DOĞAL TAŞ KESME İŞLERİNDE KULLANILAN ALTERNATİF KÜBİK BOR NİTRÜRLÜ KESİCİ TAKIMLARIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

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

*Kocaeli Üniversitesi, Gebze Meslek Yüksekokulu, 41400 Kocaeli, durmuskir@gmail.com
**Kastamonu Üniversitesi, Cide Rıfat Ilgaz Meslek Yüksekokulu, 37600 Kastamonu sislak@kastamonu.edu.tr
***Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, 23100 Elazığ, 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 takımlarda elmasın yerine alternatif olarak kübik bor nitrürün (cBN) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla soketlere farklı oranlarda kübik bor nitrür ilave edildi. Tüm soketler 35 MPa basınç altında, 600 °C sıcaklıkta ve 3 dakika sinterleme süresinde sıcak preste üretildi. Soketlerin mikroyapı ve faz bileşimi taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışın difraktogramı (XRD), X ışını enerji dağılım spektrometresi (EDS) ile belirlenmiştir. Soketlerin mekanik özellikleri üç noktalı eğme testi kullanılarak tespit edilmiştir. Eğme testi sonuçları kübik bor nitrürlü soketlerin eğme mukavemetlerinin elmaslı soketlerinkinden daha yüksek çıktığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kübik bor nitrür, sıcak presleme, üç noktalı eğme testi

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ALTERNATIVE CUBIC BORON NITRIDE CUTTING TOOLS USED CUTTING NATURAL STONE

ABSTRACT

In this study, the usability of cubic boron nitride (cBN) as an alternative in stead of diamond in cutting tools used to cut natural stones was investigated. For this purpose, cBN with different proportions was added into the segments. All the segments were manufactured under 35 MPa pressure at 600 °C with a 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. The mechanical properties of segments were determined using three-point bending test. The results of the bending test demonstrated that the bending strength of the segments with cBN were higher than that of the segments with diamond.

Keywords: Cubic boron nitride, hot pressing, three-point bending test

1. GİRİŞ

Kübik bor nitrür (cBN), elmastan sonra en sert malzemedir. Bu iki malzemeyi oluşturan elementler periyodik cetvelde birbirine yakın olduğundan elmas ile kübik bor nitrürün kristal yapıları benzerdir [1]. Kübik Bor Nitrür, 2597 °C sıcaklık ve 7,7 GPa basınç altında 60 saniye içerisinde gBN (Grafit Bor Nitrür) malzemeden doğrudan hBN→cBN dönüşümüyle üretilen yeniden kristalleşmiş malzemedir. Yoğunluğu 3,47-3,48 gr/cm^3 dür [2].

Elmas yüksek sıcaklıklardaki çalışmalarda grafitleşmeye sebep olur. Böylece performansında düşüş meydana gelir. Fakat cBN'nin yüksek kimyasal kararlılık, yüksek ısıl iletkenlik ve mükemmel aşınma direnci gibi özelliklerinden ötürü

elmaslı takımlardaki grafitleşme probleminin önüne geçilmiş olur [3-5]. Ayrıca cBN, elmasa göre daha ekonomiktir.

Sentetik elmas, yüksek basınç ve sıcaklık altında çok kısa sürede yumuşak olan grafitin çok sert kristal yapılı karbon atomuna dönüşmesi ile elde edilir. Grafit, karbonun üç kristal formundan birisi olup; diğerleri elmas ve ergiyik halidir. Grafit normalde 2500 °C sıcaklığa kadar dayanır. Sentetik elmas üretiminde alternatif bir yöntem olarak yüksek sıcaklık ve düşük basınç (CVD) yöntemi de kullanılır. Grafit, karbonun düşük yoğunluklu allotropu olup; genellikle yumuşak ve siyah renklidir. Sentetik elmaslar bakırdan beş kat daha fazla termal iletkenliğe sahiptirler.

Kübik Bor Nitrür (cBN) de elmasa benzer şekilde üretilir. cBN, günümüzde daha çok demir esaslı metallerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılan polikristalli bor nitrürlü (PCBN) takımların üretiminde kullanılır [6]. Elmas ve cBN'in kristal yapıları benzer olup; yapıda bulunan her bir atom diğer dört atom ile 109°28' açı yaparak mükemmel bir tetrahedral düzen oluştururlar. Elmasta, her bir karbon atomu diğer dört karbon atomu ile saf kovalent bağ yapar. cBN'de ise kovalent bağ hâkim olmakla birlikte bor ve azotun farklı atomlar olmaları nedeniyle az miktarda iyonik bağda bulunmaktadır. cBN'de her bir azot atomu dört bor atomu ile bağlanırken, her bir bor atomuda dört azot atomu ile bağlanarak tetrahedral karakter gösterir [7].

