
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 SAKARYA UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 21-08-2017		
	<u>Kabul/Accepted</u> 09-02-2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.335545	

Farklı oranlarda CrC partikül takviyesi kullanılarak toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş Cu matrisli kompozit malzemelerin mikroyapı ve sertlik özelliklerinin incelenmesi

Mahir Uzun^{*1}, Mehmet Mehdi Munis², Üsame Ali Usca³

ÖZ

Bu çalışmada, toz metalürjisi (T/M) yöntemi kullanılarak farklı oranlarda CrC partikülleri, Cu matrisi içerisinde kullanılarak Cu matrisli kompozit malzeme üretimi, CrC partiküllerinin Cu matrisli kompozit malzemenin sertlik değerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Saf Cu tozu içerisine CrC partikülleri ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 olmak üzere farklı oranlarda katılmıştır. Hazırlanan numuneler, turbula karıştırıcı kullanılarak 24 saat karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar 450 MPa basınç altında şekillendirilmiştir. Şekillendirilen parçalar 950 °C'de 60 dakika boyunca sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelerin gerçek ve teorik yoğunlukları tespit edilmiştir. Sinterleme işleminin başarısı yoğunluğun ve SEM görüntülerinin incelenmesi ile değerlendirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı ve sertlik değerleri incelenmiştir. Mikroskop incelemeleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmıştır. Yapılan SEM incelenmesinde, eş eksenli tanelerden oluşan Cu matrisi içerisinde CrC fazının dengeli dağıldığı gözlenmiştir. Yapılan sertlik ölçümlerinde, CrC oranı arttıkça buna bağlı olarak sertliğin arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: bakır, kompozit, krom-karbür, sertlik

Investigation of microstructure and hardness properties of Cu matrix composite materials produced by powder metallurgy using CrC particle reinforcements at different ratios

ABSTRACT

In this study, it was aimed to investigate the effect of CrC particles in Cu matrix, Cu matrix composite material production, CrC particles hardness value of Cu matrix composites using powder metallurgy (P / M) method.. For this purpose, CrC particles in pure Cu dust were added at different ratios of 5%, 10%, 15% and 20% by weight. The prepared samples were stirred for 24 hours using a turbula mixer. The prepared mixtures were shaped under a pressure of 450 MPa. The shaped parts were sintered at 950 °C for 60 minutes. The actual and theoretical densities of the sintered samples were determined The success rate of sintering was evaluated by examining the intensity and SEM images. Microstructure and mechanical properties of the produced composite materials were investigated. Microstructure and hardness values of the produced composite materials were investigated. Microscope studies were performed using scanning electron microscopy (SEM). In the SEM study, it was observed that the CrC phase was uniformly distributed in the Cu matrix composed of coaxial grains. In the hardness measurements made, it was observed that as the CrC ratio increased, the hardness increased accordingly.

Keywords: copper, composite, crom-carbide, hardness

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Mahir Uzun Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

² Mehmet Mehdi Munis Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

³ Üsame Ali Usca Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte birçok yeni malzeme çeşidi geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Geliştirilen bu malzemeler, günümüz şartlarına daha uygun olmakta ve kullanımları da yaygınlaşmaktadır. Metal matrisli kompozit malzemeler de son yıllarda çok çalışılmakta ve yeni malzeme türleri üretilmektedir.

T/M ile üretim yöntemi, tam veya yarı mamul ürünleri üretmek için kullanılan bir yöntemdir [1]. Metallerin ergime sıcaklıklarının çok yüksek olmasından dolayı ve bu sıcaklıklara ulaşılmasının endüstriyel şartlar altında çok zor olması sebebi ile bazı kompozit malzemelerin, süper alaşım ve sert metaller gibi bazı malzemelerin üretiminin ancak T/M yöntemi ile mümkün olabileceği ifade edilmiştir [2,3,4].

