

**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

NİSAN 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





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. (30/04/2020)

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.

Nisan 2020

Oğuzhan SEZER





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ii
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
1.2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
1.2.1 Titanyum alaşımları ve Ti6Al4V atomik yapısı.....	3
1.2.2 Bilyalı dövme ve işleminin amacı.....	10
1.2.2.1 Bilyalı dövme parametrelerinin belirlenmesi.....	18
1.2.3 Yüzey pürüzlülük testi.....	20
1.2.4 Yüzey sertlik testi.....	21
1.2.4.1 Rockwell sertlik testi.....	21
1.2.5 Tel erozyon.....	23
1.2.6 Plastik yüzey dislokasyonları.....	23
1.2.7 Kimyasal dağlama işlemi.....	25
1.2.8 Aşınma testi.....	26
1.2.8.1 Aşınma türleri.....	28
1.2.8.1.1 Adhezyon aşınması.....	29
1.2.8.1.2 Abrasyon aşınması.....	29
1.2.8.1.3 Korozyon aşınması.....	30
1.2.8.1.4 Erozyon aşınması.....	30
1.2.8.1.5 Yorulma aşınması.....	30
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
2.1 Kullanılan Malzemeler.....	32
2.2 Kullanılan Cihazlar.....	33
2.2.1 Frezeleme makinesi.....	33
2.2.2 Tel erozyon işlemi makinesi.....	33
2.2.3 Bilyalı dövme işlemi makinesi.....	34
2.2.4 Yüzey pürüzlülük ölçüm makinesi.....	34
2.2.5 Sertlik ölçüm makinesi.....	35
2.2.7 Aşınma cihazı.....	36
2.2.8 Optik mikroskop.....	36
2.2.9 Taramalı elektron mikroskop.....	37

2.3 Numunelerin Hazırlanması.....	38
2.3.1 Frezeleme işlemi	38
2.3.2 Tel erozyon işlemi	38
2.3.3 Bilyalı dövme işlemi	39
2.3.4 Yüzey pürüzlülük ölçümü.....	41
2.3.5 Sertlik ölçümü.....	41
2.3.6 Kimyasal dağlama işlemi.....	41
2.3.7 Aşınma testi	44
2.3.8 Optik mikroskop	44
2.3.9 Taramalı elektron mikroskop.....	47
3.DENEYLERİN SONUÇLARI VE TARTIŞMA	49
3.1 Yüzey Pürüzlülük Sonuçları.....	49
3.2 Sertlik Testi Sonuçları	50
3.3 Aşınma Testi Sonuçları	51
3.4 Elektron Mikroskop Görüntüsü Sonuçları	52
4. GENEL SONUÇ VE TARTIŞMA.....	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ.....	60

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1. 1: Titanyum Özellikleri.....	5
Çizelge 1. 2: Ti6Al4V Alaşımının özellikleri.....	6
Çizelge 1. 3: Bilya Çeşitleri	18
Çizelge 1. 4: Bilya Standartları	18
Çizelge 2. 1: Frezeleme Parametreleri	38
Çizelge 2. 2: Deney 1 Parametreleri	39
Çizelge 2. 3: Deney 2 Parametreleri	39
Çizelge 2. 4: Deney 3 Parametreleri	40



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1: Titanyum faz diyagramının bazı alaşım elementlerine göre değişimi.....	6
Şekil 1. 2: Titanyum ve alaşımlarının sınıflandırılması için sınıflandırmak üzere vanadyum (V) ve alüminyum (Al) elementlerinin kullanımı ile oluşan faz diyagramı	8
Şekil 1. 3: Ti6Al4V Alaşımı Atomik Yapısı.....	9
Şekil 1. 4: Bilyalı Dövme Bombardıman Görüntüsü.....	15
Şekil 1. 5: Bilyalı Dövme Bombardıman Görüntüsü.....	15
Şekil 1. 6: B737 İniş Takımı.....	16
Şekil 1. 7: Bilyalı Dövme Parametreleri.....	17
Şekil 1. 8: Bilya Çeşitleri.....	17
Şekil 1. 9: Dövme Açısı Gösterimi.....	18
Şekil 1. 10: Geometrik Gösterim.....	19
Şekil 1. 11: Boeing Firması Tasarım İsterileri.....	19
Şekil 1. 12: Yüzey Profili Gösterimi.....	20
Şekil 1. 13: Yüzey Profili Hesaplama Formülasyonu.....	21
Şekil 1. 14: Sertlik Testi Gösterimi.....	22
Şekil 1. 15: Sertlik Testi Gösterimi.....	22
Şekil 1. 16: Tel Erozyon Cihazı Çalışma Prensibi.....	23
Şekil 1. 17: Krater Yapı Gösterimi.....	24
Şekil 1. 18: Dağlama Gösterimi.....	26
Şekil 1. 19: Aşındırma Çeşitleri.....	28
Şekil 2. 1: Ti6Al4V Ham Malzeme.....	32
Şekil 2. 2: Bilyalı dövmede kullanılan paslanmaz çelik bilya.....	33
Şekil 2. 3: FJV-250 Tezgahı.....	33
Şekil 2. 4: Tel erozyon tezgahı.....	34
Şekil 2. 5: Kale Havacılık A.Ş Bilyalı Dövme Makinası.....	34
Şekil 2. 6: Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	35
Şekil 2. 7: Sertlik Ölçüm Cihazı.....	36
Şekil 2. 8: Aşınma cihazı.....	36
Şekil 2. 9: Optik mikroskop.....	37
Şekil 2. 10: Jeol marka SEM cihazı.....	38
Şekil 2. 11: Ti6Al4V numuneler.....	39
Şekil 2. 12: Bilyalı dövme makina içerisinden görünüm.....	40
Şekil 2. 13: Bilyalı dövme makinesine yerleşim.....	41
Şekil 2. 14: Kale Havacılık A.Ş. Özel Prosesler Parkuru.....	42
Şekil 2. 15: Akar Yıkama Havuzu.....	43
Şekil 2. 16: Daldırma Havuzu Aparatı.....	43
Şekil 2. 17: Kimyasal Dağlama Gösterimi.....	44
Şekil 2. 18 : Referans Numune, Dövülmemiş İş Parçasının Görüntüsü.....	45

Şekil 2. 19: 0,5 Bar Basınçta Dövme İşlemi Yapılan İş Parçasının Görüntüleri	46
Şekil 2. 20: 1 Bar Basınçta Dövme İşlemi Yapılan İş Parçasının Görüntüleri	46
Şekil 2. 21: 1,5 Bar Basınçta Dövme İşlemi Yapılan İş Parçasının Görüntüleri	47
Şekil 2. 22: Farklı basınçlardaki Bilyalı Dövme Sonrası SEM Görüntüleri	48
Şekil 3. 1: Ölçülen Pürüzlülük Değerleri	50
Şekil 3. 2: Ti6Al4V numunelerin sertlik değerleri.....	51
Şekil 3. 3: 2N kuvvet altındaki aşınma testi.....	52
Şekil 3. 4: 5N kuvvet altındaki aşınma testi.....	52
Şekil 3. 5 : Farklı basınçlarda bilyalı dövme işlemi uygulanan numunelere 2N yük altında yapılan aşınma testi sonucu SEM görüntüleri.....	53
Şekil 3. 6: Farklı basınçlarda bilyalı dövme işlemi uygulanan numunelere 5N yük altında yapılan aşınma testi sonucu SEM görüntüleri.....	53



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, Ti6Al4V, Aşınma, Yüzey Pürüzlülüğü*



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, Ti6Al4V, Abrasion, Surface Roughness*



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 işlemidir.

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

Mühendislik işlemlerinde yüzey işlemleri üretilen malzemenin ve mühendislik bilim dalında önemli bir yer kaplamaktadır. Bu yüzey işlemleri içerisinde bilyalı dövme işlemi de yer almaktadır. Bilyalı dövme işlemi 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 Ti6Al4V 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 işlemine maruz kaldığından malzeme yüzeyinde oluşabilecek kirlenmeler veya oluşabilecek tabakalar için kimyasal dağlama yapılmıştır.

Kimyasal dağlama işlemi Boeing firmasının talimatları 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.

1.1 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.

1.2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde literatür araştırması hakkında bilgi verilecektir.

1.2.1 Titanyum alaşımları 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 °C altında olan sıcaklık koşullarında α fazında kararlıdır. Yapısı sıkı paket hekzagonal (SPH) yapı olup, erime sıcaklığı 1668 °C'dir. Hacim merkezli kübik (HMK) yapıdaki β faz için 882 °C ile 1668 °C 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, sınırda 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, α 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 β titanyum malzemelere kıyasla SPH'deki α titanyum, plastik deformasyonda daha düşük bir performansa sahiptir (Akdaş, 2006).

Birim kafeste α titanyum atomları yoğun bir şekilde paketlenmiş için SPH kristal yapıda görülen difüzyon, HMK kristal yapısında bulunan β titanyum malzemelerle kıyasla daha zor gerçekleşmektedir. α ve β 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 α titanyum ve alaşımlarındaki sürünme dayanımı, β 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 Çizelge 1.1'deki özelliklerdir.

Çizelge 1. 1: Titanyum Özellikleri

Ti elementinin özellikleri	Değer
Ergime Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	1670
Yoğunluk (g/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

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

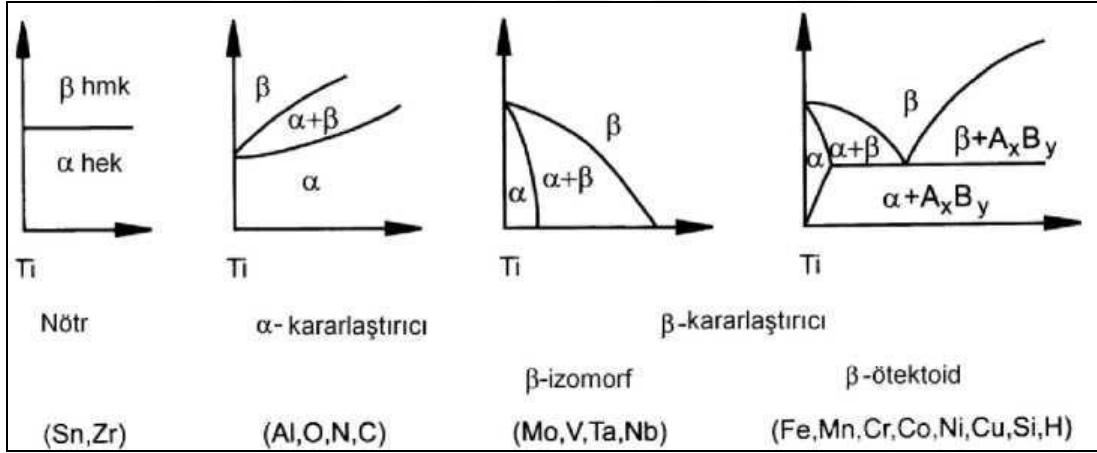
kalan dağılımda ise yüzdelere değışkenlik göstererek üretimi kapsamaktadır (Duman, 2010).

Ti6Al4V alaşımının özelliklerini Çizelge 1.2 de görölmektedir (Yurtkuran, 2011).

Çizelge 1. 2:Ti6Al4V Alaşımının özellikleri

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

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



Şekil 1. 1: 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 α ya da β kararlaştırıcı elementler şeklinde ikiye ayrılmaktadırlar (Balaban, 2007). Bu alaşım elementleri, β geçiş sıcaklığına etki etmekte; nötr, α ya da β kararlaştırıcı şeklinde sınıflandırılmaktadırlar (Akdaş, 2006).

