BOR KARBÜRLÜ ELMASLI KESİCİ SOKETLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Serkan ISLAK*, Durmuş KIR**, Halis ÇELİK***, Ertuğrul ÇELİK****

*Kastamonu Üniversitesi, Cide Rıfat Ilgaz Meslek Yüksekokulu, 37600 Kastamonu, sislak@kastamonu.edu.tr
**Kocaeli Üniversitesi, Gebze Meslek Yüksekokulu, 41400 Kocaeli, durmuskir@gmail.com
***Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, 23100 Elazığ, durmuskir@gmail.com, hcelik@firat.edu.tr
****Tunceli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, 62000 Tunceli ecelik@tunceli.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, doğal taş kesme işlerinde kullanılan elmaslı kesici soketlere bor karbür (B_4C) ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, deneylerde B_4C ağırlıkça % 2, 5 ve 10 oranlarında kullanıldı. Tüm deneylerde sıcak presleme işlemi 35 MPa basınçta, 700 °C sıcaklıkta ve 3 dakika süreyle yapılmıştır. Soketlerin mikroyapı ve faz bileşimi taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışın difraktogramı (XRD), X ışını enerji dağılım spektrometresi (EDS) ile belirlenmiştir. Mikrosertlik ve eğme dayanımı değerleri ise sırasıyla sertlik ve üç noktalı eğme test cihazıyla ölçülmüştür. Soketlerin sertlik ve eğme dayanımları bor karbürün oranına bağlı olarak değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elmaslı soketler, bor karbür, sıcak presleme

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF DIAMOND CUTTING SEGMENTS WITH BORON CARBIDE

ABSTRACT

In this study, effect of boron carbide (B_4C) addition on microstructure and mechanical properties of diamond cutting segments that are used in cutting works of natural stones were investigated. For this purpose, the boron carbide was changed as 2, 5 and 10 wt. % percents. In all of the experiments, hot pressing process was carried out at 35 MPa pressure, at 700 °C temperature and 3 minutes sintering time. Microstructure and phase composition of segments were determined by scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) and X-ray diffraction (XRD) analysis. Microhardness and bending strength values were measured by hardness and three-point bending test devices, respectively. Hardness and bending strength values of segments changed depending on boron carbide rate.

Keywords: Diamond segments, boron carbide, hot pressing

1. GİRİŞ

Sentetik elmasın kullanım alanları arasında, sert malzemelerin kesilmesi, taşlanması, delinmesi ve parlatılması işlerinde kullanılan elmaslı takımlar en büyük paya sahiptir. Elmaslı takımların piyasada, dairesel testereler, karotlar, elmaslı teller ve matkaplar gibi birçok çeşidi mevcuttur [1]. Bu takımlar genellikle toz metalurjisi yöntemleri ile üretilmektedir. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilecek parçaların preslenmesi genellikle oda sıcaklığında yapılmaktadır. Son yıllarda oda sıcaklığı üzerindeki ortamlarda da sıcak presleme ile parça üretimi sağlanmaktadır. Bu yöntem

kullanılarak daha az kalıp-metal tozu ara yüzey sürtünmesi ile, daha düşük presleme basınçlarında daha yüksek yoğunluğun elde edildiği görülmüştür [2-5]. Sıcak presleme esnasında, elmas tanecikleri fiziksel ve kimyasal etkileşimler ile metal matrise bağlanır. Elmaslı kesici takımın kesme performansını olumsuz yönde etkileyen, elmasın grafitleşmesi, çözünmesi ve zarar görmesi gibi faktörlerden kaçınmak için sinterleme parametrelerinin çok dikkatli seçilmesi gerekir [6].

Elmaslı kesici takımların kesme performansı ve kullanım süresi birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Bu temel faktörler; elmas ve matris özellikleri, soket üretim metodu, kesme şartları (kesme hızı, çevresel hız ve kesme derinliği), kesme modu (aynı ve zıt yönlü kesim), doğal taşın minerolojik ve mekanik özellikleri, soğutma etkisi, kesme makinesinin özellikleri ve operatörün becerisidir [7]. Elmaslı kesici takımlardaki soketlerin üretiminde kullanılan metalik matrislerin iki temel fonksiyonu vardır. Birincisi elması sıkıca tutmak, ikincisi ise elmas kaybı ile uyumlu bir oranda optimum olarak aşınmaktır [8,9]. Bu ilişkiyi en üst düzeye getiren teknikler metal-elmas ara yüzeyinde atomik bağlanma, mekanik dayanıklılık ve aşınma hızının kontrolünü kapsar. Elmas tanelerinin matrisin aşırı bir şekilde aşınması sonucunda desteksiz bir şekilde matris yüzeyinden ne fazla miktarda çıkmalı ne de zamanından önce matristen kopmalıdır. Bunun için matrisin aşınma direnci kesilecek malzemenin aşınabilirlik özelliği ile uyumlu olmalıdır [10,11].

