

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOBALT ESASLI ALAŞIMLARIN BAĞLAYICI MATRİS OLARAK
KULLANILDIĞI DOĞAL TAŞ KESİMİNDE KULLANILAN ELMAS
KESİCİ UÇLARIN KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ferit TOPALOĞLU

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOBALT ESASLI ALAŞIMLARIN BAĞLAYICI MATRİS OLARAK
KULLANILDIĞI DOĞAL TAŞ KESİMİNDE KULLANILAN ELMAS
KESİCİ UÇLARIN KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ferit TOPALOĞLU
(506101438)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI

OCAK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506101438 numaralı Yüksek LisansÖğrencisi **Ferit TOPALOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KOBALT ESASLI ALAŞIMLARIN BAĞLAYICI MATRİS OLARAK KULLANILDIĞI DOĞAL TAŞ KESİMİNDE KULLANILAN ELMAS KESİCİ UÇLARIN KARAKTERİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Erdem ATAR
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Teslim Tarihi : **17 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **22 Ocak 2013**

Canim Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan, yardımını ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen, çalışma anlayışını örnek aldığım değerli tez danışmanım Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI' ya sonsuz minnettarlığımı sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında her türlü cihazın kullanımı konusunda bana yardımcı olan Arş. Gör. Y. Müh. Onur MEYDANOĞLU'na, Araş. Gör. Faiz MUHAFFEL'e ve Arş. Gör. Y. Müh. Onur TAZEGÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma süresince numunelerimin hazırlanmasını sağlayan HARTEK Ltd. Şti. yetkililerine de teşekkür borçluyum.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca hem akademik çalışmalar konusunda bana destek olan, hem de hayatı paylaştığım arkadaşlarım Engin HÜNDER'e, Esra SENER'e, Dilek TEKER'e, Çağdaş ÇALLI'ya, Gürol ALDIÇ'a, Özcan KAYA'ya, Muharrem MERAL'a ve Mehmet Akif ÜNAL'a tüm anlayış ve destekleri için teşekkür ederim.

Beni yetiştiren, maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, beni ben yapan sevgili aileme en büyük teşekkür ve minnettarlığımı sunarım.

Aralık 2012

Ferit Topaloğlu
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ.....	3
2.1. Kesici Takım Malzemeleri Çeşitleri ve Özellikleri	3
2.1.1. Karbon çelikleri ve takım çelikleri.....	5
2.1.2. Yüksek hız çelikleri.....	6
2.1.3. Sert maden uçlu kesiciler (Sinterlenmiş Karbürler).....	6
2.1.3.1. Sinterlenmiş karbür.....	7
2.1.3.2. Kaplamalı sinterlenmiş karbür.....	7
2.1.4. Seramik Kesiciler	8
2.1.4.1. Alüminyum oksit esaslı seramikler	8
2.1.5. Sermetler	8
2.1.6. Siyalonlar	9
2.1.7. Kübik Bor Nitrür (CBN)	10
2.1.8. Çok Kristalli Kübik Bor Nitrür (PCBN)	10
2.1.9. Elmas Kesici Takımlar	12
2.1.9.1. Elmas kesici takımların sınıflandırılması.....	13
Polikristalin elmas kesici takımlar.....	15
CVD elmas kesici takımlar.....	17
2.1.10. Kübik Bor Nitrür ve Elmasın Karşılaştırılması.....	18
3. DOĞAL TAŞ KESİMİNDE KULLANILAN ELMAS SOKETLER (UÇLAR) VE ÜRETİMİ.....	20

3.1. Doğal Taş Kesici Takımların Tarihsel Gelişimi	21
3.1.1. Elmas Takımların Tarihsel Gelişimi	21
3.2. Elmas Kesici Uç Tasarımı.....	22
3.3. Elmas Kesici Uçların Yapısı ve Özellikleri (Elmas Soketler)	23
3.4. Toz Metalurjisi ve Elmas Soket Üretimi.....	25
3.4.1. Toz Metalurjisi ile Parça Üretimi.....	25
3.4.2. Elmas Kesici Uç (Soket) Üretimi (Toz Metalurjisi ile)	28
3.4.2.1. Tozların hazırlanması.....	28
3.4.2.2. Matris-Elmas karışımının hazırlanması.....	28
3.4.2.3. Soğuk presleme.....	29
3.4.2.4. Sıcak presleme	29
3.4.2.5. Sinterleme.....	33
3.4.2.6. Spark plazma sinterleme.....	33
3.4.2.7. Sıcak izostatik presleme.....	34
3.4.2.8. İnfiltrasyon.....	34
3.4.2.9. Lehimleme.....	35
3.4.2.10. Lazer kaplama.....	35
3.4.2.11. Kalite kontrol.....	36
3.4.2.12. Son işlemler.....	36
3.5. Doğal Taş Kesici Disk Çeşitleri ve Kesme İşlemleri	38
3.5.1. Dairesel testere ile kesim.....	39
3.5.2. Düz testere ile kesim	44
4. DOĞAL TAŞ KESİCİ ELMAS BONCUK ÜRETİMİ VE ELMAS TEL ÇEŞİTLERİ	45
4.1. Elmas Teller	45
4.2. Elmas Boncukların Üretimi.....	46
4.2.1. Elektroliz (Elektroliz) elmas boncuk üretimi	47
4.2.2. Sinterleme ile Elmas Boncuk Üretimi.....	47
4.2.3. Kimyasal yapıştırma ile boncuk üretimi	49
4.3. Elmas Boncukların Dizilmesi ve Kullanıma Hazırlanması.....	49
4.3.1. Yaylı Dizim	49
4.3.2. Plastik Enjeksiyon ile Dizim	50
4.3.3. Kauçuk Enjeksiyon ile Dizim	50
4.4. Elmas Telin Performansını Etkileyen Faktörler.....	51
4.5. Elmas Tel ile Kesim	52

5. ELMASLI KESİCİ UÇLARDA METAL MATRİS İÇERİĞİ VE ELMAS SEÇİMİ	55
5.1. Metal Matris İçeriği ve Seçimi.....	55
5.1.1. Kobaltın Önemi.....	56
5.1.2. Matrise Kobalt İlavesinin Mikroyapıya ve Mekanik Özelliklere Etkisi ..	59
5.1.2.1. Kobalt ilavesinin sertliğe etkisi.....	57
5.1.2.2. Kobalt ilavesinin eğme mukavemetine etkisi.....	58
5.1.2.3. Kobalt ilavesinin mikro yapıya etkileri.....	60
5.1.3. Kobalta Alternatif Olarak Üretilen Tozlar	63
5.1.4. Diğer Metal Tozları ve Etkileri	65
5.1.5. Matrise Titanyum İlavesinin Mekanik Özelliklere ve Mikro Yapıya Etkisi	67
5.1.5.1. Titanyum ilavesinin yoğunluğa etkisi.....	66
5.1.5.2. Titanyum ilavesinin eğme mukavemetine etkisi.....	66
5.1.5.3. Titanyum ilavesinin mikro yapıya etkisi	67
5.2. Elmas Seçimi.....	74
5.2.1. Elmas Tipi	75
5.2.2. Elmas Tane Boyutu	77
5.2.3. Elmas Konsantrasyonu.....	78
5.2.4. Elmas Kaplama	79
6. ELMAS KESİCİ TAKIMLARDA METAL MATRİSİN MİKROYAPISI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ	83
6.1. Matrisin Mikroyapısı.....	83
6.1.1. Yoğunluk.....	83
6.1.2. Tane Boyutu	85
6.1.3. Toparlanma ve Yeniden Kristalleşme.....	86
6.1.4. Faz kompozisyonu	86
6.2. Matrisin Mekanik Özellikleri.....	87
6.2.1. Sertlik	88
6.2.2. Akma Mukavemeti.....	89
6.2.3. Eğme Mukavemeti	89
6.2.4. Darbe Mukavemeti.....	90
7. DOĞALTAŞ KESİMİNDE KULLANILAN ELMAS KESİCİ TAKIMLARIN AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ.....	93
7.1. Sinterlemenin Aşınma Dayanımına Etkileri	93
7.2. Matrisin Aşınma Karakteristiği ve Aşınmayı Etkileyen Diğer Faktörler	95
7.2.1. Abrasif Aşınma	97

7.2.2. Erozif aşınma dayanımı.....	98
7.3. Aşınma Yüzeyinin İncelenmesi	99
7.4. Elmas Soket Aşınmasının Belirlenmesinde Lazer Ölçüm Sisteminin Kullanılması	103
7.4.1. Deneyin Yapılışı.....	103
7.4.2. Ölçüm Sonuçlarının İrdelenmesi.....	105
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	109
8.1. Deneylerde Kullanılan Numunelerin Üretimi	110
8.2. Yoğunluk Ölçme İşlemi	110
8.3. Sertlik Ölçme İşlemi.....	111
8.4. Mekanik Deneyler	112
8.4.1. Basma deneyi	112
8.4.2. Üç noktalı eğme deneyi.....	112
8.5. Mikro Yapı İncelemeleri	113
8.5.1. Yüzey hazırlama işlemi	113
8.5.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri.....	113
8.5.3. Optik mikroskop incelemeleri	113
8.5.4. X-ışınları difraktometresi (XRD) incelemeleri	114
9. DENEYSEL SONUÇLAR.....	115
9.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları.....	115
9.2. Mikro Yapısal Analizler.....	119
9.2.1. Kırık yüzey analizi	119
9.2.2. Optik Mikroskop, SEM ve XRD analizleri ve sonuçları değerlendirme	125
9.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları	130
9.4. Mekanik Deneylerin Sonuçları.....	132
9.4.1. Basma deneyi sonuçları.....	132
9.4.2. Üç noktalı eğme deneyi sonuçları	134
10. GENEL DEĞERLENDİRME.....	137
11. GENEL SONUÇLAR	139
KAYNAKLAR.....	141
ÖZGEÇMİŞ.....	145

KISALTMALAR

EDS	: Taramalı Elektron Mikroskopu
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HSP	: Hekzagonal Sıkı Paket
OM	: Optik Mikroskop
SEM	: Enerji Dispersif Spektrometresi
TM	: Toz Metalurjisi
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
XRD	: X-ışınları Difraktometresi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tipik takım malzemeleri ve bileşenlerinin sertlikleri.....	4
Çizelge 2.2 : Takım Malzemelerinin Mekanik Özellikleri.....	5
Çizelge 2.3 : Elmas takım malzemelerinin karşılaştırılması	17
Çizelge 3.1 : Dairesel testerelerde uygulanması tavsiye edilen hızlar.....	40
Çizelge 3.2 : Dairesel testerelerde uygulanması tavsiye edilen makine gücü oranları ve soğutucu miktarları	41
Çizelge 5.1 : Ticari kobalt tozları ve özellikleri	58
Çizelge 5.2 : Deneysel çalışmalarda kullanılan soket alaşımlarının % bileşimleri. ..	59
Çizelge 5.3 : Elmas kesici takımlar için kobalt oranı düşürülerek üretilen tozlar.....	64
Çizelge 5.4 : Üretilen Deney Numunelerinin bileşimleri.	67
Çizelge 5.5 : Kırık yüzey alanındaki (cm ²) toplam elmas ve oluşan elmas boşluk sayısı.	79
Çizelge 7.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan soketlerin kimyasal bileşimi	109
Çizelge 9.1 : Numunelerin yoğunlukları.	115

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : PCBN uçlar için takım tutucu.....	11
Şekil 2.2 : Amborite ve DBC50'nin bağlı aşınma direnci. a) 60 HRC'de D3 soğuk iş takım çeliği b) 62 HRC'de yataklama çeliği c) 62 HRC'de M2 yüksek hız çeliği d) 50 HRC'de sıcak iş takım çeliği.....	11
Şekil 2.3 : PCBN ve tungsten karbür kesme hızına karşı takım ömrü. (İşleme parametreleri; kesme derinliği= 2.0 mm, ilerleme hızı= 0.3 mm/dev, kuru, soğutucu yok. İş parçası; Ni HARD 2C).....	12
Şekil 2.4 : Elmas Çeşitleri.....	12
Şekil 2.5 : Elmas takımların sınıflandırılması.....	14
Şekil 2.6 : Üç sınıf PCD için takım ömrü karşılaştırılması.....	15
Şekil 2.7 : Üç sınıf PCD için takım ömrü karşılaştırılması.....	16
Şekil 3.1 : Çeşitli dairesel testere görünüşleri.....	22
Şekil 3.2 : Elmas Takviyeli Soketler.....	23
Şekil 3.3 : Elmas Soket Çeşitleri.....	23
Şekil 3.4 : Kullanıma hazır elmas soketler.....	25
Şekil 3.5 : Toz Metalürjisi yöntemi ile parça üretim aşamaları.....	27
Şekil 3.6 : Toz metalürjisi ile elmas kesici uç üretimi.....	29
Şekil 3.7 : Uygulanan kaplamanın elmasın batma boyuna olumlu etkisi.....	30
Şekil 3.8 : Presleme Makineleri.....	31
Şekil 3.9 : Doğrudan ısıtma tekniği. 1. Grafit yan tutucular, 2. Baskı grafitleri, 3. Preslenecek malzeme, 4. Grafit elektrot, 5. Bronz plaka, 6. Bakır elektrot, 7. Güç kaynağı.....	31
Şekil 3.10 : Sıcak presleme işleminin şematik gösterimi.....	32
Şekil 3.11 : Sıcak presleme sırasında yapılan kontrollerin izlenimi	33
Şekil 3.12 : Spark plazma sinterleme sistemi.....	35
Şekil 3.13 : Kalıbın kesit görünüşü.....	36
Şekil 3.14 : Dairesel Testere Ölçüleri.....	39
Şekil 3.15 : Doğal taş kesme işleminde talaş oluşum mekanizması.....	41
Şekil 3.16 : Talaş oluşumunda enerji tüketiminin oransal dağılım şeması.....	42
Şekil 3.17 : Farklı (sol) ve aynı yönlü (sağ) kesme işlemi sırasında etkili olan kuvvetler.....	43
Şekil 3.18 : a) Mermer kesici disk b) Granit kesici disk	43
Şekil 3.19 : a) Asfalt-Beton kesici b) Seramik Porselen Kesici.....	43
Şekil 3.20 : Düz testere ile kesime ait şematik gösterim.....	44
Şekil 4.1 : Yaylı elmas tel, Plastik kaplamalı elmas tel, Kauçuk kaplamalı elmas tel.....	46
Şekil 4.2 : Elektrolte yöntemiyle üretilmiş boncuklar.....	47
Şekil 4.3 : Sinterize şeklinde üretilmiş elmas boncuk.....	48
Şekil 4.4 : Elmas tel ile kesim işleminin modeli.....	53

Şekil 5.1 : Sertlik ölçüm krokisi.....	60
Şekil 5.2 : Artan Co oranına bağlı sertlik ölçüm sonuçları.....	60
Şekil 5.3 : Üç noktalı eğme deneyinin şematik görünümü.....	61
Şekil 5.4 : Üç noktalı eğme deneyi sonuçları.....	61
Şekil 5.5 : N1 numunesinin SEM görüntüsü, X 500 ve OM görüntüsü , X 400.....	62
Şekil 5.6 : N2 numunesinin SEM görüntüsü, X 500 ve OM görüntüsü, X 400.....	62
Şekil 5.7 : N3 numunesinin SEM görüntüsü, X 500 ve OM görüntüsü, X 400.....	63
Şekil 5.8 : N4 numunesinin SEM görüntüsü, X 500 ve OM görüntüsü, X 400.....	63
Şekil 5.9 : Kobalt Fiyatlarındaki Dalgalanmalar.....	64
Şekil 5.10 : Elmas bağlayıcı olarak Fe-Ni alaşımının fiziksel özellikleri.....	66
Şekil 5.11 : Ti ilavesiz numunenin kırık yüzey fotoğrafları.....	69
Şekil 5.12 : %3 Ti ilaveli numunenin SEM fotoğrafları.....	70
Şekil 5.13 : %3 Ti katkılı numunenin EDS yüzey analizi.....	70
Şekil 5.14 : %3 Ti ilaveli numunelerin kırık yüzey fotoğrafları.....	71
Şekil 5.15 : %3 Ti ilaveli numunenin SEM fotoğrafları.....	71
Şekil 5.16 : %5 Ti katkılı numunenin EDS yüzey analizi.....	72
Şekil 5.17 : %5 Ti ilaveli numunelerin kırık yüzey fotoğrafları.....	72
Şekil 5.18 : %7 Ti ilaveli numunenin SEM fotoğrafları.....	73
Şekil 5.19 : %7 Ti Katkılı Numunenin EDS yüzey analizi.....	73
Şekil 5.20 : %7 Ti ilaveli numunelerin kırık yüzey fotoğrafları.....	74
Şekil 5.21 : Doğal Elmas Aşındırıcılar (a) girintili yüzey ve (b) yuvarlak yüzey	75
Şekil 5.22 : Çeşitli sentetik elmas morfolojilerinin şematik gösterimi ile sayısal kodları.....	77
Şekil 5.23 : Kesilen kayaç sertliği ve elmas tane boyutu arasındaki ilişki.....	78
Şekil 5.24 : Tane boyutuna bağlı olarak elmasın darbe dayanımı.....	78
Şekil 5.25 : Kaplanmış elmas taneleri a) titanyum karbür kaplı elmas taneleri b) ilave nikel kaplaması yapılmış elmas taneleri.....	80
Şekil 6.1 : Kobalt tozlarına ait sıcak presleme eğrileri.....	83
Şekil 6.2 : Kobalt tozlarına ait sinterleme eğrileri.....	84
Şekil 6.3 : Kobalta alternatif tozların sıcak presleme eğrileri.....	84
Şekil 6.4 : Kobalta alternatif tozların sinterleme eğrileri.....	85
Şekil 6.5 : Tozların yoğunlaşma sıcaklığının fonksiyonu olarak sertlik.....	88
Şekil 6.6 : Ticari kobalt tozlarına ait sertlik değerlerinin presleme sıcaklığı ile ilişkisi.....	89
Şekil 6.7 : Sıcak preslenmiş kobalt tozlarının darbe mukavemetine oksit ve sülfürün etkisi.....	91
Şekil 7.1 : Kuvvetli ve zayıf elmas-matris bağına ait SEM görüntüleri.....	94
Şekil 7.2 : Elmas Kesici Takım Mikroyapısının Işık Mikroskobu Görüntüsü.....	95
Şekil 7.3 : Eroziyon aşınma hızının çarpma açısı ile değişimi.....	98
Şekil 7.4 : Kısa Ömürlü Bir Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyinde Mikro-Kırılmalarla Kesme Köselerini Kaybetmiş Elmas Tanesinin SEM Görüntüsü.....	99
Şekil 7.5 : Elmas Tanesinde Mikro Sabanlama Kayma Gerilmeleri Altında Muhtemelen İç Gerilme Nedenli Çatlak Oluşumu.....	100
Şekil 7.6 : Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyindeki Elmas Tane Yüzeyinin Sürekli Kırılması Sonucu Zayıflayan Matris-Elmas Bağına Ait SEM Görüntüsü (Not: ağır darbe altında elmas yüzeyinde paralel küçük parçacıkların kopması nedeniyle oluşan pullanma görülmektedir).....	101
Şekil 7.7: Kesme Performansı Yüksek Olmuş Bir Elmas Kesici Takımın Kırılma Yüzeyinde Kuvvetli Elmas-Matris Bağlantısının SEM Görüntüsü.....	101

Şekil 7.8 : Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyi, SEM, (Not: Kesme performansı yüksek olmuş elmas kesici takımda aşınma yüzeyinde oluşan sıradağlar-vadi benzeri oluşumlar görülmektedir).....	102
Şekil 7.9 : Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyi, SEM, Topografik Kontrast (Not:Uzun omurlu bir kesici takımda ağır abraziv aşınmanın kesici takım yüzeyinde bıraktığı talaş akma kanalları görülmektedir).....	102
Şekil 7.10 : Bilgisayar kontrollü doğal taş kesme makinesi.....	103
Şekil 7.11 : Disk etrafındaki aşınmayı ölçmek için tasarlanmış deney düzeneği...	104
Şekil 7.12 : Aşınmaların ölçülmesinde kullanılan lazer sensör.....	104
Şekil 7.13 : Lazer deplasman sensöründen alınan verilerin işlendiği programın ara yüzü.....	105
Şekil 7.14 : Deney öncesi ve sonrası disk çevresinde meydana gelen soketler aşınma.....	106
Şekil 7.15 : Şekil 7.14'te verilen grafiğin daha dar bir aralıkta gösterimi.....	106
Şekil 7.16 : Elmas taneciklerinde görülen hasarlar a) Kırılma, b) Düzleşme, c) Dökülme.....	107
Şekil 8.1 : Precisa TM arşimet terazisi.....	111
Şekil 8.2 : ZHR TM sertlik ölçüm cihazı.....	111
Şekil 8.3 : Dartec TM universal test cihazı.....	112
Şekil 8.4 : SchimadzuAUTOGRAPH AGS-JTM marka üç noktalı eğme cihazı....	113
Şekil 8.5 : Leica TM DM 750M optik mikroskop.....	114
Şekil 8.6 : BRUKER TM D8-Advance X-ışınları difraktometresi.....	114
Şekil 9.1 : SPS yöntemiyle üretilen numunelerin yoğunlukları.....	116
Şekil 9.2 : Numunelerdeki boşluk miktarları ('+' işareti elmaslı, '-' işareti elmassız numuneleri göstermektedir).....	118
Şekil 9.3 : (a)N4 800°C (b) N4 850°C (c) N7 800°C (d) N7 850°C numaralı numunelere ait kırılma yüzeyleri.....	119
Şekil 9.4 : (a) N2 kaplamasız elmas, (b) N2 TiC kaplı elmas, (c) N3 TiC kaplı elmas, (d) N1 kaplamalı ve kaplamasız elmasların kırık yüzeylerinin SEM görüntüsü.....	120
Şekil 9.5 : Elmasın matristen koptuğu bölge.....	121
Şekil 9.6 : (a) N5, (b) N6, (c) N7, (d) N7(850°C) numunelerinin zayıf elmas-matris ilişkisini gösteren kırık yüzey görüntüleri.....	122
Şekil 9.7 : (a) N8, (b) N4(800°C), (c) N4(850°C), (d) N8 numunelerinin kuvvetli elmas-matris ilişkisini gösteren kırık yüzey görüntüleri.....	123
Şekil 9.8 : N5 (800°C) kırık yüzey SEM görüntüsü.....	123
Şekil 9.9 : (a) N4 ve (b) N5 için OM görüntüsü.....	124
Şekil 9.10 : (a) N2, (b) N3 ve (c) N4 için OM görüntüsü.....	125
Şekil 9.11 : a) N4 ve b) N2 SEM görüntüleri.....	125
Şekil 9.12 : 2 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.....	126
Şekil 9.13 : 3 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.....	127
Şekil 9.14 : 4 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.....	127
Şekil 9.15 : N4 SEM görüntüsü (sıvı faz sinterlemesinin gerçekleştiği kalaylı bölgeler).....	128
Şekil 9.16 : 6 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.....	129
Şekil 9.17 : a) 2 nolu, b) 3 nolu, c) 4 nolu numunelerin SEM fotoğrafları.....	130
Şekil 9.18 : Numunelerin sertlik değerleri ('+' işareti elmaslı, '-' işareti elmassız numuneleri göstermektedir).....	131
Şekil 9.19 : Basma numunelerin gerçek akma ve basma mukavemetleri.....	133
Şekil 9.20 : basma deneyi sonrasında elde edilen % ezme oranları.....	134

Şekil 9.21 : Eğme Mukavemeti Değerleri	135
---	------------

KOBALT ESASLI ALAŞIMLARIN BAĞLAYICI MATRİS OLARAK KULLANILDIĞI, DOĞAL TAŞ KESİMİNDE KULLANILAN ELMAS KESİCİ UÇLARIN KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Doğal taş blokların plakalara ayrılması işleminde çeşitli kesici sistemler kullanılmaktadır. Bunlar düz testere sistemi, dairesel testere sistemi, çoklu elmas tel sistemi ve elmas kemerli bant kesim sistemidir. İçlerinden elmas kesici uçlara sahip dairesel testereler doğal taş kesiminde oldukça yaygın olarak kullanılan malzemelerdir.

Genellikle toz metalürjisi yöntemiyle üretilen kesici uçlar elmas taneleri ve metal tozlarının karıştırılmasıyla oluşturulan kompozit bir malzemedir. Elmas kesici uçlarda verimliliği etkileyen birçok faktör vardır. Kullanılan makinenin gücü, operatörün tecrübesi, üretim yöntemi ve tasarım gibi parametrelerde değişiklik yaparak kullanılan makinenin verimliliği artırılabilir. Bunlar içerisinde elmas kesici uçlarda kullanılan metal matrisin seçimi verimliliği etkileyen önemli bir parametredir.

Kesilecek taşın türüne bağlı olarak metal bağlayıcı ve elmas seçilmektedir. Genellikle kesilecek taş ile paralel aşınacak şekilde bir matris tasarımı öngörülmektedir. Üstün özelliklerinden dolayı genellikle bağlayıcı matris olarak kullanılan kobalt esaslı alaşımlar yüksek maliyetinden dolayı son zamanlarda yerini diğer alaşımlara bırakmaktadır. Kobaltın yerini alması açısından demir esaslı alaşımlar bronz esaslı alaşımlara göre daha öndedir. Fakat pahalı olmasına rağmen kobalt tozları doğal taş kesici uç üretiminde en etkili malzeme özelliğini korumaktadır.

Bu çalışmada 9 farklı kompozisyonda toz metalürjisi ve spark plazma sinterleme ile üretilmiş kobalt esaslı alaşımların bağlayıcı matris olarak kullanıldığı elmas katkılı kesici uçların karakterizasyonu yapılmıştır. Co-Cu-Sn, Co-Ni-Cu-Sn ve Co-Ni-Cu-Sn-WC alaşımındaki malzemeler performanslarının belirlenmesi için mekanik deneylere tabi tutulduktan sonra karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bağlayıcı olarak kullanılan metalin cinsine göre davranışları incelenmiştir.

Elde edilen sonuçların irdelenmesi için numuneler X ışınları ile yapılan faz analizleri (XRD), optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X ışını spektroskopisi (EDS) ile yapılan analizler ile incelenmiştir. Yapısal ve mikro yapısal analizler ile malzeme içindeki fazlar belirlenerek malzemeye etkisi irdelenmiştir. XRD sonuçları, SEM görüntüleri ve bölgesel EDS sonuçları ile desteklenerek mikroyapı belirlenmiştir. Ayrıca kırık yüzeyden alınan SEM görüntüleri yardımıyla malzeme içindeki elmasın tutunma yeteneği gözlemlenmiş, kaplamalı elmasların avantajı ortaya çıkmıştır.

Yoğunluk ölçümü sonucu hem malzemelerdeki boşluk miktarı hem de farklı sıcaklıkta üretilen numunelerin yoğunlaşma davranışları ortaya çıkmıştır. Yapılan sertlik ölçümü, basma deneyi ve üç nokta eğme deneyi sonuçları birbirleriyle uyumludur. Yoğunluk ile sertlik değeri arasında, sertlik ile basma ve eğme mukavemeti arasındaki ilişkiler irdelendiğinde daha yoğun malzemeler daha iyi sertlik değerlerine ulaşmıştır. Oluşan katı çözeltilerin de sertliği artırıcı etkisi ortaya çıkmıştır. Co-Ni-Cu-Sn alaşımındaki numuneler sertlik, basma ve eğme mukavemeti değerleri açısından en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışma sonunda kobalt esaslı alaşımlara kobalt oranının artması ve nikel ilavesinin mekanik özellikleri iyileştirdiği ve özellikle 850°C’de sinter yoğunluğunu arttırdığı tespit edilmiştir. Elmasların WC kaplanması grafitleşmeyi engellediği, kaplama içermeyen elmas yüzeylerinde de üretim koşullarında bozulma meydana gelmediği ortaya çıkmıştır. Genel olarak yüksek sıcaklıkta sinterlenen numuneler daha yüksek yoğunluk ile beraber daha iyi mekanik özellikler göstermiştir.

Sonuç olarak incelenen kobalt esaslı alaşımların bağlayıcı matris olarak kullanıldığı elmas katkılı kesici uç kompozit malzemeler içinde 4 numaralı Co-Ni-Cu-Sn alaşım ve 8 numaralı Co-Ni-Cu-Sn-WC alaşım numunelerin en iyi mekanik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Ekonomik koşullar göz önüne alındığında, Co oranı düşük olması sonucunda daha ekonomik olan 4 numaralı numunenin doğal taş kesiminde kullanımı 8 numaralı numuneye göre kullanımı daha uygundur.

CHARACTERIZATION OF DIAMOND CUTTING TOOLS USING COBALT BASE ALLOYS AS THE BINDING MATRICES

SUMMARY

Stone cutting is a chip-forming process where the debris is removed by means of cutting tools, therefore, diamond tools have been widely used in stone cutting industry over the past few decades. A variety of diamond tools is in the need of industry including circular sawing, frame sawing, wire sawing and core drilling.

Impregnated diamond cutting tools are manufactured by powder metallurgy techniques. They consist of diamond particles embedded in metal matrix. In order to increase productivity of these tools, there are some parameters such as experience of operator, peripheral speeds, cutting rates, machine power, coolant supply, production route and design. Material parameter has lately become vital to be optimized.

Diamond impregnated cutting tool composites should match with the processed material for the optimum processing condition. It should have also a balance between abrasion of the matrix and the wear of the diamonds. Chemical interaction between diamonds and matrix is of primary importance as well. As the most used binder to provide these properties, cobalt alloys are being substituted by other alloys such as bronz and cobalt alloys due to health problem, higher sintering temperature and price fluctuation.

Iron has recently been used widely as the metallic matrix of circular diamond tools. Like cobalt alloys, iron alloys show great technical properties such as toughness, high hardness and yield strength. Coating on diamonds also influences some properties of the composite. With the help of the active elements like titanium, transitional carbide layer can be formed between diamond and matrix so as to enhance the toughness and reduce the thermal attacks by matrix elements. This kind of coatings also increases the wettability of some elements on diamond such as copper and tin, in fact they are poor wetting elements.

In this work, the performances of metal-bonded diamond cutting tools manufactured by powder metallurgy and spark plasma sintering techniques were investigated using iron based alloys as the bonding matrix. The samples of Co-Cu-Sn, Co-Ni-Cu-Sn and Co-Ni-Cu-Sn-WC alloys with addition of 20-25 vol % of diamond grits were processed by powder metallurgy techniques. The structure of composites was investigated by X-ray diffraction analysis(XRD). The microstructures, diamond retention capability and metal-diamond interface was studied by electron microscopy on the fracture surfaces. Mechanical properties including hardness, compressive and transverse rupture strength along with densification were studied as well.

Considering densification results of samples, higher densifications were attained for samples which were manufactured relatively at high temperatures. All samples sintered at 850°C showed better results compared with their counterparts sintered at

800°C. Besides samples with high Cu and Sn (above 70% vol.) content displayed less porosity due to liquid phase sintering. Ni had some positive effect on reducing porosity when sintered at 850°C. On the other hand, diamonds in the matrix had negative impact on achieving in theoretical density values.

Rockwell B hardness measurement was applied so as to define the hardness values of samples. Samples produced at relatively high temperatures showed obviously higher hardness values. Expected hardness values might not be gained due to residual porosity in some samples. Co-Ni-Cu-Sn alloys have highest hardness values because of the fact that in the presence of iron in the matrix, nickel diffuses into iron to form Cu-Ni solid solution. Some NiSn intermetallic compound might be also formed although it is not found by XRD analysis. Samples containing Cu and Sn (above 70% vol.) indicate lower hardness values as expected. When examining Cu-Co-Sn alloys, the higher cobalt content in the matrix is, the higher the hardness of the material becomes.

In order to specify performance of diamond cutting tool of different matrix, compressive and transverse rupture tests were carried out. According to the compressive test results, Co-Ni-Cu-Sn alloys had the highest compressive strength, which nickel addition to the matrix was responsible for. As mentioned above hardness values along with compressive strength were highest for these alloys as a result of nickel addition. It is worth asserting that yield strength of these alloys is almost the same with compressive strength of other alloys. It is observed that only sample 4 and sample 8 have semi-ductile fracture behavior whereas all other samples just cracked. Co-Cu-Sn alloys have excess percent reduction in length among the samples as a consequence of high content of the bronze in matrix. Addition of cobalt to the matrix and decreasing of bronze content as Cu-Co-Ni alloys gives rise to an increase in compressive strength.

Like the compressive strength, transverse rupture strength (TRS) of the specimen increases with the increase of the sintering temperature which means that retention capability of diamonds is better at 850°C. At higher sintering temperatures diffusion is much easier to take place, resulting in good bonding between diamond and matrix as well as among metal matrix. Transverse rupture strength results resembles like hardness measurement values. Co-Ni-Cu-Sn alloys have the highest TRS. Co-Cu-Sn alloys indicated ductile behavior during the test, which was seen on strain-percent elongation graph. Moreover these samples are not cracked resulting from high content of Cu and Sn elements in the matrix. Materials showed more ductility among other samples. On the other hand, diamonds in the matrix behave like faults triggering initiation of cracks. It can be recognized that TRS of the samples is much higher which contain no diamond.

The structure was investigated by X-ray diffraction analysis, microstructure by electron microscopy. By taking into account of Cu-Co-Ni alloys, XRD patterns indicate formation of Co-Ni solid solution which was verified by energy dispersive spectroscopy (EDS) on the scanning electron microscope (SEM) as well. Moreover some Cu peaks were observed which may be Co-Ni and Cu-Co solid solutions. Increase in cobalt content gives rise to enhancing strengthening effect by Fe-Co solid solution. This explains how hardness is improved by increasing cobalt content in the alloy. Considering Fe-Cu-Sn alloys, microstructure consisted of bronze and iron which was seen both by XRD and EDS analyses. Although not seen by XRD analysis, clustering of a phase which was thought to be FeSn, was detected on SEM

image except bronze and iron, when increasing iron content in the matrix. According to XRD and SEM analyses, Cu-Sn solid solution and bronze comprise the microstructure of the Co-Ni-Cu-Sn alloys. Ni-Sn intermetallic compound is thought to be formed as well. Both NiSn and Cu-Sn solid solution contribute to higher hardness values among other samples.

Despite the different structures of samples, the cohesion between the uncoated diamonds and matrix is not as high as cohesion between the coated diamonds and matrix, as observed by SEM analysis on the fracture surfaces of the samples. EDS analyses were conducted to examine diamond-matrix interface. Being evidence of no chemical bonding between diamond and matrix, no elements was found on the diamond surfaces for uncoated diamonds whereas Ti, Co and Cu were found on the coated diamond surfaces. Besides, for the pull-out zones, constituents such as Fe and Cu were detected, indicating that fracture occurred at the side of bond matrix. Thermal degradation of diamonds was not observed.

As a result of this study, it is concluded that nickel addition to cobalt based matrix of diamond cutting tools (samples 4 and 8) reveals excellent performance taking into consideration of hardness, compressive and transverse rupture strength. Increase in the sintering temperature and the coating of diamond brings about better mechanical properties as well as better retention capability of diamonds.

1. GİRİŞ

Günümüzde doğal taş kesiminde çeşitli testere ve delici uçlar kullanılmaktadır. İçlerinde yaygın olarak kullanılanlarından biri de dairesel testerelerdir. Dairesel testereler çelik göbek ve bazı metaller ile beraber elmas içeren kompozit kesici uçtan oluşmaktadır. En önemli konu kesilen kayaca uygun kesici ucun seçimidir.

Matrisin kompozisyonu, elmasın şekli, miktarı ve kesici ucun üretim yöntemi gibi faktörler elmas kesici ucun özelliklerine etki etmektedir. Genellikle kesilecek taş ne kadar sert ise kesici ucun da o kadar sert olması istenir. Ayrıca tokluk, aşınma mukavemeti gibi faktörler de son derece önemlidir.

Bir elmas kesici uçta kesme görevini elmas yaparken, matris elmasları bir arada tutma görevini yapmaktadır. Elmas taneleri ile matrisin birbirine paralel olarak aşınması iyi bir performans için istenen bir durumdur. Matris erken aşınırsa elmas taneleri düşer, geç aşınırsa elmas taneleri kesme işini yapamaz. Diğer yandan matris ile elmas taneleri arasında kesici ucun ömrünü belirleyen kimyasal bir reaksiyon olması istenir. Elmas tanelerinin kaplamaya sahip olup olmaması da bu reaksiyonu etkileyen bir faktördür.

Çoğunlukla toz metalürjisi yöntemi ile üretilen elmas kesici uçlarda matris malzemesi olarak genelde Co, Fe, Ni, Cu ve Sn kullanılmaktadır. Islatma kabiliyetleri iyi olan Co, Fe ve Ni elementlerinin yanında Cu ve Sn gibi gözenekleri kapatmaya ve kesme sırasında talaş akma kanalları oluşturmaya yarayan dolgu malzemeleri matrisi oluşturmaktadır.

Son yıllarda kesici uç üretiminde matrisin maliyete etkisi artmıştır. Gerek sentetik elmasın endüstriyel ölçekte üretilmesi ve maliyetinin düşmesi gerekse kobalt fiyatındaki düzensizlikler, kobalta alternatif matris malzemesi arayışını hızlandırmıştır. Bronz esaslı ve demir esaslı bağlayıcılar arasında, demir esaslı alaşımların bağlayıcı olarak kobalt ve alaşımlarının yerine kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında, kobalt ve kobalt esaslı alaşımların bağlayıcı matris olarak kullanıldığı elmas kesici uçların karakterizasyonunu yapmak amacı ile çeşitli mekanik testler ve mikroyapısal incelemeler yapılmıştır.

2. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ

2.1. Kesici Takım Malzemeleri Çeşitleri ve Özellikleri

Kesici takım malzemeleri yüksek kaliteli, boyut hassasiyetli ve ileri teknoloji ürünü olan iş parçalarının şekillendirilmesinde kullanılan malzemelerden üretilirler. Kesici takım malzemeleri; iç yapıları, ömürleri, imalat şekilleri, mekanik ve fiziksel özelliklerine göre aşağıdaki gibi sıralanabilirler:

- Karbon Çelikleri ve Takım Çelikleri
- Yüksek Hız Çelikleri
- Sert Maden Uçlu Kesiciler
- Seramikler
- Sermetler
- Siyalonlar
- CBN(Kübik Bor Nitrür)
- PCBN (Çok Kristalli Kübik Bor Nitrür)
- Elmaslar [1].

Kesici takımlarla yapılan kesme işlemleri, sürekli ya da süreksiz kesme işlemleri olabilirler. Sürekli kesme işleminde kesici uçta yüksek sıcaklık oluşurken, süreksiz kesme işleminde kesici uçlar, darbeleri yüklere maruz kaldığı için yüksek kuvvet ve sıcaklık değişimleri meydana gelir. Bu olumsuzlukları en aza indirmek için kesici takım malzemesi ve kesilen malzemenin yapısına göre uygun devir ve kesme hızları belirlenir [1].

Takımın, sürekli dönme çevriminden de oluşan ısıtma ve soğutma etkisini yenmesi için yeterli darbe direncine sahip olması gerekir. Kesici takımın bu darbe direnci düşükse takım ucu hızlı bir şekilde aşınır. Kesici takımlarda aranan özellikler şöyle sıralanabilir:

- Aşınmaya ve şekil değiştirmeye dayanıklı olması için yüksek sertlik
- Uygun ekonomik koşullar

- Kırılmaya ve darbeye karşı yüksek tokluk
- Oksidasyona dayanıklı olması için yüksek kimyasal kararlılık
- Yüksek kızıl sertlik ve termik darbelere karşı mukavemet[1].

Takım sadece oda sıcaklığında değil, çalışma sıcaklıklarında da is parçasının en sert bileşeninden daha sert olmalıdır. Tablo 2.1’de takım malzeme bileşenlerinin sertlikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Tipik takım malzemeleri ve bileşenlerinin sertlikleri[2].

Takım Malzemesi veya Bileşeni	Sertlik, HV
Martenzitik çelik	500-1000
Nitrülenmiş çelik	950
Sementit (Fe_3C)	850-1100
Sert krom kaplama	1200
Alumina	2100-2400
WC (kobalt bağlı)	1800-2200
WC	2600
W ₂ C	2200
(Fe, Cr) ₇ C ₃	1200-1600
Mo ₂ C	1500
VC	2800
TiC	3200
TiN	3000
B ₄ C	3700
SiC	2600
CBN	6500
Polikristalin elmas/WC	5500-8000
Elmas	8000-12000

Çizelge 2.2’de ise çeşitli takım malzemelerinin mekanik özellikleri verilmiştir. Çizelgedeki değerlerden de anlaşılacağı gibi elmasın mekanik özelliklerinin diğer malzemelere göre daha üstün olduğunu görebiliriz. Mekanik özellikleri elmasa en yakın malzemenin CBN malzemesi olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.2 : Takım Malzemelerinin Mekanik Özellikleri[4].

Özellik	Yüksek Hız Çeliği	Döküm Alaşımı	WC	TiC	Al ve Si Esaslı Seramik	CBN	Elmas
Sertlik (Gpa)	8.5	8.0	14-24	18-32	20-30	40-50	70-80
Basma mukavemeti (MPa)	4100-4500	1500-2300	4100-5850	3100-3850	2750-4500	6900	6900
Darbe mukavemeti (J)	1.35-8	0.34-1.25	0.34-1.35	0.79-1.24	<0.1	-	-
Elastisite Modülü (Gpa)	200	200	520-600	310-450	310-410	850	820-1050
Yoğunluk (g/cm ³)	8.6	8-8.7	10-15	5.5-5.8	4-4.5	3.48	3.5
Ergime/Bozunma Sıc. (°C)	1300	-	1400	1400	2000	1300	700
Isıl iletkenlik (W/m ⁰ C)	-	-	42-125	17	17-29	13	70
Isıl Genleşme Katsayısı (x10-6/ ⁰ C)	12	-	4-6.5	7.5-9	3.2-8.5	4.8	1.2

2.1.1. Karbon çelikleri ve takım çelikleri

Karbonlu çelikler talaş kaldırma işlemleri için endüstri devriminin başlangıcından beri kullanılmaktadırlar. O zamanlarda yaklaşık olarak % 0.8-2 karbon içeren demir alaşımından oluşmakta ve çelik yapımını kolaylaştırmak için manganez, silis, sülfür ve fosfor gibi diğer alaşım elementleri katılmaktaydı. Karbonlu takım çeliği 835⁰C ile 850⁰C arasında sıcaklıkta sertleştirilir ve bunu oda sıcaklığına kadar çok hızlı suda soğutma takip etmekteydi. Bu ani soğumadan dolayı sertleştirme esnasında malzemenin iç ve dış kısımlarında çatlama eğilimi meydana gelebilmektedir [1].

Karbonlu takım çeliklerinin kesme özelliklerini iyileştirmek amacıyla alaşım elementleri ilave edilerek mukavemet özellikleri ve kritik soğuma hızları değiştirilebilir Diğer alaşımlı çeliklere göre aşınmaya karşı dayanımları daha düşüktür[1].

2.1.2. Yüksek hız çelikleri

Yüksek hız çelikleri, 20. yüzyılın başından beri bilinen ve sürekli geliştirilen kesici takım grubu olup diğer takım malzemelerine nazaran düşük maliyeti ve işlenebilme özelliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Yerini birçok uygulamada toz metalürjisi tekniği ile üretilen, daha yüksek hızlarda kesme işlemi yapabilen ve aşınma dirençleri daha yüksek olan sert metallere bırakmıştır. Fakat yüksek hız çelikleri tokluk değerlerinin yüksek olması sebebiyle bazı talaşlı imalat yöntemlerinde önemini yitirmemiştir. Yüksek hız çelikleri, genelde matkap, azdırma çakıları, kılavuzlar, parmak freze gibi kesici takımlarda kullanılırlar [3].

Hız çelikleri, yüksek alaşımlı asal çeliklerdir. 600⁰C sıcaklığa kadar sertliklerini muhafaza ederler. Yüksek kesme hızlarında (30/50 m/dak) talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlardır. T serisi %12-20 tungsten ve diğer alaşım elementi olarak Vanadyum ve Kromla birlikte kobalttan oluşurken M serisi yaklaşık %3.5-10 Molibden ile diğer alaşım elementleri olarak Kobalt, Krom ve vanadyum içerir [1,3]. Genel olarak, M serisi, T serisinden daha yüksek abrasyon aşınma direncine sahip olmakla birlikte daha ucuz ve ısıl işlemde daha az bozulma göstermektedir.

M ve T türüne bakılmaksızın yüksek hız takım çelikleri kendi aralarında fiziksel olarak birçok benzer özellik gösterirler. Bunlar şu şekildedir:

- Hepsi yüksek alaşım içeriğine sahiptir
- Genellikle 64RC sertliğine müsaade etmesi için yeterli oranda C içermektedir.
- Merkezden yüzeye üniform sertliğe sahiptir.
- Hepsi yüksek sıcaklıkta sertleşebilirler [5].

2.1.3. Sert maden uçlu kesiciler (Sinterlenmiş Karbürler)

Sert maden uçlu kesiciler, sıcaklığa dayanıklı takım malzemeleridir, sert karbür parçacıklarının sünek metallerle birleşmesiyle üretilir. Bu malzemeler, ilk olarak 1920'li yıllarda Almanya'da elmas kullanımının pahalı olmasından dolayı ve yeterli aşınma dirençli kalıp malzemesi üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Önce tungsten karbür (WC) ile kobalt bağlayıcı kullanılarak üretilmiştir. Fakat birçok hatalara sahip kaba bir yapı gözlenerek kesici takım ve kalıp malzemesi olarak tatmin edici bulunmamıştır. 1923 yılında Fransa'da toz metalürjisi tekniği ile ince tungsten karbür tozlarla az miktarda demir, nikel veya kobalt tozları karıştırılarak preslenmiştir.

Sonra yaklaşık 1300⁰C de sinterlenmiştir. O zamandan beri esas WC-Co esaslı karbürü malzemeler, farklı malzemeler ve kesme operasyonları için değişik tipleri olan karbürler geliştirilmiştir. Karbür, üretiminin yaklaşık %50 talaş kaldırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu malzemeler “ sinterlenmiş karbür “ olarak da adlandırılır. Bunlar iyi aşınma direnci gösterdiklerinden 40 m/dak’dan 350 m/dak kesme hızına kadar sertliğini ve kesiciliğini kaybetmeden etkili şekilde kullanılabilir [1,5].

2.1.3.1. Sinterlenmiş karbür

Tungsten karbür veya sert metal olarak da adlandırılan sinterlenmiş karbürler 1930’larda geliştirilmiştir. Bu malzeme, bir bağlayıcı metal içerisinde %90 sert karbür parçacıklı bir toz metalurisi ürünüdür. Günümüzde sinterlenmiş karbürlerin iki çeşidi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar:

- Tungsten karbür + Kolbalt alaşımlı düz karbür uçlar (WC+Co),
- Tungsten Karbür + Kobalt + Titanyum Karbür + Tantalum Karbürü uçlar (WC+C+TiC+TaC) [1].

Avrupa ve Japonya’da kabul edilmiş ISO sınıflandırmalarına göre bu malzemeler üç gruba ayrılır:

- **P serisi(mavi):**Yüksek alaşımlı, tungsten karbürü takım olup uzun talaş çıkaran malzemelerin işlenmesinde kullanılır.
- **M serisi(sarı):** Alaşımlı tungsten karbürü olup titanyum oranı P serisinden azdır.
- **K serisi(kırmızı):**Düz tungsten karbür kobalt alaşımlı takım olup, dökme demir, demir olamayan metaller, metal olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılır [3].

2.1.3.2. Kaplamalı sinterlenmiş karbür

Sinterlenmiş karbürlerde kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı, ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. Bu, özellikle daha kaliteli yüzey elde edilmek istenildiğinde daha yüksek hızda kullanılabilir [3].

Kesici takım malzemelerindeki en önemli gelişme, takımların yüzeylerinin birkaç mikron kalınlığındaki tabaka ile kaplanmasıdır. Kesici takımların yüzey kaplamalarında yaygın olarak dört farklı kaplama malzemesi kullanılmaktadır. En

belli başlı kaplama malzemeleri titanyum karbür (TiC), titanyum nitrür (TiN), titanyum karbür nitrür (TiCN), alüminyumoksit (Al_2O_3)'tir. Titanyum nitrür kaplamalar aşınma etkisini azaltmaktadır. Oksidasyona karşı direncin gerekli olduğu uygulamalarda titanyum alüminyum nitrür (TiAlN), sert malzemelerin işlenmesinde titanyum karbür nitrür (TiCN) kaplamalar en iyi özelliklere sahiptirler. Korozyona karşı direncin gerekli olduğu uygulamalarda ise daha kalın seramik kaplamalar kullanılmaktadır [3].

Kaplamalı takımlarla yapılan işlemlerde, yüksek hızda aşınma direncinin yükselttiğı ve takım ömrünün 2-3 kat arttırdığı görölmektedir. Birçok kullanıcının takım ömrünü azaltmadan kesme hızını %25-50 arttırarak ekonomik açıdan büyük avantaj sağladığı görölmektedir [1,3].

2.1.4. Seramik kesiciler

Metal işleme teknolojisinin gelişmesi ile işleme hızlarının artması daha uzun ömürlü (yüksek hızlarda çalışan) ve iş parçası ile etkileşmesi minimize edilmiş takım malzemesi arayışlarını hızlandırmıştır. Seramik malzemeler, tokluk dezavantajlarına karşılık yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve kimyasal kararlılıkları ile, özellikle sürekli çalışan takımlar olarak kullanım alanı bulmaktadırlar. Bu maksatla kullanılan seramik malzemeler alumina, sialon ve kübik bor nitrürdür [4].

2.1.4.1. Alüminyum oksit esaslı seramikler

Seramik takımlar, tane boyutu ortalaması birkaç mikron mertebesinde polikristalin, yoğun ve korundum kristal yapılı alumina ($\alpha-Al_2O_3$) esaslı malzemelerdir. Seramik takım insertleri sıcak veya soğuk presleme ile üretilir. Soğuk preslemede seramik istenilen şekilde şekillendirilir ve $1600-1700^{\circ}C$ 'de sinterlenir. Sıcak preslemede, presleme ve sinterleme birlikte yapılır. Bazı tür seramiklere, sinterlemeye yardımcı olmak ve tane büyümesini geciktirmek için, az miktarda titanyum oksit ve magnezyum oksit ilave edilir. Şekillendirildikten sonra takım, elmaslı disklerle perdahlanır [2,7].

2.1.5. Sermetler

Sermetler, metalik bir fazla bağlanmış seramikler olup esasen semente karbürler sermetlerin bir alt sınıfıdır. Çelik kesimi için, nikel ve molibdenle bağlanmış TiC tercih edilmektedir. Tipik bileşimi %8-25 Ni, %15-8 Mo_2C ve %60-80 TiC şeklindedir. Ayrıca küçük miktarlarda WC, Co, TiN içerebilir. Sermetlerin

mikroyapısı geleneksel semente karbürlerden farklıdır. Çünkü sinterleme sıcaklığında karbürün, bağlayıcı nikel içindeki çözünürlüğü kobaltınkinden daha fazladır. Bu nedenle sermetler, semente karbürlerden daha gevrek karakterdedir. Bu malzemeler yüksek krater ve oksidasyon direnci, düşük sürtünme katsayısı ve termal iletkenlik ile nispeten düşük yoğunluğa sahiptir. Bununla birlikte sertlik derinliği yüksek, abrasif direnci kobaltla bağlanmış tungsten karbürden daha düşüktür [2,8]. Karışık TiC-TiN kaliteleri daha iyi termal iletkenlik ve daha yüksek hızları ile karakterize edilmektedir [2].

Kesici takım olarak sermetler %20'den daha az bağlayıcı içermektedirler. Bu malzemeler çelik ve dökme demirler için özellikle orta ve hafif yükler altında yüksek hızda yüzey operasyonlarında kullanılmaktadır. Fakat, kaba ve darbeli işlemlerde, boşluklu ve porözlü yüzeylerde, sert dökümlerde, grafit ve sıcak iş takım çeliklerinde, demir dışı malzemelerde (Al, Cu vb.) ve yüksek oranda nikel içeren malzemelerde (Malzemelerdeki nikel ile sermetteki nikel birleşme eğilimi göstermektedir) kullanılması halinde iyi sonuçlar vermemektedir [9].

2.1.6. Siyalonlar

Siyalon (Si-Al-O-N) bir silisyum-aluminyum oksinitrür tipi seramik malzeme olup, sinterlenebilen silisyum nitrürün (Si_3N_4) bir türevidir. Silisyum nitrürün kırılma tokluğu aluminanın yaklaşık iki katıdır ve daha yüksek bağ mukavemetine sahiptir. Termal genleşme katsayısı düşük ($3,2 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}$) olması nedeni ile iyi termal şok direnci verir. Aluminanın kırıldığı hızlı ve aralı talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilir. Yüksek yoğunluklarda sıcaklıkta presleme ile üretilir ve takımın şekillendirme maliyeti artar [5].

Sialon silisyum nitrür, aluminyum nitrür ve aluminyum oksite, yitrium oksit (Y_2O_3) katkısıyla 1800°C 'de sinterlenmesi ile elde edilir. Yitrium oksit sinterlemede silikat oluşturarak sıvı faz sinterlemesine ve böylece porozite oranını düşürerek yaklaşık tam yoğunlukta (%98) malzeme elde edilmesini sağlar. Sialonun kırılma tokluğu ve enine kopma mukavemeti aluminadan daha yüksek, fakat $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ wisker seramiklerden daha düşüktür. Sialon kesici takımlar özellikle dökme demir ve süper alaşımların (Ni esaslı gaz türbin diskleri) işlenmesinde kullanılır [6].

