

Ti6Al4V ALAŞIMINDA ESNEK HONLAMA VE SİLİNDİRİK PARLATMA İŞLEMLERİNİN DELİK YÜZEY ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Hakan ÖKMEN^{1*}, Ümit ER²

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Müh. Ana Bilim Dalı, Meşelik Yerleşkesi, Eskişehir
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9879-8676>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Meşelik Yerleşkesi, Eskişehir
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-7447-504X>

Anahtar Kelimeler	Öz
Ti6Al4V Delik delme Yüzey pürüzlülüğü Aşınma Delik yüzey bitirme işlemi	<i>Pek çok endüstriyel uygulamada olduğu gibi havacılık uygulamalarında da delik içi yüzey kalitesinin yüksek olması genellikle istenmektedir. Delik içi yüzey kalitesini belirleyen önemli özelliklerin başında ise yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve dayanım gelmektedir. Bu çalışmada, havacılıkta da yaygın olarak kullanılan Ti6Al4V alaşımına matkap ile delik delme işlemi sonrasında uygulanan delik yüzey bitirme işlemlerinden esnek honlama ve silindirik parlatma yöntemleri belirtilen yüzey özellikleri açısından deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonunda, delik içi yüzey pürüzlülük değerlerinde esnek honlama ile %15, silindirik parlatma yüzey bitirme işlemi ile de %85 oranında azalışlar elde edilmiştir. Delik içi yüzey sertlik değerleri incelendiğinde ise silindirik parlatma işlemli numunelerin yapılan deneylerde elde edilen en yüksek sertlik değeri olan 420 HV değerine ulaşan numuneler olduğu belirlenmiştir. Bu örneklerde, sertlik artışına bağlı olarak aşınma direncinin de arttığı tespit edilmiştir. İncelenen yüzey bitirme işlemlerinden silindirik parlatmanın, esnek honlamaya göre delik içi yüzey pürüzlülüğünü azaltmada, yüzey sertliğini arttırmada ve dolayısı ile aşınma direncini arttırmada daha başarılı olduğu için bu özellikleri isteyen endüstriyel uygulamalarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.</i>

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF FLEXIBLE HONING AND ROLLER BURNISHING PROCESSES ON HOLE SURFACE CHARACTERISTICS AT Ti6Al4V ALLOY

Keywords	Abstract
Ti6Al4V Drilling Surface roughness Wear Hole surface finishing	<i>In aviation applications, as in many industrial applications, it is generally desired to have a higher surface quality inside the hole. The surface roughness, surface hardness and strength are the features that determine the surface quality of the hole. In this study, the flexible honing and roller burnishing methods applied after the hole drilling to Ti6Al4V alloy, which is also widely used in aviation, were investigated experimentally in terms of specified surface properties. At the end of the experiments, the reduction in the surface roughness values of the hole for the flexible honing and roller burnishing surface finishing methods are about 15% and 85%, respectively. When the surface hardness values of the holes were examined, the samples with roller burnishing process was reached to 420 HV, which is the highest hardness value obtained in the experiments. In these samples, it was found that the wear resistance also increased due to the hardness increase. It has been concluded that the roller burnishing in the hole surface finishing processes examined can be used in industrial applications requiring these features, as it is more successful in reducing the surface roughness, increasing surface hardness and thus increasing wear resistance compared to flexible honing.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 06.03.2020	Submission Date : 06.03.2020
Kabul Tarihi : 12.05.2020	Accepted Date : 12.05.2020

1. Giriş

Titanyum alaşımları, yüksek ısıl dirençleri ve yoğunluk başına düşen yüksek mukavemetleri ile bilinen

malzemelerdir. Sergiledikleri bu üstün özelliklerden dolayı titanyum alaşımları, özellikle uçakların motor kompresör parçalarında ve yapısal kısımlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Zhao ve Liu, 2016).

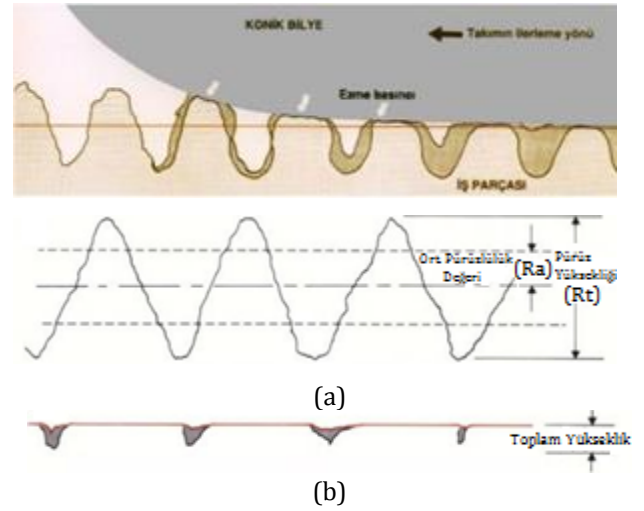
* Sorumlu yazar; e-posta : hokmen87@gmail.com