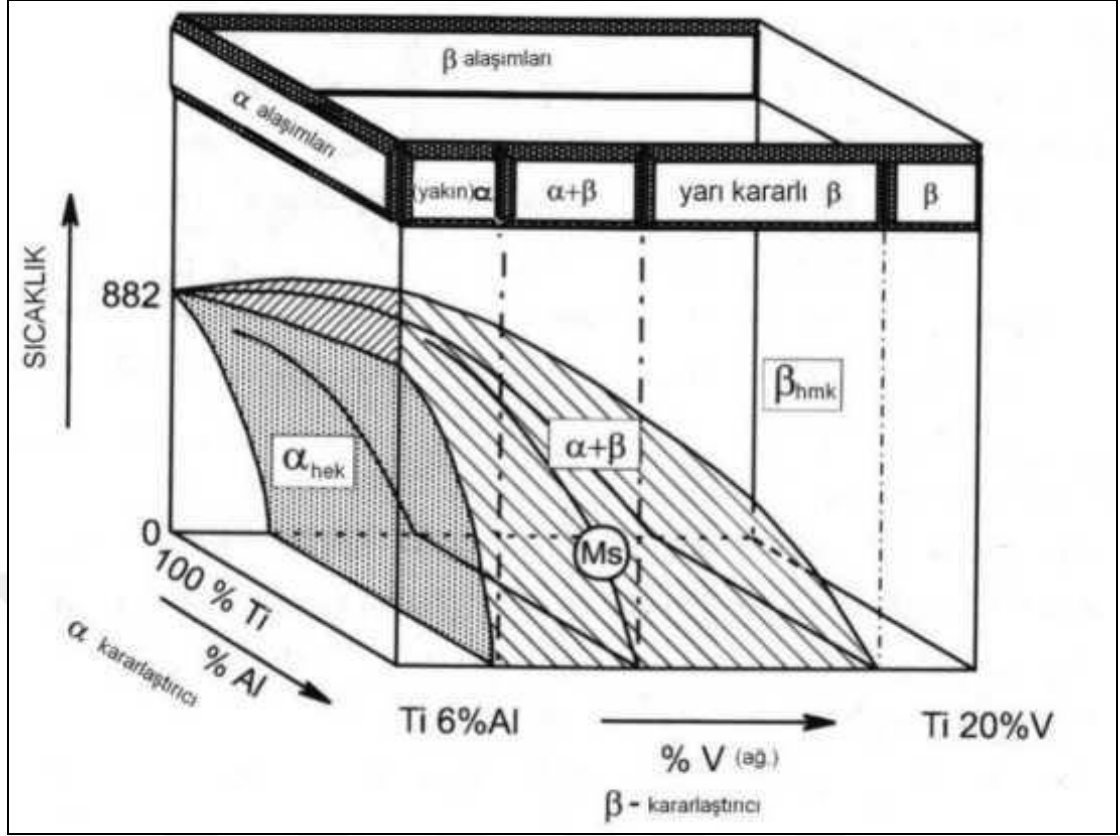
β fazı bölgesi sıcaklığı β titanyum kararlaştırıcı elementler tarafından düşürölürken, α fazı bölgesi sıcaklığı α titanyum kararlaştırıcı elementlerce artırılmaktadır. Bu

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

α fazı alüminyum, oksijen, karbon, azotun da katkısı ile en etkin biçimde kararlaştırılmaktadır. Tp sıcaklığını yükselten alüminyum, α ve β fazlarını da ayrı ayrı ayrıştırabilmektedir ve titanyum alaşımlandırmasında en fazla seçilen element niteliğindedir. Ti-Al faz diyagramında, α +Ti₃Al bölgesi çift fazlı bir bölgedir ve bölge, yaklaşık 500 °C'de ve %5 Al bileşiminde başlamakta, artan alüminyum miktarıyla da Ti₃Al fazı oluşmaktadır. Alüminyum ile alaşımlandırılan α fazında Ti₃Al 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).

β titanyum kararlaştırıcı elementleri, β ötektik ve β izomorf olmak üzere iki element sınıfından oluşmaktadır. Nb, Mo ve V, en çok tercih edilen; Re ve Ta ise nadiren kullanılan β izomorf kararlaştırıcı elementlerdir. Bu kararlaştırıcılar belli miktarda kullanıldığında β 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 β ötektik kararlaştırıcı elementlerdir. Nötr etkiye sahip elementlerse Sn ve Zr'dir (Balaban, 2007; Lütjering ve Williams, 2003).

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



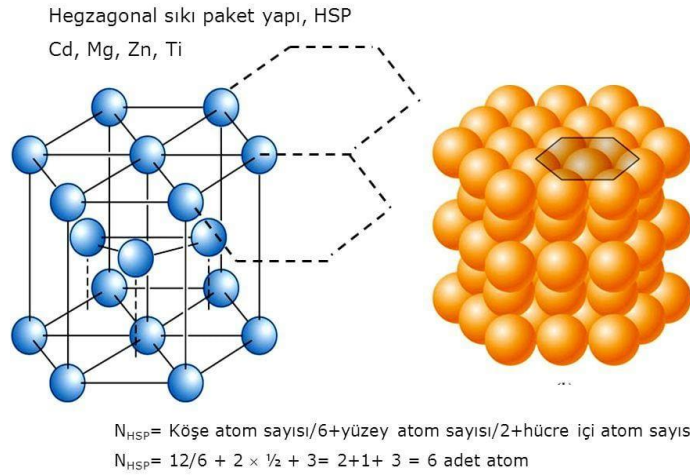
Şekil 1. 2: Titanyum ve alaşımlarının sınıflandırılması için sınıflandırmak üzere vanadyum (V) ve alüminyum (Al) elementlerinin kullanımı ile oluşan faz diyagramı Kaynak:(Leyens ve Peters, 2003; Akdaş, 2006).

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

Titanyum alaşımlarının farklı yapı ve özellikler göstermesinin nedeni, α , β 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 α titanyum alaşımlarının mukavemet değeri kabul edilebilir ölçülerdedir. Yarı kararlı β alaşımları ve iki fazlı $\alpha+\beta$ titanyum alaşımlarının sertleştirilmesi için yüksek seviyelerde kuvvet değeri gerekmektedir. Yarı kararlı yapıdaki β alaşımlarının sertlik değeri yüksek olduğu için, süneklik özellikleri düşüktür. β titanyum alaşımları üzerinde yaşlandırma sertleştirme işlemi yapılırsa α 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 Ti6Al4V, 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 1. 3: Ti6Al4V Alaşımı Atomik Yapısı

Kaynak:(Akyol, 2007; Brooks, 1982)

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_2 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>).

1.2.2 Bilyalı dövme ve işleminin amacı

Bilyalı dövme, metal malzemelerin yorulma ve gerilme kuvvetlerine karşı mukavemetlerini artırmak için mekanik bir metot olarak uygulanan yüzey işlemidir. 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 gerilemesi, 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 direkt 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 metodu 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 işleminden sonra malzemenin sertlik değerinin artması ile malzemenin gevrekliğinin de 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).

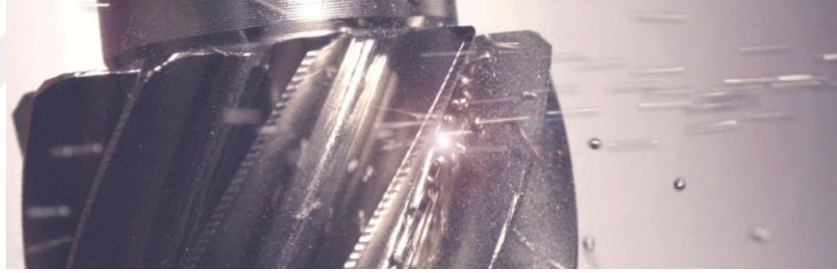
Dövme işlemi, üretilen parçanın üretim metoduna göre üzerinde kalan artık gerilmeleri eşit şekilde dağılımını düzenlemek içinde yapılmaktadır. Bilyalı dövme bu etkisi ile talaşlı imalat sonrasında uygulanması durumunda yüzey şekillerinde, delik çaplarında ve parça geometrisinde geometri değişikliğine 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 1.4 ve 1.5'ten bombardıman görüntüsü görülmektedir.



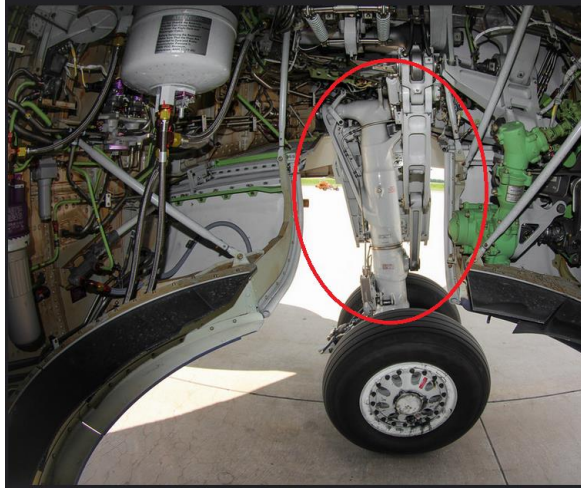
Şekil 1. 4: Bilyalı Dövme Bombardıman Görüntüsü

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



Şekil 1. 5: Bilyalı Dövme Bombardıman Görüntüsü

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



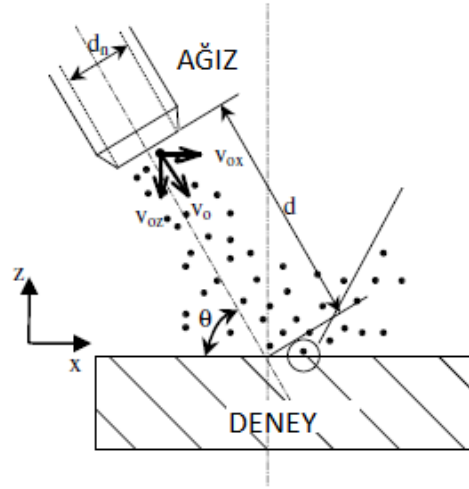
Şekil 1. 6: B737 İniş Takımı

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 (Şekil 1.6) kullanılmaktadır. 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 kullanılmaktadır.

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

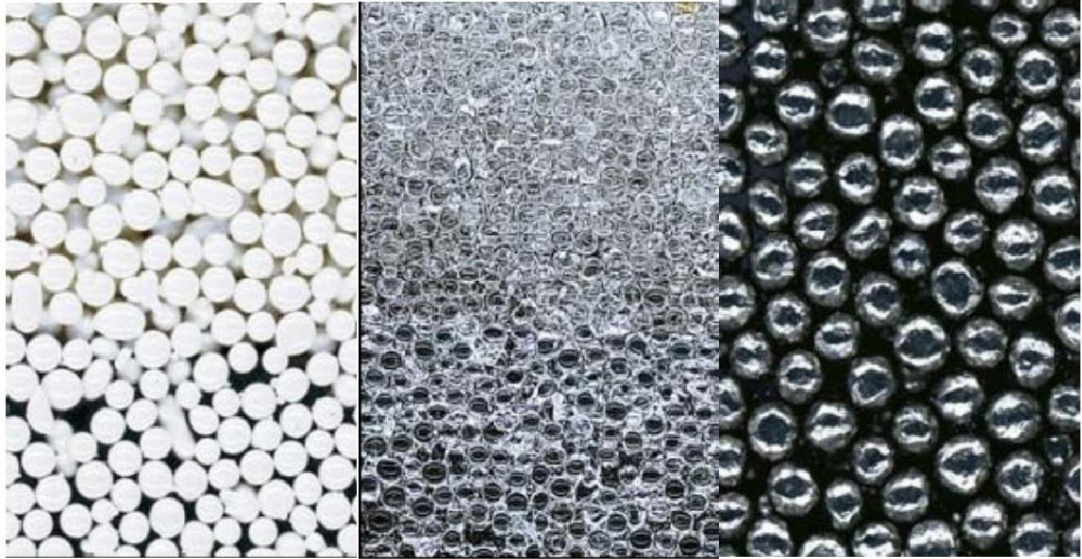
Bilyalı dövme işlemi sırasında sonuçların homojen ve sağlıklı olması için dövme işlemi parametrelerinin iyi tespit edilmesi ve tekrarlanabilir olması gerekmektedir. Bu parametreler nozzle ağız çapı(d_a), dövme açısı (Θ), dövme mesafesi(d) ve nozzle ağzından bilya tanelerinin çıkış hızı (V_o) ve basınç değeri (P) önem arz etmektedir. Şekil 1.7'de uygulama parametreleri görülmektedir.



Şekil 1. 7: 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 1.8’de bilyalı dövme işleminde kullanılan bilya çeşitleri gösterilmiştir.



a. Seramik bilya

b. Cam bilya

c. Paslanmaz çelik bilya

Şekil 1. 8: Bilya Çeşitleri

Kaynak: (Ünal, 2015).

Bilya çeşitleri Çizelge 1.3’te gösterilmiş olup kullanılan bilyaların uluslararası standartları ve sertlik dereceleri Çizelge 1.4’te gösterilmiştir (Ünal, 2015).