Literatürde bir çok çalışmada Fe, Co, Ni, Ti, W, Cu ve CuSn matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Nitkiewicz ve Swierzy [12], elmaslı soketlerde kalayın kesme performansı üzerine etkisini incelemişler ve belirli miktarda ilavesinin kesme performansına olumlu etki yaptığı gözlenmiş ve demirli matrislerle farklı takımlarda da kullanılabileceği etüt edilmiştir. Barbosa ve arkadaşları [13], Fe-Cu-Co matrisli elmaslı takımları üretmişlerdir. En uygun matris bileşiminin Fe-% 60 Cu-%20 Co olduğunu yapılan üç noktalı eğme ve aşınma testleriyle göstermişlerdir. Artan Cu miktarı ile soketlerin yoğunluğu artmış ve sertliklerinde de iyileşme gözlenmiştir.

Metalik matrisin aşınma direncini arttırmak ve elmas ile matris ara yüzeyinde bağı güçlendirmek amacıyla matrise karbürler ilave edilmektedir. Literatürde bu konuda kısıtlı çalışma mevcuttur. Meszaros ve Vadasdi [14] Co-% 2 WC matrisli elmaslı kesici takımları üretmişlerdir. Yapılan çalışmada WC'ün abrasyon ile matrisin kütle kaybını kontrol ettiği ve bu şekilde aşınma direncini arttırdığı rapor edilmiştir. Oliveira ve arkadaşları [4], elmaslı kesici takım için matris olarak Fe-Cu-SiC tozlarını kullanmışlardır. SiC ilavesi ile aşınma oranını kontrol edici etkiye sahip olan sertlikte % 14 oranında bir artış gözlenmiştir. Ayrıca ilave edilen SiC'ün tane boyutu arttıkça matrisin aşınma direncinde artış meydana gelmiştir.

Son zamanlarda, yüksek ergime noktası, yüksek sertliği, düşük yoğunluğu, yüksek kimyasal kararlılık ve mükemmel mekanik özelliklere sahip olan bor karbür (B_4C) ileri teknoloji için önemli bir malzemedir. Bor karbür elmas ve kübik bor nitrürden (cBN) sonra bilinen en sert malzemedir. Yüksek sertliğinden dolayı aşınma direncinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Yüksek dayanım/yoğunluk oranı onu endüstri için ideal bir malzeme yapmaktadır [15-18].

Bu çalışmada, doğal taş kesme işlerinde kullanılan elmaslı soketlere bor karbür (B_4C) ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, deneylerde B_4C ağırlıkça % 2, 5 ve 10 oranlarında ilave edilmiştir. Tüm deneylerde sıcak presleme işlemi kullanıldı. Soketlerin mikroyapı ve faz bileşimi taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışın difraktogramı (XRD), X ışını enerji dağılım spektrometresi (EDS) ile belirlenmiş; mikrosertlik ve eğme dayanımı değerleri ise sırasıyla sertlik ve üç noktalı eğme test cihazıyla ölçülmüştür.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

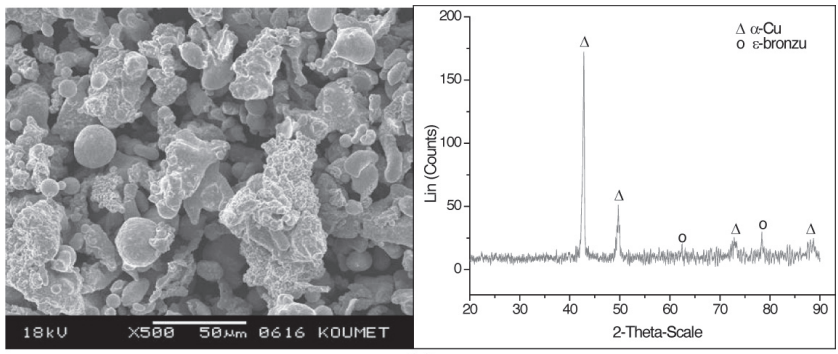
Deneysel çalışmalarda matris olarak CuSn ve B_4C tozları kullanılmıştır. Bor karbür tozu farklı yüzde ağırlık oranlarında matrise ilave edilmiştir. Soket üretiminde kullanılan matris grupları Tablo 1'de, kullanılan tozların özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 1'de soket üretiminde kullanılan CuSn ve B_4C'ün SEM fotoğrafları ve XRD grafikleri görülmektedir. Bronz tozu küresel şekilli ve bor karbür tozu ise keskin köşeli bir şekle sahiptir.

