

Improving the surface properties of Al 6013 and MS 58 materials by ball burnishing process for hole

 Harun KOÇAK 

Gazi University TUSAŞ-Kazan Vocational School, Department of Aircraft Technology, 06980, Kahramankazan/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
 Received: 04/11/2020
 Revision: 22/11/2020
 Accepted: 22/11/2020

Highlights

- Surface quality
- Plastic deformation
- Micro hardness

Keywords

Ball burnishing
 Al 6013
 MS 58
 Surface roughness

In this study, ball burnishing processes of the holes drilled in Al 6013 and MS 58 materials were investigated. In the tests, three different deformation portion (0.03-0.06-0.09) were left for both materials. After ball burnishing process, the samples were examined for surface roughness, micro hardness and microstructure.



Figure A. Ball burnishing process and surface roughness measurement

Purpose: In this study, it is aimed to improve the surface properties of the holes drilled in Al 6013 and MS 58 materials. For this, the ball burnishing process was applied to the inside of the hole. Thanks to this method, besides improving the surface properties, increasing the surface hardness is another purpose.

Theory and Methods: After drilling, the hole enlargement process was applied to the samples. Hole sizes were obtained in three different diameters (\varnothing a: 7.86-7.80-7.74 mm) depending on the ball diameter used in process. Ball made of bearing steel with a diameter of 7.92 mm was used in the ball burnishing process. The process was done on a lathe to forward the ball linearly along the hole axis. The inside of the hole is oiled to minimize friction and facilitate plastic deformation. Ball burnishing process was applied to the holes. The roughness of the hole surfaces was measured after the specimens were cut. Average surface roughness value was found by measuring from three different regions. After the sanding and polishing process was applied to the samples, microstructure images were taken and micro hardness measurement was made.

Results: Thanks to the ball burnishing process applied to the Al 6013 material, the surface roughness value (in the sample A1 with 0.03mm deformation portion) decreased from 1.42 μm to 0.12 μm . It was observed that the surface roughness value of 1.65 μm measured before the process decreased to 0.17 μm in the MS 58 sample. It has been determined that the micro hardness of the Al 6013 material is 129 HV and the hardness increases to 142 HV in the area close to the hole surface. It was observed that the hardness of MS 58 material, which was 150 HV at a distance of 300 μm , was 180 HV in the region close to the hole surface.

Conclusion: It has been determined that the roughness of the hole surfaces is considerably reduced by ball burnishing process and polishing the holes in both materials. Thanks to this process, the surface roughness of the Al 6013 material decreased by 91.5% and for the MS 58 material by 89.6%. In the zone where plastic deformation occurred, 10% hardness increase was achieved for Al 6013 material and 20% hardness increase was achieved for MS 58 material. Considering the grain structure and hardness increase relationship, it has been found that the small grain structure enables higher surface hardness to be obtained.



Al 6013 ve MS 58 malzemelere delik içi ezerek parlatma işlemi uygulanmasıyla yüzeysel özelliklerin iyileştirilmesi

Harun KOÇAK

Gazi Üniversitesi TUSAŞ-Kazan Meslek Yüksekokulu Uçak Teknolojisi Bölümü, 06980, Kahramankazan/ANKARA

Öz

Bu çalışmada, Al 6013 ve MS 58 malzemelere delinen deliklerin ezerek parlatma işlemleri araştırılmıştır. Testlerde her iki malzeme için üç farklı ezme payı bırakılarak işlem yapılmıştır. Ezerek parlatma işleminin ardından numuneler, yüzey pürüzlülüğü, mikro setlik ve mikro yapı bakımından incelenmiştir. İşlem sonrasında Al 6013 malzemenin yüzey pürüzlülüğü % 91,5 ve MS 58 malzemenin yüzey pürüzlülüğü % 89,6 oranında azaldığı belirlenmiştir. Testlerde, elde edilen en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri Al 6013 malzemede 0,12 µm olduğu belirlenmiştir. MS 58 malzemenin ezilmiş bölgesinde plastik deformasyonla birlikte % 20 sertlik artışı sağlanmıştır. Tane yapısı ve sertlik artışı birlikte düşünüldüğünde MS 58 malzemenin küçük tane yapısına sahip olmasından dolayı bu malzemenin yüzey sertliğinde daha fazla artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Improving the surface properties of Al 6013 and MS 58 materials by ball burnishing process for hole

