

**KARBÜR KATKILI MERMER KESİCİ TAKIMLARIN
ÇALIŞMA PERFORMANSINA SİNERGİLEME
PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

Serkan ISLAK

**Doktora Tezi
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Halis ÇELİK
OCAK-2012**

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBÜR KATKILI MERMER KESİCİ TAKIMLARIN
ÇALIŞMA PERFORMANSINA SİNERJİ
PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Serkan ISLAK

(07122201)

Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi

Programı: Mekanik Metalurji

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Halis ÇELİK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11 Ocak 2012

OCAK-2012

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBÜR KATKILI MERMER KESİCİ TAKIMLARIN
ÇALIŞMA PERFORMANSINA SİNERGİ
PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Serkan ISLAK

(07122201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11 Ocak 2012

Tezin Savunulduğu Tarih: 26 Ocak 2012

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Halis ÇELİK (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM (D.P.Ü)

Prof. Dr. Hüseyin TURHAN (F.Ü)

Doç. Dr. Vedat SAVAŞ (F.Ü)

Doç. Dr. Mehmet KAPLAN (F.Ü)

OCAK-2012

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanması esnasında, bana her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen; başta danışman hocam Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Halis ÇELİK’e teşekkürlerimi arz etmeyi bir borç bilirim. Soketlerin üretim aşamasında atelye ve laboratuvarlarını kullandığım ve bilgi ve birikimlerini esirgemeyen Neteks Elmaslı Kesici ve Aşındırıcılar Ltd. Şti. yöneticisi Sayın Bekir ÇANKIRI beye ve çalışanlarına çok teşekkür ederim. Akademik hayatıma özveri ile katkı sağlayan ve her zaman yanımda olan değerli eşim ve canım oğluma şükranlarımı sunarım.

Özellikle bu tezin meydana gelmesinde maddi imkan sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Birimi ve çalışanlarına teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Serkan ISLAK

ELAZIĞ-2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. ELMASLI TAKIMLARIN DİZAYNI VE BİLEŞİMİ.....	5
3.1. Takım Dizaynının Performans Üzerine Etkisi	5
3.2. Metal Matris Seçimi	7
3.2.1. Kobalt Tozları.....	10
3.2.2. Kobalta Alternatif Tozlar.....	12
3.2.3. Diğer Matris Tozları.....	13
3.3. Elmas Seçimi.....	14
3.3.1. Elmas Tipi.....	14
3.3.2. Elmas Tane Boyutu.....	18
3.3.3. Elmas Yoğunluğu.....	19
3.3.4. Kaplanmış Elmas Taneleri.....	20
4. ELMASLI SOKETLERİN ÜRETİMİ.....	22
4.1. Toz Metalurjisi.....	22
4.1.1. Matris Tozların Hazırlanması.....	23
4.1.1.1. Granülizasyon (Tanecikli hale getirme)	23
4.1.1.2. Matris-Elmas Karışımının Hazırlanması.....	23
4.1.1.3. Soğuk Presleme.....	24
4.1.1.4. Sıcak Presleme.....	24
4.1.1.5. Sinterleme.....	27
4.1.1.6. Sıcak İzostatik Presleme (HIP).....	27
4.1.1.7. İnfiltrasyon.....	28
4.1.1.8. Çapakların Temizlenmesi.....	29
4.1.1.9. Kalite Kontrol.....	29
4.1.1.10. Lehimleme ve Lazer Kaynağı.....	29
4.1.1.11. Testerenin Taşlanması.....	31
4.1.1.12. Balansa Alma.....	31
5. MATRİSİN MİKROYAPISI.....	32
5.1. Yüksek Yoğunluk Elde Etmek İçin Yapılan İşlemler.....	32
5.2. Tane Boyutu.....	34
5.3. Toparlanma ve Yeniden Kristalleşme.....	35
5.4. Faz Bileşimi.....	37
6. MATRİSİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	40
6.1. Sertlik.....	41
6.2. Akma Dayanımı.....	42
6.3. Eğme Dayanımı.....	44

6.4. Darbe Dayanımı.....	44
7. MATRİSİN AŞINMA ÖZELLİKLERİ.....	46
7.1. Abrasiv Aşınma Direnci.....	46
7.1.1. İki Elemanlı Abrasiv Aşınma.....	48
7.1.2. Üç Elemanlı Abrasiv Aşınma.....	48
7.2. Elmasın İşlevi.....	49
8. KARBÜRLERİN ÖZELLİKLERİ.....	52
8.1. Bor Karbürün Özellikleri.....	52
8.2. Bor Karbürün Sıcak Preslenmesi.....	53
8.3. Bor Karbürün Kullanım Alanları.....	54
9. DOĞAL TAŞLAR ve İŞLENMESİ.....	55
9.1. Mermer.....	56
10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	58
10.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	58
10.2. Toz Karışımının Hazırlanması.....	60
10.3. Tozların Sıcak Preslenmesi ve Sinterlenmesi.....	61
10.4. Yoğunluk Ölçümü, Sertlik Ölçümü ve Üç Noktalı Eğme Testi.....	64
10.5. Soketlerin Çelik Gövdeye Lehimlenmesi.....	67
10.6. Taşlama İşlemleri.....	68
10.7. Doğaltaş Kesme İşlemleri ve Aşınma Testi.....	69
10.8. Mikroyapı İncelemeleri.....	71
11. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	72
11.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	72
11.2. XRD İncelemeleri.....	75
11.3. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları.....	78
11.4. Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	80
11.5. Üç Noktalı Eğme Test Sonuçları.....	81
11.6. Aşınma Sonuçları.....	87
11.6.1. B ₄ C İçermeyen Kesici Takımların Aşınma Sonuçları.....	88
11.6.2. % 2 B ₄ C Katkılı Kesici Takımların Aşınma Sonuçları.....	91
11.6.3. % 5 B ₄ C Katkılı Kesici Takımların Aşınma Sonuçları.....	93
11.6.4. % 10 B ₄ C Katkılı Kesici Takımların Aşınma Sonuçları.....	94
12. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	96
KAYNAKLAR.....	98
ÖZGEÇMİŞ.....	106

ÖZET

Bu çalışmada, Bronz-B₄C matris bileşimine sahip mermer kesme işlerinde kullanılan elmaslı soketler toz metalurjisi (TM) yöntemiyle üretilmiştir. Ortalama 20 µm tane boyutuna sahip olan bor karbür bronza ağırlıkça % 2, 5 ve 10 oranlarında ilave edilmiştir. Soketlerin üretimi 35 MPa basınç altında 600, 650 ve 700 °C sinterleme sıcaklığında 3 dakika süreyle yapılmıştır. Hazırlanan matris karışımına toplam olarak 30 konsantrasyonunda 30/40 ve 40/50 mesh tane boyutuna sahip sentetik elmas taneleri ilave edilerek mikserde karıştırılmıştır. Bronz-B₄C/elmas karışımı sıcak preste preslenerek elmaslı soket haline dönüştürülmüştür. Üretilen soketler 300 mm çapındaki çelik gövdelere % 40 gümüş bileşimine sahip gümüş lehimle kaynak edilmiştir.

Soket matrislerinin deneysel yoğunlukları ve bağıl yoğunlukları Archimedes prensibine göre tespit edilmiştir. Matrislerin sertlikleri sertlik ölçme cihazı ile 62.5 kg yük altında ve 2.5 mm çaplı bilye kullanılarak brinell olarak ölçülmüştür. Soketlerin eğme mukavemeti üç noktalı eğme testi ile tespit edilmiştir. Bor karbürli soketlerin kesme performansı PLC sistemli mermer kesme makinesinde Ankara andezit taşı kesilerek belirlenmiştir. Aşınma miktarı dijital kumpasla testerelerin çapları ölçülerek belirlenmiştir. Soketlerin mikroyapısı ve kimyasal bileşimi, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışın difraktogramı (XRD) ve X ışını enerji dağılım spektrometresinden (EDS) faydalanılarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda bor karbür tanelerinin bronzun tane sınırlarında yoğunlaştığı, nispeten homojen bir dağılım sergilediği ve bor karbür ilave miktarı arttıkça gözeneklerde artış olduğu ve bu gözenekliliğin sinterleme sıcaklığı arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Matrisin sertlik ölçümleri çalışmasında bor karbür miktarı ve sinterleme sıcaklığı artışı ile sertliklerde artış gözlenmiştir. Soketlerin deneysel yoğunluklarında ve bağıl yoğunluklarında bor karbür ilavesine bağlı olarak düşüş tespit edilmiştir. Sinterleme sıcaklığı artışı ile yoğunluklarda artış olduğu ölçümler sonucunda belirlenmiştir. Soketlerin üç noktalı eğme testi sonucunda bor karbür ilavesinin soketlerin eğme mukavemetlerini düşürdüğü, fakat sinterleme sıcaklığı artışı ile nispeten eğme mukavemeti değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Bor karbür katkılı elmaslı kesici takımlarla andezit taşı kesiminden sonra her bir testerenin aşınma oranı hesaplanmıştır. Bor karbür ilave miktarının ve sinterleme

sıcaklığının artışı ile aşınma oranlarında düşüş tespit edilmiştir. En düşük aşınma oranına % 5 B₄C oranında ve 700 °C sinterleme sıcaklığında ulaşılmıştır. Buna rağmen ağırlıkça % 10 B₄C oranında aşınma oranlarında artış olmuştur. Bu sonuçlar sinterleme parametreleri ile ilişkilendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Elmaslı soket, bor karbür (B₄C), sıcak pres, toz metalurjisi, sinterleme parametreleri

SUMMARY

Effect of Sintering Parameters on Sawing Performance of Marble Cutting Tools with Carbide

In this study, the diamond segments with Bronze-B₄C matrix content used to cut marble were manufactured using powder metallurgy (PM) process. Boron carbide powder with an average grain size of 20 µm powder was added to bronze as 2, 5 and 10 wt. % percents. The production of segments was made under 35 MPa pressure at 600, 650 and 700 °C sintering temperatures with a 3 minutes sintering time. The synthetic diamond grains with grain sizes of the 30/40 and 40/50 mesh with a final concentration of 30 were added to Bronze-B₄C matrix prepared, and then the matrix and diamond were mixed by mixer. The diamond segments were produced by hot pressing of the Bronze-B₄C/diamond mixture. The segments were welded to the steel disc with a diameter of 300 mm using the solder having wt. 40 % silver composition.

The experimental and the relative density measurements were carried out with the Archimedes method. The hardness of matrices was measured using hardness tester with a ball of 2.5 mm diameter under the load of 62.5 kgs. The bending strength of segments was identified by a three-point bending tester. The cutting performance of segments with boron carbide was examined by cutting Ankara andesite stone in a marble cutting machine with PLC system. The amount of the wear was determined by measuring of diameters of saw blades with a digital caliper before and after the cutting process. Microstructure and chemical composition of segments were determined by scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) and X-ray diffraction (XRD) analysis.

The results of the experimental studies show that the boron carbide particles formed in the bronze grain boundaries and it has a partially homogenous distribution. It was determined that the more boron carbide was added, the more pore formed and the porosity was inversely proportional to the sintering temperature. The hardness of the matrix increased with an increasing amount of boron carbide and sintering temperature. The addition of boron carbide decreased the experimental and relative densities of the segments. However, both of the densities increased as the sintering temperature increased. The boron carbide caused the bending strength of the segments to decreased, but the sintering temperatures increased the bending strength of the segments.

The wear rate of each saw blade was calculated after the andesite stone cutting by diamond cutting tools with boron carbide. The wear rate of the segments decreased with increasing amount of boron carbide and sintering temperature. The lowest wear rate was obtained at wt.5 % B₄C rate and 700 °C sintering temperature. Nevertheless, the addition of wt.10 % B₄C rate increased the wear rate. The results were associated with the sintering parameters.

Keywords: Diamond segment, boron carbide (B₄C), hot press, powder metallurgy, sintering parameters

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1.	Endüstride yaygın kullanılan soket türleri.....	5
Şekil 3.2.	Çeşitli soket türleri.....	7
Şekil 3.3.	Soketlerin aşınma profilleri: üniform “geleneksel” soket (solda), sandviç yapılı (ortada) ve çok tabakalı (sağda).....	7
Şekil 3.4.	Kobalt tozları (a) SMS (Umicore); (b) CoC.....	11
Şekil 3.5.	Kobalta alternatif tozlar (a) Cobalite 601, (b) Cobalite CNF, (c) Next 200, (d) Next 900.....	12
Şekil 3.6.	Tozların morfolojisi (a) elektrolitik bakır tozu, (b) gaz ile atomize edilmiş kalay tozu, (c) su ile atomize edilmiş kalay bronz (85/15)...	13
Şekil 3.7.	Doğal elmas taneleri (a) Çok tabakalı yüzey ve (b) oval biçimli yüzey.....	16
Şekil 3.8.	(a) Kobalt esaslı elmas taneciği, (b) Nikel esaslı elmas taneciği.....	16
Şekil 3.9.	Çeşitli sentetik elmas taneciklerinin şematik gösterimi ve nümerik kodları.....	18
Şekil 3.10.	Elmasın matriste oluşturduğu deformasyonun sürtünmeye etkisi: (a) serbest kayma, (b) sınırlı kayma.....	21
Şekil 4.1.	Toz metalurjisi ile elmaslı takımların üretim akış diyagramı.....	22
Şekil 4.2.	Toz kaplı elmasların elmas çıkıntısı yüksekliğine etkisi.....	24
Şekil 4.3.	Sıcak presleme işleminin şematik resmi.....	25
Şekil 4.4.	Sıcak presleme teknolojisinde ısıtma teknikleri.....	26
Şekil 4.5.	Matkap uçlarının üretiminde kullanılan kalıp montajlarının şematik resmi; (a) Düz matkap ucu, (b) TSP (veya TSP hibrit) matkap ucu....	28
Şekil 5.1.	Kobalt tozlarının sinterleme eğrisi.....	32
Şekil 5.2.	Seçilmiş bazı kobalt alternatifi tozların sıcak presleme eğrileri.....	33
Şekil 5.3.	Hidrojen ortamında 1 saat sinterlenmiş soketlerden çıkarılmış elmas taneleri; (a) 850 °C’de sinterlemesi yapılan Cobalite CNF tozundan alınan elmaslarda herhangi bir kimyasal bozulma yok, (b) 1100 °C’de sinterlemesi yapılan Cobalite 601 tozundan alınan elmaslarda meydana gelen bozulma.....	34
Şekil 5.4.	Sökülen elmaların yerlerinde sinterlemeden sonra meydana gelen soğumadan dolayı oluşan mikro çatlaklar.....	34
Şekil 5.5.	Sıcak presleme üretilmiş kalay bronzunun mikroyapısı (a) alaşım, (b) toz karışımı ve (c) XRD grafiği.....	38
Şekil 5.6.	Sıcak preslenmiş Co-Cu-Sn ve Co-Sn alaşımların XRD grafiği.....	39
Şekil 6.1.	Elmas ile matris arasındaki ayrılma.....	40
Şekil 6.2.	Üretim sıcaklığına bağlı olarak sertlik değişimi.....	41
Şekil 6.3.	Kobalt tozları için sertlik-sıcak presleme sıcaklığı ilişkisi.....	42
Şekil 6.4.	Bazı kobalt tozlarının gerilim-uzama eğrisi; (1-3) 950 °C’de 2 dakika sıcak presleme, (IV) hidrojen atmosferinde 950 °C’de 1 saat sinterleme.....	43

Şekil 6.5.	Sıcak preslenmiş kobaltın darbe dayanımı üzerine kükürt ve oksijen içeriğinin etkisi.....	45
Şekil 7.1.	Abrasiv aşınma mekanizmaları.....	47
Şekil 7.2.	Aşınma yüzeyleri (a) elmaslı disk ve (b) elmaslı katarak.....	50
Şekil 8.1.	(a) B-C faz diyagramı ve (b) Bor karbürün kristal yapısı.....	53
Şekil 9.1.	Doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması.....	55
Şekil 10.1.	Soket üretiminde kullanılan tozların ve sentetik elmasın SEM fotoğrafı ve XRD grafikleri; (a) bronz tozu, (b) B ₄ C tozu ve (c) sentetik elmas.....	59
Şekil 10.2.	Toz karıştırma mikseri (Turbula).....	60
Şekil 10.3.	Soğuk preslemenin şematik resmi.....	61
Şekil 10.4.	(a) Grafit kalıplara yerleştirilmesi ve (b) kalıpların sıkıştırılması.....	62
Şekil 10.5.	Grafit kalıbın şematik resmi.....	62
Şekil 10.6.	Kalıbın sıcak prese yerleştirilmesi ve sıcak presleme işlemi.....	63
Şekil 10.7.	Sıcak preste üretilmiş soketler.....	64
Şekil 10.8.	Sinterleme grafiği (Sıcaklık-basınç-süre).....	64
Şekil 10.9.	Yoğunluk ölçümünde kullanılan yoğunluk kitli hassas terazi (AND GR-200)	65
Şekil 10.10.	Üç noktalı eğme testi düzeneği.....	66
Şekil 10.11.	(a) Soketlerin çelik gövdeye lehimlenmesi ve (b) lehimlenmiş soketin detay görünümü.....	67
Şekil 10.12.	Tamamlanmış elmaslı testereler.....	68
Şekil 10.13.	Taşlama işlemi (a) yanak ve (b) alın.....	68
Şekil 10.14.	(a) Doğal taş kesme makinesi, (b) kesme işlemi.....	69
Şekil 10.15.	Kesilen andezit taşının görünümü.....	71
Şekil 11.1.	Cu-Sn ikili faz diyagramı.....	72
Şekil 11.2.	Farklı sıcaklıklarda sinterlenen CuSn (B ₄ C ilavesiz) matrisinin SEM fotoğrafı, (a) 600 °C ve (b) 700 °C.....	73
Şekil 11.3.	Farklı sıcaklıklarda sinterlenen CuSn-% 2 B ₄ C matrisinin SEM fotoğrafı ve EDS analizi, (a) 600 °C ve (b) 700 °C.....	74
Şekil 11.4.	Farklı sıcaklıklarda sinterlenen CuSn-% 5 B ₄ C matrisinin SEM fotoğrafı ve EDS analizi, (a) 600 °C ve (b) 700 °C.....	74
Şekil 11.5.	Farklı sıcaklıklarda sinterlenen CuSn-% 10 B ₄ C matrisinin SEM fotoğrafı ve EDS analizi, (a) 600 °C ve (b) 700 °C.....	75
Şekil 11.6.	CuSn matrisli soketlerin XRD grafiği.....	76
Şekil 11.7.	% 2 bor karbür katkılı matrisli XRD grafiği.....	76
Şekil 11.8.	% 5 bor karbür katkılı matrisli XRD grafiği.....	77
Şekil 11.9.	% 10 bor karbür katkılı matrisli XRD grafiği.....	77
Şekil 11.10.	Soketlerin sıcaklık-yoğunluk grafiği.....	78
Şekil 11.11.	Sinterleme sıcaklığının bağıl yoğunluklara etkisi.....	80
Şekil 11.12.	Sinterleme sıcaklığının sertliğe etkisi.....	81
Şekil 11.13.	B ₄ C katkılı soketlerde sinterleme parametrelerinin eğme mukavemetine etkisi.....	82
Şekil 11.14.	600 °C’de sinterlenmiş bronz matrisli elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı: (a) matris ve (b) matris-elmas ara yüzeyi... ..	83
Şekil 11.15.	700 °C’de sinterlenmiş bronz matrisli elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı.....	83
Şekil 11.16.	600 °C’de sinterlenmiş % 2 B ₄ C katkılı elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafları: (a) matris ve (b) matris-elmas.....	84

Şekil 11.17.	700 °C’de sinterlenmiş % 2 B ₄ C katkılı elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafları: (a) matris ve (b) matris-elmas.....	85
Şekil 11.18.	600 °C’de sinterlenmiş % 5 B ₄ C katkılı elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafları: (a) matris ve (b) matris-elmas.....	86
Şekil 11.19.	700 °C’de sinterlenmiş % 5 B ₄ C katkılı elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafları: (a) matris ve (b) matris-elmas.....	86
Şekil 11.20.	700 °C’de sinterlenmiş % 10 B ₄ C katkılı elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafları: (a) matris ve (b) matris-elmas.....	87
Şekil 11.21.	Bor karbür katkısının ve sinterleme sıcaklığının aşınma oranına etkisi	88
Şekil 11.22.	CuSn matrisli elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyi: (a) 600 °C’de sinterlenmiş ve (b) 700 °C’de sinterlenmiş.....	89
Şekil 11.23.	(a) CuSn matrisli kesici takımda yeni çıkan elmas tanecikleri ve (b) körelmiş elmas taneciğinin aşınmış takım yüzeyindeki görünümü.....	90
Şekil 11.24.	Kesme işlevini gören ideal elmas çıkıntısı.....	90
Şekil 11.25.	600 °C’de sinterlenmiş % 2 B ₄ C katkılı elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: genel soket görünümü ve (b) matris-elmas ara yüzeyi.....	92
Şekil 11.26.	700 °C’de sinterlenmiş % 2 B ₄ C katkılı elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: (a) genel soket görünümü, (b) mikro-kırılma ve bor karbür tanelerinin konumu.....	92
Şekil 11.27.	600 °C’de sinterlenmiş % 5 B ₄ C elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: (a) genel soket görünümü, (b) elmas körelmesi ve yeni elmasların çıkması.....	93
Şekil 11.28.	700 °C’de sinterlenmiş % 5 B ₄ C elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: (a) genel soket görünümü ve (b) kuvvetli matris-elmas bağı.....	94
Şekil 11.29.	600 °C’de sinterlenmiş % 10 B ₄ C katkılı elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: (a) genel soket görünümü, (b) elmas tanelerinin düşmesi ve bor karbür segregasyonu.....	95
Şekil 11.30.	700 °C’de sinterlenmiş % 10 B ₄ C katkılı elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: (a) genel soket görünümü, (b) matris-elmas ara yüzeyi.....	95

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Soket üretiminde sınırlamalar.....	9
Tablo 3.2. Kobalt tozları ve özellikleri.....	11
Tablo 3.3. Kobalta alternatif tozların kimyasal bileşimi ve tane boyutları.....	12
Tablo 3.4. Ticari olarak kullanılan elmas tane boyutları ve kullanım alanları.....	19
Tablo 3.5. Aşınan soketin bir cm ² alanındaki yüzeye çıkmış elmasların toplam sayısı.....	20
Tablo 4.1. Dairesel testerelerde lazer kaynağı ve lehimlemenin karşılaştırılması	30
Tablo 7.1. Elmaslı kesici takımların aşınmasını etkileyen faktörler.....	51
Tablo 8.1. Bor karbür (B ₄ C)'ün genel özellikleri.....	52
Tablo 10.1. Soket üretiminde kullanılan alaşım grupları ve üretim parametreleri..	58
Tablo 10.2. Lehim telinin özellikleri.....	67
Tablo 10.3. Doğal taş kesme parametreleri.....	69
Tablo 10.4. Ankara andezitinin kimyasal bileşimi.....	70
Tablo 10.5. Ankara andezitinin mekanik ve fiziksel özellikleri.....	70
Tablo 11.1. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen bor karbür katkılı ve katkısız soketlerin teorik ve deneysel yoğunlukları.....	78
Tablo 11.2. Bor karbür katkısının ve sinterleme sıcaklığının soketlerin aşınma oranına etkisi.....	88

1. GİRİŞ

Doğal taşları kesmek üzere ilk elmaslı kesici takımlar 1885 yılında Fransa’da Felix Fromhold tarafından geliştirilmiştir. On üç yıl sonra geniş çaplı elmaslı kesici testereler Euville’deki taş ocaklarında kullanılmıştır. Aynı yıllarda ilk defa Brezilya türü siyah elmasların kullanıldığı kesici takımlar geliştirilmiştir. Siyah elmaslı kesici takımlar 1900 lü yıllarda Paris’te büyük binaların yapımı esnasında kireç taşı ve mermer kesmek için kullanılmıştır (Konstanty, 2005).

Metal matrisli aşındırıcı takımlar konusunda patent bazında ilk büyük ilerleme 1927 ile 1931 yılları arasında Amerika ve İngiltere’de olmuştur. 1920’li yıllarda Gauthier’e göre tozları karıştırarak takım üretmede tek yöntem soğuk presleme yöntemi idi. Oysa Neven (1931), sıcak presleme ile üretimin ilk fikrini ortaya atmıştır. Kullanılan ilk metal toz ise elektrolitik demirdir (Konstanty, 2005).

Metal bir matris içinde kuvars veya zımpara gibi ticari aşındırıcıları birleştirerek üretilen abrasiv malzemelerin üretiminden yola çıkarak metal tozların bağlanması yoluyla elmasın bağlanması fikri 1883 yılında Gay tarafından ortaya atılmıştır. Gay, matrisi şekillendirmek amacıyla, sıcak presleme veya infiltrasyon gibi toz metalurjisi tekniklerini kullanarak iyi sonuçlar elde edileceğini savunmuştur ve bunun için de pirinç, demir ve çelik tozların kullanılabileceğini savunmuştur. Takım üretimindeki ilerlemeler toz metalurjisinin gelişmesiyle 1940’lı yıllarda elmas tanecikleri ile takviye edilmiş testerelerin doğal taş kesimi uygulamalarında kullanılmasını sağlamıştır (Lundblad, 1990).

Son 50 yıldan fazla bir zaman diliminde takım üretim teknolojisinde çok hızlı gelişmeler sentetik elmasın icadına büyük katkıda bulunmuştur. ASEA’daki araştırma grubunun olumlu ve tekrarlanabilen sonuçların elde edildiği 1953 yılına kadar yapılan çalışmalar sonuçsuz kalmıştır. ASEA’nın çalışmalarından habersiz olan General Elektrik (GE) firması 1955 yılında endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere sentetik elmas üretimine başlamış ve ilk patent başvurusunu yapmıştır (Tillmann, 1999).

Endüstriyel alandaki elmas tüketimin % 95’inden daha fazla miktarı sentetik elmaslar oluşturmaktadır. Elmaslı takımları konu alan modern üretim teknikleri elmasın değişik alanlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Bu teknikler taş ve konstrüksiyon endüstrisi, yol onarımı, petrol sondaj çalışmaları, ağaç işleme, donmuş gıdaları kesme,

cam, seramik, metal, plastik ve kauçuktan yapılmış bir çok parçanın üretim teknikleri ve mekanizmasında köklü değişime yol açmıştır (Konstanty, 2005).

Günümüzde elmaslı takımların piyasası hızlı bir şekilde ilerlemektedir. En son rakamlar elmaslı abrasivlere olan talebin hızla arttığını göstermektedir. 2000’de bu rakam 1 milyar karat, 1990 yılında 380 milyon karat ve 1980 yılında ise 100 milyon karattır. Elmaslı takımlar üzerine bu eğilim onların hem yüzey işlemlerinde ve granit, mermer, traverten gibi taşların kesilmesinde kullanılarak çeşitlilik sağlanmasına yol açmaktadır. Bu günlerde elmasın fiyat/performans oranı bakımından silisyum karbür ve alüminyum oksit gibi geleneksel abrasivlerle rekabet içinde olması onun fiyatında düşüş meydana getirmektedir (Konstanty, 2005).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür araştırması açısından bakıldığında dünya genelinde birçok çalışma yapıldığı, ancak ülkemizde bu konu üzerinde yapılan çok az sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmaların birçoğu da teorik ağırlıklı olup mermer kesici takımların geliştirilmesi için yeterli düzeyde değildir.

Bunlardan Xu ve arkadaşları (2007), Cu, Sn, Fe ve Ni matris tozları ve titanyum kaplı 35/40 US mesh tane boyutuna sahip sentetik elmasları kullanarak sıcak presleme yöntemi ile elmaslı kesici takım üretmişlerdir. Yapılan çalışmada Ti kaplı elmaslı numunelerde sertlik, üç noktalı eğme ve aşınma testleri olumlu sonuç verirken kaplamasız numunelerde ise kırılan elmas partiküllerinin fazlalığından daha fazla güç tüketimi meydana gelmiştir (Xu vd., 2007).

Dwan ve Balake (2008), farklı matris bileşimine, farklı konsantrasyon ve tane boyutuna sahip elmasları kullanarak sıcak preste elmaslı kesici soket üretmişler ve erozif aşınmasını araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda elmas konsantrasyonu düşük olan numunelerin daha fazla erozif aşınmaya maruz kaldığı, tane boyutu arttıkça erozif aşınmanın da arttığı tespit edilmiştir (Dwan ve Blake, 2008).

Zak-Szwed ve arkadaşları (2008), Fe-Cu ve Fe-Cu-Sn-Sm₂O₃ matris tozlarını kullanarak mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine sinterleme sıcaklığının etkisini araştırmışlardır. Bu matrislerin mükemmel sertlik ve akma dayanımına sahip oldukları ve elmaslı kesici takım matrisi olarak uygun oldukları sonucuna varılmıştır (Zak-Szwed vd., 2008).

Dwan (2003), elmaslı soketlerde elmas konsantrasyonunun, tane boyutunun ve sinterleme sıcaklığının darbe tokluğu üzerine etkisini araştırmıştır. Sentetik elmasın tane boyutu arttıkça, konsantrasyonu azaldıkça ve sinterleme sıcaklığı düştükçe darbe tokluğunun azaldığı sonucuna ulaşılmıştır (Dwan, 2003).

Ersoy ve Atıcı (1999), tarafından yapılan çalışmada mermer kesicilerin aşınma mekanizmaları teorik incelenmiştir. Mermer kesici takımların aşınmasında birinci derecede abrasiv aşınmanın etkili olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmada ayrıca, kesici takımların tasarım ve çalışma parametreleri, doğal taş tipine göre optimize edilirse; kesici ömrünün uzayacağına ve mermer üretim maliyetlerinin düşeceğine dikkat çekmişlerdir.

Karagöz ve Zeren (2001), Co, Ni ve CuSn tozlarından oluşan matris bileşimini sabit tutarak sinterleme koşullarının elmaslı testerelerin aşınma davranışı üzerine etkisini araştırmışlardır. Presleme basıncı 35 MPa ve sinterleme sıcaklığı 730 °C olarak sabitlenmiş olup sinterleme süresi değiştirilmiştir. Sinterleme süresinin matrisin aşınma davranışı üzerine etkisi belirlenmiştir. Bu doğrultuda doğal taş kesme koşullarında yapılan aşınma testlerinde etken aşınma mekanizmaları saptanarak malzemenin aşınma karakteristiği ortaya konulmuştur. Ayrıca matriste yer alan oksit filmi, parafin ve diğer kalıntıların zayıf bir elmas-matris ara yüzey bağına sebep oldukları ve bunun sonucunda kesici takımın performansında azalma meydana geldiği sonucuna varılmıştır (Karagöz ve Zeren, 2001).

Nitkiewicz ve Swierzy (2005), elmaslı kesici takımlarda kalayın kesme performansı üzerine etkisini incelemişlerdir. Belirli miktarda kalay ilavesinin elmaslı kesici takımın kesme performansına olumlu etki yaptığı gözlenmiş ve demirli matrislerle farklı takımlarda da kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Nitkiewicz ve Swierzy, 2005).

Bolatashvili (2008), yaptığı çalışmada farklı bağlayıcıların kesme performansı üzerine etkisini araştırmıştır. En iyi sonuçlar Cu-Sn bağlayıcılarında elde edilmiştir (Bolatashvili, 2008).

Spriano ve arkadaşları (2005), matris olarak Ti-Co-Ni ve Ti-Al-Ni toz alaşımlarını kullanıp; bunların mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Ti-Al-Ni alaışımının iyi bir dayanım ve özellik kombinasyonu sergilediği gözlenmiştir (Spriano vd., 2005).

Oliveira ve arkadaşları (2007), matris olarak Fe-Cu tozlarını ve takviye olarak da SiC-elmas kombinasyonunu kullanmışlardır. Fe-Cu matrisinin elmaslı kesici takımlar için uygun olduğu ve SiC'ün aşınmayı iyileştirdiği tespit edilmiştir (Oliveira vd., 2007).

Çelik (2009), elmaslı kesici soketler için Fe-Cu-Ni-Mo esaslı matrislerin üretilebilirliği üzerinde çalışmıştır. Yapılan çalışmada sinterleme sıcaklığı olarak 750-800-850 °C, basınç olarak 35 MPa ve süre olarak ise 4 dakika seçilmiştir. Üretim parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Sinterleme sıcaklığının artmasıyla sertliğin düştüğü, yoğunluğun ise arttığı tespit edilmiştir. Yine sinterleme sıcaklığı artışıyla matris bileşimine bağlı olarak eğme dayanımlarının değişim gösterdiği deneysel olarak belirlenmiştir (Çelik, 2009).

Barbosa ve arkadaşları (2010), Fe-Cu-Co matrisli elmaslı kesici takımları üretmişlerdir. En uygun matris bileşiminin Fe-% 60 Cu-%20 Co olduğunu yapılan üç noktalı eğme ve aşınma testleriyle göstermişlerdir (Barbosa vd., 2010).

3. ELMASLI TAKIMLARIN DİZAYNI VE BİLEŞİMİ

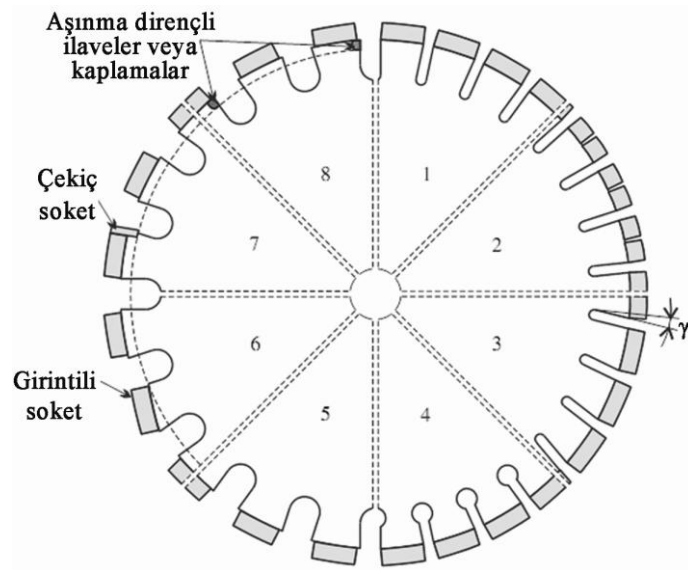
Elmaslı takımların dizaynı ve bileşimi, takımın ömrü, maliyeti, kalitesi, işin hassasiyeti ve yüzeyin son işlemleri açısından son derece önemlidir.

3.1. Takım Dizaynının Performans Üzerine Etkisi

Günümüzde üretilen elmaslı kesici takımlarda takım dizaynı önemlidir. Soketlerin uygun geometrisinin ve düzeninin seçimi, kesme kalitesi, işlem gürültüsü, abrasiv aşınma ve çelik göbeğin yorulma ömrü bakımından mükemmel takım performansını verir. Ayrıca kesme esnasında soğutucunun kesme bölgesine akışını kolaylaştırır ve abrasiv etkiyi azaltır.

Endüstride en çok kullanılan soketlerden birkaç tanesi Şekil 3.1’de görülmektedir. Sert malzemeleri kesmek amacıyla Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi dar kanallı olan 1 nolu soketler kullanılmaktadır.

Soketlerin çift şekilli üretilip fakat kısa boyda olduğu 2 nolu sokette abrasiv tanelerin daha kısa mesafeli tutulması sağlanır. Çünkü soketin temas etme mesafesi aralıklı olarak devam eder.



Şekil 3.1. Endüstride yaygın kullanılan soket türleri

3 nolu tipteki sokette tırmık şeklinde bir tasarım söz konusudur. 4 nolu da ise 3 nolu ile aynı olup çelik gövdeye anahtar deliği şeklinde kanallar açılmıştır. Bu şekildeki tasarım çelik gövdede meydana gelebilecek yorulma çatlaklarını önleyici bir unsur oluşturmaktadır (Collin, 1977; Konstanty, 2005).

Çelik gövdenin yorulma ömrü büyük çaplı testerelede ağır çalışma koşulları altında kritik bir faktör olmaktadır. İlk olarak sert taşın yüksek kesme oranlarında kesilmesinde testereye büyük kuvvetler uygulanır. Bu kuvvetler de direkt olarak çelik gövdeye iletilir. İkinci olarak büyük çaplı gövdeler çok pahalıdır. Bunun önüne geçmek için ise yorulma ömrünü arttırmamız gerekir. Bu da 5 nolu sokette görüldüğü gibi geniş kanallı dizayn ile mümkün olur.

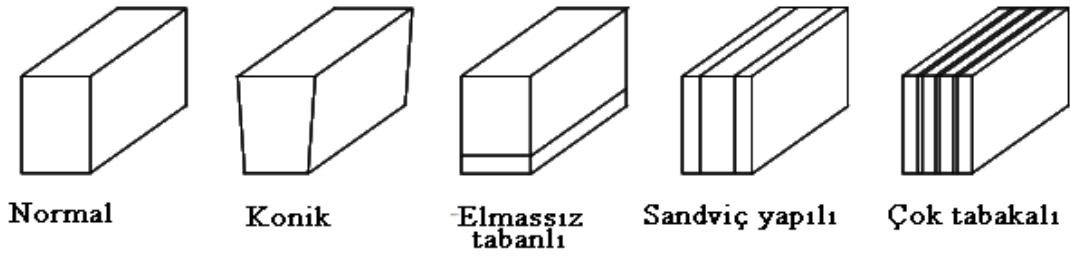
Geniş aralıklı kanallardan talaşın akması da kolay olur. Yani çok abrasiv etkiye sahip malzemelerde kullanımı uygundur. Doğal taş ile soket arasında abrasiv taneciklerin varlığı soketlerin hızlı bir şekilde aşınmasına ve kullanım ömründen önce bitmesine sebep olur. Bunu önlemek için çelik gövdenin dış kenarına aşınmaya karşı korumalı soketler monte edilir. 6 ve 7 nolu soketler buna örnektir. Ayrıca 8 nolu kaplanmış soketlerle de bu durum önlenabilir (Wöll, 1984; Konstanty, 2005).

Endüstriyel uygulamalarda çeşitli soket türleri vardır. Üniform ve basit şekilli olanların üretimi ucuz olmasına rağmen, endüstride daha karmaşık yapıli soketler tercih edilmektedir (Dietel, 2002; Reinhardt, 2003). Şekil 3.2’de çeşitli soket türleri verilmiştir.

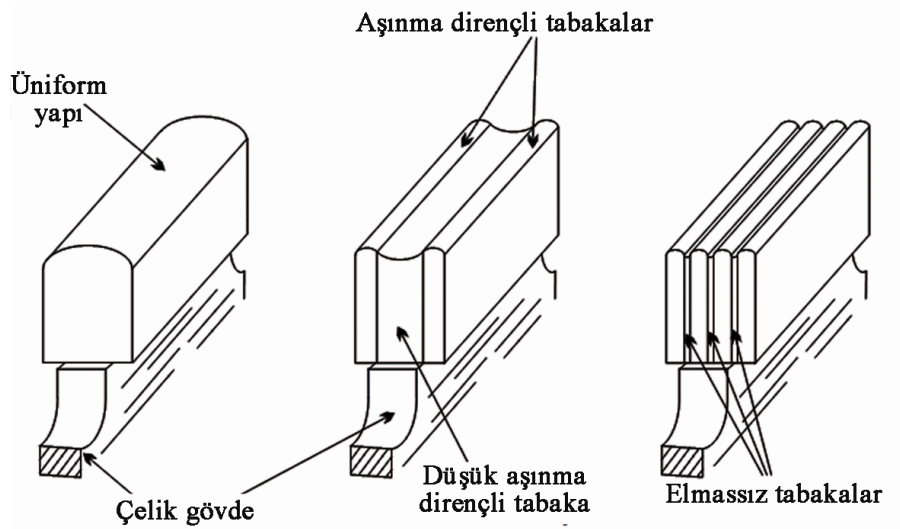
Konik biçimli soketler, doğal taşı kesme esnasında taş ile yan sürtünmeyi azalttığından güç tüketimini düşürür. Bu durum konik biçimli soketlerin en büyük avantajıdır.

Elmassız tabanlı soketlerin kullanılmasının iki temel nedeni vardır. Birincisi, elmaslı soketler bitinceye kadar kullanılmadığı için alt kısmın elmassız olması daha ekonomik olur. İkinci sebep ise soketin elmaslı kısmı gövdeye zor kaynak edildiği için elmassız tabanlar kaynak edilebilme kolaylığı sağlar.

Sandviç yapıli sokette ise dış tabakaların aşınma davranışları ara tabakadan farklıdır. Dış tabakalar aşınmaya karşı daha dirençli olurken ara tabaka daha az dirençlidir. Çok tabakalı soketlerde de bir elmaslı bir elmassız tabaka mevcuttur. Elmassız tabaka ince bir katman şeklinde tasarlanır. Her iki soket türü de geleneksel soketlere göre daha üstün özelliklere sahiptirler. Şekil 3.3’de üniform yapıli, sandviç yapıli ve çok tabakalı soketlerin aşınma profilleri verilmiştir.



Şekil 3.2. Çeşitli soket türleri



Şekil 3.3. Soketlerin aşınma profilleri: üniform “geleneksel” soket (solda), sandviç yapılı (ortada) ve çok tabakalı (sağda)

3.2. Metal Matris Seçimi

Elmaslı kesici takımlarda soket üretiminde kullanılan metal matrislerin iki temel fonksiyonu vardır. Birincisi elması sıkıca tutmak, ikincisi ise elmas kaybı ile uyumlu bir oranda optimum olarak aşınmaktır. Bu ilişkiyi en üst düzeye getiren teknikler matris-elmas ara yüzeyinde atomik bağlanma, mekanik dayanıklılık ve aşınma hızının kontrolünü kapsar. Elmas taneleri 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. Çok yumuşak bir matris hızlı aşınır ve elmasın yuvasından zamanından önce düşmesine neden olabilir. Diğer yandan aşırı aşınma direncine sahip matrisler ise elmasın

kırılıp körelmesine neden olurlar. Bu durum soketin yüzeyinin parlamasına sebep olur. Bu olay genellikle cilalama olarak bilinir (Çelik, 2009).

Sert yapılı bir doğal taş işlendiği zaman, ince toz halinde çok az bir aşınma ürünü (tortu) oluşur. Böyle koşullarda matrisin aşınması yavaştır. Diğer taraftan yumuşak ve kumlu doğal taş işlendiği takdirde aşınma ürünü olarak kaba taneli tortu oluşur. Bu da matrisin hızlı bir şekilde aşınmasına sebep olur. Aynı zamanda taş kesiminde işlem koşulları da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin katrakla kesim esnasında oluşan taş parçacıklarının taşınması katrak lamasının ileri geri hareketiyle engellenir. Bu yüzden, taş parçacıklarının atılma koşullarının iyileşmesi durumunda dönen katraktaki matris testereye göre daha fazla aşınır.