Titanyum alaşımları içinde en geniş kapsamlı kullanım alanına sahip olan Ti6Al4V alaşımı havacılık motorlarında; kompresör çarkları, ön taşıyıcı yapı, hava alığı ve diğer yapısal havacılık parçalarında sıcaklığın çok yüksek olmadığı ancak mukavemet gerektiren yerlerde, ağırlık etkisi de düşünülerek tercih edilmektedir (Ökmen, 2018). Talaşlı imalatı zor malzemeler grubunda olmalarına rağmen, hafiflikleri ile birlikte sundukları avantajlarından dolayı, titanyum alaşımları, sadece havacılık endüstrisinde değil medikal ve diğer imalat sektörlerinde de sıklıkla tercih edilmektedirler (Patil, Teli, Mohite, Patil ve Qureshi, 2015; Maheswari ve Gavande, 2017).

Delik delme işlemi, parçalara uygulanan malzeme eksiltici işlemlerin %40 ile %60'ını oluşturmaktadır olup diğer endüstrilerde olduğu gibi havacılık endüstrisinde de önemli bir yere sahiptir (Shokrani, Huibin, Dhokia ve Newman, 2016). Delik delme sonrası deliğin yüzey kalitesi, delik delme işlemi için en önemli çıktılarından birini oluşturmaktadır (Bilgiç, Er ve Ulutan, 2018). Malzemenin yüzey kalitesi, parçanın hizmet ömrünü belirlemede önemli bir faktördür. Günümüz modern endüstrisinde, parçanın fonksiyonunu uzun süre sorunsuz devam ettirebilmesi için ölçü ve geometrilerinin yüksek hassasiyetle üretilmesinin yanında birçok uygulamada yüksek yüzey kalitesi de istenmektedir. Havacılıkta bu duruma örnek olarak; gaz türbinli motorlarda türbin paleleri, rotor ve stator parçalarında yüzey pürüzlülüğünün azaltılmasının yakıt tüketimi ve egzoz gaz sıcaklığı üzerindeki iyileştirici etkisi verilebilir (Rösler Firma Kataloğu, 2020). Benzer şekilde; havacılık endüstrisinde kullanılan rulmanlarda yükün bilezik yüzeyine verimli şekilde dağılmasını sağlamada, yakıtın yanma odasına yüksek basınçla püskürtülmesi için yakıt enjeksiyon sistemlerinde ve sızdırmazlığın çok önemli olduğu o-ring yuva kanallarında ve/veya flanş yüzeylerinde düşük yüzey pürüzlülük değerleri en önemli isteklerin başında gelmektedir (Ökmen, 2018). 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 %2,1 artmasına sebep olmuştur (Boynton, Tabibzadeh ve Hudson, 1993).

İmalat süreçleri sonrasında yüzeylere/deliklere uygulanabilen çeşitli yüzey bitirme işlemleri ile ancak istenen mükemmel yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılabilmektedir. Yüzey bitirme işlemlerini de talaşlı ve talaşsız yöntemler şeklinde iki ana gruba ayırmak mümkündür. Talaşlı yüzey bitirme işlemleri (honlama, lepleme, hassas taşlama, lazer ile işleme vb.) parça yüzeyinden mikron ölçeğinde malzeme kaldırılması prensibine dayanırken, talaşsız yüzey bitirme işlemleri (silindirik parlatma, bilyalı parlatma vb.) parça yüzeyinin yapısının plastik deformasyonla değiştirilmesini esas alır. Bu son tip yüzey bitirme

işlemlerindeki (ezerek parlatma) temel yöntem, takım ucundaki silindirlerin veya bilyanın parça yüzeyine kuvvetle bastırılması neticesinde elde edilen yüzey basıncı kaynaklı ezme işlemi ile birlikte parça yüzeyindeki çıkıntılar yüzeye doğru ezilmesi, aynı anda, çukurların da dışarı çıkmasının sağlanmasıdır. Ezerek parlatma işlemine ait şematik gösterim ve tornalanmış bir yüzey için yüzey pürüzlülüklerinin değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ezerek Parlatma İşleminin Şematik Gösterimi ve a) İşlem Öncesi (tornalanmış yüzey), b) İşlem Sonrası (parlatılmış yüzey) Yüzey Pürüzlülüklerinin Değişimi (Yamato Teknik Bilgi, 2020)

Oluşan plastik deformasyonlar yüzeyde kompresif gerilmelere ve dolayısı ile yüzeyde sertlik artışına neden olur (Akkurt, 2011; Zhao ve Liu, 2016). Azaltılan yüzey pürüzlülük değeri ile birlikte elde edilecek yüksek sertlik değerlerinin pek çok uygulamada yüzeye; aşınma direnci, korozyon dayanımı ve yorulma ömrü açısından fayda sağlayacağı da bir gerçektir.