Abstract

In this study, the ball burnishing processes of the holes drilled in Al 6013 and MS 58 materials were investigated. In the tests, three different portions (0,03-0,06-0,09 mm) for deformation were left for both materials. After burnishing process, the samples were examined for surface roughness, micro hardness and microstructure. It was determined that the surface roughness of the Al 6013 material decreased by 91.5% and the surface roughness of MS 58 by 89.6% after the process. In the tests, best surface roughness value obtained was 1.13 µm at Al 6013 material. The hardness increase occurring with plastic deformation in MS 58 material is 20%. Considering the grain structure and the hardness increase together, it was determined that the surface hardness of MS 58 material increased more because of the small grain structure of this material.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 04/11/2020
Düzeltilme: 22/11/2020
Kabul: 22/11/2020

Anahtar Kelimeler

Bilyeli parlatma
Al 6013
MS 58
Yüzey pürüzlülüğü

Keywords

Ball burnishing
Al 6013
MS 58
Surface roughness

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalat işlemleri birçok endüstriyel üretim alanında kullanılmaktadır. Talaşlı imalat sürecinde malzemeler, önce kaba işlemeden geçirilerek şekillendirilir. Daha sonra uygun kesici takım yardımıyla bitirme işlemleri uygulanarak parçanın yüzey kalitesi iyileştirilir. Bu yöntemle üretilen parçaların yüzey kalitesinin iyi olması aşınma direnci ve yorulma bakımından önemlidir [1,2]. Talaşlı imalat işlemleri arasında en sık kullanılan işlem delik delmedir. Yaklaşık olarak talaşlı imalat işlemlerinin %40 - %60'ını oluşturmaktadır [3]. Delik delme işleminde ise en önemli çıktılardan biri deliğin yüzey kalitesidir [4]. Ancak delik delme işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü diğer talaşlı imalat işlemlerinden daha fazladır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi delme esnasında talaşın, delik içerisinden hızlı bir şekilde uzaklaştırılmamasıdır [5]. Bunun sonucunda talaş, delik içerisinde yüzeye çok fazla sürtünerek çıktığı için yüzey pürüzlülüğü kötüleşmektedir. Bu nedenle delik yüzeyini daha pürüzsüz hale getirmek için delme işlemi sonrası raybalama, honlama, taşlama ve ezerek parlatma gibi yöntemler uygulanmaktadır [6]. Bu işlemler içerisinde ezerek parlatma yöntemi hem yüzey pürüzlülüğünün azaltılması hem de delik yüzeyinin daha sert ve aşınma direncinin yükseltilmesi bakımından diğer yöntemlerden daha avantajlıdır [7-9]. Ezerek parlatma işleminde, silindirik veya küresel bilye gibi pürüzsüz sert bir takımla parça yüzeyine baskı

uygulanmakta ve yüzeyde plastik deformasyon oluşturulmaktadır. Bu sayede işlenmiş yüzeydeki çıkıntılar ezilmekte ve girintiler de dışa doğru çıkmaktadır [10]. Böylece parça yüzeyi daha pürüzsüz hale gelirken yüzeyde deformasyon oluşmakta ve malzemenin yüzey sertliğinin artmasıyla birlikte aşınma ve yorulma direnci de iyileşmektedir [11,12].

Ezerek parlatma işlemi için yapılan araştırmalar incelendiğinde genellikle Al alaşımları [13,14], çelik [15,16], pirinç [17], titanyum, nikel, bakır ve polimer malzemeler üzerinde çalışmalar yapıldığı görülmüştür[8]. Yapılan araştırmalarda en çok araştırılan konu yüzey pürüzlülüğü değişimidir [8,18]. Ayrıca ezerek parlatma işlemine parametrelerin etkisi [19,20], yüzeye yakın bölgelerde ortaya çıkan sertlik değişimi [9,21], mikro yapıdaki değişimler [22] ve kalıntı gerilme oluşumu [23] incelenmiştir. Bununla birlikte genellikle silindirik parçalar üzerinde çalışıldığı delik içi parlatma konusunda daha az çalışma olduğu görülmüştür. Delik için yapılan ezerek parlatma işlemlerinde ise genellikle büyük çaplı delikler üzerinde çalışılmıştır.