Matrisin ikinci fonksiyonu mümkün olduğunca uzun bir süre elması tutabilmesidir. Elmasın tutulması mekaniksel veya mekaniksel/kimyasal bir durumdur. Matrisin akma sınırı aşıldığı zaman elmas ile matris arasındaki bağlar kırılacağı için akma dayanımı matrisin elması tutma yeteneğini belirlemede önemli bir özelliktir. Bununla birlikte, elmasın kopma kuvveti, sadece elmasın etrafında oluşan elastik deformasyonun bir derecesi değil, aynı zamanda gerilim yoğunluğunu yükselten elmasın şekli ile ilgili bir durumdur. Bu yüzden malzemenin çentik hassasiyeti ve sünekliği önemli parametrelerdir (de Châlus, 1994; Konstanty, 1999; Konstanty, 2005).

Matrisler elması genel olarak mekaniksel olarak tutmasına rağmen, kimyasal bağlanmayı destekleyerek elmasların tutunmasını iyileştirici çalışmalar yoğun bir biçimde yapılmaktadır. Bu durum karbür oluşturan elementleri içeren alaşımlar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu alaşımların bazıları elmas taneciklerini ıslatmak ve çevresini sararak tutunmasını kuvvetlendirmek amacıyla sıcak presleme sıcaklığında ergimelidir. Dolayısıyla elmas tanelerinin yüzeyinde karbürler çekirdeklenir ve sürekli bir ara yüzey tabakası oluşturmak için reaktif elementlerin yoğunluğunda artış olur. Belirli bir noktadan sonra ara yüzeyin dayanımındaki artış durur ve gözeneklerin gelişmesinden dolayı karbür tabakası kalınlığına bağlı olarak zayıflar. Ayrıca çok kalın karbür tabakalarının oluşması keskin köşeli elmas yüzeylerinin bile körelmesine sebep olur. Karbür yapıcılarının optimum konsantrasyonu ıslatmayı meydana getirecek miktardan daha az olduğundan dolayı, matris malzemesi olarak çok güçlü bağlayıcı alaşımların kullanılmasında teknik problemler ortaya çıkar. Bu problemlerin üstesinden gelmek için birçok çalışmada krom ve tungsten içerikli tozlar kullanılmıştır. Fakat endüstriyel ölçekte bu teknik, uygulanamaz olarak gözükmektedir. Takım performansındaki artış, ilave toz işlemleri ve grafit kalıbın

korunması gerekliliğinden dolayı yeterli seviyede olamamaktadır. Grafit kalıp işlem esnasında ilave alaşım tozları ile reaksiyona girerek soketlerin çıkarılması esnasında parçalanmalar olur. Ayrıca karbür yapıcı elementler matrisin sünekliğini azaltır. Örneğin, kobalt esaslı matristeki aşırı krom varlığı Kirkendall etkisi ve σ gibi istenmeyen gevrek fazların varlığından dolayı önemli derecede gözenek miktarına sebep olur. Yukarıdaki problemlerden dolayı, kimyasal olarak reaktif matrislerden ziyade metal ile kaplı elmasların kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Akyüz ve Hofmann, 1998; Levin ve Gutmanas, 1990).

Elmaslı kesici takımlardaki elmas tanelerinin özellikleri büyük oranda sinterleme sıcaklığına ve matrisin kimyasal bileşimine bağlıdır. Sentetik elmaslar 800 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda dayanımını kaybetmeye başlarlar. Metalik inklüzyonların (kalıntıların) varlığından dolayı 1000 °C'nin üstünde bu dayanım kaybı daha hızlı olur. Bu yüzden metal tozlarının bu değerin üstündeki sıcaklıklarda sıcak preslenmesi gerektiği zaman, elmas tanesinin ısı özellikleri dikkate alınmalıdır. Dayanımdaki azalmaya ilave olarak, yüzey grafitleşmesi hem sentetik hem de doğal elmas tanelerinde meydana gelir. Bu işlem yaklaşık 700 °C'de başlar. Grafit dönüşen elmas miktarının açık bir şekilde azalması gerekir. Aksi takdirde takımın ömrü azalır. Bu, özellikle ince elmas tanelerinin kullanımının arzulandığı uygulamalar için önemlidir. Genellikle, daha ince elmas tanesi için yüksek sıcaklık ve uzun süreler gereklidir. Buda grafitleşmenin derecesinin daha büyük olmasına yol açar. Demir, kobalt ve nikel gibi metaller yüksek derecede karbonu çözme yeteneği gösterdiğinden, elmasın yüzeyini etkiler ve elmasın kullanılmadan kaybına neden olurlar. Bunların dışında işlem sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, sıcak pres sarf malzemeleri tüketimi de o denli fazla olur. Bu da işlemin ekonomikliğini azaltır. Bu nedenle matris tozları karışımı, sıcak presleme işleminde elde edilecek yaklaşık yoğunluğa göre sınıflandırılır. Bu tür sınıflandırma soket üretimi imalat şekline göre Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Soket üretiminde sınırlamalar

Sinterleme sıcaklığı (°C)	Elmasın bozulma derecesi		Sıcak pres sarf malzemelerinin tüketimi
	Tane tipi: Dağılımı düşük sentetik	Elmas tipi: dağılım yüksek sentetik	
<900	Düşük	Düşük	Düşük
900–1000	Orta	Düşük	Orta ¹
1000–1100	Yüksek	Düşük-orta	Yüksek ¹

¹ Vakum yada koruyucu gaz atmosferi grafit tüketimini azaltır.

3.2.1. Kobalt tozları

Kobalt ve kobalt esaslı alaşımlar uzun ömürlü takımlar üretmek için elmaslı kesici takımlarda matris olarak kullanılmaktadır. Diğer metallere farklı olarak, kobalt tozu;

- Tane boyutu, boyut dağılımı, tane biçimi ve kimyasal saflık bakımından çeşitlilik göstermektedir.
- Düşük basınç ve düşük sinterleme sıcaklığı koşulları altında yüksek yoğunluklu soketler üretilir.

Sıcak presleme koşullarında ise kobalt;

- Yüksek akma dayanımı ve tokluğundan dolayı elması mükemmel tutma özelliği gösterir.
- Farklı tozların ilavesiyle abrasiv aşınmaya karşı direnç iyileşmiş olur.

Yapılan deney sonuçları, sıcak presleme parametrelerinin preslenmiş kobaltın, mikroyapısını, faz bileşimini, sertliğini, mekanik dayanımını, süneklik ve aşınma direnci özelliklerini değiştirdiğini göstermektedir. Toz partikülün seçiminde önemli faktörler, partikül boyutu ve kirleticilerin tipi ve içeriğidir (Konstanty ve Bunsch, 1991; Konstanty, 1997; Konstanty, 2003).

Partikül boyutu, sıcak pres sarf malzemelerinin aşırı tüketimine sebep olan 1000 °C aşıldığı zaman, elmasının bozulma derecesini belirleyen yoğunlaşma sıcaklığını etkiler (Tablo 3.1). Koruyucu atmosfer ünitesi olmayan sıcak pres sistemleriyle kesici takım üretiminde kayıpların kontrolsüzlüğünden ve fazlalığından dolayı bu şekildeki sistemler ekonomik değildir.

Ortalama olarak 30-35 MPa basınç altında, Tablo 3.2’de listelenmiş kobalt tozlarının çoğu 700-900 °C arasındaki sıcaklıklarda 2-3 dakika sinterlenirse % 100’e yakın bir bağıl yoğunluğa ulaşılabilir. Kural olarak, toz boyutu arttıkça, oluşan gözenekleri gidermek zorlaşır. En kaba tane boyutunda gözenek miktarı % 4-5 civarındadır. 1000 °C’de yapılan sinterleme işlemiyle bu azaltılsa bile kesici takımın mekanik özelliklerinde bir düşüş meydana gelir. Pratikte, takım yapımında 3 µm den daha kaba kobalt tozları, yoğunlaşmayı kolaylaştıran ve daha az abrasiv malzemelerin işlenmesine imkân sağlayan

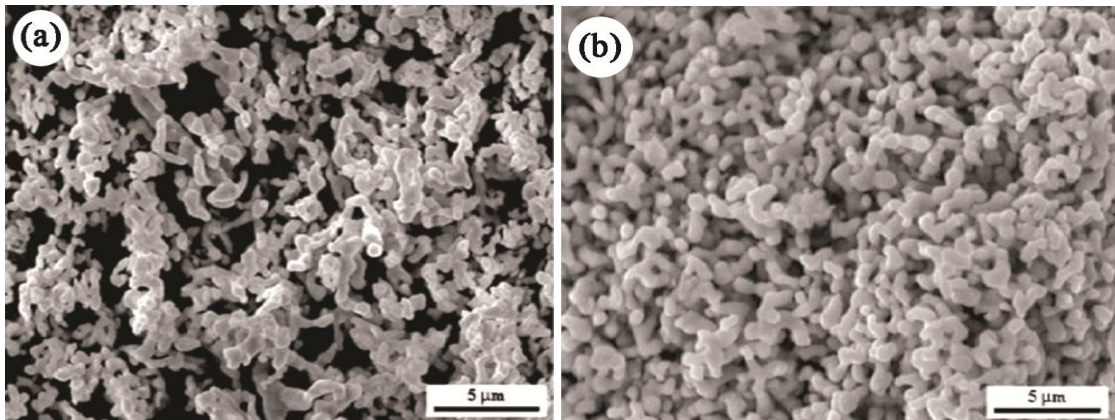
bronz tozları ile karıştırılarak elmaslı kesici takımlar için uygun matris olarak kullanılmaktadır.

Kobalt tozlarının çoğu kimyasal metotlarla üretilmektedir. Tozun kimyasal, fiziksel ve teknolojik özellikleri, hammaddenin saflığı türü ve üretim yöntemine bağlıdır. Oksijen, kükürt, magnezyum, kalsiyum ve sodyum gibi impüriteler hem üretim koşullarını hem de üretimden sonraki nihai ürünü olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 3.4’de bazı kobalt esaslı matris tozlarının SEM fotoğrafları verilmiştir.

Tablo 3.2. Kobalt tozları ve özellikleri

Matris	Boyut (μm)	İmpüriteler ¹ (ppm)	Üretici
SMS	~0.9	—	Umicore
Ultrafine	~0.9	Ag-940, S-45	
Extrafine	~1.4	—	
400 mesh	~4.5	Ca-290, Si-215, S-100	
CoUF	~0.9	Mg-250, Na-170, S-140	Eurotungstene
CoF	~1.25	n/a	
CoFS	~1.4	n/a	
CoC	~1.6	n/a	
CoD	~1.8	n/a	
CoH	~3.5	n/a	
Submicron	~0.8	—	OMG
Extrafine	~1.5	—	
400 mesh	~4	—	
Ultrafine	0.85–1.1	Mg-300, Na-130, Ca-100, Si-60	Sandvik
Extrafine	1.15–1.5	Mg-200, Na-160, Ca-150, Si-60	

¹ Oksijensiz ortalama değerler



Şekil 3.4. Kobalt tozları (a) SMS (Umicore); (b) CoC (Eurotungstene) (Konstanty, 2005).

3.2.2. Kobalta Alternatif Tozlar

1990'lı yıllarda kobalt fiyatlarındaki istikrarsızlık ve Afrika'daki kobalt kaynaklarının belirsizliğinden dolayı kobalta alternatif malzemelerin araştırılması önem kazanmıştır.

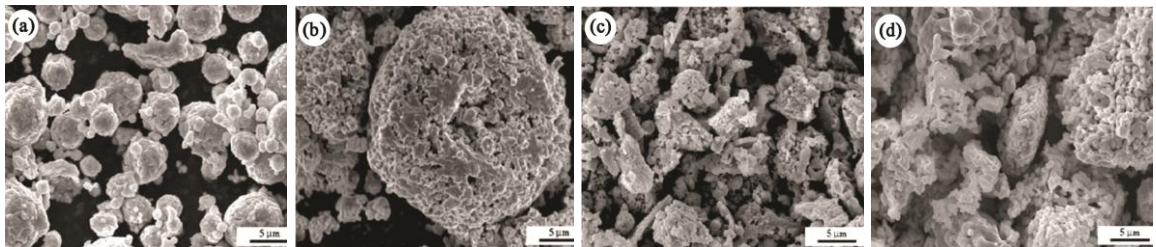
Endüstrinin bu belirsizlik en az iki bileşenden oluşan az miktarda kobalt içeren veya hiç kobalt içermeyen tozların geliştirilmesine sebep olmuştur. Günümüzde hala kobalta alternatif malzemelerin geliştirilmesi çabaları devam etmektedir (Çelik, 2009).

Kobalta alternatif olarak kullanılan tozların kimyasal bileşim ve tane boyutu Tablo 3.3'de verilmiştir. Cobalit ve Next toz grubunun morfolojisi Şekil 3.5'de görülmektedir.

Tablo 3.3. Kobalta alternatif tozların kimyasal bileşimi ve tane boyutları

Matris dizaynı	Kimyasal bileşim ¹ (%)				Tane boyutu (µm)	Üretici
	Fe	Cu	Co	Diğer		
Cobalite 601	70	20	10	-	~ 4.9	Umicore
Cobalite HDR	66	7	27	-	6-7	Umicore
Cobalite CNF	68.4	26	-	Sn-3, W-2, Y ₂ O ₃ -0.6	~ 2	Umicore
Next 100	26	50	24	-	0.8-1.5	Eurotungstene
Next 200	15	62	23	-	0.8-1.5	Eurotungstene
Next 300	72	3	25	-	~ 4	Eurotungstene
Next 900	80	20	-	-	~ 3	Eurotungstene

¹ Oksijen dikkate alınmamıştır.



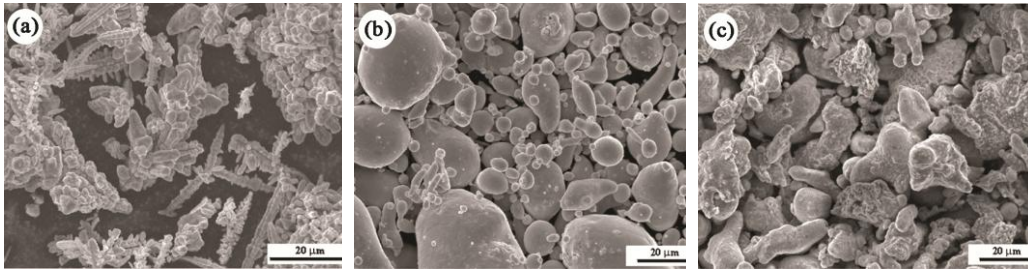
Şekil 3.5. Kobalta alternatif tozlar (a) Cobalite 601, (b) Cobalite CNF, (c) Next 200 ve (d) Next 900

3.2.3. Diğer Matris Tozları

Kobalt dışındaki tozlar, yoğunluğu arttırmak, matris aşınmasını iyileştirmek ve elması tutma özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılmaktadırlar. Demir, bakır, kalay, bronz alaşımları, tungsten, tungsten karbür ve nikel alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Demirin yüksek sıcaklıklarda östenit fazında karbonu çözebilirliğinin yüksek olması matris kullanımında sakınca oluşturmaktadır. Buna rağmen kobalta % 10 oranında ilave edilerek kullanılır. Next grubu tozlarda bu oran % 20'dir. Demir, matrise belirgin bir şekilde süneklik kazandırır ve matrisin akma dayanımını da artırır. Elmaslı kesici takım matrislerinde ince taneli demir tozları kullanılır.

Elementel bakır ve kalay veya bunların karışımları ile meydana gelen bronz alaşımlarının kullanımında matrisin yoğunlaşma derecesi artar ve aşınma direnci düşer. Bu şekilde hazırlanan takımlar çok düşük abrasivliğe sahip malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Kalay bronzunun kullanılması durumunda sıcak preslemede sıvı faz sinterlemesi meydana gelir. Bu sıvı faz matriste dolgu işlevi görür. Matrisi oluşturan elemanlar arasında difüzyon alaşımlama derecesini güçlü bir şekilde etkiler. Bu etkinin kontrol edilmesi için sinterleme süresi, basınç ve sıcaklığın uygun seçilmesi gerekir. Kalay bronzu değişik formülasyonlarda matrise ilave edilir. Bu farklı matris bileşimleri farklı özelliklerin oluşmasına sebep olur. Şekil 3.6'da bakır, kalay ve kalay bronzu tozlarının morfolojileri verilmiştir.



Şekil 3.6. Tozların morfolojisi (a) elektrolitik bakır tozu, (b) gaz ile atomize edilmiş kalay tozu, (c) su ile atomize edilmiş kalay bronzu (85/15)

Tungsten elmastaki karbona güçlü afinitesinden dolayı, elmas ile tungsten ara yüzeyinde ince bir tungsten karbür tabakası oluşur. Tungsten karbürde sıcak preslemeden sonra soğutma esnasında bozulma meydana gelmez ve bu sebepten dolayı elmasa herhangi

bir zarar vermez. Bu mükemmel özellikler matrisin aşınma direncini arttırdığı gibi matris ile elmas arasında hem mekanik hem de kimyasal bir bağın oluşmasını sağlar. Elmaslı soketlerin sıcak presleme tekniği ile üretiminde kaba taneli tungsten tozlarının aksine ince taneli tozların kullanımı daha uygundur.

Tungsten karbürler, matrisin abrasyona karşı direncini arttırmak amacıyla farklı miktarlarda sık sık kullanılır. Kimyasal bileşimi, tane boyutu, şekli ve mikroyapısı farklı birçok tungsten karbür tozu vardır. Ticari makro kristalli tungsten karbür tozu 1.2 ile 420 µm tane boyutu aralığında kullanım için uygundur. Mükemmel ısılatma ve sıkıştırılma özelliklerinden dolayı petrol ve maden endüstrisinde kullanılan takımların üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca elmaslı kesici soketlerin aşınma özelliklerini iyileştirmek amacıyla da kullanılır.

Matrisin abrasyon direncinin iyileştirmenin başka bir alternatif yolu nikel esaslı sert alaşımların matrise ilave edilmesidir. Gaz ile atomize edilmiş Ni-Cr-Si-Fe-B-C alaşım tozlarının bu amaçla ticari olarak kullanıldığı literatürde rapor edilmiştir (SCM Metal Products, 1984). Tozlar küresel şekilli olup genellikle 150 µm altındaki tane boyutunda kullanılmaktadır. Nikel esaslı tozlar matrisin abrasyon direncini iyileştirmede tungsten karbürden daha az etkilidir. Ancak tungsten karbür takviyeli nikel esaslı kompozit tozları ile daha ekonomik ve daha teknolojik matrisler elde edilebilir (Konstanty, 2005).

3.3. Elmas Seçimi

Endüstriyel uygulamalardaki talepleri karşılamak için elmas ile ilgili elmas tipi, tane boyutu ve elmas yoğunluğu gibi hususlar dikkate alınmalıdır.

3.3.1. Elmas Tipi

Elmaslı takımda kullanılacak elmasın tipi işlenecek malzemeye göre belirlenir. Bu seçimde genel kural; kesilecek malzeme ne kadar sert ise elmasta o kadar güçlü ve sert seçilmelidir. Elmas üreticileri, doğal ve sentetik olmak üzere mekanik dayanım, ısıl kararlılık ve matris tutma özelliklerine sahip elmasları takım imalatçılarına sağlar.

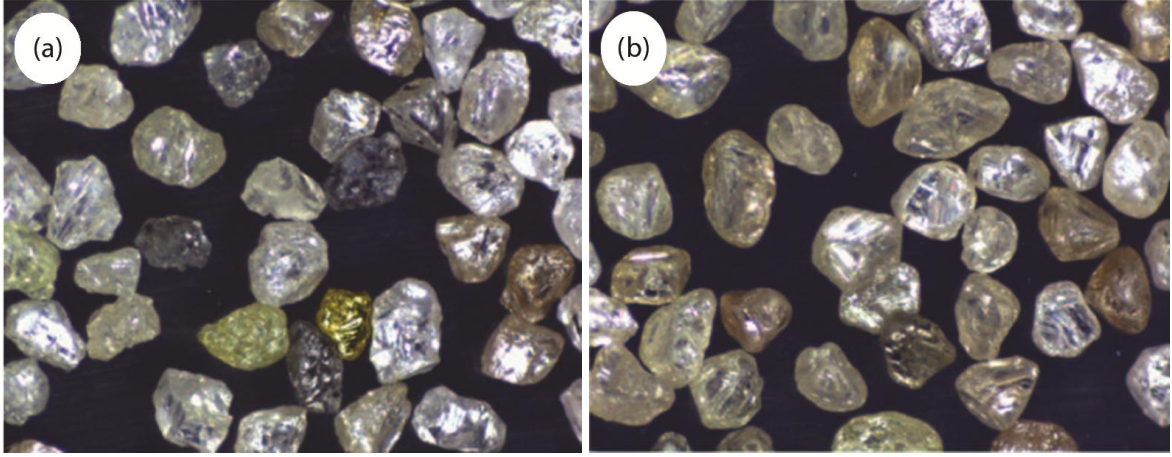
Doğal elmaslar, parçalanmış doğal elmas parçacıkları olduğu için metalik inklüzyon içermezler. Bu yüzden mükemmel ısıl kararlılık gösterirler. Sentetik elmas taneleri mekanik dayanımlarını 800°C’de kaybetmeye başlarken, doğal elmas taneleri

mekanik dayanımlarını 1400°C'ye kadar korurlar. Matrisi tutma özelliği açısından değerlendirdiğimiz zaman, birçok yüzeye sahip doğal elmas taneleri çok iyi bir tutulma özelliğine sahiptir. Bu, doğal elmasları mermer, kireç taşı ve daha az sertliğe sahip taşların kesiminde avantajlı yapar. Diğer taraftan düzensiz elmas yüzeyi mekanik dayanımı azaltır. Daha sert taşların kesilmesinde, bu dezavantaj, yüksek darbe kuvvetlerine maruz kalan uygulamalar için tasarlanmış çevresi oval doğal elmaslar kullanılarak başarıyla ortadan kalkar. Ancak, oval biçimli elmaslar çok daha yüksek kesme kuvvetleri gerektirdiğinden, daha rijit ve daha yüksek güce sahip kesme makinelerine ihtiyaç duyulur. Düşük fabrikasyon maliyetleri ve yüksek sıcak presleme sıcaklıklarını içeren üretim yöntemlerinde oval şekilli elmasların tercih edilmesi daha uygundur. Bahsedilen iki doğal elmas tanesi Şekil 3.7'de gösterilmektedir.

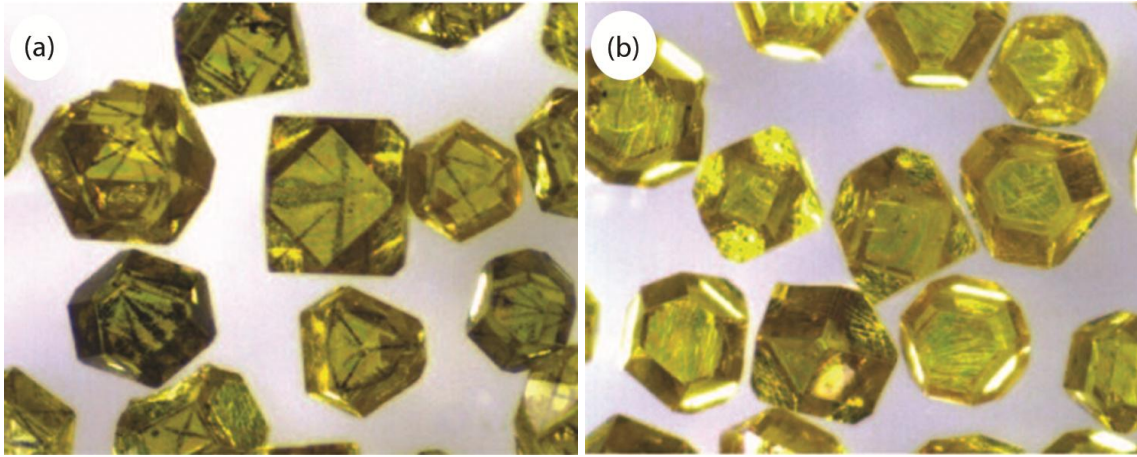
Sentetik elmasları kullanmanın temel avantajı özel uygulamalar için dizayn edilebilir ve üretilebilir olmasıdır. Piyasa taleplerindeki çeşitliliği karşılamak için farklı partikül özelliklerine sahip iki ana grup elmas geliştirilmiştir. Kobalt ya da nikel esaslı alaşımlar sentetik elmas kristallerinin farklı içyapıları için katalizör/çözücü olarak kullanılmaktadır. Kobalt elmas partiküllerde her bir partikülde ara tabakalar arasına girerek metalik inklüzyon olarak yer almaktadır. Buna karşın nikelli elmaslarda impüriteler üniform olarak partikül boyunca dağılmıştır. Bu, elmasa mükemmel saydam ve kozmetik görünüm sağlar. Ayrıca yüksek sıcaklıklardaki işlemlerden sonra mekanik dayanımının devamını sağlamaktadır. İki sentetik elmas çeşidi Şekil 3.8'de görülmektedir.

VIII. grup metallerin, elmasın katalitik grafitleşmesine sebep olduğu çok iyi bilinmektedir. Elmastan grafit dönüşüm haciminde yaklaşık % 56 oranında artış meydana getirdiği için, elmas ile katalitik metal ara yüzeyinde ısı genleşme katsayısındaki uyumsuzluktan kaynaklanan grafitleşme gerilimi ve ısı gerilimleri, elmas partiküllerin zayıflamasına, hatta parçalanmasına sebep olur. Sonuç olarak, her bir kristalde dağılmış halde bulunan inklüzyonların miktarı ve özelliği elmasın aşınma davranışını etkiler.

Kobalt esaslı alaşımdan üretilen elmas tanelerinde, inklüzyonların geometrik olarak düzenli ve sıralı olduğu, nikel esaslı alaşımdan üretilen sentetiklere göre kıyaslandığında daha düzensiz ve çatlama eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Bu özellik ya düşük kesme hızlarında kesme işlemini kolaylaştırır, ya da ağır işlerde takım yetersiz kalır.



Şekil 3.7. Doğal elmas taneleri (a) Çok tabakalı yüzey ve (b) oval biçimli yüzey



Şekil 3.8. (a) Kobalt esaslı elmas taneciği, (b) Nikel esaslı elmas taneciği

Elmas taneciklerinin dayanımını belirlemenin üç yolu vardır. Birincisi, yarılanma süresi düşüncesine dayanmaktadır. Yani eleğin altında kalan elmasın % 50'nin altında olması için gerekli zamandır. İkincisi ise, sabit bir sürede ufalanma zamanına bağlı olarak elek altında kalan elmasın yüzdesinin ölçülmesidir. Bu deney tokluk indeksi (TI) veya numune deneyden önce ısıtıl işlem görürse termal tokluk indeksi (TTI) olarak adlandırılır.

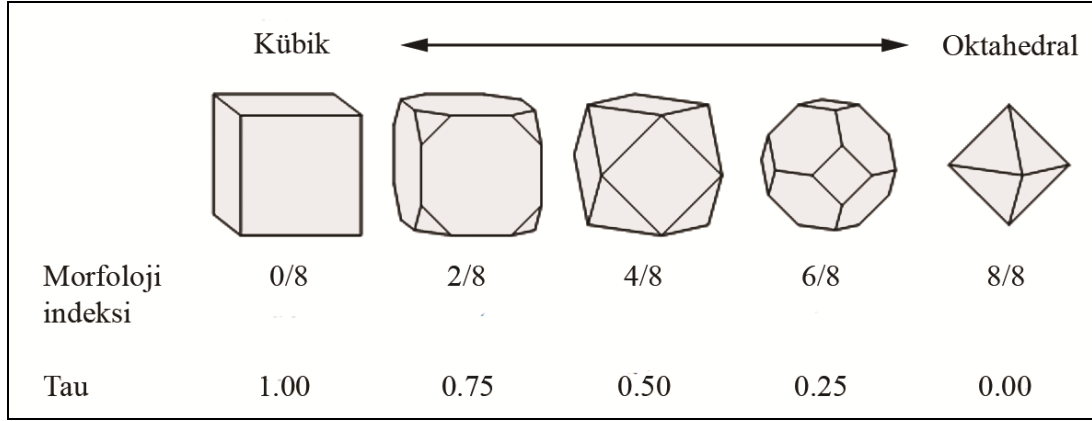
Son yöntem ise baskılı kırılma dayanımı (CFS) testi olarak adlandırılır (Anon, 1993; Anon, 2000). Bu deneyde iki adet dönen merdane yaylı yük ölçere bağlıdır ve test örneğindeki birbirinden ayrı elmas parçacıkları bilgisayarlı yük ölçer ile dinamik olarak yüklenir ve kırılır. Her bir kristali kırmak için gerekli olan kuvvet ölçülür ve son olarak parçadaki kristal gerilimlerinin dağılımı hakkında geniş bilginin yanı sıra ortalama değerleri elde etmek için işlem gerçekleştirilir.

Hangi yöntem seçilirse seçilsin, bu yöntemlerle elde edilen bilgiler takım üreticilerinin soket bileşimini ve üretim tekniğini tasarlama çalışmalarında yardımcı olur ve önceden yapılan uygulamalar, taneciklerin nasıl bir aşınma davranışı göstereceğini bilmelerine yardımcı olur. Elmas taneciğinin dayanımının bilinmesine ek olarak elmas üreticileri elmasın şeklinin elmasın kalitesiyle aynı derecede öneme sahip olduğunu belirtmektedirler (Anon, 2000).

Elmas tanelerinin morfolojisini belirlemek üzere *Morfoloji İndeksi* adı altında hazırlanmış basit bir kristal tanımlama sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem elmasın sadece fiziksel şeklini değil, aynı zamanda büyüme karakteristiğini de tanımlar. Her iki özellik, kristalin büyüdüğü kimyasal ortam, basınç ve sıcaklık gibi birçok parametreden etkilenir. Morfoloji İndeksi, farklı kristal fasetleri veya düzlemlerinin büyüme aşamasındaki temel kristal karakterini tanımlamaktadır. Böyle bir indeks kristalin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki ilişkiyi de ortaya koyar. Bu indeks sentetik elmas için mümkün olan değişik morfolojiler esas alınarak hazırlanmıştır. Örneğin “kübik-oktahedral” skalada, küb 0 (yalnız 6 adet {100} fasetlerinde oluşur, hiç {111} yüzeyleri yok) ile oktahedral 8 (8 adet {111} yüzeylerinde oluşur) ile tanımlanmıştır. “Oktahedral-tetrahedral” skalada oktahedral 8 ile tetrahedral ise 0 (yalnız dört adet {111} yüzeyleri var olarak algılanır) ile tanımlanmıştır. Daha sonra bu numaralar bir kristaldeki kübik oktahedral ve tetrahedral fasetlerin oranlarının belirlenmesi için kullanılır. Şekil 3.9’da sentetik elmasların ideal kristal morfolojisinin kübikten oktahedral yapıya değişimi gösterilmektedir. Örneğin, küp için indeks 0/8 ve oktahedral için 8/8 dir. Kübik ve oktahedral fasetlerin eşdeğer olduğu eş pozisyonlu “kübik-oktahedral” indeks numarası 4/8 olacaktır. Yani ilk rakam küpün, oktahedral morfolojisine üstünlüğünü, ikinci rakam ise oktahedral morfolojisine tetrahedralin üstünlüğünü ifade etmektedir. Bu sistemi kullanarak herhangi bir elmas kristalin indeks numarasını belirlemek mümkündür. Bu indeks, değişik fasetlerin düzenli büyümesi hakkında da fikir verebilir. Bununla birlikte uygulamada büyüme ortamındaki doğrusal gradyant nedeniyle bu düzenli morfolojik şekiller sıklıkla distorsiyona uğrayabilmektedir (Hedges, 1995; Bailey, 1995; Zeren, 1999).

Elmas taneciğinin şekli, dayanım ve kırılma özelliklerini etkiler. Bu nedenle düzgün şekle sahip olan kübik-oktahedral şekilli elmaslar, düzgün olmayan köşeleri keskin ve kaba yüzeyli elmaslara göre daha dayanıklıdır. Matrise iyi tutunma özelliği olan güçsüz elmas kristalleri genellikle katrak kesimi uygulamalarında gereklidir. Bu nedenle doğal

elmas yerine uygun olarak seçilen sentetik elmaslarla soket özelliklerinin geliştirilmesi büyük öneme sahiptir (Konstanty, 2005).



Şekil 3.9. Çeşitli sentetik elmas taneciklerinin şematik gösterimi ve nümerik kodları

3.3.2. Elmas Tane Boyutu

Hem doğal hem de sentetik olan elmas taneleri iki tane boyutu şeklinde sınıflandırılır. Bunlar alt ve üst elek boyutlarını göstermektedir ve birim olarak mesh ile ifade edilmektedir.

Elmaslı soketlerde kullanılan elmasların boyutu 80 US meshten daha kabadır. Bu tane boyutu hızlı malzeme kaldırma işlemlerinin arzu edildiği yerlerde kesme, delme ve işleme amaçlı kullanılmaktadır. Takım yapımında kullanılan elmasların genel tane boyutları Tablo 3.4'deki gibidir (Garrard vd., 2001; Konstanty, 1991; De Beers Industrial Diamond Division).

Son yüzey işlemlerini ve ikincil kesimler için ince taneli elmasların kullanımı genel bir eğilimdir. Kısmen daha güçlü olan küçük tane boyutlu elmas taneleri, daha sert ve kesilmesi daha zor malzemeler için tavsiye edilir.

Kaba taneli elmasları kullanmanın en büyük avantajı, yüksek kesme oranlarına sahip olmasıdır. Çünkü iri taneli elmaslarda, kesme anında talaş boşluğunun fazla olması ve kesilen taş parçacıklarının testerenin her dönüşünde daha fazla miktarda kesim bölgesinden rahat çıkması sayesinde kesilen taş daha temiz yüzeyli çıkar. Fakat çok iri taneli elmaslar çok sert malzemelerin kesilmesinde kullanıldığında hem matristen elmaslar

kopar, hem de elmaslarda aşınma düzleşmeleri (körelme) meydana gelir (Jennings ve Wright, 1989).

Tablo 3.4. Ticari olarak kullanılan elmas tane boyutları ve kullanım alanları

Elmas tane boyutu (mesh)	Kullanım Alanları
20/30 US	Çok aşındırıcı kumtaşı, taze beton ve asfaltın delinmesi ve dairesel testerelerle kesilmesi, takviyeli betonun delinmesi, kumtaşının katrakla kesilmesi.
30/40 US	Doğal taş, beton, takviyeli beton ve asfaltın delinmesi ve dairesel testerelerle kesilmesi, kumtaşının katrakla kesilmesi.
40/50 US	Doğal taşların (granit, diyorit, gabro, daha az aşındırıcı kumtaşı, kireçtaşı, dolomit ve mermer), beton ve refrakterlerin işlenmesi, delinmesi ve kesilmesi, doğal taş ve yapı malzemelerinin tel ile kesilmesi, taş kütüklerin kalibrasyonunda.
50/60 US	Çok sert ince taneli volkanik (magmatik) taş (granit, granodiyorit) ve refrakterlerin delinmesi ve dairesel testerelerle kesilmesi, ince taneli sedimanter ve metamorfik taşların (kireçtaşı, mermer) dairesel testerelerle, katrakla kesilmesi ve delinmesi, taş kütüklerin kalibrasyonu.
60/80 US	Camın dairesel testerelerle kesilmesi, delinmesi ve işlenmesi, seramik karoların kalibrasyonu.

3.3.3. Elmas Yoğunluğu

Soket ve boncuklardaki elmas miktarı 100 konsantrasyonun 4.4 karat/cm^3 (hacimce % 25)'e eşit olan bir skalaya göre belirlenir. Diğer konsantrasyonlarda bu skalaya göre oranlanır. Elmasın tane boyutu ile yoğunluğu, soketin kesme yüzünün birim alan başına düşen kesme noktası sayısına göre belirlenir. Tablo 3.5'de gösterildiği gibi, elmasların ve çıkma yerlerinin toplam sayısı, konsantrasyonuyla doğru, tane boyutu ile ters orantılıdır. Hangi konsantrasyonun kullanılacağı birçok faktöre bağlıdır. Bileşim belirlenirken ilk olarak kesilecek malzeme ve özellikleri dikkate alınmalıdır. Genel olarak malzemenin kolay kesilmesi isteniyorsa yüksek elmas konsantrasyonuna sahip takım kullanılır.

Takım ömrünü arttırmak için yüksek konsantrasyon kullanıldığı zaman, buna paralel olarak takımın bağlanacağı makinede yüksek güce sahip olmalıdır. Eğer elmas tanelerine etki eden yük düşük olursa, tanenin malzemeye dalma derinliği azalır ve belli bir süre sonra elmas tanesi körelir. Bu şekilde kesme olayı gerçekleşmez. Düşük elmas tanesi yoğunluğunda, elmas tanesi başına düşen kaldırılan malzeme miktarı arttığından, elmas

tanesi üzerindeki yük miktarı belirli bir kritik noktaya ulaşınca kadar artar. Elmasın dayanım noktası ve tokluğu aşıldığı zaman parçalanmaya başlar ya da tam olarak kullanılmadan matristen kopar. Kesme işlemlerinde, doğru elmas yüksekliğinin soketteki toplam elmas miktarının % 24-26 gibi çok düşük bir oranı oluşturduğu ilginç bir durumdur (Wright ve Wapler, 1986; Wright vd., 1990).

Tablo 3.5. Aşınan soketin bir cm² alanındaki yüzeye çıkmış elmasların toplam sayısı (Konstanty, 2005)

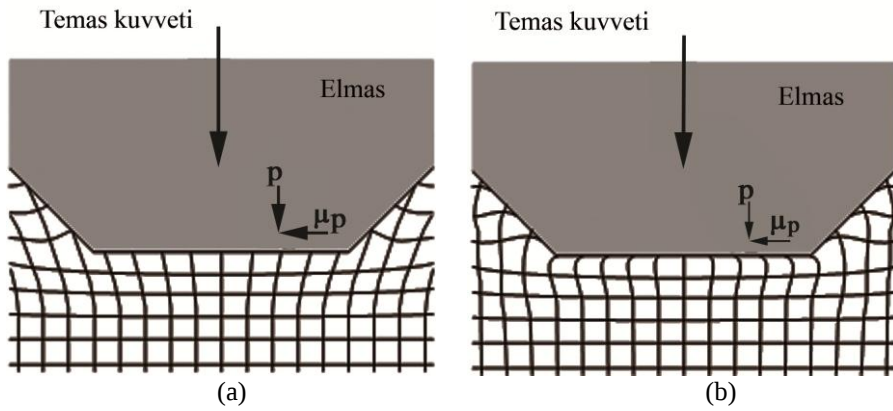
US mesh boyutu	Elmas konsantrasyonu					
	15	20	25	30	35	40
25/35	14	19	24	29	34	38
30/40	22	30	37	45	52	60
35/40	26	34	43	51	60	68
40/50	38	51	63	76	88	101
50/60	65	87	109	131	153	174
60/80	85	114	142	170	199	227

3.3.4. Kaplanmış Elmas Taneleri

Önceden de bahsedildiği gibi, soketlerde elmasları mümkün olduğunca uzun süre tutmada matrisin etkisi çok büyüktür. Genel olarak kesme işini gören elmas tanelerinin oranı, matrisin elması yetersiz tutma yeteneğinden kaynaklanan elmas tanelerinin oranına göre çok düşüktür. Bu oran yaklaşık % 25’dir. Çünkü metalik matrislerin büyük çoğunluğu elmasın mekanik bağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Elmasları tutma işlevi gören matrisin etkili kullanımını geliştirmek çok zordur.

Şekil 3.10a’da görüldüğü gibi, kuvvet uygulanan elmasa destek veren matrisin deformasyonu esnasında, elmas tanesinin yüzü boyunca metalin kayması meydana gelmektedir. Elmasın metaller üzerinde statik sürtünme katsayısı çok küçüktür ve 0.1 ile 0.15 arasındadır. Bu yüzden matris yana doğru kaymada neredeyse serbest davranır. Sürtünme katsayısı yükseldiği zaman bu olay değişir. Artan sürtünme kuvvetleri elmas altındaki matrisin dayanımlaşmasından dolayı, plastik akmayı oluşturmak için gerekli olan basıncı artırır (Konstanty, 2003). Şekil 3.10b’de gösterildiği gibi olduğunda matris ile elmas yüzeylerinin güçlü yapışmasından dolayı metalik matriste belli mesafe de kaymalar meydana gelir. Yani güçlü kimyasal bağlanmadan dolayı sınırlı kayma oluşur.

Kesici takım yapımında, elmas ile matris ara yüzeyinde sürtünmeyi arttırarak matris-elmas bağıını güçlendirmenin iki önemli yolu vardır. İlk yöntem, elmas tanelerinin yüzeylerini pürüzlü hale getirmek için uygulanan ısı ve kimyasal işlemleridir (Musu-Coman vd., 1998). Bu yöntemlerin uygulanmasında memnun edici sonuçları elde etmek için elmasın yüzeyinden belirli miktarda malzeme kaldırılması gerekliliğinden dolayı bazı dezavantajlar oluşur. Örneğin, malzeme kaldırırken yüzeydeki dağlanma etkisi elmasın bütünlüğünü ve dayanımını bozar. Bu yüzden elmasların daha geniş uygulamalarında bu yöntemlere yer verilmez.



