

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 055702 (1181-1186)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 055702 (1181-1186)

DOI: 10.35414/akufemubid.946526

Araştırma Makalesi / Research Article

Tungsten Borür Takviyeli Bakır Matrisli Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi

Aytekin HİTİT¹, Muhammed Emir KARA^{1*}, Emre AKDAĞ¹, Lokman ERDOĞAN¹, Yaşar Samet AZINÇ¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

Sorumlu yazar: e posta:; muhammed-emir.kara@usr.aku.edu.tr
hitit@aku.edu.tr,
emre.kdg1@outlook.com,
lokmanerd4242@yandex.com
azinc42@hotmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9801-7860>
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2312-7840>
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0110-7753>
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9578-2214>
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5506-7291>

Geliş Tarihi: 01.06.2021

Kabul Tarihi: 25.09.2021

Öz

Anahtar kelimeler

Bakır;
Mekanik Özellikler;
Bakır Matrisli
Kompozit;
Mikrosertlik

Bakırın iyi ısı ve elektrik iletkenliğinin yanı sıra süneklik ve korozyon direncinin yüksek olması ve birçok uygulama alanının da yüksek çekme mukavemeti ve sünekliğin gereksinimi, çoğu alanda bakır vazgeçilmez kılmaktadır. Bu doğrultuda sertlik ve tokluğu aynı anda iyileştirebilmek adına bakır matrisli kompozitlerin imalatı iyi bir çözüm sunmaktadır. Bakır matrisli kompozit malzemeler, düşük yoğunlukları, çalışmalar sonucu gelişmiş yorulma mukavemetleri, yüksek ölgül mukavemetleri ve korozyon dirençleri sayesinde mühendislik alanının da önemini giderek arttırmaktadır. Bu çalışmada değişik oranlarda bakır, tungsten ve bor içeren Cu-W-B alaşımları sentezlenmiş ve alaşımların katılaşması sırasında yapıda tungsten borürlerin çökmesi ile kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Kompozitlerin yapısında oluşan fazların mikrosertlik değerine olan etkisi incelenmiştir. Tungsten içeriğinin artırılması ile kompozitlerin yapısında çökelen borürlerin hacim oranı kayda değer bir şekilde artmıştır. Bunun sonucunda da mikrosertlik değerlerinde önemli oranda bir artış meydana gelmiştir.

Development of Tungsten-Boride Reinforced Copper Matrix Composite Materials.

Abstract

Keywords
Copper;
Mechanical Properties;
Copper Matrix
Composites;
Microhardness

Copper's good thermal and electrical conductivity, as well as its high ductility and corrosion resistance, and the need for high tensile strength and ductility in many application areas make copper indispensable in most areas. In this direction, the production of copper matrix composites offers a good solution in order to improve the hardness and toughness at the same time. Copper matrix composite materials are becoming increasingly important in the field of engineering, thanks to their low densities, improved fatigue strength, high specific strength and corrosion resistance. In this study, Cu-W-B alloys containing copper, tungsten and boron in different proportions were synthesized and composite materials were produced by the precipitation of tungsten borides in the structure during the solidification of the alloys. The effect of the phases formed in the structure of composites on the microhardness value was investigated. With the increase of tungsten content, the volume fraction of the borides precipitated in the structure of the composites increased significantly. As a result, there was a significant increase in microhardness values.

1. Giriş

İnsanlık tarihinin varoluşundan itibaren bakır elementi; iyi ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek korozyon direnci, imalat süreçlerinin kolay olması ve düşük maliyeti nedeniyle; çelik ve alüminyum-dan sonra en fazla kullanım alanına sahip olan element olarak yaygınca kullanılmaktadır (Uraylı, 2018). Fakat bu üstün özelliklerinin yanı sıra; düşük sertliği ve gerilme mukavemeti, zayıf aşınma direnci nedeniyle uygulama alanlarındaki kullanımları sınırlanmaktadır (Akhtar *et al.* 2009).

