

## AN INVESTIGATION ON ABRASIVE WEAR BEHAVIOUR OF Fe-C-Mo-FeCr COMPOSITE PRODUCED BY POWDER METALLURGY

Mustafa AY, Ahmet HASÇALIK\*

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

Geliş/Received: 11.05.2004 Kabul/Accepted: 09.03.2005

### ABSTRACT

In this study, the effect of chromium carbide ( $Cr_7C_3$ ) on abrasive wear behavior of Fe-C-Mo-FeCr composite was investigated. Composite, which was produced by a powder metallurgy route was containing 3 wt.% Mo, 1.5 wt. % C and 4,8,12 wt. % FeCr with the different particle sizes. In the experiments, wear resistance of samples were determined using different loads by a pin on disc wear tester. Microstructure of samples were examined by an optical and scanning electron microscopy, EDS and X-Ray diffraction methods. The hardnesses of samples were measured in  $R_B$  scale. Finally, it has been found that with the increasing particle size of reinforcing element, wear resistance decreased and with the increasing reinforcing element, the wear resistance increased.

**Keywords:** Powder metallurgy, Ferrous based composite.

### TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Fe-C-Mo-FeCr KOMPOZİTİNİN ABRASİV AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

#### ÖZET

Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemi ile üretilen ağırlıkça % 3 oranında Mo, % 1.5 oranında C ve farklı tane boyutlarında % 4, % 8 ve % 12 oranlarında ferrokrom tozları içeren Fe-C-Mo-FeCr kompozitinin abrasiv aşınma davranışına krom karbürün ( $Cr_7C_3$ ) etkisi incelenmiştir. Aşınma deneyleri farklı yükler kullanılarak pim-disk aşınma cihazında yapılmıştır. Numunelerin mikroyapıları SEM, optik mikroskop, EDS ve X-Ray ile incelenmiştir. Numunelerin sertlikleri  $R_B$  skalasında ölçülmüştür. Sonuç olarak, yapıdaki ferrokrom oranının artmasıyla aşınma direncinin arttığı ve ferrokrom tozlarının tane boyutu arttıkça aşınma direncinin düştüğü tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Toz metalurjisi, Demir esaslı kompozit.

#### 1. GİRİŞ

Günümüzde ileri teknoloji uygulamaları için, sürekli olarak yeni ve nitelikli yöntem ve malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Toz metalurjisi yönteminin çeşitlilik, malzeme tasarrufu, karmaşık şekillerde parça üretimi, mikro yapısal ve kimyasal homojenlik gibi özelliklerinden dolayı, ileri malzemelerin üretiminde önemi giderek artmaktadır. [1,2]. Yakın toleransta parça üretimi ile malzeme tasarrufu ve düşük enerji tüketimine bağlı olarak özellikle seri üretimlerde maliyeti oldukça düşürmektedir [3]. Yöntemin temel özelliklerinden biri de esnek bir üretim sürecine sahip olmasıdır. Birbirinden farklı sert ve sünek fazları bir araya getirerek özel amaçlar

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-posta: ahascalik@firat.edu.tr, Tel: (0424) 237 00 00/6544