Çizelge 1. 3: 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)

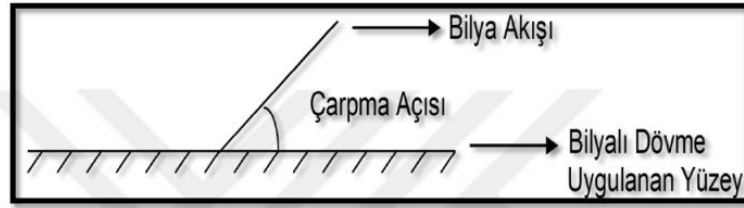
Çizelge 1. 4: Bilya Standartları

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)

1.2.2.1 Bilyalı dövme parametrelerinin belirlenmesi

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



Şekil 1. 9: Dövme Açısı Gösterimi

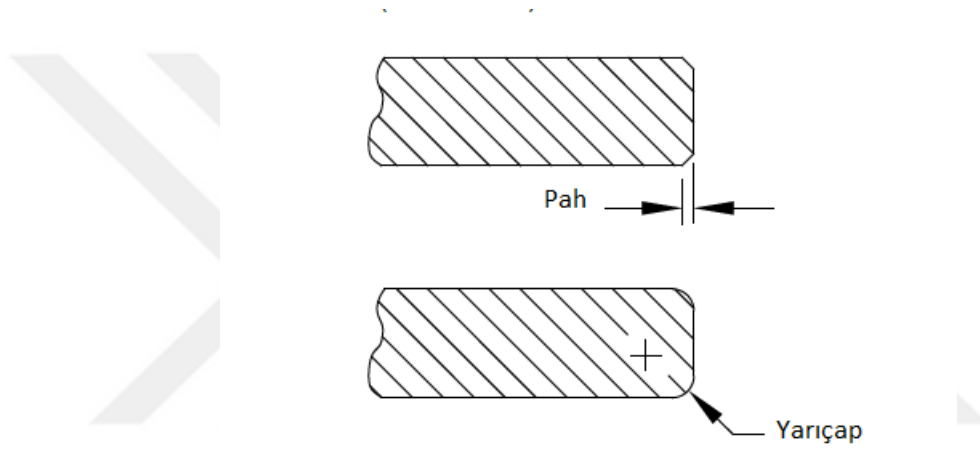
Kaynak: (Yalçınkaya, 2019).

Bilyalı dövme işlemindeki istekleri değişkenliği sonucunda nozuldan 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

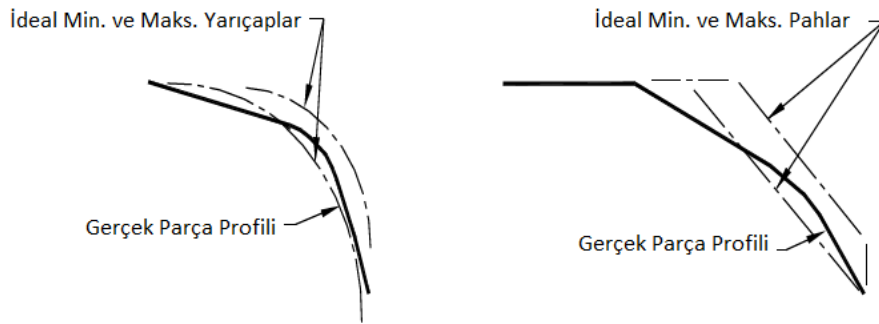
sonrasında ise zaman içerisinde bilyalı dövme yapılan malzemelerin geometrisi ve sertlik derecesine göre bilyaların zarar gördüğü ve aşındığı gözlemlenmiştir. Cihaz kullanımında ve yapılan iş değişikliğinde periyodik olarak bilyaların kontrol edilmesi gerekmektedir.

Havacılık alanında tasarım ve imalat yapan şirketler bu bilya zayıflığını aza indirilmesi 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 (Şekil 1.10 ve Şekil 1.11) bırakmamaya çalışmaktadır.



Şekil 1. 10: Geometrik Gösterim
Kaynak: (www.boeing.com)

BOEING PAH VE KÖŞE PROFİL İSTERİ



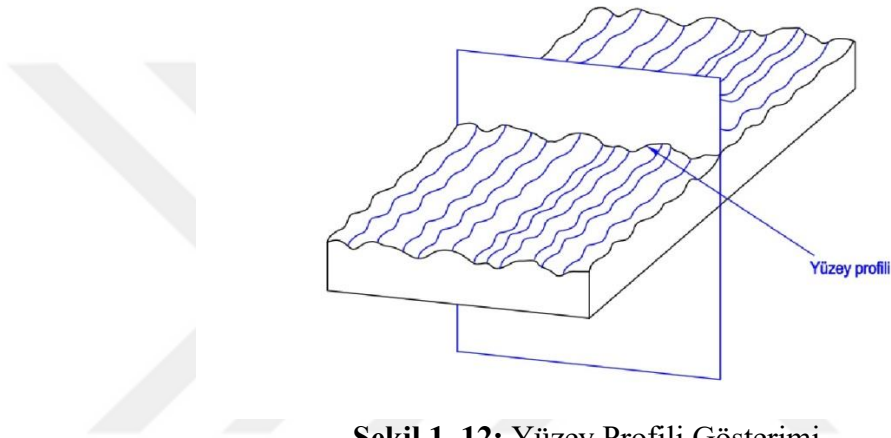
Parçanın bir kenarının ideal minimum ve maksimum yarıçapı veya pah arasında olması gereken isterler

Şekil 1. 11: 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).

1.2.3 Yüzey pürüzlülük testi

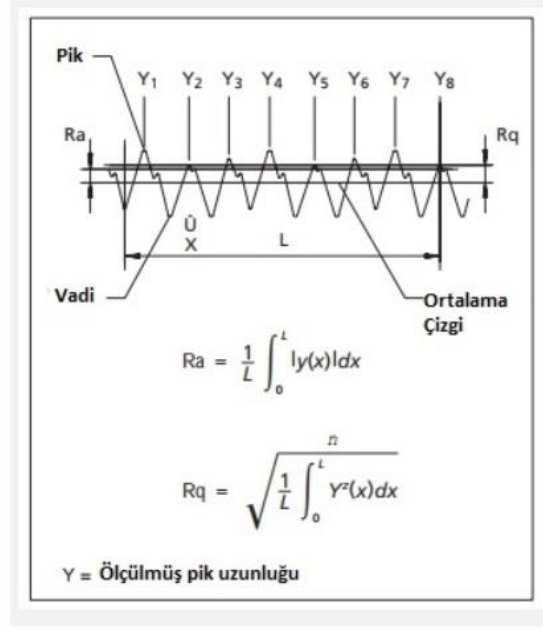
İmalat sanayisinde metal veya metal olmayan malzemelere imalat süreçleri sonucunda şekil verilirken uygulanan metodlar yüzey pürüzlülüğüne sebep olmaktadır. Bu pürüzlülük üretilen parçanın veya kullanılacak yüzeyin makine sistemlerinden diğer parçalara zarar vermesi ve aşınması sebebi ile korozyona uğratmaları 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 1.12).



Şekil 1. 12: 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 1.13'te gösterilen formül ile elde edilmektedir.



Şekil 1. 13: Yüzey Profili Hesaplama Formülasyonu

Kaynak: (<https://www.kuark.org/2017/10/yuzey-puruzluluk-olcumu/>)

1.2.4 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

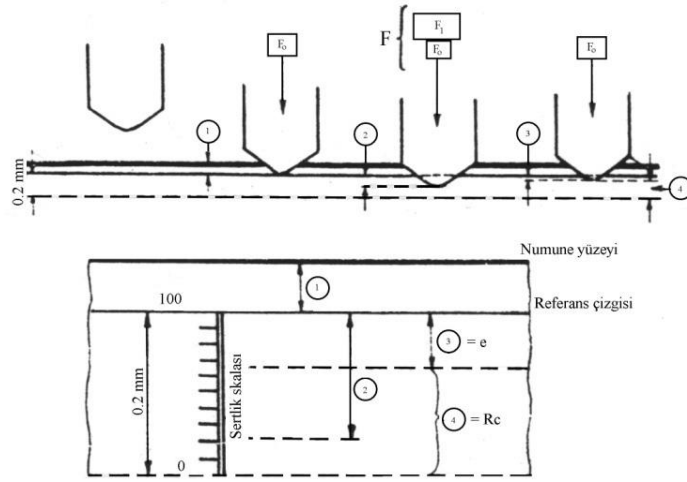
olmak üzere sınıflandırılmıştır.

1.2.4.1 Rockwell sertlik testi

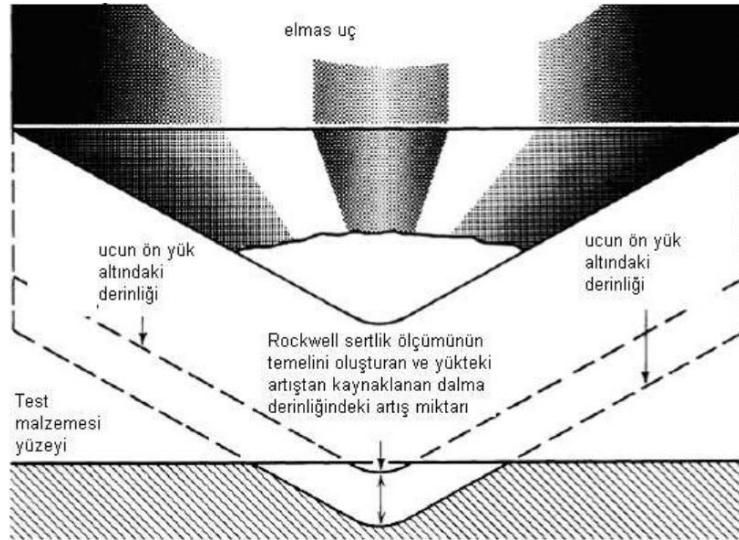
1919 yılında bilya yatakları üretilen bir fabrikada çalışan Rockwell P. Stanley tarafından üretim sonrasında üretilen bilyaların sertliğinin daha doğru ve hızlı ölçülebilmesi için çalışmalar yaptığı esnada bulunmuştur. Daha sonrasında ise Charles H.Wilson adlı bilim adamı Rocwell'in buluşunu üzerinde çalışarak

genişletmiş, dünyada üretim ve bilimsel çalışmalar için kullanılan mevcut sertlik leği haline getirilmesinde yardımcı olmuş ve son haline getirmiştir.

Rockwell sertlik deneyi, malzemede belirlenen bir noktaya bir u vasıtası ile sabit bir küçük bir yükle 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 1. 14: Sertlik Testi Gösterimi
Kaynak: (Kuzu, 2006)



şekil 1. 15: Sertlik Testi Gösterimi
Kaynak: (Kuzu, 2006)

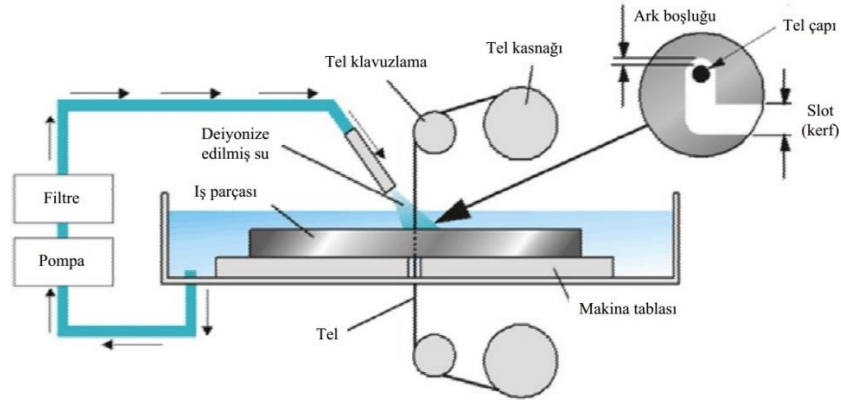
Şekil 1.14 ve 1.15 de gösterildiği ve ifade edildiği gibi Rockwell sertlik deneyinde tekrarlanan yük ve ölçüm sonucunda malzeme sertlik sonucu hesaplanmaktadır.

1.2.5 Tel erozyon

Tel erozyon 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 arkı oluşturarak talaş kaldırma yöntemini kullanmaktadır. (Bayraktar, 2015).

Yüksek yoğunlukta akım geçirilen tel yardımı ile malzemelerin kesilmesi işlemidir. Geleneksel talaşlı imalat yöntemleri içerisinde olmayan tel erozyon 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 (Şekil 1.16) üç eksenli CNC (Computer Numerical Control) ile x,y ve z eksenlerinde hareketler ile çalışmaktadır.