Şekil 3.10. Elmasın matriste oluşturduğu deformasyonun sürtünmeye etkisi:
(a) serbest kayma ve (b) sınırlı kayma

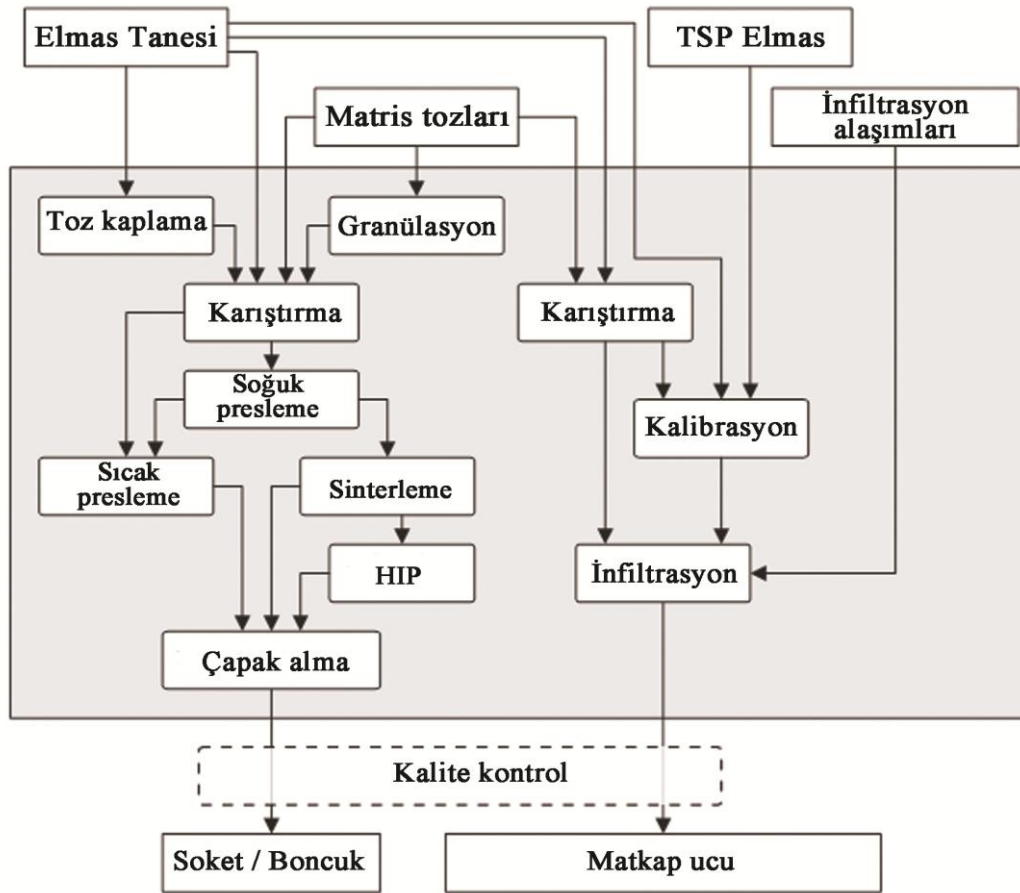
İkinci yöntem ise titanyum, krom ve silisyum gibi güçlü karbür yapıcılar ile elmas yüzeyini ince bir film ile kaplamaktır. Ayrıca zirkonyum, tungsten, tantal, molibden, niyobyum veya bunların alaşımları da bu amaçla kullanılmaktadır. Özellikle nikel esaslı bir veya birkaç tabaka, karbür yapıcıları oksitlenmeden korumak, matrise elmasın kenetli bir biçimde mekanik olarak bağlanmayı sağlamak amacıyla isteğe bağlı olarak elmas tanelerine uygulanabilir. Elmas üzerine ilave tabakalar çeşitli kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve diğer metal buhar biriktirme yöntemleri ile yapılmaktadır (Ikeda vd., 2009)

4. ELMASLI SOKETLERİN ÜRETİMİ

Elmaslı kesici takımların üretimi iki aşamada yapılmaktadır. Öncelikle elmaslı soketler istenilen özelliklere uygun olarak toz metalurjisi (TM) yöntemi ile üretilir. Sonraki aşamada üretilen soketler, yapılacak uygulamaya göre metalik gövdelere sabitlenir. Ancak bazı durumlarda, takım tek aşamada matkaplarda olduğu gibi üretilir.

4.1. Toz Metalurjisi

Elmaslı takımların üretimi, birçok toz metalurjisi aşamasını içermektedir. Toz metalurjisi ile elmaslı kesici takımların üretim akış diyagramı Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Toz metalurjisi ile elmaslı takımların üretim akış diyagramı (Konstanty, 2005).

4.1.1. Matris Tozlarının Hazırlanması

Temel olarak, matris tozlarının hazırlanması, seçilen tozların önceden belirlenmiş kimyasal bileşime, parçacık şekli ve boyut dağılımına ulaşana kadar karıştırılmasını içerir. Bu işlem sarkaç hareketli mikserler kullanılarak yapılır.

Parafin yağı ve monoetilen glikol gibi bağlayıcı ve yağlayıcılar topaklaşmayı ve segregasyonu önlemek amacıyla % 2'ye kadar toz karışımına ilave edilir. Ayrıca sonraki aşamada sırasıyla soğuk ve sıcak presleme işlemlerinde çelik kalıpların aşınmasını ve oksitlenmesini önlemek için de yağlayıcılar kullanılır.

4.1.1.1. Granülizasyon (Tanecikli hale getirme)

Matris olarak kullanılacak tozlar soğuk preste basılacağı zaman, tozun sıkıştırılabilirlik ve akış özelliklerini iyileştirmek için ekstra granülleştirme işlemlerine gereksinim vardır. Granülleştirme değişik yollarla yapılabilir. Fakat pratik olarak, elmaslı takım endüstrisinde iki yöntem kullanılır. Bu yöntemlerden en eski olanı, yüksek hızlı karıştırma esasına göre çalışan “Spartan” öğütücülerinde yapılan işlemdir. İkinci olan yöntem, mekanik olarak yuvarlaklaştırma esasına dayanan ve elmasların da tek aşamada granüle edildiği tekniktir (Burckhardt, 1997).

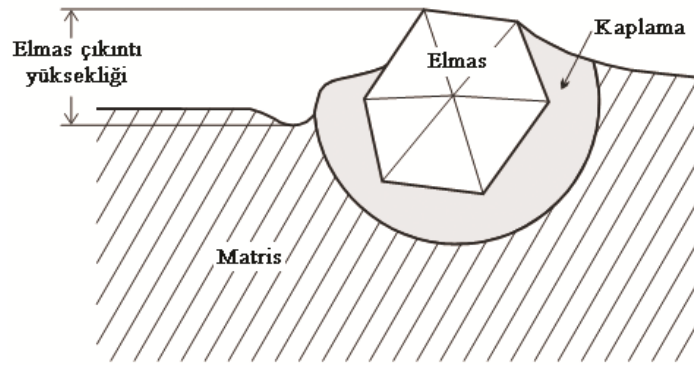
İşlem ne olursa olsun, uygun çözünebilir bütül mekatriyat, alkil mekatriyat, polivinil bütiral ve parafin gibi organik bağlayıcılar toz parçacıklarını bir araya getirmek ve ayrıca granüllere mekanik bir dayanım kazandırmak amacıyla kullanılır. Kullanılan organik bağlayıcının, sıcak presleme işlemi esnasında esas malzemeden uzaklaşması için bağlayıcın ısı özellikleri oldukça önemlidir. Aksi takdirde, kalitesi düşük ve testereye lehimleme esnasında problem çıkaran yüksek gerilimli gözeneklere sahip soketler üretilmiş olur.

4.1.2. Matris-Elmas Karışımının Hazırlanması

Elmas tanecikleri matris tozlarıyla, ya alındıkları şekliyle ya da uygun bir toz ile kaplanarak kullanılırlar (Baert, 1995; Burckhardt, 1997; Vaan Doorslaer, 1999). Şüphesiz karışım işleminin ürünün son kalitesi üzerine büyük etkisi vardır. Matris tozu ile elmas taneciklerinin homojen olmayan dağılımı soketin zamanından önce aşınmasına sebep olur.

Bu nedenle, her bir elmas tanesi ayrı ayrı matris tozu ile kaplandığından soket içindeki elmas yoğunlukları elimine edilir ve daha homojen elmas dağılımı sağlanmış olur. Toz kaplı elmas tanelerini kullanmanın diğer bir avantajı, çelik kalıp ile temas halinde olan sert elmas tanelerin etkisinin daha az olmasından dolayı kalıp ömrünün uzun olmasıdır.

Son olarak toz kaplamalı elmaslar kullanılarak, Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi elmasın matristen çıkıntı yüksekliği arttırılabilir. Bu sayede takımın ömrü ve serbest kesme özellikleri iyileştirilebilir (Cai, 1996).



Şekil 4.2. Toz kaplı elmasların elmas çıkıntı yüksekliğine etkisi

4.1.3. Soğuk Presleme

Soğuk presleme işlemi, tabakalı yapıya sahip soketlerin üretiminde, sinterleme işlemi öncesi ve sıcak presleme işlemine hazırlık olarak daima kullanılmaktadır.

Soğuk presleme işlemi, sıcak presleme işlemi ile birlikte kullanıldığında parçaların uniformluğu sağlanmış olur. Bu işlem için ilave bir donanım gerekmesine rağmen, önceden soğuk preslenmiş parçalar sıcak presleme işlemi süresince, grafit kalıbın aşınmasını azaltır ve üretim miktarını artırır (Weber, 1995; Weber ve Burchard, 1998; Anon, 2003).

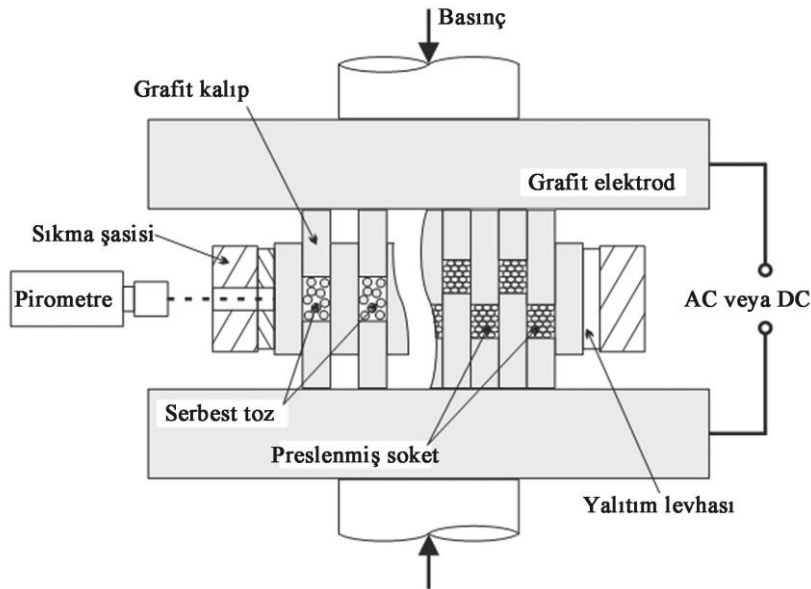
4.1.4. Sıcak Presleme

Sıcak presleme işlemi, tamamen iç gözeneklerden arındırılmış bir ürünü elde etmek için, ısı ve basıncın aynı anda uygulandığı bir işlemdir. Geleneksel soğuk presleme/sinterleme işlemleriyle karşılaştırıldığında sıcak presleme işlemi yaklaşık 2-3

dakika gibi çok kısa zamanlara ve düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyar. Fakat çok yüksek yoğunluklara ulaşmak için yüksek basınçlara gereksinim vardır.

Ticari olarak satılan sentetik elmasların yüksek sıcaklıklara karşı olan dayanımı düşük olduğu için ve matrisin mükemmel mekanik özelliklerine karşı olan talebin artması nedeniyle, doğal olarak hızlı sıcak presleme tekniğinin elmaslı kesici takımlarda çok geniş bir kullanım alanı vardır. Şekil 4.3’de sıcak presleme işleminin şematik resmi verilmiştir.

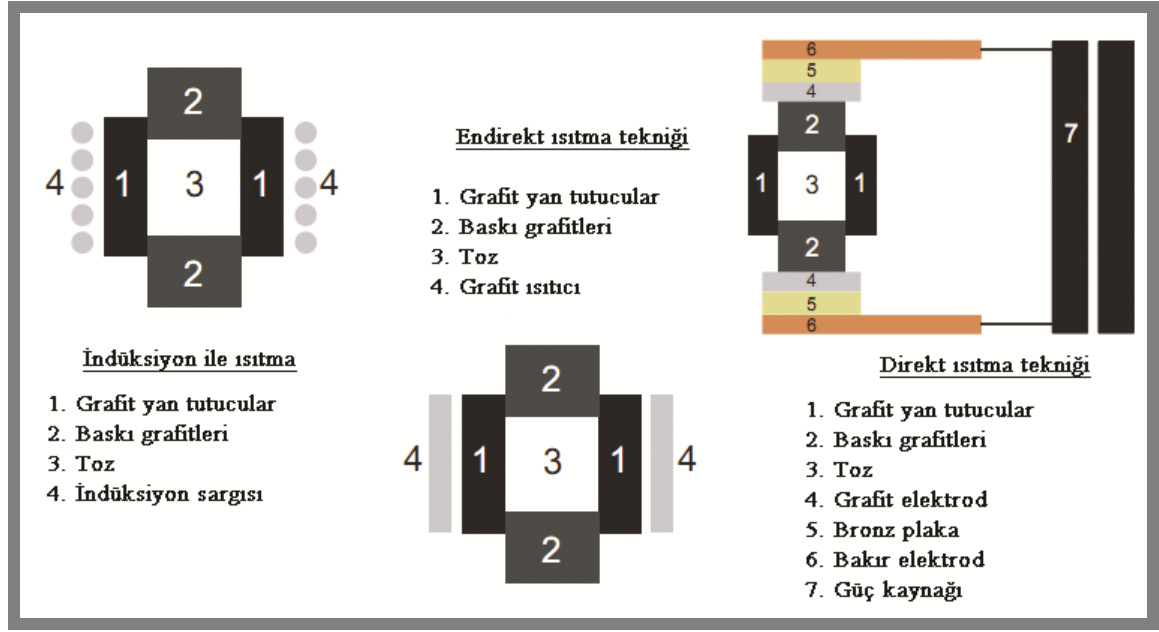
Modern sıcak preslerde, azot atmosferinde ısıtılan grafit kalıpların bulunduğu koruyucu gaz üniteleri mevcuttur. Bu yüzden kalıpların çalışma ömrü uzundur. Bu yöntem yüksek sıcaklıklarda soketlerin üretiminde yüksek verimliliğinden ve matris ile elmas tanelerin oksidasyona karşı korunma sağladığından dolayı tercih edilir. Bu koruma eski tip (korumasız) sıcak preslerde grafit kalıp içindeki atmosferin azaltılarak CO/CO₂ oluşumu ile sağlanmaktadır.



Şekil 4.3. Sıcak presleme işleminin şematik resmi

Sıcak presleme işleminde üç ayrı ısıtma tekniği vardır. Bunlar;

1. İndüksiyon bobini ile ısıtma tekniği,
2. Endirekt ısıtma tekniği,
3. Direkt ısıtma tekniğidir. Bu ısıtma tekniklerinin prensip şeması Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Sıcak presleme teknolojisinde ısıtma teknikleri

İndüksiyonla ısıtma teknolojisi yüksek frekanslı akım ile kalıpların ısıtılması esasına dayanır. Metal yada grafitten yapılan kalıplara basınç uygulanarak tozların sıkışması sağlanır. Kalıp indüksiyon sargısı içerisine bırakılır. Sinterleme işlemi boyunca, yüksek frekans jeneratörü ve indüksiyon bobini kalıp içinde ısı üretir. Bu yöntemin avantajı basınç ve indükleme gücünün tamamen birbirinden bağımsız olmasıdır. Düşük basınçlarda sıvı faz sinterleme işlemi yapmak uygundur.

Yöntemin dezavantajı yüksek frekans jeneratörünün pahalı ve kalıbın yerleşiminin çok düzenli olması zorunluluğudur. Kalıp düzenli yerleştirilmez ise ısı yayılımı düzgün olmaz. Manyetik alan, kalıbın içerisine sadece 0.5 ile 3 mm arasında nüfuz edebilmektedir. Buradan da anlaşılabacağı gibi sıcaklık kalıbın ısı iletkenliği ile yayılır. Kalıbın merkezinin ısıtılması çok zordur. Bu sebepten dolayı başka bir potansiyel sorun ise çok yüksek ısıtma oranlarında yüksek sıcaklık farkları kalıbı tahrip edebilmektedir.

Endirekt dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp ısı bölmesine konulur. Isı bölgesi elektrik akımı ile ısıtılan grafit ısıtma elemanlarıyla ısıtılır. Isınan grafit ısıtıcılar kalıp ile temas halinde olduğundan ikincil olarak kalıbı ısıtırlar. Bu nedenle işlem “*endirekt dirençle ısıtma*” olarak adlandırılır. Yöntemin avantajı, yüksek sıcaklıklara çıkabilmesi, kalıp malzemesinin ısı iletkenliğinden bağımsız olması, sıcaklık ve basıncın birbirinden bağımsız olarak kullanılabilmesidir. Yöntemin temel dezavantajı ise kalıbın ısıtılmasının

çok zaman alması ve kalıbın dıştan içe doğru ısınması ile ısının eşit olarak dağılmasının uzun süre almasıdır.

Direkt dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp direkt olarak elektrik gücü ile ısıtılır. Kalıp ve toz parçanın direnci ile ısı tam olarak kalıpta oluşur. Sonuç olarak ısıtma hızı çok yüksektir. Diğer iki ısıtma tekniği, ısı iletimi ile ilgili iken direkt dirençli ısıtma teknolojisinde ısı ihtiyaç duyulan yerde üretilmektedir.

4.1.5. Sinterleme

Sinterleme birçok toz metalürjisi ürünün üretiminde zorunlu bir aşamadır. Buna rağmen sinterleme son ürünün ölçü tamlığı, mekanik dayanımı ve bileşimi ile sınırlandırılır. Redükleyici hidrojen içerikli atmosferin yaygın kullanımı oksijensiz bir ortamda sinterleme yapılmasını garanti eder. Bu, yüksek sinterleme sıcaklıklarında uzun bekleme sürelerinde elmasın korunması açısından son derece önemlidir. Fakat yüksek sıcaklıklarda ve uzun bekleme sürelerinde tane büyümesi ve yeniden kristalleşmeden dolayı matris yumuşar. Ayrıca çok ince matris tozlarının yüksek sıcaklıklarda sinterlenmesiyle elde edilen soketlerde oluşan üniform olmayan yoğunluk, sinterlemeden sonra soketlerin çarpılmasına ve ölçü bozukluğuna sebep olur.

4.1.6. Sıcak İzostatik Presleme (HIP)

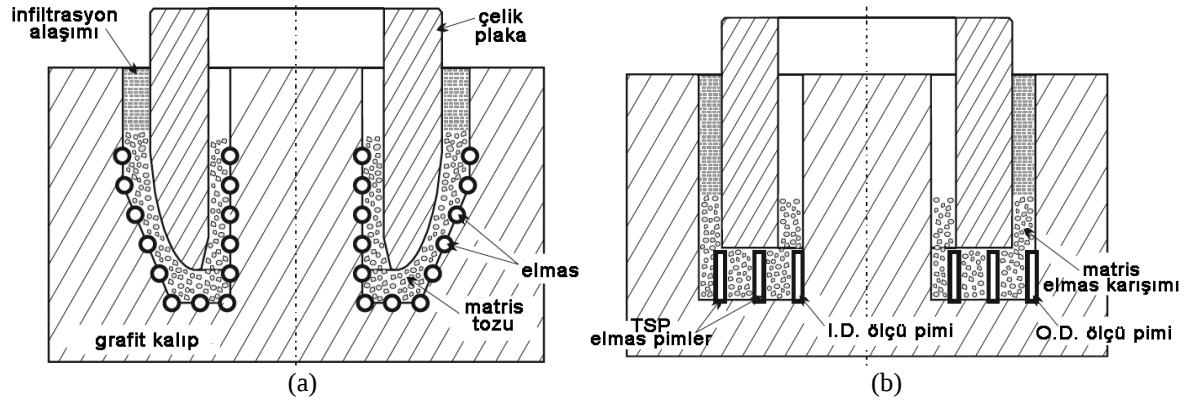
Sıcak izostatik presleme (HIP), çok yüksek yoğunluğa sahip malzemeleri üretmek için bir veya birden çok parçaya, basıncın izostatik olarak uygulandığı yüksek basınçlı gazı içeren bir yöntemdir (Conway ve Rizzo, 2004). Gözenekler tamamen kapandığı zaman uygun bir yoğunluğa ulaşmak için parçalar sinterleme fırınlarında ön sinterleme işlemine tabi tutulurlar. Bu, HIP işlemleri için malzemeyi uygun hale getirir. Parçalar HIP işleminde gazın olumsuz etkilerinden korumak için önce cam kapsüllerde saklanır. (Bonneau ve Moltenni, 2002; Bose ve Eisen, 2003).

HIP üniteleri ile 200 MPa basınçlarına kadar ulaşılabilir ve bu yüzden sıcak presleme işlemine kıyasla üretim sıcaklığında bir azalma meydana gelir. Bu da elmasın zarar görebileceği 1100 °C'yi aşağıya çekeceğinden yeni teknolojik fırsatlar sunar.

Son yıllarda HIP teknolojisi ile elmaslı takımların, özellikle elmaslı boncuk tellerin üretiminde büyük bir ilerleme kaydedilmiştir (Konstanty, 2005).

4.1.7. İnfiltrasyon

İnfiltrasyon (emdirme) yöntemi, delme işlerinde kullanılan elmaslı matkap, TSP matkap ve TSP hibrit matkap uçlarının üretiminde kullanılan ideal bir yöntemdir. Çünkü bu yöntemde kuvvetler minimum düzeydedir. Şekil 4.5’de de görüldüğü gibi yöntem, düşük ergime noktasına sahip sıvı infiltrasyon alaşımı ile grafit kalıp içine doldurulmuş matris tozu ve elmastan ibarettir.



Şekil 4.5. Matkap uçlarının üretiminde kullanılan kalıp montajlarının şematik resmi; (a) Düz matkap ucu, (b) TSP (veya TSP hibrit) matkap ucu

Bu yöntem bir seri adımdan ibarettir. Dolgu elementleri hariç elmas ve matris tozunun bir kalıp içerisine yerleştirilmesi ve basma, titreşim veya sarsıntı uygulanarak sıkıştırılmasıyla başlayan bir kalıplama işlemidir. Bir sonraki adımda, tamamen atmosfer kontrollü bir fırın veya bir indüksiyon ısıtıcı ünite içerisinde kalacak şekilde yerleştirilen kalıba, çoğunlukla, bakır/nikel/çinko içeren ve dolgu elementlerinin oluşturduğu alaşım katılır. Bu bağlayıcı alaşım nispeten düşük bir ergime noktasına sahiptir. Bunu takiben, infiltrasyon yönteminde, arzu edilen özelliklere ve oluşturulacak takımın tipine bağlı olarak, bir basınç uygulanır. Grafit kalıplar infiltrasyon yönteminde kullanılmakla birlikte genel olarak çelik kalıplardan yararlanılır. Kalıp içerisine tozlar yerleştirildikten sonra önemli bir boyutsal değişime uğramamaktadırlar. Bununla birlikte bu yöntemde elmaslı kesici soketler gibi küçük kesici takım elemanları için sıcak pres metodunda olduğu kadar metalurjik özellikleri kontrol etme kapasitesi yoktur (Sheppard ve Dolly, 1993; Naidich, 2001).

tercih edilen yöntemdir. İkinci bir hususta kesme işlemi boyunca oluşan ısı lehim noktalarını yumuşatır ve bu nedenle yüksek hızlı kuru kesme işlemlerinde soketlerin çelik testere gövdesinden ayrılma olasılığı vardır. Lazer kaynaklı bölgenin eğilme dayanımı, 1800 MPa olmasına karşın, lehimle birleştirmede bu değer, 350 ile 600 MPa arasındadır.

Lehimleme boyunca meydana gelen ısı ve ısı gerilmeleri takımı zayıflatır veya deforme eder. Soketlerin çelik gövdeye lehimlenmesinde kritik sıcaklık olan 700 °C'nin üzerindeki sıcaklıklardan kaçınılmalıdır ve lehimleme süresi minimum değerde tutulmalıdır. Bu durumda en iyi çözüm çelik gövdeyi aşırı ısınmadan koruyan su soğutma sistemine sahip mikro işlemci kontrollü lehimleme makinesi kullanmaktır.

Lazer kaynağı ile birleştirmede birleşme, soketin matris malzemesi ve çelik gövde arasında çok küçük bir bölgede sınırlanmaktadır. Lazer ışını ile taramadan sonra hızlı soğumadan dolayı oluşan ısı etkisi altındaki bölgede (ITAB) oluşan gevrek martenzitin oluşumundan kaçınmak için sertleşme kabiliyeti düşük olan düşük karbonlu çelikler, çelik gövde olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden soketlerin tabanları, uygun bir elmassız malzeme olmalıdır. Lazer kaynağının en önemli avantajı, operatör müdahalesi olmadan da yüksek verimlilik elde edilmesidir (Weber, 1991). Tablo 4.1'de lazer kaynağı ve lehimlemenin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 4.1. Dairesel testerelede lazer kaynağı ve lehimlemenin karşılaştırılması (Tonshoff vd., 1993)

Lazer Kaynağı	Lehimleme
Avantajı	Dezavantajı
Soket kaynağında yüksek mekanik dayanım Yüksek ısı dayanımı Küçük ısı etki bölgesi, çekme-büzülme yok Yüksek kaynak hızı	Düşük makaslama dayanımı Kesim esnasında soğutucu gerekli Testerede hafif çekme (büzülme var) Düşük kaynak hızı
Dezavantajı	Avantajı
Yalnızca küçük çaplı testerelede uygun Lazerden dolayı yüksek maliyet Taşıyıcı bünyede tolerans aralığı yüksek Karbonlu çelikten imal edilen testere malzemelerine ön gerilim takviyesi gerekli Soket malzemesi özel olarak seçilmeli Sokette elmassız alt kısım gerekli Daha az teknik yardım	Büyük çaplı testerelede de uygun Düşük maliyet Tolerans aralığı yüksek değil Her türlü testere malzemesi için uygun Her tür soket malzemesi için uygun Her türlü soket şekli için uygun Testereye daha fazla teknik yardım

4.1.11. Testerenin Taşlanması

Testerenin taşlanması amacı, soketlerin testere merkezi ile aynı ekseninde olmasını sağlamak, kenarlarını temizlemek ve soketlerin testerenin yan kısımlarına doğru olan kaymaları azaltmaktır. Daha sonraki işlem ise elmas parçacıkları arasındaki matris kalıntılarının kaldırılması ile başlayan etkili bir kesime başlamak için, gerekli olan elmas kesim boşluğunu sağlamaktır. Hem testere hem de soket aynı anda döndürülerek, elmas parçacıklarının aşınması daha az bir seviyeye indirilmiş olur (Wright ve Wapler, 1982; Çelik, 2009).

4.1.12. Balans Alma

Soketlerin çelik gövdeye kaynatılmasından sonra testeredeki gerilmeler için balans kontrolü ve ayarının yapılması gerekir. Bu işlem son derece önemlidir. Balans ayarı yapılmamış diskler, kullanım esnasında salınım yaparak çelik gövdenin vaktinden önce bozulmasına, çelik gövde üzerindeki soketlerin yerinden çıkmasına, kesme hızının düşmesine ve gürültüye yol açar. Balansı yapılmış diskin kullanıcıya verilmeden önce mutlaka bilinmesi gerekir. Diskin serbest bir şekilde kestiğinden emin olunmalıdır (Weber, 2004).

Çelik gövdelerde üretim esnasında ısı birikir. Onlar mükemmel olarak simetrik olmadıkları için testerele yalpalanmadan dönmezler. Bu yüzden çelik gövdeler bu ısı birikimlerinin yol açtığı gerilimlerin etkisiz hale getirilmesi için bir takım işlemlere maruz bırakılır. Asıl balans alma işlemi, dönen testerenin çevresini uzatmaya meyilli olan merkezkaç kuvvetine karşı koyan ve merkez kısmı germeye çalışan ilave gerilimlerden oluşur.

Mekanize ve bilgisayar destekli sistemle testerelelerin yan yüzeylerinin ve gerilim koşullarının son kontrolü dışında, nitelikli testere uzmanı tarafından kordon çekme ve çekiçe dövme işlemleri de yapılmaktadır (Weber, 2004; Huelmann ve Kohl, 1991).

5. MATRİSİN MİKROYAPISI

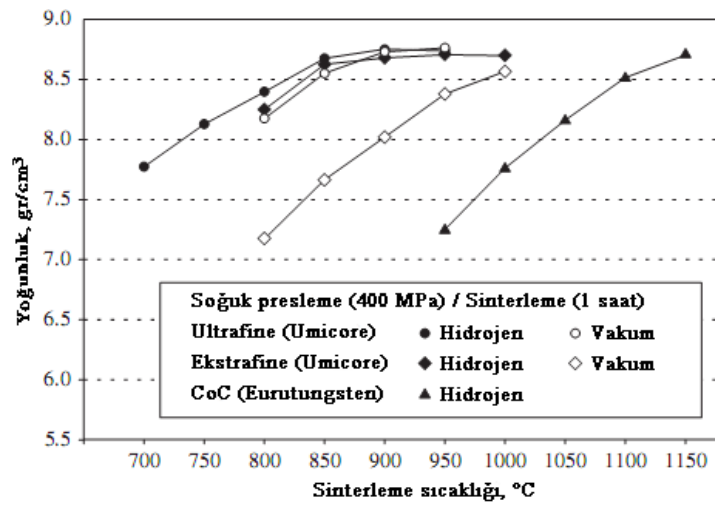
Malzemelerin mikroyapısı, mekanik dayanım, sertlik, süneklik ve aşınma direnci gibi özellikleri etkiler. Bu nedenle tozlar ve bunların üretim koşulları ile üretilen ürünün mikroyapısı arasındaki ilişkinin anlaşılması çok önemlidir.

5.1. Yüksek Yoğunluk Elde Etmek İçin Yapılan İşlemler

Elmaslı soketlerde elmasların gömülü olduğu matrislerin uygulamadan önce gerçek yoğunluklarına ulaşması sağlanmalıdır. Matris tozu ne kadar ince ise yoğunlaşma o kadar yüksek olur.

Genellikle sıcak presleme basıncı çoğu grafit kalıp için güvenlik sınırı olan 35 MPa'dır. Sıcak presleme sıcaklığını veya basıncını düşürmek için ek matris malzemesi olarak alaşımlı bronz tozları, kalay veya bakır, ayrı ayrı yada birlikte kullanılırlar. Fakat bu durumun tersi olması isteniyorsa matris içerisine tungsten yada tungsten karbür tozları eklenir.

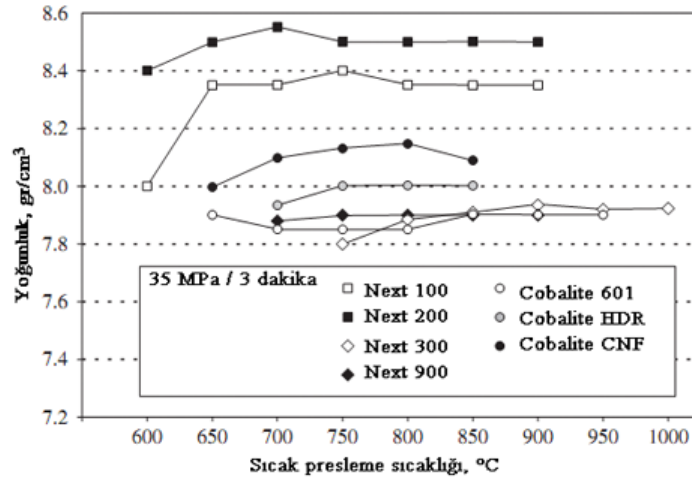
Geleneksel soğuk presleme/sinterleme işlemlerinde parametrelerdeki değişiklik ürünün özelliklerini de değiştirmektedir. Şekil 5.1'de farklı üretim koşullarında elde edilen üç kobalt tozunun sinterlenmiş yoğunlukları görülmektedir.



Şekil 5.1. Kobalt tozlarının sinterleme eğrisi

Sinterleme hidrojenli ortamda yapıldığı zaman, yoğunlaşma kolaylaşmaktadır. Ancak, oksijenden arındırılmış Umicore Ultrafine gibi hidrometalurjik yöntemlerle üretilen bazı kobalt tozlarının vakum ortamında düşük sıcaklıkta sinterlenmesiyle yüksek yoğunluğa ulaşılmaktadır. Diğer yandan sinterleme koşullarında hidrojen ile indirgenmeyen Eurotungstene CoC vb. kararlı oksit gibi oksijen içerikli sinterleme tozlarında zorluklarla karşılaşmaktadır.

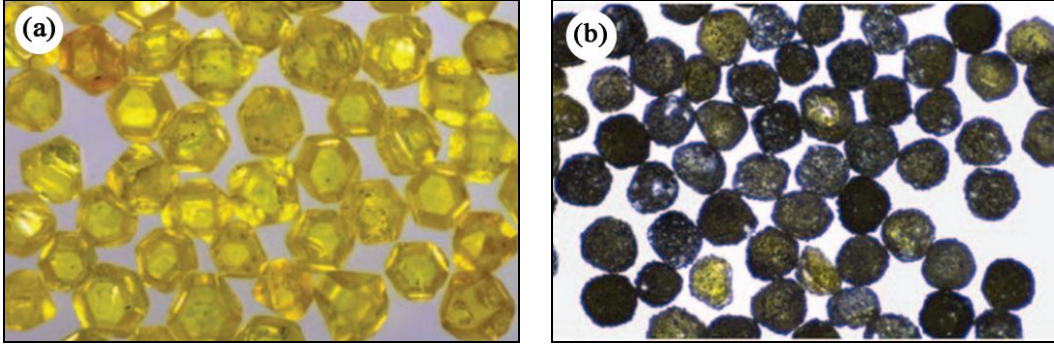
Kobalt alternatifi tozlar yüksek sıcaklıklarda genellikle mükemmel sıkıştırılabilirlik özelliklerine sahiptir. Şekil 5.2’de bu tozlardan bazılarının sinterleme sıcaklığına bağlı değişimi görülmektedir.



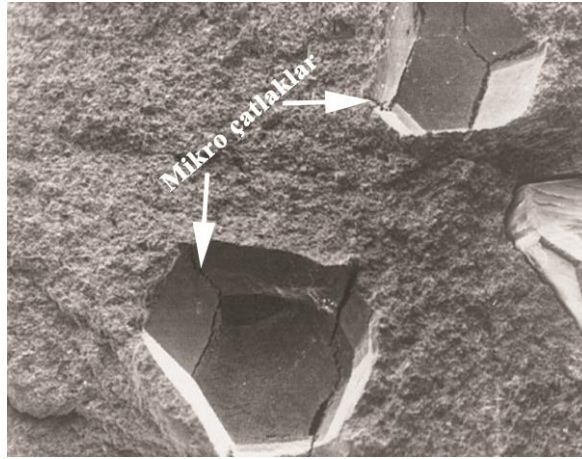
Şekil 5.2. Seçilmiş bazı kobalt alternatifi tozların sıcak presleme eğrileri

Şekil 5.3’de hidrojen ortamında bir saat sinterlenerek üretilen soketten çıkarılmış elmas taneleri görülmektedir. İki farklı demir esaslı matristen alınan elmaslarda büyük farklılıklar tespit edilmiştir. 850 °C’de sinterlemesi yapılan Cobalite CNF tozundan alınan elmaslarda herhangi bir kimyasal bozulma olmazken (Şekil 5.3a), 1100 °C’de sinterlemesi yapılan Cobalite 601 tozundan alınan elmaslarda bozulma meydana gelmiştir (Şekil 5.3b).

Sinterleme işlemleri vakum ortamında yapılmadığı zaman, tozlardaki oksijen içeriği elmasın yüzeylerine ve kenarlarına zararlı etkiye bulunur ve soketin kalitesini düşürür. Geleneksel soğuk presleme/sinterleme işlemleriyle üretimin diğer bir dezavantajı, sinterlemeden sonra soğuma aşamasında matriste mikro çatlaklar oluşur. Şekil 5.4’de kırılmış bir sokette elmasların söküldüğü yerlerde meydana gelen çatlaklar görülmektedir.



Şekil 5.3. Hidrojen ortamında 1 saat sinterlenmiş soketlerden çıkarılmış emas taneleri; (a) 850 °C’de sinterlemesi yapılan Cobalite CNF tozundan alınan elmaslarda herhangi bir kimyasal bozulma yok, (b) 1100 °C’de sinterlemesi yapılan Cobalite 601 tozundan alınan elmaslarda meydana gelen bozulma



Şekil 5.4. Sökülen elmasların yerlerinde sinterlemeden sonra meydana gelen soğumadan dolayı oluşan mikro çatlaklar

5.2. Tane Boyutu

Tane boyutunu küçülterek metal ve metalik olmayan malzemelerin mekanik dayanımını arttırmak mümkündür. Tane boyutunun yarattığı mukavemet artışı tane boyutunun küçülmesiyle meydana gelen tane sınırlarının yüzey alanının artmasının dislokasyonların hareketini sınırlandırması ile oluşur. Hall-Petch bağıntısında tane boyutu ile dayanım arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{K}{\sqrt{d_g}}$$

Burada; σ_y akma dayanımı, d_g tanelerin ortalama çapı, K ve σ_0 metalle ilgili sabitelerdir.

Elmaslı kesici takımlarda matris tozunun tane boyutu, tozun başlangıç özellikleri ve üretim koşullarından etkilenir. En önemli toz özellikleri, kimyasal ve faz bileşimi, kimyasal homojenlik, bileşen elementlerin karşılıklı çözünürlüğü, oksijen ve kükürt gibi impüritelerin miktarı, ortalama tane boyutu ve tane boyutu dağılımını içerir.

İnfiltrasyon ile üretilmiş takımlar haricindeki elmaslı soketlerde çok ince tozlar tercih edilmelidir. Böyle tozlarla sıcak presleme işleminden sonra çok ince taneli mikroyapı elde edilir. Düşük işlem sıcaklığı, düşük işlem süresi ve oksitlerin varlığında matriste tanelerin büyümesi engellenir. Oksitlerin tane sınırlarında takozlama etkisi göstererek tane büyümesini engellediği çok iyi bilinmektedir. Bu mekanizma kobaltın kükürtle yaptığı ve 877 °C'nin üzerinde oluşan sıvı faz nüfuziyetinden dolayı etkisiz kalır (Massalski, 1990).

Sıcak preslemenin aksine, soğuk presleme/sinterleme işlemiyle matrisin üretimi, genellikle indirgeyici bir gaz atmosferinde yüksek sıcaklıkta uzun üretim süresinden dolayı tanelerin büyümesine neden olur. Genel sinterleme atmosferleri kararsız oksitleri azaltır ve yoğunluğu arttıracak şekilde tanelerin büyümesini sağlar.

Gözenekler sinterlenmiş malzemelerin doğal parçalarıdır. Gözenekler ile tane sınırları arasında termodinamik olarak bir değişim sağlayacak ilişki söz konusudur. Gözenekler tane sınırlarına bağlanarak, tane büyümesini yavaşlatır (German, 1996). Örneğin kobalt alaşımlarında % 5 oranındaki gözenek tane büyümesini geciktirmektedir (Konstanty, 2003).

5.3. Toparlanma ve Yeniden Kristalleşme

Tozları sıkıştırmak için kalıptaki tozlara bir basınç uygulanır. Bu durum, dislokasyon, boşluk ve atomların yer değişimi gibi kafes kusurlarının yoğunluğunu arttırarak malzemenin dayanım kazanmasını sağlar. Sıcak preslemenin ilk aşamasında yüksek sıcaklıkta toparlanma çok az meydana gelir ve dislokasyonların düzenlenmesinden ve nokta kusurlarının azalmasından dolayı malzemedeki bazı rahatlatıcı gerilmelere müsaade eder. Yeniden kristalleşme çok daha yüksek sıcaklıklarda oluşur. Yaklaşık olarak metalin mutlak ergime sıcaklığının 0.4 katı bir sıcaklıktan sonra meydana gelir. Az miktarda dislokasyon içeren yeni tanelerin büyümesi ve çekirdeklenmeden dolayı pekleşme yok edilir. Kafes kusurlarının büyük oranda azalmasından dolayı, yeniden kristalleşen metallerin dayanımda azalma, fakat sünekliğinde artış gözlenir.

Metallerin yeniden kristalleşme sıcaklığı, bazı faktörlere bağlıdır. En önemlileri ergime sıcaklığı, soğuk şekil değiştirme miktarı, tavlama süresi ve oksit veya çok ince dağılmış fazların varlığıdır.

Yeniden kristalleşme üzerine oksitlerin etkisi karmaşık bir olaydır. Bir metalin kristal kafesi bozarak tercihli çekirdeklenme süresince oksit partiküllerinin rastgele dağıldığı deneysel olarak ispatlanmıştır. Ancak taneler ne kadar ince ise matris içindeki yapı o denli daha az kusurlu olur. Sonuç olarak yeni tanelerin çekirdeklenmesi daha zor olur (Konstanty, 2005). Aynı derecede önemli olan diğer bir konu ise partiküller arasındaki boşluklarda oksitlerin varlığıdır. Kritik yeniden kristalleşme çekirdeği partiküller arasındaki oksitten daha büyük olduğu zaman, oksit fazının çekirdeklenmeyi etkili bir şekilde geciktirebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca, ince bir şekilde dağılmış oksitlerin engelleyici etkisi, yeniden kristalleşme için gerekli itici gücün düşmesinden dolayı gerilme gidermeyi daha da kolaylaştırır. Bu durumdan dolayı 950 °C’de yapılan sıcak presleme işleminden sonra yüksek derecede oksitlenmiş kobaltın homojen olarak yeniden kristalleşmemesinin nedeni budur (Çelik, 2009).

400 mesh gibi çok kaba taneli tozlar genellikle 950 °C’de sıcak preslenir. Malzemelerin oksitlenmeye karşı düşük eğilimine rağmen yapıda % 5’e kadar oluşan gözenekler ince oksit tanecikleri gibi davranarak yüksek sıcaklıklardaki üretim esnasında yeniden kristalleşmeyi yavaşlatıcı etki gösterir. Çok ilginçtir ki, 400 mesh tane boyutuna sahip tozlarla yapılan çalışmalarda vakum ve hidrojen ortamında yapılan soğuk presleme ve fırında sinterleme işlemlerinde 1300 °C’de 1 saat tutulmalarına rağmen yeniden kristalleşmenin tamamlanamadığı rapor edilmiştir (Buekenhout ve Berghezan, 1981). Tozlar nispeten yüksek oranda kalsiyum ve silisyum içerir. Bu elementlerin yeniden kristalleşmeyi ve tane büyümesini önlemek için 1300 °C’ye kadar bozulmadan kalan kararlı oksitleri oluşturduğu çok iyi bilinmektedir (Robino, 1996).

Genel olarak toz içerisinde oksijen miktarı arttıkça yeni çekirdeklerin oluşumu da o derece zorlaşır. Sonuç olarak malzeme yeniden kristalleşmeye direnç gösterir ve onun tamamen yoğunlaşma sıcaklığının ötesinde bile yüksek sertliğini korur. Bu durum matris tozunun sıcaklığa karşı hassasiyeti dikkate alınarak pilot çalışmalar ile üretim sıcaklığı ayarlanarak giderilebilir.