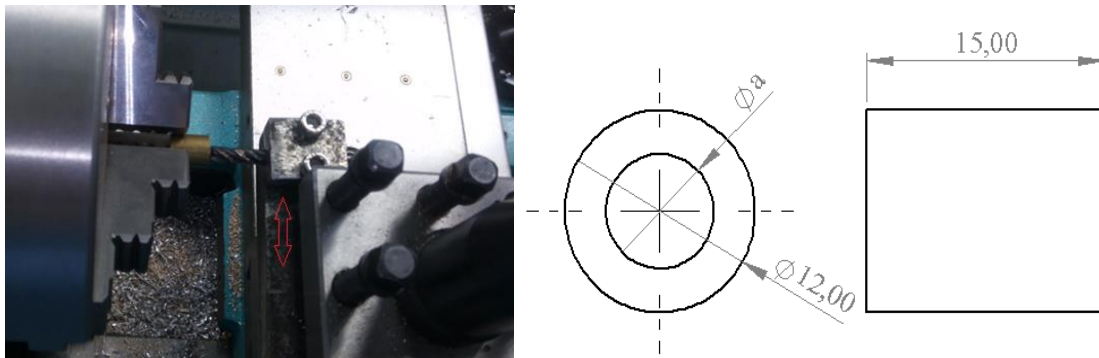
Bu çalışmada, Al 6013 ve MS 58 malzemelere delinen deliklerin ($\text{Ø} < 8\text{mm}$) bilye yardımıyla ezerek parlatma işlemleri araştırılmıştır. Testlerde her iki malzeme için üç farklı ezme payı bırakılarak işlem yapılmıştır. Ezme işleminin ardından numuneler, yüzey pürüzlülüğü, mikro setlik ve mikro yapı bakımından incelenmiştir.

2. MALZEME ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada MS 58 pirinç ve Al 6013 malzemeler kullanılmıştır. Malzemelere ait kimyasal bileşim Tablo 1’de verilmiştir. Silindirik malzemeler ($\text{Ø}12 \times 15\text{ mm}$) torna tezgahında işlenmiş ve sonrasında $\text{Ø}7$ matkapla delinmiştir. Delme işlemi sonrası Şekil 1’de görüldüğü gibi torna katerine bağlanan parmak freze çakısıyla numunelere delik büyütme işlemi uygulanmış ve kullanılan bilye çapına ($\text{Ø} 7,92$) bağlı olarak üç farklı çapta ($\text{Ø} a : 7,86-7,80-7,74\text{ mm}$) delik ölçüleri elde edilmiştir. Delik büyütme işleminden sonra talaş kalıntıları temizlenmiştir.

Tablo 1. Malzemelerin kimyasal bileşimi

	Cu	Pb	Zn	Fe	Ni	Sn	Al			
MS58	58	2,4-2,6	kalan	0,4-0,6	0,5-0,6	0,4-0,5	0,1-0,2			
	Cu	Mg	Zn	Fe	Cr	Mn	Si	Ti	Al	
Al 6013	0,6-1,1	0,8-1,2	0,25	0,5	0,1	0,2-0,8	0,6-1	0,1	kalan	



Şekil 1. Numune boyutları ve delik büyütme işlemi

Ezerek parlatma işleminde çapı 7,92 mm olan rulman çeliğinden yapılmış bilye kullanılmıştır. Bilyeyi delik eksenine boyunca doğrusal olarak ilerletebilmek için işlem torna tezgahında yapılmıştır (Şekil 2). Sürtünmeyi en aza indirmek ve plastik deformasyonu kolaylaştırmak için delik içerisi yağlanmıştır. İşlem, parça boyunun 10 mm uzunluğuna uygulanmıştır. İşlem şartları Tablo 2’de verilmiştir. Ezerek parlatma işleminin ardından numuneler kesildikten sonra ezme işlemi uygulanan ve uygulanmayan bölgenin yüzey

pürüzlülüğü ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde Mitutoyo SJ-210 pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Üç farklı bölgeden ölçüm yapılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri bulunmuştur.

Tablo 2. İşlem şartları

Malzeme	Ezme derinliği (mm, Yarıçapta)		
Al 6013-MS 58	0,03	0,06	0,09

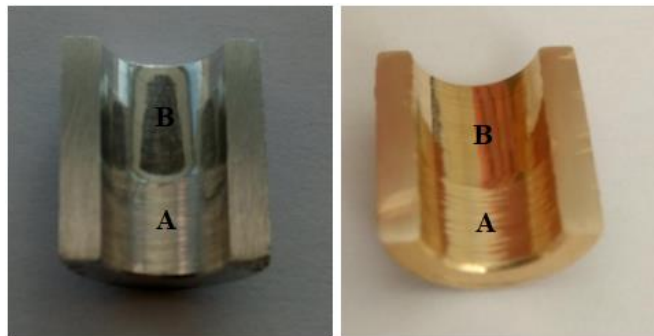


Şekil 2. Ezerek parlatma ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Mikro sertlik ölçümleri için numunelere zımparalama ve parlatma işlemi uygulanmıştır. Ölçümler HIGHWOOD HWMMT-X3 mikro sertlik cihazında 200 gr (1,96) yük altında kesit bölgesinde 0,05 mm aralıklarla dıştan içe doğru yapılmıştır. Ardından numuneler dağlanmış ve Leica marka optik mikroskopla mikro yapı görüntüleri alınmıştır.

