




Wear properties of Cu-Cr-B₄C-CNF hybrid composites produced by powder metallurgy method

Osama Ali Ehbil KRİEWAH¹  Serkan ISLAK^{2,*}  Vahdettin KOÇ³  İlyas SOMUNKIRAN⁴ 

¹Kastamonu University, Institute of Science, Department of Materials Science and Engineering, 37150, Merkez/KASTAMONU

²Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, 37150, Merkez/KASTAMONU

³Adiyaman University, Vocational High School of Technical Sciences, Machine Program, 02230, Merkez/ADIYAMAN

⁴Firat University, Faculty of Technology, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 23119, Merkez/ELAZIĞ

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received: 5.06.2022
Revision: 13.06.2022
Accepted: 15.06.2022

Highlights

- The wear performance of copper is improved.
- CNF showed lubricating property.

Keywords

Wear
Hybrid composite
Copper
Powder metallurgy

In this study, the examination of the wear properties of Cu-Cr-B₄C-CNF hybrid composites produced by powder metallurgy method is given as a graphic summary below.

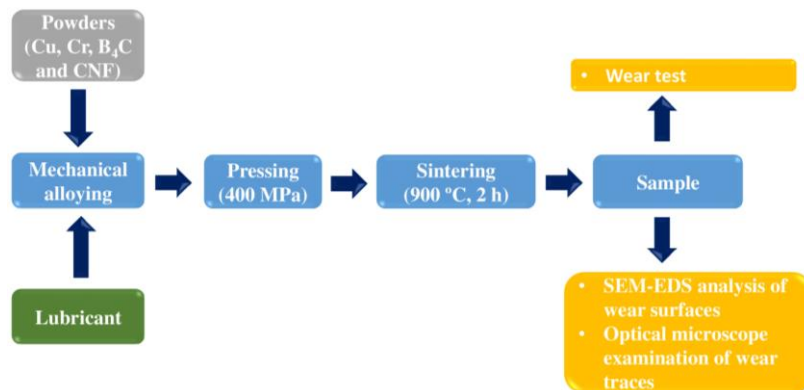


Figure A. Production and test flow chart

Purpose: It is aimed to examine the wear properties of Cu-Cr-B₄C-CNF hybrid composites produced by powder metallurgy method in detail. The effects of the reinforcement elements added in Cu on the wear behavior were investigated.

Theory and Methods: Pure copper is widely used in various electrical applications due to its high electrical conductivity and high thermal conductivity. Although copper has these excellent properties, the ductility of copper makes it vulnerable to mechanical stress. In this study, the wear properties of hybrid composites produced by powder metallurgy were investigated.

Results: The wear depth was calculated using the wear traces and the ball diameter, and then the wear section was calculated. The wear volume was found by multiplying the wear section by the wear length. The wear resistance of the samples is interpreted as an indicator of the wear rates. While the friction coefficients and wear rates decreased depending on the reinforcement ratios, both the friction coefficients and the wear rates increased with the increase of the wear loads.

Conclusion: The friction coefficients of the samples differed according to the composition. Depending on the increase in the load, the friction coefficients also increased. Among the sample groups, it occurred under 5 N abrasion load in the S7 sample. This is attributed to the lubricating property of CNF. The wear rates increased depending on the wear load and the amount of additives. According to the SEM images of the wear surfaces, both adhesive and abrasive wear mechanisms are the dominant wear types.



Wear properties of Cu-Cr-B₄C-CNF hybrid composites produced by powder metallurgy method

Osama Ali Ehbil KRİEWAH¹  Serkan ISLAK^{2*}  Vahdettin KOÇ³  İlyas SOMUNKIRAN⁴ 

¹Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, 37150, Merkez/KASTAMONU

²Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 37150, Merkez/KASTAMONU

³Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine Programı, 02040, Merkez/ADYAMAN

⁴Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23119, Merkez/ELAZIĞ

Abstract

Despite the excellent properties of copper, such as high electrical conductivity and high thermal conductivity, the fact that its mechanical properties are weak reveals the fact that its mechanical properties have been improved. In this study, the wear properties of Cu-Cr-B₄C-CNF hybrid composites produced by powder metallurgy were experimentally investigated in order to improve their mechanical properties. The pin-on-disc wear method was used to determine the wear performance of the composites. Three different wear loads (5N, 10N, and 15N) were selected in the wear test. According to the wear results, while the friction coefficients and wear rates decreased depending on the reinforcement ratios, both the friction coefficients and the wear rates increased with the increase of the wear loads. According to the SEM photographs taken from the surface after the wear process, both adhesive and abrasive wear mechanisms are the dominant wear types.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi

Başvuru: 5.06.2022

Düzeltilme: 13.06.2022

Kabul: 15.06.2022

Keywords

Wear

Hybrid composite

Copper

Powder metallurgy

Anahtar Kelimeler

Aşınma

Hibrit kompozit

Bakır

Toz metalurjisi

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen Cu-Cr-B₄C-CNF hibrit kompozitlerin aşınma özellikleri

Öz

Bakırın yüksek elektriksel iletkenlik ve yüksek termal iletkenlik gibi mükemmel özelliklerine rağmen mekanik özelliklerinin zayıf olması, mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gerçeğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada toz metalürjisi ile üretilen Cu-Cr-B₄C-CNF hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla aşınma özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Kompozitlerin aşınma performanslarını belirlemek amacıyla pin-on-disk aşınma metodu kullanılmıştır. Aşınma testinde üç farklı aşınma yükü (5N, 10N ve 15N) seçilmiştir. Aşınma sonuçlarına göre, takviye oranlarına bağlı olarak sürtünme katsayılarında ve aşınma oranlarında azalma meydana gelirken, aşınma yüklerinin artmasıyla hem sürtünme katsayılarında hem de aşınma oranlarında artışlar meydana gelmiştir. Aşınma işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntülerine göre hem adhezif hem de abrasiv aşınma mekanizmaları hâkim aşınma türleridir.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bakır ve alaşımlarının insanlar tarafından kullanımı binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Muhtemelen bakır, insanlık tarafından çıkarılan ve işlenen en eski metaldir. İyi mukavemet ve süneklik, işleme kolaylığı ve iyi bulunabilirlik ile bakır, binlerce yıldır nesnelere, takılar ve günlük kullanım araçları veya yüksek teknolojik içeriğe sahip bileşenler oluşturmak için mükemmel bir malzeme olmuştur. Günümüzde bakır, çoğunlukla yüksek ısı veya elektrik iletkenliği gerektiren uygulamalarda saf haliyle kullanılırken, alaşımları

(bronzlar ve pirinçler) mükemmel korozyon ve aşınma direnci sayesinde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır ve alaşımları, insanlığın büyümesi için büyük bir doğal kaynak olmuştur ve olmaya devam etmektedir [1-3]. Bakırın bu eşsiz özelliklerine rağmen nispeten düşük mukavemeti ve sertliği, yapısal malzemeler olarak uygulamalarını sınırlamıştır. [4, 5]. Bu olumsuzluğun üstesinden gelmek için malzeme alanında birçok çalışma yapılmaktadır. Yüksek performanslı Cu esaslı malzemeler elde etmek için yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır. Bu yöntemlerden ilki, Cu–Cr–Zr, Cu–Ni–Si ve Cu–Cr alaşımları gibi, yaşlanma işleminden kaynaklanan intermetalik partiküllerin neden olduğu çökeltme güçlendirmesinin birincil güçlendirme faktörü olduğu alaşımlama yoludur. İkincisi ise, takviye olarak partiküllerin (karbürler, borürler ve oksitler) ve whiskerlerin (karbon nanotüpler veya grafit) neden olduğu güçlendirmenin ana güçlendirme mekanizması olduğu kompozit üretim metodudur [6, 7]. Peng vd. [8] yaşlandırma işleminden sonra Cu–Cr ve Cu–Cr–Ti alaşımlarının mekanik özellikleri ve mikroyapı özelliklerini araştırmışlardır. Onlar, Cu-Cr alaşımlarının yumuşama sıcaklığı ve akma dayanımı, Ti içeriğinin artmasıyla arttığını, Cr çökeltmelerinin güçlendirme katkısı nicel olarak belirlendiğini ve Ti ilavesinin Cu-Cr alaşımlarında kübik çökeltmelerin oluşmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir. Fakat oluşan çökelekler, yüksek sıcaklık uygulamalarında bozularak, dayanımda düşüş yaşanmaktadır [9]. Bu olumsuzluğun üstesinden gelmek için bakır matrisli kompozit malzemeler önem kazanmaktadır. Shu vd. [10] Cu-B₄C kompozitlerini üretip, B₄C'nin mikroyapı, sertlik, elektriksel iletkenlik ve aşınma direncine etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, B₄C miktarının artmasıyla elektriksel iletkenlikte kademeli olarak azalmanın olduğunu gösterirken, sertlikte ve aşınma direncinde artış olduğunu göstermiştir. Tüm bu olumlu özelliklere rağmen, daha yüksek oranlarda seramik takviyesinin eklenmesi, kompozitin genel yoğunluğunu artırır ve işleme zorluklarına neden olur. Yukarıdaki sınırlayıcı faktörler, belirli bir uygulama için gereken özellikleri uyarlamak için ikili veya üçlü takviye malzemeleri (biri seramik olan) ile hibrit kompozitlerin kullanımını başlatmıştır. Ayrıca, hibrit kompozitler, ileri mühendislik uygulamaları ihtiyacını karşılamadaki olağanüstü potansiyelleri nedeniyle son zamanlarda bilim ve mühendislik alanlarında çok fazla ilgi görmektedir [11]. Bu çalışmada, bakır içerisine Cr, B₄C ve CNF ilave edilerek toz metalürjisi yöntemiyle hibrit kompozitler üretilmiş olup, üretilen bu hibrit kompozitlerin aşınma özellikleri detaylıca araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIALS AND METHODS)