5.4. Faz Bileşimi

Matris bileşiminin karmaşıklığı, bilimsel olarak olayın anlaşılmasına ve bu konudaki çalışmaların kısıtlı seviye olmasına sebep olmaktadır. Kobaltın mikroyapı ve faz bileşimi üzerine toz özellikleri ve yoğunlaşmanın etkisi ayrıntısıyla birkaç çalışmada incelenmiştir (Konstanty ve Bunsch, 1991; Konstanty, 2003). Kobalt 421 °C'nin altında kararlı olan hegzagonal sıkı paket (HSP) ve yüksek sıcaklıklarda kararlı olan kübik yüzey merkezli (KYM) olmak üzere iki tür allotropik kristal kafese sahiptir (Betteridge, 1982). Allotropik dönüşüm martenzitik bir yapıya sahiptir. Bu durum, dönüşümün yavaşlığını ve deney şartlarına hassasiyeti açıklayan düşük serbest enerji değişimi ile ilişkilidir. Özellikle tane boyutu ve pekleşme iki allotropik yapıyı etkiler. Daha küçük tane boyutu oda sıcaklığına soğuduktan sonra kübik yapının oluşmasına katkıda bulunur.

Sıkı paketli kristal düzlemlerinin istif sıralarını değiştiren atom konumlarının kayması ile yüzey merkezli kübik yapı (ϵ fazı) hegzagonal sıkı paket yapısına (α) dönüşür. Mekanik deformasyon gibi iç enerji kaynağı sağlanarak bu olay daha aktif olur.

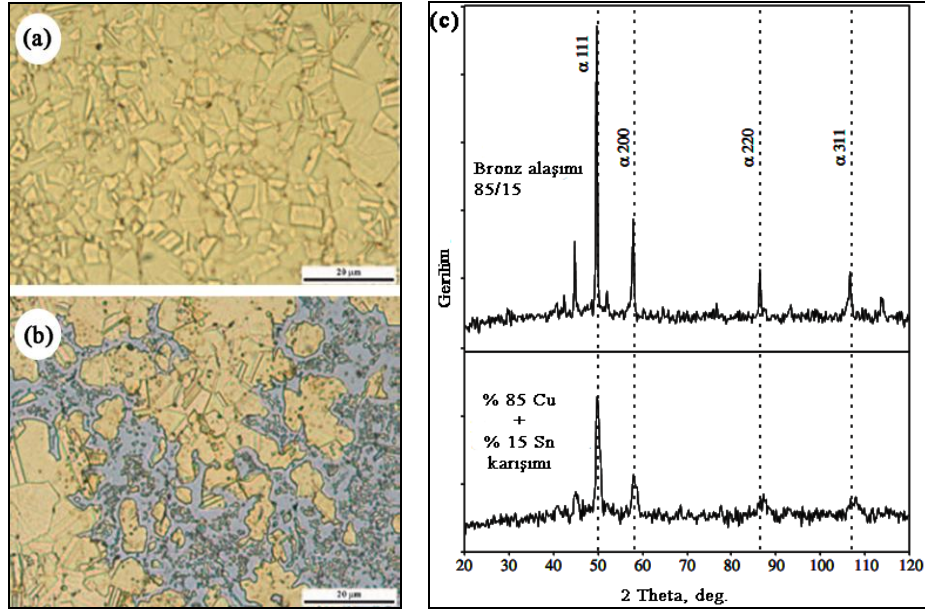
Mekanik olarak deforme olan kobaltta KYM yapı veya KYM/HSP karışık yapının korunması alaşımlama ile yapılır. Döküm kobalt esaslı alaşımlar için en güçlü faz dengeleyicileri Al, Nb, Ti, Fe, Zr, W ve Ta'dur. Mn, Ni, Mo, Sn ve V gibi elementlerde α fazının kararlılaştırıcılığını zayıflatmasına rağmen literatürde yer almaktadır (Zhao, 1999). Toz metalurjisi malzemelerinde Al, Nb, Ta ve Zr oksijenle kolay bileşik oluşturdıklarından dolayı büyük tehlike meydana getirmektedirler. Bu yüzden onların KYM yapısının kararlılığı zayıflar. Buna karşın çok ince haldeki karbonil tozu biçimli olan demir özellikle bu uygulamalar için en uygun olanıdır. Pratikte, kobalta % 10 demir ilavesi KYM yapıyı aşırı kararlı yapar. Ayrıca bu oranda sertlik ve akma dayanımında az miktarda düşmesine karşın belirgin olarak süneklikte iyileşme görülür. % 10-24 Fe içeriğinde termodinamik olarak kararlı iki fazlı yapı oluşur. Demir oranındaki ekstra bir artış kristal yapının kübik hacim merkezli (KHM) yapıya dönüşmesine sebep olur.

Eş atomlu kobalt-demir alaşımı 730 °C'nin altına soğutulduğu zaman düzensiz halden düzenli hale geçer. Pratikte, düzenli α' fazı kararsız bir yapı oluşmadan stokiyometrik bileşimin her iki tarafında uygun bir aralıkta oluşabilir.

Deneyisel çalışmalar, stokiyometrisi birbirlerine yakın olan kobalt-demir alaşımlarının 660 ile 870 °C arasında sıcak presleme ile teorik yoğunluğa hemen hemen

ulaşılabileceğini göstermiştir (Konstanty, vd., 2004). Ancak malzemelerde gevreklik meydana gelir. Bu yüzden geniş ölçekli endüstriyel uygulamalar için sınırlıdır.

Kritik olmayan uygulamalar için takımların üretiminde çeşitli bronz alaşımları kullanılır. Bugüne kadar kobalt ile birleştirilmiş kalay bronzu önemli bir paya sahiptir. Kalay 232 °C'nin üzerinde ergidiğinden alaşımın difüzyonal homojenleşmesine sebep olan sıcak presleme esnasında sıvı faz katı partiküllerin arasına nüfuz eder. Malzeme sıcak presleme ile üretildiğinde dış basınçlar gözeneklerin kapanmasına yardımcı olur. Fakat düşük sıcaklıklarda ve kısa süreli sinterleme işlemlerinde mükemmel olarak homojenize edilmiş alaşımların üretimi çok zordur. Şekil 5.5'de bakır ve kalay tozlarının karışımından yapılmış malzemenin mikroyapısı ve XRD grafiği verilmiştir.

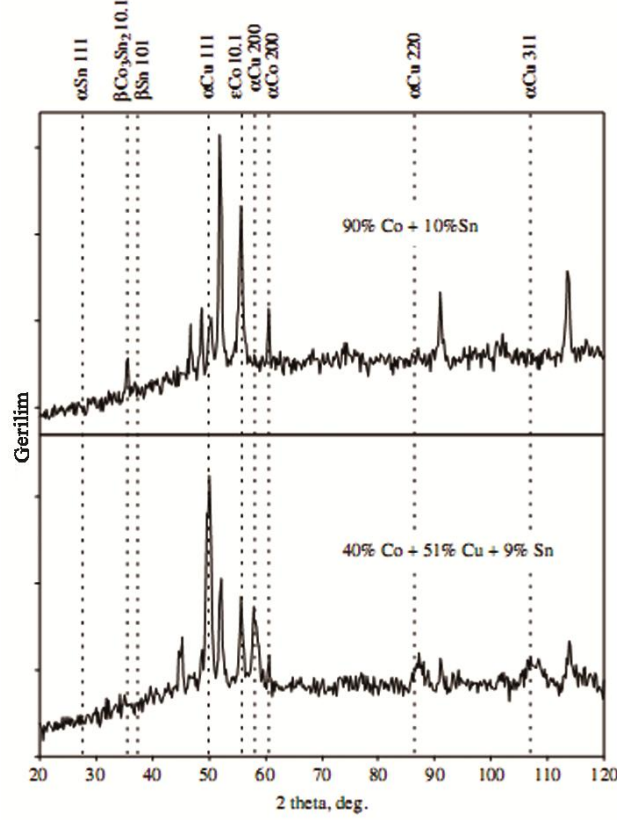


Şekil 5.5. Sıcak presleme ile üretilmiş kalay bronzunun mikroyapısı (a) alaşım, (b) toz karışımı ve (c) XRD grafiği

Matrise yapılan ilaveler sıcak presleme ve soğuma esnasında matriste metaller arası bileşiklerin oluşmasına neden olmaktadır. Genellikle metaller arası bileşikler tane sınırlarında ya da fazlar arası sınırlarda oluşur. Sonuç olarak bunlar mekanik özelliklerin düşmesine neden olurlar. Bu sebeple üretim esnasında esas toz malzeme ile gevrek metaller arası fazları oluşturan katkıların etkileşimi üretimde sakıncalı olabilir.

Hegzagonal $\beta\text{Co}_3\text{Sn}_2$ fazı, % 10 Sn içerikli bakırsız bir alaşımda kolaylıkla tespit edilebilmesine rağmen, kobalta % 15 Sn içeren bronzun ilave edilmesinin metaller arası fazların tespit edilememesi çok ilginç bir durumdur (Şekil 5.6). Geleneksel soğuk

presleme/sinterleme ile takımların üretilmesi durumunda sinterleme esnasında çeşitli fazların oluşumu yoğunlaşmayı kontrol ettiğinden dolayı kritik bir durumdur.



Şekil 5.6. Sıcak preslenmiş Co-Cu-Sn ve Co-Sn alaşımların XRD grafiği

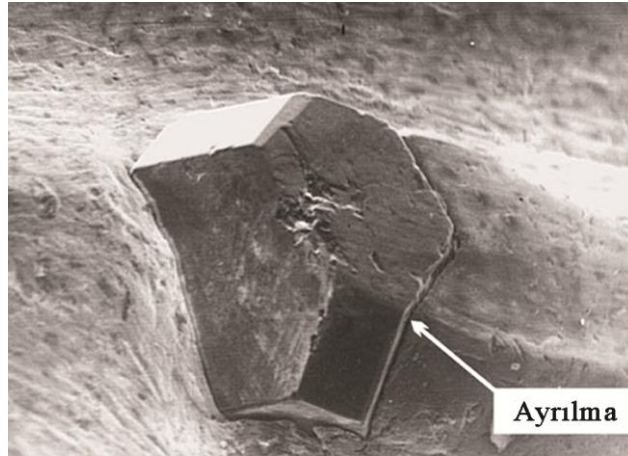
Genel olarak, ince tozların sinterlenme özellikleri iyi olduğundan soğuk presleme/sinterlemede ince tozlar daha çok tercih edilir. Ayrıca bu durumda gözenekler daha küçük olur. İlk oluşan gözenekler, boşluk difüzyonu ile boşluklardan komşu tane sınırlarına hareketten dolayı yok edilmesi kolaydır.

6. MATRİSİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Matrisin en önemli görevi elmas taneciklerini sıkı bir şekilde tutmaktır. Çalışma koşulları altında, elmas-matris etkileşimi elmas tanesinin şekli ve boyutu, elmasın yönlenmesi, yüklenme koşulları, matristeki kalıntı gerilmeler ve elmas-matris sürtünmesi gibi faktörlere bağlı olarak çeşitli biçimlerde meydana gelmektedir. Elmasın matris tarafından tutulması ile ilgili basit modeller geliştirilmiştir. Kullanım esnasında elmasın matristen çıkması ile ilgili tatmin edici bir açıklama yapmak çok zordur.

Uygulama esnasında matris değişken yük koşullarında işlev gördüğü için yorulmaya maruz kalmaktadır. Isıl genişleme katsayısındaki uyumsuzluktan dolayı üretim esnasında her bir elmas taneciğinin etrafında oluşmuş iç gerilmelerin tutunmayı arttırdığı düşünülür. Fakat bu direkt olarak tespit edilemez.

Bu ilk gerilimli durumun, kesme bölgesinde meydana gelen ısının sebep olduğu matristeki ısıl genişmeden dolayı yada çalışma esnasında elmas üzerine uygulanan dış kuvvetler veya plastik deformasyonla yok olmaması önemli bir husustur. Aksi takdirde elmaslar Şekil 6.1’de de görüldüğü gibi zamanından önce çıkarlar.



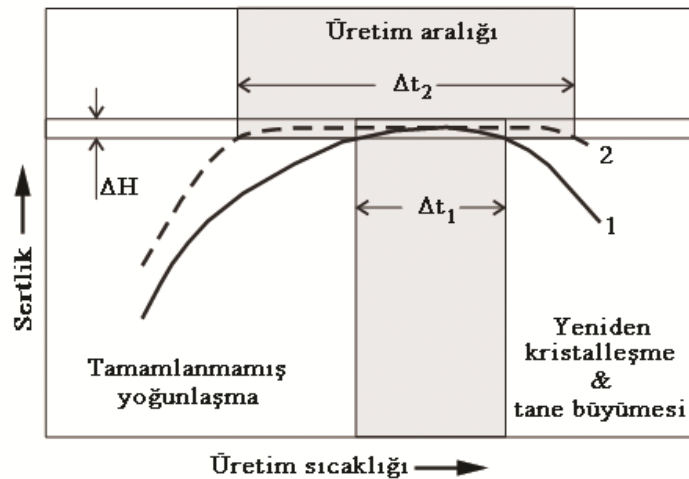
Şekil 6.1. Elmas ile matris arasındaki ayrılma

Sertlik, akma dayanımı ve darbe dayanımı gibi bazı malzeme özelliklerinin matrisin elması tutma yeteneğini kontrol ettiği düşünülmektedir. Yukarıdaki durumla ilgili ortak

görüş olmamasına rağmen, sertlik, akma dayanımı, eğme dayanımı ve darbe dayanımının değerlendirmesi uygulamalarda rutin olarak yapılmaktadır.

6.1. Sertlik

Düzenli bir şekilde yoğunluk kazandırılmış olan matrisin sertliği belirli bir aralıkta olup, büyük ölçüde tozun kimyasal bileşimi ve üretim parametreleri tarafından etkilenmektedir. Hatalı üretim durumunda sertlik belirlenen aralıkta yer almaz. Bu yüzden sertlik soketler için kalite kontrol parametresi olarak kullanılmaktadır. Üretim sıcaklığı ile sertlik arasındaki ilişki Şekil 6.2’de verilmiştir.

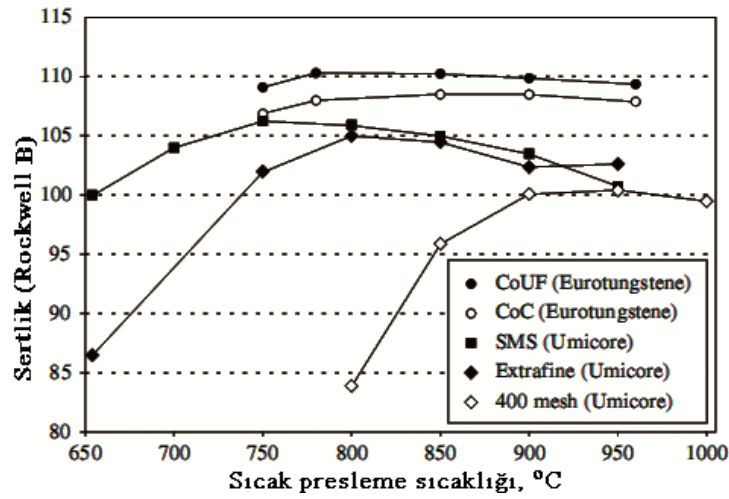


Şekil 6.2. Üretim sıcaklığına bağlı olarak sertlik değişimi

Düşük üretim sıcaklıklarında sertlik, malzemenin plastik deformasyon miktarı ve yoğunluğu ile doğru orantılı olarak artar. Tam yoğunluğa ulaşıldıktan sonra yeniden kristalleşme ve tane büyümesi gibi diğer mekanizmalar malzemenin yumuşamasına sebep olur. Burada üretim sıcaklık sahasının sertlik üzerinde sabitleşme etkisi mevcuttur (Şekil 6.2’de 2 nolu eğri).

Çeşitli kobalt tozları için sıcak presleme sıcaklığının sertliğe olan etkisi Şekil 6.3’de verilmiştir. Elmaslı takım yapımında sertlik, matrisin elması tutabilme gücü için pratik bir rehber olarak kullanılmaktadır. Ancak bu basit ölçü birkaç önemli durumda dikkate alınmaz. İlk olarak sertlik ölçümleri % 5 ile 12 arasındaki plastik gerilimleri içerir. Bu yüzden sertlik ölçmede kullanılan test malzemesinin pekleşme özellikleri tarafından

etkilenen sertlik okumaları malzemenin direkt olarak elastik davranışı hakkında bilgi vermez. İkinci olarak, dairesel testere gibi bazı uygulamalarda elmas/matris yapısı yüksek frekanslı darbe yüklerine maruz kalır. Bu durum statik testlerle belirlenemeyebilir. Son olarak, matris deforme olduğu zaman, o elmasların yüzeyi boyunca kayar. Çoğu metaller üzerinde elmasın statik sürtünme katsayısı çok küçüktür. Bu yüzden metalik matris ara yüzeyde yanlamasına serbest olarak kayar. Elmas üzerinde üretilen kaplamalar ve diğer faktörler sürtünme katsayısını belirgin bir şekilde arttırdığı zaman bu ara yüzeydeki serbest kayma hali değişmektedir. Bu nedenle büyüyen sürtünme kuvvetlerin elmas etrafındaki matrisin plastik akmasını sağlayacak basıncı arttırdığı düşünülmektedir.



Şekil 6.3. Kobalt tozları için sertlik-sıcak presleme sıcaklığı ilişkisi

Kesilecek doğal taşın türüne göre oluşturulan matriste, granit gibi sert taşlar için yumuşak matrisler, yumuşak taşlar için ise sert matrisler önerilir. Matris sertliği olarak da mermer türü malzemeler için 80-100 HB, granit türü sert malzemeler için ise 18-40 HRC arası önerilir (Tönshoff vd., 2002).

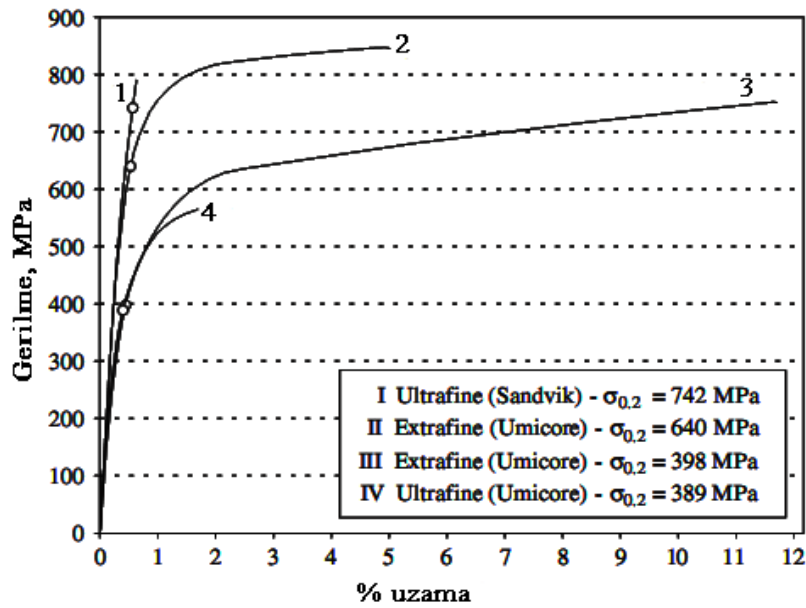
6.2. Akma Dayanımı

Akma dayanımının matrisin elması tutma kapasitesini belirleyen bir özellik olduğu düşünülmektedir. Her zaman, matrisin akma sınırı aşıldığı zaman, elmas çevresindeki matris yüzeyindeki tutucu tabakada hasar görülür. Bu da elmasın kopmasına ve elmaslı

kesici takımın kesme özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olur (de Châlus, 1994; Bonneau, 1995).

Genellikle akma dayanımı çekme testi ve sertlik ile tespit edilmektedir. Çift akma noktası gösteren bazı çelikler dışında, plastik deformasyona uğrayan malzemelerde gerilmeler kolaylıkla tespit edilmez. Bu yüzden % 0.2 birim uzamaya karşılık gelen değer olarak tanımlanır. Oksit fazının miktarı, dağılımı ve sıcak presleme sıcaklığı yeniden kristalleşmenin oluşumunda ve son tane boyutu üzerinde önemli bir etkisi vardır. Sonuç olarak tozların özelliklerini değiştirerek çekme özellikleri ayarlanabilir (Şekil 6.4). Çekme özellikleri üzerine oksijen ve kükürt gibi impürilerin ve tane büyümesinin etkisini karşılaştırmak için sıcak presleme işlemi yüksek sıcaklıklarda yapılmıştır.

En yüksek akma dayanımın ince olarak dağılmış kararlı oksitleri içeren ince taneli malzemelerde elde edildiği açıkça görülmektedir (1 nolu eğri). Diğer taraftan, kobaltın akma dayanımı redükleyici bir atmosferde üretildiği (3 nolu eğri) ya da oksitsiz tozlar sıcak preslendiği zaman büyük ölçüde azalır (4 nolu eğri).



Şekil 6.4. Bazı kobalt tozlarının gerilim-uzama eğrisi; (1-3) 950 °C'de 2 dakika sıcak presleme, (IV) hidrojen atmosferinde 950 °C'de 1 saat sinterleme

6.3. Eğme Dayanımı

Elmaslı kesici soketlerin eğme dayanımlarını belirlemek amacıyla genellikle üç noktalı eğme testi yapılmaktadır. Bu yöntem uygun soketin seçilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Endüstriyel uygulamada, eğme testi matrisin elması tutmasını iyileştirmek için elmasa yapılan kaplamaların etkinliği değerlendirmek için yapılan kullanışlı bir yöntemdir. Kaplamalı ve kaplamasız elmasların karşılaştırılmasında kullanılır. Ancak burada üretim parametreleri aynı tutulmalıdır.

Uygulamalarda kobalt alaşımlarının eğme dayanımını iyileştirmek için tungsten karbür ve bronz ilave edilir. Hidrometalurji teknikleriyle üretilen ince taneli kobalt tozuna % 20 WC eklenmesiyle, yüksek işlem sıcaklıklarındaki mukavemet kayıplarını engellemek için, yumuşak kobalt tozu dağılım mukavemetleşme mekanizmasıyla sağlamlaştırılır. Buna ek olarak sert faz miktarının % 40 olduğu durumlarda matrisin sertliği artması gerekirken yumuşamaya başlar. Karbür fazı sürekli olarak devam etmez ve buda kobaltın sıcaklıkla birlikte zayıflamaya başladığını gösterir (Çelik, 2009).

Matrise bronz eklenmesi durumunda ise, eğme dayanımında sürekli olarak bir azalma görülür. Ancak bronz tozları iri taneli kobalt tozunun yoğunluğunu arttırdığı için gözeneklilikte azalma, artan bronz miktarı ile eğme dayanımındaki düşüş oranı tungsten karbüre göre daha az ve yavaş olur.

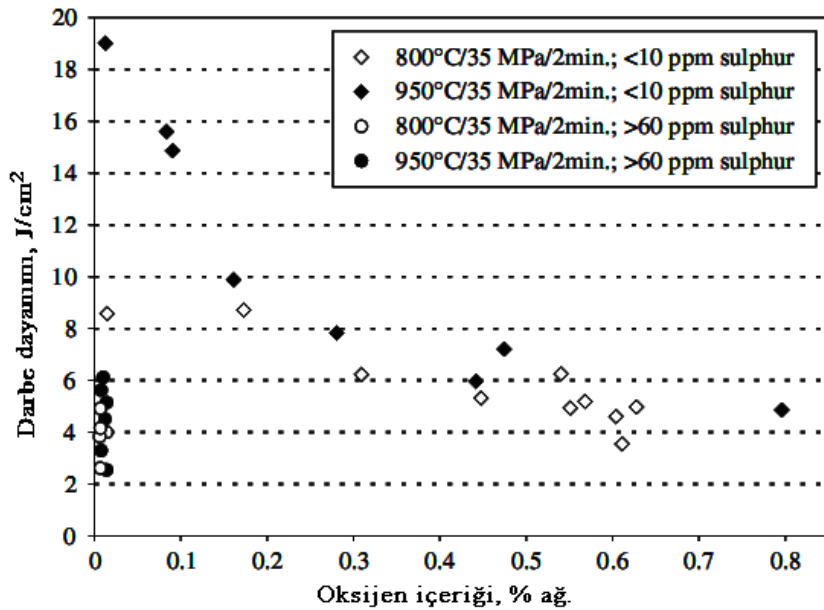
6.4. Darbe Dayanımı

Kesme işlemi esnasında elmaslar periyodik olarak, matrisin çevresindeki gerilimleri tetikleyen yoğun darbelere maruz kalır. Ayrıca elmaslı takımlarda istenmeyen titreşimler, elması sınıksız tutma özelliğini azaltan darbeleri yüklemelerin yanında sisteme etki ederler. Bu gibi olaylar aşınmaktan ziyade kırılmaya başlayan matrise gömülü elmas partiküllerinin işlev görmemesine sebep olur. Bu yüzden matrisin darbe dayanımı, uygulamaların büyük bir çoğunluğunda takım performansı için kritik olmaktadır.

Toz metalurjisi (TM) ile üretilmiş malzemelerin darbe dayanımı onların yoğunluğu, kimyasal ve faz bileşimi, tane boyutu ve impüritelerin içeriği gibi faktörlerden etkilenmektedir. Malzeme tamamen yoğunlaşmış olmalıdır. Aksi takdirde gözenekliliğin artmasına karşın toklukta düşüş meydana gelir.

2 μm tane boyutundan daha küçük taneli tozların sıcak preslenmesiyle elde edilen alaşımsız kobaltlı soketlerin kırılması için gerekli olan enerji malzemede bulunan impürিতeler tarafından etkilenir. Şekil 6.5’de görüldüğü gibi, kobaltın sünekliği, malzemede kükürdün varlığı ve malzemenin oksitlenme derecesi ile kontrol edilmektedir.

Oksijen içeriğinin olmamasına rağmen kükürt içerikli hidrometalurjik tozlardan üretilmiş malzemeler düşük darbe dayanımına sahiptir. Oksijen içeriği % 0.01’den % 0.2 oranına artmasına karşın, neredeyse sıfır kükürt içeren malzemelerin darbe dayanımı keskin bir şekilde düşer. Bu aralığın biraz daha üstünde, darbe dayanımındaki azalma keskinliğini kaybeder. 800 °C’den 950 °C’ye sıcak presleme sıcaklığındaki artış marjinal bir etkiye sahiptir. Bu artış, sıcaklık yükselmesinin sünek davranışı temsil ettiği çok düşük oksijen içeriği ile sınırlandırılmış olarak görülmektedir (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).



Şekil 6.5. Sıcak preslenmiş kobaltın darbe dayanımı üzerine kükürt ve oksijen içeriğinin etkisi

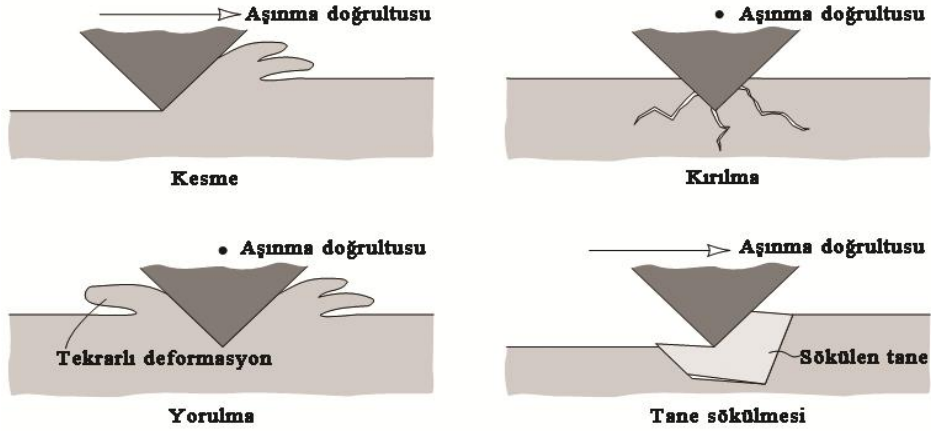
7. MATRİSİN AŞINMA ÖZELLİKLERİ

Elmaslı takımların aşınma özellikleri ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların çoğu tamamen elmas tanelerinin özellikleri ile ilgilidir. Oysa matrisin aşınma mekanizması hakkında çok az çalışma vardır (Liao ve Luo, 1992; Liao ve Luo, 1993; Davis vd., 1996; Tönshoff ve Asche, 1997; Konstanty, 1999; Konstanty, 2000; Konstanty, 2003). Bu yüzden sistem ve malzeme özellikleri ile aynı öneme sahip matrisin aşınma mekanizmasını tartışmak kayda değer bir durumdur. Elmaslı takımlar ile kesme ve aşındırma işlemleri sırasında kesilen ve aşındırılan iş parçalarının talaşı ile matris arasında etkileşim, abrasiv talaşın boyutu, şekli, parçalanma özellikleri, sertliği, yükleme koşulları ve partikül hareket hızına bağlı olarak değişik biçimlerde meydana gelmektedir.

7.1. Abrasiv Aşınma Direnci

Her biri farklı oluşuma ve özelliklere sahip birçok aşınma çeşidi vardır. Bu aşınma türleri farklı mekanizmalar ile aşınmayı meydana getirirler. Abrasiv aşınmada, abrasiv partiküller mikro kesme, mikro kırılma ve tanelerin çıkması gibi mekanizmalar ile malzemeden kaldırılabilir (Şekil 7.1). Kayda değer bir plastik deformasyon, aşınmış yüzeylerin altında meydana gelir. Ve sonuç olarak malzemede aşınma oranının düşmesine sebep olan pekleşme meydana gelir. Şiddetli bir alt yüzey deformasyonu aşınma esnasında kaçınılmazdır. Bu yüzden yüksek uzamalarda sertlik sık sık kontrol edici özellik olur (Stachowiak ve Batchelor, 1993).

Şekil 7.1’de ki kesici tanelerin veya kum tanelerinin yumuşak yüzeyi kesmesi ile aşındırması gösterilmiştir. Kesilen malzeme aşınma izi (debris) gibi kaldırılır. Aşınan malzeme seramik gibi gevrek olduğu zaman, aşınmış yüzeyde kırılma meydana gelir. Aşınma izi (debris) çatlakların bir noktada birleşmesiyle oluşur. Sünek bir malzeme keskin olmayan tanelerle aşındırıldığı zaman kesme olmaz ve yıpranan yüzeyde tekrarlı bir deformasyon oluşur. Burada oluşan aşınma izi (debris) metalin yorulması sonucunda oluşur. Son mekanizma ise, tanelerin yüzeyden ayrılmasıdır. Bu daha çok seramik malzemelerde oluşur. Çünkü taneler arasındaki sınırlar zayıftır. Bu mekanizmada tüm tane aşınma izi olarak kaybolur (Batchelor ve Stachowiak, 2000).



Şekil 7.1. Abrasiv aşınma mekanizmaları

İşleme ile sertleştirilmiş malzemelerin sertliği abrasiv taneciğin sertliğine yakın veya aşmış olursa, pekleşme ile mukavemetleşmiş olan yapının aşınma oranı yüksektir (Sundararajan, 1995). Olaya kesme açısından baktığımızda abrasivlerin aşınma yüzeyinden daha sert olması gerekir. Çok az bile sert olsa kesme işlemi gerçekleşir.

Aşınma mekanizması büyük oranda abrasiv partikülün şeklinden etkilenir. Kırılmış malzemeden oluşan yeni abrasiv taneler, çok daha fazla mikro kesme köşeye sahiptir. Aşınarak köşeleri körelmiş taneciklerden daha fazla malzeme kaldırır. Ancak, abrasiv malzeme çok gevrek olursa, aşınmada ufalanarak daha küçük abrasiv taneciklere dönüşür. Sabit bir temas basıncı ve diğer test koşullarında, çoğu metallerin aşınma oranı 50 μm ortalama abrasiv tane boyutuna kadar lineer olmadan artar. Yaklaşık 100 μm 'de sınır değerine ulaşır.

Aşınma oranını kontrol eden başka bir faktör aşınma debrisleri olarak kalmasının yerine çıkarılmasına malzemenin yatkinlığıdır. Bu yüzden yüksek süneklik ve tokluk, mikro kesme ve gevrek kırılma olarak meydana gelen abrasiv aşınmayı hızlı bir şekilde önleyebilir. Çok daha yavaş meydana gelen çentik yorulması bunun yerini alabilir. Abrasiv partiküllerin keskinliği, yuvarlanma ve kayma gibi hareketleri de malzemenin kaybı üzerine önemli etkileri olan faktörlerdir.

İş parçasında bulunan ve aşınmaya neden olan minerallerin tespiti önemli bir husustur. Aşındırmayacak kadar yumuşak olan mineraller buna rağmen malzemeyi aşındırır. Fakat içerdiği mekanizma ısı yorulma, oksidasyon ve aşınma ile oksit tabakasının kalkması gibi farklı tür mekanizmalardır.

Metalik yada metalik olmayan malzemelerin aşınma testlerinde abrasivin sertliği aşınacak malzemenin sertliğine oranı 1.3-1.7 olursa izafi aşınma belirgin bir değerde olur.

Yukarıdaki ifadede kritik bir değerde olan malzemenin sertliğinde artış olduğunda etkili bir aşınmanın olacağı ima edilir. Bunu başarmanın en kolay yolu yumuşak matrise karbür gibi sert fazların ilave edilmesidir. Karbür esaslı bir malzeme, karbürsüz tek fazlı bir malzemenin abrasiv aşınma direncinden dört kat daha fazla bir dirence sahiptir. Abrasiv direnç sert fazın hacim olarak yaklaşık % 30'unda meydana gelir. Bu seviyenin ötesindeki bir değer istenmeyen, gevrek ve sürekli bir sert faz ağı aşınma direncini düşürür ve çatlak büyümesini etkinleştirir. Aşınan malzemeler darbe gerilimlerine uğrarsa, malzemenin sünekliği diğer özelliklerini de temsil eder.

Abrasiv tanelerin aşınmış yüzeyde izlediği yol abrasiv aşınmanın yapısını belirler. Literatürde iki ve üç elemanlı abrasiv aşınma modeli vardır.

7.1.1. İki Elemanlı Abrasiv Aşınma

İki elemanlı aşınma zımpara kâğıdına tutulan malzemenin aşınması şeklinde basitçe temsil edilebilir. Burada taneler serbest değildir. Yüzeyde kesmeye benzeyen aşınma oluşur. İki elemanlı abrasiv aşınma malzeme kaldırmada en hızlı ve en etkili mekanizmadır. Bu yüzden matrisi doğaltaşın yüzey pürüzlülüğünden korumak için elmasın matristen çıkıntısının yeterli seviyede olması son derece önemlidir. Matris kesilecek doğaltaşa direkt temas ettiğinde, matris iki elemanlı mekanizma ile aşınır. Eğer açıklık yeterli olmazsa matrisin doğalt taşla direkt teması takım ömrünü azaltır.

7.1.2. Üç Elemanlı Abrasiv Aşınma

Üç elemanlı abrasiv aşınma, abrasiv partiküllerin bir çift kayma yüzeyi arasına girmesiyle oluşur. Her iki yüzeyde de aşınma meydana gelir. Üç elemanlı abrasiv aşınmada taneler serbest olup, yüzeye dönerek çarparlar. Üç elemanlı abrasiv aşınmanın, iki elemanlı abrasiv aşınmaya göre on kez daha yavaş olduğu bulunmuştur. Çünkü üç elemanlı abrasiv aşınmanın, adhesiv aşınma gibi diğer mekanizmalar ile tamamlanması gerekir. Üç elemanlı abrasiv aşınma için taneleri yüzeye iten aksamın sertlik gibi özelliklerinin önemli olduğu bulunmuştur. Fakat bu iki elemanlı abrasiv aşınma için söz konusu değildir. Üç elemanlı abrasiv aşınma, iki elemanlı abrasiv aşınmaya göre daha az malzeme kaldırılmasını içerir (Batchelor ve Stachowiak, 2000).

Taş, beton ve sert seramiklerin elmaslı soketlerle kesilmesi işlemi sırasında, matrisin aşınması taş talaş ile soğutucu sıvının oluşturduğu aşındırıcı çamurun soket üzerine nüfuz etmesiyle meydana gelir. Bu aşınma kesme bölgesinde oluşur ve soketin bileşimi ile kesme koşullarından etkilenir. Abrasiv talaşın en önemli özellikleri; ortama partikül boyutu ve boyut dağılımı, partikül şekli, mineral bileşimi ve kırılma özellikleri şeklindedir.

Soket bileşimi ve kesme koşulları ile ilgili değişkenler eşit derecede öneme sahiptir. Bunlar matris ile iş parçası arasındaki boşluğu belirler. Matris iş parçası üzerindeki birikintileri aşınarak temizler ve aşındırıcı çamurdaki talaş konsantrasyonunu kontrol eder. Bundan dolayı önemli faktörler; elmas boyutu, dayanımı ve konsantrasyonu ve doğaltaş talaşı boyutudur.

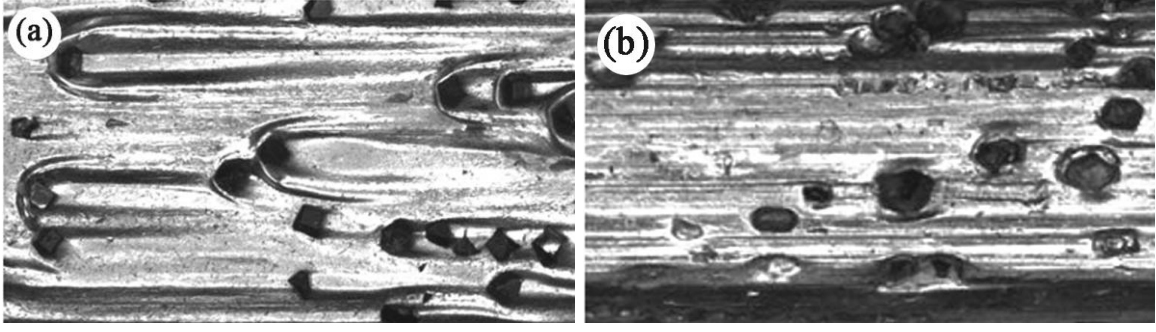
7.2. Elmasın İşlevi

Matris yüzeyinden dışarı çıkan elmas parçacıkları matrisin aşınma özelliklerini etkiler. Bunlar;

1. Matrisi kesilen malzemenin neden olduğu sürtünme hareketinden korumak,
2. Aşınma oluklarını bloke etmek.

Bunlardan birincisi, matris ve kesilen malzeme arasında aralık oluşması ile ilgilidir. Elmas tanecikleri matris yüzeyinden çıkarak, kesilen malzeme ile matris arasında bir boşluk oluşur. Bu boşluk vasıtası ile matris üzerinde direkt zorlanma olmaz. Ayrıca bu boşluk elmas için kesme boşluğudur.

Aşınma oluklarının yok edilmesi daha çok dikkat edilmesi gereken konulardan biridir. Bu konu “*ayakta durma etkisi*” olarak adlandırılmaktadır (Batchelor ve Stachowiak, 2000). Kesme yönünün sabit kalmasıyla kesme işleminde bulunan her bir elmas parçacığının arkasında elmasın aşınma direncinden dolayı uzayan kuyruklar oluşmaktadır. Oluşan bu matris kuyukları kesme işleminde elmasa destek vererek kesme veriminin artmasını sağlamakta ve matrisi hızlı aşınmadan korumaktadır (Konstanty, 2005). Şekil 7.2’de kullanılmış elmaslı disk ve katrağın yüzeyleri görülmektedir.



Şekil 7.2. Aşınma yüzeyleri (a) elmaslı disk ve (b) elmaslı katrok

Elmas tanesi koptuğu zaman, matris kuyruğu elmas tarafından korunamaz. Elmas tanesi düştükten hemen sonra matris kuyruğu iş parçası ile kısa süreli fakat yoğun bir sürtünmeye maruz kalır. Kesilen doğal taş üzerinden kopan parçacıklar matris üzerinde abrasiv bir etki yaparak matrisi hızla aşındırır. Bu durum yeni elmas tanecikleri çıkana kadar devam eder. Artan aşınma miktarı ile önceden oluşan matris kuyruğu kesilen doğal taştan kopan partiküllerle aşınır. Aşınan matris kuyruğu ve kopan elmas taneciği ile aşınma artar ve matris yüzeyindeki daha geniş olan aşınma yüzeyinde yeni elmas tanecikleri çıkar ve kesme işlemi devam eder.

Elmas büyüklüğünün sabit kalmasıyla artan elmas konsantrasyonu ve matrisin elması tutma veriminin artması ile kesici yüzeyde daha fazla elmas parçacığı bulunur. Bu nedenle ayakta durma etkisinden dolayı, takım ömrü de artan kesme noktası sayısı ile artmaktadır. Ancak pratikte yapılan uygulamalarda testere ömrü ancak belirli optimum konsantrasyonlara kadar artar. Bazı durumlarda elmas konsantrasyonu artmasına karşın takım ömründe azalmada görülebilmektedir. Optimum elmas konsantrasyonu, elmas tipi ve boyutu, kesme parametreleri, kesilen taşın özellikleri ve kesim makinesinin özelliklerinin karmaşık bir fonksiyonudur. Özellikle dikkat edilmesi gerekli hususlar elmasın matrisin içinde homojen olarak dağılımı ve kesme makinesinin özellikleridir.

Elmas konsantrasyonun belirli bir oranda artması ile elmas tanecikleri kesim işlemi yapılan doğaltaşın partikülleri ile örtülür ve bu suretle kesim işlemi başarısız olur. Bu nedenle elmas taneciklerinin matris içinde homojen olarak dağılması gerekir. Matris içerisindeki dışarıya çıkmış elmasların sadece çok az miktarı (yaklaşık % 26) her zaman doğru çıkıntı yüksekliğindedir. Orta seviyeli elmas konsantrasyonlarında maksimum takım ömrü temel olarak kesme makinesinin güç özelliklerine bağlıdır. Yetersiz kesme gücü elmasların kesme noktalarının kesilen doğaltaşın içine girmesini garanti etmez ve bu

yüzden mikro kırılma yoluyla keskinleşen elmas tanecikleri matris içerisinde kalır. Bu işlem sonucunda elmas taneleri keskinliklerini kaybettikleri için kesme işlemi sonlanır.