doğrultusunda malzeme üretmek mümkündür. Bu yöntemle üretilen çelikler aşınmanın etkin olduğu alanlarda yaygın olarak kullanılmasına rağmen, diğer yöntemlerle üretilen çeliklerle karşılaştırıldığında aşınma davranışları ile ilgili araştırmalar oldukça sınırlıdır [4]. Aşınmaya dirençli metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi genellikle nispeten sünek bir matriste karbür, borür ve nitür gibi sert fazlar ilave edilerek yapılmaktadır. Mikroyapı bileşenleri işlevleri doğrultusunda seçilmekte ve metal matris yeterli bir tokluk sağlarken, sert partiküller aşınmayı engellemektedir. Aşınma direnci sert partiküllerin miktarına, boyutuna, dağılımına ve matris ile takviye elemanlarının sertliğine ve kırılma tokluğuna bağlıdır [5]. Bileşenler arasında mekanik bağlanmanın yanı sıra, kimyasal bağlanmanın da olması mukavemeti artırır [6]. Mikroyapı içerisindeki karbür ile malzemenin diğer bileşenleri arasındaki ilişki ve aşınma davranışı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [7]. Genellikle, artan karbür fazı ve karbon miktarının abrasiv aşınma direncini artırdığı ifade edilmektedir. Bir arayer alaşım elementi olarak karbon, sinterleme işleminde demir içerisinde çok hızlı yayılmaktadır. Molibden, katı eriyik sertleşmesi sağlaması ve karbona karşı yüksek, oksijene karşı düşük ilgisinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. Son yıllarda nikel alaşımlı çeliklere alternatif olabilecek yüksek molibden içeriğine sahip çelikler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmektedir. Bu çeliklerde molibden miktarı % 3,5 olup, mekanik özellikleri ile ilgili yeterli bilgi bulunmamaktadır [9].

Bu çalışmanın amacı toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Fe-C-Mo-FeCr kompozitinin abrasiv aşınma dayanımı üzerinde farklı tane boyutuna sahip FeCr partiküllerinin çözünmesiyle oluşan  $M_7C_3$  karbürlerinin etkisini incelemektir.  $M_7C_3$  tipi karbürler sementit fazına nazaran yüksek sertlik ve tokluğa sahiptir [10,11]. Bu sayede çelik matris içerisinde sert fazların ince dağılımı ile aşınmaya dirençli bir yapının elde edilmesi amaçlanmaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Deneylerde kullanılan numunelerin hazırlanmasında kimyasal analizi Tablo 1’ de verilen ortalama 25  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$  ve 80 $\mu\text{m}$  tane boyutlarındaki ferro-krom tozu, % 99,9 saflıkta 75  $\mu\text{m}$  tane boyutuna sahip demir tozu, 90  $\mu\text{m}$  tane boyutundaki molibden tozu ve grafit tozu kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Ferro-krom tozunun kimyasal bileşimi (% ağırlık)

Cr	Fe	Si	C	P	S
64,05	25,98	1,11	7,80	0,021	0,038

Özellikleri yukarıda belirtilen tozlardan öncelikle demir tozu, ağırlıkça %3 molibden ve % 1.5 grafit tozu ile mekanik bir karıştırıcıda 15 dakika süre ile karıştırılmış, daha sonra ortalama 25  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$  ve 80  $\mu\text{m}$  tane boyutundaki ferrokrom tozları ağırlıkça % 4, % 8 ve % 12 olmak üzere üç farklı oranda katılarak tekrar mekanik karıştırıcıda 15 dakika süre ile karıştırılarak homojen bir dağılım elde edilmiştir. Hazırlanan bu karışımlar 700 MPa basınç altında soğuk preslenerek  $\text{Ø}15 \times 15$  mm ebatlarında numuneler elde edilmiştir. Elde edilen bu numuneler, argon gazı ortamında 1120  $^{\circ}\text{C}$ ’ de 45 dakika sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin karşım oranları ve sertlikleri Tablo 2 de verilmiştir.

Deney numunelerinin mikroyapılarını ve oluşan fazları belirlemek amacıyla, üretilen numuneler 80-1200 meshlik su zımparasına sırasıyla tutularak yüzeyleri temizlenmiştir. 1 $\mu$  ve 6 $\mu$  elmas pastadan geçirilen numuneler % 1 lik nital çözeltisiyle dağlanarak optik ve elektron mikroskoplarında incelenmiştir. Mikroyapıda oluşan fazları belirlemek amacıyla X- ray ve elektron mikroskobunda EDS analizleri yapılmıştır. Numunelerin sertlikleri  $R_B$  skalasında belirlenmiştir. Numunelerin abrasiv aşınma deneyleri pim-disk aşınma deney cihazında yapılmış ve abrasiv aşındırıcı olarak, 80 mesh’ lik silisyum karbür (SiC) zımpara kağıtları kullanılmıştır. Deneyler üç ayrı yük altında (10N , 20N, 30N), 90 dev  $\text{dak}^{-1}$  ile dönen disk üzerinde aşındırıcı kağıda temas ettirilerek, dıştan merkeze doğru 30 m yol şartlarında yapılmıştır. Deney öncesi ve

sonrası numuneler  $10^{-4}$  gr hassasiyetinde bir teraziyle tartılarak ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Her bir deney üç defa tekrarlanıp ortalama değer alınmıştır.