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Ezerek parlatma işleminden sonra numuneler kesilmiş ve yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı ve mikro sertlik bakımından incelenmiştir. Şekil 3'te yer alan numuneler gözle incelendiğinde ezerek parlatma işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğünün çok daha iyileştiği (B bölgesi) görülmüştür. Ayrıca yapılan işlem nedeniyle istenilmeyen herhangi bir yüzey hasarı veya deformasyon yığılması oluşmadığı ve bu yöntem sayesinde bileyle küçük deliklerin daha pürüzsüz hale getirilebileceği tespit edilmiştir.



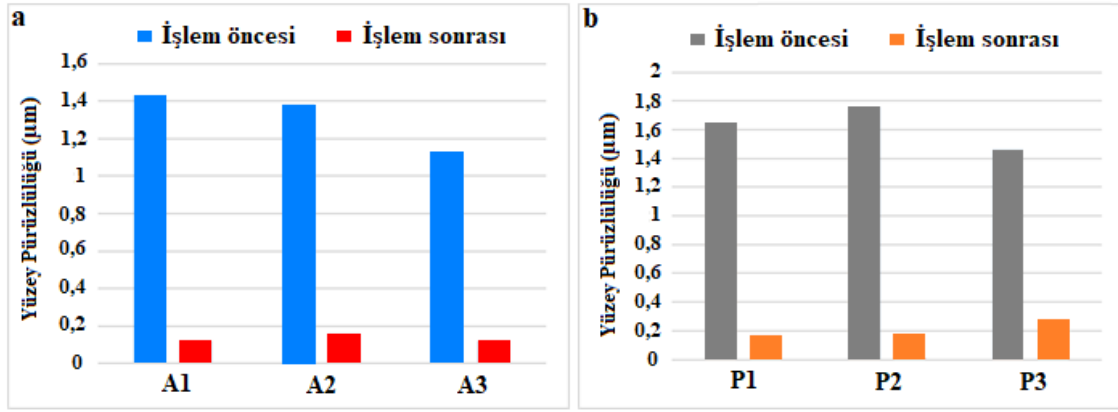
Şekil 3. İşlem sonrası numuneler (A2, P2)(A: İşlem görmemiş, B: İşlem görmüş)

3.1. Yüzey pürüzlülüğü değişimi (Surface Roughness Change)

Ezme işlemi öncesinde numunelerin yüzey pürüzlülükleri ölçüldüğünde MS58 numunenin ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 1,46 μm - 1,76 μm aralığında ve Al 6013 numunenin 1,13 μm - 1,42 aralığında olduğu görülmüştür. Al 6013 malzemeye delme işlemi sonrasında ezerek parlatma işlemi yapıldığında 0,03 ezme payı bırakılan numunede(A1) yüzey pürüzlülüğü değeri 1,42 μm 'den 0,12 μm değerine düşmüştür. Yüzdesel olarak hesaplandığında ezerek parlatma işlemi sayesinde yüzey pürüzlülüğü değeri % 91,5 azalmıştır. MS 58 numunede(P1) ise işlem öncesi ölçülen 1,65 μm yüzey pürüzlülüğü değeri % 89,6 oranında azalarak