Birçok farklı Cu alaşımları kimya endüstrisi ve elektro teknolojilerde kullanılırlar [5-7]. Cu alaşımları, iyi ısıl direncine ve elektriksel direncine ek olarak, yüksek korozyon ve oksidasyon direncine de sahiptirler. Bunun yanında bakır, iyi bir sünekliğe ve tokluğa sahiptir [8]. Cu matrisli kompozitlerin termal iletkenliği ve elektriksel iletkenliği yüksektir. Ayrıca bu kompozitlerin mekanik özellikleri ve tribolojik özellikleri de iyidir [9-12].

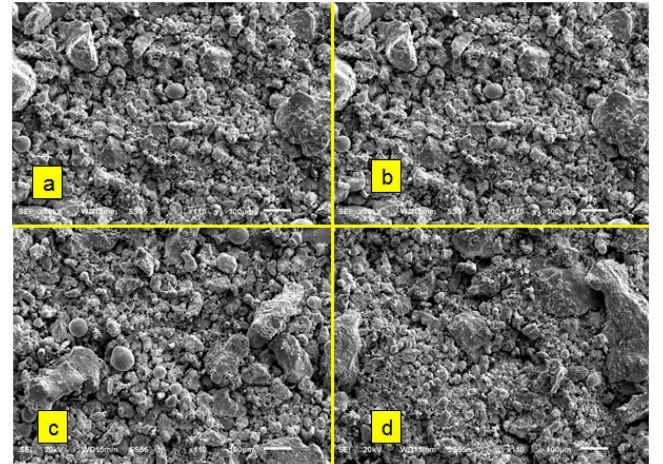
Metal matrisli kompozitler yüksek elastik modülü, yüksek mukavemet ve tekrar üretilebilme gibi birçok pozitif özelliklere sahiptirler [13]. Ayrıca bu malzemeler partikül takviyelerinden dolayı çok iyi aşınma direncine de sahiptirler [14,15]. Bakır matrisli kompozitler üzerine de çok fazla araştırmalar mevcuttur [16]. Yapılan bir araştırmada, bakır matrisine Ni_3Al partikülleri katılarak aşınma dayanımı geliştirilmiştir [9]. Cu-Cr SiC kompozit malzemesi üretilmiş ve yapılan incelemede sertliğin arttığı belirtilmiştir [17]. Ayrıca, Cu matrisine $FeMn_p$ ve $FeCr_p$ katılarak mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir [18]. Cu matrisine farklı ilaveler yapılarak, sertliği, mukavemeti, aşınma direnci ve iletkenliği geliştirilebilir [19]. Ayrıca değişen Cu matris oranları içerisinde çekme dayanımının %4 oranına kadar arttığı; %4 oranında sonra ise azaldığı ve Cu matris oranının artmasıyla sertliğin de arttığı gözlemlenmiştir [20].

Bu çalışmada T/M yöntemi ile Cu matrislerine CrC partikülleri takviye edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Ağırlıkça %5-20 aralığında farklı oranlarda CrC takviyesiyle üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı incelemeleri SEM(Scanning electron microscop) kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca kullanılan elementlerin oranlarının belirlenmesi amacıyla SEM kullanılarak EDS (Enerji dağılımı spektrometresi) analizi yapılmıştır. Sertliğin belirlenmesinde ise Vickers sertlik ölçüm metodu kullanılmıştır.

1. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHODS)

1.1. Deney Numunelerin Hazırlanması (Preparation of Experimental Samples)

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere Cu partikül boyutu $60 \mu m$ 'nin altında kullanılmıştır. Kullanılan CrC tozunun partikül boyutu ise $\leq 100 \mu m$ olacak şekilde seçilmiştir. Seçilen CrC tozunun kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 1'de Cu-CrC tozunun SEM görüntüsü ve Tablo 2'de EDS analiz raporu verilmiştir.