Esnek honlama prensip olarak klasik honlamaya benzese de en önemli farkı işlem takımının esnek, bükülebilen aşındırıcı toplardan oluşan bir salkım şeklinde olmasıdır. Esnek honlama takımları düz veya iç/dış silindirik yüzeylerin bir son yüzey bitirme işlemi için kullanılabilirdiği gibi çapak alma, köşe yuvarlama, yüzey temizleme gibi farklı uygulamalarda da kullanılabilirler. Takım ucundaki esnek aşındırıcı topların birbirlerinden bağımsız hareket edebilmeleri, özellikle delik içi bazı zorlu uygulamalarda (kademeli delikler, yivler, kanallar vb.) rijit taşlara sahip klasik honlamaya göre bu yöntemi üstün kılmaktadır. Esnek honlama ile ayrıca, yağ partiküllerinin tutunup yağlama veriminin artmasını sağlayan çapraz dokulu yüzeyler de elde edilmektedir (The Flex Hone Ürün Tanıtımı, 2020).

Bu çalışmada, havacılık endüstrisinde yoğun kullanımı olan Ti6Al4V malzemesinde delik iç yüzeylerine uygulanabilecek yüzey bitirme işlemlerinden esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri; yüzey pürüzlülük, sertlik ve aşınma dirençleri yönlerinden deneysel olarak incelenmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Çalışmada ele alınan yüzey bitirme işlemleri ile ilgili önceki çalışmalar incelendiğinde özellikle esnek honlama konusunda yapılmış az sayıda araştırma olduğu belirlenmiştir. Arantes ve diğ. (2017) makalelerinde geleneksel honlama ve bu işlemin ardından yapılan esnek honlamanın yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişimleri temaslı ve temassız yöntemlerle incelemiştir. Çalışmaları sonucunda, yüzey bitirme işlemi olarak uygulanan esnek honlama ile honlanmış delik yüzey kalitelerinde belirgin bir iyileşmenin elde edildiğini rapor etmişlerdir. Pereira, Arencibia, Schramm ve Arantes (2018), esnek honlamanın işlem parametreleri olan dönme hızı, besleme hızı ve strok sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. İşlemden 800 grit'lik silisyum karbür takım kullanılmış ve sonuç olarak yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin strok sayısı olduğu belirtilmiştir. Skrzyniarz, Adamczak, Nowakowski, Koziar, ve Miko (2019) çalışmalarında, matkap ile delik delme ve delik genişletme işlemlerinin ardından esnek honlama takımı kullanarak gerçekleştirdikleri son yüzey bitirme işlemi boyutsal ve şekilsel doğruluklar açısından incelemiştir. Çalışma sonunda esnek honlama işleminin en büyük dezavantajının delik giriş kenarlarının yuvarlanması olduğunu belirtmişlerdir.

Silindirik parlatma işlemiyle ilgili literatürdeki çalışmaların neredeyse tamamının, 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 ilgili olduğu tespit edilmiştir. 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 sonunda, pirinç malzemenin yüzey sertliğindeki artışa bağlı olarak malzemenin aşınma direncinin arttığını belirtmişlerdir. Thamizhmani, Omar, Sagarudin ve Hasan (2008), Ti6Al4V malzeme üzerine uygulanan silindirik parlatma işleminin yüzey pürüzlülüğü ve sertliğine etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda; sertlik ve pürüzlülük yönünden yüzeyde iyileşme sağlandığı ve takım dönme hızı, besleme hızı ve ezme kuvveti arttıkça yüzey sertliğinde artış görüldüğü belirtilmiştir. Akkurt (2011), AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye uygulanan silindirik parlatma işleminin mikrosertlik, yüzey

pürüzlülüğü, dairesellik ve silindiriklik açısından matkap, torna, rayba, honlama gibi diğer işlemlerle karşılaştırmıştır. En iyi dairesellik ve en yüksek mikrosertlik değerlerinin silindirik parlatmada tespit edildiği ve ele alınan tüm yöntemler arasında yüzey karakteristikleri ve mekanik özellikler açısından da optimum sonuçların yine bu yöntemde elde edildiğini belirtmiştir. Akkurt, Kurt, Özdemir ve Şeker (2014) çalışmalarında, saf bakır malzeme üzerinde matkap ile açtıkları deliklere uyguladıkları yüzey bitirme işlemlerini karşılaştırmışlar ve mekanik, metalografik ve delik yüzey kalitesi anlamında en iyi sonuçların silindirik parlatma ile elde edildiğini rapor etmişlerdir.