**Tablo 2.** Numunelerin karışım oranları

Numune No	Karışım oranları	Sertlik $R_B$
1	25 $\mu\text{m}$ % 4 FeCr- %3 Mo-%1.5 C	70
2	50 $\mu\text{m}$ % 4 FeCr- %3 Mo-%1.5 C	69
3	80 $\mu\text{m}$ % 4 FeCr- %3 Mo-%1.5 C	66
4	25 $\mu\text{m}$ % 8 FeCr- %3 Mo-%1.5 C	71
5	50 $\mu\text{m}$ % 8 FeCr- %3 Mo-%1.5 C	71
6	80 $\mu\text{m}$ % 8 FeCr- %3 Mo-%1.5 C	66
7	25 $\mu\text{m}$ % 12 FeCr- %3 Mo-%1.5 C	74
8	50 $\mu\text{m}$ % 12 FeCr- %3 Mo-%1.5 C	71
9	80 $\mu\text{m}$ % 12 FeCr- %3 Mo-%1.5 C	62

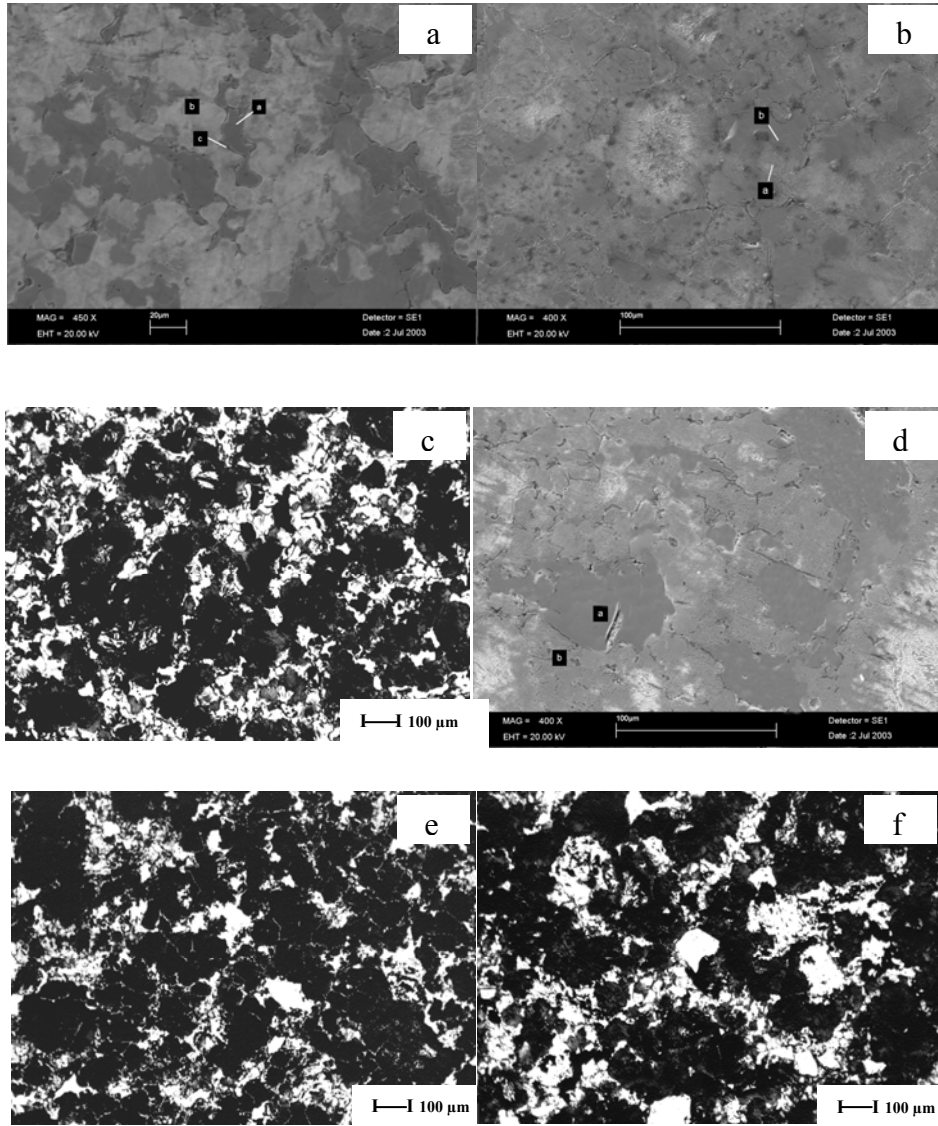
### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 3.1 Mikroyapı İncelemeleri

