

**DOĞAL TAŞ KESİCİ TAKIMLARDA KÜBİK BOR NİTRÜRÜN  
(cBN) ALTERNATİF AŞINDIRICI OLARAK  
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

**Durmuş KIR**

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

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

**DOĞAL TAŞ KESİCİ TAKIMLARDA KÜBİK BOR NİTRÜRÜN  
(cBN) ALTERNATİF AŞINDIRICI OLARAK  
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Durmuş KIR  
(08122202)**

**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**

**DOĞAL TAŞ KESİCİ TAKIMLARDA KÜBİK BOR NİTRÜRÜN  
(cBN) ALTERNATİF AŞINDIRICI OLARAK  
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Durmuş KIR**

**(08122202)**

**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. Cengiz ÖNER (F.Ü)**

**Doç. Dr. Mehmet KAPLAN (F.Ü)**

**OCAK-2012**

## ÖNSÖZ

Ülkemizde madencilik alanında önemli bir yere sahip olan doğal taş sektöründe kaynakların verimli bir biçimde kullanılması, doğal kaynakların ziyan olmadan ekonomiye kazandırılması ülke ekonomisi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple, doğal taşların işlenmesi sırasında uygun makineler ile kesici soket seçimi, üzerinde durulması gereken önemli bir konudur.

Bu çalışmada, doğal taş sektöründe yoğun biçimde kullanılan elmaslı kesici takımlara kesme performansı ve maliyet açısından bir alternatif olarak; içerisine cBN katılan soketlerin bazı özellikleri teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar, sektörde uzun yıllar kesici soket üretimi yapan ve İstanbul'da faaliyet gösteren şirketlerde yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda öncelikli olarak piyasada mevcut elmaslı kesici takımlar esas alınarak ve daha sonra bunların içerisine önceden belirlenen oranlarda cBN katılan yeni kesici soketler üretilerek; her iki kesici soketin kesme performansları Ankara andezit türü doğal taş üzerinde deneysel olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışmasının hazırlanması sırasında, 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. Kesici soketlerin üretilmesi aşamasında başta atölye imkanları olmak üzere elmaslı kesicilere ait uygulamaya dair her türlü bilgi ve birikimlerini esirgemeyen Neteks Ltd.Şti. ile Karat Ltd. Şti.nin tüm yönetici ve çalışanlarına çok teşekkür ederim. Bu güne kadar mevcut çalışmalarımın yanısıra akademik çalışmalarına da büyük bir özveri ile katkı sağlayan değerli eşime, oğluma ve kızıma şükranlarımı sunarım.

Özellikle bu tezin meydana gelmesinde maddi imkan sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Birimi ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Durmuş KIR  
ELAZIĞ-2012

## İÇİNDEKİLER

|                                                       | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------|--------------|
| ÖNSÖZ.....                                            | I            |
| İÇİNDEKİLER.....                                      | II           |
| ÖZET.....                                             | VI           |
| SUMMARY.....                                          | VII          |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                                 | VIII         |
| TABLolar LİSTESİ.....                                 | XII          |
| SEMBOLLER (KISALTMALAR) LİSTESİ.....                  | XIII         |
| 1. GİRİŞ.....                                         | 1            |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....                         | 3            |
| 2.1 Doğal Taşlar.....                                 | 3            |
| 2.2 Sentetik Elmas ve Kübik Bor Nitrür.....           | 3            |
| 2.3 Kesici Disk ve Soketler.....                      | 7            |
| 2.3.1 Kesici Diskler.....                             | 7            |
| 2.3.2 Soketler.....                                   | 8            |
| 2.4. Soketlerde Aşınma Durumu.....                    | 10           |
| 2.5. Kesici Disk ve Soketlerin Soğutulması.....       | 15           |
| 2.6 Kesici Disklerde Kesme Mekanizması.....           | 17           |
| 2.6.1 Kesici Diske Etki Eden Kuvvetler.....           | 17           |
| 2.6.2 Kesici Diskin Spesifik Enerjisi.....            | 23           |
| 2.7 Elmas Taneciklerin Kaplanması.....                | 24           |
| 2.8 Hurda Soketlerde Geri Dönüşüm.....                | 25           |
| 3. DOĞAL TAŞ ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MAKİNELER ..... | 26           |
| 3.1. Dairesel Testereli Blok Kesme Makinesi.....      | 26           |
| 3.2. Baş Kesme Makinesi.....                          | 27           |
| 3.3. Yan Kesme Makinesi.....                          | 28           |
| 3.4. Katrak Makinesi.....                             | 28           |
| 3.5. Köprü Kesme Makinesi.....                        | 29           |
| 3.6. Düşey ve Yatay Yarma Makineleri.....             | 30           |
| 3.7. Monolama Makinesi.....                           | 31           |
| 3.8. Elmas Boncuklu Tel ile Kesme Makinesi.....       | 32           |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. ELMASLI KESİCİ TAKIMLARIN DİZAYNI VE BİLEŞİMİ.....</b> | <b>33</b> |
| 4.1. Kesici Takım Dizaynının Performans Üzerine Etkisi.....  | 33        |
| 4.2. Metal Matris Tozları.....                               | 35        |
| 4.2.1.Kobalt Tozu.....                                       | 37        |
| 4.2.2.Kobalta Alternatif Tozlar.....                         | 38        |
| 4.3. Sentetik Elmas.....                                     | 41        |
| 4.3.1.Elmas Tipi.....                                        | 43        |
| 4.3.2.Elmas Tane Boyutu.....                                 | 44        |
| 4.3.3.Elmas Yoğunluğu.....                                   | 44        |
| 4.3.4.Elmas Tanelerinin Kaplanması.....                      | 45        |
| <b>5. ELMASLI KESİCİ TAKIMLARIN ÜRETİMİ.....</b>             | <b>47</b> |
| 5.1. Matris Toz Karışımının Hazırlanması.....                | 47        |
| 5.2. Granül Haline Getirme (Tanecik haline getirme).....     | 48        |
| 5.3. Matris-Elmas Karışımının Hazırlanması.....              | 48        |
| 5.4. Soğuk Presleme.....                                     | 49        |
| 5.5. Sıcak Presleme.....                                     | 49        |
| 5.6. Sinterleme.....                                         | 52        |
| 5.7. Sıcak İzostatik Presleme (HIP).....                     | 52        |
| 5.8. İnfiltrasyon (Emdirme).....                             | 52        |
| 5.9. Çapakların Temizlenmesi.....                            | 53        |
| 5.10. Kalite Kontrol.....                                    | 53        |
| 5.11. Lehimleme ve Lazer Kaynağı.....                        | 54        |
| 5.12. Testerelerin Taşlanması.....                           | 55        |
| 5.13. Balans Alma.....                                       | 56        |
| <b>6. MATRİSİN MİKROYAPISI.....</b>                          | <b>57</b> |
| 6.1. Yüksek Yoğunluk Elde Etmek İçin Yapılan İşlemler.....   | 57        |
| 6.2. Tane Boyutu.....                                        | 59        |
| 6.3. Toparlanma ve Yeniden Kristalleşme.....                 | 60        |
| 6.4. Faz Bileşimi.....                                       | 61        |
| <b>7. MATRİSİN ÖZELLİKLERİ.....</b>                          | <b>63</b> |
| 7.1. Mekanik Özellikler.....                                 | 63        |
| 7.1.1.Sertlik.....                                           | 63        |

|                                                     | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-----------------------------------------------------|---------------------|
| 7.1.2.Akma Dayanımı.....                            | 64                  |
| 7.1.3.Eğme Dayanımı.....                            | 65                  |
| 7.1.4.Darbe Dayanımı.....                           | 65                  |
| 7.2. Aşınma Özellikleri.....                        | 66                  |
| 7.2.1.Abrasiv Aşınma Direnci.....                   | 67                  |
| 7.2.2.Elmasın Aşınmaya Etkisi.....                  | 69                  |
| <b>8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>                  | <b>71</b>           |
| 8.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....          | 71                  |
| 8.2. Toz Karışımının Hazırlanması.....              | 73                  |
| 8.3. Tozların Preslenmesi ve Sinterleme İşlemi..... | 74                  |
| 8.4. Yoğunluk Ölçümü.....                           | 76                  |
| 8.5. Sertlik Ölçümü.....                            | 77                  |
| 8.6. Üç Noktalı Eğme Testi.....                     | 77                  |
| 8.7. Soketlerin Çelik Gövdeye Kaynatılması.....     | 78                  |
| 8.8. Taşlama ve Balans Alma İşlemleri.....          | 79                  |
| 8.9. Doğal Taş Kesme İşlemleri ve Aşınma Testi..... | 81                  |
| 8.10. Mikroyapı İncelemeleri.....                   | 83                  |
| <b>9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>          | <b>85</b>           |
| 9.1. Sertlik Ölçme Deneyi Sonuçları.....            | 85                  |
| 9.2. Üç Noktalı Eğme Deneyi Sonuçları.....          | 86                  |
| 9.3. Yoğunluk Ölçme Deneyi Sonuçları.....           | 86                  |
| 9.4. Soket Aşınmasının Ölçülmesi.....               | 88                  |
| 9.5. Mikroyapı Analizi Sonuçları.....               | 89                  |
| 9.5.1. SEM ve EDS Analizi.....                      | 89                  |
| 9.5.1.1 % 100 Elmaslı Soket Numunesi.....           | 89                  |
| 9.5.1.2 %20 cBN’li Soket Numunesi.....              | 92                  |
| 9.5.1.3 % 40 cBN’li Soket Numunesi.....             | 95                  |
| 9.5.1.4 % 60 cBN’li Soket Numunesi.....             | 97                  |
| 9.5.1.5 % 80 cBN’li Soket Numunesi.....             | 100                 |
| 9.5.1.6 % 100 cBN’li Soket Numunesi.....            | 103                 |
| 9.5.2 XRD Analizi.....                              | 105                 |
| <b>10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                | <b>107</b>          |

|                       | <u>Sayfa</u> |
|-----------------------|--------------|
| <b>KAYNAKLAR.....</b> | <b>109</b>   |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  | <b>119</b>   |



## ÖZET

Bu çalışmada, doğal taş kesme işleminde kullanılmak üzere içerisine elmas ve/veya cBN ilave edilen soketler, toz metalurjisi yöntemiyle sıcak preste üretildi. Matris olarak seçilen 85-15 CuSn bronz tozu içerisine 30/40 ve 40/50 US mesh tane boyutuna sahip elmas ve cBN tanecikleri, önceden belirlenen oranlarda (30 konsantrasyon) ilave edildi. Araştırma kapsamında kullanılan tüm soketlerin üretimi, 35 MPa basınç altında 600, 650 ve 700 °C sinterleme sıcaklığında, 3 dakika süre ile sinterlendi. Üretilen her bir soket türü, 300 mm. çapındaki çelik testere gövdelerine ayrı, ayrı lehim kaynağı ile kaynatılarak kesme performansları ölçüldü.

Kesme işleminde 30x150x1500 mm boyutunda Ankara-Andezit taşı kullanıldı. Kesme işlemi sonrası soketlerdeki aşınma miktarı, 500 mm. lik 0.01 mm hassasiyetli digital kumpas ile ölçüldü. Her bir soket türünün mikro yapısı ve kimyasal bileşimi, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışın difraktogramı (XRD) ve X ışını enerji dağılım spektrometresinden (EDS) faydalanılarak incelendi.

Yapılan deneyler sonucunda, üretilen elmaslı kesici takımların eğilme mukavemetinin cBN katkılı kesici takımlara göre yaklaşık % 30 daha düşük olduğu ve kesme performansının ise iki buçuk kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Her iki kesici takımın aşınma yüzeyinden alınan SEM fotoğraflarından kesici takımın etkili kesme yaptığını gösteren mikro-sabanlama ve matris kuyruğunun oluştuğu görülmüştür. Ayrıca aşınma yüzey fotoğraflarından cBN taneciklerinin kesme sırasında elmas taneciklerine göre daha fazla aşındığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elmaslı soket, kübik bor nitrür (cBN), sıcak pres, toz metalurjisi, sinterleme

## SUMMARY

### **Investigation of Use of Cubic Boron Nitride (cBN) as Alternative Abrasive in Natural Stone Cutting Tools**

In this study, all the sockets containing of cBN and/or diamond, in which designed for natural stone cutting were produced in hot-press by powder metallurgy method. 85-15 CuSn bronze powder was choosen as a matrix material into which 30/40 and 40/50 US mesh grain size of diamond and/or cBN grains was added with a concentration of 30 %. The production of sockets used in this investigation was carried out under 35 MPa pressure at 600, 650, 700 °C sintering temperature for 3 minutes. The cutting performance of each socket welded around a circular cutting disc with a diameter 300 mm was measured.

In this natural stone cutting process, Ankara-Andezit stone with a dimension of 30x150x1500 mm was used. The wear values of the sockets after the cutting process were measured with a digital calliper with a precision of 0.01 mm. Each socket was inspected for its chemical composition and microstructure properties by using a scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction spectrometer (XRD) and Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS).

The results of the experimental studies show that the bending strength of diamond cutting tools is less than cBN cutting tools about 30% and cutting performance of diamond cutting tools were found two and a half times higher than cBN cutting tools. The SEM photographs show that the micro-plowing and matrix tail are formed on wear surface. Besides, it is obtained that the cBN grains were worn more than diamond grains.

**Keywords:** Diamond segment, cubic boron nitride (cBN), hot press, powder metallurgy, sintering

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                    | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 2.1. Doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması.....                    | 4            |
| Şekil 2.2. Sentetik elmas ve cBN'in kristal yapısı.....                            | 5            |
| Şekil 2.3. Kesici disk çeşitleri.....                                              | 8            |
| Şekil 2.4. Geleneksel ve yandan yivli soket tipleri.....                           | 10           |
| Şekil 2.5. Matris içerisinde elmas tanelerinin ideal kesme yükseklikleri.....      | 12           |
| Şekil 2.6. Soket sertliğine göre ideal kesme yüksekliği.....                       | 13           |
| Şekil 2.7. Bir elmas taneciğinin kesme mekanizması.....                            | 14           |
| Şekil 2.8. Dairesel testerelede kesme sırasında su kullanımı.....                  | 15           |
| Şekil 2.9. Hava soğutma kanallı dairesele testere ile kuru kesme.....              | 16           |
| Şekil 2.10. Aşağı yönlü kesme işleminde kesici diskte meydana gelen kuvvetler..... | 19           |
| Şekil 2.11 Yukarı yönlü kesme işleminde kesici diskte meydana gelen kuvvetler..... | 20           |
| Şekil 2.12. Bir elmas taneciği üzerine etki eden kuvvetler.....                    | 21           |
| Şekil 2.13. Kesme sırasında birim ilerlemeye karşılık gelen talaş kalınlığı.....   | 22           |
| Şekil 2.14. Kesme işlemi sırasında kesici diskteki gerilme dağılımı.....           | 23           |
| Şekil 3.1. Dairesel testerelele blok kesme makinesi.....                           | 26           |
| Şekil 3.2. Blok kesme makinesi ile doğal taş bloğunun kesilmesi.....               | 27           |
| Şekil 3.3. Baş kesme makinesi.....                                                 | 27           |
| Şekil 3.4. Yan kesme makinesi.....                                                 | 28           |
| Şekil 3.5. Katrak makinesi.....                                                    | 29           |
| Şekil 3.6. Köprü kesme makinesi.....                                               | 30           |
| Şekil 3.7. Köprü kesme makinesinin hareketleri.....                                | 30           |
| Şekil 3.8. Yatay yarma makinesi.....                                               | 31           |
| Şekil 3.9. Düşey yarma makinesi.....                                               | 31           |
| Şekil 3.10. Monolama makinesi.....                                                 | 32           |
| Şekil 3.11. Elmas tel ile kesme makinesi.....                                      | 32           |
| Şekil 4.1. Endüstride sıkça kullanılan kesici testere ve soket türleri.....        | 33           |
| Şekil 4.2. Endüstride sıkça kullanılan kesici soket tipleri.....                   | 34           |
| Şekil 4.3. Soketlerin aşınma profilleri.....                                       | 34           |
| Şekil 4.4. İnce taneli kobalt tozları.....                                         | 38           |
| Şekil 4.5. Karbonil demir tozu(Fe CN).....                                         | 39           |
| Şekil 4.6. Tozların morfolojisi.....                                               | 40           |

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.7. İnce taneli WC ve Ni-esaslı alaşım tozlarının SEM görüntüleri.....                              | 41 |
| Şekil 4.8. Doğal elmas aşındırıcılar.....                                                                  | 42 |
| Şekil 4.9. Co ve Ni esaslı elmas taneciği.....                                                             | 42 |
| Şekil 4.10.Sentetik elmas taneciklerinin şematik ve matematiksel gösterimi.....                            | 43 |
| Şekil 4.11. Kaplanmış elmas taneleri.....                                                                  | 46 |
| Şekil 4.12.Elmasın matriste oluşturduğu deformasyonun sürtünmeye etkisi.....                               | 46 |
| Şekil 5.1. Toz metalurjisi yöntemi ile elmaslı takımların üretim akış diyagramı.....                       | 47 |
| Şekil 5.2. Granülleştirme işlemi görmüş matris tozu.....                                                   | 48 |
| Şekil 5.3. Kaplanmış elmasların elmas çıkıntı yüksekliğine etkisi.....                                     | 49 |
| Şekil 5.4. Soğuk preslenmiş soket ile toz karışımının grafit kalıba konulması.....                         | 49 |
| Şekil 5.5. Sıcak presleme işleminin şematik görünümü.....                                                  | 50 |
| Şekil 5.6. Açık havada çalışan sıcak pres.....                                                             | 50 |
| Şekil 5.7. Koruyucu gaz atmosferli sıcak pres.....                                                         | 50 |
| Şekil 5.8. Sıcak presleme prosesinde ısıtma teknikleri.....                                                | 51 |
| Şekil 5.9. Matkap uçlarının üretiminde kullanılan kalıp montajlarının resmi.....                           | 53 |
| Şekil 5.10. Lazer kaynak makinesi.....                                                                     | 54 |
| Şekil 5.11. Gerilim ölçme ve balans alma makinesi.....                                                     | 56 |
| Şekil 6.1. Kobalt tozlarının farklı ortamlardaki sinterleme eğrileri .....                                 | 57 |
| Şekil 6.2. Farklı tip tozların sıcak presleme ve sinterleme sıcaklığına göre yoğunluk<br>değişimleri.....  | 58 |
| Şekil 6.3. Hidrojen ortamında bir saat süre ile sinterlenmiş soketlerden çıkarılmış elmas<br>taneleri..... | 59 |
| Şekil 6.4. Sinterleme sonrası matriste oluşan mikro çatlaklar.....                                         | 59 |
| Şekil 6.5. Sıcak presleme ile üretilmiş kalay bronzunun mikro yapısı.....                                  | 61 |
| Şekil 7.1. Üretim sıcaklığına göre sertlik değişimi.....                                                   | 63 |
| Şekil 7.2. Bazı kobalt tozlarının gerilim-uzama eğrisi.....                                                | 64 |
| Şekil 7.3. Sıcak preslenmiş kobaltın darbe dayanımı üzerine kükürt ve oksijen içeriğinin<br>etkisi.....    | 66 |
| Şekil 7.4. Abrasiv aşınma mekanizmaları.....                                                               | 67 |
| Şekil 7.5. Aşınmış soketin mikroyapısı ve aşınma izleri.....                                               | 68 |
| Şekil 7.6. Matristen kopmuş elmas tanesi çevresindeki aşınma bölgesi.....                                  | 69 |
| Şekil 8.1. Soket üretiminde kullanılan tozların SEM fotoğrafları.....                                      | 73 |
| Şekil 8.2. Matris tozu karıştırma mikseri.....                                                             | 73 |

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 8.3. Soğuk kalıplama presi.....                                                                                              | 74 |
| Şekil 8.4. Soketlerin grafit kalıplara yerleştirilmesi.....                                                                        | 75 |
| Şekil 8.5. Sıcak pres makinesi ve soketlerin basılması.....                                                                        | 75 |
| Şekil 8.6. Sinterleme grafiği.....                                                                                                 | 76 |
| Şekil 8.7. Yoğunluk ölçme terazisi.....                                                                                            | 76 |
| Şekil 8.8. Üç noktalı eğme testi.....                                                                                              | 78 |
| Şekil 8.9. Soketlerin gövdeye kaynatılması.....                                                                                    | 79 |
| Şekil 8.10. Soket yüzeylerinin taşlanması.....                                                                                     | 80 |
| Şekil 8.11. Bitmiş numune testereler.....                                                                                          | 80 |
| Şekil 8.12. Doğal taş kesme yönü.....                                                                                              | 81 |
| Şekil 8.13. Doğal taş kesme makinesi ve kesim işlemi.....                                                                          | 81 |
| Şekil 8.14. Kesilen andezit taşının genel görünümü.....                                                                            | 83 |
| Şekil 9.1. Farklı sinterleme sıcaklıklarında cBN'in soket matris sertliğine olan etkisi.....                                       | 85 |
| Şekil 9.2. Üç noktalı eğme deneyi sonuçları.....                                                                                   | 86 |
| Şekil 9.3. Soketlerin bağıl yoğunlukları .....                                                                                     | 88 |
| Şekil 9.4. Üç farklı sinterleme sıcaklığında soketlerde meydana gelen aşınma oranları.....                                         | 89 |
| Şekil 9.5. 600 °C'de sinterlenmiş % 100 elmaslı sokete ait aşınma yüzeyi SEM görüntü..                                             | 90 |
| Şekil 9.6. 700 °C'de sinterlenmiş % 100 elmaslı sokete ait aşınma yüzeyi SEM görüntü..                                             | 90 |
| Şekil 9.7. Matriste kırılmış elmas tanesi (600 ve 700 °C).....                                                                     | 91 |
| Şekil 9.8. 600 °C'de sinterlenmiş soketten düşen elmas tanecik yuvası.....                                                         | 91 |
| Şekil 9.9. % 100 elmaslı sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüsü.....                                                                | 92 |
| Şekil 9.10. 600 °C'de sinterlenmiş % 20 cBN'li sokette aşınma yüzeyi ve soket kenarında kırılmış kesici tanecik SEM görüntüsü..... | 93 |
| Şekil 9.11. 600 °C'de sinterlenmiş % 20 cBN'li sokette kenar aşınması SEM görüntüsü...                                             | 93 |
| Şekil 9.12. 700 °C'de sinterlenmiş % 20 cBN'li sokette aşınma yüzeyi,kırık elmas ve cBN tanesi SEM görüntüsü.....                  | 94 |
| Şekil 9.13. % 20 cBN'li sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüsü.....                                                                 | 95 |
| Şekil 9.14.% 40 cBN'li soketlerde aşınma yüzeyleri.....                                                                            | 95 |
| Şekil 9.15. % 40 cBN'li sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüsü.....                                                                 | 96 |
| Şekil 9.16. 600 °C'de sinterlenmiş % 40 cBN'li numunenin SEM görüntüsü ve EDS analizi yapılan bölgeler.....                        | 96 |
| Şekil 9.17. 600 °C'de sinterlenmiş % 60 cBN'li soketin aşınma yüzeyi SEM görüntüsü...                                              | 97 |
| Şekil 9.18. % 60 cBN'li sokette kesici tanecik çıkıntı yüksekliği.....                                                             | 98 |

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 9.19.</b> 700 °C’de sinterlenmiş % 60 cBN’li sokette aşınma yüzeyi ve kırık cBN tanesi.....                       | 98  |
| <b>Şekil 9.20.</b> % 60 cBN’li sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüsü.....                                                  | 99  |
| <b>Şekil 9.21.</b> 700 °C’de sinterlenmiş % 60 cBN’li socketin SEM görüntüsü ve EDS analizi yapılan bölgeler.....          | 99  |
| <b>Şekil 9.22.</b> 600 °C’de sinterlenmiş % 80 cBN’li socketin aşınma yüzeyi SEM görüntüsü..                               | 101 |
| <b>Şekil 9.23.</b> 700 °C’de sinterlenmiş % 80 cBN’li socketin aşınma yüzeyi ve matris-elmas ara yüzeyi SEM görüntüsü..... | 101 |
| <b>Şekil 9.24.</b> % 80 cBN’li sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüsü.....                                                  | 102 |
| <b>Şekil 9.25.</b> 700 °C’de sinterlenmiş % 80 cBN’li socketin SEM görüntüsü ve EDS analizi yapılan bölgeler.....          | 102 |
| <b>Şekil 9.26.</b> 600 °C’de sinterlenmiş % 100 cBN’li socketin aşınma yüzeyi ve kırık cBN tanesi.....                     | 103 |
| <b>Şekil 9.27.</b> 700 °C’de sinterlenmiş % 100 cBN’li socketin aşınma yüzeyi ve kırık cBN tanesi.....                     | 103 |
| <b>Şekil 9.28.</b> % 100 cBN’li sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüsü.....                                                 | 104 |
| <b>Şekil 9.29.</b> 600 °C’de sinterlenmiş % 100 cBN’li socketin SEM görüntüsü ve EDS analizi yapılan bölgeler.....         | 105 |
| <b>Şekil 9.30.</b> Seçilen numunelere ait XRD analizi grafiği.....                                                         | 106 |
| <b>Şekil 9.31.</b> Cu-Sn İkili Faz Diyagramı.....                                                                          | 106 |

## TABLolar LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 2.1.</b> ANSI standardına göre elmas tane boyutları ve sertlik değerleri.....                                                            | 6   |
| <b>Tablo 2.2.</b> Elmas ve cBN'in fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması.....                                                                  | 7   |
| <b>Tablo 2.3.</b> Testere çapına göre soğutma suyu miktarı.....                                                                                   | 16  |
| <b>Tablo 4.1.</b> Ticari olarak kullanılan elmas tane boyutları ve kullanım alanları.....                                                         | 44  |
| <b>Tablo 4.2.</b> Aşınmış elmas yüzey alanının santimetrekare başına düşen elmas kristalleri<br>ve elmasların çıktığı yerlerin toplam sayısı..... | 45  |
| <b>Tablo 5.1.</b> Dairesel testerelerde lazer kaynağı ile lehim kaynağının karşılaştırılması.....                                                 | 55  |
| <b>Tablo 7.1.</b> Elmaslı testerelerin aşınmasını etkileyen faktörler.....                                                                        | 69  |
| <b>Tablo 8.1.</b> Üretilen Numune soketlere ait üretim parametreleri.....                                                                         | 72  |
| <b>Tablo 8.2.</b> Lehim telinin özellikleri.....                                                                                                  | 78  |
| <b>Tablo 8.3.</b> Kesme deneyi parametreleri.....                                                                                                 | 82  |
| <b>Tablo 8.4.</b> Ankara andezit taşının kimyasal bileşimi.....                                                                                   | 82  |
| <b>Tablo 8.5.</b> Ankara andezit taşının fiziksel ve mekanik özellikleri.....                                                                     | 83  |
| <b>Tablo 9.1.</b> Farklı sıcaklıklarda sinterlenen cBN ve elmaslı soketlerin teorik ve deneysel<br>Yoğunlukları.....                              | 87  |
| <b>Tablo 9.2.</b> % 40 cBN'li numunenin EDS analiz sonucu.....                                                                                    | 97  |
| <b>Tablo 9.3.</b> % 60 cBN'li numunenin EDS analiz sonucu.....                                                                                    | 100 |
| <b>Tablo 9.4.</b> % 80 cBN'li numunenin EDS analiz sonucu.....                                                                                    | 102 |
| <b>Tablo 9.5.</b> % 100 cBN'li numunenin EDS analizi sonucu.....                                                                                  | 105 |

## **SEMBOLLER (KISALTMALAR) LİSTESİ**

- cBN** -- Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür)  
**CVD** -- Chemical Vapour Deposition  
**PVD** -- Physical Vapour Deposition  
**PCBN** -- Polycrystalline Cubic Boron Nitride  
**ASTM** -- American Society for Testing and Materials  
**ISRM** -- International Society for Rock Mechanics  
**ANSI** -- American National Standards Institute  
**HIP** -- Hot Isostatic Pressing  
**gBN** -- Grafit Bor Nitrür  
**hBN** --Hekzagonal Bor Nitrür  
**B<sub>4</sub>C** -- Bor Karbür  
**c-BC<sub>2</sub>N**--Kübik Bor Karbo Nitrür



## 1. GİRİŞ

Doğal taşlar, yeterince sağlam olması, cazip renk ve desenler göstermesi, kullanışlı olması gibi nedenlerden dolayı; eski çağlardan beri, önemli bir yapı ve süsleme malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ocaklarda mevcut olan çeşitli doğal taşların insanların hizmetine sunulabilmesi için bazı aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Bunların başında taşların önce blok halinde ve daha sonra kullanım amacına uygun bir biçimde en düşük maliyetle kesim işlemi gelmektedir. Bu işlem için bu güne kadar elmaslı kesici takımlar geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Dünyada ve ülkemizde doğal taş rezervlerinin yüksek olması nedeniyle elmaslı aşındırıcılara olan talep her geçen gün artmaktadır. Elmaslı aşındırıcılar, kesici disk, boncuk, lama ve katrak yapımında kullanılmakla birlikte en yaygın kullanım alanı elmaslı soketlerdir. Bu soketlerin seçimi, doğal taş kesim işlemlerinde dikkate alınması gereken en önemli konudur. Bu işlem, ülkemizde çoğunlukla deneme-yanılma yöntemi veya testere üreticisi ile kullanıcı arasındaki ikili ilişkilere dayandırılarak yapılmaktadır. Uygun soket seçimi yapılabilmesi için doğal taşın türü, kesme koşulları (çevresel hız, ilerleme hızı, kesme derinliği, testere çapı, kesme yönü, su tüketimi v.b.) ile elmaslı soket parametreleri (elmas konsantrasyonu, matris cinsi, elmas tane boyutu, elmas kalitesi v.b.) arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekir. Belirtilen bu parametreler, sokette meydana gelen aşınma mekanizması üzerinde çok etkili olup; bu parametrelerin uygun seçilmesi ile optimum kesme koşulları sağlanabilir.

Doğal taşları kesmek üzere ilk elmaslı kesici dairesel testere, 1885 yılında Fransa'da Fromhold tarafından geliştirilmiş olup; 1900'lü yılların başından itibaren bu testere Paris'de mermer ve kireçtaşı kesiminde kullanılmıştır. Bu kesici testerelede o zamanlarda, Brezilya menşeli siyah doğal elmas tane kırıntıları kullanılmıştır. Fakat daha sonra 1953 yılında ASEA (İsveç) ve 1955 yılında GE (ABD) firmaları tarafından sentetik elmas üretiminin başarılması ile birlikte kesici takımlarda doğal elmas kırıntıları yerine sentetik elmas tanecikleri kullanılmaya başlamıştır.

Elmas, doğada bilinen en sert malzeme olup; bu araştırmada kullanılan kübik bor nitrür ise elmastan sonra bilinen ikinci en sert malzemedir. Kübik Bor Nitrür (cBN), demir esaslı malzemelerin işlenebilmesi için 1969 yılında endüstriye girdi. Günümüzde elmaslı takımların yanı sıra kübik bor nitrürlü takımlara olan talep hızla artmaktadır. Kübik bor

nitrür, endüstride elmasa göre daha az kabul görmesine rağmen geleceğin aşındırıcısı olarak görülmektedir.

Bu güne kadar doğal taş kesici takımlar ile ilgili yapılan çalışmalar, genellikle mevcut elmaslı soketlerin aşınması, kesme performansı ve kesme sırasında oluşan kuvvetler, kesici soketteki hasar durumları, matris karakterizasyonu, analitik/nümerik modellemeler ile elmaslı kesici disklerin dinamik davranışlarının incelenmesi ve elmas kesici tellere ait çalışmalar üzerine yoğunlaşmış bulunmaktadır. Literatürde doğal taş kesici takımlarda elmas yerine kübik bor nitrür de dâhil olmak üzere alternatif bir aşındırıcı kullanıldığına dair bir çalışmaya henüz rastlanılmamıştır. Yapılan bu çalışmada, doğal taş kesici takımlarda kübik bor nitrürün alternatif aşındırıcı olarak kullanılmasının araştırılması teorik ve deneysel olarak incelenmiştir.

## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Doğal Taşlar**

Günümüzde piyasada çok çeşitli doğal taşlar kullanılmaktadır. Bu taşlar, bir mineralden veya birkaç mineral ya da mineral grubundan oluşabilir. Minerallerin türü, tane boyutu, taneler arasındaki doku ilişkileri ve kompozisyonları ile ilgili hususlar petrografik analiz ile doğal taş içerisindeki sert mineraller ve kuvars miktarları ise minerolojik analiz metodu ile bulunabilir. Doğal taşta bulunan kuvars miktarının artması veya doğal taşın tane boyutunun büyümesi kesme işlemini büyük ölçüde zorlaştırır. Bu tür taşlar, kullanılan kesici soket ile birlikte disk performansını önemli ölçüde etkilemekte olup; özellikle mohs sertliği 6 (altı) ve üstü olan tüm mineral ve mineral grupları büyük aşındırıcı özelliğe sahiptirler (Eyüboğlu, 2000).

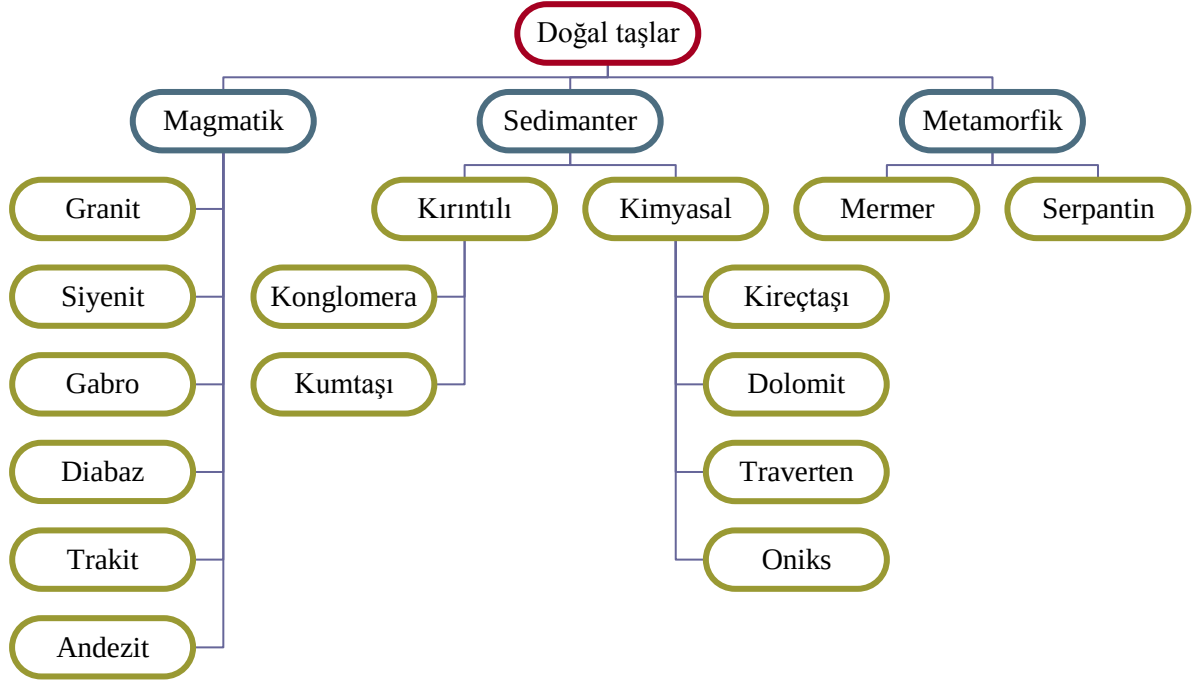
Doğal taşların mekanik özellikleri, TS 699 nolu standart başta olmak üzere ilgili ISRM ve ASTM standartları ile belirlenir. Bir kayacın kesme performansını önemli ölçüde etkileyen mekanik özellikler çekme dayanımı, tek eksenli basma dayanımı, shore sertliği; schmidt sertliği, elastisite modülü ve yüzey aşınma dayanımıdır. Bununla birlikte, doğal taşların su emme, yoğunluk, porozite ve doluluk oranı gibi özelliklerini belirlemek için de değişik fiziksel analizler yapılır. Günümüzde doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması aşağıda Şekil 2.1’de verilmiştir (Büyüksağış ve Gürcan, 2005). Bununla birlikte doğal taş işlemeciliğinde pratikte kullanılan iki temel grupta şunlardır:

- a-) Metamorfik ve metamorfik olmayan tüm karbonatlı kayalar olarak mermer işlemeciliği,
- b-) Yüksek aşındırıcılık özelliği olan tüm silikatlı kayalar olarak granit işlemeciliği,

### **2.2. Sentetik Elmas ve Kübik Bor Nitrür**

Sentetik elmas, yüksek basınç ve sıcaklık altında çok kısa sürede yumuşak olan grafitin çok sert kristal yapılı karbon atomuna dönüşmesi ile elde edilir. Grafit, karbonun elmas ve fullerenes ile birlikte üç kristal formundan birisidir. Fullerenes, karbonun bir allotropu olup; 1985 yılında H.W. Kroto, R.F. Curl and R.E. Smalley tarafından bulunmuştur. 1996 yılında ise adı geçen bilim adamları, bu bilimsel çalışma ile ilgili olarak; kimya dalında nobel ödülü kazanmışlardır. Küresel yapılı olan fullerenes molekülleri, C60, C70, C76 vb. kodlarla adlandırılırlar. Bunlardan C60, yüksek basınç

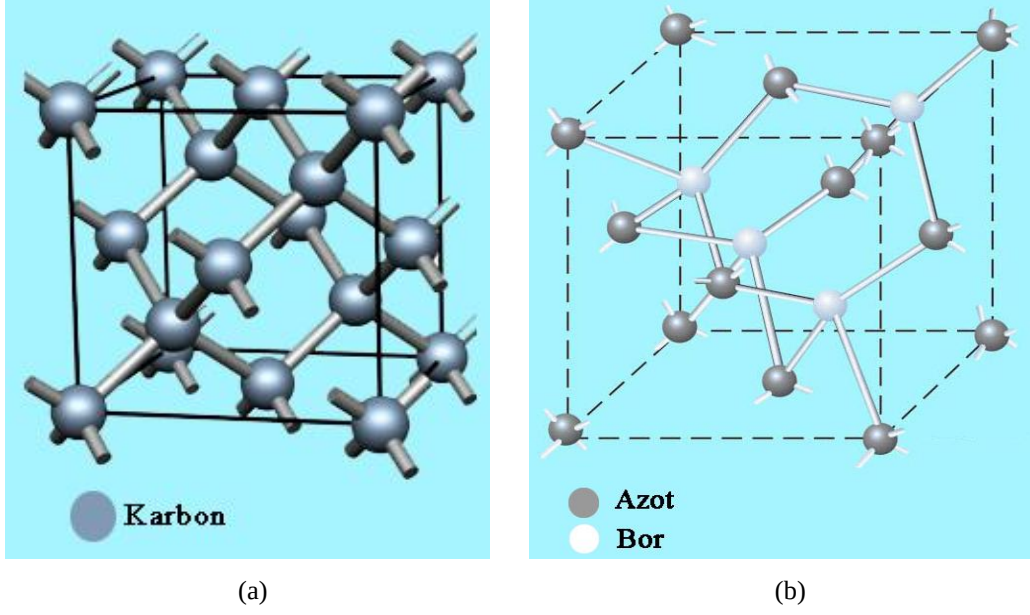
altında laser kullanılarak grafitin buharlaştırılması yoluyla elde edilir. Bu moleküller, içinde helyum ya da argon gazı bulunan koruyucu gaz atmosferi içerisinde elektrik arkı yardımıyla çok kolay bir şekilde üretilirler. Grafit, karbonun düşük yoğunluklu allotropu olup; genellikle yumuşak ve siyah renklidir. Normalde 2500°C sıcaklığa kadar dayanır.



Şekil 2.1. Doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması (Büyüksağış ve Gürcan, 2005).

Sentetik elmas üretiminde alternatif bir yöntem olarak yüksek sıcaklık ve düşük basınç (CVD) yöntemi de kullanılır. Sentetik elmaslar, bakırdan beş kat daha fazla termal iletkenliğe sahiptirler.

Kübik Bor Nitrür (cBN) ise elmasa benzer şekilde üretilir. cBN, günümüzde daha çok demir esaslı metallerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılan PCBN takımların üretiminde kullanılır. Elmas ve cBN'in kristal yapıları benzer olup; yapıda bulunan her bir atom diğer dört atom ile 109°28' açı yaparak mükemmel bir tetrahedral düzen oluştururlar. Elmasta, her bir karbon atomu diğer dört karbon atomu ile tam bir kovalent bağ yapar. cBN'de ise kovalent bağ hâkim olmakla birlikte bor ve azotun farklı atomlar olmaları nedeniyle az miktarda iyonik bağ da bulunmaktadır. cBN'de her bir azot atomu dört bor atomu ile bağlanırken, her bir bor atomu da dört azot atomu ile bağlanarak tetrahedral karakter gösterir (Zeren, 1999). Sentetik elmas ve cBN'e ait kristal yapıları Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. (a) Sentetik elmas ve (b) cBN'in kristal yapısı (Petrusha, 2000).

Kübik Bor Nitrür, 2597°C sıcaklıkta, 7700 N/mm<sup>2</sup> basınç altında ve 60 saniye içerisinde, gBN(Grafit Bor Nitrür) malzemeden doğrudan hBN→cBN dönüşümüyle üretilen yeniden kristalleşmiş malzemedir. Yoğunluğu 3,47-3,48 gr/cm<sup>3</sup>'dür (Petrusha, 2000).

Son yıllarda bazı araştırmacılar, lazerle ısıtma yöntemlerini kullanarak 18000 N/mm<sup>2</sup> basınç ve 1927 °C sıcaklık şartlarında grafit-B<sub>4</sub>C-karbon(BN-C) faz dönüşümleri üzerine çalışarak yeni bir aşındırıcı malzeme türü olan C-BC<sub>2</sub>N (Kübik Bor Karbo Nitrür) türü malzeme geliştirdiler. Geliştirilen bu malzemenin mohs sertliği yaklaşık 9.2 olup; sertlik olarak elmas ile cBN arasında bir sertliğe sahiptir (Novikov, 2005).

Doğal taşların işlenmesinde hâlihazırda elmaslı takımlar, kesme, taşlama ve parlatma amacıyla kullanılırken; son yıllarda özellikle parlatma gibi nihai yüzey işlemlerinde, cBN'li ürünler geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Doğal elmaslar, 1400 °C'nin üzerine kadar mukavemetini korurken; sentetik elmaslar 800 °C nin üzerinde mukavemetini kaybetmeye başlarlar.

Sentetik elmas tanelerinin boyutu, ANSI-Amerikan standardına göre US mesh numarası ile gösterilir. Bu numara, elmas tozun elek boyutunu ve/veya shore cinsinden sertlik aralığını gösterir. Örnek olarak 40/50 US mesh numaralı elmasın shore sertliği 48,63 dür (Brook, 2002., Tablo 2.1 ). Uygulamada 20/30 US mesh tane boyutlu elmaslar işlemleri kolay malzemeler (kum taşı), 30/40 US mesh tane boyutlu elmaslar mermer gibi orta sertlikteki malzemeler, 40/50 US mesh tane boyutlu elmaslar granit gibi sert

malzemeler, 50/60 US mesh tane boyutlu elmaslar ise çok sert malzemeler (çok sert granit) için kullanılır. Kesici takımlara ait matris tozunun hazırlanmasında elmas tozu kadar konsantrasyonu da önemlidir. Konsantrasyon, matrisin birim  $\text{cm}^3$  hacminde karat cinsinden bulunan elmas tozun miktarını tanımlar (1 karat = 0.2 gr.). 100 konsantrasyon denildiğinde matriste  $4,4 \text{ karat/cm}^3 (= 0.88 \text{ gr/cm}^3)$  elmas tozu var demektir. Konsantrasyon oranı düştükçe matrisin birim  $\text{cm}^3$  hacmindeki elmas tozun miktarı da düşer.

**Tablo 2.1.** ANSI standardına göre elmas tane boyutları ve sertlik değerleri (Brook, 2002).

| US mesh No | Ortalama tane boyutu (mm) | Brinell Sertliği ( $\text{kg/mm}^2$ ) | Shore Sertliği = Brinell Sertliği/7,0327 |
|------------|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| 20/25      | 0,710                     | 155,03                                | 22,04                                    |
| 25/30      | 0,600                     | 180,43                                | 25,66                                    |
| 30/35      | 0,500                     | 211,33                                | 30,05                                    |
| 35/40      | 0,425                     | 247,40                                | 35,18                                    |
| 40/45      | 0,360                     | 299,46                                | 42,58                                    |
| 45/50      | 0,302                     | 341,99                                | 48,63                                    |
| 50/60      | 0,255                     | 402,84                                | 57,28                                    |
| 60/70      | 0,213                     | 476,20                                | 67,71                                    |
| 70/80      | 0,181                     | 558,78                                | 79,45                                    |
| 80/100     | 0,151                     | 660,13                                | 93,87                                    |
| 100/120    | 0,127                     | 789,32                                | 112,24                                   |

Soketlerin sertliğinin ölçümünde yaygın olarak Brinell sertlik ölçme metodu kullanılır. Bunun yanında çok nadir olarak Rockwell B metodu da kullanılır. Yukarıda Tablo 2.1’de verilen tane boyutu, ağırlıklı olarak ilgili tozun % 90 ‘nı temsil eder. Tozun % 100’nün aynı boyutta olması doğal olarak mümkün değildir.