Revankar, Shetty, Rao ve Gaitonde (2014), Ti6Al4V malzeme üzerine bilyalı parlatma işlemi uygulamışlardır. Takım hızı, besleme hızı, ezme kuvveti ve paso sayısı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine etkilerini inceledikleri çalışmanın sonucunda takım dönme ve besleme hızlarının minimum pürüzlülük için, ezme kuvveti ve paso sayısının da maksimum yüzey sertliği için en etkili parametreler olduğunu ifade etmişlerdir. Borkar, Kamble ve Seemikeri (2014), havacılık ve uzay sanayisinde sıklıkla kullanılan Inconel 718 malzemeye silindirik parlatma işlemi uygulamış, uygulama öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülük ve sertlik değerlerini karşılaştırmışlardır. Ayrıca takım ezme kuvveti, takım besleme hızı, takım dönme hızı ve paso sayısı parametrelerinin işleme etkisini de araştırmışlardır. Çalışmanın sonunda; takım dönme hızının artışı ile pürüzlülüğün bir noktaya kadar düşüp, sonrasında tekrar arttığı, sertlik değerinin ise önce azalıp sonrasında arttığını belirtmişlerdir. Bu bulgunun aynısını düşük karbonlu çelik malzemelerde Saini, Kapoor ve Jawalkar (2017), çalışmalarında belirtmişlerdir. Revankar Shetty, Rao ve Gaitonde (2017), Ti6Al4V malzeme üzerine uygulanan bilyalı parlatma işleminin işlem parametrelerinin, en düşük yüzey pürüzlülüğü ve en yüksek yüzey sertliği açısından, Taguchi yöntemi ile optimizasyonunu ele almışlardır.

Maheshwari ve Gawande (2017), parlatma işlemleriyle ilgili yapılan birçok akademik araştırma ve makaleyi incelemiştir. Bunun sonucunda, diğer araştırmacıların parlatma parametrelerinden hangilerini hangi oranda araştırdıklarını ortaya koymuşlardır. 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 çarpılmaktadırlar.

3. Yöntem

Çalışmada Ti6Al4V alaşımı (AMS 4928) üzerinde matkapla açılan açık deliklere esnek honlama ve silindirik parlatma son yüzey bitirme işlemleri uygulanmıştır. İki işlem; yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve aşınma dirençleri yönlerinden karşılaştırılmıştır. Delik içi yüzey pürüzlülük değerlerinin tespitinde Marsurf M400 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deney malzemesinin sertliği EmcoTest Durajet sertlik ölçüm cihazı kullanılarak ortalama 310 HV (32 HRC) değerinde ölçülmüştür. Bu değer silindirik parlatma işleminin uygulanabilmesi için (maks. 45 HRC) uygun bir değerdir. Yeterli örneklemenin sağlanabilmesi için deney malzemesine esnek honlama ve silindirik parlatma işlemlerinin uygulanacağı 3'er adet delik açılmıştır. Delik delme işlemi Makino KE55 CNC dik işleme merkezinde, soğutmanın tezgâhtan sağlandığı karbür takviyeli matkap ucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deliklerin delinmesine ait işlem parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Delik Delme İşlem Parametreleri	
Matkap Nominal Çapı [mm]	9,90
Matkap Dönme Hızı [dev/dk]	650
Matkap Besleme Hızı [mm/dk]	25
Delik Derinliği [mm]	25

Matkap ile açılan deliklerin 15 mm'lik derinliğine kadar olan kısımlarına çalışmaya konu olan yüzey bitirme işlemleri uygulanmıştır. Burada, aynı delik içinde incelemelerin karşılaştırmalı olarak yapılabilmesi amaçlanmıştır. Esnek honlama takımının aşındırıcı tipi ve boyutu SiC 240 grit'tir. Esnek honlamaya ait işlem parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. İşlem sırasında flex-hone marka honlama sıvısı kullanılmıştır.

