**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# DEMİR ESASLI ALAŞIMLARIN BAĞLAYICI MATRİS OLARAK KULLANILDIĞI ELMAS KESİCİ UÇLARIN KARAKTERİZASYONU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Engin HÜNDER**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Malzeme Mühendisliği Programı**

**ARALIK 2012**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# DEMİR ESASLI ALAŞIMLARIN BAĞLAYICI MATRİS OLARAK KULLANILDIĞI ELMAS KESİCİ UÇLARIN KARAKTERİZASYONU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Engin HÜNDER**
**(506101437)**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Malzeme Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI**

**ARALIK 2012**

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506101437 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Engin HÜNDER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"DEMİR ESASLI ALAŞIMLARIN BAĞLAYICI MATRİS OLARAK KULLANILDIĞI ELMAS KESİCİ UÇLARIN KARAKTERİZASYONU"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

| | | |
|---|---|---|
| **Tez Danışmanı :** | **Prof. Dr.Eyüp Sabri KAYALI**<br>İstanbul Teknik Üniversitesi | ..... |
| **Jüri Üyeleri :** | **Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI**<br>İstanbul Teknik Üniversitesi | ..... |
| | **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU**<br>İstanbul Teknik Üniversitesi | ..... |
| | **Y. Doç. Dr. Erdem ATAR**<br>Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü | ..... |

**Teslim Tarihi :** **22 Kasım 2012**
**Savunma Tarihi :** **06 Aralık 2012**

***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 ve Arş. Gör. Y. Müh. Onur TAZEGÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.
Ayrıca karakterizasyon çalışmalarım boyunca fikirlerini benimle paylaşan Arş. Gör. Y. Müh. Hasan GÖKÇE'ye ve Arş. Gör. Y. Müh. Murat ALKAN'a en iyi dileklerimi sunarım.
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 Ferit TOPALOĞLU'na, Esra SENER'e, Dilek TEKER'e, Çağdaş ÇALLI'ya, Gürol ALDIÇ'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

Engin Hünder
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

**İÇİNDEKİLER**

**Sayfa**

**ÖNSÖZ** ..... **vii**
**İÇİNDEKİLER** ..... **ix**
**KISALTMALAR** ..... **xi**
**ÇİZELGE LİSTESİ** ..... **xiii**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **xv**
**ÖZET** ..... **xvii**
**SUMMARY** ..... **xix**
**1. GİRİŞ** ..... **1**
**2. TEORİ** ..... **3**
2.1 Elmas ve Elmas Takımlar ..... 3
2.1.1 Elmas takımların gelişimi ve tarihi ..... 3
2.1.2 Elmas takımların sınıflandırılması ..... 4
2.2 Elmas ile Şekillendirme ..... 5
2.2.1 Dairesel testere ile kesim ..... 5
2.2.2 Düz testere ile kesim ..... 9
2.2.3 Çoklu elmas tel ile kesim ..... 9
2.2.4 Elmas kemerli bant kesim ..... 10
2.3 Elmas Kesici Uç Tasarımı ve Kompozisyonu ..... 10
2.3.1 Tasarımın önemi ..... 10
2.3.2 Metal matris seçimi ..... 12
2.3.2.1 Kobalt tozları ..... 13
2.3.2.2 Kobalta alternatif tozlar ..... 17
2.3.2.3 Diğer tozlar ..... 20
2.3.3 Elmas seçimi ..... 24
2.3.3.1 Elmas türü ..... 24
2.3.3.2 Elmas boyutu ..... 26
2.3.3.3 Elmas konsantrasyonu ..... 27
2.3.3.4 Elmas kaplama ..... 28
2.4 Elmas Kesici Uç Üretimi ..... 29
2.4.1 Toz Metalurjisi ..... 29
2.4.1.1 Tozların hazırlanması ..... 30
2.4.1.2 Matris-Elmas karışımının hazırlanması ..... 30
2.4.1.3 Soğuk presleme ..... 31
2.4.1.4 Sıcak presleme ..... 31
2.4.1.5 Sinterleme ..... 32
2.4.1.6 Spark plazma sinterleme ..... 32
2.4.1.7 Sıcak izostatik presleme ..... 33
2.4.1.8 İnfiltrasyon ..... 33
2.4.1.9 Lehimleme ..... 34
2.4.1.10 Lazer kaplama ..... 34
2.4.1.11 Çapak giderme ..... 35

2.4.1.12 Kalite kontrol ..... 35
2.4.2 Son işlemler ..... 35
2.4.2.1 Yarıçap taşlama ..... 35
2.4.2.2 Sert lehimleme/Lazer kaynağı ..... 35
2.4.2.3 Doğrultma ..... 36
2.4.2.4 Gerilim verme ..... 36
2.5 Matrisin Özellikleri ..... 36
2.5.1 Matrisin mikroyapısı ..... 36
2.5.1.1 Yoğunluk ..... 36
2.5.1.2 Tane boyutu ..... 39
2.5.1.3 Toparlanma ve yeniden kristalleşme ..... 40
2.5.1.4 Faz kompozisyonu ..... 40
2.5.1.5 Hatalar ..... 43
2.5.2 Matrisin mekanik özellikleri ..... 44
2.5.2.1 Sertlik ..... 44
2.5.2.2 Akma mukavemeti ..... 47
2.5.2.3 Eğme mukavemeti ..... 47
2.5.2.4 Darbe mukavemeti ..... 48
2.5.3 Matrisin aşınma karakteristiği ..... 49
2.5.3.1 Abrasif aşınma dayanımı ..... 50
2.5.3.2 Erozif aşınma dayanımı ..... 51
**3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ..... 53**
3.1 Yoğunluk Ölçümü ..... 53
3.2 Sertlik Ölçümü ..... 54
3.3 Mekanik Deneyler ..... 54
3.3.1 Basma deneyi ..... 54
3.3.2 Üç nokta eğme deneyi ..... 55
3.4 Karakterizasyon Çalışmaları ..... 55
3.4.1 Yüzey hazırlama işlemi ..... 55
3.4.2 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri ..... 55
3.4.3 X-ışınları difraktometresi (XRD) analizleri ..... 56
3.4.4 Optik mikroskop incelemeleri ..... 56
**4. DENEYSEL SONUÇLAR ..... 57**
4.1 Yoğunluk Ölçüm Sonuçları ..... 57
4.2 Sertlik Ölçüm Sonuçları ..... 59
4.3 Mekanik Deneylerin Sonuçları ..... 60
4.3.1 Basma deneyi sonuçları ..... 60
4.3.2 Üç nokta eğme deneyi sonuçları ..... 64
4.4 Yapısal ve Mikroyapısal Analizler ..... 66
4.4.1 Fe-Cu-Co alaşımları ..... 66
4.4.2 Fe-Cu-Sn alaşımları ..... 68
4.4.3 Fe-Ni-Cu-Sn alaşımı ..... 70
4.4.4 Kırık yüzey analizi ..... 73
**5. GENEL SONUÇLAR ..... 75**
**KAYNAKLAR ..... 77**
**ÖZGEÇMİŞ ..... 81**

**KISALTMALAR**

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

## ÇİZELGE LİSTESİ

**Sayfa**

**Çizelge 2.1 :** Dairesel testerelerde uygulanması tavsiye edilen hızlar…….....6
**Çizelge 2.2 :** Dairesel testerelerde uygulanması tavsiye edilen makina gücü oranları ve soğutucu miktarları……..……..7
**Çizelge 2.3 :** Ticari kobalt tozları ve özellikleri……14
**Çizelge 2.4 :** 800 mm dairesel testerede kullanılan soketin maliyet karşılaştırması..16
**Çizelge 2.5 :** Elmas kesici takım endüstrisinde kullanılan kobalta alternatif tozlar..17
**Çizelge 2.6 :** Kırık yüzey alanındaki ($cm^2$) toplam elmas ve oluşan elmas boşluk sayısı…….27
**Çizelge 3.1 :** Deneysel çalışmalarda kullanılan soketlerin kimyasal bileşimi……...53
**Çizelge 4.1 :** Numunelerin yoğunlukları……57
**Çizelge 4.2 :** Numunelerin basma deneyi sonuçları……...61

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa**

**Şekil 2.1 :** Elmas takımların sınıflandırılması. ..... 4
**Şekil 2.2 :** Doğal taş kesme işleminde talaş oluşum mekanizması ..... 7
**Şekil 2.3 :** Talaş oluşumunda enerji tüketiminin oransal dağılım şeması ..... 8
**Şekil 2.4 :** Farklı (sol) ve aynı yönlü (sağ) kesme işlemi sırasında etkili olan kuvvetler..... 8
**Şekil 2.5 :** Düz testere ile kesime ait şematik gösterim ..... 9
**Şekil 2.6 :** Elmas tel ile kesim işleminin modeli ..... 9
**Şekil 2.7 :** Elmas kemerli bant kesim işleminin kinematik çizimi ..... 10
**Şekil 2.8 :** Çeşitli dairesel testere görünümleri ..... 11
**Şekil 2.9 :** Soket türleri ..... 12
**Şekil 2.10** : Kobalt Fiyatlarındaki Dalgalanmalar ..... 14
**Şekil 2.11 :** Çeşitli Kobalt Tozlarının Sinterleme Eğrileri ..... 15
**Şekil 2.12 :** Sıcak pres koşullarında Cobalite 601 tozlarına ait mekanik özelliklerin %20 Demir, %20 bakır ve %20 bronz ilavesi ile karşılaştırılması ..... 18
**Şekil 2.13 :** Sıcak pres koşullarında Cobalite HDR tozlarına ait mekanik özelliklerin %20 demir, bakır ve bronz ilavesi ile karşılaştırılması ..... 18
**Şekil 2.14 :** Sıcak pres koşullarında Cobalite CNF tozlarına ait mekanik özelliklerin %20 demir, %20 bakır ve %20 bronz ilavesi ile karşılaştırılması ..... 19
**Şekil 2.15 :** Sıcak pres koşullarında Cobalite XH tozlarına ait mekanik özelliklerin %20 demir, %20 bakır ve %20 bronz ilavesi ile karşılaştırılması ..... 19
**Şekil 2.16 :** Sıcak pres koşullarında Cobalite OLS tozlarına ait mekanik özelliklerin %20 demir, %20 tungsten karbürve %20 bronz ilavesi ile karşılaştırılması ..... 20
**Şekil 2.17 :** Elmas bağlayıcı olarak Fe-Ni alaşımının fiziksel özellikleri ..... 23
**Şekil 2.18 :** Çeşitli sentetik elmas morfolojilerinin şematik gösterimi ile sayısal kodları ..... 25
**Şekil 2.19 :** Kesilen kayaç sertliği ve elmas tane boyutu arasındaki ilişki ..... 26
**Şekil 2.20 :** Tane boyutuna bağlı olarak elmasın darbe dayanımı ..... 27
**Şekil 2.21 :** Toz metalurjisi ile elmas kesici uç üretimi ..... 30
**Şekil 2.22 :** Uygulanan kaplamanın elmasın batma boyuna olumlu etkisi ..... 31
**Şekil 2.23 :** Spark plazma sinterleme sisteminde kalıplar ..... 33
**Şekil 2.24 :** Spark plazma sinterleme sistemi ..... 33
**Şekil 2.25 :** Kalıbın kesit görünüşü ..... 34
**Şekil 2.26 :** Kobalt tozlarına ait sıcak presleme eğrileri ..... 37
**Şekil 2.27 :** Kobalt tozlarına ait sinterleme eğrileri ..... 37
**Şekil 2.28 :** Kobalta alternatif tozların sıcak presleme eğrileri ..... 38
**Şekil 2.29 :** Kobalta alternatif tozların sinterleme eğrileri ..... 38
**Şekil 2.30 :** Kuvvetli ve zayıf elmas-matris bağına ait SEM görüntüleri ..... 39
**Şekil 2.31 :** Kobalt-Demir faz diyagramı ..... 42
**Şekil 2.32 :** Tozların yoğunlaşma sıcaklığının fonksiyonu olarak sertlik ..... 45

**Şekil 2.33 :** Ticari kobalt tozlarına ait sertlik değerlerinin presleme sıcaklığı ile ilişkisi ..... 45
**Şekil 2.34 :** Artan Co miktarına bağlı sertlik ölçüm sonuçları ..... 46
**Şekil 2.35 :** Demir esaslı tozların sertlik ölçüm sonuçları ..... 46
**Şekil 2.36** : Farklı Fe ve Co alaşımları için presleme sıcaklığına bağlı sertlik değerleri ..... 47
**Şekil 2.37 :** Üç nokta eğme deneyi sonuçları ..... 48
**Şekil 2.38 :** Sıcak preslenmiş kobalt tozlarının darbe mukavemetine oksit ve sülfürün etkisi ..... 49
**Şekil 2.39 :** Erozif aşınma hızının çarpma açısı ile değişimi ..... 51
**Şekil 3.1 :** Precisa™ arşimet terazisi. ..... 54
**Şekil 3.2 :** ZHR™ sertlik ölçüm cihazı. ..... 54
**Şekil 3.3 :** Dartec™ üniversal test cihazı. ..... 55
**Şekil 3.4 :** BRUKER™ D8-Advance X-ışınları difraktometresi. ..... 56
**Şekil 4.1 :** SPS yöntemiyle üretilen numunelerin yoğunlukları. ..... 58
**Şekil 4.2 :** Numunelerdeki boşluk miktarları. ..... 59
**Şekil 4.3 :** Numunelerin sertlik değerleri. ..... 60
**Şekil 4.4 :** Basma numunelerin gerçek akma ve basma mukavemetleri. ..... 62
**Şekil 4.5** : Basma deneyi sonrası numunelerin makroskobik görüntüsü. ..... 63
**Şekil 4.6** : Elmas içeren numunelerin eğme mukavemetleri. ..... 64
**Şekil 4.7 :** Elmaslı ve elmassız numunelerin eğme mukavemetlerinin karşılaştırılması. ..... 65
**Şekil 4.8 :** 7 numaralı elmas kesici uc numunenin genel görüntüsü. ..... 66
**Şekil 4.9 :** 5 numaralı numuneye ait SEM görüntüsü. ..... 66
**Şekil 4.10 :** 5 numaralı numuneye ait XRD spektrumu. ..... 67
**Şekil 4.11** : 4 numaralı numuneye ait XRD spektrumu. ..... 67
**Şekil 4.12** : 3 numaralı numuneye ait XRD spektrumu. ..... 67
**Şekil 4.13 :** (a) 6 ve (b) 9 numaralı numunelere ait SEM görüntüsü. ..... 69
**Şekil 4.14 :** 6 numaralı numuneye ait XRD spektrumu. ..... 69
**Şekil 4.15 :** (a) 1 (b) 2 ve (c) 7 numaralı numunelerin SEM görüntüleri. ..... 70
**Şekil 4.16 :** 1 numaralı numuneye ait XRD spektrumu. ..... 71
**Şekil 4.17 :** 2 numaralı numuneye ait XRD spektrumu. ..... 72
**Şekil 4.18 :** 7 numaralı numuneye ait XRD spektrumu. ..... 72
**Şekil 4.19 :** 8 numaralı numuneye ait XRD spektrumu. ..... 72
**Şekil 4.20 :** (a)5 (b) 8 (c) 9 numaralı numunelere ait kırılma yüzeyleri. ..... 73
**Şekil 4.21** : 8 numaralı numunede bulunan (a) kaplamasız (b) TiC kaplamalı elmas ve (c) elmasın koptuğu bölge. ..... 73
**Şekil 4.22** : 6 numaralı numunede kırılma yüzeyi. ..... 74

# DEMİR ESASLI ALAŞIMLARIN BAĞLAYICI MATRİS OLARAK KULLANILDIĞI 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 arttırılabilmektedir. 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. Farklı kimyasal kompozisyonlarda demir esaslı alaşımların benzer özellikler göstererek kobaltın yerine geçebileceği ortaya çıkmıştır.

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

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 kendi içinde tutarlılık göstermiştir. Yoğunluk ile sertlik değeri arasında, sertlik ile basma ve eğme mukavemeti arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Daha yoğun malzemeler daha iyi sertlik değerlerine ulaşmıştır. Oluşan katı çözeltilerin de sertliği arttırıcı etkisi ortaya çıkmıştır. Fe-Ni-Cu-Sn alaşımındaki numuneler sertlik, basma ve eğme mukavemeti değerleri açısından diğer numunelerden üstün çıkmıştır.

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.

Bu çalışma sonunda demir esaslı alaşımlara nikel ilavesinin mekanik özellikleri iyileştirdiği ve özellikle 850ºC'de sinter yoğunluğunu arttırdığı tespit edilmiştir. Elmasların TiC kaplanmasının grafitleşmeyi engellediği, kaplama içermeyen elmas yüzeylerinde de üretim koşullarında bozulma meydana gelmediği ortaya çıkmıştır. Fakat elmaslı bölgelerin yükleme altında çatlak başlangıcına neden olduğu görülmüştür. Genel olarak yüksek sıcaklıkta sinterlenen numuneler daha yüksek yoğunluk ile beraber daha iyi mekanik özellikler göstermiştir.

Sonuç olarak incelenen demir esaslı alaşımların bağlayıcı matris olarak kullanıldığı elmas katkılı kesici uç kompozit malzemeler içinde 7 ve 8 numaralı Fe-Ni-Cu-Sn alaşımına sahip numunelerin en iyi mekanik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

## CHARACTERIZATION OF DIAMOND CUTTİNG TOOLS USING IRON 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 iron 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 Fe-Cu-Co, Fe-Cu-Sn, Fe-Ni-Cu-Sn 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. Fe-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 Fe-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 Fe-Cu-Co alloys, the higher cobalt content in the matrix is, the higher the hardness of the material becomes. Increasing formation of Fe-Co solid solution plays an important role in this situation.

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, Fe-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 7 and sample 8 have semi-ductile fracture behavior whereas all other samples just cracked. Fe-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 Fe-Cu-Co 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. Fe-Ni-Cu-Sn alloys have the highest TRS. Fe-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 Fe-Cu-Co alloys, XRD patterns indicate formation of Fe-Co 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 Fe-Cu 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, Fe-Ni solid solution and bronze comprise the microstructure of the Fe-Ni-Cu-Sn alloys. NiSn intermetallic compound is thought to be formed as well. Both NiSn and Fe-Ni 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, Fe 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 iron based matrix of diamond cutting tools (samples 7 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. Içlerinde 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 parallel 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 yerini alması beklenen demir esaslı alaşımların bağlayıcı matris olarak kullanıldığı elmas kesici uçların karakterizasyonunu yapmak amacı ile çeşitli mekanik testler ve mikroyapısal incelemeler yapılmıştır.

# 2. TEORİ

## 2.1 Elmas ve Elmas Takımlar

Karbonun allotropik formlarından olan elmas bilinen en sert malzemedir. Dekoratif amaçla da kullanılan elmasın oda sıcaklığında yüksek termal iletkenliği, yüksek kütlesel modülü, klivaj çatlama için yüksek kritik çekme gerilmesi, düşük termal genleşmesi, düşük sürtünme kuvveti, asit ve bazlara karşı kimyasal inert olması gibi özellikleri onu eşsiz bir malzeme yapmaktadır [1,2].

### 2.1.1 Elmas takımların gelişimi ve tarihi

Elmas takımların modern uygulamaları yaklaşık yüzyıllık bir geçmişe sahiptir [1]. 1862'de İsviçreli mühendis J.R. Leschot konik segmanlarda elmas delici matkap ucu yapmayı tasarladı [3]. 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 [1,4].

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 ve infiltrasyon gibi toz metalurjisi teknikleri yardımıyla matris yapılabileceğini belirtti. Gay'in bu fikirleri 1940'larda elmas kesici uçların gelişimini artırarak endüstriyel uygulama alanı buldu [1].

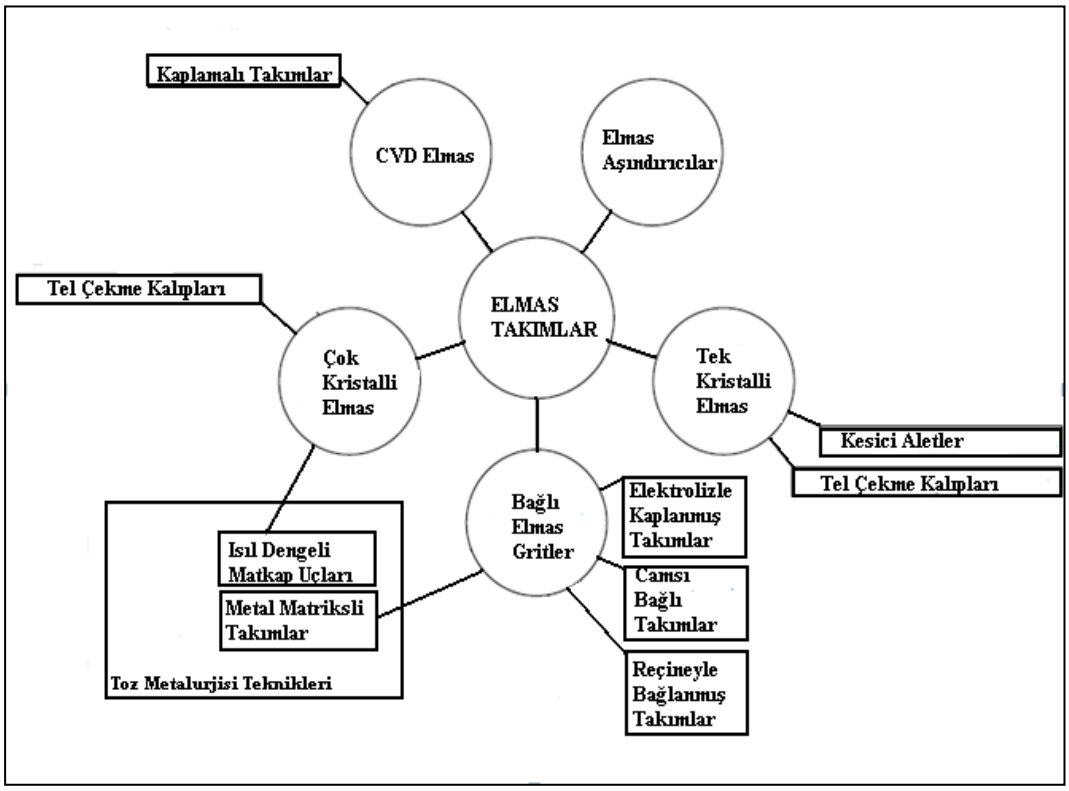
1950'lere kadar elmas takımların gelişimi yavaştı. Fakat doğada nadir bulunan elmasın yerine, 1955 yılında General Electric firmasının endüstriyel ölçülerde sentetik elmas ürettiğini duyurmasından sonra bu konuda gelişmeler hızlandı. Son 50 yılda, sentetik elmas ticarileştikten sonra, yüksek kalitede metal matrisli kesici üretimi, çok kristalli elmas üretimi, kaplamalı gritlerin üretimi başladı [1,3].

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 öngörülüyor [5].

### 2.1.2 Elmas takımların sınıflandırılması

Elmas takımların sınıflandırılmasında çeşitli kriterler vardır. Bunlar; elmasın miktarı ve kaynağı, dış görünüşü, içyapısı ve uygulamasıdır. Şekil 2.1'de elmas takımların sınıflandırılması gözükmektedir [1].




**Şekil 2.1 :** Elmas takımların sınıflandırılması [1].

Elmas aşındırıcılar tipik olarak metalografik numune hazırlamada, elmas kesici takımların taşlanmasında, 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 [1]. Son 50 yılda, çok taneli elmaslar yüksek performansı ve uygun maliyetiyle yüksek sıcaklıkta tel çekme, metal matrisli kompozitlerin işlenmesi, fiber takviyeli plastiklerin 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 [3].

## 2.2 Elmas ile Şekillendirme

Elmas tanelerini bir arada tutması için üç çeşit malzeme bulunmaktadır. Polimerik bağlar elmasları tutmak için zayıf kalırken, camsı matrisler darbelere dayanma açısından kırılgandır. Metal matrisler ise elması bağlama yeteneği bakımından en verimli olanıdır [6].

Endüstriyel taş kesme sektöründe kesme aracı olarak elmas teller, lamalar, düz ve dairesel testereler kullanılmaktadır. İçlerinde en fazla kullanılan ise dairesel testerelerdir [4]. Elmas katkılı soketlerle kesim yaparken, elmaslar kesici uç gibi davranırken, matris elmasları bir arada tutar. Genel olarak, kesilecek taş ne kadar sert ise seçilen elmas türü de buna paralel olmalıdır. Ayrıca kesme işlemi sırasında kopan elmaslar ile matrisin aşınma hızı uyumlu olmalıdır. Elmas ve matrisin uygun seçilememesi durumunda, kesme işlemi gerçekleşmez [1,7-9].

Elmas ve matris seçiminden bağımsız olarak kesme işleminde performans ve servis ömrünü etkileyen önemli kriterler şunlardır:

- üretim metodları ve parametreler [1,7],
- işlenecek parçanın özellikleri [1,7],
- kesme koşulları [1,7],
- soğutma verimi [1,7],
- soketin metal göbeğe tutturulma kalitesi [1,7],
- metal göbek tasarımı ve gerilim verme [1,7],
- makinenin koşulları ve operatörün becerisi [1,7].

### 2.2.1 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 [10-13]. Çelik göbek yapılacak birleştirme işlemine (sert lehimleme veya lazer kaynak) göre

farklı kalitelerde seçilir, sertleştirme ve temperleme işlemlerinden sonra sertliği yaklaşık 43-45 HRC olur [8,13].

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 [14].