2.1.7. Kübik bor nitrür (CBN)

Sentetik elmas yapımı için kullanılanlara benzer yüksek sıcaklık (1500⁰C), yüksek basınç (8GPa) teknikleri ile hekzagonal kübik kafes dönüşümü ile elde edilen kübik bor nitrür (CBN), elmadan sonra ikinci en yüksek sertlik değerine sahiptir (Tablo 1). Küçük miktarlardaki seramik veya metal bağlayıcı ile %100 yoğunluktaki bor nitrür karıştırılır. Günümüzde, General Electric firmasının BZN ve De Beers firmasının Amborite ticari adı ile piyasaya sunduğu iki ürün yaygın olarak kullanılmaktadır. Kübik bor nitrür, özelikle CBN-CBN metallerearası bağlarla ba lanmaktadır [5].

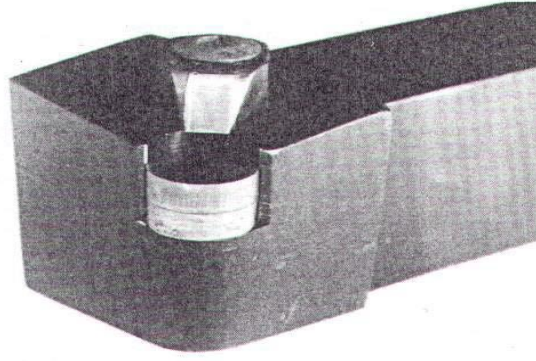
Kübik bor nitrürün sertliği, sıcaklık artı ı ile azalmaktadır. Elmasla karı laştırıldığında kübik bor nitrürün en önemli avantajı, demir veya diğer metaller ile temasında veya havada yüksek sıcaklıkta sahip olduğu çok yüksek kararlılı ıdır. Çok kristalli kübik bor nitrür endüstriyel alanda son birkaç yıldır kullanım alanı bulmaktadır [6]. Ferro malzemeler ile reaksiyon direnci ve mükemmel abrasif direnci ile kombine edilen kübik bor nitrür, diğer takım malzemelerden daha yüksek sıcaklıklarda ve daha yüksek hızlarda sert malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle, elmasın kullanımını engelleyen hızlı aşınma olmaksızın yüksek hızlarda sert dökme demir ve sertle tirilmi  çeliğin kesimi için kullanılmaktadır. Ayrıca, s perala ımlar (nikel ve kobalt esaslı), kübik bor nitrür kompozit kesici takımlarla, semente karbürlerden çok daha yüksek hızlarda i lenebilmektedir [10].

2.1.8. Çok kristalli kübik bor nitrür (PCBN)

Çok kristalli kübik bor nitrür uçlar ile daha yüksek kesme hızlarında, daha fazla talaş derinliğinde kesme yapılabilmekte ve sertliği 35 HRC den daha yüksek sertlik derecesindeki malzemeler i lenebilmektedir [10]. Çok kristalli kübik bor nitrürlerin temel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir:

- Yüksek Sertlik
- Yüksek Abrasyon Direnci
- Yüksek Basma dayanımı
- Yüksek Termal İletkenlik

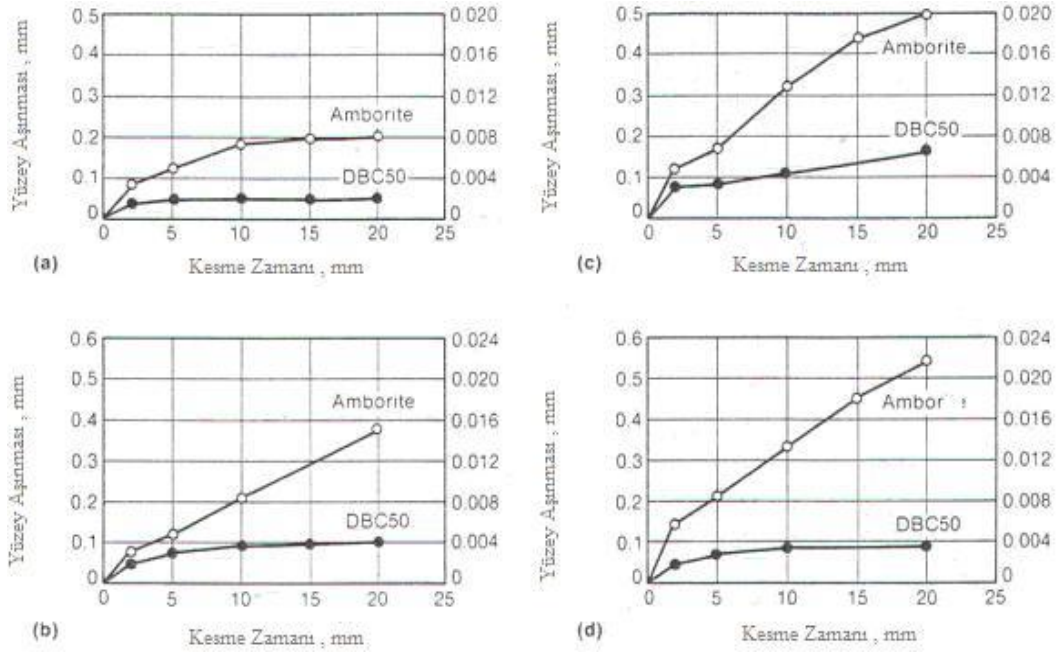
Bu takımlar düz tornalama, alın tornalama, delik büyütme, profil tornalama ve frezeleme işlemlerinde de başarılı olarak kullanılmaktadır[1]. Şekil 2.1’de PCBN uçlar için takım tutucu örneğini görebilmekteyiz.



Şekil 2.1 : PCBN uçlar için takım tutucu

Aşınma Direnci;

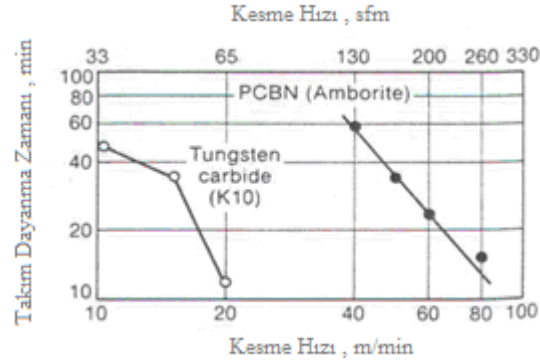
Takımın CBN içeriği azaltılarak, PCBN takımlarının son yüzey işlemleri süresince aşınmadirenci arttırılabilir. Şekil 2.2’de, kaba sınıf ve finiş sınıfı PCBN takımının yüzey aşınmalarınıkarşılaştırmaktadır.



Şekil 2.2 : Amborite ve DBC50’nin bağıl aşınma direnci.a) 60 HRC’de D3 soğuk iş takım çeliği b) 62 HRC’de yataklama çeliği c) 62 HRC’de M2 yüksek hız çeliği d) 50 HRC’de sıcak iş takım çeliği. İşleme parametreleri: kesme hızı= 120 m/dak, kesme derinliği= 0.25 mm, ilerleme oranı= 0.1 mm/dev,kuru, soğutucu yok [11].

CBN içeriği düşük olan finiş sınıfı takım (DBC50), daha fazla CBN içeriğine sahip olan kaba sınıfından (Amborite) 3-5 kat fazla aşınma direncine sahiptir. Bazı iş parçalarında kesme hızının artması, takım ömrünün artmasına neden olur. Diğer

malzemeler için sert martenzitik dökme demirler gibi, kesme hızının artması takım ömrünün düşmesine neden olur (Şekil 2.3).

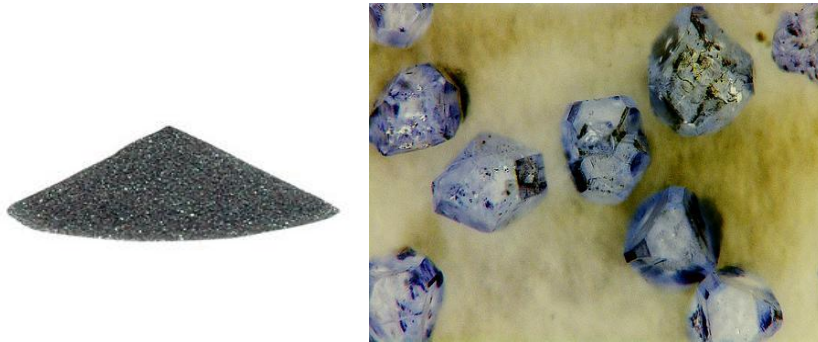


Şekil 2.3 : PCBN ve tungsten karbür kesme hızına karşı takım ömrü. (İşleme parametreleri; kesme derinliği= 2.0 mm, ilerleme hızı= 0.3 mm/dev, kuru, soğutucu yok. İş parçası; Ni HARD 2C) [11].

2.1.9. Elmas kesici takımlar

Elmas; tartışmasız en sert ve doğal olarak meydana gelmiş en iyi aşınma dayanımına sahip bir malzemedir. Baskı kuvvetlerine karşı sert maden uçlara oranla iki kat dayanıma sahip olup sıcaklıkla çok az genişlemektedir. Demir içerikli metallerin işlenmesinde, yüksek sıcaklıklardaki kimyasal reaksiyon elmasın orijinal grafit yapısına dönmesinden olur. Bu sebepten, elmas kesiciler sadece, demir dışı ve metal olmayan malzemelerin üretimi ile sınırlandırılmıştır.

Elmaslar, endüstrinin her alanında aşındırıcı-kesici madde olarak kullanılmaktadır. Endüstride doğal ve sentetik olmak üzere iki farklı elmas türü bulunmaktadır. Doğal taş endüstrisinde genellikle kolay bulunabilmesi ve ekonomik olması sebebiyle sentetik elmaslar daha çok tercih edilmektedir.



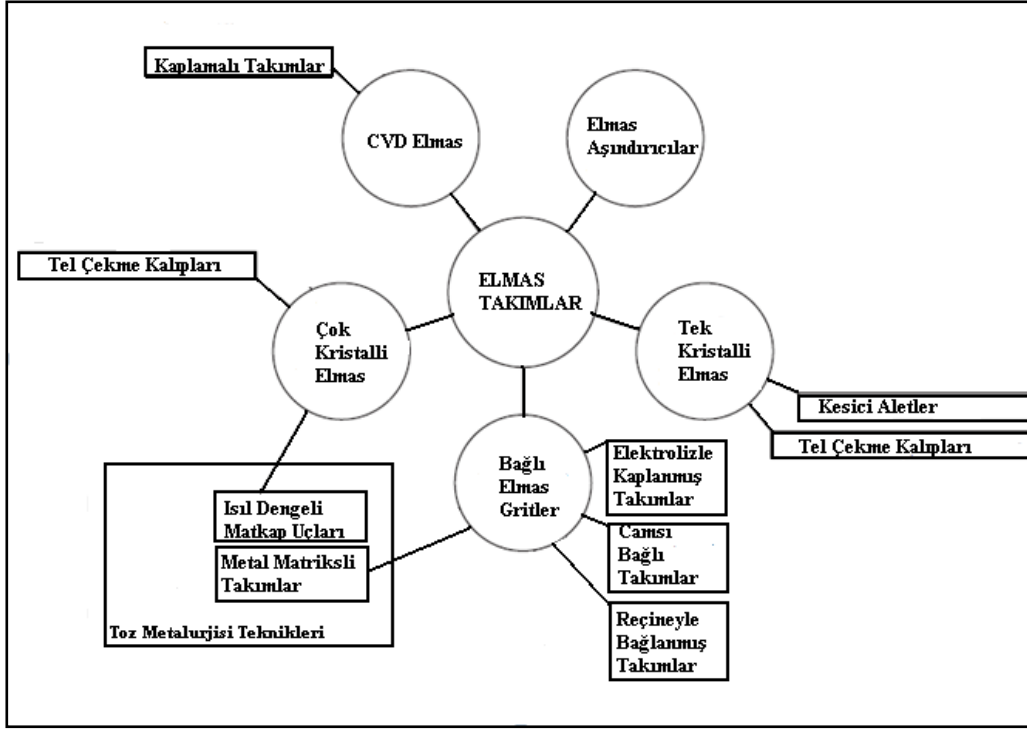
Şekil 2.4 : Elmas Çeşitleri

Elmas, karbonun tetrahedral formudur ve en sert ve en yüksek çizme dirençli malzeme olarak bilinir. Mohs ölçeğinde sertlik numarası 10'dur (Tablo 2.1). Bu özellikler elması takım malzemesi olarak çekici kılar; ne var ki, endüstriyel alanda kullanılan doğal tek kristal elmasın küçük miktarları bile oldukça pahalıdır. Ayrıca elmas çok gevrek ve belirli kristallografik düzlemler boyunca kolayca ayrılır. Elmas 650°C'de hızla okside olmaya başlar ve atmosferik basınçta 1500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tekrar grafitte dönüşür [6]. Yüksek sıcaklıkta demir için karbonun kolaylıkla çözünmesi veya demire difüze olan grafitte dönüşmesi sebebiyle ferro malzemelerin işlenmesinde elmas yeterli performansı sağlamamaktadır. Bununla birlikte, elmas takımlar yüksek silisyumlu dökme alüminyum alaşımları, bakır ve alaşımları, sinterlenmiş sementite tungsten karbürler, silika cam ile doyurulmuş kauçuk, cam-fiber/plastik ve karbon/plastik kompozitler ve yüksek alüminalı seramiklerin işlenmesinde kullanılmaktadır[10].

Doğal elmasın tahmin edilemeyen erken hasara uğramasına karşılık, üretilmiş tek kristaller daha güvenilir performansı sergilemektedir. Son zamanlarda, çok kristalli takım uçlar kendiliğinden sinterlenen yuvalar içinde veya bir karbür altlık üzerine sinterlenmiş 0.5 mm kalınlıkta tabakalar olarak kullanılmaya başlamıştır. Elmas, abrasif iş parçalarının işlenmesinde diğer takım malzemelere oranla yüksek performans göstermektedir [2].

2.1.9.1. Elmas kesici takımların sınıflandırılması

Elmas takımların sınıflandırılmasında çeşitli kriterler vardır. Bunlar; elmasın miktarı ve kaynağı, dış görünüşü, içyapısı ve uygulamasıdır. Şekil 2.5'de elmas takımların sınıflandırılması görülmektedir [12].



Şekil 2.5 : Elmas takımların sınıflandırılması [12].

Elmas aşındırıcılar tipik olarak metalografik numune hazırlamada, elmas kesici takımların taşlamasında, cevherlerin parlatılmasında, elmas tel çekme kalıplarının kalibrasyonunda, kullanılır. Tek kristalli elmaslar tel çekme kalıbı ve kesme aleti olarak kullanılır. Yüksek sıcaklık ve basınçta üretilen sentetik elmaslar sayesinde uygun boyut, şekil, kristalografik yönlenmede elmaslar üretilmektedir. Talaşlı imalat uygulamalarında kullanılan elmas grubu ise metalik veya metal dışı matrise bağlanan elmas grit ve tozlarıdır [12]. Son 50 yılda, çok taneli elmaslar yüksek performansı ve uygun maliyetiyle yüksek sıcaklıkta tel çekme, metal matrisli kompozitlerin işlenmesi, fiber takviyeli plastikler işlenmesi ve çeşitli kaya oluşumlarının delinmesi gibi uygulamalarda endüstride yerini aldı. Tek taneli elmaslara göre tokluk ve talaş oluşum direnci daha yüksektir, bu yüzden derin kesme işlemlerinde yüksek kuvvetlerde kullanılır. Diğer bir elmas üretme yolu ise kimyasal buhar biriktirme metodudur. Bu yöntemde 700-1000°C'de gaz fazından başlanarak taban malzemesine yarı kararlı elmas film biriktirilir [39].

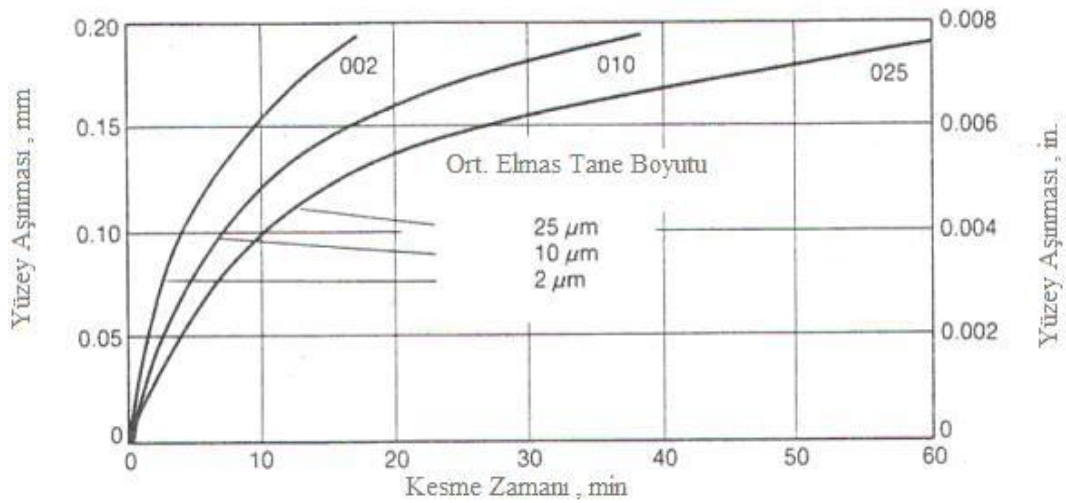
Polikristalin elmas kesici takımlar

Polikristalin elmas kesici takımlar, tek parça veya tabakalı şekilde kullanılabilir. Tabakalı şeklindeki polikristalin elmas kesici takımların genel olarak tungsten karpit altlığı vardır. Standart bütün ürün kalınlıkları 1.6 mm, 3.18 mm ve 8.0 mm aralığında

belirlenmiştir. Ayrıca çapı 70 mm' yi aşan takım plaketi ticari olarak mümkündür [12].

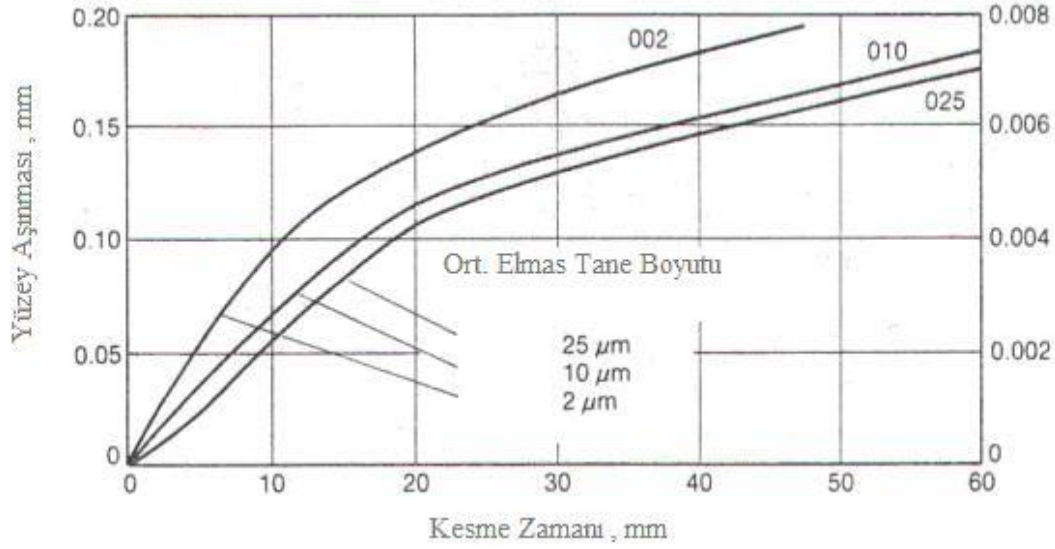
Elmas tabakasının kalınlığı üreticiden üreticiye değişir fakat, genelde 0.3 mm ve 1.5 mm arasındadır. Yıllardır, PCD katmanında kullanılan elmasın, farklı ortalama parça/tanecik boyutlarında değişik türleri geliştirilmiştir. Genel olarak ortalama tanecik veya parça büyüklüğü üç kategoriye ayrılmıştır; iyi (ortalama tanecik büyüklüğü 2-4 μm), orta (5 μm) ve kaba (25 μm). Tanecik boyutundaki farklılıklar aşınma direncinde, aşınmada, iş parçası son işlem yüzeyinde değişikliklere neden olur. Bu farklılıkların sonucu olarak üç tanecik için tercih edilen kullanım alanları farklıdır [12].

Aşağıdaki Şekil 2.6'da belirlenen işleme şartları altında yüzey aşınmasının zamanla değişimini göstermektedir. İşleme parametreleri: kesme hızı= 400m/dak, ilerleme hızı= 0.10mm/dev, kesme derinliği= 1.00 m, takım burun yarıçapı= 0.8mm, kuru, soğutucu yok, iş parçası; silis tozlarla kuvvetlendirilen epoksi reçineli kompozittir.



Şekil 2.6 : Üç sınıf PCD için takım ömrü karşılaştırılması [13].

Görülüyor ki PCD' nin tanecik boyutu arttıkça aşınma oranı azalmaktadır. Benzer bir davranış yüksek silikonlu alüminyum alaşımlar işlendiği zaman aşağıdaki Şekil 2.6'da olduğu gibi gözlenir. Burada işleme parametreleri; kesme hızı= 1000 m/dak, ilerleme hızı= 0.10 mm/dev, kesme derinliği= 0.25 mm, takım yarıçapı= 0.8 mm, kuru, soğutucu yok. İş parçası; Al-18Si. Bununla beraber burada tanecikler arasındaki farklar daha azdır [13].



Şekil 2.7 : Üç sınıf PCD için takım ömrü karşılaştırılması [13].

PCD' nin iri taneleri daha uzun bir takım ömrü sağlar fakat, sonraki taneler daha iyi bir kenar kalitesine sahiptir ve homojen iş parçası malzemesinin daha kaliteli yüzeyle işlenmesine olanak sağlar. Eğer uzun ömür gerekiyorsa iri taneli PCD seçilmelidir. Bununla beraber daha iyi bir son işlem yüzeyi gerekiyorsa uzun takım ömründen fedakarlık etmek zorunda kalınabilir. Birçok uygulama için 10 µm ortalama tanecik boyu genel amaçlı takım için düşünülecektir [13].

PCD takımların başlıca uygulamaları;

- Alüminyum ve alaşımları, özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan alüminyum-silikon alaşımları
- Hacimce %10 - %30 SiC, döküm kompozit içeren alüminyum matrisli kompozitler
- Bakır ve pirinçler
- Granitler, sentetik mermer ve sentetik taş
- Karbon fiber gibi fiberle kuvvetlendirilmiş plastikler, cam fiberle kuvvetlendirilmiş plastikler
- Ağaç ve ağaç bazlı ürünler
- Seramikler, yeşil seramikler, yanmayan killer ve bazı yanan seramikler
- Tungsten karpit mesela yeşil tungsten karpit ve yüksek oranda kobalt içeren (%12' den fazla) sertleştirilmiş tungsten karpit

Bütün bu uygulamalarda PCD takımlarının takım ömrü sert metal kesici takımlarının ömründen yaklaşık 50 – 100 defa daha büyüktür [12].

CVD elmas kesici takımlar

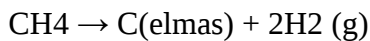
Kimyasal buhar çökmesi ürünleri artık büyük parçaların ekonomik üretimine ve ticari olarak kullanımına sentetik elmasın 1000 °C gibi sıcaklıklarda ve oldukça düşük basınçlarda (<1000 Kpa ve 1atm) üretimine olanak sağlar. CVD elması teflon gibi küçük sürtünme katsayısına sahiptir, doğal elmas kadar serttir ve bakırdan 4- 5 kat büyük ısı iletkenlik gösterir. Elmasla kaplanmış takımlar çok çeşitli demir dışı malzemeler işleyebilir. Kaplama yüksek kayganlık gösterir, düşük kesme kuvvetleri meydana getiri, yavaş aşınır ve iş parçasını ısı ile bozmaz [12]. Tek kristalli elmas, CVD elmas ve PCD ‘ nin özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.3’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.1.3 : Elmas takım malzemelerinin karşılaştırılması [15].

Özellik	Elmas Çeşitleri		
	Tek Kristal Elmas	CVD Elmas	PCD
Yoğunluk	3.52	3.51	4.10
Elastisite Modülü	1050(152)	1180(171)	800(116)
Basma Dayanımı	9.0(1.3)	16.0(2.3)	7.4(1.07)
Çapraz Kopma Mukavemeti	2.9(0.42)	1.3(0.19)	1.2(0.17)
Kırıma Tokluğu	3.4(3.09)	5.5(5.0)	9.0(8.19)
Sertlik	50-100	85-100	50-75
Isıl İletkenlik	1000-2000	750-1500	500
Isıl Genleşme	2.0-5.0	3.7	4.0

CVD işlemi, katının buhardan veya gaz fazından kimyasal reaksiyon yolu ile ısıtılmış yüzey üzerine çökmesi olarak tanımlanabilir. Doğada atomik olarak gerçekleşen kobalt, buharlaşım sınıfına aittir. Çökelen elemanlar atomlar, moleküller veya bunların kombinasyonudur. CVD elmas atomik hidrojenin varlığına ihtiyaç duyar, hidrojen grafitten elmas yapıyı oluşturur ve dengede kalmasını sağlar. Hidrojeni ayırmak için yüksek enerji kaynağı gerekir. Ek olarak atomik hidrojen ihtiyacı için, diğer faktörler, enerji çıkışı, oksijenin varlığı gibi oldukça önemlidir.

Elmasın CVD ile çökme mekanizması her ne kadar karışık görünse de, temel reaksiyon hidrokarbonun, metal şeklinde ayrışması şeklindedir.



Reaksiyon mikro dalga plazma ile veya doğru akım plazma arkı ile aktive edilebilir [15].

CVD ve PCD elmas birçok benzer uygulamada kullanılabilir fakat PCD kaba işleme uygulamalarına ve yüksek kırılma tokluğu gerektiren malzemelerde daha uygundur. CVD elmasın üstün olduğu uygulamalar finiş, yarı finiş, sürekli-torna uygulamalarıdır ve sertliği kusursuz parçaların üretimine olanak sağlar. CVD elmas ile işlenen malzemeler; alüminyum, döküm alaşımlar, yüksek silikon içeren alüminyum matriksli kompozitler, grafit, fiber takviyeli plastikler ve diğer homojen olmayan malzemeler, karbon- karbon kompozitler, polivinil florid, cam fiberi, kevlar, inconel ve bakır alaşımlarıdır [12].

2.1.10. Kübik bor nitrür ve elmasın karşılaştırılması

Elmas ve CBN bir çok yönden benzerlik gösterirler; bunlar bilinen en sert iki malzemedir, aynı kristal yapıya sahiptirler ve oldukça yüksek ısı iletkenlik değerine sahiptirler. Diğer yönlerden çok da farklılık gösterirler. Mesela; elmas havada oksitlenir, oda sıcaklığında demir esaslı iş parçası malzemesi ile reaksiyona girer ve grafitleşmeye eğilim gösterir. Diğer taraftan kübik bor nitrür ısı olarak, havada ve demir esaslı iş parçası malzemesi ile temasta iken oldukça kararlıdır. Bu temel özelliklerin farklılığı sonucu olarak elmas ve kübik bor nitrürün kullanımında temel ve basit bir ayrım vardır. Elmas aşağıda verilen demir dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır :

- Alüminyum ve alaşımları
- Hacimce %10 - %30 kadar silikon karpit (SiC) veya alüminyum oksit (Al_2O_3) içeren alüminyum matrisli kompozitler.
- Bakır ve alaşımları
- Aşındırıcı plastikler
- Cam ve karbon fiber kompozitler
- Ham seramikler
- Tungsten karbür
- Aşındırıcı ahşap/plastik kompozitler
- Doğal taş

- Beton [14].

Kübik bor nitür ise demir esaslı malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Mesela;

- Takım çelikleri
- Sert çelikler
- Perlitik gri dökme demir
- Yüzey sertleştirilmiş çelikler ve demirler [14].

3. DOĞALTAŞ KESİMİNDE KULANILAN ELMAS SOKETLER (UÇLAR) VE ÜRETİMİ

3.1. Doğal Taş Kesici Takımların Tarihsel Gelişimi

Doğal taş (mermer, granit) işleme takımlarının kullanımı milattan sonra 350 yılına gitmesine karşın elmaslı kesici takımların teknik uygulamaları 100 yıllık bir geçmişe sahiptir. Mermer kesici takımların (MKT) üretimindeki ilerlemeler, toz metalürjisinin geliştirilmesiyle 1940' lı yıllarda elmas parçacıkları ile takviye edilerek bu alanda önemli bir gelişme sağlanmıştır [16].

Günümüzde Avrupa'da MKT üretiminde elmaslı aşındırıcılara olan talep en geniş pazar payı ile 1997 yılında 700 milyon karata ulaşmıştır. Bunun yanında diğer imalat işlemleri ve doğal taş kesimi için üretilen testerele tüm Avrupa'da endüstriyel elmas tüketiminin %50'sini oluşturmaktadır. MKT ile yapılan kesme uygulamaları; doğal taş, mermer, granit kesimi ve yüzey bitirme işlemleridir. Bu arada yeni tasarım MKT testerele ve aparatların geliştirilmesi yönündeki çalışmalar devam etmektedir [16].

3.1.1. Elmas takımların tarihsel gelişimi

Elmas takımların modern uygulamaları yaklaşık yüzyıllık bir geçmişe sahiptir . 1862'de İsviçreli mühendis J.R. Leschot konik segmanlarda elmas delici matkap ucuyapmayı tasarladı. 1885 yılında Fransa'dan Fromholt taş kesiminde kullanılmak üzere ilk dairesel elmas testereyi geliştirdi. 13 yıl sonra, geniş çaplı bir bıçak ilk defa pratik olarak Euville taş ocaklarında kullanıldı [39,40].

Elması metal tozlarıyla bağlama fikri 1883'lere kadar dayanır. Bu dönemde Gay metal matrisin içine kuvartz katarak aşındırıcı üretme fikrini geliştirdi. Aynı şekilde demir, pirinç ve çelik tozlarını kullanarak sıcak pres gibi toz metalürjisi teknikleri yardımıyla matris yapılabileceğini belirtti. Gay'ın bu fikirleri 1940'larda elmas kesici uçların gelişimini artırarak endüstriyel uygulama alanı buldu [12].

1950'lere kadar elmas takımların gelişimi yavaştı. Fakat doğada nadir bulunan elmasın yerine, 1955 yılında General Electric firmasının endüstriyel ölçülerde

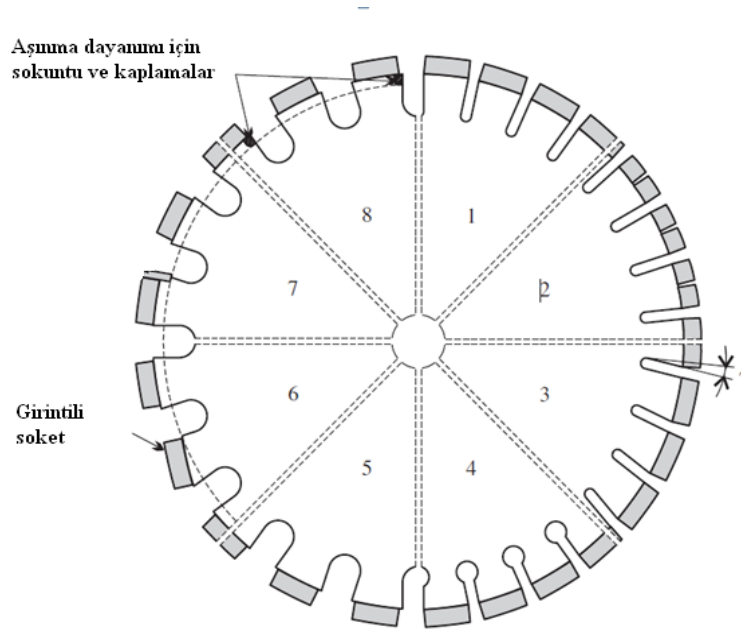
sentetik elmas ürettiğini duyurmasından sonra bu konuda gelişmeler hızlandı. Son 50 yılda, sentetik elmas ticarileştikten sonra, yüksek kalitede metal matrisli kesici üretimi, çok kristalli elmas üretimi, kaplamalı gritlerin üretimi başladı [12].

Diğer aşındırıcılara göre takım ömrü ve verimlilik açısından önde olması sebebiyle, elmas katkılı takımlar için dünya pazarı 2000 yılından sonra önemli ölçüde büyüdü. 2013 yılı tahminlerinden, elmas takımlar için küresel piyasa değerinin 7,000 milyon USD değerini bulacağı öngörülmüyor [41].

3.2. Elmas Kesici Uç Tasarımı

Soket tasarımının performans üzerindeki etkisi son derece fazladır. Farklı tasarım farklı servis ömrüne, kesme kabiliyetine, yüzey kalitesine neden olur. Kesilecek taşın göre uygun soket seçimi yapılmalıdır [32].

Özellikle dairesel testereyle kesme işlemi yapılırken tasarım çok önemlidir. Soket türünün seçimi ve dizilişi, kesme işleminin kalitesini, gürültü oluşumunu, aşınmayı ve çelik göbeğin yorulmasını etkiler [12]. Endüstride kullanılan çeşitli soket türleri Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 : Çeşitli dairesel testere görünüşleri [12].

Dar oluklu kesiciler (Şekil 3.1, tür 1) kenar ve yüzey hassasiyetinin istendiği sert malzemelerin kesiminde kullanılır. Soket boyu kısaltılarak veya tek yerine birden fazla soket kullanılarak üretilen testerelerde (tür 2) kesici ucun soğuması daha kolay

olmaktadır. Ayrıca soketlerin arasındaki mesafenin düzensiz olması, kesilecek parçaya doğal frekansta temas eden soketlerin neden olduğu doğal rezonans titreşimlerini yok edeceğinden kesme işlemi sırasındaki gürültüyü azaltabilir. Boşluklara eğim vermek (tür 3) veya boşlukların uçlarını yuvarlamak (tür 4) çelik gövdede başlayabilecek yorulmaya bağlı çatlakları önlemek için yapılırken, geniş soketler (tür 5) yorulma ömrünün fazla olması nedeniyle çelik gövdenin tekrar tekrar kullanılabileceği uygulamalarda kullanılır. Kesici uç ile kesilen malzeme arsında aşındırıcı parçaların varlığı aşınmaya bağlı hızlı soket kaybına neden olur, bu durumu önlemek için çeşitli aşınmayı önleyici soketler üretilir (tür 6 ve 7). Alternatif olarak ise sert aşınmaya dirençli karbür kaplama veya parça ekleme (tür 8) yapılarak aşınma sorunu çözülür [12].

Basit şekilli soketlerin üretimi daha ucuzdur, fakat endüstriyel uygulamalarda üretim gereksinimleri ve ekonomik nedenlerden dolayı genellikle karışık şekillerin üretimi gerekmektedir. Konik soketlerin avantajı, sürtünmeyi azaltması sonucu, kesme işlemi için harcanan enerjiyi düşürmesidir. Tabanı elmas içermeyen soket kullanımının nedeni ise çelik göbeğe bağlanma kolaylığıdır, özellikle lazer kaynağı ile birleştirilecek ise. Tabakalı soketlerde dış katmanlar ile iç katman aşınmaya karşı farklı özellik gösterirken, çok tabakalı soketlerde birkaç elmas katkılı tabaka, katkısız tabakalarla ayrılmıştır. Çok katmanlı bu soketler dairesel testereyle kesimde aşınma profilleri bakımından üstün özellikler göstermektedir [12,32].

3.3. Elmas Kesici Uçların Yapısı ve Özellikleri (Elmas Soketler)

Elmas soketler mermer, granit gibi doğal taşların kesme işleminde kullanılan kesici uç takımlardır. Elmas soketler değişik elementlerin belirli oranlarda karıştırılması toz metalurjisi tekniği ile üretilmektedir (Toz karışımı hazırlama-presleme-sinterleme). Bu yöntem sayesinde genellikle elmas taneleri ve metal tozları birlikte karıştırılarak kesici takım üretimi için kullanılırlar. Elmas soketler doğaltaş kesici disklerde kesici uç olarak kullanılırlar [17].

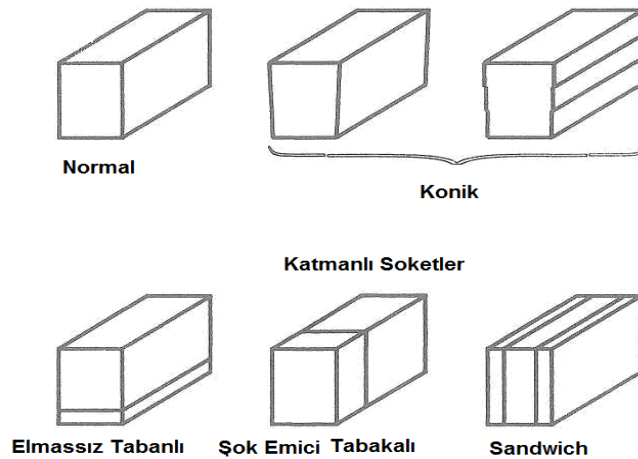
Elmas soketlerde elmas tanelerinin yataklandığı kısma matris denir. Matrisin yapısında kobalt, bakır, kalay, demir, krom, nikel, gümüş, titanyum, titan gibi elementler vardır. Bu elementler, toz metalurjisiyle karıştırılarak matris oluşturulur.



Şekil 3.2 : Elmas Takviyeli Soketler.

Elmas taneciklerin boyutu, kesme işlemine tabii tutulacak granit, mermer gibi doğal taşların çeşidine ve cinsine göre belirlenir. Granit ve Elazığ vişnesi gibi sert mermerlerin işlenmesinde daha küçük elmas tanecikleri, yumuşak mermerler için daha büyük elmas tanecikleri kullanılmaktadır. Ancak elmas taneciklerinin bulundukları matriste aşınıncaya kadar kalabilmeleri de çok önemlidir. Başka bir ifadeyle elmas tanecikleri ile bu tanecikleri bir arada tutan matris malzemesi birbirine paralel aşınması gerekmektedir. Çünkü matris geç aşınırsa elmas tanecikleri kesilecek olan mermere temas edemeyeceğinden aşınma ya da kesme işlemi gerçekleşmez. Matris malzemesinin çabuk aşınması halinde ise elmas tanecikleri kesme işlemini gerçekleştiremeden yerlerinden düşerler [18].

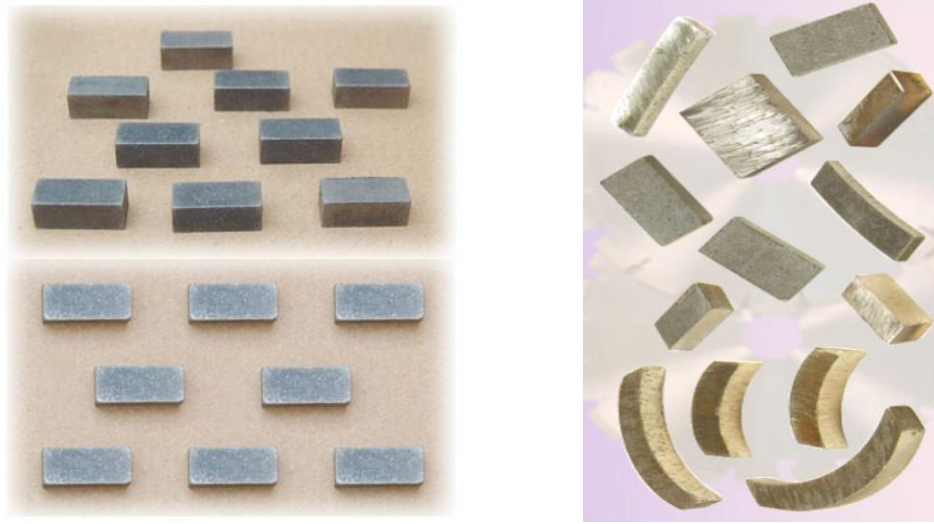
Elmaslı kesici takım veya soket olarak kullanılan kesici takım biçimleri Şekil 3.3’de görülmektedir. Bu tür soketler endüstride çok yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.3 : Elmas Soket Çeşitleri.

Soketin şekli ve bileşimi ne kadar karmaşık olursa üretim maliyetleri de o derecede artar. Bunun ile birlikte, testere ağzı, üretim gereksinimleri, kullanım özellikleri ve

ekonomik nedenlerden dolayı genellikle karmaşık şekillerin seçilmesine neden olur. Şekil 3.4’de kullanıma hazır elmaslı soketler verilmiştir [17].



Şekil 3.4 : Kullanıma hazır elmas soketler.

Elmasların etrafındaki matrisin aşınarak, ancak elmasların kendi konumlarındaki yerlerinden çıkmasına izin vermeksizin, takımın maksimum hızda çalışması beklenir. Matrisin kesme işlemi sürecinde optimal bir hızla aşınması sonucu değişik yüzey altı elmas tanecikleri yüzeye gelerek kesme işleminin sürekliliğini sağlamalıdır [17].

3.4. Toz Metalurjisi ve Elmas Soket Üretimi

Elmas takviyeli soketler belirli metal tozlarının karışımıyla toz metalurjisi tekniğiyle üretilirler. İlk olarak belirlenen uygun miktarlarda toz karışımı hazırlanır. Daha sonra persleme ve sinterleme işlemleri uygulanır.

Sıcak presleme çok yaygın bir üretim tekniği olmasına rağmen, tozlar basınçsız sinterleme, sıcak izostatik presleme veya bu ikisinin kombinasyonu, ekstrüzyon, lazer ergitme, sıcak presleme ve lazer kesimin kombinasyonu veya kişiye özel başka birçok teknikle de üretilmektedir [17].

3.4.1. Toz metalurjisi ile parça üretimi

Mermer kesici takım üreticileri kesilen kayacın özelliklerini doğru tespit ederek kesici takım dizaynı ve üretimi yapmaları kaçınılmaz bir işlemdir. Mermer kesici takımların yaklaşık % 62 si Toz Metalurjisi (TM) yöntemiyle üretilmektedir [19].

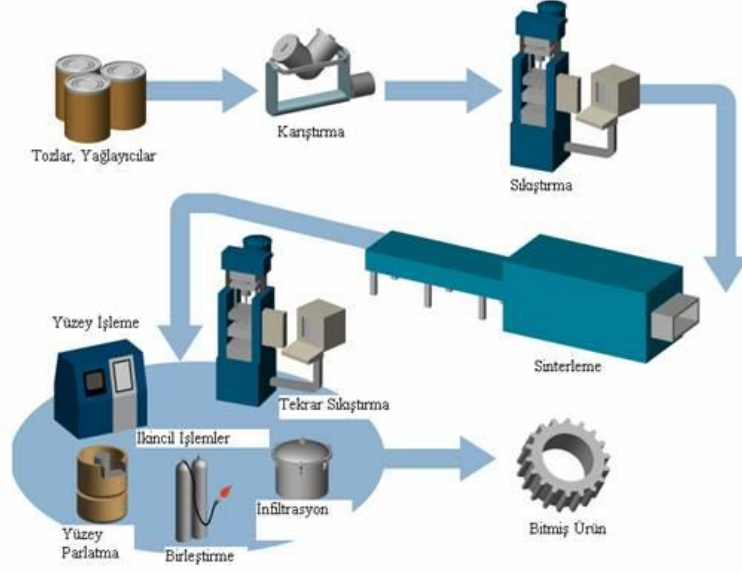
Mermer, granit gibi doğaltaşların kesiminde kullanılan elmas katkılı kesici takımların toz metalurjisiyle üretilmektedir. Günümüzde toz metalurjisi çok önemli bir yere ve öneme sahiptir. Sert metallerin toz metalurjisi yöntemiyle üretilmesi mekanik özellikleri geleneksel yöntemden daha ileri bir noktaya taşımıştır. Esnek üretim kolaylığı, üretimin her an kontrol edilebilir olması ve parçaların dayanımlarının geleneksel yöntemden zaman zaman iki kat daha iyi sonuçlar vermesi toz metalurjisini sert metal üretiminde bir adım öne çıkarmaktadır [19].

TM yönteminde üretim yapılırken; düşük enerji tüketimi, düşük maliyet ve yüksek verimde malzeme kullanımını içeren Programlanabilir Mantıksal Denetleyiciden (PLC) yararlanılmaktadır. Bu özellikleri itibarıyla TM, günümüz teknolojilerinde önemli kavramlar olan verimlilik, enerji ve hammadde üçlüsü ile uyum içerisinde [20].

Klasik olarak toz metalurjisi üretim aşamalarını dört adımda inceleyebiliriz. Bunlar;

- 1) Toz karışımı hazırlama
- 2) Presleme
- 3) Sinterleme
- 4) Kalibrasyon olarak tanımlanabilirler.

İlk olarak, önceden saf veya alaşımlı olarak üretilen metal tozları harmanlanır, istenilen kimyasal kompozisyon elde edilir. Bu harman iyice karıştırılıp homojen bir karışım elde edilir. Bu karışımın hazırlanması sırasında kalıp ömrünü arttırıcı yağlar da kullanılır. Presleme prosesdeki ikinci adımdır. Burada yüksek basınçla tozlar sıkıştırılırlar. Bu sıkıştırma zaman zaman doğrudan elde edilmek istenen parçanın şeklini verecek şekilde, bazen de büyük bir parça şeklinde olur. Bu büyük tek parça önsinterden sonra şekil almaya hazırlanır. Pres sonrası malzeme sertliği çok da fazla olmadığı için dikkatle muhafaza edilmelidir. Fırınlama sırasında sıkıştırılan parçalar özel fırınlarda sinterlenerek dayanım kazanırlar. Bu sinterleme kontrollü atmosferde gerçekleşir. Sinterlemeden sonra çeşitli nihai işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemlere kaplama, taşlama, bileme örnek olarak gösterilebilirler. Toz metalurjisi yöntemi aşamaları Şekil 3.5'te görülmektedir. Özellikle hassas ölçü gereken parçalar da tolerans aralığı çok düşüktür. Bu yüzden yağlama ile bir kalibrasyona tabi tutulur [21, 22].



Şekil 3.5 : Toz Metalürjisi yöntemi ile parça üretim aşamaları [21].

Toz metalürjisi (TM) küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Belirli derecede porozite (gözenek) ve geçirgenlik elde edilir. TM ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimleri ortadan kaldırması ve malzeme kaybının çok az olması TM yönteminin ekonomik bir üretim yöntemi olduğunun göstergesidir [22] .

Bazı metallerin ergime sıcaklığı çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşamaması (tungsten, molibden gibi), bazı özelliklerin ancak TM ile sağlanabilmesi (kendi kendine yağlanan yataklar), süper alaşım ve sert metaller gibi önemli malzemelerin bu yöntem ile üretilmesi toz metalürjisini zorunlu kılan başlıca sebeplerdir. Çok sayıda üretim söz konusu olduğunda en iyi uygulanabilen bir metot olması, boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı TM yönteminin en bariz avantajlarıdır [19].

TM yönteminin genel olarak avantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir :

- Yüksek malzeme kullanım oranı, düşük malzeme kaybı.
- Yüksek üretim hızları.
- Düşük maliyet
- Düzgün yüzey, yakın tolerans değerlerinin elde edilmesi.
- Karmaşık şekilli parçaların imalatı.
- Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin imalatı.

- Yüksek yoğunluğa sahip parça üretimi.
- Metal matriks kompozit ve metal alaşımları üretimi.
- Üstün mikro yapısal özelliklere sahip parça üretimi.
- Belirli derecede gözeneklilik ve geçirgenlik [19].

TM uygulama alanları oldukça geniştir. Tungsten lamba teli, diş dolguları, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, zır delici mermiler, elektrik kontaktları ve fırçaları, mıknatıslar, nükleer güç yakıtları elemanları, ortopedik protezler, iş makinesi parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, şarz edilebilir piller ve jet motoru parçalarının üretimi TM kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir. Metal tozlar boyalar, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, mürekkepler, sert lehim bileşikleri ve katalizörlerde kullanılmaktadır [21]. TM kullanım alanlarından bir tanesi de savunma sanayisidir. Ateş sanatı olarak bilinen piroteknik uygulamalar savunma sanayisi için oldukça önemlidir. Piroteknik reaksiyonlar çok yüksek sıcaklık oluşturdıklarından aydınlatmaya yol açarlar. Piroteknikler havai fişek, işaret fişegi ve flaş tozu olarak kullanılırlar. Genellikle demir parçalarının üretiminde kullanılan TM yöntemi otomotiv endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük yoğunlukta parçalara ihtiyaç duyulduğu otomotiv endüstrisi TM yöntemini daha hafif parça üretimine doğru yöneltmektedir [22].

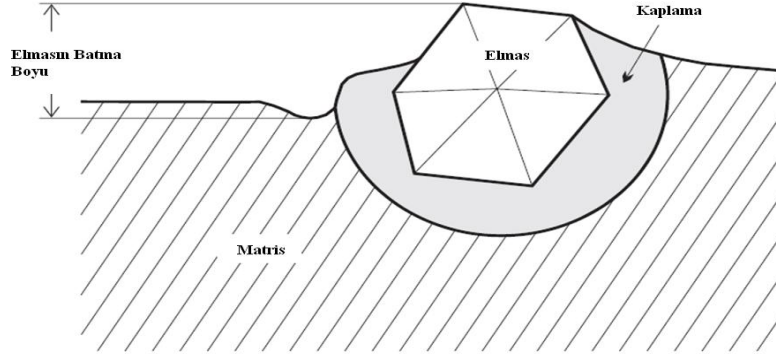
3.4.2. Elmas kesici uç (Soket) üretimi (Toz Metalurjisi ile)

Bir önceki bölümlerde elmas soketlerin toz metalurjisi ile üretildiğini ve toz metalurjisinin genel üretim yöntemlerini ve özelliklerini belirtilmiştir. Bu bölümde ise toz metalurjisi ile üretilen elmas soketlerin üretiminin ayrıntılı anlatımı bulunmaktadır.

Taş kesme uygulamaları için testere ve delici takım soketlerinin üretiminde yaklaşık olarak % 20 dolaylarında endüstriyel elmas kullanılmaktadır. Bu nedenle endüstriyel elmas, Avrupa’da % 61 ile dünya çapında en büyük pazar payına sahiptir [19].

3.4.2.1. Tozların hazırlanması

Matris tozları önceden belirlenen kompozisyon, tane boyut ve dağılımında karıştırılır. Bağlayıcı olarak parafin ve mono etilen glikol gibi katkı maddelerini %2 oranında katarak segregasyonu engellemek amaçlanır. Ayrıca sıcak ve soğuk pres koşullarında çelik kalıbın aşınmasını ve oksitleri azaltmak için kullanılır [12].



Şekil 3.7 : Uygulanan kaplamanın elmasın batma boyuna olumlu etkisi [12].

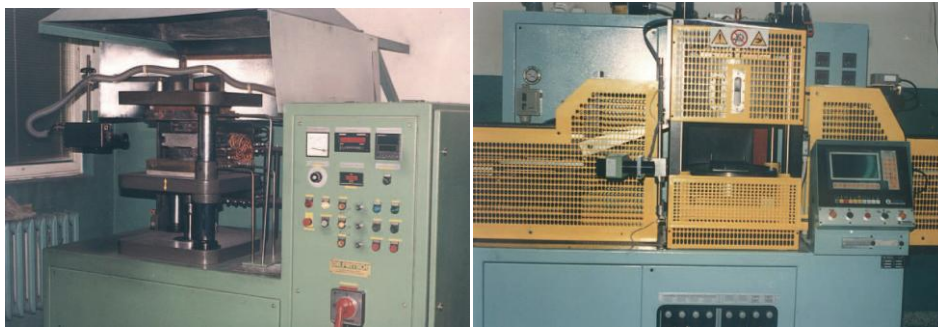
3.4.2.3. Soğuk presleme

Soğuk pres ön sinterleme işlemi olarak uygulandığı gibi katmanlı soket üretiminde sıcak presleme işleminden önce de kullanılmaktadır.

Genelde soğuk presleme çelik kalıplarda orta ve düşük düzeyde basınç uygulayarak çift taraflı yapılmaktadır. Geleneksel preslerde tozlar titreşimli besleyiciler ve doğru elmas-matris karışımını belirleme amaçlı hassas ölçücüler ile takviye edilmektedir. Volumetrik dolum hesabına göre çalışan presler küçük segmanların üretiminde daha verimli olduklarından dolayı tercih nedenidir [12,45].

3.4.2.4. Sıcak presleme

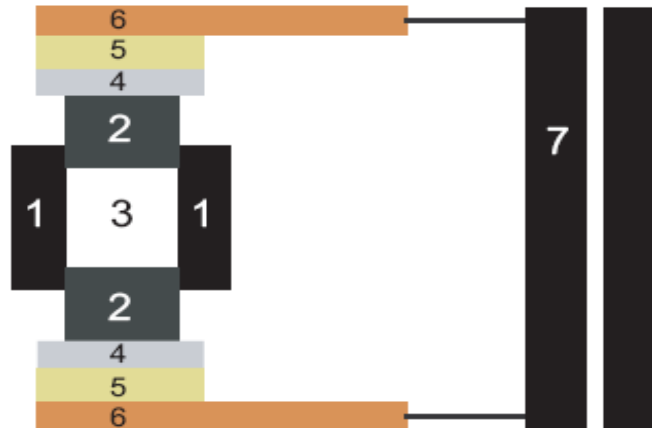
Sıcak presleme, ısı ve basıncın uyumlu bir şekilde kullanımıyla tamamen iç gözeneklilikten arınmış bir ürün elde etme işlemidir. Geleneksel soğuk presleme işlemiyle sıcak presleme karşılaştırıldığında; bu teknik daha az güç, daha kısa süre (genellikle 2–3 dakika) ve daha düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyar. Ayrıca bu teknikte soğuk presleme işlemine göre, daha yüksek yoğunluklara ulaşılır [17]. Presleme işleminin gerçekleştiği pres makine örnekleri aşağıdaki Şekil 3.8’te görülmektedir.