Dünyada belli başlı sentetik elmas üreticileri; USA, Çin, Rusya, Japonya, Güney Kore ve İrlanda’dır. 1998 yılında, yıllık 250 ton olan sentetik elmas üretim miktarı, 2004 yılında 800 tona yükselmiş olup; üretim miktarı günümüzde hızla artmaktadır. Doğal elmaslar tek kristalli, sentetik elmaslar ise tek ve çok kristalli olabilmektedir. Sentetik elmas ve cBN tozuna ait fiziksel özelliklerin mukayesesi, Tablo 2.2’de görülmektedir.

**Tablo 2.2.** Elmas ve cBN' in fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması (Memmott, 2002 ; Konstanty, 2005)

| Özellikler                                      | Sentetik Elmas | cBN         |
|-------------------------------------------------|----------------|-------------|
| Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )                   | 3,51           | 3,48        |
| Knoop sertliği (GPa)                            | 57-104         | 29,89-43,12 |
| Elastisite modülü (GPa)                         | 1140           | 850         |
| Oksitlenme sıcaklığı (°C)                       | 600            | 1200        |
| Isıl iletkenlik katsayısı (W/cmK)               | 20             | 13          |
| Ergime Noktası (°C)                             | 4000           | 3000        |
| Basma Mukavemeti(GPa)                           | 8,68           | 2,73        |
| Kırılma Tokluğu (MPa.m <sup>0.5</sup> )         | 3,40           | 6,4         |
| Young modülü (GPa)                              | 1141           | 650         |
| Isıl genleşme katsayısı (x10 <sup>-6</sup> /°C) | 1,5-4,8        | 4,9         |
| Aşınma katsayısı                                | 2,14-5,49      | 1,90        |

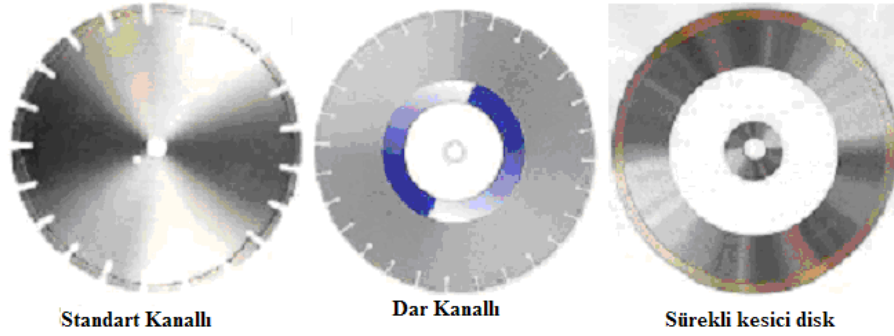
## 2.3. Kesici Disk ve Soketler

### 2.3.1 Kesici Diskler

Doğal taşların kesilmesinde kullanılan kesici diskler, yapılacak işe ve kullanılacak makineye bağlı olarak; 200-3500 mm arasında değişik çaplarda imal edilmektedir. Günümüzde ise doğal taşların kesilmesinde standart kanallı, dar kanallı ve sürekli kesici disk olmak üzere üç farklı tipte kesici disk kullanılmaktadır (Şekil 2.3). Standart kanallı kesici diskler, yüksek kesme hızı istenilen mermer, granit ve traverten gibi doğal taşların kesilmesinde kullanılır. Dar kanallı kesici diskler ise diğerlerine göre daha iyi yüzey kalitesi elde etmek için kullanılır. Sürekli tip kesici disklerin üzerinde ise hiçbir kanal mevcut değildir. Soket, diskin çevresinde adeta yekpare bir görünüm arz etmektedir. Bu tip diskler, daha çok hassas kesme yüzeyi elde etmek için kullanılır. Kesici disk üreten firmalar, bunların haricinde yüksek kesme hızı, yüksek verim, düşük gürültü seviyesi gibi talepleri karşılamak için çok daha farklı kesici diskler üretmektedirler. Üretilen diskler, disk çapına bağlı olarak; 150-5000 dev/dak. arasındaki çevresel hızlarda çalışmaktadırlar. Fakat artan disk çapı ile çevresel hız azalmakta ve disk kalınlığı artmaktadır. Uygulamada doğal taş kesme hızı, aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$v = \frac{L.H}{t} \quad (2.1)$$

Bu bağıntıda, v-kesme hızı (mm<sup>2</sup>/dak), L-kesilen uzunluk (mm), H-kesilen malzeme kalınlığı (mm), t-kesme süresi (dak)'dır.



Şekil 2.3. Kesici disk çeşitleri (Ucun, 2009).

Günümüzde kesici diskler genellikle 75CrV1 (AISI 1075) ve 80CrV2 (AISI 1080) türü alaşımlı çelik saçlardan istenilen ölçülerde lazerle kesilerek imal edilmektedir. Disklerin sertliği 43-45 HRC arasında değişmektedir. Kesme sırasında disk üzerinde meydana gelen gerilmeler, diskte başta kanal çevreleri olmak üzere çentik etkisi olan bölgelerde çatlamalara sebep olabilir (Tönshoff vd., 2002). Diskte çatlama riskini minimum seviyeye indirebilmek için lazerle kesim sonrası ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Kesme işleminin aşağı ya da yukarı yönlü olması da diske etki eden gerilmelerin yönünü ve şiddetini etkilemektedir (Tönshoff vd., 1993). Bunların haricinde kesme sırasında yeterli seviyede soğutma sıvısı kullanılması, diskin ısınmasını önlemektedir. Hatta soğutma sıvısının kesme performansına olan etkileri, günümüzde birçok kişi tarafından araştırılmaktadır.

### 2.3.2. Soketler

Soketler, kesici diskin çapına ve kesme koşullarına bağlı olarak değişik geometri ve özelliklerde imal edilirler. Soket özelliklerinin belirlenmesinde kesme parametreleri ile kesilecek olan doğal taşın mineral yapısı ve mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Soketlere ait matris karışımının hazırlanması sırasında metal tozlarına ilave olarak 50-500 µm tane boyutunda elmas tanecikleri matrise karıştırılarak soket üretimi yapılır (Konstanty, 2005).



Doğal taş kesme işleminde ağırlıklı olarak dikdörtgen kesitli elmaslı soketler tercih edilmektedir. Soketler, seçilen matris tozu ile elmas taneciklerinden oluşmaktadır. Matris, elmas taneciklerini matriste tutma işlevini yerine getirirken; elmas tanecikleri ise kesme işlevini yerine getirir. Başarılı bir kesici soket tasarımı için nitelikli metal tozlarının kullanılması gerekmektedir. Matriste elmas tanelerini tutması için katkı olarak Co, Ni, Cu, Fe veya bunların kombinasyonlarından yararlanılır. Dolgu için genellikle Cu-Sn bronzu kullanılır (Karagöz ve Zeren, 2001; Zeren ve Karagöz, 2006).

Kesilecek doğal taşın özelliklerine, kesme parametrelerine ve kesme koşullarına bağlı olarak ana ve bağlayıcı fazların oluşturulması değişmektedir. Genelde matriste yer alan oksit filmi, parafin ve diğer kalıntılar, zayıf bir elmas -matris bağı oluşmasına neden olur. Bu hatalar, sinterleme reaksiyonlarını olumsuz etkileyerek matriste çatlak başlamasına ve kesici takımın performansını olumsuz yönde etkiler (Karagöz ve Zeren, 2001; Zeren ve Karagöz, 2006).

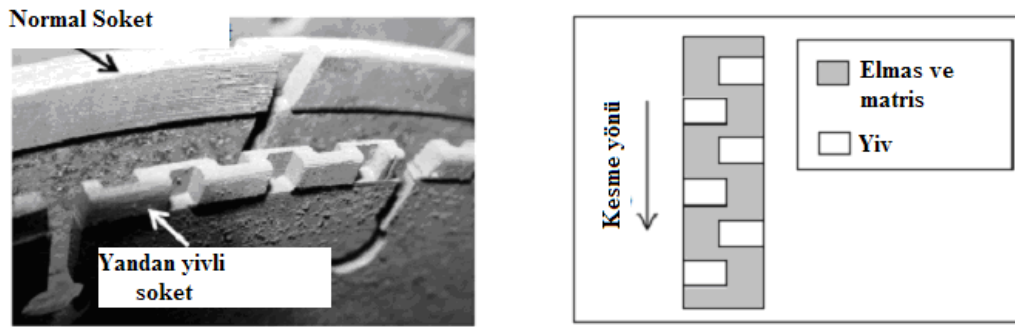
Endüstride kesici soket yapımında kullanılan SDA 85 ve SDA 100 kalitesindeki sentetik elmas taneciklerinin kristal yapıları kübik oktahedraldir. Bu tip sentetik elmaslar, yüksek mukavemetli olup; dayanımları da yüksektir. Bunların dışında bulunan MDA serisi elmaslar ise daha çok 60 US mesh'den daha küçük tane boyutlarında bulunurlar (Brook, 2002). Sentetik elmaslar, kübik oktahedral yapıları nedeniyle küçük bir temas yüzeyi ile kırılmaya karşı büyük bir direnç gösterirler. Bunun sonucunda ise takım ömrü uzun olur (Zeren ve Karagöz, 2007).

Kesici soket tasarımında kesilecek doğal taşın sertliği önemli bir parametredir. Sert doğal taşlarda daha yumuşak matrisli soket kullanılırken; nispeten yumuşak doğal taşlarda ise sert matrisli soketler kullanılır. Ayrıca, sert doğal taşlarda elmas tane boyutu daha küçük ve konsantrasyonu yüksek elmaslar, yumuşak doğal taşlarda ise daha iri ve düşük konsantrasyonlu elmas tanecikleri tercih edilir. Gerçek kesici soket tipi ve yapısı ise, yapılacak deneyler sonucunda ortaya çıkar (Turchetta vd., 2005).

Soketlerin kesici disk üzerine birleştirilmesinde, lehimleme, lazer kaynağı ve yüksek frekans kaynağı gibi yöntemler kullanılır. En yaygın olarak lehim (gümüş) kaynağı kullanılır. Lazer kaynağı ise daha çok yüksek mukavemet gerektiren soket bağlantılarında tercih edilir. Maliyeti yüksek ve yapılması zor bir yöntemdir. Lazer kaynağı ile kaynatılan soketlerin eğilme mukavemeti 1800 MPa'a çıkarken, normal lehim (gümüş) kaynağı ile kaynatılan soketlerin eğilme mukavemeti 350-600 MPa dolayındadır (Konstanty, 2003). Yüksek frekans yöntemi ise soketlerin seri olarak kaynatılmasında yaygın olarak kullanılır.

Kaynak sonrası diskte meydana gelen çarpılmalar (balans) alındıktan sonra, soketler bilenererek (taşlanarak) yüzeydeki elmaslar açılır ve kesici disk kesme yapacak seviyeye gelir.

Günümüzde endüstride sıkça kullanılan soket tipi ile yandan yivli soket tipi Şekil 2.4’de verilmiştir. Yivli soket üzerine yapılan araştırmalarda; kesme kuvveti ile harcanan gücün normal soketlere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. SEM’den alınan görüntülerde ise her iki soketteki aşınmanın benzer olduğu belirtilerek normal soketlere göre matriste hiçbir aşırı aşınma gözlenmemiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Geleneksel ve yandan yivli soket tipleri (Yu vd., 2006).

## 2.4. Soketlerde Aşınma Durumu

Uygulamada doğal taşların mohs sertlikleri ve petrografik özellikleri ile kesici soket aşınması arasında direkt bir bağlantı kurulması zordur. Bununla birlikte doğal taş içerisinde bulunan kuvars miktarının soket aşınmasını önemli ölçüde etkilediği ve en sert doğal taşın kesilmesinde soket aşınmasının daha fazla olduğu söylenebilir. Kesici soketlerde meydana gelen aşınma, abraziv aşınma, darbe veya çarpma şoku, yorulma, ani yükleme ve ısı şoku olarak tanımlanır (Ersoy ve Atıcı, 1999). Kesici takımın aşınmasında doğal taşın minerolojik özelliklerinin önemli etken rol oynadığı görülmüştür (Jennings ve Wright, 1989 ; Ersoy ve Atıcı, 1999).

Kesici soketlerde elmas tanelerinin etkisi incelendiğinde, kesilen alanın artması ile elmas dökülmesinin büyük ölçüde arttığı, metal matristeki aşınmanın elmas taneciğinin önünde meydana gelen erozif aşınma ile gerçekleştiği (Luo ve Liao, 1993; Luo ve Liao, 1995), düşük kesme kuvvetlerinin her zaman iyi soket performansı verdiği tespit edilmiştir (Luo, 1997). Soketlerde elmas tanecik önlerinde oluşan kanalların (mikro sabanlama) daha

sağlıklı bir kesme işlemi yapılmasını sağladığı ve aşınmanın abraziv olduğu vurgulanmıştır (Karagöz ve Zeren, 2002). Ortalama elmas tanecik çapının azalmasıyla darbe mukavemetinin arttığı (Liu ve Li, 2003), maksimum kesme kuvvetinin körelmiş elmas tanelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir (Denkena vd., 2004).

Ankara andezitinin kesilmesine ilişkin yapılan deneyler sonucunda soket yüzeyinde yeni elmas, kırılmış elmas taneleri, elmas dökülmesi ile yüzeyde parlama durumu gözlenmiştir (Eyüboğlu, 2000; Eyüboğlu vd., 2003). Elmaslı soket matrisinin daha sert ve elmas konsantrasyonunun daha düşük olması halinde kesici takımın hızla körelendiği gözlenmiştir (Di Ilio ve Tonga, 2003). Normalde elmas konsantrasyonunun artması sonucu, her bir taneciğe etki eden kuvvet azaldığından soket aşınmasının azalması beklenirken deneyler sonucunda aksine aşınmanın arttığı görülmüştür (Yu ve Xu, 2003).

Bir başka çalışmada, elmas tanecik mukavemetinin artmasının kesici takım ömrünü arttırdığı ve konsantrasyonun artması ile de takım ömrünün arttığı vurgulanmıştır (Kremshofer, 2006). Doğal taşların kesilmesi sırasında aşınmanın artmasıyla elmas tanecik yüksekliğinin azaldığı görülmüştür (Polini ve Turchetta, 2003). Kesme sırasında elmas tanecik yüksekliğinin azalmasının matrisi daha fazla aşındırdığı ve daha büyük kuvvet etki eden elmas tanelerinin ise daha fazla kırıldığı görülmüştür (Denkena vd., 2004).

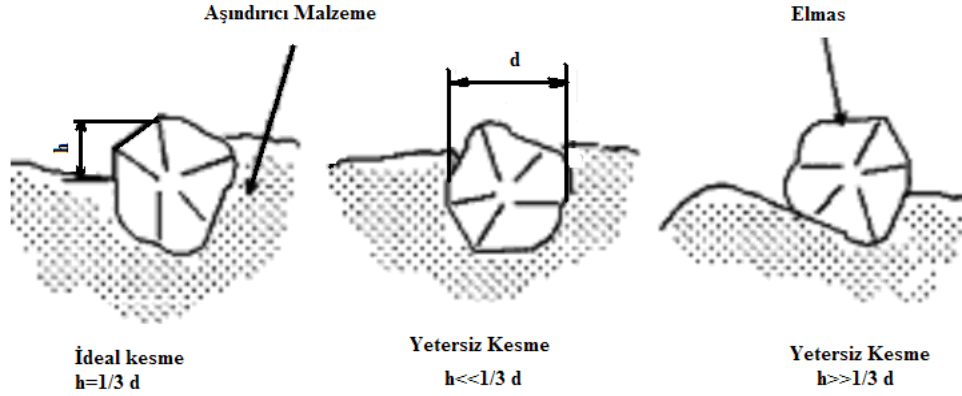
Doğal taşların kesilebilirliğine etki eden en önemli parametreler, testere çapı, ilerleme hızı, kesme derinliği ile darbe ve çekme mukavemetidir (Kahraman vd., 2006; Çimen vd., 2008). Matris içerisindeki kobalt oranının artmasının soket sertliğini artırdığı ve soketteki aşınmayı düşürdüğü görülmüştür (Ünal ve Gürcay, 2007). Farklı doğal taşlar üzerinde aşağı ve yukarı yönde yapılan kesme işleminde, spesifik enerjinin artması ile spesifik aşınma oranının lineer olarak arttığı tespit edilmiştir (Büyüksağış, 2007).

Beton kesen kesici takımlar, betonun abrasif özelliğe sahip kum tanecikleri içermesi nedeniyle diğer doğal taşlara göre hızlı aşınırlar. Bu sebeple kesici soket yapıları da farklıdır (Zhang vd., 2005).

Yapılan bir başka çalışmada ise elmas tanecik mukavemetinin artmasının kesici takım ömrünü arttırdığı ve konsantrasyonun artması ile de takım ömrünün arttığı vurgulanmıştır (Xu vd., 2005). Granit taşının frezelenmesi sırasında kullanılan elmaslı takımındaki aşınma, çap ve ağırlık ölçümü olarak yapılarak sonuçta kesici takımdaki aşınmanın artmasıyla elmas tanecik yüksekliğinin azaldığı görülmüştür (Polini ve Turchetta, 2005). Kesme sırasında elmas tanecik yüksekliğinin azalmasının matrisi daha

fazla aşındırdığı ve daha büyük kuvvet etki eden elmas tanelerinin ise daha fazla kırıldığı görülmüştür (Dai vd., 2004).

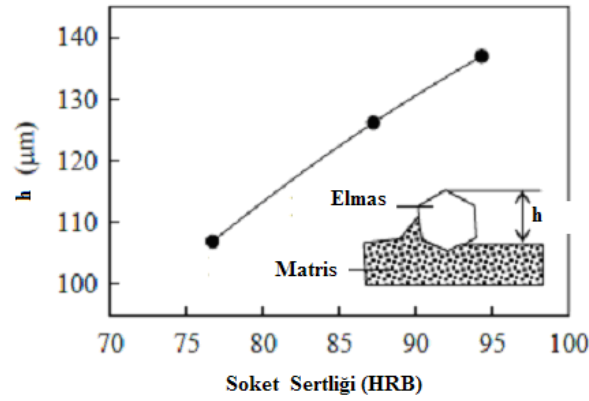
Elmas tanelerinin matris içinde iyi bir kesme performansı gösterebilmesi için  $h = (1/3).d$  koşulunun sağlanması gerekir (Şekil 2.5). Eğer  $h > (1/3).d$  ise elmas tanecikleri kolaylıkla matristen kopar.  $h < (1/3).d$  halinde ise takım daha az etkilenir. Takım köreldiği halde yeni kesici ağızlar açılmaz. Bunun sonucunda ideal bir kesme olmaz (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Matris içerisinde elmas tanelerinin ideal kesme yükseklikleri (Jiang, 2001).

Yapılan bir başka çalışmada ise, h yüksekliğinin büyük ölçüde soketlerin sertliğine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde kesme kuvvetinin düşey bileşeni ile numunenin aşınması arasında da benzer bir ilişkinin olduğu ifade edilir (Xu vd., 2005) (Şekil 2.6).

Uygulamada soket aşınmalarının ölçümünde yükseklik kaybı ile birlikte ağırlık kaybı ölçümü de yapılır. Yükseklik kaybının ölçümü için kumpas, mikrometre ve lazer ölçüm yöntemleri kullanılır. Bunun için kesici disk üzerinde önceden belirlenen soketlerde yeterli sayıda yükseklik kaybı ölçümü yapıldıktan sonra bunların ortalaması alınarak soket yüksekliğinde meydana gelen aşınma miktarı belirlenir. Bunun yerine hassas terazide ağırlık kaybı tartılmak suretiyle de soket aşınması belirlenebilir. Ancak bu yöntem eski bir yöntem olmakla birlikte, soketlerin bilhassa yanıl yüzeylerinde meydana gelen aşınmalar bu yöntemle yapılan aşınma ölçümünde hatalara sebep olabilir. Sokette meydana gelen aşınmaların hassas olarak ölçülebilmesi için son zamanlarda lazer ölçüm yöntemlerinden yararlanılmaktadır (Ucun, 2009). Her iki yöntemle yapılan aşınma ölçümü sonuçları arasında (yükseklik kaybı/ağırlık kaybı), 0.96-0.97 oranında bir düzeltme katsayısı kullanılması önerilmektedir (Ersoy vd., 2005; Polini ve Turchetta, 2005).

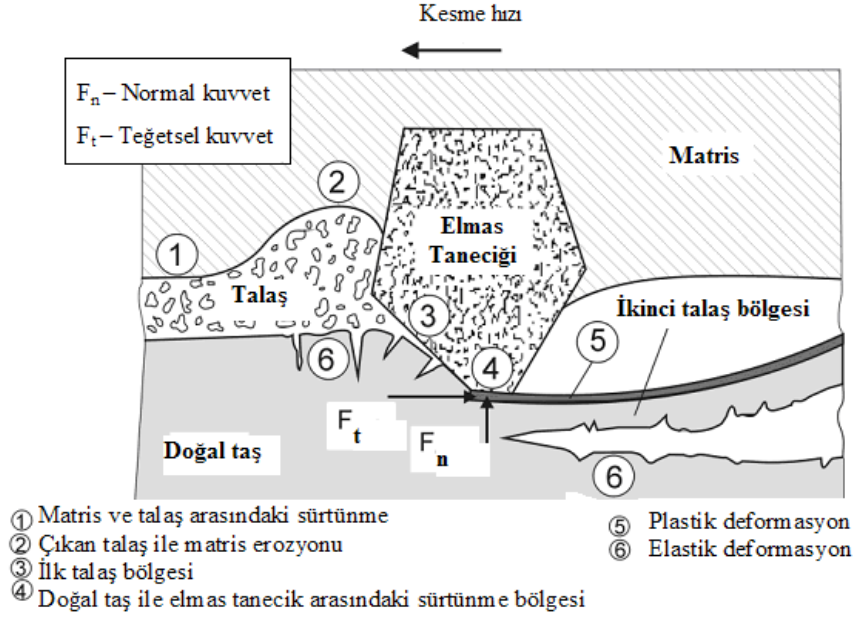


Şekil 2.6. Soket sertliğine göre ideal kesme yüksekliği (Xu vd., 2005).

Kesici takım matrisine katılan kobaltın soket sertliğini artırdığı ve aşınmayı düşürdüğü görülmüştür (Ünal ve Gürcay, 2007).

Elmaslı kesici takımlarda görülen en önemli aşınma türleri, mikro ve makro düzeyde hasar görerek aşınmış elmas tanecikleri, yerinden kopmuş elmaslar ile elmas olmayan düz yüzeylerdir (Hu vd., 2006; Xu, 2000; Xu, 2001). Kesme işlemi sırasında soket üzerinde meydana gelen aşınma, genellikle lineer bir şekilde olmaz. Bunun sebebi, z eksen yönündeki yanal kuvvetlerdir. Bunun için araştırmacılar, soket üzerinden en az dört farklı ölçümün ortalamasını almışlardır. Sonuçta ise W-Co soket sertliğini arttırırken, Cu-Sn bronzunun sertliği düşürdüğü görülmüştür. Elmas konsantrasyonunun artması ile tüm elmas taneleri kesme yapmayacağı gibi hiç kesme yapmadan düşen elmas taneleri de olabilir. Genellikle elmas kırılmaları, kesici diskin doğal taş ile ilk temasında meydana gelir. Sert taşların kesilmesinde W-Co matris bileşimi önerilir (Ucun vd., 2010). Matris sertliğini arttırmak için içerisine önceden belirlenen miktarda Co katılır (Ünal ve Gürcan, 2007; Ucun vd., 2010). Kesilen doğal taşın yapısının homojen olmaması, soketlerin kaynak yerlerinden çatlamasına ve kırılmasına sebep olabilmektedir (Ucun vd., 2008). Soketlerde, kesme işlemi sırasında meydana gelen değişik mekanik ve ısıl zorlanmaların sonucunda aşınma meydana gelmektedir. Aşınmanın meydana gelmesinde aşağıdaki faktörler direkt yada dolaylı olarak etkili olmaktadır (Tönshoff ve Asche, 1997; Tönshoff vd., 1994). Bu faktörler;

- Kesici soket ile iş parçasının elastik ve plastik deformasyonu,
- Doğal taş ile elmas tanecikleri arasındaki sürtünme,
- Doğal taş ile matriks arasındaki sürtünme,
- Kesilen doğal taş kırıntıları ile matriks arasındaki sürtünme.



Şekil 2.7. Bir elmas taneciğinin kesme mekanizması (Tönshoff vd., 2002).

Soketlerdeki aşınma elmas tanecik aşınması ve matris aşınması olarak ikiye ayrılabilir. Matriste meydana gelen aşınma türleri, yapışma (adhesive), sürtünme (abrasive), erozif ve yayınma (difüzyon) şeklindedir (Tönshoff vd., 2002). Soket aşınmasında doğal taşın önemli bir etkisi bulunmaktadır. Abraziv aşınma, kesme sırasında matris yüzeyinin kazınması şeklinde oluşmaktadır. Erozif aşınma ise kesme sırasında elmas taneciklerinin önünde meydana gelmektedir. Bu ise daha çok kesilen kayaç parçacıklarının çarpması ya da yığılması sonucu oluşmaktadır. Bu istenilmeyen ancak önüne de geçilemeyen bir durumdur. Dolayısıyla, matrisin aşınma direnci, elmasın aşınma hızına göre ayarlanmalıdır. Matris ile elmas tanecikleri birbirine yakın oranda aşınmalıdır. Matrisin daha erken aşınması elmas taneciklerinin kesme görevini yerine getirmeden dökülmesine; matrisin elmas taneciklerinden daha geç aşınması ise elmas taneciklerinin kesme yeteneğini tamamen kaybetmesine neden olur. Matrisin daha geç aşınması sonucunda kesici takım köreldiği ve kesme kabiliyetini büyük ölçüde kaybettiği için daha fazla enerji tüketilir. Hatta kesilen malzemede kalınlık düşmesi veya artması gibi hatalar meydana gelerek hurda oranı artar. Bu ise üretim maliyetini artırır. Bu sebeple elmaslı kesici takımlarda kesilen malzeme miktarı kadar yapılan kesme işleminde birim maliyet ve kusursuz kesme ön plana çıkar. Doğal taş kesen işletmeler, kesici takımlara ait performans değerlendirmelerinde bu hususu dikkate almalıdır. Kesme işlemi sırasında değişik kuvvetlerin etkisi altında kalan elmas taneciklerinde görülen belli başlı hasar türleri ile nedenleri şunlardır:

- Elmas düzleşmesi, elmas taneciğinin ısıl yüklere maruz kalması halinde görülür.
- Elmas kırılması, doğal taşla ilk temasta ya da anlık kuvvet artışlarında meydana gelir. Düşük kaliteli elmaslarda kırılma daha çok görülür.
- Elmas dökülmesi, genellikle matrisin zayıf olması sonucu görülür.

Doğal taşın kesilmesi esnasında, elmasın tipi ve boyutu, konsantrasyonu, matris sertliği , aşağı ya da yukarı yönlü kesme, çevresel hız , kesme derinliği, ilerleme hızı, deney şartları ve iş parçası gibi parametreler kesici soket performansını belirler (Sun vd., 2002). Kesme işlemi karmaşık ve çok fazla değişken parametre içerdiğinden daha çok deneyler yapmak suretiyle soketlerin kesme performansları belirlenebilir.

## 2.5. Kesici Disk ve Soketlerin Soğutulması

Kesme işlemi sırasında, testerenin ve soketteki elmasın üzerinde sürtünme sonucu oluşan ısıнын azaltılması için mutlaka bol miktarda su verilmesi gerekmektedir. Su, kesme sonucu oluşan talaşları ortamdaki uzaklaştırmakta ve malzemelerin yüzeylerinde oluşan ısıнын azaltılmasını sağlamaktadır. Soğutma suyu dairesel testerelelerin her iki yanından, flanşın hemen altından gerekirse testerenin tam karşısından bolca verilmelidir. Dairesel testerelelerin su ihtiyacı ile çapları arasındaki ilişki ve suyun verilış tarzı Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.8.** Dairesel testerelelerde kesme sırasında su kullanımı (Özçelik vd., 2008).

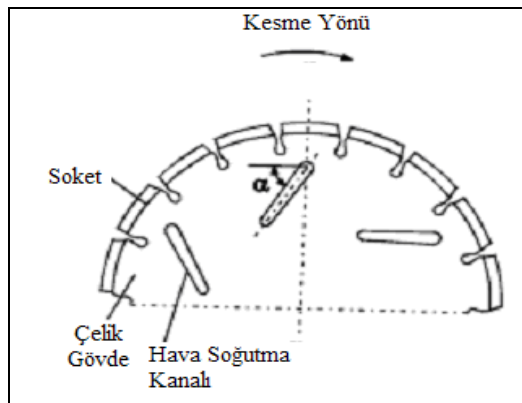
Dairesel testerelelerde su kanallarının sık ve fazla olması, kesim hızını azaltacağı gibi; dairesel testere gövdesini de zayıflatacaktır. Testere çapına bağlı olarak soğutma suyu ihtiyacı, Tablo 2.3’de verilmiştir.

**Tablo 2.3.** Testere çapına göre soğutma suyu miktarı (zelik vd., 2008).

| Testere apı (mm) | Testere başına minimum soğutma suyu miktarı (lt/dak) | Testere başına maksimum soğutma suyu miktarı (lt/dak) |
|-------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 200/250           | 6                                                    | 10                                                    |
| 300/400           | 10                                                   | 15                                                    |
| 450/550           | 15                                                   | 22                                                    |
| 600/625           | 20                                                   | 30                                                    |
| 700/750           | 30                                                   | 40                                                    |
| 800/900           | 30                                                   | 45                                                    |
| 1000/1100         | 40                                                   | 60                                                    |
| 1200/1300         | 50                                                   | 75                                                    |
| 1400/1600         | 60                                                   | 90                                                    |
| 2000/2500         | 70                                                   | 120                                                   |
| 2500/.....        | 80                                                   | 140                                                   |

Yapılan bir araştırmada, betonun kuru olarak kesilmesi sırasında sıcaklığın 300°C'ye çıktığı, bu sıcaklığın diskin aşınmasına ve çarpılmasına sebep olduğı ifade edilmiştir. Bu durumda soketlerin aşınması hızlanır. Çünkü kuru kesme sırasında ortaya çıkan parçacıklar, soket yüzeylerinin abrasiv olarak aşınmasına sebep olur.

Bazı araştırmacılar, kesme sırasında diskte meydana gelen ısınmayı azaltmak için; soğutma suyu kullanılmadan elik gövde üzerine açılan hava kanalları vasıtasıyla diskin soğutulmasına olan etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, 65Mn5 çeliğinden yapılmış 350 mm çapındaki dairesel testere üzerinde yapılan araştırmada, hava kanalının en az 40 mm. uzunluğunda ve yatayla 60° lik bir aı yapması gerektiğı tespit edilmiştir (şekil 2.9).



**şekil 2.9.** Hava soğutma kanallı dairesel testere ile kuru kesme (Hu vd., 2004).



Ayrıca, soğutma suyuna ilave edilen katkı maddesinin, kesme işlemi sırasında soğutma, yağlama, kopan parçacıkları ortamdaki uzaklaştırma, kesilen yüzeyin temizliği ile çamur birikintilerinin dipte çökmesine yardımcı olduğu gözlenmiştir. Bu sıvı ile;

- Testerenin ömrü artarken, kesme için gerekli enerji tüketimi ile gürültünün azaldığı,
- Soğutmanın etkinliğinin katkı maddesinin oranına ve matris yapısı ile kesilen taşın özelliklerine bağlı olduğu,

görülmüştür. Soğutma suyuna ilave edilen katkı maddeleri, “anodik, katodik ve iyonik” olmak üzere üç tipe bulunur. Daha çok anodik tip katkı maddeleri tercih edilmekle birlikte bunların suya karıştırma oranı % 0.02 dolayındadır. Taşlamada ise katodik tip katkı maddeleri önerilir. Bu katkı maddelerini içeren soğutma sıvılarının en iyi malzeme taşımasını 23 °C de yaptıkları, daha yüksek sıcaklıkta ise negatif etki yaptıkları gözlenmiştir. Bu negatif etkinin ise malzeme yüzeyinde oluşan yüzey gerilmesi ile ilgili olabileceği değerlendirilmiştir (Wang vd., 2003). Bu çalışmaların sonucunda sanayide, kayaçların özelliklerine bağlı olarak; granit kesimi için anodik tip, yüzey parlatmada ise katodik tip katkı maddesi içeren soğutma sıvıları önerilmektedir. Benzer şekilde, 350 mm. çapında testere ile gri ve kırmızı granitin kuru, sulu, gres ve % 5 yağ içeren çözelti olmak üzere dört tip soğutma sıvısı ile yapılan kesme deneyleri sonucunda, spesifik enerji ile kuvvet oranlarının % 5 yağ katkılı çözelti ile kesimde düşük çıktığı tespit edilmiştir (Xu ve Li, 2003).

## **2.6. Kesici Disklerde Kesme Mekanizması**

### **2.6.1. Kesici Diske Etki Eden Kuvvetler**

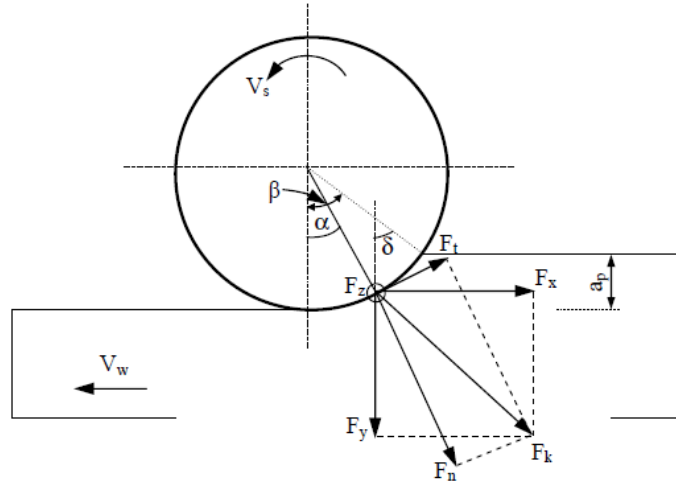
Doğal taşların kesilmesi sırasında meydana gelen normal ve teğetsel kuvvetler, bu güne kadar teorik ve deneysel açıdan incelenmiş olup; sonuçta kayaç kesme derinliğinin artması ile normal kuvvetin arttığı, kesme derinliği ile kesme hızının artması sonucunda normal ve teğetsel kuvvetlerin arttığı, çevresel hızdaki artışın kesme kuvvetlerini bir miktar düşürdüğü, normal kuvvetlerin teğetsel kuvvetlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tönshoff vd., 1994). Doğal taşların kesilmesinde çevresel hız, kesme derinliği ve soğutma sıvıları önemli kesme parametreleridir (Aslantaş vd., 2009). Kesme derinliğindeki artışın sürtünmeye bağlı kuvveti artırdığı ve bunun da spesifik enerji değerini artırdığı tespit edilmiştir (Xu, 1999). Kesme kuvveti, takım aşınması, kesme

bölgesi sıcaklığı ve yüzey düzgünlüğü ile doğrudan ilgili olduğu için önemli bir parametre olup; büyük ölçüde kesme kalınlığına ve ilerleme hızına bağlıdır (Turchetta, 2009; Turchetta, 2010). Tek noktalı ve tepe açısı 120° olan konik uçlu kesici takım ile yapılan sulu ve kuru mermer kesimi sırasında; sulu kesmede kesme kuvvetlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Wang ve Clausen, 2002). Benzer olarak asfaltın kuru ve sulu olarak kesilmesinde, kuru kesme sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu ve çevresel hızın kesme kuvveti üzerinde etkisinin düşük olduğu görülmüştür (Wei vd., 2003). Kesme sırasında spesifik enerji açısından en uygun kesme sıvısının suda çözölen yağ olduğu görölmüştür (Xu ve Yu, 2005).

Doğal taşın blok kesilmesi sırasında tabaka yönünün spesifik enerjiye olan etkisi incelendiğinde; tabakaya dik yöndeki spesifik enerjinin tabakaya paralel duruma göre fazla olduğu tespit edilmiştir (Büyüksağış ve Göktan, 2005). Çelik fiber ile takviye edilmiş betonların kesilmesi sırasında kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin arttığı ve Cu/Sn –Co soket matrisinin beton kesme için uygun olmadığı görölmüştür (Wang ve Clausen, 2003). Daha sert ve akma gerilimi daha yüksek olan elmaslı soketlerin daha az enerji ve kuvvetlere maruz kaldığı, daha sert ve mukavemeti yüksek doğal taşların spesifik enerjilerinin ise yumuşak taşlara göre düşük olduğu tespit edilmiştir (Ersoy ve Atıcı, 2004; Atıcı, 2005). İki farklı granitin kesilmesi sırasında kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetleri ile spesifik enerjinin arttığı, çevresel hızın artışı ile normal ve teğetsel kuvvetlerin düştüğü görölmüştür (Hwang vd., 2005). Kesme kuvveti büyük ölçüde kesme kalınlığına ve ilerleme hızına bağlı olup; takım aşınması, kesme sıcaklığı ve yüzey düzgünlüğü ile doğrudan ilgili olduğu için önemli bir parametredir (Turchetta, 2009; Turchetta, 2010). Kesilen doğal taşın özellikleri ile kesme parametreleri, kesme prosesini etkileyen önemli unsurlardır (Wang vd., 2002; Wang vd., 2003).

Doğal taşların soketli kesici diskler kullanılarak yapılan kesme işlemi sırasında disk üzerine değişik kuvvetler etki etmektedir. Etki eden bu kuvvetler, soketler ile beraber diski zorlamaktadır. Ancak kesme işleminin aşağı ve yukarı yönlü olma durumuna bağlı olarak diske etki eden kuvvetler de değişmektedir (Tönshoff vd., 1993; Büyüksağış, 1998; Uzun, 2009).





**Şekil 2.11.** Yukarı yönlü kesme işleminde kesici diskte meydana gelen kuvvetler.

Yukarı yönlü kesme durumunda meydana gelen normal ve teğetsel kuvvet bileşenleri,

$$F_n = F_y \sin \alpha + F_x \cos \alpha \quad (2.9)$$

$$F_t = F_x \cos \alpha - F_y \sin \alpha \quad (2.10)$$

dir. Kesici diskin kavrama açısı ( $\beta$ ) ve normal kuvvetin etki açısı ( $\alpha$ ) ise ;

$$\beta = \arccos\left(1 - \frac{2a_p}{D}\right) \quad (2.11)$$

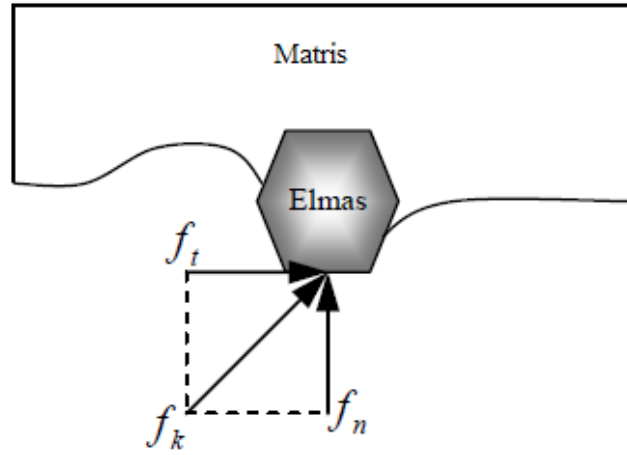
$$\alpha = w\beta \quad (2.12)$$

bağıntıları ile ifade edilir. Burada, normal kuvvetin etki açısına ait  $w$  faktörünün Tobias tarafından kayalar için 0,7 olarak alınması önerilmiştir. 2.11 nolu bağıntıda  $a_p$  kesme derinliğini ifade etmektedir. Aşağı ve yukarı yönlü kesme işlemlerinde teğetsel kuvvetlerin, normal kuvvetlere oranı sürtünme katsayısını ifade eder.

$$F_t = \mu \cdot F_n \quad (2.13)$$

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (2.14)$$

Yukarıdaki bağıntıda  $\mu$ - sürtünme katsayısıdır. Kesme işlemi sırasında soketler değişik kuvvetler tarafından zorlanmaktadır. Soketlerdeki asıl kesme işlevini sokete katılan elmas taneleri yapmaktadır. Bu sebeple, kesme işlemi sırasında bir elmas taneciğine etki eden kuvvetlerin bilinmesi, soketin tasarımı ve mikroyapı optimizasyonu açısından son derece önemlidir (Li vd., 2001).



Şekil 2.12. Bir elmas taneciği üzerine etki eden kuvvetler (Ucun, 2009).

Eğer kesilen doğal taş kalın değil ise;  $F_n \cong F_y$ ,  $F_t \cong F_x$  olarak kabul edilir. Bu durumda bir kesici disk üzerine etki eden kuvvetlere ait bağıntı

$$F_n^2 + F_t^2 = F_x^2 + F_y^2 \quad (2.15)$$

olarak yazılabilir. Kesici disk üzerine etki eden teğetsel kuvvet bağıntısı (Dai vd., 2004; Xu, 2001),

$$F_t = \frac{P}{V_s} \quad (2.16)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada, P-güç tüketimi,  $V_s$  ise çevresel hızdır. Normal kuvvet ise,

$$F_n = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 - F_t^2} \quad (2.17)$$

dir. Kesici diske etki eden normal ve teğetsel kuvvetlerden hareketle, bir elmas taneciği üzerine etki eden normal ve teğetsel kuvvet bileşenleri Şekil 2.12 'de verilmiştir (Zhang vd., 2008; Yu vd., 2006).

$$f_n = \frac{F_n}{C_a * L_c * b} = \frac{F_n}{A_n} \quad (2.18)$$

$$f_t = \frac{F_t}{C_a * L_c * b} = \frac{F_t}{A_n} \quad (2.19)$$

bağıntıları ile bir elmas taneciğine etki eden normal ve teğetsel kuvvet bileşenleri hesaplanır. Her iki bağıntıda,  $A_n$  –temas bölgesindeki elmas tanecik sayısı, b- soket genişliği ve  $L_c$ –kesme bölgesine ait temas uzunluğudur (Ucun, 2009).

$$L_c = \sqrt{(a_p * D)} = \frac{\pi * D * \alpha}{360} \quad (2.20)$$

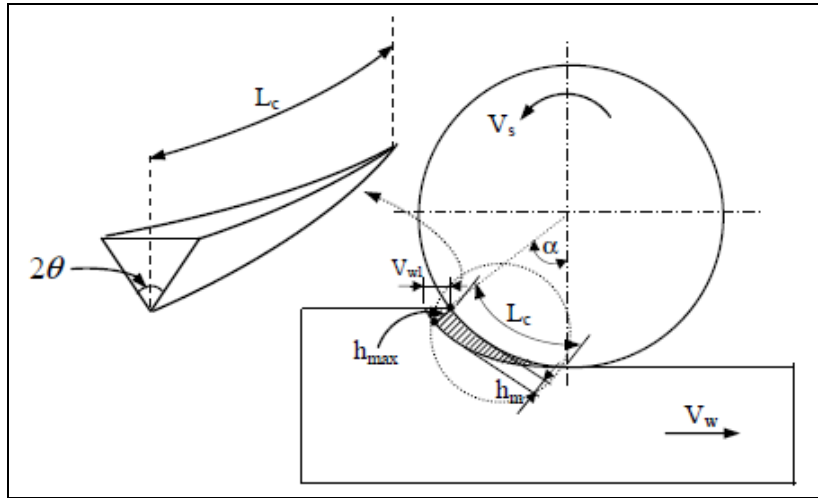
Bağıntıda,  $a_p$  -kesme derinliğidir. Kesici diskin alın yüzeyi üzerinde birim alana düşen aktif tanecik sayısı ise (Li ve Xu, 2001),

$$C_a = \frac{C \cdot \eta}{(L + L_k) \cdot b} \quad (2.21)$$

olup; bağıntıda  $C$ -her bir soketteki etkili tanecik sayısı,  $\eta$ -aktif tanecik sayısının etkili tanecik sayısına oranı,  $L$ -soket uzunluğu ve  $L_k$  –soketler arasındaki boşlukları ifade eder. Sokette aktif tanecik sayısı ile etkili tanecik sayıları birbirinden farklıdır. Bu sebeple soketteki tanecik sayıları yukarıdaki bağıntı ile veya mikroskop yardımıyla tespit edilebilir. Ayrıca, elmas tanecik yüksekliği, taneciğin performansının belirlenmesine ve ortaya çıkan talaş kalınlığına önemli etki yapmaktadır (Dai vd., 2004; Shen vd., 2006; Xu ve Huang, 2004). Elmas taneciğinin birim ilerleme başına düşen maksimum talaş kalınlığı;

$$h_{\max} = \sqrt{\frac{3}{C_a \cdot \tan \theta} \left( \frac{V_w}{V_s} \right) \sqrt{\frac{a_p}{D}}} \quad (2.22)$$

bağıntısı ile ifade edilir.



Şekil 2.13. Kesme sırasında birim ilerlemeye karşılık gelen talaş kalınlığı.