Bunun sonucunda elmas tanelerinin arka kısmında talaşa rastlanmaz, daha çok onları destekleyen kuyruk kısmı oluşur [4,13]. Dairesel testereyle kesim yaparken, testere ağzı 25-65 m/s gibi hızlarda dönmektedir. Bu uygulamalarda kullanılan bazı parametreler Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

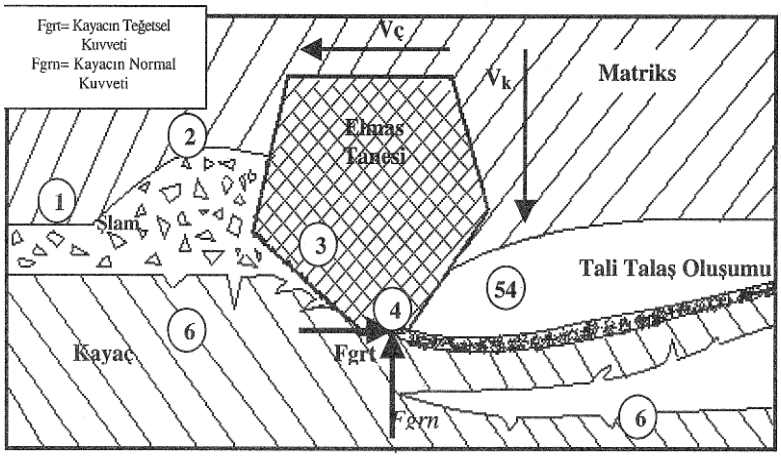
**Çizelge 2.1 :** Dairesel testerelerde uygulanması tavsiye edilen hızlar [1].

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

Şekil 2.2'de gösterildiği gibi basma ve çekme gerilmelerinin etkisiyle elmasın ön kısmında, kayaçta 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 [1,2,7,8,13].

**Çizelge 2.2 :** Dairesel testerelerde uygulanması tavsiye edilen makine gücü oranları ve soğutucu miktarları [1].

| Testere Çapı (mm) | Güç (kW) | | Min.Su Akışı (l/dak) |
|---|---|---|---|
| | 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 |



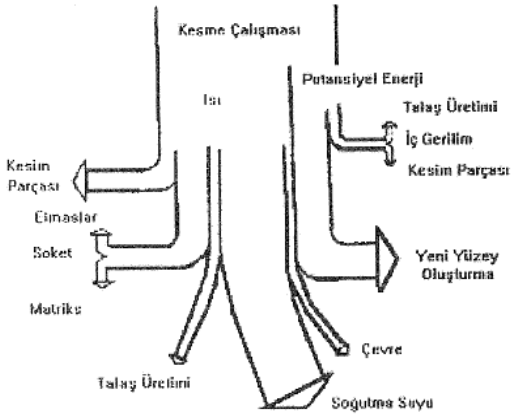

1) Talaş ve matriks arasındaki sürtünme
2) Şlam ve talaşın matriksi aşındırması
3) Birincil talaş oluşumu
4) Kayaç ve elmas tanesi arasındaki sürtünme
5) Plastik deformasyon
6) Elastik deformasyon

**Şekil 2.2 :** Doğal taş kesme işleminde talaş oluşum mekanizması [8].

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

- kesme başlangıcında mekanik çarpmaya bağlı zorlanma [4],
- talaş kalınlığına bağlı mekanik zorlanma [4],
- sürtünme ve soğutma işlemleri sonrası açığa çıkan termal şoklardır [4].

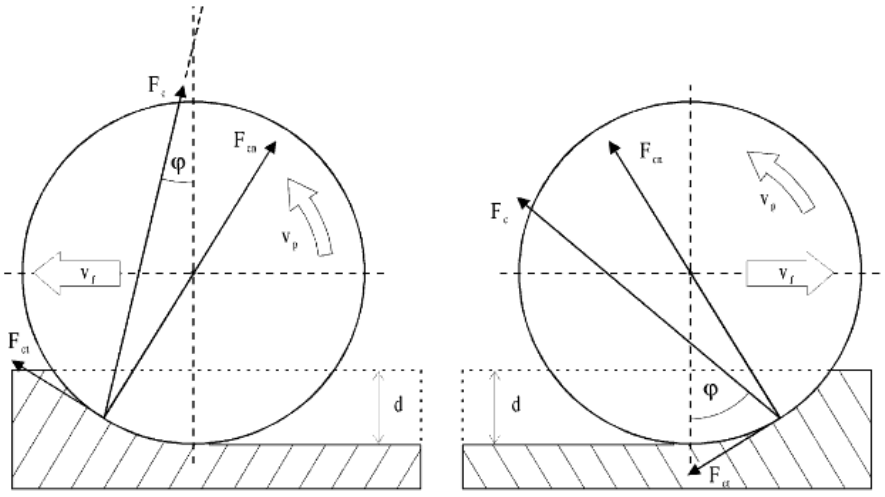
Kesme işleminin sürekliliği ve soketin kayaca girmesi için kayacın normal kuvvetinin, soketin kayaç içerisinde ilerleyebilmesi için ise kayacın teğetsel kuvvetinin yenilmesi gerekir. Şekil 2.3'de talaş oluşumu sırasında enerji tüketim durumu oransal olarak gösterilmektedir.




**Şekil 2.3 :** Talaş oluşumunda enerji tüketiminin oransal dağılım şeması [4].

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[4].

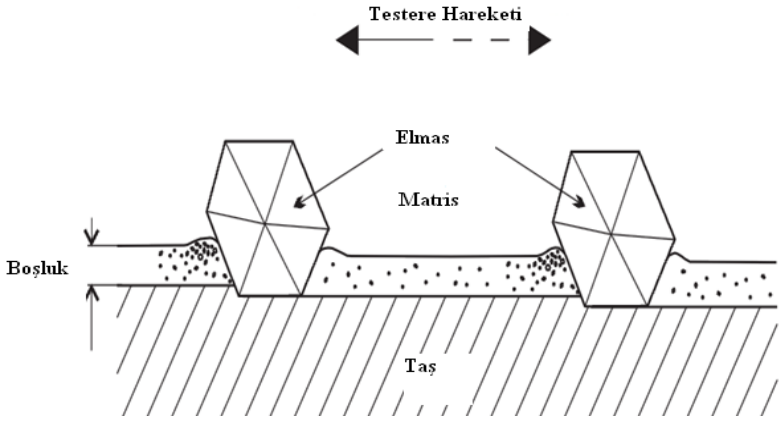
Kesme işlemi aynı yönlü (kesme-çevresel hızlar aynı yönde) veya farklı yönlü olabilir. 20-25 mm'nin altındaki derinliklerde aynı yönlü kesme işlemi için güç ihtiyacı daha azdır, fakat kesilecek parçanın derinliği arttıkça farklı yönlü kesme işlemi daha az enerji gerektirir [13]. Şekil 2.4'de aynı yönlü ve farklı yönlü kesme işlemi sırasında etkili olan kuvvetler gösterilmektedir [7].




**Şekil 2.4 :** Farklı (sol) ve aynı yönlü (sağ) kesme işlemi sırasında etkili olan kuvvetler [1].

### 2.2.2 Düz testere ile kesim

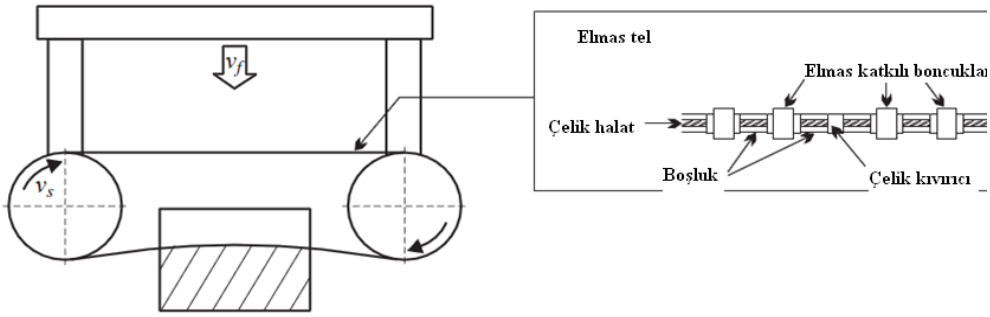
Düz testereyle kesme işlemi sinüzoidal hızda maksimum 2 m/s ile gerçekleşmektedir. Testerenin ileri geri karşılıklı hareketi nedeniyle talaşın uzaklaştırılması zordur. Bu durum matris için aşınmayı kolaylaştırır. Ayrıca dairesel testereyle kesim sırasında elmasın arka kısmında oluşan kuyruk, düz testere ile kesimde oluşmaz. Bunların sonucunda matrisin elması tutma kabiliyeti azalır [1,7,15]. Düz testere ile kesime ait şematik gösterim Şekil 2.4'te verilmiştir.




**Şekil 2.5 :** Düz testere ile kesime ait şematik gösterim [7].

### 2.2.3 Çoklu elmas tel ile kesim

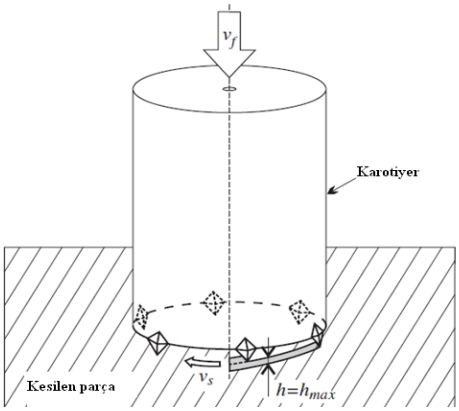
Çoklu elmas tel taş ocaklarında sıkça kullanılan bir alettir. Çalışma koşullarında gürültüsünün ve titreşiminin azlığı nedeniyle büyük taş ve beton parçaların kesiminde de kullanılmaktadır. Elmas katkılı boncuklar belli aralıklarla esnek çelik halata bağlanır ve daha sonra 3-5 boncuk arayla çelik yardımıyla halat kıvrılır. Şekil 2.5'te elmas tel ve kesme mekanizması gösterilmiştir. Tel testere çentik içinde dönerken, boncuklar çelik halata tutturulur, boncuklar halat çevresinde dönmemektedir [1,11].




**Şekil 2.6 :** Elmas tel ile kesim işleminin modeli [1].

### 2.2.4 Elmas kemerli bant kesim

Elmas kemerli bant kesim sırasında keser ucu belirli bir yönde 1-10 m/s hızlarla dönerken delici kısım işlenecek parça ile temas halindedir. Bu yöntemde de elmas tanelerinin arkasında kuyruk oluşumu görülür. Şekil 2.7'de elmas kemerli bant kesim sırasında talaş oluşum mekanizması gösterilmiştir [1].




**Şekil 2.7 :** Elmas kemerli bant kesim işleminin kinematik çizimi [1].

Ayrıca genel olarak kesme işlemlerinde talaş oluşumu sırasında aşağıdaki faktörler de etkilidir;

- kesilecek yüzeyin topografyası [1],
- kesilecek parçanın özellikleri (kompozisyon, sertlik, tane boyutu) [1],
- kesici uç ile kesilecek parça arasındaki kuvvetlerin şiddeti [1],
- kesilecek parçadaki gerilim dağılımı [1],
- kesme işlemi sırasında oluşan ısı ve dağılımı [1].

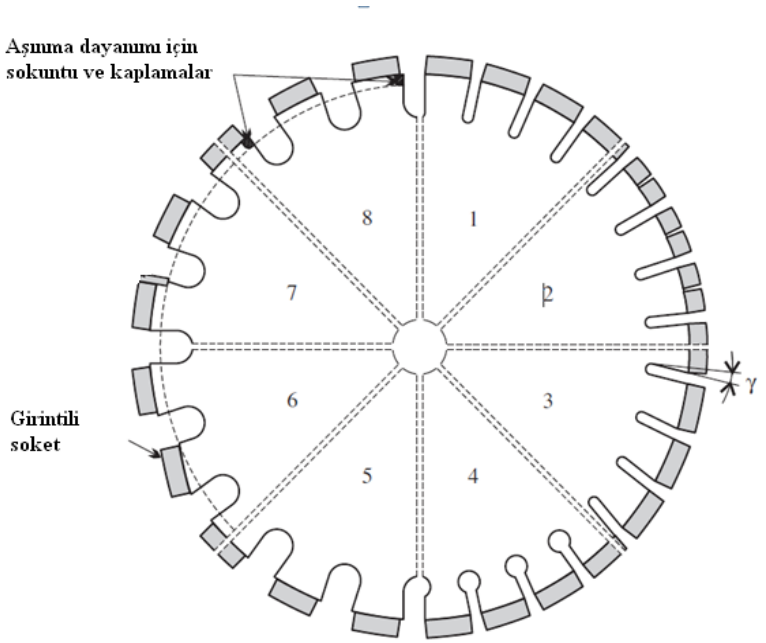
## 2.3 Elmas Kesici Uç Tasarımı ve Kompozisyonu

Soket tasarımının performans üzerindeki etkisi son derece fazladır. Farklı tasarım farklı servis ömrüne, kesme kabiliyetine, yüzey kalitesine neden olur. Kesilecek taşa göre uygun soket seçimi yapılmalıdır [9,16].

### 2.3.1 Tasarımın önemi

Özellikle dairesel testereyle kesme işlemi yapılırken tasarım çok önemlidir. Soket türünün seçimi ve dizilişi, kesme işleminin kalitesini, gürültü oluşumunu, aşınmayı

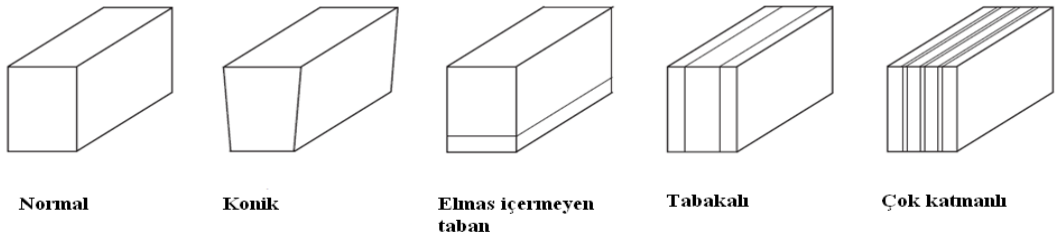
ve çelik göbeğin yorulmasını etkiler [1,16]. Endüstride kullanılan çeşitli soket türleri Şekil 2.8'de görülmektedir.




**Şekil 2.8 :** Çeşitli dairesel testere görünümleri [1].

Dar oluklu kesiciler (Şekil 2.8, 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 yapılıyor iken, 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 [1].

Endüstriyel uygulamalarda çeşitli türde soketlerle karşılaşılmasına rağmen soketlerin basit sınıflandırılması Şekil 2.9'da gösterilmektedir.




**Şekil 2.9 :** Soket türleri [9].

Üniform ve 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 [1,9].

### 2.3.2 Metal matris seçimi

Elmas kesici uçlarda metalik matrisin iki görevi vardır. Matris hem elmas tanelerini bir arada tutmalı hem de elmas taneleri ile paralel aşınmalıdır. Matrisin geç aşınması elmas tanelerinin kesilecek taşa temas etmemesine neden olur ve kesme işlemi gerçekleşmez. Matrisin çabuk aşınması durumunda ise elmas taneleri yerlerinden düşer ve yine kesme işlemi gerçekleşmez [1,9,10].

Elmasın matrise tutunma kabiliyeti mekanik veya mekanik ile kimyasal bağlanma karışımı olabilir. Matrisin elmasları tutma kabiliyeti, matrisin akma dayanımı ile ilgilidir. Akma dayanımı geçildiğinde elmasları bir arada tutmak zorlaşır [1,17]. 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 [1,9,18].

Matris ile elmas ara yüzeyinde kimyasal bir bağ oluşması istenir. Karbür yapıcı elementler içeren alaşımlar kullanarak kimyasal bağlar kuvvetlendirilir ve böylece elmasın matrise tutunması desteklenir [1,17,19,20]. Bazı alaşımlar sıcak pres koşullarında eriyerek elmas tanelerini ıslatır ve karbür oluşumu çekirdeklenme ile başlayarak, devamında sürekli bir arayüzey şeklinde gerçekleşir. Ama karbür tabakasının bu noktadan sonra daha da kalınlaşmasına bağlı olarak hem ara yüzey zayıflayabilir hem de elmasın bozunması görülebilir. Son zamanlarda kullanılan yöntem ise kimyasal olarak aktif matris kullanmak yerine elması metal ile kaplamadır [1,14].

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 [1,12,21,22].

Ayrıca 700°C'de hem sentetik hem de doğal elmas yüzeylerinde grafit oluşumu başlamaktadır ve bu durum kesici ucun servis ömrünü düşürmektedir. Demir, kobalt, nikel gibi karbonun çözünürlüğü olan metaller elmas yüzeyine zarar vermekte ve elmas kaybına neden olmaktadır [1,21,22].

#### 2.3.2.1 Kobalt tozları

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. Sıcak presleme koşullarında, yüksek akma dayanımı ve tokluk neticesinde mükemmel elmas tutma kabiliyeti gösterir ve sonucunda da aşınma dayanımı yüksektir [5,11,23-25].

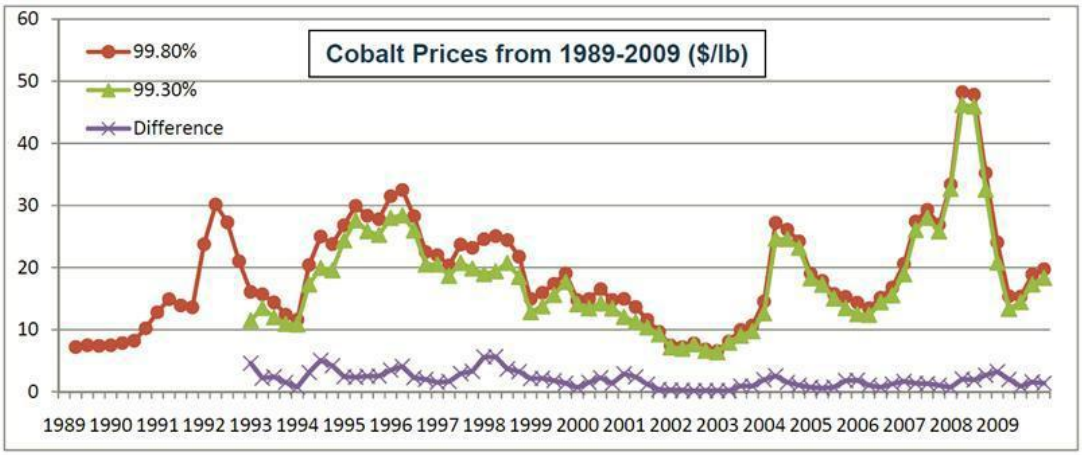
Ayrıca kobalt tozları farklı boyutta, şekilde ve saflıkta rahatlıkla bulunur. Çizelge 2.3'te kullanılan ticari kobalt tozlarının tane boyutları ve içerdiği safsızlıklar gösterilmiştir. Bu tozlar düşük sıcaklık/basınç gibi koşullarda sıcak presleme esnasında teorik yoğunluğuna yakın değerlere ulaşmaktadır [1]. Çeşitli kobalt tozlarının sinterleme eğrilerindeki değişim Şekil 2.11'de gösterilmektedir. Fakat kobaltın ticari fiyatındaki dalgalanmalar, pahalı oluşu, kansorejen etkisi ve birkaç ülkenin ürettiği stratejik bir metal olması, elmas kesici takım üreticilerini alternatif

metallere yöneltmiştir. Diğer bir dezavantajı da yüksek sinterleme sıcaklıklarıdır [5,11,19,23,25]. Şekil 2.10'da dünya piyasasında yıllara göre kobalt fiyatları görülmektedir.

**Çizelge 2.3 :** Ticari kobalt tozları ve özellikleri [1].

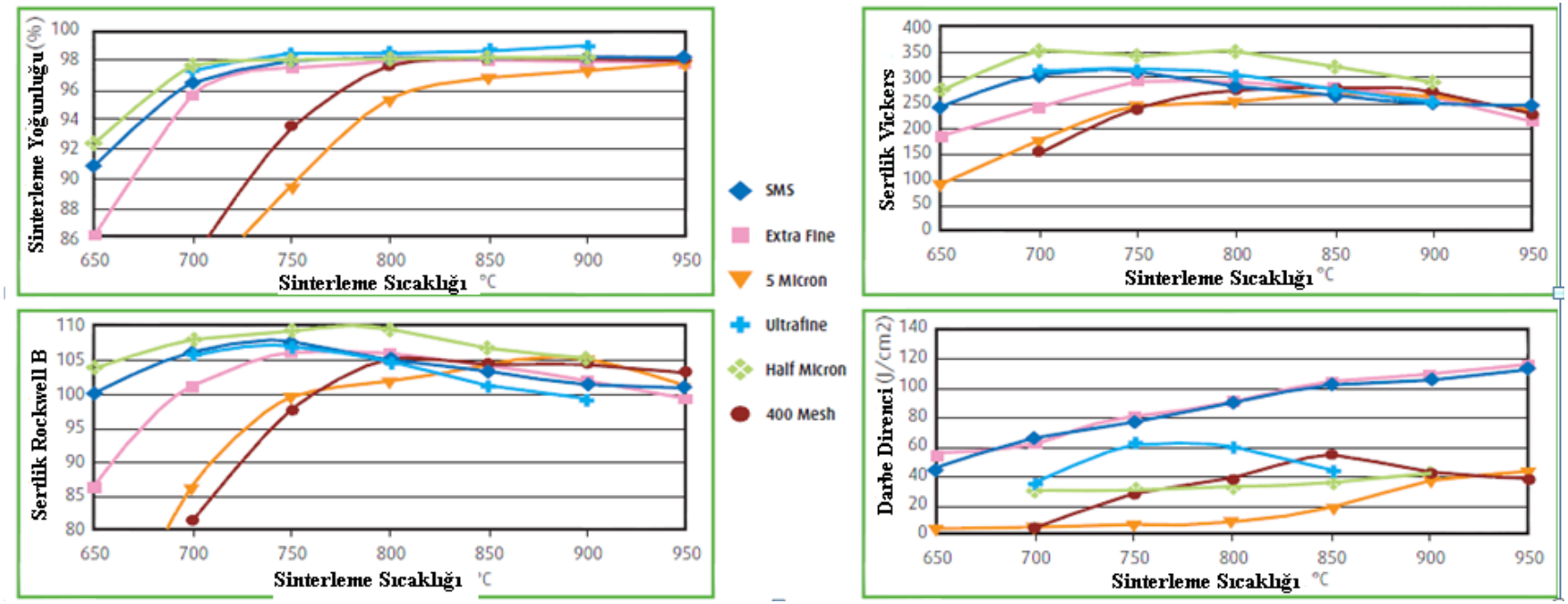
| Kalite | Elek altı boyutu (µm) | Safsızlıklar [1] (ppm) | Üretici |
|---|---|---|---|
| SMS | ~0.9 | — | Umicore |
| Ultrafine | ~0.9 | Ag-940, S-45 | |
| Extrafine | ~1.4 | — | |
| 400 mesh | ~4.5 | Ca-290, Si-215, S-100 | |
| CoUF | ~0.9 | Mg-250, Na-170, S-140 | Eurotungstene |
| CoF | ~1.25 | n/a | |
| 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] Oksijensiz ortalama değerler.




**Şekil 2.10** : Kobalt Fiyatlarındaki Dalgalanmalar [5].

Kobalt tozlarından başka, sıcak presleme işleminde kullanılan grafit kalıp ve elektrodların da toplam maliyete etkisi bulunmaktadır. Çin'in ticari olarak sentetik elmas üretiminde gelişmesine bağlı olarak maliyet kalemlerinin önem sırası değişmiştir.




**Şekil 2.11 :** Çeşitli Kobalt Tozlarının Sinterleme Eğrileri [26].

Çizelge 2.4 granit kesme işleminde kullanılan 800 mm çapında dairesel testere üzerindeki 40x10x6 mm boyutlarındaki soketin toplam maliyetini yıllara göre kıyaslamaktadır [5].

**Çizelge 2.4 :** 800 mm dairesel testerede kullanılan soketin maliyet karşılaştırması [5].

| Parça | USD/soket (1) | |
|---|---|---|
| | 1993~1995 yılları | 2010 yılı |
| Elmas gritler DSN47, SDA100+ veya MBS960 40/50 meş, konsantrasyon 24 | 8,59 | 3,85 |
| Kobalt tozları | 1,8 | 2,84 |
| Grafit kalıp | 0,93 | 0,09 |
| Matris maliyetinin katkısı | 16% | 42% |

(1) Ernst Winter&Sohn, SGL Carbon, Sherritt Inc. And Diatech S.C. şirketlerinden alınan tekliflere dayanılarak hesaplanmıştır.

Deneysel olarak bulunan verilere göre mikroyapı, faz kompozisyonu, sertlik, mukavemet, süneklik ve aşınma direnci gibi özellikler tozun özelliklerine ve sıcak presleme koşullarına bağlıdır. Toz boyutu, ulaşılacak yoğunluk için çıkılması gereken sıcaklığı etkilerken buna bağlı olarak, 1000°C üzerine çıkıldığında elmaslarda bozunma meydana gelir ve sıcak presleme işleminde kullanılan sarf malzemeler ve enerji miktarı artar. 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 [1,5,11,25].

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 yapıcılar mikroyapıyı etkilemektedir. Oksitler tane büyümesini engeller, malzeme tam yoğunluk sıcaklığının bile üzerinde yeniden kristalleşmeye karşı koyar. Sertlik ve akma mukavemetini sürdürürken sünekliğinden kaybeder [1].

50-60 ppm sülfür miktarı bile kobaltı kırılgan yapmak için yeterlidir. Ayrıca sülfür, 877 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, tane sınırlarına nüfuz eden sıvı faz oluşumundan dolayı tane büyümesini harekete geçirebilir [1].

Eğer tozlar magnezyum, kalsiyum, sodyum gibi elementlerle kirlenmişse, malzemenin tane boyutu kararlılık gösterir ve sülfürün tetikleyeceği tane büyümesine karşı duyarlı olmaz [1].