Tablo 2

Esnek Honlama İşlem Parametreleri	
Takım Nominal Çapı [mm]	10
Takım Dönme Hızı [dev/dk]	1000
Takım Besleme Hızı [mm/dk]	100
İşlem Derinliği [mm]	15

Ti6Al4V alaşımına matkap ile açılan deliklerden 3 tanesine de yine 15 mm derinliğe kadar silindirik parlatma işlemi uygulanmıştır. Optimum işlem parametreleri, katalog incelemesi, literatür bilgisi ve yapılan ön denemeler sonunda kararlaştırılmıştır. Silindirik parlatmada işlem parametreleri; takım dönme hızı 1100 dev/dk, besleme hızı 165 mm/dk ve ezme derinliği 46 µm'dir. İşlem sırasında soğutma, tezgâhtan, kesme sıvısı ile sağlanmıştır. Delik yüzey bitirme işlemlerinde kullanılan esnek honlama ve silindirik parlatma takımları Şekil 2'de sunulmuştur.



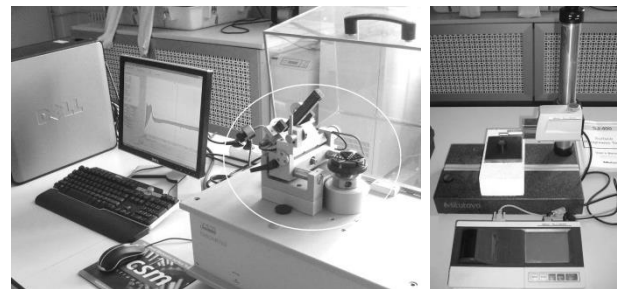
(a)



(b)

Şekil 2. a) Esnek Honlama, b) Silindirik Parlatma Takımları

Yüzey bitirme işlemleri sonrasında numunelerin hazırlanmasına geçilmiştir. İlk olarak delik eksenlerine paralel doğrultuda kesilen iş parçasından, daha sonra, yüzey pürüzlülük ve yüzey sertlik değerlerinin ölçülebilmesi ve aşınma deneylerinin yapılabilmesi için çeyrek daire şeklinde numuneler hazırlanmıştır. İşlemler sonrasında numunelerin delik içi yüzey sertlikleri Future Tech FM-700 cihazında ölçülmüştür. Aşınma deneyleri için CSM Tribometer cihazı, aşınma izlerinin belirlenmesinde de Mitutoyo SJ-400 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3).



(a)



(b)

Şekil 3. a) Aşınma Deney Cihazı, b) Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Aşındırma işlem parametreleri Tablo 3’de verilmiştir. Aşındırıcı karşıt cisim olarak, küreselliği garantili, 3 mm çapında tungsten karbür (WC) bilya kullanılmıştır. Bu geometri ile (ball-on-disk) aşındırıcı karşıt cisim ile yüzey arasında noktasal temas sağlanmıştır.

Bu çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Tablo 3

Aşındırma İşlem Parametreleri

Aşınma Tipi	Kuru Ortam Kayma Aşınması
Aşındırma Şekli	Lineer
Aşındırma Genliği [mm]	2
Maksimum Lineer Hız [cm/s]	2,5
Aşındırma Yüğü [N]	3
Toplam Aşındırma Uzunluğu [m]	30

Tablo 4

Yüzey Bitirme İşlemleri Sonrası Numunelerin Yüzey Pürüzlülük Değerleri

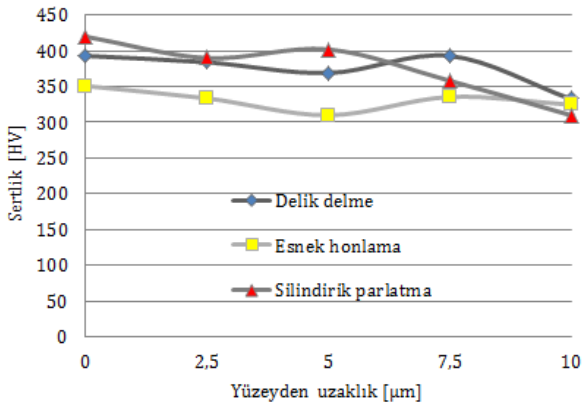
		Delik Delme İşlemi Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü Ra [μ m]	Yüzey Bitirme İşlemi Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü Ra [μ m]	% İyileşme (Ortalama Değerlere Göre)
Esnek Honlama	Delik 1	0,615	0,554	% 15
	Delik 2	0,556	0,538	
	Delik 3	0,829	0,599	
	Ortalama Pürüzlülük	0,667	0,564	
Silindirik Parlatma	Delik 1	0,637	0,087	% 85
	Delik 2	0,676	0,100	
	Delik 3	0,752	0,115	
	Ortalama Pürüzlülük	0,688	0,101	

4. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında, Ti6Al4V malzemede matkap ile delik delme sonrasında deliklere yüzey bitirme işlemi olarak esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemler sonrasında elde edilen delik yüzey özellikleri; yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve aşınma direnci açılarından incelenmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları Tablo 4’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tablo 4 incelendiğinde, deliğin ilk haline göre ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde, esnek honlama işlemi ile %15, silindirik parlatma işlemi ile de %85 oranında iyileşme sağlandığı belirlenmiştir.

