



Aytekin Ulutaş

Balıkesir University, aulutas@balikesir.edu.tr, Balıkesir-Turkey

Hüseyin Turhan

Fırat University, hturhan@firat.edu.tr, Elazığ-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.12.2.2A0111>

TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN Cu-FeB KOMPOZİT MALZEMELERİN MİKROYAPI VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada Toz Metalurjisi yöntemi ile Bakır Matrisli Kompozit içerisine, Ferrobor partikülleri takviye edilerek hazırlanan metal matrisli kompozitin, elektrik özellikleri inceleme altına alınmıştır. Bu amaçla Ferrobor takviye partikülü miktarı, yapı içinde ağırlıkça %1-1, 5-2-2, 5-3-3, 5 oranlarında seçilerek hazırlanan numuneler, toz metalürjisi yöntemi ile preslenmişlerdir. Ardından numunelere sinterleme işlemi için 800-850-900°C sıcaklıklar uygulanarak, farklı sinterleme sıcaklıklarının kompozit özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca MMC numunelerine iletkenlik deneyleri uygulanmıştır. Numunelerin mikroyapı karakterizasyonu ile SEM, EDS analizleri sonucunda, farklı sıcaklıklarda uygulanan sinterleme işlemi ile sinterleme sıcaklığı artışının numunelerin iletkenlik özelliklerini değiştirmedeği görülmüştür. Farklı bileşim oranları dikkate alındığında, yapı içerisinde artan takviye partikülü oranına paralel olarak elektrik iletkenliği değerlerinin %2.5 Ferrobor takviye partikülü oranına kadar değişmediği, bu noktadan sonra yapı içerisinde bir miktar direnç artışı gözlemlendiği kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, Metal Matrisli Kompozit, Elektriksel Özellikler, Cu, FeB

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF Cu-FeB COMPOSITE MATERIALS PRODUCED BY POWDER METALLURGY

ABSTRACT

In this study, mechanical properties of ferroboron reinforced copper composite which produced by the powder metallurgy technique were studied. For this purpose, the ferroboron reinforced particles were mixed into copper powders in the rate of 1-1.5-2- 2.5-3-3.5% in weight. Then sintering to the sample with 800-850-900°C temperatures, it is studied how different temperatures, effect the composites features. In addition, it was applied the conductivity test to the MMC sample. As the result of SEM EDS analyses with microstructure characterization it has been seen that the increase of sintering temperature doesn't change their conductivities. Elektric conductivity volue doesn't change till %2.5 Ferroboron consolidation particle rate after this point, it has been recorded that some resistance rise is seen in the structure.

Keywords: Powder Metallurgy, Metal Matrix Composite, Electrical Properties, Cu, FeB

How to Cite:

Ulutaş, A. ve Turhan, H., (2017). Toz Metalurjisi İle Üretilen Cu-FeB Kompozit Malzemelerin Mikroyapı Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 12(2):43-52, DOI: 10.12739/NWSA.2017.12.2.2A0111.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı guruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir [1]. Konvansiyonel üretim tekniklerine bir alternatif olarak geliştirilen toz metalürjisi sağlamış olduğu birçok avantajlar bakımından endüstride yaygın kullanım alanına sahiptir [2]. Bugün istenilen özellikleri sağlamada ileri teknoloji malzemelerine duyulan ihtiyaç giderek artmakta ve tek bileşenli malzemeler ileri mühendislik uygulamalarının ihtiyaçlarını karşılamamaktadır. Bu nedenle üstün özelliklere sahip kompozit malzemelere duyulan ihtiyaç günden güne artmaktadır [3]. Bu bakımdan çeşitli parçaların tasarımı, üretimi açısından büyük önem taşımaktadır [4]. Toz metalürjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Malzeme kaybı az olmakla birlikte belirli derecede gözenek (porozite) ve geçirgenlik elde edilir [5 ve 6], demir ve bakır esaslı malzemeler mukayese edildiğinde Bakır esaslı malzemelerin daha iyi ısı iletkenlik ve sürtünme direnci gibi özellikleri olduğunu dile getirir. Saf bakır yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olmasına karşın, çekme, sürünme ve sertlik gibi mekanik özellikleri düşüktür. Bu bakımdan yüksek çekme mukavemetli ve sert bakır esaslı malzeme geliştirilmesi önemlidir. Bakırın mekanik dayanımı matris içerisine homojen olarak dağılmış sert parçacık takviyesi ile veya yaşlandırma ısı işlemi ile artırılabilir [7]. Bu çalışma ile verilen literatür ışığında Bakır matris içine FeB takviye edilerek tasarlanan kompozit, toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiştir. Hazırlanan kompozite ait numunelerin elektriksel özellikleri araştırılmış ve üretilen kompozitin metalürjik karakterizasyonu belirlenmiştir. Literatürde toz metalürjisi alanında bakır esaslı FeB takviyeli bir kompozit üretimine dair herhangi bir bilgiye ulaşılamamıştır. Bu çalışma ile temelde ferrobör takviye patikülünün bakır matrisi içerisinde, sinterleme sıcaklığına bağlı oluşturduğu intermetalik bileşikler ve bu bileşiklere bağlı elektriksel iletkenlik özellikleri değişimi incelenmiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICATION)

