

## Hardox 500 ve Hardox 600 Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Davranışlarının Karşılaştırılması

Mehmet Tabur<sup>1+</sup>, Mahmut İzçiler<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

<sup>+</sup>Sorumlu Yazar: taburmehmet@gmail.com

<sup>\*</sup>Sunucu: mizciler@gazi.edu.tr

**Özet** – Bu çalışmada yüksek aşınma direncine sahip Hardox 500 ve Hardox 600 çeliklerinin abrasiv aşınma dirençleri incelenmiştir. Her iki malzemeden 10 mm çapında ve 25 mm uzunluğunda numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerin aşınma davranışları pin-on disk test cihazında; 106 dev/dak ve 30 dev/dak devir sayılarında ve 14.50 m aşınma yolunda değerler sabit tutularak incelenmiştir. Aşındırıcı olarak P220C Mesh, P400C Mesh ve P600C Mesh SiC abrasiv aşındırıcı kağıtlar kullanılmıştır. Numunelere 10N, 20N ve 30N olmak üzere 3 farklı yük uygulanmıştır. Bir numune ile yapılan aşınma deneyi her defasında aynı şartlarda yeni bir aşındırıcı kağıt kullanılarak, en az üç defa tekrarlanmış ve ortalama değerler alınmıştır. Aşınma miktarı, ağırlık kaybı yöntemine göre tespit edilmiştir. Numuneler iyice temizlendikten sonra deneyden önce ve deneyden sonra  $10^{-4}$  hassasiyetli terazi ile tartılarak ağırlık kaybı (aşınma kayıpları) “g(gram)” cinsinden bulunmuştur. Aşınma deneyleri sonucunda Hardox500 çelik numunelerdeki ağırlık kaybı Hardox600 çelik malzemesine göre daha fazla olmuştur. En fazla ağırlık kaybı P220C Mesh aşındırıcılar kullanıldığında, en az malzeme kaybı ise P600C Mesh aşındırıcılar kullanıldığında meydana gelmiştir.

**Anahtar Kelimeler**– Hardox 500, Hardox600, Abrasiv Aşınma, Pin on disk

### I. GİRİŞ

Çelik malzemeler, farklı amaçlarla çok farklı kullanım alanlarına sahip metalik malzemelerin başında gelmektedir. Bu nedenlerle farklı beklentilere sahip çeliklerin üretimi gerekmektedir. Bu malzemeler alaşım elementi ilavesi ve ısıl işlem yoluyla bu farklı beklentileri karşılayabilecek hale getirilebilmektedirler. Bu amaçlar doğrultusunda çeliklere normalizasyon, tavlama, östemperleme, martemperleme, borlama gibi daha bir çok ısıl işlem uygulanarak bu malzemelerin özellikleri geliştirilmekte ve hedeflenen amaçlara uygun malzemeler üretilmektedir [1-6].

Makine teçhizat ve donanımlarının aşınma yüzeylerinde oluşan malzeme taşınımı veya kaybı malzemelerin çalışma esnasındaki ömrünü ve çalışma performansını etkileyeceğinden ekonomik ve emniyet açısından çok önemlidir. Özellikle abrasiv aşınma endüstriyel cihazlarda malzeme kayıplarının başlıca sebebidir. Bu nedenle aşınmaya karşı daha dirençli çeliklerin işlenmesi de gittikçe önem kazanmaktadır. Çünkü çelikler bileşimleri nedeni ile özellikle abrasiv aşınmaya maruz kalan makine bileşenlerinde, mühendisliğin çeşitli alanlarında, raylar, elekler, bilyalar, kepeçler, damperler vb. yerlerde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yüzey mühendisliğinin ana hedeflerinden biri de makine elemanlarındaki aşınmayı en aza indirerek bu elemanlardan gereksinim duyulan yararı en yüksek şekilde sağlamaktır. Çünkü malzemelerin yüzeyinde meydana gelen aşınma kayıpları makine elemanlarının istenilen etkinlikte çalışmasını engellemekte ve ciddi külfetler getirmektedir. Malzeme yüzeyindeki kütle azalma genel olarak makine bileşenlerinin de zarar görmesine neden olmakta ve çok ciddi yapısal hasarların oluşmasına yol açmaktadır[7].

1979’da DIN 50320’ye göre aşınma, “Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı,sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen yüzey bozulmasıdır” [8,9,10]. Bu tanıma göre aşınmadan söz etmek için; mekanik bir etkinin olması, sürtünmenin olması, istenilmediği halde meydana gelmesi, yavaş fakat devamlı olması, malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi gerekmektedir [7].