Soketler, kesici diskin çapına ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik geometri ve özelliklerde imal edilirler. Soket özelliklerinin belirlenmesinde kesme parametreleri ile kesilecek olan doğal taşın mineral yapısı ve mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Soketlere ait matris karışımının hazırlanması sırasında metal tozlarına ilave olarak 50-500 µm tane boyutunda elmas yada cBN tozları da matrise karıştırılarak soket üretimi yapılır.

Doğal taş kesme işleminde ağırlıklı olarak dikdörtgen kesitli elmaslı soketler tercih edilmektedir. Soketler, matris ve elmas ya da cBN tozları olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Matris, elmas ya da cBN taneciklerini matriste tutma işlevini yerine getirirken; elmas ya da cBN ise kesme işlevini yerine getirir [8,9]. Başarılı bir elmas soket tasarımı için nitelikli metal tozlarının kullanılması gerekmektedir. Matriste elmas yada cBN tanelerini tutması için Co, Ni, Cu, Fe veya bunların kombinasyonlarından yararlanılır. Dolgu evresi için genellikle Cu-Sn kullanılır [10,11]. Kesilecek doğal taşın özelliklerine, kesme parametrelerine ve kesme koşullarına bağlı olarak ana ve bağlayıcı fazların oluşturulması değişmektedir.

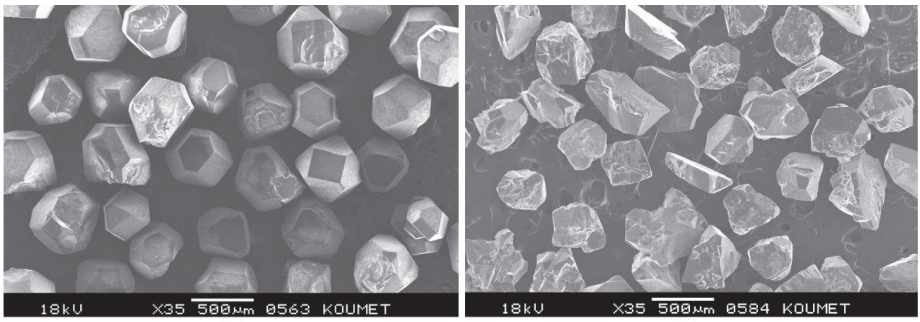
Bu güne kadar doğal taş kesici takımlar ile ilgili yapılan çalışmalar, genellikle mevcut elmaslı soketlerin aşınması, kesme performansı ve kesme sırasında oluşan kuvvetler, kesici soketteki hasar durumları, matris karakterizasyonu, analitik/nümerik modellemeler ile elmaslı kesici disklerin dinamik davranışlarının incelenmesi ve elmas kesici tellere ait çalışmalar üzerine yoğunlaşmış bulunmaktadır. Literatürde doğal taş kesici takımlarda elmas yerine kübik bor nitrür de dâhil olmak üzere alternatif bir aşındırıcı kullanıldığına dair bir çalışmaya henüz rastlanılmamıştır. Yapılan bu çalışmada, doğal taş kesici takımlarda kübik bor nitrürün alternatif aşındırıcı olarak kullanılmasının araştırılması amaçlandı. Bu amaçla soketlere kesici tanenin ağırlıkça % 0-100 arasındaki oranın cBN ilave edildi. Soket matrisinin brinel cinsinden sertliği ve sıkıştırılabilirlik özellikleri için yoğunluğu ölçüldü. Soketin mikroyapısı ve kırık yüzeyinin incelenmesinde taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dispersive spektograph (EDS) faz çeşitleri için X-ışın difraktometresi (XRD) kullanıldı. Soketlerin eğme mukavemeti değerleri üç noktalı eğme testi ile tespit edildi.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