Bakırın mekanik özelliklerini arttırabilmek adına literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; genel olarak iki yol izlenmektedir (Zhou *et al.* 2005). Bunlardan birisi çökeltme sertleşmesi ile bakıra küçük miktarlar da belirlenen elementlerin eklenmesiyle daha düşük sıcaklık şartlarında sert ikinci bir fazın çökmesi sağlanmasıdır. Fakat yaşlanarak sertleştirilen alaşımların çoğunda çökelen fazın sıcaklık artışı ile büyümesi; yapısal kararsızlık sebebiyle yüksek sıcaklıklarda dayanım eksikliğine sebebiyet vermektedir. Bakıra zirkonyum veya krom eklenmesi ile çökeltme sertleşmesi gerçekleştirilerek yapılan bir çalışma incelendiğinde; 500° C'nin üzeri sıcaklıklar da elde edilen alaşımın dayanımının düştüğü ortaya koyulmaktadır (Correia *et al.* 1997, Morris & Morris 1988). Karşılaşılan bu sorun nedeniyle çökeltme sertleşmesi yerine daha uygulanabilir bir yöntem olan, bakır matrise elde edilmek istenen özelliklere göre takviye malzemesi eklenmesi sonucu bakır matrisli kompozit malzeme elde etme; var olan özellikler dışında daha üstün özelliklere sahip bir malzeme ortaya çıkarabilme açısından daha cazip hale gelmektedir (Islak vd. 2017, Akhtar *et al.* 2009).

Bakır esaslı alaşım sistemlerinin en önemli avantajı; gelişmiş kompozisyon üzerinde devamlı çalışmalar ile birçok uygulama alanında tercih edilmesidir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında; bakırın süneklik ve korozyon direncinin yüksek olması ve birçok uygulama alanının da yüksek çekme mukavemeti ve sünekliğin gereksinimi, çoğu alanda bakırı vazgeçilmez kılmaktadır. Bu doğrultuda sertlik ve

tokluk mekanik özelliklerini aynı anda iyileştirebilmek adına bakır matrisli kompozitlerin imalatı iyi bir çözüm sunmaktadır. Bakır matrisli kompozit malzemeler; düşük yoğunlukları, çalışmalar sonucu gelişmiş yorulma mukavemetleri, yüksek özgül mukavemetleri ve korozyon dirençleri sayesinde mühendislik alanının da önemini giderek arttırmaktadır (Schubert *et al.* 2008) Hem yüksek sertlik hem de yüksek sünekliğe sahip bakır esaslı malzemelerin araştırılması ve üretimi çalışılan konular arasındadır (Janovszky *et al.* 2018).

Son yıllarda ki bilimsel çalışmalar incelendiğinde; bakır matrise; karbür (SiC, WC, TiC, ZrC), borür (TiB₂, ZrB₂) ve oksit (Al₂O₃, Y₂O₃, SiO₂) parçacıklarının eklenmesi ile bakır matrisli kompozit malzemeler üretilmektedir (Wąsik and Karwan-Baczewska 2016). Bakır matrisli kompozit malzeme eldesinin temel amacı; bakırın kendine has özelliklerinin dışında takviye elemanları ile mekanik özellikleri iyileştirerek ortaya üstün bir malzeme çıkarma motivasyonu olmaktadır (Islak vd. 2017).

Bakır matris içerisine tungsten refrakter metalinin takviye elemanı olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar literatürde mevcuttur (Michael *et al.* 1999). Literatürde ki çalışmalara örnek verilecek olursa; tungstenin bakır ile birlikte kullanıldığı çalışmalar da aşınma direncini arttırdığı çalışmalar sonucu ortaya koyulmaktadır (Deshpande and Lin 2006).

Bu çalışmada Cu₈₀W₄B₁₆, Cu₇₀W₆B₂₄, Cu₄₀W₁₂B₄₈ ve Cu₃₀W₁₄B₅₆ alaşımları sentezlenmiş, yapıda çökelen tungsten borür miktarının değişimine bağlı olarak mikrosertlik değerinin değişimi incelenmiştir.

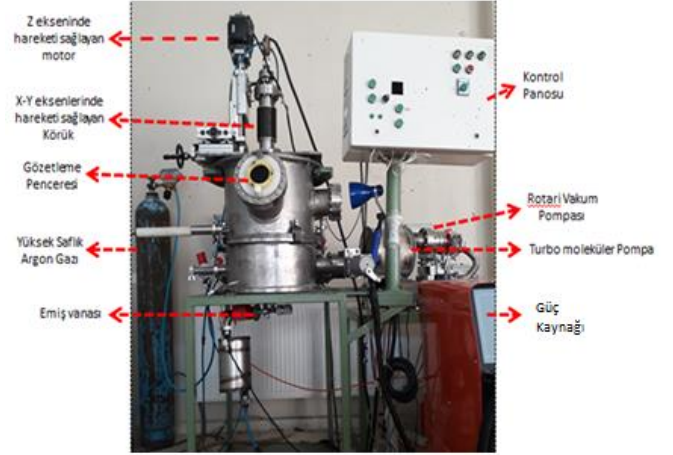
2. Materyal ve Metot

Tungsten ve bor oranlarını sistematik olarak artırılması ve bakır oranını da sistematik olarak azaltılması ile dört farklı Cu-W-B alaşımı tasarlanmıştır. Alaşımların kompozisyonları Çizelge 1'de verilmiştir. Alaşımlarının her biri %99,9 saflıkta tozlar kullanılarak hazırlanmıştır.

