

YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİR MALZEMELERİN SiC AŞINDIRICI KARŞISINDAKİ AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Cemil ÇETİNKAYA
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, kumlama makinelerinde kullanılan yüksek kromlu beyaz dökme demirden üretilmiş türbin paletlerinin SiC abrasiv aşındırıcı karşısındaki aşınma davranışları incelenmiştir. Kimyasal bileşimleri farklı olan 5 farklı türbin paletlerinden elde edilen numuneler; 200 dev/dak sabit hızda, 10, 25 ve 40 N'luk yüklerde, 60, 90 ve 120 m'lik yollarda aşındırılmış ve aşınma davranışları belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar 3,3% C, 15,1% Cr ve 2,5% Mo içeren numunenin en az, 2,94% C, 16,7% Cr ve 1,2% Mo içeren numunenin ise en fazla aşındığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek kromlu beyaz dökme demir, aşınma.

INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR BEHAVIOUR OF HIGH CHROMIUM WHITE CAST IRONS AGAINST SiC EMERY PAPER

ABSTRACT

In this study, wear behaviour of high chromium white cast iron turbine plates used in sand blasting machines was investigated against SiC abrasive paper. Turbine plate specimens of 5 materials having different chemical composition were subjected to wear test under the loads of 10, 25 and 40 N, at a speed of 200 rpm and with the distance of 60, 90 and 120 m using. The experimental results indicated that the highest wear occurred on the samples having 3,3% C, 15,1% Cr and 2,5% Mo whereas the lowest wear occurred on the sample having 2,94% C, 16,7% Cr and 1,2% Mo.

Key words: High Chromium White Cast Iron, Wear.

1. GİRİŞ

Aşınma; malzeme, takım ve makine parçalarının üretiminde dikkate alınması gereken önemli bir alandır. Bununla beraber korozyon, sürtünme, ısı, radyasyon gibi yüzeyde meydana gelen hareketler sebebiyle malzeme yüzeyinin korunması ve malzemenin bu etkilere karşı direncinin artırılması da diğer önemli bir konudur (1).

Krom oranı yüksek olan beyaz dökme demirlerin aşınma direnci ve tokluk özellikleri genelde iyidir. Bu gruba giren dökme demirlerin genellikle çamur pompalarında, tuğla kalıplarında, çeşitli mineral delme, sert kayaları işleme ekipmanlarında ve benzeri alanlarda kullanıldığı bilinmektedir (2,3). Yüksek kromlu dökme demir malzemelerin tokluğu, düşük kromlu alaşımlılardan daha yüksektir. Özellikle kırma ve öğütme işlemlerinde kazaları önleyici bir faktör olarak değerlendirilen tokluğun önemi büyüktür. Yüksek aşınma dayanımlarından dolayı geniş kullanım alanına sahip olan yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınmaya dayanıklı ticari malzemeler olarak ilk kullanımları, yüz yıllık bir geçmişe dayanmakta olup, dövülebilir dökme demirlerin hem üretiminin gel-

dirilmesi hem de alaşımlandırma parametrelerinin zenginleşmesi ile daha da yaygınlaşmıştır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde mekanik dayanım ve aşınma direnci sağlayan en önemli faktörün yapıda bulunan kromkarbürler olduğu bilinmektedir (4). Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde matris yapı, sert ötektik M_7C_3 tipi karbürleri aşınma esnasında yerinde tutar. Bu matris aşındığında desteksiz kalan karbürler, gerilmeler altında kırılır. Kırılan karbürler bazı durumlarda yumuşak matrise gömülerek sert bir yüzey tabakası oluşturur. Bu durumun özellikle ferritik matriste etkili olduğu bilinmektedir. Perlitik matris düşük aşınma direncine sahip olduğu için, beyaz dökme demirlerde pek tercih edildiği söylenemez. Yapıdaki karbon oranının artmasıyla sertlik ve buna bağlı olarak aşınma direnci de artar (5-7).

Aşınmada etkili olan gerilmeler yüksek olduğunda martenzitik yapı, östenitik yapıya göre, iki üç kat daha iyi aşınma performansı gösterir. Martenzitik yapı östenitleme işlemi ile sağlandığı için bu işlem esnasındaki reaksiyonlar martenzitin yapısı için önemlidir. Martenzit oluşumu, başlangıç ve bitiş sıcaklığını da düşüreceği için mikroyapıdaki kalıntı östenit miktarı, hacimsel

genleşmelerin oluşmasına ve bunun sonucu oluşan gerilmeler nedeni ile mikro çatlaklara neden olabilir (8,9).