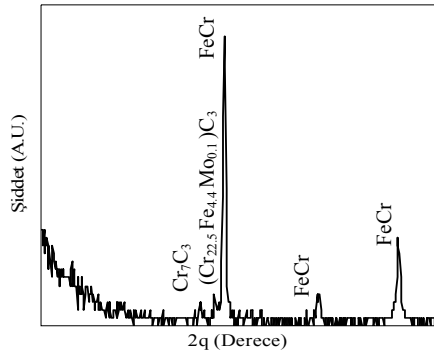
Şekil 1 de numunelerin mikroyapıları verilmiştir. Numuneler genel olarak incelendiğinde tüm bileşenlerin homojen dağıldığı ve yeterli bir sinterlemenin gerçekleştiği görülmektedir. Mikroyapı perlit fazı, ikincil fazlar ve FeCr partikülleri içeren ferritik tip matristen ibarettir. Mikroyapı içerisinde karbon difüzyonunun sonucu perlitik alanlar meydana gelmiştir. İkincil fazların, x-ray ve EDS analizleri ile  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  ve  $(\text{Cr}_{2.5}\text{Fe}_{4.4}\text{Mo}_{0.1})\text{C}_3$  karbürleri olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). FeCr partikülleri çözülmüş ve bileşenleri karbürleri oluşturmuştur. Şekil 1(a), (b) ve (c) de gösterilen noktalardan alınan EDS analizlerine göre Cr, Mo ve C atomları matris ve tane sınırlarına difüze olmuştur. Ancak küçük tane boyutlu takviye fazı içeren numunelerde FeCr nin çözünürlüğü artmakta ve karbonun çoğu krom ile reaksiyona girerek  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  karbürlerini oluşturmaktadır. Matriste karbon miktarının azalmasına bağlı olarak perlitik alanlar küçülmektedir. Takviye fazının tane boyutu arttıkça çözünme azalmaktadır (Şekil 3). Bu durumda matrise karbon difüzyonu kolaylaşmakta ve perlitik alanlar artmaktadır. Bu durum küçük tane boyutlu takviye fazında artan serbest yüzey alanı ile ilişkilendirilebilir. Küçük tane boyutlu takviye fazı içeren numunelerde artan ağırlık oranlarında daha fazla çözünme nedeniyle karbürlerin birbirine daha yakın olarak yerleştiği ve tüm alanı bir ağ şeklinde kapladığı görülmektedir. Fe-Cr-C alaşımları üzerinde yapılan diğer araştırmalarda da  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  karbürleri ve ferritin karışımı olan mikroyapıların oluştuğu gözlenmiştir. Bu tür mikroyapılar iyi aşınma direncine sahiptir [12].