Bakır kompoziti, takviye partikülü oranının artışına bağlı olarak elektriksel iletkenlik özelliklerinde değişken değerler veren bir yapıya sahiptir. Piyasa şartlarında dayanım özellikleri geliştirilmiş bakır esaslı malzemeler bulunmaktadır. Ancak mekanik özelliklerin geliştirilmesi için yapılan çalışmaların birçoğu iletkenlik özelliklerini olumsuz yönde etkilemekte ve iletkenlik değerlerini düşürmektedir. Bu çalışmada takviye partikülü oranı ile mekanik özellikleri geliştirilen malzemenin iletkenlik özellikleri korunmaya çalışılmıştır. Bu nedenle ferrobör takviye partikülü oranına bağlı bakır kompozitinin iletkenlik değerleri değişimi incelenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Yapılan çalışmada ticari saflıktaki bakır tozuna %1-1, 5-2-2, 5-3-3, 5 oranlarında FeB tozu karıştırılarak, sabit basınç altında preslenmiştir. Toz malzeme olarak ortalama 35µm boyutlarında %99,9 saflıkta bakır tozu ile Tablo 1'de özellikleri verilen ve ortalama 50µm boyutlarında FeB tozları kullanılmıştır. Bu tozlar karıştırma, presleme ve sinterleme işlemlerine tabi tutulmuştur.



Tablo 1. Amerikan ASTM tarafından kabul edilen ferro bor sınıfları ve kompozisyonları (Ağırlık Yüzdesi)

(Table 1. Ferrobör classes and compositions approved by American ASTM)

Sınıf	% Bor (min.-max.)	% Karbon (maximum)	% Silisyum (maximum)	% Alüminyum (maximum)
A1	12.0-14.0	1.5	4.0	0.5
A2	12.0-14.0	1.5	4.0	8.0
B1	17.5-19.0	1.5	4.0	0.5
B2*	17.5-19.0	1.5	4.0	8.0
C1	19.0-24.0	1.5	4.0	0.5
C2	19.0-24.0	1.5	4.0	8.0

* Çalışmada kullanılan FeB toz sınıfı

Kullanılan tozlar hidrolik preste 600 MPa basınç altında sıkıştırılmıştır. Sinterleme işlemleri, 800-850-900°C sıcaklıklarda 1 er saat süre ile atmosfer kontrollü tüp fırında gerçekleştirilmiş olup, koruyucu gaz olarak argon kullanılmıştır. Metalografik incelemeler SEM cihazında ve optik mikroskopta yapılmıştır. Presleme sonrası elde edilen numunelerin karışım konsantrasyonları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deneysel çalışmada kullanılan numunelere ait Cu-FeB oranları
(Table 2. Cu-FeB ratios of the samples used in the experimental study)

Numune Numarası	Cu oranı (%)	FeB Oranı (%)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)
C01	99	1	800
C02	99	1	850
C03	99	1	900
C04	98.5	1.5	800
C05	98.5	1.5	850
C06	98.5	1.5	900
C07	98	2	800
C08	98	2	850
C09	98	2	900
C10	97.5	2.5	800
C11	97.5	2.5	850
C12	97.5	2.5	900
C13	97	3	800
C14	97	3	850
C15	97	3	900
C16	96.5	3.5	800
C17	96.5	3.5	850
C18	96.5	3.5	900
C19	100	0	800
C20	100	0	850
C21	100	0	900