Tablo 1. Soket üretiminde kullanılan matris grupları ve üretim parametreleri

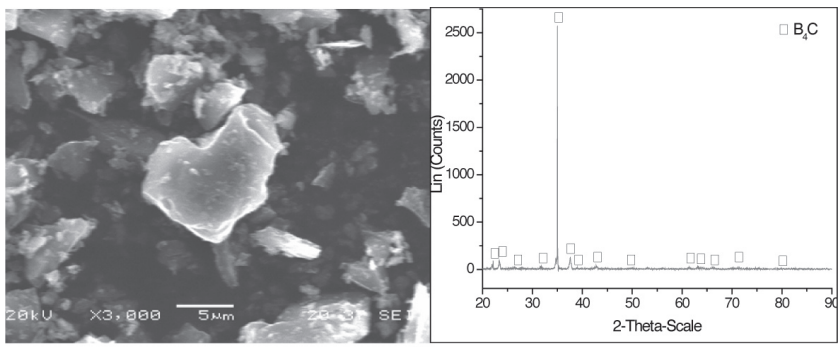
No	Matris (% ağ.)		Sinterleme sıcaklığı (°C)	Sinterleme süresi (dak.)	Basınç (MPa)
	CuSn	B_4C			
S_1	100	-	700	3	35
S_2	98	2			
S_3	95	5			
S_4	90	10			

Tablo 2. Kullanılan Tozların Özellikleri

Tozlar	Özellik	Tane boyutu (μm)
CuSn	% 85 Cu, % 15 Sn, % 99.9 saflık	45-50
B_4C	% 79 B, % 20.5 C, % 99.9 saflık	~20



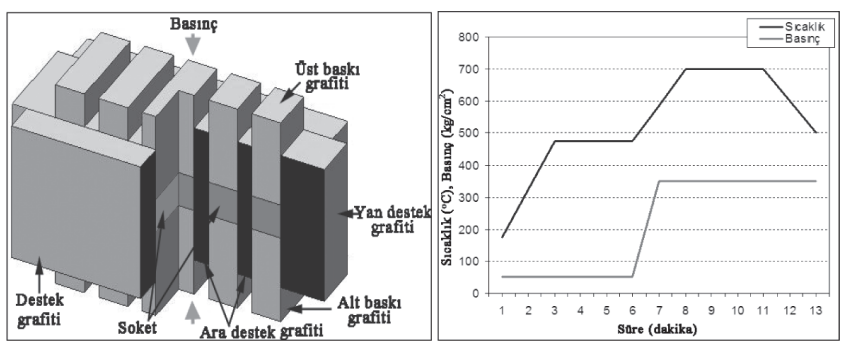
(a)



(b)

Şekil 1. Soket üretiminde kullanılan tozların SEM fotoğrafları ve XRD grafikleri: (a) CuSn tozu, (b) B_4C

Tablo 1'de ki gibi hazırlanan matris grupları mikserde 30 dakika süre ile 20 d/d hızda % 1 oranında parafin yağı karışıma eklenerek krom kaplanmış çelik bilyeler ile birlikte karıştırılmıştır. Çelik bilye kullanımındaki amaç karışıma katılan parafin yağının topak oluşturmasını engellemektir. Toz halindeki soketler 15 MPa basınçla soğuk olarak preslendi. Bisküvi şeklindeki soketler grafit kalıplarda sıcak presleme tekniği kullanılarak nihai soket haline dönüştürüldü. Her bir soket 35 MPa'da 700 °C sıcaklıkta 3 dakika sinterleme süresinde elde edildi. Şekil 2'de soketlerin grafit kalıba yerleştirme düzeni ve sinterleme grafiği görülmektedir.



(a) (b)

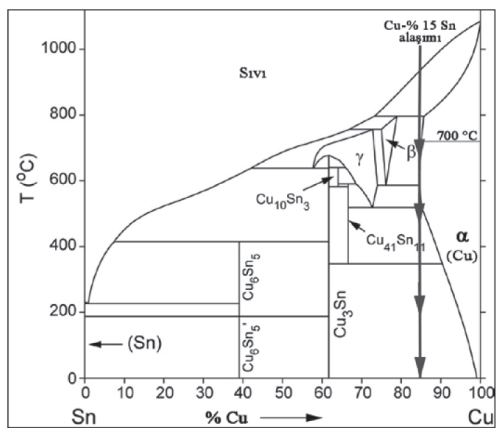
Şekil 2. (a) Soketlerin grafit kalıba yerleştirme düzeni ve (b) sinterleme grafiği

Sıcak presleme yöntemi ile üretilen soketlerin bağıl yoğunluğu, sertliği ve eğme dayanımı tespit edilmiştir. Numunelerin bağıl yoğunluk ölçümü Archimedes prensibine göre yapılmıştır. Sertlik ölçümü için Karl Frank marka sertlik ölçme cihazında 62,5 kg yük ve 2.5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği Brinell cinsinden ölçülmüştür. Soketlerin eğilme dayanımları, 40 mm x 7 mm x 3.2 mm ölçüsündeki numuneler kullanılarak üç noktalı eğme testi ile tespit edilmiştir.