Ortalama talaş kalınlığı ise,

$$h_m = \frac{a_p \cdot 360}{\pi \cdot a \cdot D} \quad (2.23)$$

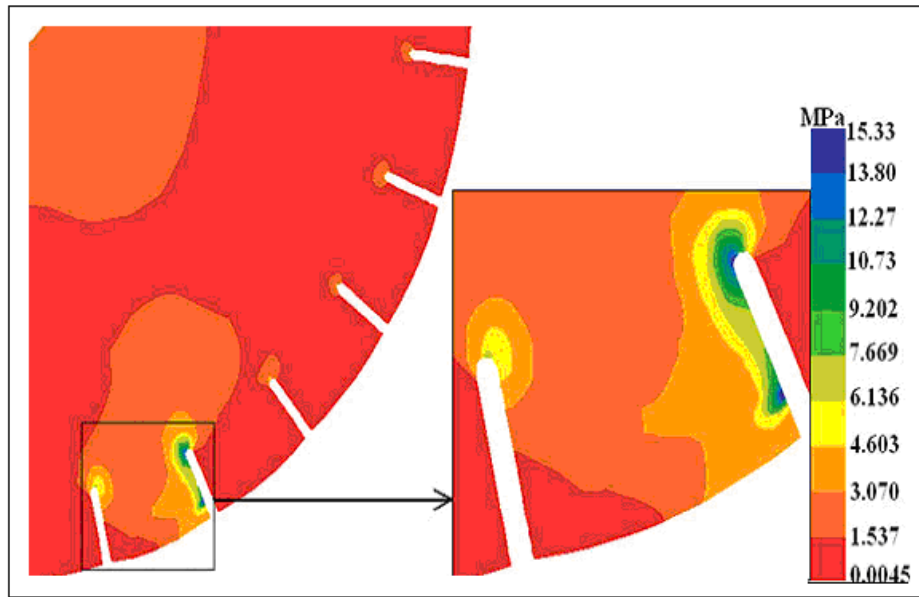
dır.  $a_p/D \leq 0,2$  olması halinde, ortalama talaş kalınlığı,

$$h_m = V_{wl} \sqrt{\frac{a_p}{D}} \quad (2.24)$$

olarak yazılabilir. Bu bağıntıda,  $V_{wl}$ –bir sokete (dişe) karşılık gelen ilerleme miktarı olup;

$$V_{wl} = \frac{V_w}{V_s \cdot n} \quad \text{dir.} \quad (2.25)$$

olarak yazılır. Benzer şekilde bir elmas tanesinin kaldırdığı talaş miktarı ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır (Konstanty, 2002). Ayrıca, mermer kesme testerelerinde oluşan kesme kuvvetinin bulunmasında bulanık mantık yönteminden de yararlanılır (Yalçın vd., 2007). Sonlu elemanlar metoduna göre yapılan araştırmalarda, mermer kesme sırasında meydana gelen gerilmelerin önemli ölçüde kaynak yeri ile diş kökü bölgesinde meydana geldiği görülmüştür. Kesme derinliği arttıkça sokete ve kaynak bölgesine etki eden kuvvet artar ve kaynak bölgesinde gerilme yığılması meydana gelir. Kesilen malzemenin homojen yapıda olmaması ve bu gerilme yığılmaları, soketlerin kaynak yerlerinden ani olarak çatlamasına ve kırılmasına sebep olur (Ucun vd., 2008) (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Kesme işlemi sırasında kesici diskteki gerilme dağılımı (Ucun vd., 2008).

## 2.6.2. Kesici Diskin Spesifik Enerjisi

Spesifik enerji, kesme derinliği, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme modu (aşağı veya yukarı yönde kesme), soket özelliği, kesilen kayanın özelliği v.b özelliklerden etkilenir. Kesici diskin spesifik enerjisi, kesme performansı açısından önemli olup; spesifik enerji (SE) tanım olarak birim zamanda birim hacmi kesmek için gerekli enerji miktarı olarak

ifade edilir (Yu vd., 2004; Li vd., 2006; Yu vd., 2008). Farklı doğal taşlar üzerinde aşağı ve yukarı yönlü kesme yöntemi kullanılarak yapılan kesme işleminde, spesifik enerjinin artması ile spesifik aşınma oranının lineer olarak arttığı tespit edilmiştir (Büyüksağış, 2009). Spesifik enerji (SE),

$$SE = \frac{P}{a_p \cdot V_w \cdot b} = \frac{F_t \cdot V_s}{a_p \cdot V_w \cdot b} \quad (2.26)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıdan yararlanılarak,

$$SE = \frac{P \cdot t}{Q_w} \quad (2.27)$$

olarak yazılır. Bağıntıda,  $Q_w$  –birim zamanda kesilen doğal taş hacmidir. Farklı tip granit taşların kesilmesi sırasında sürtünmenin artması ile birlikte enerji tüketiminin arttığı tespit edilmiştir (Xu, 1999; Dai vd., 2004). Spesifik enerji ile ilgili bir başka tanımlama ise, toplam harcanan gücün kaldırılan malzeme hacmine bölünmesi ile bulunur. Uygulamada bu oranın 3,53-6,68 J/mm<sup>3</sup> arasında olduğu görülür (Yılmaz ve Gökten, 2008).

## 2.7. Elmas Taneciklerin Kaplanması

Doğal taşların elmaslı testereler ile yapılan kesme işleminde, doğal taş ile sokette bulunan elmas taneleri arasında meydana gelen sürtünme nedeniyle matriste bulunan elmas tanecikleri aşınmakta ve daha sonra kırılıp dökülmektedir. Sokette bulunan elmas tanelerinin bu şekilde kolayca aşınıp dökülmesini geciktirmek ve soketteki aşınmayı azaltmak için CVD ve PVD gibi yöntemlerle elmas tanecikleri kaplanır. Yapılan kaplama işlemi, elmasın matriste Fe v.b elementler tarafından hasar görmesini düşürürken; elmas tanelerinin matris içerisindeki yapışma mukavemeti ile sokete etkileyen ısı ve mekanik darbelere karşı dayanımını arttırmaktadır (Sung vd., 2007). Bu amaçla elmasa yapılan Ti ve Mo kaplamanın, soketin basma mukavemetini arttırdığı tespit edilmiştir (Liu ve Li, 2003). Yapılan çalışma ile Ti kaplanmış elmas taneciklerinin çalışma sırasındaki davranışı incelenmiş olup; sonuçta bu kaplamanın hiç kaplama yapılmamış elmas taneciklerine göre mukavemeti % 20 artırdığı, buna karşın elmas tanecik dökülmesini % 40 oranında düşürdüğü görülmüştür (Wang vd., 2002). Ayrıca kaplamalı ve kaplamasız elmas soketleri üzerine yapılan çalışmada, kaplanmış elmas soketlerin daha yüksek kuvvetlere dayandığı ve matriste daha iyi tutunduğu tespit edilmiştir (Xu ve Huang, 2004). Bir diğer çalışmada ise elmas tanecik üzerine yapılan Ti-Cr kaplamanın aşınmaya olan etkisi incelenmiş olup;



sonuçta aşınmanın belli oranda azalmasına sebebiyet verdiği tespit edilmiştir (Xu ve Yu, 2005). Elmas tanelerinin matrise daha iyi tutunmasını sağlamak ve kesme performansını arttırmak için yüzeyine Ti ve Cr gibi metallerle kaplamak gerekir (Sung, 1999).

## **2.8. Hurda Soketlerde Geri Dönüşüm**

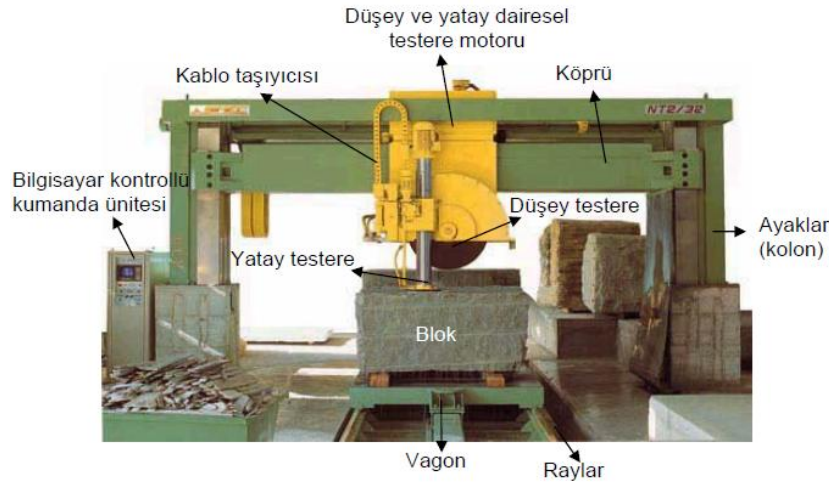
Günümüzde hurda soketlerden elmas tanelerinin ayrılabilmesi için asit çözeltisine batırma yöntemi kullanılır. Yaklaşık üç saat süren bu işlemde hurda soketler önce 300 ml.  $\text{HNO}_3$  + 100 ml.  $\text{HCl}$  çözeltisine konur. Belli bir süre bekletildikten sonra elmas taneciklerinin filtre edilmesi ve yıkanması yapılır. Elmas harici malzemelerin çözünmesi için tekrar içinde 50 ml.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + 16 gr.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  bulunan çözeltiye daldırılır. Bu işlem Co, Si ve WC 'ün çözünmesi için iyi bir yöntemdir. Daha sonra yıkama, kurutma ve standart elekler kullanmak suretiyle ayrıştırma işlemi tamamlanır. Yapılan deney sonuçları, soketlere harcanan elmasların yaklaşık % 8.8'nin hurda soketlerde kaldığını göstermektedir. Ayrıca ayrıştırma sırasında bir miktar elmas da kaybolabilir (Skury vd., 2004).

### 3. DOĞAL TAŞ ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MAKİNELER

Doğal taşlar, ocaktan çıkarma aşamasından itibaren bitmiş ürün haline gelinceye kadar endüstride bir dizi işlemde geçmektedir. Önceleri insan gücüne ve el takımlarına dayalı olarak yapılan bu işlem, günümüzde her geçen gün hızla gelişen otomatik makineler yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

#### 3.1. Dairesel Testereli Blok Kesme Makinesi

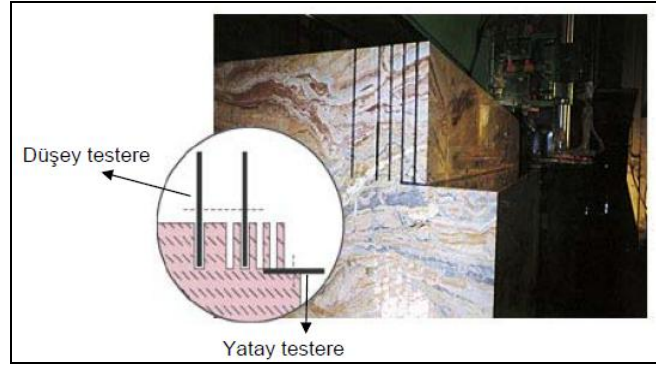
Bu makineler için sıkça kullanılan S/T tanımı; streeping (dilimleme) ve trimming (ayırılma) ifadelerinden gelmektedir. Blok ve molozlardan plaka üretmek üzere endüstride iki ve dört sütunlu başta olmak üzere farklı tiplerde blok kesme makineleri kullanılır. Ocaklardan çıkarılan büyük taş bloklar, bu makinalarda dilimlenmek üzere, önce fabrikalara taşınır. Daha sonra blok halindeki taşlar, istenilen kalınlık ve ölçülerde dilimlenerek bloktan ayrılır. Bir dairesel testereli blok kesme makinesi, Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Dairesel testereli blok kesme makinesi.

Dairesel testereli blok kesme makineleri, genel olarak üzerinde Ø 900-1800 mm çapında dikey dairesel testere ile Ø 350-600 mm çapında yatay dairesel testere olan ve bloklardan plaka üretimi gerçekleştiren makinelerdir. Bu makinelerde dikey testere, bloğun levhalar halinde dilimlere ayrılmasında; yatay testere ise dilimlere ayrılmış levhaların alt kenarlarının kesilerek bloktan tamamen ayrılmasında kullanılır. Testere üzerinde tüm işlemler bilgisayar kontrollü olarak gerçekleştirilmekte olup; günümüzde beş eksenli

kesim yapabilen dairesel testereli blok kesme makineleri geliştirilmiştir. Blok kesme makinelerine düşey olarak bir adet disk bağlanabildiği gibi fazla sayıdaki plakayı bir kesimde çıkarmak için çok sayıda elmaslı diskler yan yana bağlanabilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Blok kesme makinesi ile doğal taş bloğunun kesilmesi.

### 3.2. Baş Kesme Makinesi

Bu makineler, genellikle istenilen kalınlıklarda dilimlenmiş olan levhaların baş kısımlarının gönyeye alınarak düzeltilmesinde veya uygun ölçülere getirilmesinde kullanılmaktadır. Düşey konumda çalışan ve genellikle bir hidrolik ünite tarafından ileri-geri hareketi sağlanan bu makinelerde çapları 350-450 mm arası olan elmas soketli dairesel testereleler kullanılarak kesim işlemi yapılır. Testere, bir metal taşıyıcı gövde üzerine monte edilmiş olup; levhaların yatay konumda kolayca hareket edebilmeleri için gövde üzerinde, ya taşıyıcı tamburlar ya da plastik bant bulunmaktadır. Dairesel testereli kesim makinelerinden bu makineye levha besleme elle veya hidrolik olarak hareket edebilen vakumlu aparatlarla yapılmaktadır. Bu makinelerin şantiyelerde, ebatlama ve açılı- kesim yapmak üzere tasarlanmış küçük tipleri de bulunmaktadır. Endüstride kullanılan bir baş kesme makinesi Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3. Baş kesme makinesi.

### 3.3. Yan Kesme Makinesi

Genellikle bu makineler, levhaların genişliklerinin ayarlanmasında, denizlik-döner basamak gibi malzemelerin verilen ölçülerde kesilmesinde, tarama-pah kırma-kanal açma gibi işlemlerin yapılmasında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Makine üzerinde 450-600 mm. çapında elmas soketli dairesel testere bulunur. Makine üzerinde yukarı-aşağı ve ileri-geri hareket, mekanik olarak dairesel testerenin alt kısmında bulunan dökümden yapılmış, elle sağa-sola hareket ettirilebilen bir tabla ile sağlanır. Bu tezgâh raylar üzerine oturmakta olup, raylar da genelde betondan yapılmış ayaklar üzerine monte edilmiştir. Tezgah yüzeyi üzerinde dairesel testereye paralel olacak şekilde 1-1,5 cm derinliğinde kanallar mevcut olup; dairesel testere kesme işlemi sırasında bu kanallardan geçmektedir. Kesim işlemi sırasında levha yaslama çubuklarına dayanmakta ve dairesel testerenin istenilen genişliğe uygun ölçüye getirilmesinden sonra sisteme su verilmektedir. Tezgâhın altında bulunan hareket kolunun döndürülmesi ile tezgâh ilerletilerek kesim işlemi tamamlanmaktadır. Aşağıda son zamanlarda tezgah yerine şase üzerine oturtulmuş bantların döndürülmesi ile hareket sağlanabilen yan kesme makinesi görülmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Yan Kesme Makinesi.

### 3.4. Katrak Makinesi

Katraklar, diğer kesme makinelerinden farklı olarak kesme işlemini belirli sayıda kesici lamanın yan yana bağlanması ve ileri geri hareketi ile gerçekleştirmektedir. Aynı anda 10 ile 130 adet arasında kesici lama katraklara bağlanarak kesim yapılabilir. Kesme işlemini lamaların kenarlarına kaynatılmış olan elmaslı soketler yapmaktadır. Kaynak işlemi sırasında lama ortasında kenarlara nazaran soketler daha sıkça kaynatılır. Çünkü bu bölgede soketler daha fazla zorlanmaktadır. Belirli bir motordan hareket alan volanın

ucuna bağlanmış eksantrik bir kolun sağladığı ileri-geri hareket sonucunda kesme işlemi gerçekleştirilir. Diğer demir testerelerinde olduğu gibi katrak lamaları da, kesim sırasında esnememesi için gerdirilmelidir. Katraklar, ileri-geri hareketin yanı sıra makine üzerinde bulunan bir mekanizma yardımıyla belirli bir hızla aşağı inerek kesme işlemini yapar. Doğal taş endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir katrak makinesi Şekil 3.5’de görülmektedir.

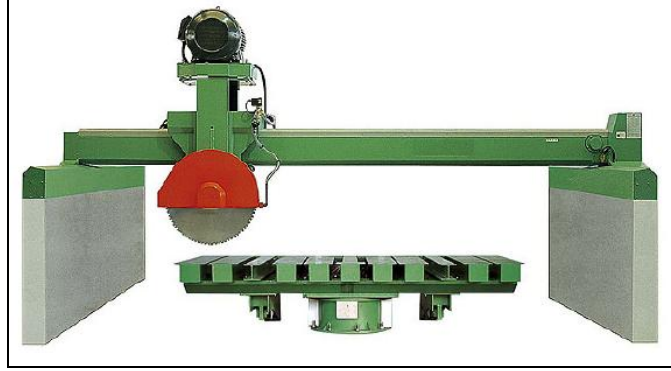


Şekil 3.5. Katrak makinesi.

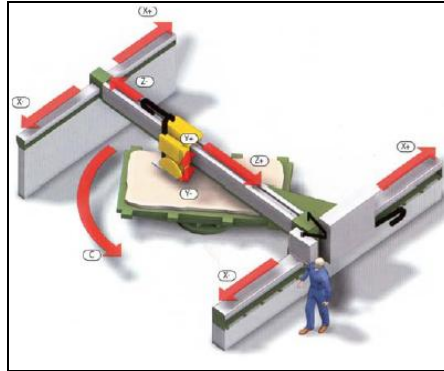
### 3.5. Köprü Kesme Makinesi

Doğal taş işleme tesislerinde, genellikle katraklardan sonra gelen makinelerdir. Bloklardan elde edilmiş, kenarları düzgün şekle sahip olmayan levhaların kenarlarının düzeltilmesinde ve istenilen boyuta getirilmesinde kullanılmaktadır. Bu makinelerde çapı 650-1600 mm olan düşey bir dairesel testere bulunmaktadır ve buna ait motor grubuyla birlikte bir köprü üzerine monte edilmiştir. Bu köprü ise betondan yapılmış perde kolonlar üzerinde bulunan kızak ve dişli grubu sayesinde ileri-geri hareket etmektedir. Dairesel testere ise köprü üzerinde sağa-sola hareket edebilmektedir. Makinenin alt kısmında hidrolik olarak indirilip kaldırılabilen bir tezgâh mevcuttur. Tezgâhın ön-yan ve bunların arasında bulunan üç adet dayama kolları bulunmaktadır. Tezgâh 360° döndürülerek istenilen konuma getirildikten sonra kollar vasıtasıyla sıkıştırılarak sabitlenmekte ve gerekli durumlarda 90° kaldırılıp yatırılabilir. Levhalar katraktan özel tutturma aparatları yardımıyla alınarak doğrudan veya taşıma arabaları kullanılarak tezgâha kadar getirilip yerleştirilmekte, daha sonra ise tezgâh yatay konuma getirilmekte ve bir lazer tabancası yardımıyla kesilecek doğrultu levha üzerinde belirlenmektedir. Sisteme su verildikten sonra dairesel testere döndürülmekte ve kesim levha boyunca yapılmaktadır. Bir kenar kesildikten sonra köprü ikinci kenara kadar ötelenerek tekrar doğrultu

belirlendikten sonra kesim yapılmaktadır. Daha sonra tezgâh  $90^\circ$  döndürülerek aynı işlemler tekrarlanarak levhaların dört kenarının da düzeltilmesi sağlanmaktadır. Bu makinelerle levhaların belirli genişliklerde boyutlandırılması da mümkün olmaktadır. Köprü kesme makinesinin genel görünümü ile hareketleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.6. Köprü kesme makinesi.



Şekil 3.7. Köprü kesme makinesinin hareketleri.

### 3.6. Düşey ve Yatay Yarma Makineleri

Yarma makineleri, genellikle üretimi arttırmak amacıyla kullanılır. Dairesel testereli kesim makinelerinde kalınlığı 10 mm. olan levha üretmek oldukça zaman kaybettirir. Fakat, dairesel testereli kesim makinelerinde, genişlikleri 300-600 mm, kalınlıkları 30- 150 mm olan ve kütük olarak adlandırılan parçalar üretilerek, düşey veya yatay yarma makinelerinde kesilerek 11 mm kalınlığında levhaların elde edilmesi hem zaman kazandırıcı hem de üretim artırıcı bir yöntem olmaktadır. Düşey yarma makinelerinde 725 mm çapında 3-4 adet küçük dairesel testere ile 900 mm çapında 3-4 adet büyük dairesel testere bulunmakta olup; kesilecek olan kütük kademeli bir şekilde

levhalara ayrılmaktadır. Yatay yarma makinelerinde ise 600 mm çapında 4 adet dairesel testere bulunmaktadır. İkişerli olarak eksenleri birbirinden sapmış bir şekilde sıralanmışlardır. Kalınlığı 28-30 mm olan levha yatay olarak beslenmekte ve kademeli kesim sonucunda iki adet yaklaşık 11 mm kalınlığında levha elde edilmektedir. Doğal taş piyasasında en fazla 42 cm genişliğinde levha kesenler yaygın olmakla beraber, ihracat taleplerini karşılayabilmek için 63 cm. gibi daha geniş levhaları kesebilenler de tercih edilmektedir. Şekil 3.8’de, yatay ve Şekil 3.9’da ise düşey yarma makinesi görülmektedir.



Şekil 3.8 Yatay yarma makinesi.



Şekil 3.9. Düşey yarma makinesi.

### 3.7. Monolama Makinesi

Bu makineler de katraklar gibi üzerinde bulunan lamalar yardımıyla kesim yapar. Daha çok büyük blokların küçük bloklara ayrılmasında veya yüzeyleri bozuk olan blokların bozuk olan yüzeylerini düzeltmek amacıyla kullanılır. Ancak kesme sırasında tek tip elmas soketli lamalar kullanılır. Makine üzerinde bulunan kesme mekanizması katrağa benzemekle birlikte lamalar özel bir dişli sistemi yardımı ile ileri-geri hareketi yapmak suretiyle kesme işlemi gerçekleştirilir. Kesme işlemi yapan lamaların aşağı-yukarı hareketi motor ve dişli mekanizması ile otomatik olarak sağlanmaktadır. Monolama makineleri,



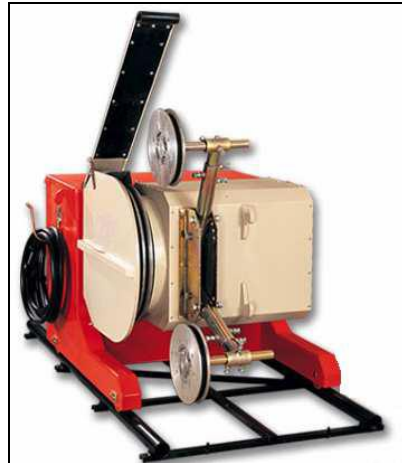
lamaların yanı sıra makinenin çalışma prensibine bağılı olarak elmas tel kullanılmasına imkân vermektedir (Ucun, 2009) (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Monolama makinesi.

### 3.8. Elmas Boncuklu Tel ile Kesme Makinesi

Mermer, granit, traverten gibi doğal taşların ocaklardan bloklar halinde çıkarılmasında elmas boncuklu tel ile kesme makineleri kullanılmaktadır. Bu makinelerde kesme işlemi, çelik tel üzerinde belli aralıklarla sıralanmış elmas boncuklar tarafından gerçekleştirilir. Bu makine üzerinde motor, volan, gergi makaraları ve hareket motoru bulunmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Elmas tel ile kesme makinesi.

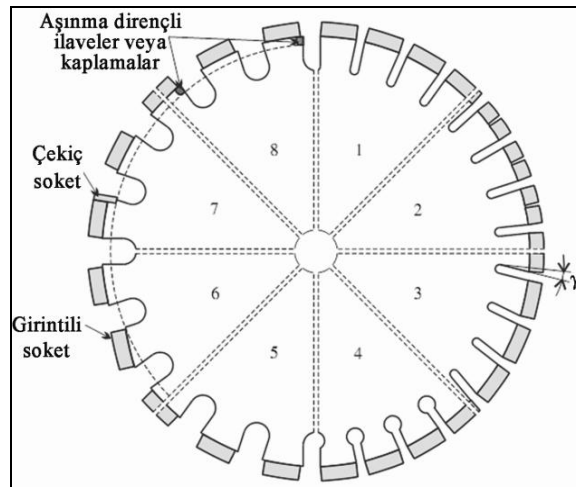


#### 4. ELMASLI KESİCİ TAKIMLARIN DİZAYNI VE BİLEŞİMİ

Günümüzde doğal taşları kesmek için kullanılan takımlar; elmas boncuklu tel, elmas soketli lama ve dairesel disk olmak üzere üç ana başlıkta toplanmaktadır. Bu kesici takımların hemen hepsinde hâlihazırda aşındırıcı olarak belli tane büyüklüğünde elmas tozları kullanılmaktadır. Elmas tozları, hazırlanan metal matris içerisine belli oranlarda katılmak suretiyle kesici takım soket üretimi yapılmaktadır. Bu sebeple, üretilen elmaslı kesici takımların dizaynı ve bileşimi, takım ömrü ve maliyeti, kalitesi, yapılan işin hassasiyeti ile işlenen yüzeyin son işlemleri büyük önem arz etmektedir.

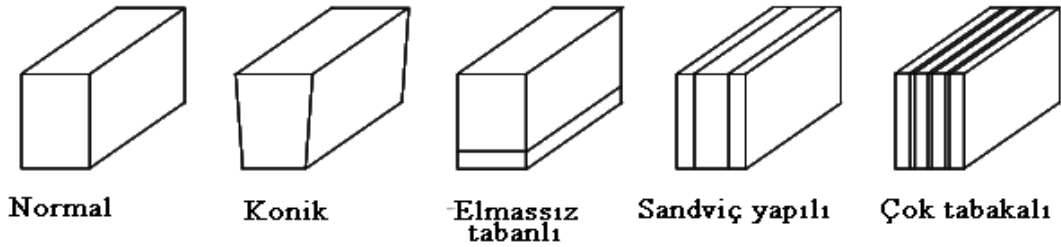
##### 4.1. Kesici Takım Dizaynının Performans Üzerine Etkisi

Elmaslı kesici takımlarda takım dizaynı, kesme işlemi yönünden büyük bir öneme sahiptir. Uygun soket geometrisinin seçimi, kesilen malzeme kalitesi, kesme işlemi sırasında meydana gelen gürültü, sokette meydana gelen aşınma ve çelik gövdenin yorulması bakımından en iyi takım performansını verir. Ayrıca kesme işlemi sırasında soğutma sıvısının kesim bölgesine akışını kolaylaştırarak abrasiv aşınma etkisini azaltır. Endüstride sıkça kullanılan kesici testere ve soket türlerinden birkaç tanesi Şekil 4.1’de görülmektedir. Sert malzemeleri kesmek için 1 (bir) nolu soketler kullanılır. 2 (iki) ve 3 (üç) nolu soketler değişik doğal taşları kesmek için dizayn edilirken 4 (dört) nolu sokette çelik gövdeye dipte yuvarlak delikler oluşturulmuştur. Bunlar kesme sırasında çelik gövdede meydana gelebilecek yorulma çatlaklarını önlemek içindir (Konstanty, 2005).

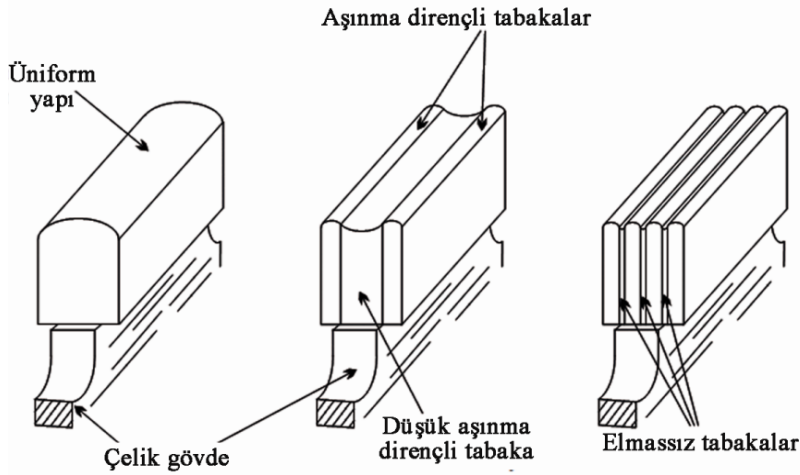


Şekil 4.1. Endüstride sıkça kullanılan kesici testere ve soket türleri.

Büyük çaplı testerelelerde yorulma nedeniyle çelik gövdede çatlak oluşmasına mani olmak için geniş kanallı 5 (beş) nolu soketler kullanılmaktadır. Çünkü geniş kanallardan talaşın akması kolay olur. Ayrıca soketlerdeki aşınmayı azaltmak için testere çevresine belli aralıklarla özel olarak hazırlanmış soketler konulur. 6 (altı) ve 7 (yedi) nolu soketler bu amaç için örnek soketlerdir. Bu tür önlemler, her bir soket üreticisi firmanın müşteri firmaya ya da kesilen doğal taşın cinsine göre kendi geliştirdiği şekilde uygulanmaktadır. Uygulamada bunların dışında belli aralıklarla yarım soket konulduğu gibi değişik çözüm yöntemlerinin kullanıldığı araştırmacının sanayi ziyaretleri sırasında tespit edilmiştir. Endüstride sıkça kullanılan soket türleri Şekil 4.2’de, soketlere ait aşınma profilleri ise Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Endüstride sıkça kullanılan kesici soket tipleri.



Şekil 4.3. Soketlerin aşınma profilleri; geleneksel soket solda, sandviç yapılı soket ortada ve çok tabakalı soket sağda.

Üniform ve basit şekilli soketler, üretimi kolay ve ucuz olduğu için yaygın olarak kullanılır. Ancak kesme işlemi sırasında kesici soketlerin ihtiyaca cevap vermemesi ya da hızla aşınması v.b problemler üretici firmaları daha farklı soket dizaynına yöneltmiştir.

Bunlardan konik biçimli soketler, taş kesme sırasında sürtünmeyi azalttığı için enerji tüketimini düşürür. Çünkü enerji girdisi doğal taş kesme işleminde önemli bir girdi maliyetidir. Elmassız tabanlı soketler ise iki temel nedenle tercih edilir. Bunlar;

- Elmassız taban nedeniyle elmas tüketiminin az olması,
- Elmaslı kısmın çelik gövdeye zor kaynak edilmesi nedeniyle elmassız taban kaynak edilebilirlik açısından bir avantaj sağlar. Lazerle kaynak işleminde bu tip soketler büyük avantaj sağlar.

Sandviç yapılı sokette ise dış ve orta tabakaların aşınma dayanımları farklıdır.

Kesme işlemi sırasında normal sokette soket yüzeyi aşınırken soket kenarları daha fazla aşındığı için soketin kesme yüzeyi yuvarlak bir hal alır. Ayrıca soketin yan yüzeyleri de hızla aşınarak soket kalınlığı çelik gövde kalınlığına kadar iner. Bu durumda, testere kesme performansını kaybettiği gibi soketler tam olarak aşınmadan testerenin yeniden soketlenmesi gerekir. Bunu önlemek için kenarları daha az, ama ortası nispeten daha fazla aşınan sandviç soketler tercih edilir. Böylelikle soket kenarlarının hızla aşınmasının önüne geçilmeye çalışılır.

Çok tabakalı soketlerde ise bir elmaslı ve bir elmassız tabaka mevcuttur. Elmassız tabaka genellikle incedir. Her iki soket türünde geleneksel soketlere göre üstün özelliklere sahiptir.

#### **4.2. Metal Matris Tozları**

Elmaslı kesici takımlarda soket üretiminde kullanılan metal matrislerin iki temel işlevi vardır. Bunlar, elması sıkıca tutmak ve matriste aşınan/düşen elmas tane kaybı ile orantılı olarak istenilen düzeyde yeni elmas tanelerinin çıkması için matrisin yeteri kadar aşınmasıdır. Burada ifade edilen husus, matrisin elmas ya da cBN tanelerini mümkün olduğu kadar uzun süre tutması istenir. Matrisin aşırı aşınması sonucunda matris yüzeyinden elmas tanelerinin fazla miktarda çıkması ve yeterince kesme yapmadan zamanından önce matristen kopması istenilmez. Bunun için matrisin aşınma direnci ile kesilecek malzemenin aşınabilirlik özelliği uyumlu olacak şekilde matris tozu seçilmelidir. Çok yumuşak bir matris, elmastan daha hızlı aşındığı için elmasın kaybolma ihtimali vardır. Diğer yandan az aşınan matris ise elmasın kırılıp dökülmesinden daha yavaş aşınacağı için kesme işlevini yerine getiremez. Sert ve yoğun mineral dokulu bir doğal taşın kesilmesinde matristeki aşınma yavaş olur. Buna karşılık yumuşak ve kumlu doğal

taşın kesilmesi sırasında kum tanecikleri aşındırıcı işlev gördüğünden matris aşınması hızlı olur. Seçilen matris malzemesinden kesilen malzeme türüne bağlı olarak elmas tanelerini istenilen düzeyde tutması istenir. Ancak matrisin akma sınırı aşılsa elmas taneleri ile matris arasındaki bağlar kırılacağı için taneler düşer. Bu ilişkiyi en üst düzeye getiren teknikler, metal-elmas ara yüzeyinde atomik bağlanma, mekanik dayanıklılık ve aşınma hızının kontrolünü kapsar. Bu aynı zamanda elmas tanelerinin şekli ile de ilgilidir (Konstanty, 1991; Konstanty, 2005).

Elmas tanelerinin matris içerisinde daha iyi tutunmalarını sağlamak amacıyla bazı karbür oluşturu elementlerin matrise katılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Burada amaç, elmas taneciklerinin çevresini ıslatarak sarmak ve matriste daha iyi tutunmasını sağlamaktır. Elmas tanelerinin yüzeyinde karbürler çekirdeklenir ve bir ara yüzey tabakası meydana gelir. Bu tabakanın çok kalın olması istenmez. Eğer elmas tanelerinin çevresinde kalın karbür tabakaları oluşursa bu durumda elmas taneleri körelir. Ayrıca karbür yapıcı elementler matrisin sünekliğini de düşürür.

Matris malzemesinin aşınma direncini arttırmak için içerisine  $Cr_3C_2$  ve  $B_4C$  ilavesi yapıldığında bu katkının kesici takımın işleme özelliklerini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür (Bolataşvili, 2008). Yapılan araştırmalar matriste bulunan elmas tanelerinin % 30'nun kesme işlevi görmeden düştüğünü, % 3,3'nün ise kırıldığını gösteriyor. Bu sebeple elmas tanelerinin matrise kuvvetli bir şekilde tutunmasını sağlamak önemlidir (Bolataşvili vd., 2009).

Elmaslı kesici soketlerdeki elmas tanelerinin özellikleri, büyük ölçüde üretim sıcaklığına ve matrisin kimyasal bileşimine bağlıdır. 700 °C den itibaren sıcak presleme sırasında elmas tanelerinin yüzeyinde grafitleşmeler (karbür tabakaları) meydana gelir. Bu karbür tabakaları, elmasın matriste tutunma dayanımını arttırırken; diğer taraftan keskin köşeli elmas yüzeylerinin körelmesine sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak takım ömrü azalmaktadır. Özellikle Co, Ni ve Fe gibi metaller yüksek derecede karbonu çözme yeteneği gösterdiğinden, elmasın yüzeyini etkileyerek kullanılmadan kaybına neden olmaktadır. Benzer amaçlarla matrise katılan diğer krom ve tungsten içerikli tozların grafit kalıplarla reaksiyona girmesi nedeniyle son zamanlarda araştırmalar metal ile kaplı elmas toz kullanımı üzerine yoğunlaşmış bulunmaktadır.

Matriste kullanılan sentetik elmaslar, 800 °C nin üzerinde dayanımını kaybetmeye başlar. Metalik kalıntılardan dolayı 1000 °C nin üzerinde bu kayıp hızlanır. Eğer metal

tozları 1100 °C civarında sıcak presleme işlemine tabi tutulacaksa, elmas tanelerinin ısı kararlılığı dikkate alınmalıdır.

#### 4.2.1. Kobalt Tozu

Elmaslı kesici takımlarda matris malzemesi olarak kullanılan kobalt, diğer malzemelere göre daha üstündür. Kobalt tozu diğerlerinden farklı olarak;

- Tane boyutu, boyut dağılımı, tane biçimi ve kimyasal saflık bakımından çeşitlilik gösterir.
- Düşük basınç ve sıcaklık altında yüksek yoğunluklu soketler üretilir.

Sıcak presleme koşullarında ise;

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

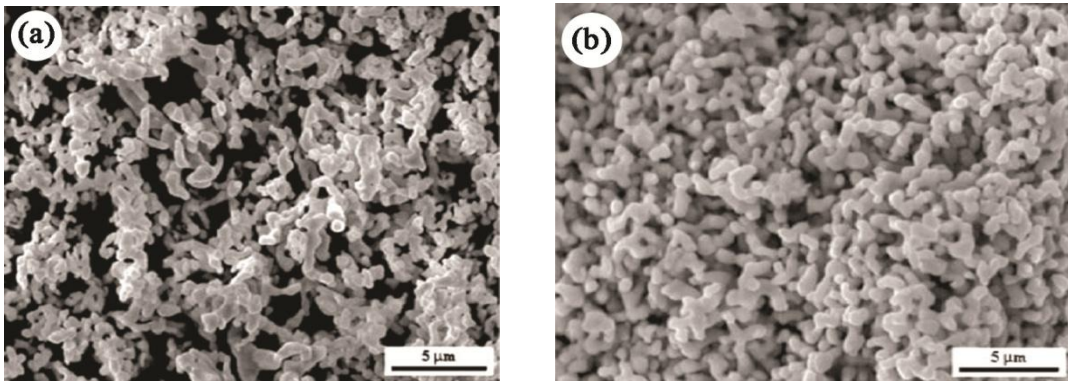
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda sıcak preslemenin, kobaltın mikroyapısını, faz bileşimini, sertliğini, mekanik dayanımını, süneklik ve aşınma direnci özelliklerini değiştirdiğini göstermektedir (Konstanty, 1997; Konstanty, 2003).

Günümüzde matriste sıkça kullanılan kobalt tozları, matris malzemesi olarak elmas ile birlikte aşınma, yapışma, sertlik ve diğer yönlerden iyi bir kombinasyon sağlar. Ancak, tek olumsuz tarafı yüksek sinterleme sıcaklığı olup; işlem sırasında elmas tanelerinin termal olarak etkilenmelerine sebep olur. Eğer kobalta hacimce % 5 Sn, Ni, Ag, W katılırsa bu durumda elmaslarda iyi bir yapışma, yüksek matris yoğunluğu ve kesme yönünden iyi bir takım ömrü elde edilir. Fakat kobaltın fiyatının yüksek olması ve sağlık açısından radyasyon v.b...gibi sorun yaratması nedeniyle alternatif olarak Fe ve bronz bazlı alaşımlara yönelmelere sebebiyet vermiştir (Oliveira vd., 2007).

Bununla birlikte kobalt tozları, uzun ömürlü takımlar üretmek için ana matris malzemesi olarak düşük basınç ve sıcaklık altında yüksek yoğunluklu soketler üretmek için kullanılır. Sıcak presleme sırasında elması çok iyi tutma özelliği sergiler. Matris tozlarının karışımı ise sıcak presleme de elde edilecek yaklaşık yoğunluğa göre yapılır. Kobalt tozları, 30-35 MPa basınç altında, 700-900 °C arasında 2-3 dakika sinterlenirse % 100'e yakın bir yoğunluğa ulaşılabilir. Tozun tane boyutu arttıkça gözenek oluşumu nedeniyle mekanik özelliklerde düşme meydana gelir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça gözenek oluşumu minimum seviyeye düşer. Uygulamada 3 µm den daha büyük Co tozları bronz tozları ile

karıştırılarak kullanılmaktadır. Ayrıca tozda bulunan oksijen, kükürt, magnezyum, kalsiyum ve sodyum gibi kalıntılar, üretim koşulları ile nihai ürünü olumsuz yönde etkilemektedir. İnce taneli Co tozlarına ait SEM görüntüleri Şekil 4.4’de görülmektedir (Konstanty, 2005).

Co tozunun pahalı ve stratejik bir malzeme olması nedeniyle bunun yerine alternatif olarak  $\text{Ni}_3\text{Al}$  tozunun matristeki performansı incelenmiş olup; sonuçta  $\text{Ni}_3\text{Al}$  matrisin sertliği, çekme mukavemeti ve uzamasının Co’a benzediği görülmüştür (Hwang vd., 2005; Xie vd., 2007).



Şekil 4.4. İnce taneli kobalt tozları (Konstanty, 2005).

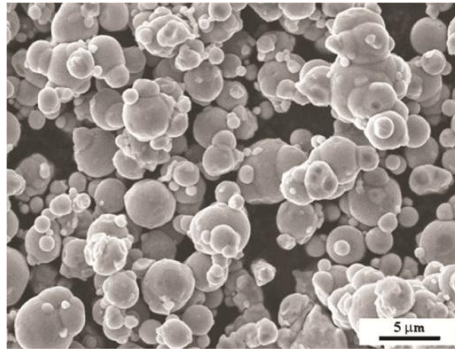
Hatta, Co yerine Ti-Ni-Co ile Ti-Ni-Al alaşımları üzerine de araştırmalar yapılmış olup; yapılan araştırmalar sonucunda Ti esaslı malzemelerin halihazırda elmaslı kesiciler için uygun matris malzemesi olmadığı ifade edilerek; Ti-Al-Ni alaşımının metal matris malzemesi olarak yüksek sertlik, bağıl yoğunluk ve aşınma direnci yönünden iyi bir uyum sağladığı tespit edilmiştir (Spriano vd., 2005; Torres vd., 2000). Matris içerisine % 1,5 oranında toprak elementlerinden katılması durumunda ise enerji maliyetinin % 16-22 azaldığı ve aşınma performansının % 12.5-15 yükseldiği tespit edilmiştir. Matrise ilave edilebilecek toprak elementleri: Be, Mg, Ca, Sr, Ba, ve Ra dur. Yapılan mikroskop incelemelerinde ise matristen kopan elmas taneciklerinin de azaldığı görülmüştür (Yu vd., 2003; Amaral vd., 2010).

#### 4.2.2. Kobalta Alternatif Tozlar

Kobaltın haricindeki tozlar, yoğunluğu arttırmak, matris aşınmasını iyileştirmek ve elması tutma özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılır. Demir, bakır, kalay, bronz alaşımları, tungsten, tungsten karbür ve nikel alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu

tozlardan matris tozu içerisine Co ile birlikte ağırlıkça % 11 Sn ilave edilmesi halinde matris sertliğini % 35 arttırdığı tespit edilmiştir ( Nitkiewicz vd., 2006).

Co, WC, Ni ve Fe gibi karbona karşı duyarlılığı (affinitesi) yüksek olan metaller, elmaslı takımlarda matris malzemesi olarak kullanılır. Fakat Cu, Sn ve bronz gibi metal tozları, karbona karşı duyarlılığı düşük olduğu için matris malzemesi olarak daha fazla kullanılır. Çünkü elmas tanecikleri bu tozlardan etkilenmez (Liao vd., 1993). Özellikle demirin yüksek sıcaklıklarda östenit fazında karbonu çözebilirliğinin yüksek olması matriste sakınca yaratmaktadır. Buna rağmen kobalta % 10 oranında demir ilave edilerek kullanılır. Demir, matrise belirgin bir şekilde süneklik kazandırır ve matrisin akma dayanımını artırır. Kullanılan ince taneli demir tozları, demir penta karbonilin termal olarak parçalanması ile elde edilir. Karbonil demir tozunun SEM fotoğrafı Şekil 4.5’de görülmektedir.

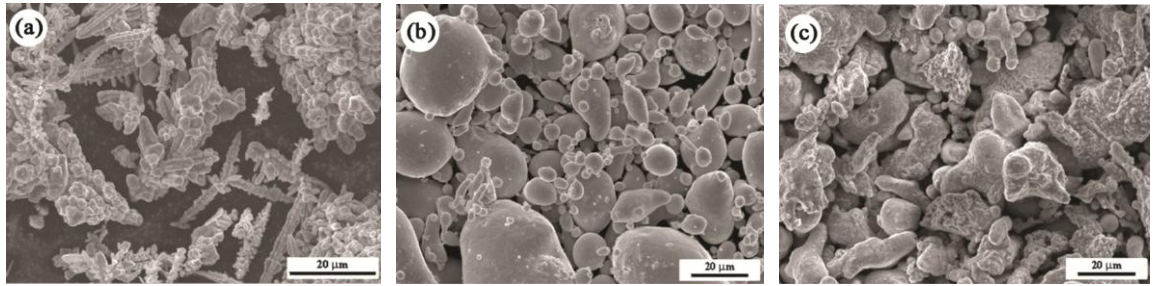


**Şekil 4.5.** Karbonil demir tozu (Fe CN, BASF)

Matriste bakır, kalay ve bronz alaşım tozlarının kullanılması halinde ise matrisin yoğunlaşma derecesi artar ve aşınma direnci düşer. Bu tip tozlarla üretilen takımlar çok düşük abrasivliğe sahip doğal taş malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Kalay bronzunun kullanılması halinde sıcak presleme sırasında matriste sıvı faz sinterlemesi meydana gelir. Oluşan bu faz, matriste dolgu işlevi görür. Ve matrisi oluşturan elemanlar arasında difüzyon alaşımlama derecesini güçlü bir şekilde etkiler. Bu etkinin kontrol edilmesi için ısıtma süresi, basınç ve sıcaklığın uygun seçilmesi gerekir. Kalay bronzu değişik oranlarda matrise ilave edilir. Her bir farklı ilave, değişik mikro yapı oluşmasına sebep olur. Şekil 4.6’da bakır, kalay ve kalay bronz tozlarının morfolojileri verilmiştir.