Beyaz dökme demirlerin aşınma direncinin ve tokluğunun yüksek olabilmesi için mikro yapısında uygun karbür ve matrisin bulunması gereklidir. Matris için yapılabilecek en iyi seçim, ikincil karbürlerle sertleştirilmiş yüksek karbonlu sert martenzittir. Diğer bir alternatif ısıl işleme sertleştirilebilen östenittir (10). Karbonun artması ile birlikte martenzitin aşınma direnci de artar. Isıl işlem sonucu martenzitik matrise dağılan ikincil karbürlerin aşınma direncine olumlu yönde etki ettiği bilinmektedir. Temperleme ile aşınma direnci düşmektedir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbürler matris içerisinde dağılmış haldedir. Eğer matris yumuşaksa aşınır ve karbürler matristen kopar. Bu durumda karbürlerin aşınma dirençlerinin yalnızca bir kısmından yararlanılabileceği olunur. Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirler mikroyapısında bulunan krom karbürlerin etkisi ile sementit içeren dökme demirlerden daha serttir ve aşınmaya daha dirençlidir. Söz konusu beyaz dökme demirlerde mikroyapıda süresiz ötektik karbürler ve ikincil karbürler olmak üzere iki çeşit karbürün olduğu bilinmektedir (3,11)

Bu çalışma bir önceki çalışmanın (12) ikinci aşamasıdır. Malzeme ve deney şartları aynı kalmak şartıyla 80 gritlik SiC aşındırıcı kullanılarak deney malzemelerin SiC aşındırıcı karşısındaki davranışlarına etkili olan kimyasal bileşim ve mikroyapının etkileri incelenmiştir.

2. MALZEME VE METOD

2.1. Malzeme

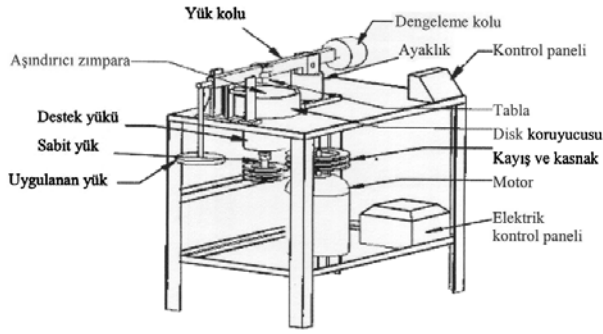
Bu çalışmada kullanılan numuneler, Erkunt A.Ş. Ankara döküm fabrikasında bulunan, kumlama makinelerinin bilya püskürten türbin paletlerinden temin edilmiştir. Deneylerde elektro erozyon yöntemiyle kesilen 6 mm çapında, 40mm boyunda 5 farklı türbin paletinden elde edilen 15 adet numune kullanılmıştır. Kullanılan bu türbin paletlerinin spektral analiz sonuçları, Cr/C oranları ve hazırlanan numunelerin en az 4 ayrı bölgesinden alınan sertlik değerlerinin ortalamaları çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Deney numunelerinin spektral analiz sonuçları

Element %	Numune no				
	1	2	3	4	5
C	2,711	2,941	3,339	3,380	3,300
Cr	8,824	16,656	18,338	18,487	15,084
Mo	0,440	1,204	1,459	1,473	2,522
Si	1,643	0,691	0,724	0,717	0,827
Mn	0,949	0,414	0,377	0,376	0,522
P	0,030	0,025	0,034	0,034	0,038
S	0,047	0,025	0,040	0,042	0,051
Ni	4,186	0,089	0,114	0,113	0,546
Mg	0,0002	0,0001	0,0005	0,0005	0,0001
Cu	0,155	0,069	0,082	0,081	0,162
V	0,040	0,036	0,035	0,035	0,060
Ti	0,026	0,013	0,009	0,009	0,013
Al	0,012	0,002	0,003	0,002	-
Sn	0,008	0,003	0,003	0,003	0,006
Cr/C	3,25	5,66	5,49	5,46	4,57
Sertlik (HRC)	55	60	66	60	58

2.2 Deneysel Metot

Aşınma deneyleri Şekil 1'de şematik olarak gösterilen pim-disk aşındırma deney cihazında, 80 gritlik SiC (zımpara kağıdı) abrasiv aşındırıcı üzerinde 200 dev/dak. sabit hızda 10, 25 ve 40 N 'luk sabit yük uygulanarak 60, 90, 120 metrelik yollarda yapılmıştır. Numuneler bu yükler altında her 60, 90, 120 metre aşındırma mesafesi sonunda durdurulup, 1/10000 gram hassasiyetli dijital terazide tartılarak aşınma kayıpları ağırlık cinsinden ölçülmüş ve ortalama değerler alınmıştır. Ölçüm yapılan numuneler 1200 gritlik zımpara ile zımparalandıktan sonra bir sonraki deneye hazır hale getirilmiş ve her deney numunesi için ayrı deney zımparası kullanılmıştır. Metalografik numuneler 220-1200 µm arasındaki zımparalar ile zımparalandıktan sonra 3 µm'luk elmas pasta ile parlatılmış ve 2% nital ile dağlanan numunelerin mikroskop görüntüleri Prior marka mikroskop ile çekilmiş, sertlik ölçümleri ise Instron Wolpert marka Brinell sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Deney numunelerine ait aşınma yüzeyi görüntüleri ise TPAO'daki JEOL JSM-840 A model SEM'da elde edilmiştir.