#### 3.2. Aşınma Deneyi Sonuçları

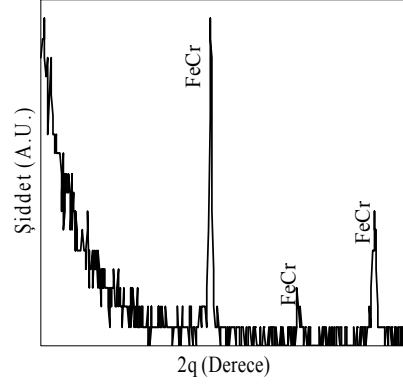
% 4, 8 ve 12 oranlarında farklı tane büyüklüğüne sahip FeCr takviyeli numunelerin aşınma deneylerinden elde edilen ağırlık kaybı değerlerine deney yükünün etkisi sırasıyla Şekil 3-5 de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi, yük ve FeCr tane büyüklüğü arttıkça ağırlık kaybı da artmaktadır. Yükün artması aşındırıcı tanelerin daha derine nüfuz etmesine neden olarak, ağırlık kaybını artırmaktadır. Takviye elemanın tane boyutu arttıkça, perlitik oluşumlar artmakta ve ikincil faz oluşumu azalmaktadır (Şekil 3). Böylece matris sertliği ve aşınma direnci nispeten düşmektedir. Perlitik matris karbürleri tutmada etkili olamamakta ve aşınma direnci düşmektedir.



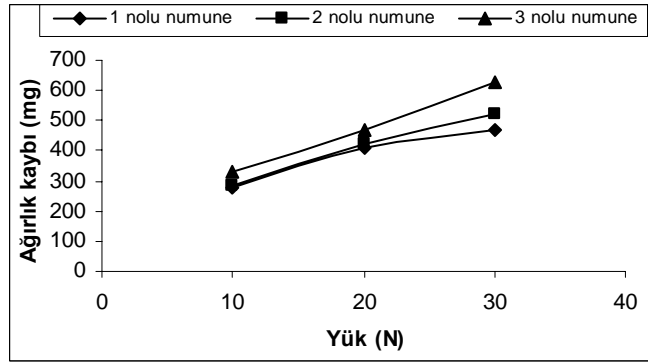
Şekil 1. Numunelerin mikroyapısı, (a) 1.numune, (b) 2. numune, (c) 4. numune, (d) 6. numune, (e) 8. numune, (f) 9. numune



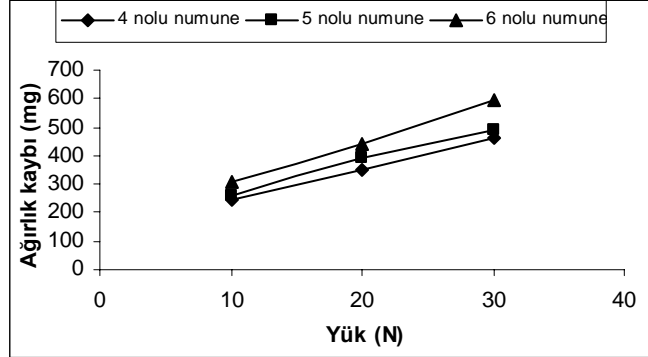
Şekil 2. 1 nolu numuneden alınan x-ray analizi



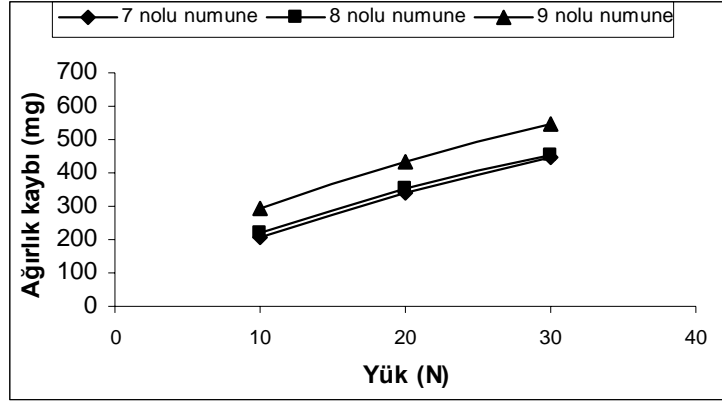
Şekil 3. 9 nolu numuneden alınan x-ray analizi