Elmaslı testerelerin aşınması değişik faktörler tarafından etkilenmektedir. Bu faktörler doğal taşın özellikleri, kesme özellikleri, testere dizaynı, aşınma türü, makine özelliği ve diğer bazı faktörlerdir. Bu faktörler Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Elmaslı kesici takımların aşınmasını etkileyen faktörler (Ersoy ve Atıcı, 2004; Tonshoff vd., 1994; Büyüksağış, 1998).

Doğal taşın özellikleri	Kesme özellikleri	Testere dizaynı	Aşınma türü	Makine özelliği	Diğer faktörler
*Tane boyutu *Dayanım *Tane şekli *Sertlik *Su içeriği *Mineral tipi *Aşındırıcılık *Matris tipi *Gözenek *Basınç *Yönlenme *Bağlanma yapısı *Çimentolaşma	*Kuvvet *Kesme hızı *Talaş kaldırma oranı *Çevresel hız *Kesme derinliği *Spesifik enerji	*Kesme mekanizması *Kesme modu *Elmas özellikleri *Matris özellikleri *Soket etkisi *Soket yoğunluğu *Testere profili	*Abrasiv *Erozif *Korozif *Isıl şok *Termal yorulma *Darbeli yükleme	*Güç *Titreşim	*Operatör *Çevre *İklim

8. KARBÜRLERİN ÖZELLİKLERİ

Karbürler sert ve aşınma dirençleri yüksek malzemelerdir. Ergime noktaları yüksek olup, kimyasal olarak kararlıdır. Karbürler kesme, taşlama, yataklama ve oksidasyona karşı dirençli endüstriyel uygulamalarda yoğun olarak kullanılmaktadır.

Karbon elementinin diğer elementlerle birleşmesiyle karbürler oluşmaktadır. Karbürler dört gruba ayrılır. Bunlar;

1. İnterstisyel karbürler (Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W elementleri ile oluşanlar)
2. Kovalent karbürler (B ve Si elementleri ile oluşanlar)
3. Ara karbürler (7 ve 8. grubu geçiş metalleri ile oluşanlar)
4. Tuzumsu karbürler (1, 2 ve 3. grup elementleriyle oluşanlar) (Pierson, 1996).

8.1. Bor Karbürün Özellikleri

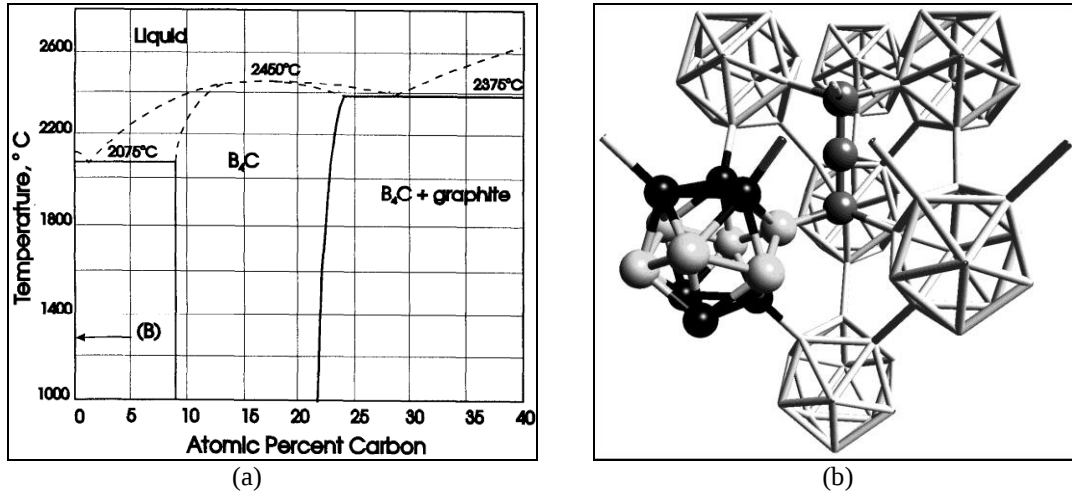
Bor karbür (B_4C) en önemli metalik olmayan sert malzemeler grubunda (Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , elmas ve cBN) yer almaktadır. Bor Karbür (B_4C), bor ve karbon elementlerinden oluşan ve kimyasal yöntemlerle üretilen bir bileşiktir. Bor karbür, yüksek ergime sıcaklığına sahip, yüksek sertlik ve aşınma direnci gösteren, düşük yoğunluklu ve kimyasallara karşı korozyon direnci yüksek bir malzemedir. Bor karbürün özellikleri Tablo 8.1’de verilmiştir.

Tablo 8.1. Bor karbür (B_4C)’ün genel özellikleri (Pierson, 1996).

Özellikler			
Bileşimi	($B_{11}C$)CBN	Basma dayanımı (MPa)	2750
Moleküler ağırlığı	55.26	Kristal yapı	Rombohedral
Renk	Siyah	Ergime sıcaklığı (°C)	2450
Yoğunluk (g/cm^3)	2.52	Isıl genleşme ($1/°C$)	5×10^{-6}
Vickers Sertliği (GPa)	27.4-34.3	Elektrik iletkenliği ($\Omega^{-1}m^{-1}$)	140
Elastisite modülü (GPa)	290-450	Kafes parametreleri (nm)	$a^0=0.55991$, $c^0=1.20740$
Kayma modülü (GPa)	165-200	Birim hücre hacmi (nm^3)	3.27809
Bulk modülü (GPa)	190-250	Uzay grubu	R3m
Poisson oranı	0.18	Basma dayanımı (MPa)	2750

Eğilme mukavemeti 345 N/mm^2 ve basma mukavemeti 2850 N/mm^2 olan bor karbür, yalnızca HF , H_2SO_4 , HNO_3 karışımlarında yavaşta olsa çözünabilmekte, bazı metaller, metal hidrürler ve metal oksitlerle borürler oluşturmaktadır. 3A ve 6A grubunun bazı metalleri, lantanitler ve aktinitler bor ve karbonla güçlü bor karbür fazları oluştururlar. 4A ve 5A diborürleri bor karbürle reaksiyona girmezler.

Rombohedral kristal yapıda olduğu bilinen bor karbürün atomik yapısında her karbon atomu, dört veya daha fazla bor atomu ile bağlanmaktadır. Bor karbür bileşimlerinin yapısal dağılımı, köşegenlerden diğerine paralel olarak uzayan bir küp şeklinde görülür (rombohedron). Üç karbon atomu bu eksen boyunca yerleşmiştir. Köşelerde ise onikişer adet bor atomu içeren dodekahedronlar bulunur. Şekil 8.1'de B-C faz diyagramı ve bor karbürün kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 8.1. (a) B-C faz diyagramı ve (b) Bor karbürün kristal yapısı (Lazzari vd., 2000 ve Pierson, 1996).

Bor karbürde bor konsantrasyonu % 78,25'den % 85 bor'a kadar değişir. En sık kullanılan ticari bor karbür ikinci faz olarak grafit içerir ve bu durum mukavemeti sınırlar. Bir başka mukavemeti sınırlayıcı durum ise bor karbür içinde bulunan ince, uzun ve geniş formdaki lamelli grafitir ve bu da yüksek dayanımlı matrislerde düzensizliklere ve sonuç olarak gevrek yapıli seramiklere yol açar (URL-1, 2011).

8.2. Bor Karbürün Sıcak Preslenmesi

Bor karbür yüksek sertliğinden dolayı ancak elmas ya da cBN ile işlenebildiğinden, kalıplarda farklı şekillerde üretimi son derece önemlidir. Vakum ya da inert bir ortamda yoğun malzemeler üretmek için ince ($< 2 \mu\text{m}$) ve saf olması, sıcaklığın yüksek (2100-

2200°C) olması, basıncın 30-40 MPa seviyesinde olması ve 15-45 dakika boyunca grafit kalıplarda preslenmesi gerekmektedir. Yoğunluk, gözenek miktarı ve mikroyapı sinterleme parametrelerine bağlıdır (Angers ve Beauvy, 1984). Sıcak presleme ile sinterlemede yoğunlaşma birbirini takip eden üç mekanizma ile gerçekleşmektedir. Birincisi, tanelerin kendini tekrar düzenlemesi, ikinci, plastik akış ile gözeneklerin kapanması ve üçüncü olarak ise sıcak preslemenin sonuna doğru kafes difüzyonu ile kapalı gözeneklerin kapanmasıdır.

Borca zengin bileşiklerin sıcak presleme yöntemiyle sinterlenmesi oldukça güçtür. Grafit kalıptan numuneye doğru yoğun bir karbon yayılımı olmakta ve stokiyometri değişmektedir (Champagne ve Angers, 1979). Koruma için Ta, Mo, W gibi refrakter metalik folyolar kullanılabilir. Bor nitrür bariyerler kullanılarak yoğun ve saf bor ya da borca zengin fazlar ($B_{10.5}C$ ve B_4C) grafit kalıplarda sıcak presleme yöntemi ile üretilmektedir (Bouchacourt vd., 1981).

Karbonca zengin bor karbür en düşük viskoziteye sahiptir ve borca zengin bor karbüre kıyasla daha kolay sinterlenir (Brodhag ve Thevenot, 1986). Bor karbürün sıcak presleme sıcak presleme sıcaklığını düşürmek, oksidasyon ve ısı şok dayanımını arttırmak ve tane büyümesini önleyerek mekanik özellikleri iyileştirmek için farklı ilaveler kullanılmaktadır. Bunlar, Mg, Al, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Si ve Ti gibi saf metaller, cam, BN, MgO, Al_2O_3 , sodyum silikat + $Mg(NO_3)_2$ ve Fe_2O_3 , etil silikat, MgF_2 ya da AlF_3 gibi bileşikler içermektedir (Thevenot, 1988; Thevenot, 1989)

8.3. Bor Karbürün Kullanım Alanları

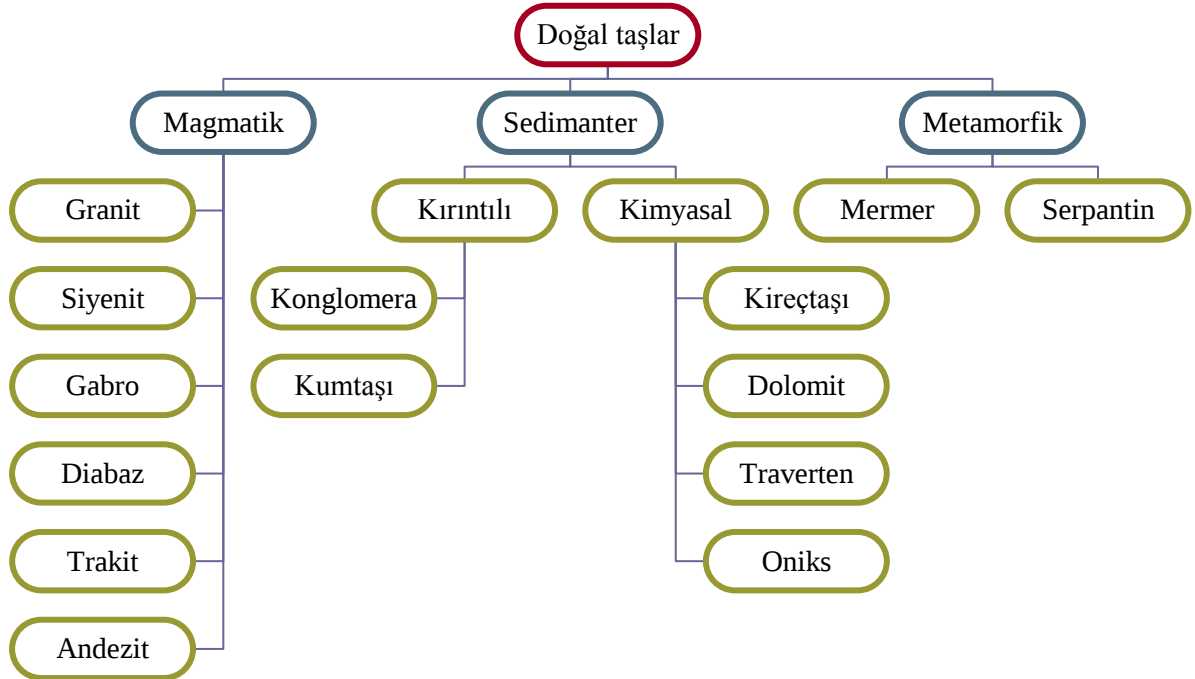
Bor karbür fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özelliklerine bağlı olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Askeri araçlarda zırh plakaları, uzay mekiklerinde kimyasal korozyon ortamlarında dış yüzey koruyucu, regülasyon, kontrol ve zırlama amacıyla nükleer reaktörlerde, nükleer sanayinde nötron absorblayıcı, serbest partiküllü aşındırıcılar, kumlama nozulları, tel hadde lokmaları, ekstruder memeleri, otomatik havanlar, tekstilde iplik yönlendiriciler, filtreler, bujiler, tesviye aksamaları, yüzey polisaj pastaları, transformatörlerde silisli saç yerine, kesme ekipman bileyicileri, endüstriyel yataklar, çok yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksitlenme direnci gerektiren ekipmanlar, refrakter malzeme olarak kullanılmaktadır (Tabur, 2008).

9. DOĞAL TAŞLAR ve İŞLENMESİ

Elmaslı kesici takımlar ile kesme işleminde doğal taş türü kesici takım performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Günümüzde doğaltaş endüstrisinde çok değişik doğal taşlar işlenmektedir. TS 699 standardına da bağlı olarak doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması Şekil 9.1’de verilmiştir.

Doğal taşlar tek bir mineralden oluşabildikleri gibi birkaç mineral veya mineral grubundan da oluşabilmektedir. Bu minerallerin türleri, tane boyutları, tanelerin dokusal ilişkileri ve kompozisyonları ile ilgili tanımlamalar petrografik analiz ile mümkün olabilmektedir. Mineralojik analiz ile doğal taş içerisindeki sert mineraller ve kuvars miktarları bulunabilmektedir. Kuvars, bir doğal taşın kesilmesinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Kuvars miktarının artmasıyla kesme işlemi zorlaşacaktır. Bununla birlikte, doğal taşın tane boyutunun büyümesi ile kesici takım, kesme esnasında daha fazla zorlanacaktır. Özellikle Mohs sertliği 6 ve üstü olan tüm mineral ve mineral grupları büyük aşındırıcı özelliğe sahiptirler (Dinç, 1995; Eyüboğlu, 2000). Doğal taşlardaki yapısal ve mineralojik özellikler doğal taşların sınıflandırılmasına yardımcı olmaktadır (Şekil 9.1).



Şekil 9.1. Doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması (Büyüksağış ve Gürcan, 2005).

Doğal taşların mekanik özellikleri ise, elmas kesiciler ile kesme işleminde kesme performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Mekanik özellikler, TS 699 ve ISRM standartları ile belirlenir. Bir kayaçtaki mekanik özellikler tek eksenli basma dayanımı, çekme dayanımı, shore sertliği, schmidt sertliği, elastisite modülü, Los Angeles aşınma dayanımı ve böhme yüzey aşınma dayanımıdır (Özçelik, 1999; TSE; ISRM). Bununla birlikte, doğal taşların su emme, yoğunluk, porozite ve doluluk oranı gibi özelliklerini belirlemek için değişik fiziksel analizler yapılır (Atıcı, 1999).

9.1. Mermer

Mermer jeolojik olarak kalker (CaCO_3) ve dolomitik kalkerin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)$) ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak kristalleşmesi sonucu oluşmuş metamorfik bir kayaç şeklinde tanımlanmaktadır. Ticari olarak mermerin tanımı ise, ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılabilen veya işlenebilen, kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metamorfik) mermer olarak bilinmektedir. Bu tanım uyarınca kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, serpantinit, andezit, bazalt gibi magmatik taşlarda mermer olarak isimlendirilmektedir. Bütün kayaçlar ile kaldırım taşı, parke gibi pek çok alanda parlatılmasına ihtiyaç duyulmadan kullanılabilen kayaçlar ocaklardan blok halinde çıkartılarak işleme tesislerinde ST, ktrak, yarma gibi elmas diskli testereler kullanan makineler yardımı ile istenilen boyutlara indirilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir (Atıcı, 2005). Ocak işletmesinde üretilen mermer bloklarının biçilerek dilimlere ayrılması, mermer fabrikasında yapılır. Biçilen her mermer dilimine levha (plaka) denilmektedir.

Mermer ocaklarından düzgün geometrik şekillerde mermer fabrikasına gelen bloklar çeşitli makine ve teçhizat kullanılarak kesilmektedir. Kesilen levha mermerler istenilen boyutlarda küçültülerek, pürüzlü yüzeyler silinerek ve parlatılarak piyasaya sunulmaktadır. Mermer bloğun mineralojik, fiziksel ve mekanik özelliklerine göre kesme sistemleri seçilmelidir. Genel olarak düzenekler lama (testere) ve disk (daire) ile kesen makine sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Lama ile kesen makinelere ktrak denilmektedir.

Diskli kesim yapan makinelerde ise çevirici bir kuvvet tarafından dairesel hareket verilen disk ile mermer bloğun kesilip plaka haline getirilmesi esasına dayanır. Dikeyden blok kesme makinelerine ST denilmektedir. Bunların dikey kesme diskleri 1-20 adet

arasında değişir ve 200 mm den 2,5 m çapa kadar olanları bulunmaktadır. Diskin hareketini blok üzerinde hidrolik teçhizat sağlamaktadır. Diskli kesmede diskin çemberine elmaslı soketler monte edilmiştir. Kesme bu şekilde elmas soketlerle yapılmaktadır. Normal mermerlerde 70 cm derinliğe kadar kesme yapıldığı gibi sert mermerlerde 3-5 cm seviyelerde kademeli olarak kesme yapılır.

Mermer levhalarını küçük parçalara ayıran, kenar ve köşelerin kesilmesinde kullanılan bütün makineler diskle çalışan makine ve tehizatlardır. Diskli makinelerin bazıları şunlardır:

- Blok kesme (ST) makineleri,
- Ebatlama makineleri,
- Kafa kesme makineleri,
- Kenar kesme makineleri,
- Fuga ve derz açma makineleri,
- Profil makineleri,
- El ile kesme makineleridir.

10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

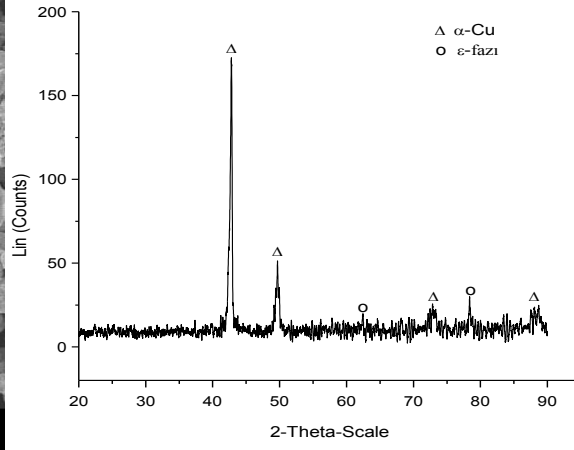
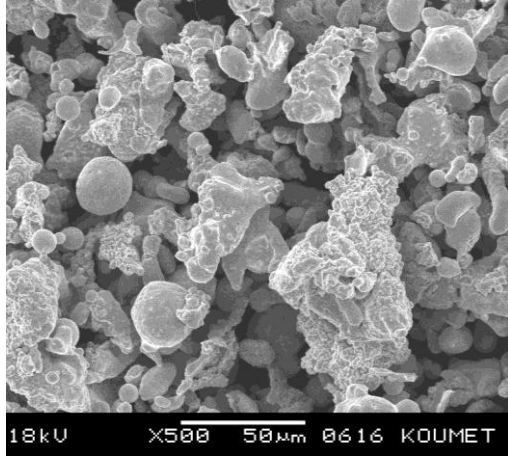
10.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada elmaslı kesici takımlar üretilmiştir. Elmaslı kesici takımlar genel olarak matris ve kesici tanecikler olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Matris olarak CuSn (bronz) tozu ve tanecik olarak da sentetik elmas ve bor karbür (B₄C) kullanılmıştır. Bor karbür tanecikleri farklı yüzde ağırlık oranlarında matrise katılmıştır. Soket üretiminde kullanılan matris grupları ve üretim parametreleri Tablo 10.1’de verildiği gibidir. Matris malzemesi olarak tüm deneylerde % 99,9 saflıktaki ve 45-50 µm tane boyutuna sahip CuSn (% 85 Cu + % 15 Sn) alaşımı kullanılmıştır. Bor karbür ortalama 20 µm tane boyutunda ve sentetik elmas ise 30/40 ve 40/50 mesh tane boyutlarında seçilmiştir. Şekil 10.1’de soket üretiminde kullanılan CuSn, B₄C ve elmasın SEM fotoğrafları ve XRD grafikleri verilmiştir. Bronz tozu küresel şekilli olup bor karbür tozu keskin köşeli bir şekle sahiptir. Elmas tanelerinin ise kübik oktahedral bir yapıya sahiptir.

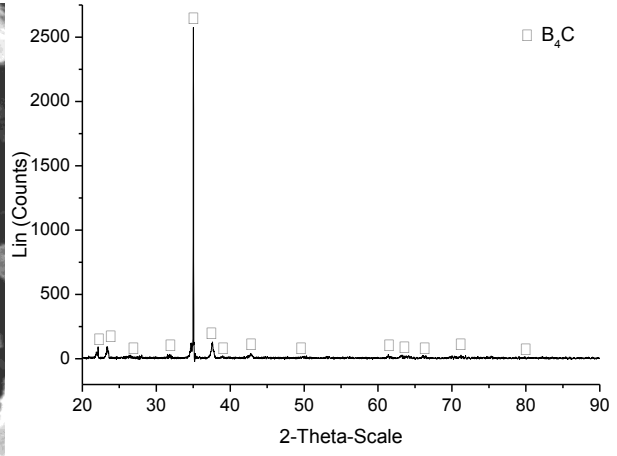
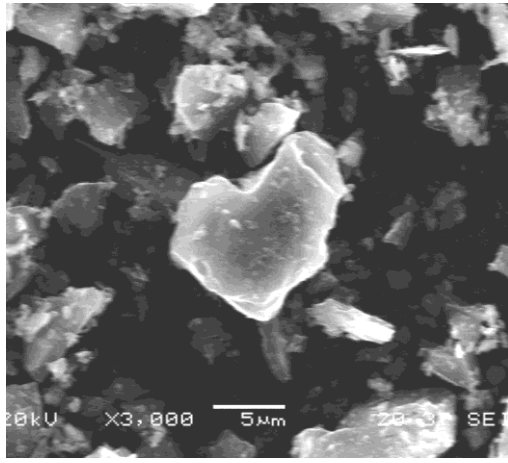
Tablo 10.1. Soket üretiminde kullanılan matris grupları ve üretim parametreleri

No	Matris bileşimi (% ağı.)		Sıcak presleme parametreleri			Testere özellikleri		
	CuSn	B ₄ C	Sıcaklık (°C)	Süre (dak.)	Basınç (MPa)	Elmas konsantrasyonu*	Çap (mm)	Soket (adet)
S ₁	100	-	600	3	35	30	300	21
S ₂	100	-	650	3	35	30	300	21
S ₃	100	-	700	3	35	30	300	21
S ₄	98	2	600	3	35	30	300	21
S ₅	98	2	650	3	35	30	300	21
S ₆	98	2	700	3	35	30	300	21
S ₇	95	5	600	3	35	30	300	21
S ₈	95	5	650	3	35	30	300	21
S ₉	95	5	700	3	35	30	300	21
S ₁₀	90	10	600	3	35	30	300	21
S ₁₁	90	10	650	3	35	30	300	21
S ₁₂	90	10	700	3	35	30	300	21

* Elmas konsantrasyonu olarak 1 cm³ soket hacmi için 4,4 karat (0.88 gr) elmas % 100 olarak kabul edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 10.1. Soket üretiminde kullanılan tozların ve sentetik elmasın SEM fotoğrafı ve XRD grafikleri; (a) bronz tozu, (b) B₄C tozu ve (c) sentetik elmas

10.2. Toz Karışımının Hazırlanması

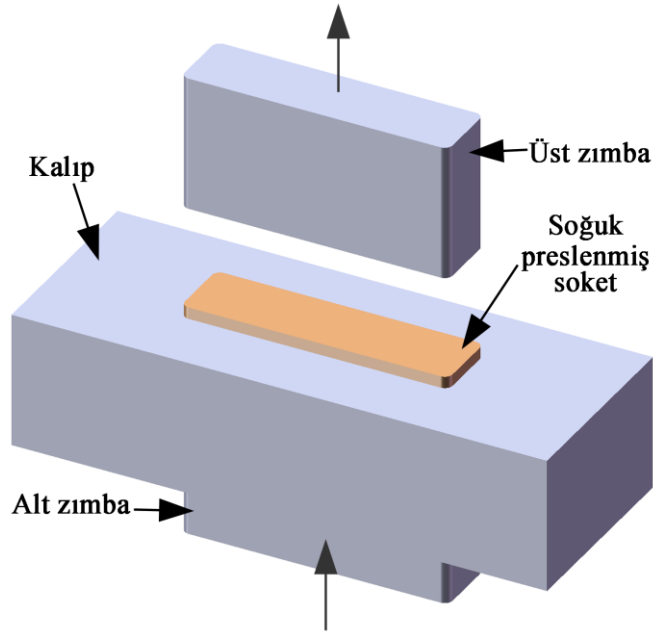
Soket üretiminde seçilen tozların ve taneciklerin matriste istenilen performansı verebilmesi için çok iyi karıştırılması ve matris içinde homojen dağılmalarını sağlamak gerekir. Bunun için uygulamada Şekil 10.2’de verilen üç eksenli dönme prensibiyle çalışan karıştırma mikserleri kullanılmıştır. Önce hazır olarak tedarik edilen bronz tozuna farklı oranlarda bor karbür tanecikleri katılarak sentetik elmas tanecikleri ilave edilmeden mikserde 20 dakika süre ile 20 d/d hızda karıştırılmıştır. Hazırlanan bu karışıma sentetik elmas taneciklerde ilave edilerek karıştırma işlemine devam edilmiştir. Daha sonra homojen olarak dağıldığı düşünülen kesici tanecik ve matris tozu karışımına dağılımın bozulmaması ve matris tozların grafit kalıplardan dökülmemesi için ağırlıkça % 1 oranında PEG (polietilen glikol) ilave edilerek yeniden krom kaplanmış çelik bilyeler ile birlikte 20 dakika daha karıştırılmıştır. Metal kaplı bilye kullanımındaki amaç karışıma katılan PEG’in topak oluşturmasını engellemektir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra karışımın hava ile temas edip oksitlenmemesi için karışım plastik torbalara konularak muhafaza altına alınmıştır.



Şekil 10.2. Toz karıştırma mikseri (Turbula)

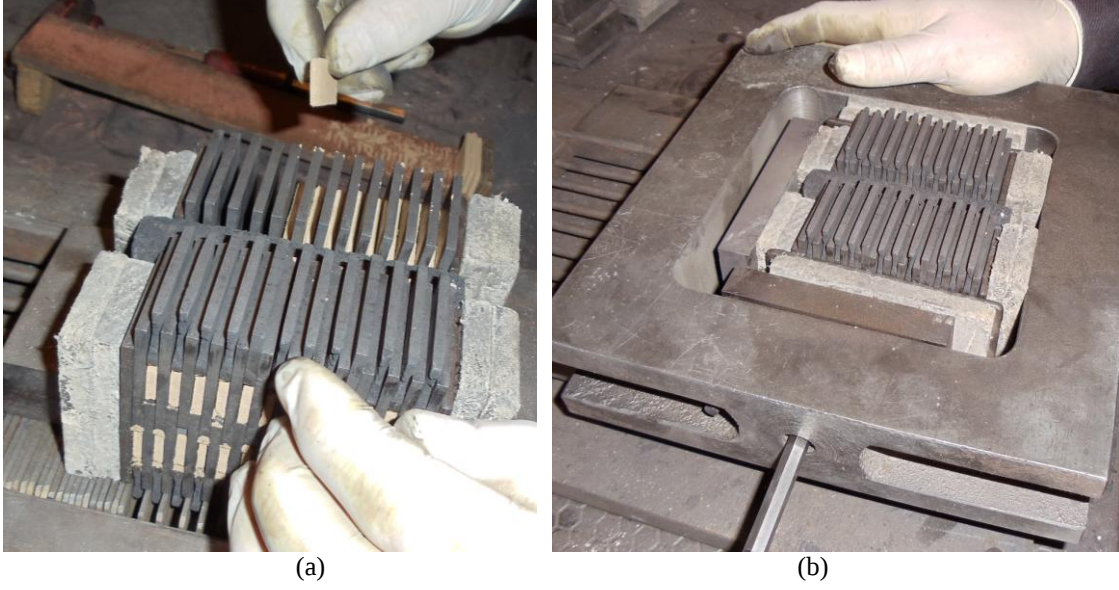
10.3. Tozların Sıcak Preslenmesi ve Sinterlenmesi

Üç eksenli dönme prensibiyle çalışan mikserde karıştırılan elmaslı ve elmassız karışımlar hidrolik soğuk presleme makinesinde preslenmiştir. Şekil 10.3’de soğuk preslemenin şematik resmi görülmektedir. Soğuk preslemenin amacı, sıcak presleme öncesinde grafit kalıplara toz alaşımların kolay yerleştirilmesini sağlamak ve daha küçük hacimli kalıp kullanımını sağlamaktır.

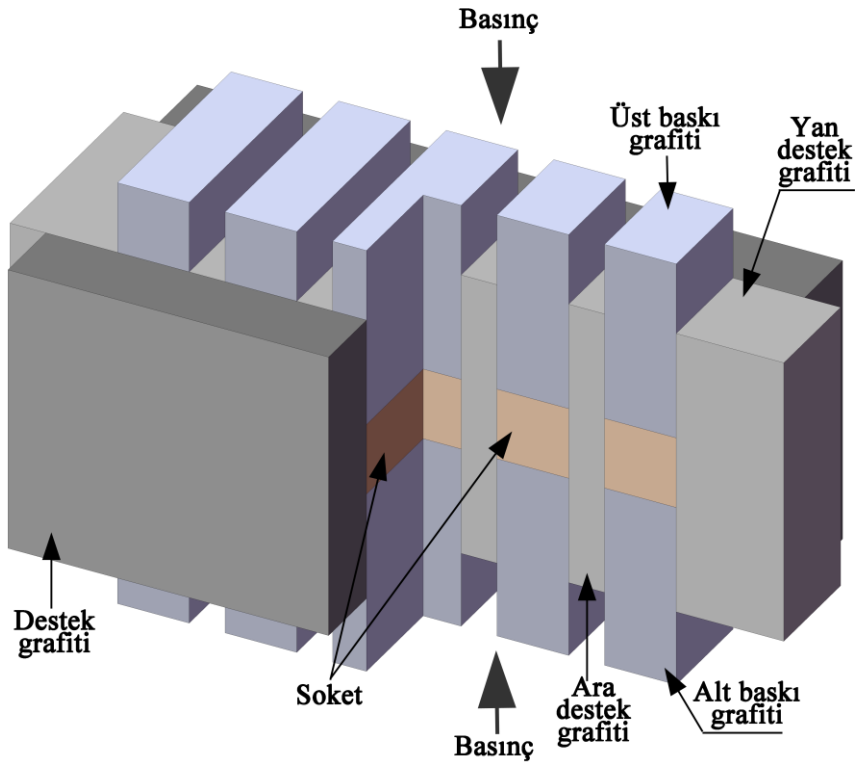


Şekil 10.3. Soğuk preslemenin şematik resmi

Soğuk kalıplanan soketler daha sonra Şekil 10.4a’da gösterildiği gibi grafit kalıplara konulmuştur. Hazırlanan grafit kalıp plakaları bir çerçeve içerisine belirli bir düzende yerleştirilmiş ve daha sonra soketler bu plakalar arasına yerleştirilerek kalıp kapatılmıştır. Plakaların kayarak kalıp düzeninin bozulmaması amacıyla bu plakalar, çerçeve üzerindeki vidalardan tork anahtarı ile sıkıştırılmıştır (Şekil 10.4b). Bu arada ısı yalıtımını sağlamak amacıyla kalıp ile çerçeve arasına amyant plaka konulmuştur. Sıcaklığın doğru olarak ölçülmesi için kalıp merkezindeki grafit parçaya 3.5 mm çapında delik delinerek termokopulun ucu tam kalıp merkezine yerleştirilmiştir. Soğuk basılmış haldeki soketleri kalıplara koymadan önce grafit kalıpların yapışmaması için kalıplar çinko asetat ile yağlanmıştır. Grafit kalıp, üst baskı grafiti, alt baskı grafiti ve yan destek grafiti elemanlarından oluşmaktadır (Şekil 10.5).



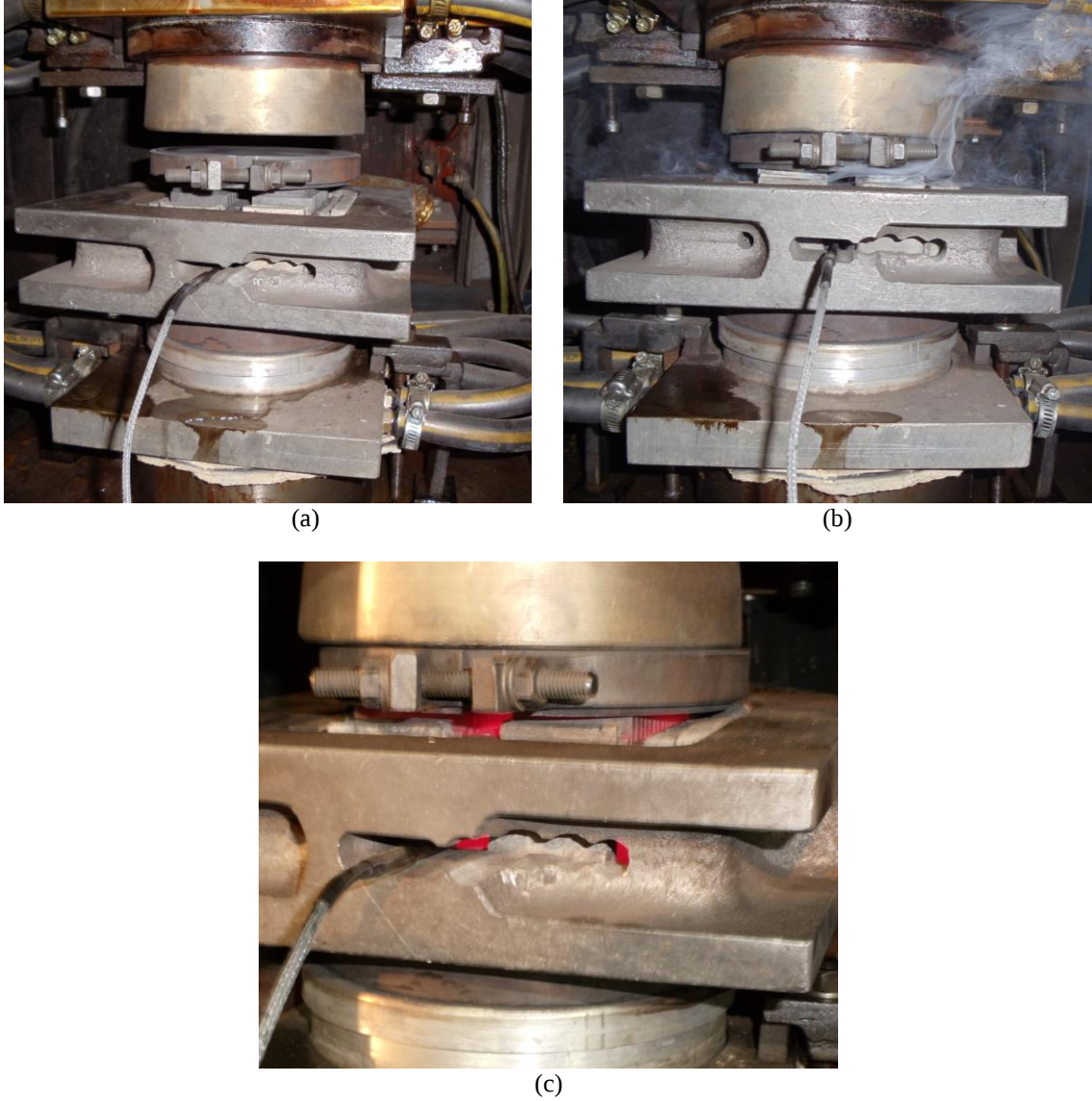
Şekil 10.4. (a) grafit kalıplara yerleştirilmesi ve (b) kalıpların sıkıştırılması



Şekil 10.5. Grafit kalıbın şematik görünümü

Bütün bu işlemlerden sonra sinterlemeye hazır hale getirilen soket yüklenmiş grafit kalıp bloğu sıcak presleme bölgesine yerleştirilmiştir (Şekil 10.6a). Bu işlemde soketlerin birim alanı üzerine yaklaşık 5-8 MPa basınçtan başlayıp sıcaklık 600, 650 ve 700 °C'lere ulaştığında basınç 35 MPa olacak şekilde baskı yapılarak sabit sıcaklık ve

basınçta 3 dakika beklendi. Sinterleme esnasında düşük basınç değerinde (5-8 MPa) ve yaklaşık 475 °C'de açığa çıkan dumandan PEG'in yandığı anlaşılmaktadır (Şekil 10.6b). Bu andan itibaren basınç seviyesi 35 MPa'a yükselmiştir. Sıcaklığın 600, 650 ve 700 °C olduğu sırada grafit kalıbın kızarması Şekil 10.6c'de görülmektedir.

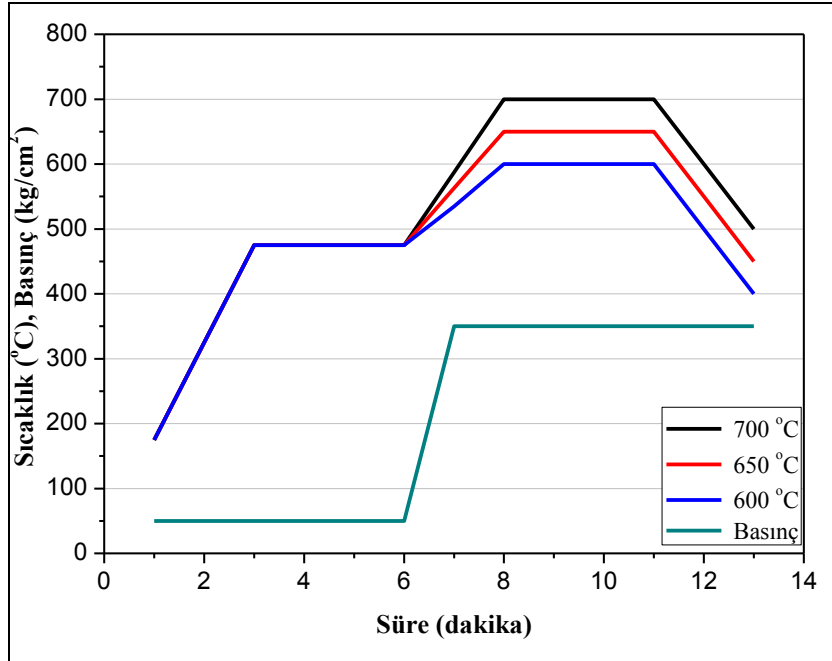


Şekil 10.6. Kalıbın sıcak prese yerleştirilmesi (a) ve sıcak presleme işlemi (b ve c)

Daha sonra ısıtma ünitesi devreden çıkarak numunelerin kalıp içerisinde 35 MPa basınçta oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiş ve kalıp soğuduktan sonra açılarak içindeki sinterlenmiş numuneler çıkarılmıştır (Şekil 10.7). Şekil 10.8'de sinterleme grafiği (sıcaklık-basınç-süre) görülmektedir.



Şekil 10.7. Sıcak preste üretilmiş soketler



Şekil 10.8. Sinterleme grafiği (Sıcaklık-basınç-süre)

10.4. Yoğunluk, Sertlik Ölçümü ve Üç noktalı Eğme Testi

Soket yoğunluklarının anlaşılması amacıyla üretilen tüm numunelerin yoğunlukları 10^{-4} hassasiyetindeki bir terazi ile ASTM B 311-08 standardında belirtildiği gibi Archimedes prensibine göre ölçülmüştür. Şekil 10.9'da yoğunluk ölçümünde kullanılan hassas terazi görülmektedir. Bu yönetime göre öncelikle numunelerin havada kuru

ağırlıkları ölçülmüş daha sonra numuneler darası alınan metal bir sepet içine konarak sıcaklığı ölçülen saf su dolu ölçüm kabına batırılmıştır. Numuneler suyun içerisinde tekrar tartıldıktan sonra yoğunluk değerleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$d = \frac{(A) \times (d_s)}{A - B}$$

Bu denklemden;

d = Numunenin yoğunluğu (gr/cm^3),

A = Numunenin havadaki ağırlığı (gr),

B = Numunenin su içerisindeki ağırlığı (gr),

d_s = Ölçümün yapıldığı sıcaklıktaki suyun yoğunluğu (gr/cm^3).



Şekil 10.9. Yoğunluk ölçümünde kullanılan yoğunluk kitli hassas terazi (AND GR-200)

Elde edilen bu değerlerden sonra sinterleme sonucu elde edilen kesici takımların teorik yani hesaplanan yoğunluğa göre ne oranda tutturulabildiğini anlayabilmek amacıyla aşağıdaki formüle göre numunelerin bağıl yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$\rho_b = \frac{\rho}{\rho_k} \times 100$$

Burada;

ρ_b = Bağıl yoğunluk (%),

ρ = Deneysel olarak ölçülmüş yoğunluk (gr/cm^3),

ρ_k = Toz karışım oranları esas alınarak hesaplanan teorik yoğunluğu (gr/cm^3).

Sıcak presleme yoluyla elde edilen numunelerin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla Brinell sertlik ölçme cihazında 62.5 kg yük ve 2.5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği Brinell cinsinden ölçülmüştür. Sertliğin tam olarak belirlenmesi için numunelerin orta, uç, ara ve arka bölgelerinden sertlik değerleri ölçülmüş ve her bir numuneden toplam 6 adet sertlik değeri alınmıştır. Daha sonra en yüksek ve en düşük çıkarıldıktan sonra kalan sertliklerin ortalaması alınarak numunelerin ortalama sertlik değerleri bulunmuştur.

Kırılma tokluğunu belirlemek için yapılan üç noktalı eğme testi (Şekil 10.10) 50 kN kapasiteli üniversal çekme cihazında ASTM B 528-83a standardına göre ve 1 mm/dk test hızında yapılmıştır. Üç noktalı eğme testi için 40 mm x 7 mm x 3.2 mm ölçülerindeki numuneler kullanılmıştır.