Ne zaman iki yüzey temas etse aşınma oluşur. Özellikle endüstride sık sık karşılaşılan yüzeylerdeki aşınmaya bağlı malzeme kaybı ekonomik olarak önemli bir güç ve maddi kayba neden olmaktadır [7,11]. Bu sebepten dolayı makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin tespiti için de mutlaka birçok laboratuvar deneylerinin yapılması gerekir [9,10].

Hardox çeliklerinin yüksek sertliği kesintisiz bir ısıl işlemle sağlanmaktadır. Hardox çeliğinin sertliği aşınma direncinin iyi bir ölçüsüdür. Bu malzeme ile yapılan ürünlerin uzun ömürlü olmasını sağlayan Hardox çeliklerinin en önemli özelliği Hardox çelik plakalarının tam sertleştirilmiş olmasıdır. Hardox çeliklerinin çarpma mukavemeti ve plastik esnekliği çok yüksektir [12].

Endüstride, Hardox500 ve Hardox 600 sac malzemeler aşınmaya karşı dayanıklı olmaları, yüksek tokluk, işlenebilirlik özelliği, kaynak edilebilirlik ve yüksek sertlik özelliklerine sahip olmaları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir [13]. Endüstride çeşitli uygulamalarda kullanılan makine

parçalarının işleyişleri esnasında parçaların birbiri ile teması ya da zorlu çalışma şartları nedeniyle aşınarak orijinal ölçülerini kaybetmesi, hem makinenin çalışma düzenini bozmakta hem de makinenin verimini düşürerek kaliteli ürün elde edilmesini engellemektedir [14,15]. Aşınmada olduğu gibi, korozyon, darbe, iç gerilmeler ve yorulma nedeniyle hasar meydana gelen makine elemanları, sistemin tamamen yavaşlamasına hatta durmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, özellikle, taş ve maden taşıma gibi ağır işler yapan kamyonların kasası, kırıcı-delici-yükleyici gibi iş makinesi parçaları, maden araçları, kırıcı ekipmanları, damper kasaları, ekskavatör kepçeleri ve benzeri ekipmanlarda parçaların çalışma ömürlerinde artış sağlayarak darbe, iç gerilme, yorulma, sürtünme ve korozyonla oluşan malzeme kayıplarını da en aza indirmektedir [16-20].

Malzemelerin aşınması makine elemanları için çok önemli olup çalışan makinenin ömrü ile yakından ilgilidir. Günümüze kadar çeşitli malzemelerin aşınma dirençlerini ölçmek amacıyla birçok laboratuvar cihazları çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış ve farklı malzemelerin aşınma davranışları incelenmiştir. Bu çalışmada da aşınma hızı kontrol edilebilir özelliklere sahip Pin-on disk aşınma test cihazı kullanılarak aşınmaya dayanıklı Hardox-500 ve Hardox-600 çelik malzemeleri değişik kuvvetler altında, farklı kum tanecik boyutuna sahip silisyum karbür zımparalar ile aşındırılmış olup bu şartlar altında abrasiv aşınma davranışları incelenmiştir.

## II. DENEY DETAYLARI

### 2.1. Test Malzemeleri

Bu çalışmada kullanılan test malzemeleri aşınmaya dirençli hardox500 ve hardox 600 çelikleridir. Hardox 500 çeliği; 500 HBW nominal sertliğe sahip, bükülebilir ve kaynaklanabilen, yüksek düzeyde aşınmaya dayanıklı bir çeliktir. Yüksek aşınma direnci gerektiren uygulamalar için uygundur. Hardox 500 test malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Hardox 500 çeliğinin kimyasal analizi (% ağırlık)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	EW	C14
0.26	0.27	1.05	0.011	0.001	0.90	0.05	0.018	0.001	0.62	0.413

Hardox 600 çeliği; 600 HBW nominal sertliğe sahip, kesilebilir ve kaynaklanabilen, yüksek düzeyde aşınmaya dayanıklı ekstra sert ve tok bir çeliktir. Özellikle sıra dışı aşınma koşulları ve yüksek performans uygulamaları için uygundur. Hardox 600 test malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Hardox 600 çeliğinin kimyasal analizi (% ağırlık)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	B	EW
0.42	0.14	0.97	0.008	0.001	0.08	0.70	0.051	0.010	0.01	0.001	0.66