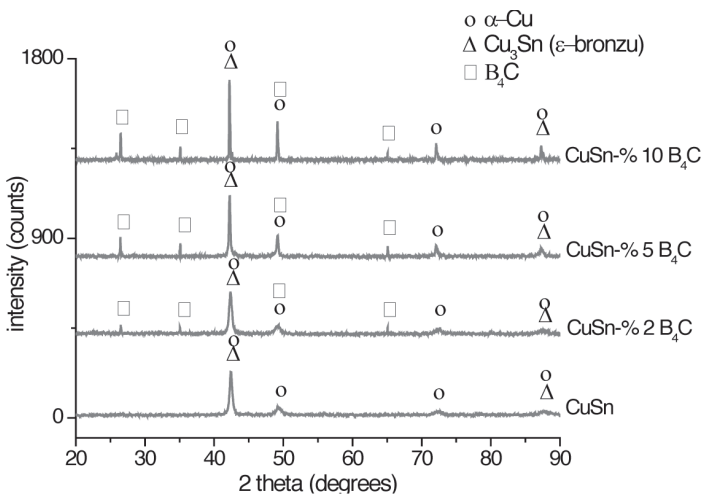
Metalografik incelemeler için numuneler, 3.2 mm x 7 mm x 10 mm ölçülerinde kesilmiştir. Elde edilen metalografi numuneleri 80-1200 mesh'lik zımpara kağıdına tutularak yüzeyleri temizlenmiştir. Daha sonra 1 ve 6 µm'lik elmas pasta ve inceltici yardımıyla yan kesit yüzeyleri parlatılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için numuneler 20 saniye süreyle 5 gr. $FeCl_3$, 50 ml HCl ve 100 ml H_2O çözeltisinde dağlanmıştır. Soketlerin mikroyapısının üretim koşullarına bağlı olarak nasıl değiştiğini ve faz yapılarını tayin etmek için ve kırık yüzeylerini incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dispersive spektograph (EDS), X- ışını difraksiyonu (XRD) ve spektral analizlerden yararlanılmıştır. XRD analizleri 30 kV ve 15 mA'de CuK_α radyasyonu kullanılarak Rigaku Geigerflex X-ışını difraktometresi ile elde edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

CuSn ve CuSn-B_4C matrisli soketler sıcak presleme yöntemi ile 700 °C sıcaklıkta, 35 MPa basınçta ve 3 dakika sinterleme süresinde başarıyla üretildi. CuSn matrisinin mikroyapısında α-Cu ve ε-bronzu (Cu_3Sn) fazları oluşmuştur. Bu durum Cu-Sn ikili faz diyagramı (Şekil 3) ve Şekil XRD grafiği (Şekil 4) ile de desteklenmektedir. Cu_3Sn fazı Şekil 5'deki SEM fotoğraflarından da görüldüğü gibi Cu partiküllerinin tane sınırlarında çökelmiştir.



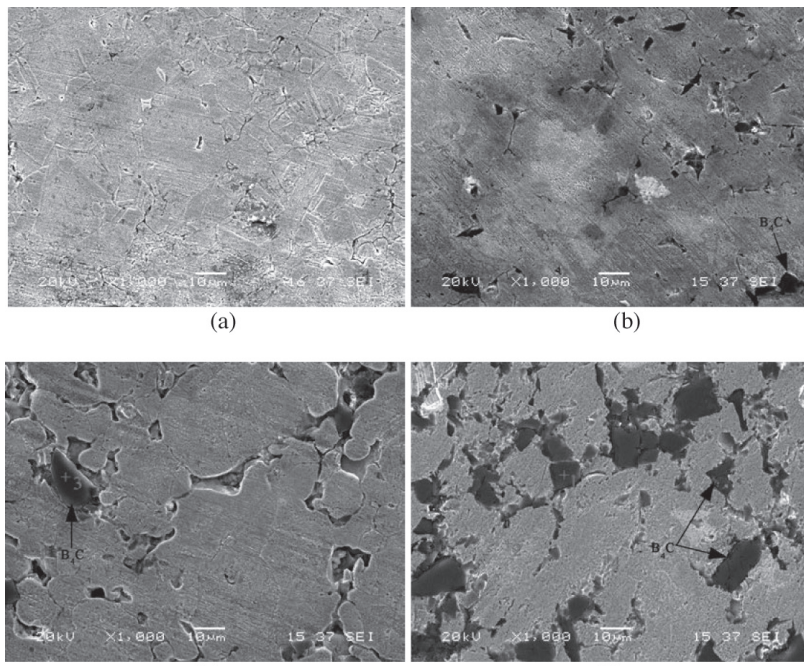
Şekil 3. Cu-Sn ikili faz diyagramı [19]



