

Ti6Al4V Alaşımında Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma İşlemlerinin
Delik Yüzey Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi

Hakan Ökmen

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2018

Investigation of the Effects of Flex Hone and Roller Burnishing
Processes on Hole Surface Characteristics at Ti6Al4V Alloy

Hakan Ökmen

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

Aug 2018

Ti6Al4V Alaşımında Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma İşlemlerinin
Delik Yüzey Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi

Hakan Ökmen

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon-İmalat Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ümit Er

Ağustos 2018

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Hakan Ökmen'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Ti6Al4V Alaşımında Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma İşlemlerinin Delik Yüzey Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ümit Er

İkinci Danışman : ---

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ümit Er

Üye : Doç. Dr. Melih Cemal Kuşhan

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yağız Uzunonat

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nuntarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŐAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Ümit Er danışmanlığında hazırlamış olduğum ‘Ti6Al4V Alaşımında Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma İşlemlerinin Delik Yüzey Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi’’ başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 13/08/2018

Hakan Ökmen

İmza

ÖZET

Bu çalışmada, çeşitli endüstrilerde ve havacılıkta kullanılan bir son yüzey işlemi olan esnek honlama, bu işleme yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği, aşınma direnci ve işlem süresi bakımından alternatif olabilecek bir başka son yüzey işlemi silindirik parlatma ve bunlar için baz işlem olan matkap ile delik delmenin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışma kapsamında, üstün ağırlık ve mukavemet özelliğinden dolayı havacılıkta sıklıkla tercih edilen Ti6Al4V malzemesi seçilmiştir. Bu malzeme üzerine ön işlem olarak matkapla delikler açılmış, daha sonrasında bu deliklerin bir kısmına esnek honlama, diğerlerine silindirik parlatma işlemleri uygulanmıştır. İşlemler uygulandıktan sonra delikler, pürüzlülük, sertlik ve aşınma direnci ölçümlerinin alınabilmesi için tel erozyon yöntemi ile kesilmişlerdir. Matkap, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemlerinin yüzey pürüzlülükleri, yüzey sertlikleri, aşınma dirençleri ve delik başına işlem süreleri ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır.

Deney sonuçları incelendiğinde silindirik parlatma işleminin yüzey pürüzlülüğü bakımından esnek honlama ve matkaptan daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Sonuçlara göre silindirik parlatma işlemiyle esnek honlamaya göre delik yüzey pürüzlülüğünde %70 daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yüzey sertliği bakımından da silindirik parlatmanın, esnek honlama bakımından daha iyi bir işlem olduğu görülmektedir. Silindirik parlatma işleminde, esnek honlamaya göre yüzeyde %22'ye varan sertlik artışı elde edilmektedir. Aşınma dayanımı açısından da silindirik parlatma işlemiyle, esnek honlamaya göre yaklaşık olarak %30'luk bir iyileşme görülmüştür. Ek olarak silindirik parlatmanın delik başına işlem süresinin esnek honlamaya göre yaklaşık 10 kat daha kısa olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği, aşınma direnci, işlem süresi, matkap, esnek honlama, silindirik parlatma

SUMMARY

In this study flex hone, a surface finish process used in different industries and aerospace has been compared with another surface finish process, roller burnishing and base process drilling, in terms of surface roughness, surface hardness, wear resistance and process time.

In the study, having widespread utilization in aerospace due to its superior weight and strength feature, Ti6Al4V was chosen as experiment material. First, pre holes were drilled to the experiment part as base process. Then, flex hone processes were applied to some of the pre holes and roller burnishing processes were applied to the rest of the pre holes. Afterwards, holes were cut by electro discharge machining in order that results for roughness, hardness and wear resistance can be obtained. Finally, surface roughness, surface hardness, wear resistance and process time of flex hone and roller burnishing processes are measured and compared.

According to the experiment results, it can be seen that roller burnishing has better results than flex hone and drilling at surface roughness. With roller burnishing, %70 better results have been obtained compared to the flex hone at surface roughness. Roller burnish also has better results compared to the flex hone, with 22% at surface hardness and with %30 at wear resistance, one of the parameters effecting surface hardness. Additively, process time of roller burnishing is 10 times shorter than the process time of flex hone per hole.

Keywords: Surface roughness, surface hardness, wear resistance, process time, drilling, flex hone, roller burnishing

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca, bilgi birikimi ve tecrübesiyle bana rehberlik ve danışmanlık yapan ve yol gösteren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ümit ER'e ve deneysel çalışmalarda katkıda bulunan Öğr. Gör. Fatih Hayati ÇAKIR'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince her zaman yanımda olan, bana destek ve moral veren hayat arkadaşım Aliye ÖKMEN'e çok teşekkür ederim.

İlkokuldan üniversiteye kadarki öğretim hayatım boyunca benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, beni okutup bugünlere gelmemi ve bu değerli mesleğe sahip olmamı sağlayan beni her anlamda yetiştiren sevgili annem ve babam Necla-Atilla ÖKMEN'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE SERTLİĞİYLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	4
2.1. Yüzey Yapısı ve Sürtünmenin Önemi.....	4
2.2. Yüzey Yapısı ve İlgili Tanımlar.....	5
2.2.1. Yüzey örgüsü	5
2.2.1.1. <u>Pürüzlülük</u>	5
2.2.1.2. <u>Dalgalık</u>	5
2.2.1.3. <u>Döşeme</u>	5
2.2.2. Form hataları	6
2.3. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	7
2.3.1. Sapmaların aritmetik ortalaması (R_a)	7
2.3.2. On nokta pürüzlülüğü (R_z)	7
2.3.3. Maksimum profil yüksekliği (R_t , R_{max})	7
2.3.4. Kuadratik ortalama pürüzlülük (R_q).....	7
2.4. Pürüzlülük İyileştirme İşlemleri.....	8
2.4.1. Taşlama	9
2.4.2. Honlama	10
2.4.3. Lepleme.....	10
2.4.4. Süperfiniş	11
2.4.5. Parlatma	12
2.4.6. Mekanik enerji yöntemleri	12
2.4.6.1. <u>Ultrasonik işleme</u>	12
2.4.6.2. <u>Su jeti ile işleme</u>	12
2.4.6.3. <u>Aşındırıcı su jeti ile işleme</u>	12

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.4.6.4. <u>Aşındırıcı jet ile işleme</u>	13
2.4.7. Elektrokimyasal işleme	13
2.4.8. Isıl işleme	13
2.4.8.1. <u>Elektro erozyonla işleme</u>	13
2.4.8.2. <u>Elektron ışınlarıyla işleme</u>	14
2.4.8.3. <u>Lazer ile işleme</u>	14
2.4.8.4. <u>Plazma ark ile işleme</u>	15
2.5. Yüzey Sertliği ve Önemi	15
2.5.1. Çizinti sertliği.....	16
2.5.2. Shore sertliği	16
2.5.3. Girinti sertliği	16
2.6. Havacılık Endüstrisinde Yüzey Pürüzlülüğünün ve Sertliğinin Önemi.....	16
2.6.1. Havacılık endüstrisinde delik pürüzlülüğünün ve sertliğinin önemi.....	17
2.7. Titanyum Malzemenin Havacılık Endüstrisindeki Önemi.....	21
3. ESNEK HONLAMA VE SİLİNDİRİK PARLATMA.....	23
3.1. Esnek Honlama	23
3.2. Silindirik Parlatma	28
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	34
4.1. Esnek Honlama	34
4.2. Silindirik Parlatma	34
5. MATERYAL VE YÖNTEM	42
5.1. Çalışmanın Kapsamı	42
5.2. Çalışmada Kullanılan Malzemenin Özellikleri	42
5.3. Deneyin Yapılışı	43
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	54
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. YüzeY Pürüzlülüğü ve Bazı İlgili Konular (Wiśniewska, 2014)	4
2.2. Tüm YüzeY Sapmalarının Bir YüzeYde Beraberce Bulunması (Aksulu vd., 2001)	6
2.3. Bir Jet Motoru Yanma Odası Parçası (Anonim, 2016)	18
2.4. Ti6Al4V Alaşımından Üretilmiş Bir Kompresör Çarkı (Anonim, 2018)	22
2.5. Ti6Al4V Alaşımından Üretilmiş Bir Kompresör Çarkı (Anonim, 2018)	22
3.1. Çeşitli Esnek Honlama Takımları (Anonim, 2018)	23
3.2. Esnek Honlama Aşındırıcı Topları (Anonim, 2018)	24
3.3 Aşındırıcı Tipleri ve Boyutları (Anonim, 2018)	27
3.4. Bir İç YüzeYin Silindirik Parlatma Öncesi ve Sonrası Görünümü (Anonim, 2018)	28
3.5. Silindirik Parlatma Takımı (Anonim, 2018)	29
3.6. Silindirik Parlatma İşlemi Çalışma Prensibi (Anonim, 2018)	30
3.7. Silindirik Parlatma İşleminin Diğer Bazı İşlemlerle Karşılaştırılması (Anonim, 2018)	31
5.1. Deneyde Kullanılan İş Parçası	42
5.2. Test Parçasının Makro Sertlik Ölçümü	43
5.3. Deneyde Kullanılan Makino KE55 CNC Freze Tezgahı	44
5.4. Ön Delikleri Açmakta Kullanılan Matkap	45
5.5. Matkap Öncesi Punto İşlemi	45
5.6. Matkapla Ön Deliklerin Açılması	45
5.7. Deneyde Kullanılan Esnek Honlama Takımı	46
5.8. Esnek Honlama İşleminin Uygulanması	47
5.9. Deneyde Kullanılan Silindirik Parlatma Takımı	47
5.10. Silindirik Parlatma İşleminin Uygulanması	49
5.11. İşlem Yapılmış Deliklerin Kesit Görüntüleri	49
5.12. Çeyrek Daire Şeklinde Kesilmiş İş Parçası Numunesi	50
5.13. Bakalite Gömülmüş Çeyrek İş Parçası	51
5.14. Future Tech FM-700 Mikro Sertlik Cihazı	51
5.15. Nikon L150 Mikroskobu	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.16. CSM Tribometer Cihazı	52
5.17. Aşındırılmış Numune	53
5.18. Mitutoyo SJ-400 Cihazı.....	53
6.1. Numune Sertliklerinin Yüzeyden Uzaklığa Bağlı Değişimi	55
6.2. Matkap, Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma İşlemlerinin 500X Yakınlaştırmadaki Tanecik Yapıları	56
6.3. Delik Yüzeyi Referans Profili	57
6.4. Matkap Aşınma Yüzey Profili ve Yerleştirilmiş Eğri	57
6.5. Esnek Honlama Yüzey Profili ve Yerleştirilmiş Eğri	57
6.6. Silindirik Parlatma Yüzey Profili ve Yerleştirilmiş Eğri.....	58
6.7. Matkap, Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma Uygulanan Yüzeylerdeki Aşınma Alanları	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

3.1. Delik Çaplarına Göre Dönme Hızı Tablosu (Anonim, 2010)	27
3.2. Grit Boyutuna Göre Pürüzlülük Değerleri (Anonim, 2010)	28
3.3. Takım Dönme ve Besleme Hızlarının Takım Çapına Göre Değişimi (Anonim, 2018)	32
5.1. Matkap İşlem Parametreleri	44
5.2. Esnek Honlama İşlem Parametreleri	46
5.3. Silindirik Parlatma İşlemi Deneme Parametreleri	48
5.4. Aşındırma İşlem Parametreleri	53
6.1. Matkap, Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma İşlemlerinin Yüzey Pürüzlülükleri	54
6.2. Matkap, Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma Mikro Sertlik Değerleri	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler** R_a R_z R_t, R_{max} R_q **Açıklama**

Sapmaların aritmetik ortalaması

On nokta pürüzlülük değeri

Maksimum profil yüksekliği

Kuatratik ortalama pürüzlülük

Kısaltmalar

AMS

HCF

WC

Açıklama

Havacılık Malzeme Spesifikasyonları

Yüksek çevrim yorulması

Tungsten Karbür

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüz mühendislik dünyasında, başta havacılık ve uzay sanayisi olmak üzere otomotiv, denizcilik, tıp, biomedikal gibi birçok endüstri alanında kullanılan parçalara uygulanan talaşlı imalat yöntemleri mikroyapısal değişikliklere neden olabilmekte bu da yüzey bütünlüğü özelliklerini etkilemektedir. İmalat süreçlerinin etkilediği en önemli yüzey bütünlüğü parametrelerinden biri de yüzey pürüzlülüğüdür.

Yeryüzündeki hiçbir nesnenin yüzeyi tam olarak düzgün değildir. Görsel olarak düz olduğuna inanılan, pürüzsüz gibi gözüken yüzeylerin bile detaylı bir biçimde incelediğinde yüzeylerinde girinti-çıkıntılar, sapmalar, pürüzlülükler olduğu görülmektedir.

Yüzeydeki bu bozuklukların sebebi, malzemenin doğal yapısından, parça üretilirken malzemenin üzerinde uygulanan torna, freze, taşlama gibi geleneksel veya ultrasonik işleme, ısıl işleme gibi geleneksel olmayan talaş kaldırma işlemlerinden veya üretim sonrası parçaya uygulanan sertleştirme, kaplama gibi özel işlemlerden kaynaklanabilmektedir. Yüzeyin kalitesi, parçanın çevresiyle olan etkileşimini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Kabaca bir parçanın yüzey pürüzlülüğü yüksek ise o parçanın yüzey kalitesi düşük olarak nitelendirilir.

Parçaların yüzey pürüzlülüğünün en önemli sonuçlarından biri sürtünmedir. Sürtünme günlük yaşamda veya endüstride bazı istisnalar dışında istenmeyen bir durumdur. Çünkü sürtünmedeki artışa bağlı olarak parçalar arası aşınma artar. Aşınmanın artması parçayı zayıflatır, yorulma ömrünü azaltır. Parçanın fonksiyonunu yerine getirmesini engeller. Aşınmaya bağlı olarak parçanın korozyon direnci düşer. Pürüzlü yüzeylerde girinti-çıkıntılara bağlı olarak titreşim meydana gelebilir. Bu da parçanın yüksek çevrim yorulmasına (HCF) maruz kalmasına sebep olur. Optik sektöründeki parçalarda yüzeyin pürüzlü olması parçanın yansıtıcılığını azaltır. Bu ve benzeri sebeplerden dolayı başta havacılık ve uzay olmak üzere diğer tüm sektörlerde parça yüzey pürüzlülüklerinin mümkün olduğunda düşük seviyelerde tutulması gerekmektedir.

Havacılıkta kullanılan parçalarda torna, freze ve hatta taşlama gibi yöntemler istenen düşük yüzey pürüzlülük değerlerini karşılamayabilmektedir. Bu sebeple bu tür ilk işlemlerden sonra parçaya yüzey bitirme işlemleri uygulanmaktadır.

Pürüzlülük gibi bir başka önemli yüzey parametresi de sertliktir. Yüzey sertliği, yüzeyin direk temasa bağlı olarak ortaya çıkan mekanik veya bir akışkana bağlı olarak oluşan erozif aşınmaya karşı direnci için önemlidir. Yüksek oranda mekanik veya erozif aşınmaya maruz kalan yüzeylerin sertliğinin belli bir değerin altına düşmemesi istenir. Yüzey sertliğinin parçanın aşınma dayanımı üzerindeki etkisi büyüktür.

Esnek honlama, klasik honlamanın bir varyasyonu olup havacılık ve otomotivde sıklıkla kullanılan bir yüzey bitirme işlemidir. Ancak işlem süresinin uzunluğu, maliyet, pürüzlülük değeri ve sertlik kazanımı gibi parametreler göz önünde bulundurulduğunda günümüzdeki birçok sektörde yerini silindirik parlatma işlemine bırakmaya başlamıştır. Bu çalışmada, bir havacılık firmasında halihazırda kullanılan esnek honlama işlemi ile bu işleme pürüzlülük, sertlik, aşınma direnci ve süre bakımından alternatif olabilecek silindirik parlatma işlemi karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde yüzey pürüzlülüğünün ve sertliğinin önemi anlatılmıştır. Pürüzlülükle ve sertlikle ilgili çeşitli teknik parametreler açıklanmıştır. Yüzey iyileştirme işlemlerinden sıklıkla kullanılan diğer bazı yöntemlerle ilgili bilgi verilmiştir. Sonrasında pürüzlülük ve sertlik konusu biraz daha özelleştirilerek delik yüzeyleri için ele alınmış ve havacılık başta olmak üzere önemi ve kullanma alanları örneklerle açıklanmıştır.

Literatür araştırması bölümünde esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleriyle ilgili bilgiler verilmiş, iki işlem çeşitli yönlerden karşılaştırılmıştır. Esnek honlama ve silindirik parlatma işlemiyle ilgili daha önceden yapılmış çalışmalara değinilmiştir. Silindirik parlatma işleminin uygulandığı yüzeylerdeki pürüzlülük değerleri, sertlik ve aşınma direnci artışları incelenmiştir. Ayrıca çeşitli parametrelerin pürüzlülük, sertlik ve aşınma direnci üzerine olan etkileri açıklanmıştır.

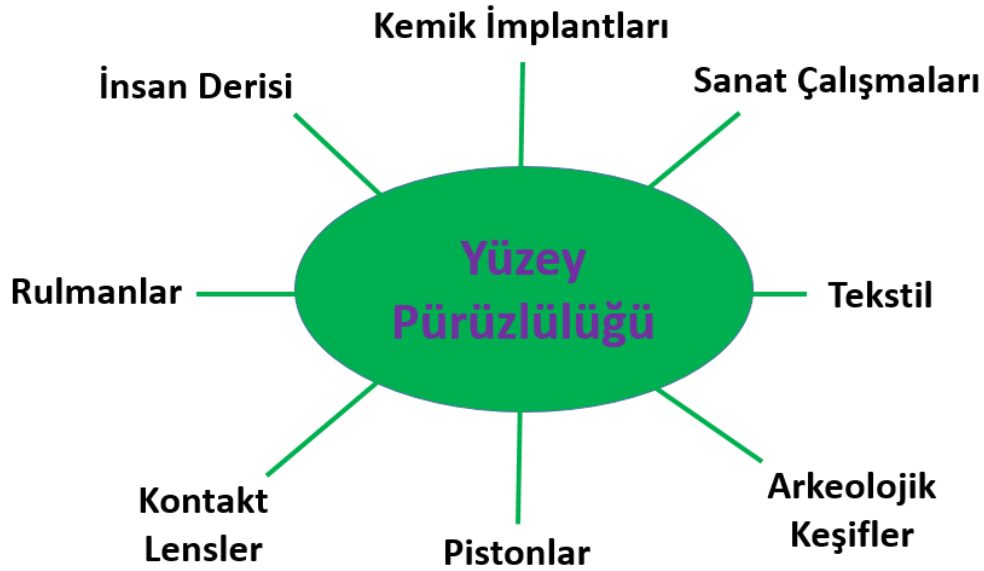
Deney sonuçları ve irdelenmesi bölümünde normal delme (matkap) işlemi, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri, pürüzlülük, sertlik, aşınma direnci ve işlem süresi bakımından karşılaştırılmıştır. Ayrıca üç işlemin uygulandığı yüzeylerin tanecik yapıları da incelenmiştir.