Eğilme mukavemetini belirlemek için;

$$P = \frac{3FL}{2bh^2}$$

formülünden yararlanılmıştır. Burada;

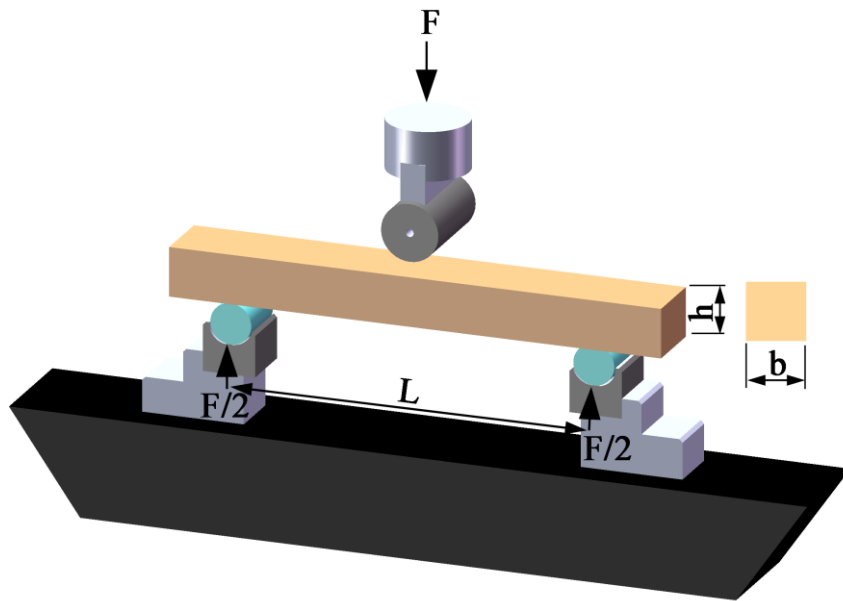
P= Eğme mukavemeti (MPa),

F= Kırılma anında numuneye uygulanan kuvvet (N),

L= Destek noktaları arasındaki mesafe (mm),

b= Numune genişliği (mm),

h= Numune yüksekliği (mm).



Şekil 10.10. Üç noktalı eğme testi düzeneği

10.5. Soketlerin Çelik Gövdeye Lehimlenmesi

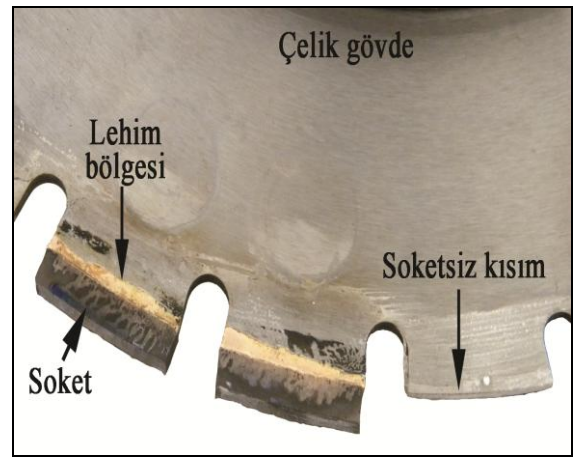
Üretilen elmaslı soketler AISI 1070 çelikten üretilip sertleştirilmiş 290 mm x 1.8 mm x 60 mm ölçüsündeki çelik gövdelere lehimleme işlemi ile sabitlenmiştir. Lehimleme işleminde % 40 Ag kimyasal bileşime sahip 1.2 mm çaplı lehim teli kullanılmıştır. Lehim telinin özellikleri Tablo 10.2’de verilmiştir. Lehimleme işleminden önce soketler ve çelik gövde daha iyi bir kapiler etki yani lehimin ara yüzeye tam nüfuz edebilmesi için, mekanik ve kimyasal olarak temizlenmiştir. Temizlenen soketler Şekil 10.11a’daki kaynak aparatına yerleştirilmiştir. Öncelikle soket ve çelik gövde oksisasetilen hamlacıyla ısıtılmıştır. Boraksın parlamaya başlamasından sonra lehim malzemesi ilavesi yapılarak hamlaçla yelpaze hareketi yaparak lehimleme işlemi tamamlanmıştır. Çelik gövdede meydana gelen fazla ısı, sisteme açılmış olan su kanalları vasıtasıyla ortamdan uzaklaştırılmıştır. Ayrıca lehimleme işlemi esnasında, soketlerin yerleştirildiği kısımlarında ısı dengesini sağlamak için lehimleme işlemi karşılıklı olarak yapılmıştır. Lehimleme işlemi tamamlanmış bir testerenin görüntüsü Şekil 10.12’de verilmiştir.

Tablo 10.2. Lehim telinin özellikleri

Cinsi	Çap (mm)	Ergime sıcaklığı (°C)	Çalışma sıcaklığı (°C)	Çekme mukavemeti (MPa)	Uç rengi
Largen 306-Cd % 40 Ag	1,2	550–610	610	410	Yeşil



(a)



(b)

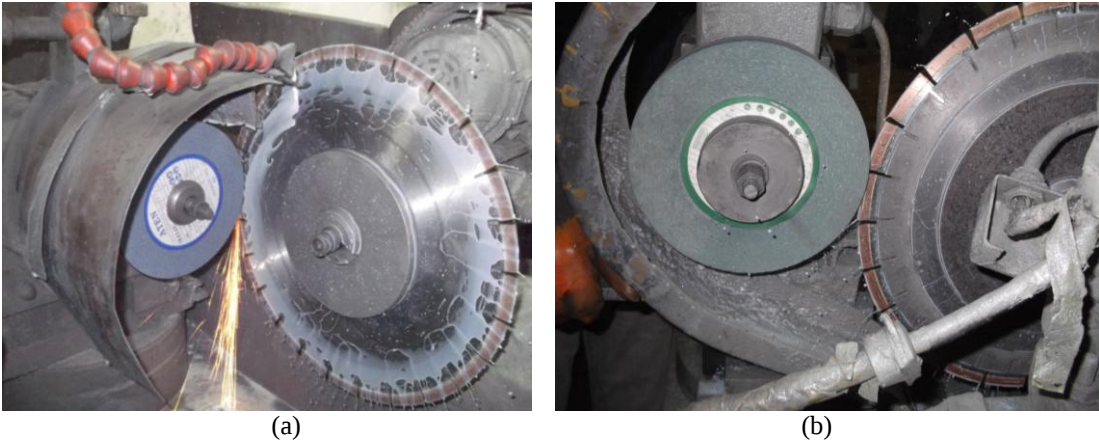
Şekil 10.11. (a) Soketlerin çelik gövdeye lehimlenmesi ve (b) lehimlenmiş soketin detay görünümü



Şekil 10.12. Tamamlanmış elmaslı testereler

10.6. Taşlama İşlemleri

Elmas tanelerinin kesme işlevini yerine getirmesi için alın ve yanak taşlaması yapılmıştır (Şekil 10.13). Alın taşlama işleminde 60 mesh tane boyutuna sahip 200 mm x 25 mm x 20 mm ölçülerindeki seramik taşlar (NK) kullanılmıştır. Yanak taşlama işleminde ise 80 mesh tane boyutundaki seramik taşlar (SCG) kullanılmıştır.



Şekil 10.13. Taşlama işlemi (a) yanak ve (b) alın

10.7. Doğal Taş Kesme İşlemleri ve Aşınma Testi

Deneylerde devri ve ileri-geri hareketi ayarlanabilir ve kontrol edilebilir bir blok kesme makinesi kullanılmıştır. Testere, mile bağlı olan 2 kW'lık bir AC motordan hareket almaktadır. Testere başlığının öne-arkaya hareketi de 0,18 kW anma gücü, 1340 d/dak hıza sahip AC motor ile yapılmaktadır. Çalışanın ve makinenin güvenliği için testere başlığına endüktif sensör yerleştirilmiştir. Kesme işlemi esnasında soğutma suyunun devir daimi için 0,55 kW güce sahip, maksimum 40 l/dak pompalama kapasiteli ve 2900 d/dak hız ile çalışan pompa kullanılmıştır. Şekil 10.14'de kullanılan blok kesme makinesinin şematik görünümü ve kesme işlemi görülmektedir. Tablo 10.3'de kesme parametreleri verilmiştir.



Şekil 10.14. (a) Doğal taş kesme makinesi ve (b) kesme işlemi

Tablo 10.3. Doğal taş kesme parametreleri

İlerleme hızı	800 mm/dak
Kesme derinliği	30 mm
Çevresel hız	45 m/sn
Kesme oranı	76.8 cm ³ /dak
Soğutma sıvısı ve debisi	Şebeke suyu, 20 lt/dak
Kesme modu	Eş yönlü kesme
Doğal taş türü	Ankara andezit taşı

Kesme işlemlerinde doğal taş olarak Ankara andeziti kullanılmıştır. 500 mm x 150 mm x 30 mm ölçülerindeki andezit taşının kimyasal bileşimi Tablo 10.4’de, fiziksel ve mekaniksel özellikleri Tablo 10.5’de ve kesme işleminde kullanılan andezitin fotoğrafı da Şekil 10.15’de verilmiştir. Kesilen andezit miktarı kesilen uzunluğun kesme derinliği ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır.

Tablo 10.4: Ankara andezitinin kimyasal bileşimi

Mineral	% Bileşim	Mineral sertliği (Mohs)
SiO ₂	64.72	7
Al ₂ O ₃	17.95	9
Fe ₂ O ₃	4,77	6-7
MgO	0,24	5.8
CaO	3,43	6
Na ₂ O	5,31	2.5-3
K ₂ O	2,34	-
TiO ₂	0,52	5-6.5
MnO	0.03	-
Kızdırma kaybı	0.69	-
Toplam	100.00	

Tablo 10.5: Ankara andezitinin mekanik ve fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluğu (gr/cm ³)	2.55
Gözeneklilik derecesi (%)	8.04
Doluluk oranı (%)	91.96
Basınç dayanımı (MPa)	83.57
Eğilme dayanımı (MPa)	16.3
Darbe dayanımı (J/cm ²)	120
Aşınma dayanımı (cm ³ /50.cm ²) (Böhme metodu)	16.82
Sertlik (Mohs)	6-7
Atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme (%)	4.28
Don dayanımı (ortalama % ağırlık azalması)	0.04

Kesme testlerinde toplam olarak 182465 cm^2 alana sahip andezit taşı kesilmiştir. Kesme işleminden önce ve sonra 0.01 mm hassasiyete sahip dijital kumpas ile testerelerin çapları ölçülmüştür. Her bir testere için on ölçüm alınmıştır. Maksimum ve minimum değerler dikkate alınmaksızın diğer sekiz değer ortalaması alınarak değerlendirilmede kullanılmıştır. Soketteki yükseklik kaybı (mm), kesilen andezit miktarına (m^2), bölünerek soketlerin aşınma oranları (mm/m^2) belirlenmiştir (Xu, 2001 ve Xu ve Yu, 2005).



Şekil 10.15. Kesilen andezit taşının görünümü

10.8. Mikroyapı İncelemeleri

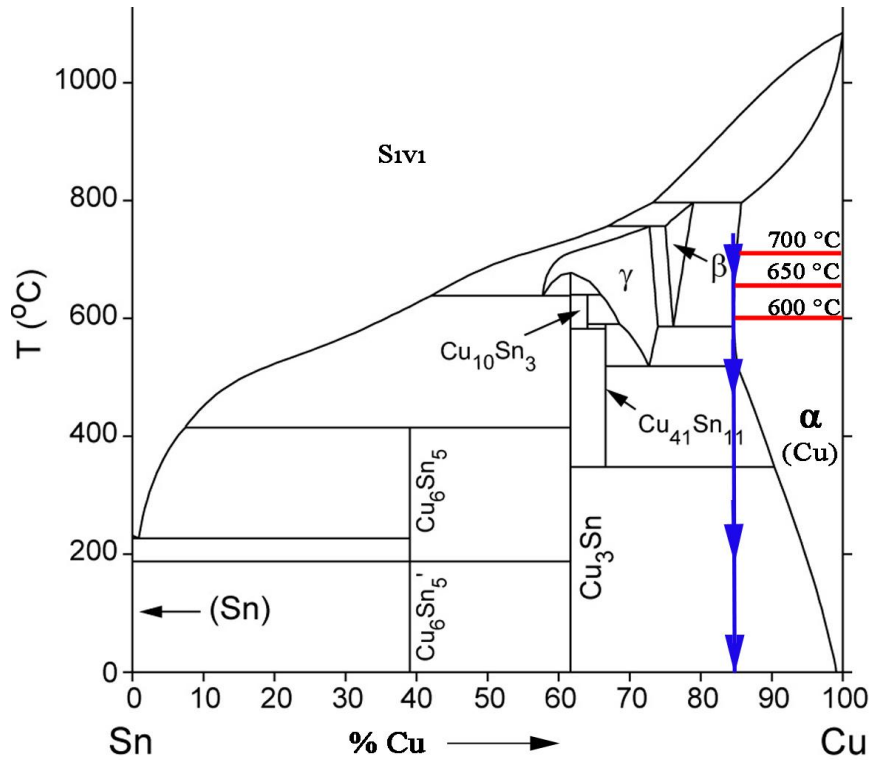
Metalografik incelemeler için numuneler, $3.2 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ölçülerinde kesilmiştir. Elde edilen metalografi numuneleri 80-1200 mesh'lik zımpara kağıdına tutularak yüzeyleri temizlenmiştir. Daha sonra 1 ve $6 \mu\text{m}$ 'lik elmas pasta ve inceltici yardımıyla soketlerin yüzeyleri parlatılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için numuneler 20 saniye süreyle 5 gr. FeCl_3 + 50 ml HCl + 100 ml H_2O çözeltisinde dağlanmıştır. Elmaslı soketlerin mikroyapısının üretim koşullarına bağlı olarak nasıl değiştiğini ve faz yapılarını tayin etmek, aşınma ve kırık yüzeylerini yorumlamak için taramalı elektron mikroskobu (SEM-JEOL Ltd., JEM-2100F model), enerji dispersive spektograph (EDS), X-ışını difraksiyonu (XRD- Bruker AXS Inc., D8 Advance model) analizlerden yararlanılmıştır. XRD analizleri 30 kV ve 15 mA'de $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu kullanılarak Rigaku Geigerflex X-ışını difraktometresi ile elde edilmiştir.

11. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

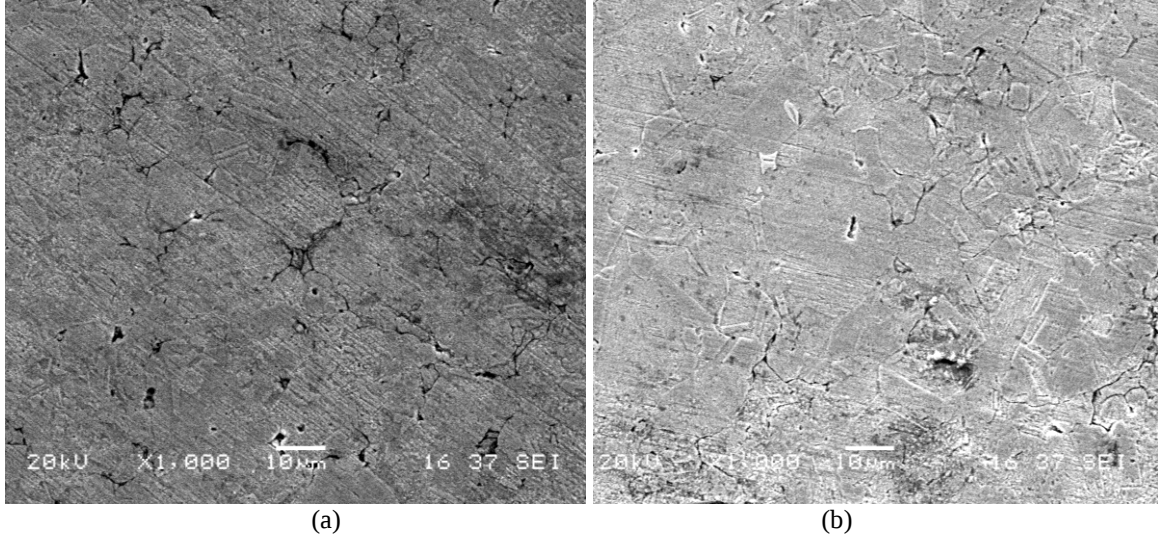
11.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Bu bölümde sıcak presleme ile üretilen bor karbür katkılı ve katkısız matrislerin mikroyapısal değişimi irdelenmiştir. Ayrıca bor karbür miktarının da matris içerisindeki dağılımı mikroyapısal olarak incelenmiştir. Sinterleme sıcaklığı Şekil 11.1'deki Cu-Sn ikili faz diyagramından da görüldüğü gibi 600, 650 ve 700 °C olarak seçilmiştir. Sıvı faz sinterlemesinden kaçınmak için en yüksek sinterleme sıcaklığı 700 °C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıklardaki sinterlemeden sonra mikroyapıda α -Cu katı eriyik ve ϵ -fazı (Cu_3Sn) oluşmuştur. Bu durum Cu-Sn ikili faz diyagramı ve XRD grafiği ile de desteklenmektedir. Cu_3Sn fazı Şekil 11.2'deki SEM fotoğraflarından da görüldüğü gibi Cu partiküllerinin tane sınırlarında çökelmiştir.

SEM fotoğraflarından 600 °C'deki gözenekliliğin 700 °C'deki gözeneklilikten daha fazla olduğu görülmektedir. Gözenekler tane sınırlarında oluşmuştur. Yüksek sinterleme sıcaklığında katı hal difüzyonu hızlı olduğundan gözeneklilik miktarı azalmıştır.



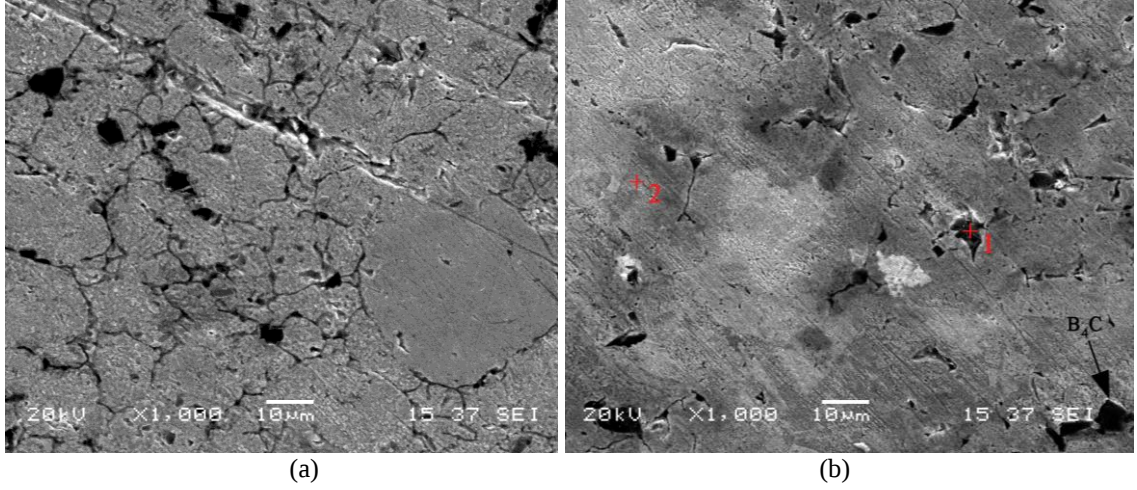
Şekil 11.1. Cu-Sn ikili faz diyagramı (Saunders ve Miodownik, 1990).



Şekil 11.2. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen CuSn (B_4C ilavesiz) matrisinin SEM fotoğrafı, (a) 600 °C ve (b) 700 °C

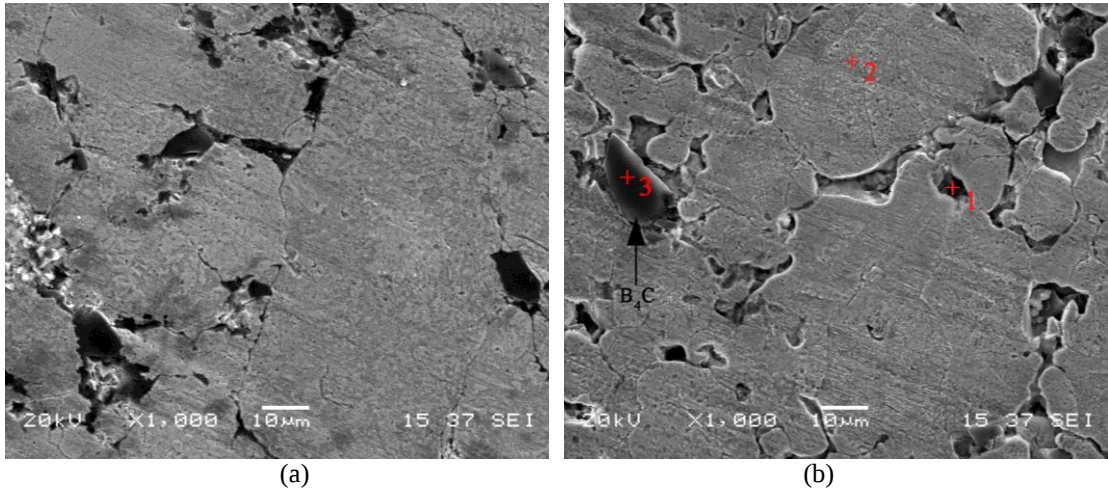
Bronz tozuna ağırlıkça % 2-5-10 oranlarında B_4C ilave edilerek elmaslı kesici takım matrisi üretilmiştir. Bu ilaveler, matrisinin abrasiv aşınma performansını iyileştirmek amacıyla yapılmıştır. Üretilen % 2 katkılı kesici takım matrisinde B_4C parçacıkların mikroyapıda nispeten homojen olarak dağıldığı Şekil 11.3'de görülmektedir. Şekil 11.3b'de 700 °C'de sinterlenmiş % 2 B_4C katkılı matrisin SEM fotoğrafı ve EDS analizi görülmektedir. EDS verilerine göre tane sınırlarındaki koyu bölgeler bor karbür taneleridir. ϵ -fazı ise ana kütle içerisinde kısmen dağılmış durumda bulunmaktadır.

Şekil 11.4a'daki % 5 bor karbür katkılı matrisin SEM fotoğrafında bor karbür tanelerinin bronz tane sınırlarına gömülü olduğu daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Bor karbür ilavesiyle gözeneklerdeki artış SEM fotoğrafından da açıkça görülmektedir. 1 noktasından alınan EDS analizi 85/15 bronzu işaret etmektedir. Bu durum tane sınırlarındaki gözeneklerde reaksiyona girmeyen bronz partiküllerin olduğunu göstermektedir.



Bölge	Kimyasal bileşim (% ağı.)			
	B	C	Cu	Sn
1. bölge	10.745	2.695	53.142	33.433
2. bölge	0.000	0.000	88.316	11.684

Şekil 11.3. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen CuSn-% 2 B₄C matrisinin SEM fotoğrafı ve EDS analizi, (a) 600 °C ve (b) 700 °C

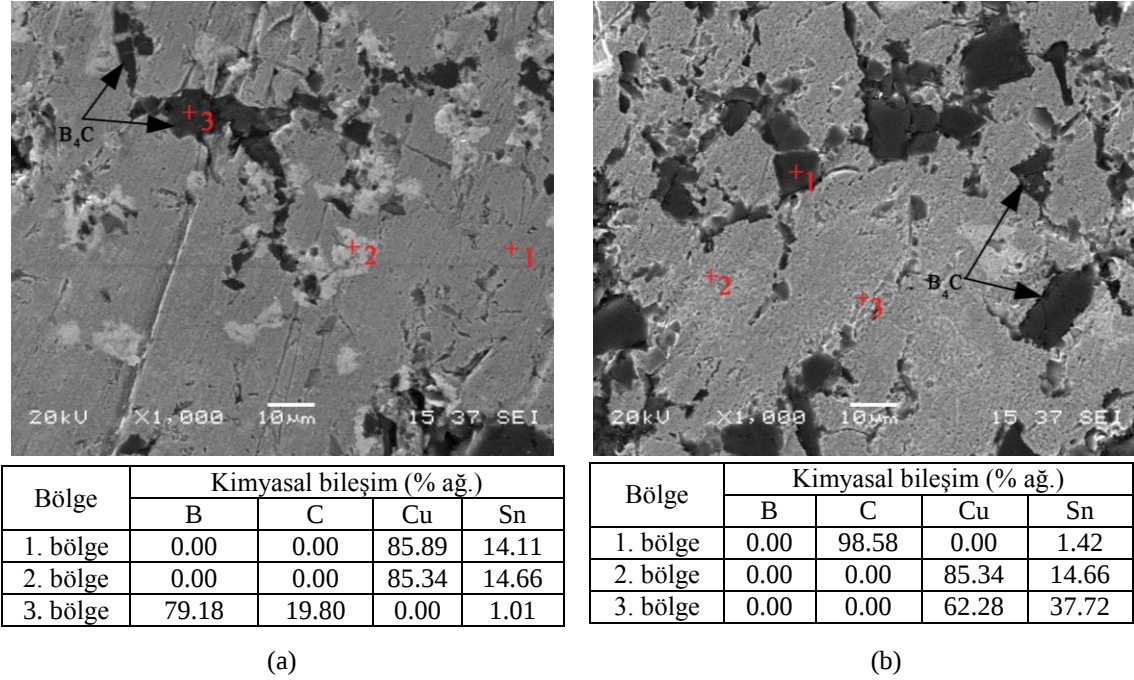


Bölge	Kimyasal bileşim (% ağı.)			
	B	C	Cu	Sn
1. bölge	0.000	0.000	84.101	15.899
2. bölge	0.000	0.000	85.461	14.539
3. bölge	79.313	19.829	0.000	0.858

Şekil 11.4. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen CuSn-% 5 B₄C matrisinin SEM fotoğrafı ve EDS analizi, (a) 600 °C ve (b) 700 °C

Şekil 11.5’de % 10 bor karbür ilave edilmiş CuSn-B₄C matrisin SEM fotoğrafı ve EDS analizi görülmektedir. Bor karbür tanelerin CuSn tane sınırlarında toplandığı SEM fotoğrafından net olarak görülmektedir. 700 °C sinterleme sıcaklığında bor karbür taneleri tane sınırlarında bir ağ oluşturmuştur. 600 °C’de sinterlenmiş numunenin SEM

fotoğrafındaki 2 nolu noktanın EDS analizinde 85/15 bronzu tespit edilmiştir. Yine aynı numunenin 3 nolu noktasının EDS analizine bakılarak ϵ -bronz fazının tane sınırlarında çökelediği belirlenmiştir. Bu fazın varlığı XRD analizi ve Cu-Sn faz diyagramı ile de desteklenmiştir.



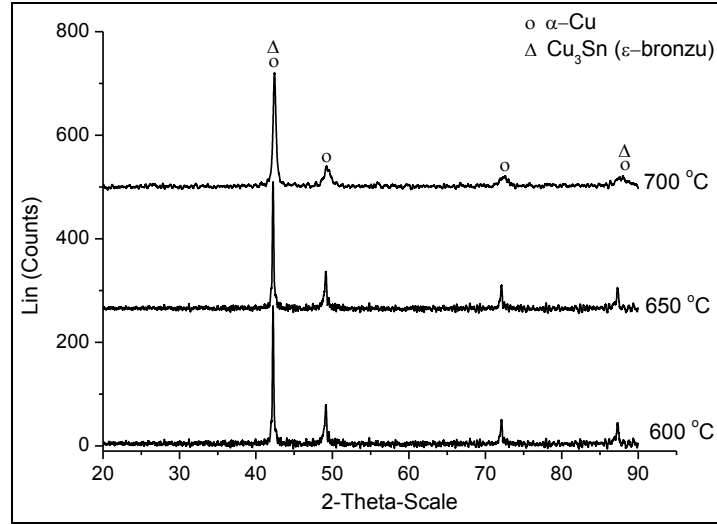
Şekil 11.5. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen CuSn-% 10 B₄C matrisinin SEM fotoğrafı ve EDS analizi, (a) 600 °C ve (b) 700 °C

Takviye partiküllerin matris içerisinde homojen olarak dağılmadığı durumlarda kompozitin mekanik ve fiziksel özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir (Lee vd., 2001). Sinterleme sıcaklığı arttıkça takviye B₄C partiküllerinin dağılımının karmaşıklık gösterdiği ve CuSn tanelerinin içine doğru ilerlediği SEM fotoğraflarından görülmektedir. Bor karbür oranı arttıkça, B₄C partikülleri CuSn'nin tane sınırlarına doğru yayılarak bir ağ oluşturmuştur (Şekil 11.5).

11.2. XRD İncelemeleri

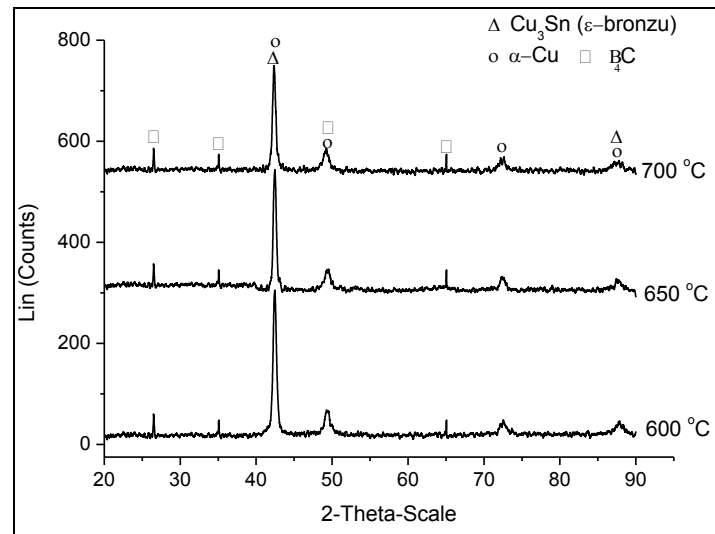
Matris ile bor karbür tanecikleri ara yüzeyinde bağlanmayı sağlayacak bir fazın oluşup oluşmadığını tespit etmek amacıyla her bir kesici takım matrisi için XRD analizi yapılmıştır. Bor karbür katkılı ve katkısız matrislerin XRD grafikleri Şekil 11.6-Şekil 11.9'da görülmektedir. Katkısız matrislerde XRD grafiklerden de görüldüğü üzere α -Cu ve

Cu_3Sn fazları oluşmuştur. Ayrıca bu fazların oluştuğu Şekil 11.1'deki Cu-Sn faz diyagramı ile de desteklenmektedir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça α -Cu ve Cu_3Sn fazlarının piklerinde genişleme olduğu görülmektedir.



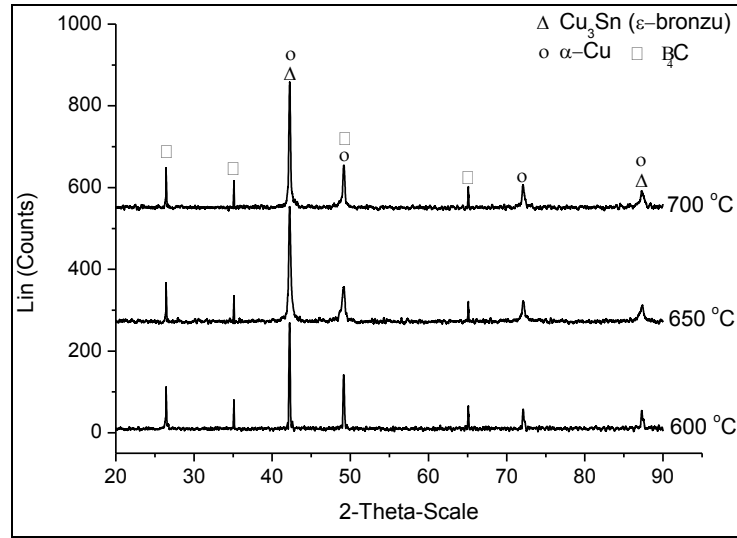
Şekil 11.6. CuSn matrisli soketlerin XRD grafiği

Ağırlıkça % 2 bor karbür katkılı matrisin XRD grafiği Şekil 11.7'de verilmiştir. Grafikte α -Cu, Cu_3Sn ve B_4C fazlarının varlığı görülmektedir. B_4C ve CuSn arasında herhangi bir faz oluşmamıştır. Bu durum CuSn ve B_4C arasında herhangi bir kimyasal reaksiyonun olmadığını da göstermektedir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça oluşan fazların piklerinde genişleme XRD grafiğinden görülmektedir.

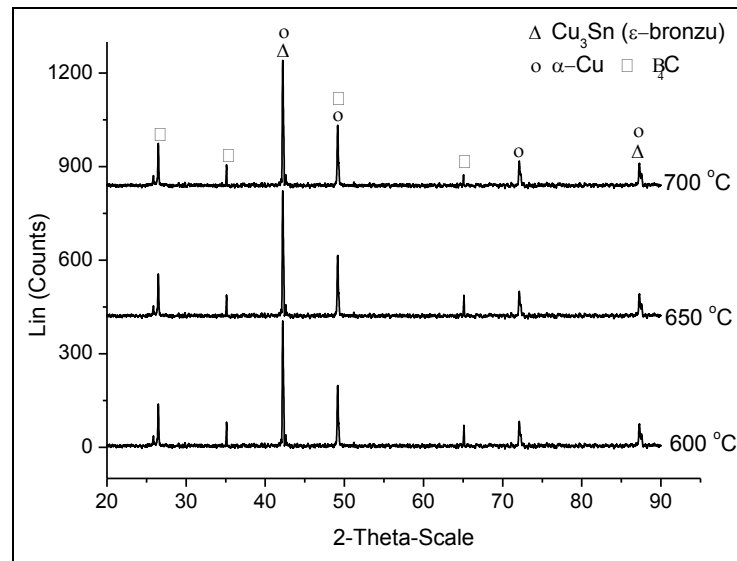


Şekil 11.7. % 2 bor karbür katkılı matrisli XRD grafiği

Ağırlıkça % 5 ve 10 katkılı matrislerin XRD grafikleri Şekil 11.8 ve Şekil 11.9’da verilmiştir. Artan bor karbür oranlarında B_4C fazının piklerinde artış grafiklerden açıkça görülmektedir. Ayrıca artan sinterleme sıcaklığı ile fazların piklerinde genişleme meydana gelmiştir. Gerek B_4C artışı ve gerekse sinterleme sıcaklıklarının artmış olması B_4C tanecikleri ile matris arasında yine herhangi bir ara yüzey bağının oluşmadığını göstermektedir. Buradan, kesici takım matrisine katılan tanecikler ile matris arasındaki bağlanmanın sadece matris tarafından çepeçevre kuşatılmakla ve onları sıkıca tutmak suretiyle olduğu anlamına gelmektedir. Sentetik elmas tanecikleri ile matris arasında da aynı durum söz konusudur.



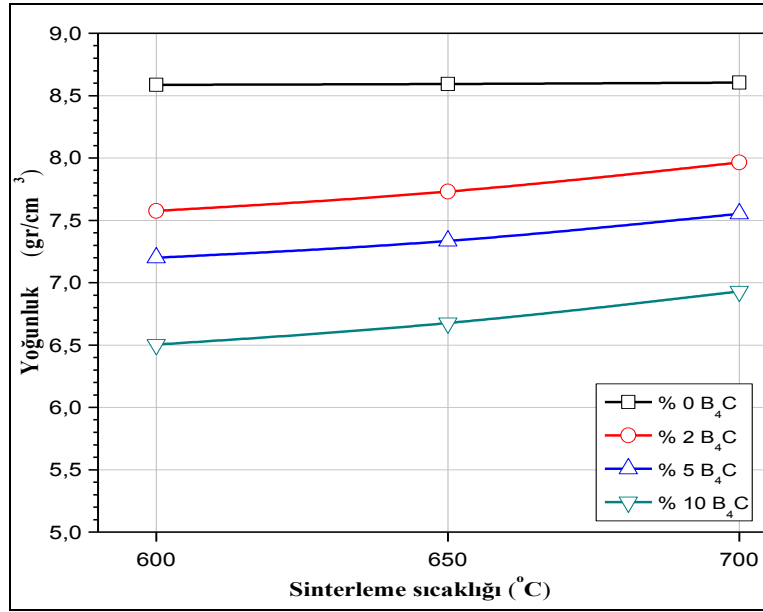
Şekil 11.8. % 5 bor karbür katkılı matrisli XRD grafiği



Şekil 11.9. % 10 bor karbür katkılı matrisli XRD grafiği

11.3. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Sinterleme parametrelerinin matris tozlarının sıkıştırılabilirlik özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla her bir numunenin yoğunluğu ölçülmüştür. Bor karbür katkılı ve katkısız matrislerin farklı sinterleme sıcaklıklarındaki yoğunluk değişimi Şekil 11.10'da görülmektedir. Ayrıca Tablo 11.1'de üretilen soketlerin teorik ve deneysel yoğunlukları verilmiştir.



Şekil 11.10. Soketlerin sıcaklık-yoğunluk grafiği

Tablo 11.1. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen bor karbür katkılı ve katkısız soketlerin teorik ve deneysel yoğunlukları

Numune	Teorik yoğunluk (gr/cm ³)	Deneysel yoğunluk (gr/cm ³)		
		600 °C	650 °C	700 °C
Katkısız	8.69	8.59	8.59	8.60
		Fark: 0.10	Fark: 0.10	Fark: 0.09
% 2 B ₄ C katkılı	8.56	7.58	7.73	7.96
		Fark: 0.98	Fark: 0.83	Fark: 0.60
% 5 B ₄ C katkılı	8.38	7.20	7.34	7.55
		Fark: 1.18	Fark: 1.04	Fark: 0.83
% 10 B ₄ C katkılı	8.07	6.50	6.68	6.93
		Fark: 1.57	Fark: 1.39	Fark: 1.34

Artan sinterleme sıcaklıklarında yoğunluklarda artış gözlenmiştir. Sinterleme sıcaklığındaki artış ile teorik ve deneysel yoğunluklar arasındaki fark azalmıştır (Tablo 11.1). Çünkü $D = D_0 \exp(-Q/RT)$ eşitliğine göre toz metal partiküllerinin birbirine olan difüzyonu sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir (German, 1996). Burada D difüzyon katsayısı, D_0 difüzyon sabiti, Q aktivasyon enerjisi, R Boltzmann sabiti ve T sıcaklıktır. Artan sinterleme sıcaklığı, partiküller arasında katı bağ oluşumunu arttırmış, partiküllerin birbirine olan difüzyonu hızlandırmıştır (Lima vd., 2003). Aynı sinterleme sıcaklığında artan bor karbür oranında yoğunluklarda düşüş meydana gelmiştir. Bu durum bor karbürün yoğunluğunun ($2,52 \text{ gr/cm}^3$) bronzun yoğunluğundan ($8,68 \text{ gr/cm}^3$) düşük olmasıyla ilgilidir. Ayrıca düşük bor karbür katkısında bronz- B_4C ara yüzeyi daha azdır. Bronzun kolaylıkla yayınabilmesi ve bor karbür tanecikleri arasındaki boşlukları doldurabilmesi daha muhtemeldir. Bu olay kompozitte yoğunluk artışına sebep olur (Efe vd., 2011; German, 2005). Yine sabit sinterleme sıcaklığında artan bor karbür ilavesiyle bağlı yoğunluklarda düşüş meydana gelmiştir. Bu durum artan bor karbür oranının sıkıştırılabilirliği olumsuz etkilemesiyle açıklanabilir (Rahimian vd., 2009). Diğer bir sebep ise, matris ile takviye elemanı yani bronz ile bor karbürün ergime sıcaklıkları arasındaki büyük farklılık, sinterleme anında partiküllerin tane hareketlerini önleyici bir faktör olmasından kaynaklanmaktadır. Artan sinterleme sıcaklıklarında bağlı yoğunluklarda artış gözlenmiştir (Kang, 2005). Bor karbür katkılı soketlerde en iyi yoğunlaşma % 2 B_4C katkısında 700°C 'de yaklaşık % 93,01'lik bağlı yoğunluk ile olmuştur (Şekil 11.11). Teorik ve bağlı yoğunluklar aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır.

$$\text{Teorik yoğunluk } \frac{1}{\rho_k} = \frac{w_t}{\rho_t} + \frac{w_m}{\rho_m} \text{ eşitliği ile hesaplanır. Burada sırasıyla } \rho_k, \rho_t, \rho_m$$

toplam yoğunluk, takviye elemanının yoğunluğu ve matrisin yoğunluğudur. w_t, w_m takviye ve matrisin ağırlıkça oranıdır. Bronzun (% 85 Cu, % 15 Sn) teorik yoğunluğunu hesaplanırsa:

$$\rho_{Cu} = 8.933 \text{ gr/cm}^3 \quad w_{Cu} = 0.85$$

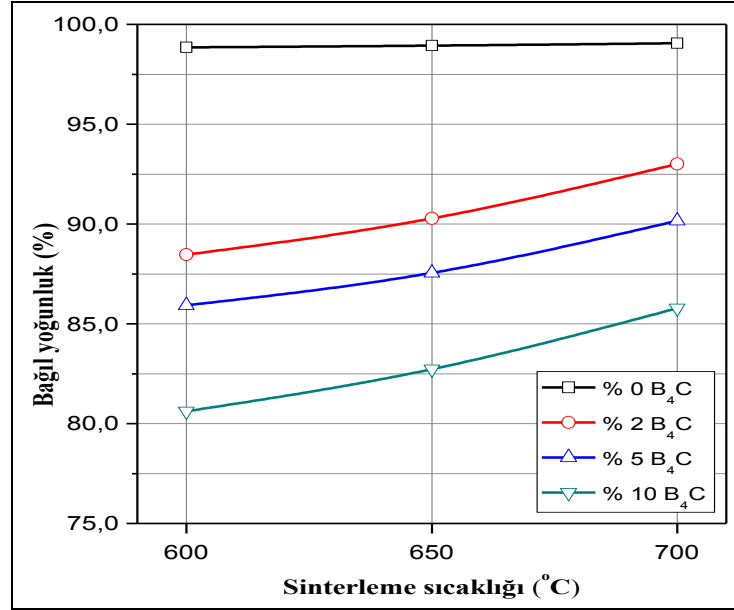
$$\rho_{Sn} = 7.287 \text{ gr/cm}^3 \quad w_{Sn} = 0.15$$

$$\rho_{Bronz} = ?$$

$$\frac{1}{\rho_{Bronz}} = \frac{w_{Cu}}{\rho_{Cu}} + \frac{w_{Sn}}{\rho_{Sn}} \Rightarrow \frac{1}{\rho_{Bronz}} = \frac{0.85}{8.93} + \frac{0.15}{7.29} \text{ Buradan } \rho_{Bronz} = 8.6861 \text{ gr/cm}^3 \text{ bulunur.}$$

Bağıl yoğunluk ise $\rho_b = \frac{\rho}{\rho_k} \times 100$ eşitliği ile hesaplanır.