Şekil 1. Ağırlıkça; a) %5 b) %10 c) %15 d) %20 CrC içeren Cu-CrC tozunun SEM görüntüsü (SEM image of Cu-CrC powder containing CrC)

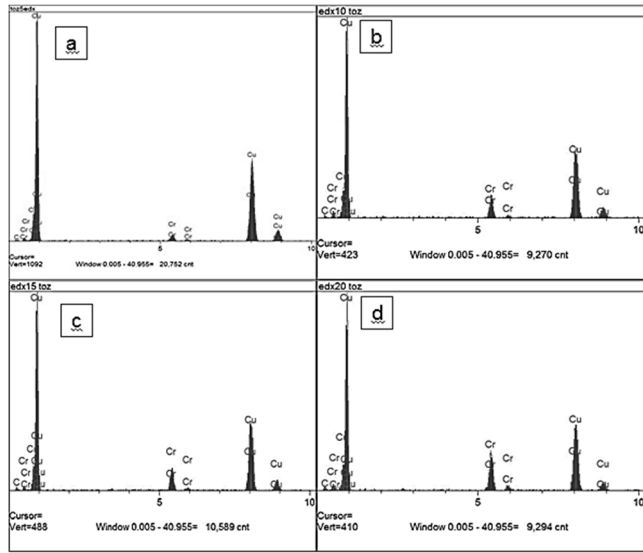
Tablo 1. CrC tozunun kimyasal bileşimi (Chemical composition of CrC powder)

Element	Safılık
Cr	%88-91 min.
C	%8-11 max.
Si	%0.6 max.
S	%0.05 max.
Fe	%0.5 max.
P	0.05 max.

Tablo 2. Ağırlıkça %10 Cu-CrC tozunun EDS analiz raporu (EDS analysis report of 10% Cu-CrC powder by weight)

Element	Yoğunluk (C/S)	Hata 2-SIG	Sonuç	Birim
C	6.86	5.732	3.499	%WT.
Cr	152.08	13.418	8.598	%WT.
Cu	620.21	25.536	87.903	%WT.
TOPLAM			100.000	%WT.

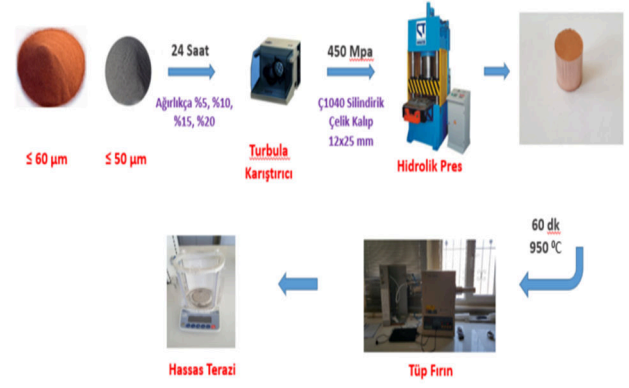
Metal matrisli kompozit malzemeler, toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiştir. Metal matris içerisine ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranında CrC partikül takviyesi yapılarak homojen bir karışım sağlanmış ve turbula karıştırıcı kullanılarak, toz malzemeler 24 saat karıştırılmıştır. Karışımın homojen dağılımı SEM’de yapılan EDS analizi ile doğrulanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Ağırlıkça; a) %5 b) %10 c) %15 d) %20 CrC içeren Cu-CrC tozunun EDS analizi grafiği (EDS analysis of Cu-CrC powder containing CrC)

Daha sonra karıştırılan tozlar hidrolik pres kullanılarak 450 MPa basınç altında şekillendirilmiştir. Şekillendirilmede Ç1040 malzemeden üretilen çelik kalıp kullanılmıştır, kullanılan kalıp silindirik şekilli olup 12 mm çapında ve 25 mm derinliğindedir.