### 2.3.2.2 Kobalta alternatif tozlar

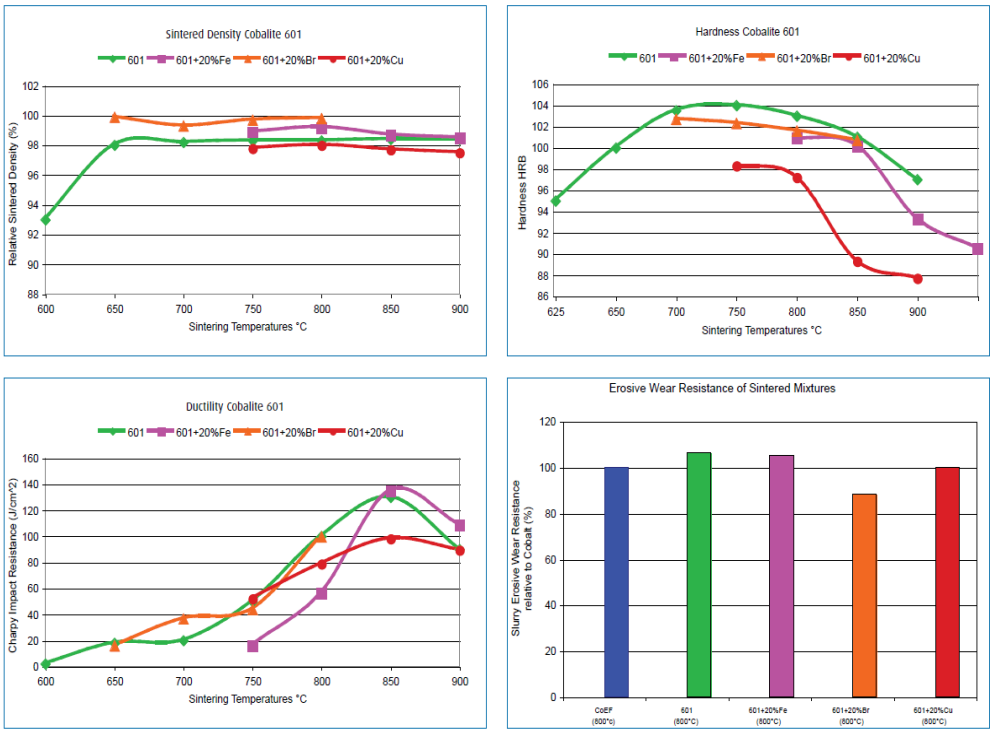
Kobaltın pahalı bir metal olması ve kobalt fiyatındaki dalgalanmalardan dolayı matris malzemesi olarak kullanılacak yeni tozlar araştırma konusu olmuştur. Endüstriyel olarak kullanılan, düşük kobalt içerikli veya kobalt içermeyen en az iki elementin birleştirilmesiyle oluşturulan tozlar geliştirilmiştir [1,5].

Kobalt tozlarına benzer olarak, Çizelge 2.5'te gösterilen ön alaşımlandırılmış demir ve bakır esaslı tozlar iyi teknik özelliklere sahiptir. 750-900°C gibi sıcaklıklarda preslendiğinde tam yoğunluklarına yaklaşarak yüksek sertlik ve akma mukavemeti değerlerine ulaşırlar [5].

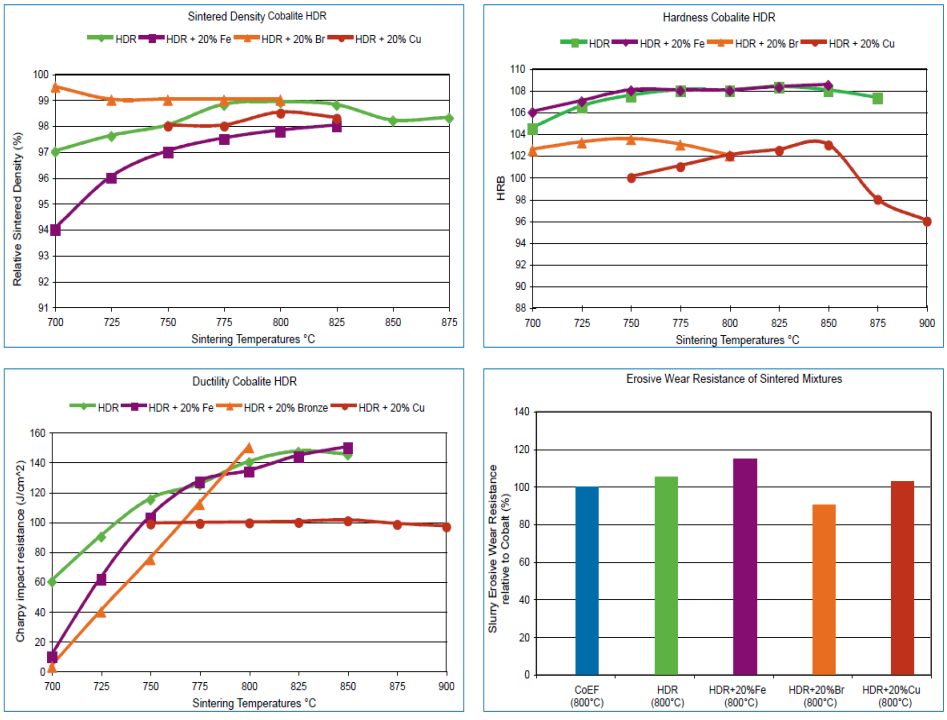
Çizelge 2.5'te verilen kompozisyonlardan Cobalite türüne ait malzemelerin bazı özellikleri Şekil 2.12 ile Şekil 2.16 arasında özetlenmiştir. Ayrıca %20 oranında demir, bakır ve bronz ilavesi sonucu malzeme özelliklerinde görülen değişimler belirtilmiştir [27].

**Çizelge 2.5 :** Elmas kesici takım endüstrisinde kullanılan kobalta alternatif tozlar [5].

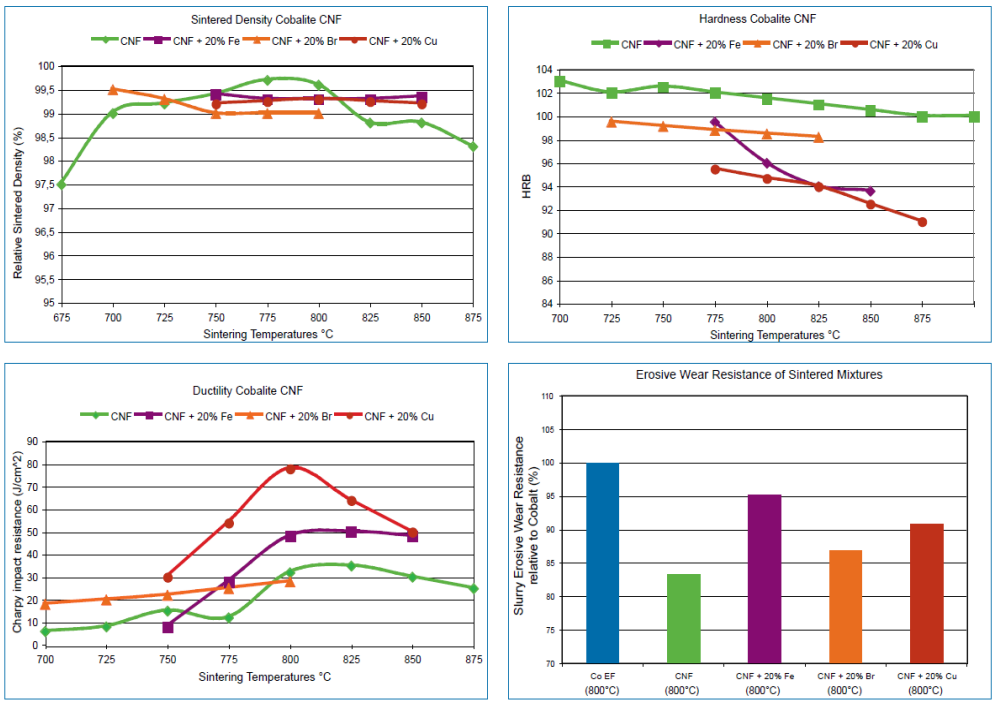
| Designation | Nominal chemical composition, wt-% | | | | FSSS, µm | Producer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe | Cu | Co | Others | | |
| Next 100 | 29 | 46 | 25 | - | 0.8-1.5 | Eurotungstene |
| Next 200 | 15 | 60 | 25 | - | 0.8-1.5 | |
| Next 300 | 72 | 3 | 25 | - | ~4 | |
| Next 400 | 50 | 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; 0.6$Y_2O_3$ | ~2 | |
| *Cobalite XH* | 43 | 10 | 47 | - | 3 | |
| *Cobalite OLS* | 28 | 47 | 25 | - | 1.4 | |



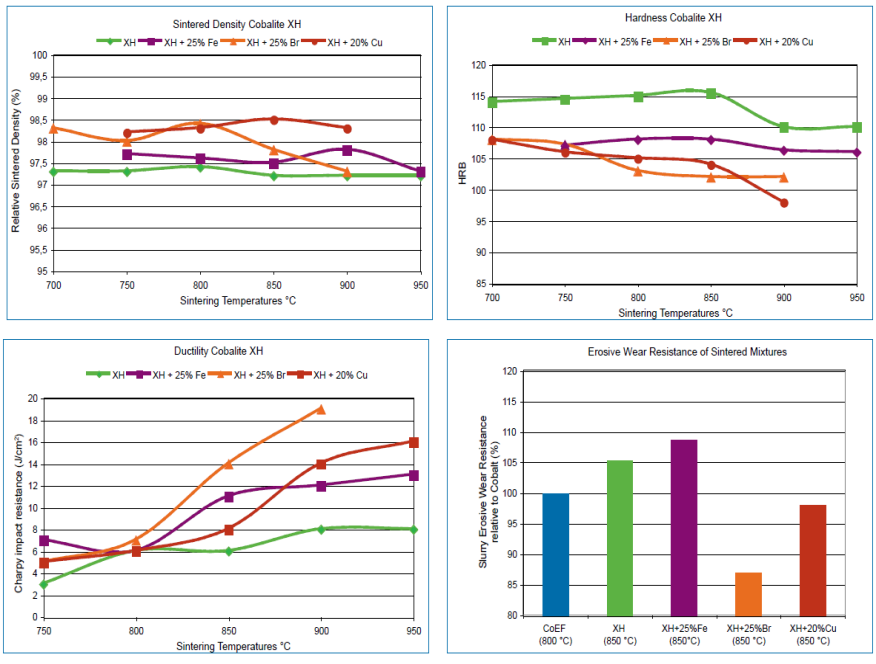

**Şekil 2.12 :** Sıcak pres koşullarında Cobalite 601 tozlarına ait mekanik özelliklerin %20 Demir, %20 bakır ve %20 bronz ilavesi ile karşılaştırılması [27].



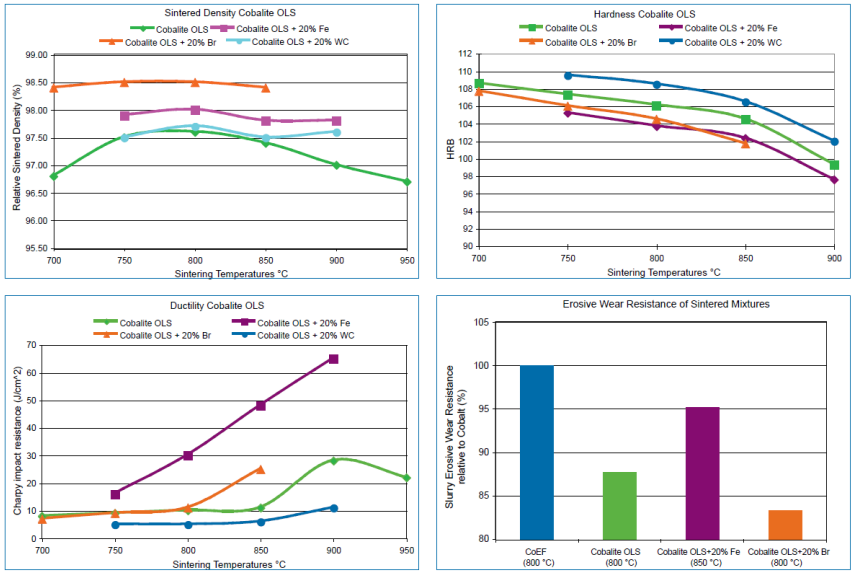

**Şekil 2.13 :** Sıcak pres koşullarında Cobalite HDR tozlarına ait mekanik özelliklerin %20 demir, bakır ve bronz ilavesi ile karşılaştırılması [27].




**Şekil 2.14 :** Sıcak pres koşullarında Cobalite CNF tozlarına ait mekanik özelliklerin %20 demir, %20 bakır ve %20 bronz ilavesi ile karşılaştırılması [27].




**Şekil 2.15 :** Sıcak pres koşullarında Cobalite XH tozlarına ait mekanik özelliklerin %20 demir, %20 bakır ve %20 bronz ilavesi ile karşılaştırılması [27].




**Şekil 2.16 :** Sıcak pres koşullarında Cobalite OLS tozlarına ait mekanik özelliklerin %20 demir, %20 tungsten karbürve %20 bronz ilavesi ile karşılaştırılması [27].

Fe-%20Cu-%2Sn-%(0-10-15-20)Co bileşiminden oluşan malzemeler kıyaslandığında, artan Co miktarına bağlı olarak numunelerin sertliğinin ve eğilme mukavemetlerinin arttığı, fakat yüzde uzama miktarının önemli miktarda azaldığı görülmüştür [9]. Diğer bir çalışmada ise Fe-%20Cu-%10Co-%2Sn-%(0-3-5-7)Ti bileşimi incelenmiştir. Ti elementinin sinterleme sırasında sıcaklıktan en az etkilenmesi ve diğer elementlerle reaksiyona az girmesi nedeniyle sinterlemeden önceki halini muhafaza ettiği görülmüştür. Ti katkısının alaşımın sertliğine etkisi olumlu olmuş ve mukavemette artış gözlenmiştir. Buna karşın artan Ti oranında tokluk ve yoğunluk değerleri düşmüştür. %7 Ti içeren alaşımda gevrek kırılma görülmüştür. Alaşımdaki Sn nedeni ile de sıvı faz sinterlemesi gerçekleşmiş ve elmas taneciklerinin matrise daha iyi tutunması sağlanmıştır [24].

Matrisin sertlik ve aşınma direnci göz önüne alındığında, Fe-%20Co-%(15-30-45-60)Cu bileşiminde yapılan çalışmalar sonucu, en iyi değerler en fazla Cu içeren numunede tespit edilmiştir [23]. Fe-Co-Cu bileşiminde yapılan başka bir çalışmada ise Cu tozlarının artan yüzdesi ve tane boyutunun küçülmesi daha iyi bir yoğunluk elde edilmesini sağlamış, boşluklar azalmıştır [28].

### 2.3.2.3 Diğer tozlar

Bazı metaller kobalt ve muadili metallere katkı olarak kullanılır. Yoğunluğu sağlamak, matrisin aşınma dayanımını ve elmasların tutunma karakteristiklerini

ayarlamak için demir, bakır, kalay, bronz alaşımları, tungsten, tungsten karbür ve nikel alaşımlarından faydalanılır [1,10-12,20,29].

Karbonun östenit fazındaki çözünürlüğünden dolayı üretim koşullarında demir elmas ile reaksiyona girebilir. Fakat kobalta %10-20 demir ilavesi akma dayanımını ve sünekliği önemli miktarda artırır [1].

Elementel bakır ve kalay ile bronz alaşımı matrisin yoğunluğunu istenilen düzeye çekmek için kullanılır. Fakat bu elementler kullanıldığında matrisin aşınma dayanımı azalır, kullanılan miktara bağlı olarak aşındırma özelliği daha düşük malzemeler için kullanılabilir. Sinterleme ve sıcak presleme koşullarında bu elementler ergir [1,11,17]. α-bronzu (%90Cu-%10Sn) dolgu fazı olarak elmas takımlarda kullanılmaktadır [17,20]. Bununla beraber çapak oluşumunu en aza indirmek için bu sıvı faz sınırlandırılmalıdır. Ayrıca sıvı faz difüzyonla alaşımlandırma miktarını etkilemektedir [1,11]. Bakır-kalay alaşımının elması ıslatma ve bağlama kabiliyeti karbonun bakır ve kalay içinde çözünürlüğü olmadığından dolayı kötü olmasına rağmen düşük oranlarda krom, titanyum yada vanadyum gibi aktif elementlerin ilavesiyle bu özellik önemli ölçüde geliştirilir [3,31]. Matris ile elmas ara yüzeyinde oluşan karbür tabakası, elmas ile matrisin aşırı reaksiyona girmesini engelleyen, elmas taneleri ve matris arasında termal gerilimi azaltan bir bariyer görevi yapar [10]. Co, Cu-%20Co-%19Fe, Ni-%35Cu-%6Fe, Fe-%23FeCr sistemlerine %12'ye varan Sn ilaveleri sonucu sertlik değerlerinde önemli artış görülmüştür. Yalnızca Cu-%20Co-%19Fe bileşiminde artış çok az olmuştur [30].

İnce taneli Ni ve Fe tozları kaba taneli bronz tozların içinde tane boyutundaki ve morfolojisindeki farklılıktan ötürü segregasyon oluşumuna meyillidir. Bronz esaslı bağlayıcılarda, Fe yokluğunda Sn kolaylıkla Ni içerisine doğru difüzyona uğrar ve görünür sertlikte düşüşe neden olur. Ni-Sn intermetalik fazının oluşumu sebebi ile de bağlayıcı matrisin kırılgan hale gelir. Ni ile birlikte Fe ilavesi Sn'ın difüzyonuna engel olur ve mekanik özellikleri iyileştirir. %5-25 Ni ve %15-30 Fe içeren bronz esaslı bağlayıcıların sinter yoğunlukları %90'ın üzerindedir. Fe ve Ni ilavesi ile çekme mukavemeti >200 MPa, görünür sertlik >60 HRB ve eğme mukavemeti >800 MPa'a çıkmaktadır. 800 °C'nin üzerindeki sinterleme işleminde, Co-5Fe sistemine ilave edilen yaklaşık %50 Ni ile saf Co bağlayıcının mekanik özellikleri kıyaslandığında, saf Co bağlayıcı lehine arada sadece %10'luk bir fark olduğu

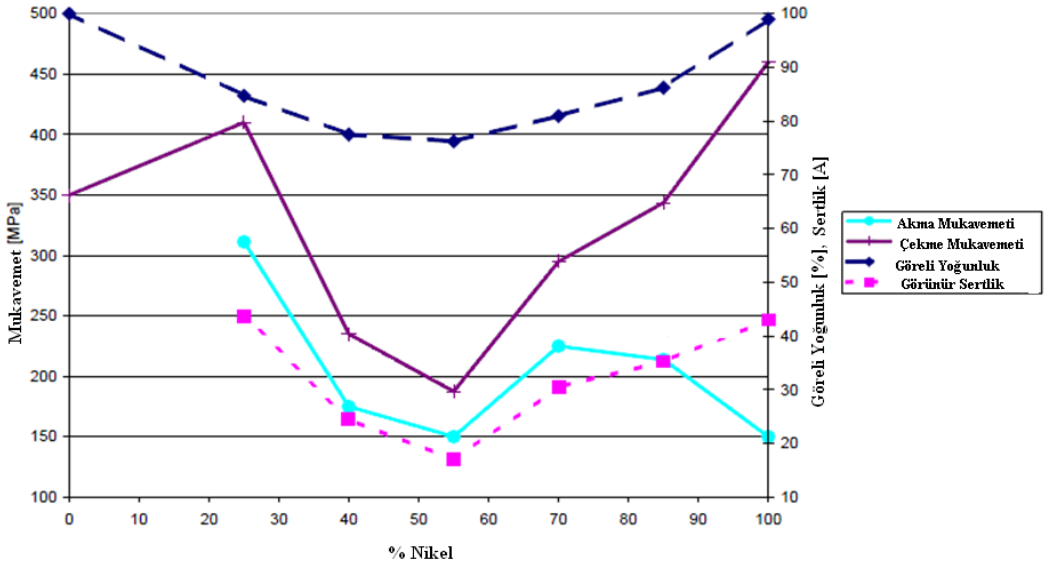
görülür. Sinter yoğunluğu >%98, görünür sertlik 100 HRB'ye yakın ve eğme mukavemeti >1600 MPa değerlerindedir [29].

Tungsten, karbona afinitesi yüksek olan dayanıklı ve rijit metallerden biridir. Tungsten ile elmas arayüzeyinde oluşan tungsten karbür soğutma sırasında parçalanmaz ve elmasa zarar vermez. Bu durum hem elmasın mekanik ve kimyasal olarak bağlanmasını sağlar hem de matrisin aşınma dayanımını artırır [1,11].

Matrisin aşınma direncini artıran bir diğer bileşik ise tungsten karbürdür. Tanecik boyutu, şekli, mikroyapısı, kimyasal kompozisyonu farklı birçok türü bulunmaktadır [1,11].

Alternatif olarak nikel bazlı tozlarla ön alaşımlama kullanılarak matrisin aşınma direnci geliştirilebilir. Atomize edilmiş Ni-Cr-Si-Fe-B-C türleri kullanılmaktadır. Fakat bu konuda nikel bazlı alaşımlar tungsten karbür tozları kadar iyi sonuç vermemektedir. Teknolojik ve ekonomik avantajı düşünüldüğünde yine de kullanılabilir. Daha ucuzdur, yoğunluğu daha azdır, yüksek sıcaklıklarda yumuşaktır ve matrisin sıcakta sıkıştırılabilme özelliğine zarar vermez [1].

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. [29]. Diğer taraftan demir içerisine %11 civarında nikel ilavesi sonucu yoğunluktaki artış ve tane boyutundaki düşüş sonucu, matrisin sertliği 134 kgf/mm$^2$'den 380 kgf/mm$^2$'e çıkmaktadır [1]. Akma dayanımı ve sertlik değerlerinde oluşabilecek düşüşe rağmen Ni-Fe-Co alaşımlarının Co'ın yerini bağlayıcı olarak alabileceği ispatlanmıştır [12,29]. 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. Şekil 2.17 Fe:Ni oranının mekanik özellikler üzerindeki etkisini göstermektedir.




**Şekil 2.17 :** Elmas bağlayıcı olarak Fe-Ni alaşımının fiziksel özellikleri [29].

Demire %30'un altında veya %70'in üzerinde nikel katkısı sertlik, çekme mukavemeti ve sinterleme yoğunluğunu yükseltmektedir [29].

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 [10].

Bağlayıcı metal olarak en çok kullanılan kobalta az miktarda (<%2) Si ilavesi matris ile elmas taneleri arasında daha iyi yapışma sağlayarak elmasların kopmasını engeller [11].

Özellikle Fe-Cu alaşımlarına SiC katkısı, sertlik değerlerinde %14'lük bir artışa neden olmaktadır. Fe-%(5-10-15-20)Cu-%(0-1)SiC sisteminde yapılan çalışmada en iyi sertlik, akma dayanımı ve aşınma dayanımı değerlerine Fe-%20Cu-%1SiC bileşiminde ulaşılmıştır. Ayrıca tozların tane boyutunun 8µm'den 23µm'ye çıkarılması ile aşınma dayanımı yaklaşık 2 katına çıkmıştır [11].

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 [19,32]. 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 gözükmüştür [19].

Karbonil nikel, atomize takım çelikleri, mangan, mangan-nikel alaşımları, kalay-titanyum alaşımları, çinko, kurşun, molibden, bor, aluminyum-krom tozları da kesici takım üretiminde bazen ilave edilebilir [1].

### 2.3.3 Elmas seçimi

Elmas tanecikleri boyut, şekil ve dağılımına bağlı olarak matris içindeki hatalar gibi davranır [47]. Yapılacak kesme işleminde gereksinimleri karşılaması için elmas türü, tane boyutu ve konsantrasyon göz önünde bulundurulmalıdır [1,2,12]. 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 [13].

#### 2.3.3.1 Elmas türü

Seçilecek elmas türü işlenecek malzemeye bağlıdır, genel olarak, işlenecek malzeme ne kadar sert ise seçilecek elmas grit de o kadar sert olmalıdır [1].

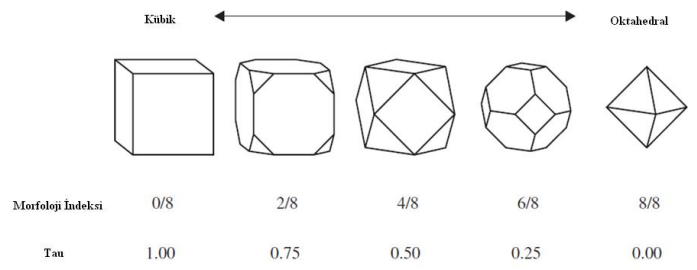
Elmaslar doğal ve sentetik olmak üzere iki çeşittir. Kalıntı içermeyen doğal gritler termal kararlılık gösterir ve mekanik özelliklerini 1400°C'ye kadar koruyabilir. Yüksek termal dayanımının yanında daha ucuzdur. Sentetik gritler ise 800°C'nin üzerinde mukavemetlerini kaybetmeye başlar [1,21,30,33,34]. 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 [1].

Sentetik elmasın avantajı ise gerekli özellikleri elde etmek için istenildiği şekilde tasarlanıp üretilebilir 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 [1,2,30].

Geçiş metallerinden VIII. grupta bulunanlar elmasın grafite dönüşmesinde 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 grafite 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 [1,21,22,31,32,34]. Reaktif metaller içinde en etkili olanı da demirdir [22]. 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 [1,22]. Elmasın grafite 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 [1]. Elmas oksijen ile reaksiyona girdiğinde CO ve/ya $CO_2$ ürün olarak çıkar ve elmas yüzeyinde delikler oluşur. Yüzey alanı artan elmasın grafitleşme hızı artabilir. Grafite dönüşme hızını azaltmak için malzemeler vakum veya inert gaz atmosferi altında sinterlenmelidir. Elmas tanelerinin içindeki safsızlıklar grafitleşme sıcaklığını düşürür [22].

Şekil 2.18'te 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 [1]. 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 [18,35].




**Şekil 2.18 :** Çeşitli sentetik elmas morfolojilerinin şematik gösterimi ile sayısal kodları [1].

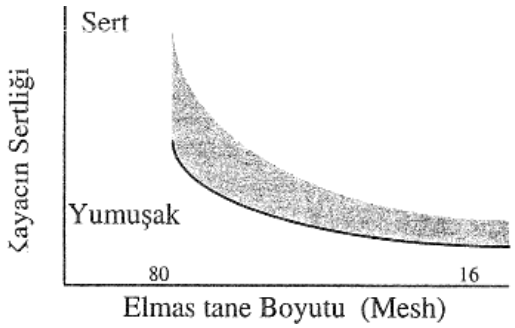
### 2.3.3.2 Elmas boyutu

Grit boyutu, alt ve üst elek açıklığı değerleriyle tanımlanır. Bazı elmas gritler ayrıca karat başına düşen parçacık sayısı ile de belirlenebilir [1].