Genel olarak elmaslı kesici takımlarda mikro yapı dizaynı üzerine birçok çalışma yapılmış olup; bunlardan %30 Co+  $\alpha$ -bronz (% 90 Cu + % 10 Sn) kullanılarak yapılan deneyler sonucunda en iyi neticenin 730 °C de 15 dak. sinterleme süresi sonucunda elde

edildiği görülmüştür (Karagöz ve Zeren, 2001; Zeren ve Karagöz, 2007). Matris içerisinde bulunan istenilmeyen kalıntılar, matrisin hızla aşınmasına ve kesici takımın performansının önemli ölçüde düşmesine neden olur (Zeren ve Karagöz, 2006). Genelde matriste yer alan oksit filmi ve kalıntılar zayıf bir elmas-matris bağı oluşmasına sebep olur. Bu ise çatlak başlamasına sebebiyet verir. Matris, elmas parçacıklarına zarar vermeden bu kesici tanecikleri matris içinde desteklemelidir. Yapılan deneysel çalışmalar, aşınma yüzeyinin incelenmesi sonucunda kesici takımın performansı ile ilgili önemli bulgulara ulaşıldığını göstermiştir (Karagöz ve Zeren, 2001; 2002 ve Luo, 1997).



**Şekil 4.6.** Tozların morfolojisi (a) Elektrolitik bakır tozu, (b) Gaz ile atomize edilmiş kalay tozu, (c) Su ile atomize edilmiş kalay bronz (85/15)

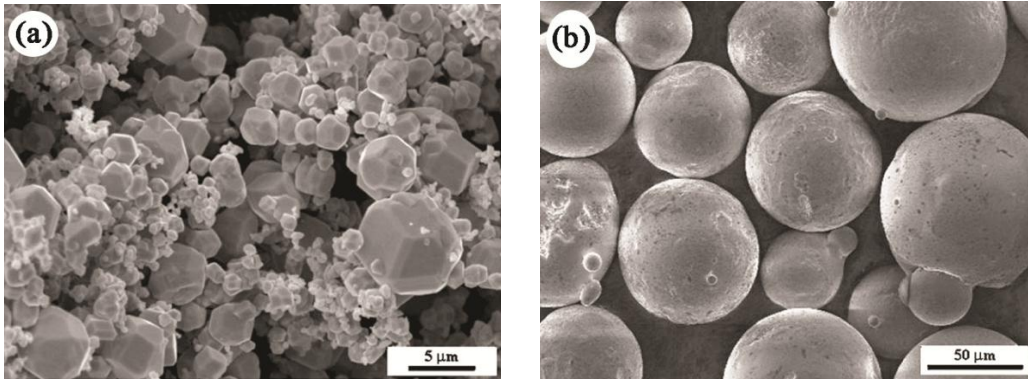
Elmasın kesme performansına olan etkisini incelemek üzere elmas tozu üzerine yapılan Ti, Mo, Cr kaplamanın kesme performansını % 30 nispetinde arttırdığı tespit edilmiştir. Ancak sinterleme parametrelerine dikkat etmek gerekiyor (Liu vd., 2003; Yu vd., 2003). İyi bağlanmış yumuşak bir matriste aşınma hızı artar, temas basıncı düşer ve takım ömrü azalır. Sert matriste ise bunun tersi bir durum meydana gelir. Burada amaç, elmas ile bağlayıcı arasındaki yapışma mukavemetini arttırmak ve bununla birlikte matrisin aşınma özelliğini ayarlamaktır. Sürtünmeyi düşürmek için ara sıra bağlayıcı matris karışımı içerisine grafit ilave edilir (Tillmann, 2000).

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. Son yıllarda düşük Co içeren matris yapısı ile Ti yada Cr kaplanmış yüksek kaliteli elmas tanelerine yönelme olmuştur (Tönshoff vd., 2002).

Sıcak presleme sırasında tungsten, elmastaki karbona duyarlı olduğundan, elmas ile tungsten ara yüzeyinde ince bir tungsten karbür tabakası oluşur. Matrisin soğuması sırasında bu tabakada bozulma meydana gelmediği gibi elmasa da zarar vermez. Bu durum



matrisin aşınma direncini arttırdığı gibi elmasın matriste güçlü bir şekilde tutunmasını sağlar. Elmaslı soket üretiminde daha çok ince taneli tungsten karbür tozları tercih edilir. Uygulamada birçok farklı tungsten karbür tozu vardır. Genellikle, 1.2-420  $\mu\text{m}$  tane boyutu aralığında tozlar kullanılır. Bu tozlar, kesici soketlerin aşınma özelliklerini istenilen düzeyde tutma amaçlıda kullanılır. Şekil 4.7 'de ince taneli WC tozu ile Ni-esaslı alaşım tozu görülmektedir.



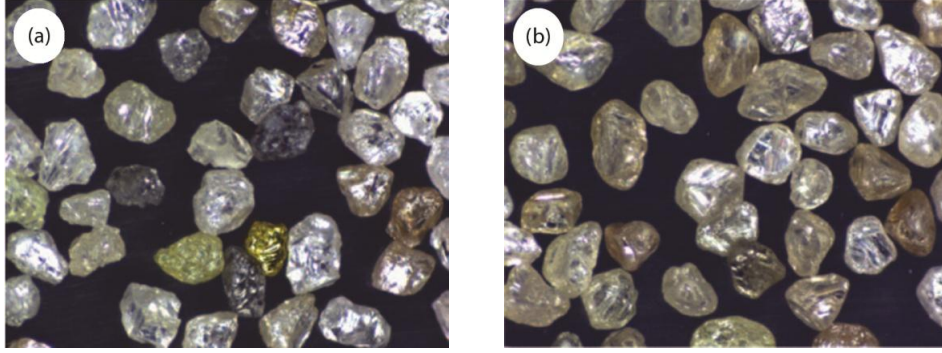
**Şekil 4.7.** (a) İnce taneli WC ve (b) Ni-esaslı alaşım tozlarının SEM görüntüleri.

Her iki toz da matrisin aşınma direncini iyileştirmek için kullanılır. Ni-esaslı alaşım tozları küresel şekilli olup; genellikle 150  $\mu\text{m}$ 'un altındaki tane boyutunda kullanılmaktadır. Nikel esaslı tozlar, matrisin aşınma direncini arttırmada tungsten karbürden daha az etkilidir. Fakat tungsten karbür takviyeli nikel esaslı kompozit tozlar ile daha ekonomik ve daha teknolojik matrisler elde edilebilir.

#### 4.3. Sentetik Elmas

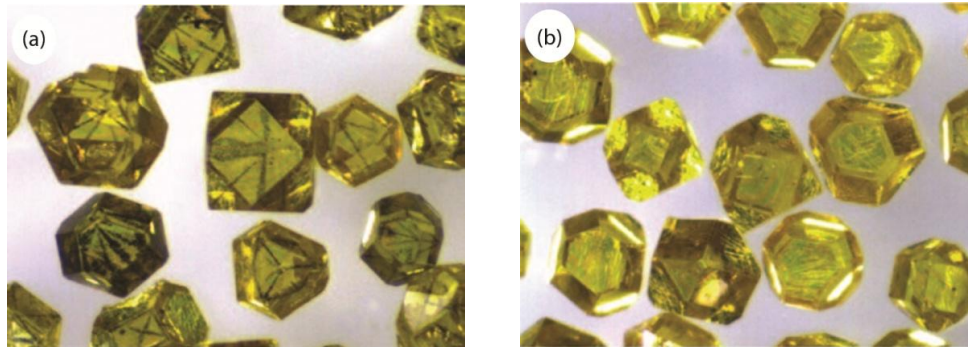
Uygulamada elmaslar doğal ve sentetik olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğal elmaslar, doğal parçacıklar olduğu için metalik inklüzyon içermezler. Bu yüzden çok iyi termal kararlılık gösterirler. Sentetik elmas taneleri mekanik dayanımlarını 800  $^{\circ}\text{C}$ 'de kaybetmeye başlarken, doğal elmas taneleri gerçek haldeki mekanik dayanımlarını 1400  $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar korurlar. Matrisi tutma açısından birçok yüzeye sahip kırma doğal elmas taneleri, matrise çok iyi bir bağlayıcı özelliği kazandırdığı halde; elmas yüzeyinin düzensiz olması mekanik dayanımı azaltır. Bu haliyle mermer ve kireç taşı gibi daha az sertliğe sahip taşların kesilmesinde avantaj sağlar. Daha sert taşların kesilmesinde ise çevresi oval

doğal elmasların kullanılması önerilir. Çevresi oval elmas taneleri daha yüksek kesme kuvveti gerektireceğinden kesim makinesinin rijit ve güçlü olması gerekir. Doğal elmaslar doğada az bulunduğu için oldukça pahalıdır. Her iki tip doğal elmas tanelerine ait SEM fotoğrafları Şekil 4.8’de görülmektedir.



**Şekil 4.8.** Doğal elmas aşındırıcılar; (a) Çok tabakalı yüzey ve (b) oval biçimli yüzey.

Günümüzde kesici takım üretiminde daha çok sentetik elmaslar kullanılır. Sentetik elmasları kullanmanın esas avantajı, özel uygulamalar için dizayn edilebilir ve üretilebilir olmasıdır. Piyasada mevcut talepleri karşılamak için farkı özelliklere sahip iki tür sentetik elmas geliştirilmiştir. Bunlar kobalt ya da nikel esaslı alaşımlar olup; sentetik elmas kristallerinin farklı içyapıları için katalizör/çözücü olarak belirlenmiştir. Kobalt, her bir elmas partikülünde ara tabakalar arasına girerek metalik inklüzyon olarak yer alırken; nikelli elmas partiküllerinde ise impüriteler üniform olarak partikül boyunca dağılır. Bu oluşum, saydam ve kozmetik görünümün yanı sıra yüksek sıcaklıklarda işlem sonrası mekanik dayanımın devamlılığını sağlar. İki sentetik elmas arasındaki temel farklılıklar Şekil 4.9’da görülmektedir.

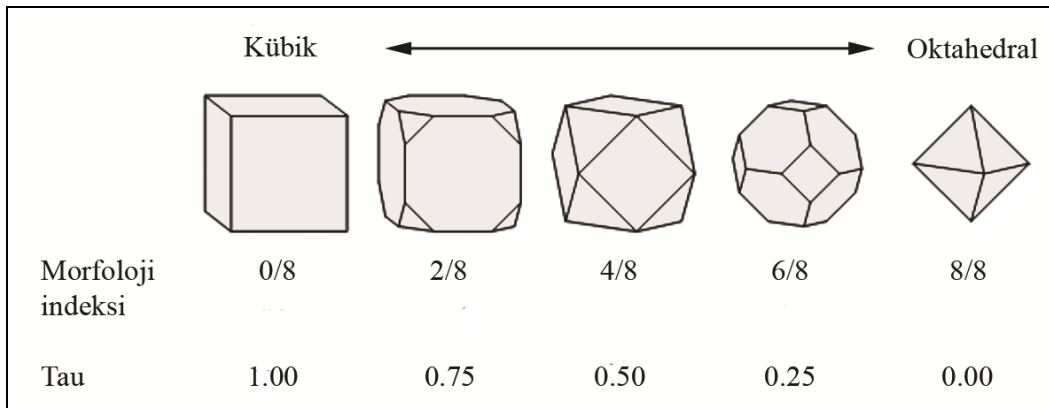


**Şekil 4.9.** (a) Co ve (b) Ni esaslı elmas taneciği.

Kobalt esaslı elmas tanelerinde, inklüzyonlar geometrik olarak düzenli ve sıralı olduğu halde, nikel esaslı elmas taneleri ile kıyaslandığında daha fazla çatlama eğilimi gösterirler. Bu özellik, düşük kesme hızlarında kesme işlemini kolaylaştırdığı gibi, ağır kesme işlemlerinde takımın yetersiz kalmasına sebep olur. Dolayısıyla her bir kristalde dağılmış halde bulunan inklüzyonların miktarı ve özelliği elmasın aşınma davranışını etkiler. Uygulamada düzgün şekle sahip kübik-oktahedral şekilli elmaslar, köşeleri keskin ve kaba yüzeyli elmaslara göre daha dayanıklıdır (Konstanty, 2005).

#### 4.3.1 Elmas Tipi

Endüstriyel uygulamalarda kesici takımdan beklenen performansı verebilmesi için elmas tipi, tane boyutu ve elmas yoğunluğu gibi hususlar dikkate alınır. Elmas tipi işlenecek malzemeye göre belirlenir. Genelde doğal taş sert ise seçilen elmas taneciğinin sert ve dayanımının yüksek olması istenir. Sentetik elmas taneciklerinin şematik ve matematiksel gösterimi Şekil 4.10'da görülmektedir.



**Şekil 4.10.** Sentetik elmas taneciklerinin şematik ve matematiksel gösterimi.

Kübik oktahedral yapılı bir elmas taneciğinin morfoloji indeksi yukarıdaki şemaya göre 4/8 dir. Bu gösterimde ilk rakam küpün oktahedral morfolojisine üstünlüğünü, ikinci rakam ise oktahedral morfolojisine tetrahedralin üstünlüğünü ifade etmektedir. Elmas taneciğinin şekli uygulamada sağlamlığı ve kırılma özelliklerini etkiler. Bu nedenle düzgün şekle sahip kübik-oktahedral şekilli elmas taneleri, düzgün olmayan köşeleri keskin ve kaba yüzeyli elmaslara göre daha dayanıklıdır. Bu nedenle uygun olarak seçilen sentetik elmaslarla soket özelliklerinin geliştirilmesinin çok büyük önemi vardır (Konstanty, 2005).

#### 4.3.2. Elmas Tane Boyutu

Elmaslı aşındırıcılar alt ve üst elek boyutunu gösterecek şekilde iki tane boyutu şeklinde sınıflandırılmakta olup; birim olarak mesh kullanılır. Elmaslı soketlerde kullanılan tane boyutu 80 US meshten daha kabadır. Kaba taneli elmaslar daha çok yüksek kesme hızlarında kullanılır. Çünkü iri taneli elmaslarda kesme sırasında talaş boşluğu fazla olduğu için kesilen yüzey daha temiz çıkar. İri taneli elmaslar daha çok sert malzemelerin kesilmesinde kullanılır. Aşağıda Tablo 4.1’de piyasada sıkça kullanılan elmas tane boyutları ile kullanım alanları verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Ticari olarak kullanılan elmas tane boyutları ve kullanım alanları. (Konstanty, 1991).

| 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, siyenit, 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 (mağmatik) taş (granit) 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.                                                                                                                                                                               |

#### 4.3.3 Elmas Yoğunluğu

Soket ve boncuklardaki elmas miktarı, 100 konsantrasyonun 4.4 karat/cm<sup>3</sup> (hacimce % 25)’e eşit olan bir skalaya göre belirlenir. Diğer konsantrasyonlar ise bu skalaya göre oranlanır. Hangi konsantrasyonun kullanılacağı birçok faktöre bağlı olup; genel olarak malzemenin kolay kesilmesi isteniyorsa yüksek elmas konsantrasyonuna sahip takım seçilmelidir. Matris karışımı belirlenirken ilk iş kesilecek malzeme ve özellikleri dikkate alınmalıdır. Takım ömrünü arttırmak için yüksek konsantrasyon kullanıldığı zaman, buna paralel olarak takımın bağlanacağı makinenin de yüksek güce sahip olması gerekir. Eğer

elmas tanelerine karşılık gelen yük düşük olursa, tanenin malzemeye dalma derinliği azalır ve belli bir süre sonra elmas tanesi körelir. Böylece kesme olayı gerçekleşmez. Düşük elmas yoğunluğunda, elmas tanesi başına 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 oranını oluşturduğu ifade edilir (Wright ve Wapler, 1986 ; Wright vd., 1990).

Elmas konsantrasyonu belirlenirken, elmasların ve çıkma yerlerinin toplam sayısı, konsantrasyonuyla doğru, tane boyutuyla ters orantılıdır (Tablo 4.2).

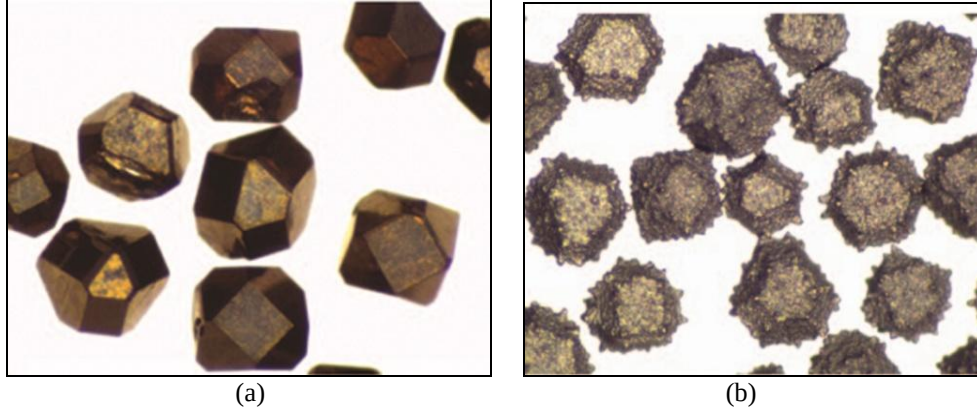
**Tablo 4.2.** Aşınmış elmas yüzey alanının santimetrekare başına düşen elmas kristalleri ve elmasların çıktığı yerlerin toplam sayısı.

| US mesh<br>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 |

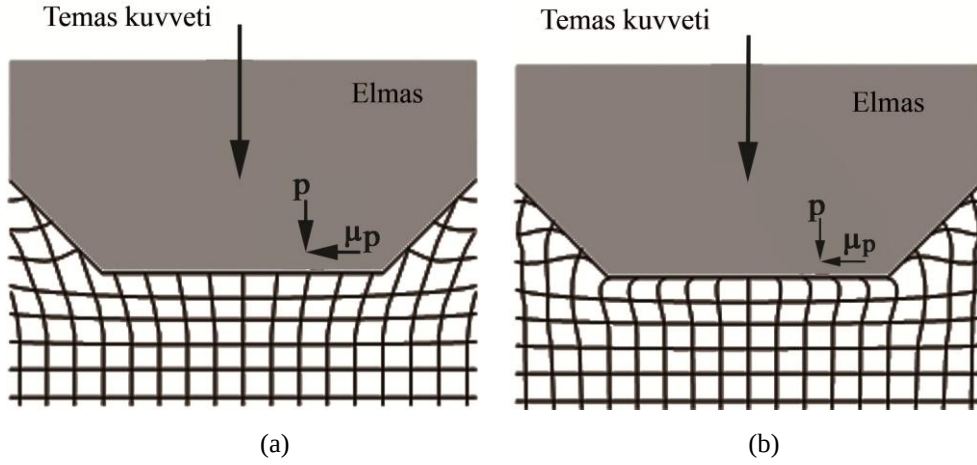
#### 4.3.4 Elmas Tanelerinin Kaplanması

Elmaslı kesici takım yapımında elmas ile matris ara yüzeyinde sürtünmeyi arttırarak matris-elmas tanecik bağının güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla elmas tanelerinin matriste iyi tutunmalarını sağlamak için Ti, Cr, Si gibi bazı güçlü karbür yapıcılar kullanılmak suretiyle elmas üzerinde tabakalar oluşturulur. Bunlardan başka zirkonyum, tungsten, tantal, molibden, niyobyum veya bunların alaşımları da bu amaçla kullanılmaktadır. Ayrıca nikel esaslı karbür yapıcıları da elmas tanelerinin matrise kenetlenmiş biçimde bağlanmalarını sağlar. Elmas taneleri üzerine bu tabakalar kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemleri ile yapılmaktadır (Ikeda vd., 2009). Şekil 4.11’de

kaplanmış kübik-oktahedral yapılı elmas taneleri ile Şekil 4.12’de elmasın matriste oluşturduğu deformasyonun sürtünmeye etkisi görülmektedir.



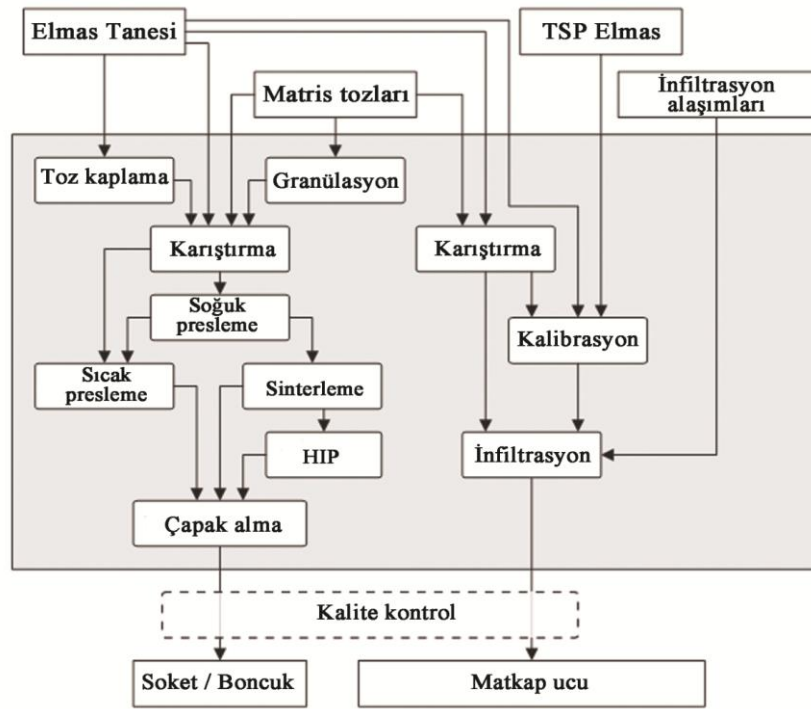
**Şekil 4.11.** Kaplanmış elmas taneleri: (a) titanyum karbür kaplı (Element Six), (b) nikel esaslı ilave tabakalı (GE).



**Şekil 4.12.** Elmasın matriste oluşturduğu deformasyonun sürtünmeye etkisi: (a) malzemenin etkin bir biçimde kaymasına engel olan sürtünme kuvvetini oluşturan normal basıncın ( $p$ ) ve sürtünme katsayısının ( $\mu$ ) kombinasyonu, (b) matris ve elmas arasındaki güçlü bir kimyasal bağlanma sınırlı bir kaymayı meydana getirmesi.

## 5. ELMASLI KESİCİ TAKIMLARIN ÜRETİMİ

Elmaslı kesici soketlerin imalatında kullanılan en yaygın üretim tekniği, toz metalurjisi (TM) üretim yöntemidir. Bu yöntem sayesinde genellikle elmas taneleri ve metal tozları kesici takım üretimi için sıkça kullanılır. Sıcak presleme, çok yaygın bir üretim tekniği olmakla birlikte; basınçsız sinterleme, sıcak izostatik presleme v.b...gibi birçok teknikle kesici soket üretimi yapılmaktadır. Bu takımların üretimine ait akış diyagramı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Toz metalurjisi yöntemi ile elmaslı takımların üretim akış diyagramı(Konstanty, 2005).

### 5.1. Matris Toz Karışımının Hazırlanması

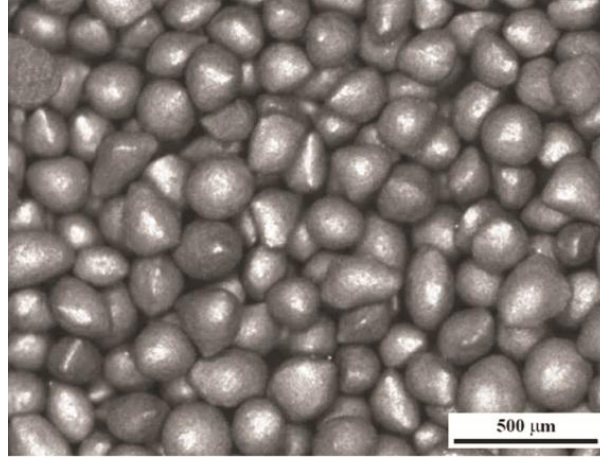
Önceden belirlenen karışım oranlarında tozların hazırlanması sarkaç hareketli mikserler yardımıyla yapılır. Bunun için hazırlanan toz karışımı içerisine topaklaşmayı ve segregasyonu önlemek amacıyla % 2'ye kadar parafin yağı ya da mono etilen glikol gibi bağlayıcı / yağlayıcı maddeler ilave edilir. Bu maddeler, soğuk ve sıcak presleme işlemleri sırasında çelik kalıpların aşınmasını ve oksitlenmesini önler. Ancak sıcak presleme sırasında bu bağlayıcıların matristen uzaklaşması istenir. Aksi halde daha sonra soketin gövdeye kaynak işlemini zorlaştıracak şekilde matriste gözenekler oluşur.



## 5.2. Granül Haline Getirme (Tanecik Haline Getirme)

Matris tozlarının soğuk preste basılması sırasında sıkıştırma ve akıcılık özelliklerini arttırmak amacıyla gerekli hallerde ilave granülleştirme işlemi yapılır. Eskiden yüksek hızda karıştırma esasına göre yapılan bu işlem, günümüzde mekanik olarak yuvarlaklaştırma esasına dayanan ve tek aşamada elmasların granüle edildiği tekniktir (Burckhardt, 1997).

Bu amaçla, uygun çözeltilerde çözünebilen 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 bağlayıcının termal özellikleri oldukça önemlidir. Aksi takdirde, kalitesi düşük ve testereye lehimleme esnasında problem çıkaran yüksek gerilimli gözeneklere sahip soketler üretilmiş olur.

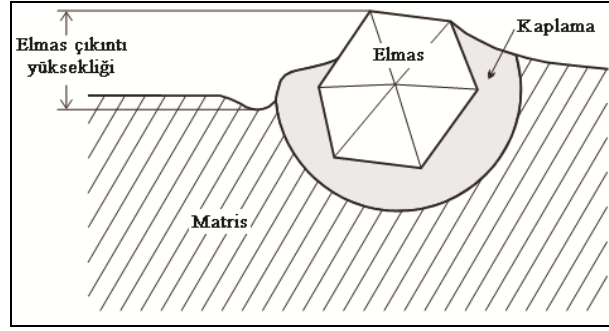


Şekil 5.2. Granülleştirme işlemi görmüş matris tozu.

## 5.3. Matris-Elmas Karışımının Hazırlanması

Matris içerisinde elmas ya da diğer tozların homojen olacak şekilde dağılması için çok iyi karıştırılması gerekir. Aksi halde karıştırma iyi yapılmazsa; elmas ya da diğer toz taneleri matriste homojen dağılmayacağı için soket aşınması hızlı olur. Eğer matriste kaplanmış elmas taneleri kullanılırsa elmasın matristen çıkıntı yüksekliği artırılabilir (Şekil 5.3). Bu durumda kesici takımın kesme performansı daha iyi olur (Cai, 1996).

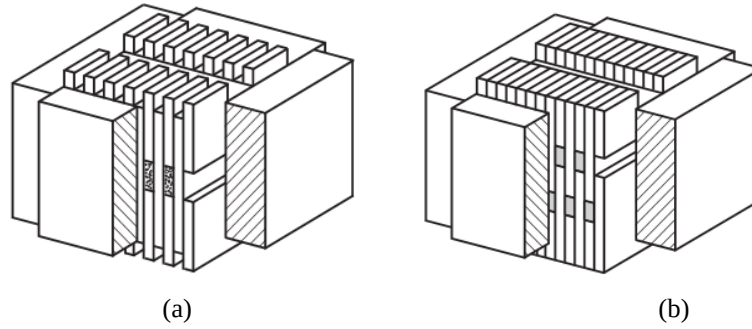




**Şekil 5.3.** Kaplanmış elmasların elmas çıkıntı yüksekliğine etkisi

#### 5.4. Soğuk Presleme

Soğuk presleme işlemi, genellikle sıcak presleme işlemi öncesi yapılır. İşlem sırasında çelik kalıplar kullanılır. Bu işlem, sıcak preslemede kullanılan grafit kalıp aşınmasını azaltır, üretim miktarını artırır ve düzgün parça üretilmesini sağlar.

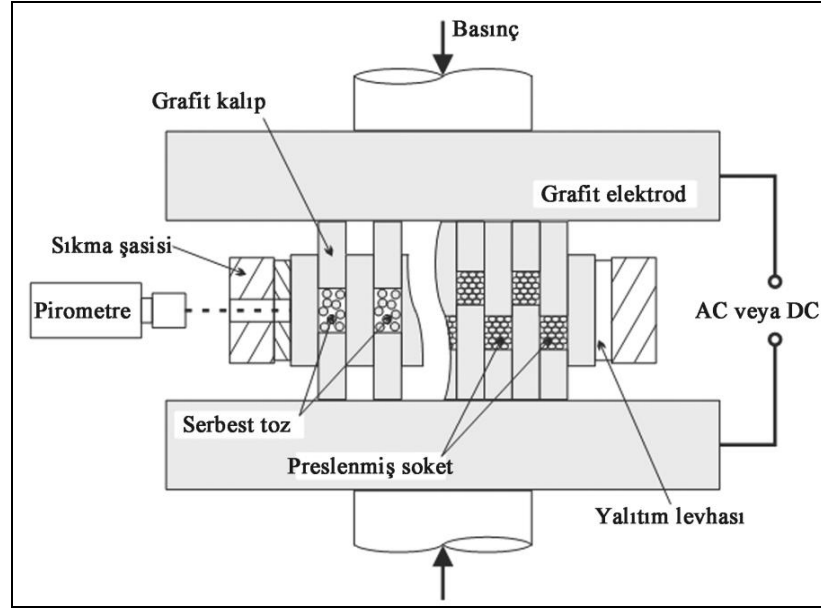


**Şekil 5.4.** (a) Soğuk preslenmiş soket ile (b) toz karışımının grafit kalıba konulması.

#### 5.5. Sıcak Presleme

Sıcak presleme, iç gözeneklerden arındırılmış bir soket elde etmek için, ısı ve basıncın birlikte uygulandığı bir presleme işlemidir. Sıcak presleme sırasında yaklaşık 2-3 dakika gibi çok kısa sürelere ve düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulur. Fakat çok yüksek yoğunluklara ulaşmak için yüksek basınçlara ihtiyaç duyulur.

Piyasada kullanılan sentetik elmasların yüksek sıcaklıklara karşı dayanımının az olması ve matristen yüksek mekanik özellikler beklenilmesi nedeniyle, elmaslı kesici takımlarda hızlı sıcak presleme tekniğinin geniş bir kullanım alanı vardır. Çünkü yöntemle verimlilik artarken; metal ve elmas tanelerinin oksidasyona karşı korunması da sağlanmış olur (Şekil 5.5).



Şekil 5.5.. Sıcak presleme işleminin şematik görünümü.



Şekil 5.6. Açık havada çalışan sıcak pres.

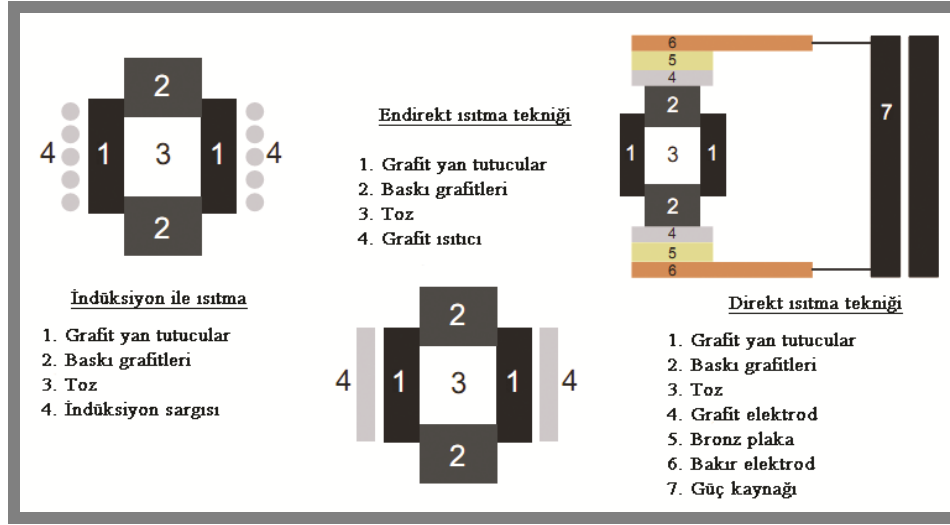


Şekil 5.7 Koruyucu gaz atmosferli sıcak pres.

Yukarıda Şekil 5.6’da açık havada çalışan bir sıcak pres ile azot atmosferinde presleme yapabilen vakumlu sıcak pres örnekleri görülmektedir (Şekil 5.7). Modern sıcak preslerde azot atmosferinde ısıtılan grafit kalıpların bulunduğu koruyucu gaz üniteleri bulunmaktadır. Bu sebeple grafit kalıpların çalışma ömrü uzundur. Sıcak presleme prosesinde üç ayrı ısıtma tekniği vardır. Bunlar;

- İndüksiyon bobini ile ısıtma tekniği,
- Endirekt ısıtma tekniği,
- Direkt ısıtma tekniği

dir. Bu ısıtma tekniklerinin prensip şeması Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. Sıcak presleme prosesinde ısıtma teknikleri.

İndüksiyonla ısıtma teknolojisi yüksek frekanslı akım ile kalıpların ısıtılması esasına dayanır. Metal yâda 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 olması ve kalıbın çok düzgün yerleştirilmesini gerekli kılmasıdır. İletimle ısı geçişinin olduğu kalıp, düzgün yerleştirilmez ise kalıp içerisinde ısı dağılımı dengeli olmaz. Bu durumda kalıpta homojen bir sıcaklık dağılımı olmayacağı gibi kalıp merkezinin ısıtılması da zordur. Çünkü ısı, oluşturulan manyetik alanda, kalıbın içerisine sadece 0.5-3 mm arasında nüfuz edebilmektedir. Eğer yüksek ısıtma yapılırsa bu durumda meydana gelen yüksek sıcaklık farkları kalıbı tahrip edebilmektedir.

Endirekt dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp ısı bölmesine yerleştirilir. Isı bölmesi elektrik akımı ile ısınan grafit ısıtma elemanlarıyla ısıtılır. Isıtılan grafit ısıtıcılar, kalıp ile temas halinde olduğundan temas ettiği kalıbı ısıtırlar. Bu nedenle işlem “*endirekt dirençle ısıtma*” olarak adlandırılır. Yöntemin avantajı, yüksek sıcaklıklara çıkılabilmesi, kalıp malzemesinin ısıl iletkenliğinden bağımsız olması, sıcaklık ve basıncın birbirinden bağımsız olarak kullanılabilmesidir. Dezavantajı, kalıbın ısıtılmasının çok zaman alması, kalıbın dıştan içe doğru ısınması ve ısının eşit olarak dağılmasının uzun süre almasıdır.

Direkt dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp doğrudan 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.

## **5.6. Sinterleme**

Sinterleme, toz metalürjisi yöntemi ile üretilen birçok ürün için zorunlu bir aşamadır. Fakat sinterleme, son ürünün ölçü tamlığı, mekanik dayanımı ve bileşimi ile sınırlandırılır. İşlem sırasında koruyucu gaz kullanılması, oksijensiz bir ortamda sinterleme yapılmasını sağlar. Kullanılan koruyucu gaz, yüksek sıcaklık ve uzun bekleme sürelerinde elması korur. Fakat yüksek sıcaklık ve uzun bekleme sürelerinde aksine 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.

## **5.7. Sıcak İzostatik Presleme (HIP)**

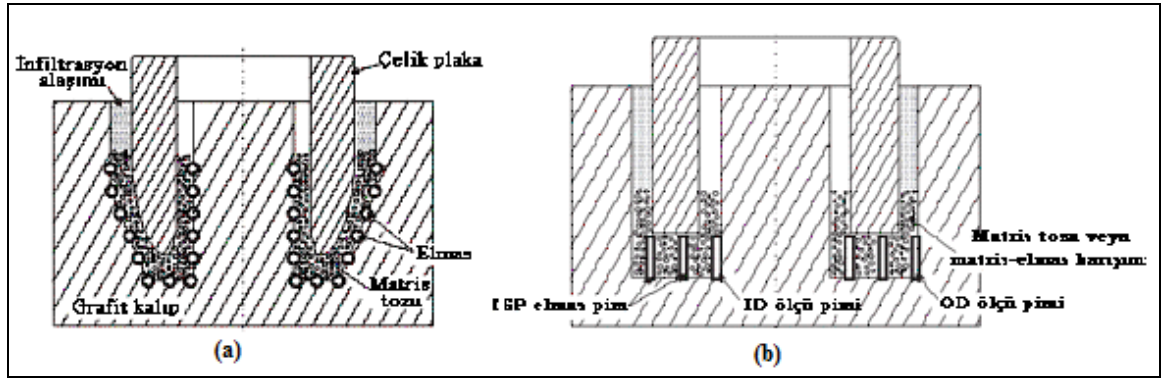
Sıcak izostatik presleme (HIP), tamamen yoğun malzemeleri üretmek için bir veya birden çok parçaya basıncın izostatik olarak uygulandığı yüksek basınçlı gaz içeren bir yöntemdir (Conway ve Rizzo, 2004). Gözenekler tamamen kapandığı zaman uygun bir yoğunluğa ulaşmak için parçalar sinterleme fırınlarında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

HIP üniteleri ile 200 MPa basınca kadar ulaşılabilir. Bu yüzden sıcak presleme işlemine kıyasla üretim sıcaklığında bir miktar azalma meydana gelir. Sıcaklıktaki düşme, elmanın zarar görebileceği 1100 °C'yi aşağıya çekeceğinden yeni teknolojik fırsatlar sunar. Son yıllarda HIP teknolojisi kullanılarak elmaslı boncuk tellerin üretiminde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

## **5.8. İnfiltrasyon (Emdirme)**

Bu yöntem, elmaslı matkap başta olmak üzere ileri teknoloji ürünü hibrit matkap uçlarının üretiminde kullanılan ideal bir yöntem olup; yöntemde uygulanan kuvvetler minimum düzeydedir. Dolgu elementleri hariç elmas ve matris tozunun bir kalıp içerisine yerleştirilmesi ve basma, titreşim veya sarsıntı uygulanarak sıkıştırılmasıyla başlayan bir

kalıplama işlemidir. Grafit kalıplar bu yöntemde kullanılmakla birlikte daha çok çelik kalıplardan yararlanır. Atmosfer kontrollü fırın içerisinde bir indüksiyon ısıtıcı içerisinde yerleştirilen kalıba bakır / nikel / çinko içeren dolgu elementlerinin oluşturduğu alaşım katılır. Daha sonra basınç uygulanır. Ancak, kesici soket gibi küçük parçaların metalurjik özelliklerini kontrol etme imkanı yoktur (Sheppard ve Dolly, 1993; Naidich, 2001). Yöntem, düşük ergime noktasına sahip sıvı infiltrasyon alaşımı ile grafit kalıp içerisine doldurulmuş matris tozu ve elmasan ibarettir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Matkap uçlarının üretiminde kullanılan kalıp montajlarının şematik resmi; (a) Düz matkap ucu, (b) TSP (veya TSP hibrit) matkap ucu

## 5.9. Çapakların Temizlenmesi

Üretilen soketlerin testerele daha iyi kaynatılabilmesi için; üretim işleminden sonra temizlenmesi ve köşelerindeki çapakların alınması gerekir. Bu işlem, önce taşlama makineleri ile kenarlardaki çapakların alınması ve devamında alümina ya da silisyum karbür taneleri içeren tamburlarda soketleri döndürmek suretiyle yapılır. Bu şekilde kaynak öncesi soket yüzeyinde kaynak bağlantısını zayıflatacak kalıntılar temizlenmiş olur.

## 5.10. Kalite Kontrol

Elmaslı kesici takımların kalite kontrolü, ağırlıklı olarak sertlik testi ile sınırlıdır. Sertlik ölçümünde yaygın olarak brinell sertlik ölçümü kullanılır. Düzgün bir şekilde yoğunluk kazanan matris-elmas karışımı ile dar bir sertlik aralığı elde edilir. Bu sertlik aralığı matris bileşiminden etkilenir. Diğer taraftan, soketin yapısı herhangi bir yönden zarar görür yâda yoğunlaşma tam olmaz ise sertlik değeri istenilen aralıkta olmaz. Tam yoğunlaşma sağlanamayan malzemelerin tokluğu genellikle düşüktür. Bu durum matrisin

elmas tanelerini tutma özelliklerini ve aşınma direncini zayıflatır. Bu nedenle sertlik değerlerinde en ufak bir şüphe var ise yapılan soketlerin yoğunluğunun ölçülmesi bir diğer önemli kalite kontrol işlemidir (Konstanty, 2003). Tam olarak yoğunluk değerlerini garantilemek için suyun yer değiştirme özelliğinden faydalanılarak hassas terazi ile ölçüm yapılmalıdır.

### 5.11. Lehimleme ve Lazer Kaynağı

Üretilen soketlerin istenilen üretim faaliyetinde kullanılabilmesi için önceden kullanım amacına uygun olarak seçilen çelik saç gövdelere sabitlenmesi gerekir. Sabitleme işleminde lehimleme yâda lazer kaynağı gibi yöntemler kullanılır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Lazer kaynak makinesi (Weber, 2004).

Lehimleme yöntemi daha çok sulu olarak kesim yapan testerelerin üretilmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte; lazer kaynağı yöntemi özellikle kuru kesim yapan testerelerin seri olarak üretilmesinde tercih edilir. Özellikle kuru kesim yapan testerelerde oluşan ısı, sonuçta lehim bağlantısının yumuşayarak ayrılmasına neden olabilir. Kaynak bağlantısının mukavemeti açısından lazer kaynaklı bölgede eğilme dayanımı 1800 MPa olduğu halde, lehim bağlantılı bölgede 350-600 MPa arasındadır. Lazer kaynağı, soketlerin testereden kopma riskini de ortadan kaldırmaktadır (Weber, 1991). Lehimleme işlemi, piyasada yaygın olarak oksi-asetilen şaloması yardımıyla el ile yapılmaktadır. Bunun dışında optik pirometre ile kontrol edilen yüksek frekanslı indüksiyon ısıtıcısının bulunduğu lehimleme makineleride kullanılır (Davies, 1992). İyi bir bağlantı olabilmesi için kaynak öncesi soketler ile çelik testere kaynak bölgesinin çok iyi bir şekilde temizliği yapılmalıdır. Lehimleme sırasında meydana gelen ısının deformasyona neden olmaması

için; 700 °C'nin üzerine çıkılmaması ve lehimleme süresinin mümkün mertebe çok kısa tutulması gerekir. Bu amaçla çelik gövdeyi aşırı ısınmadan koruyan su soğutma sistemli düzenek veya PLC (programlanabilir sayısal kontrollü) lehim makineleri kullanılır.

Lazer kaynağı sırasında soket ve çelik gövde arasında çok dar bir bölge ısınıp hızla soğumaktadır. Bu hızlı soğumanın etkisi ile çelik gövdenin kaynak kısmında oldukça kırılğan bir martenzit tabakası meydana gelmektedir. Belirtilen bu hata, normal AISI 1070 ve 1080 çeliklerde lazerle kaynak sırasında meydana geleceğinden; bunu engellemek için son yıllarda sertleşme kabiliyeti düşük olan düşük karbonlu çelikler, çelik gövde olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kaynak kolaylığı açısından soketlerin taban kısımlarının elmassız olması daha uygundur (Weber, 1991). Tablo 3.2.'de lazer kaynağı ile lehimlemenin avantajları ve dezavantajları tablo halinde verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Dairesel testerelerde lazer kaynağı ile lehim kaynağının karşılaştırılması (Tonshoff vd., 1993).

| Lazer Kaynağı                                                         | Lehim Kaynağı                            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Avantajları                                                           | Avantajları                              |
| Mekanik dayanımı yüksek                                               | Büyük çaplı testereler için uygun olması |
| Yüksek ısı dayanımı                                                   | Düşük maliyet                            |
| Küçük ısı etki bölgesi, çekme-büzülme yok                             | Tolerans aralığı yüksek değil            |
| Yüksek kaynak hızı                                                    | Her türlü testere malzemesi için uygun   |
| Dezavantajları                                                        | Dezavantajları                           |
| Küçük çaplı testerelere uygun olması                                  | Her türlü soket şekli için uygun         |
| Yüksek maliyet                                                        | Testereye daha fazla teknik yardım       |
| Taşıyıcı bünyede tolerans aralığı yüksek                              |                                          |
| Düşük karbonlu çelikten yapılan testerelere ön gerilim tayı gerekmesi | Kesme dayanımının düşük olması           |
| Soket malzemesi özel olarak seçilmeli                                 | Kesim esnasında soğutucu gerekli         |
| Sokette elmassız alt kısım gerekli                                    | Testerede hafif çekme (büzülme var)      |
| Daha az teknik yardım                                                 | Düşük kaynak hızı                        |

## 5.12. Testerelerin Taşlanması

Testerelerin taşlanması amacı, soketlerin testere düzlemi ile aynı olmasını sağlamak ve soket yüzeyinde bulunan matris kalıntılarını temizleyerek testerenin kesim yapabilir hale gelmesini temin etmektir (Wright ve Wapler, 1982; Çelik, 2009).

### 5.13. Balans Alma

Testereleler taşlandıktan sonra balans ayarının yapılması gerekir. Balans ayarı yapılmaz ise testere kullanım esnasında salınım yaparak çelik gövdenin vaktinden önce bozulmasına, soketlerin yerinden çıkmasına, kesme hızının düşmesine ve testerede gürültüye yol açar. Balansı alınan testere kullanıcıya verilmeden önce mutlaka yeniden bilenmesi (taşlanması) gerekir. Bu esnada soketlenmiş kesici diskin rahat bir şekilde kestiğinden emin olunmalıdır (Weber, 2004). Çelik gövdelerde üretim esnasında her tarafta aynı olmayan ısı birikimleri meydana gelir. Şekil 5.11’de gerilim ölçme ve balans alma makinesi görülmektedir.