Çizelge 1. Alaşımların Kompozisyonları

Alaşım	Cu	W	B
Cu80	80	4	16
Cu70	70	6	24
Cu40	40	12	48
Cu30	30	14	56

Alaşımları oluşturan elementlerin tozları yaklaşık 25-30 dk boyunca manuel bir şekilde karıştırıldıktan sonra hidrolik pres ile 100 bar basınç altında tablet haline getirilmiştir. Ardından bu alaşım tabletleri vakum ark ergitme ve döküm fırınında (Resim 1.) 1.4 atm basınca sahip yüksek saflıktaki argon ortamında, tungsten elektrot ile ve 350 A akım kullanarak ergitilmiştir. Homojenizasyonu sağlamak için, ergitme işlemi her seferinde ters çevirmek suretiyle üç kez yapılmıştır. Daha sonra alaşımların 0,5 mm kesit kalınlığına sahip numuneleri bakır kalıp kullanarak, emme döküm yöntemi ile üretilmiştir. Elde edilen numunelerin yapısal karakterizasyonu Bruker D8 Advance X-ışınları kırınımı (XRD) cihazında Vantec dedektörü ile yapılmıştır. Tarama işlemi Cu-K α x-ışını kullanılarak 20-100° (2 θ) arasında 0.04°/s tarama hızıyla yapılmıştır. XRD kırınım desenlerinin analizi Rietveld yöntemi ile (MAUD yazılımı kullanılarak) yapılmıştır. Numunelerin mikroyapı incelemeleri Olympus BX51M polarize optik mikroskop ile yapılmıştır. Alaşımların mikrosertlik değerleri Vickers mikrosertlik cihazı ile 2,94 N yük altında ölçülmüştür.