Şekil 4. 1, 2, 3 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi

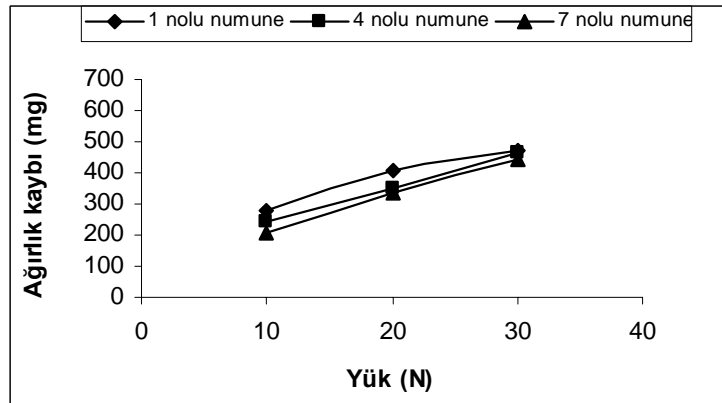


Şekil 5. 4, 5, 6 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi

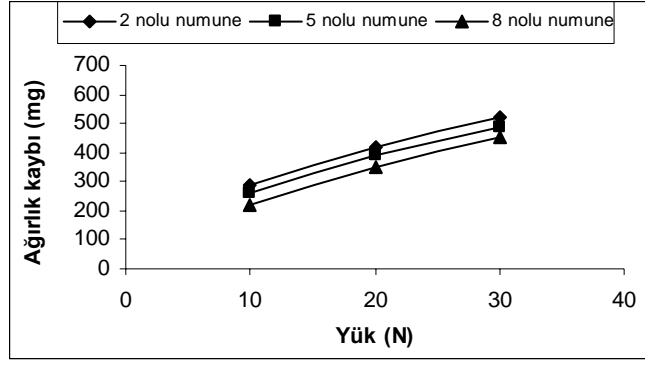


Şekil 6. 7, 8, 9 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi

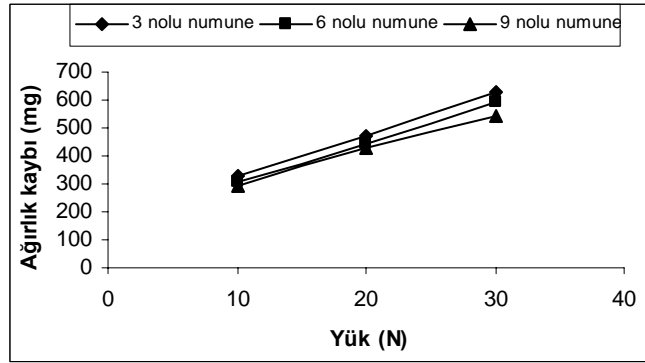
Karşılaştırma yapmak amacıyla, aynı tane boyutu ve farklı oranlarda FeCr içeren numunelerin ağırlık kaybına deney yükünün etkisi Şekil 6, 7 ve 8 de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi, artan FeCr miktarı ile ağırlık kaybı düşmektedir. Aşınma direncindeki bu artış matris sertliğine ve daha yoğun olarak oluşan karbürlerin aşındırıcı tanelere karşı matrisi daha iyi korumasına bağlanabilir. Takviye fazındaki artışa bağlı olarak karbür oluşumunun artması matris sertliğini artırmaktadır. Birbirine yakın olarak yerleşmiş ve homojen dağılımlı karbürlerin matrisi desteklemesi ve karbürler arasındaki mesafenin kısılması nedeniyle abrasiv tanelerin matrisi aşındırması nispeten engellenmekte, dolayısıyla aşınma direnci artmaktadır. Deneylerde kullanılan numuneler içerisinde en yüksek aşınma direnci 25  $\mu$ m ortalama tane büyüklüğü ve % 12 oranında FeCr içeren numunelerde elde edilmiştir.