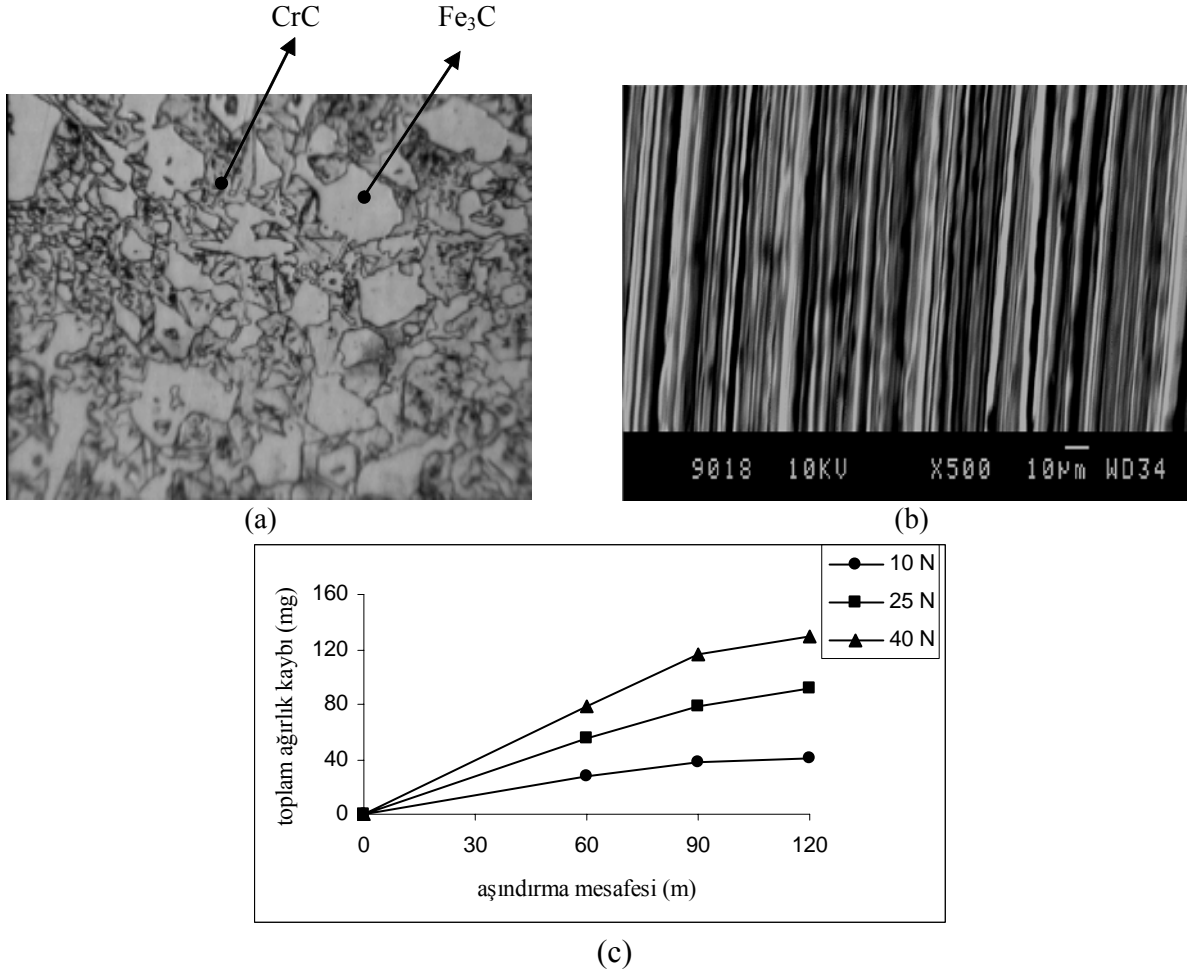


Şekil 1. Pim-disk aşındırma deney cihazının şematik gösterimi (13).

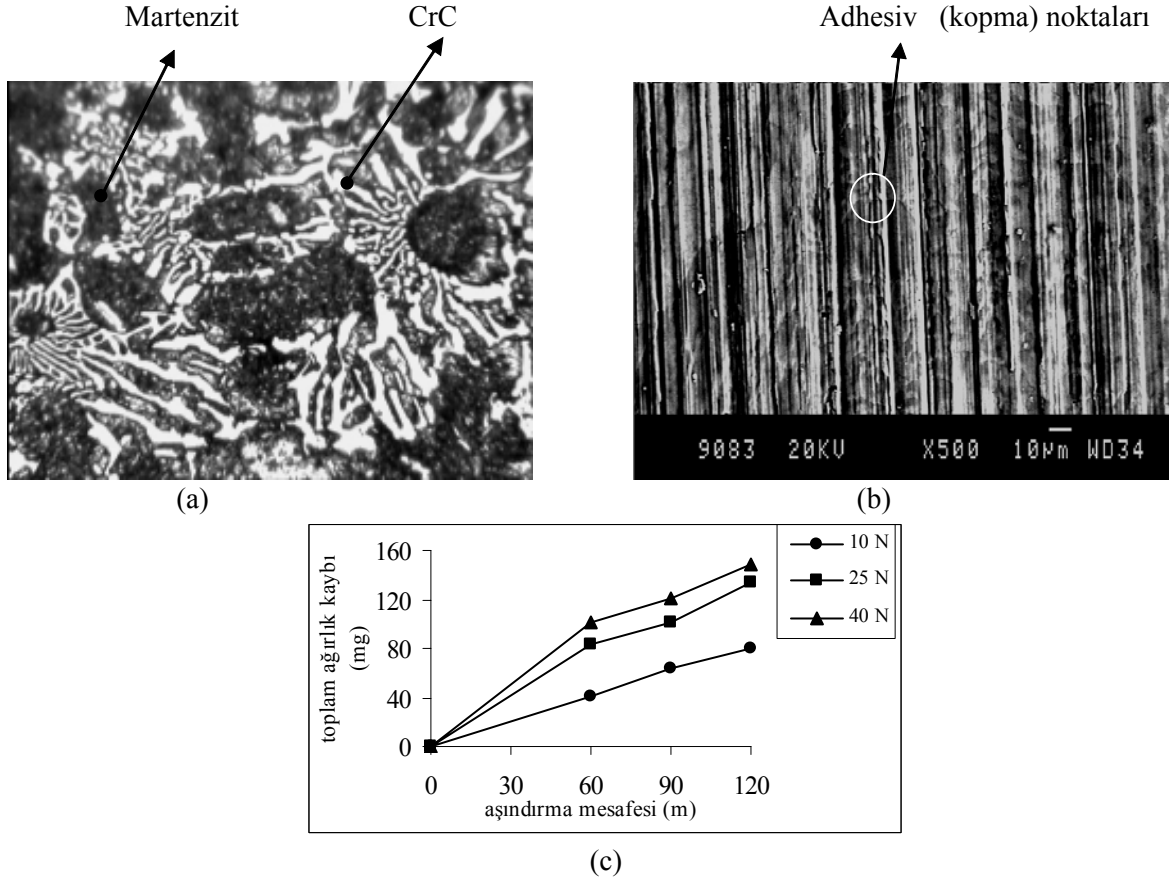
3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneylerde kullanılan malzemelere ait optik mikroskop, aşınma yüzeyi SEM görüntüsü ve aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi sırası ile Şekil 1-5 arasında verilmiştir. Deney numunelerini bu ilişkiler içerisinde yorumlayacak olursak;