Sonuç ve öneriler bölümünde ise esnek honlama ve silindirik parlatmayla yapılan deneyin sonuçları bir kez daha gözden geçirilmiş, iki işlem yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği aşınma direnci ve işlem süreleri ve tanecik yapıları bakımından karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmayla ve literatürden elde edilen bilgilerle ilgili çeşitli değerlendirmeler yapılmış, gelecekte yapılabilecek çalışmalarla ilgili öneriler sunulmuştur.

2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE SERTLİĞİYLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

2.1. Yüzey Yapısı ve Sürtünmenin Önemi

Yüzey pürüzlülüğü, parçanın çevresiyle olan etkileşiminde önemli bir rol oynar. Yüzey pürüzlülüğü, genel olarak triboloji bilim dalıyla ilgili bir kavram olmakla birlikte bu başlığa bağlı olarak, otomotiv, havacılık, akışkan sistemler, tıp, eczacılık, biomekanik gibi birçok değişik alanda çok önemli rollere sahiptir. Şekil 2.1’de yüzey pürüzlülüğü ve bazı ilgili konular gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Yüzey Pürüzlülüğü ve Bazı İlgili Konular (Wiśniewska, 2014)

Yüzey yapısı, bir parçayla ilgili en önemli parametrelerden biridir. Parçanın fonksiyonunu istendiği gibi yerine getirebilmesinde önemli bir yere sahiptir. Parçanın çevresiyle olan etkileşimini belirler. Yüzey bozukluklarının fazla olduğu parçalarda sürtünme seviyesi yüksektir. Bu yüksek sürtünme oranına paralel olarak aşınma oranı da artar. Artan aşınma, parçada çatlak başlangıcına sebep olabilmektedir. Bu da parçanın yorulma ömrünü azaltan bir etmendir.

2.2. Yüzey Yapısı ve İlgili Tanımlar

Parçalardaki yüzey kusurları, yüzey örgüsü (yapısı, dokusu) ve yüzey formu olarak iki ana kategoride incelenebilir.

2.2.1. Yüzey örgüsü

Yüzey örgüsü, parça nominal yüzeyinden ölçülen kısa dalga boyuna sahip sapmaların kombinasyonu olarak adlandırılmaktadır.

Yüzey örgüsü, pürüzlülük, dalgalılık ve döşeme olarak üç başlıkta incelenmektedir:

2.2.1.1. Pürüzlülük

Yüzey pürüzlülüğü veya sadece pürüzlülük, yüzey örgüsünün bir ölçüsü olarak tanımlanır. Yüzeyin gerçek profilinin, ideal profilinden yüzeyin normal vektör yönünde ne kadar saptığıyla ölçülmektedir. Yüzeyde en küçük dalga boy aralığında ölçülen düzensizliklerdir. Kesici takım geometrisi ve bunun aşınmasından, işleme şartlarından, işlenecek parçanın mikro yapısından, sistem ve kesici takımdaki titreşimlerden kaynaklanabilmektedir.

2.2.1.2. Dalgalılık

Dalgalılık tanım olarak pürüzlülükle aynıdır. Sadece yüzeydeki sapmaların pürüzlülüğe oranla daha geniş bir boyda ele alınmasıdır. Genellikle sistemdeki dengesizliklere bağlı takım-tezgah sapmaları ve titreşimlerine bağlı olarak periyodik şekilde oluşur.

2.2.1.3. Döşeme

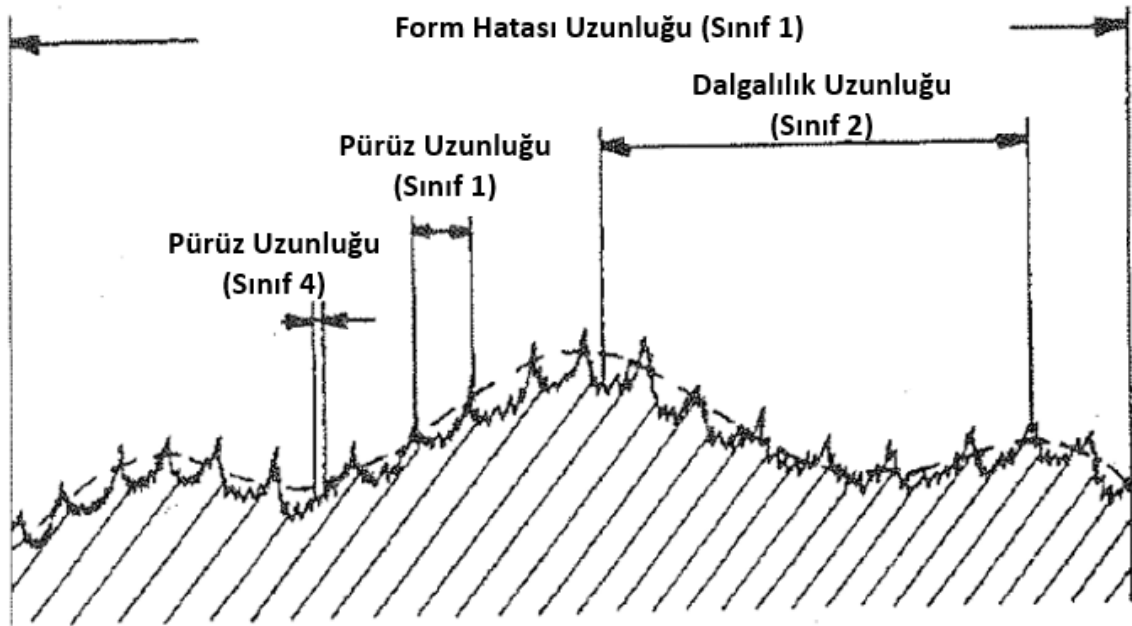
Döşeme, yüzeydeki pürüzlülük ve dalgalılığın oluşturduğu dominant şekil veya motifin yönü olarak belirtilir. Genellikle parçanın üretim metodundan kaynaklanır.

2.2.2. Form hataları

Form hataları, pürüzlülük ve dalgalılığa göre yüzeyi daha büyük bir uzunlukta inceler. Form hataları için belirlenen dalga boyu, pürüzlülük ve dalgalılıkta kullanılanlardan büyüktür. Kızak aşınmasından, işleme takımındaki merkez kayıklığından, işleme anında parçadaki eğilip bükülmelerden meydana gelebilmektedir (Anonim, 2018).

Pürüzlülük, dalgalılık ve form hataları birbirinden kesin çizgilerle ayrılmamakta olup, birbirlerine göre göreceli kavramlardır. Bir ölçümde dalgalılık olarak belirlenen yüzey hatası, ölçüm uzunluğu değiştirildiğinde pürüzlülük veya form olarak değerlendirilebilir.

Pürüzlülük, dalgalılık, döşeme ve form hataları bir yüzeyde genellikle tek başlarına bulunmayıp, Şekil 2.2'deki gibi birbirlerinin kombinasyonları şeklinde oluşmaktadır.



Şekil 2.2. Tüm Yüzey Sapmalarının Bir Yüzeyde Beraberce Bulunması (Aksulu vd., 2001)

Bir yüzeydeki sapma ve bozukluklar değerlendirilirken, aksi belirtilmediği sürece yüzey pürüzlülüğü anlaşılmakta ve ölçülmektedir.

2.3. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

2.3.1. Sapmaların aritmetik ortalaması (R_a)

Bir numune uzunluğu boyunca belirlenen ortalama çizgiye göre yüzey pürüzlülük profilinin ortalamasıdır.

R_a , en çok tercih edilen pürüzlülük ölçüm parametresidir. Yüzeyin profili hakkında genel bir bilgi verir. Ancak pürüzlülüğün tüm detaylarıyla anlaşılabilmesi için R_a tek başına yeterli değildir. Ortalama değeri hesapladığından, yüzeydeki tepe ve çukur profillerini ayırt etmekte yetersizdir.

2.3.2. On nokta pürüzlülüğü (R_z)

R_z , değişik standartlarda değişik şekillerde tanımlanmıştır. R_z , değerlendirme uzunluğu içerisindeki en büyük 5 tepe toplamı ile en büyük 5 çukur toplamının ortalamalarının toplamı olarak nitelendirilir. 5 sayısı genel uygulama olup ölçüm nokta sayısı isteğe bağlı olarak arttırılabilir. Tepe ve çukur hassasiyeti R_a ölçümüne göre daha hassastır.

2.3.3. Maksimum profil yüksekliği (R_t , R_{max})

R_t veya R_{max} , değerlendirme uzunluğu içerisindeki en büyük tepe yüksekliği ile en büyük çukur derinliğinin yükseklik toplamıdır. Tek bir ölçüme dayandığı için güvenilirliği düşüktür.

2.3.4. Kuadratik ortalama pürüzlülük (R_q)

Yüzey pürüzlülük profiline karşılık gelen y koordinatlarının kuadratik ortalama değeridir.

R_q , veya yüzey profilinin y koordinatlarının merkez hattından ortalama kuadratik sapması, profilin ordinatlarından standart sapmayı ifade ettiği için, R_a 'dan istatistik olarak daha önemlidir. Tepe ve çukurları ölçmede R_a 'dan daha hassastır.

2.4. Pürüzlülük İyileştirme İşlemleri

Günümüz modern endüstrisinde, parçanın fonksiyonunu uzun süre sorunsuz devam ettirebilmesi için ölçü ve geometrilerinin yüksek hassasiyetle üretilmesinin yanında birçok uygulamada yüksek yüzey hassasiyeti de istenmektedir. Yüzey pürüzlülük değerinin, sürtünmenin istendiği bazı özel durumlar dışında düşük olması istenir.

Son dönemdeki tüm gelişmelere rağmen, torna, freze, hatta klasik taşlama gibi geleneksel yöntemler yüksek yüzey pürüzlülüğü elde etmekte yetersiz kalabilmektedir. Yüksek derecede pürüzsüz yüzeyler elde edebilmek için bu geleneksel yöntemlere ek olarak yüzey bitirme işlemleri sıklıkla uygulanmaktadır. Yüzey bitirme işlemleri, talaşlı ve talaşsız olarak iki ana grupta incelenebilir.

Talaşlı pürüzlülük işlemleri, parça yüzeyinden malzeme kaldırılması prensibine dayanır. Geleneksel ve geleneksel olmayan yöntemler olarak iki grup altında incelenebilirler.

Geleneksel talaşlı yüzey pürüzlülük azaltma yöntemleri; taşlama honlama, lepleme gibi işlenecek parçadan daha küçük ve daha sert, genellikle belirli ve sabit şekle sahip bir veya çoklu kesme takımlarının yüzeye belli parametrelerle temas ettirilmesi sonucu yüzeyden talaş kaldırılması olarak nitelendirilmektedir. Bu işlemler genel itibarıyla torna, freze gibi geleneksel işlemlere çok benzemektedir. Aralarındaki en büyük fark, talaş kaldırmada kullanılan aşındırıcı parçaların klasik işlemlere göre daha küçük ve sayıca daha fazla olmalarıdır. Diğer bir önemli fark da kesme hızlarının torna-frezeye göre çok daha yüksek olmasıdır. Bu, kaldırılan talaş miktarının çok daha az olmasını sağlamaktadır. Talaşlı pürüzlülük işlemleri genellikle torna, freze gibi klasik ve görece daha kaba işlemlerden sonra uygulanmaktadır. Geleneksel talaşlı yüzey pürüzlülük yöntemlerinde aşındırma işlemi için mekanik enerji kullanılır.

Geleneksel talaşlı yüzey pürüzlülük işlemleri her tür malzemede uygulanabilmektedir.

Geleneksel olmayan talaşlı yüzey bitirme yöntemlerinde, talaş kaldırmak için mekanğin yanı sıra elektrik, kimyasal, ısı, optik gibi enerji çeşitleri de kullanılır. Ultrasonik işleme, lazer işleme, elektrokimyasal işleme, su jetiyle işleme gibi işlemler geleneksel olmayan talaşlı yüzey bitirme işlemlerinden bazılarıdır. Aşağıda bazı geleneksel talaşlı yüzey bitirme işlemleriyle ilgili bilgi verilmiştir:

2.4.1. Taşlama

Taşlama, eski çağlardan beri kemiklerin keskinleştirilerek silah yapılması, kılıç-bıçak gibi birçok kesici aletin bilenmesi ve yapılmasında kullanılan ve günümüzde de en yaygın biçimde kullanılan bir yüzey aşındırma işlemidir.

Taşlama, belirli bir geometrik şekle getirilmiş veya serbest halde olan köşeli ve sert aşındırıcı tanelerin bütünüyle oluşturulmuş taşlama taşının çok yüksek yüzey hızlarında dönmesiyle yapılan malzeme kaldırma işlemidir. Taşlama taşı, aşındırıcı taneciklerin çeşitli bağlayıcılarla birbirine bağlanmasıyla elde edilir. Genellikle disk şeklindedir ve yüksek dönme hızlarında titreşime maruz kalmaması için balanslanmaktadır.

Tanecikler üzerindeki küçük kesici uçlar talaş kaldırılmasını sağlar. Kesme işlemi, taşlama taşıdaki aşındırıcı tanecikler ile iş parçası arasındaki sürtünme sayesinde gerçekleşir.

Taşlama işlemi;

- İş parçalarında hassas ölçü ve toleranslar elde etme
- Sertleştirme yapılan parçalarda istenmeyen bölgelerdeki sertliğin alınması
- Isıl işlem sonrası atıklık gibi parçada meydana gelen yüzey bozulmalarının giderilmesi
- Parlak ve kaliteli yüzeyler elde etmek amaçlarıyla yapılabilmektedir.

2.4.2. Honlama

Honlama, mandrel adı verilen, üzerinde üçten bir düzineye kadar aşındırıcı taşlar bulunabilen bir takımın sabit bir iş parçası yüzeyinde ileri-geri ve dönme hareketini aynı anda yaparak çok küçük miktarlarda talaş kaldırması esasına dayanan bir yüzey bitirme işlemidir. Genellikle delik iç yüzeylerinde torna-freze gibi klasik işlemlerden sonra, koniklik, yuvarlaklık ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için uygulanmaktadır. Pistonlu motor delik yüzeyleri, rulmanlar, hidrolik-pnomatik silindirler, silah namluları honlamanın uygulandığı alanlara örnek verilebilir. Honlama, her türlü metal ve cam, seramik gibi metal olmayan parça yüzeyleri için de kullanılabilir.

Honlamada aşındırıcı taşlar, yüzey temasını kaybetmemek için kontrollü bir basınçla parça yüzeyine bastırılırlar. Bu baskı işlemi genellikle küçük yaylar yardımıyla yapılır. Aşındırıcı parçaların ileri-geri ve dönme hareketine bağlı olarak parça yüzeyi çapraz dokulu bir yapıya sahip olmaktadır. Bu yapı parça yüzeyinde yağların daha iyi tutunmasını sağlamakta, buna bağlı olarak aşınmayı azaltarak parça ömrünü uzatmaktadır. İş parçasının sertliği honlama işlemini sınırlayan bir parametre değildir, sadece talaş kaldırma hızı etkilenir.

Malzeme sertliği, işlemin hızı, işlemin süresi, baskı miktarı ve hatta bazı durumlarda soğutma sıvısı yüzey pürüzlülüğünü etkileyebilmektedir.

2.4.3. Lepleme

Lepleme, en eski yüzey bitirme işlemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Sertleştirilmiş ve taşlanmış iş parçası yüzeylerinde büyük parlaklık ve tamlık elde etmek, taşlanmış yüzeylerde çok küçük hataları düzeltmek, çok iyi bir yüzey kalitesi elde etmek ve birlikte çalışacak iki yüzeyin alıştırılmasını sağlamak amacıyla yapılan bir işlemdir. Yine leplemede, taşlama ve honlamaya göre daha küçük miktarlarda talaş kaldırılarak daha düz, daha hassas ve aşınmaya karşı daha dayanıklı yüzeyler elde edilir. İşlem, abrasif bir malzeme ile taşlama ve honlamaya göre düşük hız ve basınçta gerçekleşir. Lepleme işleminde, aşındırıcı taşlar honlama ve taşlamadakine benzer şekilde yapıştırıcı ortam yardımıyla bir arada tutulabilmelerinin yanında, daha küçük ve serbest aşındırıcı

partiküllerin bulunduğu lepleme macunu adı verilen bir süspansiyon içerisinde de kullanılabilirler. Süspansiyon, çözülmüş yağ, mineral yağ veya gres bazlı olabilir. Aşındırıcılar içeren süspansiyon, genellikle kireçli bir macun görünümündedir. Her iki durumda da aşındırıcılar lepleme plakaları ile parça yüzeyi arasına konularak belli bir miktar basınçla uygulanmaktadır. Lepleme işleminde, taşlama ve honlamaya göre daha fazla çeşitte aşındırıcı taş kullanılabilir. Lepleme yapılırken, aşındırıcıların sürekli aynı bölgelerde çalışmaması için iş parçası ve lep plakasının birbirlerine göre olan hareketi sürekli olarak değiştirilmelidir. Lepleme plakaları genellikle dökme demirden yapılmakta olup bakır ve alaşımları, pirinç, güçlendirilmiş çelik ve hatta cam bile kullanılabilir. Elle veya mekanik olarak yapılabilir. Lepleme işlemi, optik lenslerin yüzeyini parlatmada, metal rulman yüzeyleri ve masterlar gibi yüksek ölçü hassasiyeti ve düşük pürüzlülük gerektiren işlemlerde uygulanmaktadır.

2.4.4. Süperfiniş

Süperfiniş, ya da bilinen diğer isimleriyle mikro honlama, hassas taşlama, kısa stroklu honlama, işlem yapısı ve uygulama bakımında honlama işlemine benzemektedir. Honlamadan farkı ise genellikle daha küçük boyutta bir adet aşındırıcı taşın daha kısa ve sık stroklarla parça yüzeyine uygulanmasıdır. İşlemin uygulanması sırasında oluşan ısıyı ve talaşı ortamdan uzaklaştırmak için soğutma sıvısı kullanılmaktadır. Süperfiniş işlemi düz yüzeylerde ve silindirik parçaların dış yüzeylerinde uygulanmaktadır. Süperfiniş, parça üzerine ilk olarak uygulanan torna, freze, honlama, lepleme gibi işlemlerden sonra yüzeyde kalan ince amorf tabakayı alarak ayna pürüzsüzlüğünde bir yüzey oluşturur. Yüzey yapısı, işlemin uygulanma biçimi honlamaya benzediği için çapraz dokulu yapıdadır. Çok küçük miktarlarda talaş kaldırma özelliğine bağlı olarak, süperfiniş ile ölçüsel bozuklukların giderilmesi honlamaya göre oldukça limitlidir, çünkü sadece pürüzlülüklerin uçları traşlanmaktadır.

2.4.5. Parlatma

Parlatma veya polisaj, yüksek hızda dönen, üzerinde aşındırıcı taşlar bulunduran, genellikle kumaş veya deriden yapılan parlatma tekerleğinin veya kayışının parçayüzeyinden talaş kaldırması işlemidir. Parlatma işlemi, genellikle elle yapılmaktadır.