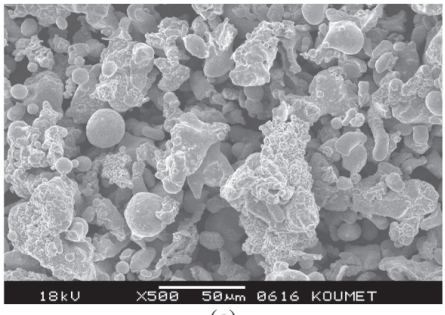
Doğal taş kesici takımın üretiminde matris olarak -325 mesh tane boyutuna ve % 99.9 saflığa sahip Cu-15Sn tozu kullanılmıştır. Kesici olarak 40/50 ve 50/60 mesh tane boyutuna sahip MBD.6 ticari sentetik elmas ve yine aynı tane boyutuna sahip kübik bor nitrür matrise ilave edildi. Her iki tane boyutu eşit miktarda kullanıldı. İki farklı tane boyutuna sahip kesici taneciğin kullanılmasının sebebi takımın kesme performansını arttırmaktır. Kullanılan kesici konsantrasyonu her bir numune için toplam olarak 30 olarak seçildi. Elmaslı/cBN'li soketlerin üretiminde kullanılan numune grupları ve üretim parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 1'de soket üretiminde kullanılan elmas, cBN ve CuSn tozunun ve SEM fotoğrafları görülmektedir.

Tablo 1. Soket üretiminde kullanılan matris grupları ve üretim parametreleri

No	Matris	Elmas & CBN	Süre (dakika)	Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)
1	CuSn (85/15)	% 100 Elmas	3	600	35
2	CuSn (85/15)	% 20 CBN + % 80 Elmas			
3	CuSn (85/15)	% 40 CBN + % 60 Elmas			
4	CuSn (85/15)	% 60 CBN + % 40 Elmas			
5	CuSn (85/15)	% 80 CBN + % 20 Elmas			
6	CuSn (85/15)	% 100 CBN			



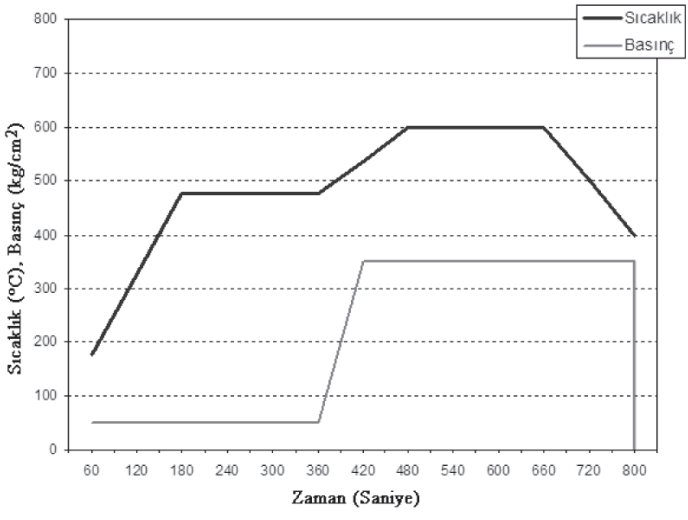
(a) (b)



(c)

Şekil 1. Soket üretiminde kullanılan tozların SEM fotoğrafı: (a) elmas, (b) cBN ve (c) CuSn tozu

Tablo 1'de ki gibi hazırlanan matris/elmas/cBN karşımı mikserde 30 dakika süre ile 20 d/d hızda % 1 oranında parafin yağı 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 preslendi. Her bir soket 35 MPa'da 600 °C sıcaklıkta 3 dakika sinterleme süresinde elde edildi. Şekil 2'de sinterleme grafiği verilmiştir.



Şekil 2. Sinterleme grafiği

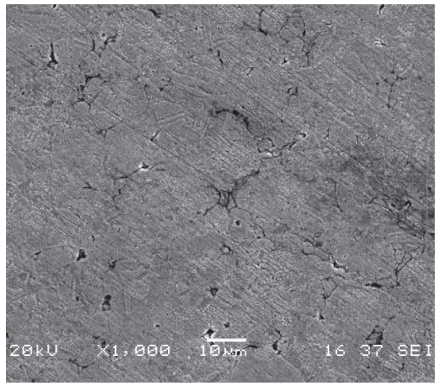
Sıcak presleme yöntemi ile üretilen soket matrisin sertliği BAHA marka sertlik ölçme cihazında 62,5 kg yük ve 2.5 mm çapında bilye ile Brinell cinsinden ölçülmüştür. Soketlerin eğilme dayanımları, 40 mm x 7 mm x 3.2 mm ölçüsündeki numuneler kullanılarak üç noktalı eğme testi ile tespit edilmiştir. Üç noktalı eğme testi sonrası elde