Burada ρ_b, ρ, ρ_k bağıl yoğunluk, deneysel yoğunluk ve teorik yoğunluktur.



Şekil 11.11. Sinterleme sıcaklığının bağıl yoğunluklara etkisi

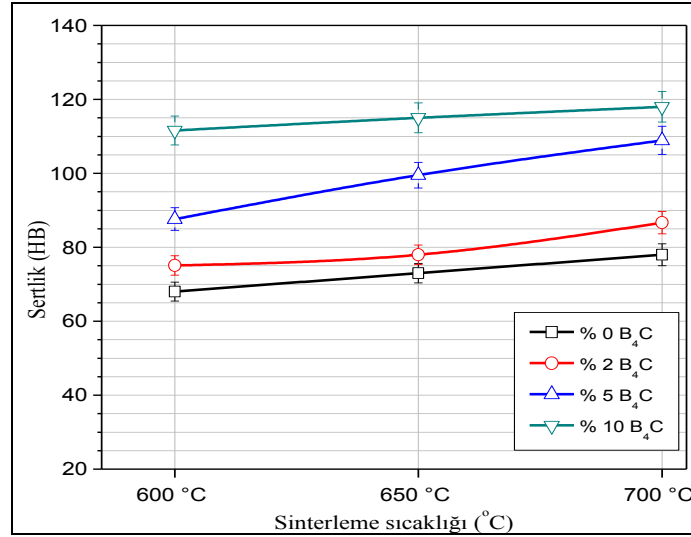
11.4. Sertlik Ölçüm Sonuçları

B₄C katkıli soketlerin sertlik ölçümleri Brinell sertlik ölçme cihazı ile 62.5 kg yük ve 2.5 mm çaplı bilye kullanılarak yapılmıştır. Her bir numune için toplam altı adet ölçüm yapılmıştır. Değerlendirmede ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır. Şekil 11.12’de soket matrisleri için sinterleme sıcaklığına ve bor karbür miktarına bağlı sertlik değişimi görülmektedir. Bronz için 600, 650 ve 700 °C’deki sertlik değerleri sırasıyla 68 HB, 73 HB ve 78 HB’dir. Ağırlıkça % 2 B₄C katkıli matrislerinin 600, 650 ve 700 °C sinterleme sıcaklıklarındaki sertlik değerleri sırasıyla 75 HB, 78 HB ve 87 HB’dir. Yine aynı sıcaklıklarda % 5 B₄C katkıli matrislerinin sertlik değerleri sırasıyla 88 HB, 100 HB ve 109 HB iken % 10 B₄C katkıli soket matrisinin sertlik değerleri sırasıyla 112 HB, 115 HB ve 118 HB olarak ölçülmüştür. Sinterleme sıcaklığının artışı ile matrislerin sertliklerinde artış gözlenmektedir. Bunun sebebi sıcaklık artışı ile birbiriyle komşu olan partiküller

arasında katı hal difüzyonu yoluyla iyi bir bağlanmanın olmasıdır (Dewidar vd., 2010). Bor karbür katkısıyla üretilen soketlerin sertliklerinde belirgin bir artış olmuştur. Bu sertlik artışına bor karbürün matris içindeki dağılımının sebep olduğu söylenebilir (Min vd., 2007). Başka bir ifade ile sertlik artışı karışım kuralı ile açıklanabilir. Bağlı yoğunluğu yüksek olan malzemeler için karışım kuralı;

$$H_k = H_m f_m + H_t f_t$$

şeklindedir. Burada H_c , kompozitin sertliği, H_m , matrisin sertliği, H_t , takviye elemanının sertliği, f_m ve f_t ise sırasıyla matris ve takviye elemanının hacimsel oranıdır (Kim, 2000; Kumar vd., 2011).

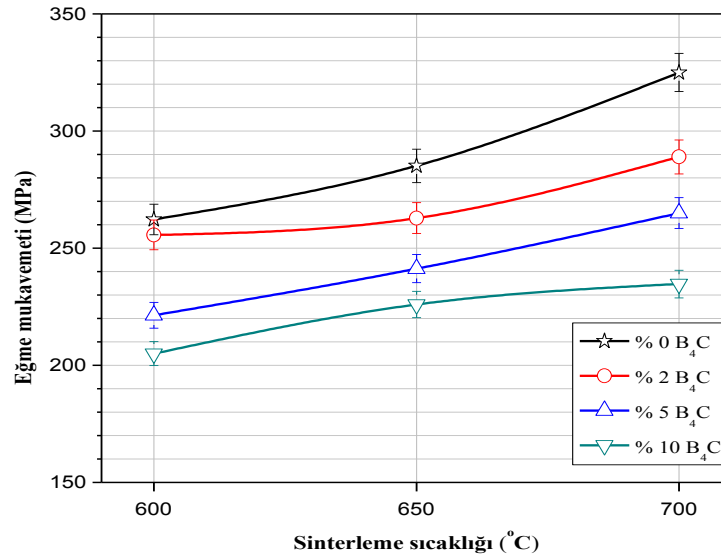


Şekil 11.12. Sinterleme sıcaklığının sertliğe etkisi

11.5. Üç Noktalı Eğme Test Sonuçları

Kırılma tokluğunu belirlemek için yapılan üç noktalı eğme testi 50 kN kapasiteli universal tip çekme cihazında ASTM B 528-83a standardına göre ve 1 mm/dk test hızında yapılmıştır. Üç noktalı eğme testi için 40 mm x 7 mm x 3.2 mm ölçülerindeki numuneler kullanılmıştır. Her bir matris için üç noktalı eğme testi beşer defa tekrarlanmıştır. Elde edilen değerlerin ortalaması alınarak üretim parametrelerinin etkisi tartışılmaya çalışılmıştır. Eğme mukavemeti üzerine sinterleme sıcaklığının ve bor karbür ilavesinin etkisi Şekil 11.13'de görülmektedir.

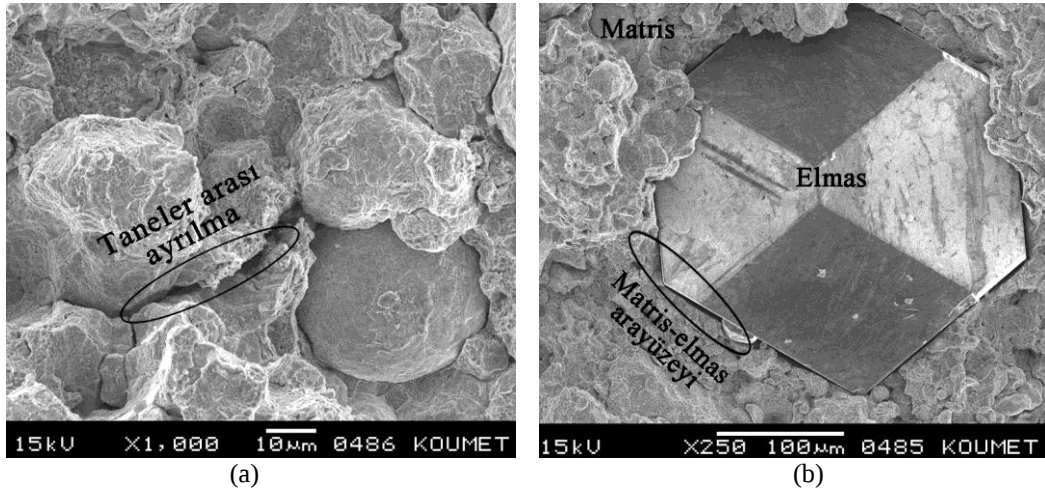
Sinterleme sıcaklığı arttıkça soket matrislerinin eğme dayanımlarında artış olmuştur. Bronz için 600, 650 ve 700 °C'deki eğme mukavemetleri sırasıyla 262.25 MPa, 285.16 MPa ve 325.33 MPa'dır. Ağırlıkça % 2 B₄C katkılı matrislerinin 600, 650 ve 700 °C sinterleme sıcaklıklarındaki eğme mukavemeti değerleri sırasıyla 255.67 MPa, 262.85 MPa ve 288.95 MPa'dır. Yine aynı sıcaklıklarda % 5 B₄C katkılı matrislerinin eğme mukavemetleri sırasıyla 221.34 MPa, 241.29 MPa ve 265.12 MPa iken % 10 B₄C katkılı soket matrisinin eğme mukavemeti değerleri sırasıyla 205.07 MPa, 225.96 MPa ve 234.63 MPa olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı (bor karbür) ile sünek matris (bronz) ara yüzeyinde genleşme katsayısı farklılığından dolayı gerilim yoğunlaşması meydana gelir. Bunun sonucunda kompozitin dayanımını arttıran dislokasyonlar ara yüzeyde oluşur. Sıcaklık arttıkça dislokasyon yoğunluğu daha fazla artar ve dayanım yükselir (Samuel vd., 1995). Bor karbürün ilave miktarı arttıkça soketlerin eğme mukavemeti değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi yüksek sertliğe sahip bor karbürün matris içerisinde daha fazla yer almasıyla matriste bir kesit zayıflaması meydana gelmiş olması nedeniyledir. Ayrıca bor karbür ilavesiyle gözeneklilikte meydana gelen artış eğme mukavemetinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir (Dwan, 2007).



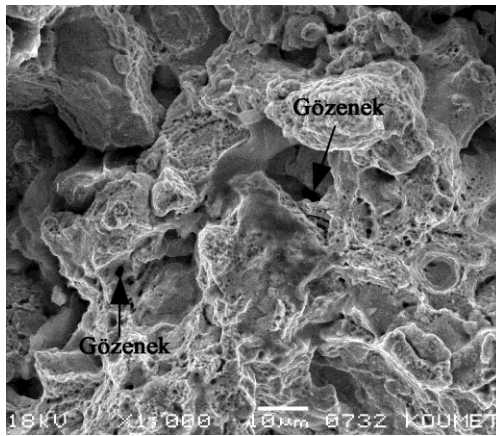
Şekil 11.13. B₄C katkılı soketlerde sinterleme parametrelerinin eğme mukavemetine etkisi

Şekil 11.14'de 600 °C'de sinterlenmiş bronz matrisli elmaslı soketin kırılma yüzeyi görülmektedir. Matriste yetersiz sinterleme koşullarından dolayı taneler arası ayrılma görülmektedir. Kısmi olarak bronz taneleri arasında boyun verme suretiyle kopma olayı gözlenmiştir. Bunun sebebi matrisin sünek bir yapıya sahip olması ve kopma anında söz konusu bölgelerin aşırı plastik deformasyona uğrayarak kopmuş olmalarındandır. Ayrıca

boyun vermelerin yoğun olduğu bölgelerde bronzun da sertliğinin düşük olmasından dolayı sünek kırılma olaylarının meydana geldiği anlaşılmıştır (Şekil 11.14a). Matris ile elmas ara yüzeyinde 600 °C sinterleme sıcaklığında zayıf bağlanma söz konusudur (Şekil 11.14b). Çünkü bu fotoğrafa bakıldığında matris ile elmas taneciği arasında belirli bir aralık olduğu görülmektedir. Bu sinterleme koşullarında matrisin ve katkı maddelerinin de ıslatabilirlik yeteneği olmaması nedeniyle iki yüzey arasında bağlanma yeterli değildir. 700 °C’de sinterlenmiş bronz matrisli elmaslı soketlerin eğme dayanımlarında artış olmuştur. Bu sinterleme sıcaklığında elmaslı kesici takımların en yüksek sertliğe sahip oldukları gözlenmiştir. Soketlerde eğme dayanımının artmış olmasının sebebi de bu olay ile ilgilidir. Ayrıca sinterleme sıcaklığının artması ile matriste sünek bir kırılmanın daha fazla olduğu SEM fotoğrafından da görülmektedir (Şekil 11.15).

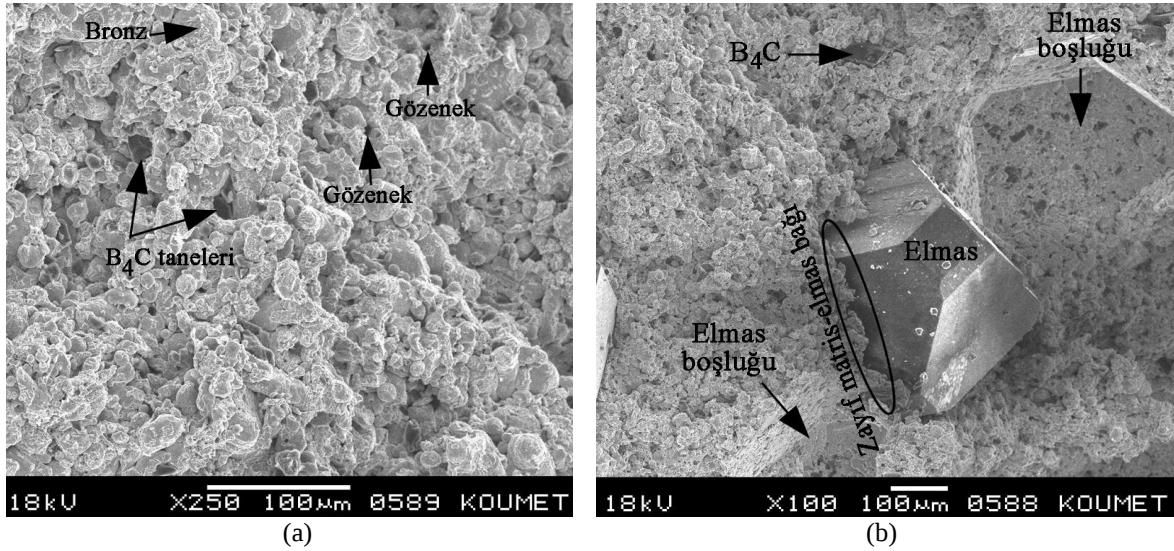


Şekil 11.14. 600 °C’de sinterlenmiş bronz matrisli elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı:
(a) matris ve (b) matris-elmas ara yüzeyi

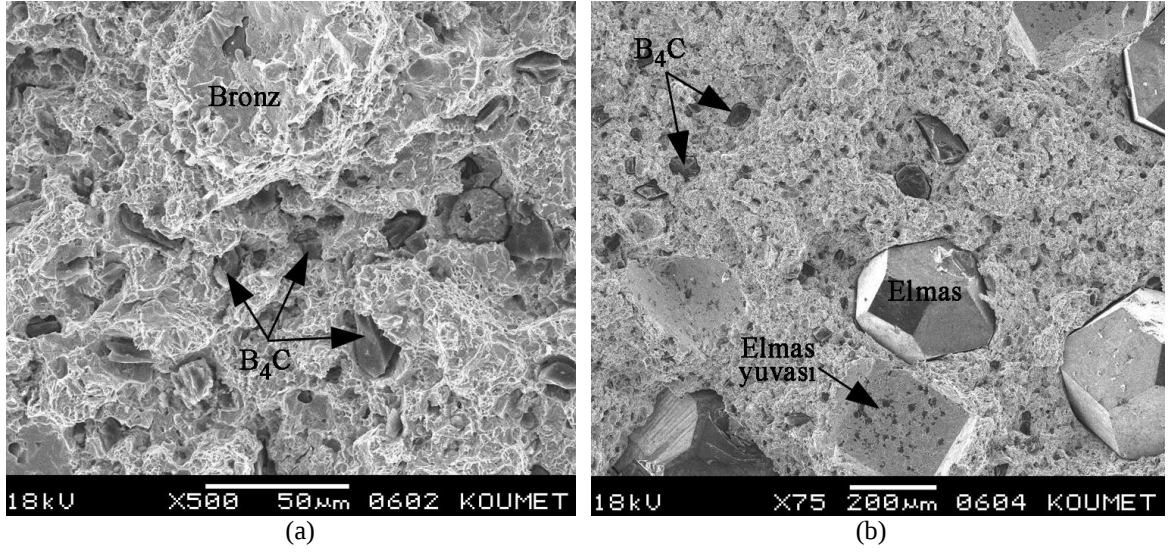


Şekil 11.15. 700 °C’de sinterlenmiş bronz matrisli elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafı

600 °C’de sinterlenmiş ağırlıkça % 2 bor karbür katkılı soketin kırılma yüzeyinin SEM fotoğrafı Şekil 11.16’da verilmiştir. Soketlerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde 600 °C sinterleme sıcaklığında toz partiküllerin birbiri ile iyi kaynaşmadığı görülmektedir. Bu duruma bor karbürün sinterlenebilirlik özelliğinin düşük olması da etki etmiştir (Kang vd., 2010). Bor karbür tanelerinin yerleştiği bölgelerde bronz tanelerinde boyun verme özelliğinin de az olduğu görülmektedir. Ayrıca 600 °C sinterleme sıcaklığında gözeneklerdeki belirginlikte göze çarpmaktadır. Elmas ile matris ara yüzeyinde oluşan bağlanmanın zayıf olduğu Şekil 11.16b’de görülmektedir. Sinterleme sıcaklığını 700 °C’ye arttırıldığında bor karbür ve elmas tanelerinin bronz tarafından daha sıkı tutulduğu ve daha bütün bir yapı sergilendiği bu sıcaklıkta sinterlenen B₄C katkılı soket numunelerinin kırık yüzeylerinin SEM fotoğraflarından görülmektedir. Bu sıcaklıkta matrisin elması tutma yeteneği daha fazladır ve düşen elmas miktarında azalma söz konusudur (Şekil 11.17). Her iki sinterleme sıcaklığında da matris içerisinde bulunan elmas taneciklerine yapışık bor karbür taneciklerinin elmasın matris tarafından sıkıca tutulmasını engellediği düşünülmektedir.

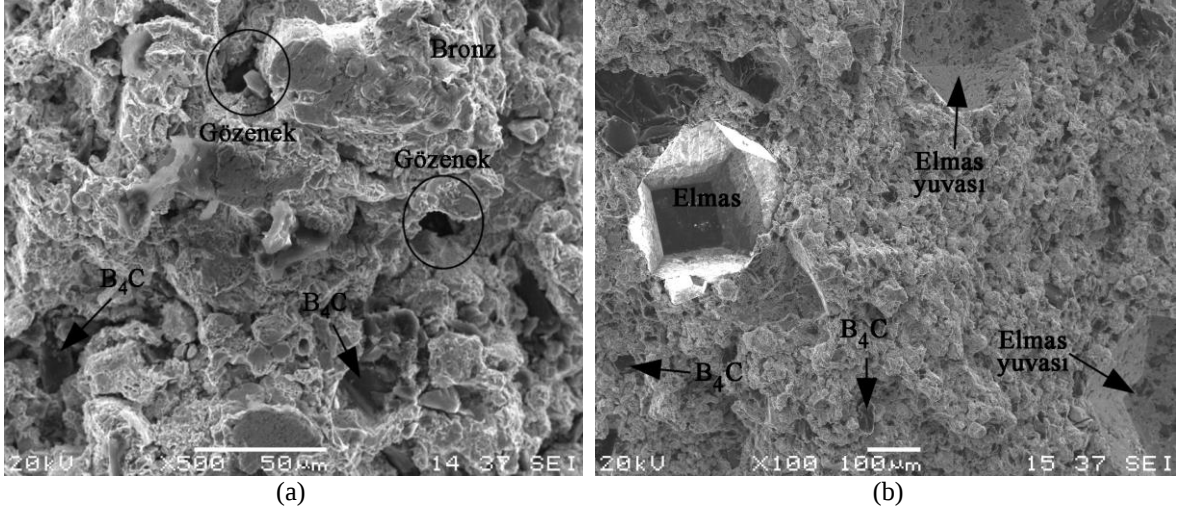


Şekil 11.16. 600 °C’de sinterlenmiş % 2 B₄C katkılı elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafları: (a) matris ve (b) matris-elmas

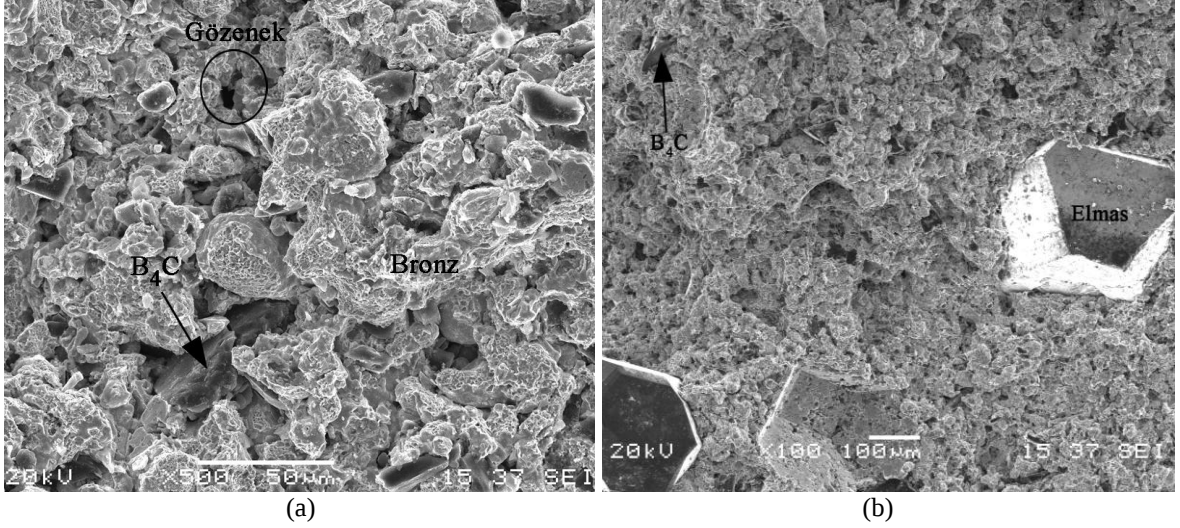


Şekil 11.17. 700 °C’de sinterlenmiş % 2 B₄C katkılı elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafları: (a) matris ve (b) matris-elmas

% 5 katkılı soketlerin kırılma yüzeylerinden bor karbür miktarı arttıkça gözeneklilikte de artış meydana geldiği anlaşılmaktadır (Şekil 11.18 ve Şekil 11.19). Bu oranda matris-elmas ara yüzeyinde zayıf bağlanma meydana gelmiştir. Matrisin elması tutma kabiliyeti düşüktür. CuSn matrisine bor karbür de ilave edildiğinde bu tutma kabiliyetinin daha da düştüğü SEM fotoğraflarındaki elmas boşluklarında bulunan bor karbür partiküllerinden anlaşılmaktadır. Bor karbür ilavesi arttıkça düşen elmas miktarında da artış gözlenmektedir. % 5 katkılı soketlerdeki bor karbürün % 2 katkılı soketlerdekine göre daha homojen dağıldığı SEM fotoğraflarından görülmektedir. Sinterleme sıcaklığının artması ile matris tanecikleri arasında boyun vermenin az da olsa meydana geldiği tespit edilmiştir. Kırılma daha çok taneler arası ayrılma şeklinde meydana gelmiştir. Fakat boyun vermenin olduğu bölgelerde nispeten sünek kırılmanın olduğu SEM fotoğraflarından görülmektedir.

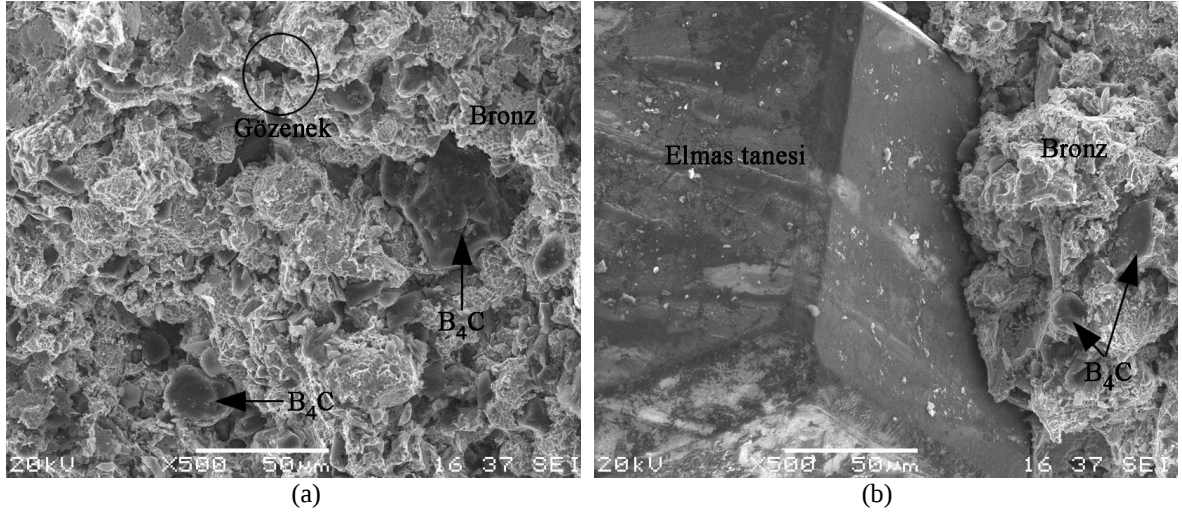


Şekil 11.18. 600 °C’de sinterlenmiş % 5 B₄C katkılı elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafları: (a) matris ve (b) matris-elmas



Şekil 11.19. 700 °C’de sinterlenmiş % 5 B₄C katkılı elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafları: (a) matris ve (b) matris-elmas

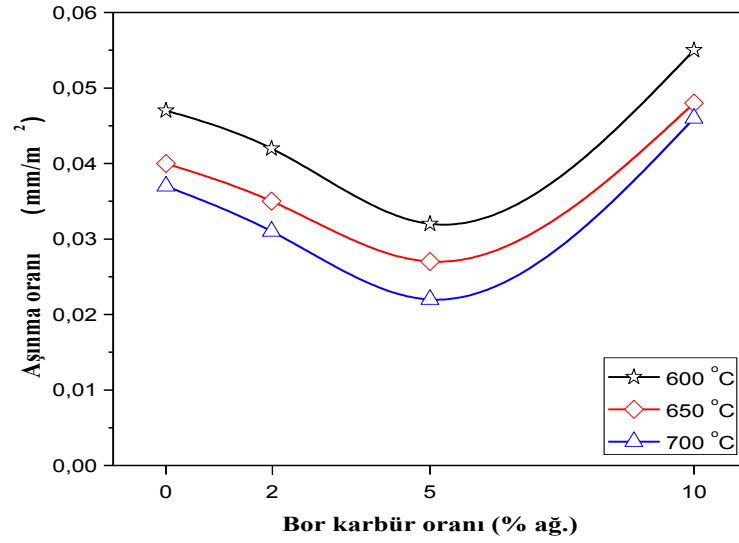
Ağırlıkça % 10 bor karbür katkısı ile üretilen soketlerde elmas ile matris arasında zayıf bir ara yüzey bağlanmasının olduğu Şekil 11.20’deki SEM fotoğraflarından anlaşılmaktadır. Bor karbür tanelerinin birbirine yakın mesafelerde matrise gömülü halde bulunmaları eğilme mukavemeti ve sentetik elmas tutunmasını da olumsuz etkilemektedir. Bor karbür ilavesiyle taneler arasında ayrılmalar daha fazla olmuş ve sinterleme sıcaklığının artmasıyla matris-elmas ara yüzeyinde kuvvetli bağlanmalar oluşmuştur.



Şekil 11.20. 700 °C’de sinterlenmiş % 10 B₄C katkılı elmaslı soketlerin kırık yüzeyinin SEM fotoğrafları: (a) matris ve (b) matris-elmas

11.6. Aşınma Sonuçları

Aşınma deneyleri bronz ağırlıkça % 2-5-10 bor karbür katılmasıyla elde edilen matrise kesici tanecik olarak 30 konsantrasyon sentetik elmasın ilave edilmesiyle üretilen soketler üzerinde yapılmıştır. Sinterleme işlemleri 600, 650 ve 700 °C sıcaklıklarında yapılmıştır. Deneyler 300 mm çapındaki testere gövdeleri üzerine lehimlenmiş soketler ile 45 m/s kesme (çevresel), 800 mm/dak ilerleme hızında, 30 mm kesme derinliğinde, 76.8 cm³/dak kesme oranında ve 20 l/dak soğutma suyu şartlarında Ankara andezit taşı kesilerek yapılmıştır. Doğal taş kesme işlemlerinde sokette meydana gelebilecek esas aşınma türü abrasiv aşınmadır. Kesme işlemleri sırasında oluşan doğal taş talaşının dışarı atılması ve kesici takımın soğutulması amacıyla kesme esnasında soğutma suyu kullanılmıştır. Şekil 11.21 ve Tablo 11.2’de farklı bor karbür katkılı kesici takımların sinterleme sıcaklığına bağlı aşınma oranları görülmektedir.



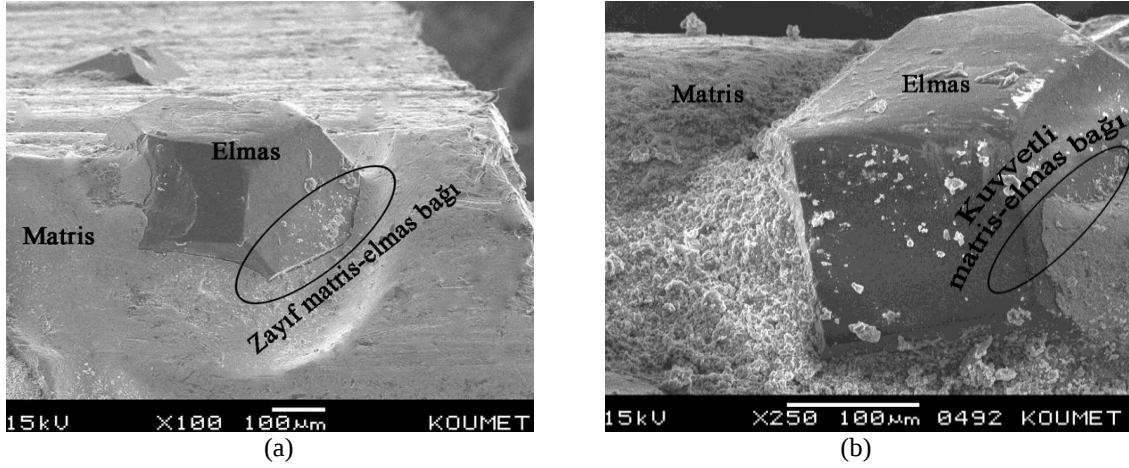
Şekil 11.21. Bor karbür katkısının ve sinterleme sıcaklığının aşınma oranına etkisi

Tablo 11.2. Bor karbür katkısının ve sinterleme sıcaklığının soketlerin aşınma oranına etkisi

Numune	Aşınma oranı (mm/m ²)		
	600 °C	650 °C	700 °C
Katkısız	0.047	0.040	0.037
% 2 B ₄ C katkılı	0.042	0.035	0.031
% 5 B ₄ C katkılı	0.032	0.027	0.022
% 10 B ₄ C katkılı	0.055	0.048	0.046

11.6.1. B₄C İçermeyen Kesici Takımların Aşınma Sonuçları

B₄C ilavesiz bronz matrisli elmaslı testerelerin aşınma oranları sinterleme sıcaklığının artmasıyla azalmıştır. 600 °C’de 0.047 mm/m², 650 °C’de 0.040 mm/m² ve son olarak 700 °C’de ise 0.037 mm/m² aşınma oranları tespit edilmiştir (Tablo 11.2). Sinterleme sıcaklığına bağlı olarak matrisin sertliği arttığından, matrisin kesme anında doğal taştaki abrasiv taneciklere karşı direnci de artmıştır. Ayrıca sinterleme sıcaklığının artmasıyla bronz matrisi tarafından elmaslar daha sıkı tutulmuş olup; andezit kesimi esnasında elmas taneciklerin düşmesinin önüne geçilerek elmaslı takımın ömrünün arttığı da tespit edilmiştir. 600 °C’deki sinterlemeden sonra matris-elmas arasında oluşan zayıf ara yüzey bağı Şekil 11.22a’da, 700 °C’de sinterleme sonrası matris-elmas arasında oluşan kuvvetli ara yüzey bağı ise Şekil 11.22b’de görülmektedir.

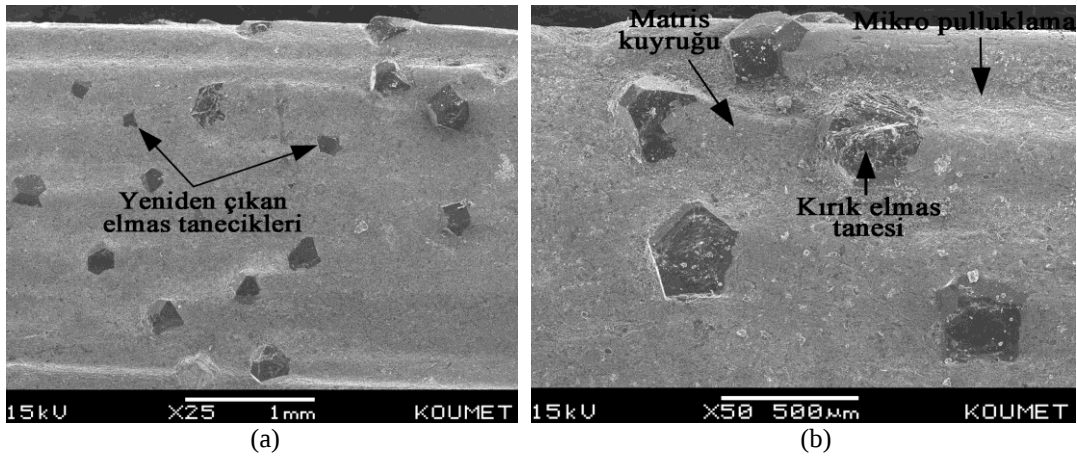


Şekil 11.22. CuSn matrisli elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyi: (a) 600 °C’de sinterlenmiş ve (b) 700 °C’de sinterlenmiş

Sinterleme sıcaklığının artmış olması matris ile sentetik elmas arasındaki tutunumun daha da artmasına sebep olmuştur. Çünkü düşük sinterleme sıcaklığında matris toz taneleri arasındaki bağlanma, daha yüksek sinterleme sıcaklığındaki bağlanmaya göre zayıftır. Bu durumda kesme esnasında matris daha kolay aşınır ve elmas taneciklerin de düşmesine sebep olur. Oysa yüksek sinterleme sıcaklığında matris toz tanecikleri birbirini daha iyi tutar. Bu da elmas taneciklerinin matrise daha iyi tutunması anlamına gelir. Bu sebepten dolayı kesici takımın aşınma direnci de artar.

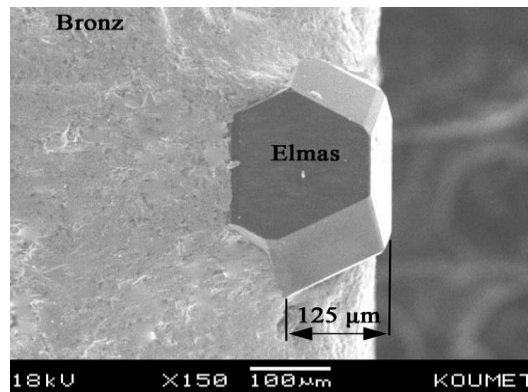
Doğal taş kesme işlemi sırasında elmas tanelerinde aşınmayla birlikte mikro kırılmalar meydana gelir ve bu haliyle tanecik kesme görevini sürdürür. Fakat tanecikteki aşınma hızla devam eder ve matrisin de aşınmasıyla birlikte belirli bir süre sonra tanecik yerinden koparak düşer. Bu sırada matrisin aşınmaya devam etmesiyle birlikte yeni elmas taneleri çıkarak kesme işlemi devam eder. Sometin bitimine kadar bu döngü devam eder. Şekil 11.23a’da bor karbür katkısız bronz matrisli bir socketin kesme işleminden sonraki SEM fotoğrafında matris içerisinden yeni elmas tanelerinin ortaya çıkışı görülmektedir. Yeni elmas tanelerinin çıkmaması durumunda kesici takım körelir ve kesme fonksiyonunu kaybeder. Bu, matrisin sertliğinin olması gerekenden daha yüksek olduğunu gösterir. Matrisin olması gerekenden daha yumuşak olması halinde elmas tanecikleri kesme işlemini yaparken matris daha hızlı aşınacağından elmas tanecikleri kesme işlemini yeterince yapmadan koparak yerinden ayrılır. Bu durumda kesici takımın ömrü çok kısa olur. Bu husus genellikle kesme hızının yüksek olması istenildiği durumlarda tercih edilebilir. Doğal taş kesme işlemi esnasında matrisin aşınmasıyla iyice ortaya çıkan elmasın arka kısmında matris kuyruğu oluşur. Oluşan matris kuyruğu elmas tanesini destekleyerek

kesme işleminin etkin bir şekilde yapılmasını sağlar (Konstanty, 2005; Luo, 1997). Kesme işleminde kesici takımın doğal taşla ilk teması sırasında elmas tanesinde kırılmalar oluşabilir. Elmas tanelerinin kırılmasından sonra ortaya çıkan yeni kırık yüzeyler, aynı zamanda yeni kesme kenarlarını oluştururlar. Bu sırada elmas tanesi normal kesme yapar. Fakat darbelere karşı dayanımı oldukça azalır (Liao ve Luo, 1992). Matris kuyruğu ve kırık elmas tanelerinin durumu Şekil 11.23b’de görülmektedir.



Şekil 11.23. (a) CuSn matrisli kesici takımda yeni çıkan elmas tanecikleri ve (b) körelmiş elmas taneciğinin aşınmış takım yüzeyindeki görünümü

Bir kesici takımda elmas taneciğinin en etkili kesim yapabilme yüksekliği elmas taneciği çapının üçte biri kadardır. Yani $h = 1/3d$ 'dir. Burada h: elmas çıkıntı yüksekliği, d: elmas çapıdır (Jiang ve Chen, 2001). Soket üretiminde kullanılan elmas taneciğinin çapı yaklaşık 400 µm'dir. Elmas çıkıntı yüksekliği ise yaklaşık 125 µm'dir (Şekil 11.24). Eğer bu değerden büyük olursa elmas kesme işlevini sürdürmeden düşme söz konusu olabilir. Aksi halde, yani çok küçük olursa elmas kesme işleminde etkisiz olur.

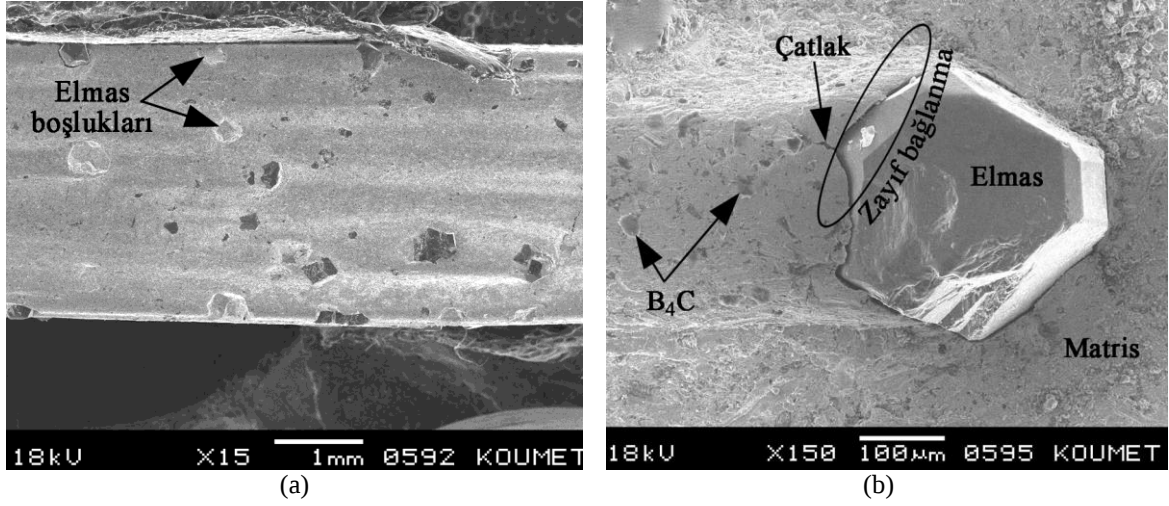


Şekil 11.24. Kesme işlevini gören ideal elmas çıkıntısı

11.6.2. % 2 B₄C Katkılı Kesici Takımların Aşınma Sonuçları

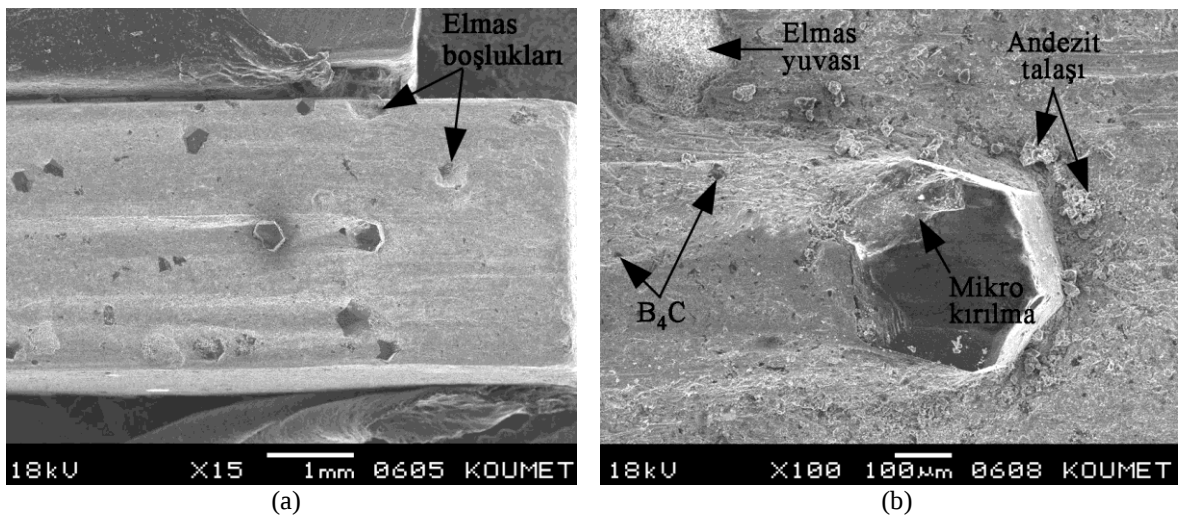
İçerisine ağırlıkça % 2 B₄C ilave edilerek üretilen elmaslı kesici takımların B₄C içermeyen elmaslı kesici takımlara göre aşınma oranlarında düşüş tespit edilmiştir (Şekil 11.21). Sinterleme sıcaklığının artmasıyla takımların aşınma oranlarında yine düşüş meydana gelmiştir. 600 °C sinterleme sıcaklığında 0.042 mm/m², 650 °C’de 0.035 mm/m² ve son olarak 700 °C’de ise 0.031 mm/m² aşınma oranı değerleri ölçülmüştür (Tablo 11.2). 700°C sinterleme sıcaklığında üretilmiş B₄C katkısız ve % 2 B₄C katkılı elmaslı kesici takımların aşınma oranları karşılaştırıldığında ağırlıkça % 2 B₄C katkılı kesici takımın aşınma oranı diğerine göre yaklaşık % 17.8 daha düşük çıkmıştır. Yani bor karbürlü soket daha az aşınmıştır. Bor karbür taneciklerinin kesici takıma ilavesi kesici takımın sertliğinde de bir miktar artışa sebep olmuştur. Bunun sonucunda matrisin abrasiv aşınma direncinde artış olmuştur.