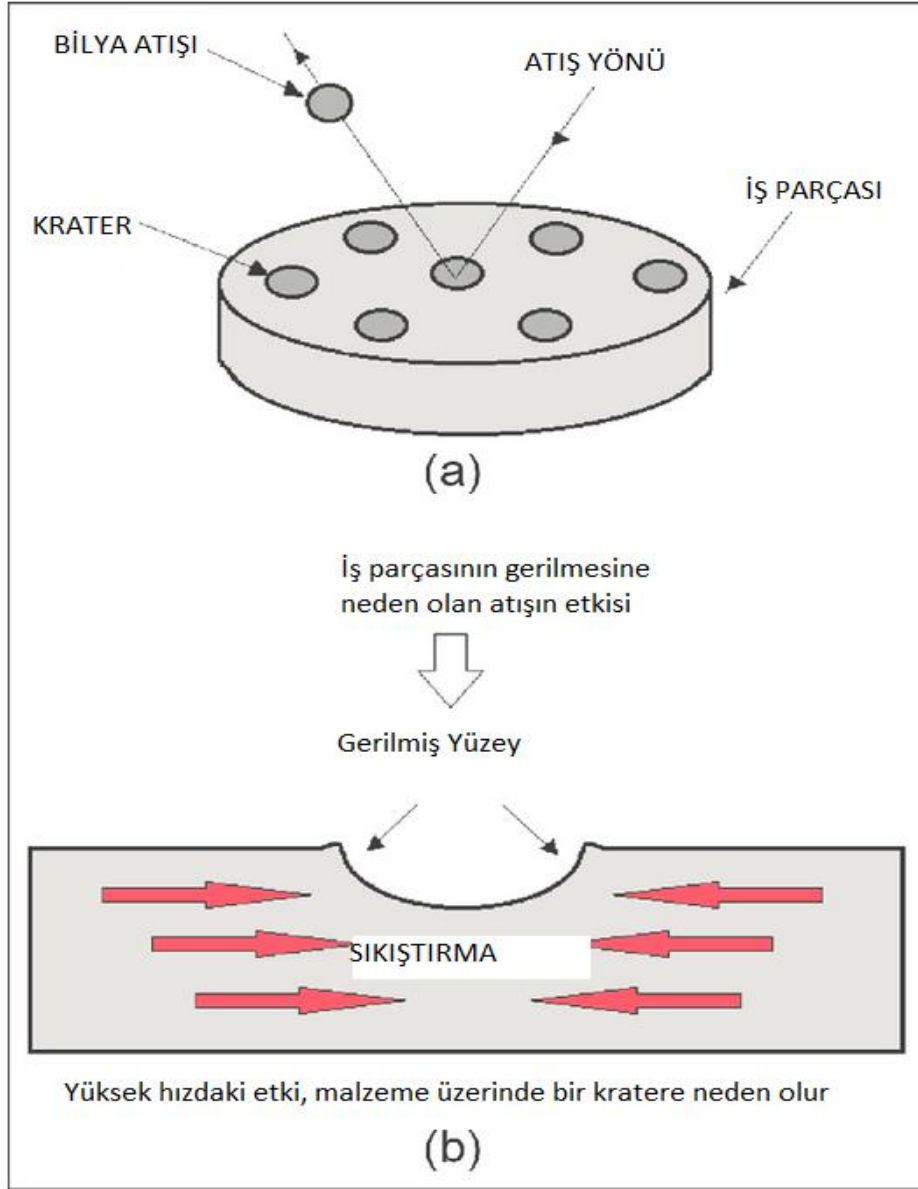


Şekil 1. 16: Tel Erozyon Cihazı Çalışma Prensibi
Kaynak: (Bayraktar, 2015)

1.2.6 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 gözükmektedir (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 gözükmektedir. Şekil 1.17 de görülmektedir.



Şekil 1. 17: Krater Yapı Gösterimi

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

Bilyalı dövme çeşitlerinden biri olan ultrasonik bilyalı dövme yönteminde aynı şekilde dövme etkisi aynı olmaktadır (J. Marteau ve M. Bigerelle, 2018).

1.2.7 Kimyasal dağlama işlemleri

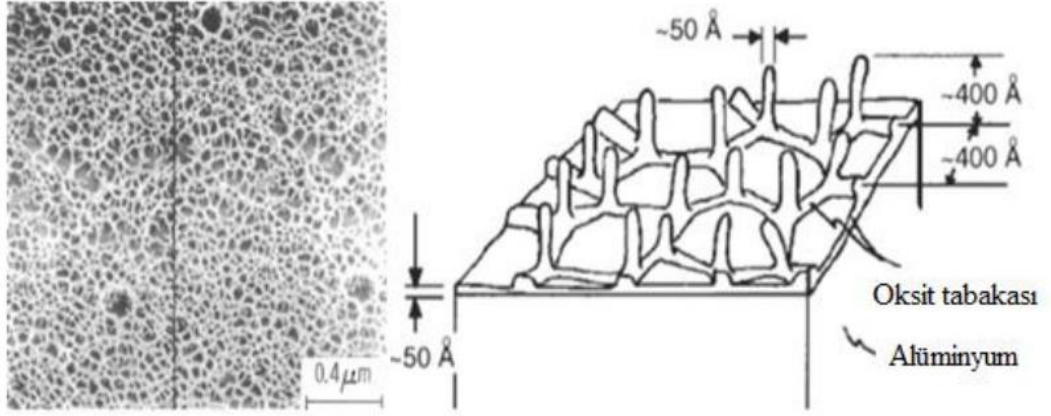
Geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden birisi kabul edilen kimyasal işleme yöntemi, alkali ve asidik çözelti ortamında işlenecek malzemenin kontrollü olarak korozyona maruz kalarak şekillendirmesi işlemidir.

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 işlemi sağlayacak olan malzemeye her yönden temas ettiğinden, reaksiyon iş parçasının tüm yüzeylerinden eşit şekilde materyal kaldırdığı görülmektedir (Özenç, 2014). Frezeleme işlemi ve bilya dövme işlemi sonrasında deneysel malzemelerin yüzeylerinde kalmış olan ve kalma ihtimali olan bor yağ ve benzeri kimsayaların temizlenmesi için kimyasal daldırma havuzunda kimyasal dağlama işlemi 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 oluştuğu görülmektedir. Bu oksitlenmenin sebebi kimyasal dağlama esnasında malzeme yüzeyinde bulunan kopuk bağlara oksitlenme ile oksitlenme olduğü gözlemlenir. Geri kalan yüzeyde de oksit tabakası oluşur. Bu sebeple kimyasal dağlama işlemi sonrasında dağlama malzemeleri yüzeyden temizlenmesi gerekmektedir.

Bu kimyasal dağlama işlemi havacılıkta kullanılan alüminyum ve titanyum gibi metalik malzemelere uygulanmaktadır. Alüminyuma örnek olarak Özenç Alüminyum 2024 – T3 malzemeye sülfirit asit – sodyum dikromat çözeltisine malzemesini dağlama için daldırmıştır. Reaksiyonun temsili gösterimi ise Şekil 1.18'de görülmektedir.



Şekil 1. 18: 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 görülmüştür (Ordu, 2012).

1.2.8 Aşınma testi

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).

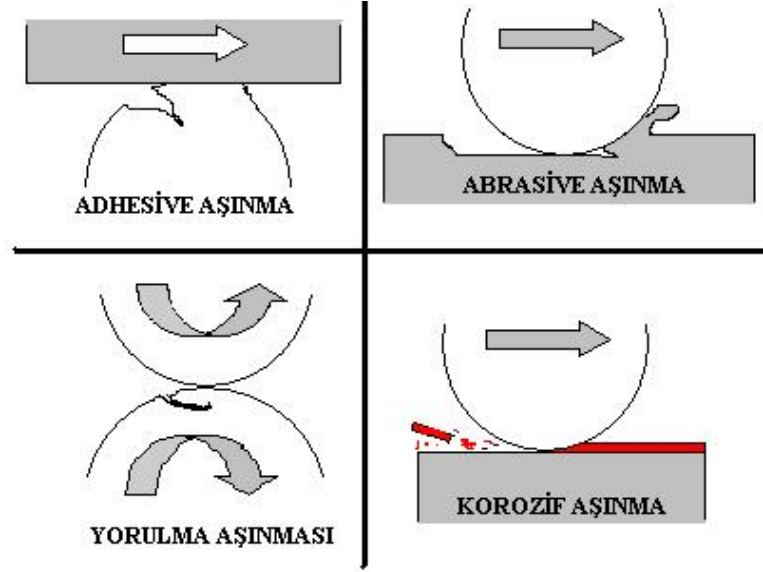
Mühendislik açısından bakıldığı zaman aşınma, makinelerin performansını ciddi yönden etkilemektedir ancak çoğu zaman tasarım sürecinde aşınma unsuru göz ardı edilmektedir. Daha tasarım aşamasındayken aşınmayı göz önünde tutarak yapılan ürünler, kullanım esnasında yaşanacak problemleri önleyebilmektedir (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. Adhezyon Aşınması
2. Abrasyon Aşınması
3. Korozyon Aşınması
4. Erozyon Aşınması
5. Yorulma Aşınması

İle 5 farklı metotta toplanabilir (Temiz, 2011). Aşınma çeşitleri Şekil 1.19'da görülmektedir.



Şekil 1. 19: Aşınma Çeşitleri

Kaynak: (Temiz, 2011)

Aşınma testi yapılırken, uygulanan kuvvetler kontrollü olarak deney gözlemi yapılabilmektedir. Aşınma testinde mecazi olarak kuru veya ıslak olarak deneyler yapılmaktadır. Aşınma testi sırasında aşındırıcı materyal ile, aşınma testine maruz kalan materyal için özel çözelti hazırlanmaktadır. Bu çözelti ile birlikte yapıldığında test için ıslak aşınma testi denmektedir. Aşınma testleri sırasında, sürtünme kuvvetleri ve sürtünme katsayıları veri toplayan cihazlar tarafından kaydedilebilmektedir(Ordu, 2012).

1.2.8.1 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, adhezyon ve yorulma aşınmasıdır (Adamiak, 2012).

1.2.8.1.1 Adhezyon aşınması

Adhezyon 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 adhezyon, 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). Adhezyon 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 adhezyon aşınmasına ortam hazırlamaktadır (Varol, 2016).

Adhezyon aşınması, farklı türlere sahip malzemelerin aşınmasında sıkça karşılaşılan bir durumdur. Konuyla ilgili yapılan çalışmalara göre adhezyon 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 malzemeden yüksek yüzey sertliğine sahip malzemeye ciddi miktarda malzeme taşınmaktadır (Akkurt, 1990).

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

1.2.8.1.2 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 yüzeye 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.

1.2.8.1.3 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.

1.2.8.1.4 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 edilmektedir (J. A. W. ve Karl-Heinz, 1987).

1.2.8.1.5 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, kaviteasyon olan pompalarda, yazıcılarda ve rulmanlarda görülebilmektedir. Yorulma aşınmasını önlemek için yüzey sertliğini artırma ve yorulma aşınmasına karşı dirençli malzemeler kullanma gibi işlemler yapılabilmektedir (Akkurt, 1990).



2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmada kullanılan Ti6Al4V Kale Havacılık Sanayi A.Ş. de seri imalatta işlenmiş olan malzemenin hurda malzeme kısmından temin edilmiştir. Daha sonra 4 eşit parçaya frezeleme işlemi ile bölünmüştür. Şekil 2.1 de görmek mümkündür.



Şekil 2. 1: Ti6Al4V Ham Malzeme

Bilyalı dövme işleminde paslanmaz çelik bilyalar kullanılmıştır. Her kuvvet ve her dövme şiddetine göre sınıflandırılarak farklı bilyalar (Şekil 2.2) kullanılmıştır.



Şekil 2. 2: Bilyalı dövmede kullanılan paslanmaz çelik bilya

2.2 Kullanılan Cihazlar

2.2.1 Frezeleme makinesi

MAZAK marka FJV-250 3 eksen CNC tezgahı (Şekil 2.3) kullanılmıştır. Bu tezgah kullanılmasının sebebi marka ve model olarak titanyum veya paslanmaz çelik gibi malzemelerin talaşlı imalatında kullanılabilmesidir.



Şekil 2. 3: FJV-250 Tezgahı

2.2.2 Tel erozyon işlemi makinesi

Makino marka U53TJ modeli tel erozyon makinası (Şekil 2.4) ile kullanılmıştır. 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 kullanılmıştır.



Şekil 2. 4: Tel erozyon tezgahı

2.2.3 Bilyalı dövme işlemi makinesi

Kale Havacılık Sanayi A.Ş. bünyesinde bulunan Sisson Lehman marka bilyalı dövme cihazı (Şekil 2.5) kullanılmıştır. Fabrika bünyesinde bulunması, kullanımına hâkim olunması ve Kale Havacılık Sanayi A.Ş. üretim isteklerine cevap verebilmesi kabiliyeti sebebi ile kullanılmıştır.

