

Haddeleme İşleminde Haddeleme Aparat Tipinin (Bilyeli, Makaralı, Çift Makaralı) Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliğine Etkilerinin İncelenmesi

Hüdayim BAŞAK*¹, Fikret SÖNMEZ²

¹ Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Teknikokullar, Ankara

²Yuvacık Mehmet Süha Uçar Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Başiskele, KOCAELİ

(Geliş / Received : 10.11.2014 ; Kabul / Accepted : 26.01.2015)

ÖZ

Haddeleme işlemi iyi yüzey kalitesi elde etmek için kullanılan bir sonlandırma operasyonudur. Haddeleme işlemi uygulandığı iş parçası yüzeyinde yüzey sertliğinin artması yüzey pürüzlülüğünün azalması, malzeme yorulmasına karşı direnç ve aşınma direnci gibi avantajlara sahiptir. Bu işlemde ana prensip malzeme yüzeyini ezme olduğundan bu ezme mekanizması ve işlem parametreleri (uygulanan kuvvet, ilerleme miktarı ve paso sayısı) malzeme yüzeyi pürüzlülüğü ve sertliği üzerinde anahtar rol oynar. Bu çalışmada farklı parametreler kullanılarak (haddeleme kuvveti, ilerleme miktarı ve paso sayısı) haddeleme işlemi yapmak için üç farklı aparatın tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Al-6061-T6 malzemesi üzerinde bu parametrelerin etkileri yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan aparatlarla elde edilmiş deney sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü ve sertliği açısından en iyi performansı aparat 1 olarak isimlendirilen ucunda ezici olarak bilya kullanılan aparat ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Haddeleme İşlemi, Yüzey Pürüzlülüğü, Yüzey Sertliği

In Burnishing Process, Inspection of The Burnishing Apparatus (Ball, Roller, Twist Roller) Effects on Surface Roughness and Surface Hardness

ABSTRACT

Burnishing process has been used as a finishing operation to obtain good surface quality. This process has been applied on work piece surface; it brings together some advantages such as increasing hardness, decreasing surface roughness, resistance against material fatigue and abrasion resistance. In this process, the main principal is crushing the surface of the material. For this reason, these crushing mechanics and process parameters (applied forces, feed rates and numbers of passes) have significant roles on material surface roughness and hardness. In this study, three different apparatus have been designed and manufactured in order to perform burnishing process used different parameters (burnishing force, feed rate and number of passes). The effect of these parameters on the material Al-6061 in terms of surface hardness and surface roughness has been investigated. The experimental results obtained with the apparatus used in the study were compared with each other. Best performance in terms of surface roughness and hardness of the experiments were obtained by as called apparatus 1 and used ball as crushing the tip of the apparatus.

Keywords: Burnishing Process, Surface Roughness and Surface Hardness

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Haddeleme işlemi malzemelerin yüzeylerini ezerek ve talaş kaldırmadan yapılan kullanım alanı geniş bir soğuk şekil verme işlemidir [1]. Haddeleme işlemi kullanılarak ve yapılan tek bir işlem ile yüzey pürüzlülüğü değerinde azalma, yüzey sertliği değerinde artma, yüzey yorulması ve aşınma direncinde gelişme görülebilmektedir [1-3]. Haddeleme işlemi yüzeylerde kullanılan sonlandırma operasyonlarından biri olmasının yanında sertliğin artması, korozyon direncinin iyileşmesi, yorulma ömrünün artması gibi sonuçlarından dolayı diğer

yöntemlere göre öne çıkarmaktadır [3]. Haddeleme işlemi ezici malzemesi, haddeleme devri, ilerleme miktarı, paso sayısı [4-7] ve haddeleme kuvveti [1-15] gibi bazı parametreler tarafından etkilenir. Haddeleme işlemine ait tipik bir örnek Şekil 1 de görülmektedir. Bu örnekte bilyeli ya da makaralı haddeleme ile yüzey tabakasında deformasyon oluşturmak için gerekli basıncı sağlayarak yüzeyin sahip olduğu karakteristikleri geliştiği görülmektedir. [11] Bu sonlandırma operasyonu tekniğinde mekanik iyileşmeler yanında ovalliğin giderilmesi gibi geometrik iyileştirme işlemlerinde de kullanılabilir. [14] Haddeleme işlemi yapılırken yağlama kullanımı mekanik özelliklerin iyileştirilmesine yardım eder. Yüzey iyileşmesi daha iyi