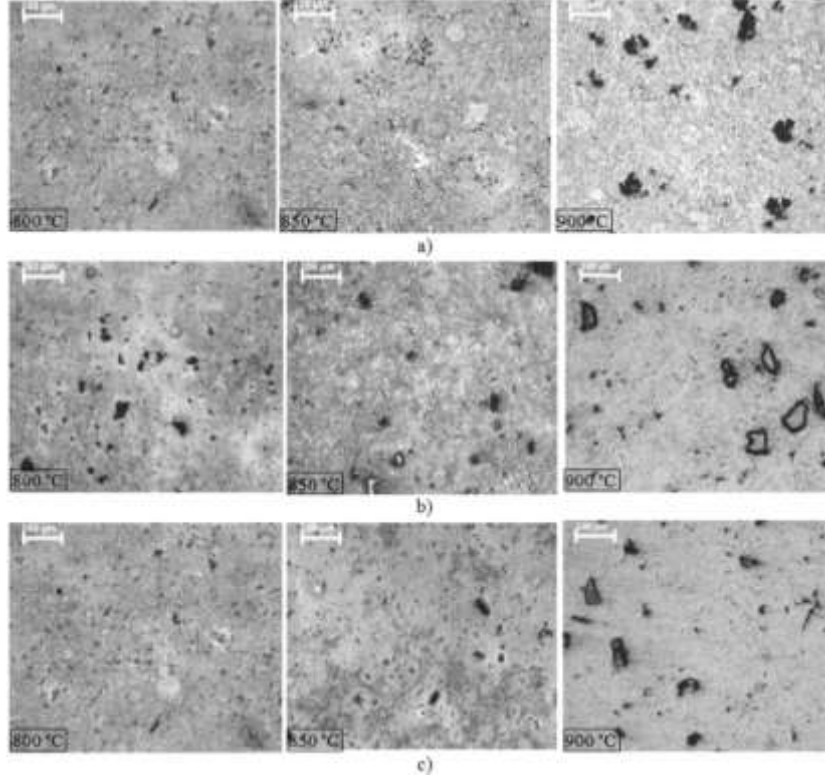
Elektrik iletkenliği testleri için numunelere oda sıcaklığında farklı gerilim değerleri uygulanarak ortaya çıkan voltaj ve direnç değerleri elde edilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI (EXPERIMENTAL RESULTS)