**Şekil 5.11.** Gerilim ölçme ve balans alma makinesi (Weber, 2004).



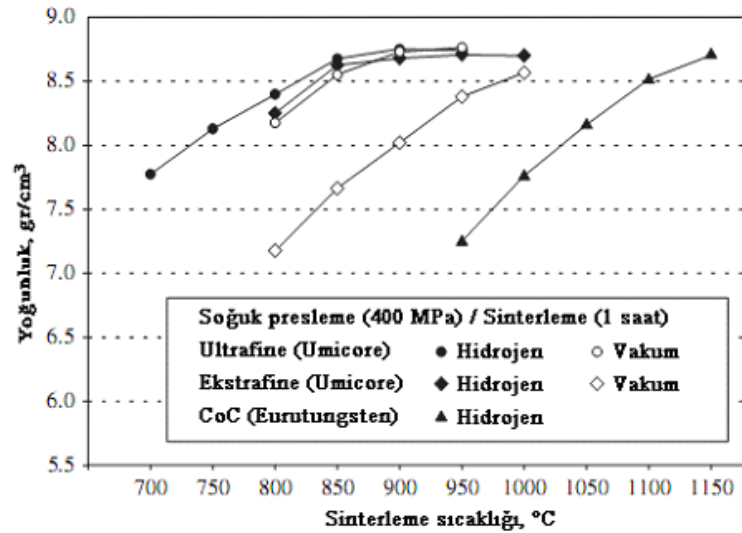
## 6. MATRİSİN MİKROYAPISI

Genel olarak malzemelerin mikroyapısı, mekanik dayanım, sertlik, süneklik ve aşınma direnci gibi malzeme özelliklerini etkiler. Bu sebeple matrislerde kullanılan tozlar ile bunların üretim koşulları ve mikroyapısı arasındaki ilişkinin bilinmesi çok önemlidir.

### 6.1. Yüksek Yoğunluk Elde Etmek İçin Yapılan İşlemler

Kesici soketlerde matrislerin uygulamadan önce gerçek yoğunluklarına ulaşması sağlanmalıdır. Matris tozu ne kadar ince olursa yoğunlaşma o kadar yüksek olur. Ancak sıcak presleme basıncı, çoğu grafit kalıp için üst sınır olan 35 MPa'dır. Bu durumda sıcak presleme sıcaklığını veya basıncını düşürmek için; ek matris malzemesi olarak alaşımlı bronz, kalay, bakır tozları birlikte ya da ayrı, ayrı kullanılır. Bunun tersi durumda matris içerisine tungsten yâda tungsten karbür tozları eklenir.

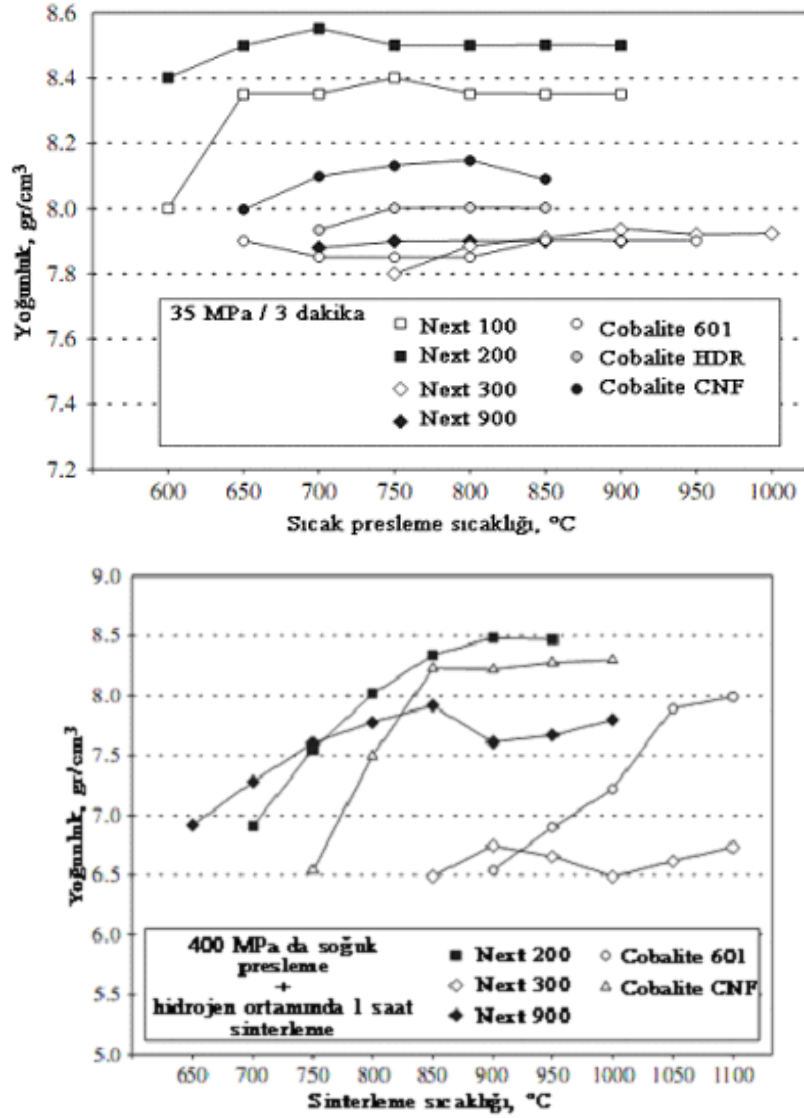
Geleneksel olarak kullanılan soğuk presleme/sinterleme işlemlerinde seçilen parametrelerdeki her bir değişikliğin ürün özelliklerini değiştirdiği Şekil 6.1'de görülmektedir (Konstanty, 2005).



Şekil 6.1. Kobalt tozlarının farklı ortamlardaki sinterleme eğrileri.

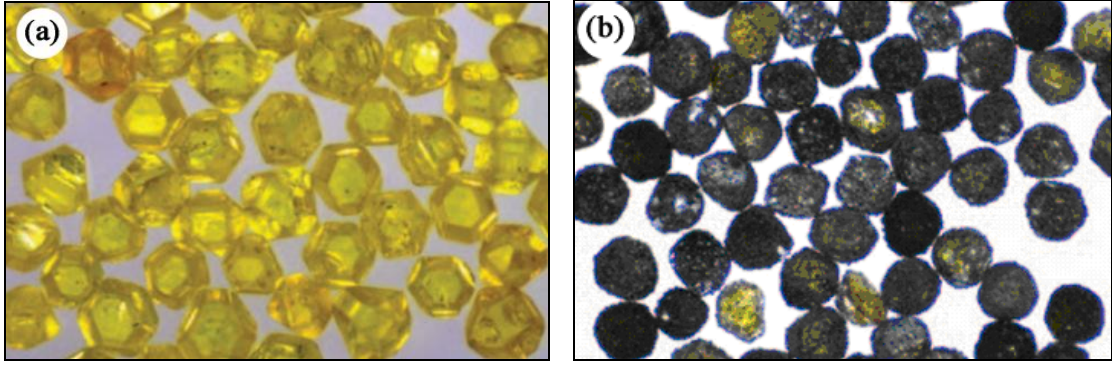
Sinterleme işleminin hidrojenli ortamda yapılması, yoğunlaşmayı kolaylaştırmakla birlikte; araştırmalar kobalt tozlarının vakum ortamında düşük sıcaklıkta sinterlenmesiyle yüksek yoğunluğa ulaşılacağını göstermektedir. Üstelik hidrojen kullanımı CoC içerikli

bazı tozlarda sorun yaratmaktadır. Kobalta alternatif bazı tozların yoğunluk değişim eğrileri Şekil 6.2’de görülmektedir (Konstanty, 2005). Burada Next 200 marka toz, en iyi yoğunlaşmayı göstermektedir. Sinterleme sırasında, tozun yoğunlaşması kadar, matrise katılan elmas ile ne derece etkileşime gireceği de önemlidir.



Şekil 6.2. Farklı tip tozların sıcak presleme ve sinterleme sıcaklığına göre yoğunluk değişimleri.

Hidrojen ortamında bir saat sinterlenerek üretilen soketten çıkarılmış elmas taneleri Şekil 6.3’de görülmektedir. Yüksek sıcaklıkta yapılan sinterleme işleminin elmas tanelerini bozduğu Şekil 6.3 (b)’ de görülmektedir (Konstanty, 2005).



**Şekil 6.3.** Hidrojen ortamında 1 saat süre ile sinterlenmiş soketlerden çıkarılmış elmas taneleri: (a) 850 °C’de sinterlenmiş, (b) 1100 °C’de sinterlenmiş.

Sökülen elmas yuvalarında sinterleme sonrası soğumanın neden olduğu mikro çatlaklar Şekil 6.4’de görülmektedir.



**Şekil 6.4.** Sinterleme sonrası matriste oluşan mikro çatlaklar (Konstanty, 2005).

## 6.2. Tane Boyutu

Metal malzemelerde mekanik dayanımı arttırmak için tane boyutu küçültülür. Tane boyutunun küçülmesi sonucu tane sınırlarının yüzey alanı arttığı için dislokasyonların hareketi sınırlandırılmış olur. Hall-Petch tarafından verilen ve tane boyutu ile dayanım arasındaki ilişkiyi gösteren bağıntı;

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{K}{\sqrt{d_g}} \quad (6.1)$$

olup; bu bağıntıda ;  $\sigma_y$  akma dayanımı,  $d_g$  tanelerin ortalama çapı, K ve  $\sigma_0$  metalle ilgili sabitlerdir. Kesici takımlarda ise matris tozuna ait en önemli özellikler; faz bileşimi, kimyasal homojenlik, bileşen elementlerin karşılıklı çözünürlüğü, oksijen ve kükürt gibi

impüritelerin miktarı, ortalama tane boyutu ve tane boyutunun dağılımıdır. Kesici soketlerde çok ince taneli mikroyapı elde etmek için ince tozlar tercih edilmelidir. Ayrıca düşük işlem sıcaklığı ve işlem süresi ile oksitlerin varlığında matriste tanelerin büyümesi engellenir. Oksitler tane sınırlarında tane büyümesini engeller (Massalski, 1990). Matriste, bulunan gözenekler, sinterlenmiş malzemelerin doğal parçaları olup; tane büyümesini yavaşlatır. Kobalt alaşımlarında bulunan % 5 oranındaki gözenek, tane büyümesini geciktirir (Konstanty, 2003). Gözenekler ile tane boyutu arasında (3.2) nolu bağıntı mevcuttur (Guo vd., 1997; Porter ve Easterling, 1992; Joong ve Kang, 2005).

$$d_g = \frac{\alpha \cdot d_p}{V_p} \quad (3.2)$$

Bağıntıda,  $d_g$ - tanelerin ortama çapı,  $d_p$ - gözeneklerin ortama çapı ve  $V_p$  -gözeneklerin hacim fraksiyonudur.

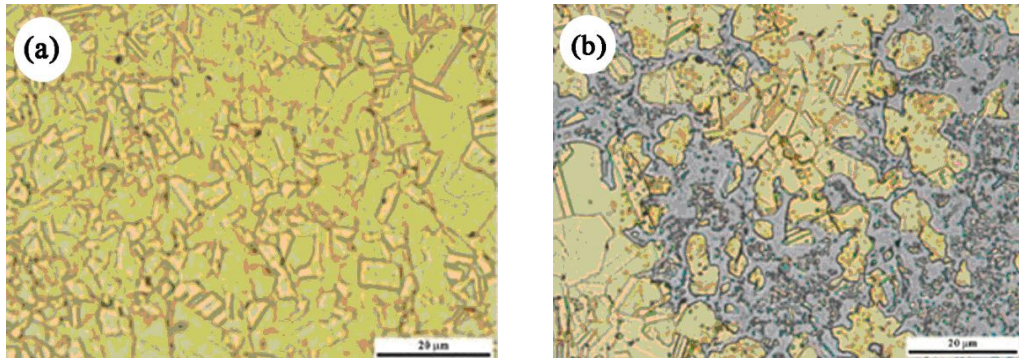
### 6.3. Toparlanma ve Yeniden Kristalleşme

Tozları sıkıştırmak için kalıptaki tozlara bir basınç uygulanır. Uygulanan basınç, dislokasyon, boşluk ve atomların yer değişimi gibi kafes kusurlarını azaltarak malzemenin dayanım kazanmasını sağlar. Sıcak preslemenin ilk aşamasında ise dislokasyonların düzenlenmesi ve nokta hataların azalmasından dolayı malzemede düşük seviyede gerilmelere müsaade edilir. Yeniden kristalleşme, metal malzemelerde ( $0.4.T_{ergime}$ ) sıcaklığında başlar. Bu işlemle kafes hataları azaldığı halde, yeniden kristalleşen metallerin dayanımında azalma, sünekliliğinde artış gözlenir. Matris taneleri ne kadar ince olursa yapı hataları o kadar az olur (Konstanty, 2005). Diğer bir konu ise partiküller arasındaki boşlukta oksit varlığıdır. Bunlar matris yapısında bulunan % 5 düzeyindeki gözenekler gibi yeniden kristalleşmeyi geciktirirler. Genel olarak toz içerisinde oksijen miktarı arttıkça yeni çekirdeklerin oluşumu da o derece de zorlaşır. Sonuç olarak malzeme, yeniden kristalleşmeye direnç gösterir ve yüksek olan sertliğini yoğunlaşma sıcaklığının ötesinde bile korur. Bu durum, matris tozunun sıcaklığa karşı hassasiyeti dikkate alınarak pilot çalışmalar ile üretim sıcaklığı ayarlanarak giderilebilir.

#### 6.4. Faz Bileşimi

Uygulamada matris bileşiminin karmaşık olması, konunun bilimsel açıdan anlaşılmasını zorlaştırmakta ve bu alanda daha az çalışma yapılmasına neden olmaktadır. Matriste sıkça kullanılan kobalt, 421 °C'nin altında hegzagonal sıkı paket ve yüksek sıcaklıklarda ise kübik yüzey merkezli olmak üzere iki tür allotropik kristal kafese sahiptir (Betteridge, 1982). Özellikle tane boyutu ve pekleşme iki allotropik yapıyı da etkiler. Matris içerisinde mekanik olarak aşınan kobalt ile ilgili her iki allotropik yapının korunması için faz dengeleyiciler ile alaşımlama yapılır. En güçlü faz dengeleyicileri Al, Nb, Ti, Fe, Zr, W ve Ta'dur. Mn, Ni, Mo, Sn ve V gibi elementler olduğu halde bunlar  $\alpha$  fazının kararlılığını zayıflattığı için önerilmez (Zhao, 1999). Çünkü toz metalurjisi malzemelerinde Al, Nb, Ta ve Zr elementleri, oksijenle kolay bileşik oluşturdıklarından dolayı zararlıdır. Pratikte, kobalta % 10 demir ilavesi kübik yüzey merkezli yapıyı aşırı kararlı yapar. Bu ilave, matrisin sertlik ve akma dayanımında bir miktar düşmeye sebep olmasına rağmen; süneklikte belirgin iyileşme görülür. Bu sebeple Co, elmaslı kesici takımlarda matris malzemesi olarak sıkça kullanılır (Oliveira vd., 2009). Benzer şekilde, elmaslı tel soket üretiminde ise matrise ağırlıkça % 2 'yi geçmeyecek şekilde SiC ile Fe, Cu katılarak aşınmaya dayanıklı matris üretimi gerçekleştirilir (Oliveira vd., 2007).

Kritik olmayan uygulamalar için matriste çeşitli bronz alaşımları kullanılır. Uygulamada kalay bronzu önemli bir paya sahip olmuştur. Çünkü kalay 232 °C'nin üzerinde ergidiğinden sıcak presleme esnasında sıvı faz oluşturarak katı partiküllerin arasına nüfuz eder.(Şekil 6.5) Presleme sırasında uygulanan basınç gözeneklerin kapanmasına yardımcı olur. Fakat düşük sıcaklıklarda kısa süreli yapılan presleme sonucu homojenize olmuş alaşımların üretimi çok zordur.



Şekil 6.5. Sıcak presleme ile üretilmiş kalay bronzunun mikro yapısı (a) alaşım, (b) toz karışımı.

Matrise yapılan ilaveler, sıcak presleme ve soğuma esnasında tane sınırlarında ya da fazlar arası sınırlarda metaller arası bileşiklerin oluşmasına neden olurlar. Bu bileşikler matrisin mekanik özelliklerini düşürür. Genellikle ince tozların sinterlenme özellikleri daha iyi olduğundan soğuk presleme/sinterleme işleminde ince tozlar daha çok tercih edilir. Ayrıca bu durumda gözenekler daha küçük olduğu gibi ilk oluşan gözeneklerin ortadan kaldırılması daha kolay olmaktadır.

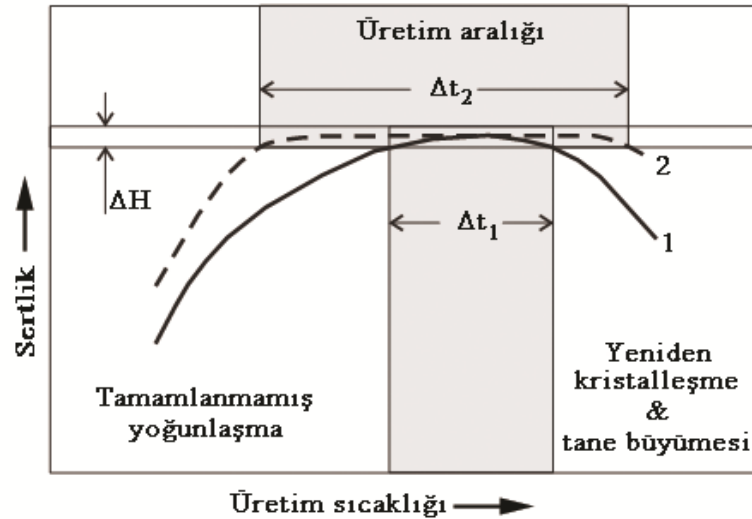
## 7. MATRİSİN ÖZELLİKLERİ

### 7.1. Mekanik Özellikler

Matrisin en önemli görevi, içinde bulunan elmas taneciklerini sıkı bir şekilde tutmaktır. Elmas tanelerinin matris tarafından tutulması ile ilgili basit modeller geliştirilmiş olmakla birlikte kullanım esnasında elmas taneciğinin matristen çıkması ile ilgili yeterli bir açıklama yapmak çok zordur. Çalışma sırasında matrise değişken yükler etki ettiği için yorulmaya maruz kalmaktadır. Ayrıca uygulamada sertlik, akma dayanımı ve darbe dayanımı gibi bazı mekanik özelliklerin matrisin elması tutma yeteneğini kontrol ettiği bilinmektedir. Bu sebeple matrislerde sertlik, akma dayanımı, eğme dayanımı veya darbe dayanımının belirlenmesine ilişkin çalışmalar rutin olarak yapılmaktadır.

#### 7.1.1. Sertlik

Matrislerin sertliği büyük ölçüde kullanılan tozun kimyasal bileşimi ile üretim parametrelerine bağlı olup; uygulamada sertlik soketler için temel kalite kontrol parametresi olarak kabul edilir. Matrislerde sertlik, üretim sıcaklığına göre değişmektedir (Şekil 7.1).

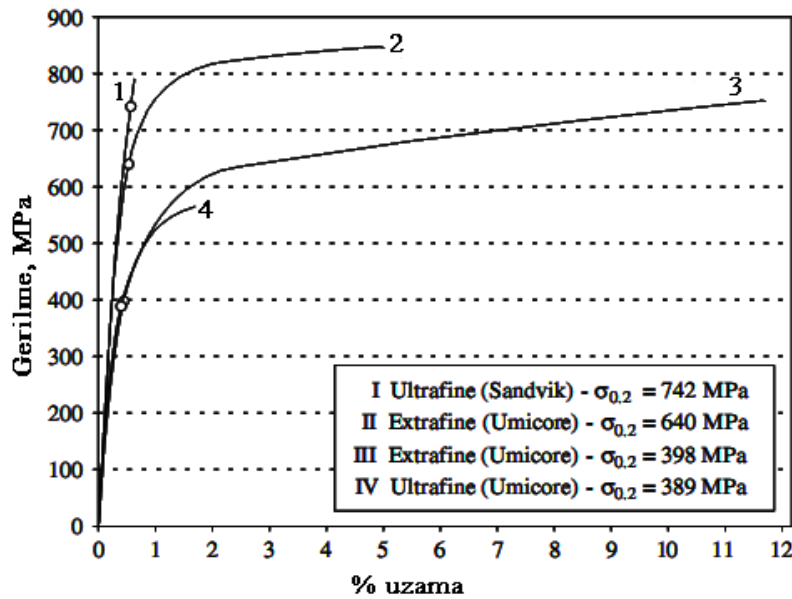


Şekil 7.1. Üretim sıcaklığına göre sertlik değişimi.

Düşük üretim sıcaklıklarında malzemenin plastik deformasyon miktarı ve yoğunluğu ile doğru orantılı olarak sertlik arttığı halde tam yoğunluğa ulaşıldığı sırada ise yeniden kristalleşme ve tane büyümesi gibi nedenlerle malzeme bir miktar yumuşar. Scketli takım yapımında sertlik, matrisin elması tutabilme gücü için pratik bir rehber olarak kullanılmaktadır. Sertlik ölçümünde brinell ya da rockwell B gibi sertlik ölçme metotları kullanılır. Matris sertliği olarak mermer türü malzemeler için 80-100 HB, granit türü sert malzemeler için ise 18-40 HRC arası önerilir (Tönshoff vd., 2002).

### 7.1.2. Akma Dayanımı

Akma dayanımının matrisin elması tutma kapasitesini belirleyen bir özellik olduğu düşünülmektedir. Matrisin akma sınırı aşıldığında, elmas tanelerini çevreleyen matris yüzeyinde doğrudan aşınma meydana gelir. Bu tip aşınma, matriste bulunan elmas tanelerinin hiç kesme yapmadan kopmasına ve düşmesine neden olur (De Châlus, 1994; Bonneau, 1995). Ancak matris tozuna farklı tozlar ilave ederek matriste istenilen değerlere ulaşılabilir (Konstanty, 2003). Genellikle akma dayanımı çekme testi ve sertlik ile tespit edilmektedir. Matrise katılan tozların özellikleri değiştirilerek çekme özellikleri esnek bir şekilde ayarlanabilir (Şekil 7.2). Matrise ince taneli tungsten karbür (WC) ilave edilerek akma dayanımı artırılır.



Şekil 7.2. Bazı kobalt tozlarının gerilim-uzama eğrisi; (1-3) 950 °C'de 2 dakika sıcak presleme, (IV) hidrojen atmosferinde 950 °C'de 1 saat sinterleme.



### 7.1.3. Eğme Dayanımı

Elmaslı kesici takımların eğilme dayanımlarını belirlemek amacıyla yaygın olarak üç noktalı eğme testi yapılmaktadır. Endüstriyel uygulamada, eğme testi matrisin elması tutmasını iyileştirmek için elmasa yapılan kaplamaların etkinliği değerlendirmek için yapılan kullanışlı bir yöntemdir. Kaplamalı ve kaplamasız elmasların bileşimi aynı kalmak koşuluyla karşılaştırılmasında kullanılır. Ancak burada üretim parametreleri aynı tutulmalıdır.

Uygulamalarda kobalt alaşımlarının eğme dayanımını iyileştirmek için tungsten karbür ve bronz ilave edilir. İnce taneli kobalt tozuna % 20 WC eklenmesiyle, yüksek sıcaklıklardaki mukavemet kayıpları engellenir. Buna ilave olarak sert faz miktarının % 40 olduğu durumlarda matrisin sertliği artması gerekirken yumuşamaya başlar. Karbür fazı sürekli olarak devam etmez ve bu da kobaltın sıcaklıkla birlikte zayıflamaya başladığını gösterir (Çelik, 2009).

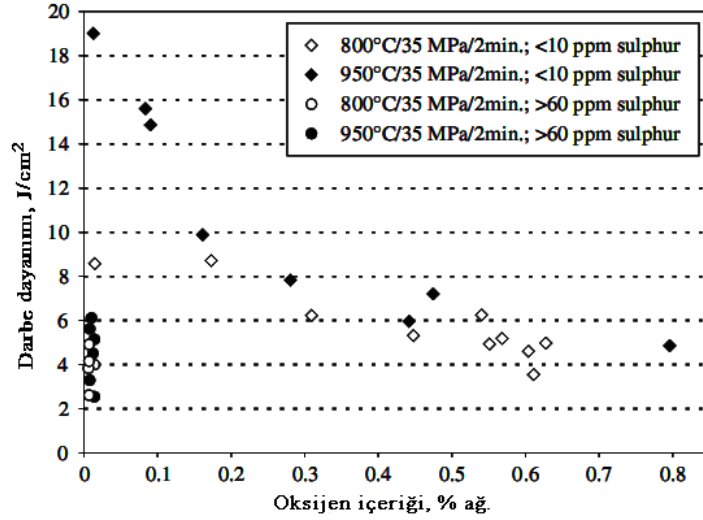
Matrise bronz eklenmesi durumunda ise, eğme dayanımında sürekli olarak bir azalma görülür. Ancak bronz tozları iri taneli kobalt tozunun yoğunluğunu arttırdığı için gözeneklilikte azalma, artan bronz miktarı ile eğme dayanımındaki düşüş oranı tungsten karbürü göre daha az ve yavaş olur. Matris yapımında kullanılan kobalt alaşımlarının eğme dayanımını arttırmak için içerisine tungsten karbür ve bronz ilave edilir.

### 7.1.4. Darbe Dayanımı

Kesme işlemi esnasında elmaslar periyodik olarak, matrisin çevresindeki gerilimleri tetikleyen yoğun darbelere maruz kalır. Bu sebeple matrisin darbe dayanımı, uygulamada takım performansı için kritik öneme sahiptir. Ayrıca elmaslı takımlarda istenmeyen titreşimler, elması sınıksız tutma özelliğini azaltan darbeleri yüklemelerin yanında matrise etki ederler. Bunlar, aşınma yerine kırılmaya başlayan matrise gömülü elmas taneciklerinin işlev göremez hale gelmesine neden 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. Yapıda bulunan oksijen ve kükürt tokluğu

düşürür. 2 µm tane boyutundan daha küçük taneli tozların sıcak preslenmesiyle elde edilen alaşımsız kobaltlı soketlerin kırılması için gerekli olan enerji, malzemede bulunan impürmeler tarafından etkilenir. Kobaltın sünekliği, malzemede bulunan kükürdün varlığı ve malzemenin oksitlenme derecesi ile kontrol edilmektedir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Sıcak preslenmiş kobaltın darbe dayanımı üzerine kükürt ve oksijen içeriğinin etkisi.

Oksijen içeriğinin olmamasına rağmen kükürt içerikli tozlardan üretilmiş malzemeler düşük darbe dayanımına sahiptir. Oksijen içeriğinin % 0.01’den % 0.2 oranına artması durumunda kükürt sıfıra yakın olduğu halde malzemelerin darbe dayanımı ani bir şekilde düşer. Bu aralığın biraz daha üstünde, darbe dayanımındaki düşme ani davranışı kaybeder. Sıcak presleme sıcaklığının 800 °C’den 950 °C’ye çıkması büyük bir etkiye sahiptir. Bu sıcaklık artışı, sıcaklık yükselmesinin sünek davranışı temsil ettiği çok düşük oksijen içeriği ile sınırlandırılmış olarak görülmektedir (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).

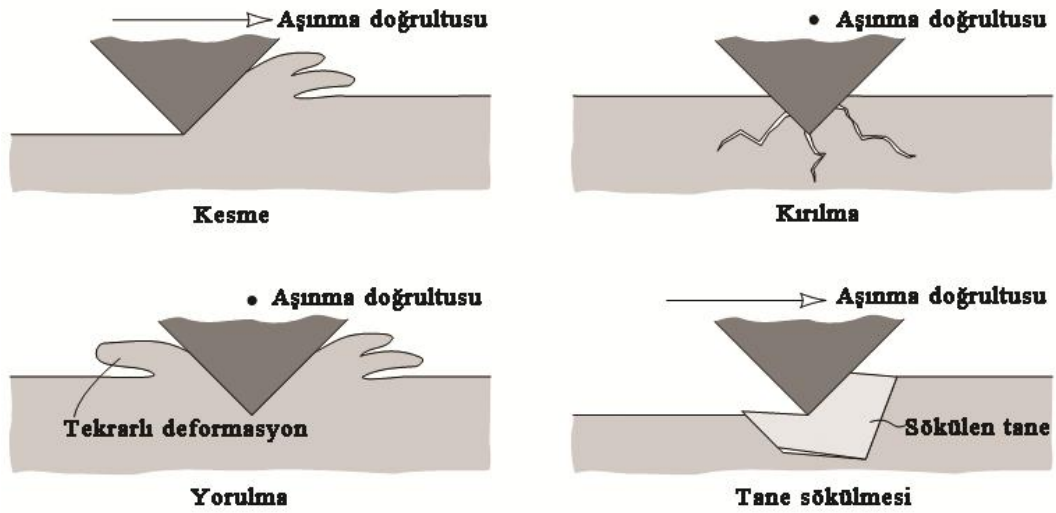
## 7.2. Aşınma Özellikleri

Elmaslı kesici takımların aşınması ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Ancak elmas alternatif bir kesici olarak cBN ile ilgili bir çalışma henüz bulunamamıştır. Mevcut çalışmaların çoğu ağırlıklı olarak matriste kullanılan elmas tanelerinin özellikleri ile ilgilidir. Bu sebeple elmas alternatif bir kesicinin aşınma mekanizmasını tartışmak ve elmasla mukayese etmek önemlidir. Hâlihazırda kullanılan elmaslı takımlar ile kesme ve aşındırma işlemleri sırasında kesilen ve aşındırılan iş

parçalarının kırıntıları ile matris arasındaki etkileşim, abrasiv talaşın boyutu, şekli, parçalanma özellikleri, sertliği, yükleme koşulları ve partiküllerin hareket hızına bağlı olarak değişik biçimlerde meydana gelmektedir. Abrasiv ve erozif aşınma, ısıl yorulma, çentik yorulması ve hala tespit edilememiş farklı mekanizmalar tarafından sürekli tetiklenmektedir.

### 7.2.1. Abrasiv Aşınma Direnci

Doğal taş kesimi sırasında soket üzerinde birbirinden farklı birçok aşınma çeşidi vardır. Bunlardan abrasiv aşınmada, abrasiv partiküller mikro kesme, mikro kırılma ve tanelerin çıkması gibi mekanizmalar ile malzemedan kaldırılabilir(Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Abrasiv aşınma mekanizmaları.

Aşınma mekanizması büyük oranda abrasiv partikülün şeklinden etkilenir. Kırılmış malzemedan oluşan yeni abrasiv taneler, çok daha fazla mikro ölçekli kesme yapabilen köşelere sahiptirler. Aşınarak köşeleri körelmiş taneciklerden daha fazla malzeme kaldırır. Ancak, abrasiv malzeme çok gevrek olursa, aşınmada ufalanarak daha küçük abrasiv taneciklere dönüşür. Abrasiv tanelerin aşınmış yüzeyde izlediği yol abrasiv aşınmanın yapısını belirler. Literatürde iki ve üç elemanlı olmak üzere iki abrasiv aşınma modeli mevcuttur.

İki elemanlı abrasiv aşınma, zımpara kâğıdına tutulan malzemenin aşınması şeklinde tarif edilebilir. Burada taneler serbest olmayıp; yüzeyde kesmeye benzeyen

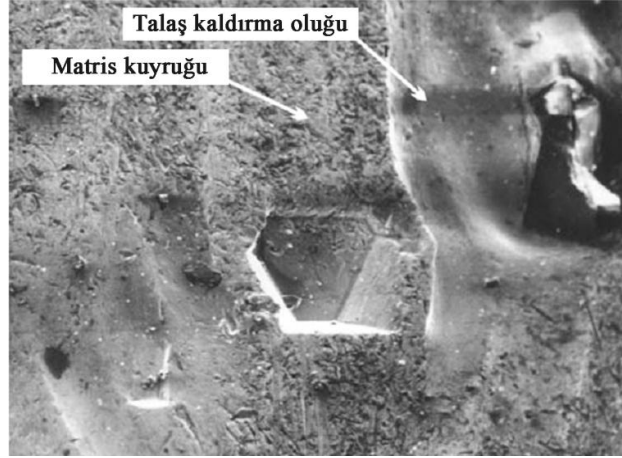
aşınma oluşur. Malzeme kaldırmada en hızlı ve etkili bir mekanizmadır. Benzer şekilde aşınmanın olabilmesi için elmas tanelerinin matristen çıkıntısının yeterli seviyede olması gerekir. Matris kesilecek iş parçasına temas ettiğinde, iki elemanlı aşınma oluşur. Eğer matris doğal taşla direkt temas eder ve matris ile taş arasında elmas tanelerinden kaynaklanan yeterli açıklık olmazsa bunun sonucu olarak matrisin doğal taşla direkt teması takım ömrünü azaltır. Soket yüzeyinde çizikler meydana gelir (Şekil 7.5).



**Şekil 7.5.** Aşınmış soketin mikroyapısı ve aşınma izleri (Konstanty, 2005).

Üç elemanlı aşınmada ise abrasiv partiküllerin bir çift kayma yüzeyi arasında girmesiyle aşınma meydana gelir. İki elemanlı aşınmaya göre on kat daha az aşınma meydana geldiği görülmüştür (Batchelor ve Stachowiak, 2000). Eğer abrasiv taneler çok küçük ve aşınacak malzemeden daha yumuşak ise üç elemanlı abrasiv aşınma oluşmaz. Fakat abrasiv taneler büyük ise etki eden kuvvetler çalışma sırasında bu tanelerin parçalanmasına ve keskin kenarlara sahip abrasiv taneler haline gelmesine neden olur. Matris yüzeyinden dışarı çıkan elmas parçacıkları, matrisin aşınma özelliklerini etkiler. Bu parçacıklar kesilen malzeme ile matris arasında bir boşluk oluştururlar. Bu boşluk elmas için kesme boşluğu olup; boşluk nedeniyle matris üzerinde direkt olarak zorlanma olmaz. Elmas tanesi koptuğu zaman matris sürtünmenin etkisi ile yeni tanecik çıkıncaya kadar hızlıca aşınır (Şekil 7.6). Çıkan yeni tanecikler kesme işlemini sürdürür. Uygulamada elmas konsantrasyonunun matris içerisinde gereğinden fazla arttırılmasının kesme performansını olumsuz etkilediği görülmüştür. İyi bir kesme performansı elde etmek için optimum konsantrasyonun belirlenmesinde elmas tanelerinin matris içerisinde homojen

olarak dağılımının önemli olduğu ifade edilmektedir. Elmaslı testerelerinin aşınmasını etkileyen faktörler ise, Tablo 7.1’de verilmiştir.



**Şekil 7.6.** Matristen kopmuş elmas tanesi çevresindeki aşınma bölgesi (Konstanty, 2005).

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

| Doğal Taşın Özellikleri                                                                                                                                                                        | Kesme Özellikleri                                                                                        | Testere Dizaynı                                                                                                                         | Aşınma Türü                                                                         | Makine Özelliği   | Diğer Faktörler               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| -Tane boyutu<br>-Dayanım<br>-Tane şekli<br>-Sertlik<br>-Su içeriği<br>-Mineral tipi<br>-Aşındırıcılık<br>-Matris tipi<br>-Gözenek<br>-Basınç<br>-Yönlenme<br>-Bağlanma yapısı<br>-Çimentolaşma | -Kuvvet<br>-Kesme hızı<br>-Talaş kaldırma oranı<br>-Çevresel hız<br>-Kesme derinliği<br>-Spesifik enerji | -Kesme mekanizması<br>-Kesme modu<br>-Elmas özellikleri<br>-Matris özellikleri<br>-Soket etkisi<br>-Soket yoğunluğu<br>-Testere profili | -Abrasiv<br>-Erozif<br>-Korozif<br>-Isıl şok<br>-Termal yorulma<br>-Darbeli yükleme | -Güç<br>-Titreşim | -Operatör<br>-Çevre<br>-İklim |

## 7.2.2. Elmasın Aşınmaya Etkisi

Matris yüzeyinden dışarı çıkan elmas tanecikleri, kesilen malzeme ile matris yüzeyi arasında bir boşluk oluşturur. Oluşan bu boşluk nedeniyle matris üzerinde direkt zorlanma olmaz. Bu boşluk, aynı zamanda elmas için kesme boşluğudur. Kesme yönünün sabit kalmasıyla kesme işleminde bulunan her bir elmas parçacığının arkasında elmasın aşınma

direncinden dolayı uzayan kuyruklar oluşmaktadır. Oluşan bu matris kuyrukları, kesme işleminde elmasa destek vererek matrisin hızla aşınmasına engel olmaktadır.

Elmas tanesi yerinden koptuğu zaman, matris kuyruğu korunamaz. Elmas tanesi düştükten hemen sonra matris kuyruğu iş parçası ile kısa süreli fakat yoğun sürtünmeye maruz kalır. Kesilen doğal taş üzerinden kopan parçacıklar matris üzerinde kesici takım etkisi yaparak matrisi hızla aşındırır. Bu durum yeni elmas tanecikleri çıkana kadar devam eder (Şekil 7.6).

Optimum elmas konsantrasyonu, elmas tipi ve boyutu, kesme parametreleri, kesilen taşın özellikleri ve kesim makinesinin özelliklerinin karmaşık bir fonksiyonudur. Özellikle elmasın matrisin içinde homojen biçimde dağılması önemlidir. Matris içerisinde dışarıya çıkmış elmasların sadece çok küçük miktardaki kısmı (yaklaşık % 26) her zaman doğru çıkma yüksekliğindedir. Matris içerisinde mikro kırılma yoluyla keskinleşen elmas tanecikleri, kesme kabiliyetini büyük ölçüde kaybettiği için kesme işlemi sonlanır. Bu işleme mikro sabanlama adı verilir.

Kesme sırasında sürtünmenin etkisiyle sıcaklığın 500 °C'ye çıkması durumunda elmas tanecik yüzeyinde grafitleşme veya oksitlenme meydana gelir. Bu durumda kesici takım kesme fonksiyonunu yitirir. Kesme işlemi esnasında soğutma sistemi sıcaklık yükselmesini tamamen engelleyemediği için, oluşan ısı matrise iletilir. Bu yüzden matris yumuşar. Kesme boyunca testere üzerinde oluşan normal kuvvetler adım, adım büyür ve kesim noktalarının körelmesine neden olur. Bu kuvvetlerin testere ömrü üzerindeki etkisi iki aşamadan oluşur. Birinci aşamada, her bir elmas tanesi başına düşen normal kuvvetlerin artışı ısı olarak yumuşamış olan matrisin plastik deformasyona uğramasına neden olur ve elmas-matris ayrılmasına ve elmas tanelerinin kopmasına sebep olur. İkinci aşamada, beklenmedik yüksek kuvvetler çelik gövde tarafından sönmelenemez. Ve testerenin balansını kaybetmesine ve sistemde zararlı titreşimlerin oluşmasına neden olur (Konstany, 2005).

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.

## 8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 8.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, elmaslı ve kübik bor nitrürlü (cBN) kesici takımlar üretilmiştir. Elmaslı ve cBN'li takımlar, genel olarak matris ve kesici tanecikler olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Üretilen kesici takımlarda matris malzemesi olarak 45-50 µm tane boyutunda % 99,9 saflıkta bronz tozu ( % 85 Cu + % 15 Sn) kullanılmıştır. Bu tozun içerisine kesici görevini üstlenmek üzere önceden belirlenen oranlarda sentetik elmas ve kübik bor nitrür (cBN) tanecikleri katılmıştır. Elmas ve cBN taneciklerinin matrise katkı oranı 30 konsantrasyon olarak seçilmiştir. Genel olarak 1 cm<sup>3</sup> soket hacmi içerisine 4,4 karat (1 karat=0.2 gr) elmas katıldığı taktirde bu 100 konsantrasyon olarak kabul edilir. Kesici takıma ilave edilebilecek en yüksek sentetik elmas veya cBN miktarı da budur. Ancak seçilen 30 konsantrasyonda ise 1 cm<sup>3</sup> soket hacmi içerisinde 1.32 karat (=0.264 gr.) elmas ve/veya cBN bulunur. Bu katkı oranı uygulamalara paralel olması açısından piyasa koşullarına göre belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, 600, 650 ve 700 °C sinterleme sıcaklığında üretilen elmaslı ve cBN'li soketlere ait üretim parametreleri Tablo 8.1'de verilmiştir.

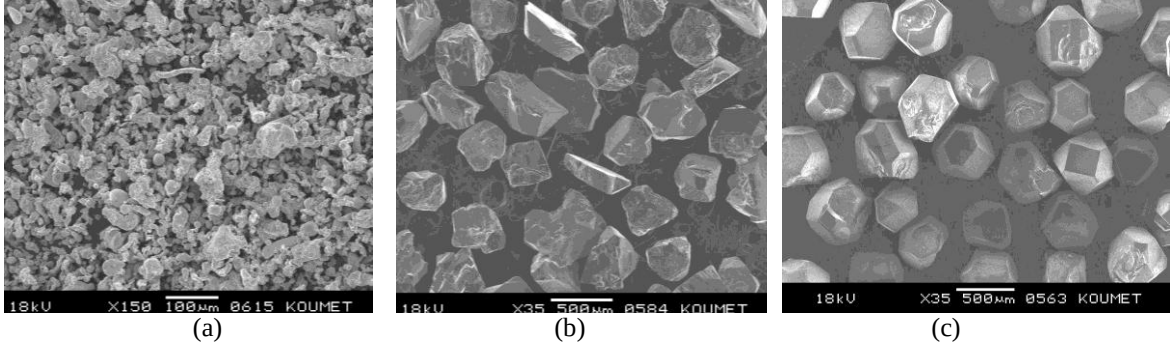
İlk numunede matrise sadece sentetik elmas katılarak bunun farklı oranlarda cBN katkılı kesici takımlarla mukayesesi yapılmıştır. Kullanılan sentetik elmas ya da cBN tanelerinin boyutu 30/40 ve 40/50 US mesh olarak seçilmiştir. Elmas ya da cBN'den matrise katılan miktarın yarısının kesici takımın ömrünün uzun, kesme kalitesinin yüksek olması amacıyla 30/40 US mesh ve diğer yarısının 40/50 US mesh tane boyutunda olmasına özen gösterilmiştir. Ancak uygulamada bu katkı oranının, her bir üretici firmanın kendi belirlediği miktarlarda yapıldığı anlaşılmıştır. Genellikle, iri taneli elmas taneciklerinden matrise daha fazla katılmaktadır. Buna göre; % 100 elmaslı bir soket numunesinde, 97 gr. 85/15 CuSn tozu içerisine 1,5 gr. 30/40 + 1,5 gr. 40/50 US mesh olmak üzere toplam 3 gr. sentetik elmas tozu karıştırılarak soket matrisi oluşturulmuştur. Bu özellik diğer tüm soket matris karışımlarında elmas ve cBN için de geçerlidir. Deneysel çalışmada kullanılan matris tozu ile elmas ve cBN tanelerinin SEM fotoğrafları Şekil 8.1'de verilmiştir. SEM fotoğraflarından bronz tozunun küresel bir yapıya, cBN tanelerinin keskin köşeli ve nispeten kübik yapıya, elmas taneciklerinin ise kübik oktahedral yapıya sahip olduğu görülmektedir.

**Tablo 8.1** Numune soketlere ait üretim parametreleri.

| Numune No | Matris Bileşimi (% Ağırlık) |       |     | Sıcak presleme parametreleri |             |              | Testere özellikleri |              |
|-----------|-----------------------------|-------|-----|------------------------------|-------------|--------------|---------------------|--------------|
|           | CuSn                        | Elmas | cBN | Sıcaklık (°C)                | Süre (dak.) | Basınç (MPa) | Çap (mm)            | Soket (adet) |
| -         | 100                         | -     | -   | 600                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| -         | 100                         | -     | -   | 650                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| -         | 100                         | -     | -   | 700                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 1         | 97                          | 3     | -   | 600                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 2         | 97                          | 3     | -   | 650                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 3         | 97                          | 3     | -   | 700                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 4         | 97                          | 2,4   | 0,6 | 600                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 5         | 97                          | 2,4   | 0,6 | 650                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 6         | 97                          | 2,4   | 0,6 | 700                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 7         | 97                          | 1,8   | 1,2 | 600                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 8         | 97                          | 1,8   | 1,2 | 650                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 9         | 97                          | 1,8   | 1,2 | 700                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 10        | 97                          | 1,2   | 1,8 | 600                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 11        | 97                          | 1,2   | 1,8 | 650                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 12        | 97                          | 1,2   | 1,8 | 700                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 13        | 97                          | 0,6   | 2,4 | 600                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 14        | 97                          | 0,6   | 2,4 | 650                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 15        | 97                          | 0,6   | 2,4 | 700                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 16        | 97                          | -     | 3   | 600                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 17        | 97                          | -     | 3   | 650                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |
| 18        | 97                          | -     | 3   | 700                          | 3           | 35           | 300                 | 21           |

\* Elmas konsantrasyonu olarak 1 cm<sup>3</sup> soket hacmi için 4,4 karat elmas % 100 konsantrasyon olarak kabul edilmiştir.





**Şekil 8.1.** Soket üretiminde kullanılan tozların SEM fotoğrafları; (a) 85/15 CuSn, (b) cBN ve (c) sentetik elmas taneciklerinin SEM görüntüleri.