Hibrit kompozitlerin üretiminde matris olarak bakır (Cu), takviye olarak ise bor karbür (B₄C), krom (Cr) ve karbon nanofiber (CNF) kullanılmıştır. Tozların EDS analizlerine göre Cu ağırlıkça %100 Cu'dan, Cr ağırlıkça % 100 Cr'dan, B₄C ağırlıkça %34.29 B ve %65.71 C'dan ve son olarak CNF ise ağırlıkça %100 C'dan oluşmaktadır. Tablo 1 toz karışım oranlarını göstermektedir.

Tablo 1. Toz karışım oranları (% hacim)

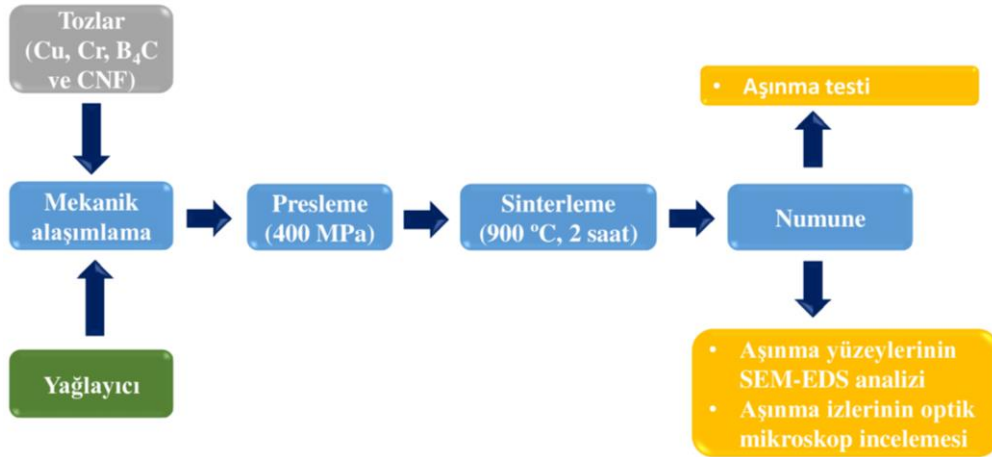
| Numune Kodu | Cu | B ₄ C | Cr | CNF |
|-------------|-----|------------------|----|-----|
| S1 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| S2 | 92 | 8 | 0 | 0 |
| S3 | 90 | 8 | 2 | 0 |
| S4 | 88 | 8 | 4 | 0 |
| S5 | 86 | 8 | 6 | 0 |
| S6 | 85 | 8 | 6 | 1 |
| S7 | 84 | 8 | 6 | 2 |
| S8 | 83 | 8 | 6 | 3 |

Yukarıda verilen karışım oranlarına göre tozlar 2 saat sürede 400 rpm'de mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. Mekanik alaşımlanan toz karışımları hidrolik preste 400 MPa basınçta preslenmiş olup, 20 mm çapında ve 10 mm yüksekliğinde numuneler üretilmiştir. Ham halindeki numuneler tüp fırında argon atmosferinde 10 °C/dk ısıtma/soğutma hızında 2 saat sürede 900 °C sıcaklıkta sinterlenmiştir. UTS Tribometer T10 test cihazı (Şekil 1) kullanılarak ASTM G99-17 standardına [12] uygun olarak tüm numunelere disk üzerinde pin aşınma testi uygulandı. Testler oda koşullarında 5 N, 10N ve 15 N yüklerde

ve 300 metre kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı karşı malzeme olarak 100Cr6 malzemeden üretilmiş Ø6 mm çapında çelik bilyalar kullanılmıştır. Aşınma iz kalınlıkları Nikon marka optik mikroskop kullanılarak ölçülmüştür. Aşınma yüzeylerinin Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı spektrometre (EDS) analizleri Carl Zeiss Ultra Plus Gemini FESEM kullanılarak yapılmıştır. Şekil 2’de numune üretiminden aşınma testine ve sonrasında analizleri de içeren akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 1. Aşınma cihazı (UTS 10/20 Tribometer)