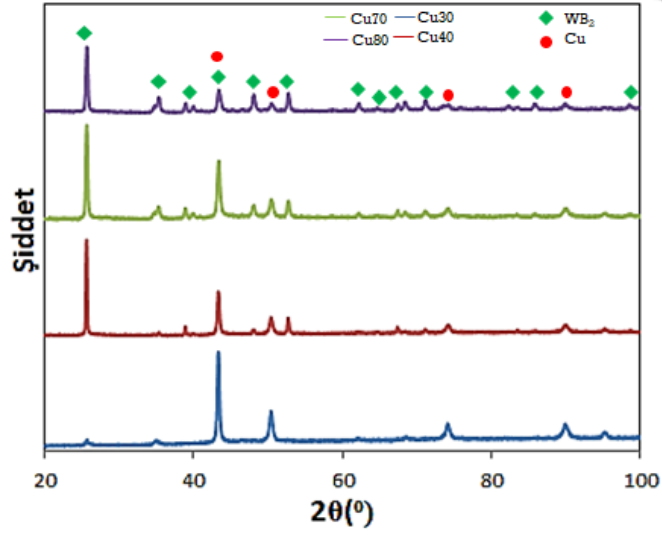


Resim 1. Ark Ergitme ve Döküm Fırını

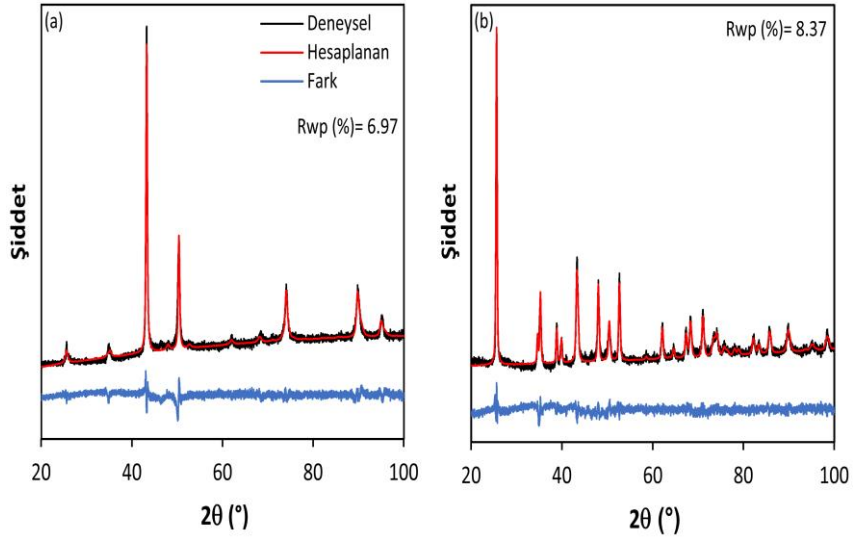
3. Bulgular

3.1. XRD Analiz Sonuçları

Alaşımların XRD desenleri Şekil 1'de gösterilmiştir. En yüksek bakır oranına sahip olan CU80 alaşımı yüksek oranda Cu fazı içermektedir. Ayrıca yapıda çok düşük miktarda WB₂ fazı da bulunmaktadır. Söz konusu fazların pik şiddetleri incelendiğinde, tungsten ve bor miktarı artırılması ile Cu fazının hacim oranının azaldığı WB₂ fazının hacim oranının da arttığı görülür. Ayrıca tungsten ve bor miktarlarının değiştirilmesinin çökelen borür fazının türünü değiştirmediği de görülmektedir. En yüksek ve en düşük bakır içeriğine sahip Cu₈₀W₄B₁₆ ve Cu₃₀W₁₄B₅₆ alaşımlarının XRD desenlerinin Rietveld analiz sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Cu₈₀W₄B₁₆ alaşımının yapısında hacimce %96 Cu ve %4 WB₂ fazı bulunmaktadır. Bakır oranı en düşük ve tungsten ile bor oranı en yüksek olan olan Cu₃₀W₁₄B₅₆ alaşımı ise %57 hacim oranında Cu fazı ve %43 hacim oranında WB₂ fazı içermektedir.



Şekil 1. Alaşımların XRD Analizleri

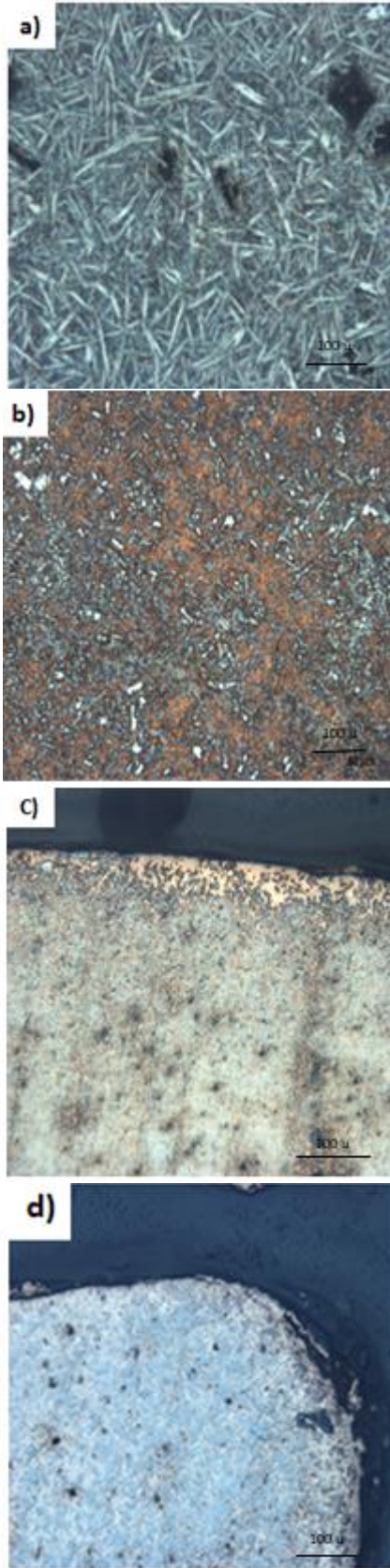


Şekil 2. a) $Cu_{80}W_4B_{16}$ alaşımının, b) $Cu_{30}W_{14}B_{56}$ alaşımının Rietveld Analizi

3.2. Polarize Optik Mikroskop Görüntüleri

Alaşımların numunelerinin polarize optik mikroskop görüntüleri Resim 2'de verilmiştir. $Cu_{80}W_4B_{16}$ ve $Cu_{70}W_6B_{24}$ alaşımlarının mikroyapılarında ikincil faz oranı oldukça düşüktür (Resim 2.a-b). Elde edilen bu sonuç XRD sonuçları ile de uyumludur.