4.1. Mikroyapı Özellikleri (Microstructure Properties)

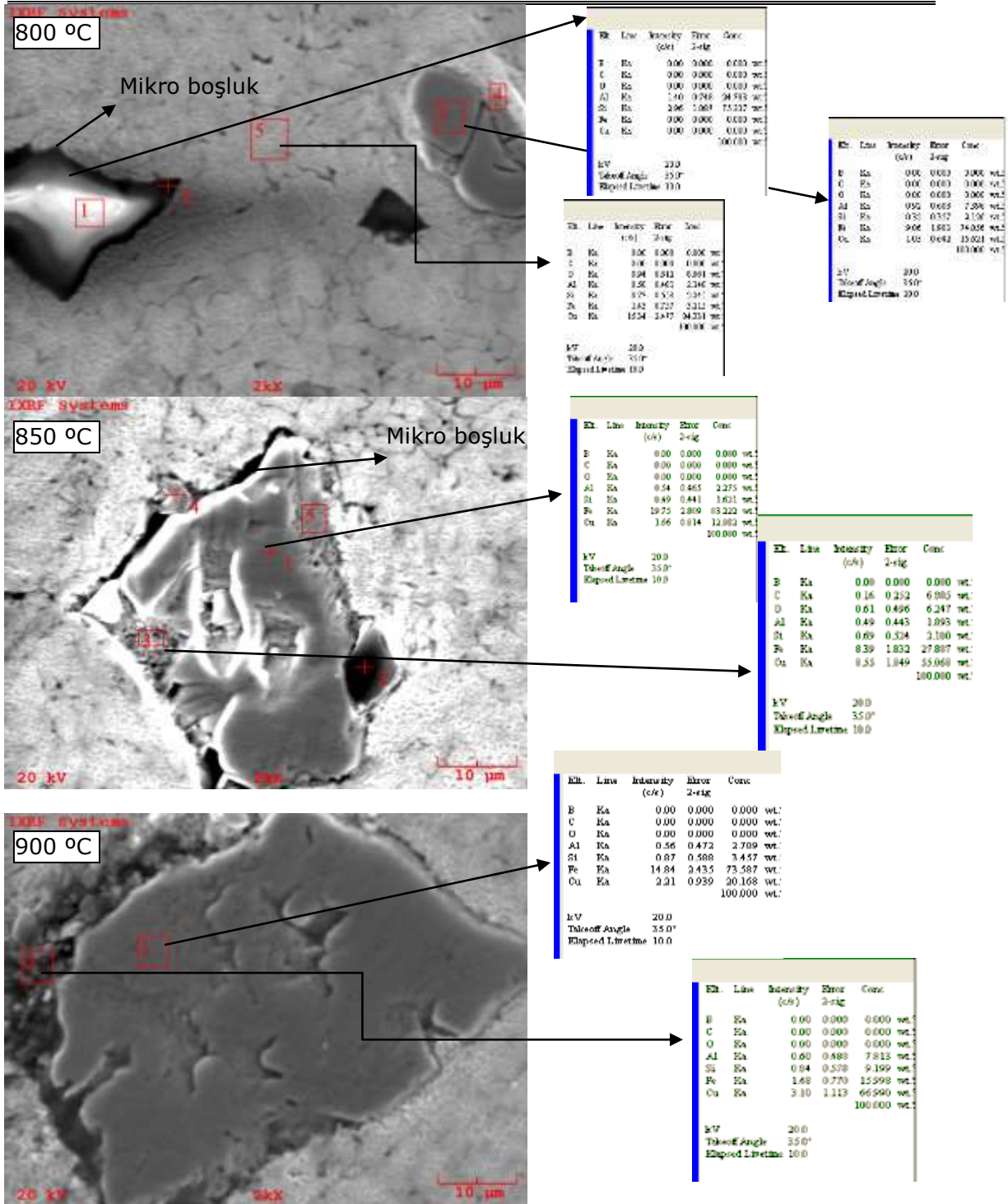
Şekil 1-a'da verilen mikroyapı resimlerinden 800°C'de sinterlenen numunelerin gözeneklik dağılımının düzenli olduğu ve takviye partikülü çevresinde biraz daha geniş bir dağılım gösterdiği, 850°C'de sinterlenen numuneler söz konusu olduğunda sinterleme sıcaklığının

artışına bağlı olarak gözeneklerin birleşerek ayrıca küreselleşme eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. Sinterleme sıcaklığının 900°C olarak seçildiği numuneler incelendiğinde, yüksek ısı girdisinin daha net sonuçlar doğurduğu görülmektedir. Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde porozitelerde birleşme ve küreselleşme eğilimi açıkça gözlemlenirken bunun yanında takviye partikülü çevresindeki porozite miktarının da azaldığı gözlenmektedir. Artan sinterleme sıcaklığına bağlı olarak poroziteler küreselleşerek birleşme eğilimi göstermektedirler. Aynı zamanda porozite ebatları küçülmekte böylece malzeme içerisinde yoğunluk artışına sebep olmaktadır.



Şekil 1. Sinterleme sıcaklığına bağlı mikroyapı değişimleri
a) %1 FeB Takviyeli 800-850-900°C'de sinterlenmiş numuneler
b) %2 FeB takviyeli 800-850-900°C'de sinterlenmiş numuneler
c) %3 FeB takviyeli 800-850-900°C sinterleme sıcaklığına sahip numuneler