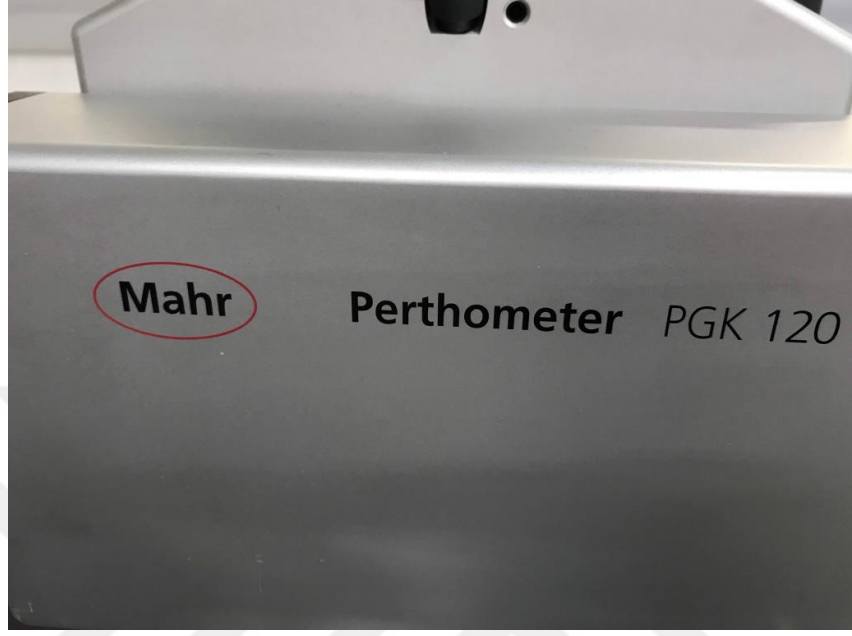


Şekil 2. 5: Kale Havacılık A.Ş Bilyalı Dövme Makinası

2.2.4 YüzeY pürüzlülük ölçüm makinesi

Kalite kontrol bölümünde, son kontrol bölümü altında bulunan son muayene bölümünde yüzeY pürüzlülük bölümünde mevcutta kullanılan Mahr marka

Perthometer PGK 120 modeli (Şekil 2.6) ile ölçümler yapılmıştır. Kale Havacılık Sanayi A.Ş. isteklerine cevap vermesi ve Ti6Al4V malzemelerinin ebatları gereği ölçüm yapılabilmesi ve kullanım kolaylığı kullanılmasına sebep olmuştur.



Şekil 2. 6: Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

2.2.5 Sertlik ölçüm makinesi

Kalite kontrol bünyesindeki son kontrol bölümünde bulunan Mitutoyo marka sertlik ölçüm cihazı (Şekil 2.7) ile Ti6Al4V malzemeleri sertliklerinin ölçümünde kullanılmıştır.



Şekil 2. 7: Sertlik Ölçüm Cihazı

2.2.7 Aşınma cihazı

UTS marka TRIBOMETER T10/20 modeli aşınma cihazı (Şekil 2.8) ball on plate düzeneğinde Ti6Al4V aşınma testinde kullanılmıştır. Cihaz, Milli Savunma Üniversitesi Deniz Harp Okulu Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunmaktadır.



Şekil 2. 8: Aşınma cihazı

2.2.8 Optik mikroskop

Parçaların makro görüntülerini ve yüzeylerini görebilmek için optik mikroskop (Nikon DS-FI2) (Şekil 2.9) kullanılmıştır.



Şekil 2. 9: Optik mikroskop

2.2.9 Taramalı elektron mikroskop

Jeol 600 model cihaz (Şekil 2.10) ile Doğu Üniversitesi Malzeme Mühendisliği laboratuvarında deney iş parçalarının analizi ve görüntü alımı yapılmıştır.



Şekil 2. 10: Jeol marka SEM cihazı

2.3 Numunelerin Hazırlanması

2.3.1 Frezeleme işlemi

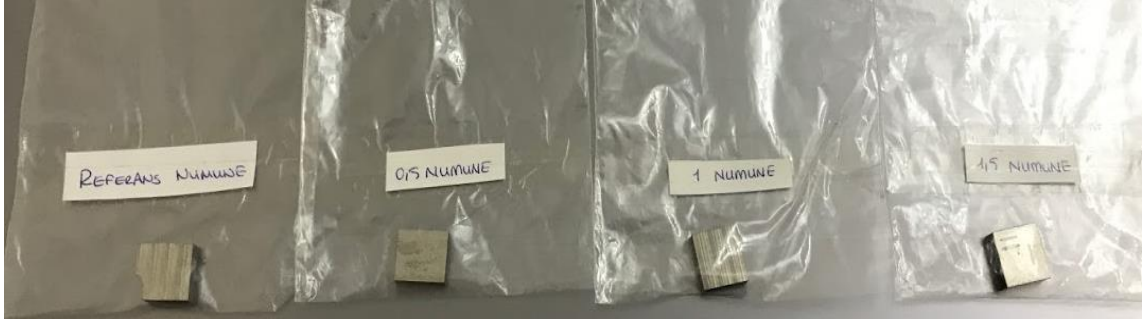
Deneysel çalışmada kullanılan Ti6Al4V öncelikle MAZAK marka FJV-250 CNC 3 eksen tezgahında kare blok malzemeden uzun tek bir plaka halinde kalınlığında kesilmiştir. Ti6Al4V Çizelge 2.1’te verilen frezeleme parametreleri ile hazırlanmıştır.

Çizelge 2. 1: Frezeleme Parametreleri

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

2.3.2 Tel erozyon işlemi

Plaka halinde kesilen numune, 4 eşit parçaya Makino marka U53TJ modeli tel erozyon makinası ile kesilmiştir. Şekil 2.11’deki gibi 4 eşit parçaya bölünen Ti6Al4V numunesinden frezeleme sonrası sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve bilyalı dövme işlemleri öncesi için referans numunesi ayrılmıştır.



Şekil 2. 11: Ti6Al4V numuneler

2.3.3 Bilyalı dövme işlemi

Deney esnasında kullanılan bilyalı dövme makinesi ve teknik olarak dövme işlemi parametreleri Çizelge 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2. 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 2. 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

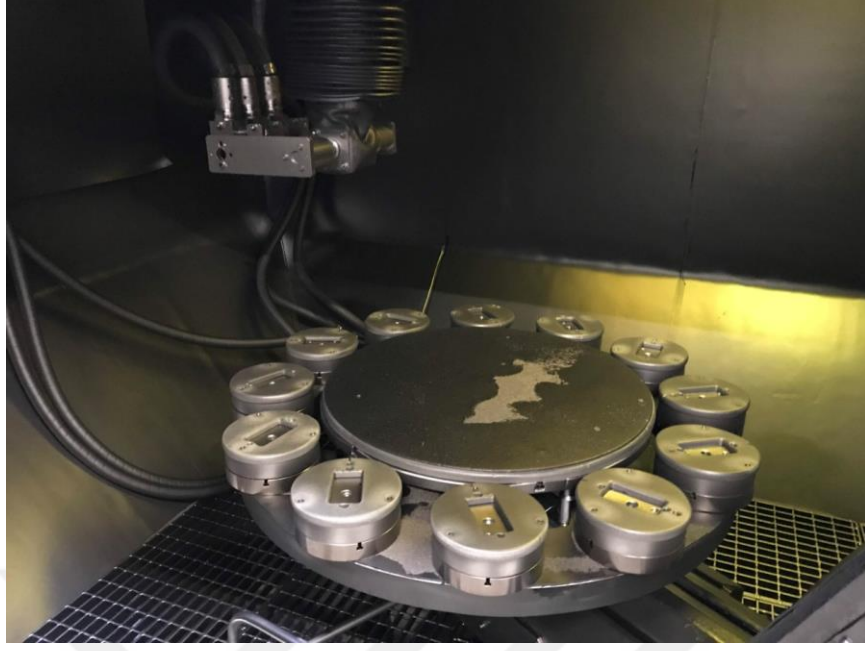
Çizelge 2. 4: Deney 3 Parametreleri

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 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilen değerler bilyalı dövme cihazına programlanarak Ti6Al4Vler sırası ile cihaza yerleştirilmiştir. Çift taraflı bant yardımı ile dövme makinesi tamburuna yerleştirilmiştir. Şekil 2.12 ve 2.13 de görülmektedir.



Şekil 2. 12: Bilyalı dövme makina içerisinde görünüm



Şekil 2. 13: Bilyalı dövme makinesine yerleşim

2.3.4 Yüzey pürüzlülük ölçümü

Referans Ti6Al4V ve bilyalı dövme işlemi sonrası Ti6Al4V numunelere yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır.

2.3.5 Sertlik ölçümü

Yüzey pürüzlülük testinden sonra bilya dövmenin metal malzemeler üzerinde etkisinin ortaya çıktığı sertlik seviyeleri ve sertlik değişimlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Referans Ti6Al4V ve işlem yapılmış Ti6Al4V numunelerin, Mitutoyo marka sertlik ölçüm cihazı ile Rockwell sertlik değerleri (120 kg yük altında 3 sn süreyle) ölçülmüştür.

2.3.6 Kimyasal dağlama işlemi

Sertlik ölçümü ve bilyalı dövme işleminden sonra Ti6Al4V'ların yüzey yapılarında görüntü alınabilmesi için dağlama işlemi yapılması gerekmektedir. Sırası ile ilk önce akar – yıkama kısmında malzeme saflığı yüksek su ile temizlendikten sonra, titanyum dağlama işlemi için hazırlanmış olan çözeltinin içerisine konulup 2 ila 3 dakika arasında beklenilmesi gerekmektedir. Daha sonra tekrar akar – yıkama yapılarak Ti6Al4V'lar 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 (2.1)'de görülmektedir. Çözelti detaylı bilgileri bilgi güvenliği sebebi ile paylaşılmamıştır.



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



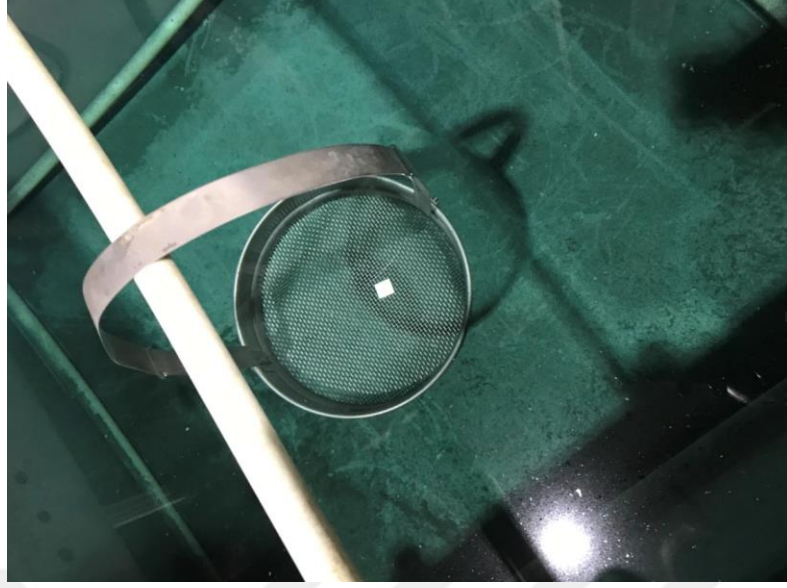
Şekil 2. 14: Kale Havacılık A.Ş. Özel Prosesler Parkuru



Şekil 2. 15: Akar Yıkama Havuzu



Şekil 2. 16: Daldırma Havuzu Aparatı



Şekil 2. 17: Kimyasal Dağlama Gösterimi

Kimyasal dağlama işlemi Şekil 2.15, Şekil 2.16, Şekil 2.17 ve 2.18'deki gibi daldırma aparatları kullanılarak yapıldıktan sonra aşınma testi yapılmıştır.