Şekil 2a'da verilen 1 no'lu numunenin mikroyapı fotoğrafı incelediğinde iri sementit tanelerinin bulunduğu ve bu sementit taneleri arasında da küçük kromkarbürlerin olduğu görülmektedir. Aynı numunenin (b) SEM görüntüsünü incelediğimizde de aşınma izlerinde abrasiv türü bir aşınmanın olduğu ve malzemede aşınma izlerinin kesintisiz olarak oluştuğu, (c)'de verilen aşındırma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisini gösteren grafikte ise 10 N'luk yük altındaki denemelerde 60, 90 ve 120m'lik aşındırma mesafelerinde sırası ile 27.9, 37.4, ve 49.1 mg, 25 N yükte ise 55.6, 78.5, ve 91.5 mg aşınmanın meydana geldiği, yükün artması ile birlikte aşınmanın da arttığı dolayısıyla, 40 N'luk yük altında 79.2, 116.1 ve 131.2 mg'luk aşınma kayıplarının olduğu gözlenmiştir.



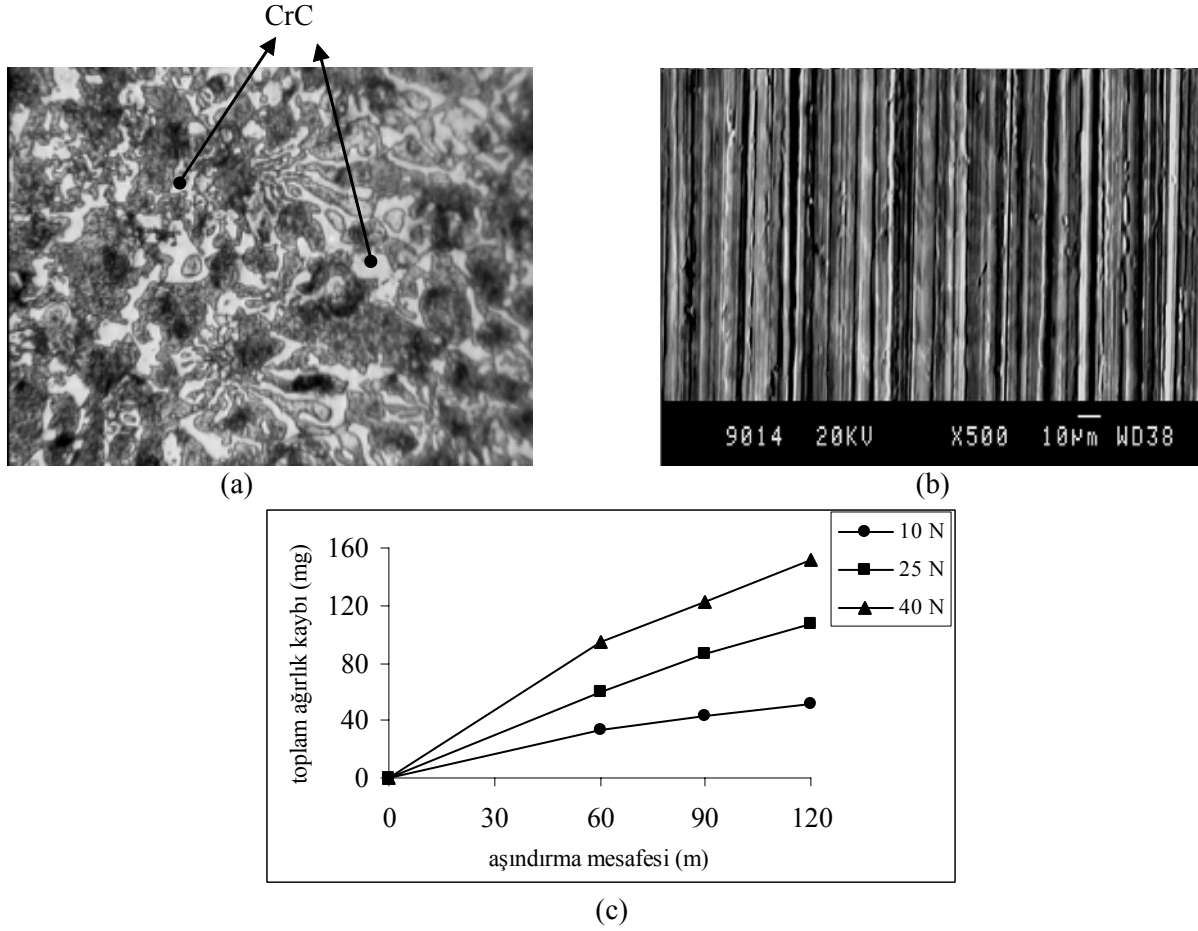
Şekil 2. 1 No'lu numunenin a-) Optik mikroskop fotoğrafı x280 (12), b-) Aşınan yüzeyinin SEM görüntüsü, x500 c-) aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği.