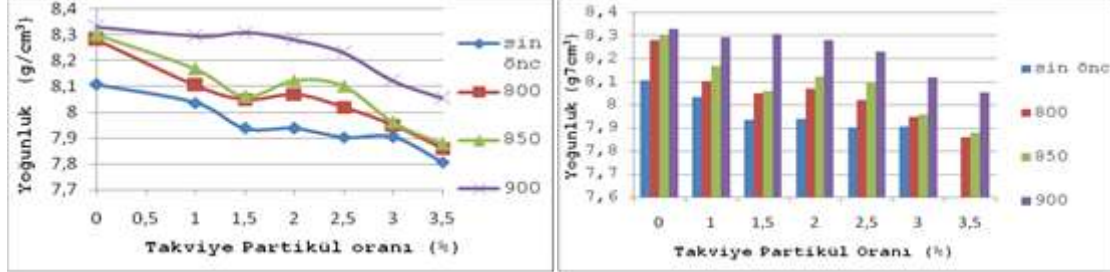
(Figure 1. Microstructure changes due to sintering temperature)
(a) %1 FeB reinforced samples sintered at 800-850-900°C)
(b) %2 FeB reinforced samples sintered at 800-850-900°C)
(c) %3 FeB reinforced samples which have 800-850-900°C sintering temperature)



Şekil 2. %2.5 FeB takviyeli 800-850-900°C'de sinterlenen numuneyle ilgili SEM görüntüleri ve EDS analizleri
(Figure 2. SEM images and EDS analyzes of the %2.5 FeB reinforced sample sintered at 800-850-900°C)

Şekil 2'te farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş %2.5 oranında FeB takviye edilmiş Cu numunelerin SEM ve EDS analiz sonuçları verilmiştir. 800°C sıcaklıkta yapılan sinterleme işleminde matris ile partikül ara yüzeylerinde mikro boşlukların oluştuğu görülmüştür. 850°C sıcaklıkta yapılan sinterleme işleminde ise matris ile partikül

ara yüzeylerinde oluşan mikro boşlukların azaldığı ve bazı partikül ile matris arasında birleşmelerin olduğu tespit edilmiştir. Sinterleme sıcaklığının 900°C'ta çıkarılması, partikül ile matris ara yüzeyinde oluşan mikro boşlukların daha da azalmasına ve partikül/matris ara yüzey geçişlerinin artmasına neden olmuştur.



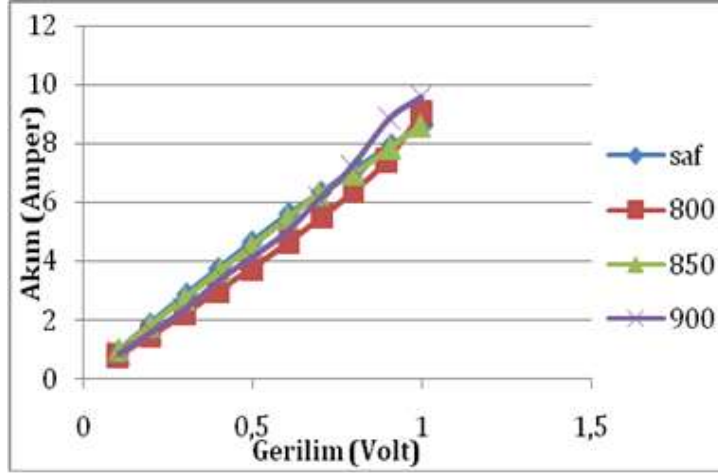
Şekil 3. Partikül oranına bağlı yoğunluk değişim grafiği
(Figure 3. Graphic of density change depending on particle rate)

Şekil 3'de FeB oranının ve sıcaklığın yoğunluk değerlerine etkilerini gösteren grafik verilmiştir. Grafiklerden artan FeB oranının yoğunluk değerlerini azalttığı anlaşılmaktadır. Artan sinterleme sıcaklığı ise yoğunluk değerlerini arttırıcı rol oynamıştır. Bununla birlikte, artan sinterleme sıcaklığı FeB oranının artışına bağlı olarak azalan yoğunluk değerlerinde artmasına neden olmuştur. Zira 800°C sinterleme sıcaklığında FeB ilave edilmeyen numunelerin yoğunluk değerleri ile %3.5 FeB ilave edilen numunelerin yoğunluk değerleri arasında %5.4 fark oluşmuşken 900°C sıcaklıkta bu fark %3.6 olmuştur. Artan sıcaklık, atomların aktivasyon enerjilerini arttıracağından atomların komşu atomlardan koparak yeni alanlara yönelmesi kolaylaşacaktır. Bu nedenle artan sinterleme sıcaklığının Cu partikülleri arasında daha fazla difüzyona sebep olacağı tahmin edilmektedir. Bu durumda gözenekler birleşerek daha düşük enerji seviyesi konumuna geçtikleri sonucu değerlendirilmiştir. Bu durum Xu ve diğ. [8], Rahimian ve diğ [9], Kim [10] tarafından yapılan çalışmalarda da vurgulanmıştır.