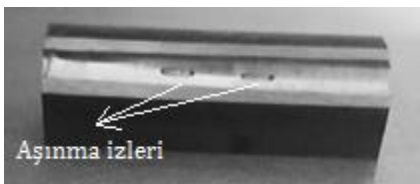
Esnek honlama için, önceki çalışmalar ile sonuçların karşılaştırılması; hazırlanan delik açma yöntemlerinin, işlem parametrelerinin, test malzemelerinin farklılık arz etmesi ve az sayıda çalışma olması yüzünden mümkün olamamaktadır. Silindirik parlatmanın beklenildiği gibi yüzey pürüzlülük değerlerini oldukça azalttığı görülmektedir. Çalışmada ele alınan Ti6Al4V alaşımında; Thamizhmnai ve diğ. (2008), Revankar ve diğ. (2014), Zhao ve Liu (2016) ve Revankar ve diğ. (2017) farklı ezme takımları ve farklı işlem parametrelerinde araştırmalar yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından sonuçların bu araştırmacıların bulguları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Delik içi yüzey özelliklerinden yüzey sertliği de araştırmada incelenmiştir. Çeyrek daire şeklinde hazırlanan numunelerin sertlik ölçümleri birer numunenin bakalite alınarak kesit yüzeylerinden ölçülebilmektedir. Delik yüzeylerinde ölçülen yüzey sertlikleri; delik delme, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri sonrasında, sırasıyla, 393 HV, 350,9 HV ve 420 HV değerlerinde bulunmuştur. Delik yüzey sertlik değerleri karşılaştırıldığında en yüksek sertlik 420 HV ile beklenildiği gibi silindirik parlatma işleminde elde edilmiştir. Bu bulgu önceki çalışmalarla uyum sergilemektedir. Esnek honlamayı inceleyen önceki çalışmalar delik yüzey sertliklerini ele almadıkları için bu açıdan bir karşılaştırma yapılamamıştır. Matkapla delik delme, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri sonunda ölçülen yüzey sertlik değerlerinin ana malzemenin sertliğine göre yüksek çıkması, numune hazırlamada karşılaşılan zorluklar kaynaklı ve/veya işlemlerin oluşturduğu plastik deformasyona bağlı artışlar olarak açıklanabilir. Sertlik değerlerinin yüzeyden merkeze gidildikçe ana malzeme sertliğine (310 HV) yaklaşmakta oldukları ise tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Yüzeyden İçe Doğru Ölçülen Sertlik Değerleri

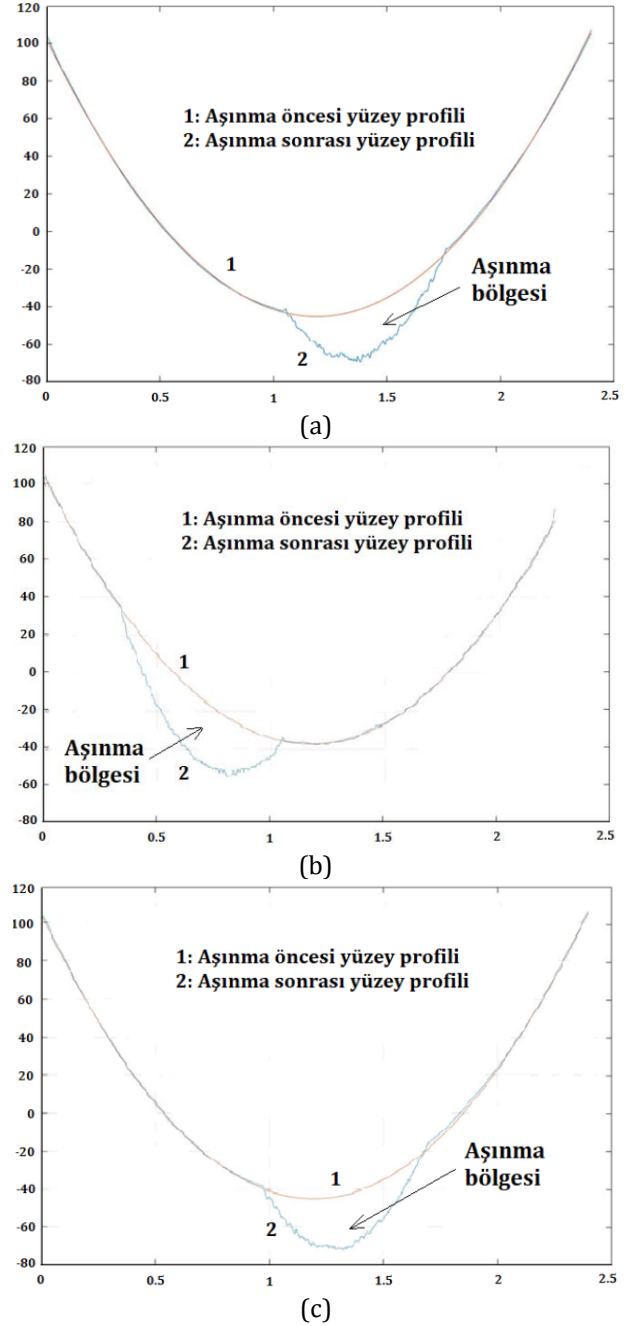
Çeyrek daire şeklinde kesilen numuneler ile yüzey bitirme işlemlerinin aşınma dayanımları da incelenmiştir. Aşınma deneyleri sonunda elde edilen, bir numune üzerindeki aşınma izleri Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. Numune Üzerinde Aşınma İzleri