Şekil 3.8 : Presleme Makineleri

Ticari amaçlı üretilen sentetik elmasların yüksek sıcaklık dayanımlarının yetersizliğine karşın MKT(mermer kesici takımlar) matrisinin mükemmel mekanik özellikleri gereği sıcak presleme tekniğinin elmaslı kesici takımların üretiminde önemli bir kullanım alanı vardır [20].

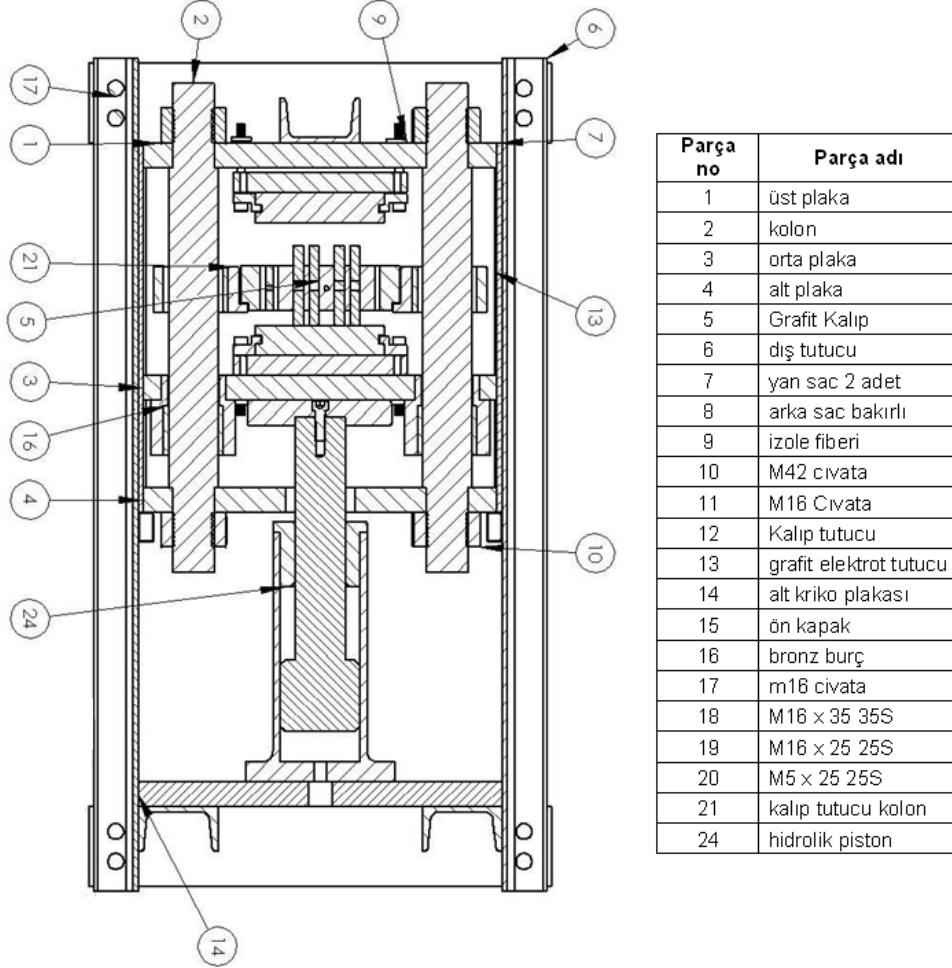
Sıcak presleme işleminde üç ayrı ısıtma tekniği kullanılmaktadır. Bunlar indüksiyon ile, endirekt dirençli ve doğrudan dirençli ısıtmadır. İndüksiyon ile ısıtma işlemi, yüksek frekanslı akım ile kalıp içerisindeki tozların ısıtılması esasına dayanır. Endirekt dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp ısı bölmesine konumlandırılır ve elektrik akımı ile ısıtılan grafit yardımı ile numuneler ısıtılır. Doğrudan dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp direkt elektrik gücü ile ısıtılır. Grafit kalıp ve metal toz parçacıklarının direnci ile ısı kalıba yayılır; bu sebeple doğrudan dirençli ısıtma tekniğinde ısı yayılım hızı çok yüksektir [20]. Şematik görünümü Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9 : Doğrudan ısıtma tekniği. 1. Grafit yan tutucular, 2. Baskı grafitleri, 3.Preslenecek malzeme, 4.Grafit elektrot, 5. Bronz plaka, 6. Bakır elektrot, 7. Güç kaynağı.

Malzemede boşluk bırakmamak için sıcaklık ve basıncın eş zamanlı olarak uygulandığı işlemdir. Geleneksel (soğuk presleme/sinterleme) yöntem ile kıyaslandığında, sıcak presleme işlemi uygun sıcaklıklarda basma gerilmeleri altında 2-3 dakika tutularak yapılmaktadır. Sentetik elmasın dayanımının yüksek sıcaklıklarda düşük olması ve matrisin mekanik özelliklerinin iyi olması istendiğinden sıcak pres teknikleri elmas kesici takım üretiminde yaygınlaşmıştır [12,42].

Şekil 3.10’da görülen sıcak pres makinesinin şematik görünümünde bulunan 5 nolu yüksek dirençli grafit kalıplardan elektrik akımı geçirerek elmas kesici takım üretimi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.10 : Sıcak presleme işleminin şematik gösterimi [20].

Makinenin üniteleri; bakır elektrot, grafit elektrot, sıcak pres kalıbı, piston ve tutucu tabladan ibarettir. Bunlara ek olarak, makinede 25 kw’lık trafo, hidrolik pompa, motor sistemi ve PLC(Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) sistemi bulunmaktadır [20].

Sahip olduğu özellikler koruyucu gaz atmosferinde çalışma, basınç ve sıcaklık-zaman kontrolü, üretim parametrelerini ve basamaklarını önceden belirleyebilme, işlem sıcaklığı ve basıncını çalışma süresi boyunca sabit tutabilme, anlık sıcaklığı gösterebilme ve 1200⁰C sıcaklığa kadar çıkabilmedir [20].

Bu sistem su soğutmalı bakır elektrotlar sayesinde sürekli olarak çalışmaya uygundur. Cihazın trafosu 25 kw gücündedir. Sıcaklık ölçümü için termokupl uygun

bir yere entegre edilerek belirtilen sıcaklıklarda ve sürelerde ısıtma gücünün kontrol edilmesi sağlanmıştır. PLC yazılımı sayesinde bilgisayar ekranından manometre, ampermetre, voltmetre ve sıcaklık ile sistemdeki tüm değişkenler görülmekte ve makinenin tüm kontrolü bilgisayardan yapılabilmektedir [20]. Şekil 3.11’de sıcak presleme esnasında bilgisayar ile kontrollerin yapılışını görebilmekteyiz.



Şekil 3.11 : Sıcak presleme sırasında yapılan kontrollerin izlenimi

Bu yöntem yüksek sıcaklıklarda elmas taneleri ve metal tozlarının oksitlenmesini engellemeye yardımcı olur. Direnç ile ısıtmanın üretilcek parçanın şekil ve boyuna bağlı olarak, sıcaklığın kalıp boyunca homojen dağılmaması gibi bazı sınırlayıcı durumları mevcuttur. Bu yüzden grafit kalıpların konveksiyon ve radyasyon ile ısıtıldığı fırın presler daha çok tercih edilmektedir [12,42].

Modern preslerde koruyucu gaz odaları bulunur ve buralarda kalıplar azot atmosferinde ısıtılır sonucunda ise servis ömrü artırılmış olur [12].

3.4.2.5. Sinterleme

Sinterleme toz metalurjisinde çok önemli bir yere sahip olmasına rağmen, elmas kesici takım üretiminde bazı kısıtlamalarla karşılaşılmaktadır. Üründen beklenen boyut toleransları, mekanik özellikler ve kompozisyona bağlı olarak üretimdeki uygulama alanları sınırlandırılmıştır. Elmasları sinterleme süresince oksitlenmeden korumak için hidrojen içeren atmosferler sıkça kullanılmaktadır [12].

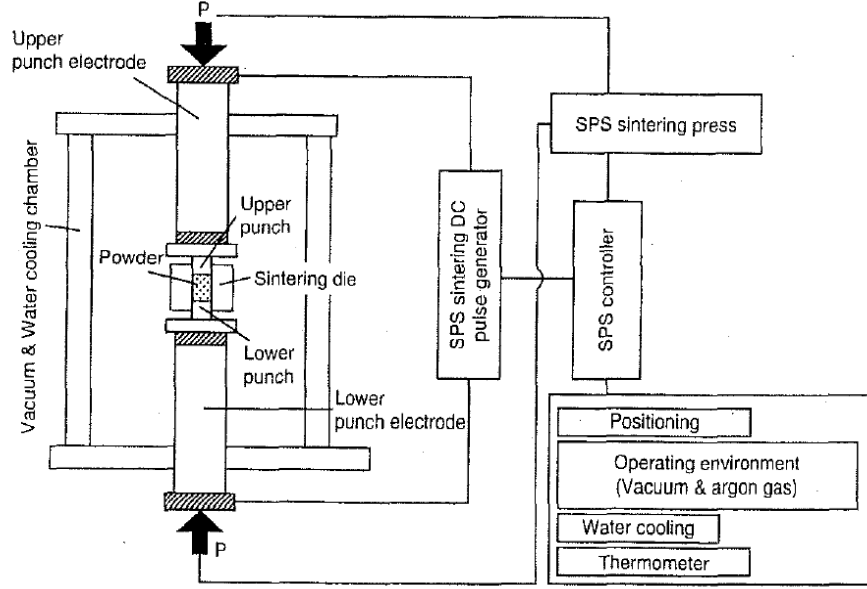
Sinterleme işlemi özellikle de sinterleme sıcaklığı elmasın tutunma kabiliyetini etkileyen temel parametrelerden biridir. Uygun sıcaklık seçilerek en iyi elmas kesici takım tasarımına ulaşılabilir [12].

Yüksek sinterleme sıcaklıkları, bağlayıcı olarak demir kullanıldığında demir ile elmas arasında kimyasal reaksiyona neden olabilir. Fakat bu olay her zaman gerçekleşmez, özellikle düşük oranlarda Cu-Sn alaşımı kullanılırsa gerçekleşebilir [46].

Geleneksel yöntem, elmas boncuk üretimine geniş çapta uyarlanmış olmasına rağmen soket üretiminde bu kadar yaygın değildir. Maliyet tasarrufu ve yüksek üretim hızı gibi avantajlarının olması, bu işlemin eksiklerini kapatmaktadır [12].

3.4.2.6. Spark plazma sinterleme

Bu yöntemde mekanik basınç ve elektrik enerjisinin birleştirilmesiyle tozlar istenen yoğunluk ve özelliklere ulaşmaktadır. Düşük sıcaklıklarda kısa süreli olarak gerçekleştirilen spark plazma sinterlemede hava, vakum ve inert atmosfer kullanılarak grafit kalıp yardımıyla daha yoğun malzemeler üretilmektedir. İşlem süresi genellikle saniye ile dakika arasındadır. Kullanılan tozlar yoğunlukla elektriği iletme ile beraber iletken olmayan toz karışımları da kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu elektrik enerjisi tozların içerisinde geçerek düşük basınç altında tozları yoğunlaştırmaktadır. AC ve DC'nin birlikte kullanılması tozların bağlanmasını hızlandırarak homojen parça yoğunluğu sağlamaktadır. Şekil 3.12'te gösterilen bu yöntemin diğerlerine göre güvenlik, güvenilirlik, yüksek sinterleme hızı ve sinterleme enerjisinin kontrolü gibi konularda üstünlüğü bulunmaktadır [42, 45, 47].



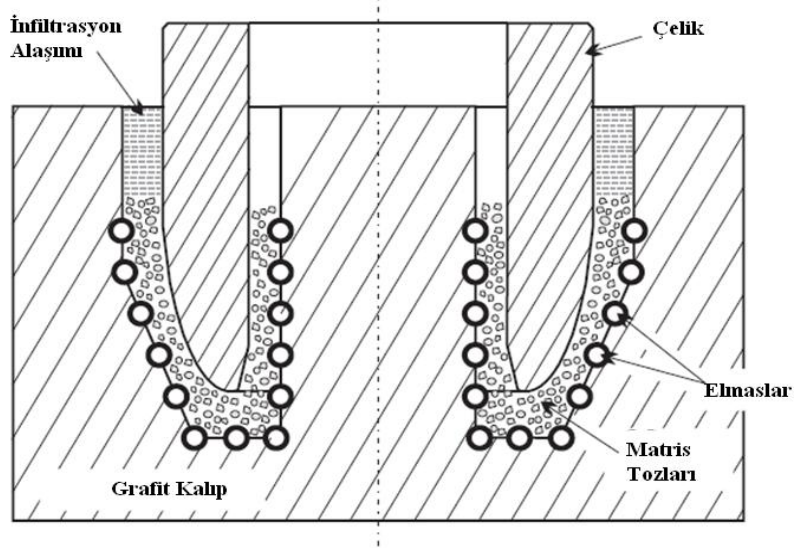
Şekil 3.12 : Spark plazma sinterleme sistemi [47].

3.4.2.7. Sıcak izostatik presleme

Sıcak izostatik presleme, sıcak inert gaz tarafından her yönden basıncın uygulandığı bir yöntemdir. Ham parçalar ön-sinterleme işlemine tabi tutulduktan sonra sıcak izostatik presleme için uygun hale gelirler. Bu yöntemde 200 MPa basınç değerlerine kadar çıkılmakta ve böylece yoğunlaşma sıcaklığında sıcak presleme yöntemine göre düşüş sağlanabilmektedir. Gözenekleri yok etmek için, sıcak presleme koşullarında 1100°C'ye çıkılması gereken durumlarda (elmasın bozunma tehlikesi) bu yöntem yeni teknolojik seçenekler sunmaktadır [12,42].

3.4.2.8. İnfiltrasyon

Metal tozlarına ait birbiriyle bağlı gözeneklerin grafit kalıpta düşük ergime noktasına sahip bir alaşım tarafından doldurulması işlemidir. Şekil 3.13'de kesit görünüşü verilen bu yöntem daha çok elmas katkılı delici ve karot takımların üretiminde kullanılmaktadır. Çinko, nikel, kalay ve mangan içeren kobalt esaslı malzemeler infiltrasyon alaşımı olarak kullanılır. Islatma kabiliyetini artırmak, infiltrasyon sıcaklığını düşürmek ve katı matris bileşenlerinin eriyik içinde çözünmesi azaltmak için düşük oranlarda demir, molibden, silisyum, gümüş, fosfor ve krom eklenebilir. Dolgu için kullanılacak alaşımların ergime noktası ve viskozitesine bağlı olarak bu işlem 950-1200°C arasında indirgeyici atmosfer ve ya vakum altında yapılmaktadır [12, 42, 45].



Şekil 3.13 : Kalıbın kesit görünüşü [1].

3.4.2.9. Lehimleme

Sert lehimleme işlemi lazer kaplama ile beraber endüstriyel olarak önem kazanmaya başlamıştır. Bu teknoloji kesici takım üzerine lehim-elmas karışımının homojen kaplanması esasına dayanır. Bu uygulama için aktif lehim ve nikel bazlı lehimler uygundur. Aktif lehimler, bağlanmanın olması için aktif element olarak titanyum içeren gümüş alaşımlarıdır. Nikel bazlı alaşımlar mekanik olarak güçlüdür, krom ve silisyum eklenerek bağlanma sağlanır. 900-1000°C arasında gerçekleşen bu işlemin ana avantajları az elmas kullanımı ve elmasın batma derinliğindeki iyileşmedir [12].

3.4.2.10. Lazer kaplama

Taş, beton ve asfalt kesme işlemlerinde kullanılan dairesel testere üretiminde bu işlem uygulanabilmektedir. Elmas katkılı malzeme doğrudan çelik göbeğin uçlarına biriktirilir. Lazer ışınları yardımıyla inert atmosferde eriyen matris tozları altlık malzemesine gönderilir. Kalay bronzları lazer kaplama uygulaması için idealdir, özellikle esas alaşım malzemesi olarak titanyum katkısı ile beraber kullanılmaktadır [12].

Üretilen bazı elmas katkılı takımların köşelerinin düzeltilmesi ve temizlenmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı çapak gidermek için kaba taneli alumina ve ya silisyum karbür aşındırıcılar kullanılır [12].

3.4.2.11. Kalite kontrol

Rockwell B testi ucuz ve basitliği nedeniyle elmas katkılı kesici takımların kontrolünde kullanılan en yaygın yöntemdir. Yoğunlaştırma işlemi

tamamlanmamışsa malzeme beklenen sertlik değerlerinin altında kalacak, ayrıca da beklenen tokluğu göstermeyecektir. Bu yüzden ölçülen sertlik değerleriyle ilgili şüphe varsa malzemenin yoğunluğu ölçülerek de kontrol edilebilir [1,12].

3.4.2.12. Son işlemler

Toz metalurjisi tekniğiyle üretilen ürün, kesme işleminde kullanılmadan önce bir takım işlemlerden geçmesi gerekmektedir.

Yarıçap taşlama

Farklı testere çapları, üreticinin farklı türdeki soketleri stoklamasını gerektirir. Bu sorunu çözmek için her tür çelik göbeğin çap aralığına uyacak tabanı elmas içermeyen tek tip soket üretilir. Alttaki gerekli yarıçap ayarlanır. Soketleri lazer kaynağına hazırlamak için de kullanılan bir yöntemdir [12].

Sert lehimleme/Lazer kaynağı

Üretilen soketlerden elmas kesici takım oluşturmak için soketlerin çelik gövdeye bağlanması gereklidir. Sert lehimleme/lazer kaynağı kullanılarak bu işlem gerçekleştirilir. Sert lehimleme doğal taşların soğutma suyu kullanarak kesiminde kesiminde yaygınlaşırken, kaynak işlemi kuru kesme yapacak takımların üretiminde yaygınlaşmıştır. Kesme işlemi sırasında üretilen ısı lehim ile birleştirilen bağlantıları yumuşatmaktadır. Lazer kaynağı ile birleştirilen bağlantıların eğme mukavemeti lehimlemeye göre 3-5 kat fazladır ve soketin çıkmasını ortadan kaldırmaktadır [12].

Sert lehimleme sırasında oluşan ısı ve termal gerilimler gövdede deformasyon ve zayıflığa neden olmamaktadır. Bu işlemde 700°C üzerine çıkılmaması ve sürenin kısa tutulması önemlidir [12].

Lazer kaynağı ile birleştirme, matris tozlarının ve çelik gövdenin seçimini kısıtlamaktadır. Düşük karbonlu çelikler düşük sertleşebilme kabiliyetine sahip olması nedeniyle kullanılmaktadır. Çünkü hızlı soğumaya bağlı olarak, ısıdan etkilenen bölgede kırılğan martensit fazı oluşabilmektedir. Bu sebepten ötürü, lazer ile birleştirme işleminde soketin tabanı elmassız olmalıdır [12].

Doğrultma ve gerilim verme

Doğrultma işleminde amaç soketleri çelik çapı ile eş merkezli hale getirmek, yüzlerini temizlemek ve yanal çapakları gidermektir [12].

Dairesel elik gövde üretimi sırasında gövdede kalıntı gerilimler oluşmaktadır. Dönme sırasında titreşime neden olacak dengesiz gerilimler giderildikten sonra esas gerilim verme işlemi uygulanmaktadır. İlave gerilim vererek elik gövdenin gerilmesi, testerenin kenar kısmının uzamasına neden olacak merkez kaç kuvvetini engelleme amaçlıdır [12].

3.5. Doğal Taş Kesici Disk eşitleri ve Kesme İşlemleri

Bir nceki bölümlerde belirtildiği gibi toz metalurjisi yöntemiyle üretilen elmas kesici uçlar, elik bir disk üzerine sert lehimle kaynatılarak, bol suyla mermeri kesen kesici takım(disk) haline gelir. Kesme işlemi sırasında mutlaka su kullanılmalıdır. Çünkü su kullanılmadığı takdirde sert lehim sıcaklık etkisiyle soketleri bırakmaktadır. Dairesel testerenin gövdesi çelikten yapılmıştır. elik gövde üzerinde soketler kaynatılmıştır. Gövde belli bir çevresel hıza dayanabilecek çelikten yapılmıştır. Gövde, merkezinde mile takılabilmesi için mil çapına uygun çapta delik delinmiştir [23]. şekil 3.14’de örnek olarak dairesele testere ölçüleri verilmiştir.

Dairesel Testereleler Circular Diamond Blades					
Kod Code	D	Soket Ad. No. Segment	B	H	E
300/21	300	21	40	7,5	5
350/25	350	25	40	7,5	3
350/27	350	27	40	7,5	3
400/28	400	28	40	7,5	3,6
450/32	450	32	40	7,5	3,8
500/36	500	36	40	7,5	3,8
600/36	600	36	40	7,5	4,5
600/42	600	42	40	7,5	4,5
625/36	625	36	40	7,5	4,5
625/42	625	42	40	7,5	4,5
650/38	650	38	40	7,5	6
650/46	650	46	40	7,5	6
800/46	800	46	40	7,5	6
800/56	800	56	40	7,5	6
1000/70	1000	70	24	8	8
1000/70	1000	70	40	8	8
1100/74	1100	74	24	8	8
1100/74	1100	74	40	8	8
1200/80	1200	80	24	8	8
1200/80	1200	80	40	8	8
1300/88	1300	88	24	8	8
1300/88	1300	88	30	8	8
1400/92	1400	92	24	8	8
1400/92	1400	92	30	8	8
1600/108	1600	108	24	10	9
1600/108	1600	108	30	10	10
1700/112	1700	112	24	10	10
1750/112	1750	112	24	10	10
1800/120	1800	120	24	10	10

D: Testere çapı,
H: Soket yüksekliği,
E: Soket genişliği,
B: Soket boyu



Şekil 3.14 : Dairesel testere ölçüleri [23].

3.5.1. Dairesel testere ile kesim

Dairesel elmas kesiciler iki bileşenden oluşur, bunlar elmas soket ve çelik göbektir. Elmas soket, bağlayıcısı metal olan kompozit bir malzemedir. Metal olarak kobalt, demir, bronz, bakır, tungsten karbür, nikel ve kalay yaygın olarak kullanılır. Çelik göbek yapılacak birleştirme işlemine (sert lehimleme veya lazer kaynak) göre farklı kalitelerde seçilir, sertliği sertleştirme ve temperleme işlemlerinden sonra yaklaşık 43-45 HRC olur [13].

Dairesel testerelelerde kesme işlemini soketler yapmaktadır. Sert maden uçlu soketler elmas sertliğine yakın (9 -9.5 mohs) sertlikte üretilmektedir. Dairesel testerelelerin çapı büyük olduğu için çevresel hızları da büyüktür. Bu hız, testerelede ısınmalara neden olmaktadır. Bu ısıyı testereleden uzaklaştırmak için kesme

işlem sırasında mutlaka su kullanılmalıdır. Su kullanılmadığı takdirde ısınan testere gövdesinden oksiasetilen kaynağıyla birleştirilen soketler kopmakta ve iş kazalarına neden olmaktadır [24].

Soket ile kesilecek taş arasındaki mekanik etkileşimin sonucunda talaş oluşumu meydana gelir. Talaş oluşumunda elmas taneleri etkilidir, metalik matris aşınmaya uğrar. Aşınan matris yüzeyinde talaş akma kanalları oluşur ve talaş uzaklaştırılır [29].

Bunun sonucunda elmas tanelerinin arka kısmında talaşa rastlanmaz, daha çok onları destekleyen kuyruk kısmı oluşur [40]. Dairesel testereyle kesim yaparken, testere ağzı 25-65 m/s gibi hızlarda dönmektedir. Bu uygulamalarda kullanılan bazı parametreler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

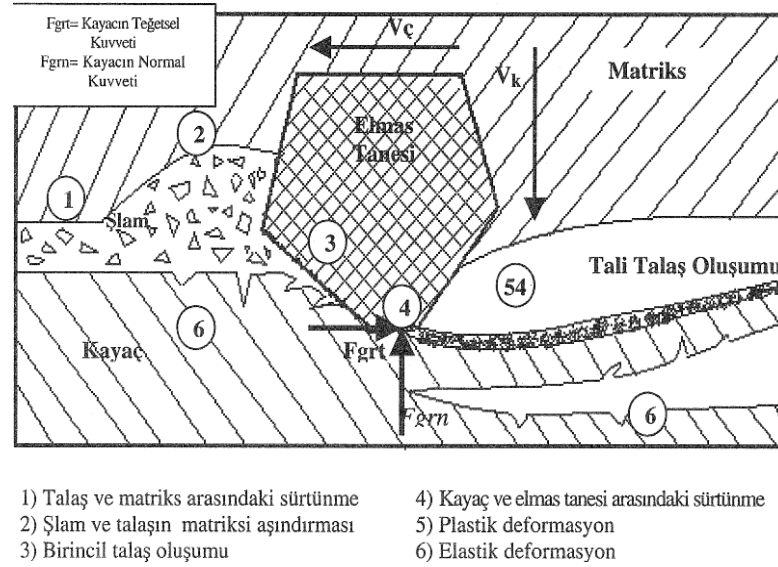
Çizelge 3.1 : Dairesel testerelede uygulanması tavsiye edilen hızlar [12].

Kesilecek Parça	Testere Hızı (m/s)	Kesme Hızı (cm ² /min)	Yorum
El ile kuru olarak kesilen malzemeler	80-100		Testere bükülmemelidir
Kuvarsdan oluşan granit	25-30	100-200	Makinenin gücü
Düşük kuvarslı granit	30-40	200-600	artıkça kesme hızı artar. İyi yüzey kalitesi
Mermer	40-50	600-1200	isteniyorsa düşük kesme hızı tercih
Traverten	45-60	800-1200	edilmeli.
Kumtaşı	40-65	300-1000	
Seramik	20-50		
Beton	35-50		
Katkılı beton	30-40		
Asfalt	40-60		

Şekil 3.15’de gösterildiği gibi basma ve çekme gerilmelerinin etkisiyle elmasın ön kısmında, kayda çatlak ve talaş oluşurken; elmasın arka kısmında ise basıncın kalktığı bölgede çekme gerilmeleri sonucunda yerel tahribatlar ve çatlak oluşur. Soğutma suyu yardımıyla oluşan talaş ortamdan uzaklaştırılır [12].

Çizelge 3.2 : Dairesel testelerde uygulanması tavsiye edilen makine gücü oranları ve soğutucu miktarları [12].

Testere Çapı (mm)	Güç (kW)		Min. Su Akışı (l/min)
	Granit	Mermer, Traverten, Kumtaşı	
300-400	4	5	10
500	9	7	15
600	13	9	20
700	18	13	30
800-900	18	18	30
1000	22	22	40
1200	29	29	50
1400-1600	40	44	60
2000	44	48	70
2500	48	51	80
2700	55	59	80
3000	66	74	90

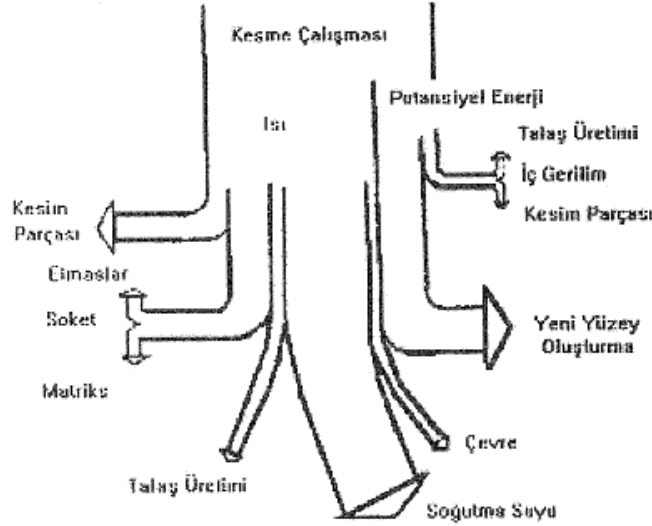


Şekil 3.15 : Doğal taş kesme işleminde talaş oluşum mekanizması [40].

Kesme işlemi sırasında elmas taneleri bazı termo-mekanik etkilerle karşılaşılır. Bunlar;

- Kesme başlangıcında mekanik çarpmaya bağlı zorlanma,
- Talaş kalınlığına bağlı mekanik zorlanma,
- Sürtünme ve soğutma işlemleri sonrası açığa çıkan termal şoklardır [40].

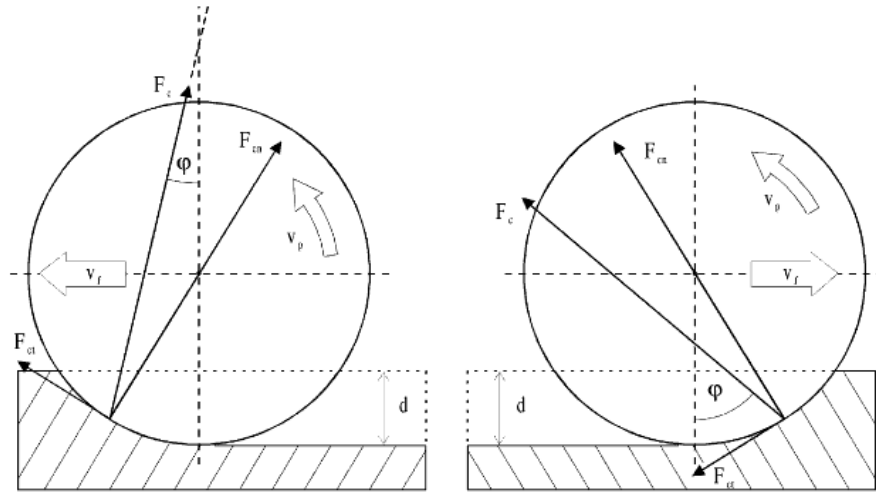
Kesme işleminin sürekliliği için; soketin kayaca girmesi için kayacın normal kuvvetinin, soketin kayaç içerisinde ilerleyebilmesi için ise kayacın teğetsel kuvvetinin yenilmesi gerekir. Şekil 3.16’de talaş oluşumu sırasında enerji tüketim durumu oransal olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.16 : Talaş oluşumunda enerji tüketiminin oransal dağılım şeması [40].

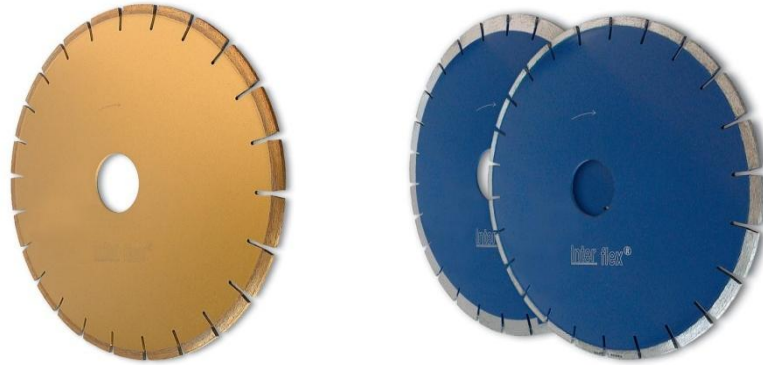
Kesim için üretilen potansiyel enerjinin büyük bir kısmı yeni yüzeyler oluşturmak için harcanırken bir kısmı da talaş oluşumunda kullanılır. Sürtünmeden dolayı oluşan ısının büyük bir kısmı ise soğutuculara karışarak ortamdan uzaklaştırılmaktadır[40].

Kesme işlemi aynı yönlü (kesme-çevresel hızlar aynı yönde) veya farklı yönlü olabilir. 20-25 mm’nin altındaki derinliklerde aynı yönlü kesme işlemi için güç ihtiyacı daha azdır, fakat kesilecek parçanın derinliği arttıkça farklı yönlü kesme işlemi daha az enerji gerektirir [48]. Şekil 3.17’de aynı yönlü ve farklı yönlü kesme işlemi sırasında etkili olan kuvvetler gösterilmektedir [12].



Şekil 3.17 : Farklı (sol) ve aynı yönlü (sağ) kesme işlemi sırasında etkili olan kuvvetler [12].

Aşağıdaki şekillerde kullanıma doğal taş kesici disk (dairesel testere) çeşitlerinden bazı örnekler bulunmaktadır:



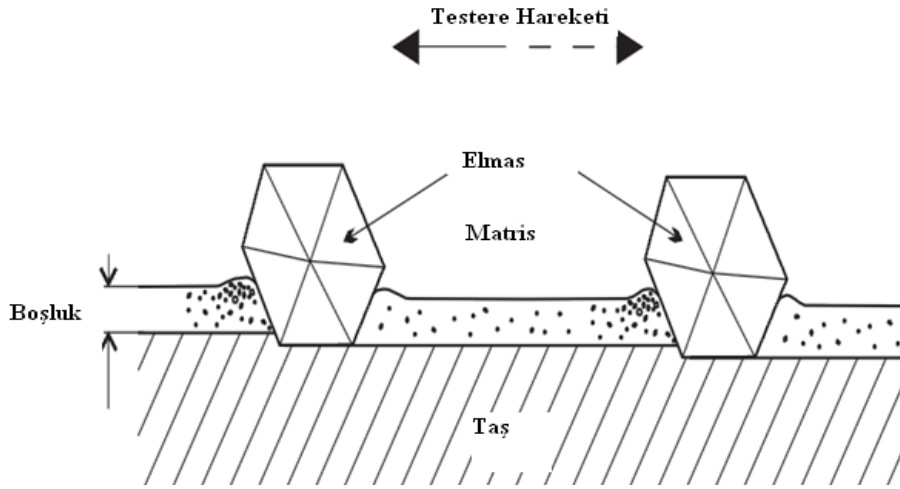
Şekil 3.18 : a) Mermer kesici disk b) Granit kesici disk [25].



Şekil 3.19 : a) Asfalt-Beton kesici b) Seramik Porselen Kesici [25].

3.5.2. Düz testere ile kesim

Düz testereyle kesme işlemi sinüzoidal hızda maksimum 2 m/s ile gerçekleşmektedir. Testerenin ileri geri karşılıklı hareketi nedeniyle talaşın uzaklaştırılması zordur. Bu durum matris için aşınmayı kolaylaştırır. Ayrıca dairesel testereyle kesim sırasında elmasın arka kısmında oluşan kuyruk, düz testere ile kesimde oluşmaz. Bunların sonucunda matrisin elması tutma kabiliyeti azalır [12]. Düz testere ile kesime ait şematik gösterim şekil 3.20’da verilmiştir.



Şekil 3.20 : Düz testere ile kesime ait şematik gösterim [12].

4. DOĞAL TAŞ KESİCİ ELMAS BONCUK ÜRETİMİ VE ELMAS TEL ÇEŞİTLERİ

4.1. Elmas Teller

Elmas telle kesim 80'li yılların 2. yarısında başlayıp gelişerek günümüzde ocak işletmeciliğinin vazgeçilmez unsurlarından biri olmuştur. Elmas tel kesiminde ağırlıklı olarak kullanılan iki çeşit boncuk türü vardır. Bunlar sinterize ve elektroliz boncuklardır [25].

Elmas tel ocaklarda ve fabrikalarda su anki teknoloji ile en düşük maliyet ve enyüksek performansı sağlayan kullanışlı bir araçtır.

Elmas teller yapıları itibari ile genel olarak üç gruba ayrılır;

- 1) Elektroplate elmas boncuklar
- 2) Sinterize elmas boncuklar
- 3) Kimyasal yapıştırırmalı elmas boncuklar [26].

Her üç sistemde de öncelikle elmas tozları bir ayırım ve sınıflama işlemine tabitutulur.

Değişik boyutlardaki elmas tozu birçoğu eleğin içine atılarak yaklaşık bir saatelekten geçirilerek aynı boydaki elmasların ayırımı sağlanır. Kullanılan elmas sentetikelmastır. Bu nedenle çok kaliteli olmak durumundadır. Aksi takdirde uzun uğraşlarsonucu elde edilecek elmas boncuk görevini yerine getirmeyecek ve beklenenperformansı vermeyecektir [26].

Ayırım işlemi tamamlandıktan sonra ayrıştırılmış olan elmas taneciklerinden her boy elmas gruplarından birkaç numune alınıp mikroskopta incelenir. Köşe yapıları ve keskinlik düzeyi görülür. Alınan numuneler microhardnes tester'a konularak üzerine baskı uygulanır. Buradaki amaç elmas taneciklerin sağlamlığını ölçmektir. Elmas taneciklerinin dayanıklılık ölçümü aynı zamanda bu taneciklerin kalitesini belirtmektedir [26].

Plastik kaplamalı elmas tel, kauçuk kaplamalı elmas tel ve yaylı elmas tel olarak doğaltaş kesiminde kullanılırlar. Elmas teller, temelde bir çelik tele geçirilmiş elmas boncuklardan oluşmaktadır [24]. Şekil 4.1’de elmas tel çeşitleri görülmektedir.



Şekil 4.1 : Yaylı elmas tel, Plastik kaplamalı elmas tel, Kauçuk kaplamalı elmas tel.

4.2. Elmas Boncukların Üretimi

Elmas boncuk yapımında gerekli malzemeler şunlardır;

- Çelik yüzük (normal çelikten çok daha sert olmalıdır. Aksi takdirde imalat aşamasında daralma, kullanım aşamasında ise iç çap genişlemesi söz konusu olacaktır.)
- Matris tozu (Çeşitli oranlarda kobalt, bakır, bronz, karbait, çelik, çinko, ve nikel dahil yaklaşık 30 değişik madde içeren bir karışımdır.)
- Elmas tozu (üretilecek elmas boncuğun özelliğine uygun boyda olmalıdır) [26].

4.2.1. Elektrolite (Elektroliz) elmas boncuk üretimi

Çelik yüzükler yuvalarına yerleştirilir ve matris yapı ile kaplanır. Yüksek ısıya tabi tutularak matrisin yüzüğe kaynaklanması sağlanır. Yüksek ısıda yarı eriyik durumda olan matrisin üzerine yüksek basınçla elmas tanecikleri püskürtülür. Elmas boncuklar genel olarak kullanılacakları yere göre 0,35-1,2 karat arası elmas tozu içerirler. Daha sonra soğumaya bırakılır [26].



Şekil 4. 2 : Elektrolite yöntemiyle üretilmiş boncuklar.

Burada elmas taneciklerinin kalitesi kadar matris yapının sağlamlığı da önemlidir. Matris yapı ne kadar sağlam olursa elmas taneciklerini o kadar sıkı tutacak ve elmas tanecikleri ömrünü bitirmeden matristen kopamayacaktır. Matris elmas taneciği yeterince sıkı tutamadığı takdirde elmas tanecikler ömrünü tamamlamadan boncuktan kopacaktır. Ve boncuk ömrünü normalin çok altında bir performansla tamamlayacaktır [26].

Elektroliz boncuklar taşıyıcı gövdeye direk olarak tutturulmuş elmas parçacıkları içerirler. Bu nedenle taşla temas eden yüzeyin tamamı elmas kaplıdır. Bunun sonucu olarakda başlangıçtaki kesim hızları çok yüksektir. Bu hız, elmas parçacıklarının aşınması ve dökülmesi sayesinde alttan yeni elmasların gelmemesi nedeniyle giderek azalır. Sonuç olarak boncuğun kesim hızı fazla ama ömrü azdır. Günümüzde acil yapılmak istenen üretimlerde tercih edilir [27].

4.2.2. Sinterleme ile elmas boncuk üretimi

İçinde her bir elmas boncuk için ayrı yuva bulunan yüksek ısıya dayanıklı tepsinin içine çelik yüzükler yerleştirilir. Matris tozu ağırlığıyla orantılı olarak uygun boydaki elmas taneleriyle harmanlanır. Elmas tozlarıyla harmanlanan matris pres makinesinin üzerindeki kovaya dökülür. Pres makinesi çalıştırılır, elmas tozlarıyla harmanlanmış

matris pres kovanından belirlenen ağırlığa gelene kadar hazneye dökülür. Belirli ağırlığa ulaşınca hazne kapanır ve yüksek basınçlı bir presleme işlemine tabi tutulan yapı halka şeklinde pres makinesinden çıkar [26].



Şekil 4. 3 : Sinterleme ile üretilmiş elmas boncuk.

Tepsiadaki çelik yüzüklerin dış yüzeyine kaynaklamanın kalitesini artırmak için bir madde tatbik edilir. Kalite kontrolden geçen halkadan geçen halkalar tepsideki çelik yüzüklere geçirilir. Bu tepsiler yüksek ısıli fırınlara sürülerek 1.000 – 1.200°C’ ye kadar ısıtılır. Bu aşamada halka halindeki matris yapı kendini çekerek daha önce yüzeye sürülen maddenin de etkisiyle tam bir kaynaklama sağlamış olur. Matris yapının bu esnada kendi içinde eriyerek preslenmiş toz halinden katı yapıya dönüşür. Fırın kapatılarak kendi halinde soğumaya bırakılır [26].

Sinterize boncuklarda matris içinde karışmış halde olan elmaslar kayacın matrisi aşındırmasıyla ortaya çıkarlar. Üsteki görevini tamamladıkça matris yapı içinde saklı olan yeni elmas tanecikler devreye girecektir. Böylece kesim matrisin bitmesine yakın bir duruma kadar devam eder. Diğer boncuk tiplere oranla en yüksek performans sinterize elmas boncuklarda elde edilmektedir. Standart kesim hızına ve uzun sayılabilecek ömre sahiptirler [27].

Son yıllarda henüz tam oturmamakla beraber soğutma suyuna ihtiyaç göstermeyen ve piyasada susuz tel diye adlandırılan sinterize boncuklar yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Bu tür boncukların esas matrislerinin sürtünmeyle ortaya çıkan ısıya dayanıklı olmasıdır [27].

4.2.3. Kimyasal yapıştırma ile boncuk üretimi

Çelik yüzüğün üzeri ısı ile kimyasal reaksiyona girecek bir matris yapı ile kaplanır. Aynı boydaki elmas tanecikler düzenli olarak matrisin üzerine yerleştirilir. İkinci bir ince matris yapıyla kaplanır. Yüksek ısı altında matris yapı yüzükle ve elmaslarla kimyasal reaksiyona girerek yapışma işlemi (kaynaklama) tamamlanır.

Elmas taneciklerin tamamı yüzeye yerleştirildiğinden alttan yeni elmas tanecik gelmesi söz konusu değildir. Her üç sistemde de ortası delik yada üretimden sonra delinebilen iki tip çelik yüzük kullanılabilir. Yalnız sonradan delme işleminde yüzüğün çevre kalınlıklarında orantısızlıklar olabilmektedir. Bu da kullanım esnasında elmas boncuğun dönüşünü engeller ve tek taraflı aşınmaya sebep olur [26].

4.3. Elmas Boncukların Dizilmesi ve Kullanıma Hazırlanması

Elmas boncuklar yaylı dizim, plastik enjeksiyonlu dizim, kauçuk enjeksiyonlu dizim olmak üzere 3 şekilde dizilerek kullanıma hazır hale getirilirler.

4.3.1. Yaylı dizim

Ülkemizde en yaygın kullanılan dizim şeklidir. Çelik halat tel kesme makası ile istenilen uzunlukta kesilir, bir ucuna eklemenin bir tarafı takılıp pres ile sabitlenir, diğer ucu ise lehimlenerek ucu taşta tutulur ve boncukların geçebileceği seviyeye kadar taşlanır. Daha sonra normal dizim işlemine başlanır [26].

Dizim sırası şu şekilde ilerleyerek olmalıdır;

Sıkma - pul - elmas boncuk - pul - yay - pul - elmas boncuk - pul - yay... Her beş boncuktan sonra sıkma konulur ve aynı sıra takip edilerek dizim işlemine devam edilir.

Genelde ülkemizdeki ocaklarda genellikle üç boncuktan bir sıkma kullanılmaktadır. Bu tarz dizimlerde tel esnekliğini belli bir oranda kaybetmektedir ve minimum 4 boncukta bir sıkma kullanılması tavsiye edilmektedir. Dizim işlemi tamamlanınca sıkma işlemine başlanır. İki ucunda sabit yuvalar vardır. Bir tarafın yuvasının 15 cm uzağında ortasından sabitlenmiş bir tutacak yer alır. Bu düzenek sayesinde 1 metrede bulunacak elmas boncuk adedi isteğe göre ayarlanabilir ve boncuklar arası mesafe eşit olarak ayarlanabilir. İlk sıkma tutacağın aksi tarafındaki yuvaya yerleştirilir. 30. boncuktan sonraki sıkma tutacak yuvaya yerleştirilir. Tutacak ile boşta kalan taraftaki halat kavranarak iki yuva arası tamamen gerilecek şekilde gerdirilir.

Tutacak tarafındaki sıkma preslenir. Daha sonra aynı işlem devam ettirilir. Mevcut dizim tamamlandıktan sonra halatın sıkılmamış tarafında boşluk olacaktır. Buralardaki eksiklerde tamamlanır. Aradaki preslenmemiş olan sıkımlar preslenir ve ekin diğer tarafı takılarak preslenir. Elmas tel kullanıma hazırlanmış hale gelir [26, 28].

4.3.2. Plastik enjeksiyon ile dizim

Plastik enjeksiyon yaylı veya yaysız yapılabilir sıkma ve pul kullanılmaz. Halatın bir ucuna eklemenin bir parçası takılır, preslenir. Sonra yay-elmas-boncuk – yay-elmas-boncuk şeklinde devam eder. Eğer yay kullanılmayacaksa sadece boncuk dizimi yapılır. Metrede istenilen boncuk adedine göre uygun olan kalıp enjeksiyon makinesine takılır. Boncuklar kalıplardaki yuvaya yerleştirilir ve enjeksiyon işlemine başlanır. Daha sonra aynı işlem diğer boncuklara yapılarak enjeksiyon işlemi tamamlanır. Enjeksiyon işlemi bittikten sonra diğer uca da ekleme takılarak işlem bitirilir. Mermer ve granite yönelik kullanılabilir. CONCRİTE (beton) uygulamalarında ısıya dayanıklılığı daha yüksek olan kauçuk enjeksiyon sistemi kullanılmaktadır [26].

Plastik enjeksiyon işlemi boncukların ideal dönüşünü sağlayabilmek ve en önemlisi güvenlik amacıyla başvurulmuş bir sistemdir. Genelde telin çalışması esnasında görülen kopmalarda özellikle yaylı dizimde fırlayan boncuklar tehlikeli olmaktadır [26].

4.3.3. Kauçuk enjeksiyon ile dizim

Dizin şekli olarak plastik enjeksiyon ile aynıdır. Plastik yerine kauçuk kullanılmaktadır. Daha ziyade sert taşların (Ege bordo, serpantin, andezit granit ve beton) kesimlerinde kullanılır. Plastik enjeksiyonda plastiğin erime derecesi 70-80⁰C iken kauçukta dayanıklılık daha fazladır ve 110-115⁰C'ye kadar erime görülmez [26].

Plastikle aynı şekilde ideal dönüş sağlanır ve güvenlik ön plandadır. Tekrar dizin mümkün değildir. Boncukların ömrü bitene kadar ikinci bir dizimgerekmemektedir. Kauçuk enjeksiyonda performansı diğer boncuk tiplerine oranla daha yüksek olansinterize elmas boncuk kullanılır [26].

4.4. Elmas Telin Performansını Etkileyen Faktörler

1) Elmas tel belli bir süre çalıştıktan sonra yaylı dizimde pul - yay - halat hasar görürve yeniden dizilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde pul ve yay bozulmadan dolayı görevini yapamaz ve elmas boncuk dönme kabiliyetini yitirir, dizim esnekliğini yitirir ve elmas boncuklar tek taraflı aşınmaya başlar. Böylece elmas boncuk tek taraflı aşınmaya maruz kalarak ömrünü tamamlayamadan kullanılmaz hale gelecektir. Bu aynı zamanda ekonomik bir kayıp demektir [26].

2) Eğer plastik enjeksiyonlu dizim kullanılıyorsa, belli bir kullanımdan sonra plastik enjeksiyon özelliğini kaybedecek, çelik halat incelemek ve elmas boncuklar sabit tutulmayacak ve elmas boncuklar tel kurumuş olmasına rağmen dönüş kabiliyetini yitirecek ve tek taraflı aşınma meydana gelecektir. Buda elmas boncuk ömrünü tamamlayamadan kullanılmaz hale gelmesi demektir [26].

3) Elmas boncuğun yüzük yapısı son derece sert bir çelikten yapılmış olması gerekir. Aksi takdirde çelik yüzüğün iç çapında bir genişleme söz konusu olacaktır ve incelmış çelik halat oluşacağından sorunlar meydana gelecektir [26].

4) Matris yapının sertliği ideal olmalıdır. Aksi takdirde kimyasal kaynaklama ve elektroplate elmas boncuklarda elmas taneciklerinin görevini yapamadan kaybı söz konusu olacaktır. Sinterize elmas boncuklarda ise matris yapının aşınabilirliği ile elmas taneciklerinin kesim kapasiteleri uyumlu olmalıdır. Aksi takdirde aşırı sert yapıdaki bir matris yapıda yüzeydeki elmaslar görevini tamamladıktan sonra matris yapı aşınmayacak ve alttaki elmaslar yüzeye çıkamayarak görevlerini yapamayacaklardır. Bu durumda kesilecek alan kesilmeyecek fakat tel kesme makinesi boş yere çalışacaktır. Matris yapının olması gerekenden daha yumuşak ya da gevşek olması durumunda ise matris yapı daha hızlı aşınacak, elmas taneciklerini tutamayacak ve elmas tanecikleri henüz görevini yapamadan kaybedilmiş olacaktır [26, 27] .

5) Matris yapıdaki elmas tozun miktarı, kalitesi ve ebatları elmas boncuğun performansı ile direkt ilişkilidir. Gereğinden az olduğunda elmas boncuklar kesme işlemi yapamayacak, zaman-işgücü-enerji kaybı ortaya çıkacaktır. Fazla olması halinde matrisin yapısını bozacak elmas tanecik kaybı yüksek düzeyde olacak, dolayısıyla maliyet artacak fakat performans düşecektir [26].

6) Yapının sertliği telin performansını direkt olarak etkileyen diğer bir faktördür. Yapı ne kadar sert ve aşındırıcı olursa, elmas tanecikleri ve matris o oranda fazlaaşınacak ve elmas boncuk ömrünü daha çabuk tamamlayacaktır. Örneğin Limra taşında yaklaşık 4 m² kesim yaptıktan sonra ömrünü tamamlayan bir elmas boncuk beyaz mermerde yaklaşık 2 m² kesimden sonra ömrünü tamamlar [28].

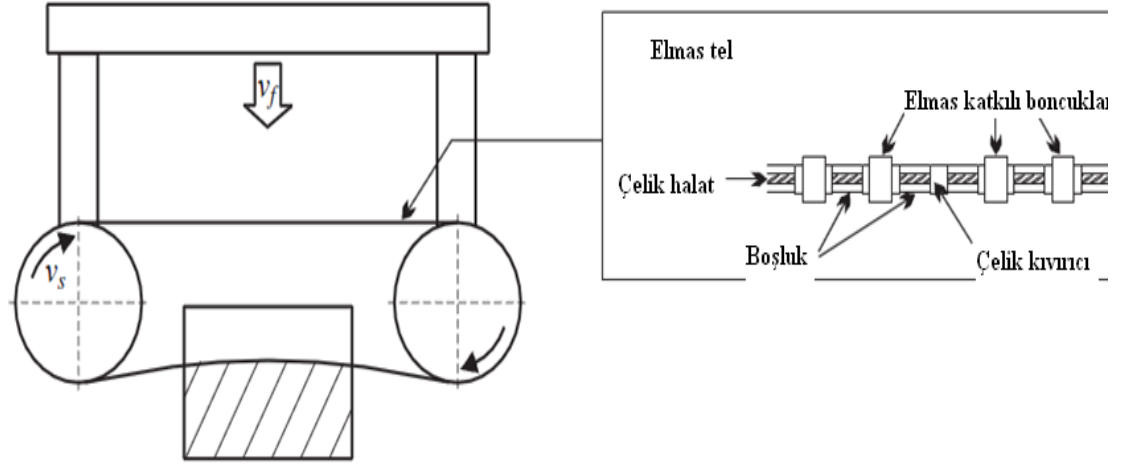
7) Yapının içerdii aşındırıcı maddeler telin performansını olumsuz yönde etkiler. Örneğin; kumlu-topraklı sayılar içeren bir yapı kesilirken, bu yapının içerdii kumve toprak elmas boncuklar ve yaylar aracılığıyla taşınacak ve kesilecek yapıya temas ettiğinde matrisi aşındıracak ve yayların bozulmasına sebep olacaktır. Matris aşınması sonucunda elmas tanecikler tutunamayarak düşecekler, yani görevlerini yapamadan kaybedileceklerdir [28].

8) Elmas telin kesim hızıyla tel kesme makinesi uyumlu çalışmalıdır. Hızlı üretim uğruna yüksek amperde çalıştırılan makineler elmas boncukları zorlayarak erkentükenmesine sebep olacaktır [24].

Genel olarak düşünöldüğünde performansı etkileyen en önemli husus kayacın yapısına, sertliğine, abraziv veya kompakt oluşuna bağlı olarak uygun matrisli elmas telin seçimidir. Traverten gibi sertliği fazla olmayan ancak aşındırıcılığı yüksek kayalarda aşınmaya dayanıklı, sert matrisli elmas teller; kireçtaşı gibi nispeten sert ancak kompakt olan kayalarda ise elmas taneciklerinin ortaya çıkması için aşınması kolay, yumuşak matrisli elmas teller seçilmelidir [27].