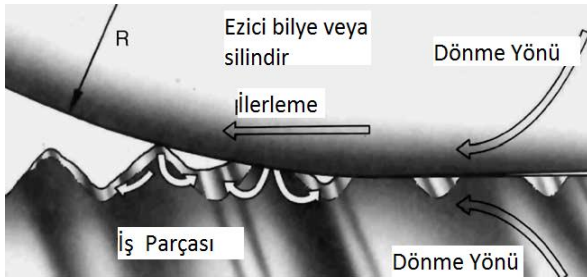
* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: hbasak@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2015.18.3, 125-132

bir hale getirilmesi için ikincil operasyonlardan bilyeli parlatma, bilye püskürtme ve elektrokimyasal sonlandırma gibi operasyonlarla da kullanılabilir. [6-9, 16-18]. Deneysel çalışmaların çoğu alüminyum ve pirinç gibi demir içermeyen yumuşak malzemeler ile yapılmıştır. [5-10] Fakat haddeleme işlemi kapasite olarak yumuşak çelik ve sert metaller içinde uygulamayı mümkün kılmaktadır. [8] Bu önemli sonlandırma işlemi CNC makinelerde kolaylıkla yapılabileceği gibi üniversal Freze tezgahı ve üniversal Torna tezgahı kullanımı ile de yapılabilmekte ve böylelikle geniş bir uygulama alanına sahip olunmaktadır. [4-5, 11-13] Haddeleme işlemi yüzeyi ezme için bilye ya da makara ile yapılmakta, gerekli olan baskı kuvvetini elde etmek için yay baskısı, [1-14] hidrolik baskı ya da manyetik baskı da kullanılabilir. [11,15].

Bu çalışmanın amacı farklı baskı başlıklarına (bilyeli yuvarlanmalı ve çift yuvarlanmalı) sahip olan üç farklı haddeleme aparatında baskı kuvveti, ilerleme miktarı ve paso sayısı gibi haddeleme parametrelerinin haddeleme üzerindeki etkilerini incelemektir. Ayrıca aparatların karşılaştırılması yapılarak en uygun aparat değerlendirmesi de yapılmıştır.



Şekil 1 Haddeleme İşlemi (burnishing process)[11]

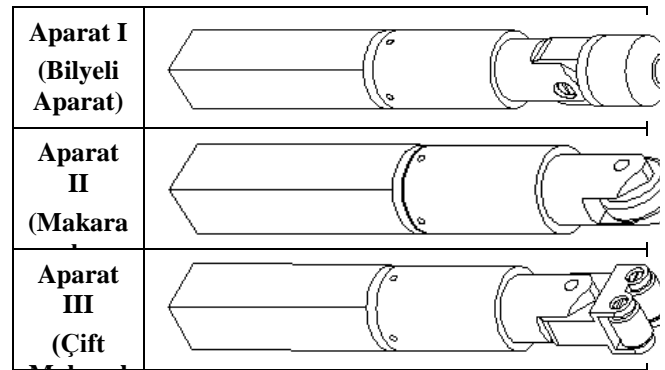
Tablo 1 de konu ile ilgili yapılan çalışmalar bir tablo halinde verilmiştir. Literatürde haddeleme işlemi için Torna tezgahı, Freze tezgahı işleme merkezi gibi tezgahların kullanıldığı görülmektedir. Haddelenecek malzeme olarak ta çelik, pirinç, alüminyum ve alaşımları, polimer malzemelerini literatürde görmek mümkündür. Aynı zamanda haddeleme işlemi için kullanılan dönme hızı veya hız, yağlama durumu, haddeleme baskısı veya batma derinliği, paso sayısı ve ilerleme hızı miktarları da tabloda verilmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde araştırmacılar tarafından kullanılan parametrelerin çoğunlukla Haddeleme kuvveti, ilerleme miktarı ve İş mili devri olduğu görülmektedir. Yağlama ve Paso sayısı ise seyrek kullanılan parametrelerdir. İncelenen araştırmalarda farklı aparat kullanımı ise bulunmamaktadır. Bu çalışmada farklı ezici uçlara sahip 3 aparatın tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiş ve bu ezici uçların haddeleme işlemi üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

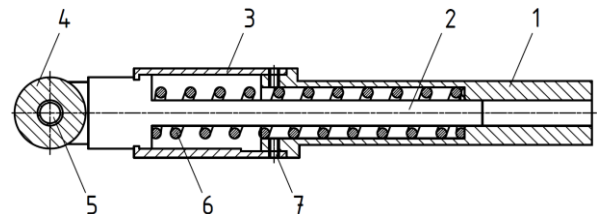
2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

2.1. Haddeleme Ekipmanının Tasarımı (Design of Burnishing Equipment)

Deneysel çalışma için dönel parçaların haddelenmesinde kullanılacak ve Torna tezgahının kalemlik bölümüne takılabilecek yapıda aparat tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Aparat tasarımında tek bir gövde yapısına takılabilecek yapıda 3 farklı başlık kullanılmıştır (Şekil 2). Haddeleme işlemi için kullanılan başlıklar bilyeli, makaralı ve çift makaralı aparat olarak tasarlanmıştır. Aparatlarının imalatı talaşlı imalat metodu ile AISI 1060 malzemeden imal edilmiş, ezici uç ile temas eden kısımlar ise AISI 316 ve 100Cr6 malzemeden imal edilmiştir. Hazır olarak alınan ve ezici olarak kullanılan aparat uçları ise katalog değeri olarak 58-65 RC sertlikte ve 0.15 µm pürüzlülük değerindedir. Örnek olarak Makaralı aparatın kesit görünüşü Şekil 3 de verilmiştir.