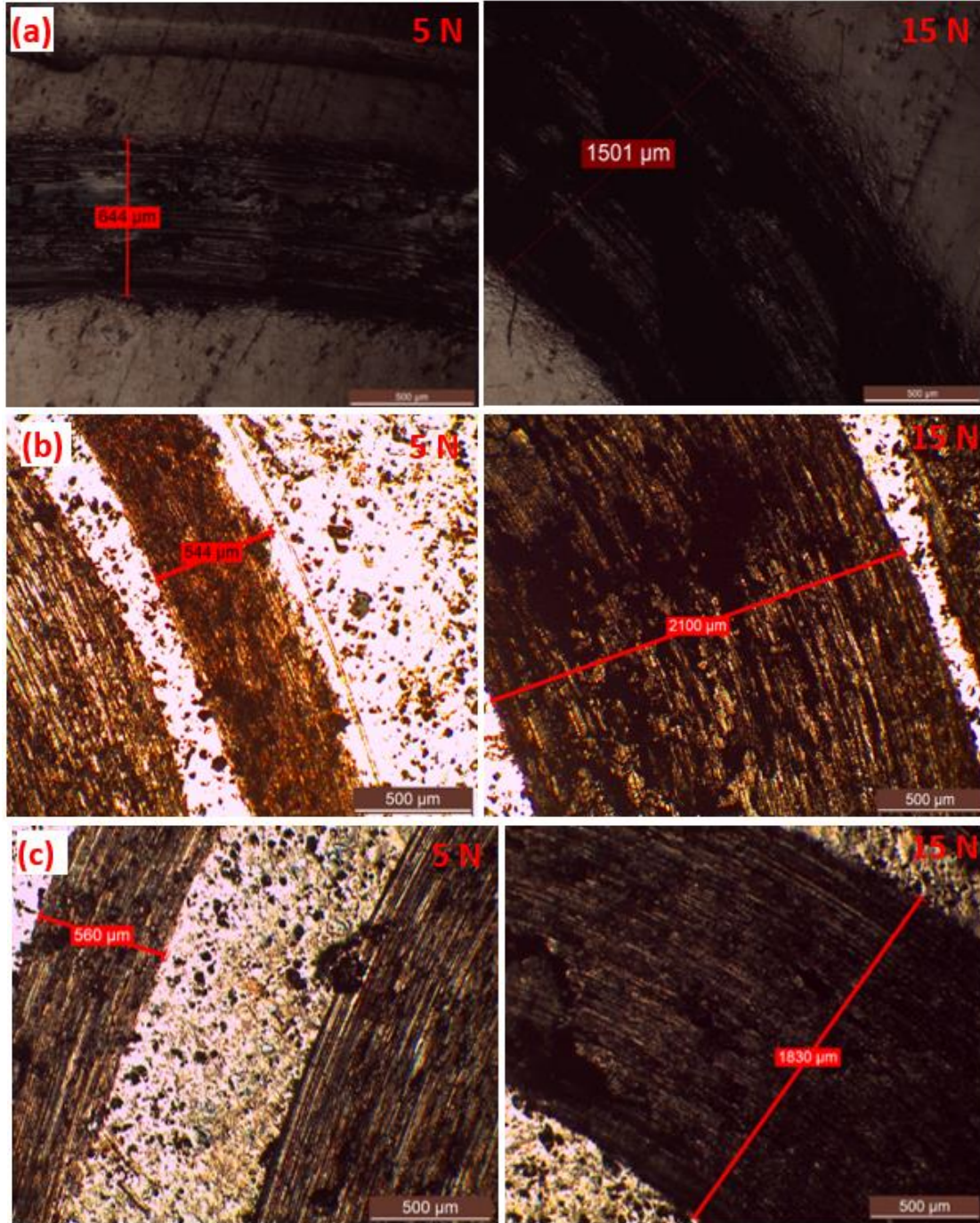
Şekil 2. Üretim ve test akış diyagramı

3. SONUÇLAR VE TARIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

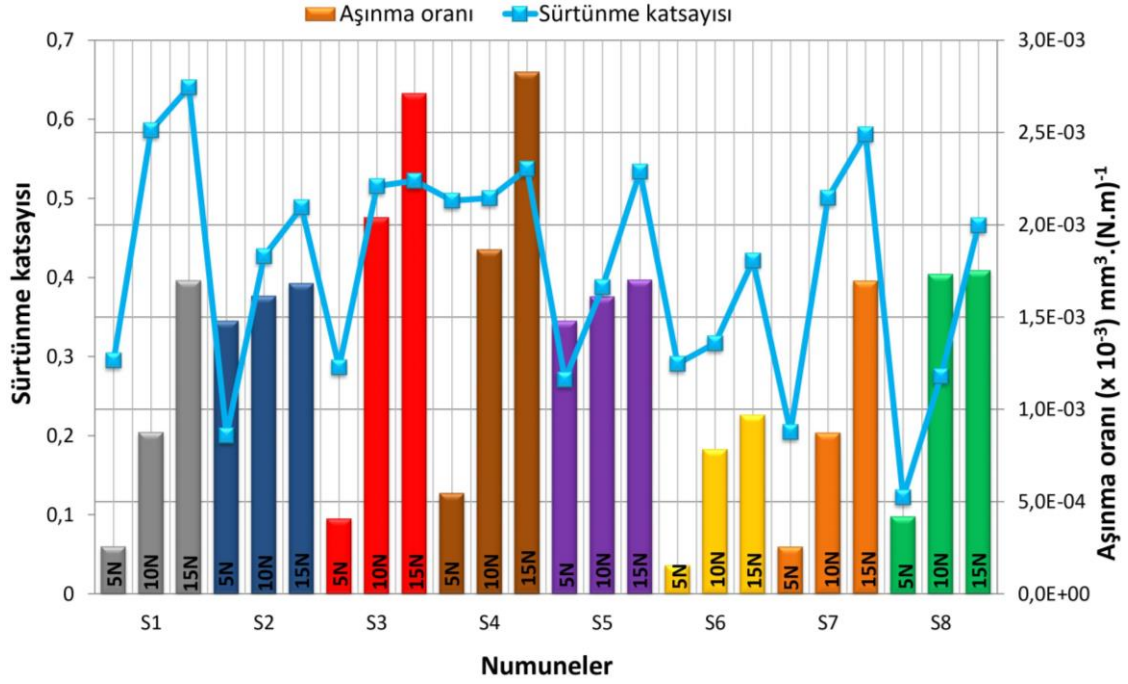
Aşınma testlerinde aşınma oranı, numunelerin aşınma kayıpları açısından ele alınacak bir niceliktir. Aşınma oranını hesaplamak için, kayıp hacim, uygulanan yük ve kayma mesafesi gibi değerler hesaba katılır [13, 14]. Aşınma hacminin hesaplanmasında aşınma izi genişlikleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Optik mikroskop kullanılarak ölçülen aşınma izi genişlikleri S1, S2 ve S6 nolu numuneler için Şekil 3’de verilmiştir. S1 (katkısız) numunesinde 5 N ve 15 N için aşınma izi genişlikleri sırasıyla 644 µm ve 1501 µm iken, hibrit kompozit olan S6 numunesinde 5 N ve 15 N için aşınma izi genişlikleri sırasıyla 560 µm ve 1830 µm olarak ölçülmüştür. Aşınma izleri ve bilya çapı kullanılarak aşınma derinliği hesaplanmış ve sonrasında aşınma kesiti hesaplanmıştır. Aşınma kesiti ile aşınma boyu çarpılarak aşınma hacmi bulunmuştur. Aşınma derinlikleri kullanılarak aşınma performansı belirlenmesi üzerine literatürde bir kaç çalışma mevcuttur [15, 16]. Numunelerin aşınma direnci, aşınma oranlarının bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır. Aşınma oranı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır [17].