4.5. Elmas Tel ile Kesim

Çoklu elmas tel taş ocaklarında sıkça kullanılan bir alettir. Çalışma koşullarında güröltüsünün ve titreşiminin azlığı nedeniyle büyük taş ve beton parçaların kesiminde de kullanılmaktadır. Elmas katkılı boncuklar belli aralıklarla esnek çelik halata bağlanır ve daha sonra 3-5 boncuk arayla çelik yardımıyla halat kıvrılır. Şekil 4.4'te elmas tel ve kesme mekanizması gösterilmiştir. Tel testere çentik içinde dönerken, boncuklar çelik halata tutturulur, çevresinde dönmemektedir [12].



Şekil 4.4 : Elmas tel ile kesim işleminin modeli [12].

5. ELMASLI KESİCİ UÇLARDA METAL MATRİS İÇERİĞİ VE ELMAS SEÇİMİ

5.1. Metal Matris İçeriği ve Seçimi

Metal matrisin iki temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elması sıkı bir şekilde tutmak ve elmas kaybıyla uyumlu bir şekilde aşınma hızına sahip olmaktır yani paralel aşınması gerekir. Matris ve çalışılan malzemenin aşınma direnci uyumlu olmalıdır. Böylelikle elmas taneleri ne yetersiz derecede dışarı çıkacak ne de vaktinden önce kaybedilecektir. Çok yumuşak bir matris elmastan çok daha hızlı aşınacağı için elmasın kaybına sebep olurken aşınma direnci çok yüksek olan bir matris de elmasların yüzeye çıkmasına engel olacaktır. Yani matrisin çabuk aşınması durumunda elmas taneleri yerlerinden düşer ve yine kesme işlemi gerçekleşmez [12].

Elmas takımlarda kullanılan matris toz karışımlarının elmasları sağlam bir şekilde tutması gerekir. Kesici takımın ömrü açısından elmaslar tamamen kaybolmadan veya elmaslarda hasar oluşturmada metalik matris optimum bir hız ile aşınmalıdır. Aşınan matris yüzeyinde talaş akma kanallarının oluşması ve is parçası malzemesi talaşının bu kanallardan dışarı atılması gerekir. Çok kolay bir şekilde aşınan matris, elmasların aşırı bir şekilde zayıflayarak kaybolmasına yol açabilmekte, çok sert bir matris ise yüzeydeki elmasların bir süre sonra kesme yüzeylerini yitirmeleri ve alttan da yeni kesici yüzeylerin çıkmaması neticesinde kesme işleminin kesintiye uğramasına neden olabilmektedir. Kesilmesi amaçlanan doğal taşın öncelikle sertliği doğrultusunda matris bileşiminin ayarlanması gerekmektedir [29].

Metallerin bazıları elmasları matrise efektif olarak bağlayarak optimum performansa ulaşmasını sağlayabilir. Matrisi dizayn ederken, elmasları bir arada tutan bir bağlantı evresinden ve sinterleme koşullarında gözenekleri kapatmaya yarayan ve kesme koşullarında hızla aşınarak talaş akma kanallarını oluşturan bir dolgu evresinden yararlanılır. Bağlantı evresi için iyi ısıtılan kobalt ve nikel veya ucuz olması nedeniyle demir gibi elementler ve bu elementlerin kombinasyonlarından faydalanılır [31].

Elmasın matrise tutunma kabiliyeti mekanik veya mekanik ile kimyasal karışımı olabilir. Matrisin elmasları tutma kabiliyeti, matrisin akma dayanımı ile ilgilidir. Akma dayanımı geçildiğinde elmasları bir arada tutmak zorlaşır [12]. Düşük akma dayanımı ile birlikte yüksek elastik modül matrisin deformasyonunu kolaylaştırır ve böylece elmas ile matris arasındaki bağ zayıflar. Tutunmayı etkileyen diğer bir faktör de elmas ile matris arasında termal genleşme katsayıları arasındaki farktır. Metal tozlarının ve elmasların preslenmesi, sinterlenmesi ardından tekrar oda sıcaklığına soğutulması sırasında termal genleşme katsayıları arasındaki farktan dolayı gerilim yoğunluğu elmasların çevresinde oluşur. Bu gerilimlerin elmasın tutunma kabiliyetini artırdığı düşünülmektedir [12,32].

Soket üretimi sırasında çıkılan sıcaklıklar ve matrisin bileşimi elmasın bozunmasını etkilemektedir. Sentetik elmas 800°C üzerine çıkıldığında mukavemetini yitirmeye başlamaktadır. 1000°C üzerine çıkıldığında ise metalik inklüzyonların etkisiyle mukavemetteki düşüş hızlanmaktadır. Dolayısıyla üretim koşullarında elmas gritlerin termal kararlılığı da düşünülmelidir [12,49].

Mukavemetteki düşüşe ek olarak hem sentetik hem de doğal elmas tanelerinde yaklaşık 700°C'de yüzey grafitleşmesi başlamaktadır. Bu dönüşüm miktarı minimize edilmediği takdirde kesici ucun servis ömrü düşecek ve dolayısıyla malzemenin kullanım ömrü kısılacaktır. Bu nedenle uygulamalarda ince taneli elmasların kullanılması gerekmektedir. Demir, kobalt, nikel gibi karbonun çözünürlüğü olan metaller elmas yüzeyine zarar vermekte ve elmas kaybına neden olmaktadır [12,49].

5.1.1. Kobaltın önemi

Kobalt ve kobalt bazlı alaşımlar elmas gömülü kesici uçlar için en sık kullanılan metal matrislerdir. Günümüzde elmas kesici takımlarda bağlayıcı matris olarak çoğunlukla kobalt kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise bazı bağlayıcıların sadece mekanik bağlanma göstermesine karşın, kobaltın elmas ile hem kimyasal hem de mekanik olarak iyi bir bağlanma göstermesidir. Matrislerin büyük çoğunluğu mekanik olarak bağlanmasına rağmen en iyi bağlanmayı kimyasal bağlanma yapar. Bu kimyasal bağlanma karbid oluşturuucu alaşımlar kullanılarak yapılır. Bazı alaşımlar sıcak preslemede ergiyerek elmas taneciklerini ıslatır. Sonuç olarak karbid adaları elmas taneleri üzerinde çekirdeklenir ve sürekli tabaka oluşturmak için gelişir. Bu noktadan sonra tabakanın kalınlaşması porozite oluşumuna sebep olur ve mukavemeti düşürür. Ayrıca çok kalın karbid tabakası elmasın bozunmasına sebep

olabilir. Karbid yapıcıların yeterli miktarda olmaması ıslatmanın yeterli olmamasına matriksin bağ mukavemetinin düşük olmasına neden olur. Sıcak presleme koşullarında, yüksek akma dayanımı ve tokluk neticesinde mükemmel elmas tutma kabiliyeti gösterir ve sonucunda da aşınma dayanımı yüksektir [12,32].

Kobalt sıcak pres koşullarında;

- Yüksek akma dayanımı ve tokluğundan dolayı mükemmel elmas tutuculuğuna,
- Şekillendirme sırasında farklı tozların ilavesiyle arttırılabilecek, yeterli aşınma direncine sahiptir [12].

Deneysel çalışmalar sıcak pres ile sinterlenmiş kobaltın mikroyapı, sertlik, mukavemet, süneklik ve aşınma direnci gibi özelliklerinin sıcak pres parametreleri ve toz özellikleri ile birlikte değiştiğini göstermektedir. Tozu seçerken dikkat edilmesi gereken en önemli parametreler ortalama tane boyutu ve impüritelerin cinsi ve miktarıdır [12].

Toz tane boyutu, 1000⁰C üzerine çıkıldığında elmasın bozunmasına sebep olacak olan yoğunlaşma sıcaklığını etkilemektedir. Kesici uç yapımında kullanılan kobalt tozları 3 µm den daha kaba olup yoğunlaşmayı sağlayan bronz ile karıştırılır [12].

Sıcak presleme işleminde Co'nun elması çok iyi tutması ve mükemmel aşınma özellikleri sebebi ile Co ve Co esaslı tozlar, elmaslı EKT (Elmas Kesici Takımlar) üretiminde matris malzemesi olarak uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Bu sebeple, çoğu elmaslı takım imalatçısı için bu metal vazgeçilmez bir element olmuştur [30].

EKT'de Co'nun önemli bir görevi de matrisin tok ve dayanıklı olmasını sağlamaktır. Co, aynı zamanda matris içerisinde elmas taneciklerini çok iyi tutarak elmas kaybını azalttığından EKT'de bu element çok önemli bir yere sahiptir [30].

Ayrıca kobalt tozları farklı boyutta, şekilde ve saflıkta rahatlıkla bulunur. Çizelge 5.1'de kullanılan ticari kobalt tozlarının tane boyutları ve içerdiği safsızlıklar gösterilmiştir. Bu tozlar düşük sıcaklık/basınç gibi koşullarda sıcak presleme esnasında teorik yoğunluğuna yakın değerlere ulaşmaktadır [12].

Çizelge 5.1 : Ticari kobalt tozları ve özellikleri [12].

Kalite	Elek altı boyutu (µm)	Safsızlıklar ¹ (ppm)	Üretici
SMS	~0.9	—	Umicore
Ultrafine	~0.9	Ag-940, S-45	
Extrafine	~1.4	—	
400 mesh	~4.5	Ca-290, Si-215, S-100	
CoUF	~0.9	Mg-250, Na-170, S-140	Eurotungstene
CoF	~1.25	n/a	
CoFS	~1.4	n/a	
CoC	~1.6	n/a	
CoD	~1.8	n/a	
CoH	~3.5	n/a	
Submicron	~0.8	—	OMG
Extrafine	~1.5	—	
400 mesh	~4	—	
Ultrafine	0.85–1.1	Mg-300, Na-130, Ca-100, Si-60	Sandvik [24]
Extrafine	1.15–1.5	Mg-200, Na-160, Ca-150, Si-60	

¹ Oksiensiz ortalama değerler.

Ortalama olarak 30-35 MPa basınç altında, 700-900°C sıcaklık aralığında 2-3 dakika tutulan kobalt tozları tam yoğunluklarına yakın değerler alır. İri taneli tozlarda kalıntı boşlukları gidermek daha zordur, en kaba taneli tozlarda 1000°C üzerine çıkıldığında bile %4-5 boşluk kalmaktadır[12,41].

Kobalt tozları çeşitli kimyasal yöntemlerle üretilmektedir ve tozların kimyasal ve fiziksel özellikleri başlangıç hammaddesinin saflığına, türüne ve üretim şekline bağlıdır.

Oksijen ve sülfürün yanı sıra magnezyum, kalsiyum, sodyum gibi oksit ve sülfür impüriteler mikroyapıyı etkilemektedir. Oksitler tane sınırlarını tutarak tane büyümesini engeller, malzeme tam yoğunluk sıcaklığının bile üzerinde yeniden kristalleşmeye karşı koyar. Sertlik ve akma mukavemetini sürdürürken sünekliğinden kaybeder. Sonuç olarak mukavemet, sertlik ve tokluk korunmuş olur [12].

50-60 ppm sülfür miktarı bile kobaltı kırılğan yapmak için yeterlidir. Ayrıca sülfür, 877 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, tane sınırlarına nüfuz eden sıvı faz oluşumundan dolayı tane büyümesini harekete geçirebilir [12].

Eğer tozlar magnezyum, kalsiyum, sodyum gibi elementlerle kirlenmişse, malzemenin tane boyutu kararlılık gösterir ve sülfürün tetikleyeceği tane büyümesine karşı duyarlı olmaz [12].

5.1.2. Matrise kobalt ilavesinin mikro yapıya ve mekanik özelliklere etkisi

Bir önceki bölümde kobalt tozlarının belirli oranlarda matriste bulunmalarının ne gibi etkileri olduğu ifade etmiştik. Bu bölümde ise kesici uçlar için en önemli metal tozlarından biri olan kobaltın mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisini yapılan çalışmanın sonuçları ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

Yapılan bu çalışmada deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere dört çeşit soket alaşımı, toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Numunelerin üretiminde % 99,9 saflıkta ve tane iriliği 1,1 – 200 µm aralığında olan Fe, Cu, Co ve Sn tozları kullanılmıştır. Öncelikle saf Fe, Cu ve Sn'dan meydana gelen S1 malzemesi üretilmiştir. Daha sonra bu malzemeye belirli miktarlarda Co ilaveleri yapılarak S2(%10Co), S3(%15Co) ve S4(%20Co) deney malzemeleri üretilmiştir [32]. Çizelge 5.2'de soket alaşımlarının yüzde bileşimlerini görebilmekteyiz.

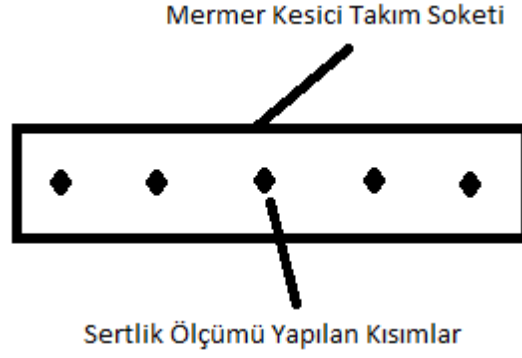
Çizelge 5.2 : Deneysel çalışmalarda kullanılan soket alaşımlarının % bileşimleri[32].

Numuneler	Alaşım Elementleri % ağırlığı			
	Fe	Cu	Sn	Co
N1	78	20	2	0
N2	68	20	2	10
N3	63	20	2	15
N4	58	20	2	20

Sıcak presleme yoluyla üretilen bu numelerde değişen kobalt oranının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini incelemek amacıyla sertlik ve üç noktalı eğme deneyleri yapılarak, optik mikroskop ve SEM de mikroyapıları incelenmiştir [32].

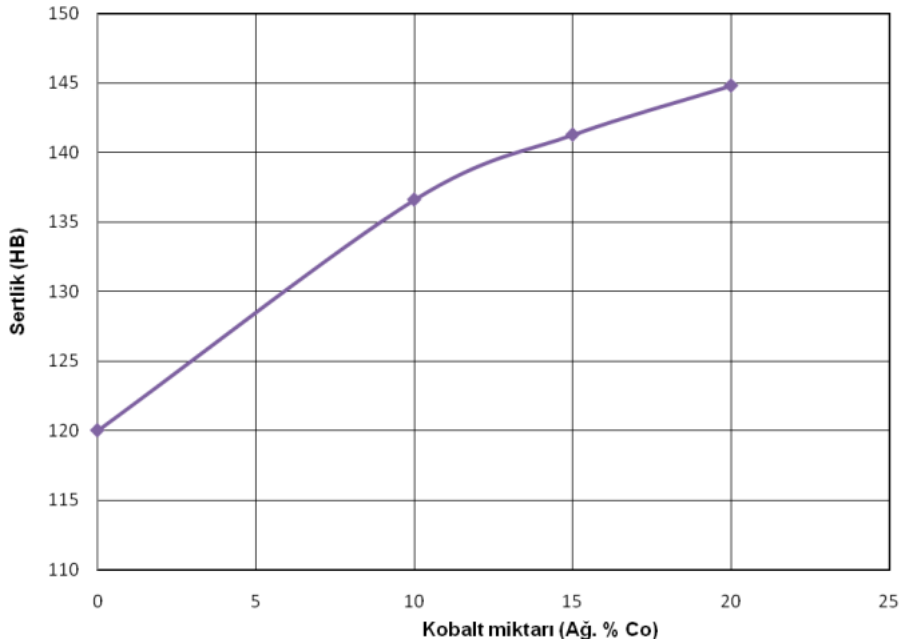
5.1.2.1. Kobalt ilavesinin sertliğe etkisi

Sertliklerinin belirlenmesi amacıyla sertlik ölçme cihazında 62,5 kg yük ve 2,5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği Brinell cinsinden ölçülmüştür. Sertliğin tam olarak belirlenmesi için numunelerin orta, uç, ara ve arka bölgelerinden toplam 5 sertlik ölçümü yapılmış ve ortalamaları alınarak her bir numunenin sertlik değeri belirlenmiştir [32]. Şekil 5.1'de sertlik ölçümü sonrası numunenin krokisi gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Sertlik ölçüm krokisi [32].

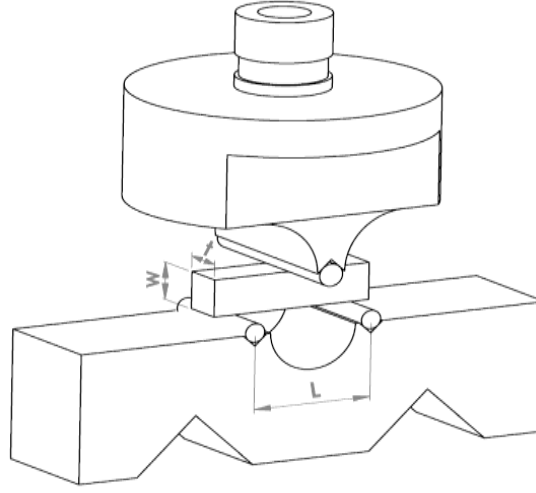
Sertlik belirlenmesinin sonucunda Şekil 5.2’de görüldüğü gibi artan Co miktarı ile numunelerde belirgin bir sertlik artışı gözlenmiştir. N1 numunesinin sertlik sonucu 120 HB iken % 20 Co ilaveli N4 numunesinin sertlik değeri yaklaşık 145 HB olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak kobaltın artışı malzemenin sertliği olumlu etkilediğini ifade edebilmekteyiz [32].



Şekil 5.2 : Artan Co oranına bağlı sertlik ölçüm sonuçları [32].

5.1.2.2. Kobalt ilavesinin eğme mukavemetine etkisi

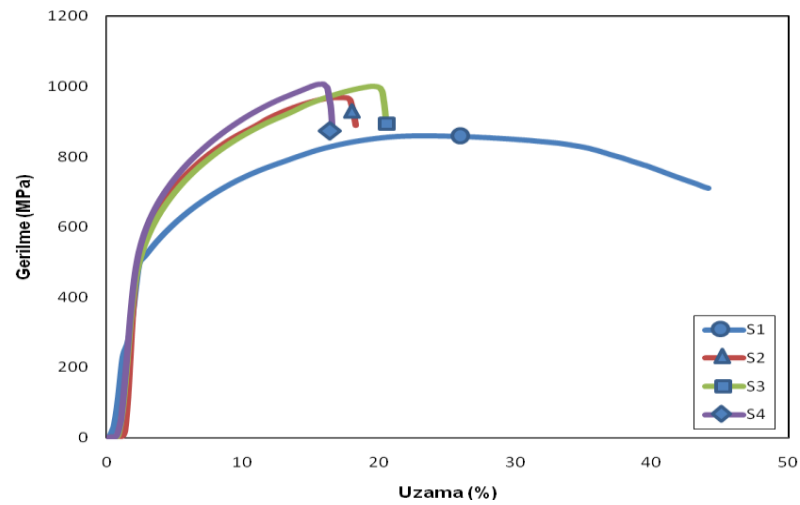
Mermer kesici soketlerin eğme mukavemetlerini belirlemek amacıyla üç noktalı eğme deneyi yapılmıştır. Numuneler ilk olarak zımparalama ve parlatma işlemlerine tabii tutulur ve eğme deneyine hazır hale gelir. Aşağıdaki Şekil 5.3’de üç noktalı eğme deneyi cihazının şematik görünümü bulunmaktadır.



Şekil 5.3 : Üç noktalı eğme deneyinin şematik görünümü [32].

Bu çalışmada yapılan üç noktalı eğme deneyi sonucunda N1 numunesinin eğilme mukavemeti 850 MPa olmuştur. N1 numunesi yaklaşık % 45 ile en fazla uzamagösteren numunedir. Deney sonucunda N1 numunesinde kopma veya kırılma görülmemiştir. N1 numune sonuçları diğer numune sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; Co katkılı N2, N3 ve N4 numunelerinin uzama miktarları belirgin bir şekilde azalmıştır [32].

Numunelerin enine kırılma mukavemetlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan üç noktalı eğme deneylerinde; matris malzemesine Co ilave edilmesiyle eğilme mukavemetinin arttığı buna karşın yüzde uzama miktarının önemli miktarda azaldığı sonucu elde edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 5.4’de de tüm bu sonuçlar bir grafikte toplanmıştır [32].

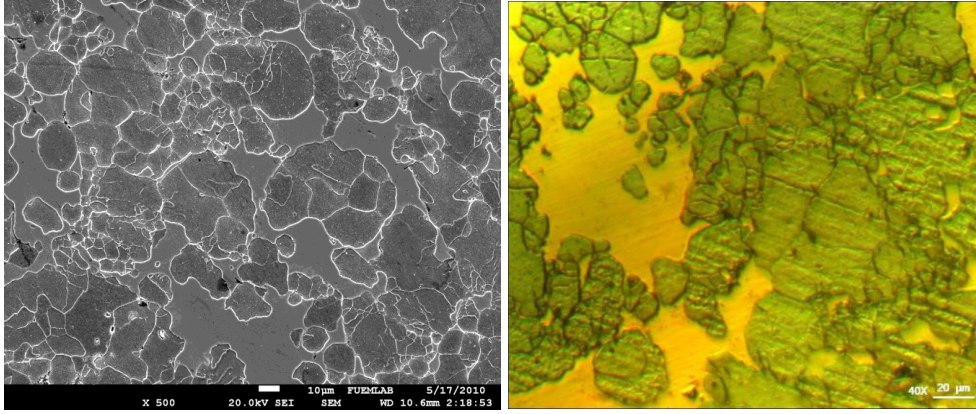


Şekil 5.4 : Üç noktalı eğme deneyi sonuçları [32].

5.1.2.3. Kobalt ilavesinin mikroyapıya etkileri (Optik mikroskop ve SEM görüntüleri)

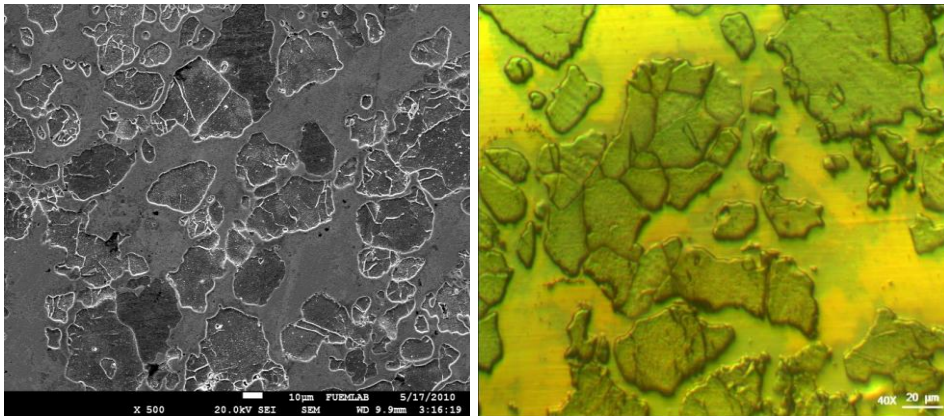
Numunelerin mikroyapı özelliklerini belirlemek ve sinterleme işleminin başarılı olup olmadığını anlamak amacıyla optik mikroskobu (OM) ve elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri yapılmıştır.

N1 numunesine ait OM ve SEM resimlerine ve yer darlığından burada verilemeyen EDS sonuçlarına bakıldığında diğer numunelerden farklı olarak bu numunede kobalt katkısı olmadığından yapı sadece $\alpha\text{Fe}+\beta\text{Cu}$ 'dan oluşmuş olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5.5'deki koyu kısımlar αFe 'ni açık renkli kısımlar ise $\alpha\text{Fe}+\beta\text{Cu}$ 'ni temsil etmektedir [32].



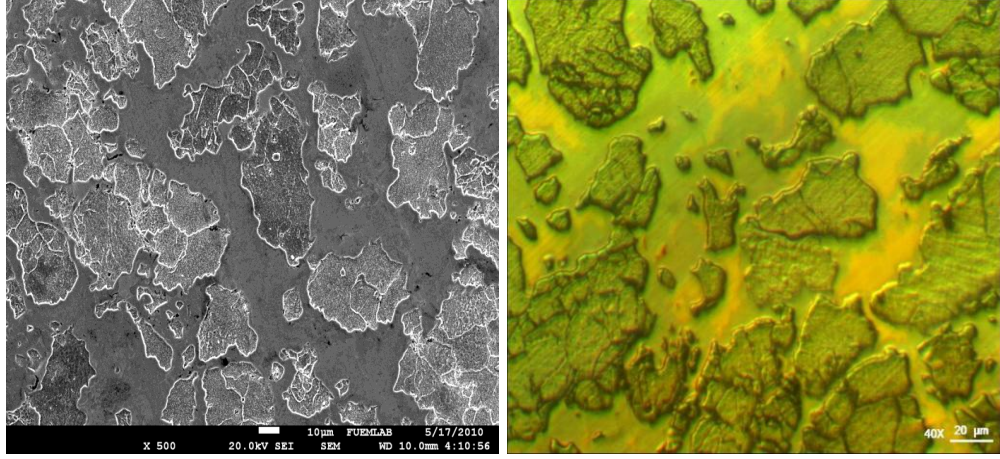
Şekil 5.5 : N1 numunesinin SEM görüntüsü, X 500 ve OM görüntüsü, X 400 [32].

N2 numunesinde, ilgili OM ve SEM resimlerinde (Şekil 5.6) görüldüğü gibi kobalt ilavesiyle farklı kontrasta yeni bölgeler meydana gelmiştir. Aynı zamanda diğer numunelerle karşılaştırıldığında OM resimlerinde siyah renkte görülen boşluklu (porozite) kısımların daha azaldığı fark edilmektedir [32].

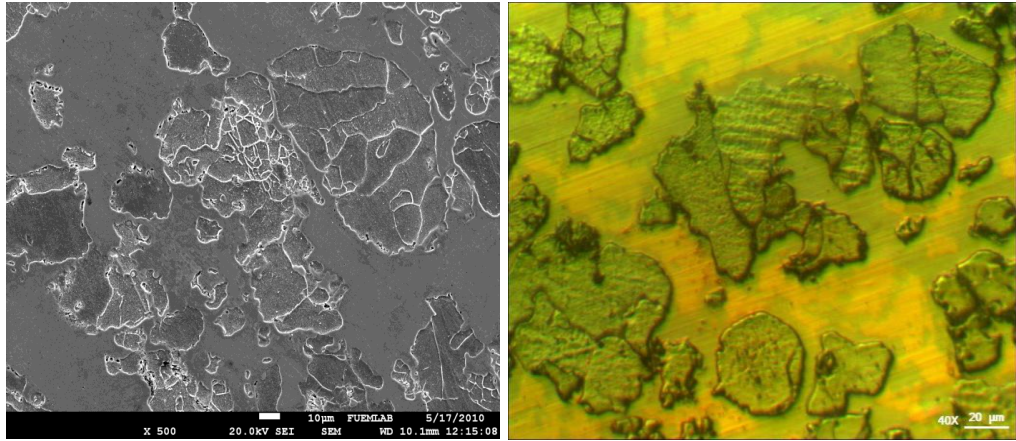


Şekil 5.6 : N2 numunesinin SEM görüntüsü, X 500 ve OM görüntüsü, X 400 [32].

N3 ve N4 numunelerinde sırasıyla % 10-15-20 kobalt katkılarının ana matrisde çözüldüğü ve bu matrisin Cu esaslı CoSn ile α Co+ β Cu bileşiklerinden oluştuğu yine Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'daki OM ve SEM resimleriyle açıkça anlaşılmaktadır.



Şekil 5.7 : N3 numunesinin SEM görüntüsü, X 500 ve OM görüntüsü, X 400 [32].



Şekil 5.8 : N4 numunesinin SEM görüntüsü, X 500 ve OM görüntüsü, X 400 [32].

Sonuç olarak; Co-Cu-Sn üçlü bir bileşiminden oluşan dengeli bir matris yapısının oluştuğu OM, SEM sonuçlarından tespit edilmiştir. Numunelerin OM ve SEM resimlerinden 850°C sıcaklıkta yapılan sinterleme işleminde boşluk ve bileşenlerin dağılımı açısından yeterli olduğu yani matriste çok fazla miktarda boşlukların bulunmadığı gözlenmiştir [32].

5.1.3. Kobalta alternatif olarak üretilen tozlar

Tüm olumlu etkilerine rağmen kobaltın ticari fiyatındaki dalgalanmalar, pahalı oluşu, kansorejen etkisi, aşırı zehirli oluşu, yüksek sinterleme sıcaklıkları ve birkaç ülkenin ürettiği stratejik bir metal olması, elmas kesici takım üreticilerini alternatif

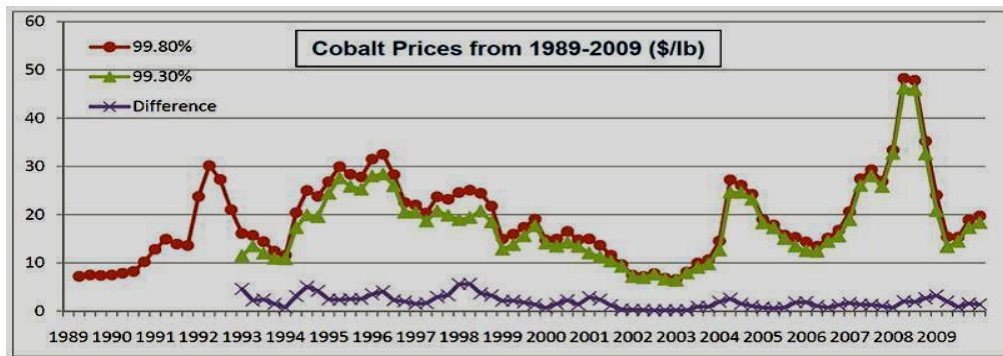
metallere yönelmiştir. Endüstriyel olarak kullanılan, düşük kobalt içerikli veya kobalt içermeyen en az iki elementin birleştirilmesiyle oluşturulan tozlar geliştirilmiştir. Kobalt tozlarına benzer olarak, Çizelge 5.3'te gösterilen ön alaşımlandırılmış demir ve bakır esaslı tozlar iyi teknik özelliklere sahiptir. 750-900°C gibi sıcaklıklarda preslendiğinde tam yoğunluklarına yaklaşılarak yüksek sertlik ve akma mukavemeti değerlerine ulaşırlar [12, 41, 50].

Çizelge 5.1 : Elmas kesici takımlar için kobalt oranı düşürülerek üretilen ticari tozlar [41].

Designation	Nominal chemical composition, wt-%				FSSS, μm	Producer
	Fe	Cu	Co	Others		
Next 100	29	46	25	-	0.8-1.5	Eurotungstene
Next 200	15	60	25	-	0.8-1.5	
Next 300	72	3	25	-	~4	
Next 400	50	35	15	-	2.5	
Next 900	80	20	-	-	~3	
Keen 10	58	17	25	-	~2.5	
Keen 20	43	33	19	5Mo	~3	
Cobalite 601	70	20	10	-	~5	Umicore
Cobalite HDR	66	7	27	-	6-7	
Cobalite CNF	68.4	26	-	3Sn; 2W; 0.6Y ₂ O ₃	~2	
Cobalite XH	43	10	47	-	3	
Cobalite OLS	28	47	25	-	1.4	

Matrisin kimyasal kompozisyonu elmasın kopmasıyla matrisin aşınmasını karşılayacak şekilde seçilmelidir. Ayrıca günümüzde kobalta alternatif olarak Ti-Ni, Ti-Ni-Co, Ti-Ni-Al alaşımları kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak Ti un seçilmesinde amaç TiC ün oluşturarak elmasla matris arayüzeyinin kuvvetli olmasıdır. Ayrıca Ti un düşük termal genleşme katsayısı olmasıyla pressiz sinterlenmesidir. Ayrıca Ni sinterleme sıcaklığını düşürmek için ticari Ti alaşımlarına ilave edilir. Ayrıca sinterleme sıcaklığı grafitleşmeyi düşürmek için 1000°C' nin altında olmalıdır [52].

Kobalta alternatif tozların aramasındaki en büyük nedenlerden biride pahalı oluşudur. Şekil 5.9' da dünya piyasasında yıllara göre kobalt fiyatları görülmektedir.



Şekil 5.9 : Kobalt Fiyatlarındaki Dalgalanmalar [41].

5.1.4. Diğer metal tozları ve etkileri

Demir, bakır, kalay, bronz alaşımları, tungsten, tungsten karbür ve nikel alaşımları yaygın olarak yoğunlaşmaya yardımcı olmak, elmas tutma özelliğini ve aşınma direncini geliştirmek için kobalta ilave edilmektedir [12].

Doğaltaş için standart matris dizaynı Co, Ni ve Cu-Sn tozları üzerinden yapılmaktadır. Yoğun matris aşınmasının arzulandığı durumlarda kullanılan Cu-Sn bileşiği miktarı % 70'e kadar artırılmakta, düşük aşınma arzulandığı zaman bronz miktarı yalnızca gözenekleri kapamak için gerekli dolgu evresi miktarına (%5) düşürülmektedir. Co ve Ni tozları, iyi ıslatma özellikleri doğrultusunda, elmas bağlayıcı evre olarak Cu-Sn katkısına ters bir miktarda kullanılmaktadır. Cu-Sn katkısı hem Cu ve Sn tozlarının karışımı halinde veya saf bronz tozu halinde olabilmekte, üretici basınçlı sinterleme uygulama karakteristiğiyle kullanım şeklini belirlemektedir. Tek tek toz halindeki kullanımda Sn tozunun Ni/Co tozlarının da ara yüzeylerinde kalarak bu tozların sinterlenmesinde değişik ara yüzey etkileri oluşturduğu görülmüştür [29].

Matrise kalay katılmasının sebebi sıvı faz sinterlemesinin gerçekleştirilmesi amacıyla. Çünkü sıvı faz sinterlemesi sayesinde elmas tanecikleri matrise daha iyi tutunur ve doğal taş kesme işlemi esnasında tanecik matristen kolayca sökülüp atılmaz. Buna bağlı olarak takımın ömrü de uzatılmış olur [31].

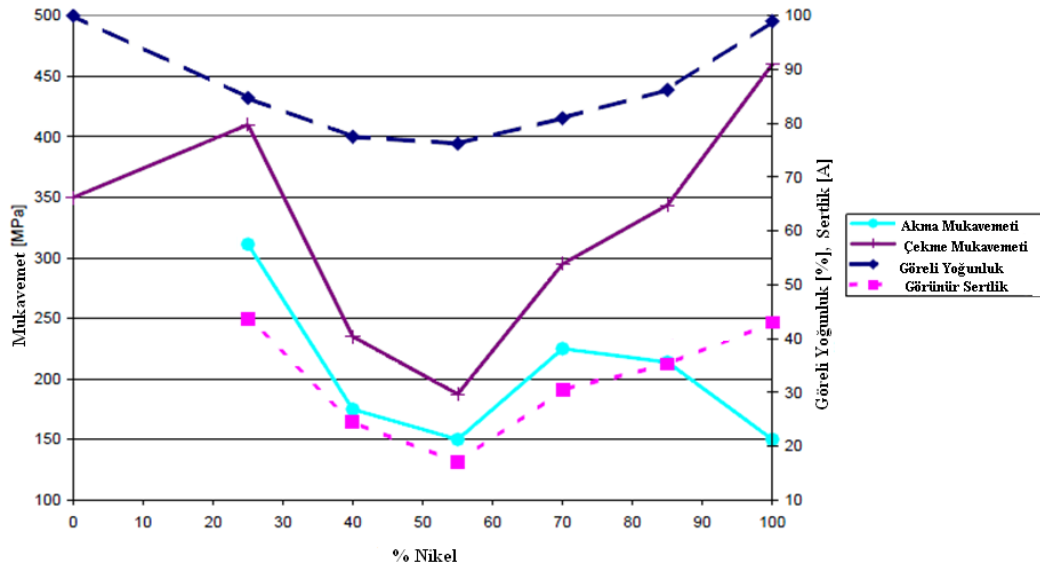
Östenitteki karbon çözünürlüğü nedeni ile kesici uçların üretim sıcaklığında demir elmas ile reaktiftir. Bununla beraber kobalta ağırlıkça yaklaşık %10-%20 arasındaki Fe ilavesi matrisin akma mukavemetini arttırıp sünekliliğini geliştirmektedir. Çeşitli demir tozları bulunmasına karşın kesici uç matrislerinde en ince Fe tozları tercih edilmektedir [12].

Tungsten, karbon ile atomik bağ yapma eğilimine sahip en sert malzemelerden biridir. Bu eğilim nedeni ile elmas ve tungsten arayüzeyinde tungsten karbür ince filmi oluşmaktadır. Böylece matrisin aşınma direncinin artmasının yanı sıra elmasın matrise tutunma özelliği de gelişmektedir [12].

Aşınma direncini arttıran bir diğer yöntem ise matrise nikel tozlarının ilave edilmesidir. Atomize edilmiş Ni-Cr-Si-Fe-B-C türleri kullanılmaktadır. Bu tozlar tungsten karbüre göre daha az etkili olmasına rağmen daha ucuz ve teknolojik olmalarından dolayı tercih edilmektedirler. Daha ucuzdur, yoğunluğu daha azdır,

yüksek sıcaklıklarda yumuşaktır ve matrisin sıcakta sıkıştırılabilme özelliğine zarar vermez [12].

Ni ilavesi, hem kobalt (800°C'nin üzerinde sinterlendiğinde) esaslı hemde bronz esaslı bağlayıcılar kullanıldığında sinter yoğunluğunu artırır. Ni ile Fe arasındaki etkileşim Fe ile Co veya Cu'a göre daha baskındır. 800°C'nin üzerinde Fe, Ni içerisine difüze olmaktadır. [53]. Diğer taraftan demir içerisine %11 civarında nikel ilavesi sonucu yoğunluktaki artış ve tane boyutundaki düşüş sonucu, matrisin sertliği 134 kgf/mm²'den 380 kgf/mm²'e çıkmaktadır. Akma dayanımı ve sertlik değerlerinde oluşabilecek düşüşe rağmen Ni-Fe-Co alaşımlarının Co'nun yerini bağlayıcı olarak alabileceği ispatlanmıştır. Yüksek sıcaklıklarda demir grafit oluşumunu tetiklediği bilinmektedir, öte yandan nikelin bu yöndeki etkisi daha yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkmaktadır. Bakır esaslı bağlayıcılarda Co ve Fe'nin yanında sertlik ve mukavemeti artırmak için Ni ilave edilmektedir. Co içermeyen bağlayıcılar (%30-55Fe, %35-45Cu-Sn) ile üretilen elmas kesici uçlarda da %10-25 arasında nikel eklenmektedir. Demir esaslı bağlayıcılara Ni, Cu ve Sn ilavesi yapılarak Co ile kıyaslanabilir mekanik özellikler bulunmuş, 900°C'nin altındaki sinterleme işleminde tam yoğunluk değerlerine yaklaşmışlardır [12,53]. Şekil 5.10'de Fe/Ni oranının mekanik özellikler üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 5.10 : Elmas bağlayıcı olarak Fe-Ni alaışımının fiziksel özellikleri [53].

Fe/Ni oranı %30'un altında veya %70'in üzerindeyken sertlik, çekme mukavemeti ve sinterleme yoğunluğu en yüksek değerlere sahiptir[53].

Fosfor ilave edilmiş alaşımlar (Cu-P, Fe-P, Ni-P) düşük ergime noktası ihtiva eden matris malzemeleridir. Bu alaşımların mekanik özellikleri düşük olsa da Si, Sb ve Ce elementlerinin ilave edilmesiyle matrisin tokluğu iyileştirilebilir. Bağlayıcı metal olarak en çok kullanılan kobalta az miktarda (<%2) Si ilavesi matrisin elmas taneleri arasında daha iyi yapışma sağlayarak elmasların kopmasını engeller [12].

5.1.5. Matrise titanyum ilavesinin mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisi

Titanyum esaslı alaşımlar matris malzemesi olarak pek yaygın değildir. Düşük termal genleşme katsayısı, düşük elastik modülü, intermetalik ve karbür yapma eğilimi fazla olduğundan Ti-Ni esaslı alaşımlar incelenmiş ve bütün alaşımların iyi elmas tutma kabiliyeti gösterdiği görülmüş ve güçlü arayüz oluşturmuştur. En fazla boşluk en yüksek Ni içeriğine sahip bileşimde görülmüştür. Ötektik sıcaklığının altında yapılan sinterleme işleminde Ti-Ni ikili sistemi için nikel atomları daha hızlı difüze olduğundan nikel bölgelerinde boşluklar oluşmaktadır. Ti-Ni-Al alaşımı bu çalışmada relatif yoğunluk, yüksek sertlik ve aşınma dayanımı bakımından en uygunu olarak gözükmiştir [50].

Yapılan başka bir çalışmada Fe-Cu-Co-Sn matrisli elmas kesici takımlarda Ti ilavesinin etkileri araştırılmıştır. Çizelge 5.4’de incelenmek üzere üretilen numunelerin bileşimleri bulunmaktadır.

Çizelge5.2 : Üretilen Deney Numunelerinin bileşimleri [31].

Num. No	Num. Adı	Tozların % Ağırlığı					Siterleme Sıcaklığı(°C)	Siterleme Basıncı (MPa)
		Cu	Co	Sn	Ti	Fe		
REF	NR	20	10	2	-	Geri kalan	850	350
1	NR1	20	10	2	3	Geri kalan	850	350
2	NR2	20	10	2	5	Geri kalan	850	350
3	NR3	20	10	2	7	Geri kalan	850	350

Sırasıyla, karışım hazırlama, sıcak presleme, sinterleme işlemleri ile numuneler hazır hale getirilerek sertlik ölçümleri, yoğunluk ölçümleri, üç noktalı eğme deneyi, elektron mikroskobu çalışmaları ve XRD incelemeleri yapılmıştır [31].

Titanyum İlavesinin Sertliğe Etkisi;

Sıcak presleme yoluyla elde edilen numunelerin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla sertlik ölçme cihazında 62,5 kg yük ve 2,5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği Brinell cinsinden ölçülmüştür [31].

Sertlik ölçüm sonuçlarına bakıldığında her üç numunede Ti oranının artması ile sertlik değerlerinde de önemli artışlar olmaktadır. Referans numunenin sertliği 166 HB değerindedir. % 3 Ti katkılı numunenin sertliği biraz yükselerek 174 HB değerine ulaşmıştır. Ti katkısının % 5 değerine yükselmesiyle sertlikteki artış bir miktar daha devam ederek 178 HB değerini almıştır. Ti katkısı en yüksek olan numunede ise sertlik en yüksek değer olan 182 HB değerine ulaşmıştır. Ti katkısı ile sertlik değerlerinde artış beklenildiği gibi çıkmıştır. Çünkü Ti elementinin ergime sıcaklığı matriste bulunan diğer elementlere göre oldukça yüksek değerdedir. Bu sebepten sinterleme esnasında sıcaklıktan en az etkilenen ve diğer elementler ile en az reaksiyonda bulunan Ti elementidir. Bu nedenle Ti yapıda dağılmadan ve sinterleme işleminden önceki yapısını muhafaza ederek kalmıştır ve alaşımın da sertliğinin artmasına sebep olmuştur [31].

5.1.5.1. Titanyum ilavesinin yoğunluğa etkisi

Sıkıştırılabilirlik ve yoğunlaşma hususunda bir fikir edinebilmek amacıyla tüm numunelerin yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. 850°C sinterleme sıcaklığında elde edilen numunelerin tamamının yoğunluğu 7,06-7,27 g/cm³ arasında değişmektedir. Ti katkı oranının artmasıyla numunelerin yoğunluklarında da belirgin oranda düşüşler meydana gelmiştir [31].

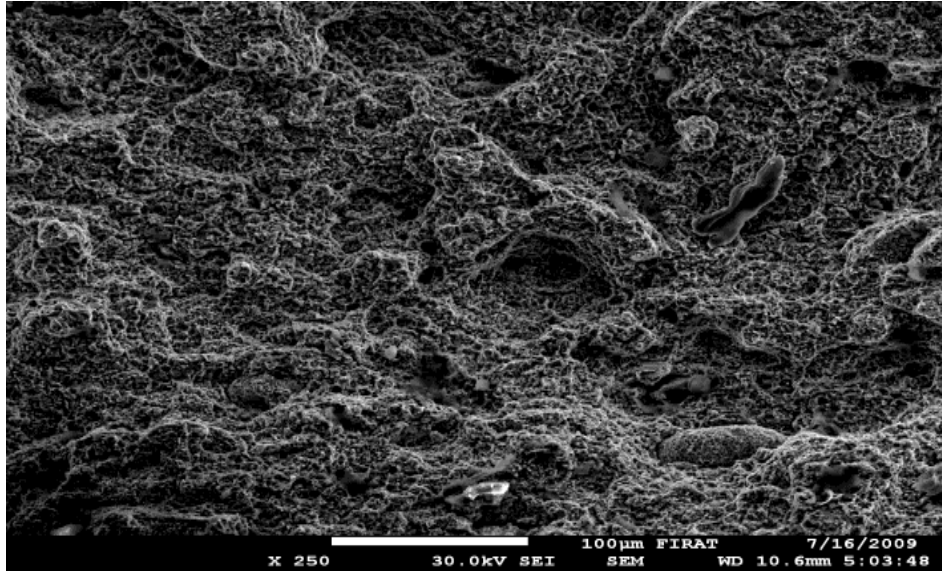
5.1.5.2. Titanyum ilavesinin eğme mukavemetine etkisi

Numunelerin enine kırılma mukavemetlerinin anlaşılması amacıyla yapılan üç noktalı eğme deneylerinin sonucuna bakıldığında zaman alaşımların Ti ilavesiyle numunelerin sertliklerinin arttığı ve tokluklarının düştüğü gözlenmiştir ve buna paralel olarak numunelerin eğilme dayanımının bir miktar azaldığı gözlenmiştir.

Eğme deneyi sonucunda referans numunesinde kırılan yüzeylerin süngerimsi bir görüntüye sahip olduğu ve dolayısı ile numunelerin sünek bir kırılma gösterdiği görülmüştür. %7 Ti ilave edilen N3 numunesinde ise gevrek kırılma izlerindeki artış dikkat çekmektedir. Bu da numunelerin sertlik oranındaki artış Ti oranına bağlı olarak gevrek kırılmanın artış olduğunu gösterir [31].

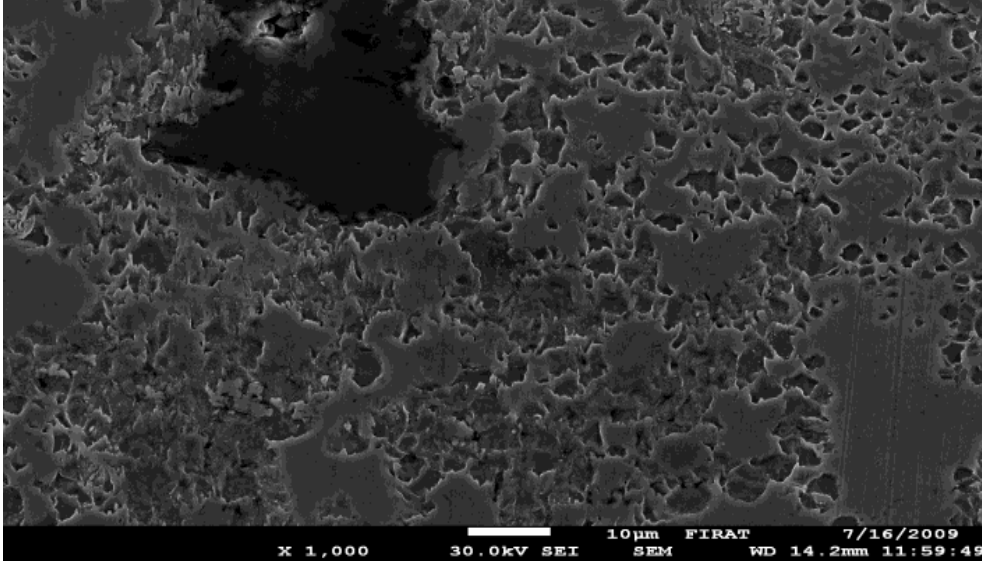
5.1.5.3. Titanyum ilavesinin mikro yapıya etkisi; SEM, EDS ve kırık yüzey görüntüleri

Şekil 5.11’da Ti katkısız referans numunenin kırık yüzey fotoğrafı görülmektedir. Fotoğraftan yüzeylerin süngerimsi bir görüntüye sahip olduğu ve dolayısı ile numunelerin sünek bir kırılma gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu görüntü Ti ilavesiz numunenin sertlik değerlerinin daha düşük çıkmış olması ve üç noktalı eğme deneylerinde daha fazla uzama göstermiş olması sonuçlarını ispatlamaktadır. Ti oranı arttıkça kırılmanın sünekten gevreğe doğru değişimi görülecektir [31].



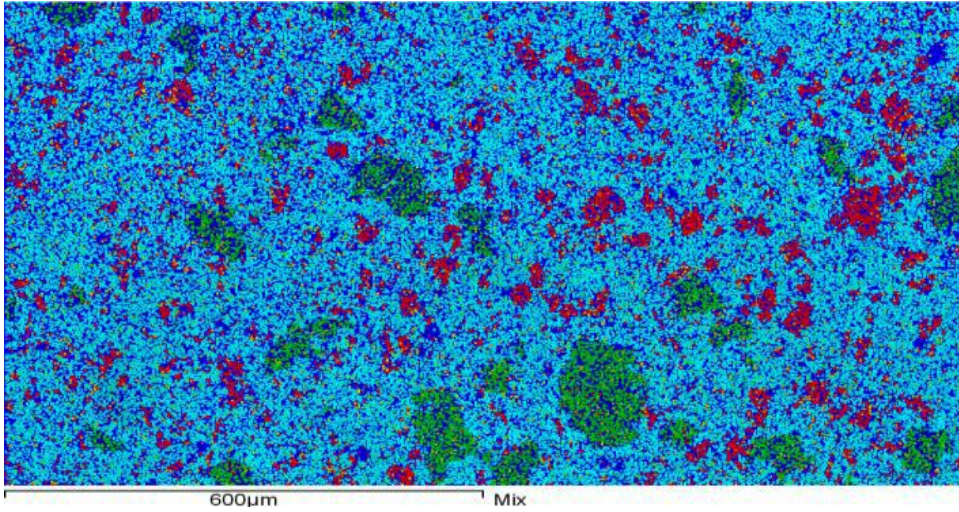
Şekil 5.11 : Ti ilavesiz numunenin kırık yüzey fotoğrafları [31].

%3 Ti ilaveli numunenin 1000X’de alınmış SEM görüntüleri aşağıdaki Şekil 5.12’da görüldüğü gibidir. Şekillerden anlaşılabacağı gibi bu numunenin mikro yapı görüntüsü Ti ilavesiz numunenin mikro yapı görüntüsü ile benzerdir. Bu numune içerisine katılan %3 Ti, numune içerisinde hemen hemen düzgün bir şekilde dağılmış; fakat sinterleme işleminde diğer elementler içerisinde eriyerek kaybolmamıştır [33].



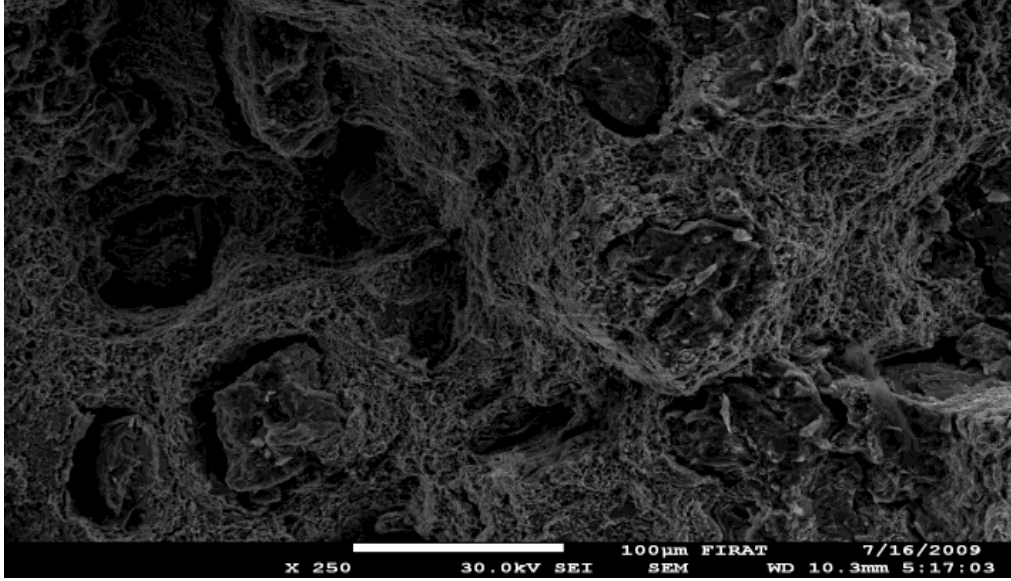
Şekil 5.12 : %3 Ti ilaveli numunenin SEM fotoğrafları [31].

%3 Ti katkılı numunenin EDS yüzey analizi Şekil 5.13’de görüldüğü gibidir. Bu fotoğraftan tüm alaşım elementlerinin yapı içerisinde düzgün olarak dağıldığı anlaşılmaktadır. Turkuaz renkli kısımlar demiri, lacivert kobaltı, kırmızı renk bakırı, sarı renk kalayı, yeşil renk titanyumu ifade etmektedir [31].



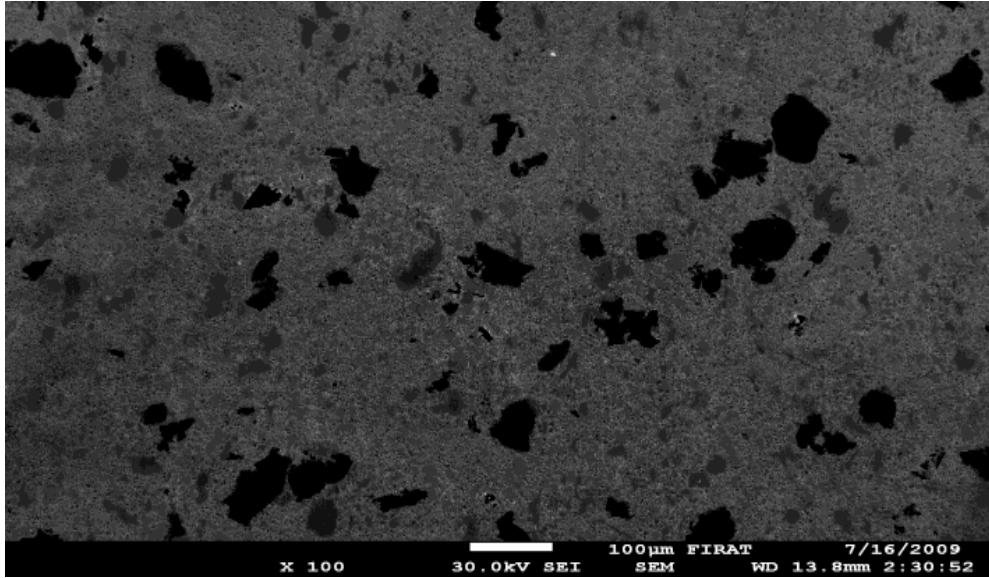
Şekil 5.13 : %3 Ti katkılı numunenin EDS yüzey analizi [31].

Şekil 5.14’de %3 Ti katkılı numunenin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. Bu fotoğraftan numunedeki sünek kırılmanın devam ettiği; fakat bazı bölgelerde gevrek kırılma izlerinin de bulunduğu anlaşılmaktadır.

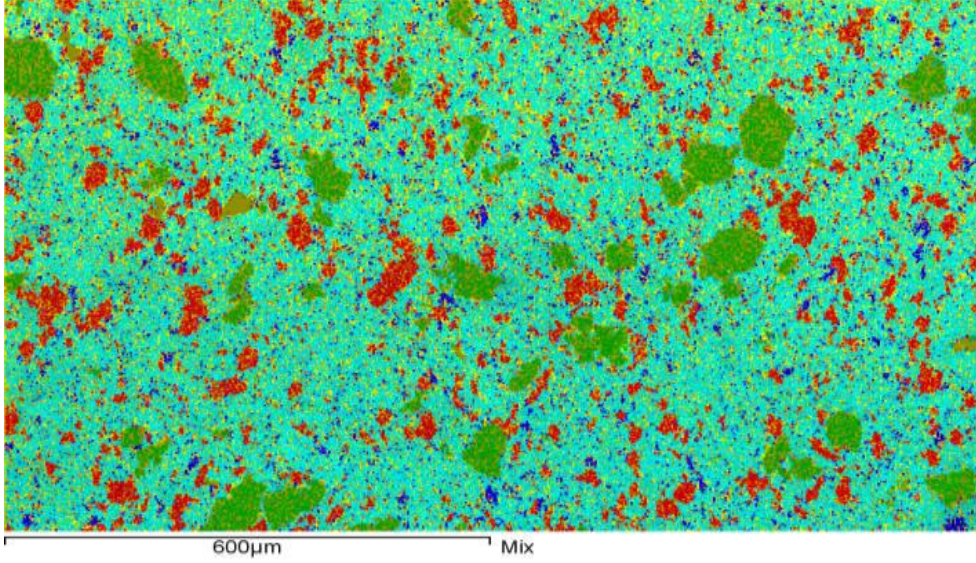


Şekil 5.14 : %3 Ti ilaveli numunelerin kırık yüzey fotoğrafları [31].

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da, iki numaralı ve %5 Ti ilaveli numunenin SEM ve EDS çalışmaları görülmektedir.

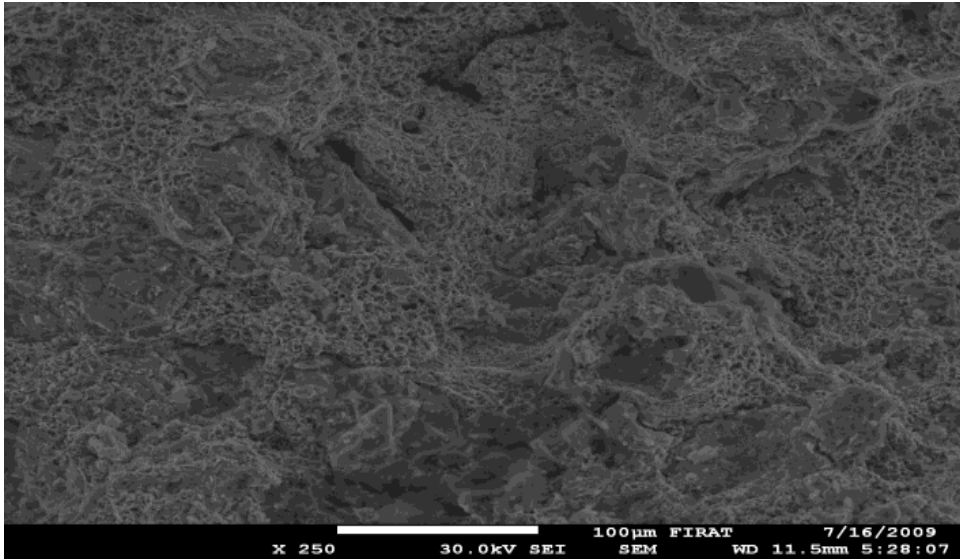


Şekil 5.15 : %5 Ti ilaveli numunenin SEM fotoğrafları [31].



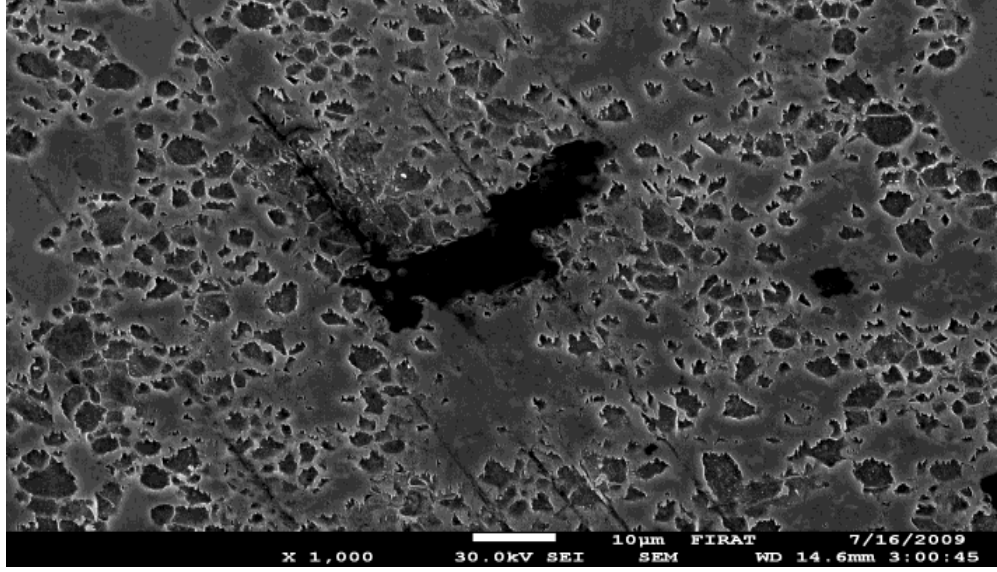
Şekil 5.16 : %5 Ti katkılı numunenin EDS yüzey analizi [31].

Şekil 5.17’de %5 Ti katkılı numunenin kırık yüzey fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflarda süngerimsi bir görünümü olan sünek kırılma bölgeleri ve ayrıca düzlemsel görünüme sahip gevrek kırılma bölgeleri de yer yer mevcuttur. Kırık yüzey üzerinde bazı çatlakların yer alması da gevrek kırılmanın olduğuna dair ipuçları vermektedir [32].



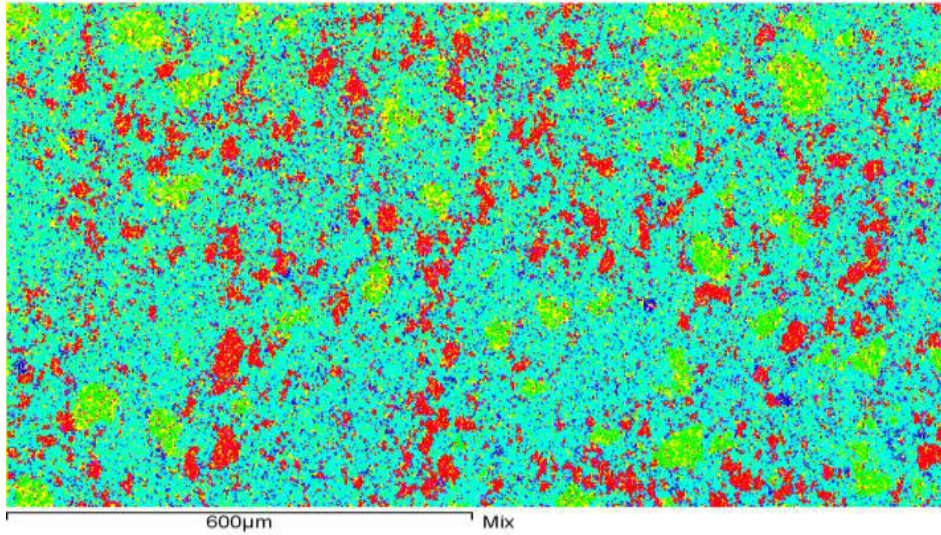
Şekil 5.17: %5 Ti ilaveli numunelerin kırık yüzey fotoğrafları [31].

Şekil 5.18’de %7 Ti ilaveli numunenin görüntüsüne bakıldığında Ti taneleri olan koyu renkli (siyah) bölgelerin varlığının diğer numunelere göre arttığı görülmektedir.



Şekil 5.18 : %7 Ti ilaveli numunenin SEM fotoğrafları [31].

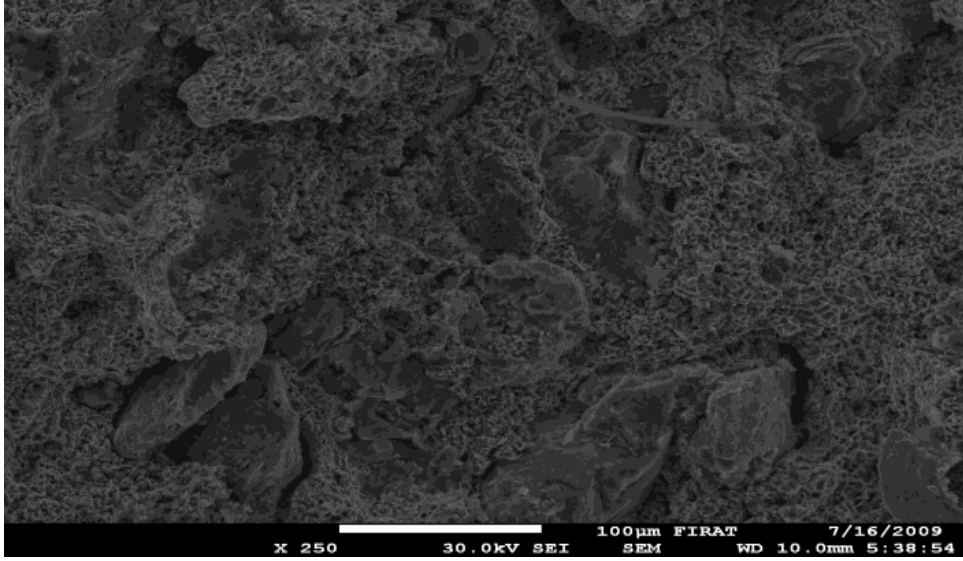
Şekil 5.19'daki EDS yüzey haritasında demir tanelerini türkuaz; kobalt tanelerini lacivert; bakır tanelerini kırmızı; kalay tanelerini sarı ve Ti tanelerini yeşil renk temsil etmektedir. Bu fotoğraftan bağlayıcı görevi üstlenen kobalt tanelerinin yapı içerisinde çok düzgün bir dağılım sergilediği hemen dikkat çekmektedir. Diğer tozlar için de bu durum geçerlidir. Kalayın; bakır toz tane sınırlarında bulunduğu ve sıvı faz sinterlemesinin buralarda gerçekleştiği anlaşılmaktadır [31].



Şekil 5.19 : %7 Ti Katkılı Numunenin EDS yüzey analizi [31].

Şekil 5.20'de %7 Ti ilaveli numunelerin kırık yüzeylerinden elde edilen SEM fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflardan gevrek kırılma izlerindeki artış dikkat çekmektedir. Ayrıca Ti toz tanelerinin diğer tozlarla bileşik oluşturmadığı

görülmektedir. Bu durumda Ti malzemedeki iç gerilmeleri arttırarak sertliğin yükselmesine sebep olmaktadır [31].



Şekil 5.20 : %7 Ti ilaveli numunelerin kırık yüzey fotoğrafları [31].

Alaşıma ilave edilen Ti elementinin yapı içerisinde çok mükemmel bir şekilde dağıldığı ve diğer toz taneleriyle daha iyi bir şekilde kaynaştığı anlaşılmıştır [31].

5.2. Elmas Seçimi

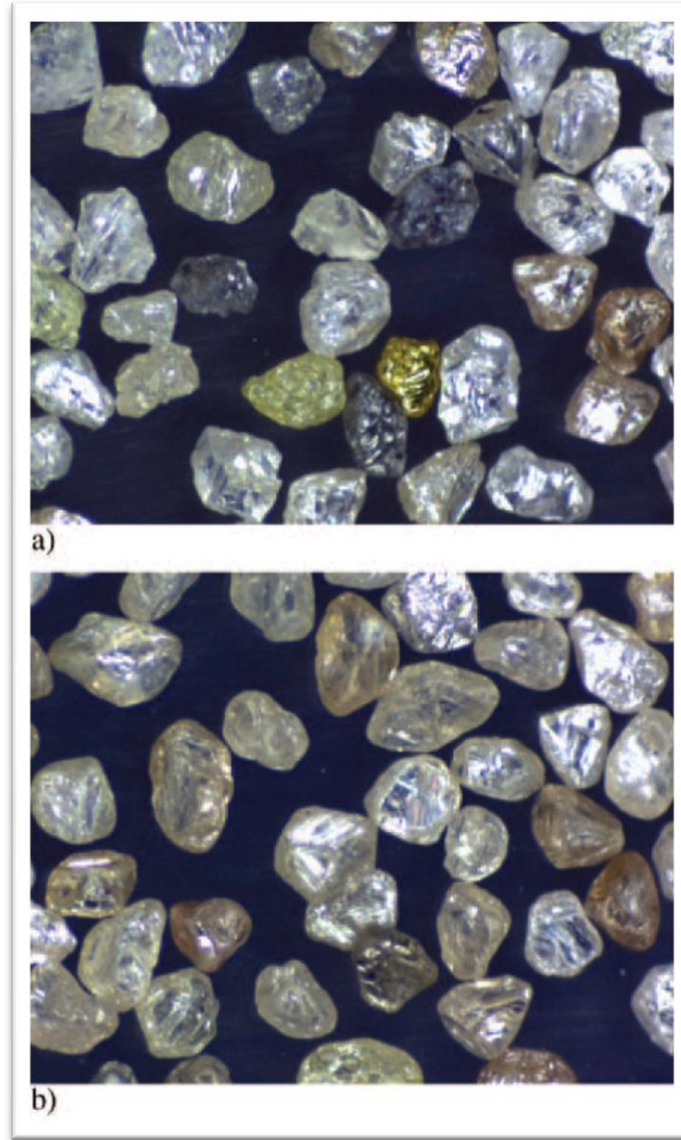
Elmas seçimi yapılırken aşağıdaki parametrelere dikkat edilmelidir:

- Elmas tipi
- Tane boyutu
- Konsantrasyon [12].

Elmas tanecikleri boyut, şekil ve dağılımına bağlı olarak matris içindeki hatalar gibi davranır. Yapılacak kesme işleminde gereksinimleri karşılaması için elmas tipi (türü), tane boyutu ve konsantrasyon göz önünde bulundurulmalıdır. Özet olarak kesici uçlarda yüksek konsantrasyonda ve ince taneli elmas parçacıkları kullanarak sert ve aşındırıcı kayaçlar parçalanırken düşük konsantrasyonda ve kaba taneli elmas parçacıkları kullanarak orta sertlikte ve aşındırıcı olmayan kayaçlar parçalanır [12,54].

5.2.1. Elmas tipi

Üzerinde çalışılacak parça ne kadar sert ise kullanılacak elmas da o derece sert seçilmelidir. Elmaslar doğal ve sentetik olmak üzere iki çeşittir. Kalıntı içermeyen doğal gritler termal kararlılık gösterir ve mekanik özelliklerini 1400°C'ye kadar koruyabilir. Yüksek termal dayanımının yanında daha ucuzdur. Sentetik gritler ise 800°C'nin üzerinde mukavemetlerini kaybetmeye başlar [12,49]. Doğal elmas mermer, kireçtaşı ve nispeten daha yumuşak taşların düz testere ile kesiminde avantajlıdır. Öte yandan düzensiz yüzeyleri mekanik özelliklerine zarar vermektedir. Daha büyük kuvvetlere dayanan yuvarlak şekilli elmaslar seçilerek sorun giderilebilir [12]. Şekil 5.21'de doğal elmas aşındırıcı örneklerini görmekteyiz.



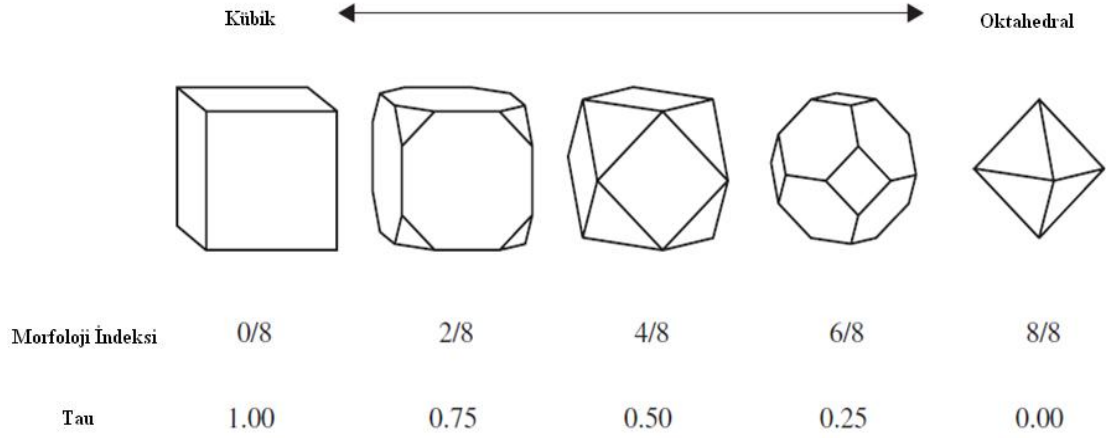
Şekil 5. 21: Doğal Elmas Aşındırıcılar (a) girintili yüzey ve (b) yuvarlak yüzey [12].

Sentetik elmasın avantajı ise gerekli özellikleri elde etmek için istenildiği şekilde tasarlanıp üretilabilir olmasıdır. Sentetik elmas üretiminde katalizör/solvent olarak kobalt veya nikel esaslı alaşımlar kullanılarak farklı içyapılar elde edilir. Kobaltın kullanılması durumunda metal kalıntıları düzgün sıralı bir şekilde dizilirken, nikel katalizör olduğunda safsızlıklar parçacık boyunca homojen dağılır [12].

Elmasın grafitte dönüşmesinde geçiş metallerinden VIII. grupta bulunanlar katalitik etki gösterir. Grafit oluşumu oda sıcaklığında ve atmosferik basınçta termodinamik açıdan gerçekleşse bile reaksiyon çok yavaş olduğundan saptanabilir düzeyde değildir. Artan sıcaklık ile beraber grafit oluşumu hızlanır, elmasın daha bir tabaka halinde grafitte dönüşümü 2000°K ve üzeri sıcaklıklarda meydana gelir. Ancak daha düşük sıcaklıklarda reaktif geçiş metallerinin etkisiyle gerçekleşebilir. 970-1670°K aralığında elmas yüzeyinde grafitleşme görülür. Reaktif metaller içinde en etkili olanı da demirdir [12,55]. Bağlayıcı olarak Fe ya da Ni kullanıldığında Al veya Cu'a göre aşınma daha hızlı gerçekleşmektedir. Malzemenin sertliğinden bağımsız olan bu olay elmasın katalitik aşınmasıdır. Elmasın grafitte dönüşümü sonucunda hacim yaklaşık %56 artar. Elmas/katalitik metal ara yüzeyindeki termal genleşme katsayılarındaki uyumsuzluktan kaynaklanan termal ve grafitleşme gerilimleri sonucu elmas taneleri zayıflar veya parçalanabilir [12]. Elmas oksijen ile reaksiyona girdiğinde CO ve/ya CO₂ ürün olarak çıkar ve elmas yüzeyinde delikler oluşur. Yüzey alanı artan elmasın grafitleşme hızı artabilir. Grafitte dönüşme hızını azaltmak için malzemeler vakum veya inert gaz atmosferi altında sinterlenmelidir. Elmas tanelerinin içindeki safsızlıklar grafitleşme sıcaklığını düşürür [55].

Elmas tanelerinin şekli aşınma sürecinde doğrudan etkili olmaktadır. Buna göre düzenli ve kübik-oktahedral şekle sahip elmaslar düzensiz ve daha az tanımlanmış köşelere sahip elmas tanelerinden daha güçlüdür [12]. Şekil 5.22'de görüldüğü gibi sentez koşullarına bağlı olarak üretilen elmas morfolojisi küp ile sekizyüzlü arasındadır. Elmas şekli, parçacık bütünlüğünü ve elmasın tutunma kabiliyetini açıkça etkilemektedir. Düzenli kübik-oktahedral elmaslar, pürüzlü ve iyi tanımlanamayan köşelere sahip elmaslara kıyasla daha sağlamdır. Sinterleme işlemi sonrasında elmasın hemen çevresinde matriste oluşan kalıntı çekme gerilimi elmasın şekline bağlı olarak, şekli sekizgen olan elmasta dairesel olana göre daha fazla olması beklenir. Ayrıca sadece elastik deformasyon davranışı gösteren matris ile elastik-plastik deformasyona sahip matris kıyaslandığında, elastik-plastik davranışa

sahip malzeme elmas taneleri çevresinde daha düşük gerilim konsantrasyonları oluşturur, çatlak oluşum ihtimali daha düşüktür [12].



Şekil 5.22 : Çeşitli sentetik elmas morfolojilerinin şematik gösterimi ile sayısal kodları [12].

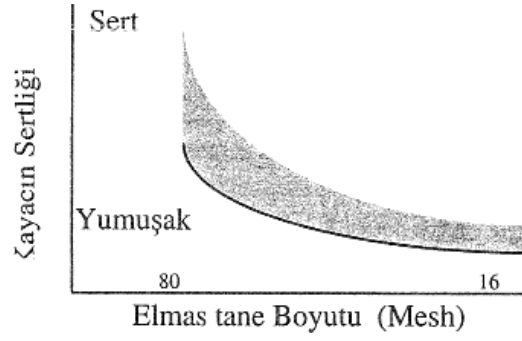
5.2.2. Elmas tane boyutu

Doğal ve sentetik elmas aşındırıcıların her ikisi de tane boyutu açısından ikiye ayrılırlar. Bunlar 'saw' ve 'wheel'. 80 µm den daha kaba taneli elmaslar 'saw' elmas olarak adlandırılmaktadır. Grit boyutu, alt ve üst elek açıklığı değerleriyle tanımlanır. Bazı elmas gritler ayrıca karat başına düşen parçacık sayısı ile de belirlenebilir [12].

Kesici uçlarda kullanılan elmas aşındırıcılar 80 meshten daha kaba tanelidir ve hızlı talaş kaldırma işleminin önemli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Kayaç ve beton kesme işleminde kullanılan elmaslar 18-60 mesh boyutunda (1-0.25 mm) ve küp-sekizyüzlü şekle sahiptir [12,40].

Elmas tane boyutu, onun bağ yüzeyindeki çıkıntısını belirleyerek, talaşın uzaklaşmasını düzenler. Kesicinin çevresel hızı ve kesme hızı tane boyutuyla ilişkilidir. Çevresel hız sabit kalırken kesme hızı artırıldığında, elmas boyutu da artar[40].

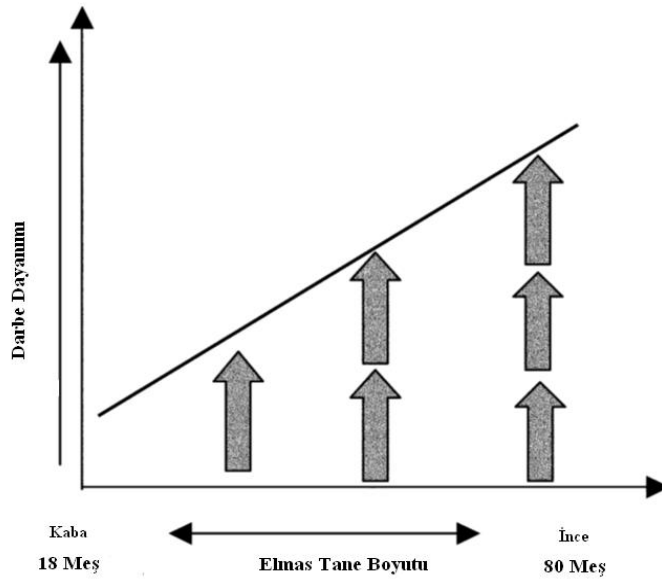
Genel eğilim ince taneli elmasların yüzey kalitesinin önemli olduğu ikincil yavaş kesme işlemlerinde kullanma yönündedir. Daha sağlam olan ince taneli elmasların ayrıca şekil 5.23'da gösterildiği gibi sert ve kesilmesi zor olan malzemeler için de kullanılabilir [12,40].



Şekil 5.23 : Kesilen kayaç sertliği ve elmas tane boyutu arasındaki ilişki [40].

Kaba taneli elmas kullanmanın en büyük avantajı yüksek kesme hızlarında kullanılabilmesidir. Büyük hacimli malzemelerin kesiminde kullanımı mümkündür. Ancak tanelerin çok kaba ve çalışılan malzemenin çok sert olması durumunda aşırı elmas kaybı meydana gelecektir [12].

Sonuç olarak, tane boyutu küçüldüğünde ürünün dayanımı artar. Bu ilişki şekil 5.24’de gösterilmektedir. 80 meşten ince elmas aşındırıcılar aşındırma prosesinde kullanılmaktadır [12].



Şekil 5.24 : Tane boyutuna bağlı olarak elmasın darbe dayanımı [12].

5.2.3. Elmas konsantrasyonu

Bir segmentteki veya boncuktaki elmas konsantrasyonu 4.4 karat/cm^3 ’tür (hacimce %25). Bunun dışındaki konsantrasyonlar nispidir. İşlenmesi kolay ve aşınma direnci düşük bir malzeme ile çalışılacaksa elmas konsantrasyonu daha fazla olmalıdır [12].

Tane boyutu ile birlikte elmas konsantrasyonu birim alandaki kesme noktası sayısını etkiler. Çizelge 5.5’de gösterildiği gibi, toplam elmas sayısı ve oluşan elmas boşluk sayısı konsantrasyonla doğru, tane boyutuyla ters orantılıdır. Genel olarak kolay kesim yapmak ve daha aşındırıcı kayalar için elmas konsantrasyonu daha yüksek olmalıdır [12,40].

Kesici ucun servis ömrünü uzatmak için konsantrasyon artırıldığında kullanılan makinalarda enerji tüketimi de fazla olacaktır. Makinanın gücü artırılmadığı takdirde kesme işlemi gerçekleşmez. Servis ömrü yüksek elmas konsantrasyonu ve ince taneli elmaslar kullanılarak artırılabilir [12,40].

Elmas konsantrasyonu düşürüldüğünde, her bir elmasa gelen yük fazlaşacak ve belirli bir noktaya kadar her bir elmasın kaldırdığı talaş miktarı artacaktır. Eğer elmasın mukavemeti/tokluğu aşılsa, elmas taneleri parçalanır ve matristen düşer. Kaba taneli elmaslar düşük konsantrasyon ile beraber yüksek kesme hızlarında kullanılabilir [12].

Çizelge 5.5 : Kırık yüzey alanındaki (cm²) toplam elmas ve oluşan elmas boşluk sayısı [12].

US Meş No	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

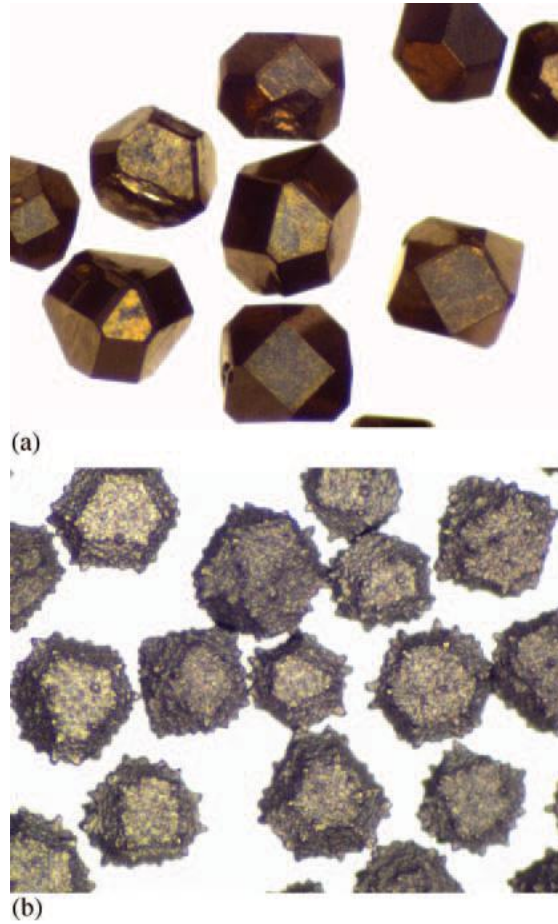
5.2.4. Elmas kaplama

Matrisin deformasyonu sırasında, elmas yüzeyi boyunca metalin kayması gerçekleşir. Elmasın metaller üzerindeki sürtünme katsayısı düşüktür (0.1-0.15) ve bu yüzden metal ara yüzeyde yatay olarak kayar [12].

Kesici takım üretiminde elmas-matris ara yüzeyindeki sürtünme artırılarak elmas ile matris arasındaki bağ geliştirilebilir. İlk yöntem termal ya da kimyasal işlemler ile elmas tanelerinin yüzeyini pürüzlü hale getirmektir. Temel dezavantaj bağ kuvvetinde önemli gelişmeler kaydetmek için elmas yüzeyinden çok fazla miktar

malzeme kaldırılma zorunluluğudur. Böyle bir aşındırma işlemi elmasın bütünlüğüne ve mukavemetine zarar verebilir [12,55].

Elmas ile matrisin tutunmasını güçlendirmek için geniş kullanım alanına sahip en etkili yol ise elmasın, karbürler (titanyum, krom, silisyum, zirkonyum, niyobyum, tungsten, tantalyum) ile kaplanmasıdır. Bununla birlikte karbür tabakasının oksitlenmesini engellemek amacıyla ilave bir nikel kaplaması da yapılabilir [12]. Şekil 5.25’de titanyum karbür ve nikel kaplı elmas tanelerini görebilmekteyiz.



Şekil 5.25 : Kaplanmış elmas taneleri a) titanyum karbür kaplı elmas taneleri b) ilave nikel kaplaması yapılmış elmas taneleri [12].

Titanyum bir karbür yapıcıdır ve bu sayede elmas yüzeyindeki kimyasal reaksiyonlarla elmas-matris arayüzeyinde güçlü bir bağ oluşturduğu için tercih edilir. Nikel ise sinterleme sıcaklığını 1000 °C altına düşürerek elmasın grafitleşmesini engellemek amacıyla kullanılır [12]. Endüstride Ti çok kullanılmaktadır. Ti-Fe arasındaki kimyasal bağ elmas-Ti arasındaki bağlanmadan daha kuvvetlidir. Ayrıca TiC ile kaplanmış elmaslar da kullanılabilir. Örnek olarak TiC kaplanmış demir

esaslı elmas kompozitler akma dayanımı, elastise modülü, aşınma dayanımı gibi özellikleri bakımından Ti kaplanmış elmas kompozitlere nazaran kötü özellikler gösterirken kaplanmamış elmaslara sahip demir kompozitlere göre daha iyi özellikler gösterir [12,55].

Karbür yapıcıların oksidasyondan korunabilmesi için yapılan nikel kaplaması ayrıca mekanik kilitlenmeler yardımıyla elmasların kopması minimize edilebilir. Birincil karbür tabakası (0.1-10µm) kalınlığındadır [12].

Kaplama etkileri üzerine yapılan bir çalışmada 1, 2, 3 nolu sırasıyla (%75Cu-Sn, max %20 Fe), (%40Cu-Sn, %50 Fe), (%25Cu-Sn, %50Fe, %12WC) bileşiminde elmaslı ve elmassız 6 numune üretilmiştir. Bu numunelerde elmas kaplamanın etkisi incelendiğinde, kaplamasız elmas yüzeylerinde 1 nolu numunede bakır ve diğer elementler bulunmazken, Ti kaplamalı elmas yüzeyinde bu elementler görülmüştür. Kırılmanın daha çok bağlayıcı matris tarafında olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan 2 ve 3 nolu numunelerde kırılma sonrası elmas yüzeylerinde daha az, elmasların koptuğu alanlardaki boşluklarda daha çok Ti bulunmaktadır, yani 1 nolu numuneye göre elmas ile kaplama ara yüzeyinde kırılma daha fazla gerçekleşmiştir. Bunun nedeni elmas ile kaplama arasındaki bağın yüksek sinterleme sıcaklıklarında zayıflaması olarak gösterilebilir. 2 ve 3 nolu kaplamasız elmas içeren numunelerde kaplamasız elmas yüzeylerinde demir bulunmuştur. Bu durumda elmasın grafit'e dönüşümü sonucu elmasın mukavemetinde düşüş beklenebilir [46].

Kırık yüzeylerde yapılan EDS çalışmaları önemli bilgiler vermektedir. Kaplamasız elmas yüzeylerinde görülen matris elementleri, elmas ile matris arasındaki kimyasal bağın olmadığını gösterir. Kaplamalı elmas yüzeylerinde matris elementlerinin bulunması, elmas ve matris arasındaki iyi bağlanmanın bir göstergesi olabilir. Örneğin Ti'un Cu ve Sn ile reaksiyonu sonucu bu elementler elmas yüzeyinde kalabilir, fakat yüzeyde Ni görülmemesi Ni-Ti fazının ve ya katı çözeltilisinin üretim koşullarında oluşmadığını gösterir. Kaplamalı elmasların koptuğu noktalarda, boşluklarda Ti bulunabilir. Bu durumda, üretim sırasında ısıdan dolayı elmas ile kaplama bağı zayıflamış ve bu ara yüzeyinde kırılma daha fazla olmuştur [46].

Kaplanmış elmas kullanmanın faydaları özellikle düşük çevresel hızlar ve yüksek kesme hızlarında artan servis ömrü, üretim koşullarında elmas yüzeyinin

oksidasyonunu (700°K) ve grafitte dönüşmesini engelleme, diğer agresif matris bileşenlerinden korumadır [12].

Uygun olmayan üretim koşulları kaplamada sorunlara neden olur ve performansa etkisi negatiftir. En ciddi tehlikeler kaplamanın oksitlenmesi ve kaplamanın matris içinde çözünmesidir [12].

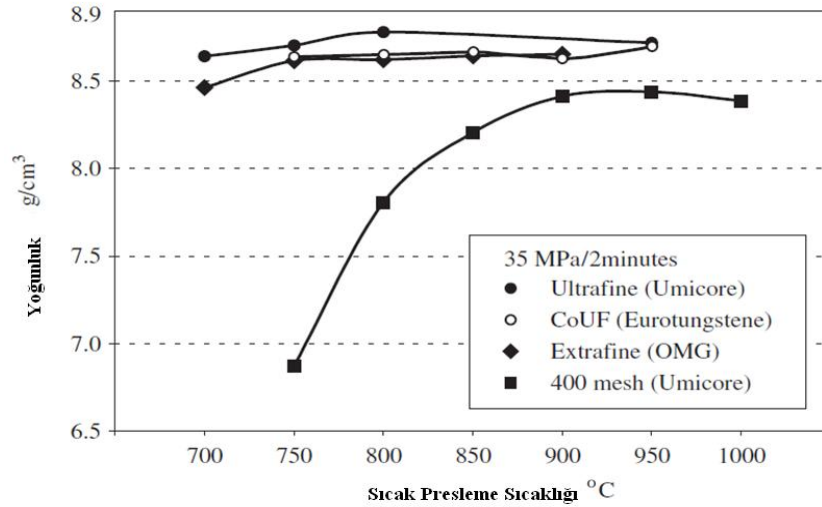
6. ELMAS KESİCİ TAKIMLARDA METAL MATRİSİN MİKROYAPISI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

6.1. Matrisin Mikroyapısı

Yoğunluk, tane boyutu, mukavemet, sertlik, süneklik, aşınma direnci gibi özellikler matrisin mikroyapısı ile doğrudan alakalıdır.

6.1.1. Yoğunluk

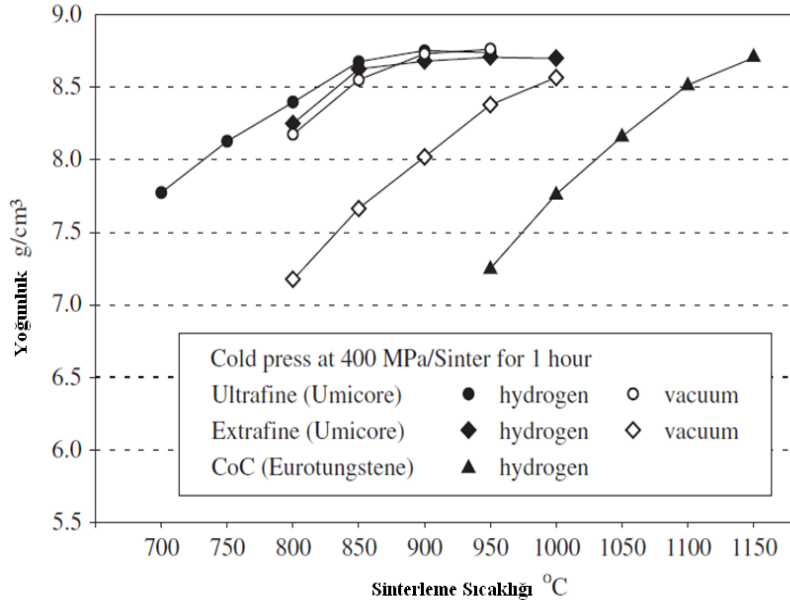
Toz metalurjisi ile üretilen elmas kesici takımlarda teorik yoğunluğa yaklaşmak çok önemlidir. Farklı kobalt tozu çeşitleri için sıcak presleme eğrileri Şekil 6.1’de verilmektedir.



Şekil 6.1 : Kobalt tozlarına ait sıcak presleme eğrileri [12].

Elementel veya alaşım olarak bakır ve kalayın kobalta ilavesi presleme sıcaklığını veya basıncını düşürmektedir. Tungsten ve tungsten karbür tozları kullanıldığında ise tam tersi bir etki görülmektedir [12].

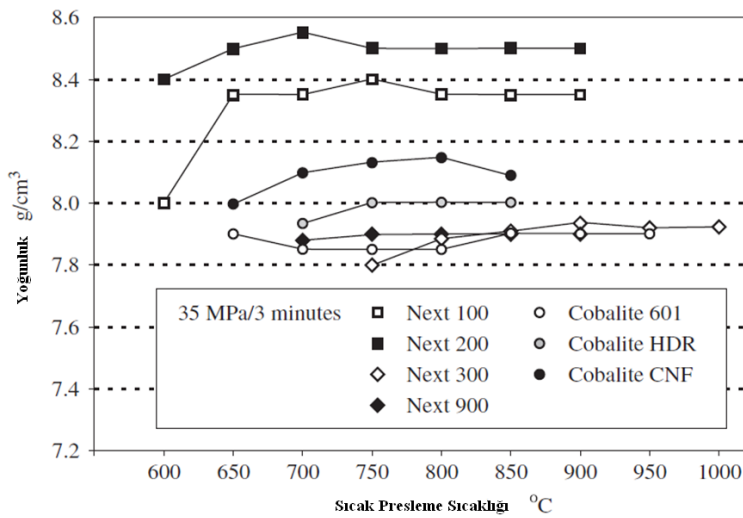
Geleneksel soğuk presleme/sinterleme yöntemi kullanıldığında ise durum değişmektedir. Şekil 6.2’de aynı kobalt tozlarına ait sinterleme eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 6.2 : Kobalt tozlarına ait sinterleme eğrileri [12].

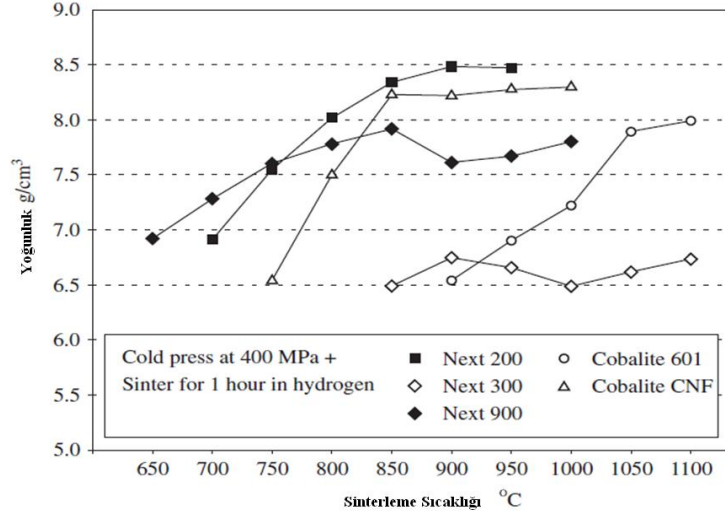
Sinterleme işlemi hidrojen atmosferinde yapıldığında daha yüksek yoğunluklara çıkılmaktadır. Fakat hidrometalurjik prosesler sonucu üretilen Umicore Ultrafine türüne ait oksit içermeyen tozlar da düşük sıcaklıklarda yüksek yoğunluklara ulaşmaktadır. Öte yandan Eurotungstene CoC türünde görüldüğü gibi oksit içeren tozların sinterlenmesinde zorluklar yaşanmaktadır [12].

Çizelge 5.3’de kobalta alternatif olarak verilen tozlar yüksek sıcaklıkta mükemmel sıkıştırılabilirlik davranışı sergiler. Şekil 6.3’de gösterildiği gibi çoğunluğu istenilen yoğunluklara 650-800°C aralığında ulaşmaktadır [12].



Şekil 6.3 : Kobalta alternatif tozların sıcak presleme eğrileri [12].

Şekil 6.4’de gösterilen bazı matris tozları basınçsız sinterleme işlemi sonucu yoğunluk problemleri ile karşılaşabilir. Cobalite 601 ve Next 300 tozlarında 1100°C sinterleme sıcaklığına rağmen boşluklar tolere edilecek kadar giderilememiştir. Geleneksel yöntemin bir diğer dezavantajı da sinterleme sonrasında soğuma sırasında matriste mikro çatlak oluşmasıdır [12].



Şekil 6.4 : Kobalta alternatif tozların sinterleme eğrileri [12].

Ayrıca 1 saat süre ile hidrojen atmosferinde sinterlenmiş soketten çıkarılan elmaslar incelendiğinde; demir esaslı matrislerden 850°C’de işlem gören Cobalite CNF tozlarının elmaslara zarar vermediği ama 1100°C’de Cobalite 601 tozlarının karbonun östenit içindeki çözünürlüğünden ötürü elmasların bozunmasına neden olduğu açıktır [12].

Demir, kobalt, bakır ve nikel esaslı farklı alaşımlara %12’ye kadar Sn ilavesinin etkisi yoğunluğu artırıcı yönde olmuştur [12].

6.1.2. Tane boyutu

Metallerin mukavemetini artırma yöntemlerinden biri de tane boyutunu düşürerek bunu sağlamaktır ve Hall-Petch bağıntısı ile belirlenir. Dislokasyon hareketleri tane sınırları artırılarak engellenir, mukavemet artar [12].

Elmas katkılı kesici takımlarda tane boyutu başlangıç tozlarının çeşidine ve üretim koşullarına bağlıdır. Çoğu uygulamada ince taneli tozlar kullanılır. Oksitler tane büyümesini yavaşlatır, bazen oksit fazlarının varlığına rağmen 877°C üzerinde beliren sıvı Co-Co₄S₃ötektiği tane sınırlarına nüfuz eder ve hızlı göçe olanak sağlar. Yüksek sıcaklıklarda uzun süren sinterleme işleminde tane büyümesi gerçekleşir.

Sinterleme atmosferinde kararsız oksitler redüklenir, oksitler ve gözenekler tane sınırının hareketini engelleyemez, tane büyümesi gerçekleşirken aynı zamanda yoğunluk da beklenen değerlere yaklaşılır. Gözenekler tane büyümesini engellemektedir, gözeneklerin türü ve miktarı tane boyutu ile ilişkilendirilebilir. Bu ilişkide d_g ortalama tane boyutu, d_p boşlukların ortalama boyutu, V_p gözeneklerin hacim fraksiyonudur [12].

$$d_g \sim d_p/V_p \quad (6.1)$$

6.1’de verilen ilişkiden çıkarılan sonuç, boşlukların tane büyümesini engelleyen etkisinin, sinterlenen malzeme teorik yoğunluğuna yaklaştığında azalmasıdır [12].

6.1.3. Toparlanma ve yeniden kristalleşme

Toz metalurjisi ile üretimde uygulanan basınç sırasında malzemede dislokasyon ve boşluk gibi hataların yoğunluğu artmaktadır. Daha sonraki aşamada yüksek sıcaklıklarda toparlanma gerçekleşmekte ve hataların azalması ile iç gerilimler giderilmektedir. Verilen enerji arttırıldığında ($0.4T_{ergime}$) dislokasyon yoğunluğunun çok olduğu yüksek enerjili bölgelerde yeni kristal çekirdekleri oluşur ve malzemenin mukavemeti düşer sünekliği artar [12].

Genellikle tozların oksijen içeriği ne kadar fazla ise yeni çekirdek oluşumu o kadar zor olur. Malzeme yeniden kristalleşmeye direnerek yüksek sıcaklıklarda sertliğini korur. Özellikle kararlı oksitleri oluşturan elementlerden kalsiyum ve silisyum içeren tozlar 1300°C ’de 1saat tutulmasına rağmen yeniden kristalleşme tamamlanamayabilir [12].

6.1.4. Faz kompozisyonu

Kobaltın iki allotropik formu vardır; 421°C ’nin altında kararlı sıkı paket hekzagonal ve üzerinde karalı olan yüzey merkezli kübik hücredir. Tane boyutu ve deformasyon sertleşmesi üssü allotropların kararlılığını etkilemektedir. İnce taneler ve artan hata yoğunlukları malzeme oda sıcaklığına soğutulduğunda bile kübik formun yapıda bulunmasına olanak verir [12].

YMK yapısı (ϵ fazı) atomların yer değiştirmesi ile HSP yapısına (α fazı) dönüşmektedir. Bu dönüşümü mekanik deformasyon harekete geçirmektedir. Kesme işlemi sırasında sokete uygulanan kayma gerilmeleri bu dönüşümü tetiklemektedir [12].

YMK ve ya YMK/HSP karışımı yapıyı korumak için toz metalurjisi uygulamalarında demir en uygun kübik faz düzenleyicidir. Pratikte kobalta %10 demir bu amaçla ilave edilmektedir. Sertlik ve akma dayanımındaki düşüşe rağmen süneklik artmaktadır. Alüminyum, titanyum, zirkonyum ise oksitlenmeye yatkınlığından dolayı pek tercih edilmemektedir [12].

Kobalta bronz alaşımlarının ilavesi bazı uygulamalarda önem kazanmıştır. Elementel karışım ve/ya ön alaşımlandırılmış olarak kullanılan tozlardan kalay 232°C'nin üzerinde ergir ve katı tozlar ile etkileşime girerek difüzyona bağlı homojenliği sağlar. Sıcak presleme yoluyla üretilmiş malzemelerde uygulanan basınç ile boşlukların giderilmesi ve yoğunluğun artırılması amaçlanmaktadır. Fakat düşük sıcaklıklarda kısa süreli presleme sonucu homojen bir alaşım elde edilemez, x-ışınları difraksiyon spektrumunda bu durum elementel karışım ile hazırlanmış bronz tozlarının piklerinde görülen genişleme ile fark edilir [12].

İlave edilen elementler çoğu sistemde intermetalik oluşumuna neden olur. İntermetalikler tane sınırlarında ve ya fazlar arası bölgelerde çekirdeklenir. Bu faz ergime noktası yüksek ve sert bir bileşiktir, fakat mekanik özelliklerde gerilemeye neden olur. %10 kalay içeren kobalt matriste hekzagonal Co_3Sn_2 fazı görülürken, kobalt matrise %10 kalay içeren bronz ilavesi sonucu intermetalik bileşik saptanamamıştır. Co_3Sn_2 fazı malzemeyi daha yoğun ve sert yaptığından yüksek elmas tutma özellikleri beklenebilir [12].

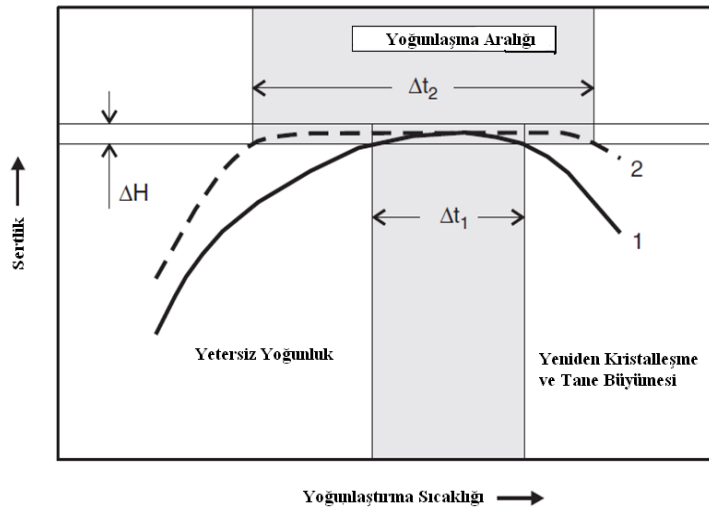
Karıştırılmış tozlara göre ön alaşımlandırılmış tozlar, sinterleme işlemi için daha uygundur. Karıştırılan tozlarda alaşımdaki elementlerin farklı difüzyon hızlarından kaynaklanan boşluk oluşumu görülür. Ayrıca ergiyen bir fazın varlığında, bu sıvının katılar içindeki çözünürlüğüne bağlı olarak boşluklar oluşabilir ve mekanik özelliklerde gerileme görülebilir. Örneğin bakır-kalay toz karışımında sinterleme sırasında kalay ergir ve bakırın yapısına girer ve böylece önceki kalay tanelerinin olduğu yerlerde boşluklar oluşur [12].

6.2. Matrisin Mekanik Özellikleri

Sertlik, akma dayanımı ve tokluk gibi malzeme özellikleri matrisin elması tutma kabiliyetini etkilemektedir ve endüstriyel uygulamalarda hesaplanarak incelenmektedir.

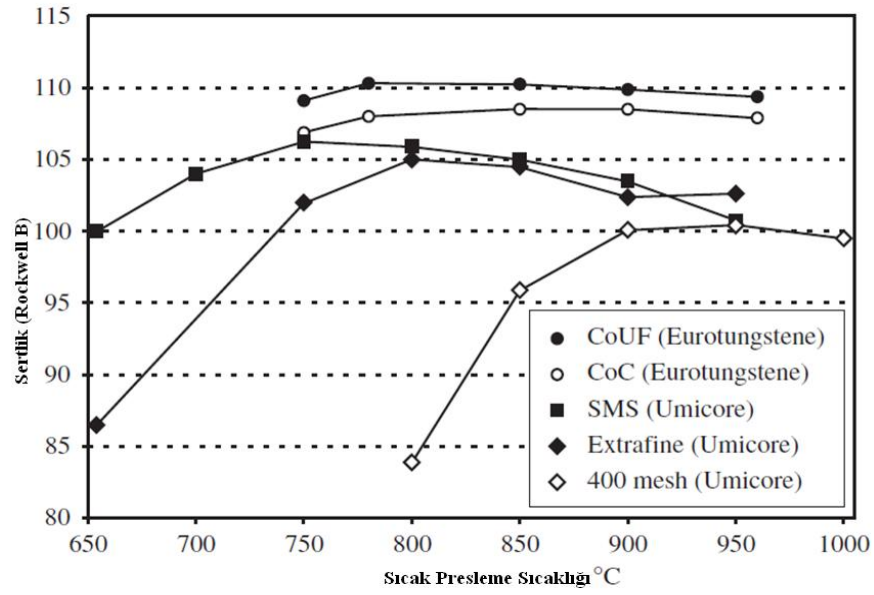
6.2.1. Sertlik

Optimum yoğunluk değerlerine sahip matrisin sertlik değerleri kompozisyon ve üretim şekline bağlı olarak belirli bir değerdedir. Yoğunlaşmanın tamamlanmadığı durumlarda sertlik değerleri beklenen değerlere ulaşamaz, bu yüzden sertlik ölçümü kullanışlı bir kalite kontrol yöntemidir. Matrisin sertlik değeri ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki ilişki şekil 6.5’de gösterilmektedir. Düşük sıcaklıklarda plastik deformasyon miktarı ve malzemenin yoğunluğuyla doğru orantılı olarak sertlik değeri artmaktadır. Tam yoğunluk değerine ulaşıldıktan sonra tane büyümesi ve yeniden kristalleşme başlamakta ve malzeme sertliğinden kaybetmektedir [12]. Presleme sıcaklığına bağlı olarak farklı kobalt tozlarının sertlik değerleri Şekil 6.6’da verilmiştir.



Şekil 6.5 : Tozların yoğunlaşma sıcaklığının fonksiyonu olarak sertlik [12].

Sertlik pratik olarak matrisin elmas tutma yeteneği hakkında ölçü olabilir. Fakat tek başına yeterli bir yöntem değildir. Çünkü sertlik ölçümleri, malzemenin deformasyon sertleşmesinden etkilenmektedir. Ek olarak özellikle dairesel testere ile kesim sırasında matrise uygulanan yüksek frekanstaki yük ve elmas-matris ara yüzeyinin tepkisi hiçbir statik test ile elde edilememektedir. Matrisin deformasyonu sırasında elmasın metallerle olan sürtünme katsayısı düşük olduğundan metal yatay olarak kayar. Kaplamalı elmas kullanarak veya bazı matris tozlarının elmas yüzeyinde reaksiyona girmesi sonucu oluşan yeni yüzeyler yardımıyla sürtünme katsayısı artırılır. Sürtünme katsayısındaki artışın, matrisin elmas çevresindeki plastik akmasını gerçekleştirmek için gerekli basıncı artırması beklenmektedir [12].



Şekil 6.6 : Ticari kobalt tozlarına ait sertlik değerlerinin presleme sıcaklığı ile ilişkisi [12].

Kobalta, %11 kalay ilavesi %35 oranında sertlik artışına neden olur. Cu-%18Co-%17Fe-%10Sn sisteminde ise kalay ilavesinin etkisi incelendiğinde, sertlik değerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Fe-%20FeCr-%12Sn ve Ni-%33Cu-%5.5Fe-%6.5Sn sistemlerine bakıldığında da sertlik değerlerinde önemli artışlar gözükmemektedir [12].

Ni-Co-Ti alaşımı ile $Ti_{87}Ni_{13}$ ikili sistemi incelendiğinde %10 kobalt ilavesinin sertlik değerini arttırdığı gözlenmekte fakat %40 kobalt ilavesi yapılan sistemin sertlik değerlerinde %10 kobalt ilaveli sisteme göre bir değişiklik olmamaktadır [12].

6.2.2. Akma mukavemeti

Matrisin akma mukavemeti elmasın tutunmasını etkileyen bir diğer parametredir. Tozun özelliklerine ve üretim yöntemine bağlı olarak akma değerleri değişir. Matrisin akma dayanımı geçildiğinde, elmasın tutunması zarar görür. Elmas kesici takımın matris elemanının akma dayanımı mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Düşük akma dayanımı ile birlikte yüksek elastik modül matrisin deformasyonunu kolaylaştırır ve böylece elmas ile matris arasındaki bağ zayıflar [12,41].

6.2.3. Eğme mukavemeti

Elmas kesici takımların elastik, plastik bölge karakterizasyonunda eğme testi yaygın kullanılan bir uygulama haline gelmiştir. Sinterlenmiş malzemenin dayanıklılığını basitçe ortaya koymaktadır [12].

Eğme testinin pratik olarak endüstriyel uygulamalarda kullanılmasının bir nedeni de kaplanmış elmasların matrise tutunma kabiliyetini ölçmektir. Aynı boyut ve konsantrasyondaki elmaslar göz önüne alındığında kaplanmamış elmasların eğme mukavemeti daha düşüktür [12,46].

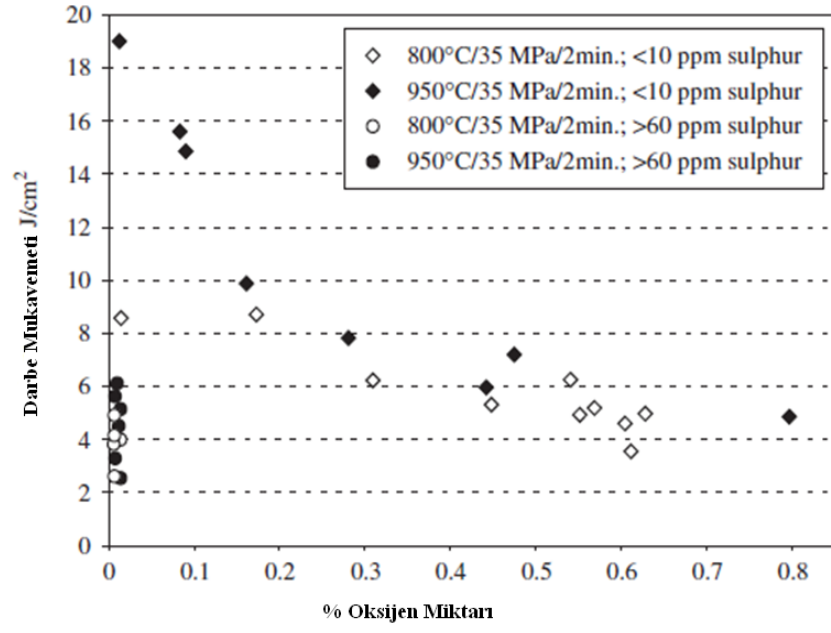
Farklı bağlayıcılar ile kaplamasız elmaslar içeren farklı numuneler incelendiğinde elmas-matris ara yüzeylerinin hemen hemen aynı olduğu ve boşluklar içerdiği görülmektedir. Bu yüzden farklı numunelerin eğme mukavemetinde görülen değişimler, elmas-matris ara yüzeyinde oluşan bağlanmadan çok, matris atomlarının birbiriyle oluşturduğu bağdan kaynaklanmaktadır. Kaplama içeren elmaslarda ara yüzey daha sıkıdır [46].

Elmas takımların eğme mukavemeti hem matrisin kendi içindeki bağlanmasına hem de elmas-matris arasındaki bağa bağlıdır, fakat bağlayıcının kendi içindeki bağ kuvveti daha etkilidir [46]. Eğme mukavemeti sinterleme sıcaklığının artması ile artış göstermektedir, sinterleme sıcaklığı kaplamaya göre eğme mukavemeti üzerinde daha baskındır. Ayrıca matris içindeki elmas taneleri şekil ve dağılımına bağlı olarak yapı içinde hatalı bölge olarak davranır ve eğme testlerinde matrisin dayanması gereken sınırın altında sonuçlar doğurur [12].

6.2.4. Darbe mukavemeti

Toz metalurjisi ile üretilen malzemelerin darbe mukavemeti malzemenin yoğunluğuna, kimyasal kompozisyonuna, tane boyutuna ve safsızlıklara bağlıdır. Özellikle artan boşluk miktarı ile birlikte tokluk düşmektedir.

Şekil 6.7’de gösterilen sıcak presleme ile üretilmiş alaşımsız kobalt numunelerinin tokluk değerleri içerdiği safsızlıklara bağlıdır.



Şekil 6.7 : Sıcak preslenmiş kobalt tozlarının darbe mukavemetine oksit ve sülfürün etkisi [12].

7. DOĞALTAŞ KESİMİNDE KULLANILAN ELMAS KESİCİ TAKIMLARIN AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ

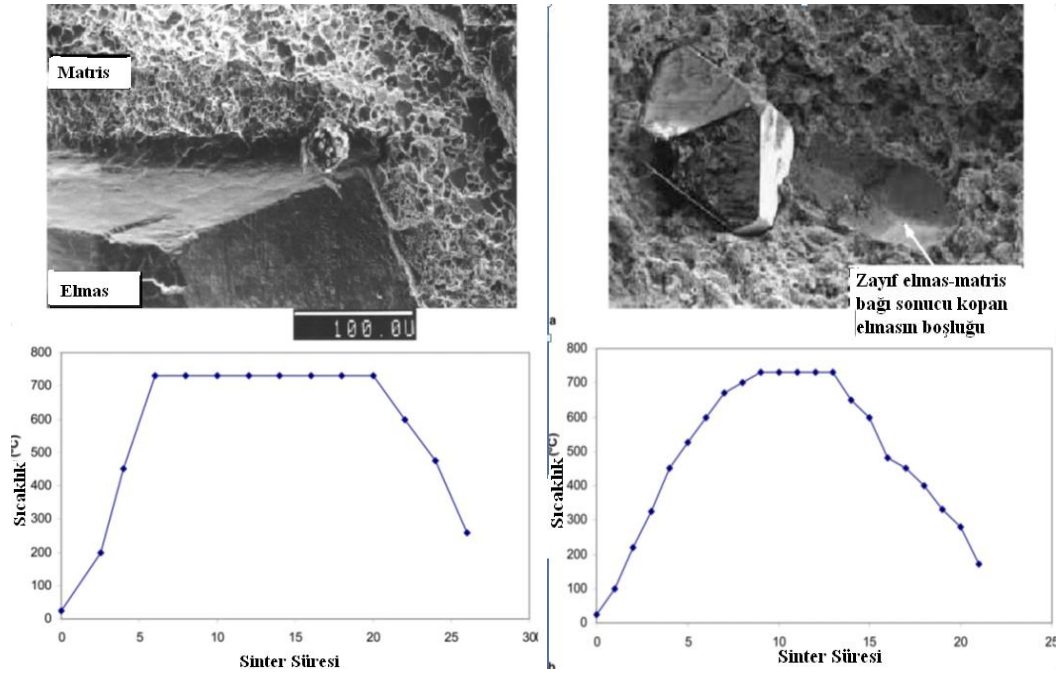
Doğal taş kesiminde kullanılan kesici uçların kesme işlemi esnasında gösterdikleri aşınma özelliği, bu malzemeler için en önemli parametrelerden biridir. Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi elmasları yerinde tutan ve kesme işini destekleyen matris, kesici takımlardaki elmasların randımanlı kullanımından sorumludur. Elmasların etrafındaki matrisin aşınarak, ancak elmasların kendi konumlarındaki yerlerinden çıkmasına izin vermeksizin, takımın maksimum hızda çalışması beklenir. Matrisin kesme işlemi sürecinde optimum bir hızla aşınması sonucu değişik yüzeyaltı elmas tanecikleri yüzeye gelerek kesme işleminin sürekliliğini sağlamalıdır. Kısacası malzemenin kesme işlemi sırasında göstereceği aşınma tutumu, kesme işleminin istenilen düzeyde gerçekleşmesi için en önemli parametrelerdendir. Kesme işlemi esnasında istenilen aşınmanın meydana gelmesi için metal matris ve elmas tanecikleri arasındaki ilişkiyi doğrudan etkileyen sinterleme süresi ve sıcaklığının etkisi çok büyüktür.

7.1. Sinterlemenin Aşınma Dayanımına Etkileri

Kesici takımlarının mikroyapısını belirleyen iki ana evre olan matris ile elmas arayüzeyinde sinterleme koşullarında kimyasal bir reaksiyon oluşması istenir ve bu reaksiyon, elmaslı kesici takımın ömrünü büyük ölçüde belirler. Bu bağ reaksiyonunun oluşumu metal tozlarının bileşimine, partikül boyutuna ve dağılımına, gaz ortamının koruyucu etkisine, sinterleme sıcaklığına, süresine ve basıncına bağlıdır. Bu şekilde mekanik bir bağın yanı sıra kimyasal bir bağ da oluşturulmaya çalışılır [29].

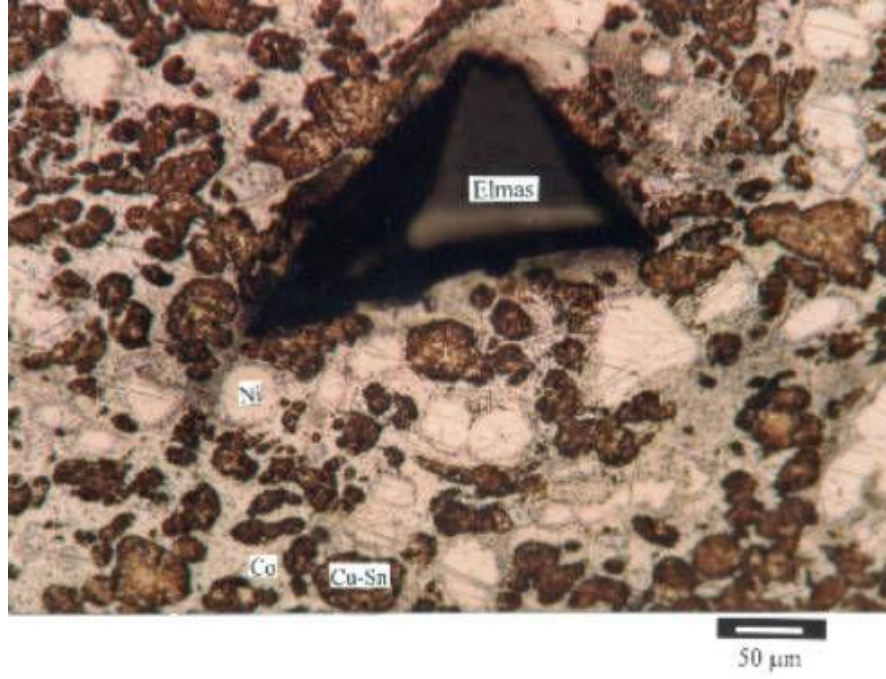
Elmaslı kesici takımın başarılı bir şekilde sinterlenmesini engelleyen en önemli etken yüzey oksitlerdir; toz yüzeyindeki oksit filmleri temel sinterleme reaksiyonlarını önlemektedir. Bu tür uygun metaller ile sağlanan metalurjik ısıtma matrisle kuvvetlice bağlanan elmaslar, sadece mekanik yolla tutulanlara nazaran matris içerisindeki oturma yüzeyinden koparak uzaklaşmaya (yerinden sökülme) karşı

daha dirençlidir.Şekil 7.1 yetersiz ve doğru sinterleme sonucu elmas matris arasında oluşan zayıf ve kuvvetli bağ yapılarının sem görüntüleri verilmiştir [29].



Şekil 7.1 : Kuvvetli ve zayıf elmas-matris bağına ait SEM görüntüleri [12].

Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucu, doğal taş kesme koşullarında etken aşınma mekanizmalarının belirlenmesi için deneylerde kullanılacak numuneler farklı sinterleme sürelerine tabii tutulmuştur. Sabit sinterleme sıcaklığına (730°C) sahip numuneler 3, 5 ve 15 dakikalık sinterleme sürelerinde hazırlanmıştır. Sinterleme testleri sonrası aşınma deneyleri için yalnızca iyi bağ koşullarının olduğu ve eğme mukavemetlerinin diğerlerine göre yüksek olduğu 15 dakikalık sinterleme sürecinden oluşan elmas kesici takım devreye sokulmuştur. Sinterleme karakteristiğinin doğru belirlenmesi neticesinde çatlak başlangıcına duyarlı evreler büyük ölçüde giderilmiştir. Sinterleme işlemi sonucu tipik gözenekler kapanmış ve matris-elmas ara yüzeyindeki bağ kuvvetlendirilmiştir. Kullanılan kesici takım bileşiminin tipik bir sinterleme sonrası görünümü Şekil 7.2'de sunulmuştur. Şekilde görülen mikroyapıda dolgu evresi katkı tozu olarak kullanılan Sn tozları Ni tozlarının etrafını çevreleyerek Co tozlarının Ni tozlarını ıslatmasında katkıda bulunmuştur. Böylece matrisi oluşturan Co-Ni tozları arasında da iyi bir bağ elde edilmiş olur [29].



Şekil 7.2 : Elmas kesici takım mikroyapısının ışık mikroskobu görüntüsü [29].

Sonuç olarak kesme sırasında malzemede istenilen aşınmanın gerçekleşmesi ve verimin yüksek olması için kullanılan metal tozlarının oranı kadar sinterleme sıcaklığı ve süresi de önemlidir. Aşınma karakteristiği için yapılacak testlerde de kullanılan elmas kesici numunelerin sinter süresinin yaklaşık 15 dakika olması kanısına varılmıştır.

7.2. Matrisin Aşınma Karakteristiği ve Aşınmayı Etkileyen Diğer Faktörler

Doğal taş kesicide disklerde, elmas soket ile doğal taş arasındaki sürtünmenin etkisiyle zamanla aşınma meydana gelmektedir. Soket aşınması üretim esnasındaki sinterleme süresine ve sıcaklığı dışında matris malzemesine, elmas konsantrasyonuna, elmas boyutuna ve kesme parametrelerine bağlıdır [12].

Aşınma karakteristiğini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalarda mermer malzeme iş parçası olarak kullanılmış ve elmas testere ile sabit bir hızda (yaklaşık 40m/s) nihai aşınmaya (soket malzemenin kesmeden mermer üzerinde kayarak ilerlemesi) kadar kesme işlemi sürdürülmüştür. Bazı çalışmalarda ise sanayide kullanılan kesici disklerin incelenmesi yapılarak aşınma karakteristikleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Soketlerde meydana gelen aşınma genellikle kumpas ve mikrometre ile ölçülmektedir [29].

Elmas kesiciler ile kesme işlemi esnasında kesici disk yüzeyine üç yönlü kuvvetler etki etmektedir. Bu kuvvetlerin etkisi ile hem kesici disk zorlanmakta hem de elmas soket aşınması önemli ölçüde etkilenmektedir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre doğal taş içerisindeki kuvars oranının elmas soket aşınması üzerinde önemli etkisinin olduğunu vurgulamışlardır [34]. Ayrıca farklı kuvvetlere maruz kalan kesici diskin zorlanmasıyla birlikte kayaç ile elmas soketler arasında önemli sürtünme kuvvetleri oluşmaktadır. Sürtünmenin meydana gelmesi ile elmas soket sıcaklığı artmakta ve bunun sonucunda elmas soket ömrü önemli ölçüde azalmaktadır. Kesme esnasında soğutma sıvısının kullanılması elmas soket sıcaklığını önemli ölçüde azaltsa da, özellikle kuru kesme koşullarında daha büyük sıcaklıklar meydana gelmektedir. Soğutma sıvısı olarak genelde su kullanılmaktadır. Su elmas soket üzerindeki sıcaklığı azalttığı gibi mikro boyuttaki kaya parçacıklarını ortamdan uzaklaştırır. Kesme esnasında ortamdan uzaklaşmayan mikro boyuttaki bu kayaç parçacıkları elmas soket yüzeyine yapışıp aşınmanın belirlenmesinde önemli rol oynadığı görülmüştür. Kısacası soğutma sıvısı(su) hem yüksek sıcaklığı azaltarak hem de mikro boyuttaki kayaç parçacıklarını ortamdan uzaklaştırarak sürtünme kuvvetini azaltıp gereksiz aşınmayı engeller [35].

Bir başka çalışmada ise farklı granit türü kayaçların elmas kesici diskler ile kesilmesinde aşınma davranışlarını araştırmıştır. En sert doğal taşın kesilmesinde aşınmanın daha fazla olduğu elde edilen temel sonuçtur. Farklı kayaç türlerinin elmas soketler ile kesilmesi işleminde aşınma ve güç tüketimini incelemişlerdir. Elmas soketin aşınmasında doğal taşın minerolojik özelliklerinin önemli etkisinin olduğu ve kayaç sertliğinin artması ile zor bir kesme işleminin yapıldığı görülmüştür. En yüksek aşınma miktarları, sertliği yüksek kayaçlarda elde edilmiştir. Kesme hızı ve derinliğin artmasıyla aşınmanın önemli ölçüde arttığı görülmüştür [36].

Mermer veya granit taşlarının sinterlenmiş elmas soketler ile kesilmesi esnasındaki aşınma özellikleri SEM, optik mikroskop ve X-ray analizi ile incelenmiştir. Deneyler esnasında, yeni elmas, yüzey parlaması, elmas tanecik kırılması (makro ve mikro) ve elmas dökülmesi gibi aşınma türleri görülmüştür. Metal matrisin aşınması ise, elmas taneciğinin önünde meydana gelen erozif aşınma ile gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, elmas kesici diskin optimum performansını elde etmek için elmas hasarlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda elmas tanecik aşınması üzerinde tanecik özelliklerinin etkisini incelemişlerdir. Kesme alanının artmasıyla düzleşmiş elmas

taneciklerinde artış görülürken, yeni elmas taneciklerinde ise belirli bir azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte, kesme alanının artması elmas dökülmesini önemli ölçüde artırırken, kırılmış elmas tanecikleri hemen hemen aynı seviyede kalmıştır [36, 37].

7.2.1. Abrazif aşınma

Abrasif aşınma sert parçacıkların takım yüzeyinden malzeme kaldırarak takımı aşındırmasıdır. Elmas kesici uçlar ile kesme işleminde görülen ana aşınma mekanizması abrasif aşınmadır. Matris aşınıp talaşın uzaklaşmasına olanak sağlarken, elmas aşınma sırasındaki kayma gerilmelerine direnir [12].

Genel olarak yapılan testlerde zaman ilerledikçe aşınma dayanımında düşüş gözlenir. Bu davranış elmas kesici uçların tipik karakteristiğidir. Test süresi uzadıkça kesici noktalar özelliğini yitirir ve azalır. Elmas soketlerin aşınma mekanizması sürekli. Dış tabaka aşınmaya uğradığında alttan yeni elmas tabakaları ortaya çıkar [55].

Kaplamanın aşınma dayanımına etkisini incelediğimizde, Ti ve TiC kaplamalı elmaslar içeren soketler kaplanmamış elmas içeren soketlere göre daha yüksek abrasif aşınma dayanımı gösterir [46,55]. Ti-Fe arasındaki kimyasal reaksiyondan dolayı, daha iyi aşınma dayanımı değerleri verir. Elmas tanelerinin metal matriste tutunmasını sağlayan da bu reaksiyondur. TiC kaplamalı elmaslar, kaplanmamış elmaslara göre daha iyi sonuç verir. TiC-Fe arasındaki mekanik bağ buna neden olmaktadır [55].

İçerdiği Cu-Sn bileşimine göre 3 ayrı malzemenin aşınma davranışı düşünüldüğünde, kaplamalı elmas içeren (%75 Cu-Sn, max %20 Fe) bileşimindeki soket diğer örneklerle göre (%40Cu-Sn, %50Fe; %25Cu-Sn, %50 Fe, %12WC) düşük sertlik değeri (78 HRB) ve eğme mukavemeti göstermesine rağmen en iyi aşınma performansına sahiptir. Bunun nedeni sinterleme sırasında diğer numunelere göre bu numunedeki elmasların ısıdan daha az etkilenmesi olabilir. Zaten yumuşak olan matris ile iyi bir eşleşme oluşturan elmaslar aynı hızda aşınarak en iyi aşınma davranışını göstermektedir. Bundan bağımsız olarak, aşınma performansı ile eğme mukavemeti arasında kurulu bir ilişki yoktur [46].

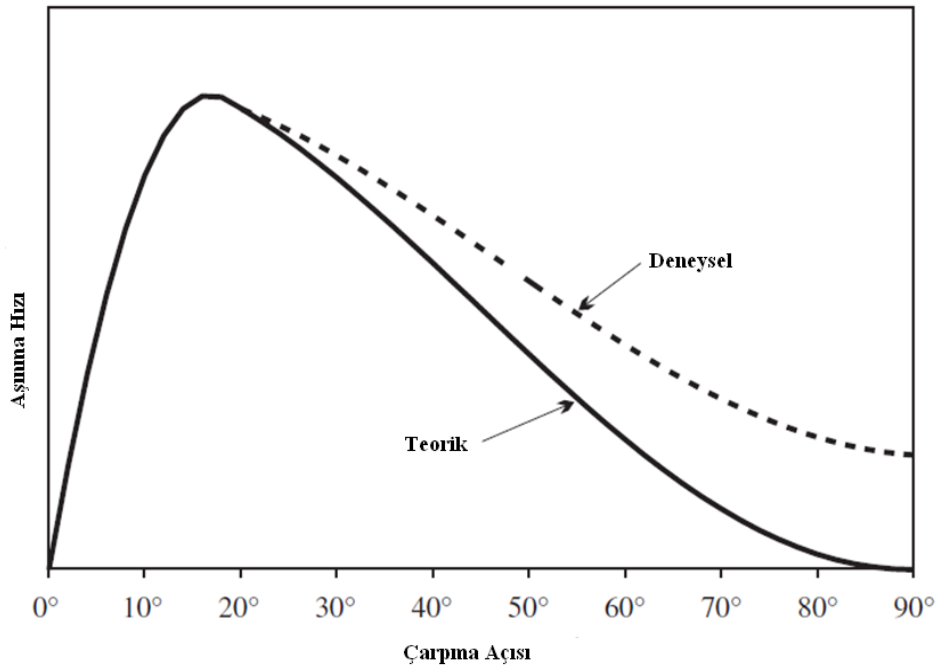
Doğal taş kesiminde kullanılan soketlerde matrisin aşınması oluşan talaş ve kullanılan soğutucu karışımından kaynaklanmaktadır. Oluşan malzemenin abrasif özelliği birçok parametreye bağlıdır. Bunlar; ortalama tane boyutu ve dağılımı, tane

şekli, kompozisyonu ve sertliğidir. Soketlerin özelliği de abrasif aşınmada bir o kadar önemlidir. Elmas boyutu, mukavemeti ve konsantrasyonu bu konuda etkili olan parametrelerdendir [55].

7.2.2. Erozif aşınma dayanımı

Katı parçacıkların malzeme yüzeyine çarpması sonucu oluşan etkiye erozif aşınma denir. Abrasif aşınmaya benzer olarak, sert parçacıklar yumuşak parçacıklara oranla daha yüksek aşınma hızına sebep olur. Parçacıkların şekli de önemlidir, sert olmasına rağmen küresel şekle sahip parçacıklar aşırı erozif aşınmaya neden olmaz. Erozif aşınmanın etkisi tane boyutu 100µm'nin altına düştüğünde azalmaktadır [12].

Parçacıkların çarpma açısı 0° ile 90° arasında değişmektedir. Küçük açılarda, 4°'ye kadar, erozyon hızı ihmal edilecek kadar düşüktür. Sünek malzemelerde, 15° ile 30° arasındaki çarpma açılarında maksimum erozyon hızı görülür. Teorik olarak 90°'de aşınma beklenmemektedir. Fakat yüzeye çarpan parçacıklar pürüzlülüğe neden olur. Böylece parçacıklar ile yüzey arasında belirli açılar oluşur ve bu da teorik durumdan farklıdır. Sünek malzemelerdeki erozyon hızının çarpma açısına bağlı değişimi şekil 7.3'da görülmektedir [12].



Şekil 7.3 : Erozif aşınma hızının çarpma açısı ile değişimi [12].

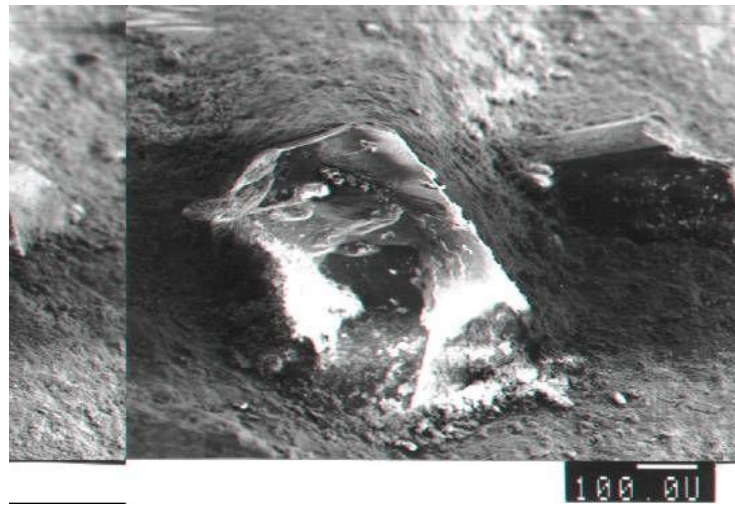
Aşınma konusunda bir başka önemli faktör de erozif parçacıkların hızıdır. Düşük hızlarda deformasyona neden olacak yeterli gerilimler oluşmaz. Hız arttıkça, yaklaşık

20 m/s gibi hızlarda, parçacıkların etkisi ile malzemede plastik deformasyon görülebilir [1].

Elmas kesici uç uygulamalarında soğutucu sıvı olarak su kullanılmaktadır. Katı parçacıkların su ile taşınması sırasında matrisin aşınması gerçekleşir. Düşük miktarda yağlayıcı ilavesi aşınmayı önemli derecede azaltır [1].

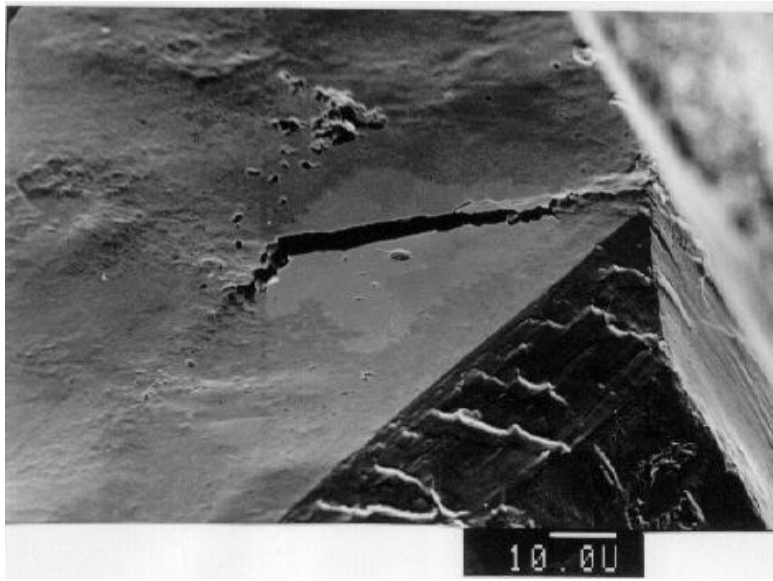
7.3. Aşınma Yüzeyinin İncelenmesi

Elmas soketlerde kesme esnasında oluşan aşınan yüzeyin mikro yapısı SEM ve optik mikroskop analiziyle incelenebilir. Şekil 7.4'de bir kesici takımındaki elmasın kesilecek malzemeye göre doğru seçilmemesi neticesinde ağır abrazif aşınma koşulları altında mikro-kırılmalarla körleşmiş bu nedenle kesme performansı düşük olan yabancı bir takımın aşınma yüzeyi görüntüsü verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi matris aşınarak vadilerin oluşumuna izin vermiştir. Ancak elmas taneleri kenar/köşe kırılmalarıyla yuvarlaklaşmıştır. Elmas tanesi kesme kenarının/köşesinin bu tur yanyana ince kırılmaları neticesinde elmas körleşir. Bu tür körleşmelerde doğal olarak aşınma hızlanır. Aşınma yüzeyinin görüntüsü verilmemesine rağmen bu takımın talaşın uygun akma yörelerinin (aşınması beklenen matrisin oluşturacağı kanalların) oluşmadığı görülmektedir. Böylece matrisin optimum bir hız ile aşınmadığı ve bunun sonucu olarak kesme yüzeyinde küçük çıkıntı gösteren elmaslarda ağır hasar oluştuğu görülmüştür. Bu tip kesici takımlarda ağır aşınmadan ziyade kesmeme görülür [29].



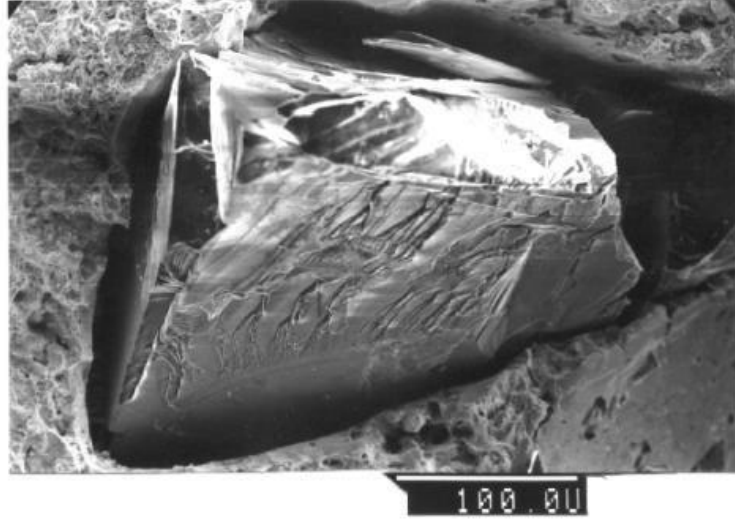
Şekil 7. 4 : Kısa Ömürlü Bir Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyinde Mikro-Kırılmalarla Kesme Köşelerini Kaybetmiş Elmas Tanesinin SEM Görüntüsü [29].

Sentetik elmas üretim koşullarından kaynaklanan elmas yüzey hataları olabilmektedir. Bunun başlıcanedeni katalizör olarak kullanılan metalin kristal içerisinde kalarak inkluzyonlar oluşturmalarıdır. Bu tip inkluzyonlar sentetik elmas büyütülmesi sırasında kapılmaktadır. Elmas ile metalik inkluzyonun termalgenleşme katsayıları arasındaki belirgin fark yüzeysel gerilmelere yol açtığından elmas yüzeyinin bölgesel olarak kırılmasına neden olur. Şekil 7.5’de bir kesici takımındaki bu tip bir elmas tanesine ait yüzeysel çatlak, Bu tip elmas hataları, kesme işlemini yapan kenarların mikro-kırılmalar ile hızla körleşmesine veya elmasın hızla yerinden atılmasına neden olacaktır [29].

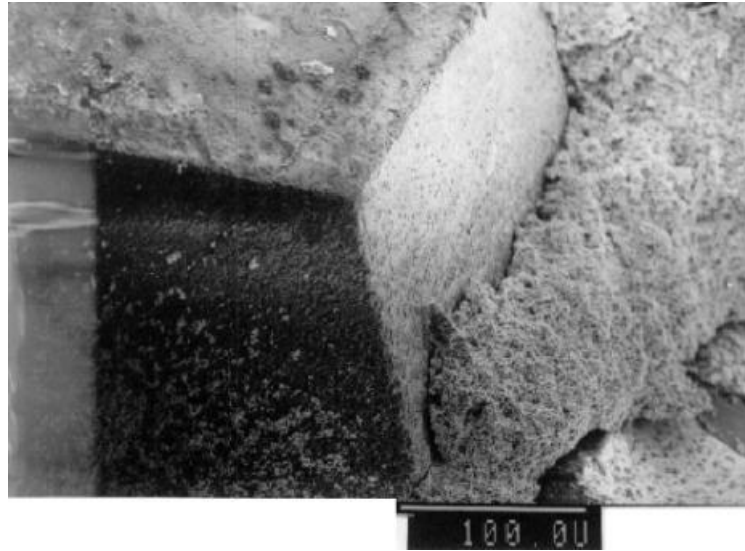


Şekil 7.5 : Elmas Tanesinde Mikro Sabanlama Kayma Gerilmeleri Altında Muhtemelen İç Gerilme Nedenli Çatlak Oluşumu [29].

Şekil 7.6' da yine aşınma yüzeyinden alınan görüntüde, paralel olarak incelenen bir kesicitaımındaki zayıf matris-elmas ara yüzeyi açıkça görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi elmas yüzeyinde paralel ve parça parça olmak üzere sürekli bir kırılma gelişmiştir. Bunun sonucu olarakperformansı düşük olan bu kesici takımda elmas-matris bağı böylece tamamen iptal edilmiştir. Sekil 7.7’de kuvvetli bir matris-elmas ara yüzey bağı görülmektedir. Görüldüğü gibi sinterlemekarakteristiğinin iyi belirlenmesiyle elmas-matris arasında çok kuvvetli bir reaksiyon olmuş ve kimyasal karakter taşıyan bu tepkime sonucu elmas taneleri matrise sıkıca bağlanmıştır. Bu kesicitaımının doğal taş kesme performansı oldukça yüksek olmuştur [29].



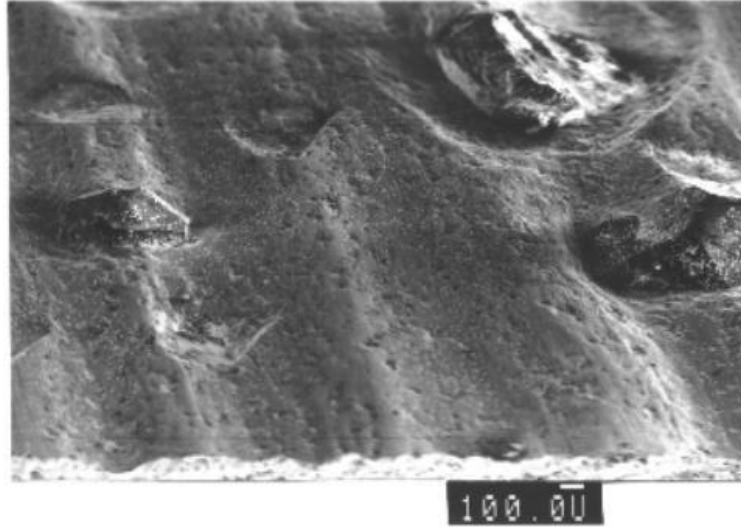
Şekil 7.6 : Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyindeki Elmas Tane Yüzeyinin Sürekli Kırılması Sonucu Zayıflayan Matris-Elmas Bağına Ait SEM Görüntüsü (Not: ağır darbe altında elmas yüzeyinde paralel küçük parçacıkların kopması nedeniyle oluşan pullanma görülmektedir) [29].



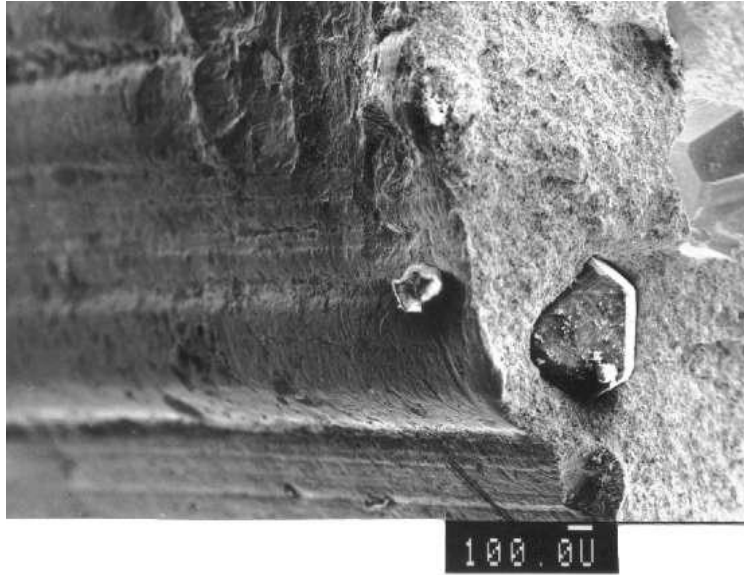
Şekil 7.7 : Kesme Performansı Yüksek Olmuş Bir Elmas Kesici Takımın Kırılma Yüzeyinde Kuvvetli Elmas-Matris Bağlantısının SEM Görüntüsü [29].

Şekil 7.8 ve Şekil 7.9' da 15 dakikalık sinterleme süreciyle oluşturulan takımın iki değişik acıylaaşınma yüzeyi sunulmuştur. Yüksek kaliteli matris tozlarının kullanılması, elmasların uygun seçilmesive sinterleme karakteristiğinin doğru olması neticesinde kesme performansı yüksek olmuş elmaslıkesici takımda aşınma yüzeyi gösterilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi, matris sürekli olarak aşınmış, alttan sağlam, yeni keskin elmas kesici yüzeyler çıkarak kesme işlemi kesintisiz sürmüş ve uzun bir takım ömrü sağlamıştır. Ağır abraziv aşınmanın kesici takım yüzeyinde

bıraktığı vadiler (talaşakma kanalları) ve kesme işlemini yapan elmas sıradağları şekillerden açıkça görülmektedir [29].



Şekil 7.8 : Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyi, SEM, (Not: Kesme performansı yüksek olmuş elmas kesici takımın aşınma yüzeyinde oluşan sıradağlar-vadi benzeri oluşumlar görülmektedir) [29].



Şekil 7.9 : Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyi, SEM, Topografik Kontrast (Not:Uzun omurlu bir kesici takımın ağır abraziv aşınmanın kesici takım yüzeyinde bıraktığı talaş akma kanalları görülmektedir) [29].

7.4. Elmas Soket Aşınmasının Belirlenmesinde Lazer Ölçüm Sisteminin Kullanılması

Geçmişte yapılan çalışmalarda soket aşınmasının belirlenmesinde genellikle klasik yöntem olarak kabul edilen kumpas ve mikrometre gibi ölçü aletleri kullanılmaktadır. Bu ölçü aletleri ile soketlerin belirli noktalarından alınan değerler ile ölçüm işlemi gerçekleştirilmektedir. Fakat ölçü aletinin hassasiyeti ve ölçüm yapan kişinin becerisinden dolayı pek çok problemle karşı karşıya kalınmaktadır. Bu sebeple yapılan bir başka çalışmada ilk defa klasik yöntemle göre daha hassas ölçüm yapan ve insan faktörünü en aza indiren yeni bir lazer ölçüm sisteminin tasarımı yapılmıştır. Bu yeni sistem ile elmas soket aşınmalarının belirlenmesine yönelik önemli eksikliklerin giderileceği düşünülmüştür [38].

7.4.1. Deneyin yapılışı

Kesme testlerinde bilgisayar kontrollü bir blok kesme makinesi kullanılmıştır. Şekil 7.10'de kesme deneylerinde kullanılan blok kesme makinesinin görünümü verilmiştir.



Şekil 7.10 : Bilgisayar kontrollü doğal taş kesme makinesi [38].

Elmas soket aşınmasının hassas olarak lazer ile ölçülmesi için bir düzenek tasarlanmış ve imal edilmiştir (Şekil 7.11). Bu düzende lazer ve kesici diskin bağlandığı bir gövde bulunmaktadır. Bu gövde üzerine düşük devirli bir step motor yerleştirilmiş ve motorun uç kısmına ise mil bağlanmıştır. Ölçme düzeneğine lazer başlığı yerleştirmek için bir aparat bağlanmıştır. Bu aparatın uç kısmı cıvatalı sistem ile bağlandığından rahatlıkla lazerin okuma mesafesi ayarlanabilmektedir. Aparatın uç kısmına dijital mikrometre yerleştirilmiş ve mikrometrenin uç kısmına ise lazer

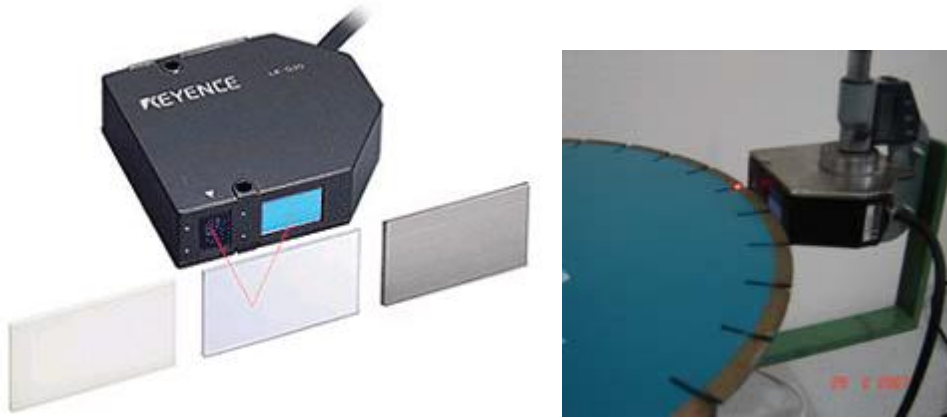
başlık bağlanmıştır. Mikrometre lazer başlığı aşağı yukarı hassas bir şekilde hareket ettirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu sayede, soket genişliği boyunca istenilen noktadan çevresel data almak mümkün hale gelmektedir [38].

Kesici diskin dönmesi ile birlikte lazer başlık ile soketler arasındaki mesafe ölçülmektedir. Deneylerin başlangıcında bu mesafe referans olarak ayarlanmış ve tüm ölçümler süresince değiştirilmemiştir.

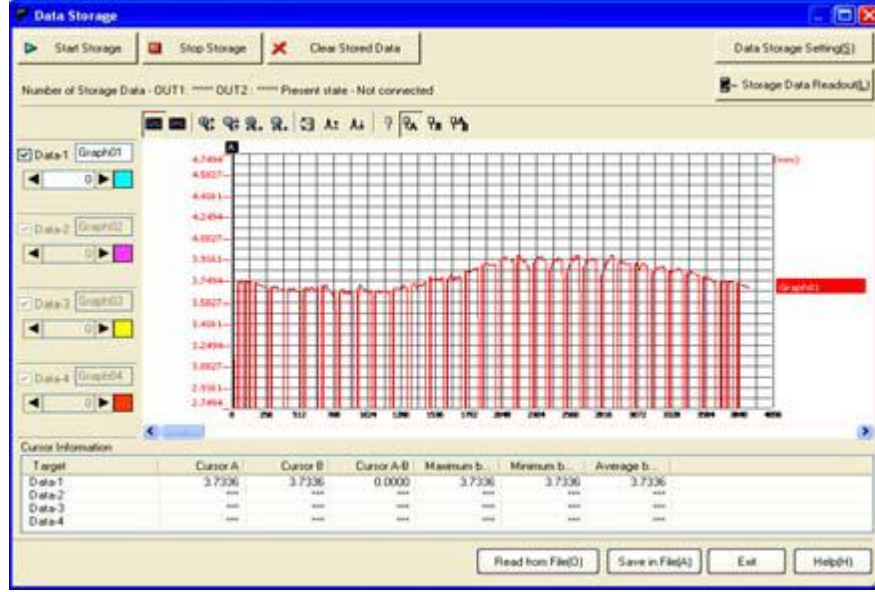


Şekil 7.11 : Disk etrafındaki aşınmayı ölçmek için tasarlanmış deney düzeneği [38].

Elmas sokette meydana gelen aşınmaları belirlemek için KEYENCE Navigatör marka bir lazer ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 7.12).Lazer ölçüm cihazı alınan verilerin işlendiği yazılımın ara yüz görüntüsü Şekil 7.13'te verilmiştir.



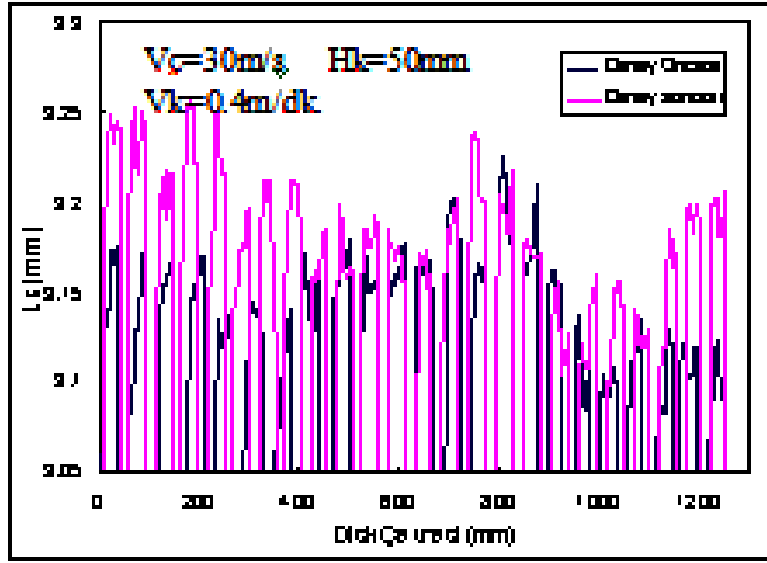
Şekil 7.12 : Aşınmaların ölçülmesinde kullanılan lazer sensör [38].



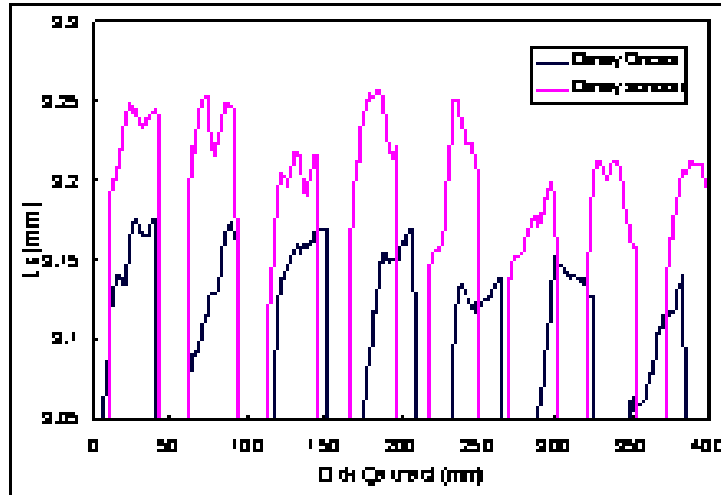
Şekil 7.13 : Lazer deplasman sensöründen alınan verilerin işlendiği programın arayüzü [38].

7.4.2. Ölçüm sonuçlarının irdelenmesi

Aşınma öncesi ve sonrasında alınan değerlerin karşılaştırmaları Şekil 7.14'te verilmiştir. Y eksenindeki Ls değeri lazer ölçüm cihazı ile soketler arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Dolayısıyla aşınmanın artması bu mesafenin de artması anlamına gelmektedir. Fakat bu artış tüm soketlerde aynı oranda olmadığı Şekil 7.14'te görülmektedir. Bir anlamda, 400-1000mm lik aralıkta soketlerde meydana gelen aşınma daha az düzeyde gerçekleşmiştir. Grafikte her bir aralık soket uzunluğuna karşılık gelmektedir. Grafiğin x eksenini daha dar bir mesafe için yeniden Şekil 7.15'te verilmiştir. Aşınmanın tespitine yönelik yapılan çalışmada her bir deney sonrasında, testere bir tur döndürülerek soket genişliğinin dört ayrı noktasından veriler alınmıştır [38].



Şekil 7.14 : Deney öncesi ve sonrası disk çevresinde meydana gelen soketler aşınma [38].



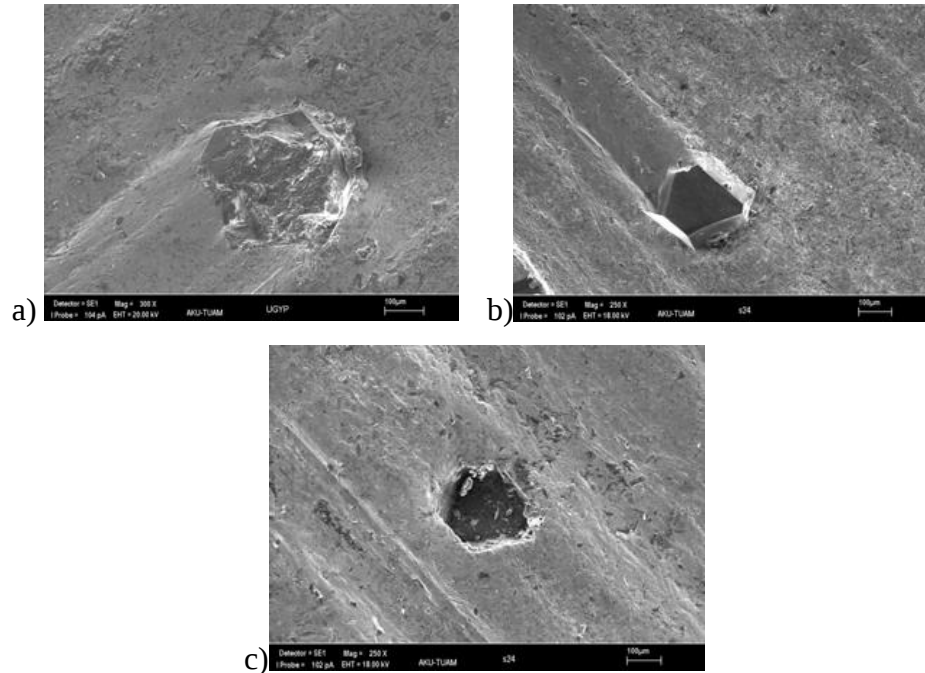
Şekil 7.15 : Şekil 7.14'te verilen grafiğin daha dar bir aralıkta gösterimi [38].

Farklı kesme parametrelerine bağlı olarak yapılan aşınma ölçümlerinde ortalama değerler alınmıştır. Elde edilen ortalama aşınma değerlerini kesme derinliği ile kıyaslayacak olursa kesme hızının 0.4 m/dak. ve kesme derinliğinin 20 mm olduğu durumda, diskte meydana gelen toplam aşınma 14 μm dir. Bu aşınma değerine karşılık gelen toplam kesilen mermer miktarı ise 300cm²dir. Aynı kesme parametreleri için ilginç olan sonuç ise; kesme derinliğinin artmasına karşın aşınmanın çok az olmasıdır. 35 mm kesme derinliği için yapılan deney sonrasında aşınma sadece 0.4 μm olarak gerçekleşmiştir. Benzer şekilde 50 mm derinlikteki

kesme sonrasında da aşınmadaki artış 1 μm dir. Bunun nedeni ise; kesme sırasında kesilen taşın testereye sıvanması olarak düşünülmektedir. Bu sıvanma neticesinde testerede meydana gelen aşınma minimum düzeyde gerçekleşmekte ve dolayısıyla matris aşınmamaktadır. Bunun sonucu olarak da aşındırıcı elmas taneleri yüzeye çıkma fırsatı bulamamaktadır. Artan kesme hızına bağlı olarak aşınma da artmaktadır. Özellikle düşük kesme derinliğinde (20mm) 0.6m/dk. kesme hızındaki soket aşınması maksimumdur. 50 mm kesme derinliğinde ise 0.5 m/dk. kesme hızında elde edilen aşınma değeri maksimum düzeyde gerçekleşmiştir. 35 mm derinlikte yapılan kesme işleminde $V_k = 0.5$ ve 0.6 m/dk. için elde edilen aşınma değerleri ise yaklaşık birbiri ile aynıdır [38].

Bu verilerden çıkarılacak en önemli sonuç, bu çalışma esnasında kullanılan Çankırı Kahverengi mermeri için soket aşınmasında kesme derinliğinin kesme hızına oranladaha etkili olduğudur. Bununla birlikte özellikle 50 mm kesme derinliği için 0.5 m/dk. kesme hızında soket aşınması maksimum da; kesme hızı 0.5 ten 0.6m/dk'ya düzeyde gerçekleşmiştir [38].

Ayrıca, aşınma sonucunda soket yüzeyi SEM de yapılan incelemeler sonucunda elde edilen elmas yüzey görüntüleri Şekil 7.16'da verilmiştir. Kırılma, düzleşme ve dökülme olmak üzere 3 farklı elmas hasarının meydana geldiği görülmüştür [38].



Şekil 7.16 : Elmas taneciklerinde görülen hasarlar a) Kırılma, b) Düzleşme, c) Dökülme [38].

Yapılan aşınma ölçümlerinde lazer ölçüm sisteminin kullanılması sayesinde mikro seviyede değerler elde edilmiştir. Kesme hızı ve derinliğinin artması ile aşınmanın önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Ölçümün bütün soketleri içine alacak şekilde yapılması alınan aşınma değerlerini daha çok hassaslaştırmıştır [38].

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tezin deneysel çalışmalar kısmında, Çizelge 8.1’de kimyasal kompozisyonları verilmiş doğal taş kesiminde kullanılan, genel olarak toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş, SPS yöntemi ile 800-850°C sıcaklıklarda sinterlenmiş ve farklı oranlarda % 99,9 saflıkta ve tane iriliği 1,1 – 200 µm aralığında olan kobalt, nikel, bakır, kalay tozları içeren elmas takviyeli soketlerin yoğunlukları ölçülmüş, mekanik testler (sertlik, üç noktalı eğme, basma) ile performansları belirlenmiş daha sonra karakterizasyon çalışmaları (SEM, XRD, Optik Mikroskop) ile mikro yapıları incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerden bazıları endüstride ticari olarak kullanılan bileşimlere sahip olup, bunlar Çizelge 8.1’de işaretlenmiştir. Diğerleri ise bu çalışmaya özel araştırma için alternatif olarak üretilmiştir. Çizelge 8.1’de verilen bileşimler hacimce yüzde bileşim olup, numunelerde ayrıca %20-25 konsantrasyon, 595-177 mikron (0,88-1,1 karat) (30-80 meş) tane boyutu aralığında kaplamalı ve kaplamasız elmaslar bulunmaktadır. Ayrıca deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere elmas içermeyen numuneler de üretilmiştir. Basma testi ve üç noktalı eğme deneyi için diğer deneylerde kullanılan numunelerle aynı kompozisyonda, fakat farklı boyutlarda elmas soketler üretilmiştir.

Çizelge 7.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan soketlerin kimyasal bileşimi.

Numune No	Kimyasal Bileşim (% Ağırlık)				
	%Co	%Cu	%Ni	%Sn	%WC
N1	26	64	3	7	
N2*	50	36	10	4	
N3	36	50	10	4	
N4	64	26	3	7	
N5*	20	71	-	9	
N6	10	81	-	9	
N7*	30	61	-	9	
N8*	80	2,5	10	2,5	5
N9*	80	5	10	5	

* Ticari olarak kullanılan bileşimler

8.1. Deneylerde Kullanılan Numunelerin Üretimi

Deneyisel çalışmalar için kullanılan numuneler toz metalurjisi tekniğiyle üretilmiştir. Numunelerin üretiminde % 99,9 saflıkta ve tane iriliği 1,1 – 200 µm aralığında olan Co, Cu, Ni ve Sn tozları kullanılmıştır. N8 için hacimce %5 oranında W-karbür tozu kullanılmıştır. Saf haldeki metal tozlarının birbiriyle iyice karıştırılarak üretilen mermer kesici takım soketi matrisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla karıştırma işlemi için kapalı toz hazneli, iki kg toz kapasiteli, üç boyutlu dönebilen bir mikser kullanılmıştır.

İlk aşamada alaşım tozları uygun kaplara konularak 15 dakika süre ile 20 dev/dak hızda karıştırılmıştır. İkinci aşamada, dışı krom kaplı çelik bilyelerle birlikte numunelere elmas dağılımının homojen olarak elde edilmesi ve metaltozlarının grafit kalıplardan küçük oranlarda da olsadökülmemesi için % 1 Polietilen Glikol (PEG) eklenerek yaklaşık 30 dakika süre ve 20 dev/dak hızda karıştırılmıştır. İkinci aşamada alaşım tozlarına elmas eklenmiştir. Metal kaplı bilye kullanımındaki amaç karışıma katılan PEG'in topaklanma oluşumunu engellemek ve karışımın (elmas konsantrasyonunun) homojen olmasını sağlamaktır. Karıştırma işlemi bittikten sonra deney numunelerinin üretimi için her bir alaşım numunesinden belirlenen miktarda olacak şekilde, metal toz karışımı hassas bir terazide tartılarak sıcak presleme işlemine hazır hale getirilmiştir. Daha sonra elde edilen toz karışımı önceden hazırlanan grafit kalıp odacıklarına doldurulmuştur. Bu grafit kalıp odacıkları üst baskı grafitleriyle kapatılmıştır. Bütün bu işlemlerden sonra sinterlenmeye hazır hale getirilen tozkarışımıSPS yöntemi ile 800-850°C sıcaklıklarda yaklaşık 4 dk sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi ısınma ve soğuma süreleriyle toplam yaklaşık 15 dk sürmüştür. Sinterleme sıcaklığının 800-850°C seçilmesinin nedeni sentetik elmasparçacıklarının bu sıcaklıktan sonra özelliklerini kaybederek grafitte dönüşmesidir. Sonuç olarak numunelerimiz deneysel testler için hazır hale gelmiştir.

8.2. Yoğunluk Ölçme İşlemi

Spark plazma sinterleme yöntemi ile üretilmiş numunelerin yoğunluk ölçümleri 220 g kapasiteli 0,1 mg hassasiyet ile ölçüm yapan PrecisaTM marka hassas terazinin arşimet yoğunluk ölçümü ekipmanları kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 8.1'de kullanılan hassas terazi görülmektedir. Alaşım yoğunluğunun anlaşılması amacıyla

Üretilen tüm numunelerin yoğunlukları hassas terazi ile ASTM B311–92 standardında belirtildiği gibi llmtr. Bu yönteme grencelikle numunelerin havada kuru ağırlıkları llm dahasonra numuneler darası alınan metal bir sepet ile sıcaklığı termometre ile ölçülen saf su dolu ölçüm kabına batırılmıtr. Kullandığımız hassas terazi sayesinde numunelerin yoğunluğunu otomatik hesaplamıtr.



Şekil 8.1 : PrecisaTM arşimet terazisi.

8.3. Sertlik lme İşlemi

Şekil 8.2’te gösterilen Zwick ZHRTM Rockwell sertlik cihazında yüzey hazırlama işlemi sonrası numunelerin sertlik değerleri alınmıtr. Bu işlem 1/16 in çapında elik bilye uç kullanarak 100 kg yük altında en az 6 başarılı sertlik ölçümünün ortalaması alınarak yapılmıtr. Sertliğin tam olarak belirlenmesi için numunelerin orta, uç, ara ve arka bölgelerinden sertlik ölçümü yapılmı ve ortalamaları alınarak her bir numunenin HRB cinsinden sertlik değeri belirlenmitr.



Şekil 8.2 : ZHRTM sertlik ölçüm cihazı.

8.4. Mekanik Deneyler

Basma ve eğme testlerinin yapılması için özel kalıplarda üretilmiş farklı numuneler deneylerde kullanılmıştır.

8.4.1. Basma deneyi

Basma deneyleri 10 mm çapında, 20 mm yüksekliğinde 800°C ve 850°C sıcaklıklarda SPS ile üretilmiş silindirik numuneler ile yapılmıştır. Basma testi 250 kN kapasiteli Şekil 8.3’de gösterilen DartecTM marka universal test cihazında 1 mm/dak. basma hızında yapılmıştır. N8 ve N9 numuneleri sadece basma testi için 850°C sinterleme sıcaklığında üretilmiştir. Her bir numuneden 3 veya 4 adet basma deneyi yapılmıştır.



Şekil 8.3 : DartecTM universal test cihazı.

8.4.2. Üç noktalı eğme deneyi

Numunelerin eğilme mukavemeti üç noktalı eğme deneyi ile ölçülmüştür. Eğme testi, Şekil 8.4’de gösterilen 10 kN kapasiteli Schimadzu AUTOGRAPH AGS-JTM marka universal test cihazında mesnetler arası 30 mm alınarak 1 mm/dak. hız ile gerçekleştirilmiştir. (5x5x40) mm boyutlarında olan yine farklı sıcaklıklarda üretilmiş elmaslı ve elmassız numuneler teste tabi tutulmuştur. Her bir numuneden 3 veya 4 adet eğme deneyi yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.



Şekil 8.4 : Shimadzu AUTOGRAPH AGS-JTM marka üç noktalı eğme cihazı.

8.5. Mikro Yapı İncelemeleri

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışınları difraktometresi (XRD) ve optik mikroskop (OM) numunelerin mikroyapı ve faz karakterizasyonunda kullanılmıştır. Optik mikroskopta inceleme yapılmadan önce yüzey hazırlama işlemleri yapılmıştır.

8.5.1. Yüzey hazırlama işlemi

Mikro yapı incelemeleri için numuneler sırasıyla 240-320-400-600-800-1000-1200 ve 2400 numara SiC zımpara kağıtlarında sulu zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Optik mikroskop incelemelerinde tercihen elmas içermeyen numuneler kullanılmıştır. Daha sonra sırasıyla 3 μ ve 1 μ elmas aşındırıcı ve elmas yağlayıcı ile 250-300 devir/dakika hızlarda MD Chem. marka çuhada parlatılmıştır. Parlatma esnasında saf alkol kullanılarak numune yüzeyleri temiz tutulmuştur. Temizlenen yüzeyler uygun kimyasal maddeler (HNO₃ ve saf alkol) ile dağlanarak metalografik yapısının ortaya çıkması sağlanmıştır.

8.5.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri

Numunelerin kırık yüzey analizinde ve parlatılmış yüzeylerin mikroyapısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla EDS donanımlı Hitachi TM-1000 SEMTM marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Kırık yüzey incelemelerinde yoğun olarak elmas-matris ilişkisi irdelenmiştir.

8.5.3. Optik mikroskop incelemeleri

Parlatma işlemi sonrası numuneler LeicaTM DM 750M marka Şekil 8.5’de gösterilen mikroskopta mikro yapının belirlenmesi amacıyla incelenmiştir. Hazırlanan

numunelerin mikro yapılarının nasıl olduğu ve sinterleme işlemlerinin yapılmasında ne ölçüde başarılı olduğunu anlayabilmek için optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır.



Şekil 8.5 : Leica™ DM 750M optik mikroskop.

8.5.4. X-ışınları difraktometresi (XRD) incelemeleri

Farklı içerikli numunelerde meydana gelecek faz yapılarını anlamak ve irdelemek amacıyla yüzey hazırlama işlemine tabi tutulan numunelerin, kalitatif faz analizinde BRUKER™ D8-Advance X-ışınları difraktometresi (XRD) 40 kV ve 40 mA şartlarında CuK_α radyasyonu kullanılarak çalıştırılmıştır. $2\theta=20^\circ-120^\circ$ olarak alınmış ve 0.02° artışlar ile tarama yapılmıştır. Şekil 8.6’da bu cihaz gösterilmektedir.



Şekil 8.6 : BRUKER™ D8-Advance X-ışınları difraktometresi.

9. DENEYSEL SONUÇLAR

9.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Sıkıştırılabilirlik ve yoğunlaşma hususunda bir fikir edinebilmek amacıyla tüm numunelerin yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Çizelge 8.1’de kimyasal kompozisyonları verilen iki farklı sıcaklıkta sinterlenerek üretilmiş numunelerin ölçülen ve teorik olarak hesaplanan yoğunlukları Çizelge 9.1’de gösterilmiştir, ayrıca elmas katkısız olarak üretilmiş numunelerinde yoğunluk değerleri gösterilmiştir. Şekil 9.1’de ise numunelerin ölçülen yoğunlukları grafiğe aktarılmıştır. Bazı numuneler tek sinterleme sıcaklığında üretildiğinden yoğunluk değerleri yoktur. Örneğin; 1 nolu numune sadece 800°C’de sinterlenerek üretilmiştir.

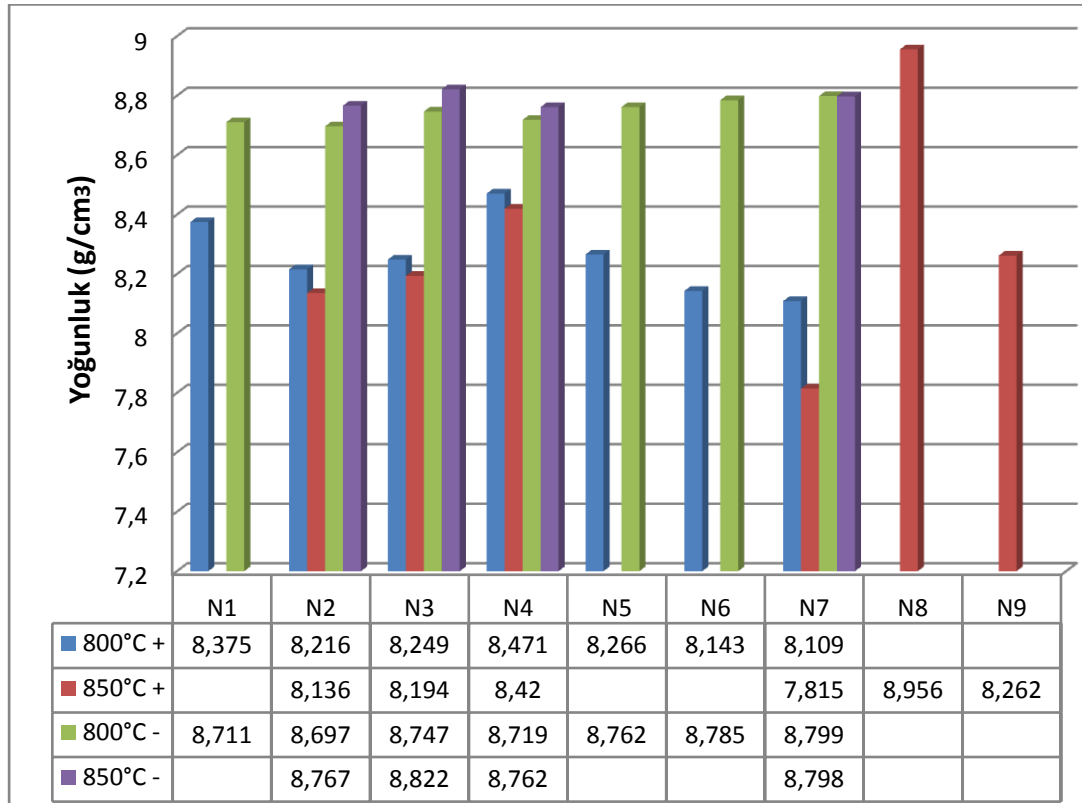
Çizelge 9.1 : Numunelerin yoğunlukları.

Numune No	Ölçülen Yoğunluk (g/cm ³)		Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Elmasız numunelerin yoğunluğu (g/cm ³)		Göreceli Yoğunluk (%)	
	800°C	850°C		800°C	850°C	800°C	850°C
N1	8,375	-	8,823	8,711	-	94,9	-
N2	8,216	8,136	8,857	8,697	8,767	92,7	91,8
N3	8,249	8,194	8,865	8,747	8,822	93,1	92,4
N4	8,471	8,420	8,801	8,719	8,762	96,3	95,7
N5	8,266	-	8,793	8,762	-	94	
N6	8,143	-	8,802	8,785	-	92,5	
N7	8,109	7,815	8,818	8,799	8,798	92	88,6
N8	-	8,956	9,214	-	-		97,2
N9	-	8,262	8,821	-	-		93,7

Yoğunluk ölçümlerinde göze çarpan en önemli sonuç, sinterleme sıcaklığının 800°C’den 850°C’ye çıkarılması durumunda numunelerin yoğunluğunda gözlenen azalıştır. 3 ve 4 numaralı numunelerde bu azalış diğer numunelere kıyasla daha az olmuştur. Artan sinterleme sıcaklığının malzemelerin yoğunluğuna beklenen olumlu etkiyi yapmadığı anlaşılmaktadır. Çok büyük farklar olmasa da sinterleme sıcaklığının 800°C olması ölçülen yoğunluk değerlerinin daha yüksek olmasına

neden olmuştur. Fakat elmassız numunelerde ölçülen yoğunluk değerlerinde ise artan sinterleme sıcaklığıyla beraber yoğunluk değerleri de artmıştır. Bunun sebebi elmasların matris içinde oluşturdukları boşluklar olabilir. Elmas katkısız matriste artan sinterleme sıcaklığı ile beraber porozite miktarında azalma gözlemlenmiştir.

Elmas katkısının malzemenin yoğunluğuna ve porozite miktarına etkisini incelemek amacıyla elmassız numunelerin yoğunlukları alınarak daha iyi bir kıyaslama yapılması esas alınmıştır. Elmassız numunelerin yoğunluğunun elmaslılara göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi de elmasın yoğunluğunun ($3,5 \text{ g/cm}^3$) diğer metal tozlarından çok daha düşük bir değere sahip olmasıdır. Ayrıca elmasların matris içerisine yerleşirken meydana getirdikleri boşluklar sebebi ile malzeme içindeki porozite miktarında artış gözlemlenmektedir. Elmassız numunelerin teorik yoğunluk değerlerine elmaslılara göre daha çok yaklaştığını görebilmekteyiz. Doğal taş kesiminde kullanılan bu kesici uçların elmas katkısız kullanılması mümkün olmayacağından, ilave edilen elmas tozlarının porozite miktarını mümkün olduğu kadar az yükseltebilmesi esas alınmalıdır.



Şekil 9.1 : SPS yöntemiyle üretilen numunelerin yoğunlukları(‘-‘ işaretiyle gösterilen değerler elmas katkısı olmayan numuneleri simgelemektedir, ‘+’ işaretiyle gösterilen değerler ise elmas içeren numuneleri simgelemektedir).

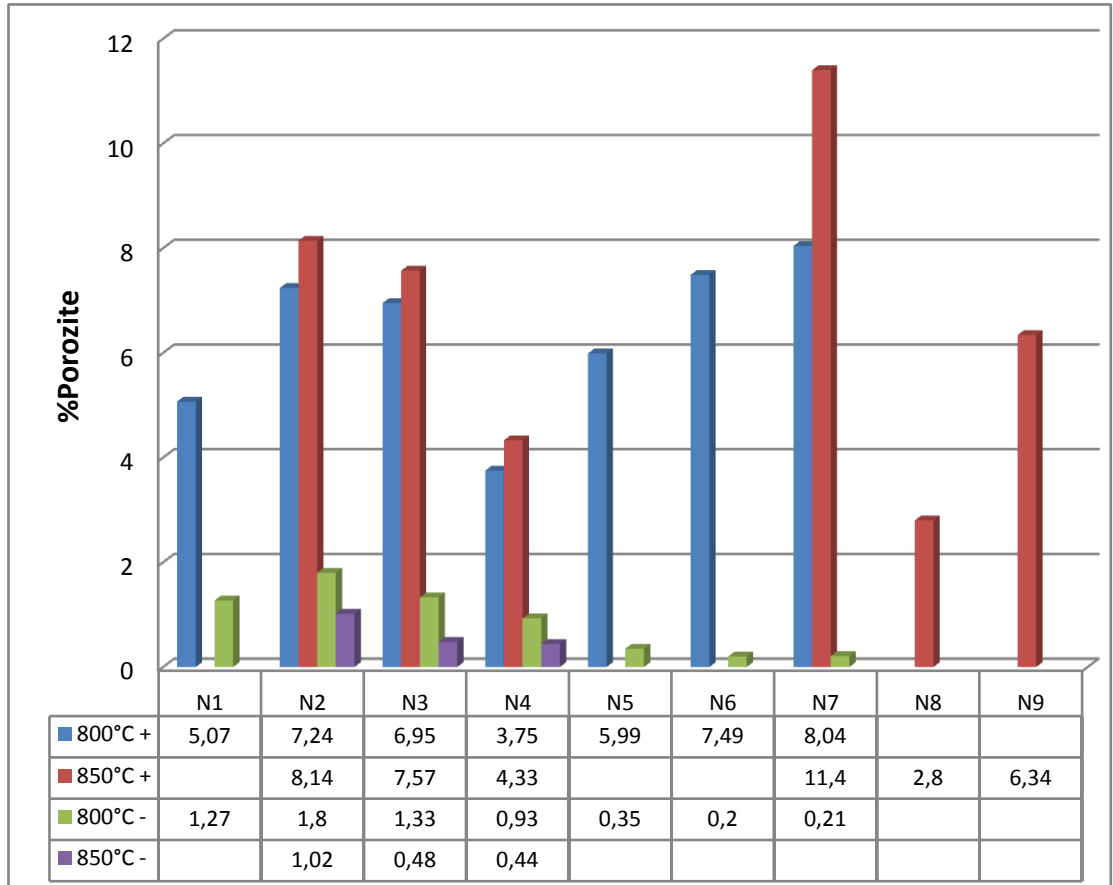
Elmaslı ve elmassız numunelerin yoğunluk değerlerini Şekil 9.1’de görmekteyiz. Elmaslı numunelerin değerlerini incelersek, sadece basma deneyi için özel olarak üretilen 8 nolu numune içerdiği tungsten karbür sayesinde en yüksek yoğunluk değerine sahiptir. Bu değere en yakın olarak içerdiği yüksek kobalt oranı ile (%64 Co) 4 numaralı numuneyi gösterebiliriz. 5, 6 ve 7 nolu numunelerde artan bronz (Cu+Sn) oranı ile 8 ve 4 nolu numunelere kıyasla daha düşük yoğunluklar elde edilmiştir. Bronz alaşımının yoğunlaşmayı artırıcı etkisine rağmen düşük Co oranı sebebi ile bunun gerçekleşmediği görülmektedir. Co ($8,9\text{g/cm}^3$), Cu ($8,96\text{g/cm}^3$), Ni ($8,908\text{g/cm}^3$) gibi elementlerin yoğunluklarının birbirlerinden çok büyük farklar içermemelerinden dolayı numunelerin yoğunluk değerleri arasında büyük farklar oluşmamıştır. Bu şekilden de görüldüğü gibi elmaslı numunelerde artan sinterleme sıcaklığıyla yoğunluk kaybı meydana gelmiştir. Elmassız numunelerde ise tam tersi bir durum söz konusudur.

Şekil 9.2’de üretim sonunda numunelerde oluşan porozite miktarları verilmiştir. Elmas içeren numunelerde beklenenden fazla porozite gözlemlenmiştir. Elmaslı numunelerde artan sinterleme sıcaklığıyla beraber porozite miktarıda artmıştır. Bunun sebebi elmasların 850°C ve üzerinde matris içerisinde daha fazla porozite oluşturmaları olabilir. Elmassız numunelerde ise artan sinterleme sıcaklığıyla beraber porozite miktarında azalma tespit edilmiştir. Elmas katkılı numuneler arasında bir kıyaslama yapacak olursak 8 ve 4 numaralı numunelerin porozite miktarının diğer numunelere nazaran daha düşük olduğu görmekteyiz. Bunun başlıca sebebi, kobaltın sıcak presleme koşullarında, yüksek akma dayanımı ve tokluk neticesinde mükemmel elmas tutma kabiliyeti göstermesi ve elmasın matrise tutunma özelliğini geliştirerek elmas-matris arasındaki porozite miktarını azaltmasıdır. Ayrıca 8 numaralı numunenin içerdiği tungstenin karbon ile atomik bağ yapma eğilimine sahip en sert malzemelerden oluşu ve bu eğilim nedeni ile elmas ve tungsten ara yüzeyinde tungsten karbür ince film tabakası oluşması nedeniyle düşük porozite miktarı görülmektedir. Elmassız numunelerin porozite miktarının elmaslılara göre oldukça düşük olduğu net bir biçimde görülmektedir. Ayrıca Çizelge 9.1’de verilen göreceli yoğunluk değerlerine bakıldığında, 8 numaralı (%97,2) ve 4 (%96,3) numaralı numunelerin diğer numunelere göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Porozite oranları düşük olan N8 ve N4 numunelerinde nikel etkisi, hem kobalt esaslı hem de bronz esaslı bağlayıcılar kullanıldığında sinter yoğunluğunu arttırması özelliğinden dolayı dikkate alınmalıdır. Fakat Ni etkisini, Ni ile Fe arasındaki etkileşimin Ni ile Co veya Cu'a göre daha baskın olması nedeni ile etkisi Fe içerikli numulere nazaran daha az görmekteyiz.

Doğaltaş kesiminde kullanılan soketlerin performansının kötü olarak etkilenmemesi için özellikle 7 numaralı numunedeki düşük yoğunluk yetersizdir. Beklenenden yüksek porozite miktarına sahip olduğu görülmüştür. Yüksek bronz alaşımına sahip olması ve nikel içermemesi nedeniyle özellikle sert ve mukavemeti yüksek kayaçların kesiminde kullanılmaması uygun görülmektedir. 5, 6, 7 numaralı numunelerde istenilen yoğunluk değerlerinin elde edilememesinin diğer nedeni de kobalt ve bronz ile kullanıldığında sinter yoğunluğunu arttıran nikel ilavesinin olmayışı olabilir.

Numunelerin yoğunluk değeri teorik yoğunluğa ne kadar yakınsa numunelerdeki boşluk miktarının o kadar az olduğu tespit edilmiştir. Sinterleme sırasında numunelerde meydana gelen tane büyümesi sonucu yoğunluk artışı belirlenmiştir. Fakat numunelerde meydana gelen boşluk ve gözenekler tane büyümesini engelleyerek malzemelerin yoğunluğundaki artışı engellemiştir.



Şekil 9.2 : Numunelerdeki boşluk miktarları (‘+’ işareti elmaslı, ‘-’ işareti elmassız numuneleri göstermektedir).

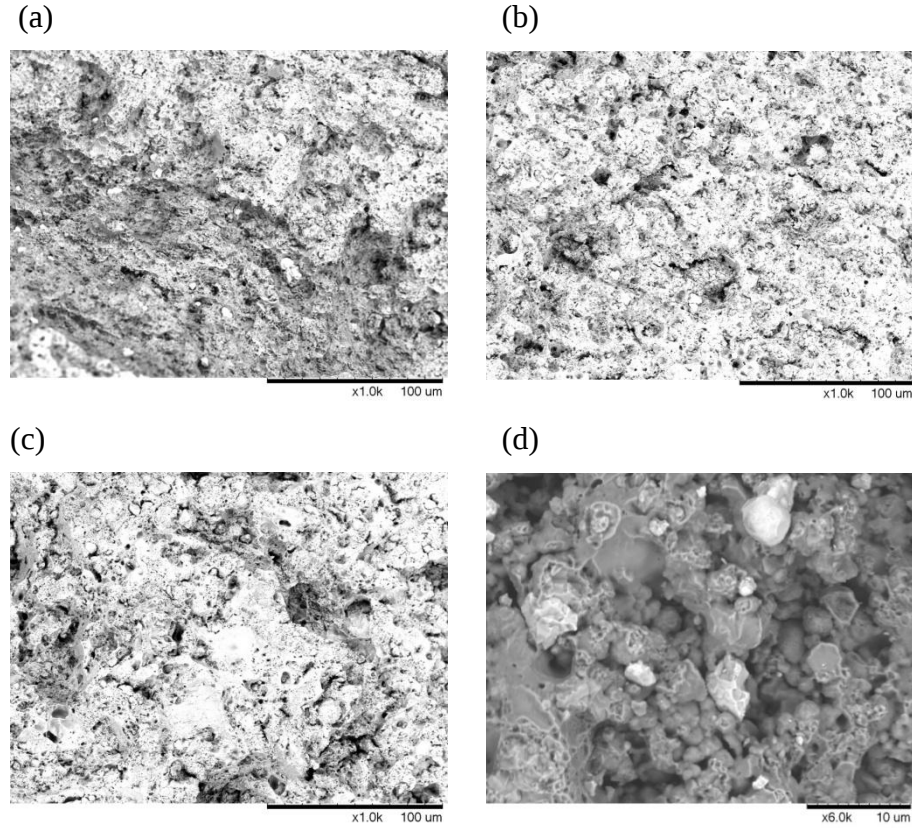
9.2. Mikro Yapısal Analizler

Numunelerin mikro yapı analizlerini yapmak için SEM ve optik mikroskopta parlatılmış yüzeylerde incelemeler yapılmıştır. Kırık yüzey analizleri SEM’de incelenerek elmas-matris ara yüzey ilişkisi irdelenmiştir ve elmas kaplamalarının etkileri araştırılmıştır. Farklı kimyasal kompozisyonlara sahip numunelerin fazlarını belirlemek amacıyla XRD analizleri yapılmıştır.

9.2.1. Kırık yüzey analizi

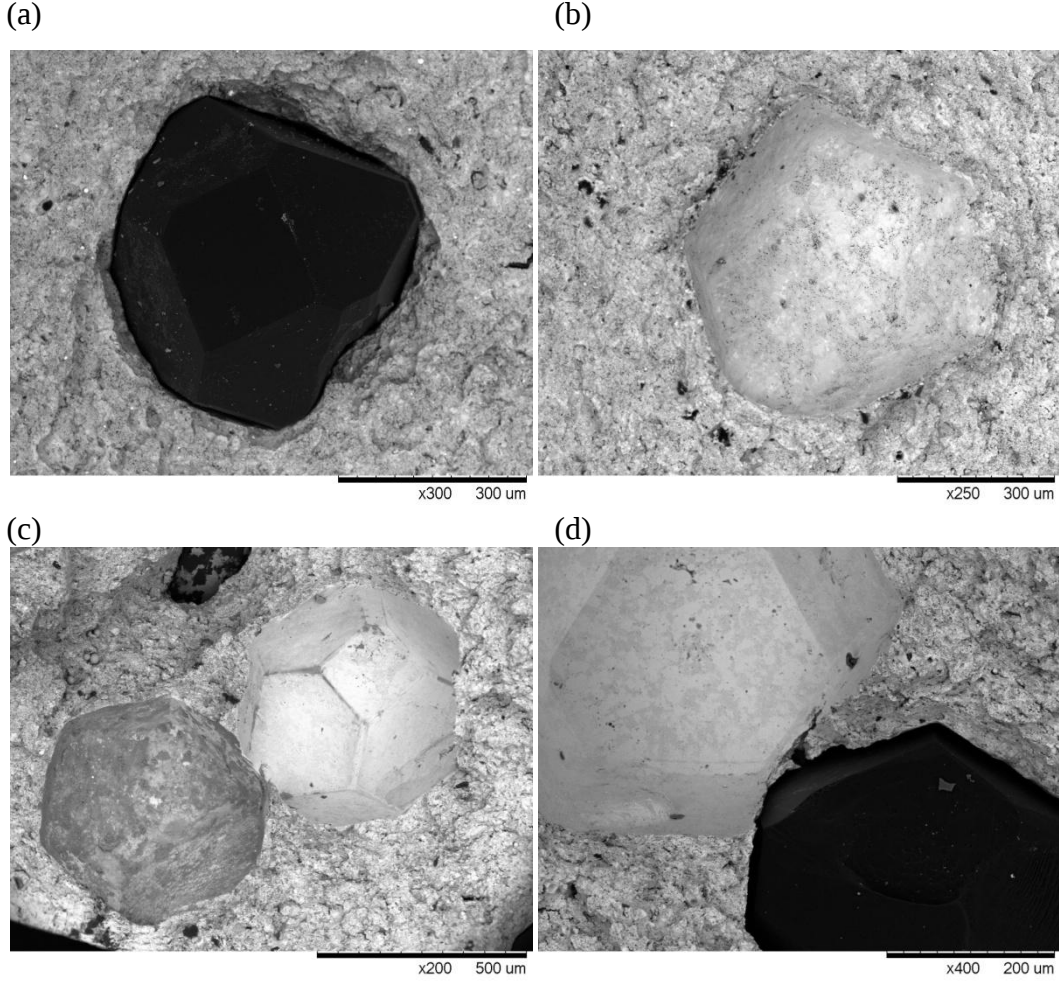
Şekil 9.3’de görüldüğü gibi yüksek sıcaklıkta (850 °C) sinterlenen numunelerde matris malzemesinin kırılma yüzeyi süneklik göstermektedir ve süngerimsi bir yapıya sahiptir. Bu durum matris içindeki bağın daha kuvvetli olduğunu göstermektedir. SEM’de alınan kırık yüzey fotoğraflarından sinterleme sıcaklığının artışıyla sünekliliğin arttığı görülmektedir. 800°C’de sinterlenen numune fotoğrafında ise görüntünün yarı süngerimsi bir hal aldığı fakat 850°C’de sinterlenen

numunede ise sünek kırılmayı karakterize eden bu süngerimsi yapının tüm numune boyunca yayıldığı görülmektedir.



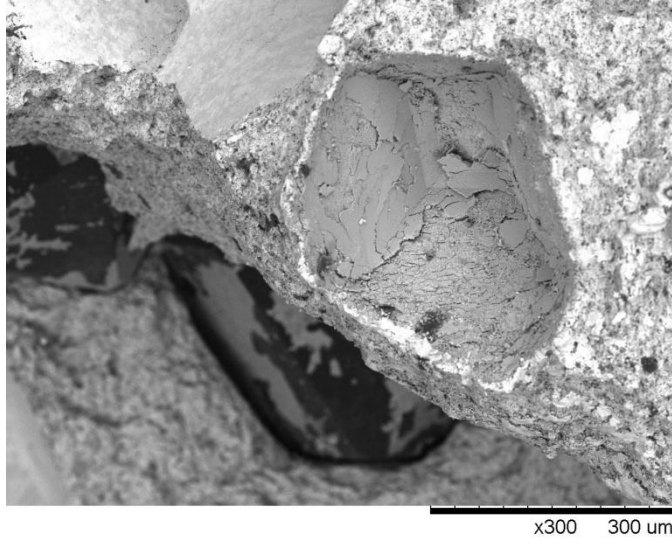
Şekil 9.3 : (a) N4 800°C (b) N4 850°C (c) N7 800°C (d) N7 850°C numaralı numunelere ait kırılma yüzey fotoğrafları.

Elmasların kaplamalı ve kaplamasız oluşunu irdelemek amacıyla kırık yüzeylerden alınan SEM görüntüleri sonucunda kimyasal kompozisyonu ne olursa olsun tüm numunelerde kaplamasız elmaslar ile matris arasındaki bağ zayıf iken kaplamalı elmaslar ile matris arasında bağ daha sıktır. Kaplama malzemesi olarak elmaslarda tungsten karbür kullanılmıştır. Doğal taş kesiminde kullanılan kesici uçların ağır yüklere maruz kalması ve aşınmanın yoğun olması sebebi ile tungsten karbür ile kaplanan elmaslar, kaplamasız elmaslara göre daha iyi neticeler vermiştir. Şekil 9.4’de çeşitli numunelerdede matris içindeki elmasların matris ile oluşturduğu ara yüzeyler görülmektedir. Bu şekilden de anlaşıldığı gibi WC kaplamalı elmaslar (açık renkte görünenler) matrise daha iyi tutunmaktadır. Ayrıca mekanik deneyler sırasında bazı elmas taneleri kırılmıştır. Bu da matrisin kaplamalı elması tutma kabiliyetinin iyi olmasından kaynaklanmaktadır.



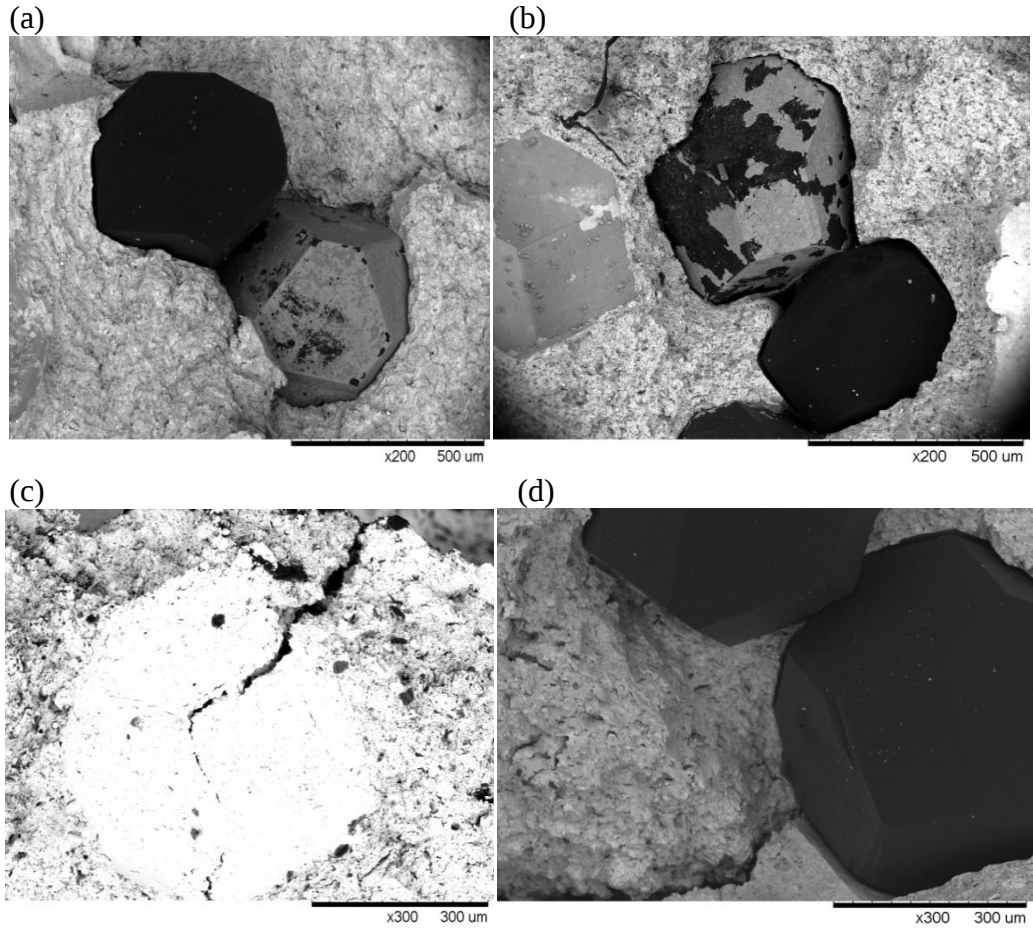
Şekil 9.4 : (a) N2 kaplamasız elmas, (b) N2 WC kaplı elmas, (c) N3 WC kaplı elmas, (d) N1 kaplamalı ve kaplamasız elmasların kırık yüzeylerinin SEM görüntüsü.

Yapılan EDS analizlerinde kaplamasız elmas yüzeylerinde (Şekil 9.4a) farklı elementlere rastlanmamıştır. Bu durum elmas-matris kimyasal bağının oluşmadığının bir kanıtıdır. Kaplamalı elmas yüzeylerinden (Şekil 9.4b) alınan sonuçlarda ise W, Co, Sn ve Cu elementlerine rastlanmıştır, yani kırılmanın matris tarafında olduğu anlaşılmaktadır. Elmasın koptuğu bölgelerden alınan EDS sonuçlarında ise Co ve Cu elementlerine rastlanmıştır, W bulunamamıştır. Bu durum kırılmanın yine matris tarafında olduğunu göstermektedir. Nikel elementine rastlanmaması W-Ni fazı ve ya katı çözeltilisinin üretim koşullarında oluşmadığını göstermektedir. Aynı numuneye ait farklı sıcaklıkta üretilmiş malzemeler incelendiğinde yüksek sıcaklıkta, elmas yüzeyinde daha az W tespit edilmiştir. Bu durum kırılmanın daha çok elmas-kaplama ara yüzeyinde olduğunu göstermektedir. Kaplamalı elmasların koptuğu noktalarda, boşluklarda W bulunabilir. Şekil 9.5’de bu şekilde kopan bir elmas tanesi görüntüsü bulunmaktadır.



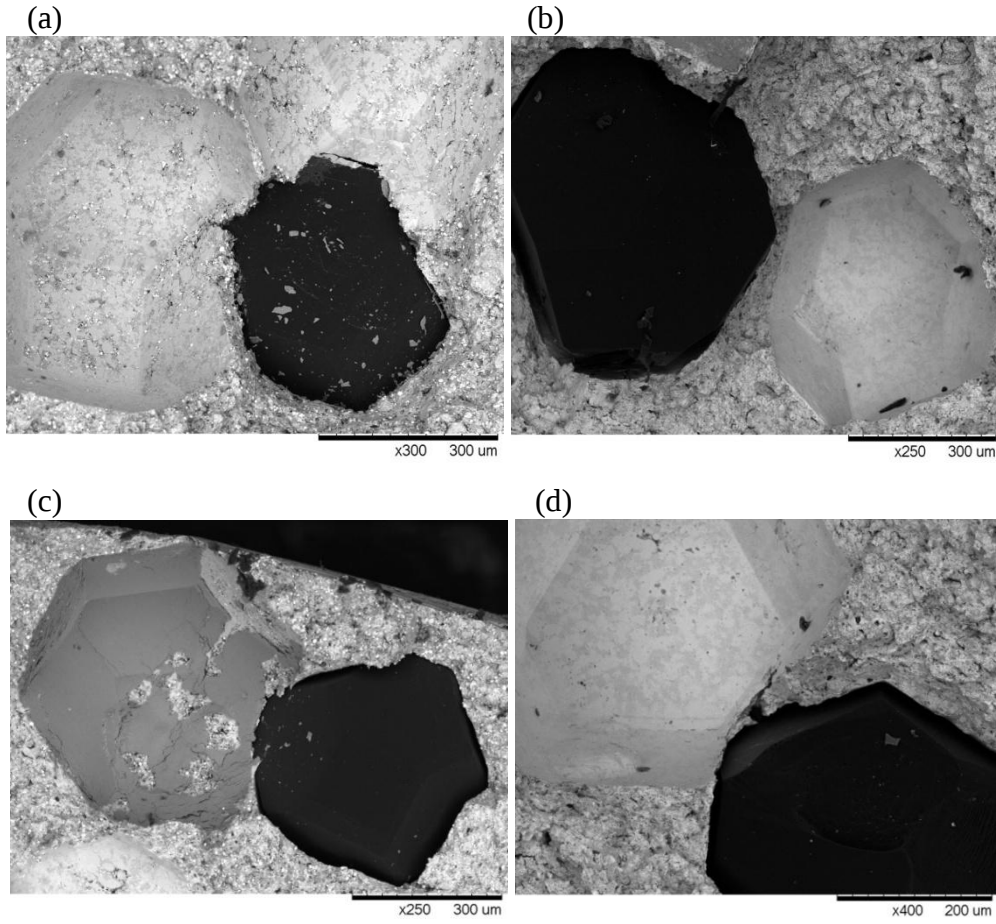
Şekil 9.5 : Elmasın matristen koptuğu bölge.

Farklı kompozisyonlara sahip numunelerden alınan kırık yüzey fotoğraflarına göre genel bir irdeleme yapacak olursak sinterleme sıcaklığının artmasıyla matrisin daha çok kuvvetlendiği bir gerçektir. Ayrıca kaplamalı elmasların matrise çok daha sıkı tutunduğu sonucunu da ifade edebiliriz. Bunlara ek olarak mekanik deneylerde istenilen değerleri elde ettiğimiz N4 ve N8'in kırık yüzey incelemelerinde diğer numunelere göre çok daha uyumlu matris-elmas ilişkisi olduğunu görülmüştür. Şekil 9.6'da verilen kırık yüzey SEM görüntüleri 5, 6, 7 nolu numunelerden alınmış olup, düşük kobalt içeriğinden kaynaklandığı düşünülen zayıf elmas-matris ara bağ ilişkisi görülmektedir. Şekil 9.7'de ise Co oranı yüksek olan 4 ve 8 nolu numunelerden alınan SEM görüntülerinde kuvvetli matris-elmas ara bağ ilişkisi görülmektedir.



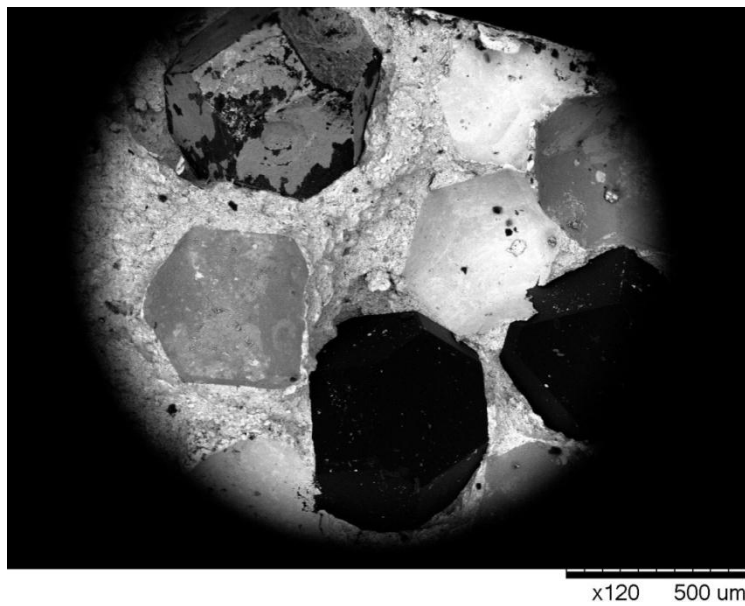
Şekil 9.6 : (a) N5, (b) N6, (c) N7, (d) N7(850°C) numunelerinin zayıf elmas-matris ilişkisini gösteren kırık yüzey görüntüleri.

Co'ın matris içinde tutuculuk özelliği sayesinde artan Co oranıyla elmaslar matris daha sıkı bir biçimde yerleşmektedir.



Şekil 9.7 : (a) N8, (b) N4(800°C), (c) N4(850°C), (d) N8 numunelerinin kuvvetli elmas-matris ilişkisini gösteren kırık yüzey görüntüleri.

Şekil 9.8’de kaplamalı kaplamasız elmasların matris yüzeyinde genel olarak dağılımları görülmektedir.

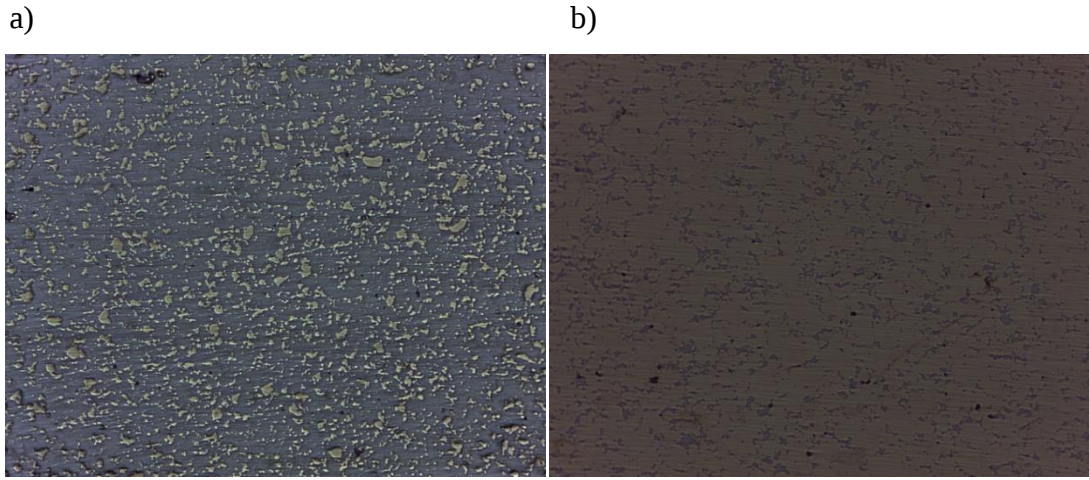


Şekil 9.8 : N5 (800°C) kırık yüzey SEM görüntüsü.

9.2.2. Optik mikroskop, SEM ve XRD analizleri ve sonuçları değerlendirme

Elmas kesici uçların matris yapısını incelemek, oluşan faz kompozisyonlarını anlamak ve belirlemek amacıyla parlatılmış yüzeylerden OM ve SEM kullanılarak görüntüler alınmıştır ayrıca XRD’de incelemeler yapılmıştır. Numunelerin yüzey temizleme ve partlatma işlemlerinden sonra optik mikroskopta mikro yapısal incelemeler gerçekleştirilmiştir. Fakat elmas katkılı numunelerin yüzey partlatma işlemlerinde elmasın etkisiyle partlatma işlemleri istenilen seviyede olmamıştır. OM incelemeleri, zımparalama ve parlatma aşamalarında yüzeye çıkan elmasların sertliğinden kaynaklanan sorunlarla yüzleşmemek için genelde elmassız numuneler incelenmiştir.

Şekil 9.9’da, %64 oranında Co içeren N4 ile % 20 civarında Co içeren N5 nolu numunelerin OM resimlerinde görüldüğü gibi kobalt ilavesinin artmasıyla farklı kontrasttaki bölgeler meydana gelmiştir. Aynı zamanda bu numunelerde diğerlerine kıyasla daha az porozite bulunmaktadır. Artan Cu oranı etkisi N5 numunesinin OM görüntüsünde belirgin bir renk değişimi oluşturmuştur.



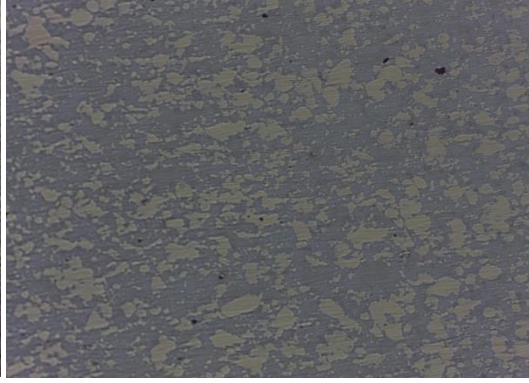
Şekil 9.9 : (a) N4 ve (b) N5 için OM görüntüsü.

2, 3, 4 nolu numunelerde kobalt katkılarının ana matrisde çözüldüğü ve bu matrisin Cu esaslı CoSn ile $\alpha\text{Co} + \beta\text{Cu}$ bileşiklerinden oluştuğu yine OM ve SEM resimleriyle EDS sonuçlarından açıkça anlaşılmaktadır. Şekil 9.10’da N2 (%50 Co), N3 (%36 Co), N4 (%64 Co) nolu numunelerin OM resimleri verilmiştir. Şekil 9.11’de ise N4 ve N2 numaralı numunelerin SEM fotoğrafları verilmiştir.