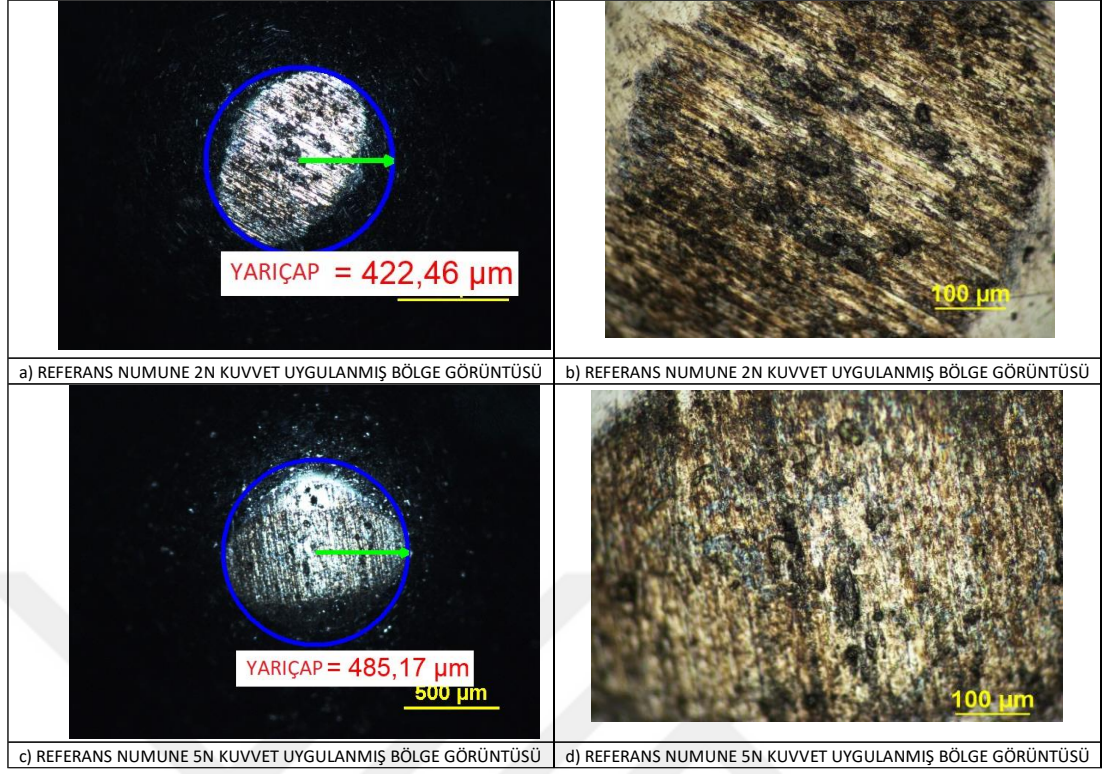
2.3.7 Aşınma testi

UTS marka TRİBOMETER T10/20 modeli aşınma cihazı ile 3 adet iş parçası 2 N ve 5N değerleri ile referans numune ve bilyalı dövme yapılan 3 iş parçasına aşınma testi uygulanmıştır. Ball on plate düzeneği kullanılarak iş parçalarına deney yapılmıştır. Test sırasında 316 L paslanmaz çelik bilya, 50 m kayma mesafesi, 20 mm/sn kayma hızı, 2 Hertz frekans parametreleri kullanılmıştır.

2.3.8 Optik mikroskop

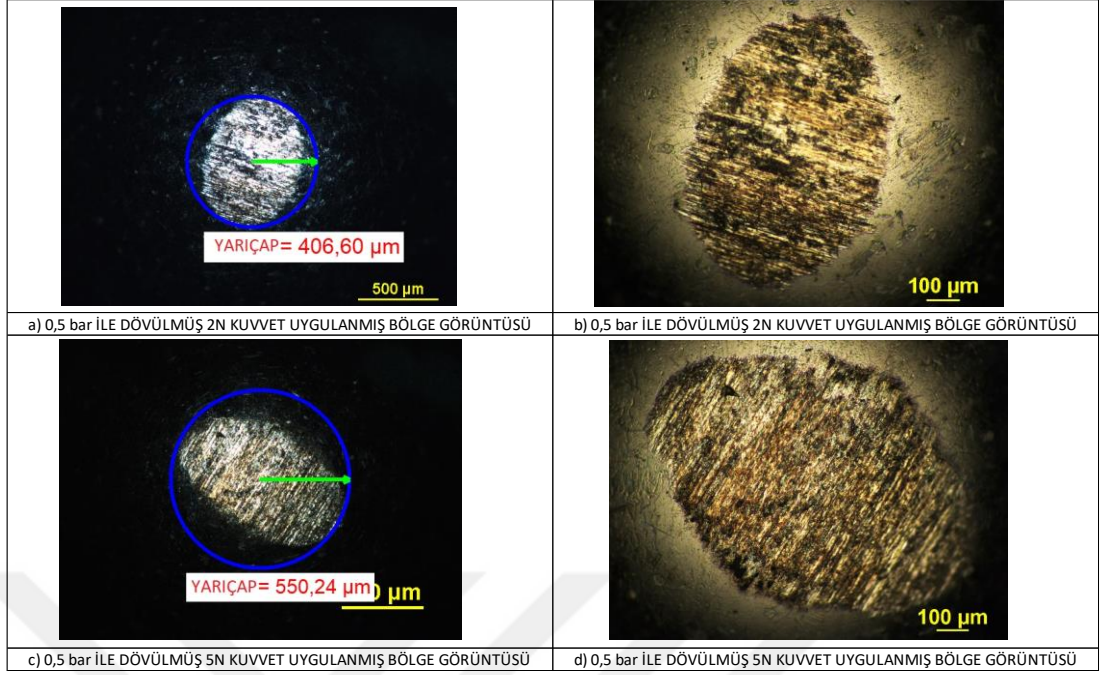
2N ve 5N aşındırma testine maruz kalan referans numunesi ve farklı basınçla bilyalı dövülen üç iş parçasının optik mikroskop görüntüleri alınmıştır.

Referans Ti6Al4V'a yapılan 2N ve 5N'luk aşındırma testi optik mikroskop görüntüsü Şekil 2.19'da verilmiştir. Kuvvetin artması ile yüzeyde oluşan izin ve yarıçap değerinin arttığı gözlemlenmiştir.



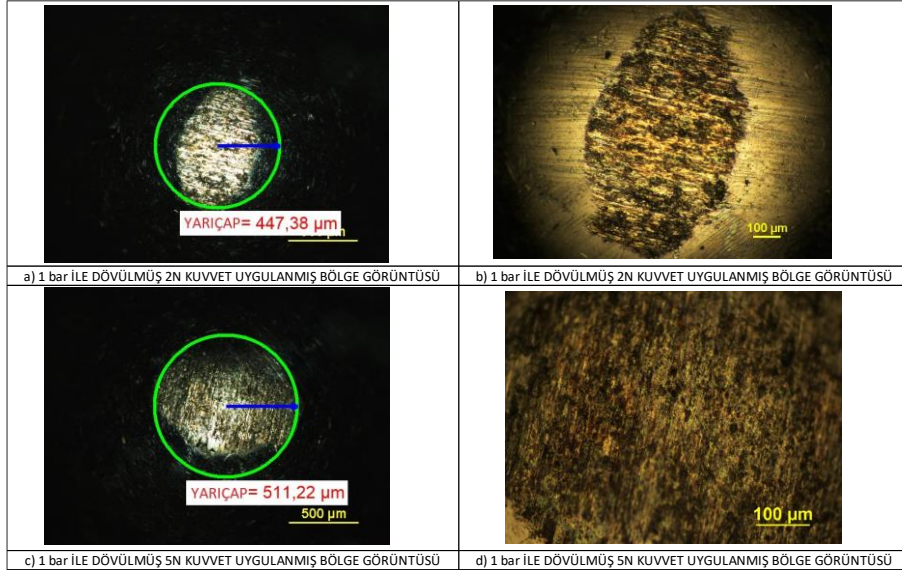
Şekil 2. 18 : Referans Numune, Dövülmemiş İş Parçasının Görüntüsü

0,5 bar ile dövülme yapılmış Ti6Al4V yapılan 2N ve 5N'luk aşınma optik mikroskop görüntüsü Şekil 2.20'de verilmiştir. Kuvvetin artması ile yüzeyde oluşan izin ve yarıçap değerinin arttığı gözlemlenmiştir.



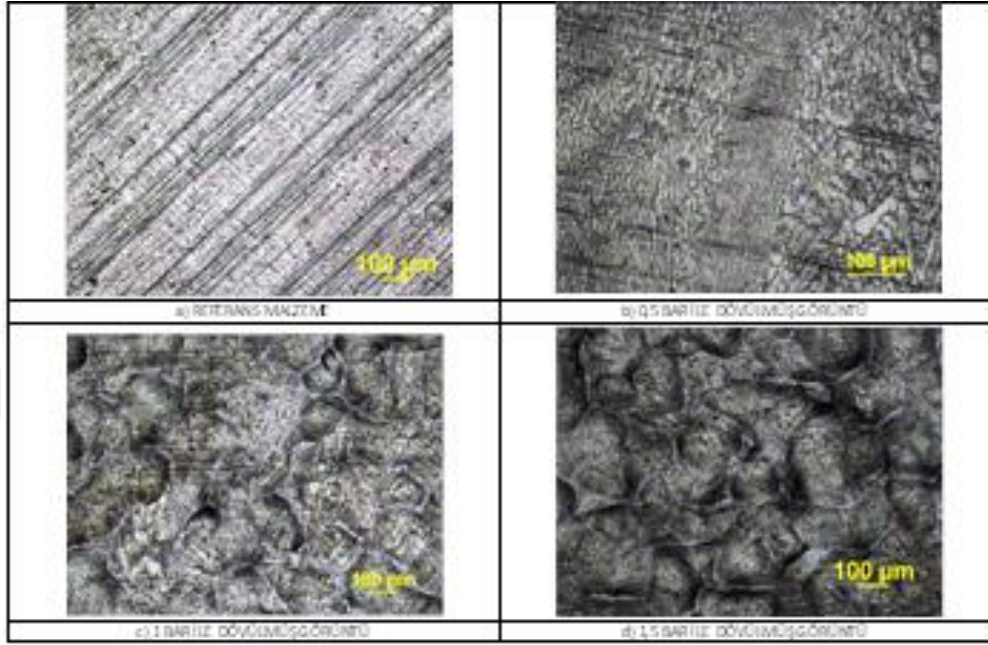
Şekil 2. 19: 0,5 Bar Basınçta Dövme İşlemi Yapılan İş Parçasının Görüntüleri

1 bar ile dövülme yapılmış Ti6Al4V yapılan 2N ve 5N'luk aşınma optik mikroskop görüntüsü Şekil 2.21'de verilmiştir. Kuvvetin artması ile yüzeyde oluşan izin ve yarıçap değerinin arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2. 20: 1 Bar Basınçta Dövme İşlemi Yapılan İş Parçasının Görüntüleri

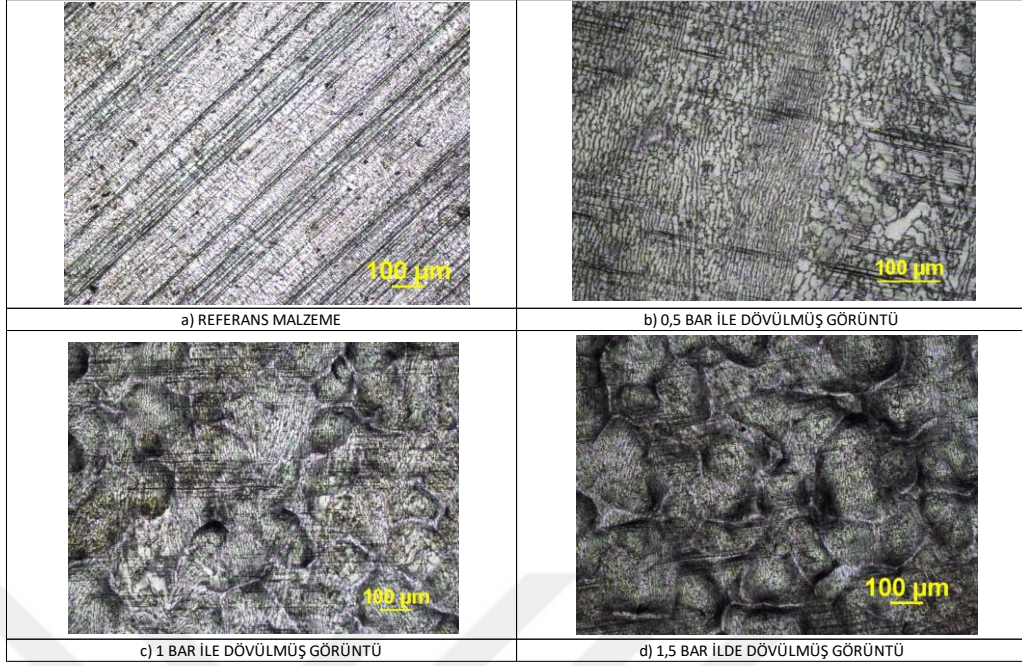
1,5 bar ile dövülme yapılmış Ti6Al4V yapılan 2N ve 5N'luk aşınma optik mikroskop görüntüsü Şekil 2.22'de verilmiştir. Kuvvetin artması ile yüzeyde oluşan izin ve yarıçap değerinin arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2. 21: 1,5 Bar Basınçta Dövme İşlemi Yapılan İş Parçasının Görüntüleri

2.3.9 Taramalı elektron mikroskop

Referans Ti6Al4V ve bilyalı dövme yapılan 3 iş parçası sırası ile Şekil 2.11'deki gibi hazırlandıktan sonra SEM cihazı ile görüntüleri alınmıştır. Şekil 2.23'de görüldüğü üzere bilyalı dövme işleminde basınç değerinin artması ile dövme şiddeti de artmış, yüzeylerde deformasyon artışı gözlenmiştir.