$$\text{Aşınma oranı} = \frac{V}{W \times L}$$

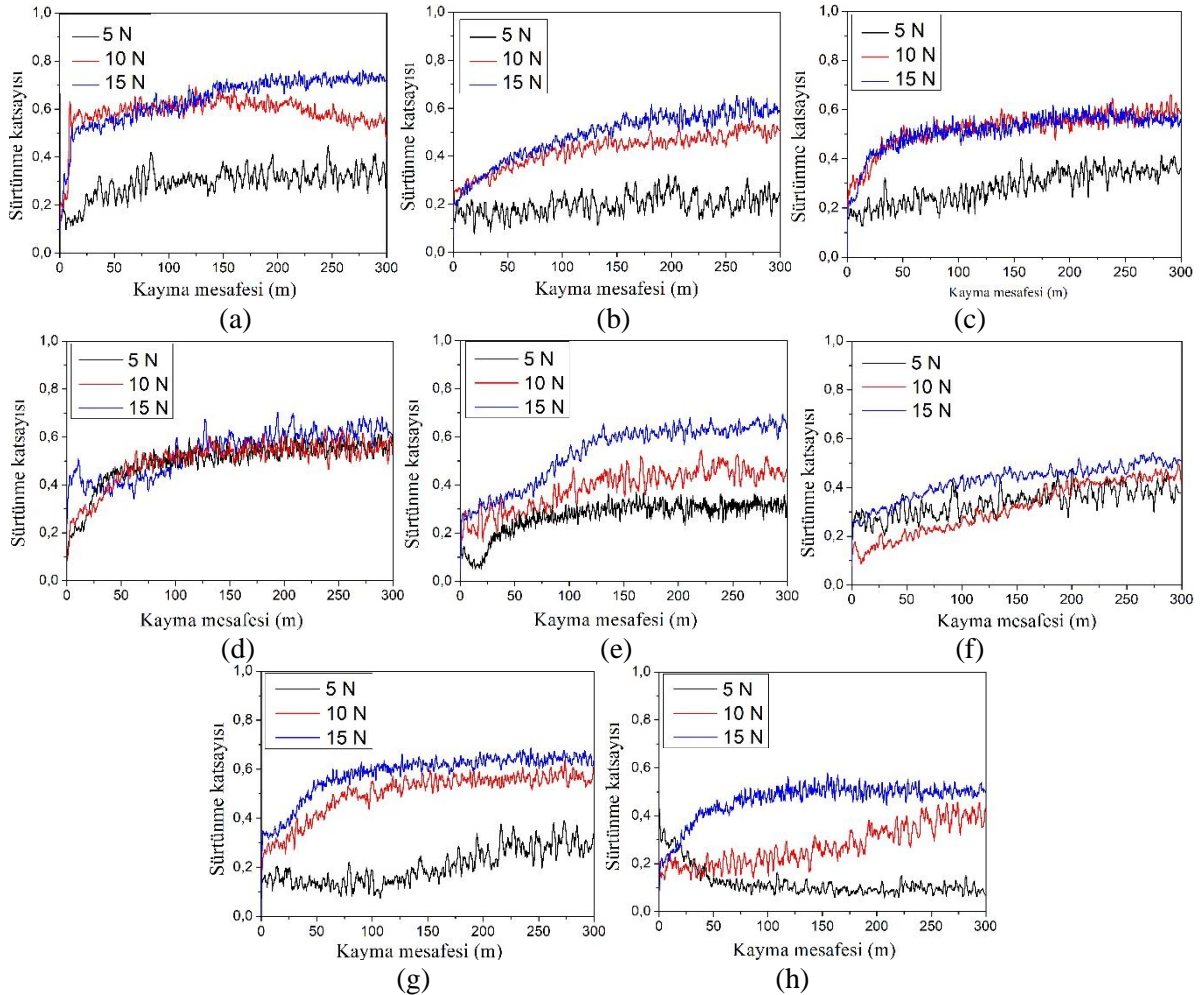
Burada V, hacimsel aşınma kaybı, W, uygulanan yük ve L, aşınma yoludur. Numunelerin aşınma oranları ve sürtünme katsayıları Şekil 4’de verilmiştir. Numunelerin aşınma oranları her bir numune için ve farklı aşınma yükünde farklılık göstermektedir. Düşük yükte (5N), aşınma oranı oldukça düşükken, 10N ve 15N yüklerde aşınma oranları belirgin olarak artmaktadır. Bu durum yüksek yüklerde aşındırıcı karşı top malzeme ile numune arasındaki temas alanının artmasıyla açıklanabilir. Temas alanı arttıkça matristen kopan takviye parçacıkları iki ve üç cisimli aşınma modlarına göre aşınmayı yönlendirmektedir. Sürtünme katsayıları takviye oranı arttıkça azalmakta, aşınma yükü arttığında ise artmaktadır (Şekil 5). CNF içerikli 6, 7 ve 8 nolu numunelerin sürtünme katsayıları oldukça düşmüştür. Bu durum karbon menşeli malzemelerin yağlayıcılık özelliğine atfedilebilir [18].



Şekil 3. Numunelerin farklı aşınma yüklerinde aşınma iz kalınlıklarının optik fotoğrafları: (a) S1, (b) S2 ve (c) S6