Şekil 2 Aparat Tipleri (Apparatus Types)



Şekil 3 Örnek Haddeleme Aparatı: (1) adaptör ; (2) mil ; (3) Kafes; (4) Haddeleme makarası yada bilyesi; (5) pim; (6) yay ; (7) civata; (Example Burnishing Apparatus: (1) adapter; (2) Shaft; (3) Cage; (4) Burnishing roller or ball; (5) pins; (6) spring; (7) bolts)

a. Deney Şartları (Test Condition)

Deney malzemesi olarak Al-6061 T6 alüminyum alaşım kullanılmıştır. Deney malzemesinin ortalama malzeme sertliği 139,2 Brinell (HB30) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra 3,2 olarak ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan Al-6061 T6 malzemesinin kimyasal yapısı tablo 2'de, deneyler için hazırlanan iş parçası örneği de Şekil 4'te gösterilmiştir.

Tablo I Literatür Taraması (Literature Review)

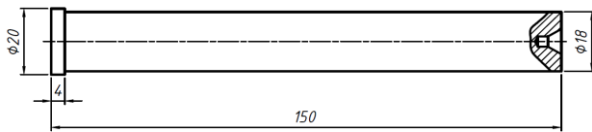
Ref No	Malzeme	Tezgah Tipi	İş Mili Devri veya Hız	Yağlama	Haddeleme Kuvveti veya derinlik	Paso Sayısı	İleleme Miktarı	Ezici Tip
1	Sertleştirilmiş Çelik	CNC Torna tezgahı	N/A	Evet	26-30-34-38-42 Mpa	1	0,05-0,075-0,10 mm/dev	Makara
2	Pirinç	Torna tezgahı	20,3 m/dk	Hayır	5-10-15-20-25 kgf	1-5	0,1 mm/dev	Bilye
3	Al-6061	Freze tezgahı	N/A	Evet	0,05-0,10-,015-0,20-0,25 mm	1-5	63-80-100-125-160 mm/dk	Makara
4	AISI P20	Freze tezgahı	200-700-1200 mm/dk	Evet	200-500-800 N	1	40-120-200µm/dk	Bilye
5	Pirinç, Al-Cu	Torna tezgahı	23 m/ dk	Evet	5-15-25 kgf	1	0,08 mm/dev	Bilye
6	Al-Alaşım	Torna tezgahı	900 dev/dk	Evet	1-2-3-4-5 mm	1	3,5-4,8-10,2-14,9-24,5-32,4-42,6µm/dev	Makara
7	Pirinç Alüminyum	Torna tezgahı	20,23 m/ dk	Hayır	10-20-30-40-50-60-70 kgf	1-6	0,1 mm/dev	Bilye
8	Yumuşak Çelik	Torna tezgahı	0.159–1.84 m/s	Evet	70-150-230 N	1	0.04–0.012-0.19 mm/dev	Bilye
9	Pirinç Alüminyum	Torna tezgahı	25,8 m/ dk	Hayır	49.1-98.1-147.2-245.3-343.4 N	1	0,1 mm/dev	Bilye
10	Pirinç	Torna tezgahı	24 m/ dk	Hayır	2, 9,16,23,30 kgf	1-5	0,1 mm/dev	Bilye
11	St-37	Torna tezgahı	50-100...450-500 dev/dk	Evet	5-15-20-25-35-45 kgf	1-5	0,06-0,13-0,20-0,27-0,34 mm/dev	Bilye
12	Al-Cu	Torna tezgahı	20-40-60-80-100 m/ dk	Hayır	0-5-10-15-20 kgf	1	0,05-0,10-0,15-0,20-0,25 mm/dev	Bilye
13	Al Alaşım	Torna tezgahı	50-70-90-110-130-150-170 m/ dk	Hayır	2µm	1	10-30-50-70-90-110-130 µm	Bilye
14	Al- Alaşım, Pirinç, Karbon Çeliği	Torna tezgahı	1.04, 1.37, 1.693, 2.006, 2.341 m/s	Evet	0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2 mm	1	10, 20, 30, 40, 50 saniye (Haddeleme Zamanı)	Makara
15	Çelik	Torna tezgahı	20..80 m/ dk	Evet	50...100 N	1	0,05-0,30 mm/dev	Bilye
16	NAK80 Takım Çeliği	İşleme Merkezi	14000-18000-22000 dev/dk	Hayır	60-120-240 µm	1	20-60-100 mm/dk	Bilye
17	SKH57	İşleme Merkezi	400-800-1,200 dev/dk	Hayır	10-20-30-40-50-60 Ampera	1	22-44,-66,-88- 110-132 mm/dk	Özel (Küresel)
18	Pirinç	Torna tezgahı	60-800-1000-1200 dev/dk	Hayır	15,20,25,30,35, 40 Ampera	1	20-120 mm/dk	Özel (Küresel)
19	Çelik	Torna tezgahı	N/A	Hayır	4-20 daN	1	0.01-0.10 mm/dev	Bilye
20	Çelik (EN24)	Torna tezgahı	40-60-80 m/ dk	Hayır	100-500 N	1-3	0.028-0.08 mm/dev	Makara
21	Pirinç	Torna tezgahı	15.07--155.83 m/ dk	Hayır	50-....-250 N	1-5	0.05-.025 mm/dev	Bilye
22	Al-Alaşım	Freze tezgahı	100-400 dev/dk	Hayır	100-400 N	2-5	0.05-0.3 mm/dev	Bilye
23	Çelik	Torna tezgahı	N/A	Hayır	150-250 N	1	0.085-0.102 mm/dev	Bilye
24	Polimer	Torna tezgahı	110-490 dev/dk	Evet	60-360 N	1	0.087 mm/dev	Makara
25	Çelik	İşleme Merkezi	N/A	Evet	150-900 N	1	800 mm/dk	Bilye
26	Çelik	CNC Torna tezgahı	25 m/dk	Hayır	600N	4	0.05,0.075, 0.1 mm/dev	Bilye
27	Çelik	CNC Torna tezgahı	75 m/dk	Evet	10 MPa	1	0.05 mm/dev	Bilye
28	Çelik	Torna tezgahı	200 m/dk.	Hayır	230 N	1	0.15 mm/dev	Makara
29	Çelik	Torna tezgahı	45 dev/dk	Hayır	600 N	1	0.05 m/dev	Makara
30	Çelik	Torna tezgahı	21,76,152 m/dk	Hayır	50,100,150 N	1,3,6	0.03,0.06,0.12 mm/dk.	Özel (Küresel)
31	Al-alaşım	İşleme Merkezi	2000 dev/dk	Hayır	6-18 µm	1-4	0.1,0.2,0.3mm	Bilye
32	Ti-alaşım	Torna tezgahı	N/A	Hayır	100,200,300,400 Bar	1	0.2 mm/dev	Bilye
33	Pirinç	CNC Torna tezgahı	150,250,350,450	Evet	109,187,221,246 N	1	0.03,0.06,0.09,0.12 mm/dev	Bilye
34	Çelik	Torna tezgahı	80 dev/dk	Evet	180,185,195,200,230 N	1	0.05 mm/dev	Bilye

