316L stainless steel in Ringer's solution, , Department of Material Science and Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran 2010

- Yılmaz, S. S., Ünlü, S., Varol, R. (2007). Borlama ve Bilyalı Dövmenin Demir Esaslı T/M Malzemelerde Mekanik Özelliklere Etkisi. C.B. Ü. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi,2(8).
- Yinsheng He, Keun-Bong Yoo, Houyu Ma, Keesam Shin, Study of the austenitic stainless steel with gradient structured surface fabricated via shot peening, , School of Nano & Advanced Materials Engineering, Changwon National University, Changwon 51140, South Korea 2017
- Wang, S., Li, Y., Yao, M., Wang, R. (1998). Compressive Residual Stress Introduced by Shot Peening. Journal of Materials Processing Technology,73, 64-73.
- Williams, J. C., Lütjering, G., 2007. Titanium, Engineering Materials and Process
- Zuoyan Ye, Daoxin Liu, Xiaohua Zhang, Zhiyong Wu, Fei Long, Influence of combined shot peening and PEO treatment on corrosion fatigue behavior of 7A85 aluminum alloy, , Institute of Machinery Manufacturing Technology, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China, Institute of Corrosion and Protection, School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China 2018

### **İnternet Kaynakları**

- <https://www.flickr.com/photos/golfcharlie232/34296374274>
- <https://aybu.edu.tr/muhendislik/makina/contents/files/SAYFA-211-228.pdf>
- <https://www.kuark.org/2017/10/yuzey-puruzluluk-olcumu/>
- <http://www.sspst.com/icerik/goTo/5/shot-peening-bilyali-dovme-nedir.html>
- <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ot/yuzey.puruzlulugu.pdf>
- <https://aybu.edu.tr/muhendislik/makina/contents/files/SAYFA-211-228.pdf>
- <https://slideplayer.biz.tr/slide/2795947/>
- <https://www.flickr.com/photos/golfcharlie232/34296374274>
- [https://www.researchgate.net/figure/a-A-schematic-diagram-of-the-mechanical-shot-peening-of-a-circular-disc-and-b-a\\_fig1\\_258343222](https://www.researchgate.net/figure/a-A-schematic-diagram-of-the-mechanical-shot-peening-of-a-circular-disc-and-b-a_fig1_258343222)
- [http://malzememuh.cbu.edu.tr/db\\_images/site\\_117/file/sertlik.pdf](http://malzememuh.cbu.edu.tr/db_images/site_117/file/sertlik.pdf)
- <https://malzemebilimi.net/altin-oran-hegzagonal-siki-paket-yapi.html>
- <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/titanyum>
- <http://nritech.edu.in/eLearning/MECH-3-1/III-1-MECH-MSE-UNIT4.pdf>



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Oğuzhan SEZER

**Doğum Tarihi ve Yeri:** Kartal / 25.08.1991

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

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans** : 2015, Doğuş Üniversitesi , Makine Mühendisliğı

**Yüksek lisans** : 2017 Gedik Üniversitesi, Savunma Teknolojileri (Devam ediyor)

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

**Kale Havacılık A.Ş. 08/2016** – ( Halen Çalışıyor )