Geleneksel olmayan bazı yüzey bitirme işlemleriyle ilgili aşağıda bilgi verilmiştir:

2.4.6. Mekanik enerji yöntemleri

2.4.6.1. Ultrasonik işleme

İçerisinde aşındırıcı partiküllerin bulunduğu çamurumsu yapıdaki bir karışımın düşük genlik-yüksek frekansta çalışan bir takım tarafından parça yüzeyine doğru aşındırma yapacak şekilde yüksek hızda çarptırılma işlemidir.

Seramik, cam ve karbür gibi kırılğan ve gevrek parçalarda, paslanmaz çelik, titanyum malzemedен üretilmiş parçalarda kullanılabilirler.

2.4.6.2. Su jeti ile işleme

Aşındırma işlemi, yüksek basınç ve hıza sahip suyun parça yüzeyine yönlendirilmesiyle gerçekleşir.

Daha çok tahta, plastik, kauçuk, deri gibi düşük mukavemete sahip parçalar için kullanılırlar.

2.4.6.3. Aşındırıcı su jeti ile işleme

Su jetinin ile işlemenin, metallerde kullanılabilmesi için su içerisine Al_2O_3 , SiO_2 gibi aşındırıcı partiküllerin eklenmesiyle kullanılmasıdır. Özellikle sıcaklık dayanımı olan parçaların işlenmesinde kullanılabilirler

2.4.6.4. Aşındırıcı jet ile işleme

Prencip olarak aşındırıcı su jeti ile işlemeye benzemektedir. Ancak su yerine içerisinde aşındırıcılar bulunan yüksek basınç ve hıza sahip hava, nitrojen veya CO₂ gazı kullanılır.

Seramik, cam gibi kesimi zor olan parçalarda ve yüksek sıcaklık dayanımı bulunmayan parçalarda kullanılabilirler.

2.4.7. Elektrokimyasal işleme

Elektrokimyasal işlemede, takım ucu ve işlenecek parça bir elektrolit içindeki elektrotlar olarak düşünülebilir. Katot olarak değerlendirilen takım ucu üzerinden verilen doğru akımın elektrolit sıvı yardımıyla anot kutup olarak değerlendirilen iş parçası üzerinden iyonlaştırmayla malzeme kaldırması işlemidir.

Bu işlemde elektrik enerjisi ve kimyasal enerji talaş kaldırmak için birlikte kullanılırlar.

Havacılıktaki türbin bıçakları gibi kompleks boşluklar içeren yüksek mukavemetteki parçalarda kullanılmaktadırlar.

2.4.8. Isıl işleme

Isıl işleme yöntemi parçanın istenen bölgesinden lokal olarak çok yüksek sıcaklıklara bağlı füzyon veya buharlaşma yöntemleriyle talaş kaldırılmasıdır.

2.4.8.1. Elektro erozyonla işleme

Parça yüzeyinden talaş kaldırılması için gereken yüksek lokal sıcaklıkların elektrik arklarınınca oluşturulmasına dayanır. Talaş kaldırılacak malzemenin iletken olması gerekmektedir. Aşındırılacak parça ve elektrot takım, yalıtkan bir sıvı içerisinde daldırılır. Elektrotta yeterli gerilim oluştuğunda bir kıvılcım oluşur ve bu kıvılcım yalıtkan sıvı

yardımla parçadan çok küçük miktarlarda malzeme kopartır. Geleneksel olmayan yöntemlerin içinde en yaygın olarak kullanılanlardan biridir.

Başta havacılık olmak üzere birçok sektördeki parçalarda özellikle küçük ve dar boyutta delik, oyuk, yarık açmakta kullanılırlar. Ayrıca sert malzemelerde ve açılı boşaltma gereken yerlerde de kullanılırlar.

Bu işlemin özelleşmiş bir versiyonu olan tel erozyonda takım olarak çeşitli çaplarda teller kullanılmaktadır.

2.4.8.2. Elektron ışınlarıyla işleme

Bu işlemde yüksek hıza sahip elektronlar yüzeyde ilgili yere yoğunlaştırılır. Elektronların yoğunlaşmasına bağlı olarak yüzeyde sırasıyla ısı artışı, erime ve buharlaşmaya bağlı olarak aşındırma gerçekleştirilir.

Her tür malzemede, mikro işleme ve çok yüksek çap derinlik oranları için uygun bir işlemdir.

2.4.8.3. Lazer ile işleme

Bir kaynaktan çıkan lazer ışınının parça yüzeyinde malzeme kaldırılacak bölgeye yönlendirilmesi işlemidir. Lazerin temas ettiği bölgede lokal olarak çok yüksek sıcaklıklar oluşur. Yüksek sıcaklıktan kaynaklanan erime ve buharlaşmaya bağlı olarak yüzey aşındırılır.

Hemen hemen her türlü metallerde, cam ve seramiklerde, ahşapta ve plastikte delme, kazıma, kanal açma-işleme, dilme gibi işlemler için kullanılır. Genellikle sac veya kalınlığı az olan parçalarda uygulanır.

2.4.8.4. Plazma ark ile işleme

Prensip olarak lazer ve elektron işlemeye benzerdir. Metalin işlenmesi, parça yüzeyine yoğunlaştırılmış plazma ile gerçekleşir.

Titanyum, paslanmaz çelik gibi malzemelerin kaynağında, sac, plaka malzemelerde kesme, delme işlemlerinde, denizaltı kaynaklarında kullanılabilirler.

Silindirik parlatma ve bilyalı parlatma işlemleri, talaş kaldırmayan yüzey bitirme işlemlerine örnektir. Bu işlemlerde yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırarak değil yüzeyin yapısı değiştirilerek elde edilmektedir. Bu işlemlerdeki temel yöntem, yüzeye bastırılan küçük bilyalar veya silindirlerin yüzeydeki pürüzlülükleri plastik deformasyonla ezerek parçanın yüzeyinden merkezine doğru itirmesine dayanmaktadır. Bu metot sayesinde hem parçada yüzey pürüzlülüğü iyileştirilmekte, hem de plastik deformasyondan kaynaklanan kompresif gerilime bağlı olarak yüzeyin sertliği arttırılmaktadır.

2.5. Yüzey Sertliği ve Önemi

Yüzey sertliği, literatürde yüzeyin çentik, delme, abrazyon, adezyon, erozyon, darbe, kazınma, çizilme ve benzeri etkilerin yol açtığı plastik deformasyona karşı direncin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Yüzey sertliği parçanın çalıştığı ortama bağlı olarak gereken derecelerde olmazsa yüzey bu etkilere maruz kalır ve zayıflar. Sonuç olarak çatlak başlangıcına ve parça ömrünün azalmasına yol açar. Bu sebeple başta havacılık olmak üzere birçok endüstride kullanılan parçalar için kritik bir yüzey parametresi olup, çalışma koşullarına bağlı olarak belli bir değere sahip olması beklenir. Yüzey sertliği yüksek olan parçaların aşınma dirençleri yüksektir. Dolayısıyla daha zor aşınmaktadırlar.

Yüzey sertliği malzemenin ayırt edici, temel bir özelliği olmayıp, süneklik, elastik katılık, yoğrulabilirlik, tokluk, viskozite gibi parametrelere bağlıdır. Çeşitli işlemlerle bir malzemenin yüzeyi sertleştirilebilir.

Sertlikler üç grupta incelenmektedir:

2.5.1. Çizinti sertliği

Bir malzemenin başka bir malzeme tarafından çizilmesi veya başka bir malzemeyi çizmesine karşı oluşan direncin ölçüsüdür.

Ölçüm için Mohs ölçeği kullanılır. Genellikle mineralojide kullanılır.

2.5.2. Shore sertliği

Dinamik sertlik olarak da bilinir. Plastik veya esnek malzemelerin sertliğini ölçmekte kullanılırlar. Ölçümde Leeb ve Bennett ölçekleri kullanılır.

2.5.3. Girinti sertliği

Malzeme yüzeylerinin, sivri bir parçanın kompresif etkisine bağlı oluşan deformasyona karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Mühendislik ve metalürjide en sık kullanılan sertlik ölçme yöntemidir. Rockwell, Brinell, Shore, Vickers gibi ölçekleri vardır. Bu ölçekler birbirlerinden batıcı uç yapısı, yükleme kuvveti gibi parametrelerle ayrılırlar. Ölçekler arasındaki dönüşüm cetvelleri sayesinde bir ölçekte ölçülen değer, diğer ölçeğe çevrilebilmektedir.

2.6. Havacılık Endüstrisinde Yüzey Pürüzlülüğünün ve Sertliğinin Önemi

Yüzey pürüzlülüğü, otomotiv, denizcilik, endüstri, tıp gibi birçok alanda olduğu gibi havacılık sektöründe de çok büyük öneme sahiptir. Gaz türbinli motorlarda kullanılan türbin paleleri, rotor ve stator parçalarında yüzey pürüzlülüğünün azaltılmasının yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı ve malzeme aşınması üzerinde iyileştirici etkileri bulunmaktadır (Anonim, 2012). Havacılıkta kullanılan rulmanlar, yüksek hız ve yüksek yük gibi çok zorlu, diğer sektörlerde karşılaşılmayan koşullara maruz kalmaktadırlar. Özellikle yükün rulman bilezik yüzeyine verimli şekilde dağılması önemli bir isterdir. Ayrıca rulman topları ve bilezikleri arasında temastan dolayı meydana gelen sürtünmeyi azaltmak ve sürtünmeye

bağlı oluşan ıstıyı ortamdandı uzaklaştırmak için yağlama yapılması gerekmektedir. Yağın rulman yüzeyine gerektiği gibi tutunması yağlamanın verimi açısından önemlidir. Bu gibi sebeplerden dolayı rulmanların belli bir yüzey pürüzlülük değeri altında olması gerekmektedir.

Havacılık motorlarındaki yüksek basınçlı hidrolik sistemlerle yakıt enjeksiyon sistemlerinde basınç miktarı çok önemli bir parametredir. Özellikle yakıt enjektörlerinde ateşleme, tutuşma ve yanma işlemlerinin gerçekleştirilmesi için yakıtın yanma odası içerisine yüksek basınçla püskürtülmesi gerekmektedir. Gereklili olan bu yüksek basıncın enjektör içinden geçerken azalmaması ve fonksiyonunu yerine getirebilmesi için yüzey pürüzlülüğünün oldukça düşük olması istenmektedir.

Bunların yanında yine o-ring yuva kanalları ve flanş yüzeyleri, parçalar arası sızdırmazlığın sağlandığı bölgelerdir. Bu bölgelerde, parçalar arasından yakıt, yağ ve hava gibi akışkan geçişlerinin engellenmesi beklenmektedir. O-ringlerin yuvaları, sızdırmazlığı sağlamak için belli bir tolerans ve pürüzlülükte olmalıdır. Yine flanşların yüzeyleri, sızdırmayı sağlamak için birbirlerine mümkün olduğunca mükemmel yakın şekilde oturmalıdır. Bu da düşük yüzey pürüzlülük değerleriyle mümkündür.

Yüzey pürüzlülüğünün türbin performansı ve verimi üzerinde de etkisi bulunmaktadır. Bir roket motorundaki yüksek basınç turbo yakıt pompasının yüzey pürüzlülüğünün 10,16 μm 'den 0,76 μm 'ye düşürülmesi, verimin %2,5 artmasına sebep olmuştur (Bai vd., 2014).

Yüzeyin pürüzlülük gibi diğeri bir önemli parametre de sertliktir. Yüzey sertliği, düşük yüzey pürüzlülüğü ile birlikte yüzeyin aşınma ve korozyon direncini artırır, yüzeye mukavemet kazandırır. Havacılık endüstrisinde birçok parçanın yüzeyi, aşınma direnci ve mukavemeti arttırmak için çeşitli sertleştirme işlemlerine tabi tutulmaktadır.

2.6.1. Havacılık endüstrisinde delik pürüzlülüğünün ve sertliğinin önemi

Delik delme işlemi, parçalara uygulanan malzeme eksiltici işlemlerin %40 ile %60'ını oluşturmaktadır olup diğeri endüstrilerde olduğu gibi havacılık endüstrisinde de önemli

bir yere sahiptir (Shokrani vd., 2016). Şekil 2.3'te bir havacılık motorunun yanma odasındaki delikleri gözükmemektedir.



Şekil 2.3. Bir Jet Motoru Yanma Odası Parçası (Anonim, 2016)

Delik pürüzlülüğünün parçaların yorulma, korozyon direnci, sürünme ömrü gibi özellikler üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu özelliklerin dışında sürtünme, aşınma, ısı transferi, ışık yansıtma, yağlama özelliği, elektrik iletkenliği gibi özellikler üzerinde de etkisinin olduğu bilinmektedir. Deliklerin yüzey pürüzlülüğü, parçaların çeşitli şekillerde üzerine yüklenen fonksiyonları yerine getirebilmeleri için önemlidir.

Örneğin havacılıkta kullanılan pistonlu motorlardaki en önemli ve zorlayıcı tribolojik fenomen piston ve silindirler arasında gerçekleşmektedir. Eğer silindir çap pürüzlülüğü istenen hassasiyette olmazsa çalışma esnasında pistonla silindir sürtebilir ve sonuçta birbirlerine kaynayabilirler. Silindirin pürüzlülük değerinin, pistonla arasında bir yağ film tabakası oluşmasına imkan verecek mertebelerde olması gerekmektedir.

Havacılık endüstrisindeki parçalar, yüksek hızlara bağlı olarak sürekli olarak titreşim ve şok yüklerine maruz kalmaktadırlar. Kayıtlara ve tarihsel bilgilere bakıldığında yorulma, %55'lik bir oranla servisteki havacılık parçalarının bozulmalarında birinci etmen olarak kayda geçmiştir (Sun vd., 2016). Diğer çeşitli endüstrilerde olduğu gibi havacılık parçalarının bağlanması da en sık başvurulan montaj biçimi cıvata bağlantılarıdır. Cıvatayla bağlantı yapılabilmesi için parçalara delik açılması gerekmektedir. Bir uçağın sadece gövdesindeki bağlantı deliklerinin sayısı binleri bulabilmektedir. Havacılık parçalarındaki deliklerin etraflarında, parçaların akma dayanımı altında tekrarlı çevrimsel yüke maruz kalmasına bağlı yüksek çevrim yorulması (HCF) sebebiyle stres konsantrasyonları oluşabilmektedir. Bu stres konsantrasyonları, yorulma çatlaklarının ilerlemesine sebep olabilecekleri için parçaların iyi performans göstermeleri ve havacılık endüstrisi için çok önemli bir parametre olan güvenilirlik açısından kritiktir. Deliklerin pürüzlülük değeri arttıkça, çatlak oluşumu ve ilerlemesine sebep olabilecek stres konsantrasyonlarının oluşma ihtimali artmaktadır. Bu sebeple bağlantı parçalarındaki deliklerde düşük pürüzlülük önem taşımaktadır.

Pürüzlülüğün önem kazandığı diğer bir alan da içerisinde yakıt, yağ ve hava gibi akışkanların geçtiği boru, tüp, hortum ve jet gibi parçalardaki deliklerdir. Boru, tüp ve hortum gibi parçalar yakıt, yağ ve hava gibi akışkanların transferlerinde kullanılmaktadırlar.

Örneğin havacılık motorlarında yağ, depolandığı tanktan, rulman ve dişli gibi yağ gerektiren bölgelerdeki yağ jetlerine pompalanmaktadır. Yağlamanın verimli yapılabilmesi için yağın ilgili bölgelere belli bir basınçla püskürtülmesi gerekmektedir. Boru, tüp, hortum ve jetlerin iç pürüzlülüğü yüksek olduğu takdirde, pompadan belli bir basınçla çıkan akışkanın basıncı giderek düşer ve istenen basınçla püskürtülmeyebilir. Ayrıca iç pürüzlülüğün yüksekliği, içinden geçen akışkanda sıcaklık artışına da sebep olmaktadır. Bu da özellikle sıcak bölgelere ulaşan akışkanlarda sorun teşkil edebilmektedir.

Türbin bölgesindeki rulmanlar için kullanılan yağlar oldukça sıcak bir bölgede çalışmakta olup, iyi bir soğutma sağlanmazsa belirtilen maksimum sıcaklık mertebesine gelmesi işten bile değildir. Bu zorlu çevresel koşullara ek olarak yağın transfer esnasında pürüzlülük sebebiyle ekstra ısınması istenmeyecek bir durumdur. Yakıt hatları için de yağlama hatlarına benzer bir durum söz konusudur. Gaz türbinli motorlarda yakıt, yakıt

pompası yardımıyla yakıt deposundan yanma odası içindeki yakıt enjektörlerine ulaştırılır. Ateşleme, tutuşma ve yanma işlemlerinin gerçekleşebilmesi için yakıtın yanma odası içerisine yüksek basınçla püskürtülmesi gerekmektedir. Gerekli olan bu yüksek basıncın yakıt hatlarından ve enjektör içinden geçerken azalmaması ve fonksiyonunu yerine getirebilmesi için yüzey pürüzlülüğünün oldukça düşük olması istenmektedir.

Delik pürüzlülüğün önemli olduğu diğer bir yer de o-ring yuva kanallarıdır. Parçalar arası sızdırmazlığın sağlandığı bu bölgelerde yakıt, yağ ve hava gibi akışkan geçişlerinin engellenmesi beklenmektedir. Bağlantı flanşlarının arayüzleri, yağ-yakıt jetleri ve kapakçıkları, yağ-yakıt transfer boruları, o-ringlerin sık kullanıldığı bölgelerdir. O-ringlerin yuvaları, sızdırmazlığı en iyi şekilde sağlamak için belli bir tolerans ve pürüzlülükte olmalıdır.

Diğer tüm sektörlerde olduğu gibi, havacılık sektöründe de rulmanlar mekanik sistemlerin en önemli unsurlarındandır. Motor ve aktarma organları gibi içerisinde dönen aksamlar olan tüm bölgelerde, dönen parçalarla sabit parçalar arasındaki mekanik bağlantı rulmanlar tarafından sağlanmaktadır. Rulman gibi sabit ve döner aksamlar arasında köprü vazifesi gören parçaların yuvalarına çok iyi oturması gerekmektedir. Aksi durumda sistemde bir balanssızlık veya oryantasyon bozukluğu oluşabilir. Bunun gibi oluşabilecek balanssızlıklar, sistemin hızıyla da birleştiğinde parçaların ciddi titreşim yüklerine maruz kalmalarına sebep olabilir. Bu durum özellikle çok yüksek hızlarda çalışması istenebilen gaz türbinli motorlar için daha büyük bir tehlike oluşturabilmektedir. Bazı gaz türbinli motorlarda gaz jeneratör (çekirdek motor) shaft hızı çok yüksek değerlere çıkabilmektedir. Rulmanda meydana gelen bir balanssızlık, bu hızlarla birleştiğinde sistemde çok büyük titreşim kuvvetleri meydana getirebilir. Bu da parçaların HCF'e maruz kalıp ömürlerinde ciddi azalmalara sebep olabilmektedir. Bu sebeple havacılık rulman ve rulman yuva çaplarının hassas tolerans yanında düşük pürüzlülük değerlerinde üretilmesi gerekmektedir.