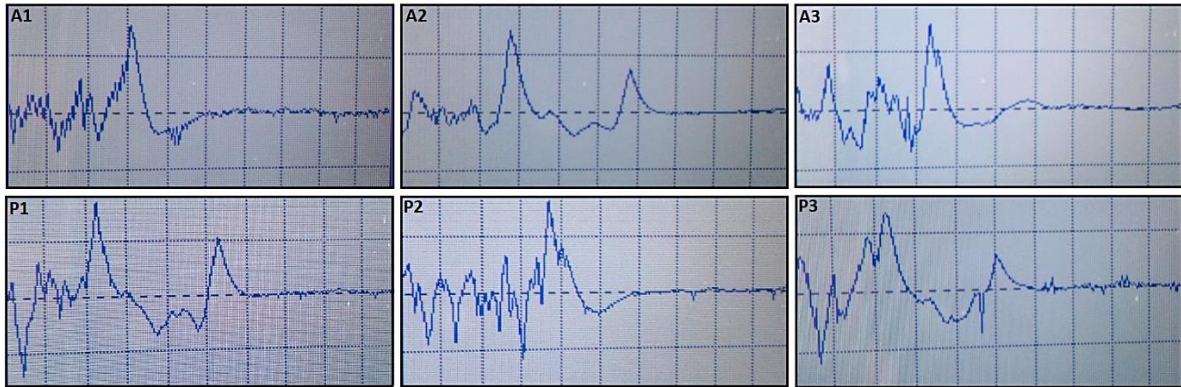
0,17 μm 'a kadar düştüğü görülmüştür. Ezerek parlatma işlemi öncesinde ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değişimi Şekil 4'te görülmektedir.

Talaşlı imalat sonrasında yüzey pürüzlülüğünün azaltılması önemli bir faktördür. Bunun için taşlama, honlama, yüksek hassas işleme ve ezerek parlatma işlemleri uygulanmaktadır [24]. Literatürde bu işlemler içerisinde hem yüzey pürüzlülüğünün azaltılması hem de yüzey sertliğinin artırılması bakımından ezerek parlatma işleminin daha uygun olduğu belirtilmektedir[25,26]. Tayeb ve diğerleri [27] Al 6061 malzemeye tornalama işlemi sonrasında ezerek parlatma işlemi uyguladıklarında elde ettikleri en iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerinin 0,28 μm olduğunu ve % 40 oranında iyileşme sağladıklarını belirtmektedirler. Axir ve diğerleri [28] Al 2014 malzemeye bilye ile delik içi ezerek parlatma işlemi uyguladıklarını ve başlangıçta 4 μm civarında olan yüzey pürüzlülüğünün 0,14 μm düştüğünü rapor etmişlerdir. Hassan ve diğerleri[29] pirinç malzemeye ezerek parlatma işlemini uygulamışlar ve yüzey pürüzlülüğünü 0,172 μm 'a kadar düşürmüşlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında benzer olduğu görülmüştür. Numunelere 0,03-0,06-0,09 mm olmak üzere üç farklı ezme payı bırakılmış ve aynı şartlarda bilye ile ezerek parlatma işlemi uygulanmıştır. Farklı ezme payları için yüzey pürüzlülüğündeki değişimler (Şekil 4) incelendiğinde çok farklı sonuçların ortaya çıkmadığı görülmüştür.



Şekil 4. Yüzey pürüzlülüğü değişimi (a: Al 6013, b: MS58)

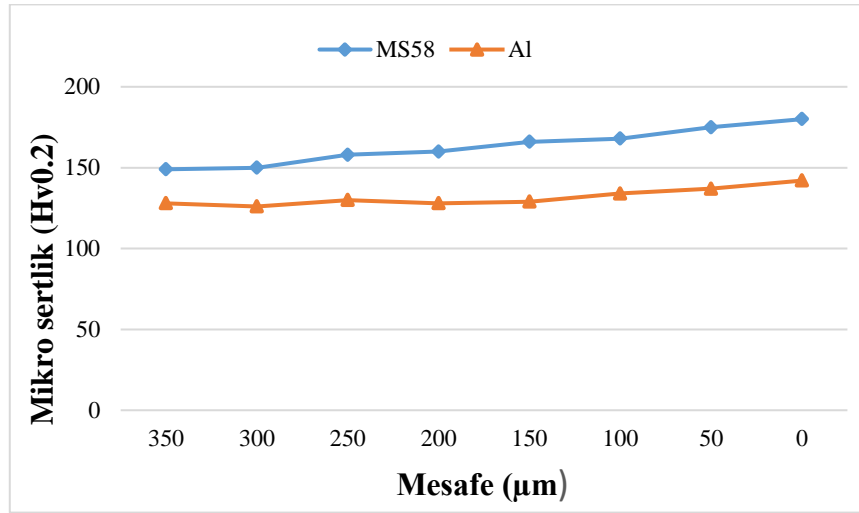
Yüzey pürüzlülüğü cihazından alınan yüzey pürüzlülüğü profili (Şekil 5) incelendiğinde ezerek parlatma işlemi uygulanmasıyla pürüzlülüğün ne kadar azaldığı anlaşılmaktadır. Delik yüzeylerinin pürüzsüz hale getirilmesi için genel olarak en çok tercih edilen işlemler taşlama (Ra 1.6-0.1 μm), raybalama (Ra 3.2-0.8 μm) ve honlamadır (Ra 0.8-0.1 μm). Elde edilen sonuçlar hem diğer uygulamalarla hem de literatürle karşılaştırıldığında bu çalışmada yapılan uygulamanın yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesinde uygun bir yöntem olduğu görülmüştür [30].