Şekil 4. Soketlerin XRD grafiği

CuSn tozuna ağırlıkça % 2, 5 ve 10 oranlarında B_4C ilave edilerek CuSn-B_4C kompoziti üretilmiştir. Üretilen CuSn-B_4C matrisinde B_4C parçacıkları mikroyapıda nispeten homojen olarak dağılmıştır ve CuSn tarafından kuşatılmıştır (Şekil 5). takviye partiküllerin matris içerisinde homojen olarak dağılmadığı durumlarda kompozitin mekanik ve fiziksel özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir [20]. Bu takviyeli matrislerin SEM fotoğraflarında koyu renkli ve köşeli partiküller B_4C'lerdir. Bor karbür oranı arttıkça, B_4C partikülleri CuSn'nin tane sınırlarına doğru yayılarak bir ağ oluşturmuştur (Şekil 5b-c-d). Ayrıca bor karbür ilave miktarı arttıkça soketlerin XRD grafiklerindeki B_4C piklerinin şiddetleri artmaktadır. XRD grafikleri CuSn ve B_4C arasında herhangi bir kimyasal reaksiyonun olmadığını da göstermektedir. CuSn-B_4C soket matrislerinin mikroyapısında gözenekler tane sınırlarında oluşmuştur. Bor karbür oranı arttıkça gözeneklilik miktarı artmıştır. Bu durum B_4C'ün sinterlenebilme özelliğin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

CuSn-B_4C matrisli soketlerde B_4C ilavesinin sıkıştırılabilirlik özellikleri üzerine belirlemek için soketlerin deneysel yoğunlukları ölçüldü. Matrislerin deneysel ve teorik yoğunlukları kullanılarak bağıl yoğunlukları belirlendi. Şekil 6'da bor karbür ilavesinin soketlerin deneysel ve bağıl yoğunlukları üzerine etkisi verilmiştir.

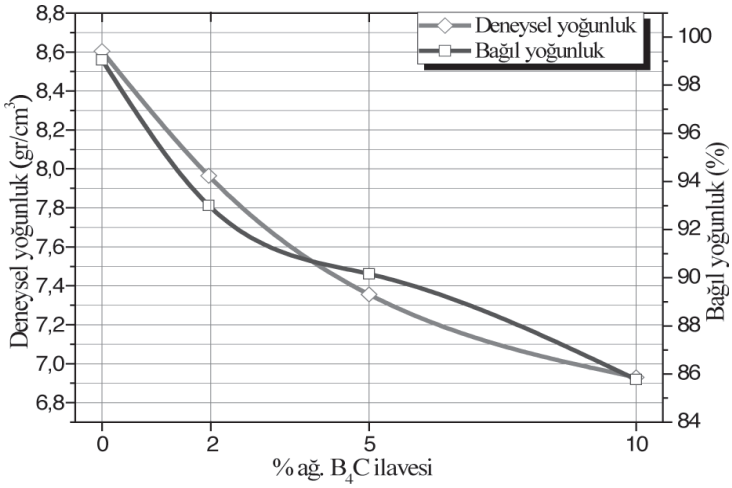


Şekil 5. Soket matrislerinin SEM fotoğrafları: (a) CuSn, (b) CuSn-% 2 B_4C, (c) CuSn-% 5 B_4C ve (d) CuSn-% 10 B_4C

Tablo 3'te Şekil 5'deki SEM fotoğraflarında belirlenen bölgelerin EDS analizi verilmiştir. 1 bölgesinin EDS analizi tane köşesinde oluşan Cu_3Sn ve B_4C fazlarını işaret etmektedir. 2 nolu bölge matris fazı yani CuSn'yi göstermektedir. 3 nolu bölgenin analizi % 99.142 C ve % 0.858 Sn'dir. Bu bor karbür tanesi üzerinden alınan analizdir. Fakat EDS analizinde B elementinin okunmamasının sebebi karbon ve borun atom çaplarının çok küçük ve birbirine yakın olmasıdır. 4 nolu bölge tane sınırlarında oluşan Cu_3Sn fazıdır.