Presleme sonrası elde edilen numuneler 950⁰C’de 50 dakika boyunca koruyucu atmosfer altında sinterlenmiştir. Bu işlem Protherm GSL-1500X marka tüp fırında alümina altlık kullanılarak yapılmıştır. Sinterlenen numunelerin ağırlıkları A&D HR-250AZ marka hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Çalışmanın şema halindeki aşamaları (Stages of work scheme)

Kütleleri belirlenen numunelerin çapları ve boyları ölçüldükten sonra hacimleri bulunmuştur.

$$\rho_{true} = \frac{m}{v} \quad (1)$$

ρ_{true} : Numunenin gerçek yoğunluğu (gr/cm³), m: Numune kütlesi (gr), v: Numune hacmi(cm³)

Gerçek yoğunluk formül 1’e göre hesaplanarak bulunmuştur. Numunelerin teorik yoğunluğu ise;

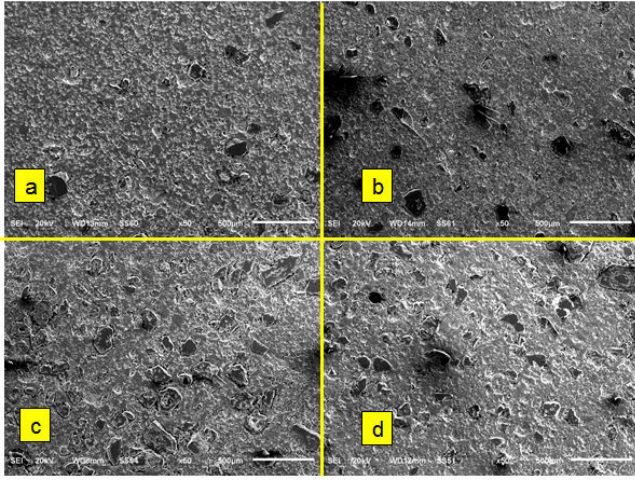
$$Dt = [(\%W_{Cu} * D_{Cu}) + (\%W_{Cr} * D_{Cr}) + (\%W_C * D_C)] \quad (2)$$

Dt: Numunenin teorik yoğunluğu (gr/cm³), D_{Cu} : Bakır numunesinin yoğunluğu (gr/cm³), D_{Cr} : Krom numunesinin yoğunluğu (gr/cm³), D_C : Karbon numunesinin yoğunluğu (gr/cm³), $\%W_{Cu}$: Ağırlıkça Cu yüzde oranı, $\%W_{Cr}$: ağırlıkça Cr yüzde oranı, $\%W_C$: ağırlıkça C yüzde oranı

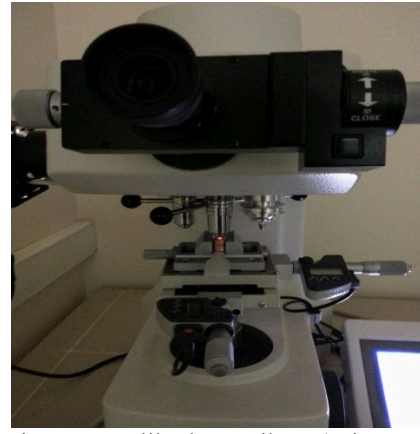
Gerçek yoğunluğun teorik yoğunluğa oranlanmasıyla bağlı yoğunluk elde edilmiştir (Şekil 9).

1.2. Deney Numunelerine Ait Metalografik Çalışmalar (Metallographic Studies of Experimental Samples)

Presleme sonrası sinterlenen numuneler. Parlatıldı ve dağlandı. Mikroyapısal incelemeler yapılmak üzere yüzeyleri parlatılan numunelerin her biri %5 Nital ile dağlandıktan sonra etil alkolle temizlenip sıcak hava fırınında 50⁰ C’deki sıcak hava ile yaklaşık 1 saat kurutulmaya tabi tutulmuştur. Kurutma işleminden çıkan numunelerin mikroyapısal özellikleri JEOL JSM-6510 Scanning Electron Microscope (SEM) cihazında incelenmiştir (Şekil 4). Elementlerin dağılımı için EDS analiz grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 5).