Şekil 3. 2 No'lu numunenin a-) Optik mikroskop fotoğrafı x280 (13), b-) Aşınan yüzeyinin SEM görüntüsü, x500 c-) aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği.

Şekil 3a'da verilen 2 no'lu numunenin mikroyapı fotoğrafını incelediğimizde martenzitik yapı içerisinde uzun, ince ve diğer numunelere oranla krom karbürlerin (beyaz bölgeler) sütunsal halde görüldüğü, ayrıca (b)'de verilen yüzey aşınım SEM görüntüsü incelendiğinde abrasiv aşınmanın yanında adhesiv aşınmanın da olduğu

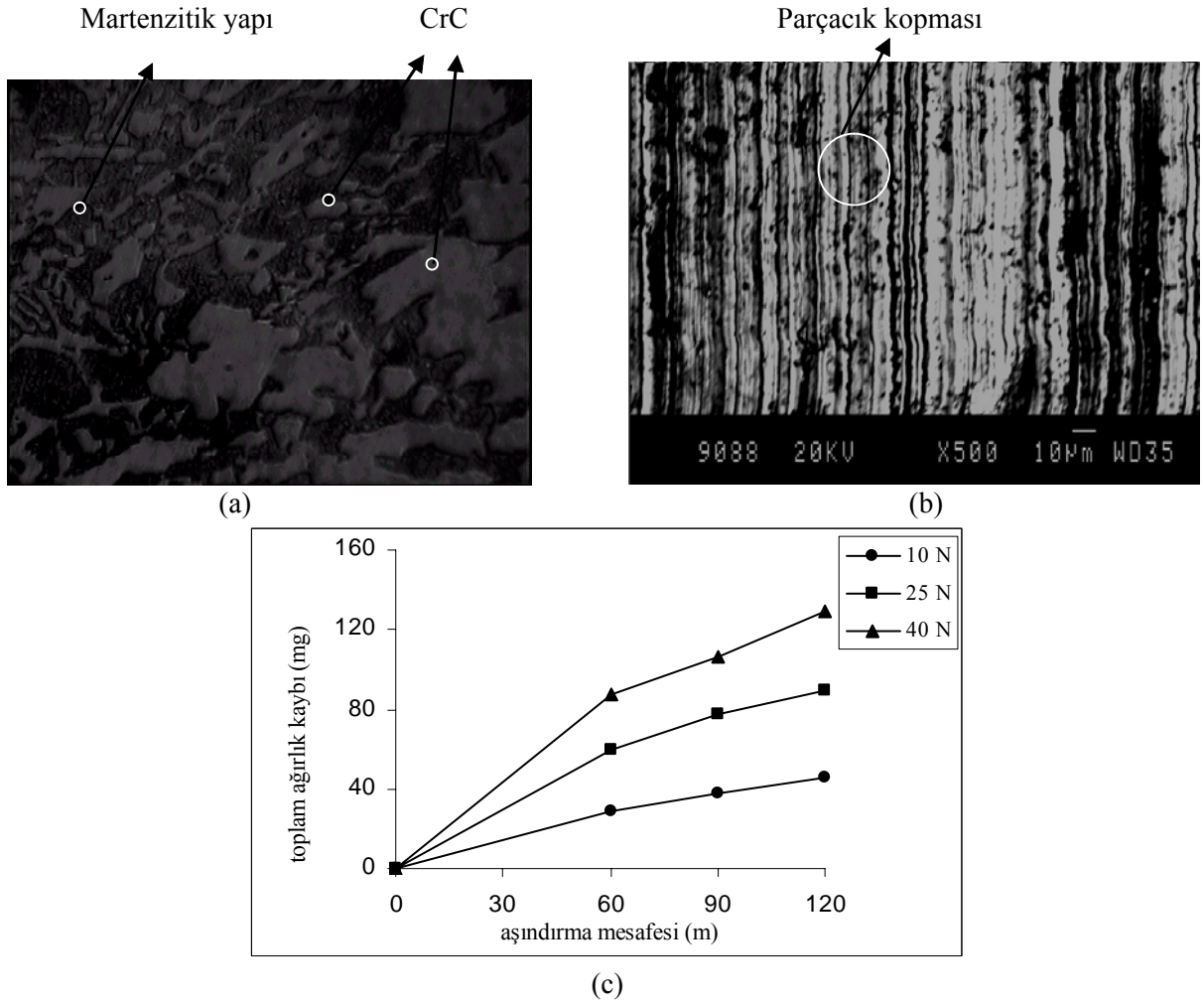
görülmektedir. Yine aynı numunenin aşındırma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiğini incelediğimizde ise 10, 25, 40 N'luk yük altında 120 metrelik yollarda sırasıyla 79.4, 133.8 ve 151.7 mg aşınarak numuneler içerisinde en fazla aşınan numune olmuştur.