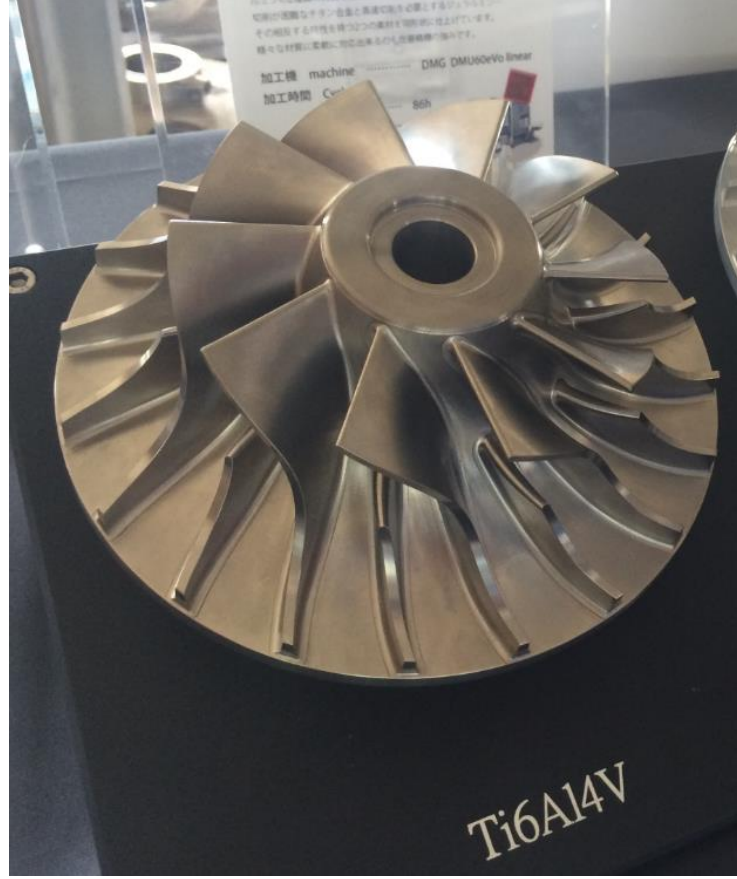
Havacılıkta delik pürüzlülüğünün yanında sertliğinin de önemi büyüktür. Daha önceden de değinildiği üzere, özellikle düşük yüzey pürüzlülüğü ile birlikte yüzey sertliği yüzeyin aşınma direncini artırır. Bu da yüzeyin yorulma ömrünü arttıran bir etmendir. Bu sebeple havacılıktaki delik uygulamalarında da, yüzeyin yorulma ömrünü arttırmak için sertleştirme işlemleri yapılmaktadır. Özellikle dinamik yük gelen delik veya çaplarda yüzey

aşınma oranları yüksektir. Buna örnek olabilecek en önemli uygulama rulmanlardır. Özellikle havacılığın zor çalışma koşulları düşünüldüğünde, yüksek hızların da etkisiyle rulman yuvaları zorlayıcı dinamik yüklere maruz kalmaktadırlar. Bu yüzden rulman yuvalarında, rulman geçme çaplarına çeşitli sertleştirme işlemleri uygulanabilmektedir. Bunlar soğuk şekillendirme veya kaplama şeklinde olabilmektedir. Sertliğe bağlı aşınma direncinin artmasının istendiği bir diğer uygulama alanı da havacılıktaki pistonlu motorlardır. Motor silindir yüzeyleri, içerisindeki pistonların hareketine bağlı olarak aşınmaya maruz kalmaktadırlar. O yüzden bu yüzeylerin sertleştirilmesi ve aşınma dirençlerinin artırılması önem kazanmaktadır.

Delik yüzey pürüzlülüğü ve sertliği, yukarıda belirtilen örneklerle de anlaşılacağı üzere havacılıkta büyük bir öneme sahiptir. Delik pürüzlülüğünün mümkün mertebe düşük, sertliğinin ise yüksek olması beklenir. Bu tez kapsamında havacılıkta deliklere uygulanan esnek honlama işlemi ile bu işleme yukarıda önemleri bahsedilen pürüzlülük, sertlik ve buna bağlı aşınma direnci yönlerinden alternatif olabilecek silindirik parlatma işlemi karşılaştırılacaktır.

2.7. Titanyum Malzemenin Havacılık Endüstrisindeki Önemi

Ti6Al4V, en geniş kapsamlı kullanılan titanyum alaşımıdır. Ana bileşen titanyumun yanında alüminyum ve vanadyum da içerir. Alfa ve beta olmak üzere iki fazlı bir alaşımdır. Alüminyum alfa stabilizör, vanadyum da beta stabilizördür. Korozyon direnci ve kaynaklanabilirliği iyidir. Ancak tüm bu özelliklerinin yanında bir özelliği bu alaşımın başta havacılık ve uzay olmak üzere diğer endüstrilerde de tercih edilmesinin en önemli sebebidir. Bu özellik, alaşımın yoğunluk başına düşen mukavemetinin yüksek olmasıdır. Ti6Al4V, oda sıcaklığında yaklaşık olarak 4430 kg/m^3 yoğunluğa ve 880 MPa akma mukavemetine sahiptir (Anonim, 2018). Bu değerler, yaklaşık akma değeri 1000 MPa ve yoğunluğu da yaklaşık olarak 8000 kg/m^3 bir çelikle bile karşılaştırıldığında mukavemet/yoğunluk oranı titanyumda daha iyidir. Bu sayede Ti6Al4V kullanılarak üretilen parçalar hem hafif, hem de iyi mukavemet özelliklerine sahip olmaktadır. Bu nedenle havacılık motorlarında kompresör çarkları, ön yapı, hava alığı ve diğer havacılık parçalarında sıcaklığın çok yüksek olmadığı ancak mukavemet gerektiren yerlerde, ağırlık etkisi de düşünülerek çelik yerine Ti6Al4V tercih edilmektedir. Şekil 2.4 ve 2.5'te Ti6Al4V üretilen bazı parçalar gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Ti6Al4V Alaşımından Üretilmiş Bir Kompresör Çarkı (Anonim, 2018)



Şekil 2.5. Ti6Al4V Alaşımından Üretilmiş Bir Kompresör Çarkı (Anonim, 2018)

3. ESNEK HONLAMA VE SİLİNDİRİK PARLATMA

3.1. Esnek Honlama

Esnek honlama işlemi, adı üzerinden de anlaşılacağı üzere honlama işleminin bir varyasyonudur. Honlama işleminde olduğu gibi, silindirik parçaların iç ve dış yüzeylerinde kullanılmaktadırlar. Birçok son işlemle elde edilemeyen yüzey pürüzlülük değerleri esnek honlama işlemiyle elde edilebilmektedir. Şekil 3.1’de çeşitli honlama takımları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çeşitli Esnek Honlama Takımları (Anonim, 2018)

Prinsip olarak klasik honlama işlemine benzese de ondan en büyük farkı işlem takımının esnek, bükülebilen, yumuşak bir kesme hareketine sahip aşındırıcı toplara sahip olmasıdır. Şekil 3.2’de gösterildiği üzere honlama takımının sahip olduğu her bir aşındırıcı top, birbirinden bağımsız esner ve bu sayede takım kendi kendini eksene getirerek merkezler. Bu da aşınmayı otomatik olarak azaltan bir etmendir.



Şekil 3.2. Esnek Honlama Aşındırıcı Topları (Anonim, 2018)

Aşınmasının az olması esnek honlamayı düşük sıcaklıklı bir işlem yapmaktadır. İşlemin düşük sıcaklıklı bir ortamda gerçekleşmesi sebebiyle metal yapısında yüksek dayanımlı bir yüzey oluşmaktadır. Esnek honlamanın uygulandığı yüzeyler optik olarak pürüzsüz bir yapıda olurken, metalürjik olarak da parçalı, amorf veya yırtıklardan arınmıştır. Tüm bunlar, takım ucundaki esnek aşındırıcı toprakların rahatça hareket edip dalgalanabildiği düşük basınçlarda oluşturulabilir. Esnek honlama ile de klasik honlamada olduğu gibi, yağ partiküllerin tutunup yağlama veriminin artmasını sağlayan çapraz dokulu yüzeyler elde edilmektedir (Anonim, 2018).

Esnek honlamayla klasik honlama aşağıdaki gibi karşılaştırılabilir:

- Klasik honlamada rijit taşlar kullanılır ve yüzeye baskı daha fazladır. Buna bağlı olarak talaş kaldırma miktarı daha fazla olmaktadır. Bu sebeple klasik honlama daha çok başlangıç yüzey işlemi, çap ve form düzeltme ve bir yüzey işlemine göre ağır talaş kaldırma gerektiren işlemlerde kullanılırlar. Esnek honlamada

ise aşındırmada kullanılan topraklar esnektir ve yüzeyde daha az baskı uygulayarak çalışır. Bu sebeple çok daha az miktarlarda talaş kaldırır. Esnek honlama pürüzlülük giderme için idealdir.

- Klasik honlamada aşındırıcı taşların sayısı genellikle bir düzineyi geçmez. Bu nedenle yüzeyde oluşan çapraz doku her bölgede eşit biçimde oluşturulamaz. Bunun yapılabilmesi için operatörün işlem sırasında parametreler üzerinde değişiklik yapması gerekebilir. Esnek honlamada ise aşındırıcı taşlar takım üzerine 360° dağılmıştır. Bu sebeple parça yüzeyi boyunca, operatörün müdahalesi olmaksızın tekdüze bir yapı oluşturabilir.
- Klasik honlama işleminde aşındırıcı taşlar rijittir ve yüzeylerde daha büyük basınç değerleriyle çalışırlar. Bu yüzden kullanımı için deneyimli bir operatör, özel kurulum ve ekipmanlar gerekir. Esnek honlama işleminde ise aşındırıcı toprakların esnek olması sayesinde takım kendi kendini merkezleyip hizalar ve tekdüze bir kesme işlemi sağlanır. Bu kullanıcı dostu yapısıyla deneyimli operatör, özel takım ve kurulum gerektirmez.
- Klasik honlamada takımlar görece büyük basınçlarda çalıştıklarından açığa çıkan ısı miktarı yüksektir. Büyük basınçta çalışmaya bağlı olarak takım aşınma hızı da yüksektir. Ayrıca klasik honlamada taşlardan herhangi biri aşınırsa o taşın değiştirilmesi gerekmektedir. Esnek honlamada ise çalışma basıncı klasik honlamaya göre daha düşüktür. Bu da çalışma sıcaklığını ve aşınmayı düşüren bir etmendir. Ayrıca yapısından dolayı esnek honlama taşları pratikte kırılmaz olarak kabul edilmektedir.

Esnek honlama işleminde, doğru aşındırıcı ve işlem parametreleriyle aşağıda belirtilen uygulamalar yapılabilir:

- Çapak temizleme: Birbirinin içine açılan deliklerin kesişim noktalarındaki çapaklarının temizlenmesinde, delik giriş ve çıkışlarında oluşan çapakların alınmasında, mikro çapak giderilmesinde, kesişen kanalların, kama kanal köşelerinin, o-ring yuvalarının temizlenmesi ve çapaklarının alınmasında, delme, tornalama, taşlama, honlama ve lepleme gibi işlemlerden sonra çapak temizlemede kullanılırlar.

- Yüzey işleme, süperfiniş, pürüzlülük düzeltme: 80 HRC sertliğe kadar olan malzemelerde uygun aşındırıcı seçimi ile R_a 0,06 μm 'ye kadar yüzey pürüzlülük değerleri elde edilebilmektedir (Anonim, 2018).
- Köşe yuvarlama: Rayba, torna, matkap ve taşlama gibi işlemlerden sonra keskin köşelerin yuvarlatılmasında kullanılırlar.
- Temizleme ve kaplama çıkartma: Delik yüzeyine uygulanan aşındırıcı tarzdaki özel işlemlerden sonra yüzeyde oluşabilecek pasların çıkartılmasında veya kaplama sökme gibi uygulamalarda kullanılabilirler.

Esnek honlama işleminin uygulama ve bazı genel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Esnek honlama, klasik el matkaplarında, CNC tezgâhlarında veya honlama tezgâhlarında rahatlıkla uygulanabilir.
- Esnek honlama işlemi yapılırken, ortamdan oluşan ısıyı, kaldırılan talaşı uzaklaştırmak ve takımın direk yüke maruz kalmasını önlemek amacıyla mutlaka kesme veya honlama sıvısı kullanılmalıdır. Sıvı kullanılmadığında takım dayanımı ciddi oranda düşmektedir.
- Esnek honlama takımı her zaman bir miktar basınçla ile çalışır. Bu sebeple de takım çapı, işlemin uygulanacağı çaptan her zaman bir miktar büyüktür.
- Takım ömrü, malzeme, soğutma verimi, aşındırıcı boyutu, parça uygulama yüzeyi, işlem süresi gibi faktörlere bağlı olarak birkaç yüz veya bin parçanın üzerinde olabilmektedir. Yüksek hız ve uzun uygulama sürelerinde takım hızla aşınacaktır. Takım ömrü açısından uygulamanın olabildiğince çabuk bitmesi önerilir. Ayrıca manuel uygulamalarda yüksek devirler önerilmemektedir.
- Uygulamada kullanılacak doğru devir için Çizelge 3.1'de verilen çap-devir tablosu kullanılabilir. Tabloya bakıldığında çapa göre devirler 60 ile 1200 devir/dakika aralığında verilmiştir. Çap küçüldükçe önerilen hızlar artmaktadır. Ancak bu tablo öneri amaçlı olup, devirler uygulamaya göre değişiklik gösterebilmektedir.

Çizelge 3.1. Delik Çaplarına Göre Dönme Hızı Tablosu (Anonim, 2010)

Esnek Honlama Takım Çapı (mm)	Delik Çapı (mm)	Dönme Hızı (Devir / Dakika)
4 – 12,7	4 – 12,7	1200- 800
12,7 – 50,8	12,7 – 51	900 - 700
50,8 – 101,6	51 – 101	800 - 600
101,6 – 203,2	101 – 203	600 - 400
203,2 – 304,8	203 – 305	500 - 300
304,8 – 457,2	305 – 452	350 - 80
482,6 – 914,4	483 – 914	120 - 60

- Esnek honlama işleminde değişik uygulamalar için kullanılan 9 farklı aşındırıcı tipi ve 11 farklı aşındırıcı boyutu Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 3.2'de grit boyutuna karşılık gelen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Ancak çizelgede verilen bu değerler sadece bir ön bilgi verme amacı taşıyıp, malzemenin doğası, sertliği, yağlama, işlem süresi, ön işlem pürüzlülük değeri vs. gibi çok çeşitli faktörlerin yüzey pürüzlülüğünde etkileri olabilmektedir.

Tutucu Rengi Aşındırıcı Tipi	Aşındırıcı	Malzeme	Grit - Kum / Uç Rengi												
			20	40	60	80	120	180	240	320	400	600	800		
SC Boya Yok	Silikon Karbür	Çelik, paslanmaz çelik, döküm	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
AO	Alüminyum Oksit	Alüminyum, bronz, prinç ve yumuşak metaller	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Z25	Zirkonyum 25% Alüminyum 75%	Düşük karbon çelikleri, paslanmaz, döküm. Zirkonyum alüminyum, Z-Grain, Silikon Karbürden uzun takım ömrü istenen durumlara uygundur	/	/	●	●	●	●	●	●	/	/	/	/	/
Z49	Zirkonyum 40% Alüminyum 60%		/	/	/	●	●	●	●	●	/	/	/	/	/
BC	Boron Karbür	Orta yüksek karbon çelikleri, 50Hrc ısıtım çelikleri, titanyum, inconel ve monel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
WC50	Tungsten Karbür 50% Silikon Karbür 50%	Yüksek karbon çelikleri ve egzotik uzay çağı alaşımları	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
WC100	Tungsten Karbür 100%		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
LA	Levigated Alüminyum	Birçok malzeme için son parlatma	● Extra hassas (ince) tek tip(-#1000)												
CD	Elmas	Karbür, seramik, sert takım çeliği ve ısıtım çelikleri. 70-80 Hrc üzeri malzemeler	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Şekil 3.3 Aşındırıcı Tipleri ve Boyutları (Anonim, 2018)

Çizelge 3.2. Grit Boyutuna Göre Pürüzlülük Değerleri (Anonim, 2010)

Grit-Kum Boyutu	Pürüzlülük Değeri (Ra)
800	0,05 – 0,2 μm
600	0,2 – 0,3 μm
400	0,3 – 0,6 μm
320	0,5 – 0,7 μm
240	0,6 – 0,8 μm
180	0,7 – 0,10 μm
120	0,9 – 1,4 μm
80	1,2 – 1,6 μm
60	1,5 – 2 μm
40	1,7 – 3,2 μm
20	3,2 – 6,3 μm

3.2. Silindirik Parlatma

Silindirik parlatma işlemi, torna, freze, taşlama gibi ön işlem görmüş, 45 HRC sertliğe kadar olan tüm metallere pürüzsüzlük ve mukavemet kazandırmakta kullanılan, 0,02 μm 'ye kadar yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilebildiği ekonomik, hızlı ve pratik bir işlemdir (Anonim, 2018). Şekil 3.4'te bir iç yüzeyin parlatma öncesi ve sonrası durumu gösterilmiştir.



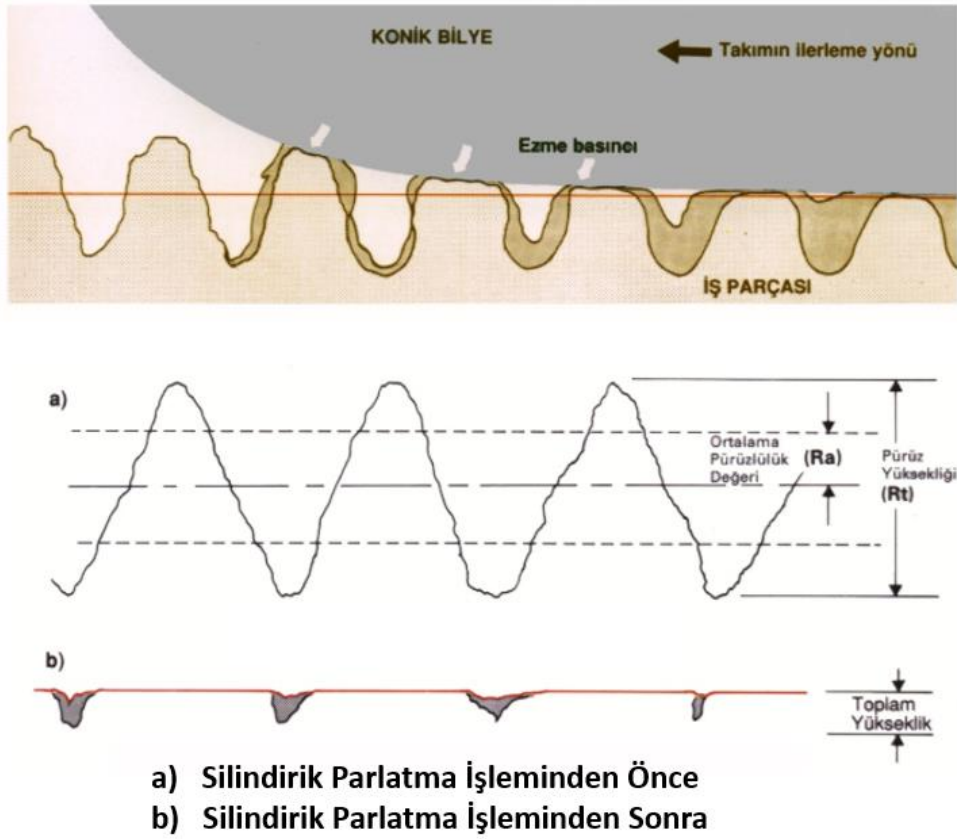
Şekil 3.4. Bir İç Yüzeyin Silindirik Parlatma Öncesi ve Sonrası Görünümü (Anonim, 2018)

Silindirik parlatma işleminde, takım üzerine belli bir sayıda eşit olarak yerleştirilmiş silindirler, parça yüzeyinde belli bir basınçla gezdirilir. Silindirik parlatmanın temelinde, yüzeyde belirli bir yolu takip eden yuvarlanma elamanının, kendisine uygulanan kuvveti yüzeye aktarması yatmaktadır. Şekil 3.5’te bir silindirik parlatma takımı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Silindirik Parlatma Takımı (Anonim, 2018)

Genel itibariyle daha önceden bahsedilen talaşlı yüzey pürüzlülük işlemleriyle benzerlik göstermektedir. Ancak daha önceden değinilen işlemlerden iki temel özelliğiyle ayrılmaktadır. Bunlardan ilki parçadan talaş kaldırmayla ilgilidir. Daha önceden belirtilen talaşlı yüzey pürüzlülük işlemlerinde yüzey iyileştirilmesi, yüzey üzerinde bulunan mikron mertebelerindeki çıkıntı ve yükseltelerin talaş kaldırılarak traşlanmasıyla elde edilir. Silindirik parlatma işleminde ise talaş kaldırma yoktur. Bu işlemde, takım ucundaki silindirlerin parça yüzeyine baskısıyla yüzeye temas sağlanır. Hareket sırasında yuvarlanma elamanları ile metal yüzeyi arasında temas alanları çok küçük olduğundan, bu yüzeylerde bilyeli yataklar ve rulmanlarda olduğu gibi Hertz tipi yüzey basınçları oluşmaktadır. Bu basınçtan kaynaklanan ezme işlemi ile birlikte parça yüzeyinde çıkıntılar yüzeye doğru ezilirken, aynı anda çukurların da dışarı çıkması sağlanmaktadır. Böylece yüzey yapısı, talaş kaldırmaksızın düzeltilmektedir. Şekil 3.6’da silindirik parlatma işleminin çalışma prensibi gösterilmiştir.

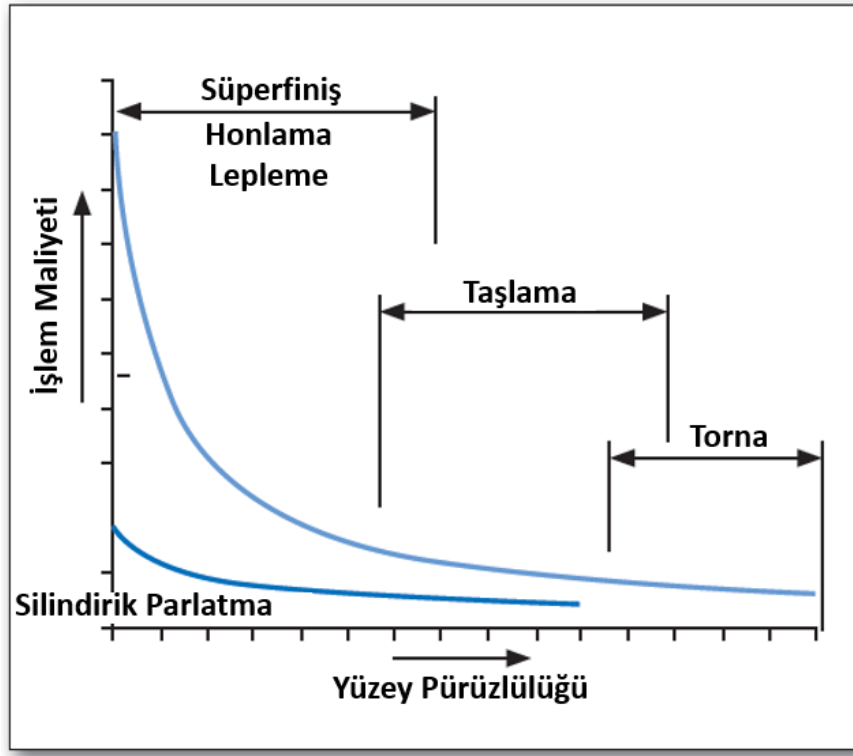


Şekil 3.6. Silindirik Parlatma İşlemi Çalışma Prensipleri (Anonim, 2018)

Bir diğer fark ise yüzey sertliğidir. Ezerek parlatma işleminde yüzeydeki pürüzler ezilerek giderilmektedir. Kuvvete bağlı ezilme esnasında metal yüzeyinde akma sınırı geçilir ve plastik deformasyon oluşur. Plastik deformasyona bağlı olarak yüzeyde mikro mertebelerde dislokasyonlar oluşur. Bu dislokasyonlar ise yüzeyde kompresif gerilme oluşturur. Kompresif gerilme oluşumuna bağlı olarak yüzeyde sertleşme meydana gelmektedir. Sertliğin artmasına bağlı olarak ise yüzeyin aşınma direnci, korozyon direnci ve yorulma ömrü artmaktadır. Yorulma ömründe %300'e varan artışlar sağlanabilmektedir (Anonim, 2018). Hryniewicz ve Rokosz (2005), silindirik parlatma işlemi uygulanan bir parçadaki korozyon direncinin uygulanmayan bir parçaya göre 17 kata kadar arttığını belirtmiştir. Diğer talaşlı pürüzlülük işlemlerinde plastik deformasyon olmadığından böyle etkiler görülmemektedir.

Bunlar dışında silindirik parlatmanın diğer avantajları ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- İstenilen ölçü ve toleranslar daha kolay yakalanabilir.
- Hassas torna, taşlama, raybalama, honlama, süperfiniş ve benzeri görece maliyetli yüksek kalite pürüzlülük işlemlerinin yerine kullanılabilir. Ezerek parlatma işlemi bu işlemlerin yerine kullanıldığında maliyette %50'ye varan kazançlar sağlanabilmektedir (Anonim, 2018). Özellikle 10 μm 'den düşük R_z değeri gerektiren yüzeylerde diğer pürüzlülük işlemleri yerine kullanıldığında teknolojik ve ekonomik avantajları üst düzeydedir (Anonim, 2018). Bu kazancın en büyük sebebi silindirik parlatma kullanıldığında diğer pahalı yan işlemlerin ortadan kalkmasıdır. Ayrıca silindirik parlatma işlemi, diğer yan işlemlere gerek duymadığından sadece tek bir kurulumda yapılabilmektedir. Parçayı bir tezgâhtan başka bir tezgâha götürmeye gerek kalmamaktadır. Bu da maliyeti azaltan bir unsurdur. Şekil 3.7'de silindirik parlatma işlemiyle diğer bazı yüzey bitirme işlemleri pürüzlülük ve maliyet bakımından karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.7. Silindirik Parlatma İşleminin Diğer Bazı İşlemlerle Karşılaştırılması (Anonim, 2018)

- İşlem tek geçişte bitirilebildiği için süresi oldukça kısadır. Zamandan tasarruf sağlar. Diğer işlemlerin süreleri için dakikalardan bahsedilirken, ezerek parlatmada işlem süreleri saniyeler mertebesinde. İşlem süresi 1,5 saniyeye kadar inebilmektedir (Donaldson, 2017).
- Tüm üniversal ve CNC tezgahlarda kullanılabilirler.
- Malzeme kaldırmayan bir işlem olduğundan işlem sırasında talaş, talaş tozu ve artıkları oluşmaz, çevre kirliliği oluşturmaz. Parça israfının önüne geçilir. Ayrıca işlem süresinin kısa olmasına bağlı olarak daha az enerjiye ihtiyaç duyulur. Bu da doğal kaynakların daha az kullanılması demektir. Bu gibi sebeplerden ötürü çevre dostu bir işlem olarak nitelendirilir.
- Yağlama ve soğutma ihtiyacı düşüktür.
- Gürültüsüz bir işlemdir.
- Takımlar oldukça dayanıklı olup, aşınmaya bağlı ölçü değişiklikleri olmaksızın uzun süre kullanılabilirler. Ayrıca yedek parça sarfiyatı çok düşüktür.

Silindirik parlatma işleminde; takım dönme hızı, takım besleme hızı, takım baskı kuvveti ve paso sayısı, parça yüzey pürüzlülük ve sertlik değerleri üzerinde en etkili dört parametre olarak kabul edilmektedir.

Takım çapına bağlı dönme ve besleme hızları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Çizelgede verilen değerler sadece öneri amaçlıdır. En uygun değerler sadece uygulamayla belirlenebilmektedir (Anonim, 2018).

Çizelge 3.3. Takım Dönme ve Besleme Hızlarının Takım Çapına Göre Değişimi (Anonim, 2018)

Takım Çapı (mm)	Takım Dönme Hızı (Devir/Dakika)	Takım Besleme Hızı (mm/devir)
5 - 10	1020 - 4300	0,25 - 0,50
10 - 15	610 - 3100	0,45 - 0,90
15 - 20	500 - 1800	0,75 - 0,90
20 - 25	380 - 1500	0,8 - 1,4
25 - 30	300 - 1000	1,2 - 1,7
30 - 35	275 - 900	1,6 - 2,0
35 - 40	235 - 825	1,9 - 2,4
40 - 45	215 - 700	2,1 - 2,6
45 - 50	190 - 610	2,8 - 3,2

Çizelge 3.4. Takım Dönme ve Besleme Hızlarının Takım Çapına Göre Değişimi (Anonim, 2018) (devam)

Takım Çapı (mm)	Takım Dönme Hızı (Devir/Dakika)	Takım Besleme Hızı (mm/devir)
50 - 55	170 - 540	3,4 - 3,9
55 - 60	160 - 510	3,8 - 4,2
60 - 65	150 - 460	4,2 - 4,5
65 - 70	140 - 435	2,2 - 2,4
70 - 75	125 - 400	2,5 - 2,6
75 - 90	110 - 380	2,5 - 2,3
90 - 100	95 - 325	3,2 - 3,9
100 - 115	85 - 285	3,9 - 4,6
115 - 130	75 - 225	4,5 - 5,2

Takım baskı kuvveti veya ezme derinliği, uygulanacak malzemenin sünekliğine, sertliğine ve elde edilmek istenen son sertlik değerine göre değişmekte, en uygun değerler ancak ön denemelerle bulunabilmektedir. Paso sayısı için de önerilen bir değer yoktur. Uygulamanın gereksinimlerine göre değişmekte olup, yine optimum sonuç ancak ön denemelerle bulunabilmektedir.

Silindirik parlatma işlemi, başta otomotiv olmak üzere hidrolik-pnömatik sistemler, tıp, yapı-inşaat, havacılık ve uzay gibi birçok sektörde kullanılabilmektedir (Anonim, 2018). Bazı uygulama alanları aşağıda belirtilmiştir (Anonim, 2018):

- Valf yatakları
- Fren silindirleri
- Valf gövdeleri
- Motor statorları
- Amortisörler
- Pnömatik silindirler
- Dişliler
- Rulman yatakları
- Karbüratörler
- Kardan milleri

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

4.1. Esnek Honlama

Literatürde esnek honlamayla ilgili akademik karşılığı olan doküman sayısı yok denecek kadar azdır. Konuyla ilgili sadece bir adet döküman bulunmuştur. Bunun dışındaki dökümanlar genellikle tedarikçi veya üretici firma katalog ve bilgileridir. Pereira vd. (2018) esnek honlamanın işlem parametreleri olan dönme hızı, besleme hızı ve strok sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Bu işlem yapılırken 800 grit silisyum karbür takım kullanılmıştır. Araştırma sonucuna göre, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin strok sayısı olduğu belirtilmiştir.

4.2. Silindirik Parlatma

Silindirik parlatma işlemiyle ilgili literatürdeki makale-araştırmaların neredeyse tamamı, takım dönme hızı, takım besleme hızı, ezme derinliği-takım baskı kuvveti ve paso sayısı gibi en önemli işlem parametrelerinin, değişik malzemeler üzerinde yüzey pürüzlülüğüne ve yüzey sertliğine etkileri ve bunların optimize edilmeleriyle ilgilidir. Ayrıca parlatma işleminin yüzey sertliğini arttırmasına bağlı olarak aşınma direncini arttırmasına da değinilmektedir.

Hassan ve Al-Dhifi (1999) pirinç malzeme üzerine uygulanan bilyalı parlatma işleminin takım besleme hızı, takım dönme hızı, takım baskı kuvveti ve paso sayısı gibi parametrelerinin aşınma direncine etkisini araştırmıştır. Araştırma sonucunda pirinç malzemenin yüzey sertliğindeki artışa bağlı olarak aşınma direncinin arttığı görülmüştür.

Babu vd. (2008) düşük karbonlu çelik üzerinde silindirik parlatma işleminde takım dönme hızının yüzey pürüzlülüğü ve sertliği üzerine etkilerini araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre takım hızı arttığında yüzeyde meydana gelen deformasyon artmaktadır. Buna bağlı olarak, optimum bir noktaya kadar pürüzlülük düşmekte ve sertlik artmaktadır. Optimum noktanın geçilmesiyle pürüzlülük artmakta, sertlik ise azalmaya başlamaktadır.

Omar vd. (2008) Ti6Al4V malzeme üzerine uygulana silindirik parlatma işleminin yüzey pürüzlülüğü ve sertliğine etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonuçlarına aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Sertlik ve pürüzlülük yönünden yüzeyde iyileşme sağlanmıştır.
- Takım dönme hızı, besleme hızı ve ezme kuvveti arttıkça yüzey sertliğinde artış görülmüştür.
- Ezme derinliği arttıkça yüzeydeki ezme kuvveti ve buna bağlı olarak da yüzey sertliği artmaktadır.
- Malzemenin düşük işleme kabiliyetinden dolayı yüzeyde parlak, ayna tarzı bir yapı elde edilememiştir.

Akkurt (2011) AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye uygulanan silindirik parlatma işleminin mikro sertlik, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik ve silindiriklik açısından matkap, torna, rayba, honlama gibi diğer işlemlerle karşılaştırmıştır. Deney sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- En iyi dairesellik ve en yüksek mikrosertlik silindirik parlatmada elde edilmiştir.
- Matkap ve tornada yüzeydeki yüksek miktarda plastik deformasyon oluşmakta bu da yüzeyi bozmaktadır.
- Honlama ve silindirik parlatmanın pürüzlülük değerleri oldukça yakın olmasına rağmen silindirik parlatmada yüzey daha tekdüzedir.
- Yüzey karakteri ve mekanik özellikleri açısından optimum sonuçlar silindirik parlatma ile alınabilmektedir.

Kamble ve Jadhav (2012) EN 8 malzemesinde silindirik parlatma uygulamış, pürüzlülük ve sertlik bakımından sonuçları irdelemiştir. Buna göre;

- Takım besleme hızı arttıkça pürüzlülük düşmüştür. Yine maksimum yüzey sertliği de düşük besleme hızlarında gerçekleşmiştir.
- Takım dönme hızı optimum bir noktaya kadar arttığında pürüzlülük düşmekte, sonrasında ise artmaktadır. Yüzey sertliği ise takım dönme hızıyla bir noktaya kadar düşmekte sonrasında ise artmaktadır.

- Hem pürüzlülük hem de sertlik için optimum paso sayısı 1 olup sayı arttıkça pürüzlülük artmaktadır, sertlik ise düşmektedir.

Mahajan ve Tajane (2013) bilyalı parlatma işlemiyle ilgili malzeme, yağlayıcı, kesme takımı ve işlem parametreleri gibi birçok konuda daha önceden yapılmış çalışmaların sonuçlarını derlemiştir. Çalışma sonuçlarına göre;

- Alüminyum ve çelik, çalışmalarda en çok tercih edilen malzemelerdir.
- Takım dönme hızı, besleme hızı ve ezme kuvvetinin etkileri; bilya malzemesi, dönme sayısı ve işlem yönüne göre daha çok araştırılmıştır.
- SAE yağları en çok kullanılan yağlayıcılardır. Sırasıyla dizel, kerosen ve çözünür yağ kullanımı da yüzey sertliğini etkilemektedir.
- Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği araştırılan en popüler sonuçlardır.

Akkurt vd. (2013) delme, torna, rayba, taşlama, honlama ve ezerek parlatma işlemlerini bakır parça üzerine açılan delikler üzerinden yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği parametreleri üzerinden karşılaştırmıştır. Deney sonucunda tüm parametrelerde ezerek parlatma işleminin daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ezerek parlatma işlemi ise honlama işlemi takip etmektedir.

Revankar vd. (2014) Ti6Al4V malzeme üzerine uygulanan bilyalı parlatma işlemi uygulamışlardır. Takım hızı, besleme hızı, ezme kuvveti ve paso sayısı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine etkilerini ele almışlardır. Çalışmalar sonucunda takım dönme ve besleme hızlarının minimum pürüzlülük için, ezme kuvveti ve paso sayısının da maksimum yüzey sertliği için en etkili parametreler oldukları görülmüştür. Orta mertebe takım dönme hızı, düşük besleme hızı ve ezme kuvveti ve 3 paso kombinasyonun pürüzlülüğü düşürdüğü görülmüştür. Bunun yanında yine orta mertebe takım dönme ve besleme hızı, daha yüksek ezme kuvveti ve daha çok paso sayısının da pürüzlülüğü düşürdüğü belirtilmiştir.

J. ve R. (2014) HCHCr çeliği üzerinde ezerek parlatma işlem parametrelerinin sertlik ve pürüzlülük üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre ezme sertliği arttıkça pürüzlülük düşmekte, sertlik artmaktadır. Takım dönme hızı arttıkça pürüzlülük artmakta, sertlik azalmaktadır. Takım besleme hızı arttıkça pürüzlülük ve sertlik artmaktadır. Paso sayısının artması sonucunda da pürüzlülük azalmakta, sertlik ise artmaktadır.

Saraswathamma vd. (2014) AL 6063 malzemedan yapılmış bir parça üzerinde silindirik parlatma işlemi uygulamış, takım dönme hızı, takım besleme hızı ve ezme derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırmıştır. Deney sonuçları aşağıda verilmiştir:

- Takım besleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.
- Takım dönme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü önce bir noktaya kadar yükselmektedir. Bunun sebebi hız düşükken yüzeydeki bozuklukların, çıkıntıların yeterince ezilememesidir. Ancak hız daha da arttıkça pürüzlülükler daha kolay ezilebilmektedir. Bu da pürüzlülüğü düşürür. Ayrıca takım, yüksek dönem hızı ve yüksek ezme derinliğiyle uygulandığında pürüzlülüğü çok daha iyi düşürebilmektedir.
- Ezme derinliği yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Ezme derinliği arttıkça, ezme kuvveti artmaktadır. Bu da yüzeydeki çıkıntıların ezilme oranını artırır ve pürüzsüzlükleri minimize eder. Ayrıca yüksek takım dönme hızı ve ezme derinliğinin aynı anda uygulanmasının yüzey pürüzlülüğünü oldukça düşürdüğü belirtilmiştir.

Borkar vd. (2014) havacılık ve uzay sanayisinde sıklıkla kullanılan Inconel 718 malzemeye silindirik parlatma işlemi uygulamış, uygulama öncesi ve sonrası için yüzey pürüzlülük ve sertlik değerlerini karşılaştırmıştır. Ayrıca takım ezme kuvveti, takım besleme hızı, takım dönme hızı ve paso sayısı parametrelerinin işleme etkisini araştırmıştır. Deney sonuçları aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Takım dönme hızı arttıkça pürüzlülük bir noktaya kadar düşmüş, sonrasında tekrar artmıştır. Sertlik ise önce azalmış, sonrasına artış göstermiştir.

- Takım besleme hızı arttıkça pürüzlülük önce artmakta sonrasında ise azalmaktadır. Yüzey sertliği ise gittikçe artmaktadır.
- Paso sayısı arttıkça pürüzlülük önce bir miktar artmakta sonrasında ise azalmaktadır. Sertlik ise önce azalmakta, sonrasında ise artmaktadır.

Patil vd. (2015) EN8 çelik malzemesi üzerinde çeşitli işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmıştır. Araştırmaya göre yüzey pürüzlülüğü,

- Ezme derinliği ve buna bağlı ezme kuvveti arttıkça belli bir noktaya kadar azalmakta, sonrasında artmaktadır.
- Takım besleme hızı arttıkça artmaktadır.
- Takım dönme hızı arttıkça optimum bir noktaya kadar düşmekte sonrasında ise tekrar artmaktadır.
- Paso sayısı arttıkça azalmaktadır.

Deshmukh ve Patil (2015) AL6061 malzemesi üzerinde ezerek parlatma işleminin çeşitli parametrelerinin yüzey sertliği üzerindeki etkilerini karşılaştırmıştır. Deney sonuçlarına göre;

- Ezme derinliği veya takım kuvveti arttıkça yüzey sertliği artmaktadır. Sertlik üzerinde en büyük etkiye sahip parametredir.
- Takım besleme hızının artmasıyla sertlik optimum bir noktaya kadar artmakta, daha sonrasında ise azalmaktadır. Ezme derinliğinden sonra sertlik üzerindeki en büyük etkiye sahip parametredir.
- Paso sayısı arttıkça yüzey sertliğinde artış gözlenmiştir.
- Takım dönme hızının ise gözle görülür şekilde ve yönde yüzey sertliğine etkisi görülememiştir.

Joshi ve Patil (2015) AL 6061 üzerinde dönme hızı, besleme hızı, ezme derinliği ve paso sayısı gibi silindirik parlatma parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deney sonuçları aşağıda sıralanmıştır:

- Yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en önemli parametre ezme derinliği olarak belirlenmiştir.

- Ezme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü düşmektedir.
- Paso sayısı belli bir noktaya kadar arttırıldığında pürüzlülüğü yükselmekte, daha da arttırıldığında ise düşmektedir.
- Takım dönme hızı arttığında önce çok büyük bir değişiklik görülmemekte, daha da arttırıldığında ise azalmaktadır.
- Takım besleme hızı arttıkça pürüzlülük önce artmakta, sonra azalmakta ve sonrasında ise tekrar artmaktadır. Pürüzlülük değeri belli bir düzene sahip değildir.

Zhang vd. (2015) 17-4 PH malzeme üzerine uygulanan bilyalı parlatma işlemi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü ve yüzey gerilimi için ikinci dereceden ampirik modeller oluşturmuşlardır. Oluşturulan ampirik modellerin deneysel sonuçlarla örtüştüğü görülmüştür.

Solanki vd. (2016) havacılık ve otomotivde sıklıkla kullanılan AL 6061 malzeme üzerinde silindirik parlatma işleminin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre;

- Yüzey pürüzlülüğünde en etkili parametre takım dönem hızıdır. Onu sırasıyla paso sayısı, ezme derinliği ve takım besleme hızı izlemektedir.
- Takım dönme hızı arttıkça pürüzlülük önce küçük bir miktar artmakta sonra ise azalmaktadır.
- Takım besleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.
- Paso sayısı belli bir noktaya kadar pürüzlülüğü arttırmakta, sonrasında ise düşürmektedir.
- Ezme miktarının artması, dalgalanmalar yaşansa da genel olarak pürüzlülüğü düşürmektedir.

Malarvizhi vd. (2016) Inconel 718 parçasına uygulanan derin delik delme işleminden sonra parçaya uygulanan ezerek parlatma işlemlerindeki eksenel girişimin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre girişim miktarının kontrol edilmesiyle yüzey pürüzlülüğü de kontrol edilebilmektedir.

Saini vd. (2017) düşük karbonlu çelik bir malzeme üzerinde silindirik parlatma işlemi uygulamış ve sonuçları aşağıdaki gibi özetlemiştir:

- Takım dönme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü optimum bir noktaya kadar düşmekte, sonrasında ise artmaktadır. Takım hız artışı benzer etkiyi yüzey sertliği için de göstermektedir.
- Takım besleme hızı arttıkça pürüzlülük, takım dönme hızında olduğu gibi belli bir noktaya kadar düşmekte sonrasında ise artış göstermektedir. Takım besleme hızındaki artış, yüzey sertliğinde artışa neden olmaktadır.

Maheshwari ve Gawande (2017) parlatma işlemleriyle ilgili yapılan birçok akademik araştırma ve makaleyi incelemiştir. Bunun sonucunda diğer araştırmacıların parlatma parametrelerinden hangilerini hangi oranda araştırdıklarını belirlemiştir. Araştırma sonuçlarına göre parlatma işlem parametrelerinden akademik olarak diğerlerine göre daha fazla araştırılanlar takım dönme hızı, takım besleme hızı ve takım baskı kuvvetidir. Bu parametrelerle ilgili daha çok araştırma yapılmasının sebebi, kolaylıkla değiştirilebilen parametreler olmasıdır. Bu parametreler, aynı düzenekte herhangi bir değişiklik yapmadan çeşitli değerler için rahatça uygulanabilmektedirler. Bunlar dışında paso sayısı, ezme derinliği ve kullanılan yağlayıcı da önemli araştırılma oranlarına sahip parametreler olarak göze çarpmaktadırlar.

Revankar vd. (2017) titanyum malzeme üzerine uygulanan bilyalı parlatma işleminin aşınma direncine etkisini araştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre baskı kuvveti, paso sayısı ve besleme hızı arttıkça aşınma hızı azalmakta, takım dönme hızı arttıkça ise artmaktadır. Ayrıca baskı kuvveti ve paso sayısı, aşınma hızını düşürmede en önemli parametreler olarak öne çıkmaktadır.

Literatür çalışmalarından da anlaşılacağı üzere, silindirik parlatma işlemi yüzey pürüzlülüğünü iyileştirme ve yüzeyde sertlik elde etmek için oldukça başarılı bir işlemdir. Araştırmalarda, parlatma işleminin uygulandığı parçalarda sertliğe bağlı olarak aşınma direncinin de arttığı belirtilmiştir. Yine araştırmalara göre silindirik parlatma işlemi çok çeşitli malzemelerde uygulanabilmektedir. Yapılan araştırma ve deneylerin büyük bir çoğunluğunda takım dönme hızı, takım besleme hızı, takım baskı kuvveti veya ezme

derinliği gibi parametrelerin yzey pürüzlülüğü ve yzey sertliğine etkileri incelenmiştir. Ancak sonuçlar incelendiğinde, aralarında bir bütünlük olmadığı, sonuçların her zaman birbiriyle örtüşmediği görülmüştür. Parametrelerin etkileriyle ilgili kesin yargılar için deney sonuçlarının incelenmesi gerekmektedir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma kapsamında, Ti6Al4V bar Havacılık Malzeme Spesifikasyonları (AMS) 4928 bar formundaki parça üzerine matkapla açılan açık deliklere esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri uygulanmış ve iki işlem yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği, aşınma dirençleri ve işlem süreleri yönlerinden karşılaştırılmıştır. Ayrıca iki işlem, tanecik yapıları bakımından da incelenmiştir.

5.2. Çalışmada Kullanılan Malzemenin Özellikleri

Deneyel çalışmalar kapsamında kullanılan 100 mm çapında ve 25 mm kalınlığında Ti6Al4V bar (AMS 4928) malzeme Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

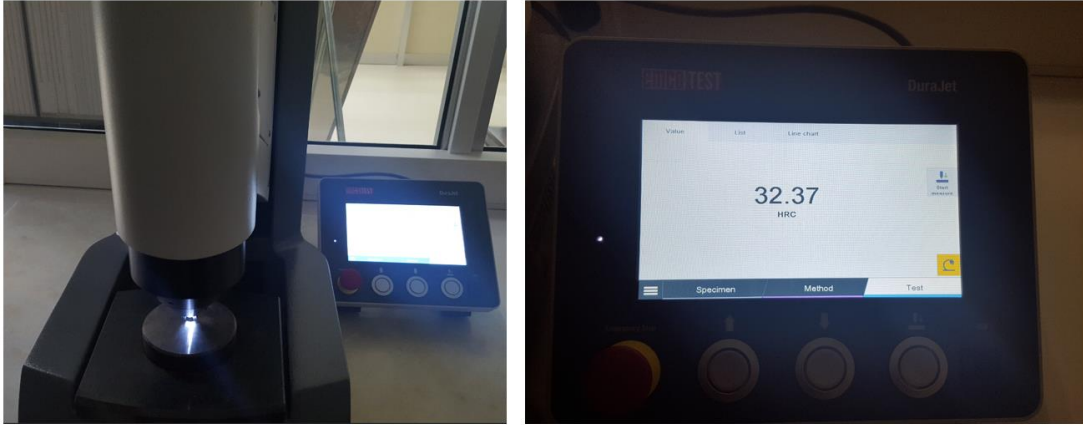


Şekil 5.1. Deneyde Kullanılan İş Parçası

Parçanın üzerinde görülen 4 adet büyük deliğin deneyle ilgisi olmayıp, deney parçası üzerine önceden işlenmiştir.

5.3. Deneyin Yapılışı

Deney kapsamında kullanılacak Ti6Al4V parçasının makro sertliği Şekil 5.2’de gösterilen EmcoTest Durajet cihazında ölçülmüş ve yaklaşık olarak 32 HRC olarak bulunmuştur. Bu değer silindirik parlatma işleminin uygulanabilmesi için (max 45 HRC) uygun bir değerdir.



Şekil 5.2. Test Parçasının Makro Sertlik Ölçümü

Daha sonra parçaya esnek honlama ve silindirik parlatma işlemlerinin uygulanacağı, üçer adet delik açılmıştır. Üçer delik açılmasının sebebi, uygun örnek sayısını oluşturmaktır.

Deney kapsamındaki delme işlemleri için kullanılan Makino KE55 CNC freze tezgahı Şekil 5.3’te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Deneyde Kullanılan Makino KE55 CNC Freze Tezgahı

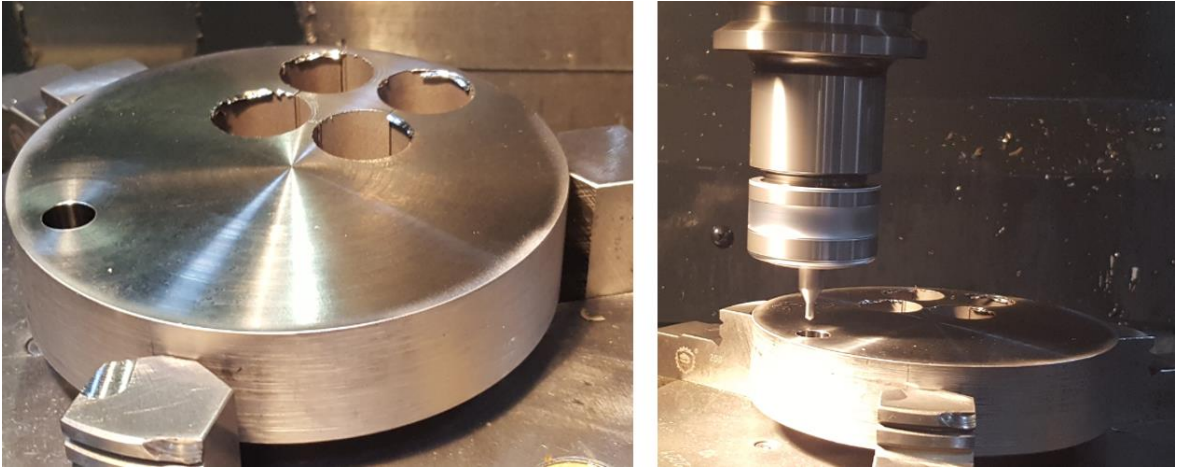
Esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri için ön işlem olarak matkapla işlem başına üçer tane olmak üzere toplamda 6 tane ön delik açılmıştır. Matkap işlemi öncesinde merkezlemeyi sağlamak adına punto delikler açılmıştır. Daha sonrasında punto deliklere matkap işlemi uygulanmıştır. Matkapla açılan deliklerin çapı 9,9 mm olup, delikler boydan boyadır (yaklaşık olarak 25 mm uzunluğunda). İşlemlerde kullanılan matkap Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Punto işlemi Şekil 5.5'te, matkap işlemi Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Matkap özellikleri ve işlem parametreleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Matkap İşlem Parametreleri

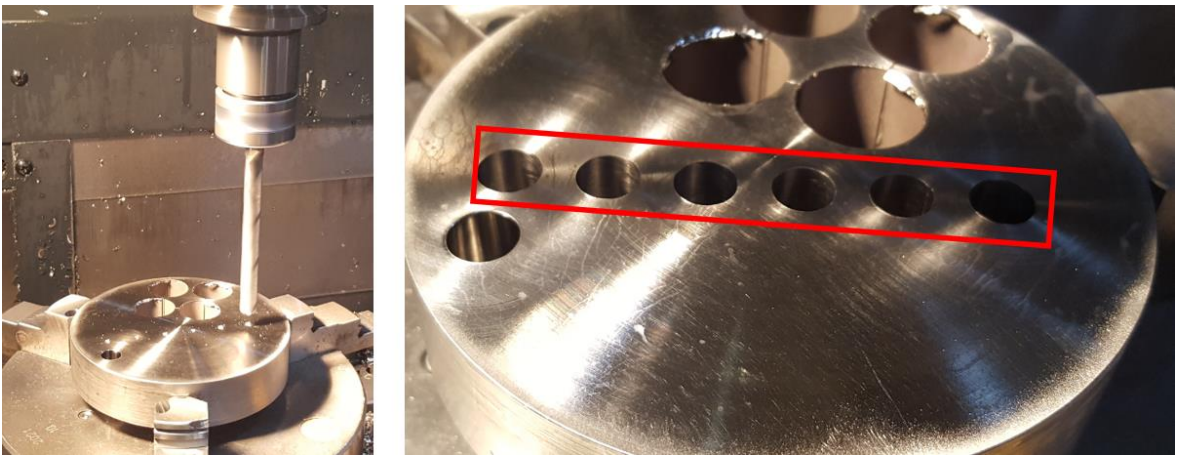
Matkap Nominal Çapı (mm)	9,900
Matkap Dönme Hızı (devir / dakika)	650
Matkap Besleme Hızı (mm / dakika)	25
Delik Derinliği (mm)	25



Şekil 5.4. Ön Delikleri Açmakta Kullanılan Matkap



Şekil 5.5. Matkap Öncesi Punto İşlemi



Şekil 5.6. Matkapla Ön Deliklerin Açılması

Matkapla ön delikler açıldıktan sonra, deliklere esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemler tüm delik boyunca olmayıp, yaklaşık olarak 15 mm derinliğe kadar uygulanmıştır.

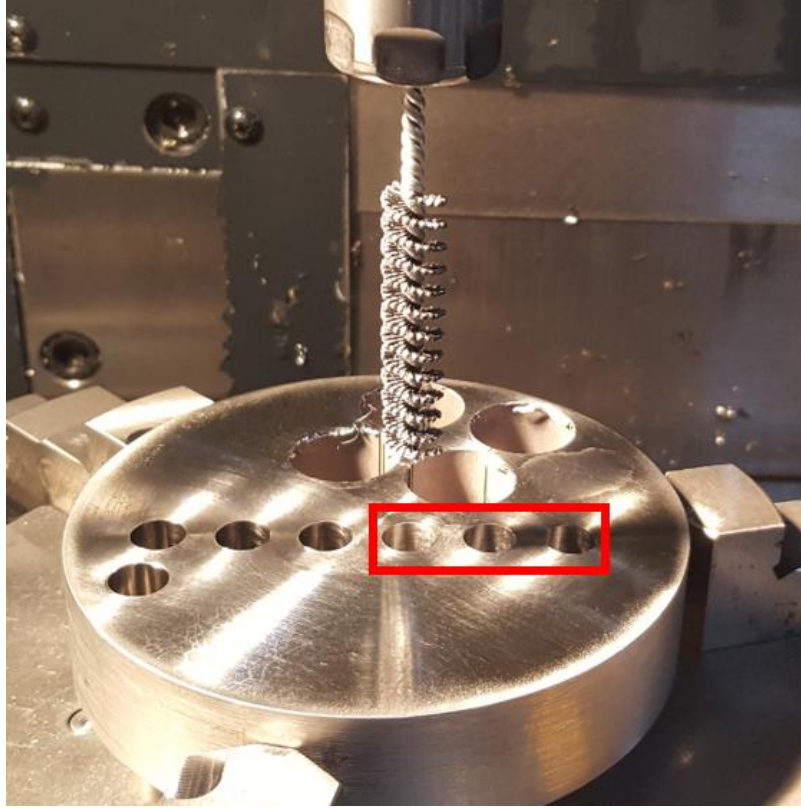
Esnek honlama işleminde kullanılan takım grit boyutu 240 olup, aşındırıcı tipi silisyum karbürdür. İşlem 3 deliğe uygulanmıştır. Takım nominal çapı 10,008 mm olup, tedarikçinin de önerdiği şekilde, matkap delik çapından (9,900 mm) bir miktar büyüktür. İşlem sırasında Flex Hone Oil honlama sıvısı kullanılmıştır. İşlemden sonra yüzeyler alkolle temizlenmiştir. Esnek honlama takımı Şekil 5.7’de, işlemin uygulandığı Şekil 5.8’de gösterilmiştir. İşlem parametreleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Esnek honlama işlemi, delik başına yaklaşık olarak 30 saniye sürmüştür.