Şekil 4. Ağırlıkça; a) %5 b) %10 c) %15 d) %20 CrC içeren sinterlenmiş Cu-CrC numunesi SEM görüntüsü (SEM image of CrC-containing sintered Cu-CrC sample)



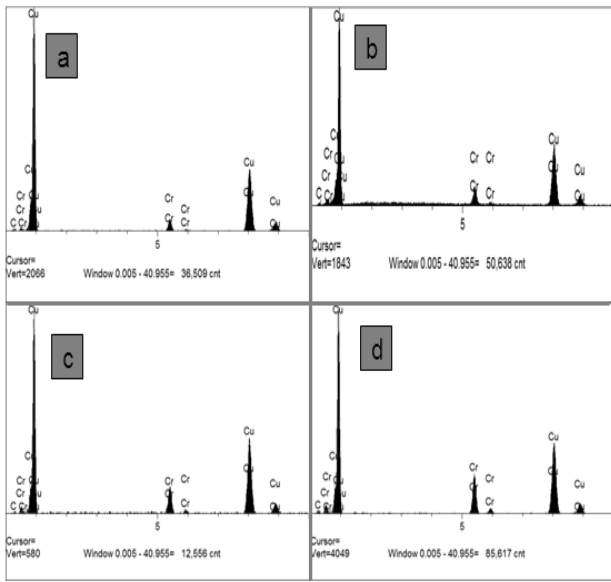
Şekil 6. Mitutoyo sertlik ölçüm cihazı (Mitutoyo hardness tester)

2. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada Cu metal matrisli tozlara farklı oranlarda CrC partikülleri katılarak toz metalürjisi tekniği ile Cu matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen malzemelerin mikroyapıları ve malzemelerin sertlik değerleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

2.1. Mikroyapı Özellikleri (Microstructure Properties)

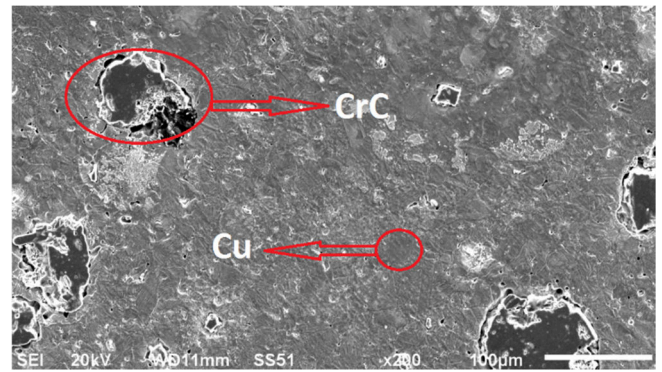
Sinterleme sonucunda, yüzey dağlanmış ve kompozit malzemelerin ağırlıkça %5-%20 arasındaki numunelerin ve saf bakır numunesinin SEM görüntüsü alınmıştır. SEM görüntülerinden sinterleme sonrası taneler arasında sağlıklı ikizlenmelerin olduğu ve gözenek yapının azaldığı, ayrıca tane sınırlarının net bir şekilde görülebildiği tespit edilmiştir.



Şekil 5: Ağırlıkça; a) %5 b) %10 c) %15 d) %20 CrC içeren sinterlenmiş Cu-CrC numunesinin EDS analizi grafiği (EDS analysis of CrC-containing sintered Cu-CrC sample)

1.3. Sertlik Ölçüm Testi (Hardness Measurement Test)

Numunelerin sertlik ölçümleri ise ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranında CrC partikül içeren üç farklı numune üzerinden beş farklı noktadan ölçüm alınarak Mitutoyo Sertlik Ölçüm cihazında 10 sn boyunca 200 gr yük altında Vickers sertlik metodu yöntemi ile ölçülmüştür (Şekil 6).