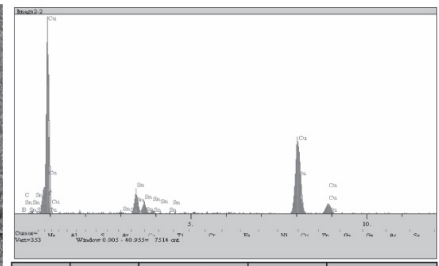
edilen kırılma numunelerinin mikroyapı özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM-JEOL Ltd., JEM-2100F model), enerji dispersive spektograph (EDS), X- ışını difraksiyonu (XRD- Bruker AXS Inc., D8 Advance model) ve spektral analizleri ile değerlendirilmiştir. XRD analizleri 30 kV ve 15 mA'de $CuK_{\square}$ radyasyonu kullanılarak Rigaku Geigerflex X-ışını difraktometresi ile elde edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sıkıştırılabilirlik ve yoğunlaşma hususunda bir fikir vermesi açısından soket numunelerinin yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda 600 °C sinterleme sıcaklığı için soket yoğunluğunun 8,5866 gr/cm^3 olduğu tespit edilmiştir. Teorik ve deneysel yoğunluk kullanılarak elde edilen bağıl yoğunluk ise % 98.855'dir. Karl Frank marka sertlik ölçme cihazı ile 62.5 kg yük ve 2.5 mm çaplı bilya kullanılarak elde edilen matris sertlik değeri ortalama 75.46 HB olarak ölçüldü.

600 °C'de üretilen soket matrisinin mikroyapısında tane sınırlarında XRD analizleri (Şekil 4) ile de tespit edildiği gibi Cu_3Sn gevrek fazın oluştuğu tahmin edilmektedir (Şekil 3). Matris % 85.461 Cu ve % 14.539 Sn'den oluşmaktadır (EDS analizine göre). Mikroyapıdan soket matrisinde sinterleme koşullarının yeterli olmayışından dolayı gözeneklerin oluştuğu tespit edilmiştir.

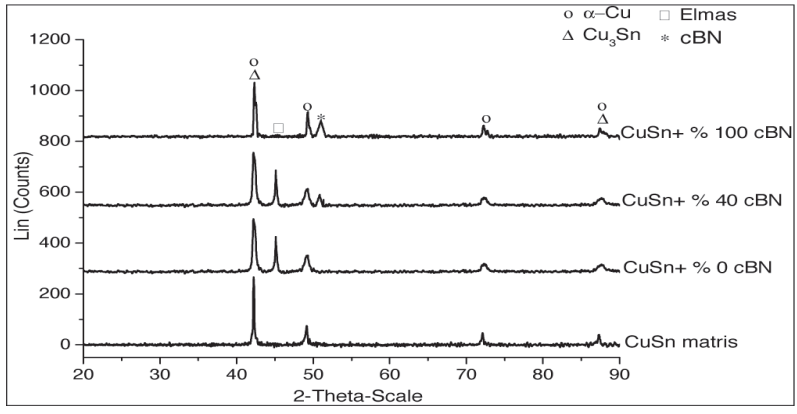




Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc wt.%
Cu	Ka	205.50	9.064	85.461
Sn	La	40.55	4.026	14.539

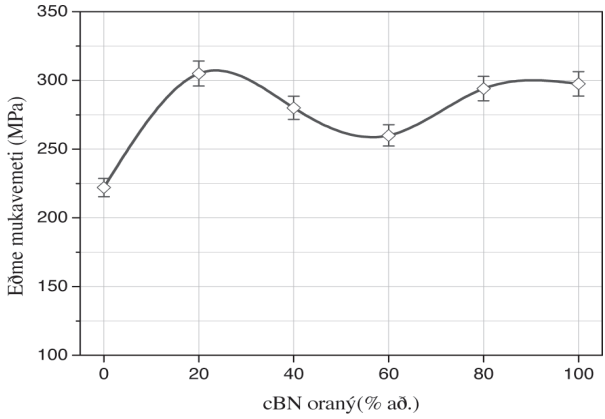
Şekil 3. CuSn matrisin SEM fotoğrafı ve EDS analizi

Şekil 4'de soketlerden alınan XRD grafikleri verilmiştir. XRD analizleri sonucunda, soketlerde cBN, elmas, □-Cu, Cu_3Sn bronzu fazları tespit edilmiştir. Matrikse katılan cBN miktarının artması ile cBN piklerinin şiddetlerinde artışlar meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 4. cBN/elmaslı soketlerin XRD grafiği