## 8.2. Toz Karışımının Hazırlanması

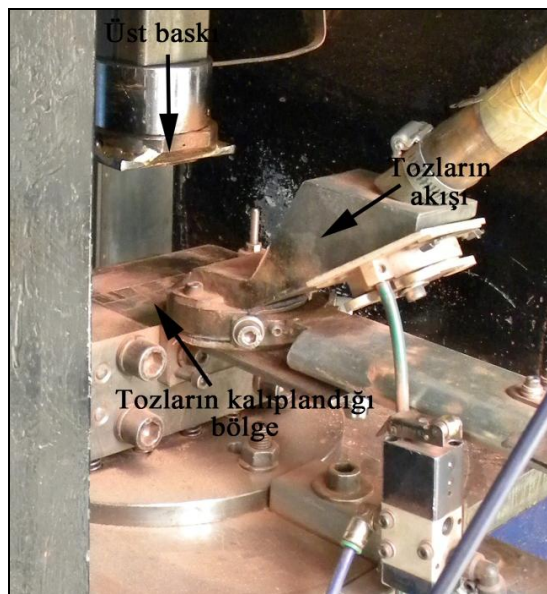
Soket üretiminde seçilen tozların ve taneciklerin matriste istenilen performansı verebilmesi için çok iyi karıştırılması ve matris içinde homojen dağılmalarını sağlamak gerekir. Yapılan deneysel çalışmalarda üç eksenli dönme prensibiyle çalışan karıştırma mikserleri kullanıldı (Şekil 8.2). Önce hassas terazilerde tartılarak hazırlanan 85/15 CuSn matris tozu içerisine belirlenen oranlarda elmas ya da cBN katılarak bu mikserler içerisinde 20 dakika süre ile 20 devir/dak hızda karıştırıldı. İyice karıştırılan bu tozun içine homojen dağılımının bozulmaması ve metal tozlarının grafit kalıptan dökülmemesi için ağırlıkça % 1 oranında PEG (polietilen glikol) ilave edilerek tekrar krom kaplanmış çelik bilyeler ile birlikte 20 dakika süre ile karıştırıldı. Karışımın içerisine konan metal kaplı çelik bilyeler, PEG'in karışım içerisinde topak oluşturmamasını engellemek amacıyla katılmıştır. Karıştırma işlemi sonrası, hava ile temas sonucu oksitlenmeyi engellemek için karışım plastik torbalara konuldu. Deneylerde MBD 6 türü 30/40 ve 40/50 US mesh sentetik elmas ile ÇİN'den ithal edilen 30/40 ve 40/50 US mesh cBN kullanıldı.



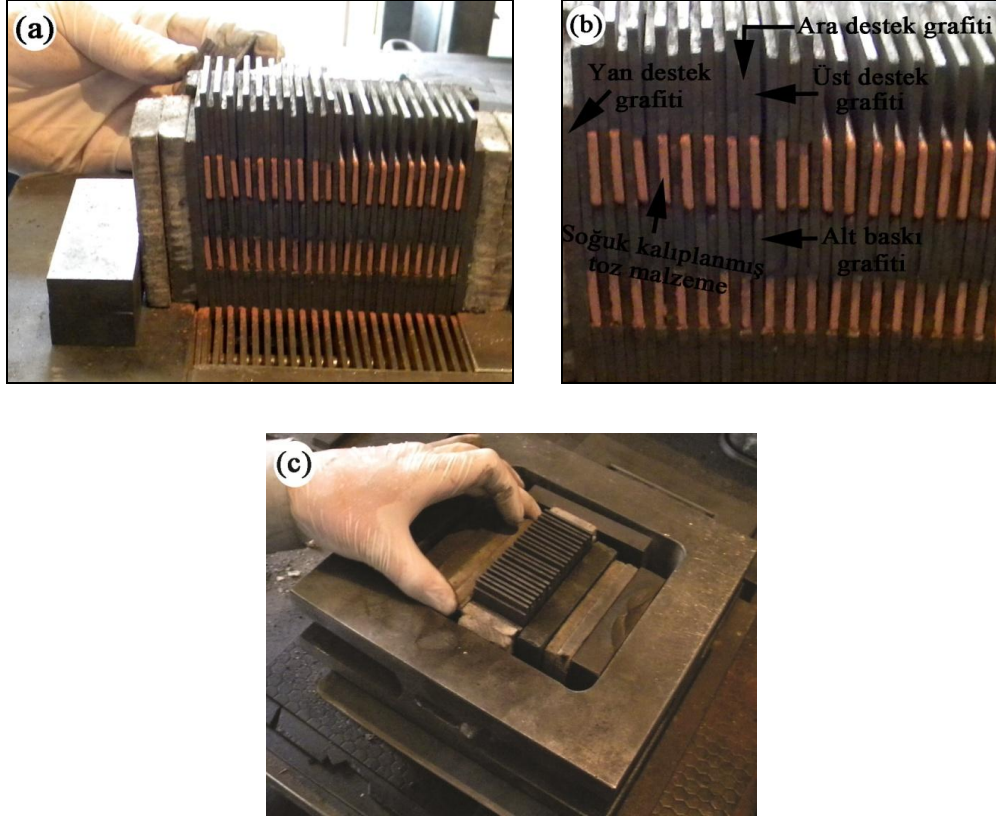
**Şekil 8.2.** Matris tozu karıştırma mikseri.

### 8.3. Tozların Preslenmesi ve Sinterleme İşlemi

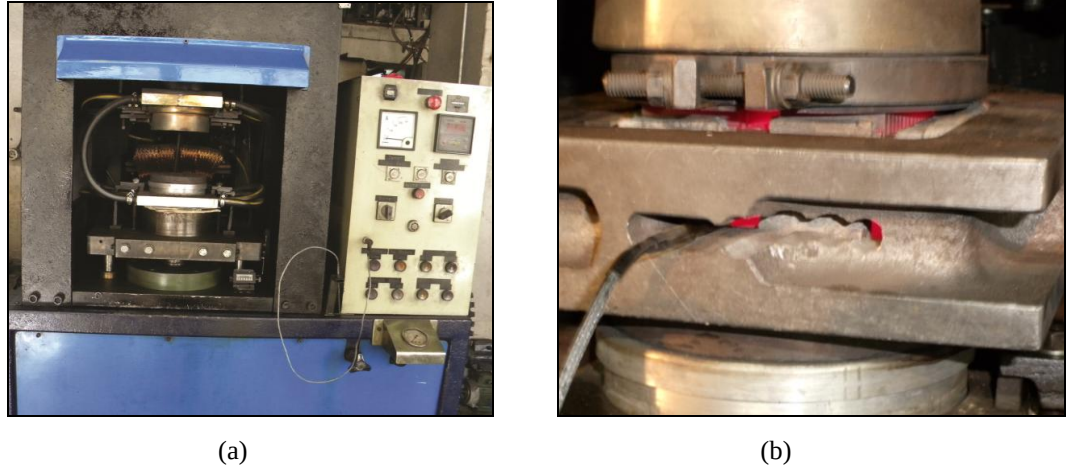
Karıştırma mikserinde hazırlanan her bir soket numunesine ait tozlar, Şekil 8.3’de görülen hidrolik pres makinesinde soğuk olarak kalıplandı. Soğuk kalıplama, soğuk iş takım çeliğinden yapılmış metal kalıpta yapıldı. Soğuk kalıplama sonucunda elde edilen soket görünümlü parça, bisküvi gibi gevrek, kırılmaya çok yatkın ve sadece sıcak preslenmek üzere grafit kalıplara yerleştirilmeye imkan verecek şekildedir. Soğuk kalıplamanın amacı, sıcak presleme öncesinde grafit kalıplara bisküvi tarzındaki bu soketlerin kolay yerleştirilmesini sağlamak ve daha küçük hacimli kalıp kullanılması amacıyla. Soğuk kalıplanmış toz malzeme (soketler), daha sonra sıcak presleme yapılmak üzere grafit kalıplara dizildi. Grafit kalıplar, üst destek grafiti, alt destek grafiti ve yan destek grafiti gibi elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 8.4). Genellikle hafif olması için alüminyum malzemeden yapılan metal çerçeve içerisine yerleştirilen grafit kalıplar, sıcak preslenmek üzere pres makinesine yerleştirildi. Müteakiben sıcak presleme makinesi üzerinde kalıp sıcaklığı, sinterleme basıncı ve sinterleme süresi ile diğer proses parametreleri girildikten sonra sinterleme işlemine başlandı. İstenilen sıcaklık değerinde sinterleme işlemi tamamlandıktan sonra makine durduruldu. Soketlerin içinde bulunduğu sıcak çerçeve maşa yardımıyla alınarak kenarda soğumaya bırakıldı. Soğuma sonrası kalıp açılarak soketler alındı. Deneylerde kullanılan sıcak presleme makinesi Şekil 8.5’de görülmektedir.



Şekil 8.3. Soğuk kalıplama presi.



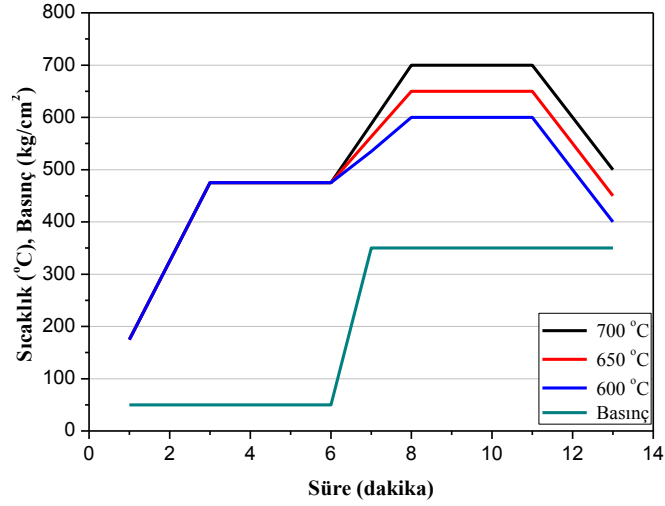
**Şekil 8.4.** (a) Soketlerin grafit kalıplara yerleştirilmesi, (b) grafit kalıp elemanları ve (c) grafit kalıbın alüminyum çerçeveye yerleştirilmesi.



**Şekil 8.5.** (a) Sıcak pres makinesi ve (b) soketlerin basılması.

Sıcaklık yaklaşık 500 °C'ye yükseldiğinde PEG'in yanması sonucu kalıptan duman çıkmaya başlar. Bir süre sonra duman çıkması iyice azalır. Sıcaklık, önceden belirlenen 600, 650 ve 700 °C'ye yükseldiğinde basınç 35 MPa'a yükseltilerek 3 dakika süre ile

bekledikten sonra sinterleme işlemi sona erdirilir. Sinterleme grafiği Şekil 8.6’da görülmektedir.



Şekil 8.6. Sinterleme grafiği (Sıcaklık-basınç-süre).

#### 8.4. Yoğunluk Ölçümü

Yapılan deneysel çalışmalar kapsamında üretilen tüm soket numunelerinin yoğunlukları, 0.0001 gr. hassasiyetindeki AND GR - 200 marka hassas terazi ile ASTM B 311-08 standardına göre ölçülmüştür (Şekil 8.7)



Şekil 8.7. Yoğunluk ölçme terazisi (AND GR-200)

Bu yöntemle göre önce numunelerin havada kuru ağırlıkları ölçülmüş olup; daha sonra numuneler darası alınan metal bir sepet ile sıcaklığı termometre ile ölçülen saf su

dolu ölçüm kabına batırılmıştır. Numuneler suyun içerisinde tekrar tartıldıktan sonra yoğunlukları (8.1) nolu bağıntıya göre hesaplanmıştır:

$$d = \frac{(A) \cdot (d_s)}{A - B} \quad (8.1)$$

Bu bağıntıda;

d -Numunenin özkütlesi (gr/cm<sup>3</sup>),

A -Numunenin havadaki ağırlığı (gr.),

B -Numunenin su içerisindeki ağırlığı (gr.),

d<sub>s</sub>- Ölçümün yapıldığı sıcaklıktaki suyun yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>),

dur. Daha sonra bulunan değerlerin teorik yoğunluğa göre ne oranda tutturulabildiğini anlayabilmek amacıyla her bir numunenin bağıl yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$\rho_b = \frac{\rho}{\rho_k} \times 100 \quad (8.2)$$

Bu bağıntıda;

$\rho_b$  - Bağıl yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>),

$\rho$  - Deneysel olarak ölçülmüş yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>),

$\rho_k$  - Numunenin toz karışım oranları esas alınarak hesaplanan teorik yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>),

## 8.5. Sertlik Ölçümü

Sıcak presleme yoluyla elde edilen kesici takım numunelerin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla Karl Frank marka sertlik ölçme cihazında 62,5 kg yük ve 2.5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği Brinell cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümü sırasında numunelerin farklı yerlerinden toplam altı adet sertlik ölçümü yapılmıştır. Ölçülen sertlik değerlerinin en yüksek ve en düşük olanı çıkarıldıktan sonra kalan sertlik değerlerinin ortalaması alınarak numunelerin ortalama sertlik değerleri bulunmuştur.

## 8.6. Üç Noktalı Eğme Testi

Kırılma tokluğunu belirlemek için yapılan 3-noktalı eğme testi (Şekil 8.8), 50 kN kapasiteli INSTRON marka universal tip çekme cihazında ASTM B 528-83a standardına göre 1 mm/dak deney hızında yapılmıştır. Test işlemi, her bir baskı sırasında özel olarak

basılmış 40x7x3,2 mm boyutundaki dikdörtgen biçimindeki soket numuneleri kullanılarak özel bir aparat yardımıyla yapılmıştır. Numunelerin eğilme mukavemetini hesaplamak için aşağıdaki bağıntıdan yararlanılmıştır.

$$P = \frac{3F.L}{2b.h^2} \quad (8.3)$$

Bu bağıntıda,

P- Eğme mukavemeti (MPa),

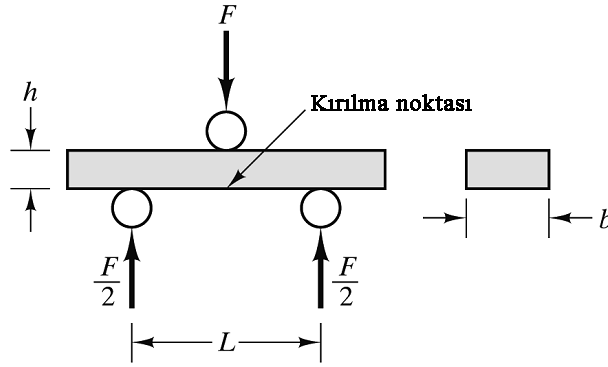
F- Kırılma anında numuneye uygulanan kuvvet (N),

L- Destek noktaları arasındaki mesafe (mm),

b- Numune genişliği (mm),

h- Numune yüksekliği (mm).

dir.



Şekil 8.8. Üç noktalı eğme testi.

### 8.7. Soketlerin Çelik Gövdeye Kaynatılması

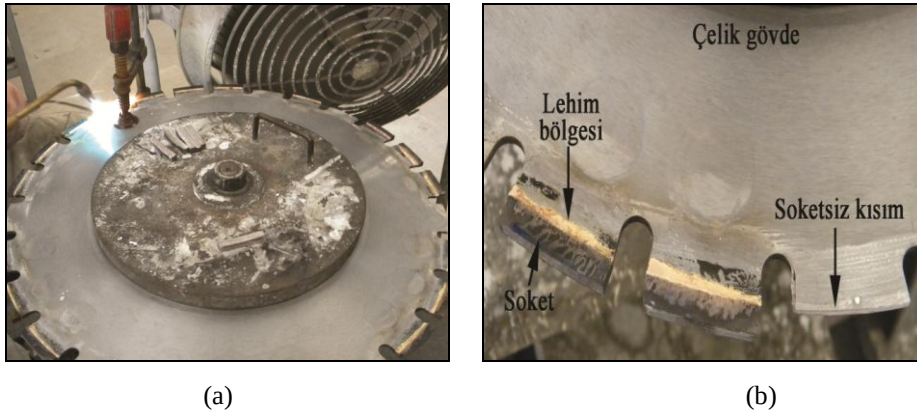
Üretilen soketlerler, AISI 1070 çelikten lazer yardımıyla kesilerek üretilmiş Ø 290x1.8x60 mm. ölçüsündeki çelik gövdelere lehim kaynağı ile kaynatılmıştır. Kaynak işleminde 1.2 mm çapında Cu-%40Ag kimyasal bileşimine sahip lehim teli kullanılmıştır. Kullanılan lehim telinin özellikleri Tablo 8.2’de verilmiştir.

**Tablo 8.2.** Lehim telinin özellikleri.

| Cinsi                            | Çapı (mm) | Ergime sıcaklığı (°C) | Çalışma sıcaklığı (°C) | Çekme mukavemeti (MPa) | Uç rengi |
|----------------------------------|-----------|-----------------------|------------------------|------------------------|----------|
| LARGEN 306-Cd<br>%40 Ag içerikli | 1,2       | 550-610               | 610                    | 410                    | Yeşil    |



Lehimleme işleminden önce, soketler ile çelik gövdenin kaynatılacak olan kısımları daha iyi bir lehim bağlantısı olması için mekanik ve kimyasal olarak temizlendi. Daha sonra soketler bir aparat yardımıyla çelik gövde üzerine yerleştirildi (Şekil 8.9). Soket ve çelik gövde oksî-asetilen şalomasıyla yaklaşık 600 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra bölgeye lehim malzemesi ilavesi yapılarak lehimleme işlemi tamamlandı. Bu sırada çelik gövdede biriken ısı, aparatın alt ve üst kapaklarında açılmış olan kanallarda dolaşan soğutma suyu vasıtasıyla kaynak bölgesinden uzaklaştırıldı. Ayrıca kaynak sırasında, çelik gövdenin ısıdan dolayı çarpılmaması için soketler çelik gövdeye sıralı yerine karşılıklı olarak kaynatılmaktadır. Kaynak bitiminde aparat açılmadan önce soketlerin gövdeye iyi kaynatılıp/kaynatılmadığı ve kopan soket olup/olmadığı kontrol edilir. Bu işlem sırasında çelik gövdenin soğuması da sağlanmış olur.

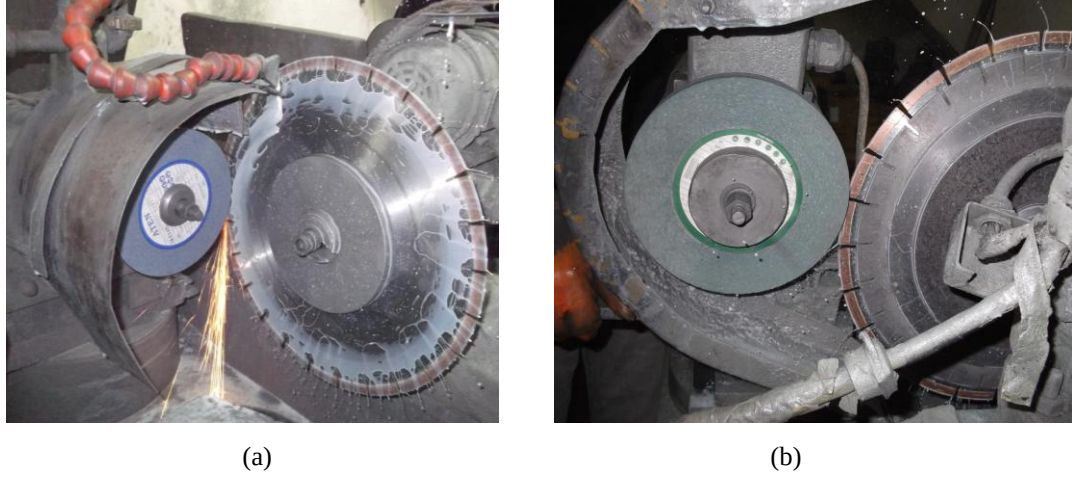


Şekil 8.9. Soketlerin gövdeye kaynatılması. (a) Lehimleme işlemi ve (b) Kaynak dikiş bölgesi.

## 8.8. Taşlama ve Balans Alma İşlemleri

Kaynağı tamamlanmış olan testerelerin sırasıyla taşlama ve balans alma işlemleri yapılır. Önce testerelerin kesme işlevini yerine getirebilmesi için alın ve yan yüzeylerinin taşlanması yapıldı. Alın yüzeyi taşlama işleminde 200 x 25 x 20 mm ölçüsünde 60 US mesh tane boyutuna sahip seramik taşlar (NK) ile yan yüzeyin taşlama işleminde 80 US mesh tane boyutundaki (SCG) seramik taşlar kullanıldı. Taşlama sırasında soketlerin iyi kaynamamış olanları testere üzerine tekrar kaynatıldı. Testerelerin üzerindeki soketlerin yan ve alın yüzeyleri Şekil 8.10'da görülen tezgâhta taşlandı. Taşlama sonucunda testere üzerinde bulunan soketlerin ağzı açılmış olup; testereden emin olmak için taş kesme

tezgâhına bağlanarak taş kesimi yapılmıştır. Bu deneysel çalışma için hazırlanmış numune testerelerden bazıları Şekil 8.11’de görülmektedir.



**Şekil 8.10.** Soket yüzeylerinin taşlanması. (a) Yan yüzey taşlama (b) Alın yüzeyi taşlama.



**Şekil 8.11.** Bitmiş numune testereler.

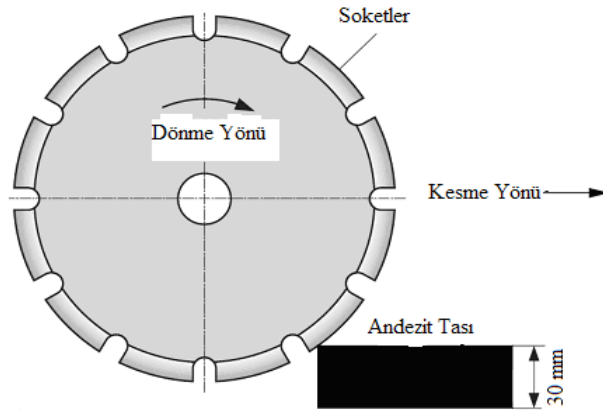
Testerelerin taşlama ve ağız açma işleminden sonra varsa balans alma işlemleri yapılır. Bu işlem, çelik gövde üzerinde ilgili yerlere çekiç ile vurarak veya bu iş için özel yapılmış makinelerde çelik gövde üzerinde kordon çekme şeklinde yapılır. Kaynatılmış testerelerde balans alma işlemi yapılmaz ise testere salgılı döner. Aşırı gürültülü çalışır. Ve bunun sonucunda testere çelik gövdesinde yorulma meydana gelerek testerenin ömrü kısa sürede biter.



### 8.9. Doğal Taş Kesme İşlemleri ve Aşınma Testi

Deneyler, üzerine maksimum 400 mm çapında testere bağlanabilen ve kesici takımın ilerleme hızının 0,2-1,2 m/dak arasında istenilen değere ayarlanabilmesine imkan veren bir makinede yapılmıştır. Makine üzerinde bulunan kesici testere, 2,2 kW güce sahip 2800 dev/dak hızla dönen bir AC motordan hareket almaktadır. Kesici takımın ileri-geri hareketi, redüktörlü bir AC motor ile yapılmaktadır. İş emniyeti açısından kızıağın her iki ucuna, kesme işlemini sona erdiren endüktif sensörler yerleştirilmiştir. Ayrıca makine üzerinde 40 lt/dak kapasiteli soğutma suyu pompası mevcuttur.

Kesme işleminde 300 mm. çapında testere kullanılmış olup; aşağı yönlü kesme modu seçilmiştir (Şekil 8.12). Kesici takımın çevresel hızı, yaklaşık 45 m/s kadardır. Deneylerde kullanılan makine ve kesme işlemi Şekil 8.13’de görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar ile ilgili parametreler ise Tablo 8.3’de verilmiştir.



Şekil 8.12. Doğal taş kesme yönü.



(a)



(b)

Şekil 8.13. (a) Doğal taş kesme makinesi ve (b) kesme işlemi.

**Tablo 8.3.** Kesme deneyi parametreleri

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

Kesme işlemlerinde soketi hızlı aşındırması ve sonuç alınabilmesi için 500 x 150 x 30 mm ölçülerinde Ankara andezit taşı kullanılmıştır. Bu taşın kimyasal bileşimi Tablo 8.4’de, fiziksel ve mekaniksel özellikleri Tablo 8.5’de, kesilen taşın fotoğrafı ise Şekil 8.14’de verilmiştir.

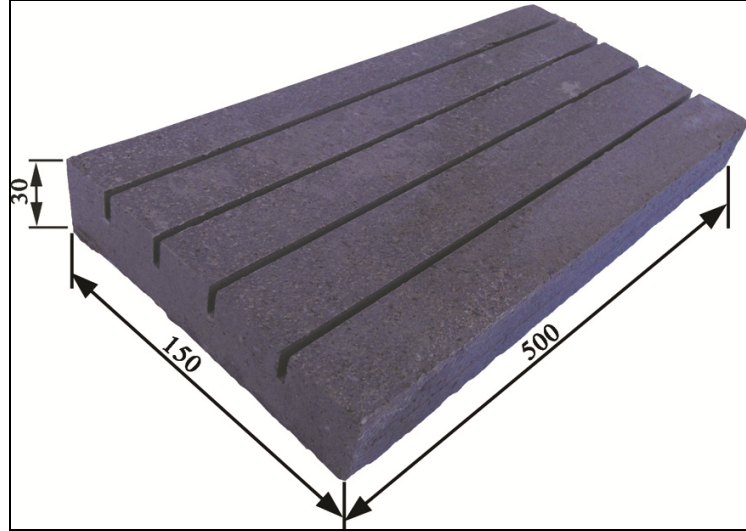
Yapılan deneyler sırasında toplam 259465 cm<sup>2</sup> andezit taşı kesildi. Kesme işlemi sırasında her bir soket numunesi için kesilen alan, cm<sup>2</sup> olarak hesaplandı. Soketlerdeki aşınma miktarı ise, 0,01 mm hassasiyete sahip dijital kumpas yardımıyla ölçüldü. Her bir testere numunesi için on ölçüm alındı. Bulunan maksimum ve minimum ölçü değerleri atıldıktan sonra kalan diğer sekiz değerlerin ortalaması alınarak birim soket aşınması belirlendi. Kesilen andezit miktarı (m<sup>2</sup> olarak), soketteki yükseklik kaybına (mm olarak) bölünerek soketlerin aşınma performansları (m<sup>2</sup>/mm) belirlendi (Xu, 2001; Xu ve Yu, 2005).

**Tablo 8.4.** Ankara andezit taşının kimyasal bileşimi.

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

**Tablo 8.5.** Ankara andezit taşının fiziksel ve mekanik özellikleri.

| Özellikleri                                                     | Değeri |
|-----------------------------------------------------------------|--------|
| Yoğunluğu ( $\text{gr/cm}^3$ )                                  | 2.55   |
| Gözeneklilik derecesi (%)                                       | 8.04   |
| Doluluk oranı (%)                                               | 91.96  |
| Basınç dayanımı (MPa)                                           | 83,57  |
| Eğilme dayanımı (MPa)                                           | 16,3   |
| Darbe dayanımı ( $\text{J/cm}^2$ )                              | 120    |
| Aşınma dayanımı ( $\text{cm}^3/50.\text{cm}^2$ ) (Böhme metodu) | 16.82  |
| Sertlik (Mohs)                                                  | 6-7    |
| Atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme (%)                  | 4.28   |
| Don dayanımı (ortalama % ağırlık azalması)                      | 0.04   |



**Şekil 8.14.** Kesilen andezit taşının genel görünümü.

### 8.10. Mikroyapı İncelemeleri

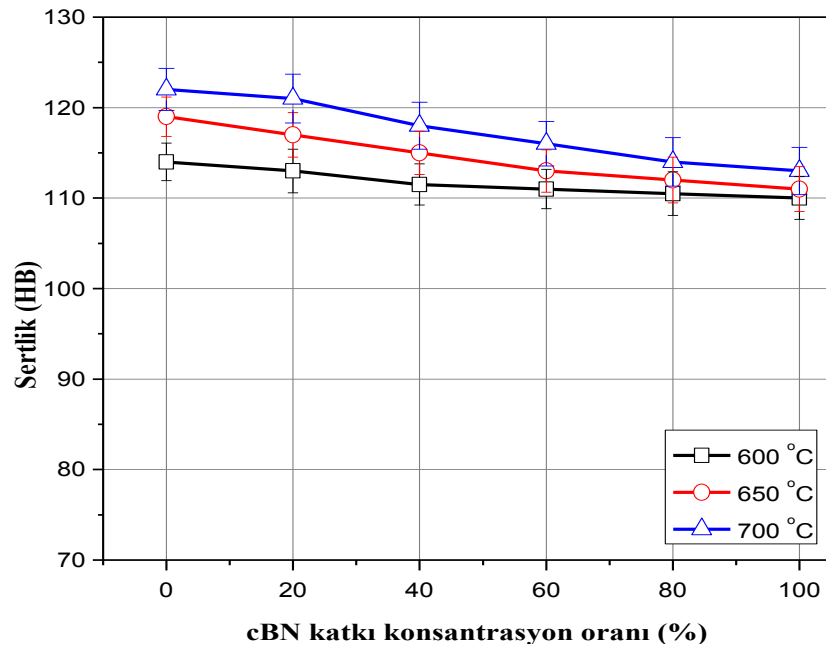
Toplam on sekiz adet testere numunesi ve eğme testleri için üretilen numunelerden metalografik incelemeleri yapmak üzere belirlenen soketler, yaklaşık 3.2 x 7 x 8-10 mm ölçülerinde kırıldı. Seçilen numunelerin yüzeyleri önce 80-1200 mesh'lik zımpara kağıdına tutularak temizlendi. Daha sonra 1 ve 6  $\mu\text{m}$ 'lik elmas pasta ve inceltici yardımıyla numunelerin yüzeyleri parlatıldı. Numuneler, mikroyapı incelemeleri için 20 saniye süre ile 5 gr.  $\text{FeCl}_3$  + 50 ml HCl + 100 ml  $\text{H}_2\text{O}$  çözeltisinde dağlandı. Daha sonra hazırlanan numunelerin kırılma ve aşınma yüzeylerinin mikroyapı özellikleri, taramalı elektron

mikroskobu (SEM-JEOL Ltd., JEM-2100F model), enerji dispersive spektograph (EDS), X- ışını difraksiyonu (XRD- Bruker AXS Inc., D8 Advance model) ile değerlendirilmiştir. XRD analizleri 30 kV ve 15 mA'de  $\text{CuK}_\alpha$  radyasyonu kullanılarak Rigaku Geigerflex X-ışını difraktometresi ile elde edilmiştir.

## 9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 9.1 Sertlik Ölçme Deneyi Sonuçları

Sertlik ölçme deneylerinde, sıcak presleme yöntemiyle üretilen 3,2 x 7 x 40 mm boyutundaki numuneler kullanılmıştır. Testler, bir sertlik ölçme cihazında 62,5 kg yük ve Ø 2.5 mm çapında bilya kullanılarak yapılmış olup; sertlik değerleri Brinell cinsinden ölçülmüştür. Ölçüm sırasında numunelerin orta ve baş kısımlar olmak üzere en az sekiz farklı yerinden ölçüm yapılarak bulunan sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Matrise katılan elmas ve cBN taneciklerinin farklı sinterleme sıcaklıklarında soket sertliğine olan etkisi Şekil 9.1’de görülmektedir.

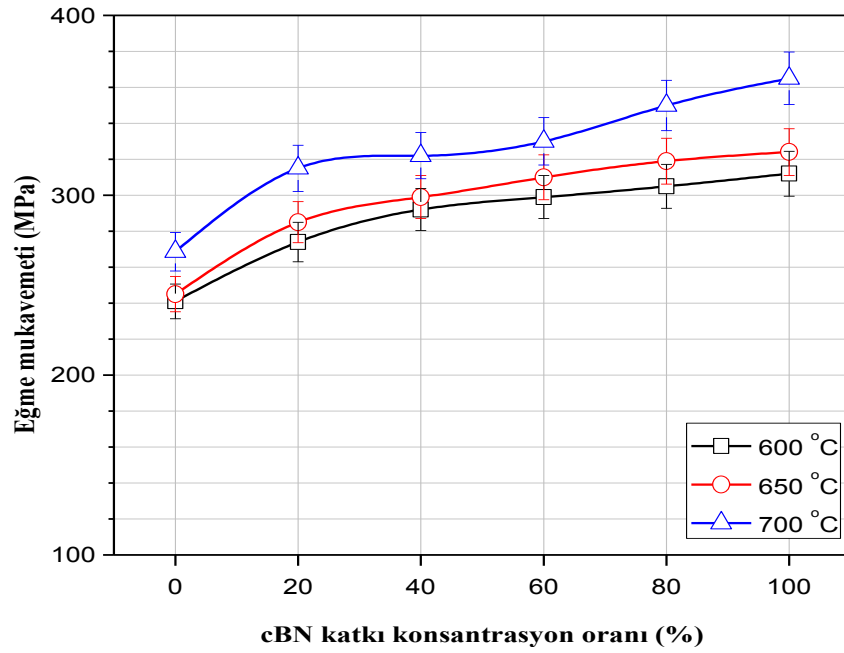


Şekil 9.1. Farklı sinterleme sıcaklıklarında cBN’in soket matris sertliğine olan etkisi.

Şekil 9.1’e göre, belirlenen oranlarda matrise katılan cBN taneciklerinin, soketlerin matris sertlik değerlerinde az oranda düşüşe sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Normalde elmas tanecikleri cBN’e göre daha sert olduğu için % 100 elmaslı numunede sertliğin daha yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Ancak daha fazla sayıda sertlik ölçümü yapılması halinde bulunan sonuçlar % 100 elmaslı numuneye çok yakın çıkacaktır.

## 9.2. Üç Noktalı Eğme Deneyi Sonuçları

Özel olarak hazırlanan 3,2 x 7 x 40 mm boyutundaki numunelerin eğilme mukavemetleri, üç noktalı eğme deneyi yapılarak ölçülmüştür. Yapılan deneylerde ASTM B 528-83a standardına göre özel imal edilmiş aparat kullanılmıştır. Instron marka 50 kN kapasiteli çekme deney makinesinde yapılan deneylere ait sonuçlar Şekil 9.2’ de görülmektedir.



Şekil 9.2. Üç noktalı eğme deneyi sonuçları.

Şekil 9.2 de cBN katkılı numunelerin eğilme mukavemetinin % 100 elmas katkılı numuneye göre yaklaşık % 30 daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, elmasa nazaran cBN’in 85/15 bronz malzeme ile daha iyi bir ara yüzey bağı yapmasından kaynaklandığı sanılmaktadır. Ara yüzey bağının iyi olması, eğilme mukavemetinin yüksek çıkmasına neden olabilecek sebeplerin en mantıklısıdır.

## 9.3 Yoğunluk Ölçme Deneyi Sonuçları

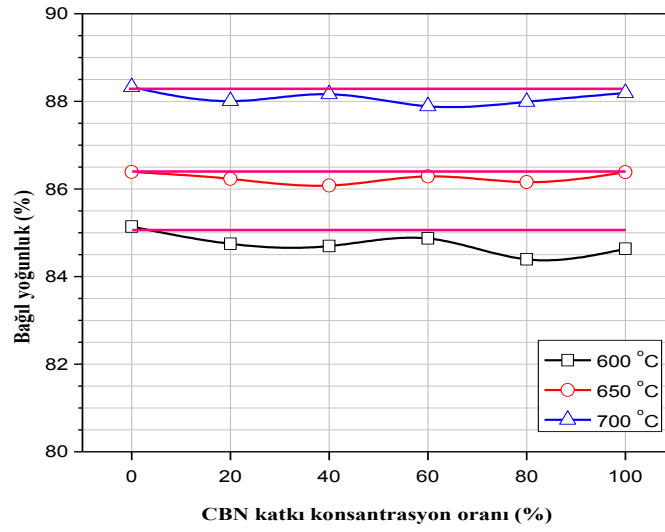
Sıkıştırılabilirlik ve yoğunlaşma hususunda bir fikir vermesi açısından soket numunelerinin yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Tablo 9.1’de farklı sıcaklıklarda sinterlenen cBN ve elmaslı soketlerin teorik ve deneysel yoğunlukları verilmiştir.

**Tablo 9.1.** Farklı sıcaklıklarda sinterlenen cBN ve elmaslı soketlerin teorik ve deneysel yoğunlukları.

| Numune    | Teorik yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> ) | Deneysel yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> ) |              |              |
|-----------|---------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|
|           |                                       | 600 °C                                  | 650 °C       | 700 °C       |
| % 0 cBN   | 8,5252                                | 7,2583                                  | 7,3648       | 7,5298       |
|           |                                       | Fark: 1,2669                            | Fark: 1,1604 | Fark: 0,9954 |
| % 20 cBN  | 8,5248                                | 7,2243                                  | 7,3512       | 7,5023       |
|           |                                       | Fark: 1,3005                            | Fark: 1,1736 | Fark: 1,0225 |
| % 40 cBN  | 8,5244                                | 7,2200                                  | 7,3378       | 7,5153       |
|           |                                       | Fark: 1,3044                            | Fark: 1,1866 | Fark: 1,0091 |
| % 60 cBN  | 8,5239                                | 7,2345                                  | 7,3548       | 7,4913       |
|           |                                       | Fark: 1,2894                            | Fark: 1,1691 | Fark: 1,0326 |
| % 80 cBN  | 8,5235                                | 7,1935                                  | 7,3438       | 7,4999       |
|           |                                       | Fark: 1,3300                            | Fark: 1,1797 | Fark: 1,0236 |
| % 100 cBN | 8,5231                                | 7,2134                                  | 7,3623       | 7,5167       |
|           |                                       | Fark: 1,3097                            | Fark: 1,1608 | Fark: 1,0064 |

Matrise cBN ilavesiyle soketlerin yoğunluklarında çok az da olsa azalma olmuştur. (Tablo 9.1). Bu durum, elmasın yoğunluğunun (3.52 gr/cm<sup>3</sup>) cBN'in yoğunluğundan (3.45 gr/cm<sup>3</sup>) daha yüksek olmasıyla ilgilidir. Artan sinterleme sıcaklığı ile birlikte soket yoğunluklarında artış gözlenmiştir. Teorik ve deneysel yoğunluk arasındaki fark ise azalmıştır (Tablo 9.1). Çünkü  $D = D_0 \exp(-Q/RT)$  bağıntısına göre toz metal partiküllerinin birbirine olan difüzyonu sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir (German, 1996). Yukarıdaki bağıntıda, D difüzyon katsayısı, D<sub>0</sub> difüzyon sabiti, Q aktivasyon enerjisi, R Boltzman sabiti ve T sıcaklıktır. Artan sinterleme sıcaklığı, partiküller arasındaki katı bağ oluşumunu artırdığı gibi partiküllerin birbirine olan difüzyonu hızlandırmıştır (Lima vd., 2003).

Artan sinterleme sıcaklığı ile birlikte bağıl yoğunluklarda artış gözlenmiştir (Şekil 9.3.) En iyi yoğunlaşma 700 °C'de sinterlenen numunelerde ortalama % 88.5'lik bağıl yoğunluk değeri ile oluşmuştur.

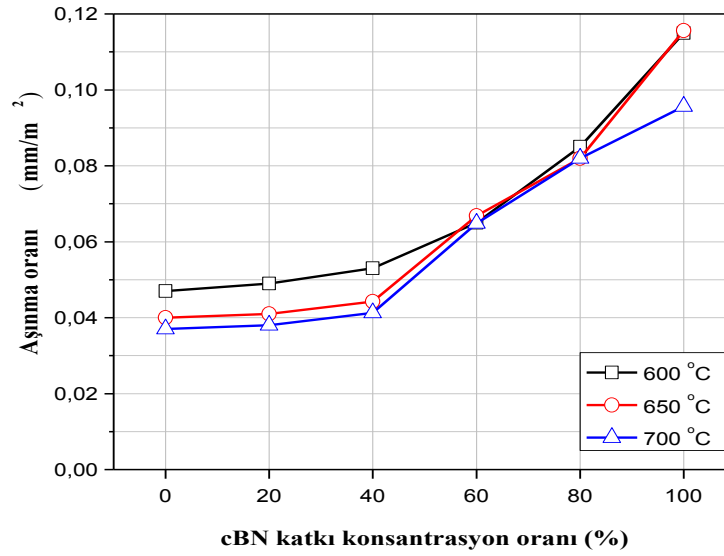


Şekil 9.3. Soketlerin bağıl yoğunlukları.

#### 9.4 Soket Aşınmasının Ölçülmesi

Bu çalışma kapsamında, 600, 650 ve 700 °C sinterleme sıcaklıklarında üretilen toplam on sekiz farklı soket numunesinin aşınma davranışları araştırılmıştır. Aşınma deneyleri için üzerine soketlerin kaynatıldığı Ø 300 mm testere ile otomatik taş kesme işlemi test makinesinde yapılmıştır. Kesme işlemlerinde, 30x150x1500 mm boyutlarında Ankara andezit taşı kullanıldı. Her test en az üç defa tekrarlandı. Kesme işlemi sonucunda sokette meydana gelen radyal aşınma miktarının ölçülmesinde Ø 500 mm ve 0.01 mm hassasiyetli digital kumpas kullanıldı. Ölçümlerde, testere çapı üzerinde daha önceden belirlenmiş 10 farklı yerden çap ölçümü yapılarak bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alındı. Bu şekilde her bir testere numunesi için ortalama soket aşınma miktarı belirlendi. Her bir numune türüne bağlı olarak meydana gelen soket aşınması Şekil 9.4’de görülmektedir. Buna göre % 100 elmas içeren testeredeki aşınma miktarının, % 100 cBN içeren testereye göre % 40 dolayında daha az aşındığı görülmektedir. Bu sonuç, mevcut elmaslı testerelemlerin cBN’li testereye göre yaklaşık iki buçuk kat daha fazla doğal taş kesme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Doğal taşların minerolojik ve fiziko mekanik özelliklerinin kesici takımında yarattığı hasar açısından çok sayıda deney yapılmak suretiyle kesme performansı açısından daha sağlıklı bir sonuca gidilebilir. Sinterleme sıcaklığının artmasıyla aşınma oranlarında düşüş gözlenmiştir. Çünkü sıcaklık artışı ile matris daha da sıkılaştığı için, matristeki aşınma azalmıştır. Bu şekilde sinterlemenin bir avantaj olarak matris içerisinde kesici tanecikler, daha sıkı bir şekilde tutulur.





Şekil 9.4. Üç farklı sinterleme sıcaklığında soketlerde meydana gelen aşınma oranları.

## 9.5. Mikroyapı Analizi Sonuçları

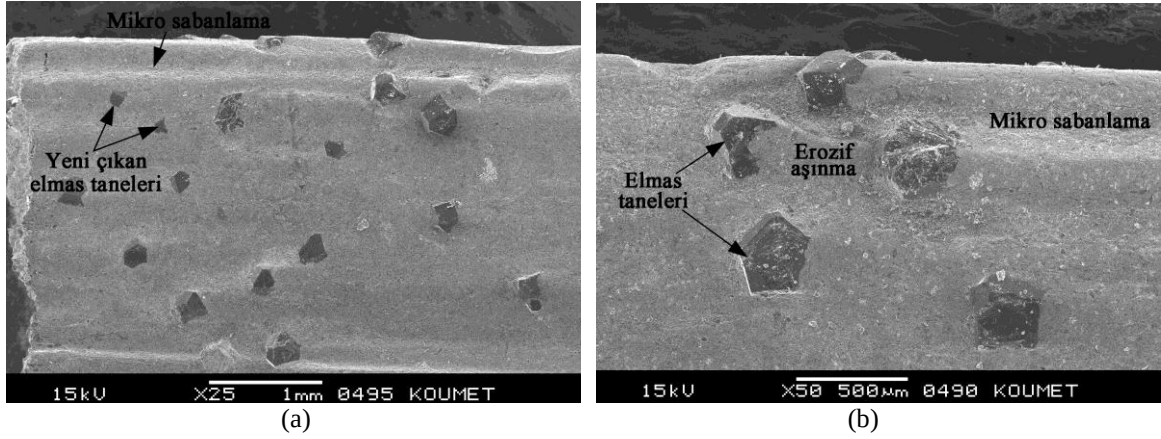
### 9.5.1. SEM ve EDS Analizi

Kesici soketlerde meydana gelen aşınmalar, matriste meydana geldiği gibi matris içinde yer alan elmas veya cBN taneciklerinde de meydana gelir. Elmaslı soketlerdeki matris aşınmaları genellikle abrasiv aşınma şeklinde görülmektedir (Luo, 1995).