Şekil 2. 22: Farklı basınçlardaki Bilyalı Dövme Sonrası SEM Görüntüleri

3.DENEYLERİN SONUÇLARI VE TARTIŞMA

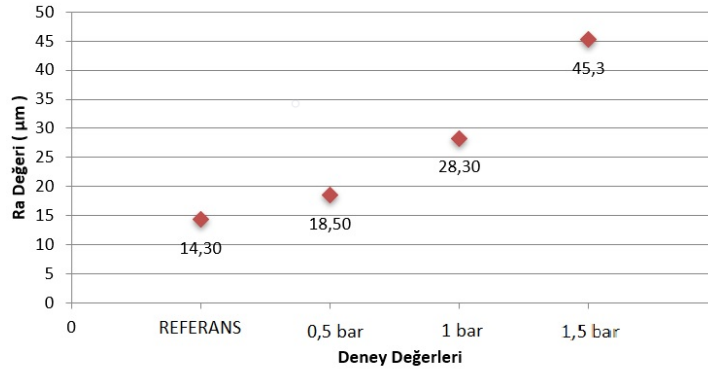
Bilyalı dövme işlemi sonrasında 3 adet deney iş parçasına sırası ile yüzey pürüzlülük testi, sertlik testi ve aşınma testleri yapılmıştır. Bu deneyler sonrasında ise optik mikroskobu ile görüntü alınması ve Sem cihazı analizleri için Kale Havacılık Sanayi A.Ş. bünyesinde bulunan kimyasal dağlama işlemi ile malzeme üzerinde ara hazırlık işlemi yapılmıştır. Bu kimyasal dağlama işlemi sonrasında hazırlanmış olan Ti6Al4V'lar aşınma testlerine maruz bırakılmışlardır. Bu testler sonrasında ise optik mikroskop ve Sem analizleri yapılmıştır. Bu deneylerin hazırlanan Ti6Al4V'lara uygulanmasının sebebi bilyalı dövme ve aşınma testleri sonrasında malzemeler üzerinde bulunan değişimlerin gözlenmesidir.

3.1 Yüzey Pürüzlülük Sonuçları

Hazırlanan 3 adet Ti6Al4V ve referans olarak kabul edilen Ti6Al4V bilyalı dövme işlemi sonrasında yüzey pürüzlülük deneyleri sonucu Şekil 3.1'de görülmektedir.

Yüzey pürüzlülük testleri sonucu bilyalı dövme işleminde 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 da bozulma gözlemlenmiştir. Bilyalı dövme ile aşırı plastik deformasyon ile yüzeyde derin çukurcukların oluşumu bilyalı dövme sonrası yüzey pürüzlülüğünün önemli miktarda artmasına neden olabilmektedir. Yüzey morfolojisinde bilyaların yüksek çarpma enerjileri nedeniyle yüzeyde oluşturdukları derin ve geniş çukurlar sonucu yüzey pürüzlülük değeri Ra değeri referans numunede 14,30 μm iken, 0,5 bar, 1bar, 1,5 bar ile dövülen numunelerde sırasıyla 18,50 μm , 28,30 μm , 45,30 μm 'dur.

Ra Değeri (μm)

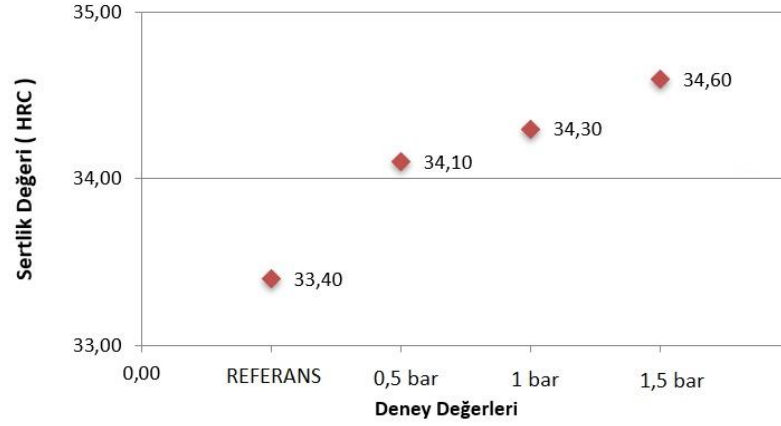


Şekil 3. 1: Ölçülen Pürüzlülük Değerleri

3.2 Sertlik Testi Sonuçları

Bilyalı dövülen Ti6Al4V ve referans Ti6Al4V numunelere yapılan sertlik ölçüm sonuçları Şekil 3.2’de verilmiştir. Bilyalı dövme parametrelerinin sertlik değerlerine etkisi değerlendirildiğinde; püskürtme basıncının artışı ile elde edilen maksimum sertlik değerinin ve sertlik artışının etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Referans numunenin sertlik değeri 33,40 HRC iken, 0,5 bar, 1 bar, 1,5 bar ile dövülmüş numunelerin sertlik değerleri sırasıyla 34,10 HRC, 34,30 HRC ve 34,60 HRC olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre basınç artışı ile birlikte sertlik artışının etkin olduğu görülmektedir. Dövme basıncı artışı ile bilyaların yüzeye çarpma hızlarında artış göstererek buna bağlı olarak bilyaların yüzeye daha fazla çarpma enerjisi ile dövme uygulanmaktadır. Basınç artışına bağlı olarak yüzey, daha fazla plastik deformasyona uğramaktadır.

Sertlik Değeri (HRC)



Şekil 3. 2: Ti6Al4V numunelerin sertlik değerleri

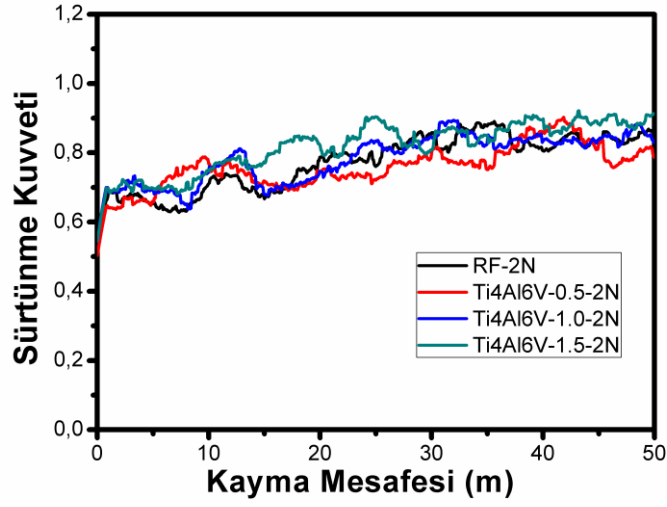
3.3 Aşınma Testi Sonuçları

Referans Ti6Al4V ve bilyalı dövme yapılmış Ti6Al4V numunelerin sürtünme kuvveti (2N ve 5N) - kayma mesafesi grafikleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4' te verilmiştir.

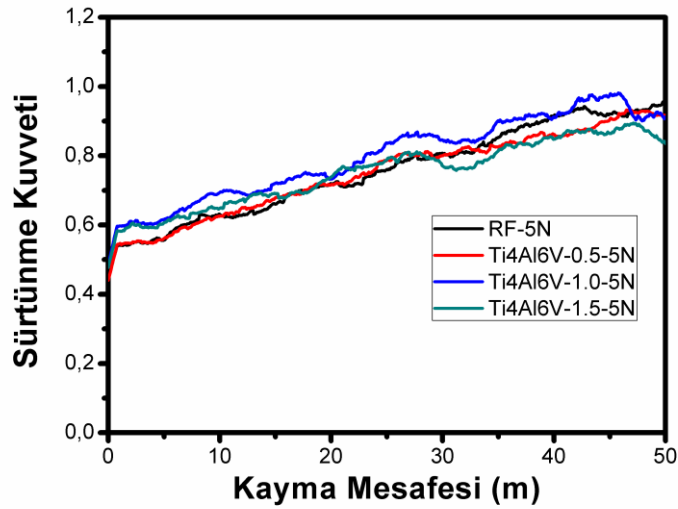
Aşınma testi sırasında uygulanan kuvvet ile birlikte sürtünme kuvveti de meydana gelmektedir. Sürtünme kuvveti, uygulanan kuvvetin kayma mesafesi arttıkça doğru orantılı şekilde artmaktadır.

Aşınma testi sonuçları değerlendirildiğinde, Ti6Al4V numunelere yapılan bilyalı dövme işleminde dövme şiddetinin artması ile numunelerin sertlik değerleri arttığından, aşınma testinde aşınma direncinin azaldığı tespit edilmiştir. Yüzeyler üzerinde bozulma tabakaları oluşmaya başladığından bu azalma gözlemlenmiştir.

Grafiklerin değişkenlik göstererek çıkmasının sebebi ise dövme sonrasında yüzeyde oluşan pürüzlülük sebebi nedeniyledir.



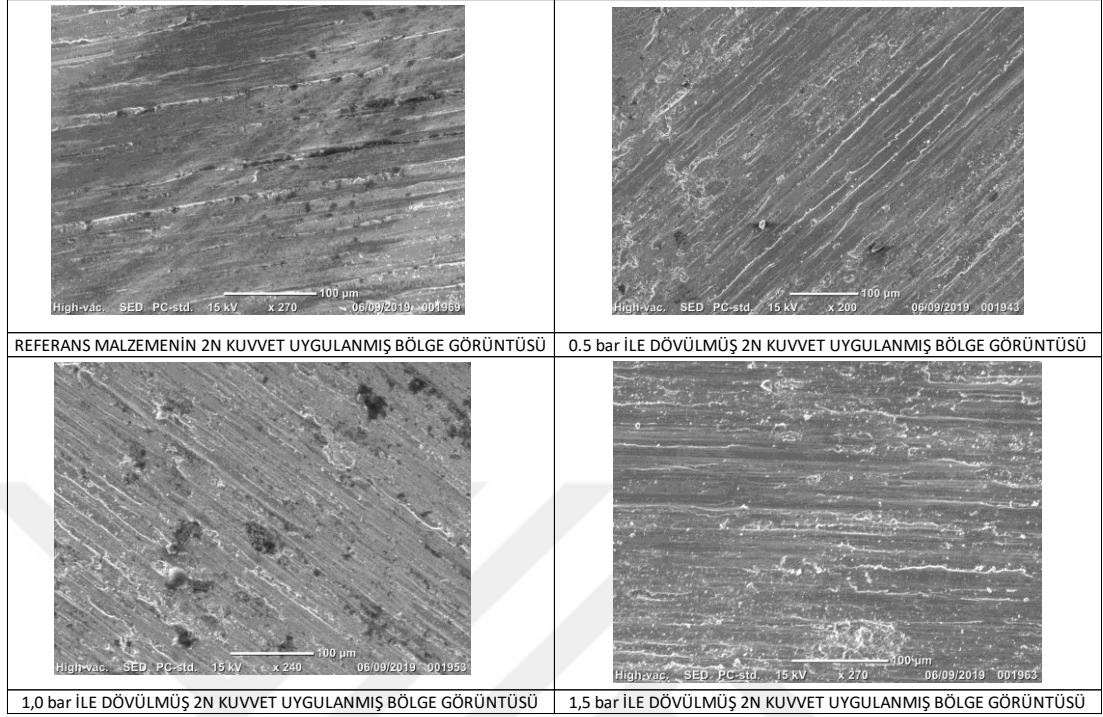
Şekil 3. 3: 2N kuvvet altındaki aşınma testi