Şekil 4. 3 No'lu numunenin a-) Optik mikroskop fotoğrafı x280 (13), b-) Aşınan yüzeyinin SEM görüntüsü, x500 c-) aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği.

Şekil 4a'da sertlik değeri en yüksek olan (66 HRc) 3 No'lu numunenin mikroyapısındaki karbürlerin (beyaz bölgeler) süreksiz sütunsal halde ve matris içersinde düzenli dağıldıkları görülmektedir. (b)'de aşınan yüzey SEM görüntüsünde aşınma izlerinin 2 no'lu numuneye benzediği, (c)'de verilen aşındırma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği incelendiğinde ise 120 m'lik aşındırma mesafesinde, 10 N'luk yük altında 50.8 mg ve 25 N'

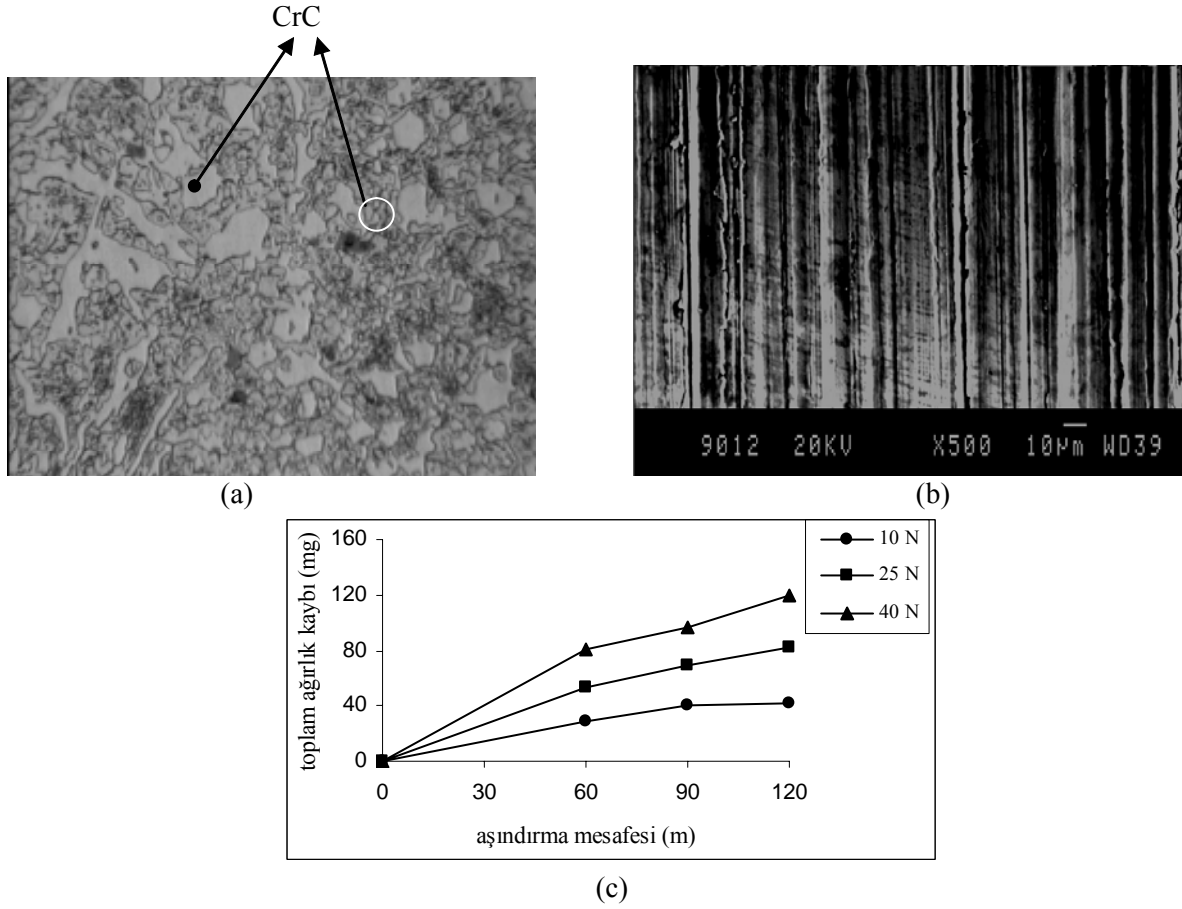
luk yükte 107.2 mg aşındığı gözlenmiştir. Yük artışı ile birlikte aşınma miktarı da hızla yükselişe geçerek 40 N'luk yük altında 120 m'lik aşındırma mesafesinde 149.2 mg'lık aşınmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Sertliği en yüksek olmasına rağmen deney numuneleri içerisinde aşınma performansı yönünden Al_2O_3 ortamında yapılan deneyde de olduğu gibi burada da dördüncü sırada yer almıştır.