Çizelge 5.2. Esnek Honlama İşlem Parametreleri

Takım Nominal Çapı (mm)	10,008
Takım Dönme Hızı (devir / dakika)	1000
Takım Besleme Hızı (mm / dakika)	1000
Delik Derinliği (mm)	15
Paso Sayısı, Uygulanışı	5 kez saat yönünde, 5 kez saat yönünün tersi



Şekil 5.7. Deneyde Kullanılan Esnek Honlama Takımı



Şekil 5.8. Esnek Honlama İşleminin Uygulanması

Esnek honlama işlemini takiben parçadaki diğer 3 deliğe ise silindirik (ezerek) parlatma işlemi uygulanmıştır. Kullanılan takım Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



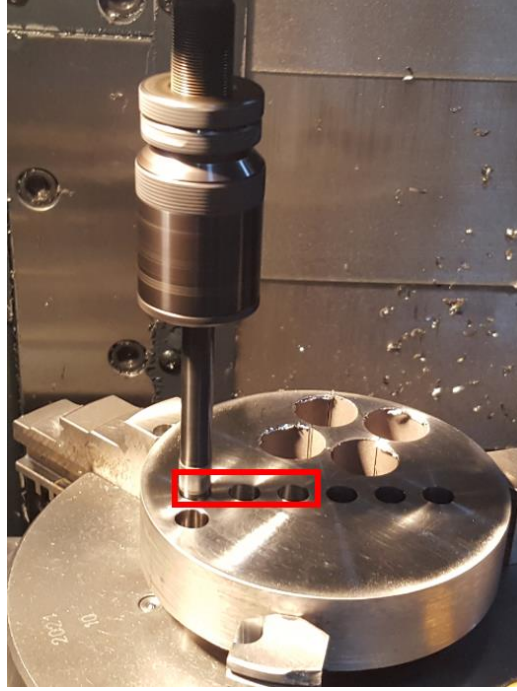
Şekil 5.9. Deneyde Kullanılan Silindirik Parlatma Takımı

Silindirik parlatma parametreleri için tedarikçi firma ve katalog bilgileri değerlendirilmiştir. Silindirik parlatma takım kataloğunda, ezme derinliği ayarının nasıl yapılacağı anlatılmaktadır. Kataloğa göre, takım önce delik içine sokulmakta, delik içindeki aşağı-yukarı hareketi zorlanıncaya kadar da çapı büyütülmektedir. Bununla takımın çap ayarı yapılmaktadır. Daha sonrasında ise takım çapı, deliğin R_z pürüzlülük değeri kadar daha büyütülmektedir. Bu da takımın ezme ayarıdır, çünkü silindirik parlatmada ezilecek bölge R_z pürüzlülük değeri kadardır. Ancak tedarikçi firma, çap ayarı yapılırken ezme silindirlerinin konik yapısına bağlı olarak, delik çapıyla sıfırlamanın tam sağlanabilmesi için takım delikten çıkarıldıktan sonra çapının 20-40 μm daha artırılması gerektiğini belirtmiştir. Düşük pürüzlülük için ezme derinliği ayarının, delik R_z değerinden ziyade denemelerle bulunması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca tedarikçi firma, takım kataloğunda da belirtildiği şekilde, takım nominal çapı olan 10 mm'ye göre dönme ve ilerleme hızı için başlangıç değerleri olarak sırasıyla 1000 devir / dakika ve 600 mm / dakika'yı önermiştir. Ancak yine firma tarafından bunların başlangıç değerleri olduğu, denemelerle daha iyi sonuçlar alınabileceği belirtilmiştir.

Tedarikçi firmadan alınan bilgiler ve parametreler ışığında, literatür bilgisi de kullanılarak bazı ön denemeler yapılmıştır. 1. denemede firma bilgileri kullanılmıştır. 2. denemede ezme miktarı ve takım dönme hızı artırılmış, takım besleme hızı düşürülmüştür. Son denemede ise dönme hızı sabit tutulmuş, ezme miktarı artırılmış, besleme hızı ise düşürülmüştür. Tüm denemelerde paso sayısı 1 olarak sabitlenmiştir. Pürüzlülük değerleri için ölçümler alınmış ve en iyi sonucun 3. denemede elde edildiği görülmüştür. Buna bağlı olarak tüm deliklere 3. deneme parametreleri uygulanmıştır. İşlemin uygulanışı Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Deneme detayları Çizelge 5.3'te verilmiştir. İşlem sırasında soğutma sıvısı olarak bor yağı kullanılmıştır. Silindirik parlatma işlemi delik başına yaklaşık olarak 3 saniye sürmüştür.

Çizelge 5.3. Silindirik Parlatma İşlemi Deneme Parametreleri

	Deneme 1	Deneme 2	Deneme 3
Takım Dönme Hızı (devir / dakika)	1000	1100	1100
Takım Besleme Hızı (mm / dakika)	600	450	165
Ezme Derinliği (μm)	20	30	46
Paso Sayısı	1	1	1
Ortalama Pürüzlülük, R_a (μm)	0,170	0,150	0,100



Şekil 5.10. Silindirik Parlatma İşleminin Uygulanması

Silindirik parlatma işlemleri de bitirildikten sonra parça ölçüm yapılabilmesi için, tel erozyon tezgahında delik eksenlerine paralel olacak şekilde Şekil 5.11'deki gibi ortasından kesilmiştir. Kesilen yüzeylerin pürüzlülükleri ölçülmüştür.



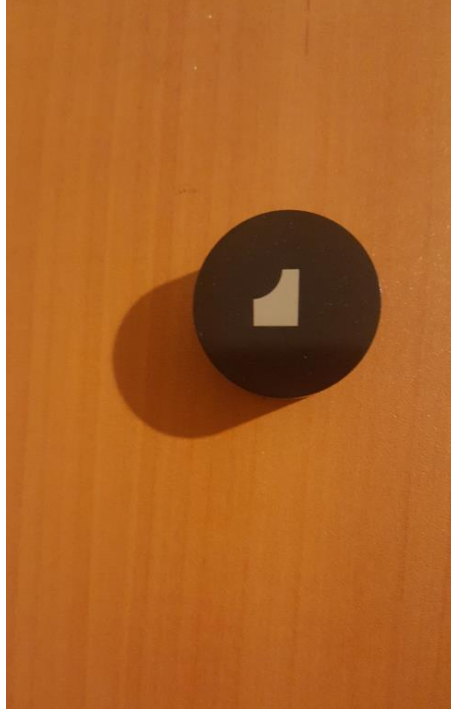
Şekil 5.11. İşlem Yapılmış Deliklerin Kesit Görüntüleri

İş parçası ikiye kesilip yüzey pürüzlülük ölçümleri alındıktan sonra sertlik ve aşınma direnci ölçümleri yapılmıştır. Bunun için matkap, esnek honlama ve silindirik parlatma için birer numune, işlem kolaylığı için yukarıdaki yarım parçalardan çeyrek daire olacak şekilde Şekil 5.12'deki gibi kesilmiştir.



Şekil 5.12. Çeyrek Daire Şeklinde Kesilmiş İş Parçası Numunesi

Çeyrek daire şeklinde kesilen 3 adet numune mikro sertlik ölçümü için Şekil 5.13'teki gibi bakalite gömülmüşlerdir. Ayrıca tanecik yapısının incelenmesi için yüzeyleri parlatılmış ve dağlanmıştır.



Şekil 5.13. Bakalite Gömülmüş Çeyrek İş Parçası

Bakalite gömülmüş numunelerin, Şekil 5.14'te gösterilen Future Tech FM-700 cihazında mikro sertlik ölçümleri alınmıştır. Ayrıca yüzeylerin tanecik yapıları Şekil 5.15'te gösterilen Nikon L150 mikroskobunda incelenmiştir.

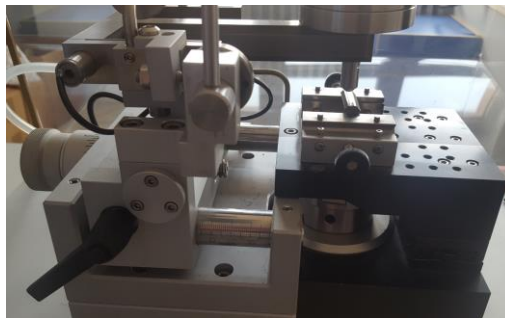


Şekil 5.14. Future Tech FM-700 Mikro Sertlik Cihazı



Şekil 5.15. Nikon L150 Mikroskobu

Parçaların aşınma dirençlerinin artmasındaki etmenlerden biri de, yüzey sertliğinin artmasıdır. Sertleşme miktarı yükseldikçe yüzeyin aşınma direncinin artması, yüzeyden aşınan malzeme miktarının da azalması beklenir. Bu sebeple, işlemlerde aşınan bölgelerin referans eğriden saptığı alanlar, aşınan malzeme miktarı olarak değerlendirilebilir ve bu alanların karşılaştırılması, yüzeylerin aşınma dirençleri hakkında bilgi verebilir. Aşınma dirençlerinin karşılaştırılması için, sertlik ölçümleri ve tanecik yapılarının incelenmesinden sonra matkap, esnek honlama ve silindirik parlatma uygulanan yüzeyler aşındırılmıştır. Deneyde, sertlik için kullanılan numunelerin diğer çeyrek eşlenikleri kullanılmıştır. Numuneler, Şekil 5.16'da gösterilen CSM Tribometer cihazında aşındırılmıştır. Aşındırılmış numune Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Aşındırılan numunelerin aşınma profilleri Şekil 5.18'de gösterilen Mitutoyo SJ-400 cihazındaki ölçümlerle çıkarılmıştır. Aşındırma deneyi ve işlem parametreleri Çizelge 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.16. CSM Tribometer Cihazı



Şekil 5.17. Aşındırılmış Numune



Şekil 5.18. Mitutoyo SJ-400 Cihazı

Çizelge 5.4. Aşındırma İşlem Parametreleri

Aşındırma Şekli	Lineer
Aşındırma Yarı Genliği (mm)	2
Maksimum Lineer Hız (cm/s)	2,5
Aşındırma Yüğü (N)	3
Toplam Aşındırma Uzunluğu (m)	30
Aşındırıcı Parça Geometrisi	Küre
Aşındırıcı Küre Malzemesi	WC
Aşındırıcı Küre Çapı (mm)	3

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Matkap, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemlerinin yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.1. Matkap, Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma İşlemlerinin Yüzey Pürüzlülükleri

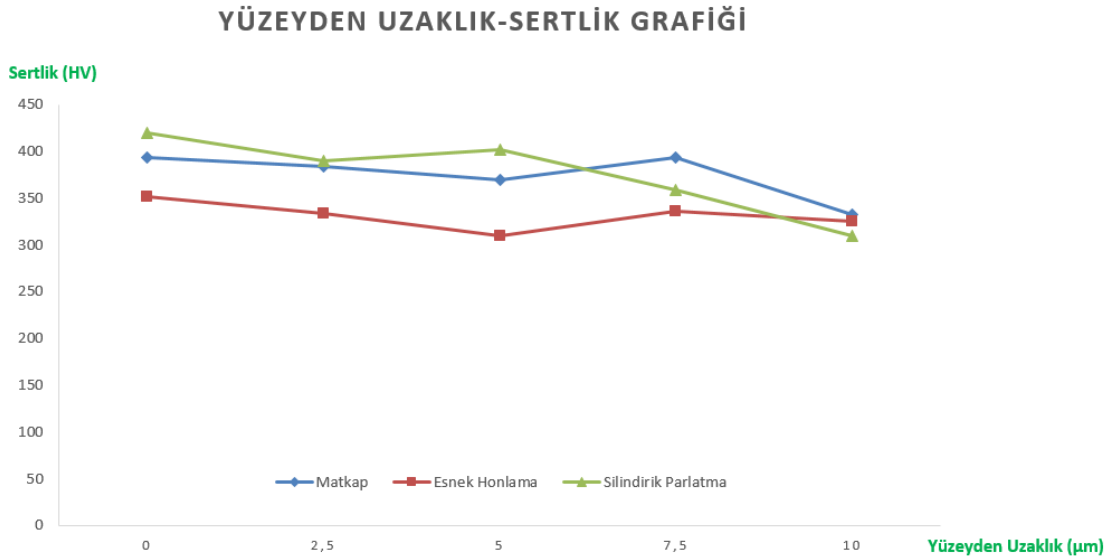
		Matkap Yüzey Pürüzlülüğü R_a (μm)	İşlem Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü R_a (μm)	İyileşme (Matkap-İşlem Sonrası)	İyileşme (Esnek Honlama-Silindirik Parlatma)
Esnek Honlama	Delik 1	0,615	0,554	% 15	%70
	Delik 2	0,556	0,538		
	Delik 3	0,829	0,599		
	Ortalama Pürüzlülük	0,667	0,564		
Silindirik Parlatma	Delik 1	0,637	0,087	% 85	
	Delik 2	0,676	0,100		
	Delik 3	0,752	0,115		
	Ortalama Pürüzlülük	0,688	0,101		

Esnek honlama ve silindirik parlatma ayrıca işlem süreleri bakımından da karşılaştırılmıştır. Esnek honlama işlemi delik başına yaklaşık olarak 30 saniye, silindirik parlatma işlemi ise delik başına yaklaşık olarak 3 saniye sürmüştür.

Matkap, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemlerinin mikro sertlik sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Numune sertliklerinin yüzeyden uzaklığa bağlı değişimleri Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Matkap, Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma Mikro Sertlik Değerleri

	Ölçüm No	Yüzeyden Uzaklık (μm)	Yük (gram-kuvvet)	Mikro Sertlik (HV)	Max Yüzde Sertlik Artışı
Matkap	1	0	50	393	%25,3
	2	2,5		384	
	3	5		369,1	
	4	7,5		393	
	5	10		332,7	
Esnek Honlama	1	0	50	350,9	%11,3
	2	2,5		333,6	
	3	5		310	
	4	7,5		335,5	
	5	10		324,6	
Silindirik Parlatma	1	0	50	420	%33,4
	2	2,5		390	
	3	5		402	
	4	7,5		358,2	
	5	10		310	

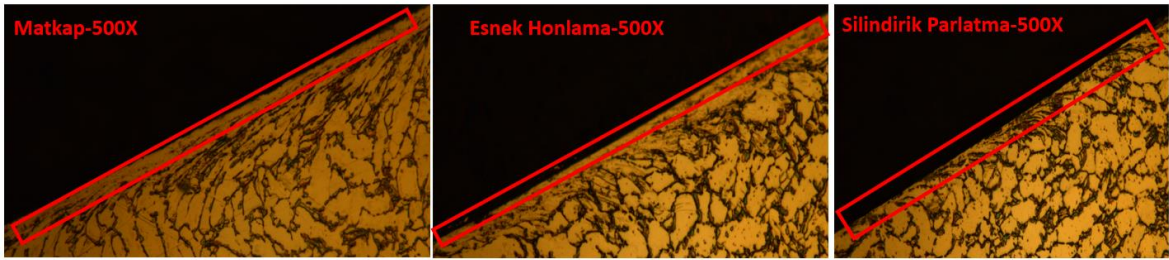


Şekil 6.1. Numune Sertliklerinin Yüzeyden Uzaklığa Bağlı Değişimi

Çizelge 6.2 ve Şekil 6.1'den de görüldüğü üzere yüzeyde en fazla sertlik (420 HV) beklendiği gibi silindirik parlatma işlemiyle sağlanmıştır. Esnek honlama işleminde ise sertlik, yüzeye en yakın ölçümde 350,9 HV olarak ölçülmüştür. Matkap işleminin de yüzey

sertliği 393 HV olarak ölçülmüştür. Matkapla delme, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri sonunda ölçülen yüzey sertlik değerlerinin ana malzemenin sertliğine göre yüksek çıkması, bu işlemlerin oluşturduğu plastik deformasyona bağlı artışlar olarak açıklanabilir. Şekil 6.1'e göre sertlik değerlerinin yüzeyden merkeze gidildikçe düşmekte ve ana malzeme sertliğine (32 HRC \approx 310 HV) yaklaşmakta oldukları anlaşılmaktadır.

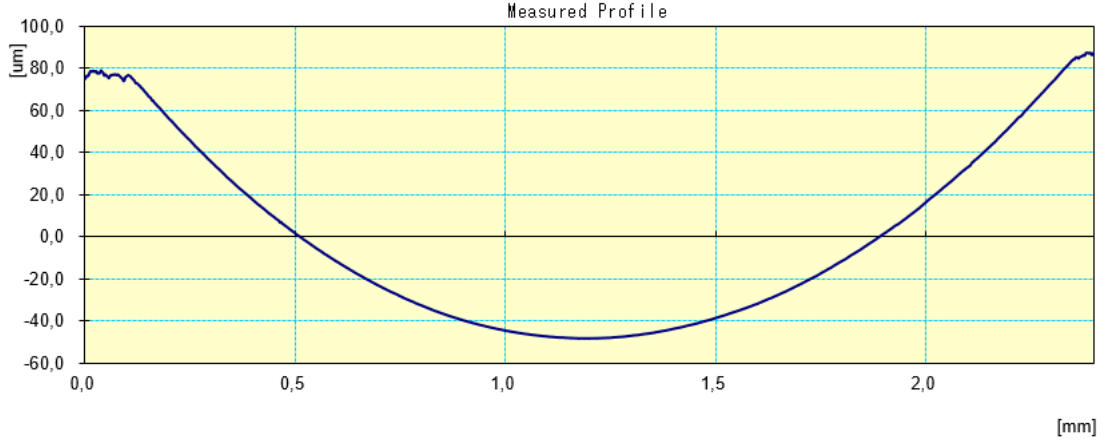
Numunelerin tanecik yapıları Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



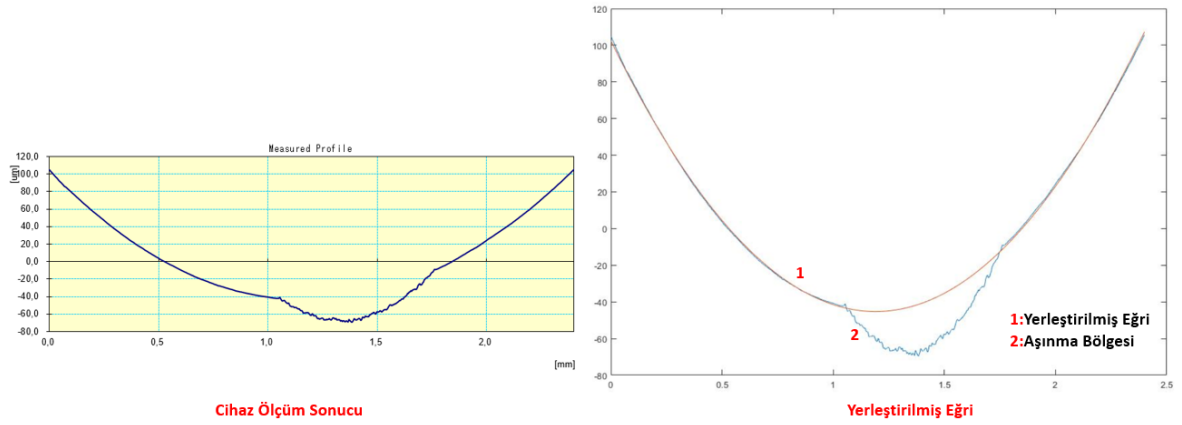
Şekil 6.2. Matkap, Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma İşlemlerinin 500X Yakınlaştırmadaki Tanecik Yapıları

Tanecik yapıları incelendiğinde, matkap ve esnek honlama işlemleri, yüzeyden talaş kaldıran işlemler oldukları için yüzeydeki tanecik yapıları kesik bir görüntüde olup iç bölgelere benzememektedir. Ancak silindirik parlatma işlemleri talaşsız bir işlemdir, yüzey pürüzlülüklerini yüzeyden merkeze doğru iterek giderir. Bu sebeple yüzey tanecik yapısı, matkap ve esnek honlamadaki gibi talaş kaldırılmadığından kesik bir görüntüde değildir. Tanecikler yüzeye doğru itildiğinden, iç bölgedekilere göre sıkıştırılmış bir yapıda görülmektedir.