$Cu_{40}W_{12}B_{48}$ alaşımının yapısında çökelen WB_2 fazının oranı daha yüksek olduğu için mikroyapı görüntülerinde net bir şekilde görülmektedir. Tungsten ve bor içeriği en yüksek alaşım olan $Cu_{30}W_{14}B_{56}$ alaşımının mikroyapısında çökelen iğnemsî yapıdaki WB_2 fazı taneleri de ayrıntılı bir şekilde görülmektedir (Resim 2.d)



Resim 2. a) $\text{Cu}_{80}\text{W}_4\text{B}_{16}$, b) $\text{Cu}_{70}\text{W}_6\text{B}_{24}$, c) $\text{Cu}_{40}\text{W}_{14}\text{B}_{56}$ ve d) $\text{Cu}_{30}\text{W}_{12}\text{B}_{48}$ alaşımlarının polarize optik mikroskop görüntüleri

3.3. Mikrosertlik Ölçümleri

Numunelerin mikrosertlik ölçüm sonuçları Çizelge 2' de gösterilmiştir. Alaşımların sertlikleri incelendiğinde bakır oranının azalması ve bunun sonucunda tungsten ve bor oranlarının artırılması ile alaşımların mikrosertlik değerlerinin arttığı gözlenmektedir.

Çizelge 2. Alaşımların Vickers mikrosertlik değerleri

Alaşımlar	Ölçümler			
	1	2	3	Ortalama
Cu80	160	125	142	142
Cu70	190	196	228	205
Cu40	226	288	233	249
Cu30	594	443	631	556

4. Tartışma ve Sonuç

Alaşımların bakır miktarının azaltılması ve tungsten ile bor miktarlarının artırılması sonucu yapıda çökelen borür fazının hacim oranı artmaktadır. Bunun sonucunda alaşımların sertliklerinde kayda değer bir artış meydana gelmektedir. % 80 bakır içeren alaşımın sertliği 142 Hv olarak ölçülmüştür. Bu alaşım çok düşük miktarda (%4) WB_2 fazı içerdiği için mikrosertlik değeri de oldukça düşüktür. Bakır oranı %30 olan alaşımın sertliği de 556 Hv olarak belirlenmiştir. Mikrosertlik değerinde meydana gelen bu artışın sebebi yapıda çökelen WB_2 fazının hacim oranının çok daha yüksek (%43) olmasıdır. XRD sonuçlarına göre yapıda sadece tek bir tip borür çökelmiştir ve bu faz da WB_2 'dir. Her ne kadar bu fazın çökmesi sonucu kayda değer sertlik değerleri elde edilmiş olsa da oldukça yüksek sertliğe (>4000 Hv) sahip olan WB_4 fazı çökeltilebildiği takdirde çok daha yüksek sertliğe sahip kompozit malzemelerin elde edilmesi mümkün olacaktır. WB_4 fazının çökeltilebilmesi için gerekli kompozisyonların tespit edilmesi için, alaşımda bulunan tungsten ve bor elementlerinin oranlarının sistematik olarak değiştirilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 18.KARİYER.220 numaralı AKU-BAPK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Zhou, Z. M., Wang, Y. P., Gao, J., & Kolbe, M.,2005. Microstructure of rapidly solidified Cu-25 wt.% Cr alloys. *Materials Science and Engineering A*, **398**, 318–322.

5. Kaynaklar

Akhtar, F., Askari, S. J., Shah, K. A., Du, X., Guo, S., 2009. Microstructure, mechanical properties, electrical conductivity and wear behavior of high volume TiC reinforced Cu-matrix composites. *Materials Characterization*, **60**, 327–336.

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**, 177–190.

Islak, S., Akkaş, M., Kaya, Ü., Güleç, H.G., 2017. Cu-TiC Kompozitlerin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli ile Tahmini. *Technological Applied Science*, **12**, 122-129.

Morris, D. G. , & Morris, M. A. ,1988. Rapid solidification and mechanical alloying techniques applied to CuCr alloys. *Materials Science and Engineering*, **104**, 201–213.

Schubert, T. , Trindade, B., Weißgärber, T., & Kieback, B., 2008. Interfacial design of Cu-based composites prepared by powder metallurgy for heat sink applications. *Materials Science and Engineering A*, **475**, 39–44.

Science, M. M., 2018. Development of novel ultra-fine grain Cu Metal Matrix Composites reinforced with Ti-Cu-Co-M (M : Ni , Zr) amorphous-nano-crystalline powder. *Journal of Mining and Metallurgy*, **54**, 349–360.

Uraylı, Ç., 2018. Cu-B4C Kompozit Malzemelerdeki Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, 140.

Wąsik, M., Karwan-Baczewska, J.,2016. Copper metal matrix composites reinforced by titanium nitride particles. *Key Engineering Materials*, **682**, 270–275.