4.1. Elektriksel Özellikler (Electrical Properties)

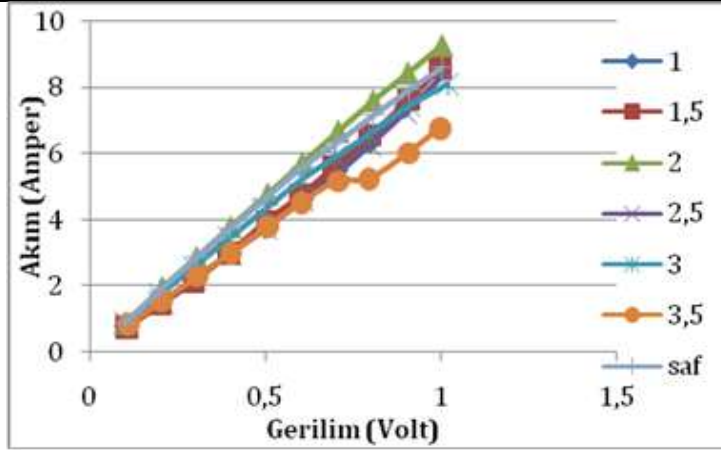
Toz metal Cu malzemelerin FeB takviye partikülü ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak elektrik iletkenliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada %1 ile %3.5 arasında 0.5 artış oranında FeB takviye partikülüne sahip numuneler 800-850-900°C sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Farklı bileşim oranı ve sinterleme sıcaklığına sahip numunelere 10A'e kadar akım verilmiştir. Numunelerin takviye partikülü ve sinterleme sıcaklığına bağlı gerilimleri ölçülmüş ve takviye partikülü oranı ile sinterleme sıcaklığının elektrik iletkenliğine etkisi belirlenmiştir. Bakır malzemelerin en önemli özelliği iletkenliklerinin yüksek olmasıdır. Bu malzemelerin en önemli kullanım alanı da buna paralel olarak iletkenlik istenen yerlerdir. Bakır malzemeler yoğunluk dayanım ilişkisi dikkate alındığında yoğunluklarına göre dayanımlarının düşük olduğu da bilinen bir konudur. Bakır malzemelerin dayanımını arttırmak için matris yapıya katılan takviye elemanları genellikle iletkenlik özelliklerini düşürmektedir. Bu çalışmanın en önemli amaçlarından birisi de bakır matris içerisine FeB takviye edilerek hazırlanan, MMC üretim yöntemi ile elde edilen numunelerin elektriksel iletkenlik özelliğini incelemektir. Bu bölümde bakır matris içerisine katılan ilave FeB takviyesinin numunenin iletkenlik özelliklerine etkisi

tartışılacaktır. Bu nedenle aşağıda toz metal numunelere ait akım-gerilim ilişkilerini gösteren grafikler verilmiştir.

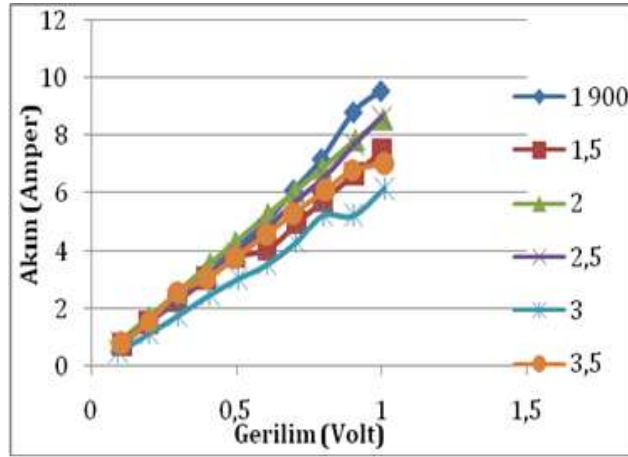


Şekil 4. Sinterleme sıcaklığına bağlı iletkenlik değişimi grafiği
(Figure 4. Graphic of conductivity change depending on sintering temperature)