Tablo 2 Al 6061 –T6 ait kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %) (Al 6061 -T6 of chemical composition (wt%))

Al	Mg	Si	Fe	Cu	Cr	Zn	Mn	Ni	Ti
%97,92	%1,00	0,65	%0,35	%0,30	%0,23	%0,08	%0,05	%0,05	%0,04

Tablo 4 Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Den. No	İlerleme Hızı	Haddeleme Kuvveti	Paso Sayısı	Aparat I (Bilyeli Aparat)		Aparat II (Makaralı Aparat)		Aparat III (Çift Makaralı Aparat)	
				Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Ortalama Yüzey Sertliği (HB30)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Ortalama Yüzey Sertliği (HB30)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Ortalama Yüzey Sertliği (HB30)
1	0.12	30	1	1,413	180	1,503	173,6	1,923	172
2	0.12	30	2	0,677	193,6	0,823	188,33	1,683	192
3	0.12	30	3	0,630	184,67	0,733	171,4	1,100	163,13
4	0.12	50	1	0,750	181,67	1,147	174,2	1,533	168,53
5	0.12	50	2	0,733	180,33	0,867	171,33	0,907	165,73
6	0.12	50	3	0,733	187	0,587	182,35	1,187	171,4
7	0.12	65	1	0,423	183,21	0,713	181	1,173	161
8	0.12	65	2	0,660	183,66	0,867	171,8	1,710	166,67
9	0.12	65	3	0,517	185,67	0,703	182	1,730	153,8
10	0.12	80	1	0,777	182,67	0,750	179,53	2,260	165,27
11	0.12	80	2	0,743	197,67	1,043	194,33	1,633	164,8
12	0.12	80	3	0,463	200,67	0,760	176	1,703	168,07
13	0.24	30	1	1,290	172,53	1,793	172	2,120	168,21
14	0.24	30	2	1,200	178,27	1,193	174,13	1,783	169
15	0.24	30	3	1,503	171,4	1,743	162,93	2,050	160,3
16	0.24	50	1	0,990	191	1,873	176,27	1,937	161,6
17	0.24	50	2	0,700	190,33	1,403	182	1,873	161,6
18	0.24	50	3	0,773	193,67	1,467	160	1,583	161,2
19	0.24	65	1	0,953	183,33	2,130	161,23	2,247	156,6
20	0.24	65	2	0,913	183,67	1,260	171,6	1,777	172
21	0.24	65	3	0,743	195,33	1,487	184,67	2,003	168,07
22	0.24	80	1	0,823	199,67	1,427	175,73	1,957	163,4
23	0.24	80	2	0,847	194	1,557	180,67	1,637	170,6
24	0.24	80	3	0,697	196	1,563	175,73	2,003	174,13
25	0.36	30	1	1,527	177,33	1,873	166,2	2,643	159,8
26	0.36	30	2	0,887	186,21	1,210	182	2,037	169
27	0.36	30	3	0,740	178,52	1,273	173,07	1,930	161,4
28	0.36	50	1	0,977	182,33	1,630	175,2	1,750	170,6
29	0.36	50	2	1,047	183,33	1,420	174	1,980	164,24
30	0.36	50	3	0,933	182	1,307	169,23	1,997	168,07
31	0.36	65	1	1,057	180,33	1,560	172,24	1,947	168,53
32	0.36	65	2	0,680	181	1,150	169,8	2,530	160,6
33	0.36	65	3	0,867	191	1,407	174,13	2,620	170,4
34	0.36	80	1	0,953	191,67	1,303	169,8	1,843	155,8
35	0.36	80	2	0,753	184	1,487	175	2,143	163,4
36	0.36	80	3	0,717	185	1,390	176	2,060	169,6



Şekil 4 İş parçası Ölçüleri (Workpiece dimensions)

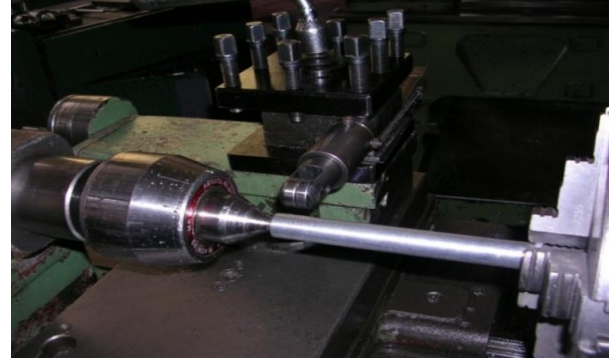
Haddeleme çalışmasında baskı kuvveti, ilerleme hızı, paso sayısı ve aparat tipi olmak üzere dört farklı parametre tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 3 Çalışmada kullanılan parametreler (The parameters used in this study)

Haddeleme Kuvveti (N)	30—50—65—80
İlerleme Hızı (mm/dev)	0.12—0.24—0.36
Paso Sayısı	1—2—3
Aparat Tipi	Aparat 1— Aparat 2— Aparat 3

Parametrelerin etkisini bağımsız olarak daha iyi şekilde görebilmek için tabloda görülen değerlerden her deneyde sadece bir tanesi değiştirilerek haddeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. İmalatı yapılan üç farklı aparatın her biri için toplam 36 deney yapılmış ve toplamda 108 deney sonucu elde edilmiştir.

Haddeleme işleminin yapılabilmesi için gerekli olan baskı kuvveti yay basısı ile elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan yayın yay sabiti ile sıkışma miktarına göre farklı kuvvetler elde edilebilmektedir. Böylelikle farklı yay sıkıştırma oranlarında farklı baskı kuvvetleri elde edilmiştir. Elde edilen kuvvet yük ölçer ile de kontrol edilerek parçalara uygulanmıştır. Haddeleme aparatları Üniversal Torna tezgahına bağlandıktan sonra tezgah tablasından ilerleme verilerek yayın baskı üretmesi sağlanmıştır. Tüm deneyler için iş parçası ayna punta arasına alınarak 500 dev/dk sabit devir ile işlemler gerçekleştirilmiş ve deneylerde soğutma sıvısı

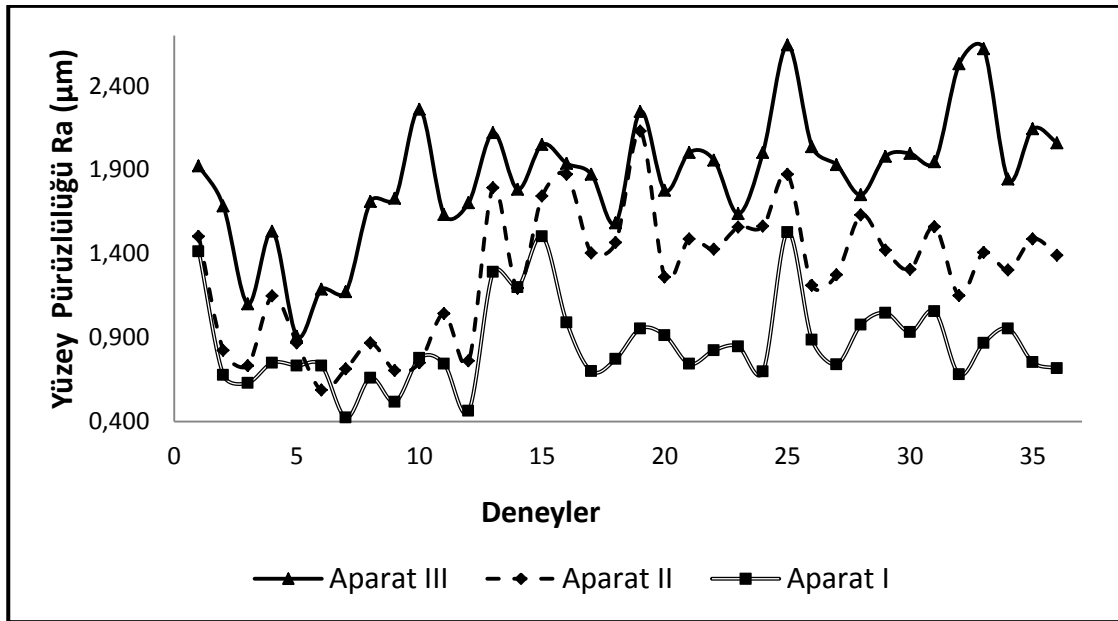


Şekil 5 Haddeleme Düzeneği (Burnishing Embodiments)

Deneyler sonucunda iş parçaları Mitutoyo SurfTest Sj-201 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ve Digirock-Rbov yüzey sertliği ölçüm cihazı ile ölçümler yapılmış ve bu ölçümler her numune için deney numune kartlarına işlenmiştir. Her deney parçası için 3'er ölçüm yapılmış ve ortalama değerler tespit edilmiştir. Tablo 4'de her aparat grubu için elde edilen sonuçlar görülmektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Aparatların deneyler sırasında elde ettikleri yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün azaltılmasında tüm aparatların olumlu etkisinin olduğu ve tüm



Şekil 6 Yüzey pürüzlülüğü sonuçları (Surface roughness results)

kullanılmamıştır. Şekil 5'de deney aparatının Torna tezgahına bağlanması ve deney numunesi üzerinde haddeleme işleminin yapılması görülmektedir

aparatların yüzey pürüzlülüğünü iyileştirerek ham değer olan Ra 3.2 değerinin altına taşıdığı görülmektedir.

En iyi iyileşme durumunda yüzey pürüzlülüğü 0,423 μm seviyesinde gerçekleşmiş ve bu sonuç bilyeli aparat (Aparat I) tarafından elde edilmiştir. En az yüzey iyileşmesi ise pürüzlülük değeri 2,643 μm olarak çift makaralı aparat (Aparat III) tarafından elde edilmiştir. Yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü iyileşmesi % 21 - % 750 aralığında gerçekleştiği görülmüştür. Aparatlar arasında alınan sonuçlarda aparatların temas yüzeyleri ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişki kurulabilir. Grafiklerde aparat temas alanının genişlemesi ile birlikte temas yüzeyinde iş parçasına etki eden kuvvetin azaldığı bunun sonucunda da geniş yüzeyli aparatlarda daha az plastik deformasyon ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durumun haddeme esnasında uygulanan baskı kuvvetinin büyüklüğü ile de ilgili bir sonuç olduğu düşünülmektedir. Bu deney setinde kullanılan baskı kuvvetlerinin böyle bir sonuca neden olduğu düşünülmektedir. Uygulanan baskı kuvvetinin artırılması durumunda geniş yüzeye sahip aparatların yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi sonuç verebileceği tahmin edilmektedir.

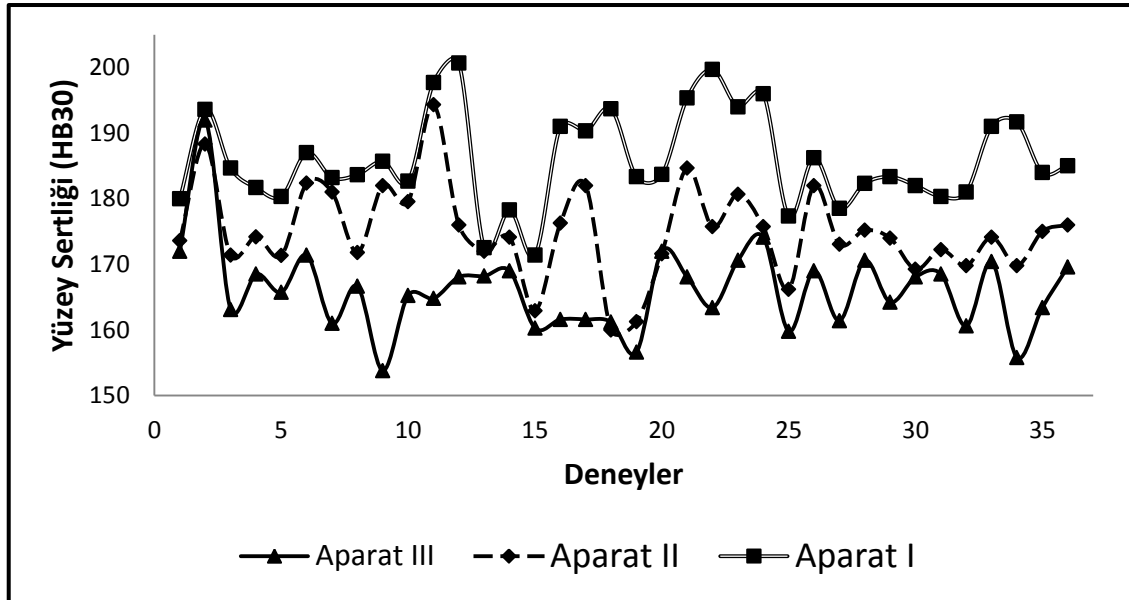
Literatürde incelenen çalışmalarda da haddelenen parçalarda yüzey sertliği artışı ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düşüş meydana gelmektedir. Haddeme kuvveti, ilerleme miktarı gibi değerler açısından değerlendirildiğinde ezilen yüzey alanında oluşan basınç belirli bir noktadan sonra malzemenin yüzey niteliklerini bozmaktadır. Yapılan literatür çalışmalarda haddemenin belirli parametre aralıklarında kullanımının olumlu etkisi yapılan bu çalışmada da görülmüştür.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Yüzeyi ezerek ve talaş kaldırmadan yapılan haddeme operasyonunda kullanılan haddeme parametreleri olan haddeme kuvveti, ilerleme hızı, paso sayısı ve haddeme aparatının etkilerinin incelendiği bu çalışma ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Mevcut deney şartlarında;

- Düşük ilerleme hızı, yüksek baskı kuvveti ve



Şekil 7 Yüzey Sertliği Sonuçları (Surface hardness results)

Yüzey sertlik değerlerini gösteren Şekil 7 analiz edildiğinde yüzey sertlik değerinin tüm aparatlar ile yapılan deneyler sonrası ham değer olan 139.2 Brinell (HB30) değerinin üstüne taşıdığı görülmektedir.

En yüksek yüzey sertliği bilyeli aparat ile 200,67 Brinell (HB30) olarak ölçülmüş ve yüzey sertliği %45 artmıştır. Aparatlar yüzey pürüzlülüğü grafiğine benzer şekilde sıralanmıştır. Bu durum yüzey sertliğinde görünen farklılığın yay baskısı ile elde edilen kuvvetin aparatların farklı ezici yüzey alanlarına sahip olması ve geniş yüzeyli aparatlarda daha az ezilmeye bağlı olarak sınırlı sertlik artışı olması ile açıklanabilir. Hem yüzey sertliği hem de yüzey pürüzlülüğünde bilyeli aparat daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

yüksek paso sayısı yüzey pürüzlülüğünün azaltılmasında ve yüzey sertliğinin artırılmasında genel olarak en iyi sonuçları vermektedir.

- Deneylerde kullanılan bütün aparatlar yüzey pürüzlülüğünü azaltma ve yüzey sertliğini artırma üzerinde olumlu etkiye sahiptirler. Bilyeli aparat ile yapılan deneyler diğer aparatlara göre en iyi yüzey pürüzlülüğü ve en iyi yüzey sertliğine ulaşmak için seçilebilir.
- En iyi iyileşme durumunda yüzey pürüzlülüğü 0,423 μm seviyesinde gerçekleşmiş ve bu sonuç bilyeli aparat (Aparat I) tarafından elde edilmiştir. En az yüzey iyileşmesi ise

pürüzlülük değeri 2,643 μm olarak çift makaralı aparat (Aparat III) tarafından elde edilmiştir. Yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü iyileşmesi % 21 - % 750 aralığında gerçekleştiği görülmüştür.

- En iyi yüzey sertliği %45 artarak bilyeli aparat(Aparat I) ile 200,67 Brinell (HB30) olarak gerçekleşmiştir. En az yüzey sertliği değeri iyileşmesi ise 153,8 Brinell (HB30) olarak çift makaralı aparat (Aparat III) tarafından elde edilmiştir. Yapılan deneylerde yüzey sertliği iyileşmesinin % 10 - % 45 aralığında gerçekleştiği görülmüştür.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] El-Axir M.H. "An investigation into burnishing Process," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40, 1603–1617, (2000)
- [2] Adel Mahmood Hassan, Sulieman Z.S. Al-Dhi "Improvement in the wear resistance of brass components by the ball burnishing process", *Journal of Materials Processing Technology*, 96, 73-80, (1999)
- [3] Khabeery M. M., Axir M. H., "Experimental techniques for studying the effects of milling roller-burnishing parameters on surface integrity", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41, 1705–1719, (2001)
- [4] Shiou F.-J., Chen C.-H., "Freeform surface finish of plastic injection mold by using ball-burnishing process", *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 248–254, (2003)
- [5] Hassan A. D., Maqableh A. M., "The effects of initial burnishing parameters on non-ferrous components" *Journal of Materials Processing Technology*, 102, 115-121, (2000)
- [6] Luo H., Wang L., Zhang C., "Study on the aluminum alloy burnishing processing and the existence of the outstripping phenomenon", *Journal of Materials Processing Technology*, 116, 88-90, (2011)
- [7] Hassan A. M., "The effects of ball burnishing on the surface roughness and hardness of some non-ferrous metals", *Journal of Materials Processing Technology*, 72, 385–391, (1997)
- [8] El-Axir M. H., Ibrahim A. A., "Some surface characteristics due to center rest ball burnishing", *Journal of Materials Processing Technology*, 167(6), 47–53, (2005)
- [9] Hassan A. M., Momani A. M. S., "Further improvements in some properties of shot peened components using the burnishing process", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40, 1775–1786, (2000)
- [10] Hassan A.M., Al-Jalil H.F., Ebied A.A., "Burnishing force and number of ball passes for the optimum surface finish of brass components", *Journal of Materials Processing Technology*, 83, 176–179, (1998)
- [11] Luca L., Neagu-Ventzel S., Marinescu I., Tam SC. "Effects of working parameters on surface finish in ball-burnishing of hardened steels.", *Precision Engineering*, 10(4), 215–220, (2004)
- [12] Hassan A.M. "An Investigation into the surface characteristics of burnished cast Al-Cu Alloys", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 37(6), 813-821, (1997)
- [13] Yu X., Wang L., "Effect of various parameters on the surface roughness of an aluminium alloy burnished with a spherical surfaced polycrystalline diamond tool", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39, 459–469, (1999)
- [14] El-Axir, M.H., El-Khabeery, M.M., "Influence of orthogonal burnishing parameters on surface characteristics for various materials" *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 82–89, (2003)
- [15] Kodácsy J., Danyi J., Szabó A., Fülöp G., "Magnetic Aided Roller Burnishing Metal Parts" *7th International Conference on Deburring and Surface Finishing UC Berkeley, USA*, (2004)
- [16] F.J. Shiou, C.H. Cheng "Ultra-precision surface finish of NAK80 mould tool steel using sequential ball burnishing and ball polishing processes" *Journal of Materials Processing Technology*, 201, 554–559, (2008)
- [17] P. S. Pa "Continuous finishing processes using a combination of burnishing and electrochemical finishing on bore surfaces" *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49, 147–154, (2010)
- [18] P. S. Pa "Design of freeform surface finish using burnishing assistance following electrochemical finishing" *Journal of Mechanical Science and Technology*, 21, 1630-1636, (2007)
- [19] Korzynski M. "A model of smoothing slide ball-burnishing and an analysis of the parameter interaction." *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 625–633, (2009)
- [20] Binu C. Yeldose, B. Ramamoorthy, "An investigation into the high performance of TiN-coated rollers in burnishing process" *Journal of Materials Processing Technology*, 207, 350–355, (2008)
- [21] T. A. El-Taweel & M. H. El-Axir , "Analysis and optimization of the ball burnishing process through the Taguchi technique," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41, 301–310, (2009)
- [22] Basak H., Goktas H.H. "Burnishing process on al-alloy and optimization of surface roughness and surface hardness by fuzzy logic" *Materials and Design*, 30, 1275–1281, (2009)
- [23] Korzynski, M., Lubas, J., Swirad, S., & Dudek, K. "Surface layer characteristics due to slide diamond burnishing with a cylindrical-ended tool." *Journal of Materials Processing Technology*, 211(1), 84-94, (2011)
- [24] Taylor, P. "Surface Characteristics Modification of Polyoxymethylene and Polyurethane Using Burnishing Surface Characteristics Modification of Polyoxymethylene and Polyurethane Using Burnishing" *Tribology Transactions*, 54, 96-103, (2011)
- [25] Shiou, F.-jung, & Chuang, C.-hsiung. "Precision surface finish of the mold steel PDS5 using an innovative ball burnishing tool embedded with a load cell", *Precision Engineering*, 34, 76-84, (2010)

- [26] Grzesik W. & Zak K. “Producing high quality hardened parts using sequential hard turning and ball burnishing operations”, *Precision Engineering*, 37, 849– 855, (2013)
- [27] Avilés R., Albizuri J. , Rodríguez A., López de Lacalle L.N. “Influence of low-plasticity ball burnishing on the high-cycle fatigue strength of medium carbon AISI 1045 steel”, *International Journal of Fatigue*, 55, 230–244, (2013)
- [28] Balland P., Tabourot L., Degre F., Moreau V., “An investigation of the mechanics of roller burnishing through finite element simulation and experiments”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 65, 29–36, (2013)
- [29] Vukelic D., Miljanic D., Randjelovic S., Budak I., Dzunic D., Eric M., Pantic M., “A burnishing process based on the optimal depth of workpiece penetration”, *Materials and Technology*, 47(1), 43–51, (2013)
- [30] Korhonen H., Laakkonen J., Hakala J., Lappalainen R., “Improvements in the surface characteristics of stainless steel workpieces by burnishing with an amorphous diamond-coated tip”, *Machining Science and Technology*, 17, 593–610, (2013)
- [31] Tadic B., Todorovic M. P., Luzanin O., Miljanic D., Jeremic M. B., Bogdanovic B., Vukelic D., ” Using specially designed high-stiffness burnishing tool to achieve high-quality surface finish”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67, 601–611, (2013)
- [32] Sayahi M., Sghaier S., Belhadjsalah H., ” Finite element analysis of ball burnishing process: comparisons between numerical results and experiments”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67, 1665–1673, (2013)
- [33] Sarhan A. A. D., El-Tayeb N. S. M., ” Investigating the surface quality of the burnished brass C3605—fuzzy rule-based approach” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71, 1143–1150, (2014)
- [34] Huuki J., Laakso VA S., ” Integrity of surfaces finished with ultrasonic burnishing”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 227(1), 45–53, (2012)