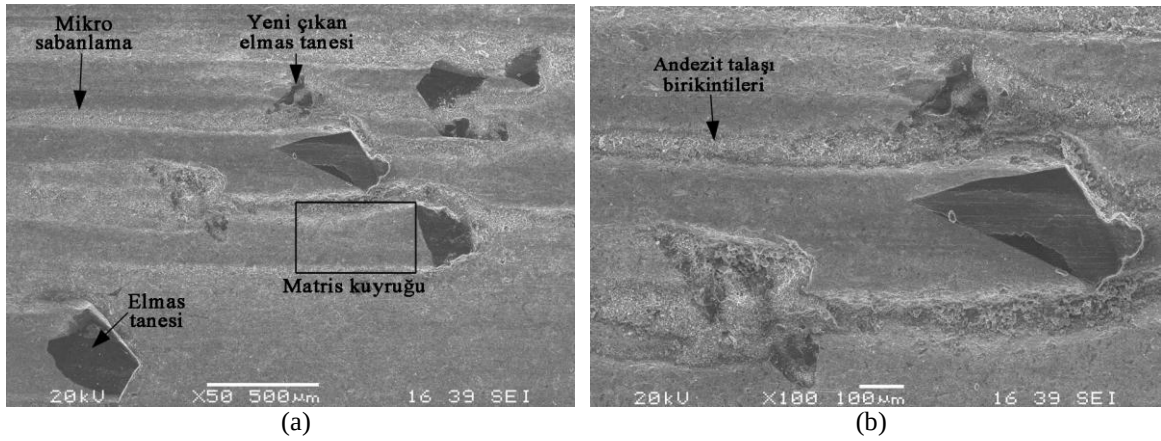
#### 9.5.1.1. % 100 Elmaslı Soket Numunesi

İçinde % 100 elmas içeren ve 600 ile 700 °C 'de sinterlenen soket numunelerinin aşınma yüzeylerine ait SEM fotoğrafları Şekil 9.5 ve Şekil 9.6'da görülmektedir. Her iki şekil incelendiğinde; soketlerin aşınma yüzeylerinde kesme sırasında mikro sabanlama meydana geldiği ve yeni elmas tanelerinin açıldığı görülmektedir. Mikro sabanlama türü aşınma, kesim sırasında soket yüzeyinden akan talaşın yüzeyle yaptığı sürtünme sonucunda abrasiv aşınma olarak meydana gelir. Bu durum, kesici taneciklerin matristeki yerlerini muhafaza ederken; dengeli bir aşınmanın olduğunu ve matrisin aşındığını gösterir. Sinterleme sıcaklığının arttırılmasıyla matrisin elmas tanesini daha sıkı tuttuğu SEM fotoğrafından görülmektedir. Ayrıca, kesme işlemi sonrası mikro sabanlama kanallarında talaş biriktiği, kesici taneciklerin arka kısmında kuyruklu yıldız şeklinde

matris kuyruğu meydana geldiği görülmektedir(Şekil 9.6). Aşınma yüzeyinde oluşan matris kuyruğu, elmas tanelerini destekleyerek kesme işleminin daha etkin bir şekilde yapılmasını sağlar.

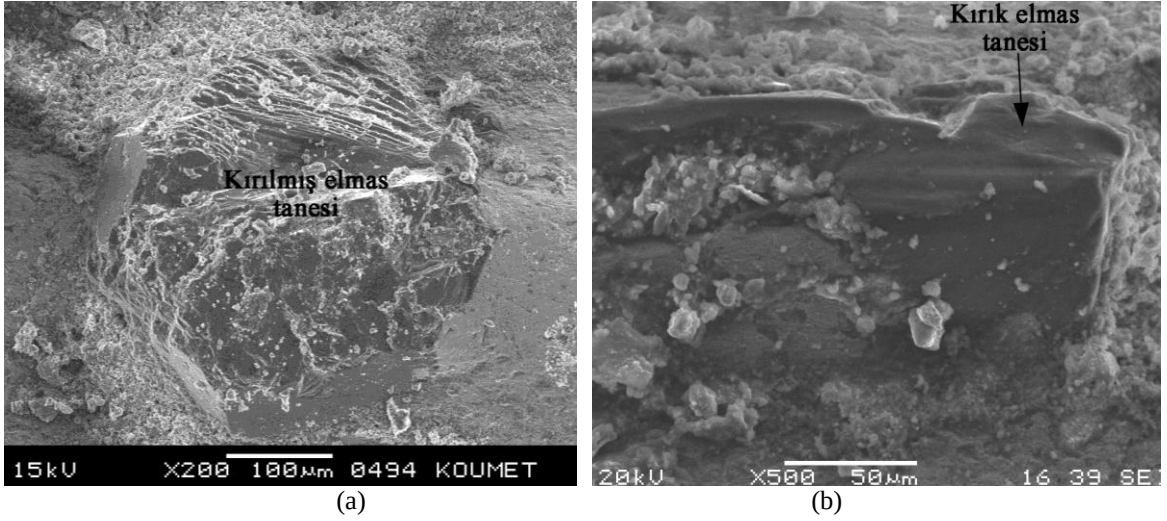


Şekil 9.5 600 °C’de sinterlenmiş % 100 elmaslı sokete ait aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.



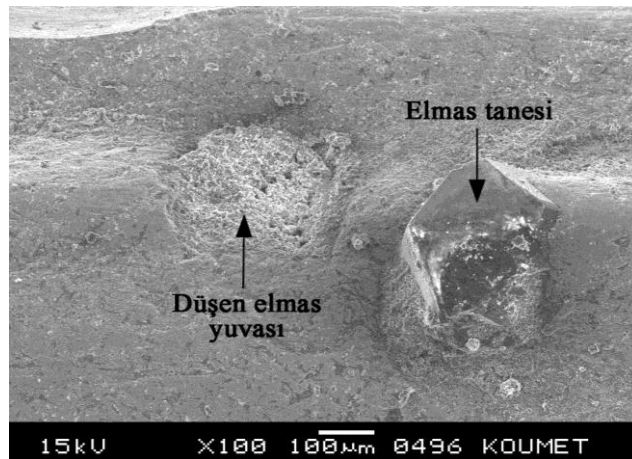
Şekil 9.6 700 °C’de sinterlenmiş % 100 elmaslı sokete ait aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.

Doğal taş kesimi esnasında matris içinde yer alan bazı elmas tanelerinde kırılmalar meydana gelmiştir (Şekil 9.7). Bu kırılmalar, genellikle kesici takımın doğal taşla ilk teması sırasında meydana gelir ve kesme hızının artması ile artış gösterir. Kesici taneciklerin kırılmasından sonra ortaya çıkan yeni kırık yüzeyler, aynı zamanda yeni kesme kenarlarını oluştururlar. Bu sırada kesici tanecik normal kesme yapar. Fakat darbelere karşı dayanımı oldukça zayıflar.



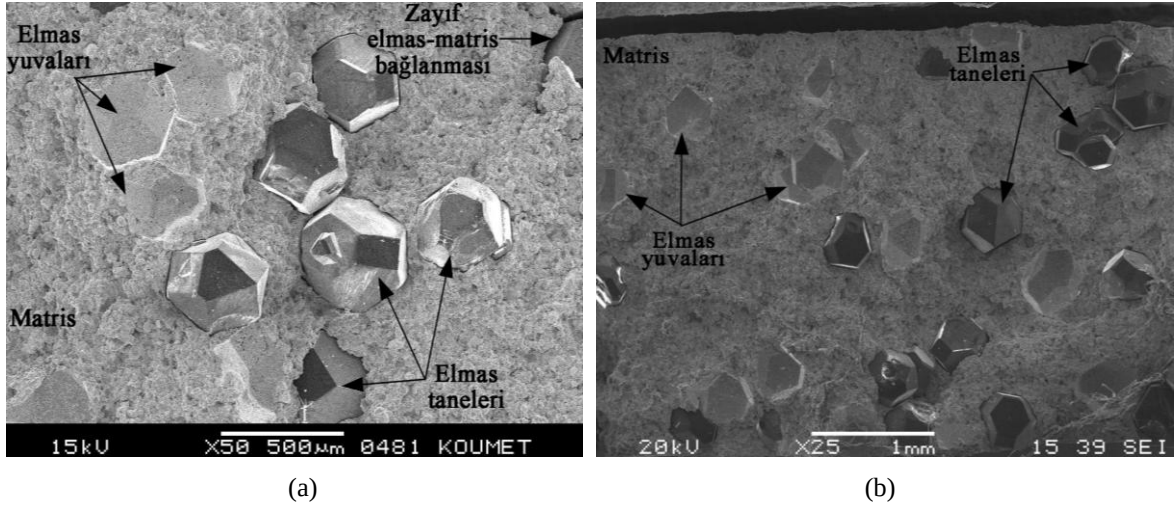
Şekil 9.7. Matriste kırılmış elmas tanesi (a) 600 °C ve (b) 700 °C.

Elmas taneciklerinin kesme esnasında matristen koparak çıkması kesici takım için önemli bir hasar durumudur. Dökülmeler, daha çok tanecik ile matris arasındaki arayüzey bağlarının zayıf olmasından kaynaklanır. Dökülmenin minimum seviyede olabilmesi için; matris ile kesici tanecik arasındaki bağın kuvvetli olması gerekir. Ancak; çalışma şartları, matris ve kesilen malzeme özellikleri, kesici tanecik boyutu ve kalitesi gibi birçok parametre, dökülmede etkilidir. Kesici tanecikler, kesme işlevini tamamladıktan sonra matristen koparak düşer. Düşen elmas taneciğinin yuvasının ön ve arkasına bakıldığında; yeteri düzeyde matris aşınmasının meydana geldiği ve düşenin matris ile kesici tanecik aşınmasının doğal bir sonucu olduğu görülmektedir (Şekil 9.8).



Şekil 9.8. 600 °C’de sinterlenmiş soketten düşen elmas tanecik yuvası.

600 °C’de sinterlenmiş soketin kırılma yüzeyi incelendiğinde, matriste daha fazla gözenek olduğu ve elmas ile matris arasında zayıf bir bağlanmanın meydana geldiği görülmektedir (Şekil 9.9a). 700 °C’de sinterlenen soketlerde ise matris ile elmas arayüzeyi bağlanmasının matrisin daha sıkı olmasından dolayı 600 °C’ye göre daha kuvvetlidir (Şekil 9.9b).



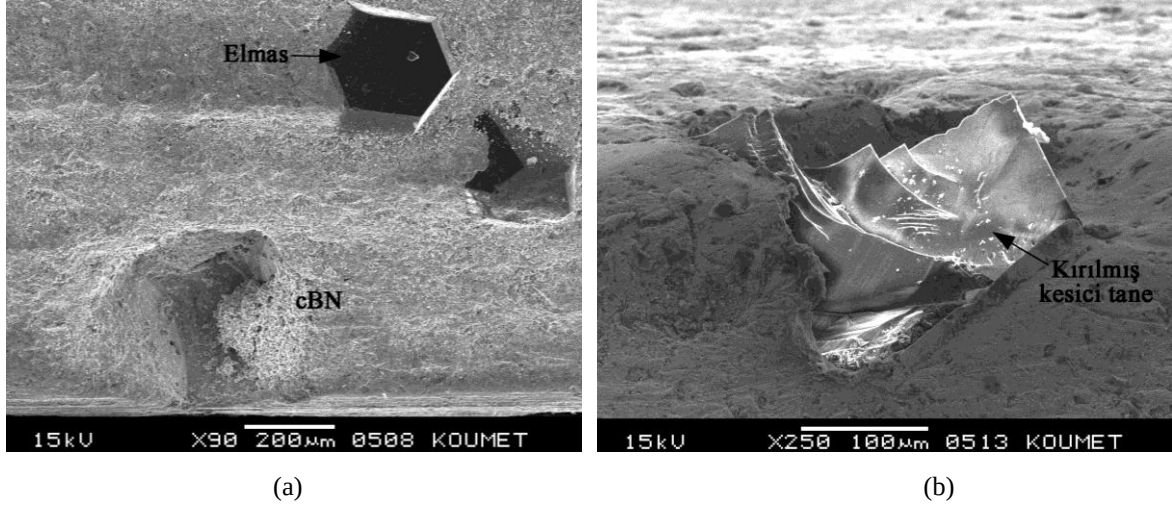
Şekil 9.9. % 100 elmaslı sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüsü (a) 600 °C ve (b) 700 °C.

#### 9.5.1.2. % 20 cBN’li Soket Numunesi

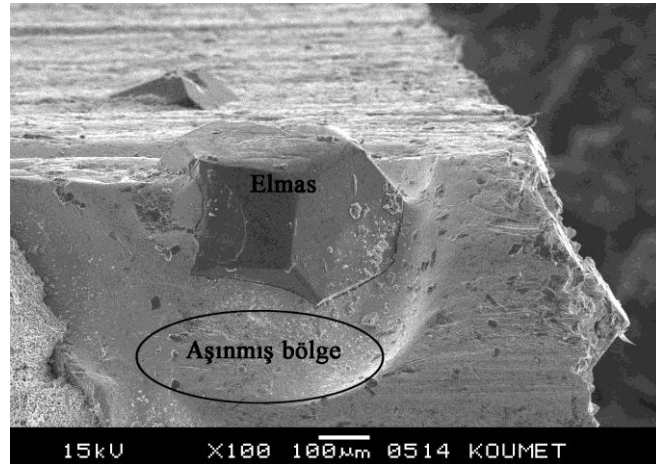
Şekil 9.10a’da görülen numunenin aşınma yüzeyinde kesme işlemleri sonucunda mikro sabanlama meydana geldiği görülmektedir. Söz konusu şekilde hem elmas hem de cBN taneciği yer almaktadır. Her iki cins tanenin ön ve arkasında aşınma çizgileri oluşması ve kesici kenarlarını muhafaza etmesi, kesme fonksiyonlarını devam ettirdiğini ve matris ile olan ara yüzey bağlantısının iyi olduğunu göstermektedir. Ayrıca kesme yüzeyinde olması istenilen mikro sabanlamanın meydana geldiği görülmektedir.

Kesme işlemi sırasında soket kenarlarındaki kesici tanecikler, titreşim ve darbeler nedeniyle daha fazla aşınmaya (kırılmaya) maruz kalmaktadır (Şekil 9.10b). Kırılmış olan tanenin çevresindeki aşınma, kırılma öncesi matrisin belli düzeyde aşındığını ve kesici tanecik kesme fonksiyonlarını yerine getirirken kırılmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Benzer şekilde soket kenarında kırılmadan kesme işlemini sürdüren tanelerde de mevcuttur (Şekil 9.11). Çünkü kesici taneciğin çevresinde matris aşındığı halde kesme işlemi devam etmektedir. Ancak, elmas taneciği ile matrisin birleşme yüzeyinde bir miktar açıklık

görülmektedir. Bu açıklık, sinterleme sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanabileceği gibi kesme sırasında soketin zorlanmasından dolayı tanenin bir miktar yerinden oynaması şeklinde de olabilir. Elmas tanelerinin kübik oktahedral bir yapıya sahip olması, bu tür hatalar nedeniyle kolayca yerinden çıkıp düşmesine engel olmaktadır.



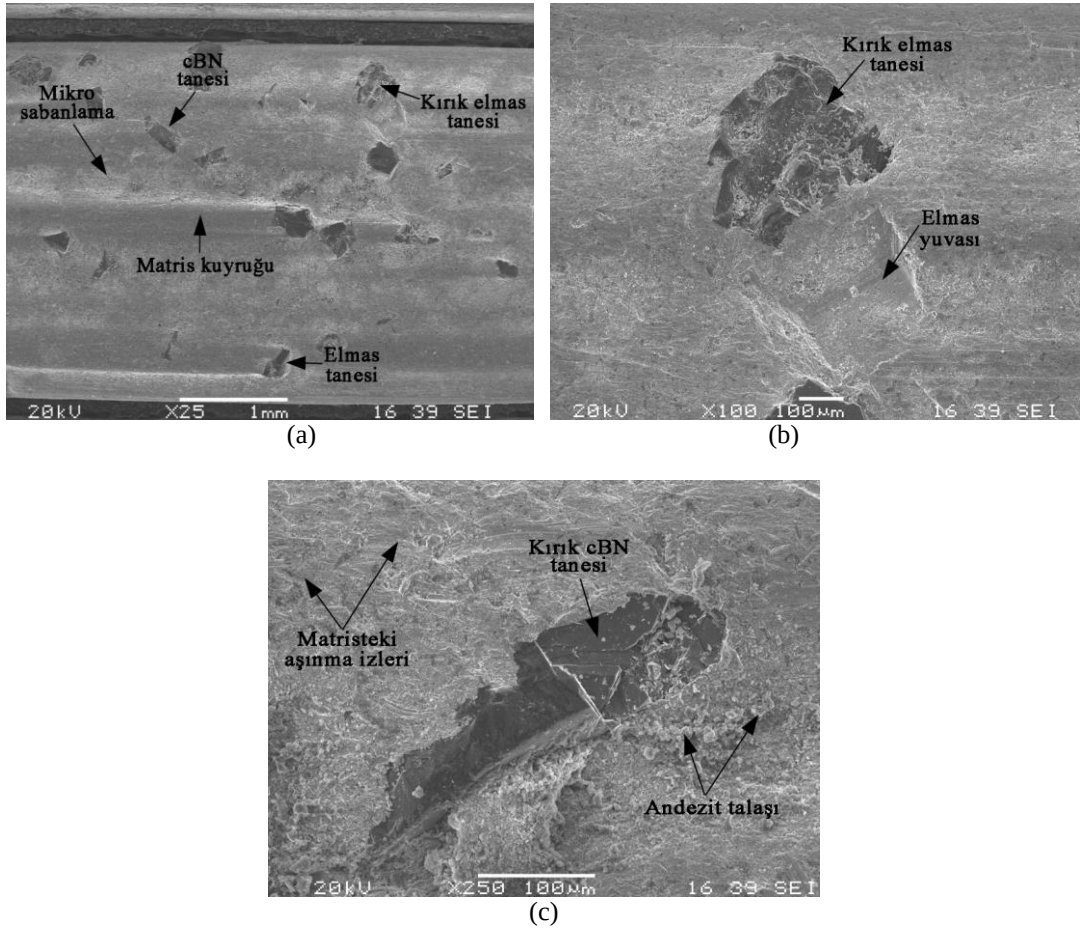
**Şekil 9.10.** 600 °C’de sinterlenmiş % 20 cBN’li sokette (a) aşınma yüzeyi ve (b) soket kenarında kırılmış kesici tanecik.



**Şekil 9.11.** 600 °C’de sinterlenmiş % 20 cBN’li sokette kenar aşınması.

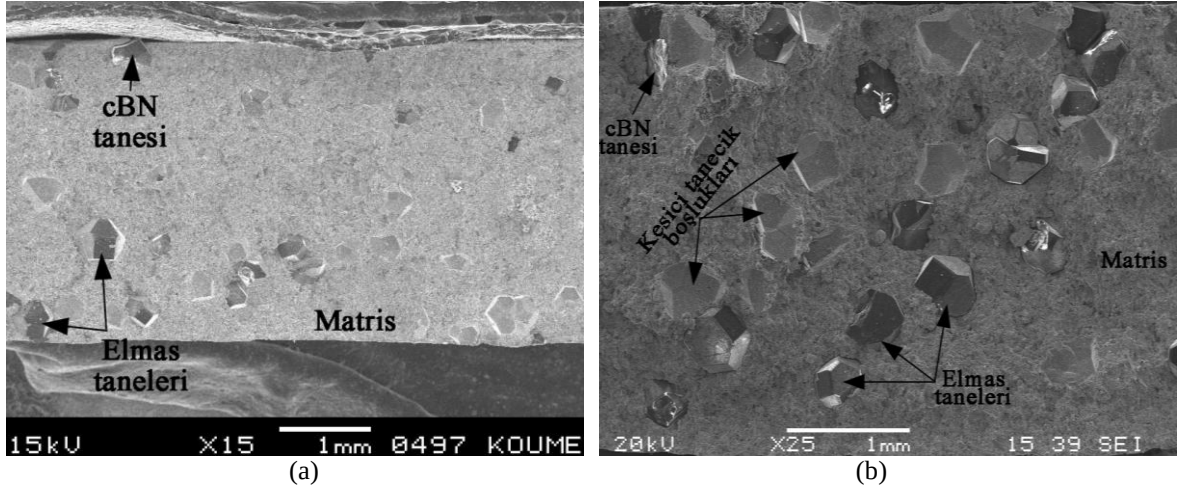
700 °C’de sinterlenmiş % 20 cBN katkılı soketin aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı Şekil 9.12’de görülmektedir. Sinterleme sıcaklığının artması ile birlikte daha sert bir matris yapısı elde edildiği için kesici takım aşınma yüzeyinde daha düşük seviyede mikro sabanlama meydana gelmiştir. Kesici takımın kesme fonksiyonunu yerine getirdiğinin göstergesi olan mikro sabanlama ile matris kuyruğu oluşumu bu gruptaki numune

soketlerde de gözlenmiştir (Şekil 9.12a). Matrisin aşınması azaldığı için elmas ve cBN gibi kesici taneciklere etki eden kuvvetlerin taneciklerde kırılmalara neden olduğu gözlenmiştir (Şekil 9.12b-c). Kırılan cBN tanesinin çevresindeki çukurcuklarda andezit talaşı birikmiştir. Kesici tanecik kırıldıktan sonra doğal taş ile matris arasında meydana gelen aşırı sürtünme sonucunda matris yüzeyinde oluşan abrasiv aşınma durumu Şekil 9.12c’de görülmektedir.



**Şekil 9.12.** 700 °C’de sinterlenmiş % 20 cBN’li sokette (a) aşınma yüzeyi , (b) kırık elmas tanesi ve (c) kırık cBN tanesi.

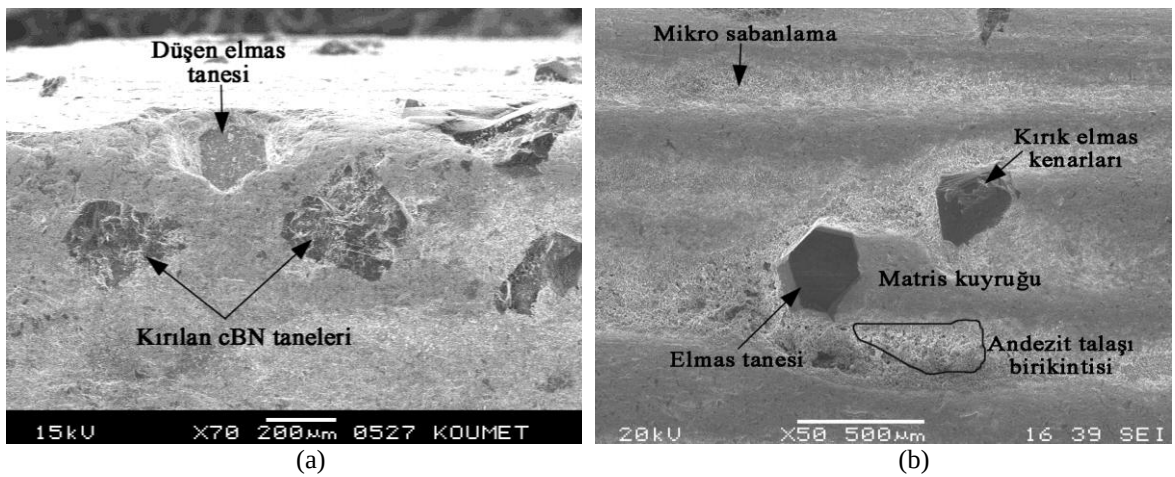
600 °C’de sinterlenmiş soketin kırılma yüzeyinden alınan SEM görüntüsü incelendiğinde, matris yapısının bir miktar gözenekli olduğu görülmektedir (Şekil 9.13a). Matris yapısındaki gözeneklerin sinterleme sıcaklığının bir miktar düşük olmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır (Şekil 9.13b). 700 °C’de sinterlenmiş sokette ise gözenek miktarında azalma meydana gelmiştir. Bu durum sinterleme sıcaklığının artmasıyla birlikte toz partiküllerin birbirine olan katı hal difüzyonu sonrası gözeneklerin kapanması olarak açıklanabilir.



Şekil 9.13 % 20 cBN’li sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüsü (a) 600 °C ve (b) 700 °C

#### 9.5.1.3. % 40 cBN’li Soket Numunesi

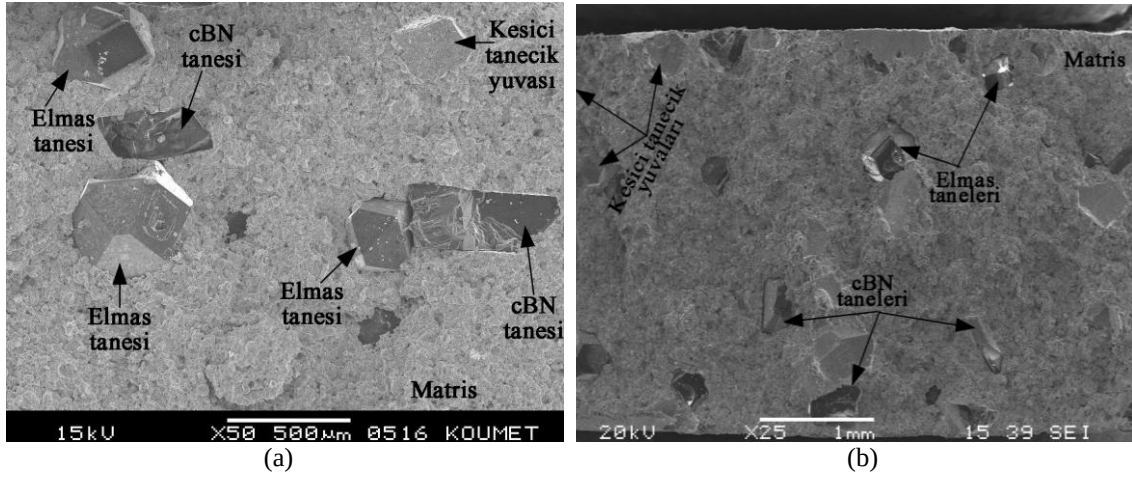
Şekil 9.14’de bu numuneye ait aşınma yüzeyleri üzerinde matris ve kesici tanecik aşınması birlikte görülmektedir. Aşınma yüzeyinde görülen kırık tanelerin fiziki olarak cBN olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, cBN’in kırılma dayanımının elmastan daha düşük olduğu şeklinde değerlendirilebilir. 600 °C’de sinterlenen soketlerin aşınma yüzeylerinde elmas tanelerinin matrisle iyi bağlanamadığı için düştüğü; 700 °C’de ise matris ile elmas arasında kuvvetli bir bağlanmanın olduğu görülmektedir (Şekil 9.14a-b).



Şekil 9.14. % 40 cBN’li soketlerde aşınma yüzeyleri; (a) 600 °C ve (b) 700 °C.

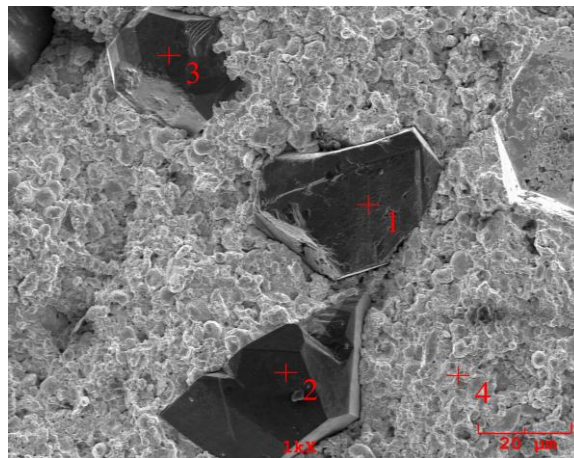


Benzer şekilde mevcut numunelerin kırılma yüzeyi incelendiğinde, cBN tanelerinin kırıldığı görülmektedir (Şekil 9.15). Bu durum, cBN ‘in yapı olarak kırılğan ve darbelere karşı tokluğunun düşük olduğunu gösterir. Ayrıca cBN’in matris ile iyi bir ara yüzey bağı yapmış olması da bu tür kırılmalara sebep olabilir. Sinterleme sıcaklığının artması ile daha yoğun bir matris elde edilmiştir.



Şekil 9.15. % 40 cBN’li sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüsü (a) 600 °C ve (b) 700 °C.

Matriste bulunan tanelerin morfolojik yapısına göre elmas ya da cBN olduğu kolayca ayırt edilebilmektedir (Şekil 9.16). Yapılan EDS analizi, bu görüşü belli ölçüde doğrulamaktadır. %40 cBN’li numunede seçilen EDS analiz noktaları Şekil 9.16’da ve analiz sonuçları Tablo 9.2’de verilmiştir. Çok az bir hata ile matriste her bir taneciğin kolayca ayırt edilebileceği görülmektedir.



Şekil 9.16. 600°C’de sinterlenmiş % 40 cBN’li numunenin SEM görüntüsü ve EDS analizi yapılan bölgeler.



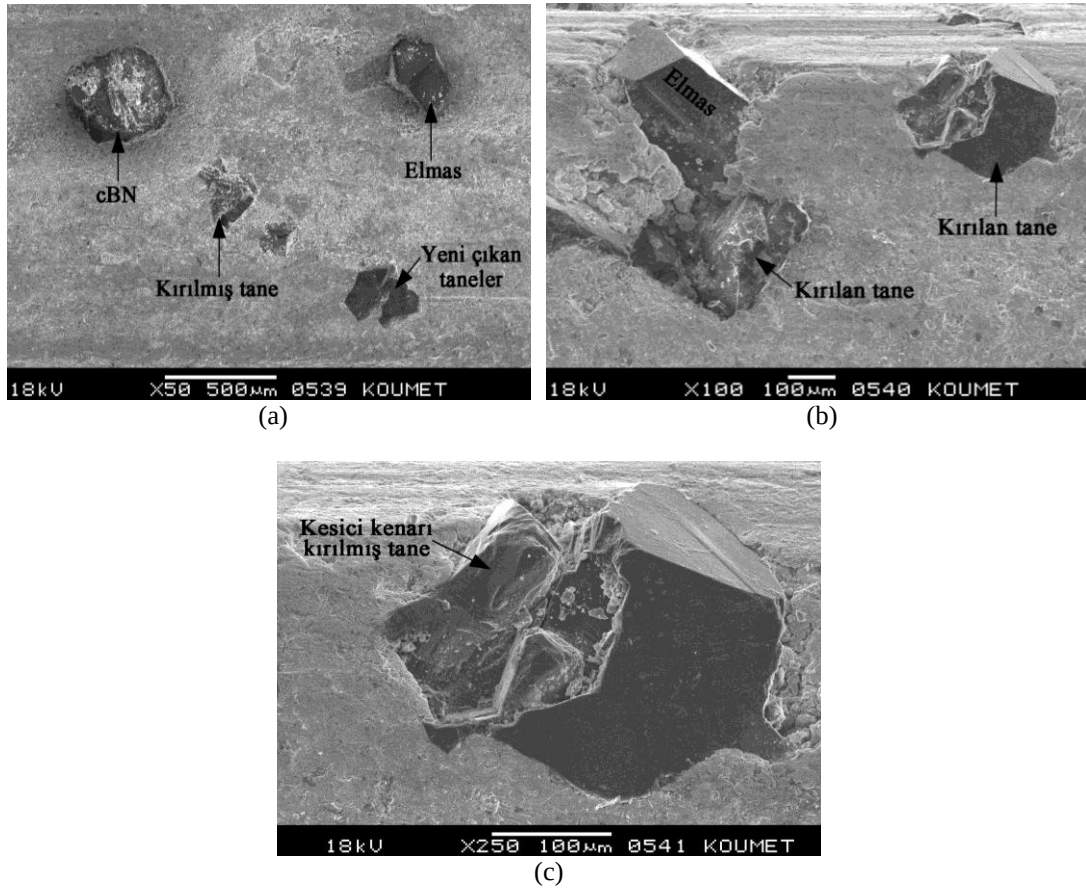
**Tablo 9.2.** % 40 cBN'li numunenin EDS Analiz Sonucu.

| Bölge | Kimyasal bileşim (% ağı.) |         |        |        |        |
|-------|---------------------------|---------|--------|--------|--------|
|       | B                         | C       | N      | Cu     | Sn     |
| 1     | 48.278                    | 0.000   | 51.722 | 0.000  | 0.000  |
| 2     | 48.487                    | 0.000   | 51.513 | 0.000  | 0.000  |
| 3     | 0.000                     | 100.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| 4     | 0.000                     | 0.000   | 0.000  | 84.947 | 15.053 |

EDS analizine göre; 1 ve 2 nolu bölgenin cBN olduğu, 3 nolu bölgenin ise elmas taneciği olduğu anlaşılmaktadır. 4 nolu bölgede ise analiz sonuçları matrisin 85/15 bronz malzeme olduğunu göstermiştir.

#### 9.5.1.4. % 60 cBN'li Soket Numunesi

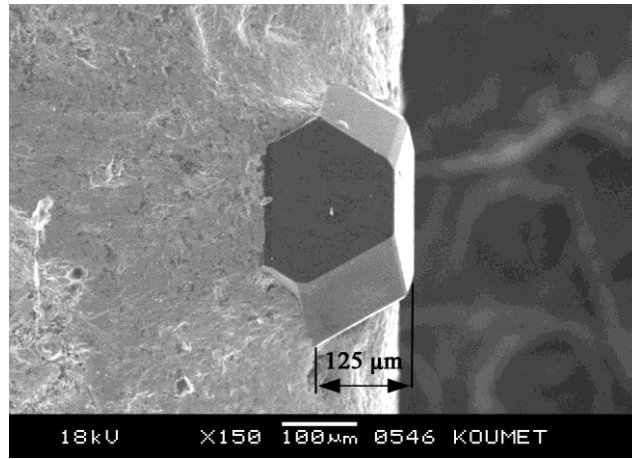
600°C'de sinterlenmiş % 60 cBN katkılı soketin aşınma yüzeyine ait SEM görüntüsü Şekil 9.17'de görülmektedir.



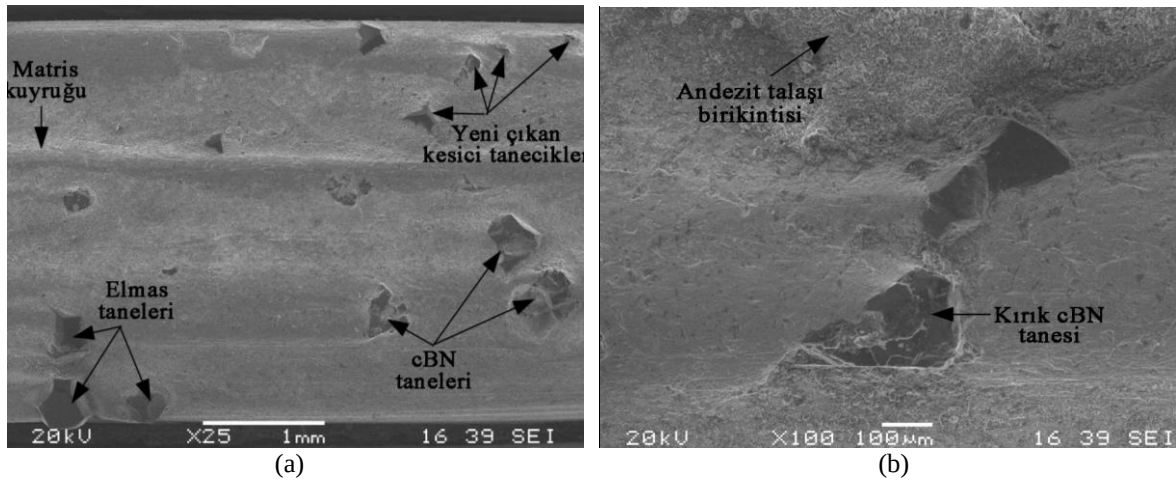
**Şekil 9.17.** 600 °C'de sinterlenmiş % 60 cBN'li sokete ait aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.

Kesici tanecik çevresinde matris aşındığı halde kesme işleminin devam ettiği ve matristen ayrılan tanecik yerine yenilerinin çıktığı tespit edilmiştir (Şekil 9.17a-b). Kesici soket kenarlarında, genellikle bir tarafı kırılmış kesici taneciklere rastlamak mümkündür (Şekil 9.17c). İlgili SEM görüntüsü incelendiğinde, kırılan taneciğin cBN olduğu anlaşılmaktadır.

Numunelerin üretiminde kullanılan elmas tanecik çapı yaklaşık 400  $\mu\text{m}$  kadardır. % 60 cBN'li numunede ölçülen elmas çıkıntı yüksekliği, yaklaşık 125  $\mu\text{m}$ 'dir (Şekil 9.18). Literatürde ise kesme sırasında ideal çıkıntı yüksekliğinin kesici tanecik boyutunun üçte biri kadar olması önerilir. Bu durumda, kesici tane çıkıntı yüksekliğinin ideal olduğu anlaşılmaktadır.

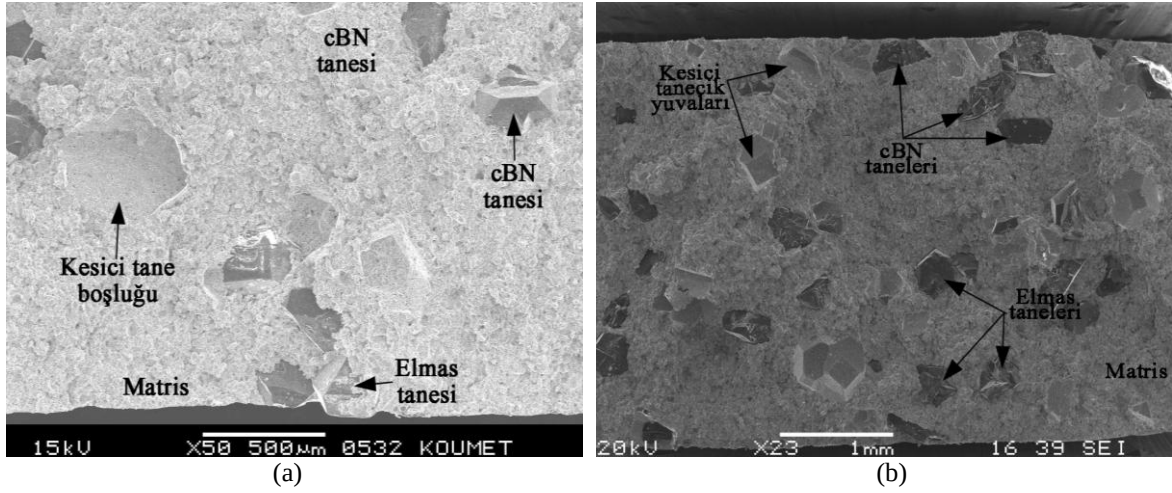


Şekil 9.18 % 60 cBN'li sokette kesici tanecik çıkıntı yüksekliği.



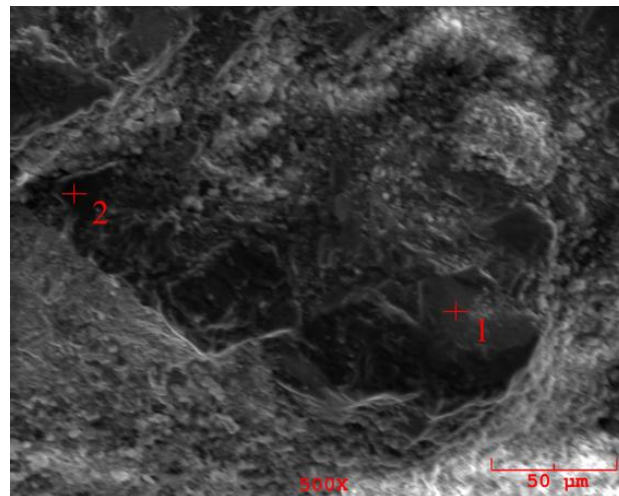
Şekil 9.19. 700 °C'de sinterlenmiş % 60 cBN'li sokette, (a) aşınma yüzeyi ve (b) kırık cBN tanesi.

Şekil 9.19a’da matrise katılan cBN tanelerinin homojen bir şekilde matris içerisine dağıldığı, aşınma yüzeyinde elmas ve cBN tanelerinin çevresinde çukurcuklar meydana geldiği ve mikro sabanlamanın olduğu görülmektedir. Bu durumda matrisin kesici taneciği bırakmadığı anlaşılmaktadır. Ancak elmasa nazaran cBN tanelerinde kırılan tane sayısı bakımından artış olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 9.19b).



Şekil 9.20. % 60 cBN’li sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüleri (a) 600 °C ve (b) 700 °C.

Sinterleme sıcaklığının düşük olması matrisi gözenekli yapar (Şekil 9.20a). Artan sinterleme sıcaklığı ile birlikte matristeki gözeneklilik azalır (Şekil 9.20b). 700 °C ‘de sinterlenmiş % 40 cBN’li numunede seçilen EDS analiz noktaları Şekil 9.21’de ve analiz sonuçları Tablo 9.3’de verilmiştir.



Şekil 9.21.700 °C’de sinterlenmiş % 60 cBN’li soketin SEM görüntüsü ve EDS analizi yapılan bölgeler.

**Tablo 9.3.** % 60 cBN’li numunenin EDS Analiz Sonucu.

| Bölge | Kimyasal bileşim (% ağı.) |       |        |       |       |       |
|-------|---------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|
|       | B                         | C     | N      | Cu    | Sn    | O     |
| 1     | 49.085                    | 0.000 | 50.915 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2     | 48.845                    | 0.000 | 51.155 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

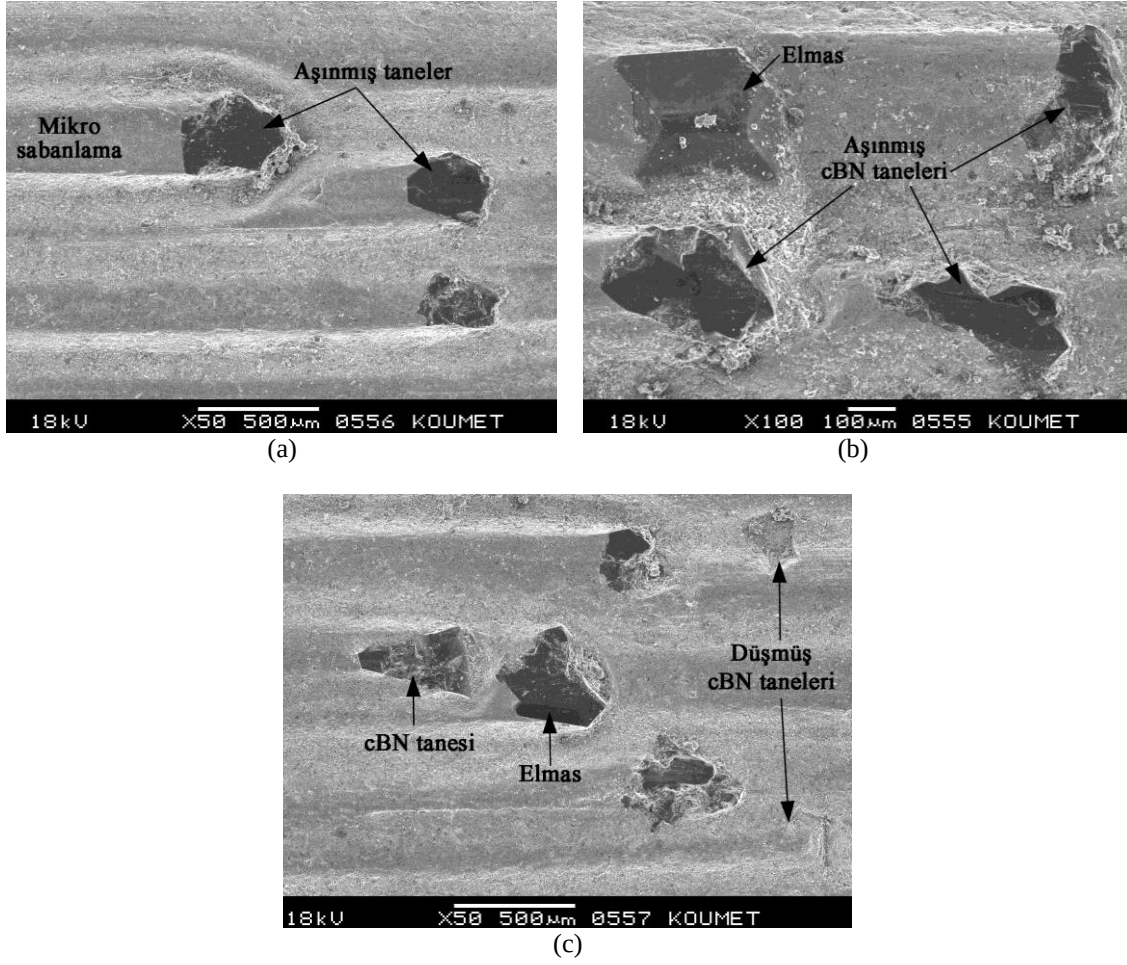
EDS analizi sonucunda aşınma yüzeyinde kırılmış kesici taneciğin cBN olduğu anlaşılmaktadır. Kesici takım üreten firmalar, düzgün ve hızlı kesim için bilerek matrisin yumuşak kalmasını arzu ederler. Yumuşak tutulan matris hızlı aşınacağı için ağırlıklı olarak kesme işlevini nispeten aşınmamış taneler yapar. Böylece kesme işlemi hızlı ve düzgün olarak yapılmış olur.

#### 9.5.1.5 % 80 cBN’li Soket Numunesi

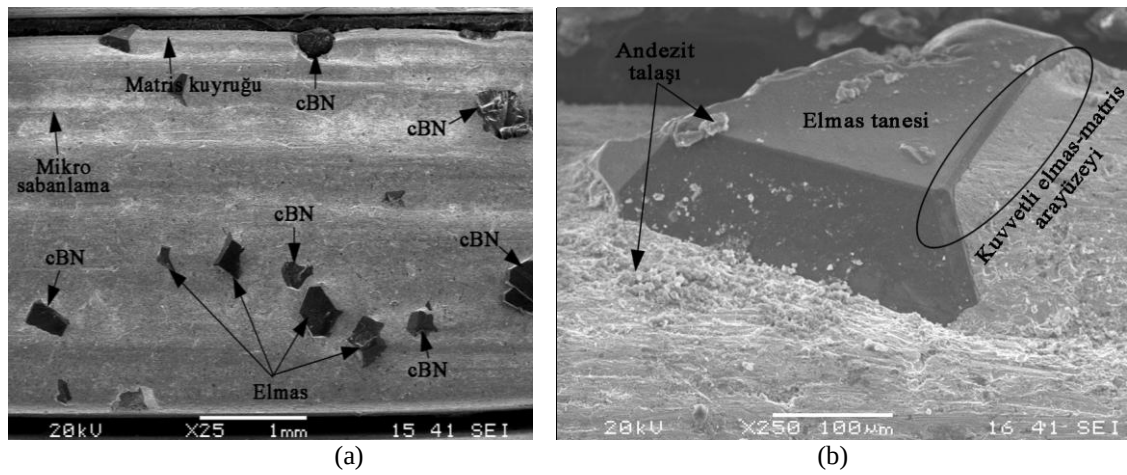
600 °C’de sinterlenmiş soket numunesinin aşınma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, yüzeyde mikro sabanlamanın oluştuğu ve matriste bulunan kesici taneciklerin kenarlarının aşınarak körelmeye başladığı görülmektedir (Şekil 9.22a). Bu durum, matriste bulunan cBN tanelerinin elmas tanelerine göre daha hızlı aşındığını göstermektedir (Şekil 9.22b). Aşınma yüzeyi üzerinde tane aşınması ile birlikte matristen düşen kesici tanelerde görülmektedir (Şekil 9.22c). Düşen tane izleri incelendiğinde, kesici tane düşmesinin aşınma evresi tamamlandıktan sonra gerçekleştiği açık bir şekilde görülmektedir. Alınan SEM görüntülerinden, matris bileşiminin iyi olduğu, kesici taneciğin kesme performansını yerine getirdiği ve iz yapısından düşen tanelerin cBN olduğu görülmektedir (Şekil 9.22c). Şekil 9.22b’de aşınma yüzeyinde bulunan cBN tanelerinin elmas taneciğine nazaran daha fazla aşındığı görülmektedir.