Sinterleme sıcaklığına bağlı elektrik iletkenliği özellikleri incelendiğinde, aynı bileşim oranına sahip numuneler için sinterleme sıcaklığı etkisinin artan gerilimlerle değiştiği, sonuçta 900°C sıcaklıkta sinterlenmiş numune için Şekil 4'de görüleceği üzere, artan gerilim değerleri altında en iyi elektrik iletkenlik değerlerini verdiği görülmektedir. Artan sinterleme sıcaklığının iletkenlik değeri üzerinde daha iyi sonuçlar verdiği (Kurt ve diğ., 2011), (Islak ve diğ., 2014) yapılan çalışmalarda da gözlemlenen bir sonuçtur. Şekil 5 incelendiğinde değişen gerilimler altında farklı sinterleme sıcaklığına sahip numunelerin iletkenlik değerlerindeki değişim görülmektedir. Takviye partikülü oranlarına göre elektirik iletkenlik değerlerindeki değişimler söz konusu olduğunda, Şekil 5 ve Şekil 6, ölçüm değerlerinde artan gerilim ifadesi karşısında ölçülen akım değerlerini vermektedir. Bu noktada 800°C ve 900°C sıcaklıklarda sinterlenen numuneler için net bir fark dile getirmek mümkün değildir. Ancak bileşim oranları dikkate alındığında artan takviye partikülü oranına bağlı olarak iletkenlik değerlerinin bir miktar düştüğü, bu durumun saf bakırın alaşımlandırması durumunda literatürde gözlenen bir durum olduğu görülmüştür [11, 12 ve 13]. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus takviye partikülü artışına bağlı olarak %2 FeB oranına sahip numunenin iletkenlik değerleri olarak en iyi sonuçları verdiği ve takviye partikülü bileşim oranının elektrik iletkenliği değerleri üzerinde önemli değişimler göstermediğidir.



Şekil 5. 800°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin takviye partikülü oranına bağlı iletkenlik değişim grafiği
(Figure 5. Conductivity change graphic of the samples sintered at 800°C depending on the ratio of the reinforcement particles)



Şekil 6. 900°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin takviye partikülü oranına bağlı iletkenlik değişim grafiği
(Figure 6. Conductivity change graphic of the samples sintered at 900°C depending on the ratio of the reinforcement particles)

Bilindiği gibi tam yoğun bir katıya bir elektriksel alan uygulanırsa, serbest elektronlar hızlanırlar ve kafes atomlarıyla çarpışarak kinetik enerjilerini azaltır veya kaybederler. Meydana gelen akım, uygulanan elektriksel alanın şiddeti ve çarpışma frekansı ile belirlenen ortalama elektron hızı ile orantılıdır. İdeal bir kristalde elektronlar dirençle karşılaşmadan hareket ederler [13]. Fakat gerçek kristallerde elektronlar fononlar, dislokasyonlar, boşluklar yabancı katkı atomları ve herhangi kafes kusurlarıyla çarpışırlar. Bunlarda elektronların hareketini sınırlandırırılar [13, 14 ve 15]. Ayrıca toz metal malzemelerde gerek sinterleme öncesi toz partikül yüzeylerinde oluşan oksitler, gerekse sinterleme sırasında sinter atmosferine bağlı oluşabilecek oksitlerin toz metal numunelerde elektrik iletkenliğini düşürdüğü yapılan çalışmalarda belirtilmiştir [12 ve 13].

5. GENEL SONUÇLAR (GENERAL CONCLUSIONS)

Toz metal Cu malzemelerde FeB takviye partikülü miktarının ve sinterleme sıcaklığının elektrik iletkenliğine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