Şekil 5. Yüzey pürüzlülüğü profili

3.2. Ezerek Parlatmanın Mikro Sertliğe Etkisi (Effect of ball burnishing on Micro Hardness)

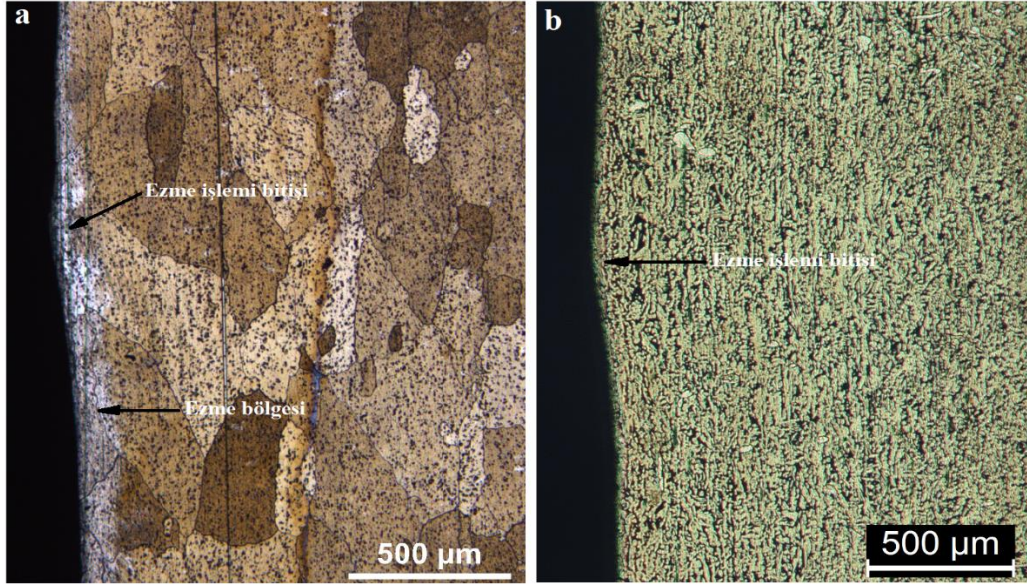
Diğer yüzey bitirme işlemlerine göre ezerek parlatma işleminin bir avantajı işlemlerle birlikte yüzey sertliğinin artırılmasıdır. Nu numunelere uygulanan ezerek parlatma işleminden sonra delik yüzeyinden dışa doğru mikro sertlik ölçülmüştür. Şekil 6’da verilen grafik incelendiğinde delik yüzeyinden 150 μm mesafede Al 6013 malzemenin mikro sertliğinin 129 HV olduğu ve delik yüzeyine yakın bölgede sertliğin 142 HV’e çıktığı tespit edilmiştir. MS 58 malzemenin 300 μm mesafede 150 HV olan sertliğinin delik yüzeyine yakın bölgede 180 HV olduğu görülmüştür. Al malzemede 150 μm derinlikte sertlik değişimi meydana gelirken MS 58 malzemede 300 μm derinliğe kadar sertlik değişimi meydana gelmiştir. Ovalı ve Akkurt [31] ticari pirinç malzemeye delik içi ezerek parlatma işlemi uygulamışlar ve malzeme yüzeyinde 160 HV mikro sertlik elde ettiklerini belirtmişlerdir. Tayep ve diğerleri [27] Al 6061 malzemeye ezerek parlatma işlemi uyguladıklarında farklı işlem parametrelerine bağlı olarak 78-92 HRB(150-200 HV) mikro sertlik elde ettiklerini belirtmişlerdir. Egea ve diğerleri [32] Al 2050 malzemenin ezerek parlatma işleminden sonra yüzey sertliğinin %37,5 arttığını ve 140-160 HV mikro sertlik elde edildiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada Al 6013 malzeme için % 10 sertlik artışı ve MS 58 malzeme için % 20 sertlik artışı sağlanmıştır. İşlem sonrasında elde edilen mikro sertlik değerleri literatürdeki değerlere benzerdir.