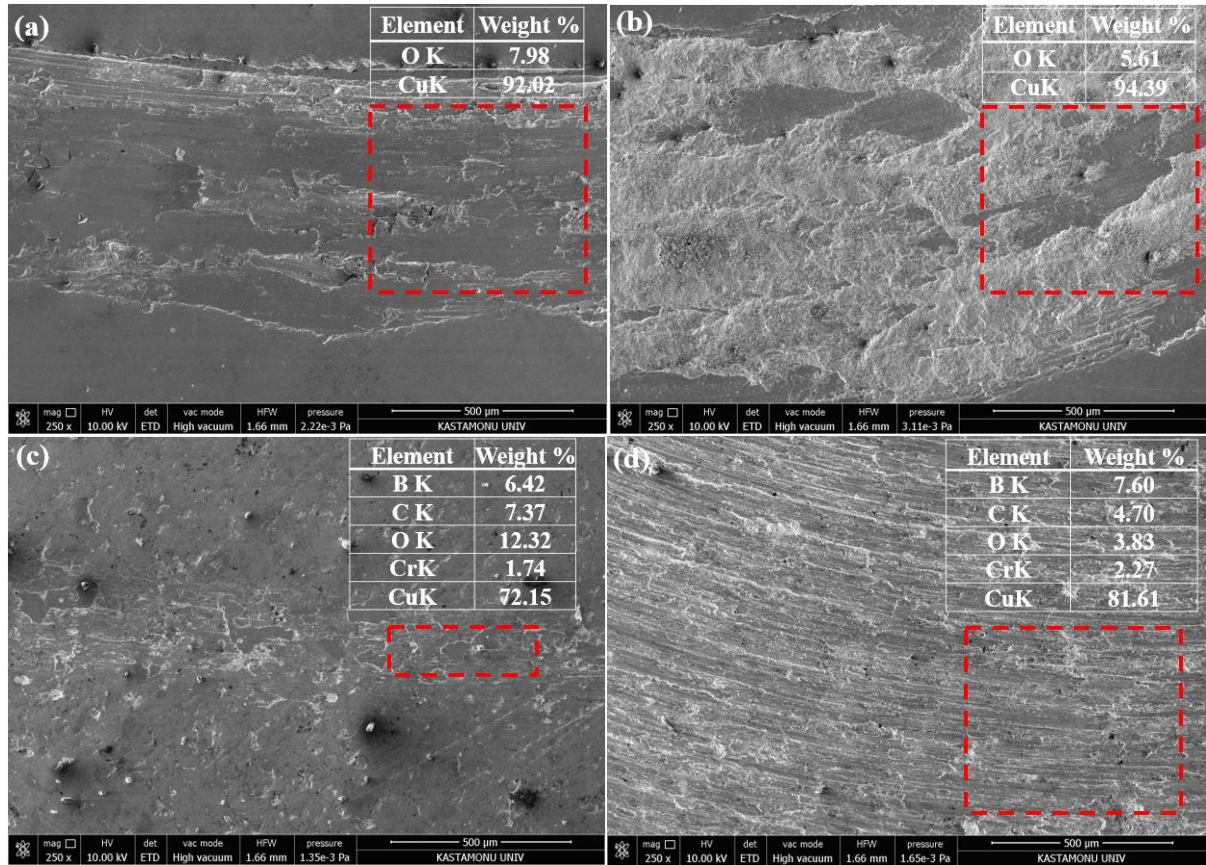


Şekil 4. Numunelerin sürtünme katsayıları ve aşınma oranları grafiği



Şekil 5. Numunelerin sürtünme katsayıları ve aşınma oranları grafiği: (a) S1, (b) S2, (c) S3, (d) S4, (e) S5, (f) S6, (g) S7 ve (h) S8

Aşınma testinden sonra aşınma yüzeylerine SEM-EDS analizi yapılmıştır. Şekil 6a ve Şekil 6b'de 1 nolu katkısız ve Şekil 6c ve Şekil 6d'de ise 6 nolu Cu-8B₄C-6Cr-1CNF numunelerinin aşınma yüküne bağlı olarak aşınma yüzeylerinin SEM-EDS analizini göstermektedir. Her iki numune grubu içinde aşınma yükü 5N'dan 15N'a arttığında aşınma izi kalınlığının arttığı SEM görüntülerinden açıkça görülmektedir. Bu durum yükün artmasıyla aşındırıcı bilya ile numune arasındaki temas alanının artmasıyla ilişkilidir. 1 nolu numunede genelde adhezif aşınma hâkimken aşınma kenarında çok az oranda abrasiv aşınma mevcuttur. Abrasiv aşınma olayı CuO partiküllerinin ana matristen kopması ve sonrasında aşınma testi esnasında abrasiv etkiyle bakır matrisi çizmesi şeklinde açıklanabilir. Zaten, numunelerin yüzeyinden EDS analizinde de oksit varlığı açıkça görülmektedir. Katkısız olan 1 nolu numunede bazı bölgelerde çatlakların oluşumu da göze çarpmaktadır. Çatlakların sebebi olarak, aşınma testi esnasında matrisin soğuk sertleşmesinden dolayı artık malzemenin dayanımında azalmanın olması gösterilmektedir. 1 nolu numune için 15N aşınma yükünde abrasiv etki azalmaktadır, bunun yerine neredeyse numunenin aşınma yüzeyinde adhezif aşınma hâkimdir. Çünkü yüksek yüklerde CuO parçacıkları parçalanarak abrasivliğini kaybetmektedir. 6 nolu numunede ise aşınma yüzeyinin tamamı abrasiv aşınma karakterlidir. Bu sebebi olarak da aşınma esnasında matrisin çıkan B₄C tanelerinin abrasiv tanecik özelliği göstermesidir (özellikle yüksek aşınma yükünde) [19]. Mikro pulluklanma izleri de SEM görüntüsünde açıkça görülmektedir.



Şekil 6. Aşınma yüzeylerinin SEM-EDS analizi: (a) S1/5N, (b) S1/15N, (c) S6/5N ve (d) S6/15N

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Cu-Cr-B₄C-CNF hibrit kompozitlerin aşınma özellikleri detaylıca araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Numunelerin aşınma işlemi sonrasında optik mikroskopla alınan aşınma izleri aşınma oranlarının hesaplanmasında kullanılmış ve bu izlerin genişlikleri yükün artmasıyla artmış, bileşim değişimine göre değişmiştir.