Tablo 3. Soketlerde verilen bölgelerin EDS analizi

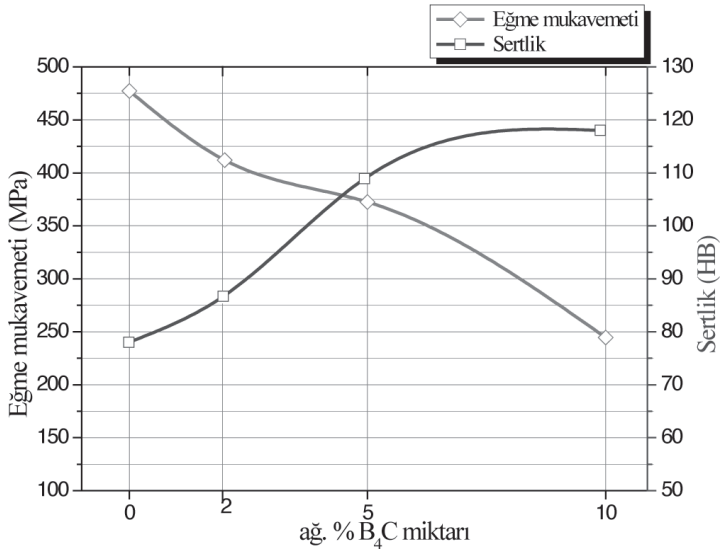
Bölge	Kimyasal bileşim (% ağ.)			
	B	C	Cu	Sn
1 bölgesi	0.000	13.425	53.142	33.433
2 bölgesi	0.000	0.000	85.461	14.539
3 bölgesi	0.000	99.142	0.000	0.858
4 bölgesi	0.000	0.000	62.281	37.719



Şekil 6. Bor karbür ilavesinin soket matrisinin deneysel ve bağıl yoğunluğa etkisi

Artan bor karbür oranında yoğunluklarda düşüş meydana gelmiştir. Bu durum bor karbürün yoğunluğunun (2,52 gr/cm^3) bronzun yoğunluğundan (8,68 gr/cm^3) düşük olmasıyla ilgilidir. Yine artan bor karbür ilavesiyle bağıl yoğunluklarda düşüş meydana gelmiştir. Bu durum artan bor karbür oranının sinterlenebilirliği olumsuz etkilemesiyle açıklanabilir [21]. Diğer bir sebep ise, matris ile takviye elemanı yani bronz ile bor karbürün ergime noktaları arasındaki büyük farklılık, sinterleme anında partiküllerin tekrar düzenlenmesinde önleyici bir faktör olmasıdır. Bor karbür ilaveli soketlerde en iyi yoğunlaşma CuSn-% 2 B_4C matrisinde yaklaşık % 93,01'lik bağıl yoğunluk ile olmuştur (Şekil 6).

Şekil 7'de CuSn içerisine farklı oranlarda ilave edilen bor karbürün sertlik üzerine etkisi görülmektedir. Her bir numune için toplam altı adet ölçüm yapılmıştır. Değerlendirmede ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır. Bor karbür ilavesiyle elde edilen CuSn-B_4C soket matrislerin sertliklerinde belirgin bir artış olmuştur. CuSn, CuSn-% 2 B_4C, CuSn-% 5 B_4C ve CuSn-% 10 B_4C soketlerinin sertlikleri sırasıyla 78 HB, 87 HB, 109 HB ve 118 HB olarak ölçülmüştür. Bu sertlik artışına bor karbürün dağılım mukavemetlendirme etkisi sebep olmuştur. Sertlik artışı ile soket matrisinin aşınma direnci arttırılmaya çalışılmıştır.



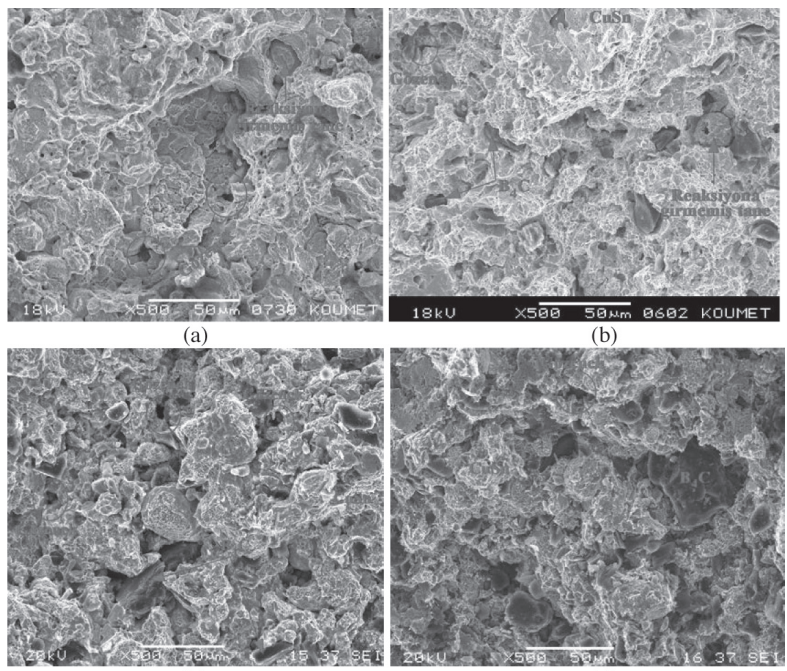
Şekil 7. B_4C ilavesinin soketlerin eğme mukavemeti ve sertliğine etkisi