Şekil 6. Ezerek parlatma işlemi sonrası mikro sertlik değişimi

3.3. İşlem Sonrası Mikro Yapı (Post-Processing Microstructure)

Ezerek parlatma işlemi sonrasında ezme işleminin bittiği bölgenin mikro yapısı Şekil 7’de görülmektedir. Mikro yapı görüntüleri incelendiğinde Al 6013 malzemenin tane yapısının MS 58 malzemeye göre daha büyük olduğu görülmüştür. Yapılan işlem sonrasında Al 6013 malzemenin tane yapısında belirgin bir değişim olmadığı ve parlatılıp dağlandıktan sonra ezilen bölgenin beyaz renkte görüldüğü belirlenmiştir. Malzemenin tane yapısının büyük olmasından dolayı değişim anlaşılabilir değildir ancak beyaz bölge, daha sert yapıda olmasından dolayı bu bölge dağlanmadığı düşünülmektedir. Dolayısıyla beyaz kısım sertleşen bölgeyi göstermektedir. MS 58 malzemenin tane yapısı incelendiğinde daha küçük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca MS 58 malzemede sertlik artışı daha fazladır. Tane yapısı ve sertlik artışı birlikte düşünüldüğünde küçük tane yapısı daha yüksek yüzey sertliğinin elde edilmesine imkan sağlamaktadır.



Şekil 7. Numunelerin mikro yapısı

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Ezerek parlatma işlemi sonrasında elde edilen en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri MS 58 malzemede $1,46 \mu\text{m}$ ve Al 6013 malzemede $1,13 \mu\text{m}$ olduğu belirlenmiştir. Al 6013 malzeme için yüzey pürüzlülüğü % 91,5 ve MS 58 malzeme için % 89,6 oranında azalmıştır. Farklı ezme paylarıyla yapılan işlemlerde elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Plastik deformasyonun olduğu ezme bölgesinde Al 6013 malzeme için % 10 sertlik artışı ve MS 58 malzeme için % 20 sertlik artışı sağlanmıştır. Tane yapısı ve sertlik artışı birlikte düşünüldüğünde küçük tane yapısı daha yüksek yüzey sertliğinin elde edilmesine imkan sağlamaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hassan, A. M., & Al-Bsharat, A. S. (1996). Influence of burnishing process on surface roughness, hardness, and microstructure of some non-ferrous metals. *Wear*, 199(1), 1-8.
- [2] Abd AL-Wahhab, O. M., The Effects of Roller-Burnishing on Some Properties of Non-Ferrous Metals. *M. Sc. Thesis*. Jordan University of Science and Technology. (1996).
- [3] Shokrani, A., Huibin, S., Dhokia, V. & Newman, S.T. High speed cryogenic drilling of grade 5 titanium alloy, 26th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Seoul, Republic of Korea, (2016).
- [4] Bilgin, M. "AZ31B magnezyum alaşımının sürtünmeli delme işlemi üzerine deneysel çalışma." *Politeknik Dergisi*: 1-1. <https://doi.org/10.2339/politeknik.762945>
- [5] Bayraktar Ş., Siyambaş Y., and Turgut Y., Delik delme prosesi: bir araştırma. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21.2, 120-130 (2017).
- [6] Akkurt A., Kurt A, Özdemir A., Şeker U. Comparison of Hole Surface Finishing Processes with Roller Burnishing Method Applied in Copper Materials *Gazi University Journal of Science GU J Sci* 27(1):721-734 (2014)