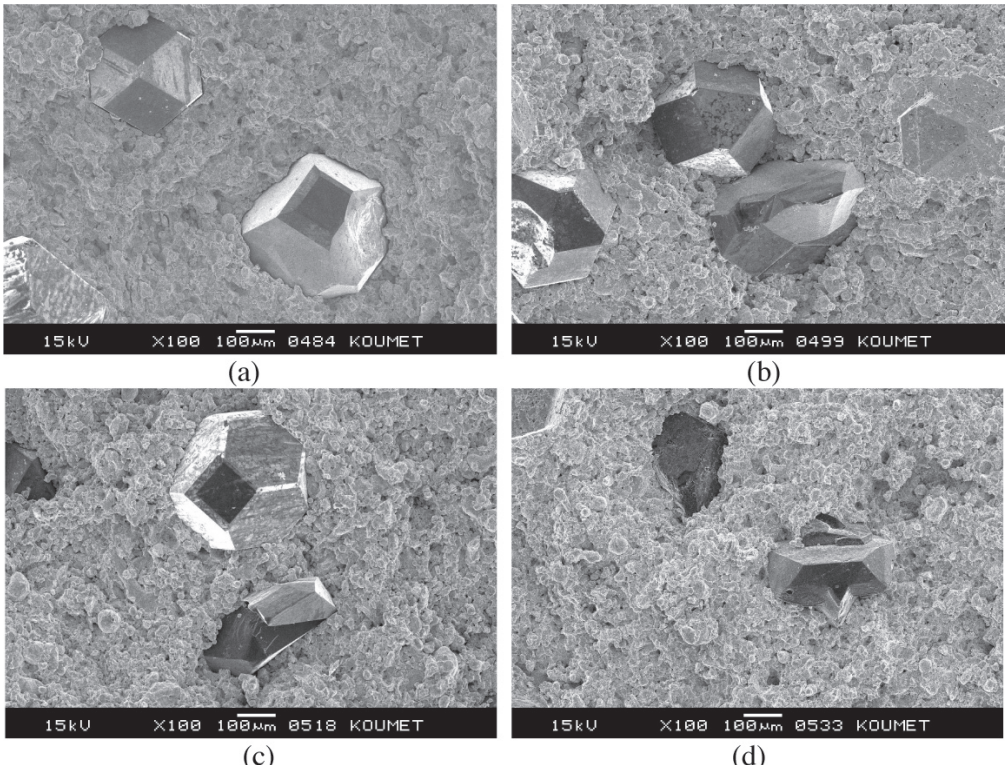
Her bir soket grubuna ait numunelerin eğilme mukavemetleri, üç noktalı eğme deneyi yapılarak ölçülmüştür. Yapılan deneylerde ASTM B 528-83a standardına göre imal edilen özel olarak yapılmış aparatlar kullanılmıştır. Instron marka çekme deney makinesinde yapılan deneylere ait sonuçlar Şekil 5'de görülmektedir.

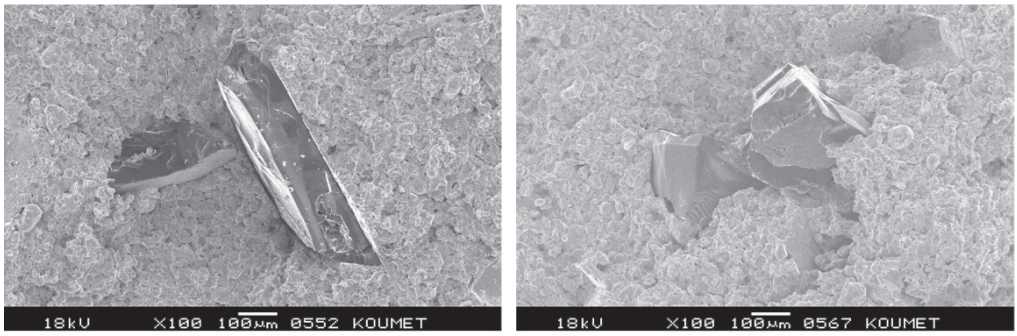


Şekil 5. Ağırlıkça % cBN miktarının eğme mukavemetine etkisi

Şekil 5'de verilen grafik incelendiğinde, cBN katkılı numunelerin eğilme mukavemetlerinin elmas katkılı numuneye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ağırlıkça % 0, 20, 40, 60, 80 ve 100 cBN ilavelerinde sırasıyla eğme mukavemetleri 222 MPa, 305 MPa, 280 MPa, 260 MPa, 294 MPa ve 297 MPa olarak belirlendi. % 100 cBN katkılı numunenin eğilme mukavemetinin, % 100 elmas katkılı numuneye göre yaklaşık % 30 daha büyük olduğu görülmektedir. Genel olarak tüm cBN katkılı numunelerin eğilme mukavemetlerinin % 100 elmas katkılı numuneye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak elmasa nazaran cBN'in 85/15 bronz malzeme ile iyi bir bağ yaptığı söylenebilir.