Aşınma miktarının bulunabilmesi için delik yüzeyinden alınan aşınmamış delik yüzey profili (referans) ile

aşınmış delik yüzey profilleri üst üste yerleştirilmiştir. Bu yöntem ile numunelerin aşınma miktarları hesaplanmıştır. İncelenen işlemlerin aşınma bölgelerini gösteren yüzey profillerine ait grafikler Şekil 6'da verilmiştir.

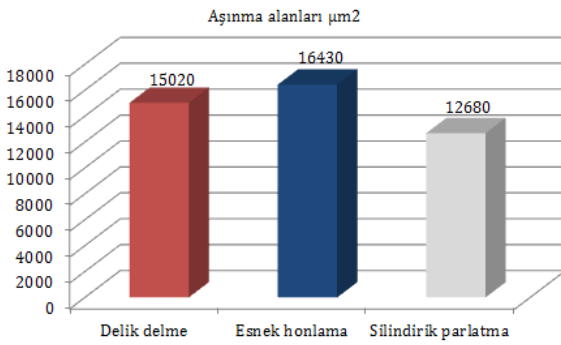


Şekil 6. Yüzey Profilleri ve Aşınma Bölgeleri a) Delik Delme, b) Esnek Honlama, c) Silindirik Parlatma

Şekil 6'daki grafikler incelendiğinde, tüm işlemlerde iş parçalarının ortaya yakın bölgelerinin aşındırmaya bağlı olarak referans profilden (aşınma öncesi yüzey profilinden) saptığı görülmüştür. Aşınma dirençlerinin

karşılaştırılması için, numune yüzeylerinin referans profilden saptığı alanlar bulunmalıdır. Bu amaçla, her işlem için cihazdan çıkan aşınma profiline Excel yardımıyla referans eğriler oturtulmuş ve aradaki alan farkı MATLAB yardımıyla hesaplanmıştır. Sonuçlara göre referans eğrilerinden sapma miktarları delik delme işlemi uygulanan yüzeyde 15020 μm^2 , esnek honlama uygulanan yüzeyde 16430 μm^2 ve silindirik parlatma uygulanan yüzeyde de 12680 μm^2 olarak hesaplanmıştır.

Yüzey sertliği en yüksek ölçülen (420 HV) silindirik parlatma işlemli örneklerde aşınma en az, yüzey sertliği en az değer olarak ölçülen (350,9 HV) esnek honlama işlemli örneklerde ise aşınma en fazla olmuştur. Bulunan sonuçlar, Hassan ve Al-Dhifi'nin (1999) pirinç malzeme üzerine uyguladıkları bilyalı parlatma işleminde yüzey sertliğindeki artışa bağlı olarak aşınma direncinin arttığını gösteren literatür bilgisiyle örtüşmektedir. Tüm işlem şartları için hesaplanan aşınma alanları Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. Tüm Numunelerin Aşınma Miktarları

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, havacılık uygulamalarında sıklıkla kullanılan Ti6Al4V alaşımında matkapla açılan deliklere esnek honlama ve silindirik parlatma yüzey bitirme işlemleri uygulanmıştır. Bu yüzey bitirme işlemlerinin delik yüzey özelliklerine olan etkileri; yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve aşınma direnci açısından incelenmiştir. Yapılan incelemelerden sonra elde edilen sonuçlar şunlardır;

- Yüzey pürüzlülük değerleri her iki işlem için de deliklerin işlemsiz durumlarına göre azalmıştır. Matkapla delik delme ile karşılaştırıldığında; esnek honlama işleminde %15, silindirik parlatma işleminde ise %85'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Her iki yüzey bitirme işleminin de yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için uygun işlemler olduğu görülmektedir. Silindirik parlatma işleminin esnek honlamaya göre yüzey pürüzlülüğünü azaltmada daha başarılı bir işlem olduğu anlaşılmaktadır.