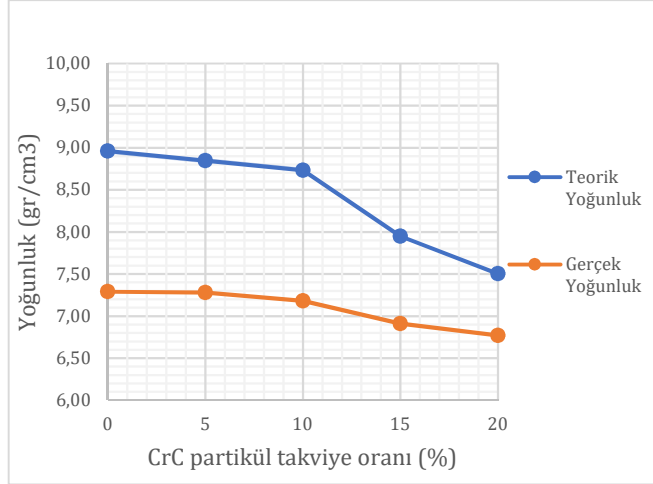
Şekil 7. Ağırlıkça %5 CrC partikül takviye oranına sahip Cu-CrC kompoziti (Cu-CrC composite with 5% CrC particle reinforcement ratio by weight)

Ayrıca takviye edilen CrC partiküllerinin homojen dağıldığı ve herhangi bir bölgede kümelenmediği anlaşılmıştır. SEM görüntülerinden tane

boyutlarının 50 µm altında olduğu, dolayısıyla tane irileşmesinin olmadığı tespit edilmiştir.

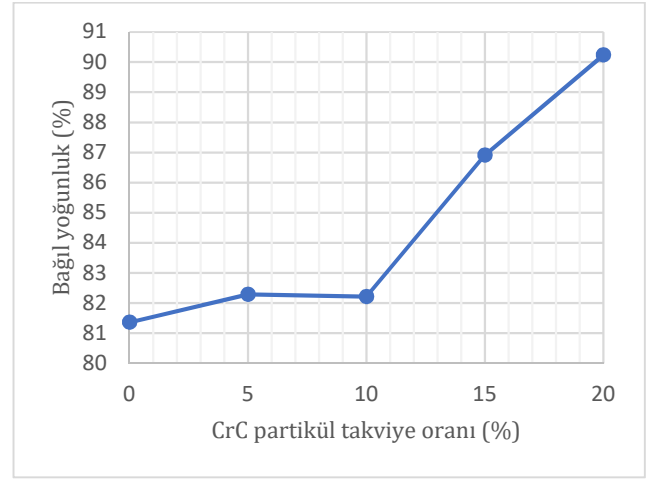
2.2. Yoğunluk Özellikleri (Density Properties)

Denklem 1 ve 2'ye göre numunelerin yoğunluk hesaplamaları yapılmış, elde edilen veriler neticesinde şekil 8'deki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 8. CrC partikül takviye oranına bağlı olarak değişen yoğunluk grafiği (Density graph depending on CrC particle reinforcement ratio)

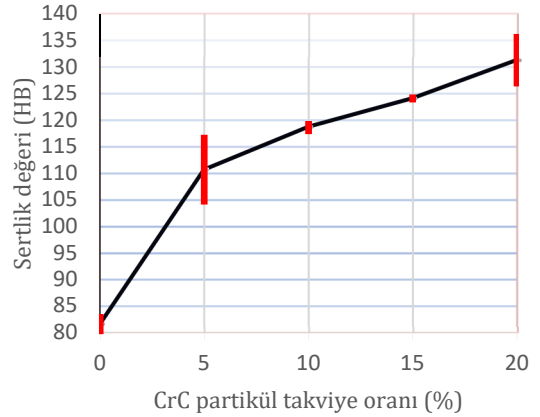
Üretilen Cu-SiC kompozit malzemesinde bazı Cu-SiC ara yüzeylerinde gözenekler olduğu bu nedenle bağıl yoğunluğun artan SiC oranı ile düşüş sergilemesinde Cu matrisin SiC partiküllerini ıslatma kabiliyetinin de etkili olduğu belirtilmiştir [21]. Bu çalışmada ise yüzde olarak bakır içerisindeki CrC oranı arttıkça gözenek miktarı azalmış bununla beraber bağıl yoğunluğunda buna paralel olarak arttığı gözlemlenmiştir. (Şekil 9). CrC takviye oranı teorik yoğunluğu düşürürken, gerçek yoğunlukta ise gözenekli yapının az olmasından dolayı düşüş miktarı teorik yoğunluktan daha az olmaktadır. Bu durumda bağıl yoğunluk değerine artış olarak yansımaktadır.