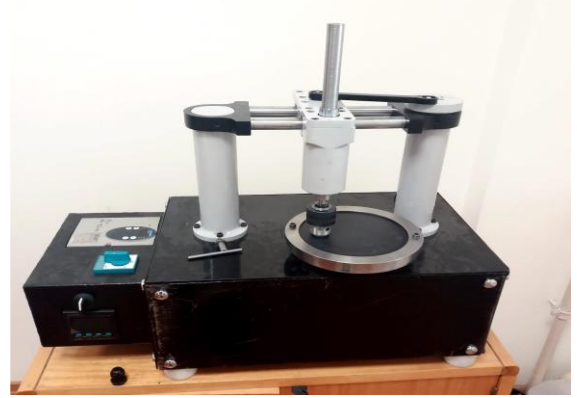
Deneyde kullanılan aşınma numuneleri, Hardox 500 ve Hardox 600 çelik plakalardan 10 mm çapında ve 25 mm uzunluğunda hazırlanmıştır.

### 2.2. Deneyin Yapılışı

Aşınma deneyleri 10 mm çapında ve 25 mm yüksekliğinde hazırlanan deney numuneleri kullanılarak yapılmıştır. 10, 20 ve 30 N olmak üzere 3 farklı yük uygulanmıştır. Aşındırıcı olarak English Abrasives marka, kum büyüklükleri P220C Mesh, P400C Mesh, P600C Mesh olan 3 çeşit silisyum karbür

zımpara kağıdı kullanılmıştır. Hız 106 dev/dk, aşınma yolu 14,50m’dir. Bir numune ile yapılan aşınma deneyi her defasında aynı koşullarda, aynı şartlarda ve aynı oda sıcaklığında yeni bir aşındırıcı kağıt kullanılarak en az üç defa tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır. Her deneyde yeni aşındırıcı kağıt kullanılmıştır. Aşınma deneyleri Şekil 1’deki Pin on disk aşınma cihazında yapılmıştır.

Aşınma miktarı, ağırlık kaybı esaslarına göre tespit edilmiştir. Numuneler, iyice temizlendikten sonra, deneyden önce ve deneyden sonra ( $10^{-4}$ g) hassasiyetinde bir terazi ile tartılarak ağırlık kaybı (aşınma kayıpları) “g” cinsinden bulunmuştur.



Şekil 1. Aşınma testlerinin yapıldığı pin-on disk abrasiv aşınma cihazı

Bulunan değerler ağırlık farkı metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

Aşınma oranı bağıntısı;

$W_a = \Delta G / d.M.S$  (mm<sup>3</sup>/Nm) olup burada:

W<sub>a</sub>: Aşınma oranı (mm<sup>3</sup>/Nm),

ΔG: Ağırlık kaybı (mg),

M : Yükleme ağırlığı (FN) (N),

S : Aşınma yolu (m),

d : Yoğunluk (mg/mm<sup>3</sup>) olarak alınmıştır. Aşınma oranının (W<sub>a</sub>) ters değeri olan Aşınma direnci, (W<sub>r</sub>) bağıntısı ise aşağıda verilmiştir.

$W_r = 1/W_a$  (Nm/mm<sup>3</sup>) [7,8,9]

## III. DENEYSSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Hardox-500 ve Hardox-600 çelik malzemeleri, üç farklı kuvvet altında (10-20-30N) ve P 220C Mesh, 400C Mesh ve 600C Mesh olmak üzere 3 farklı silisyum karbür aşındırıcı kağıt ile aşındırılarak ağırlık kayıpları incelenmiştir.

Tablo 3: P 220 C Mesh aşındırıcı için uygulanan kuvvetlere göre numunelerin miligram (mg) olarak aşınma miktarları

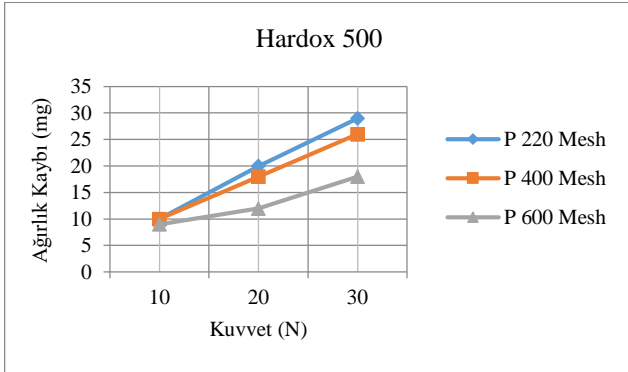
Yükleme Ağırlığı (N)	Numunelerin Ağırlık Kaybı (mg)	
	Hardox-500	Hardox-600
10	10	10
20	20	19
30	29	26