Şekil 5. 4 No'lu numunenin a-) Optik mikroskop fotoğrafı x280 (13), b-) Aşınan yüzey SEM görüntüsü, x500 c-) aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği

Şekil 5a'da optik mikroskop fotoğrafı görülen 4 no'lu numunenin mikroyapısını incelediğimizde martenzitik yapı içerisinde ince krom karbür parçalarının yanı sıra büyük (beyaz) krom karbür parçalarının yer aldığı açıkça görülmektedir. Malzemenin ana matris mikroyapısında bulunan büyük krom karbür parçalarının malzemenin aşınma dayanımına önemli oranda katkı sağladığı düşünülmektedir. Çünkü bu numune 5 No'lu numuneden sonra en iyi aşınma direnci gösteren numune olmuştur. Ancak 4 No'lu numunenin ana matris yapı içerisinde belirli bölgelerde yoğunlaşmış olan bu büyük krom karbürlerin malzemeye homojen olarak dağılmadığından dolayı, malzemenin yapısında daha homojen ve daha ince bir şekilde dağılmış

olan krom karbürlerin SiC abrasiv aşındırıcı karşısında 5 No'lu numunedekiler kadar etkili olamadığı düşünülmektedir. Aynı numunenin aşınan yüzeyinin SEM görüntüsünü incelediğimizde diğer numunelere nazaran daha ince aşınma izlerinin olduğu ve bu numunenin aşınan yüzeyinde diğer numunelerden farklı olarak yer yer parçacık şeklinde kopmaların olduğu görülmektedir. (c)'deki aşındırma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiğini incelediğimizde, numunedeki 120 m'lik aşındırma mesafesinde 10 N'luk yük altında 44.1 mg, 25 N'luk yük altında 89.7 mg ve 40 N'luk yük altında da 122.9 mg aşınma kaybının meydana geldiği belirlenmiştir.

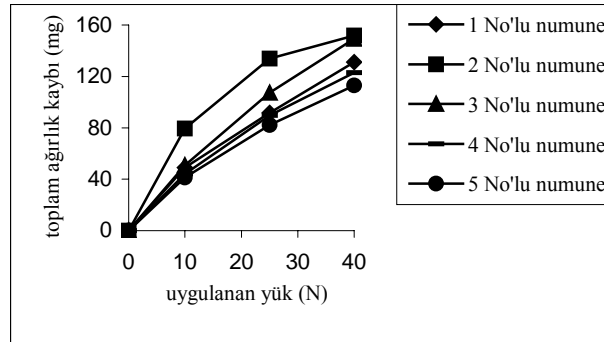


Şekil 6. 5. No'lu numunenin a-) Optik mikroskop fotoğrafı x280 (13), b-) Aşınan yüzey SEM görüntüsü, x500 c-) aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği

Şekil 6a'da 5 No'lu numunenin optik mikroskop fotoğrafı incelendiğinde, 1 no'lu numunenin mikroyapısına (Şekil 2a) benzediği ancak buradaki yapının biraz daha ince taneli olduğu görülmektedir. Deney sonuçları toplu halde irdelendiğinde bu numunedeki aşınmanın diğer numunelere göre en az olduğu belirlenmiştir. Aynı numunenin SEM görüntüsünde aşınma izleri arasındaki mesafenin hem daha büyük olduğu hem de çok derin olmadığı görülmektedir. 5 No'lu numunenin

aşındırma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiğinden (c), 120 m'lik aşındırma mesafesinde, 10 N'luk yükte 41.4 mg, 25 N'luk yükte 82.2 mg aşındığı ve yine aynı şekilde 40 N'luk yük altında da 112.9 mg ağırlık kaybının olduğu belirlenmiştir.

Yukarıda verilen 5 farklı deney numunesinin 120 m'lik aşındırma mesafesindeki 10, 25 ve 40 N'luk yükler altındaki aşınma kayıplarının toplu gösterimi Şekil 7'deki grafikte verilmektedir.



Şekil 7. Deney numunelerinin 120 m'lik aşındırma mesafesindeki aşınma kaybı grafiği.