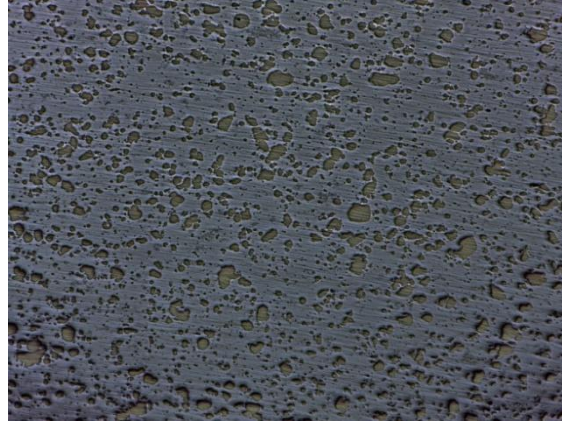
a)



b)

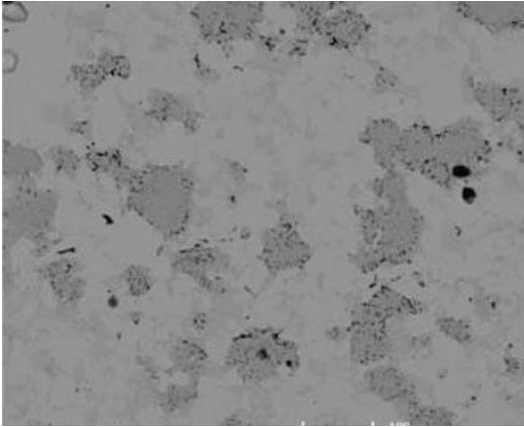


(c)

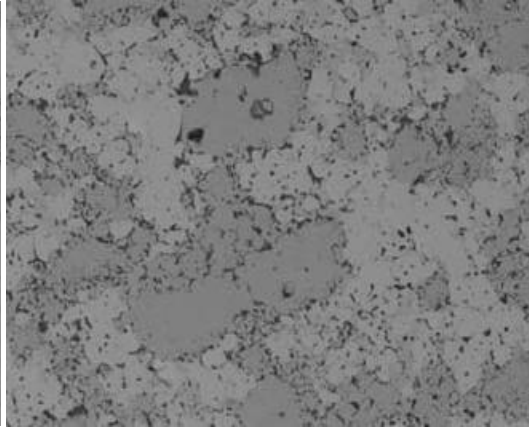


Şekil 9.10 : (a) N2, (b) N3 ve (c) N4 için OM görüntüsü.

a)



b)

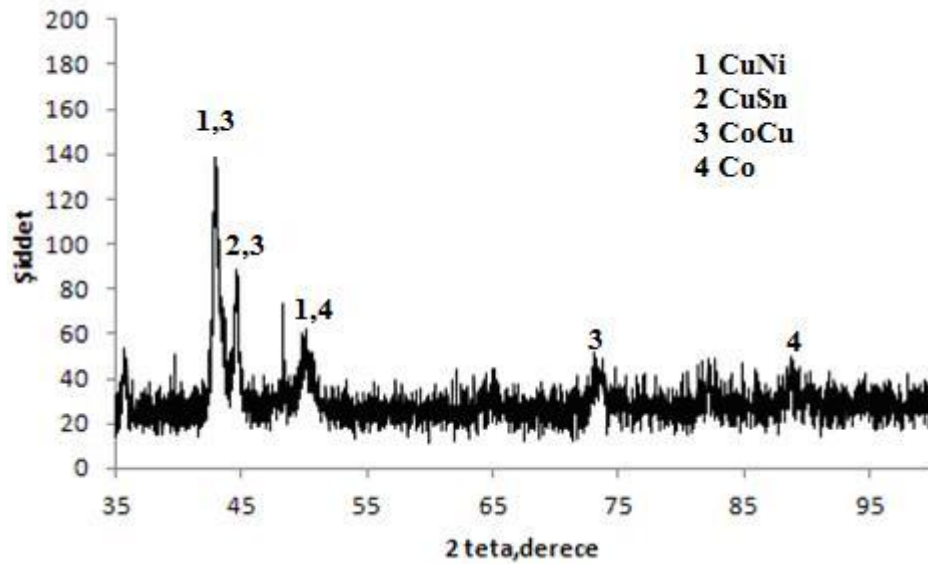


Şekil 9.11 : a) N4 ve b) N2 SEM görüntüleri.

Tüm numunelere ait OM ve SEM resimleri ile EDS sonuçları incelendiğinde matrisi oluşturan Cu, Sn, Ni ve Co faz ve bileşiklerinin genelde homojen bir dağılım gösterdiği ifade edilebilir. Bu sonuçlardan numunelerin sıcak preslenme öncesi yapılan karıştırma işlemlerinin yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Burada özellikle

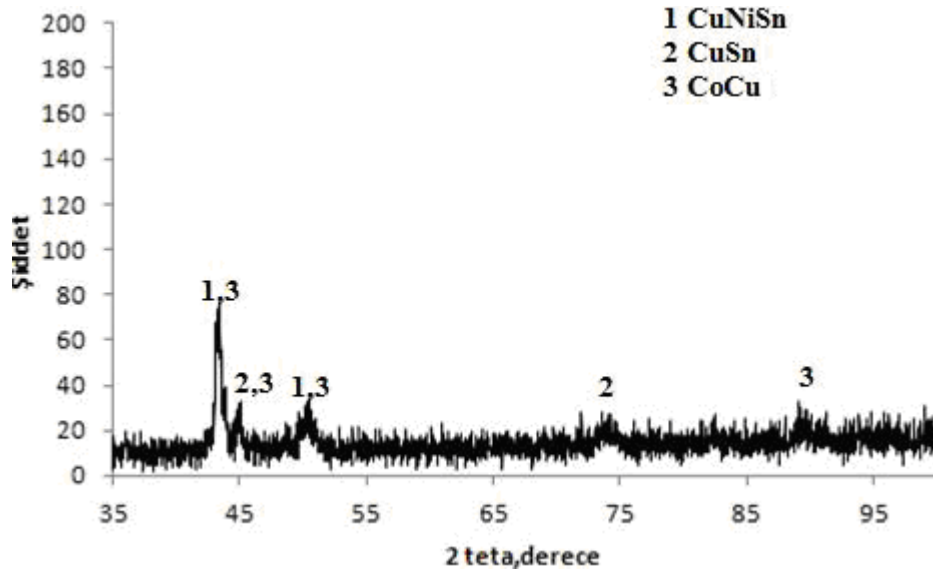
matris içerisinde Co ve Cu elementlerinin ikili denge diyagramındaki gibi birbiri içerisinde katı fazda tamamen karışabilmesinde özellikle 850°C sinterleme sıcaklığının etkili olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca matris içerisinde bulunan Sn elementinin ergime sıcaklığının (232°C) çok üzerinde gerçekleşen sinterleme işlemi sırasında bu elementin sıvı faz sinterlemesi sağladığı anlaşılmaktadır. Çünkü Co-Sn ikili denge diyagramından ve literatür araştırmasından da bilindiği gibi α Co, Sn ile, 500 ile 1121°C arasındaki sıcaklıklarda kararlı bir yapı oluşturmaktadır. Sonuç olarak numunelerde genelde, Co-Ni-Cu-Sn bileşiminden oluşan dengeli bir matris yapısının olduğu OM, SEM ve EDS analizlerinden tespit edilmiştir. Fakat ergiyen bir fazın varlığında, bu sıvının katılar içindeki çözünürlüğüne bağlı olarak boşluklar oluşabilmektedir ve bu sayede mekanik özelliklerde gerileme görülebilir. Örneğin bakır-kalay toz karışımında sinterleme sırasında kalay ergiyip bakırın yapısına girer ve böylece önceki kalay tanelerinin olduğu yerlerde boşluklar oluşabilir.

Şekiller 9.12 - 9.14'da ve Şekil 9.16'da 2, 3, 4 ve 6 nolu numunelerin XRD analizi sonucu elde edilen spektrumları gösterilmektedir. Mikroyapının Co, Ni ve bronz fazlarından oluştuğu sonuçlar birleştirildiğinde ortaya çıkmıştır. İlave edilen elementler sistemde intermetalik oluşumuna neden olabilirler.



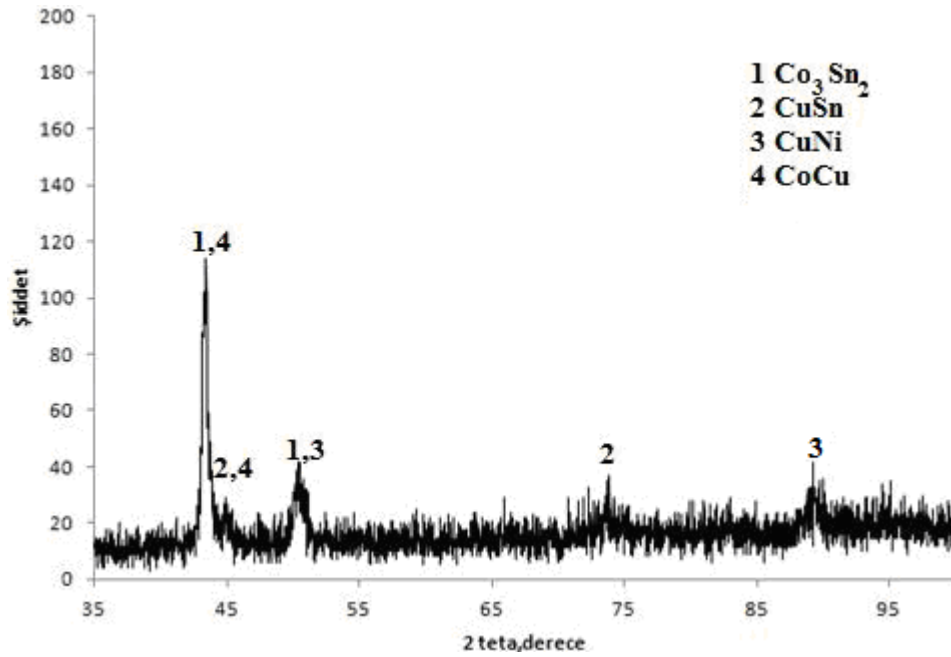
Şekil 9.12 : 2 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.

Şekil.9.12'deki XRD spektrumunda görüldüğü gibi 2 numaralı numunede mevcut fazlar; CuSn, CuNi, CoCu katı eriyi ve Co elementinden oluşmaktadır.



Şekil 9.13 : 3 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.

Şekil.9.13'deki XRD spektrumunda görüldüğü gibi 3 numaralı numunede mevcut fazlar; CuSn, CuNiSn ve CoCu katı eriğinden oluşmaktadır.

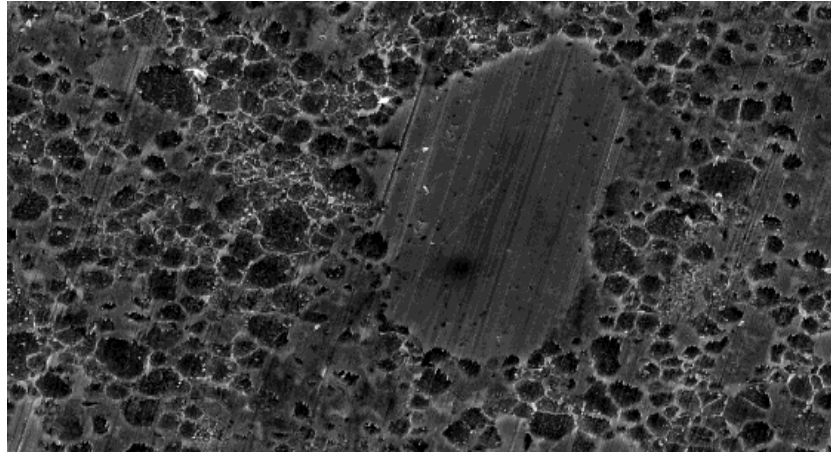


Şekil 9.14 : 4 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.

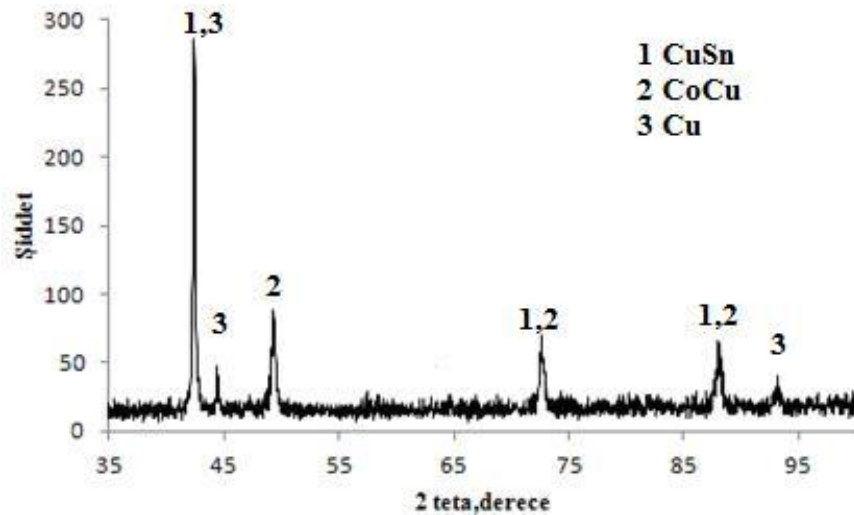
Şekil.9.14'deki XRD spektrumunda görüldüğü gibi 4 numaralı numunede mevcut fazlar; CuSn, CuNi, CoCu katı eriği ve bunun yanı sıra Co₃Sn₂ bileşiği görülmüştür. Kalay içeren kobalt matriste hekzagonal Co₃Sn₂ fazı görülmüştür. İntermetalikler tane sınırlarında ve ya fazlar arası bölgelerde çekirdeklenir. Bu faz ergime noktası yüksek ve sert bir bileşiktir, fakat mekanik özelliklere olumsuz etkisi olur.

Co_3Sn_2 fazı malzemeyi daha yoğun ve sert yaptığından yüksek elmas tutma özellikleri beklenebilir.

Tane sınırlarında görülen her taneyi çepeçevre saran beyaz renkli bölgeler sıvı faz sinterlemesinin gerçekleştiği kalaylı yerlerdir. Şekil 9.15’de bu bölgeler görülmektedir. Çünkü matrise kalay katılmasının en büyük sebebi, sıvı faz sinterlemesi sağlamaktır. Sıvı faz sinterlemesi sayesinde elmas tanecikleri matrise daha iyi tutunur ve doğal taş kesme işlemi esnasında tanecik matristen kolayca sökülüp atılmaz. Buna bağlı olarak takımın ömrü de uzatılmış olur.



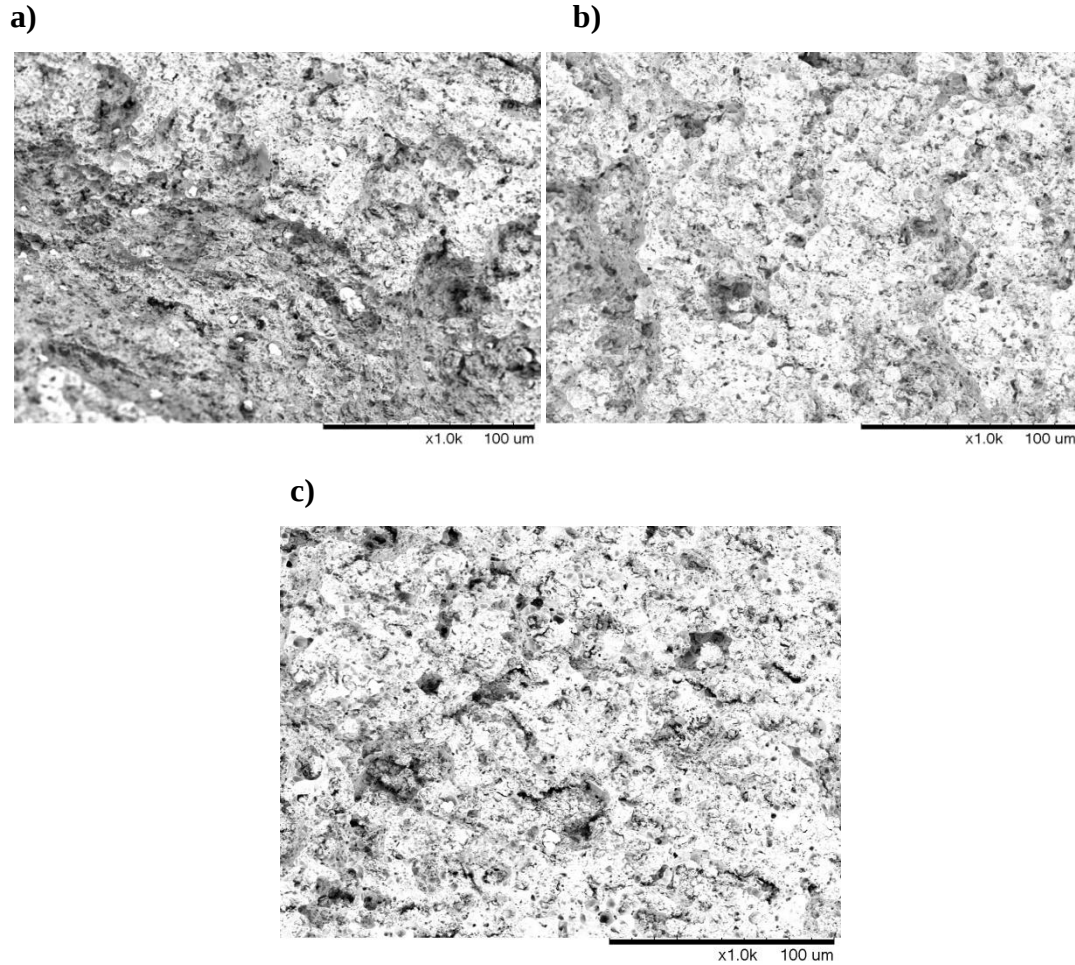
Şekil 9.15 : N4 SEM görüntüsü (sıvı faz sinterlemesinin gerçekleştiği kalaylı bölgeler).



Şekil 9.16 : 6 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.

Şekil.9.16'daki XRD spektrumunda görüldüğü gibi 6 nolu numunede yüksek oranda CuSn katı eriği belirlenmiştir. Bununla beraber CoCu katı eriği ve Cu elementi belirlenmiştir.

Özellikle 2, 3, 4 nolu numunelerin OM ve SEM resimlerinden 850°C sıcaklıkta yapılan sinterleme işleminde boşluk ve bileşenlerin dağılımı açısından yeterli olduğu yani matriste çok fazla miktarda boşlukların bulunmadığı gözlenmiştir. Buna örnek Şekil 9.17'de bu numunelerin SEM fotoğrafları bulunmaktadır.

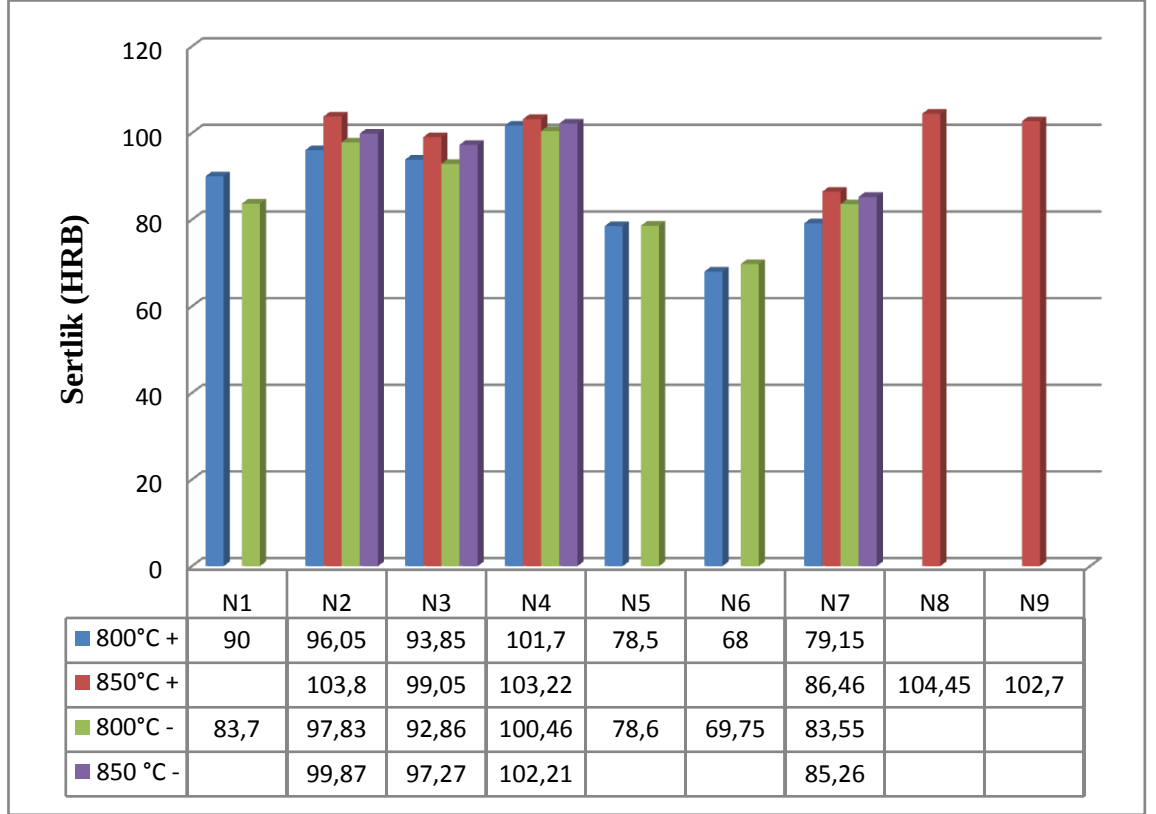


Şekil 9.17 : a) 2 nolu, b) 3 nolu, c) 4 nolu numunelerin SEM fotoğrafları.

9.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Farklı zamanlarda üretilen numunelerden toplamda 6-9 adet arası ölçüm yapılmıştır. Sonuçların sağlıklı olması için numunenin farklı bölgelerinden belli aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 9.18'de gösterilmiştir. Sertlik deneyi sonuçlarına göre numunelerin elmas tutma kabiliyeti hakkında fikir elde edilmiştir.

Bazı numunelerin yoğunluklarının istenilen değerlerin altında kalması, malzemelerin sertlik değerlerini de bir miktar etkilemiştir. Bunun dışında farklı sıcaklıklarda sinterlenen numunelerin sertlik değerlerinin karşılaştırılmasından 850°C’de tüm malzemelerin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Genel bir ifadeyle açıklamak gerekirse artan kobalt oranıyla beraber numunelerin sertliğinde artış gözlemlenmiştir.



Şekil 9.18 : Numunelerin sertlik değerleri (‘+’ işareti elmaslı, ‘-’ işareti elmassız numuneleri göstermektedir).

Elmaslı ve elmassız olarak üretilen numunelerin sertlik değerleri kıyaslandığında elmaslı numunelerin sertliğinin daha yüksek olduğu sonucunu görmekteyiz. Matrise elmas ilavesiyle porozite miktarının artmasına rağmen sertlik değerlerinde azda olsa bir artış söz konusudur. Bunun sebebi metal matriste elmas tanelerinin dispersiyon sertleşmesi etkisi olabilir. Elmas tanelerinin meydana getirdiği dispersiyon sertleşmesi sertliği arttırmıştır.

En yüksek sertlik değerleri sırasıyla N8, N4, N9, N2 ve N3 şeklindedir. Bu sıralamanın en önemli etkisi kobalt oranıdır. Artan kobalt oranıyla beraber sertliklerinde buna paralel arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değerine sahip N8 %80 kobalt oranı içermektedir. Bu malzemenin %5’lik tungsten karbür içermesi

de sertliğin artışına etkisi olmuştur. Bir diğer yüksek sertlik değerine sahip olan N4 ise %64 kobalt oranına sahip olduğu bilinmektedir. N1(%26 Co + %64 Cu) ile N4(%64 Co + %26 Cu)'ü kıyaslayacak olursak, 800°C'de artan Co oranıyla beraber sertliğin 90 HRB'den 101,7 HRB'ye yükseldiğini görmekteyiz. 2 ve 3 nolu numuneleri kıyaslarsak, N2'nin %50 Co oranıyla her iki sinterleme sıcaklığında N2'den daha yüksek sertlik değerlerine sahiptir. N3'ün daha düşük sertliğe sahip olmasının nedeni azalan Co oranının yerine artan Cu oranı olarak açıklayabiliriz.

Yüksek sertlik değerlerine sahip numunelerin (N8, N4, N9) yoğunluk değerleri ve porozite miktarlarıyla arasındaki ilişkinin paralel olduğu sonucuna varabiliriz. İstenilen seviyede yoğunluğa sahip olan numunelerin sertliklerinde de istenilen değerler ortaya çıkmıştır. Artan sinterleme sıcaklığı da sertliğe olumlu etki göstermiştir. Bu sıcaklık artışı ile beraber matris ile elmas ara yüzeyinde daha kuvvetli bir bağmeydana geldiğini söyleyebiliriz.

5, 6, 7 nolu numunelerin düşük sertlik değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda yoğunluk ölçümlerinde yüksek porozite miktarına sahip olan bu numuneler içerdikleri düşük Co, yüksek bronz oranıyla sertlik değerlerinde de istenilen sonuçlara sahip değildir. Bu sebepten daha çok yumuşak kayaç tiplerinin kesimlerinde kullanılmaları söz konusudur.

Sertlik deneyi sonuçları bize her ne kadar önemli sonuçlar versede tek başına yeterli bir parametre değildir. Çünkü numunelerde deformasyon sertleşmesi meydana gelmiş olabilir.

Sertlik-Yoğunluk arasındaki ilişkiyi irdelersek, düşük sıcaklıkta plastik deformasyon ve artan yoğunlukla beraber sertlik artar fakat tam yoğunluk değerinden sonra tane büyümesi ve yeniden kristalleşme sebebi ile malzemenin sertliği düşer.

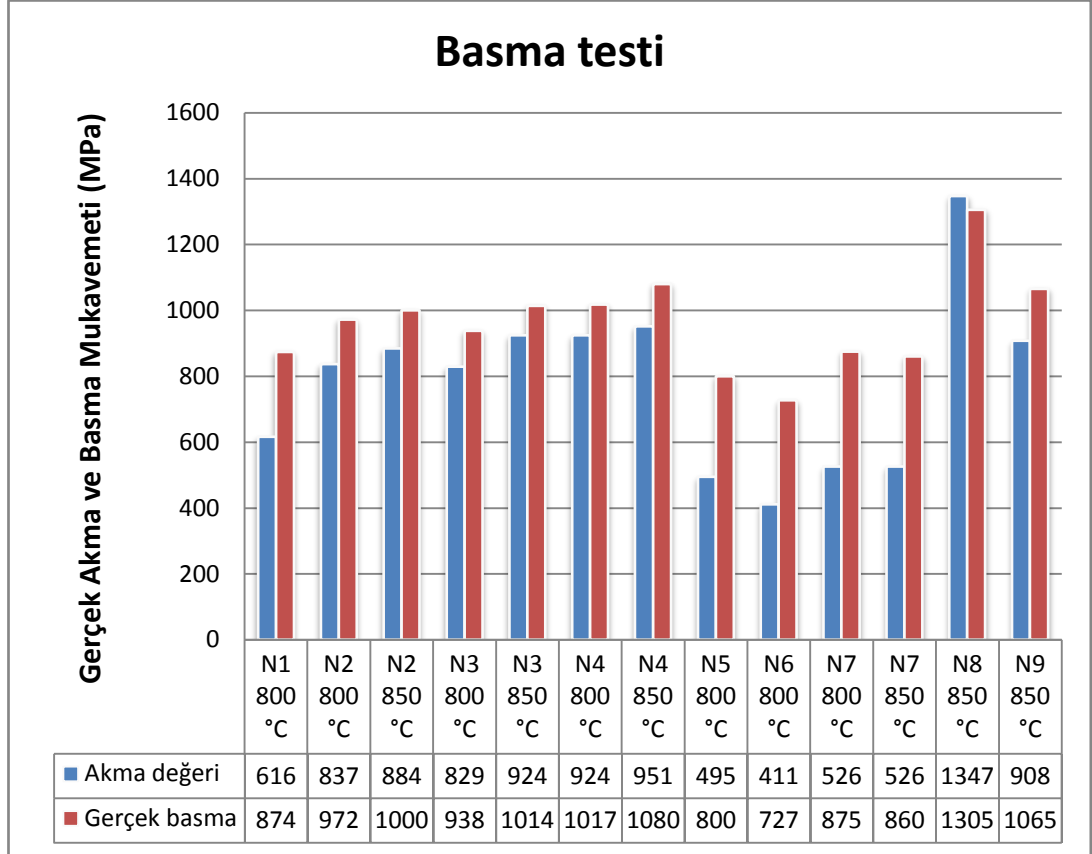
9.4. Mekanik Deneylerin Sonuçları

Bu kısımda elmas kesici uçların performansının belirlenmesinde kullanılan basma ve üç nokta eğme testi sonuçları irdelenmiştir. Bu deneyler için özel kalıplarda standartlara uygun numuneler hazırlanmıştır.

9.4.1. Basma deneyi sonuçları

Kesici uçlar servis koşullarında basma kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Bu kuvvetlerin etkisinin değerlendirilmesi amacıyla basma testi yapılmıştır. Şekil

9.19'da basma deneyinde elde edilen mukavemet değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Özellikle yüksek bakır içeren numunelerde basma testinde kırılma görülmemiş, yüksek ezme değerleri sonucu yüksek kesit değişimleri olması nedeni ile mühendislik değerleri yerine gerçek basma mukavemeti değerleri ve akma dayanımları esas alınmıştır. Akma mukavemeti elmas tutmayı etkileyen en önemli parametrelerdendir.

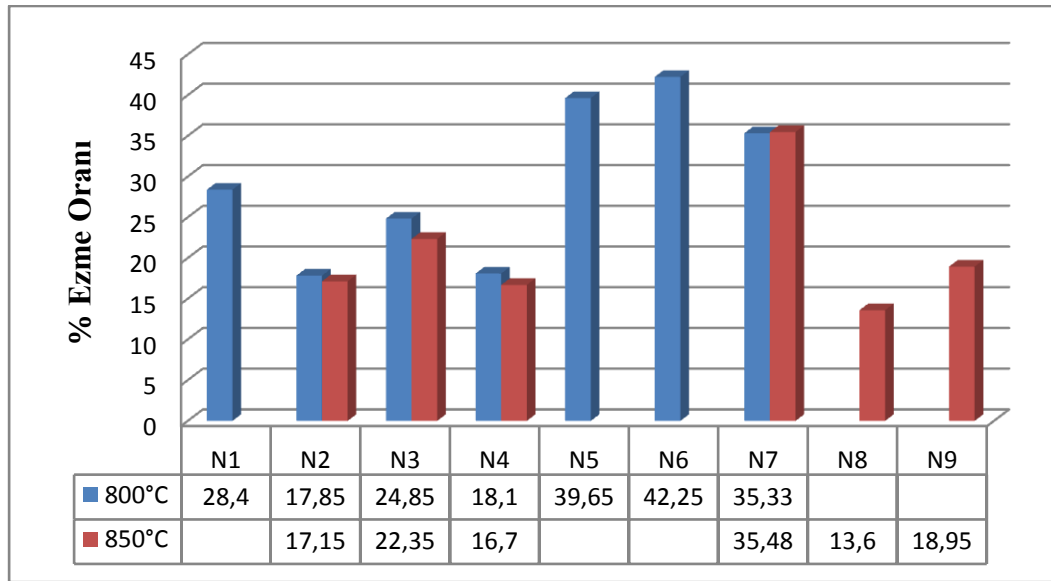


Şekil 9.19 : Basma numunelerin gerçek akma ve basma mukavemetleri.

Basma deneyi sonuçlarına göre mühendislik basma değerlerinin, numunelerin alanlarındaki yüksek oranda değişim nedeniyle değerlendirmeye alınması sağlıklı sonuç vermeyeceğinden dolayı akma dayanımları ve gerçek basma değerleri baz alınmıştır. Gerçek basma değerleri uygulanan maksimum yükün son alan değerine bölünmesiyle bulunmuştur. Bu sonuçlara göre sertlik ölçümlerinde olduğu gibi artan sinter sıcaklığı, gerçek basma ve akma dayanımlarına artış yönünde olumlu etki yapmıştır. Şekil 9.19'dan da anlaşıldığı gibi en yüksek basma mukavemeti değerleri (850°C), sırasıyla 8, 4, 9, 3, 2 numaralı numunelerdir. Sertlik ve yoğunluk deneylerinde olduğu gibi 8 ve 4 nolu numuneler yüksek kobalt içerikleri sayesinde yüksek akma dayanımı ve gerçek basma değerlerine sahiptirler. N1 ve N4'ü

karşılaştırdığımızda artan Co oranının etkisinin gerçek basma ve akma dayanımına olumlu etkisini açıkça görebilmekteyiz.

Co oranının artmasının basma mukavemet değerlerine olumlu etkisine karşın, Cu+Sn(bronz) oranının artmasıyla mukavemet değerleri azalmış, süneklik değerleri artmıştır. 1, 5, 6, 7 numaralı numunelerde yüksek bronz alaşımı nedeniyle akma ve gerçek basma dayanımları istenilen değerlerden daha düşük olarak elde edilmiştir. Bu numunelerde yüksek kesit daralması nedeniyle, mühendislik basma dayanım değerlerinin yüksek olması önemini kaybetmiştir. Bakırın süneklik etkisiyle basma deneyi esnasında gözle görülür fiçilaşmalar meydana gelmiştir ve kırılma olmamıştır. Şekil 9.20’de de görüldüğü gibi deney esnasında sünek davranış gösteren bu numunelerin, malzemenin deformasyon davranışı hakkında bilgi veren bir parametre olan %ezme oranları da yüksektir.%90 oranında bronz içeren N6 numunesinin % ezme miktarının % 42,25 gibi bir değer elde edilmiştir.



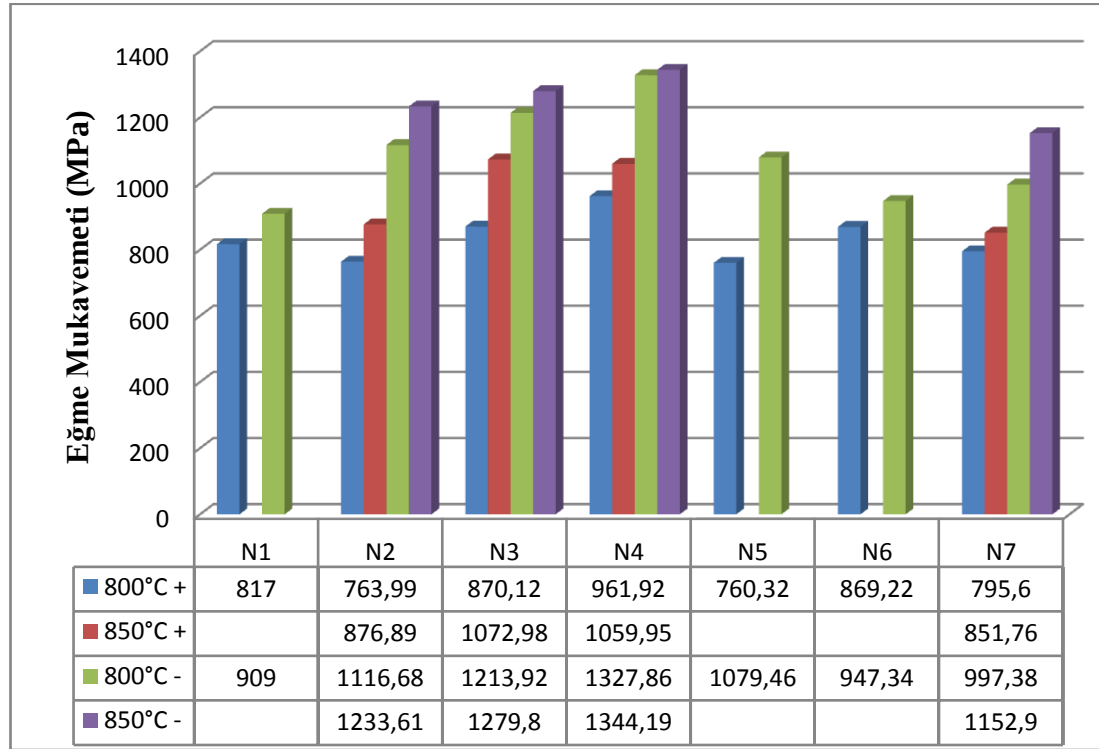
Şekil 9.20 : Basma deneyi sonrasında elde edilen % ezme oranları

Deney sonucunda 8 ve 9 nolu numunelerde kırılma, 2, 3 ve 4 nolu numunelerde yarı sünek kırılma, diğerlerinde ise çatlamalar meydana gelmiştir.

9.4.2. Üç noktalı eğme deneyi sonuçları

Üç nokta eğme testi ile numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesinde değişken parametre olarak sinterleme sıcaklığı ve malzemenin elmas içerip içermemesi ele alınmıştır. Her bir numunede kaplamalı ve kaplamasız elmaslar bulunmaktadır. Eğme deneyi, numunelerin hem matris içindeki bağ yapısı ve kuvveti hem de elmas-

matris arasındaki bağ yapısı ve kuvveti hakkında sonuç ve fikir elde edebileceğimiz bir parametredir. Elmas içeren ve içermeyen numunelerin eğme mukavemetleri Şekil 9.21’de verilmiştir. Basma deneyi için özel olarak üretilen yüksek mukavemet değerlerine sahip 8 ve 9 nolu numuneler bu deneye uygun olarak hazırlanmadığından eğme testi yapılmamıştır. Şekil 9.21’den da görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığının artışıyla beraber eğme mukavemetinde de artış gözlemlenmiştir. 850°C’de sinterlenen numunelerin eğme mukavemetleri 800°C’de sinterlenen numunelerin eğme mukavemetlerine göre yüksek değerdedir. Örneğin 4 numaralı numunede maksimum gerilme 800°C’de yaklaşık 962 MPa iken, 850°C’de ise yaklaşık 1060 MPa olarak ölçülmüştür. Bu durum sinterleme işlemi sırasında difüzyonun 850°C’de daha kolay olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca eğme miktarları da sinterleme sıcaklığının artışı ile artmaktadır.



Şekil 9.21 : Eğme mukavemeti değerleri.

Deney sonuçlarına göre Co oranının artışı ile beraber numunelerin eğme mukavemetleri de artmıştır diyebiliriz. Elmaslı numunelerde sırasıyla 3, 4, 2 nolu numunelerin eğme mukavemetleri diğerlerine göre daha yüksektir. 850°C’de sinterlenen numuneler içinde en yüksek eğme mukavemeti değeri N3 nolu numunede elde edilmiştir. Genel bir ifade ile açıklamak gerekirse Co’ın artışı ile basma

mukavemetinde olduğu gibi eğme mukavemeti değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. N1 ve N4'ü karşılaştırsak Co etkisini çok açıkça görebiliriz. Fakat aynı gözlemi 2 ve 3 nolu numuneler arasında yaparsak Co etkisi açısından net bir sonuca varılmadığı görülmektedir. 2 nolu numunenin Co içeriği 3 nolu numuneye göre daha fazla olmasına rağmen eğme mukavemeti daha düşüktür. Co ilavesi artan mukavemete nazaran % eğme miktarında azalmalar meydana getirmiştir.

Elmassız numunelerde elmaslı numunelere göre daha yüksek eğme mukavemeti değerleri tespit edilmiştir. Bunun sebebi elmaslı ve elmassız numunelerin yoğunluk farkından da anlaşılacağı gibi elmas ilavesiyle matriste oluşan poroziteler olabilir. Elmas, uygulanan yük altında malzeme içinde çatlak başlangıcına neden olmuştur. Elmaslı numuneler, elmassız numunelerin eğme dayanımı sınırlarının altındaki değerlerde çatlamaya başlamıştır. Elmaslar malzeme içinde hatalı bölge gibi davranabilirler. Kaplamalı elmasların yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğu ve matrise tutunma kabiliyetinin kaplamasız elmaslara göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Cu katkısının matris içerisinde %50'lerin üzerinde bir oranda bulunması malzemeye sünek davranış katar ve eğme mukavemetlerinde düşüşe neden olur. 3 nolu numunede % 50 bakır oranıyla istenilen değerler elde edilmesine rağmen 5, 6, 7 nolu numunelerde daha yüksek Cu oranları ve düşük Co katkısıyla eğme mukavemetleri düşmüştür.

Bu teste tabi tutulan çoğu numunede kırılma olmuştur. Fakat hem elmaslı hem elmassız 6 numaralı numunelerde deney sırasında çatlaklar oluşmuş, fakat kırılma gözlenmemiştir. Test sırasında bu numunelerin gerilme-%eğme grafiğinde sünek davranışları tespit edilmiştir. Bütün bunlar matriste bulunan bronz bileşeninin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Numunelerin eğme mukavemeti değerleri sertlik değerleri ve gerçek basma değerleri ile paraleldir, sertliği yüksek malzemelerin eğme mukavemeti de yüksek değerlerdedir.

10. GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Co-Cu-Ni-Sn, Co-Cu-Sn alaşımlarının bağlayıcı matris olarak kullanıldığı, 800°C-850°C sinterleme sıcaklığında üretilen, kaplamalı ve kaplamasız elmas içeren elmas kesici uçların karakterizasyonu yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Spark plazma sinterleme yöntemi ile 850°C’de üretilmiş numuneler, 800°C’de üretilenlere göre yoğunluk ölçüm değerleri dışında, daha yüksek sertlik, basma mukavemeti ve eğme mukavemeti değerleri göstermiştir. Elmaslı numunelerde yoğunluk ölçümlerinde artan sinterleme sıcaklığına rağmen yoğunluk değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.
- Co-Cu-Sn-Ni alaşımının bağlayıcı matris olarak kullanıldığı numunelerde artan kobalt miktarı ile beraber yoğunluk, sertlik, eğme ve basma mukavemetleri artmıştır. Artan kobalt oranıyla beraber genelde numunelerin boşluk miktarları da azalmıştır.
- Co-Cu-Sn alaşımının bağlayıcı matris olarak kullanıldığı numunelerde mikroyapı bronz ve kobaltdan oluşmuş, artan bronz oranıyla beraber sıvı faz sinterlemesi ortaya çıkmıştır ve daha sünek bir malzeme ortaya çıkmış ve mukavemet özellikleri daha düşük değerler almıştır
- WC kaplamalı elmasların matrise tutunma özelliği daha iyidir, kaplama aynı zamanda Ni gibi elementlerin elmasın grafitleşmesinde ve oksitlenmesinde katalizör görevi üstlenmesini engellemektedir.
- Üç nokta eğme testinde elmassız numuneler ile yapılan deney sonuçları daha yüksek mukavemet değerleri ortaya çıkarmıştır. Elmas matris içinde hatalı bölge gibi davranarak çatlak başlangıcına neden olmaktadır.
- Malzemelerin yoğunluk, sertlik ve mukavemet (basma/eğme) değerleri ve mikro yapıları göz önüne alındığında en iyi performansa sahip numunenin 850°C’de üretilen 4 ve 8 numaralı numune olduğu ortaya çıkmıştır. Basma

testi için özel olarak üretilen tungsten karbür içeren 8 numaralı numunenin mekanik özellikleri 4 nolu numuneden daha yüksektir, fakat çok yüksek oranda kobalt içeriği (%80 Co+ %5 WC) ve kobaltın tozlarının pahalı oluşu nedeniyle doğal taş kesiminde kullanılması için 4 numaralı numunenin üretimi daha uygun olacaktır. 2 ve 3 numaralı numuneler de kesilecek taşın cinsine göre 4 nolu numuneye alternatif olarak kullanılabilecek özelliklerdedir.

- Elmas kesici uçlarda uygun kompozisyonu belirlerken kesilecek doğal taşın cinsi ve sertliği hesaba katılmalıdır. Mukavemet değerleri düşük olan 5, 6, 7 nolu numuneler sertliği düşük doğal taşların kesiminde kullanılabilecek özelliklerdedir.
- 8 ve 9 nolu numuneleri kıyaslarsak %5 oranında WC ilave edilen 8 numaralı numunenin mekanik deney sonuçlarının 9 numaralı numuneye göre daha yüksek değerlere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun sebebi tungstenin sertlik ve yoğunluğu arttırmasıdır. Ayrıca mikro yapı analizleri sonucunda tungstenin karbon ile atomic bağ yapma eğilimi sayesinde elmas-matris arayüzey ilişkisini kuvvetlendirdiği tespit edilmiştir.

11. GENEL SONUÇLAR

1. 850°C’de sinterlenmiş numuneler daha yüksek sertlik ve mukavemet değerleri göstermişlerdir. Bu sıcaklıkta sinterlenen numunelerin mikro yapı incelemelerinde boşluk ve bileşenlerin dağılımının yeterli olduğu kanısına varılmıştır. Sinterleme sıcaklığının 850°C olması gerektiği sonucu elde edilmiştir.
2. Numunelerde artan Co miktarı ile beraber yoğunluk, sertlik artışı olmuştur ve daha yüksek mukavemet değerleri elde edilmiştir. Ayrıca mikro yapı incelemelerinde, Co oranı yüksek elementlerin elmas-matris ara yüzey ilişkisinin daha kuvvetli olduğu sonucu elde edilmiştir.
3. WC kaplamalı elmasların kesme işlemi esnasında maruz kaldığı yüksek aşınmaya karşı matrise çok daha iyi tutunduğu ve elmas matris arayüzeyinin daha kuvvetli olduğu belirlenmiştir. Kaplamalı elmasların daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.
4. Deney sonuçlarına göre ticaride kullanılmakta olan 2 numaralı numune yerine daha az kobalt içeren ve bunun etkisiyle maliyeti daha düşük olan 3 numaralı numunenin kullanılabileceği kanısına varılmıştır.
5. En iyi performans 4 ve 8 numaralı numunelerde elde edilmiştir. 8 numaralı numunenin mekanik özellikleri 4 numaralı numuneye göre daha fazla olmasına rağmen pahalı bir toz olan kobaltı fazla içermesinden dolayı 4 numaralı numunenin üretiminin daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.
6. 8 numaralı numunenin içerdiği yüksek kobalt oranının yanı sıra %5 oranında tungsten karbür içermesi sayesinde yüksek mukavemet değerleri ve kuvvetli elmas-matris bağ yapısı elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Şahin Y.** (2003). Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt 1, Gazi Kitapevi Ekim.
- [2] **Schey, J.A.**(1987). Introduction to Manufacturing Processes, Second Edition, McGraw-Hill Book Comp, New York, 472-477.
- [3] **CAN Ahmet.** (2003). AISI 5140 Çeliğinin Sermet, PVD İle Ti AIN – CUD İle TIN Kaplanmış Kesici Uçlarla Tamamlanmasında Kesme Değişkenleri, Kaplama Cinsi ve Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Temmuz.
- [4] **Uğuz, M., Cakır, M.C.**(1997).Seramiklerin Kesici Takım Malzemesi Olarak Kullanılması,7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 170-175
- [5] **Trent, E.M.**(1977). Metal Cutting, London.
- [6] **Edwards, R.**(1993). Cutting Materials, Cutting Tools, The Institute of Materials, 3-26
- [7] **Avner, S. H.**(1974). Introduction to Physical Metallurgy, Book Comp., New York, 472-477.
- [8] **M. Hand.** (1967). Materials for Cutting Tools, Metals Handbook 8th Edition, Vol. 3 Machining, Ohio, 311-324
- [9] **Dawis, J. R. (Ed.).**(1995). Tool Materials, ASM Specialty Handbook, Ohio, 32-76, 85-99.
- [10] **Culp, N.J., Huffman, D.D. ve Henry, R.J.**(1997).Tools Materials, Metals Handbook, Desk Edition, ASM, Ohio 18-1-18.14.
- [11] **Smith, N.R.** (1974). User's Guide to Industrial Diamonds. Hutchinson Benham, London, pp. 43–44.
- [12] **Konstanty, J.** (2005). 'Powder Metallurgy Diamond Tools', Elsevier B.V., Krakow, Poland, 15-16s, 42-63s, 119-120s.
- [13] **Derjaguin, B.V., Fedoseev, D.V.**(1990).Low pressure diamond growth. Industrial Diamond Review, 50(3), 155–160
- [14] **<http:// www.koumakina2001.8m.com>**
- [15] **Collins, J.L.**(1999).New CVD diamond products. Industrial Diamond Review, 59(3), 212–213
- [16] **Hughes, F.H.** (1980). 'The early history of diamond tools', Industrial Diamond Review, November, pp 405–407.
- [17] **Karagöz S, Zeren M.** (1998). 'Characterisation of Hot Pressing Behaviour of Diamond Cutting Tools',Int. PM Conf., Granada-İspanya, 4, 208-212.
- [18] **F.Bayram.** (2002). 'Elmas lamalı katraklarda kesme verimliliğinin incelenmesi,' Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 131 s.
- [19] **German R.M.,** (1996). Powder Metallurgy of Iron and Steel, MPIF, Princeton, NJ.
- [20] **E. Çelik.** (2009). 'Elmaslı Kesici Takımlarda Alternatif Bağlayıcılar,' Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [21] **Bakkaloğlu A.**(2000). 'Toz Metalurjisi' ders notları, 2000, s.1, s.7-10,s.79-81

- [22] **Sarıtaş, S.**, 1994, Toz metalurjisi, Makine müh. el kitabı, MMO, 2.Baskı, I.Cilt
- [23] T.C milli eğitim bakanlığı MEGEP Makine Teknolojisi, (2008). Dairesel Testerelerle Kesme, Ankara.
- [24] **Gök, İ.**,(1998).Mermer Kesme ve İşleme Makineleri, Lisans Bitirme Tezi, G.Ü. Tek. Eğt. Fak., Ankara.
- [25] **Sarışık A. ve Gündüz L.**,(1996). Mermer Kesiminde Kullanılan Elmaslı Diskli Kesiciler, Mermer Teknolojisi Dergisi, Sayı 1, Mayıs, 9s-14s
- [26] **KEKEÇ Nevzat.** (1990).Tel kesme makinelerinde elmaslı tellerde kesme performansının belirlenmesi üzerine bir inceleme,Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilimdalı Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 51s-67s.
- [27] **YENİEV Ali İhsan.** (t.y.). Mermer ocakları işletmeciliğinde elmas telin seçiminin önemi ve yeni teknolojiler, , İnönü Madencilik,185-187s
- [28] **Arıkan, M.**, (1968). Mermer ve Mermercilik, Ankara Basımevi ve Ciltevi, Ankara, 187-189s.
- [29] **Karagöz, Ş. ve Zeren, M.** (2001). Mermer kesiminde kullanılan elmas kesici takımlarda aşınma karakteristiği. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001) Bildiriler Kitabı*, Afyon, Türkiye, 3-5 Mayıs
- [30] **Clark, B.**, (1996). Cobalt and hard metal, *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, vol. 5, Part 18, 3–7.
- [31] **E. Çelik, M. Kaplan ve S. İnci.** (2011). Fe–Cu–Co–Sn Matrisli Elmaslı Kesici Takımlara Ti ilavesinin Etkisi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May, Elazığ, Turkey
- [32] **M. Kaplan ve S. Budak.** (2011). Bir Mermer Kesici Takımında Co Katkısının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May, Elazığ, Turkey
- [33] **E. Çelik, M. G. Gök ve Ö. Çelik.** (2010). ‘Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Elmaslı Kesici Takımlara Sinterleme Sıcaklığının Etkisi’ *13.Uluslararası Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli.
- [34] **Wright, D. N., Cassapi, V.B.** (1985). Factors influencing stone sawability, *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, pp. 84-87.
- [35] **UCUN İsmail, Kubilay ASLANTAŞ, İ.Sedat BÜYÜKSAĞIŞ.** (2011). ‘Elmas Kesici Disklerde Kesme Sıcaklığının Belirlenmesi’, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye
- [36] **Wright, D, Jennings, M.**, (1989). Guidelines for sawing stone, *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, pp. 70-75.
- [37] **Luo, S.Y., Liao, Y.S.**, (1993). Effects of diamond grain characteristics on sawblade wear”, *Int. J. of Mach. Tools Manufact.*, Vol. 3 (2), pp. 257-266.
- [38] **UCUN, İ.Sedat BÜYÜKSAĞIŞ.** (2009). ‘Elmas Soket Aşınmasının Belirlenmesinde Lazer Ölçüm Sisteminin Kullanılması’, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye.
- [39] **Tillmann, W.** (2000). Trends and market perspectives for diamond tools in the construction industry. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 18, 301-306.

- [40] **Büyüksağış, İ. S.** (t.y.). Doğaltaş kesmede kullanılan elmaslı dairesel testerelerin tanıtımı ve talaş oluşum mekanizması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1-2), 17-30.
- [41] **Romanski, A. ve Konstanty, J.** (t.y.). A novel look at the metal matrix used in diamond impregnated tools for cutting stones. AGH-University of Science and Technology, Krakow, Poland.
- [42] **Metals Handbook Volume 7.** (t.y.) Powder Metal Technologies and Applications. ASM International, USA.
- [43] **Sung, C. M.** (1999). Brazed diamond grid: a revolutionary design for diamond saws. *Diamond and Related Materials*, 8, 1540-1543
- [44] **Webb, S. W.** (1999). Diamond retention in sintered cobalt bonds for stone cutting and drilling. . *Diamond and Related Materials*, 8, 2043-2052
- [45] **Upadhyaya, G. S.** (2002). Powder Metallurgy Technology. Cambridge International Science Publishing
- [46] **Xu, X. ve Yu, Y.** (2005). Sawing performance of diamond with alloy coatings. *Surface and Coatings Technology*, 198, 459-463
- [47] **Tokita, M.** (t.y.). Mechanism of spark plasma sintering. Sumitomo Coal Mining Company Ltd. Kanagawa. Japan
- [48] **Tönshoff, H. K., Hillmann-Apmann, H. ve Asche, J.** (2002). Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and applications. *Diamond and Related Materials*, 11, 736-741
- [49] **Jianxin, D., Zhang, H., Ze, W. ve Aihua, L.** (2011). Friction and wear behavior of polycrystalline diamond at temperatures up to 700°C. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29, 631-638.
- [50] **Spriano, S., Chen, Q., Settineri, L. ve Bugliosi, S.** (2005). Low content and free cobalt matrixes for diamond tools. *Wear*, 259, 1190-1196
- [51] Umicore Cobalt Bond Powders Technical Data Sheet, January 2005
- [52] **S. Spriano, Q. Chen, L. Settineri, S. Bugliosi,** Low content and free cobalt matrixes for diamond tools.
- [53] **Liu, D., Stephenson, T. F., Korotkin, M. ve Metcalfe, S.** (t.y.) Properties of diamond tool binders with fine carbonyl Ni powder additions. Vale Inco Limited. Ontario. Canada
- [54] **Karagöz, Ş. ve Zeren, M.** (2001). The microstructural design of diamond cutting tools. . *Materials Characterization*, 47, 89-91
- [55] **Oliveira, L. J., Cabral, S. C. ve Filgueira, M.** (2012). Study hot pressed Fe-diamond composites graphitization. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 35, 228-234

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ferit Topaloğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Artvin/Hopa, 29.06.1987

Adres: Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü İTÜ, 34699, İstanbul-Türkiye

E-Posta: feritopaloglu@itu.edu.tr

Lisans: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, YTÜ

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Anadolu Döküm – Kocaeli-Üretim Mühendisi (Stajyer) (2008)

Gelişim Valf ve Makina Sanayi - İstanbul(Anadolu) Malzeme Mühendisi (Stajyer) (2009)