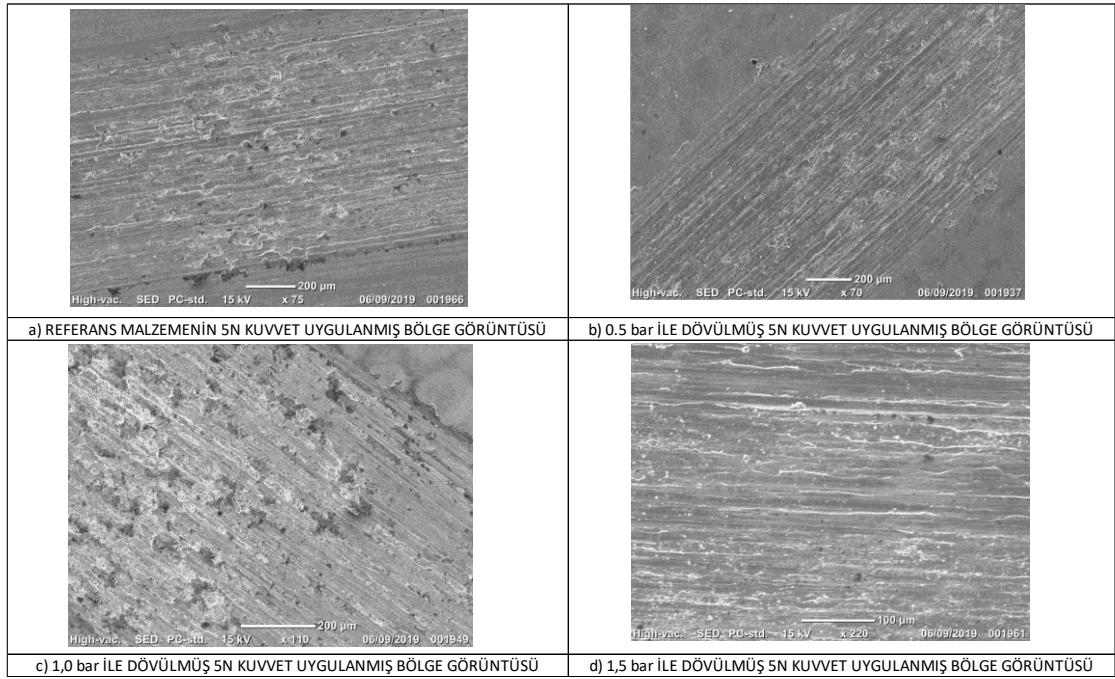
Şekil 3. 4: 5N kuvvet altındaki aşınma testi

3.4 Elektron Mikroskop Görüntüsü Sonuçları

Referans Ti6Al4V ve farklı basınçlarda bilyalı dövme yapılan 3 iş parçası 2 N ve 5 N yük altında aşınma testine tabi tutulmuştur. (Şekil 3.5 ve 3.6) alınmıştır. Bilyalı dövme basıncının artışı ile mikroyapısal değişime uğrayan bölgeler görülmektedir. Basıncın artması aynı zamanda mikroçatlakların oluşumuna neden olmuş, derin ve geniş çukurcuklar meydana gelmiştir. Dövme basıncı arttıkça aşınma izleri büyük çizikler halinde ve belirgin bir şekilde oluşmuştur.



Şekil 3. 5 : Farklı basınçlarda bilyalı dövme işlemi uygulanan numunelere 2N yük altında yapılan aşınma testi sonucu SEM görüntüleri



Şekil 3. 6: Farklı basınçlarda bilyalı dövme işlemi uygulanan numunelere 5N yük altında yapılan aşınma testi sonucu SEM görüntüleri

4. GENEL SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, havacılık sektöründe ve savunma sanayisinde alüminyum alaşımları ve çelik malzeme alaşımlarında ileri yüzey işlemlerinden birisi kabul edilen bilyalı dövme işleminin titanyum alaşımlarından Ti6Al4V'a uygulanması incelenmiştir. Bilyalı dövmenin Ti6Al4V alaşımının mekanik özelliklerine ve mikroyapısına etkilerinin incelenmesi için bilyalı dövülmüş numunelerin mikroyapısal ve mikrosertlik karakterizasyonları yapılmıştır. Farklı basınçlarda bilyalı dövülmüş adhezif aşınma davranışları ball-on-plate aşınma testleri ile incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda dövme basıncının yüzey özelliklerinde önemli bir rol oynadığı gösterilmiştir. Bilyalı dövmenin Ti6Al4V alaşımının aşınma dayanımını çok az da olsa iyileştirdiği tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin de alüminyum alaşımı ve çelik malzemede olduğu gibi olmaması, Ti6Al4V alaşımının diğerlerinden daha sert yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Farklı dövme basınçları sonucunda çekilmiş olan görüntülerde de yüzey pürüzlülüğü değerinin artışının olduğu görülmektedir. Bu durum artan dövme basıncı ile bilyaların sahip olduğu kinetik enerji artışı sonucunda daha şiddetli bir dövme işlemi gerçekleştirilmesi ile ilişkilendirilmiştir.

Bilyalı dövme işlemi ile değişen mikroyapı optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu çalışmaları ile net bir şekilde ortaya konulmuştur. Artan dövme basıncı mikroyapıda meydana gelen değişimin şiddetini arttırmıştır. Yüksek dövme basıncında gerçekleştirilen bilyalı dövme işlemleri sonrasında yüzeyde plastik deformasyonlar meydana geldiği görülmüştür. Plastik deformasyon nedeniyle; yüzey morfolojisinde deformasyon meydana gelmiştir. Yüzeyde derin çukurcukların oluştuğu ve yüzeysel mikro çatlakların meydana geldiği gözlenmiştir.

Bilyalı dövme işlemi sonrasında aşınma testine tabi tutulan numunelerde bilyalı dövmede uygulanan akım şiddeti ve uygulanan yük arttıkça aşınma izlerinin arttığı mikro yapılardan da anlaşılmaktadır. İzlerin değerlerinin artışı bilyalı dövme ile bozulan yüzeyler ile paralellik göstererek yarıçap değerlerinde de artış görülmüştür.

Bu çalışmada sunulan sonuçlar, havacılıkta kullanılan özel titanyum alaşımlarının farklı parametreler altında bilyalı dövme ile aşınma dayanımının geliştirilmesi üzerine gerçekleştirilecek çalışmalar için aşınma davranışını etkileyen mekanik ve mikroyapısal özelliklerin bilyalı dövme parametrelerine bağlı olarak değişimlerinin anlaşılması konusunda bir kaynak oluşturması beklenmektedir.



KAYNAKLAR

- Akdaş, Y.F.** (2006). Termal Oksidasyon Yöntemi ile Cp-Ti ve Ti6Al4V Alaşımının Yüzey Modifikasyonu. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Avcu Egemen,** Bilyalı Dövme Parametrelerinin AA7075 T6 Alüminyum Alaşımının Yüzey Altı Özelliklerine Etkileri, Gazi Üniversitesi, 2018
- Bayraktar Şenol,** Farklı kesme yöntemleri ile üretilen silisli sac paketlerinin elektrik makinalarının performansı üzerine etkisi, Gazi Üniversitesi, Aralık 2015
- Balaban, N.** (2007). Titanyum ve Alaşımlarının Biyouyumluluklarının İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Barker Bill,** “Shotmeter: A New Tool for Evaluating Shot Peening Intensity”, Progressive Technologies. 2001
- Chen Ming, 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
- Chen Ming, 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
- Coşkun M.K.,** Biomalzeme Amaçlı Ti-6Al-4V Alaşım Tozlarının SPS İle Sinterlenmesi ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul 2011
- Chen Ming, 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
- Chen Ming, 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

- Duman Dilek**, Titanyum Talaşından Titanyum Karbür Üretimi ve Sert Metal Üretiminde Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010 İstanbul
- Eriş Banu**, Effects Of Gas Shielding Flow Rate On Weld Quality Of T1g Welding In Ti6Al4v Alloy 2012
- Feng Qiang, 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
- İçdem, C.** (2007). Saf Titanyum ve Ti6Al, Ti6Al7Nb Alaşımlarının Akışkan Yatak Ortamında Termal Oksidasyonu. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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
- Karaduman Burak**, Titanyum Matrisli Titanyum Karbür Takviyeli Kompozit Üretimi Ve Karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010 İstanbul
- Kovacı H. , 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
- Kuzu Cihan**, Birincil Seviyeli Rocwell Sertlik Standardı Makinesi Tasarımı, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi 2006
- Leyens, C., Peters, M.** (2003). Titanium and Titanium Alloys. Weinheim: John Wiley.
- Marteau J., 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
- Oğuz Burhan**, Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları, Oerlikon Yayını, 1993 sayfa 1-3
- Ordu Fatih**, Metalik yüzeylerde kimyasal işleme yöntemi ile hidrofobik yüzey oluşturulması, T.C Trakya Üniversitesi, Edirne 2012
- Özenç Murat**, Perçin ve yapıştırma hibrit bağlantılarının deneysel ve sayısal analizi, T.C Pamukkale Üniversitesi, Denizli Haziran 2014

- 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.
- 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
- Rogelio L., Hecker a, Steven Y.Liang** Predictive Modeling of Surface Roughness in Grinding , Volum 43, Issue 8, June 2003, Pages 755-761
- Ünal Okan**, 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
- Temiz Dursun**, İmplant imalatında kullanılan aısı 316l alaşımının mekanik-tribolojik özellikleri ve talaşlı işlenebilirliğinin araştırılması,T.C Süleyman Demirel Üniversitesi,İsparta 2011
- Varol, T.** (2016). Laboratuvar Föyü Aşınma Deneyi. 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
- Yalçınkaya Ahmet**, Bilyalı Dövme Uygulanan Tank Palet Pimlerinin Yorulma Analizi, T.C Milli Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara 2019.
- 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
- Yurtkuran Emre**, T/M İle Üretilmiş Alüminyum Esaslı Malzemelerin Alaşım Elementleri Ve Takviye Elemanı İçermelerine Bağlı Tel Erezyonda İşlenebilirliklerinin Araştırılması, Karabük Üniversitesi, , Karabük 2011
- 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

SAE Manual on Shot Peening 2001 Edition, Surface Enhancement Division of the SAE Fatigue Desing and Evaluation Committee, SAE HS-84, (2001).

Url-1 <<https://www.shotpeener.com/library/pdf/1984044.pdf>> alındığı tarih: 07.08.19

Url-2 <<https://www.flickr.com/photos/golfcharlie232/34296374274>> alındığı tarih: 19.10.19

Url-3 <<https://aybu.edu.tr/muhendislik/makina/contents/files/SAYFA-211-228.pdf>> alındığı tarih: 19.10.19

Url-4 <<https://www.kuark.org/2017/10/yuzey-puruzluluk-olcumu/>> alındığı tarih: 19.10.19

Url-5 <<http://www.sspst.com/icerik/goTo/5/shot-peening-bilyali-dovme-nedir.html>> alındığı tarih: 5.10.19

Url-6 <<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ot/yuzey.puruzlulugu.pdf>> alındığı tarih: 9.10.19

Url-7 <<https://aybu.edu.tr/muhendislik/makina/contents/files/SAYFA-211-228.pdf>> alındığı tarih: 11.10.19

Url-8 <<https://slideplayer.biz.tr/slide/2795947/>> alındığı tarih: 02.10.19

Url-9 <<https://www.flickr.com/photos/golfcharlie232/34296374274>> alındığı tarih: 06.07.19

Url-10 <https://www.researchgate.net/figure/a-A-schematic-diagram-of-the-mechanical-shot-peening-of-a-circular-disc-and-b-a_fig1_258343222> alındığı tarih: 06.07.19

Url-11 <http://malzememuh.cbu.edu.tr/db_images/site_117/file/sertlik.pdf> alındığı tarih: 4.05.19

Url-12 <<https://malzemebilimi.net/altin-oran-hegzagonal-siki-paket-yapi.html>> alındığı tarih: 11.05.19

Url-13 <<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/titanyum>> alındığı tarih: 12.09.19

Url-14 <<http://nritech.edu.in/eLearning/MECH-3-1/III-1-MECH-MSE-UNIT4.pdf>> alındığı tarih: 15.09.19

Url-15 <<http://www.chemcut.net/wp-content/uploads/2015/02/Etching-Titanium-with-HF-and-Nitric-Acid-Solutions-Part1.pdf>> alındığı tarih: 15.09.19



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Oğuzhan SEZER

Doğum Tarihi ve Yeri: Kartal / 25.08.1991

E-posta : ouzhnsezer@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Doğu Üniversitesi , Makine Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2017 İstanbul Gedik Üniversitesi, Savunma Teknolojileri
(Devam ediyor)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

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