- Delik delme, esnek honlama ve silindirik parlatma işlemleri yüzey sertlikleri bakımından da karşılaştırılmıştır. En büyük yüzey sertlik değeri 420 HV ile silindirik parlatma işleminde ölçülmüştür. Silindirik parlatma işleminin delik iç yüzeyinde kayda değer bir sertlik artışı sağladığı belirlenmiştir.
- Tüm numunelerin kuru ortam kayma aşınması koşullarında elde edilen aşınma miktarları karşılaştırıldığında en az aşınmanın yüzey sertliği en çok olan silindirik parlatma işlemli numunelerde, en çok aşınmanın da yüzey sertliği en az olan esnek honlama işlemli numunelerde olduğu tespit edilmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, aşınma deneylerindeki katkılarından dolayı Dr. Fatih Hayati Çakır'a teşekkür eder.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Hakan Ökmen, bilimsel yazın taraması, işlemlerin ve deneylerin yapılması, sonuçların analiz edilmesi, makalenin oluşturulması; Ümit Er, sonuçların analiz edilmesi ve makalenin genel kontrolünün yapılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- 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. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-010-9718-x>
- 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. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/83607>
- Arantes, L.J., Fernandes, K.A., Schramm, C.R., Leal, J.E.S., Filho, A.P., Franco, S.D. & Arencibia, R.V. (2017). The roughness characterization in cylinders obtained by conventional and flexible honing processes. *International Journal of Advanced Manufacturing*

- Technology*, 93, 635-649. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0544-2>
- Bilgiç, F., Er, Ü. ve Ulutan, M. (2018). Rene65 süper alaşımın delik delme işleminde farklı parametrelerin Taguchi yöntemiyle analizi. *18. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 973-988.
- 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. Erişim adresi: <https://inpressco.com/wp-content/uploads/2014/07/Paper562595-2598.pdf>
- Boynton, J.L., Tabibzadeh, R. & Hudson, S.T. (1993). Investigation of rotor blade roughness effects on turbine performance. *Journal of Turbomachinery*, 115(3), 614-620. doi: <https://doi.org/10.1115/1.2929298>
- 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. doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00254-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00254-X)
- 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.
- Ökmen, H. (2018). *Ti6Al4V alaşımında esnek honlama ve silindirik parlatma işlemlerinin delik yüzey özelliklerine etkilerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 65.
- Patil, V.B., Teli, B.D., Mohite, R.S., Patil, S.S., & Qureshi, N.M. (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. Erişim adresi: <https://pdfs.semanticscholar.org/a31a/c88fa320810e67e734eaf99090a3c66c12ee.pdf>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1200-6>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.08.043>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2016.03.007>
- Rösler Firma Kataloğu. (2020). Erişim adresi: https://us.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Aerospace/US_EN_Aeroengine_US_181.pdf
- Saini, D.S., Kapoor, M. & Jawalkar, C.S. (2017). Parametric analysis of mild steel specimens using roller burnishing process. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 6, 45-51. Erişim adresi: <http://www.irjes.com/Papers/vol6-issue3/1634551.pdf>
- 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*, Seoul, Korea, Republic of, 27/06-30/06. Erişim adresi: <https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/high-speed-cryogenic-drilling-of-grade-5-eli-titanium-alloy>
- Skrzyniarz, M., Adamczak, S, Nowakowski, L, Koziar, T. & Miko, E. (2019). Finishing of the surface of holes by flex-hone tool. *30th DAAAM International Symposium*, Vienna, Austria, 0860-0863. doi: [10.2507/30th.daaam.proceedings.119](https://doi.org/10.2507/30th.daaam.proceedings.119)
- Thamizhmani, 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. Erişim adresi: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.537.4345&rep=rep1&type=pdf>
- The Flex Hone Ürün Tanıtımı. (2020). Erişim adresi: <http://www.brushresearch.com/flex-hone-tool.php>
- Yamato Teknik Bilgi. (2020). Erişim adresi: <http://www.yamato.com.tr/talassiz-imalat-soguk-sekil-verme>
- Zhao, J. & Liu, Z., (2016). Investigations of ultrasonic frequency effects on surface deformation in rotary ultrasonic roller burnishing Ti-6Al-4V. *Materials and Design*, 107, 238-249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.06.024>