Şekil 9. CrC partikül takviye oranına bağlı olarak değişen bağıl yoğunluk grafiği (Relative density graph depending on CrC particle reinforcement ratio)

2.3. Sertlik Özellikleri (Hardness Properties)

Beş farklı noktadan yapılan ölçümlerin ortalamalarının alınmasıyla oluşturulan Şekil 10'da verilen sertlik ölçüm değerlerinde artışın görülmesi bu çalışmayı desteklemektedir.



Şekil 10: CrC partikül takviye oranına bağlı olarak değişen sertlik grafiği (Hardness graph depending on CrC particle reinforcement ratio)

Yapılan incelemede en yüksek sertlik değeri 135,6 HB değeri ile ağırlıkça %20 CrC partikül takviyeli numunelerde görülmüştür. Sertlik değerlerindeki bu artış oranı, CrC takviye oranına paralel olarak artış göstermektedir. Sertlikteki bu değer artışı, CrC takviye oranının artışı ile birlikte diğer mekanik özelliklere de olumlu yansımaları göstermektedir. Yapılan mikro sertlik ölçümlerinde ağırlıkça % Cr-SiC partikül oranı artışına paralel olarak sertlik değerlerinde artış olduğu belirtilmektedir [17].

3. GENEL SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada T/M yöntemi kullanılarak, saf bakır numunesine %5,10,15,20 oranlarında CrC partikül takviyesi yapılmıştır. Bu yöntemle üretilmiş olan ve her orandan üçer adet olmak üzere toplam 15 adet numune üzerinde, gerçek yoğunluk ölçümleri yapılmış ve hesaplanan teorik yoğunlukla kıyaslanmış ve ayrıca mekanik özelliklerinden olan sertliğin tespiti amacıyla sertlik ölçümleri yapılmıştır.

1. CrC takviyesiyle üretilmiş olan bakır matrisli kompozit malzeme de takviye oranı arttıkça teorik yoğunluk değeri ile gerçek yoğunluk değerinin aynı oranda düşmediği görülmüştür. Gerçek yoğunluğun düşme oranının teorik yoğunluktaki düşüşten daha az olduğu görülmüştür.
2. Yapılan sertlik ölçümlerinde, Cu içerisindeki CrC partikülleri arttıkça sertlik değerinin de yükseldiği görülmüştür.
3. T/M kullanılarak üretilmiş olan Cu-CrC malzemesinde CrC oranı arttıkça sertlik değerlerinin artması, CrC takviyesinin çekme dayanımı gibi diğer özelliklere de pozitif katkı sağlayacağı, beklentisiyle bu çalışmalar yapılabilir.
4. Ayrıca bu çalışmada saf bakır tozuna yapılan CrC takviyesinin, saf bakırda meydana getirdiği kimyasal değişim ve elektrik iletkenliğinin değişimi de incelenebilir.
5. Yine farklı CrC takviyeleri sonucunda malzemede aşınma dayanımının tespit edilmesi ile birlikte, üretilen bu kompozit malzemenin endüstride kullanımını desteklenebilir.

TEŞEKKÜR(ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (Proje no: MMF.3.16.001) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. S. Yılmaz, “Demir esaslı T/M parçaların yüzey sertleştirme işlemlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi”, *Doktora Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, 2004.
- [2] A. Lawley, *Atomization: The Production Of Metal Powders*, United States, Metal Powder Industries, 1992.
- [3] H. Turan and S. Sarıtaş, “Metal dust production with gas atomization”, *6. International Machine Design and Manufacturing Congress*, Ankara, Türkiye, 1994.
- [4] S. S. Yılmaz, B. S. Ünlü and R.Varol, “ Borlanmış ve bilyalı dövülmüş demir esaslı T/M malzemelerinin aşınma ve mekanik özellikleri”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, pp. 7-16, 2008.
- [5] H. J. Bargel, *Werstoffkunde*, VDI-Verlag, 1980.
- [6] K. N. Tandon and R. Z. Tian, “Effect of Pb on the wear behavior of a Cu-Pb alloy”, *Scripta Metallurgica et Materialia*, vol. 29, pp. 857-861, 1993.
- [7] M. Barmouz, P. Asadi, M. K. B. Givi and M. Taherishargh, “Investigation of mechanical properties of Cu/SiC composite fabricated by FSP: Effect of SiC particles’ size and volume fraction”, *Material Science and Engineering: A*, vol. 528, pp. 1740-1749, 2011.
- [8] M. Barmouz, M.K.B. Givi and J. Seyfi, “On the role of processing parameters in producing Cu/SiC metal matrix composites via friction stir processing: Investigating microstructure, microhardness, wear and tensile behavior”, *Materials Characterization*, vol. 62, pp. 108-117, 2011.
- [9] Z. Chen, P. Liu, J. D. Verhoeven and E. D. Gibson, “Sliding wear behavior of deformation-processed Cu-15vol.%Cr in situ composites”, *Wear*, vol. 195, pp. 214-222, 1996.
- [10] P.D. Funkenbusch, T. H. Courtney and D.G. Kubisch, “Fabricability of an microstructural development in cold-worked metal matrix composites”, *Scripta Metallurgica et Materialia*, vol. 18, pp. 1099-1104, 1984.

- [11] D. Nath, S. K. Biswas and Rohatgi PK. “Wear characteristics and bearing performance of aluminum-mica particulate composite-material”, *Wear*, vol. 60, pp. 61-73, 1980.
- [12] N. Saka and D. P. Karalekas, “Friction and wear of particle-reinforced metal ceramic composites”, *Proceedings of the International Conference on Wear of Materials*, Canada, 1985.
- [13] M. Muratoğlu and M. Demirel, “Influence of non-standart geometry of plastic gear on sliding velocities”, *5. International Advanced Technologies Symposium*, Karabük, Turkey, 2009.
- [14] A. T. Alpas and J. Zhang, “Effect of SiC particulate reinforcement on the Dry Sliding Wear of Aluminum Silicon Alloys (A356)”. *Wear*, vol. 155, pp. 83-104, 1992.
- [15] R. Chen, A. Iwabuchi, T. Shimizu, H. S. Shin and H. Mifune, “The sliding wear resistance behavior of NiAl and SiC particles reinforced aluminum alloy matrix composites”, *Wear*, vol. 213, pp. 175-184, 1997.
- [16] Y. H. Liang, Q. Zhao, Z. H. Zhang, X. J. Li, and L. Q. Ren, “Effect of B4C particle size on the reaction behavior of self-propagation high-temperature synthesis of TiC-TiB2 ceramic/Cu composites from a Cu-Ti-B4C system”, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 46, pp. 71-79, 2014.
- [17] A. Yonetken, A. Erol and H. Kaplan, “Microwave sintering and characterization of Cu-Cr-SiC composite materials”, *24th International Conference on Metallurgy and Materials Metal 2015*, Brno, Czech Republic, 2015.
- [18] H. Turhan, T. Yildiz and B. Gulenc, “Microstructure and mechanical properties of Cu/Fe Mnp and Cu /FeCrp matrix composites produced by powder metallurgy”. *Firat University Science and Engineering Magazine*, vol.19, pp. 569-574, 2007.
- [19] W.D. Callister, *Materials Science And Engineering: An Introduction*, John Wiley & Sons, 2007.
- [20] A. Bektaşoğlu and T. Savaşkan, “Zn-60Al-(1-5) Cu alaşımlarının kuru sürtünme durumundaki aşınma özelliklerinin incelenmesi”, *Mühendis ve Makine*, vol. 46, pp. 31-39, 2005.
- [21] O. Ozgün, Z. Balalan and O. Ekinçi “Microstructure and mechanical properties of Cu matrix composites with SiC particle reinforcements at different ratios”, *International Material Science and Technology Conference*, Nevsehir, Turkey, pp. 229-233, 2016.