700 °C’de sinterlenmiş soket numunesinin aşınma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, yüzeyde matris kuyruğu ile mikro sabanlamanın oluştuğu görülmektedir (Şekil 9.23a). Bu durum, matriste bulunan elmas ve cBN tanelerinin kesme yaptığını ve matrisle uyumlu bir şekilde bağlandığını göstermektedir (Şekil 9.23b).

600 ve 700 °C’de sinterlenmiş % 80 cBN’li soketin kırılan yüzeylerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde, düşük sıcaklıkta sinterlenen matrisin daha gözenekli olduğu ve kesici tanecik ile matris arasındaki ara yüzey bağlantısının zayıf olduğu görülmektedir (Şekil 9.24a).

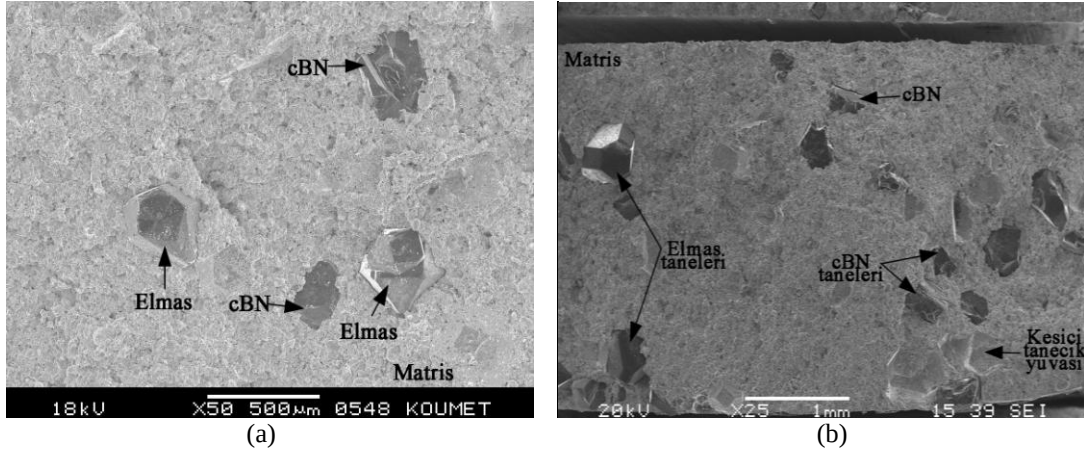


Şekil 9.22. 600 °C’de sinterlenmiş % 80 cBN’li soketin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.



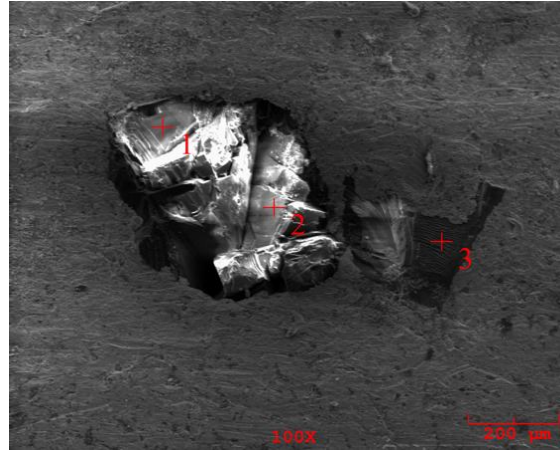
Şekil 9.23 700 °C’de sinterlenmiş % 80 cBN’li soketin (a) aşınma yüzeyi ve (b) matris-elmas ara yüzeyi.





**Şekil 9.24.** % 80 cBN’li sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüleri (a) 600 °C ve (b) 700 °C

Yüksek sıcaklıkta yapılan sinterleme sonucunda ara yüzey bağının daha iyi olduğu ve matristeki gözenekli yapının azaldığı söylenebilir (Şekil 9.24b). 700°C’de sinterlenmiş %80 cBN’li numuneden alınan SEM görüntüsü Şekil 9.25’de, EDS analiz sonuçları ise Tablo 9.4’de verilmiştir.



**Şekil.9.25.** 700 °C’de sinterlenmiş % 80 cBN’li soketin SEM görüntüsü ve EDS analizi yapılan bölgeler.

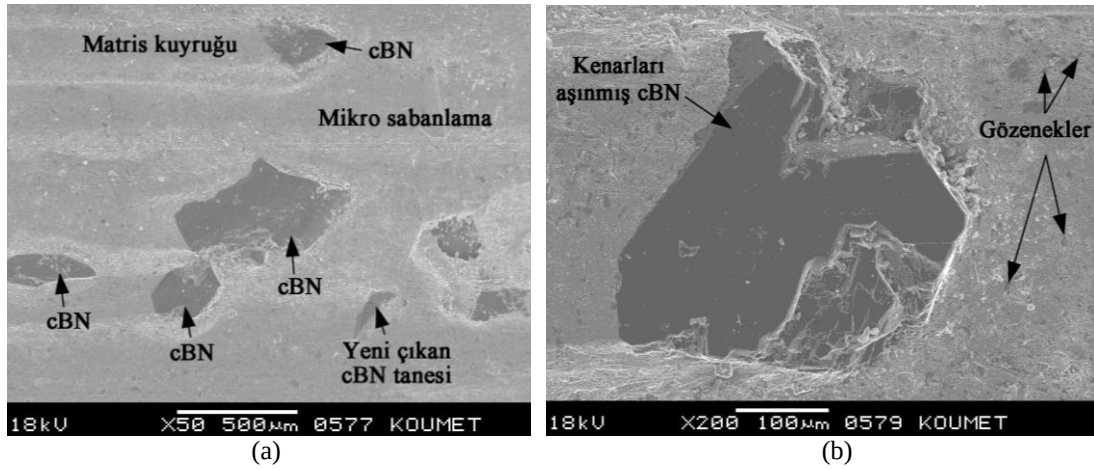
**Tablo 9.4.** % 80 cBN’li numunenin EDS Analiz Sonucu.

| Bölge | Kimyasal bileşim (% ağı.) |        |       |       |       |        |
|-------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|
|       | B                         | C      | N     | Cu    | Sn    | O      |
| 1     | 0.000                     | 82.573 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 17.427 |
| 2     | 0.000                     | 75.141 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 24.859 |
| 3     | 0.000                     | 86.741 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 13.259 |

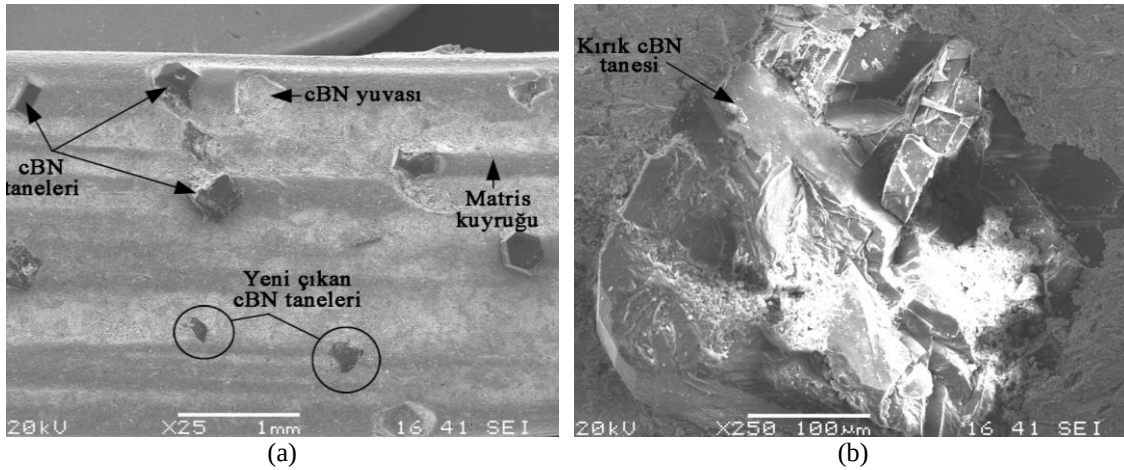
Şekil 9.25’de görülen kırılmış kesici taneciğin Tablo 9.4’e göre elmas taneciği olduğu ve oksitlendiğini göstermektedir.

### 9.5.1.6 % 100 cBN'li Soket Numunesi

600 °C'de sinterlenmiş ve içerisinde % 100 cBN içeren numunenin aşınma yüzeyine ait SEM görüntüsü incelendiğinde, matris kuyruğu ve mikro sabanlamanın olduğu görülmektedir (Şekil 9.26a). Aşınma yüzeyine ait SEM görüntüsü, elmas yerine matrise katılan cBN'in kesme fonksiyonunu yerine getirdiğini göstermektedir. Ancak aşınma yüzeyinde daha fazla cBN taneciğinin kırıldığı tespit edilmiştir (Şekil 9.26b). Bu durum, cBN tanelerinin ağır kesme koşulları altında elmasa nazaran daha zayıf bir kesici tanecik olduğunu göstermektedir. Kesici tanecik çevresinde düşük sinterleme sıcaklığından kaynaklanan gözenekler de tespit edilmiştir (Şekil 9.26b). Elmas tanelerinin kübik oktaedral kristal yapısına sahip olmasının kesme sırasında darbelere karşı cBN'e göre daha dayanıklı olduğunu göstermektedir.

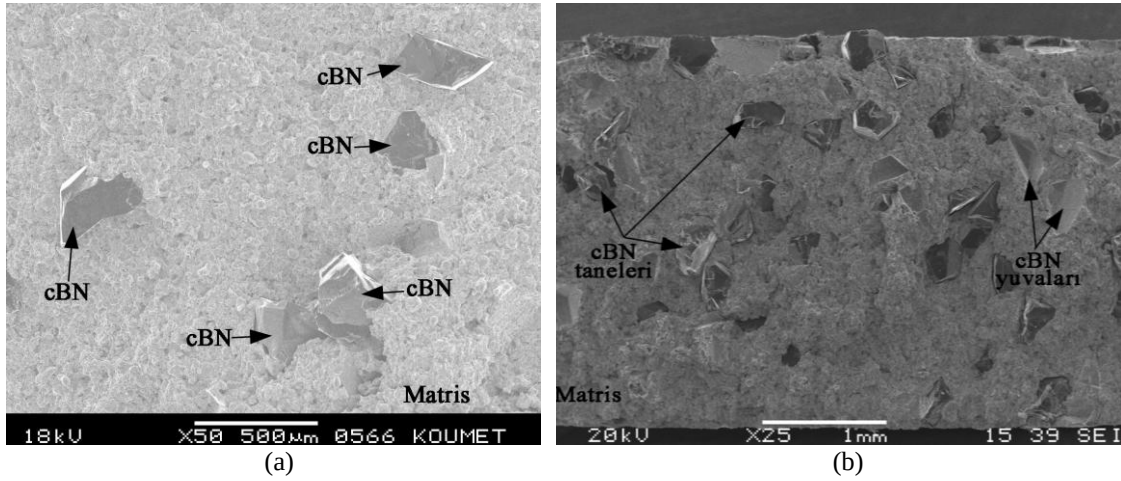


Şekil 9.26. 600 °C'de sinterlenmiş % 100 cBN'li soketin (a) aşınma yüzeyi ve (b) kırık cBN tanesi.



Şekil 9.27. 700 °C'de sinterlenmiş % 100 cBN'li soketin (a) aşınma yüzeyi ve (b) kırık cBN tanesi.

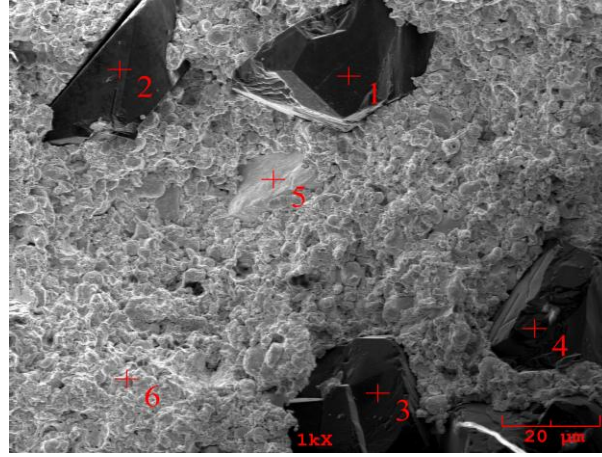
700 °C’de sinterlenmiş % 100 cBN içeren numunenin aşınma yüzeyine ait SEM görüntüleri incelendiğinde, matris kuyruğu ve mikro sabanlamanın olduğu, düşen cBN taneciklerinin matrisle iyi bir bağ yaparak son ana kadar kesme fonksiyonlarını yerine getirdikleri görülmüştür (Şekil 9.27a). Ancak aşınma yüzeyinde elmasa nazaran daha fazla cBN tanelerinin kırılmış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9.27b). Meydana gelen kırılmanın cBN taneciklerinin kübik yapıya sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 9.28. % 100 cBN’li sokette kırılan yüzeyin SEM görüntüleri (a) 600 °C ve (b) 700 °C

600 ve 700 °C’de sinterlenmiş % 100 cBN’li soketlerin kırılan yüzeylerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde, düşük sıcaklıkta sinterlenen matrisin daha gözenekli olduğu ve cBN taneleri ile matris arasındaki ara yüzey bağlantısının nispeten zayıf olduğu görülmektedir (Şekil 9.28a). Yüksek sıcaklıkta yapılan sinterleme sonucunda ise ara yüzey bağlantısının daha iyi olduğu ve matristeki gözenekli yapının azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 9.28b). Görüntülerde yer alan kesici tanecik yuvası ise soket kırma sırasında kesici taneciğin soketin diğer tarafında kalmasından kaynaklanmaktadır. 600°C’de sinterlenmiş % 100 cBN’li numuneden alınan SEM görüntüsü Şekil 9.29’da, EDS analiz sonuçları ise Tablo 9.5’de verilmiştir.





**Şekil 9.29** 600°C’de sinterlenmiş % 100 cBN’li socketin SEM görüntüsü ve EDS analizi yapılan bölgeler.

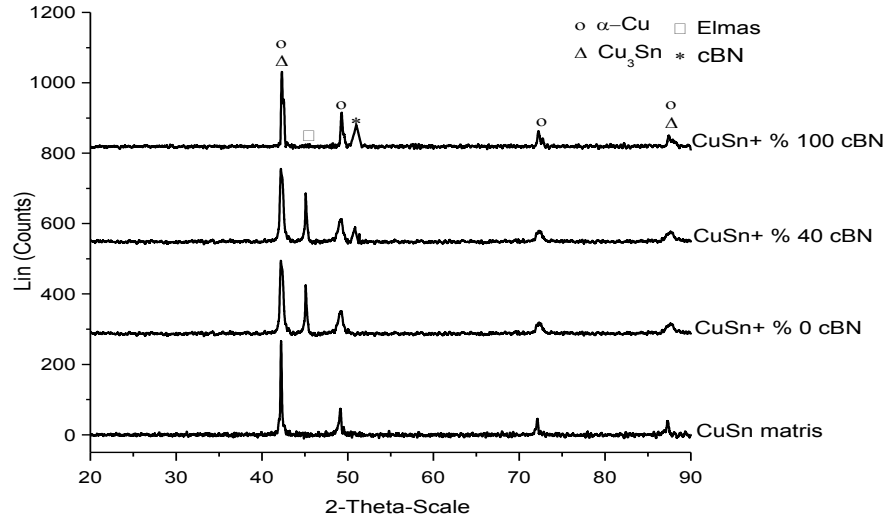
**Tablo 9.5.** % 100 cBN’li numunenin EDS Analiz Sonucu

| Bölge | Kimyasal bileşim (% ağı.) |       |        |        |        |
|-------|---------------------------|-------|--------|--------|--------|
|       | B                         | C     | N      | Cu     | Sn     |
| 1     | 48.845                    | 0.000 | 51.155 | 0.000  | 0.000  |
| 2     | 49.085                    | 0.000 | 50.915 | 0.000  | 0.000  |
| 3     | 47.979                    | 0.000 | 52.021 | 0.000  | 0.000  |
| 4     | 49.015                    | 0.000 | 50.985 | 0.000  | 0.000  |
| 5     | 0.000                     | 0.000 | 0.000  | 84.745 | 15.255 |
| 6     | 0.000                     | 0.000 | 0.000  | 84.431 | 15.569 |

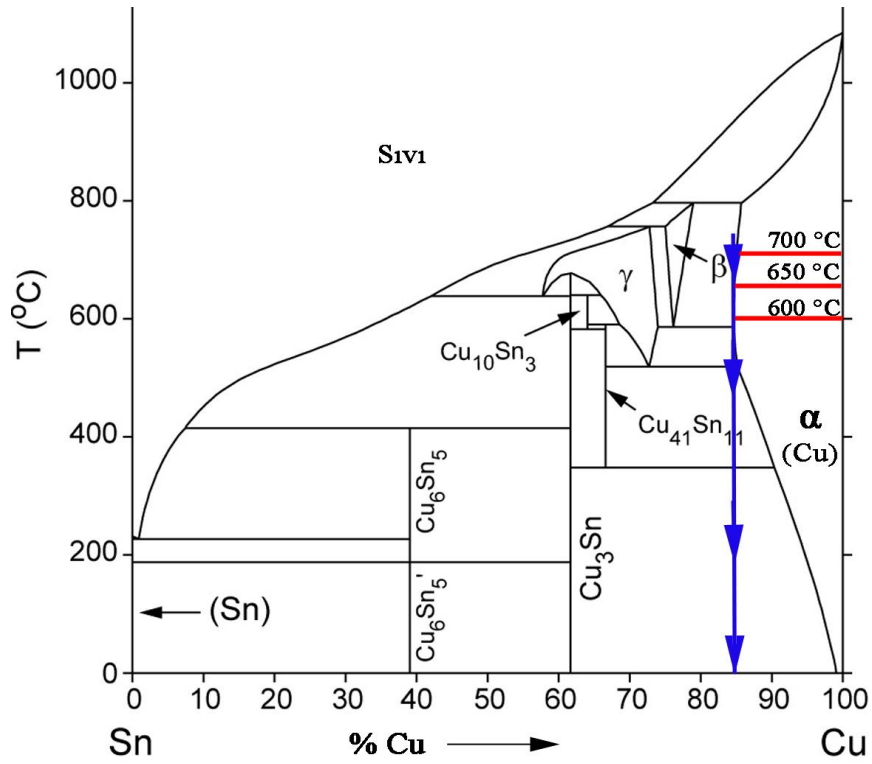
Tablo 9.3’deki verilere bakıldığında 1, 2, 3, 4 nolu taneciklerin cBN ve matrisinde 85/15 bronz olduğu anlaşılmaktadır.

### 9.5.2. XRD Analizi

Yapılan deneysel çalışmalara ait XRD analizleri Şekil 9.30’da ve Cu-Sn ikili faz diyagramı Şekil 9.31’de verilmiştir. XRD grafiklerinin incelenmesi sonucunda matriste sinterleme sırasında  $\alpha$ -Cu katı eriyiği ve  $\epsilon$ - fazı ( $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ) oluştuğu görülmektedir. Seçilen 600, 650 ve 700 °C sinterleme sıcaklıklarının da bu fazların oluşacağı Cu-Sn ikili faz diyagramından da anlaşılmaktadır. Ayrıca XRD grafiklerinden socketlerde cBN ve sentetik elmas tanelerinin varlığı tespit edilmiştir. Matrise katılan cBN miktarının artması ile cBN piklerinin şiddetlerinde artışlar meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 9.30. Seçilen numunelere ait XRD analizi grafiği.



Şekil 9.31. Cu-Sn ikili faz diyagramı (Saunders ve Miodownik, 1990).

## 10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal taş kesici takımlarda, kübik bor nitrürün (cBN) alternatif aşındırıcı olarak kullanılmasının amaçlandığı bu çalışmada aşağıdaki bilgi, bulgu ve sonuçlara ulaşılmıştır.

- (1) Günümüze kadar doğal taş kesici takımlarda hiç kullanılmayan cBN'nin de kesici tanecik olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır.
- (2) Değişik sinterleme sıcaklıklarında cBN taneciklerinin en az sentetik elmas tanecikleri kadar matrise tutunarak işlevlerini yerine getirmiş oldukları görülmüştür.
- (3) Yüksek sinterleme sıcaklığının cBN taneciklerinin kesme özelliklerinde bir düşüşe sebep olmadığı anlaşılmıştır.
- (4) Yapılan kesme işlemi sonucunda, % 100 elmas içeren kesici soketlerin % 100 cBN içeren soketlere göre daha fazla kesim yapma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Elmaslı soketlere belli oranlarda cBN ilavesi ile kesme performanslarının kısmen düştüğü görülmüştür.
- (5) Soketlerin kırılma ve aşınma yüzeyleri üzerinde yapılan SEM incelemeleri neticesinde, soketlerin mekanik özellikleri ile kesme performanslarını etkileyebilecek hatalar gözlenmiştir. Özellikle sinterleme sırasında koruyucu gaz ve vakum kullanılmaması, sinterleme sıcaklığı ile süresinin iyi optimize edilmemesi nedeniyle tozlar arası bağlantının istenilen düzeyde gerçekleşmediği ve düşük sinterleme sıcaklığında matriste gözeneklerin çoğaldığı görülmüştür.
- (6) Yapılan üç noktalı eğme testi sonucunda % 100 elmas içeren soketlerin eğilme mukavemetlerinin, % 100 cBN katılan soketlere göre % 30 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. İçerisine belli oranlarda cBN katılan soketlerin eğilme mukavemetlerinin belirgin oranda yükseldiği görülmüştür. Bunun ise, matris ile cBN tanecikleri arasında iyi bir ara yüzey bağı oluşumundan kaynaklandığı söylenebilir.
- (7) Yapılan bu çalışmada, kübik okta hedral yapılı elmas taneciklerin, normal kübik yapılı cBN taneciklerine göre daha yüksek kesme performansına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

- (8) Doğal taş kesme işlemi sırasında kesici soketlerin yüzeyinde oluşması gerekli olan mikro sabanlama, matris kuyruğu ve doğaltaş talaşının akması için gerekli olan kanalların oluştuğu SEM incelemeleri ile tespit edilmiştir.
- (9) Kübik bor nitrürün elmastan daha ekonomik olması dolayısıyla daha yumuşak doğal taşların işlenmesinde kullanılabileceği; elmas ile birlikte matrise % 40'a kadar ilave edilebileceği ve bu oranın üzerine çıkılması halinde ise kesici takımın daha fazla aşındığı sonucuna varılmıştır.

Çalışma sonuçlarının ışığı altında şu öneriler yapılabilir:

- (1) Farklı matris seçimi ile cBN'li kesici takımların kesme performansları incelenebilir.
- (2) Değişik doğaltaşlar kesilerek cBN'li kesici takımların hangi doğaltaş kesimi için daha uygun olduğu ile ilgili çalışmalar yapılabilir.
- (3) Farklı sinterleme parametreleri kullanılarak, bu parametrelerin cBN'li kesici takımların kesme performansı üzerine etkisi incelenebilir.
- (4) Sinterleme işlemleri vakum altında veya koruyucu gaz atmosferi altında yapılarak atmosferin soketler üzerindeki olumsuz etkileri minimuma indirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Amaral, P.M., Coelho, A., Anjinho, C.A., Fernandes, J.C., Rosa, L.G.,** 2010, Evaluation of the relationship between diamond tool wear performance and the mechanical properties of the individual metallic binders, *Materials Science Forum*, Vol. **636-637**, 1467-1474.
- Aslantaş, K., Özbek, O., Uçun, İ., Büyüksağış, İ.S.,** 2009, Investigation of the effect of axial cutting force on circular diamond sawblade used in marble cutting process, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol.**24**, 1423-1430.
- ASTM B 528-83A**, Transverse Rupture Strength of Sintered Metal Powder Specimens.
- Atıcı, Ü.,** 1999, Mermer Kesme Makinalarındaki Kesicilerin Aşınma Mekanizmaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Atıcı, Ü.,** 2005, Kaya kesilebilirliğini etkileyen faktörler, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Batchelor, A.W., Stachowiak, G.W.,** 2000, Engineering Tribology, *Second Edition*, Boston Oxford Auckland Johannesburg 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 Academy of Sciences*, Vol.**2**, No: **4**, 54-57.
- Bolatashvili, N., Mgaloblishvili, K.D., Dadunashvili, G.G.,** 2009, Theoretical and Experimental Study of The Wear Factor for a Diamond Stone-Cutting Tool, *Measurement Techniques*, Vol.**52** No:3.
- Bonneau, M.,** 1995, Tensile rupture on sintered cobalt specimens. *In Proceedings of Seminar 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.
- Brook, B.,** 2002, Principles of diamond tool technology for sawing rock, *International Journal of Rock mechanics and Mining Sciences*, **39**, 41-58.
- Burckhardt, S.,** 1997, New technique for granulating diamond and metal powders. *Industrial Diamond Review*, **57(4)**, 121–122

- Büyüksağış, İ.S.**, 1998, Dairesel testereli 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 Dergisi*, Cilt **44 (1)**, 33-41.
- Büyüksağış, İ.S., Gökten, R.M.**, 2005, Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.**169**, 258-262.
- Büyüksağış, İ.S.**, 2007, Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.**183**, 399-406.
- Büyüksağış, İ.S.**, 2009, The effects of circular sawblade diamond segment characteristics on marble processing performance, *Mechanical Engineering Science*, Vol.**224**, 1559-1565.
- Cai, O.**, 1996, Encapsulated diamond: remarks and technical notes. *Diamante Applicazioni & Tecnologia*, **2(8)**, 62–72.
- 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.
- Çimen, H., Çınar, S.M., Nartkaya, M.**, 2008, The investigation of marble cutting parameters for energy consumption, *International journal of mathematical models and methods in applied sciences*, Vol.**2**, Issue **4**.
- Collin, W.D.**, 1997, The influence of slot geometry and segment spacing on diamond saw performance, *Industrial Diamond Review*, **37(1)**, 48–54.
- Dai, Q.X., Fu, Y.H., Yuan, Z.Z., Cao, F.**, 2004, Application and optimum design of diamond saw blade with composite matrix, *Key Engineering Materials*, Vol.**259-260**, 154-158.
- Davies, A.**, 1992, Induction brazing for diamond toolmakers. *Industrial Diamond Review*, **52(6)**, 325–327.
- de Châlus, P.A.**, 1994, Metal powders for optimum grain retention. *Industrial Diamond Review*, **54(4)**, 170–172.
- Denkena, B., Tönshoff, H.K., Friemuth, T., Glatzel, T.**, 2003, Development of advanced tools for economic and ecological grinding of granite, *Key Engineering Materials*, Vol.**250**, 21-32.

- Denkena, B., Tönshoff H.K., Friemuth, T., Glerse, A.,** 2004, The band saw as a tool in the natural stone industry, *Industrial Diamond Review*, Vol. **1**, 57-62.
- Dietel, K.,** 2002, Segmented cut-off blades with polygon technology, *Industrial Diamond Review*, **62(3)** , 173–176.
- Di İlio, A., Tonga, A.,** 2003, A theoretical wear model for diamond Tools in stone cutting, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. **43**, 1171-1177.
- Dinç, B.,** 1995, Mermer Makinelerinde Elmas Soketlerin ve Silim Cila Abrazivlerinin Mermer Türlerine Göre Aşınmalarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Ersoy,A., Atıcı, U.,** 1999, Türkiye 16.ncı Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı,Ankara.
- Ersoy, A., Atıcı, U.,** 2004, Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and Related Materials*, Vol.**13**, 22-37.
- Ersoy, A., Büyüksağış, S., Atıcı, U.,** 2005, Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks, *Wear*, **258**, 1422-1436.
- Eyüboğlu, A. S.,** 2000, Diskli Kesici Soketlerindeki Aşınmaların Ankara Andezitlerinde İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Eyüboğlu, A.S., Özçelik, Y., Kulaksız, S., Engin, I.C.,** 2003, Statistical and microscopic investigation of disc segment wear related to sawing Ankara andesites, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol. **40**, 405-414.
- Gao, J., Thompson, R.G., Patterson, B.R.,** 1997, Computer simulation of grain growth with second phase particle pinning, *Acta Materialia* **45**, 3653-3658.
- German, R.M.,** 1996, Sintering Theory and Practice. Wiley, New York.
- Hu, Y., Wang, C., Wei, X., Li, Z.,** 2004, Thermodynamic analysis of diamond saw blades for dry cutting, 1-6.
- Hu, Y.N., Wang, C.Y., Ding, H.N., Wang, Z.W.,** 2006, Wear mechanism of diamond saw blades for dry cutting concrete, *Key Engineering Materials*, Vol. **304-305**, 315-319.
- Hwang, K.S., Yang, T.H., Hu, S.C.,** 2005, Diamond cutting tools with a Ni<sub>3</sub>Al Matrix Processed by reaction pseud-hipping, *Metallurgical and materials transactions*, Vol. **36A**, 2801-2806.

- Ikeda, R., Ogi, H., Ogawa, T., Takemoto, M.,** 2009, Mechanical properties of CVD synthesised polycrystalline diamond, *Industrial Diamond Quarterly*, **1/09**, 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.,** 2001, Machine Vision Inspection for the Protrusion Rate of a Diamond Tool, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.**20**, No:5, 357-362.
- Joong, S., Kang, L.,** 2005, Sintering: Densification, Grain Grawth and Microstructure, *Elsevier, Butterworth Heinemann*.
- Kahraman, S., Fener, M., Günaydın, O.,** 2006, Authors' reply to the discussion by A. Karakus on the paper Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. **43**, 1308-1310.
- Karagöz, Ş., Zeren, M.,** 2001, The microstructural design of diamond cutting tools, *Materials Characterization*, **47**, 89-91.
- Karagöz, Ş., Zeren, M.,** 2001, The property optimization of diamond-cutting tools with the help of micro-structural characterization, *International Journal of Refractory Metals &Hard Materials*, **19**, 23-26.
- Karagöz, Ş., Zeren, M.,** 2001, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon.
- Karagöz, Ş., Zeren, M.,** 2002, Doğaltaş kesiminde kullanılan elmas kesici takımların aşınma karekteristiği, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt **44**, Sayı :**517**.
- Konstanty, J.,** 1991, The materials science of stone sawing. *Industrial Diamond Review*, No:1, 27- 31.
- Konstanty, J.,** 2000, Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of Stone, *Industrial Diamond Review*, **60(1)** , 55–65.
- Konstanty, J.,** 2002, Theoretical analysis of stone sawing with diamonds, *Journal of Materials Processing Technology* ,**123**, 146-154.
- Konstanty, J.,** 2003, Production of Diamond Sawblades for Stone Sawing Applications, *Key Engineering Materials*, Vol. ,**250**, 1-12.
- Konstanty, J.,** 2003, Factors Affecting Diamond Retention in Stone Sawblade Segments, *Key Engineering Materials* ,Vol. **250**, 13-20.



- Konstanty, J.**, 2005, Powder Metallurgy Diamond Tools, Elsevier Ltd, *The Metal Powders Technology Series*.
- Kremshofer, S.**, 2006, “Diamond characteristic and performance in wall sawing”, *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, 64-66.
- Li, Y., Yu, Y. Q., Xu, X. P.**, 2001, Measurement and analysis of cutting forces in circular sawing of granite, *Key Engineering Materials*, Vol. **202-203**, 293-298.
- Li, Y., Xu, X. P.**, 2006, Modal analysis of circular diamond saw-blade for deep sawing of granite, *Key Engineering Materials*, Vols. **315-316**, 348-351.
- 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.
- Liu, X.F., Li, Y.Z.**, 2003, The microanalysis of the bonding condition between coated diamond and matrix, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, **21**, 119-123.
- Luo, S.Y., Liao, Y.S.**, 1993, Effects of matrix characteristics on diamond composites. *Journal of Materials Science* **28**, 1245–1251.
- Luo, S.Y., Liao, Y.S.**, 1995, Study of the behaviour of diamond saw-blades in stone processing, *Journal of Materials Processing Technology* **51**, 296-308
- Luo, S.Y.**, 1997, Investigation of the worn surfaces of diamond sawblades in sawing granite, *Journal of Materials Processing Technology* **70**, 1-8.
- Massalski, T.B.**, 1990, Binary Alloy Phase Diagrams, Vol. 2, *ASM International*, 1232–1233.
- Memmott, J.**, 2002, The development of industrial diamonds, *US Synthetic Wire Die*.
- 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.**, 2006, Tin influence on diamond-metal matrix hot pressed tools for stone cutting, *Journal of Materials Processing Technology*, **175**, 306-315.
- Novikov, N.V.**, 2005, Synthesis of superhard materials, *Journal of Materials Processing Technology* **161**, 169-172.

- 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
- Oliveira, H.C.P., Cabral, S.C., Guimaraes, R.S., Bobrovnitchii, G.S., Filgueira, M.,** 2009, Processing and characterization of a cobalt based alloy for use in diamond cutting tools, *Mat.-wiss.U.Werkstofftech.* **40**, No:12, 907-909.
- Özçelik, Y.,** 1999, Mermercilikte Elmas Tel Kesme Makinalarının Çalışma Koşullarının İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özçelik, Y., Ünver, B., Bayram, F., Yaşıtlı, N.E.,** 2008 ,Bazı Doğal Taşların Dairesel Testere Kesim Yöntemiyle Kesilebilirlik Sınıflaması ve Kesme Mekanizmasının Sayısal Modellemesi.
- Petrusha, I.A.,** 2000, Features of a cBN-to-graphite-like BN phase transformation under pressure, *Diamond and Related Materials* **9**, 1487-1493.
- Polini, W., Turchetta, S.,** 2003, To characterise diamond mill wear, *Wear*, **255**, pp. 1414-1420.
- Polini, W., Turchetta, S.,** 2005, Evaluation of diamond tool wear, *International Journal of Advanced manufacturing Technology* **26**, 959-964.
- Porter, D. A., Easterling, K. E.,** 1992, Phase Transformations in Metals and Alloys, *2nd edition* Chapman & Hall, London, 141.
- Reinhardt, K.-D.,** 2003, New shape of diamond segment for machining natural and artificial Stone, *Industrial Diamond Review*, **63(2)** , 16–18.
- Saunders, N., Miodownik, A.P.,** 1990, Bull. Alloy Phase Diagrams, vol. **11**, 278-87.
- Shen, J.Y., Lin, W., Ohmori, H., Xu, X. P.,** 2006, Mechanism of surface formation for natural granite grinding, *Key Engineering Materials*, Vols. 304-305, 161-165.
- Sheppard, N., Dolly, B.,** 1993, Hybrid bit success for SYNDAX3 pins. *Industrial Diamond Review*, **53(6)** , 309–311.
- Skury, A.L.D., Bobrovnitchii, G.S., Monteiro, S.N., Gomes, C.C.,** 2004, Recovery of Synthetic diamonds from scrapped sawblades, Separation and Purification Technology **35**, 185-190.
- Spriano, S., Chen, Q., Settineri, L., Bugliosi, S.,** 2005, Low content and free cobalt matrixes for diamond tools, *Wear* **259**, 1190-1196.

- Sun, L., Pan, J., Lin, C.,** 2002, A new approach to improve the performance of diamond sawblades, *Materials Letters* **57**, 1010-1014.
- Sung, C-M.,** 1999, Brazed diamond grid:a revolutionary design for diamond saws, *Diamond & Related Materials*, **8**, 1540-1543.
- Sung, J. C.,** 2007, Diamond tools with diamond grits set in a predetermined pattern, *Materials Science Forum*, Vols. **534-536**, 1101-1104.
- Sung, J. C., Hu, S. C., Chang, Y.S.,** 2007, The metallization of diamond grits, *Materials Science Forum*, Vols. **534-536**, 1137-1140.
- Sung, J. C., Hu, S.C., Lin, I. C., Tsai, C.C.,** 2007, The revolution of diamond synthesis technology, *Materials Science Forum*, Vols. **534-536**, 1141-1144.
- Tillmann, Wolfgang.,** 2000, Trends and market perspectives for diamond tools in the construction industry, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* **18**, 301-306.
- Tonshoff, H.K., Wobker, H.G., Przywara, R.,** 1993, Das Arbeitsverhalten Von Werkzeugen Zum Trennschleifen Von Gestein, *Industrie Diamanten Rundschau*, 198 – 205.
- Tönshoff, H.K., Wobker, H.-G., Cassel, C.,** 1994, Wear Characteristics of Cermet Cutting Tools, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* **43**, 89-92.
- Tönshoff, A.K., Asche, J.,** 1997, Wear of metal-bond diamond tools in the machining of stone. *Industrial Diamond Review* **57(1)** , 7–13.
- Tönshoff, H.K., Hillmann-Apmann, H., Asche, J.,** 2002, Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and applications, *Diamond and Related Materials* **11**, 736-741.
- Torres, A.O., Ojeda, R.G.,** 2000, Characterization of diamond particles in stone-cutting tools applications, 1-6.
- TS 699,** 1987, Doğal Yapı Taşları- Muayene ve Deney Metotları, *T.S.E Yayını*, 82
- Turchetta, S., Carino, L., Polini, W.,** 2005, CVD diamond insert in stone cutting, *Diamond and Related Materials* **14**, 641-645
- Turchetta, S.,** 2009, Cutting force on a diamond grit in stone machining, *International Journal of Advanced manufacturing Technology* **44**, 854-861.
- Turchetta, S.,** 2010, Cutting Force in Stone Machining by Diamond Disk, *Hindawi Publishing Corporation*, **1155**, ID 631437.

- Ucun, İ., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Büyüksağış, İ. S.,** 2008, Fracture path prediction of diamond segment in a marble cutting disc, *Fatigue & fracture of Engineering Materials & Structures* Vol **31**, 517-525.
- Ucun, İ.,** 2009, Doğal Taş Sanayinde Kullanılan Elmas Soketlerin Kesme Performansı Ve Hasar Analizi Çerçevesinde İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, AFYON.
- Ucun, İ., Büyüksağış, İ.S.,** 2009, 5.nci Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, *Bildiriler Kitabı* ,Karabük
- Ucun. İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ.S.,Taşgetiren, S.,** 2010, An investigation on the effect of diamond concentration and matrix material composition in the circular sawing process of granites,*Mechanical Engineering Science* Vol. **224, Part C**, 1-11.
- Ünal, R., Gürcay, E.A.,** 2007, Matrix composition effect on the wear behaviour of diamond segments,*Materials Science Forum*, Vol.**534-536**, 1113-1116.
- Wang, C.Y., Clausen, R.,** 2002, Marble cutting with single point cutting tool and diamond segments, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* **42**, 1045-1054.
- Wang, C.Y., Clausen, R.,** 2003, Computer simulation of stone frame sawing process using diamond blades, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* **43**, 559-572.
- Wang, C.Y., Wei, X., Pan, Z.C., Song, Y.X.,** 2003, Effects of surfactant in stone machining, *Key Engineering Materials* Vol.**250**, 194-199 .
- Weber, G.,** 1991, Laser welding of diamond tools. *Industrial Diamond Review*, **51(3)**, 126–128.
- Weber, G.,** 2004, New software for automatic tensioning of sawblades, *Industrial Diamond Review*, **64 (2)**, 55-56.
- Wöll, E.,** 1984, Cutting asphalt with diamonds. Diamonds in Industry – Roads and Runways, *De Beers Industrial Diamond Division*, London, 44–51.
- Wei, X., Du, H.W., Wang, C.Y., Fang, Y.L.,** 2003, Investigation on cutting forces in concrete sawing process, *Key Engineering Materials* Vol.**250**, 181-186.
- 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.
- Xie, J., Tamaki, J.,** 2007, Parameterization of micro-hardness distribution in granite related to abrasive machining performance, *Journal of Materials Processing Technology* **186**, 253-258.
- Xu, Xipeng.,** 1999, Friction studies on the process in circular sawing of granites, *Tribology Letters* **7**, 221-227.
- Xu, Xipeng.,** 2000, Prevailing Mechanisms for Circular Sawing of Granites with Diamond Impregnated Segments, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. **15**, No. **1** , 123-138.
- Xu, Xipeng.,** 2001, Study on the thermal wear of diamond segmented tools in circular sawing of granites, *Tribology Letters* **10**, 245-250.
- Xu, X. P., Shen, J. Y.,** 2001, Study on surface grinding of granites with resin bonded diamond wheel, *Key Engineering Materials*, Vols. 202-203, pp. 67-72.
- Xu, X.P., Li, Y.,** 2003, The effects of swarf in the diamond sawing of granite, *Key Engineering Materials* Vol. **250**, 187-193.
- Xu, X. P., Huang, H.,** 2004, High-efficiency cutting of granite blocks with multi-blade diamond saws, *Key Engineering Materials*, Vols. **257-258**, 297-302.
- Xu, X.P., Han, Q.L., Li, Y.,** 2005, Wear of metal bonded diamond tools in different abrasive processes, *Key Engineering Materials* Vol. **291-292**, 85-90.
- Xu, X., Yu, Y.,** 2005, Sawing performance of diamond with alloy coatings, *Surface and Coatings Technology*, Vol. **198 (1-3)**, 459-463.
- Yalçın, B., Uçun, İ., Koru, M.,** 2007, Mermer Kesme Testerelerinde Oluşan Kesme Kuvvetinin Bulanık Mantık Yöntemiyle Modellenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak.Dergisi.*, Cilt. **22**, No: **2**, 329-336.
- Yılmaz, N.G., Göktan, R.M.,** 2008, Effect of sawing rate on force and energy requirements in the circular sawing of granites, *Osmangazi Üniv.Müh. Mim.Fak.Dergisi*, Cilt. **XXI** , No: **2**.
- Yu, Y.Q., Xu, X.P.,** 2003, Improvement on the performance of diamond segments for rock sawing, Part **1**: Effects of segment components, *Key Engineering Materials* Vol. **250**, 46-53.
- Yu, Y.Q., Xu, X.P.,** 2003, Improvement on the performance of diamond segments for rock sawing Part **3**: Factors influencing the use of rare earth, *Key Engineering Materials* Vol. **250**, 60-67.

- Yu, Y.Q., Li, Y., Xu, X.P.,** 2004, An experimental study of specific energy in grinding granite, *Materials Science Forum*, Vols. **471-472**, 625-629.
- Yu, Y.Q., Zhang, Y.F., Li, Y., Xu, X.P.,** 2006, Sawing of granite with side-slotted diamond segments, *Key Engineering Materials* Vol. **315-316**, 103-107.
- Yu, Y., Li, Y., Xu, X.,** 2008, Specific energies in sawing with diamond segments and grinding of a diamond segment, *Key Engineering Materials*, Vols. **375-376**, 375-379.
- Yu, Y., Tie, X., Xu, X.,** 2008, Mechanical behaviors of metal-bonded diamond abrasive tools with different grit sizes, *Key Engineering Materials*, Vols. **359-360**, 73-77.
- Zhang, Shao-he., Ding, Xin-yu., Zhou, Jia-xiang.,** 2005, Designing of concrete diamond sawblade, *J.Cent.South Univ.Technology*, Vol.**12-1**.
- Zhang, G., Huang, H., Xu, X.,** 2008, Study on the wear mechanism of brazed diamond grains, *Key Engineering Materials*, Vols. **359-360**, pp. 58-62.
- Zhao, J.-C.,** 1999, The fcc/hcp phase equilibria and phase transformation in cobalt-based binary systems. *Zeitschrift für Metallkunde* **90(3)**, 223–232.
- Zeren, M.,** 1999, Elmaslı kesici takımlarda mikroyapısal karakterizasyon üzerinden özelliklerin optimizasyonu, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Zeren,M., Karagöz, Ş.,** 2006, Defect characterization in the diamond cutting tools, *Materials Characterization* **57**, 111-114.
- Zeren, M., Karagöz, Ş.,** 2007, Sintering of polycrystalline diamond cutting tools, *Materials and design* Vol **28**, 1055-1058.

## ÖZGEÇMİŞ

15.12.1965 tarihinde GİRESUN ilinin Yağlıdere ilçesinde doğan Durmuş KIR; ilk, orta ve lise öğrenimini Yağlıdere’de tamamladı. 1987 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden dönem birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl, burslu olarak okuduğu Milli Savunma Bakanlığı’nda göreve başladı. Görevi sırasında füze, roket ve gece görüş projeleri başta olmak üzere birçok askeri projede çalıştı. 1988–1989 yılları arasında kısa dönem askerlik hizmetini tamamladı. 1991–1993 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi İmal Usulleri Anabilim dalında yüksek lisansını tamamladı. Savunma sanayi projelerindeki çalışmaları 2001 yılına kadar devam etti. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı Mekanik Metalurji Programı’nda doktora öğrenimine başladı. Durmuş KIR, evli ve iki çocuk babası olup; yeterli derecede ingilizce bilmektedir.