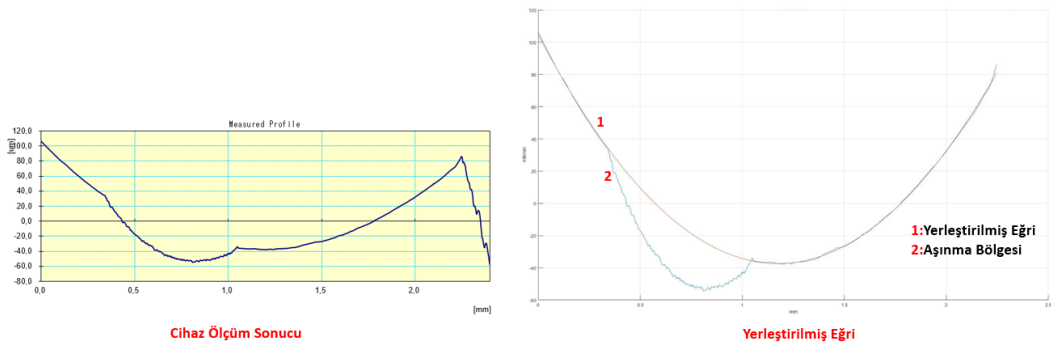
Numunelerin aşınma dirençleri ile ilgili grafikler, Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Aşındırılmamış, referans delik yüzey profili Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



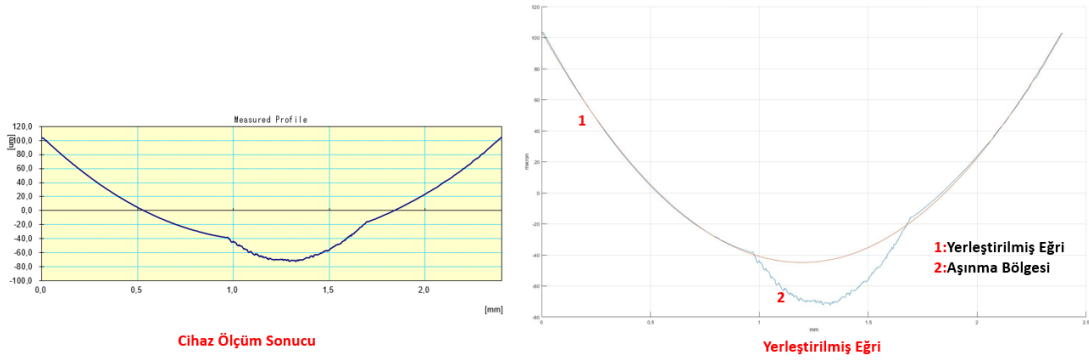
Şekil 6.3. Delik Yüzeyi Referans Profili



Şekil 6.4. Matkap Aşınma Yüzey Profili ve Yerleştirilmiş Eğri

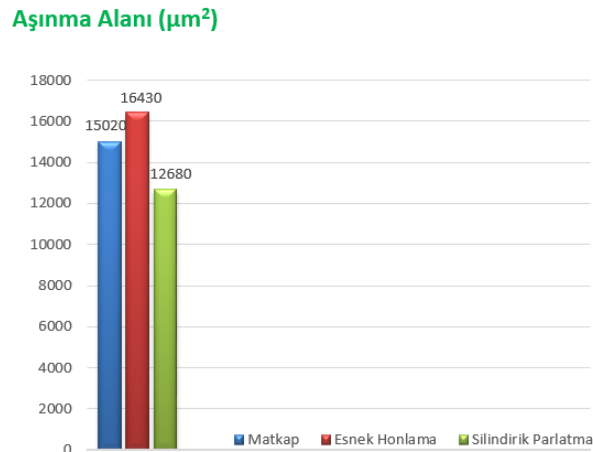


Şekil 6.5. Esnek Honlama Yüzey Profili ve Yerleştirilmiş Eğri



Şekil 6.6. Silindirik Parlatma Yüzey Profili ve Yerleştirilmiş Eğri

Üç işlem için de cihaz ölçüleriyle yüzey profilleri çıkarılmıştır. Grafikler incelendiğinde, tüm işlemlerde iş parçalarının ortaya yakın bölgelerinin aşındırmaya bağlı olarak referans profilden saptığı görülmüştür. Aşınma dirençlerinin karşılaştırılması için, numune yüzeylerinin referans profilden saptığı alanlar hesaplanmalıdır. Bu amaçla her işlem için cihazdan çıkan aşınma profiline Excel yardımıyla referans eğriler oturtulmuş ve aradaki alan farkı MATLAB yardımıyla birimkare olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.7’de gösterilen sonuçlara göre referans eğrilerinden sapma miktarları matkap uygulanan yüzeyde $15020 \mu\text{m}^2$, esnek honlama uygulanan yüzeyde $16430 \mu\text{m}^2$ ve silindirik parlatma uygulanan yüzeyde de $12680 \mu\text{m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yüzeyi en fazla sertleştiren silindirik parlatma işlemi için aşınan bölge en küçük, en az sertleştiren esnek honlama işlemi için ise en fazladır. Matkap, iki işlemin arasında yer almaktadır. Bulunan sonuçlar, Hassan ve Al-Dhifi’nin 1999 yılında pirinç malzeme üzerine uygulanan bilyalı parlatma işleminde yüzey sertliğindeki artışa bağlı olarak aşınma direncinin arttığını gösteren literatür bilgisiyle örtüşmektedir.



Şekil 6.7. Matkap, Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma Uygulanan Yüzeylerdeki Aşınma Alanları

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, havacılıkta sıklıkla kullanılan Ti6Al4V malzemeden yapılmış bir deney parçası üzerine açık delikler açılmıştır. Daha sonra bu deliklere esnek honlama ile bu işleme yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği, aşınma direnci ve işlem süresi bakımından alternatif olabilecek silindirik parlatma işlemi uygulanmıştır. Açılan 6 matkap deliğine üçer tane olmak üzere bu işlemler uygulanmıştır. Sonrasında deliklerin yüzey pürüzlülükleri, sertlikleri, aşınma dirençleri ve işlem süreleri ölçülmüştür. Esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri bu parametreler üzerinden karşılaştırılmışlardır. Literatür araştırmasından ve deney sonuçlarından elde edilen sonuç ve kazanımlar aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Literatür araştırmalarından görüldüğü üzere parlatma işlem parametrelerinden en çok takım besleme hızı, takım dönme hızı, takım baskı kuvveti ve paso sayısının yüzey pürüzlülüğüne ve sertliğine etkileriyle ilgili yapılmıştır. Çalışmaların bazılarında bu parametrelerin çeşitli malzemeler ve koşullar için optimizasyonları yapılmış, en düşük yüzey pürüzlülüğü ve/veya en yüksek yüzey sertliği veren parametreler bulunmuştur.
- Yüzey pürüzlülük değerleri her iki işlem için de deliklerin işlemsiz durumlarına göre azalmıştır. Matkapla karşılaştırıldığında, esnek honlama işleminde % 15, silindirik parlatma işleminde ise % 85'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, iki işlemin de yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için uygun işlemler olduğu görülmektedir.
- Esnek honlama ve silindirik parlatma işlemi de yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılmışlardır. Çizelge 6.1'e göre silindirik parlatma işlemiyle, esnek honlamaya göre % 70 daha iyi yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Bu sonuç, daha önceden belirtilen teoriyle örtüşmektedir. Ancak kesin sonuçlar ancak yapılan test ve denemeler sonrasında görülmektedir.
- Matkap, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri yüzey mikro sertlikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Çizelge 6.2'den de anlaşılacağı üzere en fazla yüzey sertlik artışı %33,4 ile silindirik parlatma işleminde gerçekleşmiştir. Onu %25,3 ile matkap, % 11,3 ile de esnek honlama izlemektedir. Silindirik parlatma,

literatüre de uygun olarak yüzeyde kayda değer bir sertlik artışına yol açmıştır. Matkap ve esnek honlama işlemlerindeki sertlik artışı, bu işlemlerin ön görülemeyen ve kontrol edilemeyen parametrelerine bağlanabilir. Bu işlemlerle elde edilen sertliğin, aynı parametreler kullanılsa bile bir daha elde edilememe riski yüksektir. Ayrıca matkap işlemi doğası gereği diğer ikisine göre daha kaba bir işlemdir. Bu da yüzeyde, plastik deformasyona bağlı sertleşmeye yol açmış olabilir. Doğalarında bulunan bu kontrolsüzlükten dolayı (sertlik özelinde) bu işlemler yüzey sertleştirme için kullanılmazlar.

- Matkap, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemlerinin uygulandığı yüzeylerin tanecik yapıları Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, esnek honlama ve matkap işlemleri uygulanan yüzeylerin, yüzeyden talaş kaldırılmasına bağlı olarak kesik yapıda taneciklere sahip olduğu görülmektedir. Silindirik parlatmada ise talaş kaldırılmadığından, deformasyonların yüzeye doğru ezilme şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple de tanecik yapıları, ezmeye bağlı olarak sıkışık bir görünüm kazanmışlardır.
- Matkap, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemlerinin aşınma dirençleri karşılaştırılmıştır. Literatür ve teoriye uygun olarak, en az aşınma yüzeyi en çok sertleştiren silindirik parlatma işlemi için ($12680 \mu\text{m}^2$), en çok aşınma da yüzeyi en az sertleştiren esnek honlama işlemi için ($16430 \mu\text{m}^2$) olarak hesaplanmıştır. Matkap işlemi ise aşınma direnci olarak ($15020 \mu\text{m}^2$) ortada yer almıştır.
- Esnek honlamada işlem süresi delik başına yaklaşık 30 saniye iken, silindirik parlatmada bu süre delik başına yaklaşık 3 saniye olarak ölçülmüştür. Özellikle delik sayısının çok olduğu durumlarda silindirik parlatma işleminin avantajlı olacağı anlaşılmaktadır.
- Literatür araştırmaları ve tedarikçi bilgilerine göre esnek honlama ve silindirik parlatma işlemi çok çeşitli malzemelere uygulanabilmektedir.
- Silindirik parlatma işleminde takım besleme hızı, takım dönme hızı, takım baskı kuvveti, paso sayısı gibi ana parametreler dışında yüzey pürüzlülük ve sertliğine etki eden başka parametreler de bulunmaktadır. Bu parametreler birbirleriyle lineer veya nonlineer biçimde bağlantılı olup, bu bağlantıların tahmin edilmesi veya optimizasyonu oldukça zordur.

- Silindirik parlatma, esnek honlama, torna, taşlama, lepleme ve benzer işlemler gibi talaş kaldırmadığından parça israfına sebep olmayan çevre dostu bir işlemdir.
- Havacılıkta sıklıkla kullanılan bir malzeme üzerinde, pürüzlülüğe ve sertliğe etki eden silindirik parlatma işlem parametrelerinden takım besleme hızı, takım dönme hızı, takım baskı kuvveti-ezme derinliği ve paso sayısı parametreleriyle ilgili optimizasyon yapılması, silindirik parlatılmış yüzeyin yorulma ömür hesabı, işlem parametrelerinin güç tüketimine etkisinin araştırılması gelecekte yapılabilecek çalışmalara örnek verilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akkurt, A., Kurt, A., Özdemir, A., Şeker, U., 2014, Comparison of hole surface finishing processes with roller burnishing method applied in copper materials, Gazi University Journal of Science, 27, 721–734
- Akkurt, A., 2011, Comparison of roller burnishing method with other hole surface finishing processes applied on AISI 304 austenitic stainless steel, Journal of Materials Engineering and Performance, 20, 960-968
- Aksulu, M., Ganioglu, O., Yandayan, T., 2001, Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve yüzey pürüzlülüğü parametreleri, 4. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, s.186
- Anonim, Flex-Hone esnek honlama fırçaları,
<http://www.aksan-tm.com/files/FLEXHONE.pdf>, 30.01.2018
- Anonim, Mikroler iç ezerek parlatma takımları,
<http://yamasa.com.tr/146/1/6/yamasa/uygulamaornekleri.aspx>, 20.02.2018
- Anonim, Talaşsız imalat ve soğuk şekil verme,
<http://www.yamato.com.tr/docume/tr/91/100/talassiz-imalat-soguk-sekil-verme>, 18.02.2018
- Anonim, Aero engine / airframe preparation and finishing,
https://us.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Aerospace/US_EN_Aeroengine_US_181.pdf, 03.03.2018
- Anonim, Rocket engine with a thrust of 100 kgf is assembled and ready for testing,
<http://en.spacelin.ru/news/ppervyy/>, 12.04.2016
- Anonim, Burnishing, tools and machines,
https://cogsdill.com/wp-content/uploads/2016/11/Burnishing_catalog_06-24-16.pdf, 17.03.2018
- Anonim, Tool technology for metal surface improvement,
<https://www.metalia.es/data/empresas/Iraupen/pdf/Ecoroll%20Ingles.pdf>, 18.03.2018
- Anonim, What is roller burnishing?, <https://cogsdill.com/what-is-roller-burnishing/>, 18.03.2018
- Anonim, Technical details, <http://www.brightburnishingtools.com/technicaldetails.html>, 18.03.2018
- Anonim, Yüzey pürüzlülüğü ölçümü,
<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ot/yuzey.puruzlulugu.pdf>, 05.03.2018

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Anonim, Exhibits and features, http://www.japanaerospace.jp/2016/Info/eng/Exhibitor?e=mH_lrvVgeak, 12.04.2018
- Anonim, Sciaky's Additive Manufacturing Process Drastically Reduces Lead Time & Material Waste on Titanium Parts, <http://www.sciaky.com/additive-manufacturing-titanium-parts>, 08.04.2018
- Anonim, Roller burnishing, <https://mollart.com/tooling/roller-burnishing>, 08.04.2018
- Babu, P.R., Prasad, T.S., Raju, A.V.S, Babu, A.J, 2008, Effects of internal roller burnishing on surface roughness and surface hardness of mild steel, *Journal of Scientific and Industrial Research*, 68, 29-31
- Bai, T., Liu, J., Zhang, W., Zou, Z., 2014, Effect of surface roughness on the aerodynamic performance of turbine blade cascade, *Propulsion and Power Research*, 03, 82-89
- Borkar, A.P., Kamble, P.S., Seemikeri, C.Y., 2014, Surface integrity enhancement of Inconel 718 by using roller burnishing process, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4, 2595-2598
- Deshmukh, A., Patil, R.N., 2015, Analysis and optimization of roller burnishing process on cylindrical surface micro hardness of aluminium alloy, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4, 6044-6055
- Hassan, A.M., Al-Dhifi, S.Z.S., 1999, Improvement in the wear resistance of brass components by the ball burnishing process, *Journal of Materials Processing Technology*, 96, 73-80
- Hryniewicz, T., Rokosz, K., 2005, Corrosion behaviour of C45 carbon steel after roller burnishing, *Metal* 2005
- J., J, R., S, 2014, Effect of roller burnishing process on tool steel material using cnc lathe, *International Journal of Design and Manufacturing Technology*, 5, 155-159
- Joshi, A., Patil, R.N., 2015, Optimization of roller burnishing process parameter on cylindrical surface on aluminium work pieces, *International Journal Of Engineering Sciences and Research Technology*, ISSN: 2277-9655, 638-647
- Kamble, P.S., Jadhav, V.S., 2012, Experimental study of roller burnishing process on plain carrier of planetary type gear box, *International Journal of Modern Engineering Research*, 2, 3379-3383
- Mahajan, D., Tajane, R., 2013, A review on ball burnishing process, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3, ISSN: 2250-3153

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Maheshwari, A.S., Gawande, R.R., 2017, The role of burnishing process in manufacturing industry-a state-of-the-art survey-, International Journal of Engineering Research and Development, 13, 50-60
- Malarvizhi, S., Chaudhari, A., Woon, K.S., Kumar, A.S., vd, 2016, Influence of burnishing axial interference on hole surface quality in deep hole drilling of Inconel 718, Procedia Manufacturing, 5, 1295-1307
- Patil, V.B., Mohite, R.S., Teli, B.D., Patil, N.M.Q.S.S, 2015, Analysis of effect of ball and roller burnishing processes on surface roughness on EN8 steel, International Journal of Engineering Research and Technology, 04, 311-315
- Pereira, L.C., Arencibia, R.V., Schramm, C.R., Arantes, L.J., 2018, Assessment of the effect of cutting parameters on roughness in flexible honed cylinders, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 95, 181-196
- Revankar, G.D., Shetty, R., Rao, S.S., Gaitonde, V.N., 2017, Wear resistance enhancement of titanium alloy (Ti-6Al-4V) by ball burnishing process, Journal of Materials Research and Technology, 6, 13-32
- Revankar, G.D., Shetty, R., Rao, S.S., Gaitonde, V.N., 2014, Analysis of surface roughness and hardness in ball burnishing of titanium alloy, Measurement, 58, 256-268
- Saini, D., Kapoor, M., Javalkar, C.S, 2017, Parametric analysis of mild steel specimens using roller burnishing process, International Refereed Journal of Engineering and Science, 6, 45-51
- Saraswathamma, K., Venkateswarlu, G., Reddy, V.S., 2014, Optimization of surface roughness in the roller burnishing process using response surface methodology and desirability function, International Conference on Emerging Trends in Mechanical Engineering, 1, 1-8
- Shokrani, A., Huibin, S., Dhokia, V., Newman, S.T., 2016, High speed cryogenic drilling of grade 5 eli titanium alloy, 26th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing
- Solanki,, R.G., Patel, A.K., Dhruv, R.B. Effect of burnishing process parameters on surface quality- a review, International Journal of Engineering Development and Research, 4, 560-565
- Sun, D., Lemoine, P., Keys, D., Doyle, P., Malinov, S., vd., 2016, Hole-making processes and their impacts on the microstructure and fatigue response of aircraft alloys, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94, 1719-1726

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Thamizhmaai, S., Omar, B.B., Saparudin, S., Hasan, S., 2008, Surface roughness investigation and hardness by burnishing on titanium alloy, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 28, 139-142

Wiśniewska, M., 2014, Surface roughness measurements: emerging importance of the uncertainty evaluation, *PhD Interdisciplinary Journal*, 244, http://sdpg.pg.gda.pl/pij/wp-content/blogs.dir/133/files/2014/12/01_2014_26-wisniewska.pdf, 05.02.2018

Zhang, T., Bugtai, N., Marinescu, I.D., 2015, Burnishing of aerospace alloy: A theoretical–experimental approach, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 472-478