Kesici uçlarda kullanılan elmas aşındırıcılar 80 meşten daha kaba tanelidir ve hızlı talaş kaldırma işleminin önemli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır [1]. Kayaç ve beton kesme işleminde kullanılan elmaslar 18-60 meş boyutunda (1-0.25 mm) ve küp-sekizyüzlü şekle sahiptir [4,13,36].

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[4].

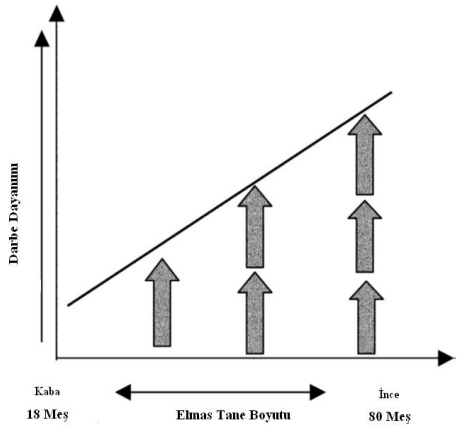
Genel eğilim ince taneli elmasların yüzey kalitesinin önemli olduğu ikincil yavaş kesme işlemlerinde kullanma yönündedir. Daha sağlam olan ince taneli elmaslar ayrıca Şekil 2.19'da gösterildiği gibi sert ve kesilmesi zor olan malzemeler için de kullanılabilir [1,4,13].




**Şekil 2.19 :** Kesilen kayaç sertliği ve elmas tane boyutu arasındaki ilişki [4].

Kaba taneli elmasların avantajı ise talaşı hızla uzaklaştırabildiği için kesme işini hızlı yapabilme potansiyelidir. Fakat çok sert malzemelerin kesme işlemi için çok kaba taneli elmaslar kullanılırsa, parçacıkların batması sınırlanır. Ya aşırı elmas kaybı ya da elmasta geniş aşınma yüzeyleri oluşur [1,4,13].

Sonuç olarak, tane boyutu küçüldüğünde ürünün dayanımı artar. Bu ilişki Şekil 2.20'de gösterilmektedir [13]. 80 meşten ince elmas aşındırıcılar aşındırma prosesinde kullanılmaktadır [1].




**Şekil 2.20 :** Tane boyutuna bağlı olarak elmasın darbe dayanımı [13].

### 2.3.3.3 Elmas konsantrasyonu

Bir soketteki elmas miktarı 100 konsantrasyonun 4.4 karat/cm$^3$'e (hacimce %25) denk olduğu ölçekte değerlendirilir [1,30].

Tane boyutu ile birlikte elmas konsantrasyonu birim alandaki kesme noktası sayısını etkiler. Çizelge 2.6'da gösterildiği gibi, toplam elmas sayısı ve oluşan elmas boşluk sayısı konsantrasyonla doğru, tane boyutuyla ters orantılıdır. Genel olarak kolay kesim yapmak ve daha aşındırıcı kayaçlar için elmas konsantrasyonu daha yüksek olmalıdır [1,4].

Kesici ucun servis ömrünü uzatmak için konsantrasyon artırıldığında kullanılan makinalarda enerji tüketimi de fazla olacaktır. Makinanın gücü artırılmadığı takdirde kesme işlemi gerçekleşmez [1,4]. Servis ömrü yüksek elmas konsantrasyonu ve ince taneli elmaslar kullanılarak artırılabilir [13].

Elmas konsantrasyonu düşürüldüğünde, her bir elmasa gelen yük fazlalaşacak ve belirli bir noktaya kadar her bir elmasın kaldırdığı talaş miktarı artacaktır. Eğer elmasın mukavemeti/tokluğu aşılırsa, elmas taneleri parçalanır ve matristen düşer [1]. Kaba taneli elmaslar düşük konsantrasyon ile beraber yüksek kesme hızlarında kullanılabilir [13].

**Çizelge 2.6 :** Kırık yüzey alanındaki (cm$^2$) toplam elmas ve oluşan elmas boşluk sayısı [1].

| 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 |

### 2.3.3.4 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 [1].

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[1,22].

Daha etkili olan ve geniş bir uygulama alanına sahip diğer yöntem ise elmasları güçlü karbür yapıcı elementlerle kaplamaktır. Titanyum, krom, silisyum gibi elementlerle elmas tutma kabiliyeti artırılır. Bunların dışında zirkonyum, tungsten, tantalyum, molibden ve alaşımları da kullanılabilir[1,22].

Endüstride Ti çok kullanılmaktadır. Ti-Fe arasındaki kimyasal bağ elmas-Ti arasındaki bağlanmadan daha kuvvetlidir [22]. Ayrıca TiC ile kaplanmış elmaslar da kullanılabilir. Örnek olarak TiC kaplanmış demir esaslı elmas kompozitler akma dayanımı, elastik modül, aşınma dayanımı gibi özellikleri bakımından Ti kaplanmış elmas kompozitlere nazaran kötü özellikler gösterirken kaplanmamış elmaslara sahip demir kompozitlere göre daha iyi özellikler gösterir [1,22].

Bu kaplamaların dışında nikel esaslı ek katmanlar kullanılarak karbür yapıcılar oksidasyondan korunabilir. Ayrıca böyle yaparak mekanik kilitlenmeler yardımıyla elmasların kopması minimize edilebilir. Birincil karbür tabakası (0.1-10μm) kalınlığındadır. İkincil tabaka ise elmasların %20-60 miktarında uygulanır [1,2,22,31,36].

Numune 1 (%75Cu-Sn, max %20 Fe), numune 2 (%40Cu-Sn, %50 Fe) ve numune 3 (%25Cu-Sn, %50Fe, %12WC) bileşiminde elmaslı ve elmassız üretilmiş farklı 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-kaplama ara yüzeyinde kırılma daha fazla gerçekleşmiştir [37]. Bunun nedeni elmas-kaplama arasındaki bağın yüksek sinterleme sıcaklıklarında zayıflaması olarak gösterilebilir [37,38]. 2 ve 3 nolu kaplamasız elmas içeren numunelerde kaplamasız elmas yüzeylerinde demir bulunmuştur. Bu durumda elmasın grafite dönüşümü sonucu elmasın mukavemetinde düşüş beklenebilir [37].

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 çözeltisinin üretim koşullarında oluşmadığını gösterir. Kaplamalı elmasların koptuğu noktalarda, boşluklarda Ti bulunabilir. Bu durumda, üretim sırasında ısıdan dolayı elmas-kaplama bağı zayıflamış ve bu ara yüzeyinde kırılma daha fazla olmuştur [38].

Kaplanmış elmas kullanmanın faydaları özellikle düşük çevresel hızlar ve yüksek kesme hızlarında artan servis ömrü, üretim koşullarında elmas yüzeyinin oksidasyonunu (700°K) ve grafite dönüşmesini engelleme, diğer agresif matris bileşenlerinden korumadır [1,22,31,37,38].

Uygun olmayan üretim koşulları kaplamada sorunlara neden olur ve performansa etkisi negatiftir. En ciddi tehlikeler kaplamanın oksitlenmesi ve kaplamanın matris içinde çözünmesidir [1].

## 2.4 Elmas Kesici Uç Üretimi

Elmas takım üretiminde, soketlerin hazırlanması ve soketlerin gövdeye tutturulması şeklinde iki ana bölüm vardır.

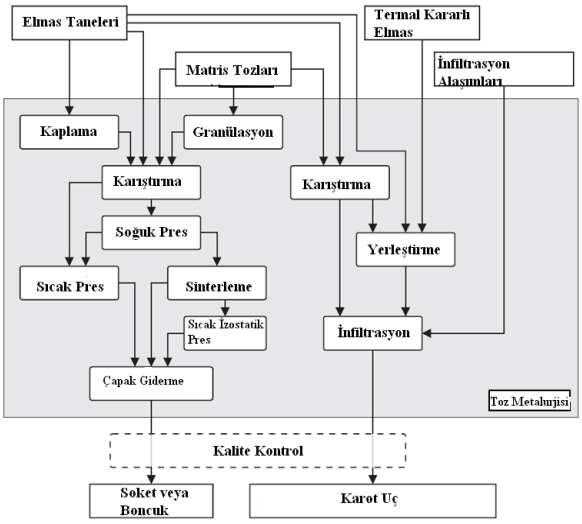
### 2.4.1 Toz Metalurjisi

Soketler genellikle toz metalurjisi teknikleriyle hazırlanır. Ana üretim basamakları Şekil 2.21'de gösterilmektedir.

### 2.4.1.1 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 [1,39].

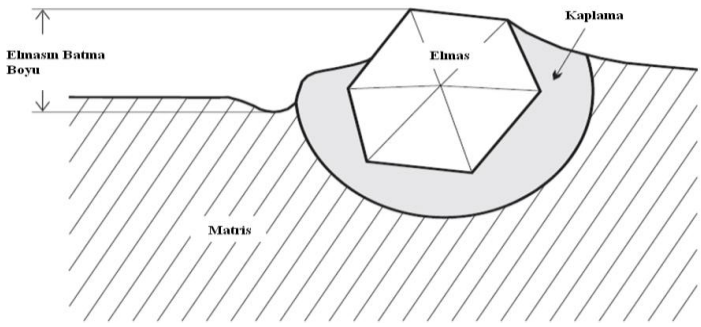
Granülasyon ince metal tozlarına akışkanlık kazandırmak için yapılır. Granülleştirme işlemi için tozlar mum, parafin, glikol gibi organik çözücüler ile karıştırılır. Sinterleme öncesi bu katkılar toz yığınından uzaklaştırılmalıdır aksi takdirde soketlerde istenmeyen kalıntı boşluklar meydana gelir. Mekanik granulasyonda toz mekanik olarak preslenir ve oluşan yapı öğütülür. Termal granulasyonda ise toz karışımı ön sinterlenir, oluşan kek öğütülür. Ayrıca yüksek hızlarda dönen mikserler yardımıyla da karıştırma işlemi yapılır [1,24,39].




**Şekil 2.21 :** Toz metalurjisi ile elmas kesici uç üretimi [1].

### 2.4.1.2 Matris-Elmas karışımının hazırlanması

Karıştırma işleminin nihai ürün özelliklerine etkisi bulunmaktadır. Matris tozları ve elmas tanelerinin homojen olmayan dağılımı soketin aşınmasını kolaylaştırmaktadır. Elmas tanelerini matris içinde homojen olarak dağıtmak zordur. Çünkü elmas tozları metallere kıyasla 2 kat daha büyük fakat yoğunluğu metallerin üçte biridir. Elmaslara kaplama işlemi uygulanması durumunda elmas tanelerinin topaklanması azaltılabilmekte ve daha homojen bir elmas dağılımı sağlanmaktadır. Uygulanan kaplama işlemi aşınma dayanımını iyileştirirken aynı zamanda Şekil 2.22'deki gibi elmas tanelerinin kesilen kayaç içine batma boyuna da artırmaktadır [1,7,11,36,40].




**Şekil 2.22 :** Uygulanan kaplamanın elmasın batma boyuna olumlu etkisi [1].

### 2.4.1.3 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 [1,11,39,41].

### 2.4.1.4 Sıcak presleme

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 [1,11,39,41].

Bu yöntem yüksek sıcaklıklarda elmas taneleri ve metal tozlarının oksitlenmesini engellemeye yardımcı olur. Direnç ile ısıtmanın üretilecek 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 [1,11,39,41,42].

Modern preslerde koruyucu gaz odaları bulunur ve buralarda kalıplar azot atmosferinde ısıtılır sonucunda ise servis ömrü artırılmış olur [1,39,41].

### 2.4.1.5 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 [1,18,22].

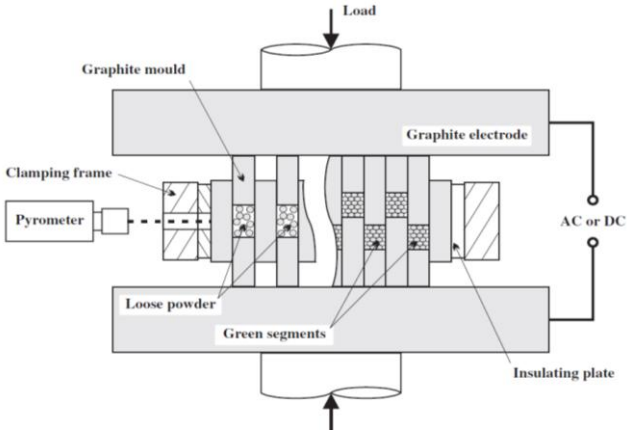
Sinterleme işlemi özellikle de sinterleme sıcaklığı elmasın tutunma kabiliyetini etkileyen temel parametrelerden biridir. Uygun sıcaklık seçilerek en iyi elmas kesici takım tasarımına ulaşılabilir [11,18,39,41].

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 [37].

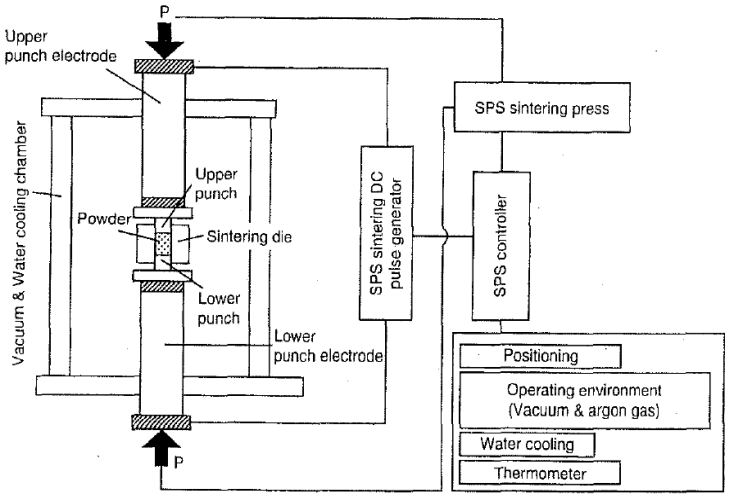
Geleneksel yöntem, elmas boncuk üretimine geniş çapta uyarlanmış olmasına rağmen soket üretiminde bu kadar yaygın değildir. Maliyet tasarrufu ve yüksek üretim hızı gibi avantajlarının olması, bu işlemin eksiklerini kapatmaktadır [1].

### 2.4.1.6 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 çoğunlukla elektriği iletmek ile beraber iletken olmayan toz karışımları da kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu elektrik enerjisi tozların içerisinden geçerek düşük basınç altında tozları yoğunlaştırmaktadır. AC ve DC'nin birlikte kullanılması tozların bağlanmasını hızlandırarak homojen parça yoğunluğu sağlamaktadır. Şekil 2.23 ve şekil 2.24'te gösterilen bu yöntemin diğerlerine göre güvenlik, güvenilirlik, yüksek sinterleme hızı ve sinterleme enerjisinin kontrolü gibi konularda üstünlüğü bulunmaktadır [31,39,41,43].




**Şekil 2.23 :** Spark plazma sinterleme sisteminde kalıplar [1].




**Şekil 2.24 :** Spark plazma sinterleme sistemi [43].

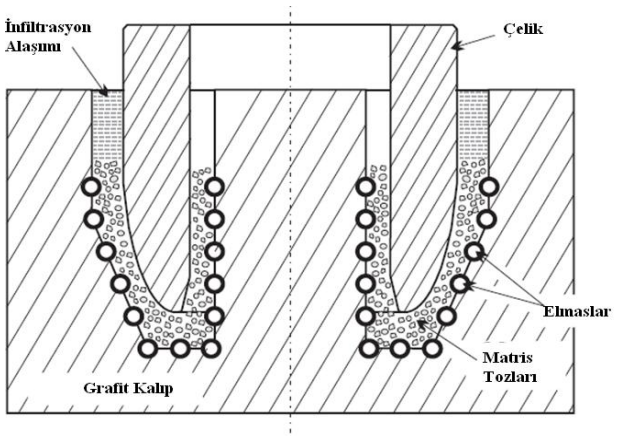
### 2.4.1.7 Sıcak izostatik presleme

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 [1,39,41].

### 2.4.1.8 İnfiltrasyon

Metal tozlarına ait birbiriyle bağlı gözeneklerin grafit kalıpta düşük ergime noktasına sahip bir alaşım tarafından doldurulması işlemidir. Şekil 2.25'te 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 [1,39,41,44].




**Şekil 2.25 :** Kalıbın kesit görünüşü [1].

### 2.4.1.9 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 [1,6].

### 2.4.1.10 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 ergiyen matris tozları altlık malzemesine gönderilir. Kalay bronzları lazer kaplama uygulaması için idealdir, özellikle esas alaşım malzemesi olarak titanyum katkısı ile beraber kullanılmaktadır [1].

#### 2.4.1.11 Çapak giderme

Üretilen bazı elmas katkılı takımların köşelerinin düzeltilmesi ve temizlenmesi gerekmektedir. Kaba taneli alumina ve ya silisyum karbür aşındırıcılar kullanılır [1].

#### 2.4.1.12 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].

### 2.4.2 Son işlemler

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

#### 2.4.2.1 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 [1].

#### 2.4.2.2 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 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 [1].

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 [1].

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 kırılgan martensit fazı oluşabilmektedir. Bu sebepten ötürü, lazer ile birleştirme işleminde soketin tabanı elmassız olmalıdır [1].

#### 2.4.2.3 Doğrultma

Doğrultma işleminde amaç soketleri çelik çapı ile eş merkezli hale getirmek, yüzlerini temizlemek ve yanal çapakları gidermektir [1].

#### 2.4.2.4 Gerilim verme

Dairesel çelik gövde üretimi sırasında gövdede kalıntı gerilimler oluşmaktadır. Dönme sırasında titreşime neden olacak dengesiz gerilimler giderildikten sonra esas gerilim verme işlemi uygulanmaktadır. İlave gerilim vererek çelik gövdenin gerilmesi, testerenin kenar kısmının uzamasına neden olacak merkez kaç kuvvetini engelleme amaçlıdır [1].

## 2.5 Matrisin Özellikleri

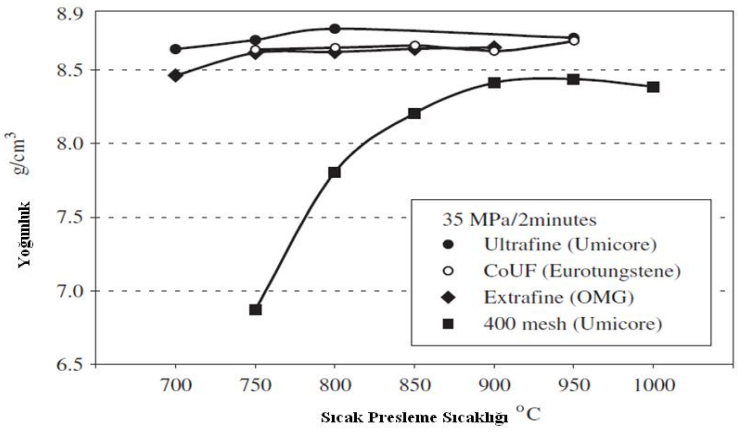
### 2.5.1 Matrisin mikroyapısı

Mukavemet, sertlik, süneklik, aşınma direnci gibi özellikler matrisin mikroyapısı ile doğrudan alakalıdır.

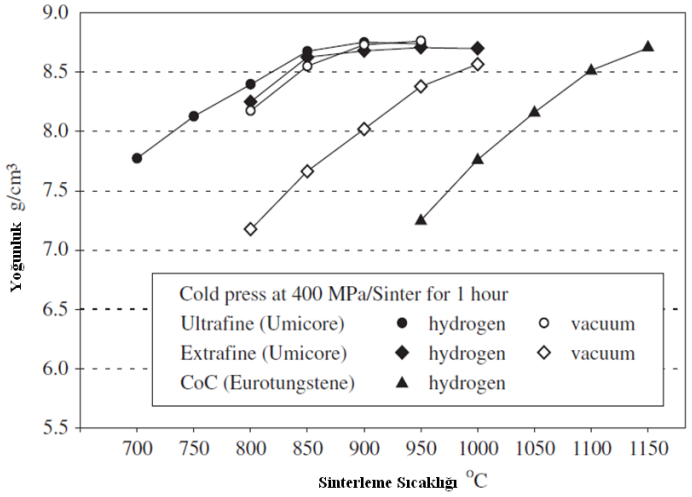
#### 2.5.1.1 Yoğunluk

Toz metalurjisi ile üretilen elmas kesici takımlarda teorik yoğunluğa yaklaşmak çok önemlidir. Farklı kobalt tozu çeşitleri için sıcak presleme eğrileri Şekil 2.26'da verilmektedir. Genellikle basıncın 35 MPa ile sınırlandırılması çoğu kalıp için uygundur. Elementel ve/ya alaşım olarak bakır ve kalayın kobalta ilavesi presleme sıcaklığını ve/ya basıncını düşürmektedir. Tungsten ve tungsten karbür tozları kullanıldığında ise tam tersi bir etki görülmektedir [1].

Geleneksel soğuk presleme/sinterleme yöntemi kullanıldığında ise durum değişmektedir. Şekil 2.27'de aynı kobalt tozlarına ait sinterleme eğrileri gösterilmektedir.




**Şekil 2.26 :** Kobalt tozlarına ait sıcak presleme eğrileri [1].



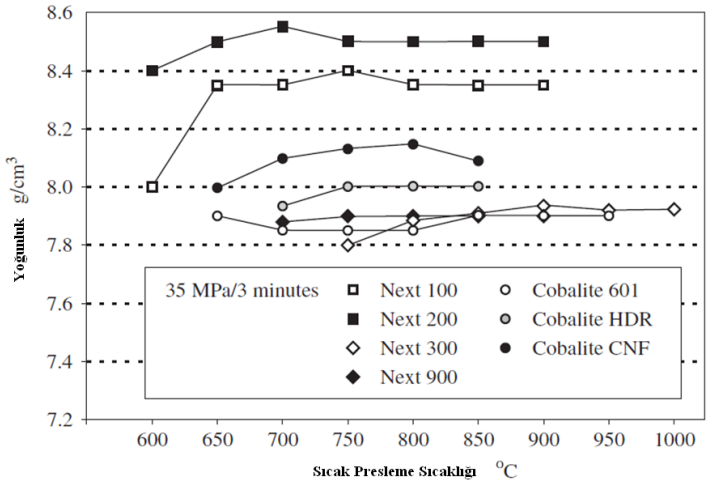

**Şekil 2.27 :** Kobalt tozlarına ait sinterleme eğrileri [1].

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 [1].

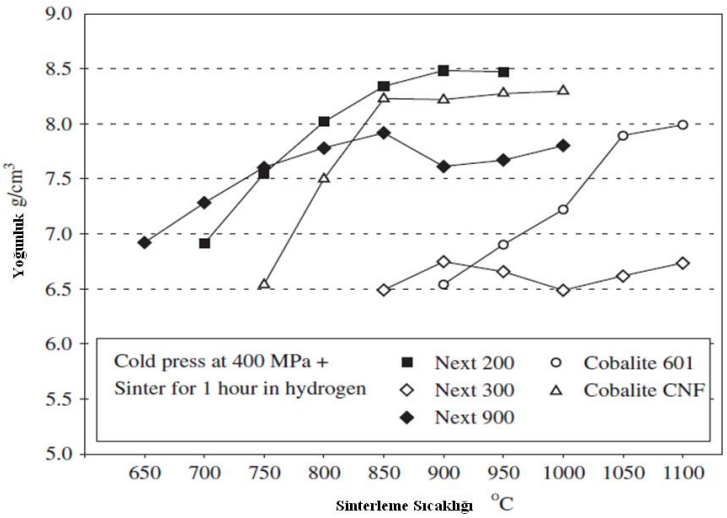
Çizelge 2.5'de kobalta alternatif olarak verilen tozlar yüksek sıcaklıkta mükemmel sıkıştırılabilirlik davranışı sergiler. Şekil 2.28'de gösterildiği gibi çoğunluğu istenilen yoğunluklara 650-800°C aralığında ulaşmaktadır [1].

Şekil 2.29'da 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 [1].




**Şekil 2.28 :** Kobalta alternatif tozların sıcak presleme eğrileri [1].




**Şekil 2.29 :** Kobalta alternatif tozların sinterleme eğrileri [1].

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 [1].

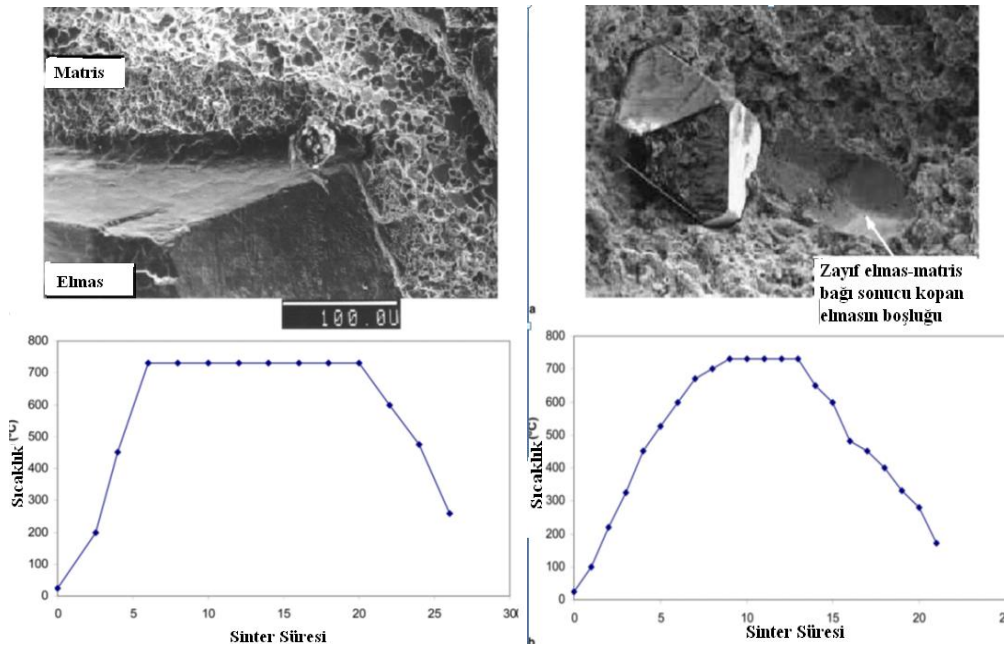
Fe-%20Co-%(15-30-45-60)Cu bileşiminde geleneksel yöntem ile üretilen malzemeler incelendiğinde, bakır oranı arttıkça ve taneleri inceldikçe oluşan sıvı faz ile beraber gözenekler azalmış yoğunluk ve büzülme artmıştır [23,28]. Fe-Co-Cu sisteminde sıcak presleme ile sinterleme sonrası sıcak izostatik presleme koşulları

kıyaslandığında ikinci yöntemin teorik yoğunluk değerlerinin daha iyi olduğu gözükmektedir [12,28].

Fe-%20Cu-%10Mo-%2Sn bileşiminde 750-800-850°C'de sinterlenen malzemelere bakıldığında ise sırayla %93-95-98 teorik yoğunluk değerlerine ulaşılmıştır, 850°C'de üretilen malzeme mermer kesici takım soketlerinin performasını artırmak için gerekli %96 teorik yoğunluğun üzerindedir [42].

Demir, kobalt, bakır ve nikel esaslı farklı alaşımlara %12'ye kadar Sn ilavesinin etkisi yoğunluğu artırıcı yönde olmuştur [30].

Şekil 2.30, 730°C'de sırasıyla 15 ve 3 dakika sinterlenmiş kobalt esaslı matrise ait SEM görüntülerini göstermektedir. Uzun sinterleme süresi elmasın tutunmasını iyileştirmiştir [20].




**Şekil 2.30 :** Kuvvetli ve zayıf elmas-matris bağına ait SEM görüntüleri [1].

### 2.5.1.2 Tane boyutu

Metallerin mukavemetini arttırma yöntemlerinden biri de tane boyutunu düşürerek bunu sağlamaktır ve Hall-Petch bağıntısı ile belirlenir. Dislokasyon hareketleri tane sınırları artıtırılarak engellenir, mukavemet artar [1,17].

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-$Co_4S_3$ ötektiği 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 dg ortalama tane boyutu, dp boşlukların ortalama boyutu, Vp gözeneklerin hacim fraksiyonudur [1].

$$dg \sim dp/Vp \tag{2.1}$$

2.1'de verilen ilişkiden çıkarılan sonuç, boşlukların tane büyümesini engelleyen etkisinin, sinterlenen malzeme teorik yoğunluğuna yaklaştığında azalmasıdır [1].

#### 2.5.1.3 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 [1].

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 1 saat tutulmasına rağmen yeniden kristalleşme tamamlanamayabilir [1].

#### 2.5.1.4 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 [1].

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 [1].

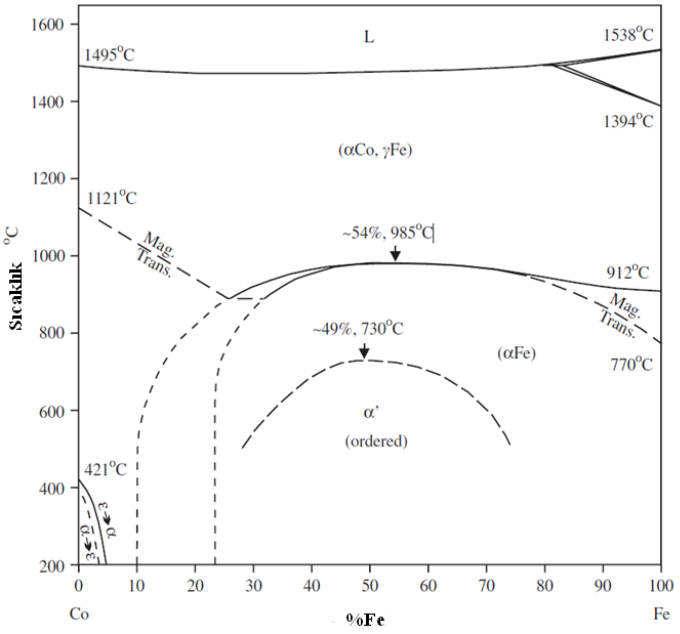
YMK ve ya YMK/HSP karışımı yapıyı korumak için toz metalurjisi uygulamalarında demir en uygun kübik faz düzenleyicidir. Pratikte kobalta %10 demir bu amaçla ilave edilmektedir. Sertlik ve akma dayanımındaki düşüşe rağmen süneklik artmaktadır. Aluminyum, titanyum, zirkonyum ise oksitlenmeye yatkınlığından dolayı pek tercih edilmemektedir [1].

Şekil 2.31'de görüldüğü gibi kobalta %10-24 demir ilavesi termodinamik açıdan kararlı iki fazlı bir yapı oluşmaktadır. Saf demire kadar daha fazla demir ilavesi HMK kristal yapısına geçişe neden olmaktadır. 730°C'nin altına soğutulduğunda demir-kobalt alaşımı düzenlilik-düzensizlik dönüşümüne uğramaktadır. Deneysel gözlemlere göre, demir-kobalt alaşımları 660-870°C arasında preslendiğinde teorik yoğunluklarına erişmektedir [1].

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 arttırılması 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 [1].

Fe-%20Co-%(15-30-45-60)Cu alaşımlarında azalan bakır oranı ile birlikte $Co_3Fe_7$ ve CoFe katı çözeltileri görülmüştür. Bakır eklenip demir oranı azaldığında ise daha az miktarda Fe-Co katı çözeltisi oluşmuştur, demirin kobalt ile afinitesi güçlüdür. Fe-Co-Cu alaşımlarında sertlik değerlerinde görülen artış katı çözelti oluşumu ile açıklanmaktadır. Fakat Cu miktarı arttığında daha az miktarda katı çözelti oluşmasına rağmen gözeneklerin kapanmasıyla yoğunluk artmaktadır. Fe-Cu, Fe-Co, Co-Cu ikili sistemleri benzerlik gösterir. Bu sistemde Fe-Co ve Cu-Co katı çözeltilerinin yanında, az miktarda Fe-Cu çözeltisi oluşmaktadır [11,23,28].

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 [1,30]. Kalay ilavesinin etkisi, Ni-%33Cu-%5.5Fe-%6.5Sn ve Cu-%18Co-%17Fe-%10Sn sistemleri incelendiğinde Cu-Sn katı çözeltisi oluşturduğu ve Cu-Ni katı çözeltisi olasılığını güçlendirdiği görülmektedir. Ayrıca demir içinde de çözünmektedir [30]. Bronz esaslı bağlayıcılarda Ni, Fe ve Sn arasında bir etkileşim olmaktadır. Fe olmadığında Sn, Ni yapısına difüze olmakta sertlik değerlerinde azalma görülmektedir. Ni-Sn intermetalik fazı malzemeyi kırılgan yapmaktadır. Fe ve Ni bulunduğunda ise kalayın difüzyonu zorlaşmaktadır ve mukavemet iyileşmektedir [29].




**Şekil 2.31 :** Kobalt-Demir faz diyagramı [45].

Fe-%20Cu-%2Sn-%(0-10-15-20)Co bileşiminde artan kobalt miktarı ile beraber CoSn ile Co-Cu katı çözeltisi oluştuğu görülmektedir. Co ve Sn 500-1121°C arasında kararlı bir yapı oluşturmaktadır [9].

Ti-%(10-28)Ni içeren matriste $Ti_2Ni$ fazı ve titanyum elementi görülmüştür. $Co_{10}(Ti_{87}Ni_{13})_{90}$ ve $Co_{40}(Ti_{87}Ni_{13})_{60}$ sistemleri incelendiğinde aynı kristallografik yapıya sahip $Ti_2(Co,Ni)$ fazları oluşmaktadır. $Al_3(Ti_{87}Ni_{13})_{97}$ ve $Al_5(Ti_{87}Ni_{13})_{95}$

bileşiminde ise sadece Ti ve $Ti_2Ni$ fazları bulunmaktadır, mikroyapı Ti-Ni alaşımına çok benzerdir [19].

Başlangıçta malzemede bulunan boşluklar sinterleme sırasında boşlukların tane sınırlarına difüzyonu ile giderilmektedir. Demir tozları örnek alındığında, sinterleme sıcaklığında meydana gelecek artış, ferrite kıyasla östenit fazında difüzyon hızındaki düşüş ve hızlı tane büyümesi nedeniyle yoğunluğun düşmesine neden olacaktır. Büyüyen taneler boşlukları saracak ve boşluk difüzyonu ile yok edilmeleri yavaşlayacaktır. Demire bakır ilavesi, ymk yapısındaki östenit fazının ($\gamma$) stabilize olmasını sağlar ve dolayısıyla hmk yapısındaki ferritte daha yüksek çekilme oranı gözlenir [1].

Ön alaşımlandırılmış tozlar, karıştırılmış benzerlerine göre sinterleme işlemi için daha uygundur. Karıştırılan tozlarda alaşımdaki elemetlerin 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 [1,11].

#### 2.5.1.5 Hatalar

Hatalar kesici takımın verimliliğini ve ömrünü olumsuz etkilemektedir. Bunlar, kirlilik, inklüzyonlar, mikroyapıdan ve prosesten kaynaklı hatalardır.

Kirlilikler metalik ve ya metal dışı olabilir. Dağılımı ve miktarına bağlı olarak kesici takımda çatlak başlangıcı olarak davranırlar. Üretim sırasında genellikle parafin kullanılmakta, bu madde 320-390°C arasında buharlaşmaktadır. Buharlaşmadan kalan bir miktar parafin mikroyapıya olumsuz etkilemektedir. Ayrıca kirli üretim şartlarına bağlı olarak malzemelerde istenmeyen yapılar görülebilir. Oksit filmler ve inklüzyonlar matriste çatlak başlangıcına neden olacak yapısal düzensizliklere ve boşluklara neden olur. Oksit filmler ve inklüzyonlar azaltılamazsa oluşan boşluklar artacaktır. Tane sınırı açıklıklarına benzer mikroyapısal hatalar meydana gelir. Ayrıca elmas taneleri de çatlayarak, hata başlangıç bölgeleri olarak davranabilir [17,20,46,47].

Üretim sırasında vakum ve ya redükleyici atmosfer kullanarak matris ve elmas korunması sağlanır. Ayrıca sinterleme sıcaklığı, basıncı ve süresi iyi tasarlanmalıdır.

Yetersiz sıcaklıklarda reaksiyona girmeyen taneler bulunur ve mekanik özellikleri olumsuz etkiler. Sinterleme işleminden sonra soğutma sırasında da sabit basınç uygulanmalı, matrisin homojenliği sağlanmalıdır. Homojenlik sıcaklık arttırılmasıyla elde edilebilir fakat bu durumda elmasın bozunması başlar. Elmas tanelerine zarar vermemek için yüksek basınçta uzun sinterleme süreleri uygulanmalıdır [17,20,46,47].

Genel olarak, zayıf elmas-matris bağı, inklüzyon ve oksit filmlerin varlığı çatlak başlangıcına neden olur.

### 2.5.2 Matrisin mekanik özellikleri

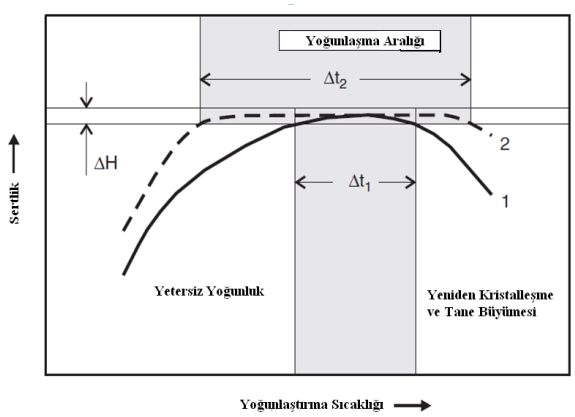
Sertlik, akma dayanımı ve tokluk gibi malzeme özellikleri matrisin elması tutma kabiliyetini etkilemektedir ve endüstriyel uygulamalarda hesaplanarak incelenmektedir.

#### 2.5.2.1 Sertlik

İstenilen 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 2.32'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 [1,48]. Presleme sıcaklığına bağlı olarak farklı kobalt tozlarının sertlik değerleri Şekil 2.33'de, demir esaslı tozların Fe-%20Cu-%2Sn-%(0-10-15-20)Co değerleri 2.34'da verilmiştir.

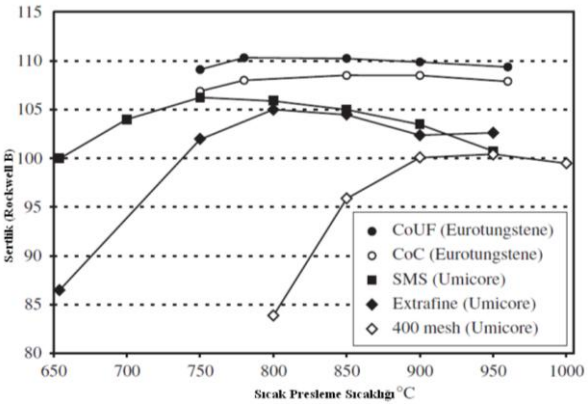
Şekil 2.35'de ise demir esaslı tozların (Fe-%20Cu-%10Mo-%2Sn) sinterleme sıcaklığına bağlı olarak sertlik değerlerindeki artış gözükmektedir [42].

Pratik olarak matrisin elmas tutma yeteneği hakkında sertlik ölçü olabilir. Fakat tek başına yeterli bir yöntem değildir. Çünkü sertlik ölçümleri, malzemenin deformasyon sertleşmesinden etkilenmektedir.



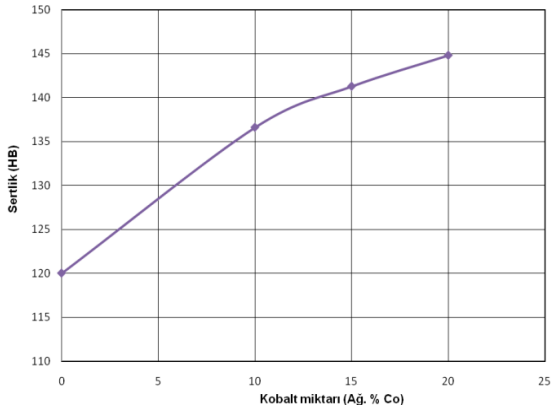

**Şekil 2.32 :** Tozların yoğunlaşma sıcaklığının fonksiyonu olarak sertlik [1].

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 ve ya bazı matris tozlarının elmas yüzeyinde reaksiyona girmesi sonucu oluşan yeni yüzeyler yardımıyla sürtünme katsayısı arttırılır. Sürtünme katsayısındaki artışın, matrisin elmas çevresindeki plastik akmasını gerçekleştirmek için gerekli basıncı arttırması beklenmektedir [1].



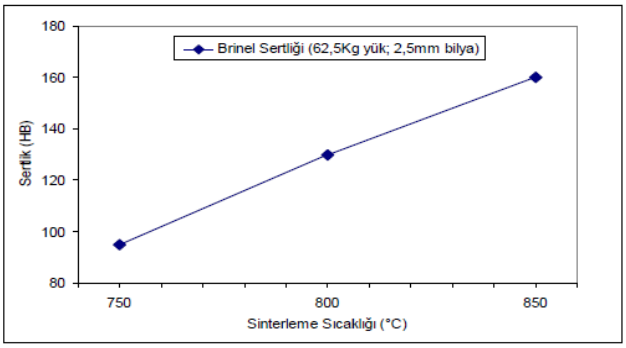

**Şekil 2.33 :** Ticari kobalt tozlarına ait sertlik değerlerinin presleme sıcaklığı ile ilişkisi [1].

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 gözükmektedir [30].




**Şekil 2.34 :** Artan Co miktarına bağlı sertlik ölçüm sonuçları [9].

Şekil 2.36 karşılaştırılan kompozisyonlar arasında Fe-Mn alaşımının en yüksek sertlik değerini aldığını göstermektedir. Fakat bu değerlere ulaşmak için Co ve Fe-%50Cu-%25Co alaşımına ait presleme sıcaklıklarından 100-200°C daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Co ile kıyaslandığında ise Fe-%50Cu-%25Co alaşımının daha düşük sıcaklıklarda preslenmesi enerji ve kalıp tüketiminde önemli tasarruf sağlayabilmektedir [8].



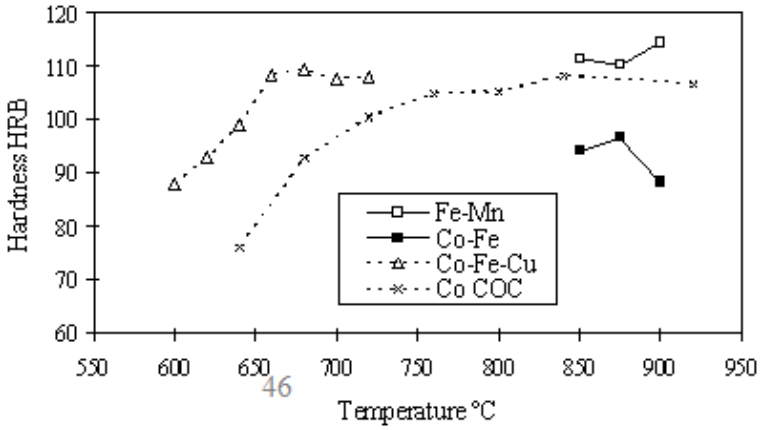

**Şekil 2.35 :** Demir esaslı tozların sertlik ölçüm sonuçları [42].

Fe-%(5-10-15-20)Cu-%1SiC sistemi incelendiğinde 1150°C'de yapılan sinterleme işlemi sonucu artan bakır miktarıyla sertlik artmıştır. Özellikle SiC taneleri Fe-Cu sistemine göre sertlik değerini %14 artırmıştır [11].

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 [19].

Ayrıca demire %11 Ni ilavesi matrisin sertliğini, yoğunluktaki artış ve tane boyutundaki düşüşe bağlı olarak, 134 kgf/mm$^2$ 'den 380 kgf/mm$^2$ 'e çıkarmaktadır[1]. Belirtmek gerekir ki Fe-Co-Ni sisteminde Ni ilavesi sonucu aynı

sertlik değerlerine ulaşmak için daha yüksek sıcaklıklarda sinterleme uygulamak gerekmektedir [29].




**Şekil 2.36** : Farklı Fe ve Co alaşımları için presleme sıcaklığına bağlı sertlik değerleri [8].

### 2.5.2.2 Akma mukavemeti

Matrisin akma mukavemeti elmasın tutunmasını etkileyen bir diğer parametredir. Matrisin akma dayanımı geçildiğinde, elmasın tutunması zarar görür. Tozun özelliklerine ve üretim yöntemine bağlı olarak akma değerleri değişir. 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 [1,5,48].

### 2.5.2.3 Eğme mukavemeti

Elmas kesici takımların elastik-plastik bölge karakterizasyonunda eğme testi yaygın kullanılan bir uygulama haline gelmiştir. Sinterlenmiş malzemenin dayanıklılığını basitçe ortaya koymaktadır [1].

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 [1,37,38].

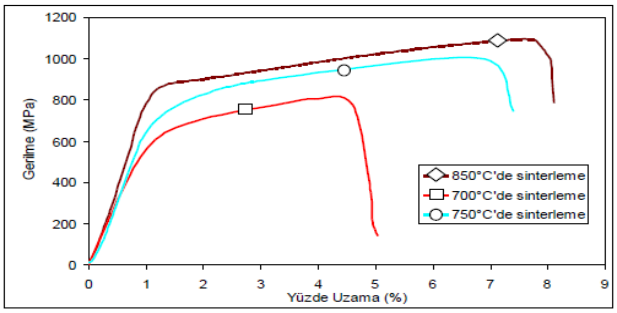
Farklı bağlayıcılar ile kaplamasız elmaslar içeren farklı numuneler incelendiğinde elmas-matris ara yüzeylerinin hemen hemen aynı olduğu ve boşluklar içerdiği görülmektedir. Bu yüzden farklı numunelerin eğme mukavemetinde görülen değişimler, elmas-matris ara yüzeyinde oluşan bağlanmadan çok, matris atomlarının

birbiriyle oluşturduğu bağdan kaynaklanmaktadır. Kaplama içeren elmaslarda ara yüzey daha sıkıdır [37].

Elmas takımların eğme mukavemeti hem matrisin kendi içindeki bağlanmasına hem de elmas-matris arasındaki bağa bağlıdır, fakat bağlayıcının kendi içindeki bağ kuvveti daha etkilidir [37,38,49]. Eğme mukavemeti sinterleme sıcaklığının artması ile artış göstermektedir, sinterleme sıcaklığı kaplamaya göre eğme mukavemeti üzerinde daha baskındır [50]. 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 doğrurur [17].

Şekil 2.37'de verilen Fe-%20Cu-%10Mo-%2Sn kompozisyonundaki üç nokta eğme testi sonuçlarına göre, sinterleme sıcaklığının artışı ile eğme mukavemetinde bir artış görülmektedir. Uzama miktarları da sinterleme sıcaklığının artışı ile artmaktadır [9,42].

Matriste bakır ve kalay elementlerinin varlığı, numunelerin kırılmamasında etkilidir. Demir esaslı matrislerde kullanılan kobalt miktarındaki artışa bağlı olarak eğme mukavemetlerinde artış, yüzde uzama miktarında önemli ölçüde düşüş beklenmektedir [9].

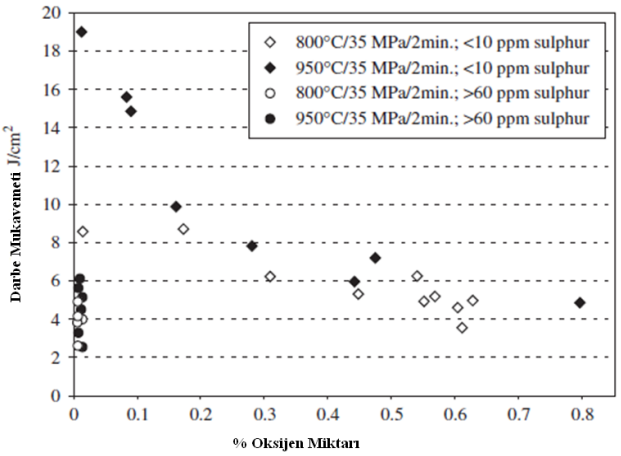



**Şekil 2.37 :** Üç nokta eğme deneyi sonuçları [42].

### 2.5.2.4 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.

Örnek olarak Şekil 2.38'de gösterilen sıcak presleme ile üretilmiş alaşımsız kobalt numunelerinin tokluk değerleri içerdiği safsızlıklara bağlıdır.




**Şekil 2.38 :** Sıcak preslenmiş kobalt tozlarının darbe mukavemetine oksit ve sülfürün etkisi [1].

### 2.5.3 Matrisin aşınma karakteristiği

Kesilen taşların ve soketlerin kompozisyonuna ve kesme işlemi sırasındaki parametrelere bağlı olarak farklı aşınma karakteristikleri ortaya çıkar. Bu aşınma mekanizmaları abrasif, erozif aşınma ve oksidasyondur. Abrasif ve erozif aşınma görülen en önemli aşınma tipleridir [2,8].

Soketlerin aşınması, matrisin aşınması ve elmasın aşınması olarak ikiye ayrılır. Matriste bulunan fazlardan her birinin farklı aşınma dirençleri olduğu da unutulmamalıdır. Ayrıca aşınma hızı matrisin elması tutma kabiliyetinden de etkilenebilir [2,8].

Taşların abrasif etkisi ile beraber yüksek mekanik ve termal yükler elmasları etkilemektedir. Diğer taraftan soğutucu ile talaşın karışması sonucu abrasif bir malzeme ortaya çıkararak soketin matrisinin aşınmasına neden olmaktadır. İki mekanizmanın da aşınmaya etkisi oldukça fazladır [8].

Soğutucu ve taş parçalarından oluşan abrasif talaş matrisin aşınmasına neden olur. Kesilecek taşın özelliklerine göre matris seçimi yapılmalıdır. Uygun seçim yapılmaması durumunda ya matris hızlıca aşınır ve elmaslar matriste tutunamaz ya da matris elmaslara göre daha yavaş aşınır ve talaşın uzaklaşması sağlanamaz, soket kesme yeteneğini kaybeder [8]. Örnek olarak Fe-Cu-SiC sisteminde, matriste kullanılan SiC'ün tane boyutu 8µm'den 23 µm'ye çıkarıldığında iki kat daha iyi aşınma dayanımı gösterir [11].

Karakteristik aşınma görüntüsü krater görünümüdür. Tanelerin arkasında aşınma azdır, elmasın maruz kaldığı yüklere dayanmasını sağlayan kuyruk oluşumu görülür [8]. Abrasif ve erozif aşınma türlerine yorulmanın da etkisi olmaktadır [1,16].

### 2.5.3.1 Abrasif aşınma dayanımı

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 [17].

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 süreklidir. Dış tabaka aşınmaya uğradığında alttan yeni elmas tabakaları ortaya çıkar [22].

Kaplamanın aşınma dayanımına etkisini incelediğimizde, Ti ve TiC kaplamalı elmaslar içeren soketler kaplanmamış elmas içeren soketlere göre daha yüksek abrasif aşınma dayanımı gösterir [22,37]. 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 [22].

İçerdiği Cu-Sn bileşimine göre 3 ayrı malzemenin aşınma davranışı düşünüldüğünde, kaplamalı elmas içeren (%75Cu-Sn, max %20Fe) bileşimindeki soket diğer örneklere 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 [37].

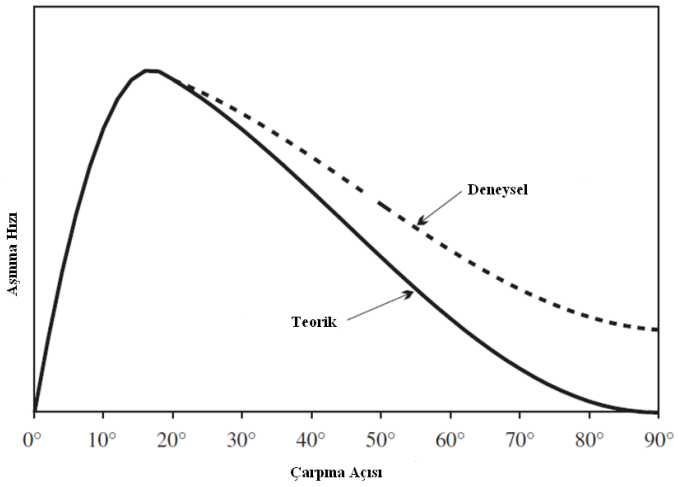
Doğal taş kesiminde kullanılan soketlerde matrisin aşınması oluşan talaş ve kullanılan soğutucu karışımından kaynaklanmaktadır. Oluşan malzemenin abrasif özelliği birçok parametreye bağlıdır. Bunlar; ortalama tane boyutu ve dağılımı, tane şekli, kompozisyonu ve sertliğidir. Soketlerin özelliği de abrasif aşınmada bir o kadar

önemlidir. Elmas boyutu, mukavemeti ve konsantrasyonu bu konuda etkili olan parametrelerdendir [22].

### 2.5.3.2 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 [1].

Parçacıkların çarpma açısı 0º ile 90º arasında değişmektedir. Küçük açılarda, 4º'ye kadar, erozyon hızı ihmal edilecek kadar düşüktür. Sünek malzemelerde, 15º ile 30º arasındaki çarpma açılarında maksimum erozyon hızı görülür. Teorik olarak 90º'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 2.39'da görülmektedir [1].




**Şekil 2.39 :** Erozif aşınma hızının çarpma açısı ile değişimi [1].

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.

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].

# 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tezin deneysel çalışmalar kısmında, Çizelge 3.1'de kimyasal kompozisyonları verilmiş doğal taş kesiminde kullanılan, SPS yöntemi ile 800-850°C sıcaklıklarda sinterlenmiş soketlerin yoğunlukları ölçülmüş, mekanik testler ile performansları belirlenmiş daha sonra karakterizasyon çalışmaları ile içyapısı incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerden bazıları endüstride ticari olarak kullanılan bileşimlere sahip olup, bunlar Çizelge 3.1'de işaretlenmiştir. Diğerleri ise bu çalışmaya özel araştırma için alternatif olarak üretilmiştir. Çizelge 3.1'de verilen bileşimler hacimce yüzde bileşim olup, numunelerde ayrıca 20-25 konsantrasyon (0,88-1,1 karat) 30-80 meş (595-177 mikron) tane boyutu aralığında elmas bulunmaktadır. Ayrıca deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere elmas içermeyen numuneler de üretilmiştir.

**Çizelge 3.1 :** Deneysel çalışmalarda kullanılan soketlerin kimyasal bileşimi.

| | Kimyasal Bileşim (%Hacim) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | %Fe | %Ni | %Sn | %Cu | %Co |
| Numune1* | 40 | 20 | 4 | 36 | |
| Numune2* | 20 | 10 | 7 | 63 | |
| Numune3 | 28 | | | 48 | 24 |
| Numune4 | 32 | | | 48 | 20 |
| Numune5 | 37 | | | 48 | 15 |
| Numune6* | 10 | | 9 | 81 | |
| Numune7 | 36 | 10 | 4 | 50 | |
| Numune8* | 50 | 10 | 4 | 36 | |
| Numune9* | 30 | | 9 | 61 | |

## 3.1 Yoğunluk Ölçümü

Spark plazma sinterleme yöntemi ile üretilmiş numunelerin yoğunluk ölçümleri 220 g kapasiteli 0,1 mg hassasiyet ile ölçüm yapan Precisa™ marka hassas terazinin arşimet yoğunluk ölçümü ekipmanları kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 3.1'de kullanılan hassas terazi görülmektedir.



**Şekil 3.1 :** Precisa™ arşimet terazisi.

### 3.2 Sertlik Ölçümü

Şekil 3.2'te gösterilen Zwick ZHR™ sertlik test cihazında yüzey hazırlama işlemi sonrası numunelerin sertlik değerleri alınmıştır. Bu işlem 1/16" uç kullanarak 100 kg yük altında en az 8 başarılı sertlik ölçümünün ortalaması alınarak yapılmıştır.




**Şekil 3.2 :** ZHR™ sertlik ölçüm cihazı.

### 3.3 Mekanik Deneyler

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

#### 3.3.1 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 3.3'de gösterilen Dartec™ marka üniversal test cihazında 5 mm/dak. basma hızında yapılmıştır.




**Şekil 3.3 :** Dartec™ üniversal test cihazı.

### 3.3.2 Üç nokta eğme deneyi

Eğme testi 10 kN kapasiteli Schimadzu AUTOGRAPH AGS-J™ marka üniversal 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.

## 3.4 Karakterizasyon Çalışmaları

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.

### 3.4.1 Yüzey hazırlama işlemi

Yoğunluk ölçümünde kullanılmamış, elmas içermeyen numuneler sırasıyla 240-320-400-600-800-1000-1200 ve 2400 numara SiC zımpara kağıtlarında sulu zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra sırasıyla 3 μ ve 1 μ elmas aşındırıcı ile 250-300 rpm hızlarda MD Chem. marka kumaşta parlatılmıştır.

### 3.4.2 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri

Numunelerin kırık yüzey analizinde ve parlatılmış yüzeylerde görülebilecek hatalar ile beraber mikroyapısal özelliklerin belirlenmesi amacıyla EDS donanımlı Hitachi TM-1000 SEM™ marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

### 3.4.3 X-ışınları difraktometresi (XRD) analizleri

Yüzey hazırlama işlemine tabi tutulan numunelerin kalitatif faz analizinde BRUKER™ D8-Advance X-ışınları difraktometresi (XRD) 40 kV ve 40 mA şartlarında $CuK_{\alpha}$ radyasyonu kullanılarak çalıştırılmıştır. $2\theta=20°–120°$ olarak alınmış ve 0.02° artışlar ile tarama yapılmıştır. Şekil 3.4'te bu cihaz gösterilmektedir.




**Şekil 3.4 :** BRUKER™ D8-Advance X-ışınları difraktometresi.

### 3.4.4 Optik mikroskop incelemeleri

Parlatma işlemi sonrası numuneler Leica™ DM 750M marka Şekil 3.5'te gösterilen mikroskopta mikroyapının belirlenmesi amacıyla incelenmiştir.



**Şekil 3.5 :** Leica™ DM 750M optik mikroskop.

# 4. DENEYSEL SONUÇLAR

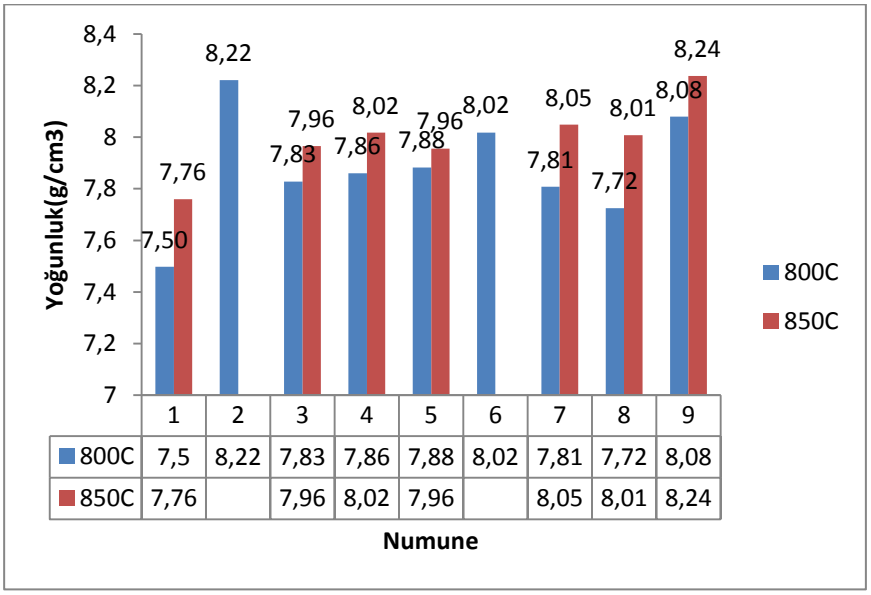
## 4.1 Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Çizelge 3.1'de kimyasal kompozisyonları verilen iki farklı sıcaklıkta sinterlenerek üretilmiş numunelerin ölçülen ve teorik olarak hesaplanan yoğunlukları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir, Şekil 4.1'de ise numunelerin ölçülen yoğunlukları grafiğe aktarılmıştır.

**Çizelge 4.1 :** Numunelerin yoğunlukları.

| | Ölçülen Yoğunluk ($g/cm^3$) | | Teorik Yoğunluk ($g/cm^3$) |
|---|---|---|---|
| | 800°C | 850°C | |
| Numune1 | 7,498 | 7,760 | 8,35 |
| Numune2 | 8,221 | - | 8,51 |
| Numune3 | 7,828 | 7,965 | 8,55 |
| Numune4 | 7,860 | 8,017 | 8,51 |
| Numune5 | 7,882 | 7,956 | 8,46 |
| Numune6 | 8,018 | - | 8,58 |
| Numune7 | 7,808 | 8,048 | 8,37 |
| Numune8 | 7,725 | 8,007 | 8,25 |
| Numune9 | 8,079 | 8,237 | 8,41 |

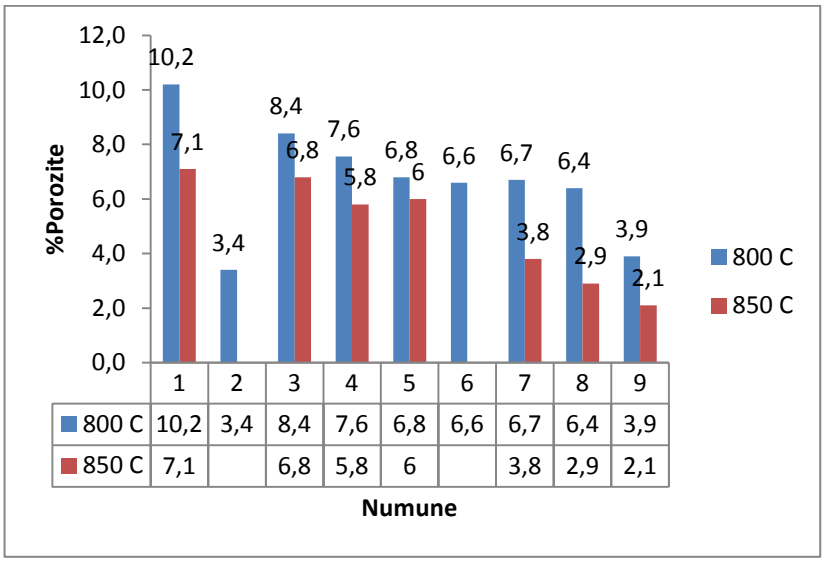
Yoğunluk ölçümlerinde göze çarpan en önemli sonuç, sinterleme sıcaklığının 800°C'den 850°C'ye çıkarılması durumunda numunelerin yoğunluğunda gözlenen artıştır. 3,4 ve 5 numaralı numunelerde bu artış diğer numunelere kıyasla daha az olmuştur. Bunun sebebi olarak bu numunelerde bulunan daha yüksek sinterleme sıcaklıklarına ihtiyaç duyan kobalt tozları gösterilebilir. Literatür bilgilerine [23,28] paralel olarak, elementel ve/ya bronz alaşımı olarak bakır ve kalayın oranındaki artış ile beraber boşlukların azaldığı görülmektedir. 2, 6 ve 9 numaralı numunelerde bronz oranı %70-90 arasındadır ve 800°C'de ölçülen en yüksek yoğunluk değerleri bu malzemelere aittir. Bu elementler sıvı faz sinterlemesine neden olarak malzemedeki boşlukların kapatılmasını sağlamıştır.




**Şekil 4.1 :** SPS yöntemiyle üretilen numunelerin yoğunlukları.

Şekil 4.2'de üretim sonunda numunelerde oluşan porozite miktarları verilmiştir. Numuneler elmas içerdiğinden beklenenden daha fazla porozite oluşmuştur. Doğaltaş kesiminde kullanılan soketlerin performansının kötü olarak etkilenmemesi için özellikle 1 numaralı numunedeki düşük yoğunluk yetersizdir. Bunun dışında özellikle 2 numaralı numune ile 850°C'de üretilmiş 7, 8 ve 9 numaralı numunelerde gözenek miktarının en az seviyede olduğu görülmektedir. Bu değerlerin elde edilmesinde sinterleme sıcaklığı kadar kullanılan karbonil demir tozunun da etkisi düşünülebilir. Bu tozların empürite element miktarı çok az olduğundan daha düşük sıcaklıklarda beklenen sinter yoğunluğuna erişimi sağlar. Bazı numunelerde bu özel demir tozları kullanılmıştır. Nikel elementinin yoğunlaşmaya etkisini incelediğimizde, Fe:Ni oranı (2:1)'den (4:1) ve (5:1)'e çıkarıldığında porozitelerin azaldığı görülmektedir. Özellikle 1 ve 8 numaralı numuneler kıyaslama için güzel örneklerdir. Aynı miktarda bronz içermelerine rağmen Fe:Ni oranlarındaki artışa bağlı olarak yoğunluklarında olumlu değişiklik görülmektedir. 2 numaralı numunede (2:1) olan Fe:Ni oranına rağmen görülen yüksek yoğunlaşma numunede bulunan yüksek bronz bileşiminden (%70) kaynaklanabilir. Nikel elementi 850°C'de sinterlendiğinde iyi yoğunlaşma özelliği göstermiş ve malzemedeki gözenekler azalmıştır.

Sonuç olarak Ni içeren 1, 2, 7 ve 8 numaralı numunelerdeki Fe:Ni oranı, bronz miktarı, demir tozlarının türü ve sinterleme sıcaklığı yoğunluğu etkileyen parametreler olmuştur.



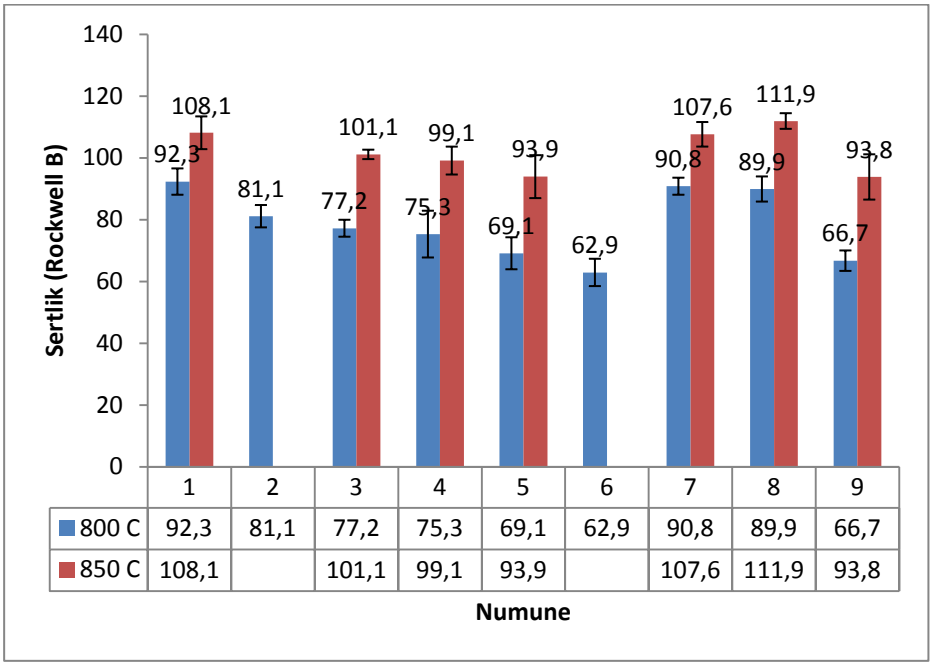

**Şekil 4.2 :** Numunelerdeki boşluk miktarları.

### 4.2 Sertlik Ölçüm Sonuçları

Farklı zamanlarda üretilen numunelerden toplamda 8 adet ölçüm yapılmıştır. Sonuçların sağlıklı olması için numunenin farklı bölgelerinden belli aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.3'de gösterilmektedir.

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. 3, 4 ve 5 numaralı numunelerde artan kobalt miktarına bağlı olarak demir esaslı matriste sertlik artmıştır. Nikel elementinin sertliğe etkisini bire bir kıyaslamak değişik kompozisyonlardan dolayı sağlıklı olmasa da, genel olarak nikel sertliği arttırıcı özellik göstermiştir. Fakat değişik yüzdelerde nikel içeren yüksek sertlikli 1, 7 ve 8 numaralı numuneler incelendiğinde sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. 1 numaralı numunede beklenen daha yüksek sertlik değerine ulaşılamamasına, yapısında bulunan boşlukların daha fazla olması neden olmuş olabilir. Bakır ve kalay elementleri matrisin sertlik değerlerini düşüren elementlerdir,

bu elementler malzemenin sertliğine katkılarından çok, malzemenin istenilen yoğunluğa erişilmesinde rol oynamaktadır.




**Şekil 4.3 :** Numunelerin sertlik değerleri.

Sonuç olarak sertlik değerleri karşılaştırıldığında 1, 7 ve 8 numaralı numuneler diğerlerinden üstündür. Literatürde [27,30] belirtildiği gibi, özellikle 850°C'de sinterlenen bu numunelerin sertlik değerleri kesici uçlardan beklenen değerler mertebesindedir.

## 4.3 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.

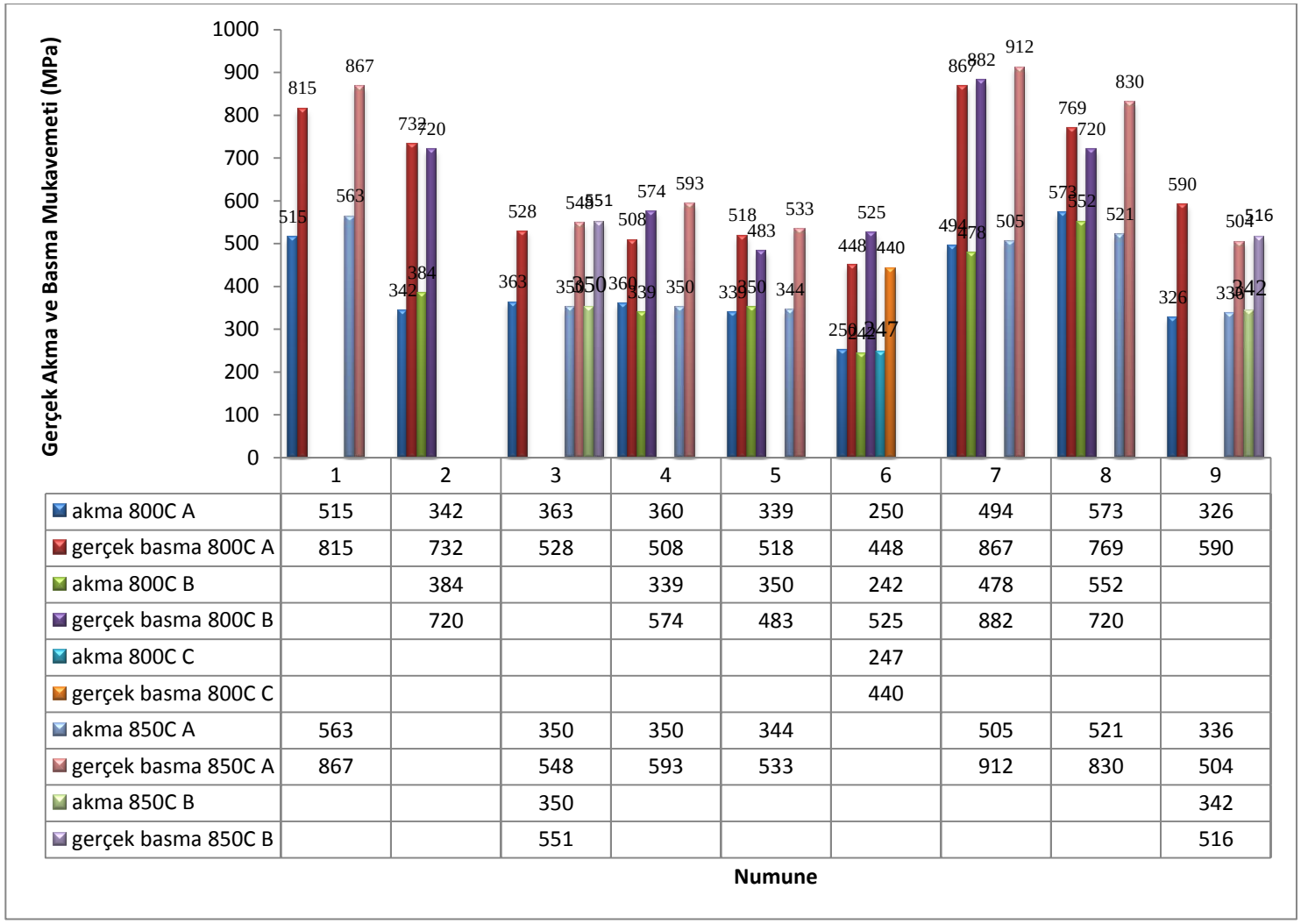
### 4.3.1 Basma deneyi sonuçları

Kesici uçlar servis koşullarında basma kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Bu kuvvetlerin etkisinin değerlendirilmesi amacıyla basma testi yapılmıştır. Çizelge 4.2'de basma testinde kullanılan numunelerin test öncesi ve sonrası boyutları ile gerçek akma, basma mukavemet değerleri ile % ezme değerleri verilmekte, Şekil 4.4'te ise mukavemet değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Numunelerdeki elmasların yarısı TiC kaplı yarısı kaplamasızdır. Her bir numuneden üçer adet deney

yapılmıştır. Özellikle yüksek bakır içeren numunelerde basma testinde kırılma görülmemiş, yüksek ezme değerleri sonucu yüksek kesit değişimleri olması nedeni ile Çizelge 4.2'de mühendislik değerleri yerine gerçek mukavemet değerleri olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.2 :** Numunelerin basma deneyi sonuçları.

| | $H_o$ (mm) | $H_S$ (mm) | $D_S$ (mm) | $D_o$ (mm) | $\sigma_{GERÇEKBASMA}$ (MPA) | $\sigma_{GERÇEKAKMA}$ (MPa) | % Ezme |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Numune1_{800}$ | 20,65 | 14,53 | 13,4 | 10,95 | 815 | 515 | 29,6 |
| $Numune1_{850}$ | 20,5 | 14,18 | 13,4 | 10,97 | 867 | 563 | 30,8 |
| $Numune2_{800}$ | 20,27 | 13,16 | 14,2 | 11,05 | 732 | 342 | 35,1 |
| $Numune2_{800}$ | 19,81 | 13,48 | 14 | 10,95 | 720 | 384 | 32,0 |
| $Numune3_{800}$ | 20,05 | 13,26 | 14,6 | 10,97 | 528 | 363 | 33,9 |
| $Numune3_{850}$ | 19,67 | 12,88 | 14,6 | 10,99 | 548 | 350 | 34,5 |
| $Numune3_{850}$ | 20,22 | 13,38 | 14,6 | 11,02 | 551 | 350 | 33,8 |
| $Numune4_{800}$ | 19,8 | 11,88 | 15,4 | 11,04 | 508 | 360 | 40,0 |
| $Numune4_{800}$ | 19,71 | 12,32 | 14,3 | 11,08 | 574 | 339 | 37,5 |
| $Numune4_{850}$ | 19,71 | 12,41 | 14,3 | 11,02 | 593 | 350 | 37,0 |
| $Numune5_{800}$ | 19,57 | 10,5 | 15,3 | 10,95 | 518 | 339 | 46,3 |
| $Numune5_{800}$ | 19,7 | 12,22 | 15,2 | 11 | 483 | 350 | 38,0 |
| $Numune5_{850}$ | 19,36 | 11,33 | 15,4 | 10,97 | 533 | 344 | 41,5 |
| $Numune6_{800}$ | 20,12 | 7,19 | 19,2 | 10,95 | 448 | 250 | 64,3 |
| $Numune6_{800}$ | 20,14 | 7,53 | 19,4 | 10,97 | 525 | 242 | 62,6 |
| $Numune6_{800}$ | 20,11 | 6,99 | 20,6 | 10,98 | 440 | 247 | 65,2 |
| $Numune7_{800}$ | 20 | 13,52 | 13,6 | 10,99 | 867 | 494 | 32,4 |
| $Numune7_{800}$ | 20,08 | 13,66 | 13,4 | 10,98 | 882 | 478 | 32,0 |
| $Numune7_{850}$ | 19,8 | 13,01 | 13,3 | 11,1 | 912 | 505 | 34,3 |
| $Numune8_{800}$ | 20,14 | 13,67 | 14,7 | 10,97 | 769 | 573 | 32,1 |
| $Numune8_{800}$ | 19,87 | 13,84 | 14,6 | 11,03 | 720 | 552 | 30,3 |
| $Numune8_{850}$ | 19,92 | 14,39 | 13,4 | 11,04 | 830 | 521 | 27,8 |
| $Numune9_{800}$ | 20,08 | 9,05 | 16,5 | 10,97 | 590 | 326 | 54,9 |
| $Numune9_{850}$ | 20,03 | 7,86 | 18,6 | 11 | 504 | 336 | 60,8 |
| $Numune9_{850}$ | 20,01 | 6,9 | 19,1 | 11,02 | 516 | 342 | 65,5 |

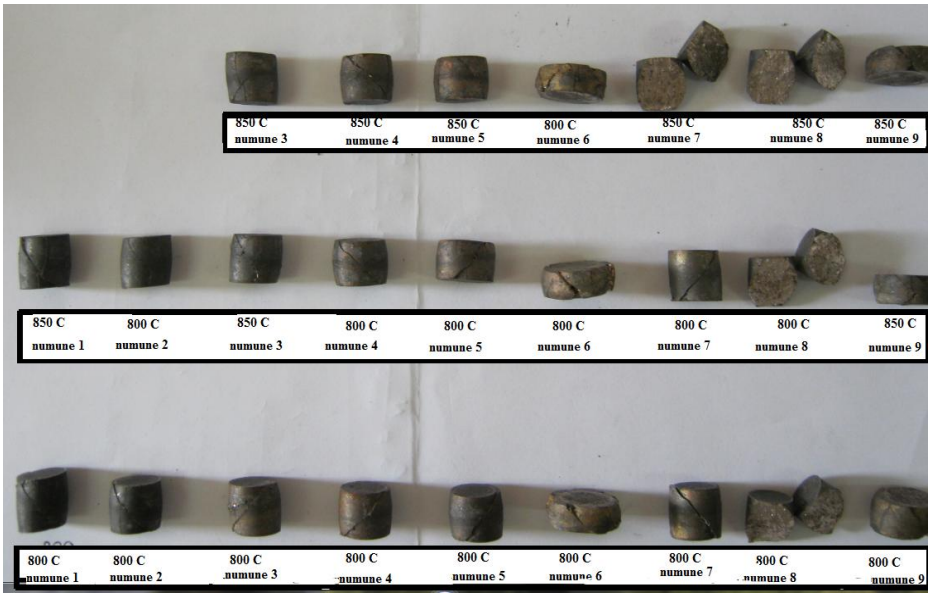



| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| akma 800C A | 515 | 342 | 363 | 360 | 339 | 250 | 494 | 573 | 326 |
| gerçek basma 800C A | 815 | 732 | 528 | 508 | 518 | 448 | 867 | 769 | 590 |
| akma 800C B | | 384 | | 339 | 350 | 242 | 478 | 552 | |
| gerçek basma 800C B | | 720 | | 574 | 483 | 525 | 882 | 720 | |
| akma 800C C | | | | | | 247 | | | |
| gerçek basma 800C C | | | | | | 440 | | | |
| akma 850C A | 563 | | 350 | 350 | 344 | | 505 | 521 | 336 |
| gerçek basma 850C A | 867 | | 548 | 593 | 533 | | 912 | 830 | 504 |
| akma 850C B | | | 350 | | | | | | 342 |
| gerçek basma 850C B | | | 551 | | | | | | 516 |

**Şekil 4.4 :** Basma numunelerin gerçek akma ve basma mukavemetleri.

Sonuçlar incelendiğinde göze ilk çarpan 9 numaralı numune hariç 850°C'de elde edilen basma mukavemeti değerlerinin daha yüksek olduğudur. 1, 7 ve 8 numaralı numuneler diğer numunelere göre hem yüksek basma mukavemetine, hem de daha da önemlisi yüksek akma mukavemetine sahiptir. Bu durum matrise nikel ilavesinden kaynaklanmaktadır. 2 numaralı numunenin basma mukavemeti değerlerindeki düşüklük bronz miktarının fazlalığındandır. Şekil 4.5'te numunelerin basma deneyi sonrasında makroskobik görüntüleri verilmiştir. Testler sırasında yarı sünek karakterde kırılma görülen numuneler sadece 7 ve 8 numaralı olanlardır. Nikel içeren 7 ile 8 numaralı numuneler kıyaslandığında, 7.de görülen daha iyi süneklik özelliği içerdiği yüksek bakır oranından kaynaklanmaktadır. 1, 7 ve 8 numaralı numuneler 500 MPa civarında akma dayanımları ile kesici uçlar için uygun mukavemet mertebelerindedir.

Öte yandan 6 ve 9 numaralı numuneler test koşullarında fıçılaşma göstermiştir. Bu durum kompozisyonlarındaki yüksek bronz alaşımından kaynaklanmaktadır. Bronz elementleri malzemeye süneklik getirmiştir. Demir oranı yüksek numunelerin basma mukavemet değerleri daha yüksektir.



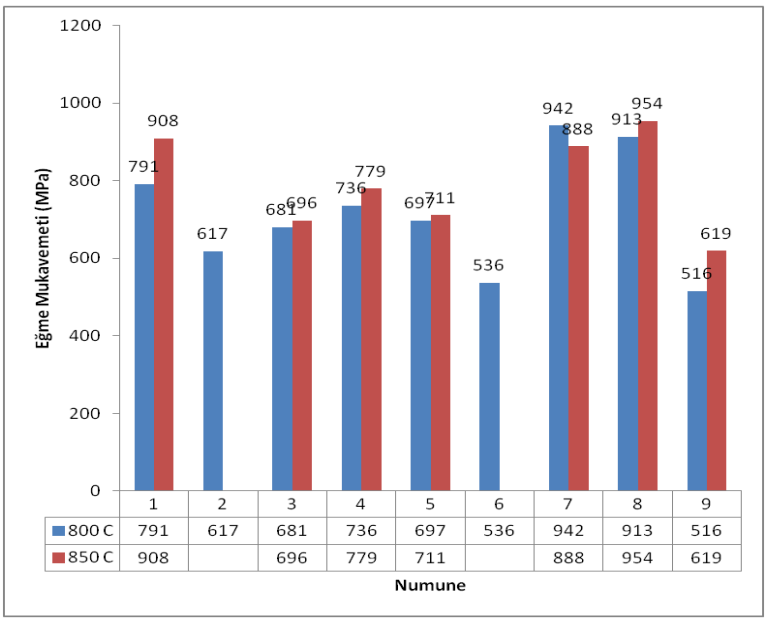

**Şekil 4.5** : Basma deneyi sonrası numunelerin makroskobik görüntüsü.

3-4-5 numaralı numune grubunun 6 ve 9 numaralı numunelere göre daha yüksek mukavemet göstermesinin nedeni bu numunelerde bronz yerine matrise bakır ve kobalt katılmış olmasıdır. İçlerinde en fazla kobalt içeren 3 numaralı numunede yarı sünek kırılma görülmüştür. Diğerlerinde ise çatlak oluşumu gözlenmiştir.

% ezme miktarı da malzemenin deformasyon davranışı hakkında bilgi veren bir parametredir. 6 ve 9 numaralı sırasıyla % 90 ve % 70 bronz içeren bileşimlere sahiptirler ve % 60 üzerinde yüksek ezme oranları göstermişlerdir.

### 4.3.2 Üç nokta 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. Elmas içeren numunelerin eğme mukavemetleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu teste tabi tutulan çoğu numunede kırılma olmuştur. Fakat 6 ve 9 numaralı numunelerde deney sırasında çatlaklar oluşmuş, fakat kırılma gözlenmemiştir. Test sırasında bu numunelerin gerilme-%uzama grafiğinde sünek davranışları tespit edilmiştir. Bütün bunlar matriste bulunan bronz bileşeninin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Soket performansını incelemek için elmas içeren numunelerin eğme mukavemetleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Numunelerin eğme mukavemeti değerleri sertlik değerleri ile paraleldir, sertliği yüksek malzemelerin eğme mukavemeti de yüksek değerlerdedir.



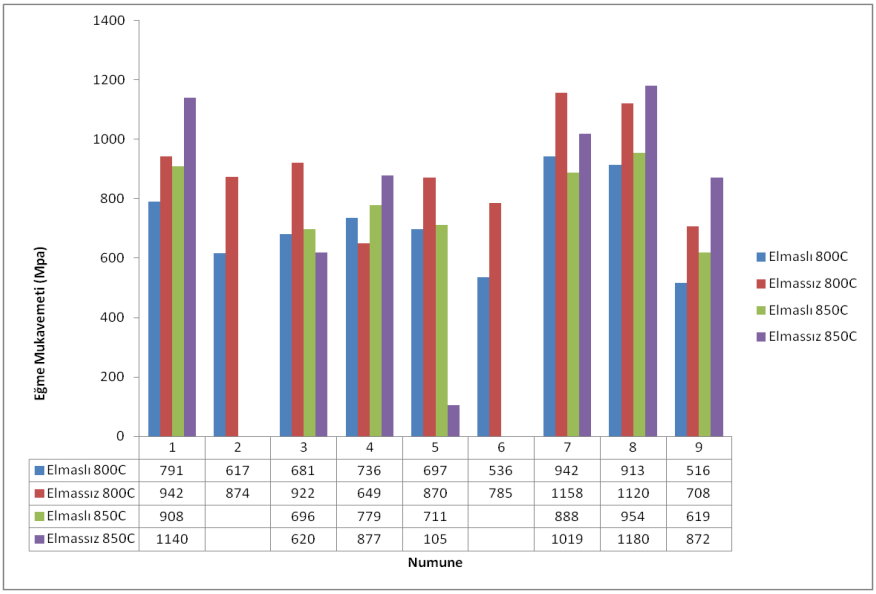

**Şekil 4.6** : Elmas içeren numunelerin eğme mukavemetleri.

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi yüksek sıcaklıkta sinterlenen numunelerin eğme mukavemeti değerleri daha yüksektir. Özellikle 1 ve 9 numaralı numunelerde eğme mukavemetlerinde sırasıyla %13 ve %16'lık artış olmuştur. Bu durum sinterleme işlemi sırasında difüzyonun 850°C'de daha kolay olmasından kaynaklanmaktadır.

Böylece hem matrisin kendi içindeki bağ kuvveti hem de elmas ile matrisin oluşturduğu bağ daha kuvvetli olmaktadır. Elmasların bazılarının kaplanmış olmasının da elmasların matrise tutunmasını kolaylaştırdığı bilinmektedir. 1, 7 ve 8 numaralı numuneler diğerlerine göre eğme mukavemetleri açısından daha üstündür. Bu numunelerin sertlik değeri de diğer numunelere göre daha fazladır. Sertlik değerleri ile eğme dayanımları paralellik göstermiştir. Fe/Ni oranı yüksek (3,6 ve 5) olan 7 ve 8 numaralı numuneler, bu oranın 2 olduğu 1 ve 2 numaralı numunelere göre daha yüksek eğme dayanımına sahiptirler. Demire belirli oranda (4:1 ve 5:1) nikel katkısı mukavemet değerlerini yükseltmiş ve daha az boşluklu bir yapı oluşturmuştur.

Fe-Cu-Co alaşımındaki 3,4 ve 5 numaralı numunelerde artan kobalt miktarı hem sertlik hem de eğme mukavemetleri artmıştır. Bu numuneler içinde en yüksek eğme mukavemeti %20 Co içeren 4 numaralı numunede elde edilmiştir.

Şekil 4.7' de elmas içeren ve içermeyen numunelerin mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi elmaslı numunelerin eğme mukavemeti değerleri daha düşüktür. Elmas, uygulanan yük altında malzeme içinde çatlak başlangıcına neden olmuştur. Malzemeler elmassız numunelerin eğme dayanımı sınırlarının altındaki değerlerde çatlamaya başlamıştır. 3 ve 5 numaralı numunelerde üretim koşullarından kaynaklanan yapısal hatalardan ötürü malzemeler beklenen değerlerin altında kırılmış ve test devam ettirilememiştir.

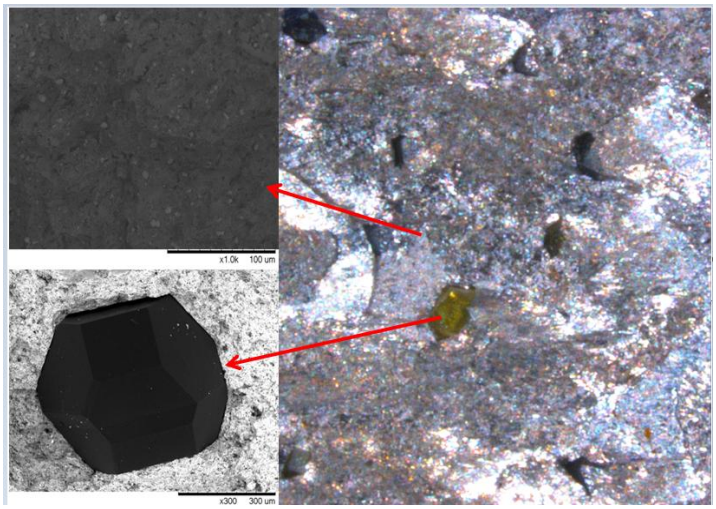



| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Elmaslı 800C | 791 | 617 | 681 | 736 | 697 | 536 | 942 | 913 | 516 |
| Elmassız 800C | 942 | 874 | 922 | 649 | 870 | 785 | 1158 | 1120 | 708 |
| Elmaslı 850C | 908 | | 696 | 779 | 711 | | 888 | 954 | 619 |
| Elmassız 850C | 1140 | | 620 | 877 | 105 | | 1019 | 1180 | 872 |

**Şekil 4.7 :** Elmaslı ve elmassız numunelerin eğme mukavemetlerinin karşılaştırılması.

## 4.4 Yapısal ve Mikroyapısal Analizler

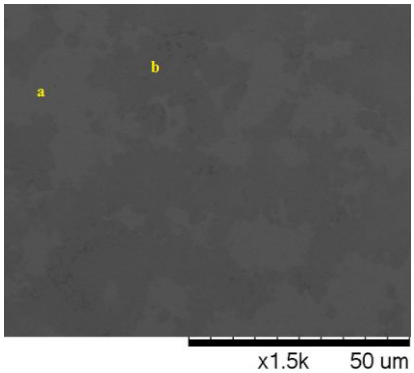
Şekil 4.8 bir elmas kesici ucun elmas ve demir esaslı matristen oluşan genel görünümünü stereo mikroskopta göstermektedir, elmaslar TiC kaplıdır. Ayrıca matrise ve elmasa ait SEM görüntüleri de şekildeki gibidir. Farklı alaşımlardaki numunelerin incelemeleri aşağıda yapılmıştır.



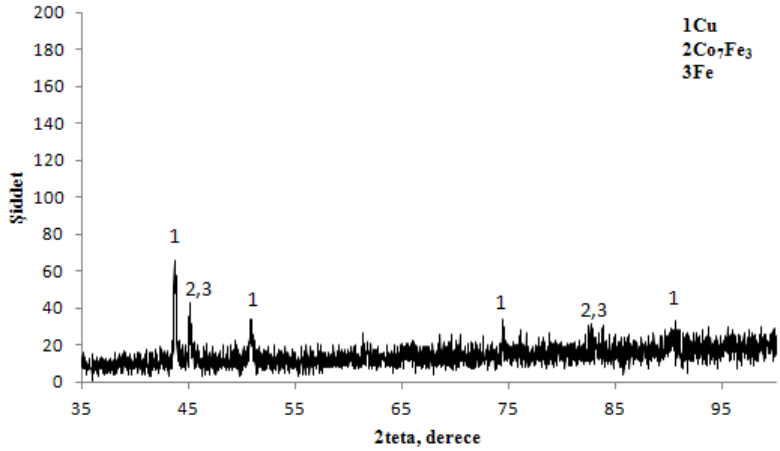
**Şekil 4.8 :** 7 numaralı elmas kesici uc numunenin genel görüntüsü.

### 4.4.1 Fe-Cu-Co alaşımları

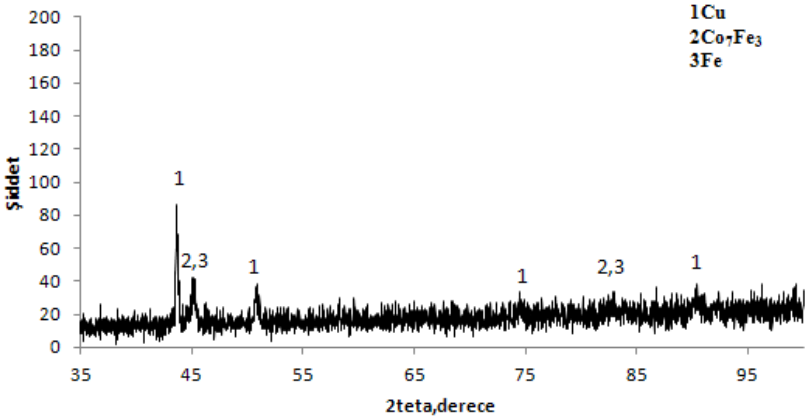
5 numaralı Fe-Cu-Co alaşımına ait SEM görüntüsü Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Koyu faz Fe bakımından, açık faz ise Cu bakımından zengindir. Demir bakımından zengin faz bakırca zengin fazın içinde adacık görüntüsünde homojen olarak dağılmıştır. 3, 4, 5 numaralı numunelerin SEM görüntülerinde farklılık gözlenmemiş ve sonuçlar karşılaştırıldığında numunelerin yapıları paralellik göstermiştir. Üç numunenin de XRD spektrumları incelendiğinde (Şekil 4.10-4.11-4.12) $Co_7Fe_3$ katı çözeltisi içerdiği görülmektedir.



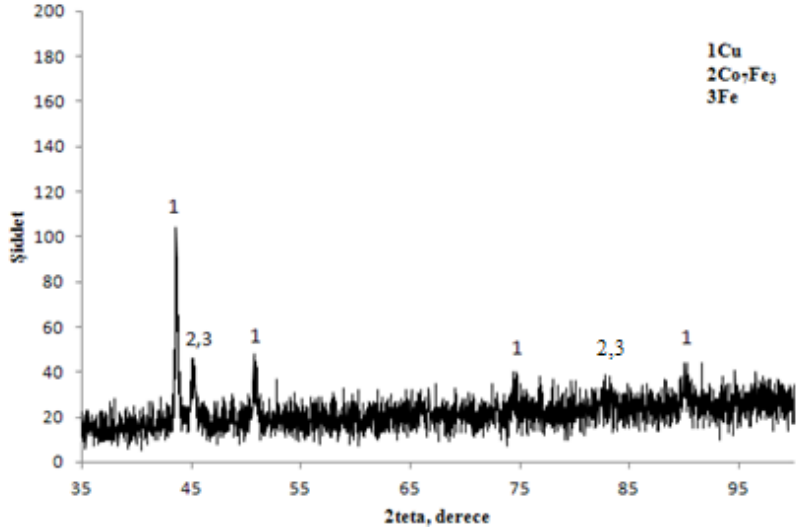

**Şekil 4.9 :** 5 numaralı numuneye ait SEM görüntüsü.




**Şekil 4.10 :** 5 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.




**Şekil 4.11** : 4 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.




**Şekil 4.12** : 3 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.

Pik şiddetleri arasındaki fark çok olmasa da, 3 numaralı numunede Fe-Co katı çözeltisine ait piklerin şiddeti diğer numunelere oranla daha fazladır. Aynı Şekilde Cu pikinin şiddeti de en yüksek bu numunededir. Bakır oranı sabit olduğundan malzemeye kobalt ilavesi ile beraber Fe-Co katı çözelti oluşumu artmıştır.

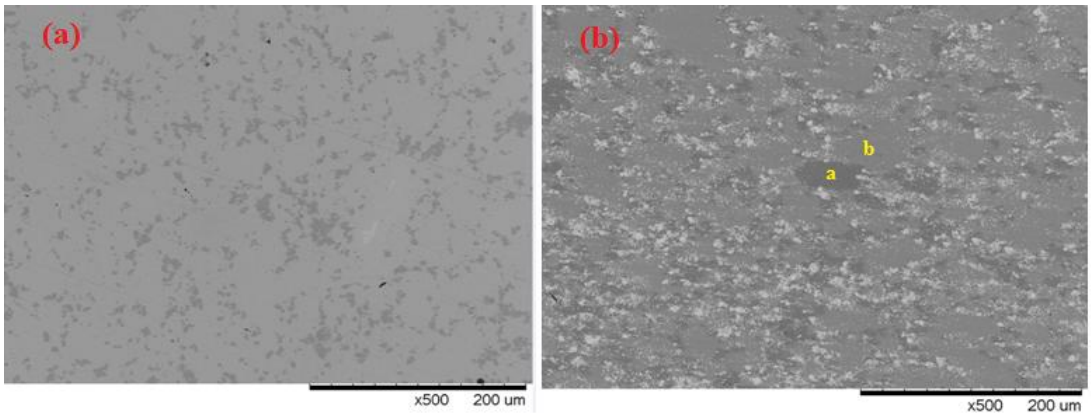
Numunelerde yapılan bölgesel EDS çalışmaları ile elde edilen yarı kantitatif faz analizleri ile beraber yorumlar desteklenmiştir. Şekil 4.9'da matris (a noktası) bakırca zengin (%65Cu) olmak ile beraber diğer elementler de (%22Fe, %12Co) mevcuttur. b noktası ise Fe (%66) bakımından zengindir, ayrıca %33 Co ve %1 Cu bulunmaktadır. Fe bakımından zengin bölgenin içinde az da olsa siyah bölgeler göze çarpmıştır ve bunların serbest demir olduğu düşünülmektedir. Veriler XRD spektrumlarında da görülen Fe-Co katı çözeltisini açıklamaktadır. Bakıra ait pikler ise Cu-Co ve Fe-Cu katı çözeltilerine ait olabilir. 5 numaralı numunede bakıra ait pik şiddetlerinin düşmesinin nedeni muhtemelen Fe-Cu katı çözelti oluşumundandır.

Oluşan katı çözeltiler malzemenin sertliğini arttırıcı etkiye sahiptir. 3, 4 ve 5 numaralı numuneler kıyaslandığında 3 numaralı numunenin sertliğinin en fazla olması, özellikle Fe-Co katı çözelti oluşumunun bu numunede daha fazla olması ile açıklanabilir. Toz metalurjisi ile üretilen Fe-Co-Cu alaşımlarında sertleştirme mekanizması olarak katı çözelti oluşumu ve porların azaltılması kullanılır. Ideal olarak malzemede boşluk olmaması istenirken, toz metalurjisi yöntemiyle üretilen numunelerde boşluklar olabilmektedir. Bakır oranının sabit olması sertlikte katı çözelti oluşumunun etkisini arttırmaktadır. Sertlik değerleri literatür bilgileri ile kıyaslandığında aynı aralıktadır. Yalnızca 800ºC'de sinterlenmiş numunelerde beklenen sertlik değerlerinin altında kalınmıştır.

Fe-Co-Cu elementlerinin ikili denge diagramlarına bakıldığında benzerlikler görülmektedir ve bütün ikili dengelerde katı çözelti oluşumu mümkündür. Özellikle Fe-Co faz diagramı tam çözünürlük göstermektedir. Fe ile Co arasında yüksek bir afinite olduğu zaten XRD spektrumlarında da ortaya çıkmıştır.

### 4.4.2 Fe-Cu-Sn alaşımları

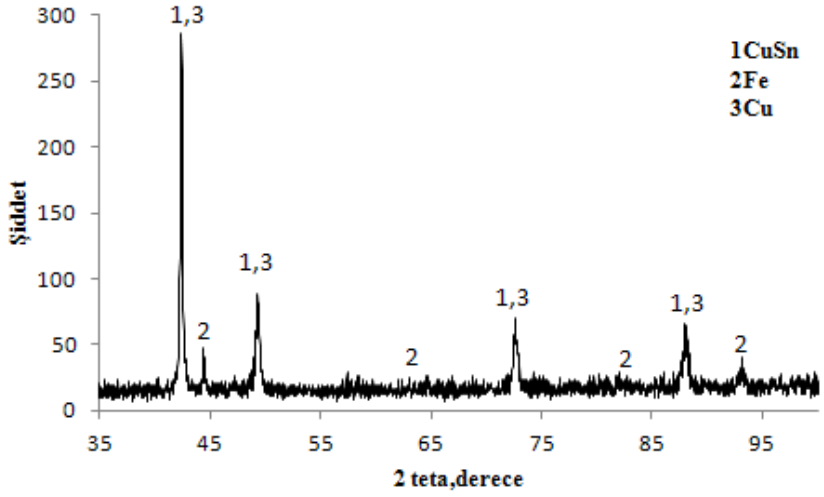
Fe-Cu-Sn alaşımından oluşan 800ºC'de üretilmiş 6 numaralı numune ve 850ºC'de üretilmiş 9 numaralı numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 4.13'te gösterildiği gibidir.




**Şekil 4.13 :** (a) 6 ve (b) 9 numaralı numunelere ait SEM görüntüsü.

Şekilde koyu faz Fe, açık faz Cu bakımından zengindir. Bakır matris içinde demir adacıkları oluşmuştur. 6 numaralı numunede açık bölgenin daha fazla olması ve numunenin hacimce %81 Cu-%10Fe içermesi diğer yandan koyu fazın 9 numaralı numunede daha fazla olması ve numunenin hacimce %61Cu-%30Fe içermesi bu yorumu desteklemektedir. Görüntüler arasındaki fark Fe içeriği fazla olan numunedeki beyaz renkli kümelenmelerdir.

Şekil 4.14'te bulunan XRD spektrumu 6 numaralı numuneye aittir ve bu sonuç 9 numaralı numune ile benzerdir. CuSn intermetalik fazı belirgin olarak 2 numunede de çıkmıştır. XRD spektrumları kimyasal kompozisyonlar ile tutarlıdır. 6 numaralı numunede Fe piklerinin şiddetinin okunamayacak kadar azalması demir içeriğindeki düşüşten dolayı beklenen bir sonuçtur. CuSn fazına ait piklerin şiddeti bu numunede belirgin bir şekilde daha fazladır. Bu durum bakır içerikleri arasındaki farktan kaynaklanmaktadır.



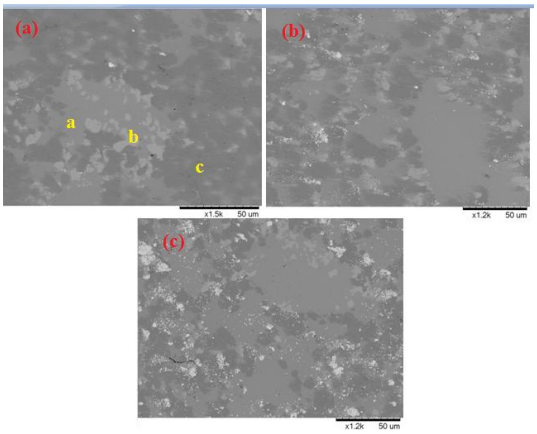

**Şekil 4.14 :** 6 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.

Şekil 4.13'te SEM görüntüsü gösterilen 9 numaralı numunede yapılan bölgesel EDS çalışmalarında a noktası koyu bölge demirce zengin (%99,4Fe, %0,6Cu) ve açık renkli b noktası bakırca zengin (%60,8Cu, %33,5Sn, %5,7Fe) bölgeler analiz edilmiştir. Cu-Sn ve Cu-Fe faz diyagramları incelendiğinde açık renkli bölgelerin CuSn fazından oluştuğu, koyu renkli bölgelerin ise elementel Fe'e ait olduğu görülmektedir. Bu gözlemler XRD spektrumunda görülen CuSn fazını açıklamaktadır. Ayrıca Şekil 4.13'de mikroyapısı görülen 850ºC üretilmiş 9 numaralı numunedeki beyaz kümelenmelerin de FeSn fazı olabileceği düşünülmektedir. Nokta analizi yapan EDS ile bu bölgeler incelenirse bu fazın mevcudiyeti daha net ortaya çıkacaktır.

### 4.4.3 Fe-Ni-Cu-Sn alaşımı

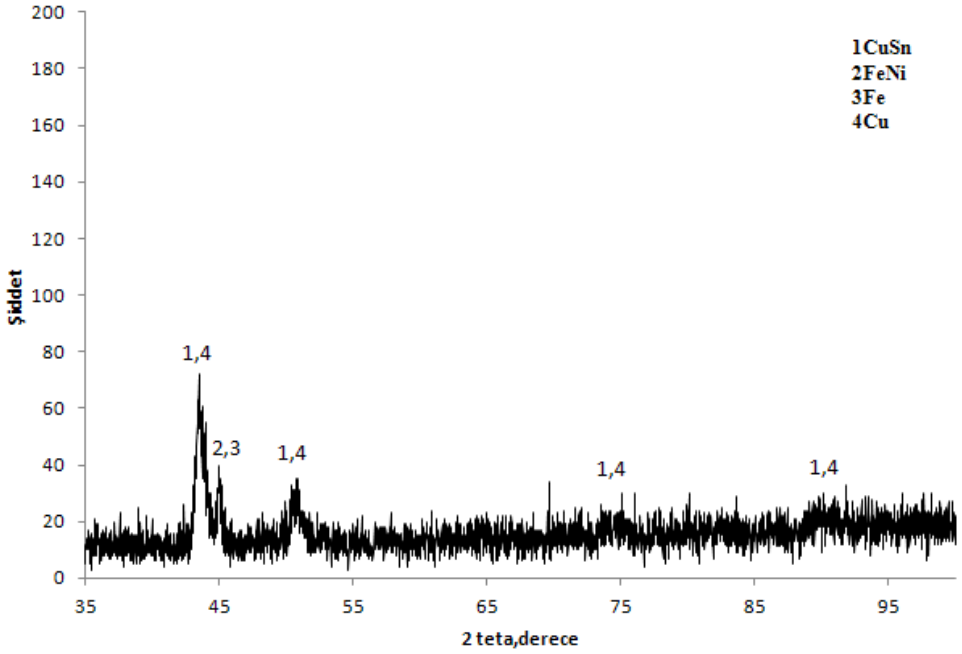
850ºC'de üretilmiş 1, 2 ve 7 numaralı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Şekil 4.15'deki koyu faz Fe bakımından zengin iken açık faz Cu bakımından zengindir. Değişen Fe ve Cu oranlarına göre görüntülerdeki faz miktarlarının değişimi bunu desteklemektedir. Ayrıca iki farklı faz daha bulunmaktadır. Malzemede oluşan fazlar Şekil 4.15'te gösterilen (a), (b), (c) noktaları ve beyaz kümelenmelerdir.

Yapılan bölgesel EDS çalışmalarında (c noktası) Fe bakımından zengin bölge %87,5Fe, %10,5Ni, %1,5Cu ve %0,5 Sn içermektedir. Cu bakımından zengin (a noktası) %62,3Cu, %14,6Sn, %9,2Ni ve %13,9Fe içermektedir, b noktasından alınan sonuçlar ise %38,2Ni, %37,7Sn, %6Cu ve %18,1Fe şeklindedir. Ayrıca 1, 2, 7 ve 8 numaralı numunelere ait XRD spektrumları Şekil 4.16-4.19'da verilmiştir.

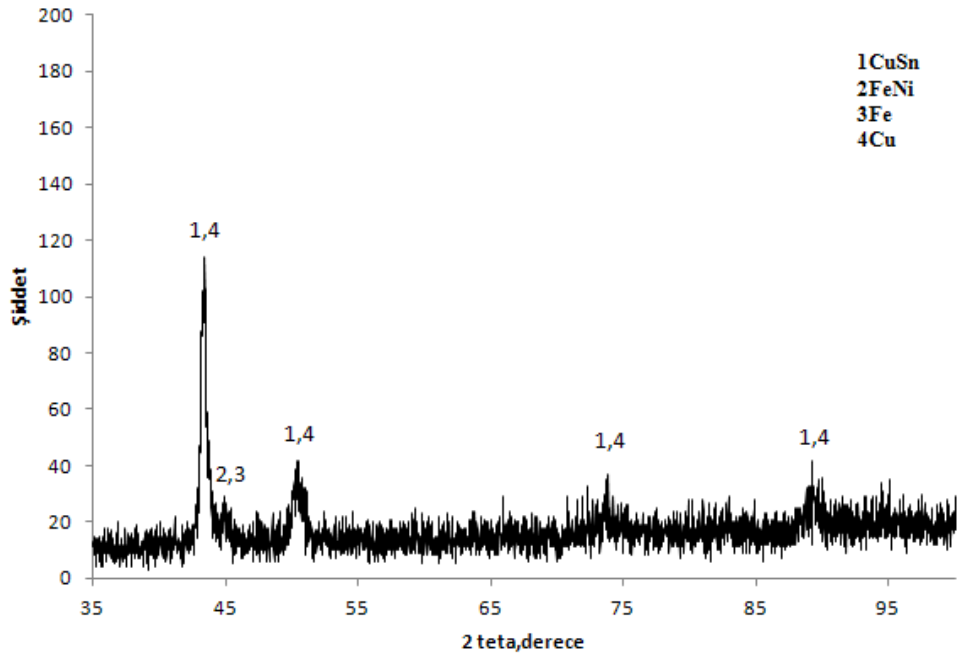



**Şekil 4.15 :** (a) 1 (b) 2 ve (c) 7 numaralı numunelerin SEM görüntüleri.

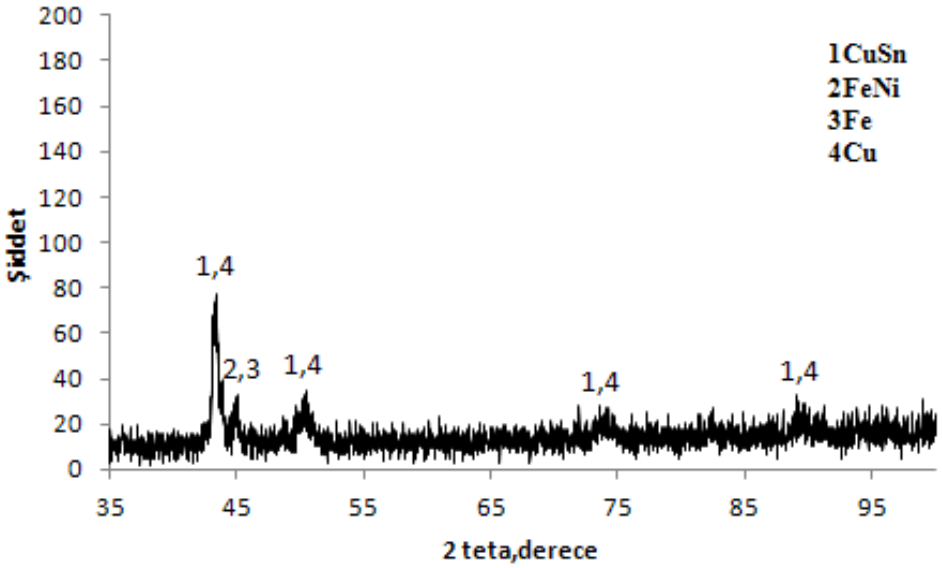
XRD spektrumları ve EDS sonuçları birbirini desteklemektedir. Mikroyapının (Fe,Ni) ve bronz fazlarından oluştuğu sonuçlar birleştirildiğinde ortaya çıkmıştır. Ayrıca XRD spektrumlarında çıkmayan gevrek NiSn intermetalik fazının da (b noktası) oluştuğu tahmin edilmektedir. Bunu desteklemesi için noktasal EDS sonuçları ile inceleme yapmak daha kesin bilgi verecektir.



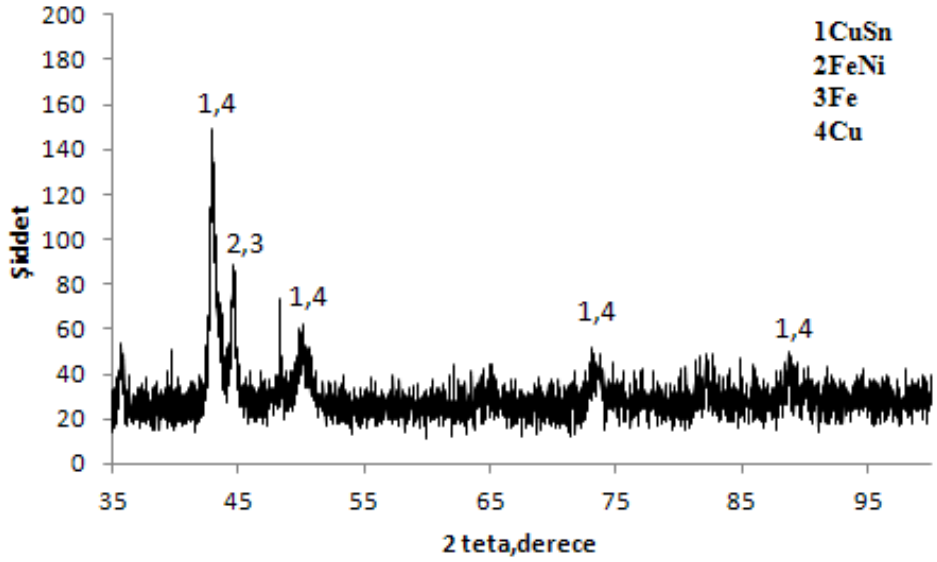

**Şekil 4.16 :** 1 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.



**Şekil 4.17 :** 2 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.




**Şekil 4.18 :** 7 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.

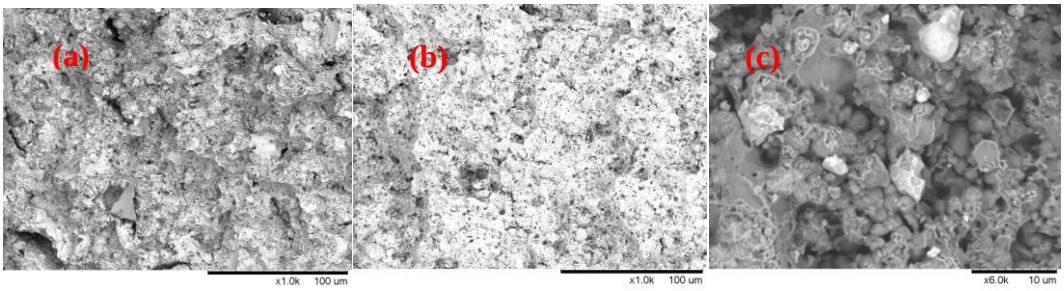



**Şekil 4.19 :** 8 numaralı numuneye ait XRD spektrumu.

Ayrıca Fe-Ni-Cu-Sn alaşımındaki numunelerin yüksek sertlik değerlerini intermetalik oluşumu ile açıklamak mümkündür. 2 numaralı numunedeki yüksek bronz ve düşük demir oranı sertliği aşağıya çekmiştir. Tam kıyaslama yapmak mümkün olmasa da 800 ºC'de 2 ile 9 numaralı numunelerin bronz miktarları aynı iken 2 numaralı numuneye nikel katkısı sertliği belirgin şekilde arttırmıştır.

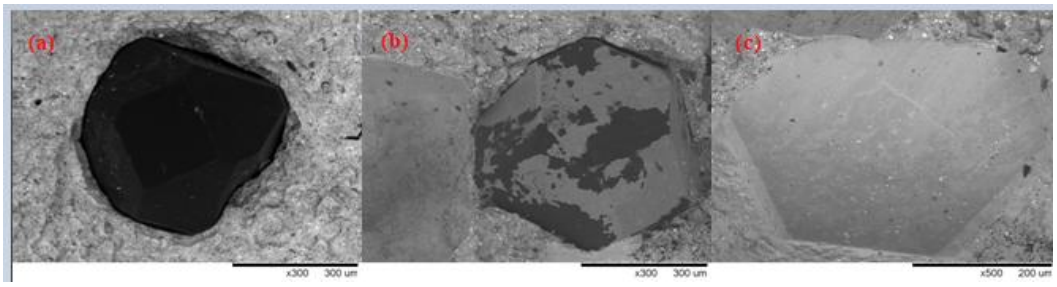
### 4.4.4 Kırık yüzey analizi

Şekil 4.20'de görüldüğü gibi yüksek sıcaklıkta (850 ºC) sinterlenen numunelerde matris malzemesinin kırılma yüzeyi süneklik göstermektedir ve süngerimsi bir yapıya sahiptir. Bu durum matris içindeki bağın daha kuvvetli olduğunu göstermektedir.




**Şekil 4.20 :** (a)5 (b) 8 (c) 9 numaralı numunelere ait kırılma yüzeyleri.

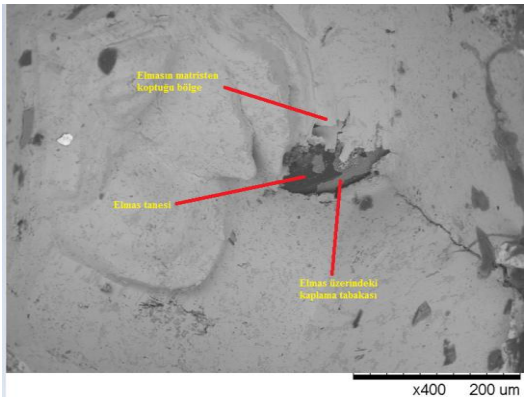
Kimyasal kompozisyonu ne olursa olsun tüm numunelerde kaplamasız elmaslar ile matris arasındaki bağ zayıf iken kaplamalı elmaslar ile matris arasında bağ daha sıkıdır. Şekil 4.21'de 8 numaralı numunede matris içindeki elmasların matris ile oluşturduğu ara yüzeyler görülmektedir. Ayrıca mekanik deneyler sırasında bazı elmas taneleri kırılmıştır. Bu da matrisin kaplamalı elması tutma kabiliyetinin iyi olmasından kaynaklanmaktadır.




**Şekil 4.21** : 8 numaralı numunede bulunan (a) kaplamasız (b) TiC kaplamalı elmas ve (c) elmasın koptuğu bölge.

Yapılan EDS çalışmalarında kaplamasız elmas yüzeylerinde (Şekil 4.21a) elementlere rastlanmamıştır. Bu durum elmas-matris kimyasal bağının oluşmadığının bir kanıtıdır. Kaplamalı elmas yüzeylerinden (Şekil 4.21b) alınan sonuçlarda ise Ti, Fe ve Cu elementlerine rastlanmıştır, yani kırılmanın matris tarafında olduğu anlaşılmaktadır. Elmasın koptuğu bölgelerden alınan EDS sonuçlarında ise Fe ve Cu elementlerine rastlanmış, Ti bulunamamıştır. Bu durum kırılmanın yine matris tarafında olduğunu göstermektedir. Nikel elementine rastlanmaması Ti-Ni fazı ve ya

katı çözeltisinin üretim koşullarında oluşmadığını göstermektedir. Aynı numuneye ait farklı sıcaklıkta üretilmiş malzemeler incelendiğinde yüksek sıcaklıkta, elmas yüzeyinde daha az Ti tespit edilmiştir. Bu durum kırılmanın daha çok elmas-kaplama ara yüzeyinde olduğunu göstermektedir. Yüksek sıcaklıkta üretilmiş numunelerde elmas-kaplama bağı zayıflamıştır. Şekil 4.22'de matristen kırılan bir yüzeyde elmas tanesi üzerindeki kaplama ve kaplamanın kalkması sonucu ortaya çıkan elmas tanesi görülmektedir. Elmas tanesi üzerinde demire rastlanmaması elmasın grafitleşmediğini göstermektedir.




**Şekil 4.22** : 6 numaralı numunede kırılma yüzeyi.

Elmasın grafitleşmesinde rol oynayan Fe kaplamasız elmas yüzeylerinde tespit edilmemiştir. Dolayısıyla elmas yüksek sıcaklıktan etkilenmemiştir. Zaten 8 numaralı numune hariç bütün numuneler hacimce %40'ın altında Fe içermektedir. Gerek Fe oranının çok yüksek olmaması gerekse bronz oranının fazla olması elmasın sıcaklıktan etkilenmesini önlemiştir. Kaplama içeren elmaslar da zaten herhangi bir bozulma meydana gelmemiş, TiC kaplama elmasın zarar görmesini engellemiştir.

# 5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada Fe-Cu-Co, Fe-Cu-Sn ve Fe-Ni-Cu-Sn alaşımlarının bağlayıcı matris olarak kullanıldığı, kaplamalı ve kaplamasız elmas içeren elmas kesici uçların karakterizasyonu yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Spark plazma sinterleme yöntemi ile 850ºC'de üretilmiş numuneler, 800ºC'de üretilenlere göre daha yüksek yoğunluk, sertlik, basma mukavemeti ve eğme mukavemeti değerleri göstermektedir.
2. Fe-Cu-Co alaşımının bağlayıcı matris olarak kullanıldığı numunelerde artan kobalt miktarı ile beraber Fe-Co katı çözelti oluşumu ve sertlik artmıştır. Fakat eğme ve basma mukavemetleri buna paralellik göstermemiştir.
3. Fe-Cu-Sn alaşımının bağlayıcı matris olarak kullanıldığı numunelerde mikroyapı bronz ve demirden oluşmuş, buna bağlı olarak daha sünek bir malzeme ortaya çıkmış ve mukavemet özellikleri daha düşük değerler almıştır
4. Fe-Ni-Cu-Sn alaşımındaki matrisin mikroyapısı FeNi ve bronzdan oluşmaktadır. Nikel ilavesi, demir esaslı matriste sertlik, basma ve eğme mukavemetini iyileştirmiştir.
5. TiC kaplamalı elmasların matrise tutunma özelliği daha iyidir, kaplama aynı zamanda Fe, Ni gibi elementlerin elmasın grafitleşmesinde katalizör görevi üstlenmesini engellemektedir.
6. 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.
7. Malzemelerin yoğunluk, sertlik ve mukavemet (basma/eğme) değerleri göz önüne alındığında en iyi performansa sahip numunenin 850ºC'de üretilen 7 numaralı numune olduğu ortaya çıkmıştır. 8 numaralı numunenin de 7

numaralı numuneye ait mukavemet ve sertlik değerlerine yakın değerler aldığı bulunmuştur.

## KAYNAKLAR


[1] **Konstanty, J.** (2005). Powder Metallurgy Diamond Tools (1st Edition). Elsevier.

[2] **Boland, J. N. ve Li, X. S.** (2010). Microstructural characterisation and wear behaviour of diamond composite materials. *Materials, 3*, 1390-1419 doi:10.3390/ma3021390.

[3] **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.

[4] **Büyüksağiş, 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.

[5] **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.

[6] **Sung, J. C. ve Sung, M.** (2009). The brazing of diamond. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, *27*, 382-393.

[7] **Konstanty, J.** (2002). Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. *Journal of Materials Processing Technology*, *123*, 146-154.

[8] **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.

[9] **Kaplan, M. ve Budak, S.** (2011). Bir mermer kesici takımında Co katkısının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi. *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Türkiye, 16-18 Mayıs.

[10] **Hsieh, Y. ve Lin, S**. (2001). Diamond tool bits with iron alloys as the binding matrices. *Materials Chemistry and Physics, 72*, 121-125.

[11] **Oliveira, L. J., Bobrovnitchii, G. S. ve Filgueira, M.** (2007). Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, *25*, 328-335.

[12] **Torres, A. O. ve Ojeda, R. G.** (t.y.). Characterization of diamond particles in stone-cutting tools application. Universidad Panamericana, Mexico.

[13] **Ersoy, A. ve Atıcı, U**. (2004). Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks. *Diamond and Related Materials, 13*, 22-37.

[14] **Karagöz, Ş. ve Zeren, M**. (2001). Mermer kesiminde kullanılan elmas kesici takımlarda aşınma karakteristiği. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001) Bildiriler Kitabi*, Afyon, Türkiye, 3-5 Mayıs.

[15] **Wang, C. Y. ve Clausen, R**. (2003). Computer simulation of stone frame sawing process using diamond blades. *International Journal of Machine Tools and Manufacture, 43*, 559-572.

[16] **Astakhov, V. P. ve Davim, J. P**. (2008) Machining fundamentals and recent advances. Springer.

[17] **Karagöz, Ş. ve Zeren, M**. (2001). The property optimization of diamond-cutting tools with the help of micro-structural characterization. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 19*, 23-26.

[18] **Li, B., Amaral, P. M., Reis, L., Anjinho, C. A., Rosa, L. G. ve Freitas, M**. (2010). 3D-modelling of the local plastic deformation and residual stresses of PM diamond-metal matrix composites. *Computational Materials Science, 47*, 1023-1030.

[19] **Spriano, S., Chen, Q., Settineri, L. ve Bugliosi, S.** (2005). Low content and free cobalt matrixes for diamond tools. *Wear, 259*, 1190-1196.

[20] **Karagöz, Ş. ve Zeren, M**. (2007). Sintering of polycrystalline diamond cutting tools. *Materials and Design, 28*, 1055-1058.

[21] **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.

[22] **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.

[23] **Barbosa, A. P., Bobrovnitchii, G. S., Skury, A. L. D., Renan, S. G. ve Filgueira, M.** (2010). Structure, microstructure and mechanical properties of PM Fe-Cu-Co alloys. *Materials and Design, 31*, 522-526.

[24] **Çelik, E., Kaplan, M. ve İnci, S**. (2011). Fe-Cu-Co-Sn matrisli elmaslı kesici takımlara Ti ilavesinin etkisi. *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Türkiye, 16-18 Mayıs.

[25] **Tillmann, W., Gathen, M., Vogli, E. Ve Kronholz, C.** (t.y.) New materials and methods beckon for diamond tools. University of Dortmund, Dortmund, Germany.

[26] Umicore Cobalt Bond Powders Technical Data Sheet, January 2005.

[27] Umicore Cobalite Pre-alloyed Bond Powders Technical Data Sheet, January 2005.

[28] **Thorat, R. R., Brahmankar, P. K. Ve Mohan, T. R. R.** (2004). Consolidation behavior of Cu-Co-Fe pre-alloyed powders. *International Symposium of Research Students on Materials Science and Engineering*, Chennai, India, 20-22 December.

[29] **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.

[30] **Nitkiewicz, Z. ve Swierzy, M.** (2006) Tin influence on diamond-metal matrix hot pressed tools for stone cutting. *Journals of Materials Processing Technology*, *175*, 306-315.

[31] **Tillmann, W., Kronholz, C., Ferreira, M., Knote, A., Theisen, W., Schütte, P. ve Schmidt, J.** (2010). Comprasion of different metal matrix systems for diamond tools fabricated by new current induced short-time sintering processes. *PM 2010 World Congress-Diamond Tools*.

[32] **Lin, C. S., Yang, Y. L. ve Lin, S. T.** (2008). Performances of metal-bond diamond tools in grinding alumina. *Journals of Materials Processing Technology*, *201*, 612-617.

[33] **Harris, T. K., Brookes, E. J. ve Daniel, R.** (2001) Comprasion of the creep properties of single crystal and polycrystalline diamond cutting tool materials. *Diamond and Related Materials*, *10*, 755-759.

[34] **Irifune, T., Kurio, A., Sakamoto, S., Inoue, T., Sumiya, H. ve Funakoshi, K**. (2004). Formation of pure polycrystalline diamond by direct conversion of graphite at high pressure and high temperature. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, *143-144*, 593-600.

[35] **Reis, L., Amaral, P. M., Li, B., Freitas, M. ve Rosa, L. G**. (2008). Evaluation of the residual stresses due to the sintering process of diamond-metal matrix hot-pressed tools. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, *49*, 226-231.

[36] **Sung, C. M**. (1999). Brazed diamond grid: a revolutionary design for diamond saws. *Diamond and Related Materials, 8*, 1540-1543.

[37] **Xu, X. ve Yu, Y.** (2005). Sawing performance of diamond with alloy coatings. *Surface and Coatings Technology, 198*, 459-463.

[38] **Xu, X., Tie, X. ve Wu, H**. (2007). The effects of a Ti coating on the performance of metal-bonded diamond composites containing rare earth. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, *25*, 244-249.

[39] **Metals Handbook Volume 7**. Powder Metal Technologies and Applications. ASM International, USA.

[40] **Webb, S. W**. (1999). Diamond retention in sintered cobalt bonds for stone cutting and drilling. . *Diamond and Related Materials, 8*, 2043-2052.

[41] **Upadhyaya, G. S**. (2002). Powder Metallurgy Technology. Cambridge International Science Publishing.

[42] **Çelik, E., İnci, S., Kaplan, M. ve Çelik, H.** (2011). Bir mermer kesici takım üretimi ve özellikleri. *6th International Advanced Technologies Symposium,* Elazığ, Türkiye, 16-18 Mayıs.

[43] **Tokita, M.** (t.y.). Mechanism of spark plasma sintering. Sumitomo Coal Mining Company Ltd. Kanagawa. Japan.

[44] **Weidenmann, K. A., Tavanger, R. Ve Weber, L**. (2009). Mechanical behaviour of diamond reinforced metals. *Materials Science and Engineering A 523*, 226-234.

[45] **Metals Handbook Volume 3**. Alloy Phase Diagrams. ASM International, USA.

[46] **Karagöz, Ş. ve Zeren, M**. (2006). Defect characterization in the diamond cutting tools. *Materials Characterization, 57*, 111-114.

[47] **Karagöz, Ş. ve Zeren, M**. (2001). The microstructural design of diamond cutting tools. . *Materials Characterization, 47*, 89-91.

[48] **Maity, S. R., Chatterjee, P. ve Chakraborty, S**. (2012). Cutting tool material selection using grey complex proportional assessment method. *Materials and Design, 36*, 372-378.

[49] **Xu, X. P., Tie, X. R. ve Yu, Y. Q**. (2007). The effects of rare earth on the fracture properties of different metal-diamond composites. *Journal of Materials Processing Technology, 187-188*, 421-424.

[50] **Dai, Q. L., Luo, C. B., Xu, X. P. ve Wang, Y. C.** (2002). Effects of rare earth and sintering temperature on the transverse rupture strength of Fe-based diamond composites. *Journal of Materials Processing Technology, 129*, 427-430.

**ÖZGEÇMİŞ**




**Ad Soyad:** **Engin Hünder**

**Doğum Yeri ve Tarihi:** **İzmir, 27.11.1985**

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

**E-Posta:** **hunder@itu.edu.tr**


**Lisans:** **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İTÜ**

**Mesleki Deneyim ve Ödüller: Mercedes-Benz Türk A.Ş (İstanbul) PEP (Stajyer Geliştirme Programı) Mekanik Bakım ve Onarım (Temmuz 2010-Şubat 2012)**