Şekil 7’de verilen grafiği incelediğimizde 5 no’lu numune en az, 2 no’lu numunenin ise en fazla aşınan numune olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin ise çizelge 1’de verilen Cr/C oranı ile yakından ilgili olduğu düşünülmektedir. Çizelgeye göre 5 no’lu numunenin Cr/C oranı 4,57 iken, 2 no’lu numunenin Cr/C oranı 5,66 olduğu ve bu durumda Cr/C oranı arttıkça malzemenin aşınma direncinin azaldığı görülmektedir. Ancak Cr/C oranının yanında malzemedeki %Cr ve %Mo miktarının önemi de göz ardı edilmemelidir. Örneğin 1 No’lu numunenin Cr/C oranı 3,25 (Çizelge 1) ile en düşük olup iyi aşınma direnci beklenirken, çizelge 1’de görüldüğü gibi %Cr oranının (8,824), diğer numunelere nazaran çok düşük olmasından dolayı aşınma direncinin orta seviyelere indiği görülmüştür. Bunun yanı sıra en az aşınan 5 no’lu numunenin %Mo oranı 2,522 iken, en fazla aşınan 2 no’lu numunenin %Mo oranı 1,204 olması, Molibdenin de aşınma dayanımına olumlu katkı sağladığı düşünülmektedir. Beyaz dökme demir malzemelerin aşınma dirençlerine etkili olan diğer bir element de nikelidir. Yine çizelge 1’de 1 no’lu numunenin kimyasal yapısında %Cr miktarı diğer numunelere göre çok az olurken, %Ni oranının (4,186) ise önemli derecede fazla olduğu görülmektedir. Beyaz dökme demir içerisinde nikelin abrasiv aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir (2). Cr oranının düşüklüğüne göre 1 no’lu numunenin en fazla aşınması beklenirken, malzemedeki nikel oranının aşınma direncini artırarak orta seviyelere yükselttiği, ayrıca malzemelerin yapılarında bulunan krom karbür miktarları ve dağılımının aşınmada önemli rol oynadığı tahmin edilmektedir. 5 no’lu numunenin mikroyapısında (Şekil 5a) yukarıda da bahsedildiği üzere krom karbür miktarının diğer numunelere nazaran daha fazla ve ince dağılımlı olması bu numunenin aşınma performansını yükseltmiştir. Aynı malzemelerin Al_2O_3 aşındırıcı zımpara kullanılarak yapılan aşınma çalışmasından (12) elde edilen sonuçlar ile SiC aşındırıcı zımpara kullanılarak yapılan deney sonuçları karşılaştırıldığında aşınma kayıplarının SiC’de yaklaşık $\frac{1}{2}$ oranında azaldığı ancak aşınma performansı sıralamasında sadece 4 ile 5 no’lu malzemenin yer değiştirdiği diğerlerinde ise bir değişme olmadığı görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Yüksek kromlu beyaz dökme demirden üretilmiş türbin paletlerindeki aşınma ve mikro yapı incelemelerinde aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. Cr/C oranının yüksek kromlu beyaz dökme demir malzemelerin aşınma dirençlerine önemli etki ettiği ve deney numunelerinin içinde en yüksek Cr/C’e sahip olan 2 No’lu numunenin en fazla aşındığı görülmüştür.
2. Cr, Mo ve Ni’in malzemelerin hem abrasiv aşınma dirençlerine olumlu yönde katkı sağladığı hem de malzeme yapısındaki krom karbür oranı dağılımının aşınma direncine önemli oranda etki ettiği gözlenmiştir.
3. En fazla aşınan numunenin (2 No’lu numune) sertlik değeri 60 HRc iken, en az aşınan numunenin (5 No’lu numune) sertlik değeri 58 HRc dir. Deney sonuçlarına göre sertlik değerlerinin birbirine çok yakın çıkmasına rağmen aşınma oranlarının çok farklı çıkması, malzeme bulunan diğer elementler, bunların oranları ve krom karbürlerin dağılımı ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Deney malzemelerinin temininde ve deneye hazır hale getirilmesinde yardımlarını esirgemeyen Yaşar ŞAHİN’e teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKLAR

1. Kahraman, N., Gülenç, B., Abrasive Wear Behaviour of Powder Flame Sprayed Coatings on Steel Substrates, *Materials and Design*, vol. 23, s. 721-725, 2002.
2. Fairhurst, W., Rohrig, K., Abrasion – Resistance High – Chromium White Cast Irons, 1989.
3. *Metals Handbook*, 9 th Edition Vol. 15 Casting, 1988.
4. Şahin, Yaşar., Kuşlama Makinası Türbin Paletlerindeki Aşınma Ve Mikroyapının İncelenmesi. G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2001.
5. Bedolla Jacuinde, A., Rainforth, W.M., The wear behaviour of high-chromium white cast irons as a function of silicon and Mischmetal content, *Wear*, 250, 449-461, 2001.
6. Hanlon, D.N., Rainforth, W.M. Rainforth, C.M., Cellars, The rolling/sliding wear response of conventionally processed and spray formed high chromium content cast iron at ambient and elevated temperature, *Wear*, 225–229, 1999.

7. Dogan, O.N., Hawk, J.A., Laird II, G., Solidification Structure and Abrasion Resistance of High Chromium White Irons, Metallurgical and Materials Transactions A, Volume 28A, Issue 6, Pages 1315-1328, June 1997,
8. Mutaf, E., E. Ulusoy, Toprak İşleme Aletlerinin İş Organlarında Kullanılan Bazı Çeliklerin Farklı Isıl İşlemlere Göre Laboratuar ve Tarla Şartlarında Aşınma Dirençleri, TÜBİTAK Yayınları No: 337, TOAG Seri No 61, Ankara, 1977.
9. Tabrett, C. P., Sare, I.R., The Effect of Heat Treatment on the Abrasion Resistance of Alloy White Irons, Wear 203-204, Pages 206-219, 1997.
10. Chen, X. H., Cang, C. Z., Lu, Z. C., Lin, H. T., Effect Of Niobium on Wear Resistance Of 15%Cr White Cast Iron, 166. 1993.
11. Minkoff, I., The Physical Metallurgy Of Cast Iron, A Wiley Interscience Publication, 1983.
12. Çetinkaya, C., Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demir Malzemelerin Al_2O_3 İle Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi, cilt: 5, sayı:3, 2003 (Basımı kabul edildi).
13. Sahin, Y., Wear Behaviour of Aluminium Alloy and Its Composites Reinforced by SiC Particles Using Statistical Analysis, Materials & Design, Volume 24, Issue 2, Pages 95-103, April 2003.