Kırılma tokluğunu belirlemek için CuSn ve CuSn-B_4C matris numunelerine 3-noktalı eğme testi uygulanmıştır. Her bir matris için üç noktalı eğme testi beşer defa tekrarlanmıştır. Elde edilen değerlerin ortalaması alınarak üretim

parametrelerinin etkisi tartışılmaya çalışılmıştır. Eğme mukavemeti üzerine bor karbür ilavesinin etkisi yine Şekil 7'de görülmektedir.

Bor karbür ilave miktarı arttıkça soket matrislerin eğme mukavemeti değerlerinde düşüş gözlenmiştir. CuSn, CuSn-% 2 B_4C, CuSn-% 5 B_4C ve CuSn-% 10 B_4C soket matrislerinin eğme dayanımları sırasıyla 477.40 MPa, 412.00 MPa, 372.42 MPa ve 244.48 MPa olarak ölçülmüştür. Eğme mukavemeti değerlerinde bu düşüşün sebebi yüksek sertliğe sahip bor karbürün artan miktarlarda soket matrisini gevrekleştirmesidir. Ayrıca takviye elemanı ile sünek matris arayüzeyinde genleşme katsayısı farklılığından dolayı gerilim yoğunlaşması meydana gelir. Bu gerilim yoğunlaşması eğme mukavemetinin düşmesine yol açmıştır [22]. Kısaca bor karbür bronz matrisinin kırılmasında hata unsuru olmuştur.

Kompozit malzemelerde genel olarak kırılma olayı partikül kırılması, arayüzeyde zayıf bağlanma ve matris malzemesinin deformasyonu olmak üzere üç hata mekanizması ile oluşur [23]. Bor karbür takviyesiz olan soket numunesinde matrisin plastik deformasyonu kırılma olayında hâkim mekanizmadır (Şekil 8a). Yine bu numunede boyun verme olayı diğer numunelere göre daha yoğun miktardadır. Bor karbür takviyeli soketlerin kırılma yüzeyinde ise bor karbür taneleri ile CuSn matrisi arasında zayıf bağlanması söz konusudur. Bor karbür miktarı arttıkça matris ile bor karbür taneleri arasındaki bağlanma daha da zayıflamaktadır. Bu durum Şekil 8b-c-d'de açık bir şekilde görülmektedir. Bu zayıf bağlanma olayı sinterleme koşullarının yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Daha yüksek presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığı kullanılarak matris (CuSn) ile takviye elemanı (B_4C) ara yüzeyindeki zayıf bağlanmanın üstesinden gelinip eğme dayanımının arttırılacağı düşünülmektedir.



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 8. Soket matrislerinin kırma yüzeylerinin SEM fotoğrafları:
(a) CuSn, (b) CuSn-% 2 B_4C, (c) CuSn-% 5 B_4C ve (d) CuSn-% 10 B_4C

3. GENEL SONUÇLAR

Sıcak presleme ile 700 °C sinterleme sıcaklığı, 35 MPa presleme basıncı ve 3 dakika sinterleme süresinde üretilen CuSn-B_4C matrisli soketlerde bor karbürün matris içinde nispeten homojen olarak dağıldığı SEM çalışmalarıyla gözlenmiştir. Bor karbür taneleri bronzun tane sınırlarında oluşmuş, bronz tarafından kuşatılmıştır. Ayrıca artan bor karbür ilavesinde gözenek miktarında artış gözlenmiştir. Bor karbür ilavesiyle elde edilen CuSn-B_4C soket matrislerin sertliklerinde belirgin bir artış olmuştur. En yüksek sertlik değeri % 10 B_4C ilavesinde 118 HB olarak ölçülmüştür. Bor karbür ilaveli soketlerde en iyi yoğunlaşma CuSn-% 2 B_4C matrisinde yaklaşık % 93,01'lik bağıl yoğunluk ile olmuştur. Bor karbür ilave miktarı arttıkça soket matrislerin eğme mukavemeti değerlerinde düşüş gözlenmiştir. En düşük tokluğa 244.48 MPa eğme dayanımı ile ağırlıkça % 10 B_4C içeren numune sahiptir. Bor karbür ilavesiyle takviye ve matris ara yüzeyinde zayıf ara yüzey bağlanmaları tespit edilmiştir. Bu durum sinterleme koşullarının yetersizliği ile ilişkilendirilmiştir.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılması ile ilgili konularda TEF.10.01 nolu proje ile maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimine (FÜBAP), teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR

1. Xu, X.P., "Friction studies on the process in circular sawing of granite", **Tribology Letters**, Vol. **7**, pp. 221-227, 1999.
2. Sun, J., Liu, C., Wang, R., "Low pressure hot pressing of B_4C matrix ceramic composites improved by Al_2O_3 and TiC additives", **Materials Science and Engineering: A**, Vol. 519, pp. 27-31, 2009
3. Kim, T.W., "Determination of densification behavior of Al-SiC metal matrix composites during consolidation processes", **Materials Science and Engineering: A**, Vol. 483-484, pp. 648-651, 2008
4. Oliveira, L.J., Bobrovnitchii, G.S., Filgueira, M., "Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix", **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, Vol. 25, pp. 328-335, 2007.
5. Özel, S., Çelik, E., Turhan, H., "The investigation of microstructure and mechanical properties of Cu-Al/B_4C composites produced by using hot press", **e-Journal of New World Sciences Academy**, Vol. 4 (1), pp. 106-112, 2009.
6. Zeren, M., Karagöz, Ş., "Defect characterization in the diamond cutting tools", **Materials Characterization**, Vol. 57, pp. 111-114, 2006
7. Büyüksağış, I.S., "Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 183, pp. 399-406, 2007
8. Konstanty, J., "Production of Diamond Sawblades for Stone Sawing Applications", **Key Engineering Materials**, Vol. 250, pp. 1-12, 2003
9. Konstanty, J., "Factors affecting diamond retention in stone sawblade segments", **Key Engineering Materials**, Vol. 250, pp. 13-20, 2003
10. Karagöz, Ş., Zeren, M., "The microstructural design of diamond cutting tools", **Materials Characterization**, Vol. 47, pp. 89-91, 2001
11. Konstanty, J., "Powder Metallurgy Diamond Tools", **Elsevier Ltd, The Metal Powders Technology Series**, pp. 106-107, 2005
12. Nitkiewicz, Z., Swierzy, M., "Tin influence on cutting behaviour of diamond sawblades for Stone cutting", **13th International Scientific Conference on Achievements in mechanical and materials Engineering**, 16-18 May 2005, Gliwice-Wista, Poland, pp. 467-470, 2005
13. Barbosa, A.P., Bobrovnitchii, G.S., Skury, A.L.D., Guimarães, R.S., Filgueira, M., "Structure, microstructure and mechanical properties of PM Fe–Cu–Co alloys", **Materials and Design**, Vol. 31, pp. 522–526, 2010
14. Meszaros, M., Vadasdi, K., "Process and equipment for electrochemical etching of diamond-containing Co-Wc tools and recovery of diamond from used steel tools", **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, Vol. 14, pp. 229-234, 1996
15. Pierson, H.O., "Handbook of Refractory Carbides and Nitrides", **William Andrew Pub**., Noyes, 1996
16. Spohn, M.T., "Boron Carbide", **Minerals Review**, Vol. 6, pp. 113-115, 1994
17. Jiang, T., Jin, Z., Yang, J., Qiao, G., "Investigation on the preparation and machinability of the B_4C/BN nanocomposites by hot-pressing process", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 209, pp. 561-571, 2009
18. Ma, Q.C., Zhang, G.J., Kan, Y.M., Xia, Y.B., Wang, P.L., "Effect of additives introduced by ball milling on sintering behavior and mechanical properties of hot-pressed B_4C ceramics", **Ceramics International**, Vol. 36, pp. 167-171, 2010
19. Saunders, N., Miodownik, A.P., "Cu-Sn (Copper-Tin)", **Binary Alloy Phase Diagrams**, vol. 11, pp. 278-87, 1990.
20. Lee, D.W., Ha, G.H., Kim, B.K., "Synthesis of Cu-Al_2O_3 nano composite powder", **Scripta Materialia**, Vol. 44, pp. 2137-2140, 2001
21. Rahimian, M., Ehsani, N., Parvin, N., Baharvandi, H.R., "The effect of particle size, sintering temperature and sintering time on the properties of Al-Al_2O_3 composites, made by powder metallurgy", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 209, pp. 5387-5393, 2009
22. Samuel, A.M., Gotmare, A., Samuel, F.H., "Effect of solidification rate and metal feedability on porosity and SiC/Al_2O_3 particle distribution in an Al–Si–Mg (359) alloy", **Composites Science and Technology**, Vol. 53, pp. 301–315, 1995
23. Park, K.T., Mohamed, F.A., "Creep strengthening in a discontinuous SiC–Al composite", **Metall. Mater. Trans. A**, Vol. 26, pp. 3119–3129, 1995