Şekil 6'daki kırma yüzeylerinin SEM fotoğrafları incelendiğinde matris ile cBN arasındaki arayüzey bağlantısının, matris ile elmas tanesi arayüzey bağlantısından daha kuvvetliği olduğu görülmektedir. Tüm kırık fotoğraflarından matris ile kesici tanecik arasında söz konusu bağlanmanın arzu edilenden daha zayıf olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca kırık yüzeylerde matristeki gözeneklerde dikkat çekmektedir. Bu durum sinterleme sıcaklığının ve presleme basıncının düşük olması ve matrisin elması bu sıcaklıkta ıslatma kabiliyetinin düşük olduğu düşünülmektedir.





(e) (f)

Şekil 6. Üç noktalı eğme testi sonrası oluşan kırık yüzeylerin SEM fotoğrafları: (a) % 0 cBN, (b) % 20 cBN, (c) % 40 cBN, (d) % 60 cBN, (e) % 80 cBN, (f) % 100 cBN

4. GENEL SONUÇLAR

CuSn matrisine farklı oranlarda elmas/cBN ilave edilerek 600 °C sinterleme sıcaklığında, 35 MPa presleme basıncında ve 3 dakika sinterleme süresinde doğal taş kesici soketler üretildi. Soket matrisinin nispeten gözenekli olduğu SEM fotoğraflarından belirlendi. Bu durum sinterleme sıcaklığının düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca soketlerin XRD analizlerine göre mikroyapıda α-Cu, Cu_3Sn, elmas ve cBN fazları oluştu. Üç noktalı eğme testi ile en yüksek eğme mukavemeti değerine % 100 cBN'li soketin sahip olduğu tespit edildi. Bunun sebebi olarak elmasa nazaran cBN'in matris ile iyi bir bağ oluşturduğu düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılması ile ilgili konularda FÜBAP-2020 nolu proje ile maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimine (FÜBAP), teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Brookes, C.A., "The mechanical properties of cubic boron nitride – a perspective view", **Inst Phys Conf. Ser.**, Vol. 75, pp. 207–20, 1986
2. Petrusha, I.A., 2000, "Features of a cBN-to-graphite-like BN phase transformation under pressure, **Diamond and Related Materials**, Vol. 9, pp. 1487-1493, 2000
3. Wentorf, R.H., De Vries, R.C., Bundy, F.P., "Sintered superhard materials", **Science**, Vol. 208, pp. 873–80, 1980
4. Tomlinson, P.N., Wedlake, R.J., "The current status of diamond and cubic boron nitride composites", **Proceedings of the international conference on recent developments in specialty steels and hard materials**, Oxford: Pergamon; pp. 173–84, 1983
5. Brook, B., "Principles of diamond tool technology for sawing rock", **International Journal of Rock mechanics and Mining Sciences**, Vol. 39, pp. 41-58, 2002
6. Çiftçi, İ., Türker, M., Şeker U., "CBN cutting tools wear during machining of particulate reinforced MMCs", **Wear**, Vol. 257, pp. 1041-1046, 2004
7. Pierson, H.O., "Handbook of Refractory Carbides and Nitrides", **William Andrew Pub**., Noyes, 1996
8. Konstanty, J., "Production of Diamond Sawblades for Stone Sawing Applications", **Key Engineering Materials**, Vol. 250, pp. 1-12, 2003
9. Konstanty, J., "Powder Metallurgy Diamond Tools", **Elsevier Ltd, The Metal Powders Technology Series**, pp. 106-107, 2005
10. Karagöz, Ş., Zeren, M., "The microstructural design of diamond cutting tools", **Materials Characterization**, Vol. 47, pp. 89-91, 2001
11. Zeren, M., Karagöz, Ş., "Defect characterization in the diamond cutting tools", **Materials Characterization**, Vol. 57, pp. 111-114, 2006