- Elektrik iletkenlik durumları incelendiğinde, FeB takviye partikül oranı artışının, numunelerin elektrik iletkenliklerinde %2 ye kadar çok küçük direnç farkları ortaya koyduğu tespit edilmiştir.
- %2 takviye partikülü içeren numunenin elektriksel iletkenlik özelliğinin sabit kaldığı gözlenmiştir. %2.5 FeB takviye partikül oranının üzerinde takviye partikülü artışına bağlı olarak elektriksel iletkenlik kaybının arttığı gözlenmiştir.
- Sabit sinterleme sıcaklığı altında üretilen numunelerde, takviye partikülü artışı elektrik iletkenliğini düşük gerilimlerde az, yüksek gerilimler altında daha çok etkilemiştir. Bu değişimler sinterleme sıcaklığı etkisi altında incelendiğinde, sinterleme sıcaklığı artışının numunelerin elektrik iletkenlik değerlerini kayda değer bir düzeyde etkilemediği, ancak takviye partikülü miktarının artışına bağlı sinterleme sıcaklığı artışının, numunelerin iletkenlik değerlerini iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar dikkate alındığında bundan sonraki süreçte bakır esaslı kompozit üzerinde Si ilavesi oransal arttırılarak yarı iletken eşik gerilim değeri üzerinde araştırmalar yapılması önerilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bolay, K.A., (1998). Microstructural Study of Hot Pressed PM Aluminum-Copper and Aluminum Copper Siliconcarbide Composites, M. Sc. Thesis, METU, Ankara.
2. Karagöz, S., Yamanoğlu, R. ve Atabek, S.H, (2009). Sinterlenmiş Toz Metalurjik Bir Çelikte Hata Karakterizasyonu. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Bildiriler kitabı, ss:957-962.
3. Varol, T., (2012). Aa2024 Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
4. Yılmaz, R. ve Özyürek, D., (2009). Toz Metalurjisi ile Üretilen Fe-Cu-C Esaslı Malzemelerin Aşınma Özellikleri, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Bildiriler kitabı, ss:1230-1235
5. Ekerer, F.A., (2007). Alumina-SiC Parçacık Destekli T/M Al-Matriksli Kompozitlerin Üretilmesi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
6. Xiong, X., Sheng, H.C., Chen, J., and Yao, P.P., (2007). Effects of Sintering Pressure and Temperature on Microstructure Andtribological Characteristic of Cu-Based Aircraft Brake Material, Trans. Nonferrous Met. Soc. of China. Volume:17, pp:669-675.
7. Tjong, S.C. and Lau, K.C., (2000). Tribological Behaviour of SiC Particle-Reinforced Copper Matrix Composites, Materials Letters, Volume 43, pp:274-280.
8. Xu, X., Lu, P., and German R.M., (2002). Densification and Strength Evoluation in Solid-State Sintering, Journal of Materials Science, Volume:37, pp:117-126.
9. Rahimian, M., Ehsani, N., Parvin, N., and Baharvandi, H.Z., (2009). The effect of Particle Size, Sintering Temperature and Sintering time on the Properties of Al-Al₂O₃ Composites, made by Powder Metallurgy, Journal of Meterials Processing Teknology, Volume:209, pp:5387-5393.



10. Kim, T.W., (2008). Determinatin of Densification Behavior of Al-SiC Metal Matrix Composite During Consoldation Processes, *Materials Sciences and Engineering*, Volume:483, pp:648-651.
11. Özyürek, D., Kibar, E. ve Yılmaz, R., (2009). Toz Metalurjisi ile Üretilen A356 Alüminyum Alaşımının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Bildiriler Kitabı, ss.963-967.
12. Kurt, A., Ayata, A. ve Issı, F., (2011). Toz Metal Al Malzemelerde Gözeneklilik Oranının Elektrik İletkenliğine Etkisi, 6th International Powder Metallurgy Conference and Exhibition, Ankara, Bildiriler Kitabı, ss:339-344.
13. Islak, S., Kır, D., and Buytoz, S., (2014). Effect of Sintering Temperature on Electrical and Microstructure Properties of Hot Pressed Cu-TiC Composites, *Science of Sintering*, Volume:46, Issue:1, pp:15-21.
14. Buytoz, S., Dağdelen, F., Islak, S., Kök, M., Kır, D., and Ercan, E., (2014). Effect of the TiC Content on Microstructure and Thermal Conductivity of Cu-TiC Composites Prepared by Powder Metallurgy, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry (JTAC)*, Volume.117, Issue:3, pp:1277-1283.
15. Islak, S. and Çelik, H., (2015). Effect of Sintering Temperature and Boron Carbide Content on the Wear Behavior of Hot Pressed Diamond Cutting Segments, *Science of Sintering*, Volume: 47, pp:131-143.