% 2 B₄C ilavesiyle 600 °C sinterleme sıcaklığında sıcak preste üretilen elmaslı soketlerin aşınmış yüzeylerin SEM fotoğrafları Şekil 11.25’de görülmektedir. Yetersiz sinterleme sıcaklığından dolayı kesme işlemi esnasında elmasların yerlerinden çıktıkları gözlenmiştir (Şekil 11.25a). Yetersiz sinterlemeden dolayı zayıf matris-elmas bağlanması ve matriste ise dinamik kesme esnasında çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 11.25b). Bu çatlaklar bronz partiküllerin birbiriyle tam kaynaşmamasından ileri gelmektedir. Ayrıca bor karbürün ilavesiyle matrisi oluşturan partiküllerin ısıtılabilirliğinin azaldığı düşünülmektedir. Elmaslı bölgeler yoğun gerilim altındaki bölgeler oldukları için turbulada matris-elmas karışımının tam anlamıyla homojen karıştırılamadığı için elmaslar belirli bölgelerde toplanmışlardır. Yakın mesafede yan yana gelen elmas taneleri arasında kesme esnasında matriste çatlak oluşumu meydana gelmiştir Ayrıca yine elmas taneciklerinde elmasın üretiminden kaynaklanan veyahut yoğun kesme şartlarından oluşabileceği düşünülen mikro-kırılmalar oluşmuştur.



Şekil 11.25. 600 °C'de sinterlenmiş % 2 B₄C katkılı elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: genel soket görünümü ve (b) matris-elmas ara yüzeyi

% 2 B₄C katkılı elmaslı soketlerin üretiminde sinterleme sıcaklığı artırıldığı zaman elmas tanecikleri matris tarafından daha iyi tutulmuş ve aşınma deneyleri esnasında kesici takımdan düşen elmas tanelerinde azalma olmuştur (Şekil 11.26a). Şekil 11.26b'de görüldüğü gibi elmas taneciği matristeki yuvasından kopmuş olduğu halde bor karbür taneciklerinin konumlarını çok iyi muhafaza ettikleri ve matristeki işlevlerini sürdürdükleri görülmektedir. Yine SEM fotoğrafından da görüldüğü gibi matris-elmas ara yüzey bağlanmasının kuvvetli olduğu kanısına varılmaktadır. Diğer soketlerin aşınmasında olduğu gibi bu grupta da elmaslarda kırılmalar meydana gelmiştir.

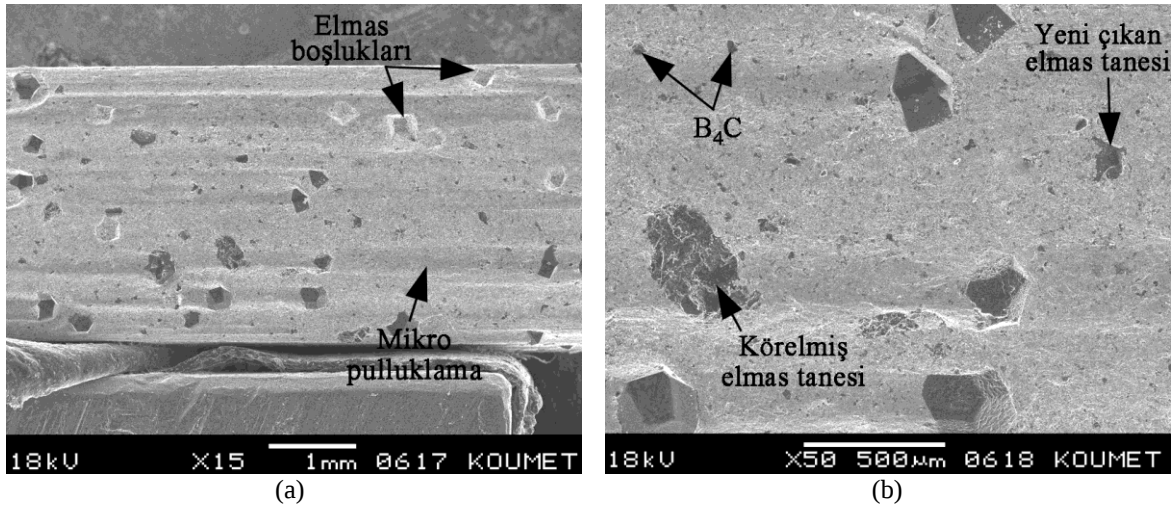


Şekil 11.26. 700 °C'de sinterlenmiş % 2 B₄C katkılı elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: (a) genel soket görünümü, (b) mikro-kırılma ve bor karbür taneciklerinin konumu

11.6.3. % 5 B₄C Katkılı Kesici Takımların Aşınma Sonuçları

% 5 B₄C katkıli soketlerin aşınma oranı değerleri sırasıyla 600 °C’de 0.032 mm/m², 650 °C’de 0.027 mm/m² ve son olarak 700 °C’de ise 0.022 mm/m²’dir (Tablo 11.2). Elmaslı kesici takımın abrasiv aşınma direnci % 5 B₄C ilavesi ve sinterleme sıcaklığının artırılması ile yükseltilmiştir. Bu çalışmada en düşük aşınma oranı % 5 B₄C ilavesinde ve 700 °C sinterleme sıcaklığında elde edilmiştir.

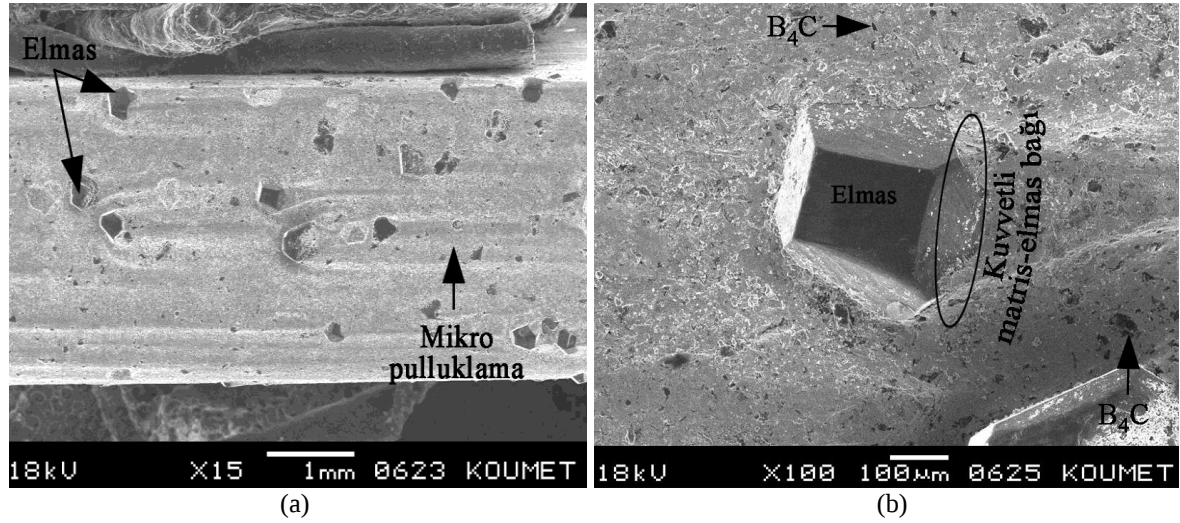
Şekil 11.27’de 600 °C’de sinterlenmiş % 5 B₄C katkıli soketlerin aşınma yüzeylerinin SEM fotoğrafları görülmektedir. Soketin kenar bölgelerine doğru elmas dökülmeleri meydana gelmiştir (Şekil 11.27a). Bu da bize kesme işlemi esnasında soketin kenar bölgelerinin daha fazla aşınmaya maruz kaldığını göstermektedir (Ucun, 2009). Ayrıca sert bir matrisin aşınmasının daha az olmasından dolayı yeni taneciklerin çıkamaması ve elmas üzerine etki eden ısı ve mekanik zorlanmalardan dolayı elmas tanelerinde düzleşme ve kırılmalar meydana gelmiştir (Şekil 11.27b). Eğer bir elmas taneciğinin kalitesi yüksek ve matris ile elmas arasındaki bağ kuvvetli ise elmas taneciklerde kırılma veya dökülme daha azdır (Xu, 2001; Asche, 2000).



Şekil 11.27. 600 °C’de sinterlenmiş % 5 B₄C elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: (a) genel soket görünümü, (b) elmas körelmesi ve yeni elmasların çıkması

Şekil 11.28’de 700 °C sinterleme sıcaklığında % 5 katkıli kesici takımların aşınma yüzey fotoğrafları görülmektedir. Bu fotoğraflardan 600 °C’de sinterlenen numunelere göre matris-elmas ara yüzeyinde daha kuvvetli bir bağ oluşmuştur. Bu şekilde sinterleme sıcaklığı yükseltilerek elmas dökülmesi en aza indirgenebilir. Bununla birlikte, çalışma

koşulları, elmas soket ve matris özellikleri, kesilen malzemenin özellikleri gibi pek çok faktör elmas dökülmesinde önemli bir etkiye sahiptir (Ucun, 2009).



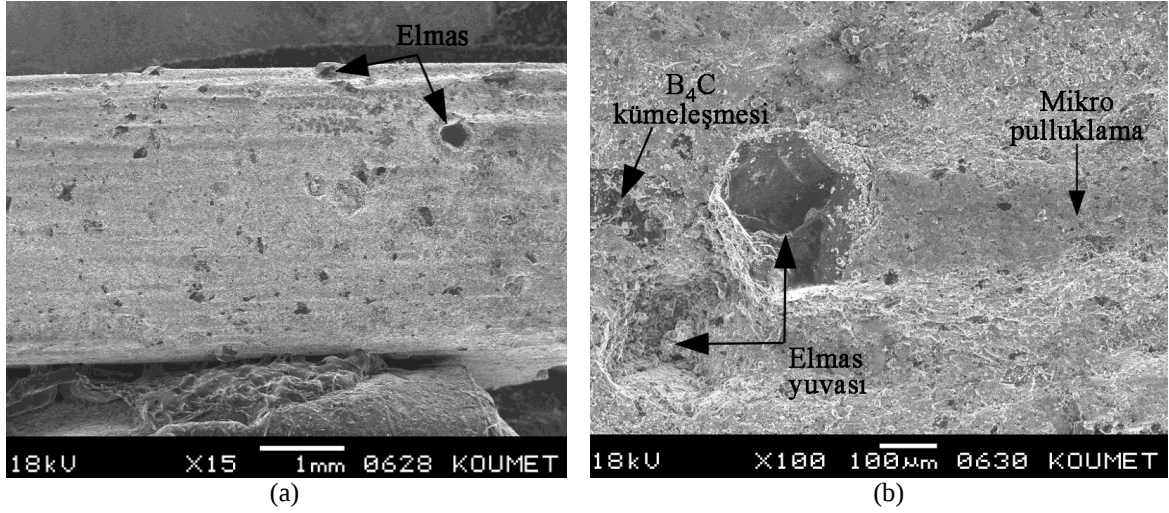
Şekil 11.28. 700 °C’de sinterlenmiş % 5 B₄C elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: (a) genel soket görünümü ve (b) kuvvetli matris-elmas bağı

11.6.4. % 10 B₄C Katkılı Kesici Takımların Aşınma Sonuçları

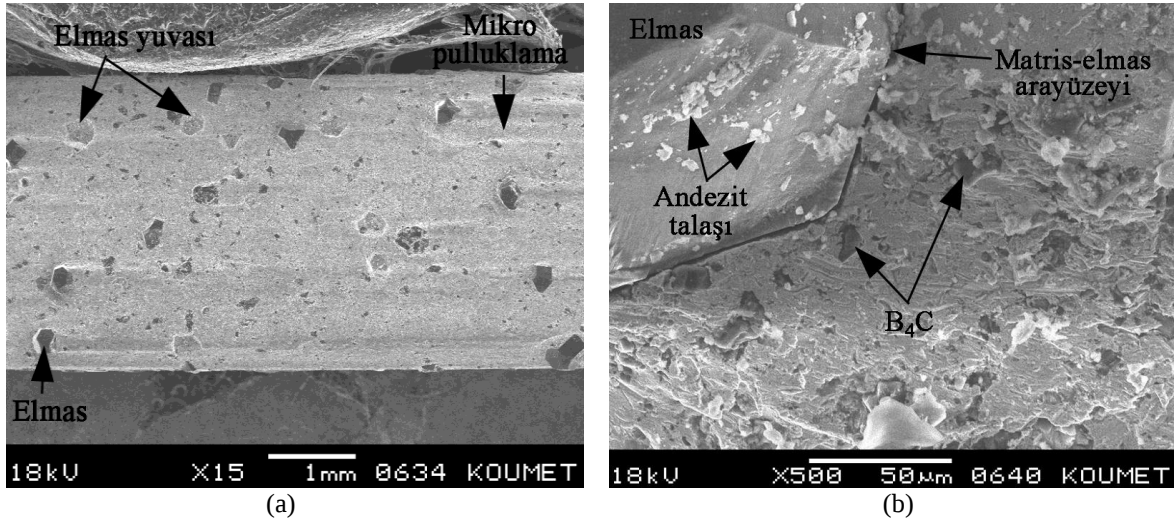
% 10 bor karbür katkılı elmaslı kesici takımların aşınma oranlarında belirgin bir artış meydana gelmiştir. 600 °C sinterleme sıcaklığında 0.055 mm/m², 650 °C’de 0.048 mm/m² ve 700 °C sinterleme sıcaklığında ise 0.046 mm/m² aşınma oranı değerleri tespit edilmiştir (Tablo 11.2). Yoğun bor karbür içeriğinden dolayı matris ile elmas arasında zayıf bir bağlanma olmuştur. Bu zayıf bağlanmadan dolayı fazla miktarda elmas taneciği matristen kopmuştur. Seçilen maksimum sinterleme sıcaklığı (700 °C) % 10 bor karbür ilavesi için yetersiz olmuştur. Sinterleme koşullarının yetersiz olması, kesme işlemi esnasında bor karbür, tanelerinin tane tane dökülmesine neden olmuştur. Yerlerinden çıkan bor karbür tanelerde abrasiv etki yaparak matrisin daha da aşınmasına sebep olmuştur.

Şekil 11.29 ve Şekil 11.30’da % 10 B₄C katkılı elmaslı kesici soketlerin aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı görülmektedir. Soketlerde yoğun elmas taneciği dökülmesi meydana gelmiştir. Matris fazla aşındığı için fazla miktarda abrasiv yivleri gözükmemektedir (Şekil 11.29). Ayrıca SEM fotoğraflarında bor karbürün bazı bölgelerde kümeleştiği (segregasyon) görülmektedir. Bu, mikserleme işlemi ile CuSn-B₄C-elmas karışımının homojen olarak yapılamamasından kaynaklanmaktadır. Bu gruptaki soketlerde de mikro

pulluklama meydana gelmiştir Sinterleme sıcaklığı 700 °C'ye çıkarıldığında elmas dökülmesinin çok az da önüne geçilse bile etkili bir aşınma performansı elde edilememiştir Matris-elmas ara yüzeyinde zayıf bir bağ göze çarpmaktadır. Bu sinterleme koşullarının yetersiz olması ve yüksek bor karbür ilavesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca elmas tanesi üzerinde andezit taşı kalıntıları gözükmemektedir (Şekil 11.30).



Şekil 11.29. 600 °C'de sinterlenmiş % 10 B₄C katkılı elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: (a) genel soket görünümü, (b) elmas tanelerinin düşmesi ve bor karbür segregasyonu



Şekil 11.30. 700 °C'de sinterlenmiş % 10 B₄C katkılı elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyleri: (a) genel soket görünümü, (b) matris-elmas ara yüzeyi

12. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karbür katkılı mermer kesici takımların çalışma performansına sinterleme parametrelerinin etkisinin araştırılması amaçlanan bu çalışmada aşağıdaki bilgi, bulgu ve sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Sıcak presleme ile üretilen Bronz-B₄C matrisli soketlerde bor karbürün matris içinde nispeten homojen olarak dağıldığı SEM çalışmalarıyla gözlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça yapıda oluşan gözeneklerin miktarında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca bor karbür ilavesi gözenek miktarında artışa neden olmuştur.
2. Farklı sinterleme sıcaklıklarında bor karbür oranı sabit kalmak şartıyla soketlerin bağlı yoğunlukları sinterleme sıcaklığı yükseldikçe artmıştır. Sıcaklık yükseldikçe toz partiküllerin birbiriyle olan difüzyonu hızlanmış, bu da yoğunlaşmayı arttırmıştır. En iyi yoğunlaşma bor karbür katkılı numunelerden % 2 bor karbür ilaveli numunelerde ve 700 °C sinterleme sıcaklığında % 93,01 değeri ile olmuştur.
3. Sinterleme sıcaklığının ve bor karbür katkısının artışı ile matrislerin sertliklerinde artış gözlenmiştir. Bor karbür ilavesiz 600 °C’de sinterlenmiş bronzun sertliği 68 HB, 650°C’de 73 HB ve 700 °C’de ise 78 HB olarak ölçülmüştür. Bu durum sıcaklık artışı ile gözeneklerin azalması sonucu ve daha kompakt bir yapı elde edilmesi ile ilişkilendirilmektedir. En yüksek sertlik değeri % 10 B₄C ilavesinde ve 700 °C sinterleme sıcaklığında 118 HB olarak ölçülmüştür. Bu sertlik artışına bor karbürün matris içerisindeki serbest dağılımı sebep olmuştur.
4. Bor karbür katkılı elmaslı kesici takımların eğme mukavemetleri bor karbür katkısıyla azalmış, sinterleme sıcaklığının yükselmesiyle de artmıştır. Bronz için 600, 650 ve 700 °C’deki eğme mukavemetleri sırasıyla 262.25 MPa, 285.16 MPa ve 325.33 MPa’dır. Ağırlıkça % 2 B₄C katkılı matrislerinin 600, 650 ve 700 °C sinterleme sıcaklıklarındaki eğme mukavemeti değerleri sırasıyla 255.67 MPa, 262.85 MPa ve 288.95 MPa’dır. Yine aynı sıcaklıklarda % 5 B₄C katkılı matrislerinin eğme mukavemetleri sırasıyla 221.34 MPa, 241.29 MPa ve 265.12 MPa iken % 10 B₄C katkılı soket matrisinin eğme mukavemeti değerleri sırasıyla 205.07 MPa, 225.96 MPa ve 234.63 MPa olarak ölçülmüştür. Bunun sebebi yüksek sertliğe sahip bor karbürün matris içerisinde daha fazla yer almasıyla matriste bir kesit zayıflaması meydana gelmiş olması nedeniyledir.

Sinterleme sıcaklığının artması ile toz tanecikleri arasında kuvveti bir bağ oluşmuş, bu da eğme mukavemeti değerlerinde artışa sebep olmuştur.

5. Elmaslı kesici takımların aşınma oranları 600, 650 ve 700 °C sinterleme sıcaklıklarında sırasıyla bronz için 0.047 mm/m², 0.040 mm/m² ve 0.037 mm/m², % 2 B₄C katkısında 0.042 mm/m², 0.035 mm/m² ve 0.031 mm/m², % 5 B₄C katkısında 0.032 mm/m², 0.027 mm/m² ve 0.022 mm/m² ve son olarak % 10 B₄C katkısında 0.055 mm/m², 0.048 mm/m² ve 0.046 mm/m² olarak tespit edilmiştir. % 5 B₄C katkı oranına kadar aşınma oranları azalırken bu orandan daha fazla B₄C katkısından sonra aşınma oranlarında artış olmuştur. En düşük aşınma oranı % 5 B₄C katkısında ve 700 °C sinterleme sıcaklığında elde edilmiştir. Bu oran optimum değer olarak belirlenmiştir. Bor karbür ilavesiyle soketlerin abrasiv aşınmaya karşı direnci artmıştır. Belirli orandan sonra sinterleme parametrelerinin yetersizliğinden dolayı soketlerde fazla aşınma meydana gelmiştir. Bunun sebebinin de gevşek bir matrisin elmas taneciklerini yeterince sıkı tutamaması ve bunun sonucunda elmasların kolayca matristen kopması ve kesme işlemi esnasında doğal taş ile matrisin temas alanının fazla olması sonucu aşınmanın da yoğunlaşması olarak düşünülmektedir. Sinterleme sıcaklığının artması ile ara yüzey bağının daha da kuvvetlendiği SEM fotoğraflarından gözlenmiştir. Doğal taş talaşının elmaslı takım ile doğaltaş arasından tahliye edilmesi için gerekli olan kanallar soket matrisi üzerinde sıradağlar şeklinde meydana gelmiştir. Matrisin sertliği arttıkça yeni elmas tanelerinin çıkması zorlaşmış, kesme yapan elmaslarda düzleşme ve körelemeler meydana gelmiştir.

Çalışma sonuçlarının ışığı altında şu öneriler yapılabilir:

1. SiC, Cr₃C₂ ve TiC gibi karbürler optimum oranlarda matrise ilave edilerek elmaslı takımın çalışma performansı üzerine etkisi araştırılabilir.
2. Hem elmas tanesini hem de bor karbürü daha iyi tutma özelliğine sahip olan matrisi elde etme çalışmaları yapılabilir.
3. Bu çalışmada kullanılan matris dizaynı sabit tutularak sinterleme parametreleri daha farklı seçilebilir. Özellikle sinterleme sıcaklığı arttırılabilir. Bu şekilde gevşek haldeki matris yapısından daha kompakt bir matris yapısı sağlanmış olur.
4. Farklı doğal taşlar kesilerek bor karbür katkılı elmaslı kesici takımın hangi doğal taşın kesimi için uygun olduğu çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Akyüz, D., Hofmann, H.**, 1998, “Interface aspects in cobalt-based diamond cutting tool segments”, *In Proceedings of Powder Metallurgy World Congress & Exhibition*, Granada, Spain, October 18–22, Vol. 4, pp. 158–163.
- Atıcı, Ü.**, 1999, Mermer Kesme Makinalarındaki Kesicilerin Aşınma Mekanizmaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Anon.**, The future of diamond characterization. GE Superabrasives, 1993. Booklet GES 93–1019.
- Anon.**, Diamond characterization. GE Superabrasives, 2000. Booklet GES 1278 E.
- Anon.**, 2003, New high-performance cold press from Dr. Fritsch. *Industrial Diamond Review*, **63(4)**, 25.
- Angers, R., Beauvy, M.**, 1984, Hot-pressing of boron carbide, *Ceramics International*, **10**, 49-55.
- Asche, J.**, 2000, Tiefschleifen von Granit, Dr. Dissertation, Dem Fachbereich für Maschinenbau der Universität Hannover, Hannover.
- Atıcı, Ü.**, 2005, Kaya kesilebilirliğini etkileyen faktörler, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Baert, M.**, 1995, Coating of diamonds and granulation of metal powders. *In Proceedings of Seminar on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland, November 2–3, pp. 24–40.
- Bailey, M., W-Hedges, L.K.**, 1995. Crystal Morphgy Identification of Diamond and ABN, *Industrial Diamond Review*, **55**, 11.
- Barbosa, A.P., Bobrovnitchii, G.S., Skury, A.L.D., Guimarães, R.S., Filgueira, M.**, 2010, Structure, microstructure and mechanical properties of PM Fe–Cu–Co alloys, *Materials and Design*, **31**, 522–526.
- Batchelor, A.W., Stachowiak, G.W.**, 2000, “Engineering Tribology”, Second Edition, Boston Oxford Auckland Sohannesburg Melbourne, New Delhi, 571-592.
- Betteridge, W.**, 1982, Cobalt and its Alloys. Ellis Horwood, Chichester.
- Bolatashvili, N.**, 2008, Stone-cut diamond tool on a new binder, *Bulletin of the Georgian National Acedemy of Sciences*, **2(4)**, 54-57.

- Bonneau, M.**, 1995, Tensile rupture on sintered cobalt specimens. In *Proceedings of Seminary on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland, November 2–3, pp. 41–47.
- Bonneau, M., Moltenni, M.**, 2002, Wire manufacturing and free sintering with NEXT. *Industrial Diamond Review*, **62(4)**, 263–265.
- Bose, A., Eisen, W.B.**, 2003, Hot Consolidation of Powders and Particulates. MPIF, Princeton, NJ, 2003.
- Bouchacourt, M., Brodhag, C., Thevenot, F.**, 1982, The hot pressing of boron and boron rich compounds: B60, B_{10.5}C-B₄C, *Sci. Ceramic*, **11**, 231.
- Brodhag, C., Thevenot, F.**, 1986, Hot pressing of various boron phases, Journal of the Less Common Metals 117, *Proceedings of the 8th international symposium on boron, borides, carbides, nitrides and related compounds*, 175-180.
- Buekenhout, L., Berghezan, A.**, 1981, A new approach to the problem of room temperature ductility of polycrystalline cobalt. In *Proceedings of 10th Plansee Seminary*, Reutte, Austria, 1–5 June, Vol. 2, pp. 899–916.
- Burckhardt, S.**, 1997, New technique for granulating diamond and metal powders. *Industrial Diamond Review*, **57(4)**, 121–122.
- Büyüksağış, İ.S.**, 1998, Dairesel testere blok kesme makinelerinde mermerlerin kesilebilirlik analizleri, *Doktora Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Büyüksağış, İ.S., Gürcan, S.**, 2005, ASTM ve TSE doğal taş standartlarının karşılaştırılması, *Madencilik*, **44 (1)**, 33-41.
- Cai, O.**, 1996, Encapsulated diamond: remarks and technical notes, *Diamante Applicazioni & Tecnologia*, **2(8)**, 62–72.
- Champagne, B., Angers, R.**, 1979, Mechanical properties of hot-pressed B-B₄C materials, *Journal of the American Ceramic Society*, **62**, 149-159.
- Collin, W.D.**, 1977, The influence of slot geometry and segment spacing on diamond saw performance, *Industrial Diamond Review*, **37(1)**, 48–54.
- Conway, J.J., Rizzo, F.J.**, 2004, Hot isostatic pressing of metal powders, Powder Metal Technologies and Applications, ASM Handbook, Vol. 7, 1424.
- Çelik, E.**, 2009, Elmaslı Kesici Takımlarda Alternatif Bağlayıcılar, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Davis, P.R., Fish, M.L., Peacock, S., Wright, D.N.**, 1996, An indicator system for saw grit, *Industrial Diamond Review*, **56(3)**, 78–87.

- de Châlus, P.A., 1994, Metal powders for optimum grain retention, *Industrial Diamond Review*, **54(4)**, 170–172.
- Dewidar, D., Abdel-Jaber, G.T., Bakrey, M., Badry, H., 2010, Effect of Processing Parameters and amount of additives on the Mechanical Properties and Wear Resistance of Copper-based Composite, *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, **10-3**, 25-40.
- Dietel, K., 2002, Segmented cut-offblades with polygon technology, *Industrial Diamond Review*, **62(3)**, 173–176.
- Dinç, B., 1995, Mermer Makinalarında Elmas Soketlerin ve Silim Cila Abrasivlerinin Mermer Türlerine Göre Aşınmalarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Dwan, J.D., 2003, Impact properties of diamond impregnated metal matrices, Diamond Technology, *Industrial Diamond Reivew*, **2/03**, 50-56.
- Dwan, J.D., 2007, Fracture toughness determination of diamond impregnated PM cobalt, *Industrial Diamond Review*, **1**, 33-36.
- Dwan, J.D., Blake, Y., 2008, Wear properties of diamond impregnated cobalt metal, Diamond Technology, *Industrial Diamond Reivew*, **3/08**, 66-69.
- Efe, Ç.G., Altınsoy, İ., İpek, M., Zeytin, S., Bindal, C., 2011, Some properties of Cu-SiC composites produced by powder metallurgy method, *Kovove Metallic Materials*, **49(2)**, 131-136.
- Ersoy, A., Atıcı, Ü., 1999, Mermer kesicilerin aşınma mekanizmaları, *Türkiye 16. Madencilik Kongresi*.
- Ersoy, A., Atıcı, Ü., 2004, Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and Related Materials*, **13**, 22-37.
- Eyüboğlu, A. S., 2000, Diskli Kesici Soketlerindeki Aşınmaların Ankara Andezitlerinde İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Garrard, R., Peacock, S.R., Hori, M., Pearce, N.R., 2001, The future role of diamond in the construction industry, *Industrial Diamond Review*, **61(2)**, 121–129.
- German, R.M., 1996, Sintering Theory and Practice. Wiley, New York.
- German, R.M., 2005, Powder metallurgy and particulate materials processing, *Metal Powder Industries Federation*, USA.
- Hedges, L.K., 1995, Crystal Morphology Identification of Diamond and ABN, *Industrial Diamond Review*, **55**, 11-14.

- Huelmann, E., Kohl, H.W.**, 1991, Optimum quality control of sawblade centres, *Industrial Diamond Review*, **51(6)**, 278–279.
- Ikeda, R., Ogi, H., Ogawa, T., Takemoto, M.**, 2009, Mechanical properties of CVD synthesised polycrystalline diamond, *Industrial Diamond Quarterly*, **109**, 35-38.
- ISRM**, 1981, Rock Characterization Testing and Monitoring; Suggested Methods, sayı: 6, Oxford.
- Jennings, M., Wright, D.**, 1989, Guidelines for sawing Stone, *Industrial Diamond Review*, **49(2)**, 70–75.
- Jiang, B.C., Chen, T.C.**, 2001, Machine vision inspection for the protrusion rate of a diamond tool, *Journal of Manufacturing Systems*, **20(5)**, pp. 357-362.
- Kang, P.C., Cao, Z.W., Wu, G.H., Zhang, J.H., Wei, D.J., Lin, L.T.**, 2010, Phase identification of Al–B₄C ceramic composites synthesized by reaction hot-press sintering, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, **28(2)**, 297-300.
- Kang, S.J.L.**, 2005, Sintering, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Karagöz, Ş., Zeren, M.**, 2001, Mermer kesiminde kullanılan elmas kesici takımların aşınma karakteristiği, Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon, 452-461.
- Karagöz, Ş., Zeren, M.**, 2001, The microstructural design of diamond cutting tools, *Materials Characterization*, **47**, 89-91.
- Kim, H.S.**, 2000, On the rule of mixtures for the hardness of particle reinforced composites, *Materials Science and Engineering A*, **289**, 30-33.
- Konstanty, J., Bunsch, A.**, 1991, Hot pressing of cobalt powders, *Powder Metallurgy*, **34(3)**, 195- 198.
- Konstanty, J.**, 1991, The materials science of stone sawing, *Industrial Diamond Review*, **1**, 27-31.
- Konstanty, J.**, 1997, Cobalt and diamond tooling, *In Proceedings of the Cobalt Conference*, Hong Kong, No. 5, pp. 1–10.
- Konstanty, J.**, 1999, Developing a better understanding of the bonding and wear mechanisms involved in using diamond impregnated tools, *In Proceedings of International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, November 8–10, pp. 97–106.
- Konstanty, J.**, 2000, Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of Stone, *Industrial Diamond Review*, **60(1)**, 55–65.

- Konstanty, J.**, 2003, Production of Diamond Sawblades for Stone Sawing Applications, *Key Engineering Materials*, **250**, 1-12.
- Konstanty, J.**, 2003, Cobalt as a Matrix in Diamond Impregnated Tools for Stone Sawing Applications, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2nd Edition, Krakow.
- Konstanty, J., Ratuszek, W., Jamrozek, J., Olszewska, I.**, 2004, Properties of hot pressed near-stoichiometric FeCo alloys, *International Journal of Powder Metallurgy*, **40(1)**, 41–51.
- Konstanty, J.**, 2005, Powder Metallurgy Diamond Tools, Elsevier Ltd, The Metal Powders Technology Series.
- Kumar, G.B.V., Rao, C.S.P., Selvaraj, N.**, 2011, Mechanical and tribological behavior of particulate reinforced aluminum metal matrix composites—a review, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, **10**, 59-91.
- Lazzari, R., Vast, N., Besson, J. M., Baroni, S., Dal Corso, A.**, 2000, Atomic Structure and Vibrational Properties of Icosahedral B₄C Boron Carbide, *Phys. Rev. Lett.*, **85**, 4194.
- Lee, D.W., Ha, G.H., Kim, B.K.**, 2001, Synthesis of Cu-Al₂O₃ nano composite powder, *Scripta Materialia*, **44(8-9)**, 2137-2140.
- Levin, E., Gutmanas, E.Y.**, 1990, Solid-state bonding of diamond to Nichrome and Co-20wt.% W alloys, *Journal of Materials Science Letters*, **9(6)**, 726–730
- Liao, Y.S., Luo, S.Y.**, 1992, Wear characteristics of sintered diamond composite during circular sawing, *Wear*, **157**, 325–337.
- Liao, Y.S., Luo, S.Y.**, 1993, Effects of matrix characteristics on diamond composites. *Journal of Materials Science*, **28**, 1245–1251.
- Lima, W.M., Velasco, F.J., Abenojar, J., Torralba, J.M.**, 2003, Numerical approach for estimating the elastic modulus in MMCs as a function of sintering temperature, *Journal of Materials Processing Technology*, **143-144**, 698-702.
- Lundblad, H.**, 1990, Swedish synthetic diamond scooped the world 37 years old, *Indiqua*, **55/1**, 17-23.
- Luo, S.Y.**, 1997, Investigation of the worn surfaces of diamond saw blades in sawing granite, *Journal of Materials Processing Technology*, **70**, 1-8.
- Massalski, T.B.**, 1990, Binary Alloy Phase Diagrams, Vol. 2, ASM International, pp. 1232–1233, 1408–1410.

- Min, K.H., Lee, B.H., Chang, S.Y., Kim, Y.D.,** 2007, Mechanical properties of sintered 7xxx series Al/SiCp composites, *Materials Letters*, **61**, 2544-2546.
- Musu-Coman, M., Fecioru, M., Baluta, G., Arnici, N.,** 1998, Surface processing of ultrahard materials used for embedding in resin or metallic matrices, *In Proceedings of Powder Metallurgy World Congress & Exhibition*, Granada, Spain, October 18–22, Vol. 4, pp. 234–239.
- Naidich, Y.,** 2001, Diamond grit bits of increasing working life with strong chemical fastening of cutting elements in matrix, *In Proceedings of PM 2001 Congress and Exhibition*, Nice, France, October 22–24, pp. 434–438.
- Nitkiewicz, Z., Swierzy, M.,** 2005, 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, 467-470.
- Oliveira, L.J., Bobrovnitchii, G.S., Filgueira, M.,** 2007, Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, **25**, 328-335.
- Özçelik, Y.,** 1999, Mermercilikte Elmas Tel Kesme Makinalarının Çalışma Koşullarının İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pierson, H.O.,** 1996, Handbook of refractory carbides and nitrides: Properties, characteristics, processing and applications, Noyes Publications, Westwood, New Jersey, U.S.A.
- Rahimian, M., Ehsani, N., Parvin, N., Baharvandi, H.R.,** 2009, The effect of particle size, sintering temperature and sintering time on the properties of Al-Al₂O₃ composites, made by powder metallurgy, *Journal of Materials Processing Technology*, **209**, 5387-5393.
- Reinhardt, K.D.,** 2003, New shape of diamond segment for machining natural and artificial Stone, *Industrial Diamond Review*, **63(2)**, 16–18.
- Robino, C.V.,** 1996, Representation of mixed reactive gases on free energy (Ellingham-Richardson) diagrams, *Metallurgical and Materials Transactions B*, **27B**, 65–69.
- Samuel, A.M., Gotmare, A., Samuel, F.H.,** 1995, Effect of solidification rate and metal feedability on porosity and SiC/Al₂O₃ particle distribution in an Al–Si–Mg (359) alloy, *Composites Science and Technology*, **53**, 301–315.
- Saunders, N., Miodownik, A.P.,** 1990, Bull. Alloy Phase Diagrams, vol. 11, pp. 278-87.
- SCM Metal Products,** 1984, Nickel base diamond bonding powders, *Technical Data*, Bulletin No. 95638.

- Sheppard, N., Dolly, B.,** 1993, Hybrid bit success for SYNDAX3 pins, *Industrial Diamond Review*, **53(6)**, 309–311.
- Spriano, S., Chen, Q., Settineri, S., Bugliosi, S.,** 2005, Low content and free cobalt matrixes for diamond tools, *Wear*, **259**, 1190-1196.
- Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W.,** 1993, Engineering Tribology. Tribology series 24, Elsevier Amsterdam–London–New York–Tokyo.
- MPIF-42 Standard,** 1996, Standard test methods for metal powders and powder metallurgy products, *Metal Powder Industries Federation*, Princeton, NJ.
- Sundararajan, G.,** 1995, The solid particle erosion of metallic materials: The rationalization of the influence of material variables, *Wear*, **186-187**, 129-144.
- Tabur, M.,** 2008, Bor karbür kaplanmış AISI 8620 ve Hardox 400 çeliklerinin abrasiv aşınma dirençlerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Thevenot, F.,** 1988, Sintering of boron carbide and boron carbide-silicon carbide two-phase materials and their properties, *Journal of Nuclear Materials*, **152**, 154-162.
- Thevenot, F.,** 1989, Formation of carbon-boron bonds: inorganic reactions and methods, VCH Publishers New York, 2-11.
- Tillmann, W.,** 1999, Trends and market perspectives for diamond tools in the construction industry, *Proc. European Conference on Advances in Hard Materials Production*, Turin, Italy, Nov. 8-10, 3-14.
- Tonshoff, H.K., Wobker, H.G., Przywara, R.,** 1993, Das Arbeitsverhalten Von Werkzeugen Zum Trennschleifen Von Gestein, *Industrie Diamanten Rundschau*, 198 – 205.
- Tonshoff, H.K., Wobker, H.-G., Cassel, C.,** 1994, Wear Characteristics of Cermet Cutting Tools, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, **43**, 89-92.
- Tonshoff, A.K., Asche, J.,** 1997, Wear of metal-bond diamond tools in the machining of Stone, *Industrial Diamond Review*, **57(1)**, 7–13.
- TSE, TS 699,** 1987, Tabii Yapı Taşları- Muayene ve Deney Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Van Doorslaer, T.,** 1999, Coating of abrasive grains and the granulation of metal powders. *In Proceedings of International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, November 8–10, pp. 83–88.

- Weber, G.**, 1991, Laser welding of diamond tools, *Industrial Diamond Review*, **51(3)**, 126–128.
- Weber, K.**, 1995, Modern diamond segment production on cold presses and hot presses, *In Proceedings of Seminar on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland, November 2–3, 48–50.
- Weber, G.**, 2004, New software for automatic tensioning of sawblades, *Industrial Diamond Review*, **64 (2)**, 55–56.
- Weitang, L.**, 1992, Diamond bit manufacturing technology. In *Diamond Drilling Handbook*, edited by Guangzhi, L., Geological Publishing House, Beijing, China, pp. 272–328.
- Wöll, E.**, 1984, Cutting asphalt with diamonds. Diamonds in Industry–Roads and Runways, De Beers Industrial Diamond Division, London, pp. 44–51.
- Wright, D.N., Wapler, H.**, 1982, The truing and dressing of diamond sawblades, *Chemistry and Materials Sciences*, **2(2)**, 126–155.
- Wright, D.N., Wapler, H.**, 1986, Investigations and prediction of diamond wear when sawing. *Annals of the CIRP*, **35**, 239–244.
- Wright, D.N., Wilson, S.M., Brown, W.F., Ovens, U.**, 1990, Segment wear on diamond impregnated mining bits, *Industrial Diamond Review*, **50**, 248–252.
- Xu, X.**, 2001, Study on the thermal wear of diamond segmented tools in circular sawing of granites, *Tribology Letters*, **10(4)**, 245–250.
- Xu, X., Yu, Y.**, 2005, Sawing performance of diamond with alloy coatings, *Surface and Coatings Technology*, **198**, 459–463.
- Xu, X., Tie, X., Wu, H.**, 2007, The effects of a Ti coating on the performance of metal-bonded diamond composites containing rare earth, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, **25**, 244–249.
- Zak-Szwed, M., Konstantly, J., Ratuszek, W.**, 2008, Properties of Fe-Cu matrices for diamond impregnated tools, Diamond Technology, *Industrial Diamond Reivew*, **2/08**, 29–34.
- Zeren, M.**, 1999, Elmaslı kesici takımlarda mikroyapısal karakterizasyon üzerinden özelliklerin optimizasyonu, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Zhao, J.-C.**, 1999, The fcc/hcp phase equilibria and phase transformation in cobalt-based binary systems, *Zeitschrift für Metallkunde*, **90(3)**, 223–232.
- URL-1, http://www.dynacer.com/boron_carbide.htm, 12 Şubat 2011.

ÖZGEÇMİŞ

01.04.1980 tarihinde Zonguldak'ta doğan Serkan ISLAK; ilk, orta ve lise öğrenimini Zonguldak'ta tamamladı. 1998 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı ve 2002 yılında aynı bölümden Fakülte birincisi ve Üniversite ikincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı Malzeme Bilimi Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve 2005 yılında bitirdi. 2005 – 2006 yılları arasında kısa dönem askerlik vazifesini tamamladı. 2006 - 2009 yılında Üçtem Plas Pls. Tem. Gıda Mad. San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasında Teknik Müdür olarak görev yaptı. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı Mekanik Metalurji Programı'nda doktora öğrenimine başladı. 2009 yılında Kastamonu Üniversitesi'nde Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı üniversitede görev yapan Serkan ISLAK evli ve bir çocuk babası olup yeterli derecede ingilizce bilmektedir.