Tablo 4: P 400 C Mesh aşındırıcı için uygulanan kuvvetlere göre numunelerin miligram (mg) olarak aşınma miktarları

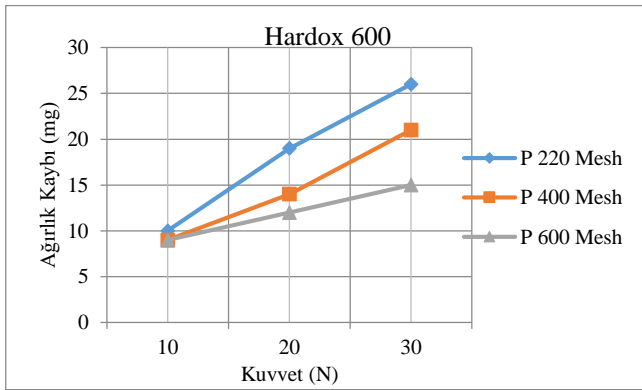
Yükleme Ağırlığı (N)	Numunelerin Ağırlık Kaybı (mg)	
	Hardox-500	Hardox-600
10	10	9
20	18	14
30	26	21

Tablo 5: P 600 C Mesh aşındırıcı için uygulanan kuvvetlere göre numunelerin miligram (mg) olarak aşınma miktarları

Yükleme Ağırlığı (N)	Numunelerin Ağırlık Kaybı (mg)	
	Hardox-500	Hardox-600
10	9	9
20	12	12
30	18	15



Grafik 1. Farklı aşındırıcılardaki Hardox-500 için ağırlık kaybı ve kuvvet grafiği.



Grafik 2. Farklı aşındırıcılardaki Hardox-600 için ağırlık kaybı ve kuvvet grafiği.

Pek çok araştırmacı “yükün artması ile aşınma miktarının arttığını, azalması ile de azaldığını” belirtmişlerdir [7,21-24]. Yapılan deneyler sonucunda da Grafik 1 ve Grafik 2 incelendiğinde yükün artması ile birlikte aşınma miktarının da arttığı görülmüştür. Yine aynı araştırmacıların ve pek çok araştırmacının yaptığı çalışmalarda aşındırıcı tane boyutunun artması ile aşınma miktarının arttığı, azalması ile de azaldığı belirtilmiştir. Burada yapılan deneysel çalışmalarda da aşındırıcı boyutunun artması ile aşınma miktarlarının arttığı görülmüştür.

Sertlik arttıkça malzemelerdeki aşınma miktarı da azalmakta sert malzemedeki aşınma daha az olmaktadır. Yapılan deneyde de Hardox-500 çelik malzemedeki aşınma miktarının Hardox-600 çelik malzemedeki aşınma miktarından fazla olduğu görülmüştür. Buda Hardox-600 çeliğinin Hardox 500 çeliğinden daha sert ve aşınmaya daha dirençli olduğunu desteklemektedir.

#### IV. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar sonunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

1. Aşındırıcının boyutunun ve uygulanan yükün, aşınma direncini önemli ölçüde etkilediği bir kez daha görülmüş, yük ve aşındırıcı boyutunun artması ile birlikte aşınma miktarı da artmıştır.

2. Hardox-500 çelik malzemedeki aşınma miktarının Hardox-600 çelik malzemedeki aşınma miktarından fazla olduğu tespit edilmiştir. Buda hardox-600 çelik malzemenin Hardox-600 çelik malzemeye göre daha sert ve aşınmaya dirençli olduğunu göstermiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] <http://www.boun.edu.tr/undergraduate/engineering/mechanical/engineering.html> “heat treatment.doc”.
- [2] Y. Ozcatalbas, F. Ercan, “The effects of heat treatment on the machinability of mild steels” *Journal of Materials Processing Technology* 136 (2003) 227–238.
- [3] Heat Treatment tProcedure Qualification Final Technical Report The Pennsylvania State University Park, PA, Work Performed Under Contract No. DE-FC07-99ID13841, Work Prepared for U.S. Department of Energy, <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/836878-AegKFa/836878.PDF>.
- [4] Part I Materials, [http://media.wiley.com/product\\_data/excerpt/03/04714499/0471449903.pdf](http://media.wiley.com/product_data/excerpt/03/04714499/0471449903.pdf).
- [5] Massachusetts Institute of Technology Department of Mechanical Engineering Cambridge, MA 021392.002 Mechanics and Materials II Spring 2004 Laboratory Module No. 5 Heat Treatment of Plain Carbon and Low Alloy Steels: Effects on Macroscopic Mechanical Properties, “Heat treatment of carbon steel and low alloy steel.pdf”.
- [6] M. Havato Johkio, S. A. Memonand Muhammad Jurial Sangi, “Effect of heat treatment on themicrostructure and mechanical properties of low carbon SEA 1010 steel” *Quaid-E-Awam Universty Research Journal of Engineering, Scienc eand Technology* Volum 1, No 1, January-June 2000.
- [7] M. Tabur, “Bor Karbür Kaplanmış AISI 8620 ve Hardox 400 Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2008).
- [8] M. İzçiler, “Yüksek krom alaşımlı dökme demirlerin farklı sıcaklıktaki abrasiv aşınma davranışına alaşım katkı oranının ve ısıtma şartlarının etkileri”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 50-122, (1997).
- [9] H.Çelik, “Kaynak edilebilen kobalt ve demir esaslı alaşımların yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışları”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-35, (1992).
- [10] F.Yılmaz, “Sürtünme ve Aşınma”, *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı*, Cilt 1, İstanbul, 229-246, (1997).
- [11] H. Joseph, Tylczak., Oregon, A., “Abrasive Wear”, *ASM*, 18: 184-185 (1992).
- [12] H. Buglacki, M. Smajdor, “Mechanical properties of abrasion-resistant Hardox 400 steel and their welded joints”, *Advances in Materials Science*, December, 4: 2 (4), 64-71 (2003).
- [13] R. Yılmaz, M. Türkmen, F. Fıçı, “Hardox 500 Çeliğinin Abrasiv Aşınma Davranışının İncelenmesi”, *International Iron & Steel Symposium*, Karabük, Türkiye, pp. 522-530.
- [14] K. Tülbentçi, E. Kaluç, “Kazı Makinelerinde Aşınan Parçaların Kaynakla Tamirinin Teknolojik ve Ekonomik Önemi”, *Kaynak Dünyası*, 91, 2, 3- 6, 1991.
- [15] J.H. Tylack, “Abrasive wear”, *ASM Handbook*, Vol. 18: Friction, Lubrication and Wear Technology, ASM International, 1992.
- [16] S. Milos, F. Stanislav, “Experimental research and analysis of selected technology calparameters on thoroughness of steel area surface hardox 500 with thickness 40 mm cutbyawj technology, *Applied Mechanics and Materials*, Vol: 308, 13-17, 2013.
- [17] S. Frydman, L. Konat, G. Pekalski, “Structure and hardness changes in welded joints of Hardox steels”, *Archives of Civiland Mechanical Engineering*, 3:4, 15-27, 2008.
- [18] M. Pletz, W. Davesa, W. Yaob, H. Ossberger, “Rolling contactfatigue of three crossingnose materials multiscale FE approach”, *Wear*, 314, 69– 77, 2014.
- [19] L. Bicejova, “Abrasive kind and granularitychanges affectst o water jet technology head vibration during cutting hardox material thickness

- alternation process”, *Applied Mechanics and Materials*, Vol: 308, 75-79, 2013.
- [20] S. Balos, L. Sidjanin, “Metallographic study of non-homo genous armour impacted by armour piercing incendiary ammunition”, *Materials and Design*, 32: 4022–4029, 2011.
- [21] M. Tabur, M. İzciler, F. Gül “Borlanmış Hardox 400 çeliğinin abrasiv aşınma davranışları”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (İATS’09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
- [22] O. Modi, P., Mondal, D.P., Prasad, B.K., Singh, M., Khaira, H. K., “Abrasive wear behaviour of a high carbon steel: effects of microstructure and experimental parameters and correlation with mechanical properties”, *Materials Science and Engineering*, A 343, 235-242 (2003).
- [23] M. İzciler, M. Tabur “Abrasive Wear behaviour of 8620 Different Case Depth Gas Carburized Gear Steel” Vol 260-1,2, Pg. 90-98, 2006, *Wear*
- [24] M. Tabur, M. İzciler, F. Gul, I. Karacan., “Abrasive wear behavior of boronized AISI 8620 steel”, Vol. 266, Pg. 1106–1112, *Wear*, 2009.