- [7] Akkurt A., Ovalı İ. Ezme ve Geleneksel Bitirme İşlemlerinin Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü ve Daireselliği Üzerine Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15,3, 371-382, 2009
- [8] Mahajan D., Tajane R., A Review on Ball Burnishing Process, International Journal of Scientific and Research Publications, 3, 4, 2013
- [9] Basak H. and Goktas H.H., "Burnishing process on al-alloy and optimization of surface roughness and surface hardness by fuzzy logic", Materials and Design ,Vol. 30 pp.1275–1281. (2009),
- [10] Ökmen H., Er Ü., Ti6Al4V Alaşımında Esnek Honlama ve Silindirik Parlatma İşlemlerinin Delik Yüzey Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, ESOGÜ Müh Mim Fak Derg., 28(2), 128-135, 2020.
- [11] Akkurt A., 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, (2011).
- [12] Zhao, J. & Liu, Z., Investigations of ultrasonic frequency effects on surface deformation in rotary ultrasonic roller burnishing Ti-6Al-4V. Materials and Design, 107, 238-249, (2016).
- [13] J. Naga Malleswara Rao, A. Chenna Kesava Reddy and P.V. Rama Rao, "Design and fabrication of new type of dynamometer to measure radial component of cutting force and experimental investigation of optimum burnishing force in roller burnishing process", Indian Journal of Science and Technology Vol. 3 No. 7 (July 2010).
- [14] U M Shirsat and B B Ahuja,"Parametric analysis of combined turning and ball burnishing process", Indian Journal of Engineering and material sciences, Vol.11, October (2004), pp.391-396.
- [15] Feng Lei Li et.al., "Analytical prediction and experimental verification of surface roughness during the burnishing process", International Journal of Machine Tools & Manufacture 62 (2012) 67–75.
- [16] Wit Grzesik and Krzysztof Zak, "Modification of surface finish produced by hard turning using superfinishing and burnishing operations", Journal of Materials Processing Technology 212 (2012) 315–322.
- [17] S. Thamizhmanii, B. Saparudin & S. Hasan , "A study of multi-roller burnishing on non-ferrous metals", Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering volume 22 issue 2 June (2007).
- [18] Başar, Gökhan, and Funda Kahraman. "Analysis and Optimization of Ball Burnishing Process Parameters of AA 7075 Aluminium Alloy with Taguchi Method." International Advanced Researches & Engineering Congress, Osmaniye (2017).
- [19] Luca, Liviu, Sorin Neagu-Ventzel, and Ioan Marinescu. "Effects of working parameters on surface finish in ball-burnishing of hardened steels." Precision Engineering 29.2, 253-256,(2005).
- [20] Chen, C. H., and F-J. Shiou. "Determination of optimal ball-burnishing parameters for plastic injection moulding steel." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 21.3,177-185 (2003)
- [21] Revankar, Goutam D., et al. "Analysis of surface roughness and hardness in ball burnishing of titanium alloy." Measurement 58 (2014): 256-268.

- [22] Gharbi, F., et al. "Effect of ball burnishing process on the surface quality and microstructure properties of AISI 1010 steel plates." *Journal of materials engineering and performance* 20.6 (2011): 903-910.
- [23] Malyer, E. Ezerek parlatma yapılan AA7075-T6 alüminyum alaşımında meydana gelen kalıntı gerilmelerin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(3), 565-573, (2018)
- [24] Ghodake, A., Rakhade R., and Maheshwari A. Effect of Burnishing Process on Behavior of Engineering Materials-A Review. *Journal of Mechanical and Civil Engineering* 5.5, 9-20, (2013)
- [25] Gharbi, F., et al. "Effect of ball burnishing process on the surface quality and microstructure properties of AISI 1010 steel plates." *Journal of materials engineering and performance* 20.6, 903-910, (2011).
- [26] Mahto, D. G and Verma A., Roller Burnishing-A Literature Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application. *Asian Journal of Engineering and Technology* 1.3 (2013).
- [27] El-Tayeb, N. S. M., Low K. O., and Brevern P. V. Influence of roller burnishing contact width and burnishing orientation on surface quality and tribological behaviour of Aluminium 6061. *Journal of materials processing technology* 186.1-3, 272-278, (2007).
- [28] El-Axir, M. H., Othman O. M., and Abodiena A. M. "Study on the inner surface finishing of aluminum alloy 2014 by ball burnishing process." *Journal of materials processing technology* 202.1-3, 435-442, (2008).
- [29] Hassan, A. M., Al-Jalil H. F., and Ebied A. A. Burnishing force and number of ball passes for the optimum surface finish of brass components. *Journal of Materials Processing Technology* 83.1-3, 176-179, (1998).
- [30] Buldum, B. B., and Bayhan B. Effect of ball-burnishing parameters on surface roughness and surface hardness of aluminum alloy 6013." *Materials Testing* 60.4, 418-422, (2018).
- [31] Ovali İ & Akkurt A., Comparison of Burnishing Process with Other Methods of Hole Surface Finishing Processes Applied on Brass Materials, *Materials and Manufacturing Processes*, 26:8, 1064-1072, (2011).
- [32] Egea A.J.S., Rodríguez A., Celentano D., A.Calleja, Lacalle L.N., Joining metrics enhancement when combining FSW and ball-burnishing in a 2050 aluminium alloy, *Surface & Coatings Technology* 367, 327-335, (2019)