Şekil 7. 1, 4, 7 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi



Şekil 8. 2, 5, 8 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi



Şekil 9. 3, 6, 9 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi genelleştirilebilir.

1. Mikroyapı perlit fazı, ikincil fazlar ve FeCr partikülleri içeren ferritik tip matristen meydana gelmiştir. İkincil fazların  $Cr_7C_3$  ve  $(Cr_{2,5}Fe_{4,4}Mo_{0,1})C_3$  karbürleri olduğu belirlenmiştir Takviye fazındaki Cr, Mo ve C atomları matris ve matris-takviye fazı sınırına difüze olmakta ve malzemenin mikroyapısı adacıklar şeklinde perlitik alanlardan meydana gelmektedir.
2. FeCr'nin artan tane büyüklüğü ile çözünürlük düşmekte ve ikincil fazların oluşumu azalırken, perlitik oluşumlar ise artmaktadır. Buna bağlı olarak, matris sertliği ve aşınma direnci düşmektedir.
3. Takviye fazının oranının artmasıyla aşınma direnci artmakta, buna karşın tane boyutu arttıkça aşınma direnci düşmektedir. Deney şartlarında en yüksek aşınma direnci 25µm tane boyutlu ve % 12 oranında FeCr içeren numunelerde elde edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma F.Ü. Bilimsel Araştırmalar Birimi (FÜBAB) tarafından desteklenmiştir.

**KAYNAKLAR**

- [1] Metals Handbook, Ninth Edition, American Society for Metals, 1984, p. 7
- [2] j. Kazior, C. Janczur, T.Pieczonka, J. Ploszczak, Thermochemical treatment of Fe-C-Mo alloys, *Surface and Coatings Technology* 151-152(2002)333-337
- [3] H. Berns, Comparison of wear resistant MMC and white cast iron, *Wear* 254 (2003) 47-54.
- [4] M. Vardavoulis, C. Jouanny Tresy, M. Jeandin, Sliding-wear behavior of ceramic particle-reinforced high-speed steel obtained by powder metallurgy, *Wear* 165 (1993)141-149
- [5] M.L. Ted Guo, C.H. Chiang, Microstructure and wear behavior of spray-formed and conventionally cast rolls of 18 Cr-2.5 Mo-Fe alloy, *Materials Science and Engineering A326* (2002)1-10
- [6] M. Vardavoulis, The role of hard second phases in the mild oxidational wear mechanism of high-speed steel based materials, *Wear* 173 (1994)105-114
- [7] G. Straffelini, V. Fontanari, A. Molinari, *Powder Metall.* 38 (1995)45
- [8] M. Selecka, A. Salak, H. Danninger, The effect of boron liquid phase sintering on properties of Ni-Mo and Cr alloyed structural steels, *Journal of Materials Processing Technology* 141 (2003) 379-384.
- [9] N. Candela, F. Velasco, J.M. Torralba, Fracture mechanism in sintered steels with 3.5 % (wt.) Mo, *Materials Science and Engineering A* 259 (1999) 98-104.
- [10] ASM International Handbook Committee, Friction, lubrication and wear technology, Vol. 18, ASM Handbook, 1992 pp. 184-190.
- [11] S. Aso, S. Goto, Y. Komatsu, W. Hartono, Sliding wear of graphite crystallized chromium white cast iron, *Wear* 250 (2001) 511-517.
- [12] M.H.Korkut, O. Yılmaz, S. Buytoz, Effect of aging on the microstructure and toughness of the interface zone of GTA synthesized Fe-Cr-Si-Mo-C coated low carbon steel, *Surface and Coating Technology*,157 (2002)5-13.