2. Numunelerin sürtünme katsayıları bileşime göre farklılık göstermiştir. Yükün artışına bağlı olarak sürtünme katsayıları da artmıştır. Numune grupları arasında S7 numunesinde 5 N aşınma yükü altında meydana gelmiştir. Bu durum CNF'nin yağlayıcılık özelliğine atfedilmiştir.
3. Aşınma yüküne ve katkı miktarına bağlı olarak aşınma oranları artmıştır. Aşınma yüzeylerinin SEM görüntülerine göre hem adhezif hem de abrasiv aşınma mekanizmaları hâkim aşınma türleridir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Collini, L. (Ed.). (2012). Copper Alloys: Early Applications and Current Performance-Enhancing Processes. BoD–Books on Demand.
- [2] Lampman, S. (1990). ASM Handbook: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials. Materials Park (OH): ASM International.
- [3] Deshpande, P. K., & Lin, R. Y. (2006). Wear resistance of WC particle reinforced copper matrix composites and the effect of porosity. *Materials Science and Engineering: A*, 418(1-2), 137-145.
- [4] Huang, B., Hishinuma, Y., Noto, H., & Muroga, T. (2019). Mechanochemical processing of Cu-Y₂O₃ alloy by MA-HIP for heat sink materials application. *Fusion Engineering and Design*, 140, 33-40.
- [5] Chen, H., Jia, C. C., & Li, S. J. (2013). Effect of sintering parameters on the microstructure and thermal conductivity of diamond/Cu composites prepared by high pressure and high temperature infiltration. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 20, 180-186.
- [6] Zhang, X., Xiao, Z., Xia, Z., Han, S., Meng, X., Zhao, Y., Li, Z., & Lei, Q. (2022). Microstructure and properties of Cu-TiNi composites prepared by vacuum hot pressing. *Journal of Alloys and Compounds*, 897, 162729.
- [7] Han, T., Li, J., Zhao, N., Shi, C., Liu, E., He, F., Ma, L., Li, Q., & He, C. (2017). In-situ fabrication of nano-sized TiO₂ reinforced Cu matrix composites with well-balanced mechanical properties and electrical conductivity. *Powder Technology*, 321, 66-73.
- [8] Peng, H., Xie, W., Chen, H., Wang, H., & Yang, B. (2021). Effect of micro-alloying element Ti on mechanical properties of Cu–Cr alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 852, 157004.
- [9] Correia, J. B., Davies, H. A., & Sellars, C. M. (1997). Strengthening in rapidly solidified age hardened Cu-Cr and Cu-Cr-Zr alloys. *Acta Materialia*, 45(1), 177-190.
- [10] Shu, D., Li, X., & Yang, Q. (2021). Effect on Microstructure and Performance of B₄C Content in B₄C/Cu Composite. *Metals*, 11(8), 1250.
- [11] Vidyasagar, C. S., & Karunakar, D. B. (2022). Effect of spark plasma sintering and reinforcements on the formation of ultra-fine and nanograins in AA2024-TiB₂-Y hybrid composites. *Progress in Natural Science: Materials International*, 32(1), 79-86.
- [12] Standard, ASTM. (2017). G99-17. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [13] Zhou, F., Wang, Y., Liu, F., Meng, Y., & Dai, Z. (2009). Friction and wear properties of duplex MAO/CrN coatings sliding against Si₃N₄ ceramic balls in air, water and oil. *Wear*, 267(9-10), 1581-1588.
- [14] Islak, S., Eski, Ö., Koç, V., & Özorak, C. (2020). Wear properties and synthesis of CrFeNiMoTi high entropy alloy coatings produced by TIG process. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 27, 659-664.

- [15] Şaşmaz, M., Koç, V., & Güldal, S. (2021). Tribological Studies of NiMnIn and NiMnSn Magnetic Shape Memory Alloys. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 34, 2923-2931.
- [16] Koç, V., Çay, V.V. (2020). Investigation of wear behavior of Ti6Al4V/B₄C composites produced by powder metallurgy. *European Journal of Technique*, 10, 444-453.
- [17] Scharf, T. W., Neira, A., Hwang, J. Y., Tiley, J., & Banerjee, R. (2009). Self-lubricating carbon nanotube reinforced nickel matrix composites. *Journal of applied physics*, 106(1), 013508.
- [18] Islak, S., Özorak, C., Abouacha, N. M. E., Çalığülü, U., Koç, V., & Küçük, Ö. (2021). The effects of the CNF ratio on the microstructure, corrosion, and mechanical properties of CNF-reinforced diamond cutting tool. *Diamond and Related Materials*, 119, 108585.
- [19] Kriewah, O.A.E. (2022). Toz Metalürjisi Yöntemi İle Üretilen Bakır Matrisli Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Ve Korozyon Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi.