T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOKET ÜRETİMİNDE METAL KAPLI ELMASLARIN KULLANIMI KARAKTERİZASYONU VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halit SÜBÜTAY
(201492061053)

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

SİVAS
AĞUSTOS 2017

HALİT SÜBÜTAY' ın hazırladığı ve "**Soket Üretiminde Metal Kaplı Elmasların Kullanımı Karakterizasyonu ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR**
Cumhuriyet Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet KUL
Cumhuriyet Üniversitesi

Yrd. Doç.Dr. Cemal ÇARBOĞA
Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İdris ZORLUTUNA
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu (Yönergesi)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M623Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Halit SÜBÜTAY, 2017

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

18.08.2017

Halit SÜBÜTAY

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmasında kullanılan numunelerin üretimine destek olan Turanoğlu inşaat firması çalışanları ve Ahmet ARSLAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Numunelerin SEM, EDS analizlerinde yardımlarını ve bilgisini esirgemeyen sayın Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZER' e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının her aşamasında yardımını ve desteğini esirgemeyen, göstermiş olduğu yakın ilgi nedeni ile Araş. Gör. Kerim Emre ÖKSÜZ ve Araş. Gör. Kürşat Oğuz OSKAY' a çok teşekkür ederim.

Soketlerin mekanik deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Ahmet YÜCEL'e teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışması boyunca hoşgörü, destek ve tahammüllerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

SOKET ÜRETİMİNDE METAL KAPLI ELMASLARIN KULLANIMI KARAKTERİZASYONU VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Halit SÜBÜTAY

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

2017, 109 + xvii sayfa

Doğal taşların işlenmesinde mermer fabrikalarında dairesel testereler ve lamalar kullanılmaktadır. Soket adı verilen elmas katkılı Metal Matriksli Kompozit (MMK) malzemelerin testereye veya lamaya kaynaklandıktan sonra kesme işlemi yapılmaktadır.

Testerenin kesme işlemi birçok parametreye bağlıdır. Kesme koşullarına (testerenin çevresel hızı, kesme derinliği, besleme hızı, soğutma suyu debisi), doğal taşın özelliklerine (doğal taşın mineral bileşimi, dokusu, tane boyutu, yoğunluğu, sertlik değeri, basma mukavemeti) ve kesme işlemini yapan soketin özelliklerine (elmas tane büyüklüğü, konsatrasyonu, elmas kalitesine, metal matriksin kimyasal bileşimine).

Soket içinde yani metal matriks içine gömülmüş kaplamasız elmaslar homojen dağılmamakta yani elmaslar birbirlerine değebilmekte veya kümelenmekte bunun sonucu soketin kesme performansı düşmektedir. Bu çalışmanın amacı, soket üretiminde Hardzone Encapsulated elmas kullanımı ile bu problemi ortadan kaldırmak ve elmasın metal ile kaplanması ile elmas-metal ara yüzey mukavemetini artırmaktır. Bu çalışmada beş farklı bileşimde elmas soket üretilmiş ve her biri üç farklı sıcaklıkta (800-900-1000°C) 15 dakika sinterlendi. Soketler için sertlik, yoğunluk ölçümü, aşınma testleri gerçekleştirildi. Mikro yapı

incelemeleri için optik mikroskop, taramalı elektron mikroskop, noktasal analiz ve haritalama çalışmaları yapıldı.

Yapılan çalışma sonucunda en yüksek sertlik ve yoğunluğa WC ve SiC takviyeli soketlerin sahip olduğu ve sinterleme sıcaklığının 900°C'yi geçmesiyle soketlerin sertliklerinin ve yoğunluklarının düştüğü anlaşıldı. WC ve SiC takviyeli soketlerin aşınma dayanımının diğer numunelere nazaran daha yüksek olduğu belirlendi.

Anahtar kelimeler: Toz Metalurjisi, Elmas Soket, Kaplı Elmas, Aşınma,

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CHARACTERIZATION AND MECHANICAL PROPERTIES, USE OF METAL COATED DIAMOND IN SOCKET PRODUCTION

Halit SÜBÜTAY

Master of Science Thesis , Department, Metallurgy and Material Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

2017, 109+xvii pages

Circular saw baldes and gang saw blades are used in sawing of natural stones in the marble plants. Segments consisting of reinforced-diamond grits in metal matrix are placed on the periphery of a steel core or gang saw blades by brazing or laser welding methods. Then, sawing proceses is conducted.

Sawing performance of blades depends on many factors. These factors are related with sawing conditions (peripherial velocity of blades, sawing depth, feed rate, flow rate of cooling water etc.), properties of natural stone (minerological composition, texture, grain size, porosity, density, hardness and compressive strength etc.) and segment properties (diamond size, concenration of diamond, quality of diamond and matrix composition).

Performance of socket is decreased due to non-uniform distribution of diamond grits, contact of diamond grits to each other's and segregation of uncoated diamond grits in metal matrix. The aim of this experimental study is to solve this problem by using Hardzone Encapsulated diamond grits and to increase the bonding strength between diamond-metal interfaces by using metal coated diamond grits.

In this study were produced in different compositions five types of diamond socket. Each one of the socket was sintered at three different temperatures (800-900-1000˚C) fifteen minutes. For socket was carried out measure hardness, density and wear tests. The phases formed in the microstructures were analyzed using the optical microscope, scanning electron microscope (SEM), energy dispersive X-ray spectrum (EDS) techniques and mapping.

As a result of the work to the most high hardness and density of WC and SiC added samples have been observed. The exceed 900˚C of sintering temperature, the hardness of the socket was understood to decrease. It is observed that wear resistance of WC and SiC added diamond socket was greater than other samples.

Key words: Powder Mettalurgy, Diamond Socket, Coated Diamond,Wear

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET viii
ABSTRACT x
ŞEKİLLER DİZİNİ xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ xvii
SİMGELER DİZİNİ xviii
KISALTMALAR DİZİNİ xix

1.GİRİŞ 1
2.ELMAS KESİCİ TAKIMLAR 3
2.1 Tarihçe 3
2.2 Elmas Hakkında Genel Bilgiler 5
2.3 Elmas Soketler için Elmas Seçimi 8
2.3.1 Elmas şekli 8
2.3.2 Elmas tane boyutu 10
2.3.3 Elmas konsantrasyonu 12
2.3.4 Elmas kaplama 13
2.4 Elmas Kesici Takımların (Soket) Kullanım Alanları ve İstenilen Özellikler 15
3. ELMAS SOKET DİZAYNI, BİLEŞİMİ VE ÜRETİM YÖNTEMİ 18
3.1 Elmas Soket Dizaynı 18
3.2 Elmas Soketlerde Matriks Malzemelerinin Türleri ve Özellikleri 19
3.2.1 Dolgu malzemesi olarak kullanılan tozlar 19
3.2.2 Bağlayıcı olarak kullanılan tozlar 21
3.2.3 Mukavemet arttırıcı tozlar 22
3.2.4 Elmas tozları 23
3.3 Elmas soket üretimi 24
3.3.1 Matriks tozlarının hazırlanması 26
3.3.2 Matriks-elmas karışımının hazırlanması 27
3.3.3 Soğuk presleme 27
3.3.4 Sıcak presleme/ Sinterleme 27
3.3.5 Çapak giderme 35
3.3.6 Kalite kontrol 35
3.3.7 Sert lehimleme/Lazer kaynağı 35
4. LİTERATÜR TARAMASI 36
5. DENEYSEL YÖNTEM 44
5.1 Soket Malzemelerinin Belirlenmesi ve Temini 44
5.2 Elmas Soketlerin Üretimi 46
5.2.1 Tozların karıştırılması 46
5.2.2 Tozların soğuk preslenmesi 46
5.2.3 Sıcak presleme 47
5.2.3.1 Sinterleme 48
5.3 Yoğunluk Ölçümü 50
5.4 Mekanik Testler 51
5.4.1 Sertlik ölçümü 51

5.4.2 Aşınma testi 51
5.5 Karakterizasyon Çalışmaları 52
5.5.1 Yüzey hazırlama işlemleri 52
5.5.2 Optik mikroskop ile mikro yapı incelemeleri 53
5.5.3 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri 53
6. DENEYSEL SONUÇLAR 55
6.1 Yoğunluk ölçüm sonuçları 55
6.1.1 Kaplamalı elmasın soket yoğunluğuna etkisi 55
6.1.2 SiC ve WC' ün Ticari soket yoğunluğuna etkisi 56
6.2 Sertlik Sonuçları 57
6.2.1 Kaplamalı elmasın soket sertliğine etkisi 57
6.2.2 SiC ve WC' ün Ticari soket sertliğine etkisi 58
6.3 Aşınma Deneyi Sonuçları 59
6.3.1 Kaplamalı elmasın aşınma dayanımına etkisi 59
6.3.2 SiC ve WC' ün Ticari soketin aşınma dayanımına etkisi 61
6.4 Optik Mikroskop Görüntüleri 63
6.4.1 Soketlerde elmas ve kaplanmış elmas kullanımının mikro yapıya etkisi 64
6.4.2 SiC ve WC' ün Ticari soketin mikro yapısına etkisi 66
6.5 Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri 69
6.6 Aşınma Yüzeylerinin SEM Görüntüleri ve EDS Çalışmaları 71
6.6.1 Elmassız soketlerin aşınma yüzey görüntüleri 71
6.6.2 Ticari soketin aşınma yüzey görüntüleri 71
6.6.3 Kaplanmış elmaslı Ticari Soketin aşınma yüzey görüntüleri 77
6.6.4 SiC takviyeli kaplı elmas soketlerin aşınma yüzey görüntüleri 84
6.6.5 WC takviyeli kaplı elmas soketlerin aşınma yüzey görüntüleri 89
6.7 Kırık Yüzey İncelemesi 94
6.7.1 Elmassız soketlerin kırık yüzey görüntüleri 94
6.7.2 Ticari soketin kırık yüzey görüntüleri 95
6.7.3 Kaplanmış elmaslı Ticari Soketin kırık yüzey görüntüleri 96
6.7.4 SiC takviyeli kaplı elmas soketlerin kırık yüzey görüntüleri 97
6.7.5 WC takviyeli kaplı elmas soketlerin kırık yüzey görüntüleri 99
7. GENEL SONUÇLAR 101

KAYNAKLAR 103

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kesici takımların 2005 yılında tahmini kullanım oranları 4
Şekil 2.2 Doğal elmas aşındırıcılar 5
Şekil 2.3 Elmasın temel kafes yapısı 6
Şekil 2.4 Karbonun basınç-sıcaklık diyagramı 7
Şekil 2.5. Sinterleme sıcaklığının elmasın bozunumuna etkisi 7
Şekil 2.6 Sentetik elmas taneleri 9
Şekil 2.7 Sentetik elmas taneciklerinin şematik gösterimi 10
Şekil 2.8 Doğal taşın sertliği ile elmas tane boyutu arasındaki ilişki 11
Şekil 2.9 Elmas tane boyutu ile darbe dayanımı arasındaki ilişki. 11
Şekil 2.10 Kaplanmış elmas taneleri 14
Şekil 2.11 Kaplanmış elmas tanelerinin SEM fotoğrafları 14
Şekil 2.12 Kaplamanın elmasın batma boyuna olumlu etkisi 15
Şekil 2.13 Dairesel testere 16
Şekil 2.14 Elmas takviye edilmiş soket 16
Şekil 2.15 Elmas takımların sınıflandırılması 17
Şekil 3.1 Elmas soket türleri. 18
Şekil 3.2 Eğimli soket. 18
Şekil 3.3 Kullanıma hazır soketler 18
Şekil 3.4 Bakır-Kalay faz diyagramı 20
Şekil 3.5 Bakır-Kalay faz diyagramında meydana gelen fazlar. 20
Şekil 3.6 Ticari soketlerde kullanılan kobalta alternatif tozlar 21
Şekil 3.7 Fe-Co faz diyagramı 22
Şekil 3.8 Tungsten karbürün kristal yapıları 23
Şekil 3.9 Encapsulated teknolojisi ile kaplanmış elmasların görünümü 24
Şekil 3.10 Toz metalürjisi yöntemi ile parça üretim aşamaları 24
Şekil 3.11 Elmas soketlerin toz metalürjisi ile üretim aşamaları. 25
Şekil 3.12 Üç boyutlu dönebilen toz karıştırma mikseri. 26
Şekil 3.13 Soğuk pres kalıbı. 27
Şekil 3.14 Sıcak presleme makinasının şematik görünümü. 28
Şekil 3.15 Co 'ın elmas tanelerini ıslatması. 28
Şekil 3.16 Grafit kalıbın görünümü 29
Şekil 3.17 Sinterleme yöntemleri. 30
Şekil 3.18 Farklı sinterleme yöntemlerinin örnekleri. 30
Şekil 3.19 Sinterleme esnasında meydana gelen boyun oluşumu 31
Şekil 3.20 Tozların birleşmesi ve gözenek morfolojisinin değişimi 32
Şekil 3.21 Sinter aşamaları. 32
Şekil 3.22 Katı hal ve sıvı faz sinterleme sonrası mikro yapı fotoğrafları 33
Şekil 3.23 Farklı ıslatma açıları için W partikülleri arasında Cu dağılımı 34
Şekil 3.24 Sinter sıcaklığının elmas yüzeyine etkisi 34
Şekil 5.1 Çalışmada kullanılan Hardzone Encapsulated tekno. kaplanmış elmas 45
Şekil 5.2 Turbula mikser şematik görünümü 46
Şekil 5.3 Uygulanan sıkıştırma kuvvetinin tozlara fiziki etkisi 47
Şekil 5.4 Soğuk pres makinesinin kalıp haznesi 47

Şekil 5.5 Sıcak pres cihazı 47
Şekil 5.6 Sıvı faz sinterleme aşamaları 48
Şekil 5.7 800°C' de sinterlenen elmas soketlerin ısıl işlem grafiği 48
Şekil 5.8 900°C' de sinterlenen elmas soketlerin ısıl işlem grafiği 49
Şekil 5.9 1000 °C' de sinterlenen elmas soketlerin ısıl işlem grafiği 49
Şekil 5.10 Sıcak pres öncesi grafit kalıba yerleştirilmiş soğuk preslenmiş 49
soketlerin kalıp içerisindeki görünümü 49
Şekil 5.11 Sinterleme öncesi grafit kalıba yerleştirilip üstleri kapatılmış soğuk preslenmiş soketlerin kalıp içindeki görüntüleri 50
Şekil 5.12 Arşimet yoğunluk ölçüm düzeneği 50
Şekil 5.13 Sertlik ölçüm cihazı 51
Şekil 5.14 Aşınma test cihazı 52
Şekil 5.15 Nikon Eclipse MA100N optik mikroskop 53
Şekil 5.16 Mira3XMU-Tescan taramalı elektron mikroskobu 54
Şekil 6.1 Elmas ilavesiz, Hardzone kaplamalı ve Ticari soketin farklı sıcaklıklardaki yoğunluk değerleri 55
Şekil 6.2 Hardzone kaplamalı, SiC takviyeli ve WC takviyeli kaplı elmaslı soketlerin yoğunluk değerleri 56
Şekil 6.3 WC- Co faz diyagramı 57
Şekil 6.4 Elmas ilavesiz, Hardzone kaplamalı ve Ticari soketin farklı sıcaklıklardaki sertlik değerleri 58
Şekil 6.5 Hardzone kaplamalı, SiC takviyeli ve WC takviyeli kaplı elmaslı soketlerin yoğunluk değerleri 59
Şekil 6.6 900 °C de sinterlenmiş Elmas ilavesiz, Hardzone kaplamalı ve Ticari soketin farklı yükler altındaki aşınma miktarları 60
Şekil 6.7 87 N yük altında Elmas ilavesiz, Hardzone kaplamalı ve Ticari soketin aşınmasına sıcaklığın etkisi 60
Şekil 6.8 Yüksek sıcaklıklarda elmastaki renk değişimi 61
Şekil 6.9 900°C de sinterlenmiş Hardzone kaplamalı, SiC takviyeli ve WC takviyeli kaplı elmaslı soketlerin aşınma miktarları 62
Şekil 6.10 87 N yük altında Hardzone kaplamalı, SiC takviyeli ve WC takviyeli kaplı elmaslı soketlerin aşınmasına sıcaklığın etkisi 62
Şekil 6.11 Çalışmada kullanılan Hardzone Encapsulated teknolojisi ile kaplanmış elmas taneleri ve sıralı dizilimleri 50X 63
Şekil 6.12 Çalışmada kullanılan Ti kaplı elmasın yakından görünümü 64
Şekil 6.13 Elmas tanelerinin aşınmayı durdurucu etkisi ve elmas kümelenmesi 64
Şekil 6.14 E serisi numunelerin sinterleme sonrası optik mikroskop görüntüleri 100X 64
Şekil 6.15 A_1, A_2 ve A_3 numunelerinin sinterleme sonrası optik mikroskop fotoğrafları 100x 65
Şekil 6.16 B_1, B_2 ve B_3 numunelerinin sinterleme sonrası optik mikroskop görüntüleri 100X 66
Şekil 6.17 C_1, C_2 ve C_3 numunelerinin sinterleme sonrası optik mikroskop 66
görüntüleri 100X 66
Şekil 6.18 SiC birikiminin aşınmayı durdurucu etkisi 67
Şekil 6.19 Co-Si ve Cu-Si faz diyagramı 67
Şekil 6.20 D_1, D_2 ve D_3 numunelerinin sinterleme sonrası optik mikroskop görüntüleri 100X 68
Şekil 6.21 Çalışmada kullanılan tozlar 69
Şekil 6.22 Hardzone Encapsulated elmasın görünümü ve kaplama kalınlığı 70
Şekil 6.23 Hardzone Encapsulated elmas elementel haritası 70

Şekil 6.24 E numunelerinin 87 N yük altındaki aşınma yüzeyleri 71
Şekil 6.25 Ticari soketin 87 N yük altındaki aşınma yüzeyleri 72
Şekil 6.26 A_1 numunesinin 87 N yükte aşınma bölgesinin elementel haritalaması 73
Şekil 6.27 A_2 numunesinin 87 N yük altındaki elementel haritalaması 74
Şekil 6.28 A_3 numunesinin 87 N yük altındaki elementel haritalaması 75
Şekil 6.29 A_2 numunesinin 102 N yük altındaki toplu eds spektrumu 76
Şekil 6.30 B numunelerinin 87 N yük altındaki aşınma yüzeyleri 77
Şekil 6.31 B_1 numunesinin 102 N yük altındaki elementel haritalaması 78
Şekil 6.32 B_2 numunesinin 102 N yük altındaki elementel haritalaması 79
Şekil 6.33 B_3 numunesinin 87 N yük altındaki elementel haritalaması 80
Şekil 6.34 B_3 numunesinin 102 N yük altında eds analizi 81
Şekil 6.35 B_3 numunesinin 102N yük altında sem fotoğrafı 82
Şekil 6.36 B_3 numunesinde grafitleşen elmasın yapıya olumsuz etkisi 82
Şekil 6.37 B_3 numunesinde matriksin tabakalı kırılması ve grafitleşen elmaslar 83
Şekil 6.38 C numunelerinin 87 N yük altındaki aşınma yüzeyleri 84
Şekil 6.39 C serisi numunelerde elmaslarda meydana gelen deformasyonlar 85
Şekil 6.40 C_1 numunesinin 102 N aşınma yükünde elementel haritalaması 86
Şekil 6.41 C_2 numunesinin 87 N aşınma yükünde eds analizleri 87
Şekil 6.42 C_3 numunesinin 72 N aşınma yükünde eds analizi 88
Şekil 6.43 D numunelerinin 87 N yük altındaki aşınma yüzeyleri 89
Şekil 6.44 D_3 numunesinin 102 N yük altında elmasın kırılması 90
Şekil 6.45 D_1 numunesinin 72 N aşınma yükünde bölgesel Eds analizi 90
Şekil 6.46 D_1 numunesinin 102 N aşınma yükünde elementel haritalaması 91
Şekil 6.47 D_2 numunesinin 87 N aşınma yükünde toplu Eds analizleri 92
Şekil 6.48 D_2 numunesinin 87 N yükte elmentel haritalaması 93
Şekil 6.49 D_3 numunesinin 102 N yükte elementel haritalaması 94
Şekil 6.50 E numunelerinin kırık yüzey resimleri 94
Şekil 6.51 A numunelerinin kırık yüzey resimleri 95
Şekil 6.52 B numunelerinin kırık yüzey görüntüleri 96
Şekil 6.53 B_3 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı 97
Şekil 6.54 C_1 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı 97
Şekil 6.55 C_2 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı 98
Şekil 6.56 C_3 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı 98
Şekil 6.57 D_1 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı 99
Şekil 6.58 D_2 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı 100
Şekil 6.59 D_3 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı 100

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Kesici takımların yaklaşık ilk kullanım yılları ve kesme hızları 4
Çizelge 2.2 Malzeme türüne göre kullanılması gereken elmas boyutları 12
Çizelge 2.3 Elmas yoğunluğuna karşılık gelen konsantrasyon değerleri. 12
Çizelge 2.4 Tane boyutu ve konsantrasyona göre elmas tane sayısı. 13
Çizelge 2.5 Kırık yüzey alanındaki (cm^2) toplam elmas ve oluşan boşluk sayısı 13
Çizelge 3.1 Tungsten karbüre ait bazı özellikler 22
Çizelge 3.2 Sinterlenebilirliği ve mikro yapıyı etkileyen faktörler 31
Çizelge 3.3 Sinterleme aşamaları 32
Çizelge 5.1 Çalışmada kullanılan soketlerin matriks bileşenleri ve işlem sıcaklıklarına göre verilen malzeme kodları 44
Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılan tozların tane boyutları ve temin edildikleri yer 45
Çizelge 6.1 Yoğunluk testi sonuçları..... 55

SİMGELER DİZİNİ

Co: Kobalt

Cu: Bakır

Fe: Demir

Ni: Nikel

Sn: Kalay

SiC: Silisyum Karbür

WC: Tungsten Karbür

KISALTMALAR DİZİNİ

BSE: Geri Saçılımlı Elektron

EDS: Energy Dispersive Spectroscopy

PEG: Poli Etilen Glikol

O.M: Optik Mikroskop

SEM: Taramalı Elektron Mikroskop

1.GİRİŞ

Türkiye doğal taş bakımından dünyanın en zengin rezervlerinden birinin bulunduğu ülkelerdendir. Bundan dolayı doğal taş çıkarımı ve işlenmesi ülke sanayisi için önemli bir role bürünmüştür. Doğal taşlar çıkarıldıkları bölgelere göre farklı özellikler ve sertlikler sergilemektedir. Böylesine çeşitli sertlik dağılımı olan doğal taşları kesmek içinde taşın sertliğine uygun kesiciler kullanılmalıdır.

Günümüzde çeşitli delici uçlar ve farklı türde testereler doğal taş kesiminde kullanılmaktadır. Bunların arasında dairesel elmas testereler en yaygın olarak kullanılanlarından bir tanesidir. Dairesel elmas testereler dairesel bir çelik levha ve bazı metaller ile birlikte içerisinde elmas bulunan kompozit kesici uçtan oluşmaktadır. Burada uygun kesici ucun seçiminin kesilecek doğal taşa uygunluğu en önemli konudur.

Elmas kesici ucun özelliklerine etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Matriksin kompozisyonu, elmas şekli, miktarı ve kesici ucun üretim yöntemi gibi faktörler bu parametrelerin en önde gelenleridir. Genellikle kesilecek doğal taş ne kadar sert ise kesici ucun da o kadar sert olması istenmektedir. Bunun yanı sıra aşınma mukavemeti ve tokluk gibi faktörlerde önem arz etmektedir.

Bir elmas kesici uçta (soket) doğal taşı kesme işlemini elmas yaparken, matriks ise elmasları bir arada tutma görevini yapmaktadır. Elmas soketlerde üstün bir performans için elmas taneleri ile matriksin birbiri ile eş doğrultuda aşınması gerekmektedir. Matriks erken aşınır ise elmas taneleri düşerken eğer matriks geç aşınır ise bir diğer deyişle, sert bir matriks yüzeydeki elmasların bir süre sonra kesme yüzeylerini yitirmeleri ve alttan da yeni kesici yüzeylerin çıkmaması neticesinde kesme işleminin kesintiye uğramasına neden olabilmektedir [1].

Öte yandan matriks ile elmas taneleri arasında soket ömrünü belirleyen bir diğer faktör ise; matriks ile elmas taneleri arasında kimyasal bir reaksiyon olmasıdır ve bu reaksiyon elmas soketin ömrünü büyük ölçüde belirler [2]. Elmas tanelerinin kaplamaya sahip olup olmaması da bu reaksiyonu etkileyen bir faktördür. Bu bağ reaksiyonunun oluşumu metal tozlarının bileşimine, tane boyutu ve dağılımına, sinterleme işlemi sırasındaki sıcaklığa, işlem süresine ve uygulanan basınca bağlıdır [3].

Elmas soketler genellikle toz metalürjisi yöntemi ile üretilirler ve matriks malzemesi olarak genelde Co, Fe, Ni, Cu ve Sn gibi elementler kullanılmaktadır. Bu elementlerden Co, Fe ve Ni ıslatma kabiliyetini artırmak için kullanılmaktadır. Bu metaller ile oluşturulan metalürjik ıslatma sayesinde matrikse daha güçlü bir şekilde bağlanan elmaslar, sadece mekanik yolla bağlananlara nazaran matriks içindeki yerinden sökülmelere karşı daha dayanıklıdır. Soketlerde kullanılan matriks toz karışımlarının elmasları sıkı bir şekilde tutması gerekmektedir [4].

Aşınan matriks yüzeyinde talaş akma kanallarının oluşması ve iş parçası malzemesi talaşının bu kanallardan dışarı atılması gerekir [5]. Bu yüzden Cu ve Sn gibi gözenekleri kapatmaya ve kesme sırasında talaş akma kanalları oluşturmaya yarayan dolgu malzemeleri matriksi oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Sanayi' de Ticari soket olarak kullanılan elmas soket' e; Hardzone Encapsulated Elmas (Kaplı elmas), SiC ve WC ilavesinin mekanik özellik ve mikro yapı üzerine etkisi araştırılmıştır. Araştırma neticesinde elde edilen sonuçlar yorumlanarak Sonuçlar bölümünde maddeler halinde sunulmuştur.

2.ELMAS KESİCİ TAKIMLAR

2.1 Tarihçe

Elmas ilk olarak milattan önceki dönemlerde Hindistan'ın güneyindeki bir alanda keşfedilerek, eşsiz parıltısı ve güzelliği ile ilk etaplarda diğer doğal taşların kullanıldığı gibi takı ve süs eşyası olarak kullanılmıştır.

Sert olan değerli süs taşlarının kullanılabilir hale getirebilmek için M.Ö 4.yy' da Hindistan'da ilk elmas kesici takımlar kaba bir şekilde kullanılmıştır. Hindistan'ın, Çin ile ticari yollar geliştirerek bu elmas takımlardan sattığı bilinmektedir.

Bu bilgiler ışığında elmasın bir kesici alet olarak kullanımı M.Ö 4.yy'a dayanmasına rağmen gelişen teknoloji sayesinde elmas takımların modern uygulaması yaklaşık bir asır öncesine dayanmaktadır [6].

19.yy'ın ortalarına gelindiğinde Amerika ve Fransa' da dairesel elmas kesici takım üretimi için çalışmalar başlatılmıştır ve 1885 yılında Fransız Felix Fromholt tarafından taş kesimi için ilk dairesel elmas takım tasarlanarak icat edilmiştir. Büyük bıçaklar pratikte 15 yıl sonra ilk kez Euville taş ocaklarında kullanılmıştır. Paris'teki büyük binaların yapımı sırasında kireçtaşı ve mermerleri kesmek için dış kısmında siyah elmas bulunan kesici takımlar kullanıldı [6,7].

Bu alanlarda her ne kadar elmas kesici takımlar başarı ile kullanılsa da, üretim yöntemindeki zorluk, delme ve kesme işlemindeki aşırı zaman kaybı ve yüksek miktardaki maliyetleri kullanımlarını sınırlandırmıştır. 20.yy'ın ortalarına doğru toz metalürjisi tekniğinin gelişmesi ile elmas emdirilmiş testereler geliştirilerek üretimi daha kolay, maliyeti daha düşük ve uygulama yöntemi daha kolay soketler geliştirilerek endüstriyel faaliyetlerin çeşitli alanlarına adapte edilmişlerdir [6,8].

Toz metalürjisi yönteminin elmas soketlere uygulanması ile birlikte elmas tüketimi giderek artmıştır. 1980'de elmas aşındırıcı tüketimi 100 milyon karat iken 1990'da bu miktar 380 milyon karata ulaşmıştır.

Gün geçtikçe artan elmas tüketimine karşın araştırmacılar sentetik elmas üretim çabasına girmişlerdir. Sentetik elmas kristal üretim çabası en azından yüz yıllarca öncesine dayanmaktadır. Sentetik elmasa dair ilk somut sonuçlar 1953 yılında ASEA çalışanları tarafından elde edilmiştir. ASEA çalışanlarının bu buluşundan sadece 2 yıl sonra, ASEA' nın sentetik elmas çalışmasından tamamen habersiz

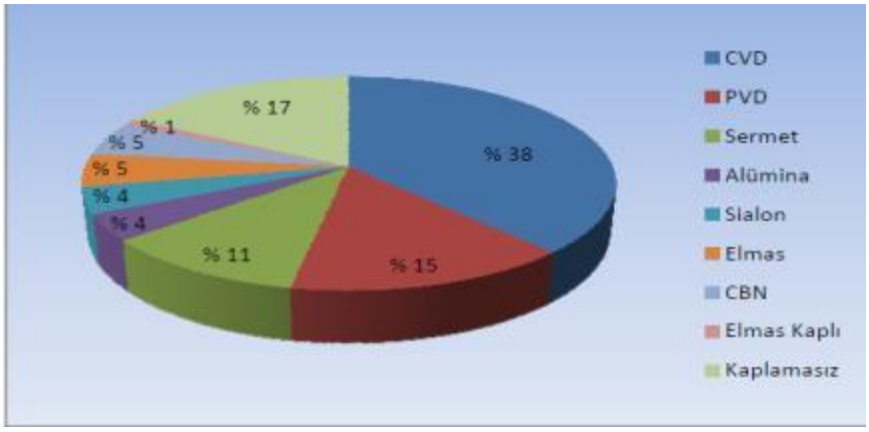
olan General Elektrik firması endüstriyel miktarda sentetik elmas üretimini başardığını duyurdu [6].

Sentetik elmasların üretimi ile birlikte son yarım asır içinde elmas soketlerin kullanımında büyük oranda artış meydana gelmiştir. İlk başlarda sadece demir ile sentezlenebilen elmas son yıllarda kobalt, nikel gibi farklı elementlerden sentezlenebilmektedirler. Sentetik elmasların doğal elmasa nazaran daha fazla şekilde elde edilmesi sonucu elmas soketlerin geliştirilmesi son yıllarda gittikçe artmaktadır.

Çizelge 2.1 Kesici takımların yaklaşık ilk kullanım yılları ve kesme hızları

Kesici Uç Malzemesi	İlk Kullanılma Tarihi	Kesme Hızı (m\dak.)
Karbon çeliği	1800	10
Yüksek hız çeliği	1900	25-65
Kobalt Döküm Alaşımı	1915	50-200
Sementit Karbür	1940	330-650
Sermet (TiC)	1950	165-400
Seramik (Alümina)	1955	330-650
Sentetik elmas	1955	400-1300

Elmas kesici takımların geliştirilip, kullanımı ile birlikte diğer kesici takımlara nazaran malzeme kesimi daha hızlı ve daha kolay şekilde gerçekleştirilmiştir. Yıllar geçtikçe de elmas soketlerin kullanım alanlarının arttığı görülmektedir. Şekil 2.1' de kesici takımların dünyada tahmini kullanım oranları verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, 21.yy da elmas soketler gittikçe geliştirilip kaplamalı kaplamasız gibi alt dallara ayrılarak gelişmekte olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.1 Kesici takımların 2005 yılında tahmini kullanım oranları.

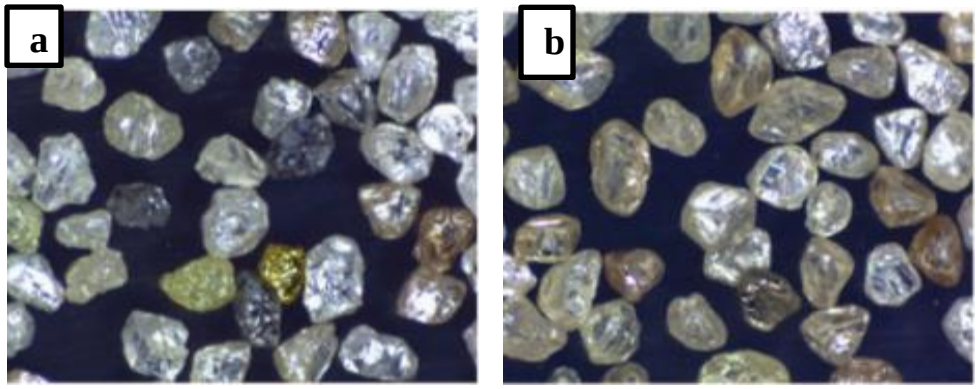
Kesici takımlar metal esaslı, seramik esaslı ve karbür esaslı olmak üzere üç ana grupta sıralanabilir. Elmas takımlar, yüzey kalitesini iyileştirdiği ve takım ömrünü artırdığı anlaşıldıktan sonra kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Artan araştırma olanakları ve gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde elmasın dış yüzeyinin metal ile kaplanarak kaplanmış elmasın soket içerisine takviyesi ya da metal ile kaplanan elmasın soket yüzeyine çeşitli kaplama teknikleri ile kaplanması gibi çalışmalar güncel olarak sürdürülmektedir.

2.2 Elmas Hakkında Genel Bilgiler

Elmas yüksek sıcaklık ve basınç altında meydana gelen kristal yapıdaki karbonun özel adıdır ve karbon atomlarının birbirlerine güçlü kovalent bağlar ile bağlanmasından dolayı doğada en yüksek sertliğe, dayanıma, daha yüksek termal iletkenliğe ve daha düşük sürtünme katsayısı gibi mükemmel özelliklere sahip çok cezbedici bir malzemedir. Bu özellikleri bir arada bulundurmasından dolayı, elmas tanelerinin bir metal matriks içine takviye olarak eklenmesi ile hazırlanan, sondaj aletleri, kesici takımlar, aşınma önleyici malzemeler, testere bıçakları, elektronik paketleme malzemeleri gibi elmas takviyeli takımlarda yaygın ölçüde kullanılmaktadır [9-13].

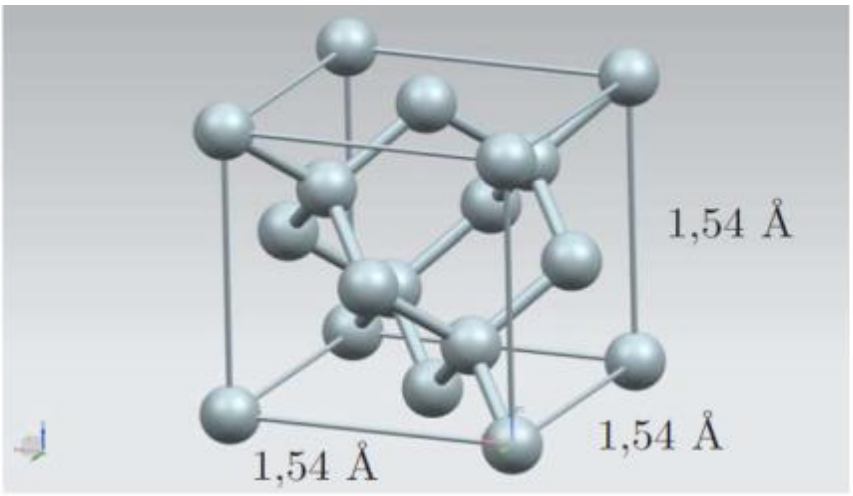
Şekil 2,2'de doğal elmas tanelerinin görüntüleri verilmiştir. Kullanılacak yere göre girintili yüzey ya da yuvarlak yüzey elmas taneleri tercih edilmektedir.



Şekil 2.2 Doğal elmas aşındırıcılar a) girintili yüzey b) yuvarlak yüzey [14].

Elmas karbonun tetrahedral modifikasyonudur. Her karbon atomu itme etkilerinden dolayı dört komşu atom ile kovalent bağ oluşturur. Elmasın bir temel latis hücresi yüzey merkezli kübik yapısına sahip sekiz karbon atomu (8 x 1/8 → köşe atom, 6 x 1/2 → yüzeydeki atomlar, 4 → hücredeki atomlar) ile tanımlanır [14].

Şekil 2.3’ de bir elmas atomunun latis hücresi verilmiştir. Hücredeki bu dört karbon atomu temel hücrenin dört boş köşegenin her birine bireysel olarak yerleşir.

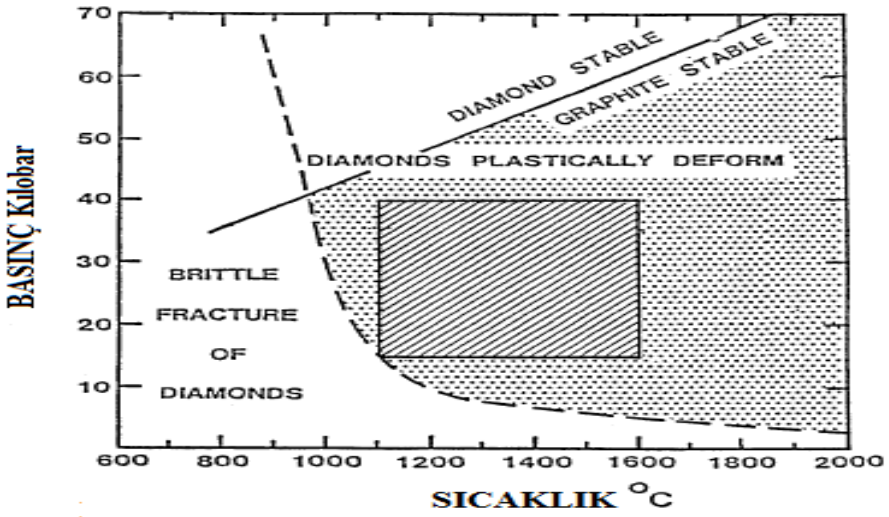


Şekil 2.3 Elmasın temel kafes yapısı [14].

Elmas ile ilgili yapılan çalışmalar da elmasın aşırı sertliğine rağmen anizotropik mekanik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin ise, değişik kristalografik yönlerde atomlar arasındaki mesafelerin değişiminden kaynaklandığı anlaşılmıştır [14].

Marinescu yapmış olduğu çalışmada, grafit ile çeşitli demir ve demir dışı metallerin oksitleri gibi yabancı maddelerin mekanik özellikleri büyük oranda etkilediğini ileri sürmüştür. Bu empüriteler yapıda boşluk oluşturma, distorsiyon ve dislokasyon meydana getirmesinin yanı sıra elmas kafes yapısında kırılma davranışını etkileyen zayıf yönler üretir [15]. Elmas belirli bir basınç ve sıcaklık değerlerinde yüksek mekanik, fiziksel ve elektriksel özellikler sergilemektedir.

Şekil 2.4’de karbonun basınç-sıcaklık diyagramı verilmiştir. İnert bir atmosferde ya da vakum edilmiş bir ortamda elmas 1500˚C ye kadar grafite dönüşmeden yapısını koruyabilirken bu sıcaklığın üstünde yapısal olarak c ekseninde bozularak grafite dönüşecektir, bu da elmasın bütün mekanik ve fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Ortamda herhangi bir vakum veya inert bir gaz yok ise elmas yaklaşık olarak 800°C den sonra kafes yapısında deformasyonlar meydana gelerek grafite dönüşmeye başlayacaktır [10].



Şekil 2.4 Karbonun basınç-sıcaklık diyagramı [10].

Yüksek sıcaklık ve basınç altında tetragonal yapıdaki elmas c ekseninden bozunmaya başlayarak hekzagonal sıkı paket yapısındaki grafite dönüşür. Elmasın bu yapısal bozunumunu önlemek için sinterleme işlemi ya inert bir gaz ortamında ya da vakum altında yapılmalıdır.

Şekil 2.5' de sinterleme sıcaklığının elmasın bozunumuna olan etkisini açıklayan veriler görülmektedir. Aşağıda görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığı 1000°C üzerine çıkarıldığında elmas bozunumu son derece yüksek olmaktadır. Elmasın bu bozunumuna sıcaklığın yanı sıra elmas tanelerinin şekli ve yapısında bulunan metalik inklüzyonlar da aşırı derecede etki etmektedir.

Sinterleme sıcaklığı	Elmas bozulma miktarı		Sıcak pres malzemelerinin tüketimi (Grafit kalıp ve elektrotlar, soket tutucu aparatlar, seramik izolatör vb,)
	Elmas tipi: Sentetik (şekilsiz, aşırı sert ve yüksek oranda metalik inklüzyonlar içeren)	Elmas tipi: Sentetik ya da doğal elmas (kübik şekilli, berrak ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı)	
900°C'ye kadar	az	az	az
900-1000°C	orta	az	orta*
1000 - 1100°C	yüksek	az-orta	yüksek*

Şekil 2.5. Sinterleme sıcaklığının elmasın bozunumuna etkisi.

Son yıllarda elmasın yüksek sıcaklıklara karşı dayanımını artırmak için dış yüzeyini saf bir metal ile ya da bir metal karbür ile kaplama işlemleri başarı ile gerçekleştirilmektedir.

2.3 Elmas Soketler için Elmas Seçimi

Elmas soketler de kesme ve aşındırma işlemini elmas taneleri gerçekleştirmektedir. Bu yüzden kesilecek taşın sertliğine göre istenilen özellikte soket tasarımı için uygun elmas seçimi işlemi gerçekleştirilmelidir. Elmas seçiminde aşağıdaki özellikler büyük öneme sahiptir;

- Elmas şekli
- Elmas tane boyutu
- Elmas konsantrasyonu
- Elmasın kaplanması

2.3.1 Elmas şekli

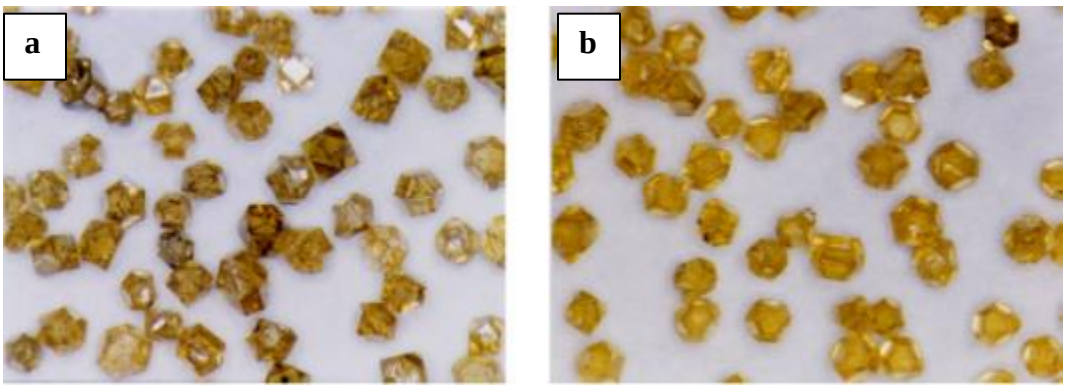
Sokette ana matriks içine takviye edilecek elmas şekli kesilecek doğal taşa göre belirlenir. Kesilecek doğal taş ne kadar sert ise, sokette kullanılacak elmasta o kadar sert olmalıdır. Elmas tedarikçileri, yüksek mukavemet, termal kararlılık, matrikse bağlanma gibi farklı özelliklerde ve geniş bir skalada doğal ve sentetik elmas seçme olanağı sağlarlar [16].

Doğal elmas ile sentetik elmas arasındaki temel fark empürite miktarıdır. Doğal elmas, madenden çıkarılmış elmas bortun parçalanmasıyla elde edilen elmas parçaları oldukları için metalik kalıntılar ve safsızlıklar içermezler. Bu nedenle yüksek termal kararlılık gösterirler [17].

Doğal elmas taneleri sertliklerini yüksek sıcaklıklara kadar muhafaza eder iken sentetik elmaslar yapısında bulunan metal kalıntılarından dolayı 800 °C sıcaklıktan sonra mukavemetlerinde önemli derecede düşüş meydana gelir.

Soketlerde sentetik elmas kullanımının ana avantajı, kullanılacağı yerdeki ihtiyaca göre tasarımının yapılıp üretilebilmesidir. Arzu edilen özelliklere göre farklı tane büyüklüklerinde iki çeşit sentetik elmas mevcuttur [16].

Elmas sentezleme de katalizör olarak nikel ya da kobalt esaslı alaşımlar kullanılarak farklı içyapılar elde edilebilmektedir.



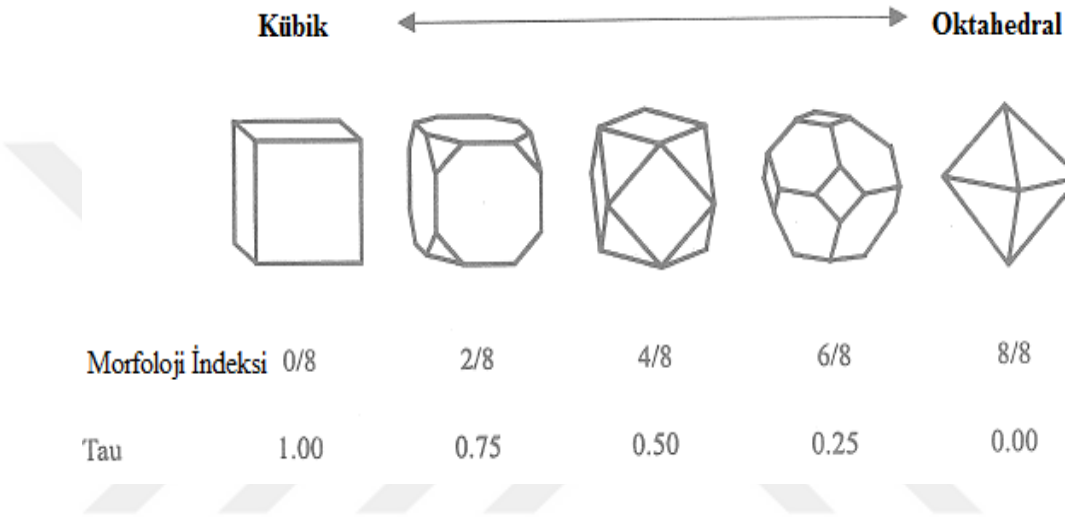
Şekil 2.6 Sentetik elmas taneleri a) kobalt esaslı b) nikel esaslı.

Sentezlenen elmasta katalizör olarak kullanılan elementlerin elmasın dış görünüş ve mekanik özellik açısından farklılık gösterdiği literatürde ki ilgili kaynaklardan görülmektedir. Katalizör olarak kobaltın kullanıldığı sentetik elmaslarda kobalt metalik inklüzyon şeklinde ara tabakalara girerek mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilerken, katalizör olarak nikelin kullanıldığı sentetik elmaslarda ise, empüriteler tane boyunca homojen olarak dağılır, bu homojenliğin sonucu olarak mükemmel bir dış görünüş ve sıcak preslemeden sonrada iyi mekanik özellikler elde edilir [16].

Elmasın şeklinin değişiminde sıcaklık esnasında yapının grafite dönüşümünün de etkisi vardır. Elmasın grafite dönüşümünün nedenlerinden bir diğeri de periyodik cetvelde sekizinci grupta bulunan geçiş metallerinin katalitik etkisidir. Reaktif geçiş metallerinin etkisi sonucu daha düşük sıcaklıklarda bile grafitleşme meydana gelebilir. Bu metaller içinde en reaktif olanı demirdir. Bağlayıcı matriks olarak kullanılan Fe ve Ni de Cu ve Al' a nazaran daha fazla aşınma görülür ve aşınma hızlı gerçekleşir. Bu olay malzemenin sertliğinden tamamen bağımsız olarak gerçekleşir ve bu olaya elmasın katalitik aşınması denir. Elmasın grafite dönüşümü sonucu meydana gelen yapı değişiminde hacim artışı meydana gelir. Meydana gelen bu hacim artışı neticesinde elmas/metal ara yüzeyinde oluşan ısıl genleşme katsayılarındaki uyumsuzluk sonucu termal ve grafitleşme gerilimleri oluşarak elmas taneleri zayıflayıp parçalanabilir [18].

Elmas tanecikleri sinterleme esnasında oksijen ile temas ederek aralarında bir reaksiyon gerçekleştiğinde ürün olarak CO veya CO_2 ürün olarak çıkar ve elmas yüzeyinde gözenek oluşturur. Bu olayı önlemek için sinterleme işlemi vakum altında veya inert bir gaz ortamında gerçekleştirilmelidir [19]. Yukarıda da

bahsedildiği gibi elmas tanelerinin şekli aşınma sürecinde en önemli etkenlerdendir. Bu yüzden elmas tanelerinin şekli ne kadar düzenli ve oktahedral şekle sahip olur ise düzensiz ve daha az köşeye sahip elmas tanelerine nazaran daha sağlam olur. Şekil 2.7' de görüldüğü üzere sentezlenen elmasların tane morfolojisi kübik ile oktahedral arasındadır. Elmas tanesinin şekli elmasın tutunma kabiliyeti ile de yakından ilişkilidir. Elmasın yapısını belirlemede en önemli araçlardan ikisi morfoloji indeksi ve tau parametresidir.

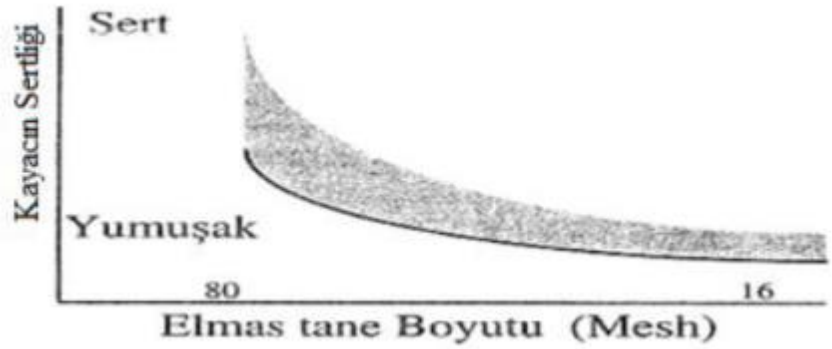


Şekil 2.7 Sentetik elmas taneciklerinin şematik gösterimi.

2.3.2 Elmas tane boyutu

Soket içerisine takviye edilen elmas tanesinin boyutu bağlayıcı matriks yüzeyinden elmas çıkıntı yüksekliğini belirler. Soketin kesme hızı ve çevresel hızı tane boyutu ile yakından ilgilidir. Doğal taşın etkili bir şekilde kesilmesi için elmas tanesinin büyüklüğü ile kesilen taşın arasında yakın bir ilişki mevcuttur.

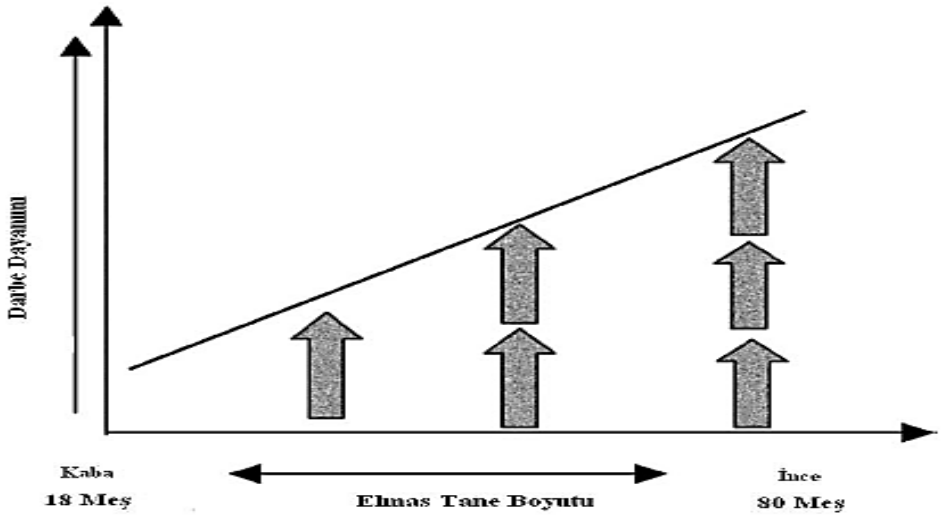
Sentetik elmas aşındırıcılar tane boyutu bakımından iki gruba ayrılmaktadır. Tane boyutu 80µm den daha kalın olan elmas taneleri 'saw' elmas olarak adlandırılırken, tane boyutu daha ince olan elmas taneleri 'wheel' elmas olarak adlandırılır [17].



Şekil 2.8 Doğal taşın sertliği ile elmas tane boyutu arasındaki ilişki.

Şekil 2.8 de görüldüğü gibi sert taşların kesimi için ince taneli elmas aşındırıcılar kullanılmalıdır. İnce taneli elmaslar daha sağlam oldukları için kesilmesi zor olan doğal taşların işlenmesi için ince taneli elmaslar kullanılmalıdır. Sert taşların kesimi için kalın taneli elmas kullanılması durumunda yüksek kesme hızlarına ulaşılabilir fakat bu esnada da elmas kaybı çok fazla olacaktır.

Bu bilgiler ışığında sonuç olarak Şekil 2.9'da ki gibi tane boyutu ile ürün dayanımı arasındaki ilişki ortaya çıkmaktadır. Soket imalatında ince taneli elmas aşındırıcı kullanımında daha yüksek ürün dayanımı elde edilmektedir. Kaba tane kullanımının tek avantajı daha yüksek kesme hızlarına ulaşmaktır fakat bu esnada da hem ürünün dayanımı azalmaktadır hem de kalın elmas taneleri bağlayıcı matrise tam olarak gömülemediği için elmasın yapıdan uzaklaşması ya da parçalanması daha kolay gerçekleşecektir.



Şekil 2.9 Elmas tane boyutu ile darbe dayanımı arasındaki ilişki [18].

Çizelge 2.2 Malzeme türüne göre kullanılması gereken elmas boyutları

Tane Boyu	Malzeme Türü
40/50 U.S. Mesh	Sert, ince taneli malzemeler (granit ve bazalt)
30/40 U.S. Mesh	Orta sert malzemeler (mermer)
20/30 U.S. Mesh	Nispeten yumuşak malzemeler (traverten)

Soket üretiminde genelde 30/40 ile 40/50 mesh arasındaki sentetik elmas aşındırıcılar tercih edilmektedir.

2.3.3 Elmas konsantrasyonu

Soket içerisindeki elmas sayısı konsantrasyon olarak ifade edilmektedir. Hacmi 1cm³ olan matriks de 4,4 karat (0.44 cts/cm³) elmas taneciği bulunmaktadır. Diğer konsantrasyonlar ise bunun ile orantılı olarak değişmektedir. Çizelge 2.3 de elmas yoğunluğuna karşılık gelen konsantrasyon değerleri verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi 0,44 cts/cm³ yoğunluğundaki elmas tozları 10 konsantrasyon olarak ifade edilmektedir [17].

Çizelge 2.3 Elmas yoğunluğuna karşılık gelen konsantrasyon değerleri [4]

Cts/ cm³	Konsantrasyon	Cts/ cm³	Konsantrasyon
0,44	10	1,012	22
0,484	11	1,056	23
0,572	12	1,11	24
0,616	13	1,144	25
0,66	14	1,188	26
0,704	15	1,232	27
0,748	16	1,276	28
0,792	17	1,32	29
0,836	18	1,364	30
0,88	19	1,408	31
0,924	20	1,452	32

Çizelge 2.4'de belirli tane boyutundaki elmas aşındırıcıların belirli konsantrasyon içindeki tane sayıları verilmiştir. Elmas aşındırıcının mesh numarası arttıkça

elmasın tane boyutları azaldığı için soket içine daha fazla miktarda elmas konulmaktadır. Örneğin, 20 konsantrasyonda 30/40 mesh elmas 580 adet bulunurken, 40/50 mesh elmasta 1628 adet elmas tanesi bulunmaktadır.

Çizelge 2.4 Tane boyutu ve konsantrasyona göre elmas tane sayısı [4]

US Mesh	PPC	Konsantrasyon						Fepa stand.
		10	15	20	25	30	35	
20/30	260	114	171	228	286	343	400	D852
25/35	400	176	264	352	440	528	616	D712
30/40	660	290	435	580	726	871	1016	D602
35/45	1075	473	709	946	1182	1419	1655	D502
40/50	1850	814	1221	1628	2035	2442	2849	D427
45/60	3000	1320	1980	2640	3300	3960	4620	D357
50/70	4800	2112	3168	4224	5280	6336	7392	D302

2.3.4 Elmas kaplama

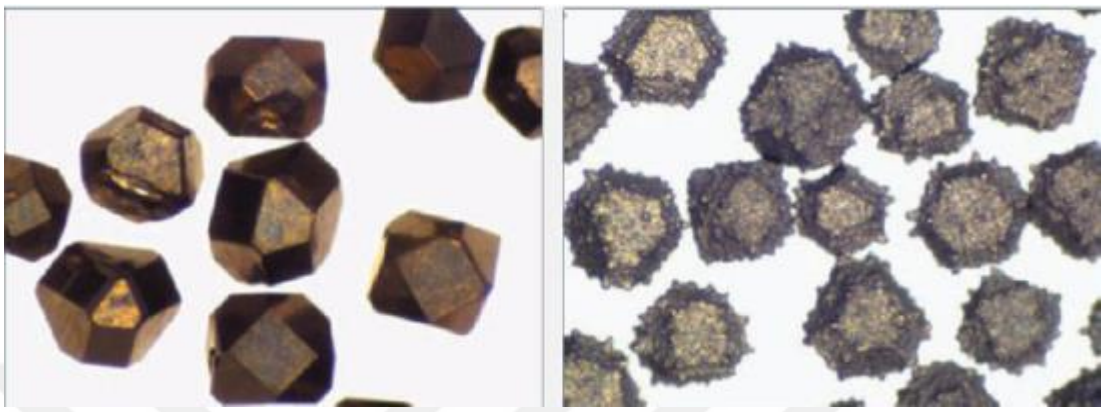
Metal bir yüzeyde elmas aşındırıcının sürtünme katsayısı (0,1-0.15) oldukça düşüktür. Soket üretiminde elmas-metal matriks ara yüzeyindeki sürtünme artırılabilirse ara yüzeydeki bağ geliştirilebilir.

Çizelge 2.5' de bir soketin kırık yüzey alanında oluşan elmas boşluk sayısı verilmiştir. Elmaslar matrikse kuvvetli bir şekilde bağlanamadığı için yapıdan uzaklaşarak boşluk oluşturmaktadır, çizelgeden de anlaşılacağı üzere elmas konsantrasyonu arttıkça oluşan boşluk sayısı da artmaktadır.

Çizelge 2.5 Kırık yüzey alanındaki (cm^2) toplam elmas ve oluşan boşluk sayısı

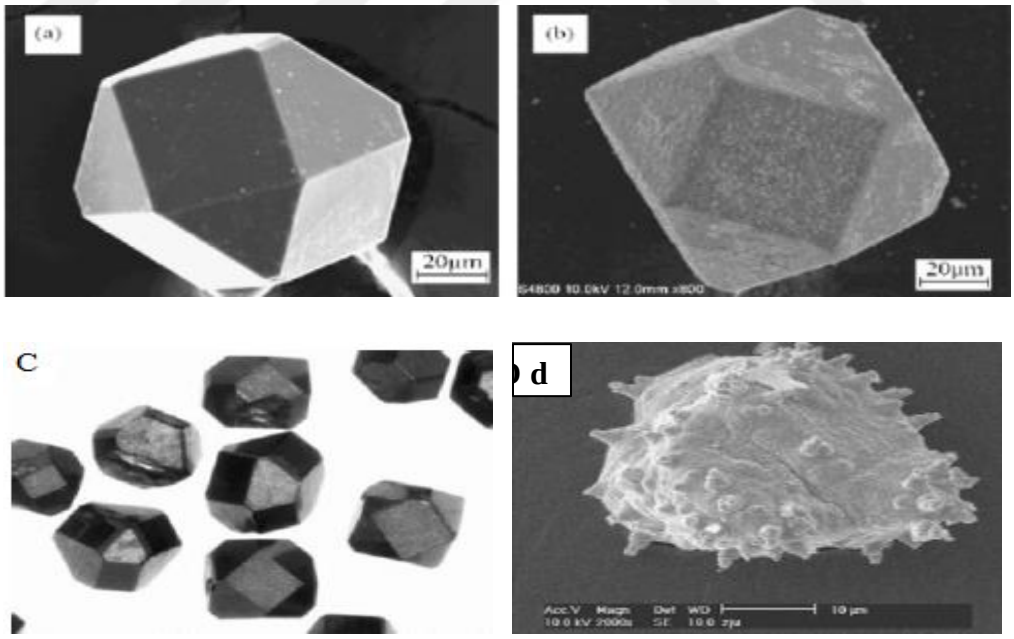
US Mesh No	Elmas Konsantrasyonu					
	15	20	25	30	35	40
25/35	14	19	24	29	34	38
30/40	22	30	37	45	52	60
35/40	26	34	43	51	60	68
40/50	38	51	63	76	88	101
50/60	65	87	109	131	153	174
60/80	85	114	142	170	199	227

Elmasın bağlayıcı matrikse sıkı bir şekilde bağlanabilmesini sağlayacak en etkili yöntemlerden birisi elmasın dış yüzeyini metal karbür (Ti, Si, Cr, W vb.) ile kaplamaktır. Şekil 2.10' da elmasın TiC ve Ni ile kaplanmış fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 2.10 Kaplanmış elmas taneleri a) TiC kaplı elmas b) ilave Ni kaplı elmas.

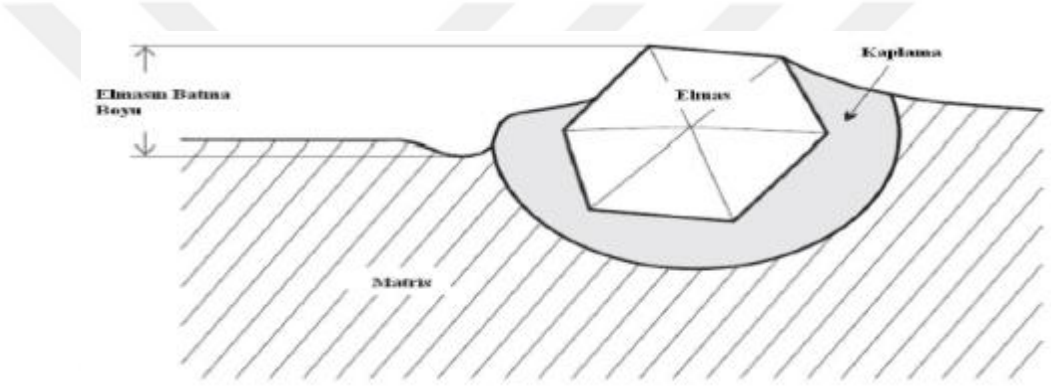
Şekil 2.11' de kaplamasız elmas ile TiC, Ni ve Cr kaplanmış sentetik elmas tanelerinin taramalı elektrom mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.11 Kaplanmış elmas tanelerinin SEM fotoğrafları a) kaplamasız elmas, b) Cr kaplı elmas, c) TiC kaplı elmas, d) Ni kaplı elmas.

Kaplama metali olarak kullanılan Si, Cr, Ti, W gibi elementler elmas yüzeyinde metal karbür bir tabaka oluşturup hem elmasın matrikse sağlam bağlanmasını hem de aşınma dayanımını arttırırken, dış yüzeyi kaplanan elmasın Ni veya Co-Bronz gibi ilave bir metal katmanı ile kaplanması karbür tabakasını oksitlenmeden korur. Bu şekilde kaplanan elmaslar kaplamasız elmaslara nazaran daha derine gömülüp bağlayıcı matrikse daha sağlam bağlanabilir. Ayrıca böyle bir kaplama tabakası hem düşük sıcaklıklarda elmasların grafitleşmesini engelleyici etki yapar hem de matrikse bağlanmada hiçbir özelliğini değiştirmeden aşınma dayanımını artırmaktadır.

Şekil 2.12' de uygulanan kaplamanın elmasın matrikse bağlanmasına olumlu etkisi görülmektedir.

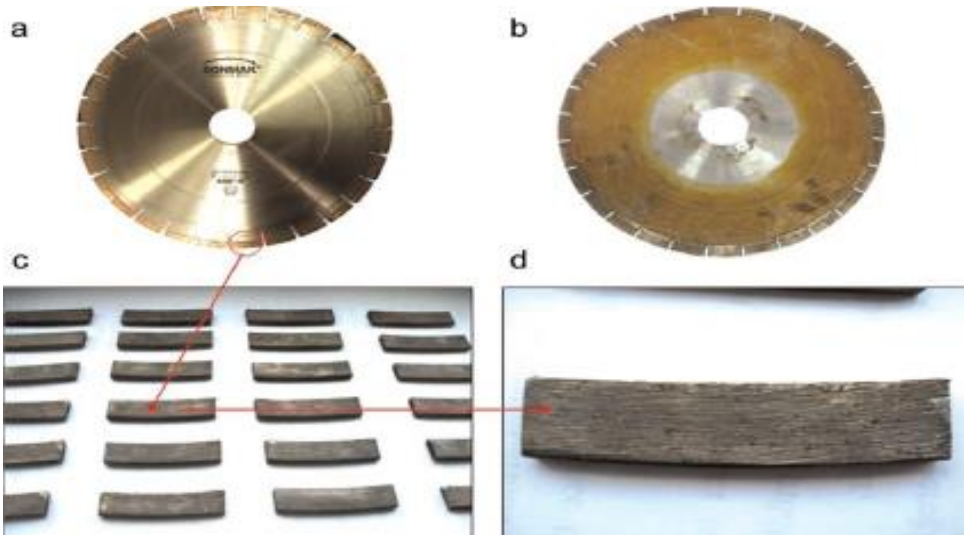


Şekil 2.12 Kaplamanın elmasın batma boyuna olumlu etkisi.

2.4 Elmas Kesici Takımların (Soket) Kullanım Alanları ve İstenilen Özellikler

Genellikle pürüzsüz yüzey sağladıkları için doğal taş kesmede kullanılan elmas kesici takımlar metalik bir matriks içinde gömülmüş şekilde bulunan elmas tanelerinin oluşturduğu metal matriksli bir kompozittir [20,21].

Elmas/metal kompozitler yüksek aşınma dayanımı, sertlik, daha iyi basma dayanımı, iyi ısı iletimi gibi göz alıcı özelliklerinden dolayı optik ve elektronik cihazların yanı sıra cam ve seramiklerin öğütülmesi, taş parlatma doğal taşları kesme ve delme işlemlerinin yanı sıra betonarme ve asfalt kesimlerinde ciddi oranda kullanılmaktadır [22-26]. Elmas kesici takımların sanayide dairesel testereler, karot, elmas teller, matkap gibi farklı çeşitleri mevcuttur [27].



Şekil 2.13 Dairesel testere a) işlenmiş testere, b) uçları çıkartılmış, c) uçların genel görünümü, d) uçların yakından görünümü.

Yüksek sertlik ve aşınma dayanımı, uzun periyotlar için istikrarlı boyut kontrolü ve uzun takım ömrü uzun üretim sürelerinde iyi yüzey işlemi sağlar [28].

Günümüzde, elmas kaynaklarının azalmasından dolayı endüstriyel talepleri karşılamada yalnızca doğal elmas kullanımı oldukça zordur; bu sebepten dolayı çoğu endüstriyel uygulamada sentetik elmasın fiyatının düşük olması ayrıca özelliklerinin iyileştirilebilir olması sentetik elmasların geniş kullanım alanını gün geçtikçe artırmaktadır [22,23].

Sentetik elmasın sanayide kullanılış yerine göre istenilen özellikte sentezlenmesine karşın doğal elmas ile kıyaslandığında düşük korozyon dayanımı, yüksek sıcaklıklarda düşük termal dayanım gibi dezavantajları vardır [22].

Elmas kesici takımlar (soketler) diğer kesici takımlar ile kıyaslandığında daha yüksek kesme hızlarında çalıştırılabilir, endüstride başarılı bir şekilde kullanımında yüksek kesme hızında yüksek hassasiyette kesme yapmalarının yanı sıra esnek ve ekonomik olmalarının da yüksek önemi vardır [28,29].



Şekil 2.14 Elmas takviye edilmiş soket [18].

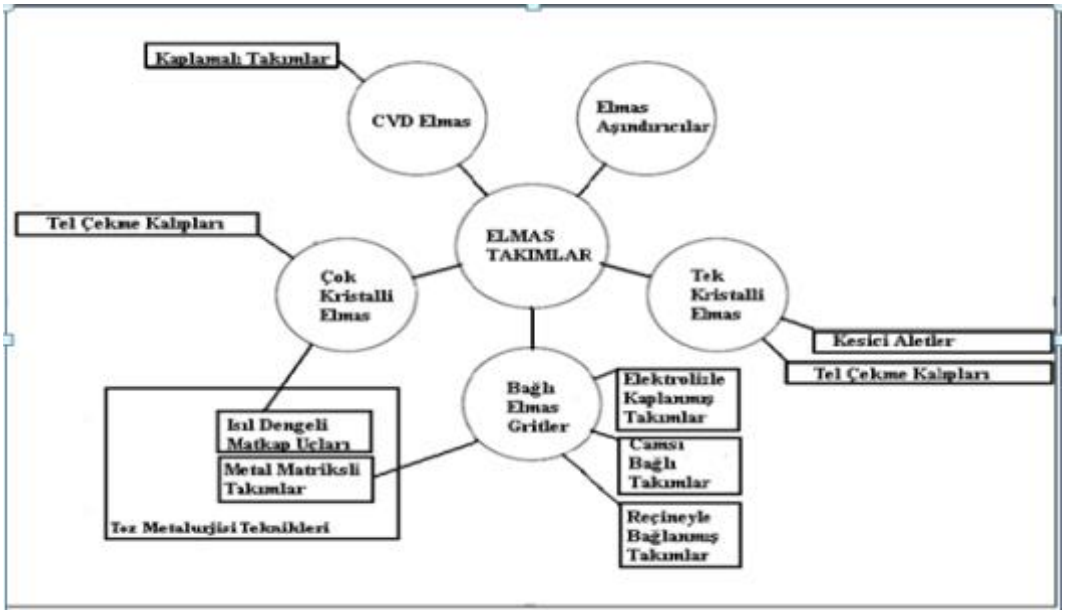
Bir elmas sokette istenen özellikler şu şekilde sıralanabilir;

- Taşın sertliğine bağlı olarak, uygun sertlik ve aşınma direncinde olmalı
- Oda sıcaklığındaki dayanımını yüksek sıcaklıklarda da korumalı
- Kesilecek parça ile tepkime göstermemeli
- Termal geçişlerde yüksek dirence sahip olmalıdır.

Elmas soketler ile demir esaslı alaşımların kesilmesi durumunda karbon ile demirin yüksek kimyasal afinitesinden dolayı elmasta yüksek derecelerde aşınma meydana gelmektedir, bundan dolayı elmas kesici takımlar demir dışı metallerin kesiminde ve işlenmesinde kullanılmaktadır [30].

Elmas tornalama işleminde, kesim derinliği mikrometre aralığında değişirken besleme hızı dakikada birkaç yüz milimetreden fazla değildir. Eşleşmemiş d-kabuk elektron bulunduran malzemeler elmas takım ile işlenemez, bunlara Cr, Nb, Re, Rh, Ru, Ta, U örnek olarak verilebilir. Elmas soket ile yapısal konfigürasyonunda eşleşmemiş d-kabuk elektron bulundurmayan malzemeler rahatlıkla işlenebilir. Bu malzemelere Al, Ge gibi değerli malzemeler örnek verilebilir [20].

Soket içinde kullanılan elmasın türüne göre de elmas soketler sınıflandırılabilir. Şekil 2.15' de elmas türüne göre elmas soketlerin sınıflandırıldığı fotoğraf görülmektedir.

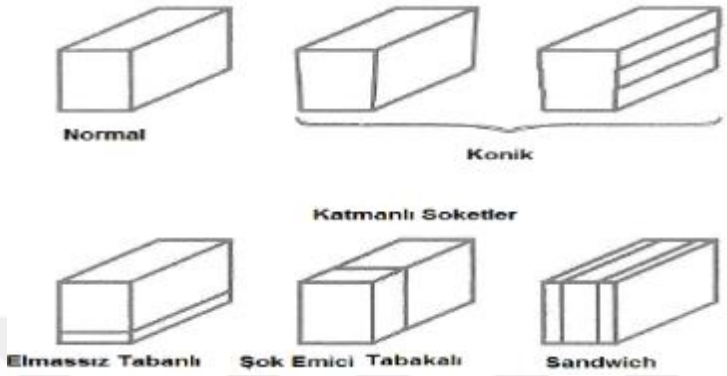


Şekil 2.15 Elmas takımların sınıflandırılması [31].

3. ELMAS SOKET DİZAYNI, BİLEŞİMİ VE ÜRETİM YÖNTEMİ

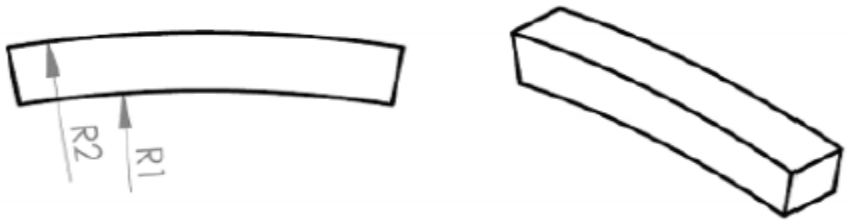
3.1 Elmas Soket Dizaynı

Elmaslı soketlerin genel bir sınıflandırması Şekil 3.1' de verilmiştir. Bu tür soketler sanayide dairesel testerelere işlendikten sonra yaygın olarak doğal taş işlemede kullanılmaktadır.

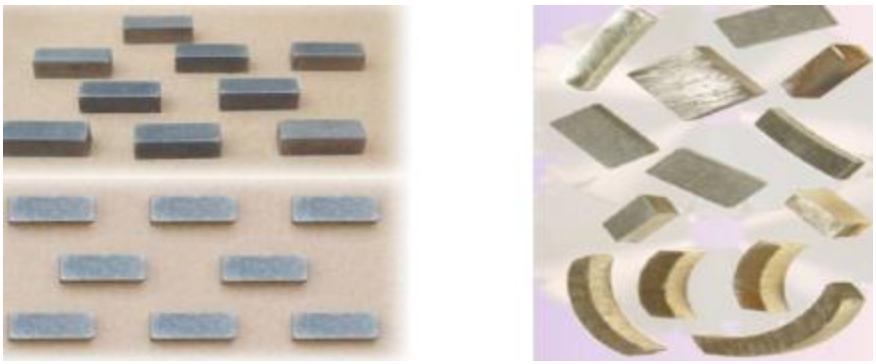


Şekil 3.1 Elmas soket türleri [31].

Soketlerde, matriks bileşiminin karmaşıklığı ve eğimli soketlerdeki şekil karmaşıklığının artması soketin maliyetini de bir o kadar artırmaktadır. Kesilen doğal taş ile soket yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltmak ve daha az talaş oluşumunu sağlamak için genelde eğimli soketler daha avantajlıdır. Şekil 3.2' de eğimli soketlerin teknik resim görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.2 Eğimli soket [31].



Şekil 3.3 Kullanıma hazır soketler [31].

3.2 Elmas Soketlerde Matriks Malzemelerinin Türleri ve Özellikleri

Soketlerin en önemli bileşenlerinden biri olan matriks, soketin mekanik özelliklerini belirleyen yapıdır. Bağlayıcı matriksin en zor ve önemli görevlerinden bir tanesi matriksin mekanik özelliklerinden etkilenen elmas tanelerinin sıkı bir şekilde yapıda tutulmasını sağlamak ve elmas kaybını minimum dereceye indirmektir. Bunun yanı sıra matriks, elmas taneleri ve matriks arasında meydana gelen uyumsuzluklar ile elmas taneleri ve metal matriks ara yüzeyinde meydana gelen olayları da kontrol etmektedir. Doğal taş kesim esnasında elmas taneleri kesme işlemini sürdürürken matriks yapı da optimum bir şekilde aşınmaya maruz kalmalıdır ve aşınma sonucu yüzey altında bulunan elmas tanelerinin yüzeye gelmesini kolaylaştırarak kesimin problemsiz bir şekilde devam ettirmelidir [26].

Doğal taşın kesimi esnasında matriksin kesme yüzeyinde çıkan tozları uzaklaştıracak kanallar bulunmalıdır. Yapıda bu talaş kanalları bulunmaz ise oluşan talaşlar elmas tanelerinde yüksek aşınmaya sebep olur.

Elmas soket üretiminde kullanılan malzemeler dört grupta sınıflandırılmaktadır.

a) Dolgu malzemesi olarak kullanılan tozlar,

b) Bağlayıcı olarak kullanılan tozlar,

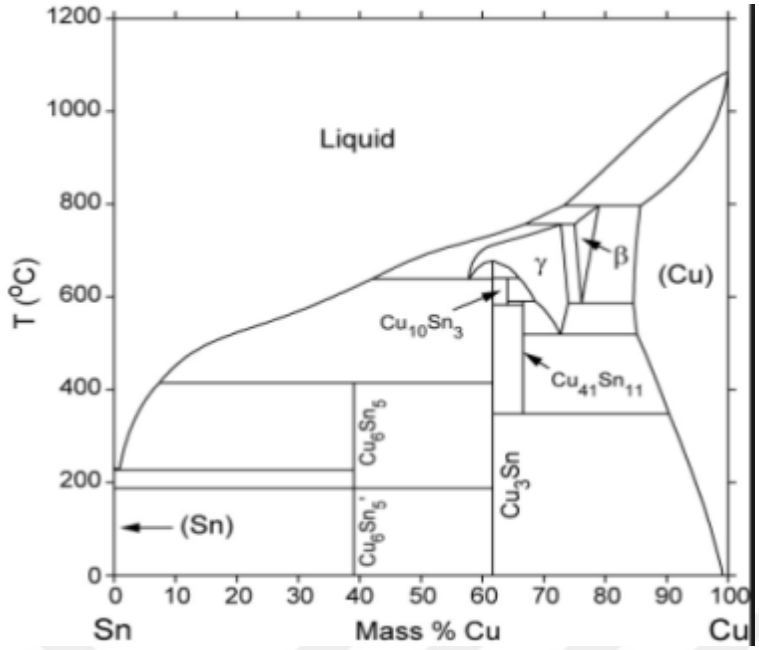
c) Mukavemet arttırıcı tozlar,

d) Elmas tozları

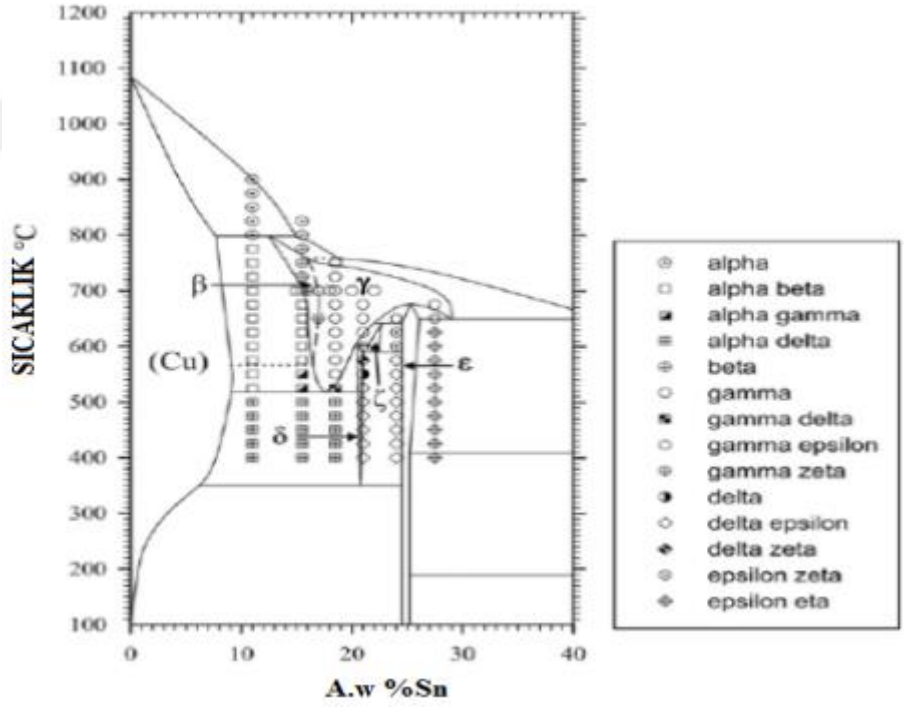
3.2.1 Dolgu malzemesi olarak kullanılan tozlar

Elmas soketlerde dolgu malzemesi olarak kullanılan tozlar hem sokette matriksin hızlı aşınmasını sağlayarak talaş açma kanalları oluşturur hem de sinterleme esnasında oluşan gözenekleri kapatır. Soketlerde dolgu malzemesi olarak genellikle bronz veya pirinç kullanılmaktadır. Dolgu malzemesi sinterleme esnasında sıcaklığın etkisi ile ergiyip hem elmas tanelerini ıslatmakta hem de yapıda oluşan gözenekleri kapatmaktadır. Sonuç olarak yüksek oranda gözeneksiz soketler üretilebilmektedir. Dolgu yapıcı malzeme olarak hem ticari olarak daha ucuz olan hem de rahatlıkla bulunabilen bronz tozu yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bakır ve elmas taneleri arasındaki ara yüzey, takviye fazı olan elmas tanelerinin termal iletkenlikten ne kadar yararlanacağını belirlediği için çok önemlidir fakat kimyasal inertlikten dolayı elmas, Cu ile zayıf bir ara yüzey oluşturur [32].



Şekil 3.4 Bakır-Kalay faz diyagramı [4].



Şekil 3.5 Bakır-Kalay faz diyagramında meydana gelen fazlar [33].

Şekil 3.4 ve 3.5' e bakıldığında %85 Cu-%15 Sn bileşiminde 1000°C de tamamen sıvı fazda bulunmaktadır. 800°C de ise Cu+Sıvı fazı β fazına ($Cu_{17}Sn_3$) dönüşmektedir [33].

Toz metalürjisi ile üretilen elmas soketlerde saf sıvı bakırın elmas için iyi bir ıslatıcı olmadığı, bakır tozları ile elmas taneleri arsında zayıf bir ara yüzey özelliklerine sahip olduğu literatürde yer alan çalışmalarda açık bir şekilde görülmektedir [34].

3.2.2 Bağlayıcı olarak kullanılan tozlar

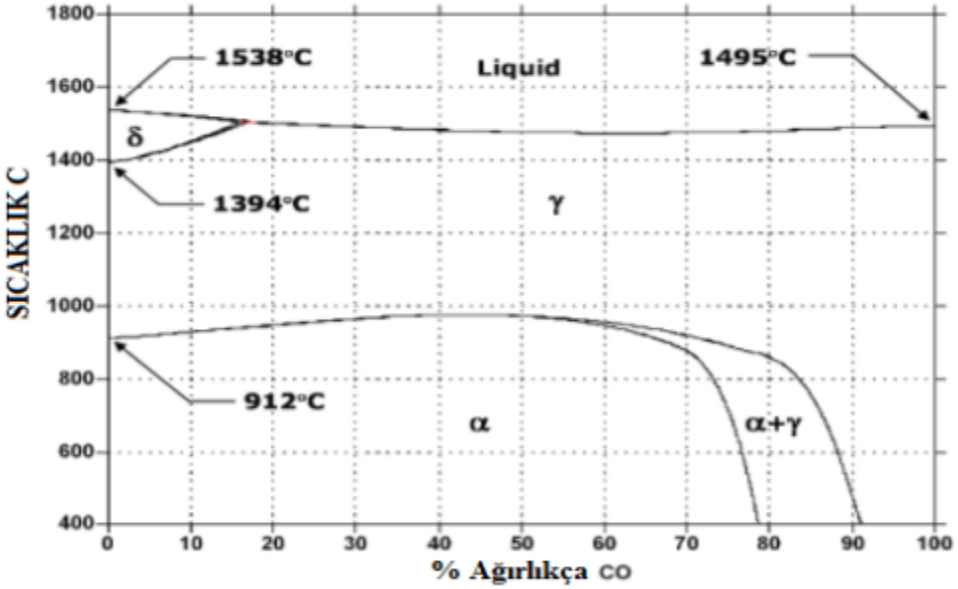
Elmas soketlerde bağlayıcı malzeme olarak Co, Ni, Fe tozları veya bu tozların karışımları kullanılmaktadır. Kobaltın bağlayıcı kabiliyetinin yüksek olması, ıslatma özelliğinin iyi olmasına karşın fiyatının aşırı yüksek olması nedeni ile sanayide soket üretiminde bağlayıcı matriks olarak genellikle Co ve ucuz olan Fe belli oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadır. Sinterleme esnasında Co matriks son derece yüksek elmas tutma özelliğine sahiptir. Bu özellik doğal taşların kesimi ve işlenmesi için son derece de önemlidir [35].

Designation	Nominal chemical composition, wt-%				FSSS, µm	Producer
	Fe	Cu	Co	Others		
Next 100	29	46	25	-	0.8-1.5	Eurotungstene
Next 200	15	60	25	-	0.8-1.5	
Next 300	72	3	25	-	~4	
Next 400	50	35	15	-	2.5	
Next 900	80	20	-	-	~3	
Keen 10	58	17	25	-	~2.5	
Keen 20	43	33	19	5Mo	~3	
Cobalite 601	70	20	10	-	~5	Umicore
Cobalite HDR	66	7	27	-	6-7	
Cobalite CNF	68.4	26	-	3Sn; 2W; 0.6Y_2O_3	~2	
Cobalite XH	43	10	47	-	3	
Cobalite OLS	28	47	25	-	1.4	

Şekil 3.6 Ticari soketlerde kullanılan kobalta alternatif tozlar [36].

Elmas soketlerde bağlayıcı tozların ana görevi, elmas taneleri ile sıkı bir fiziksel veya kimyasal bağ oluşturarak elmas tanelerini yapıda tutmaktır. Ana matrikste bağlayıcı toz olarak kobalt sinterleme esnasında yüksek sıcaklıklarda elmas taneleri ile kimyasal bir uyumluluk içerisindedir, ayrıca kesme işlemi esnasında ve sonrasında yapıda yüksek aşınma direnci ve diğer metal tozlara oranla daha yüksek elmas tutma kabiliyeti mevcuttur [36].

Kobalt esaslı alaşımlar çoğu özelliğini, bu metalin kristalografik yapısından ve içerisine takviye edilen tungsten' in yapının dayanımı arttırması ve sert karbürleri şekillendirmesi ile kazanır 1495˚C üzerinde kararlı olan yüzey merkezli kübik allotropisi ikincisi ise, 417˚C altındaki sıcaklıklarda kararlı olan hegzagonal sıkı paket yapısındaki alotropisidir [37].



Şekil 3.7 Fe-Co faz diyagramı [36].

3.2.3 Mukavemet arttırıcı tozlar

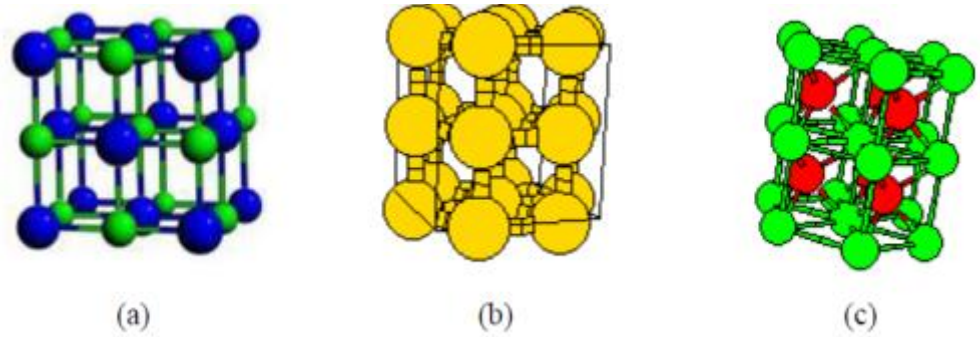
Yüksek sertlikte olan taşların kesiminde kullanılacak olan elmas soketlerde matriks yapının optimum derecede aşınmasını sağlayacak oranlarda mukavemet veya sertlik artırıcı malzemeler toz halinde kullanılabilmektedir. Mukavemet arttırıcı tozlara SiC, WC, TiC, MoC gibi malzemeler örnek verilebilir. Bu karbürlü yapılar elmas soket içerisinde ikincil aşındırıcı olarak kullanılmaktadır [25].

Özellikle bağlayıcı matriks olarak kobaltın kullanıldığı elmas soketlerde mukavemet arttırıcı toz olarak genellikle tungsten karbür (WC) tercih edilmektedir. Kobalt matriksli WC ilave edilmiş kompozitler yüksek sertlik, mekanik yüklere ve aşınmaya karşı yüksek dayanımlarından dolayı, aşınmaya dayanıklı olması istenilen genellikle kesici, parlatıcı ve delici takımlarda kullanılan çok dayanıklı malzemelerdir. WC aşırı sert bir malzeme olduğu için kobalt gibi sünek bir metal matriksin içine ilave edilerek elmas soketin aşırı sünekliğini engelleyerek yapıda doğal semente karbür oluşturarak aşınma direncini daha da artırmaktadır [36,38,39].

Çizelge 3.1 Tungsten karbüre ait bazı özellikler [35]

Malzeme	Sertlik HV (50kg)	Kristal yapı	Ergime sıcaklığı (˚C)	Yoğunluk (g/cm3)
WC	2200	Hekzagonal	2870	15,63
W_2C	3000	Hekzagonal	2730	17,3

Şekil 3.8' de farklı stokiyometrik oranlara sahip WC fazlarının kristal kafeslerinin görüntüsü şematik olarak verilmiştir. Burada W_2C (β) hekzagonal sıkı paket yapısında, WC_{1-x} (γ) yüzey merkezli kübik yapıda ve WC (δ) fazı basit hekzagonal kristal kafes yapısındadır [37].



Şekil 3.8 Tungsten karbürün kristal yapıları a) WC1-x, b) WC, c) W_2C [36].

Literatürde WC ile ilgili yapılan çalışmalarda bu üç fazında aşırı derecede sert ve dayanıklı oldukları öne sürülmüştür. WC üretiminde W_2C fazı ara ürün olarak ortaya çıkmaktadır [36].

3.2.4 Elmas tozları

Elmas soketlerde genellikle istenilen özelliklerde sentezlenebildiği için sentetik elmaslar tercih edilmektedir.

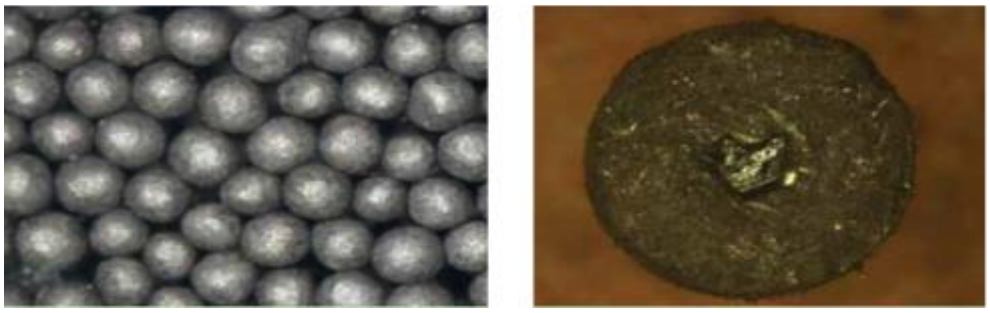
Her ne kadar bağlayıcı toz olarak kullanılan Co tozu ile elmas taneleri fiziksel bağ kursa da kimyasal bağ kurmada oldukça zorlanmaktadır. Ticari soketlerde maliyet açısından Fe tozunun belli oranlarda Co tozuna ilavesi ile elmas taneleri arasında ki kimyasal bağ olayı gittikçe zorlanmaktadır ayrıca Fe iyi bir karbon çözücü olduğu için yüksek sıcaklıklarda elmasın yapısal olarak bozunumuna da neden olmaktadır.

Ayrıca sinterleme esnasında yüksek sıcaklıklardan oda sıcaklığına soğutma esnasında elmas taneleri ile metal matriks arasındaki termal genleşme katsayıları arasındaki uyumsuzluk nedeni ile matriks tarafından çevrelenen elmas taneleri yüksek bir kuvvete maruz kalır ve burada karmaşık gerilme ve deformasyon bölgeleri meydana gelir [26].

Elmas tanelerinin dış yüzeyinin kaplanması ile hem elmas matriks ara yüzeyinde artan yapışma kuvveti ile kimyasal bağ oluşumu sağlanabilir hem de elmasın yüksek sıcaklıklarda elmas bozunumu engellenmiş olur. Ayrıca elmas tanelerinin dış yüzeylerinin karbür yapıcı bir metal ile kaplaması sonucu elmas soketin aşınmaya karşı direncinin artabileceği literatürde yer alan çalışmalarda öne sürülmüştür.

Günümüzde CVD, PVD gibi kaplama yöntemleri ile elmas tanelerinin yüzeyleri karbür yapıcı metal ile yüzeyde ince bir film oluşturacak şekilde kaplanabilmektedir.

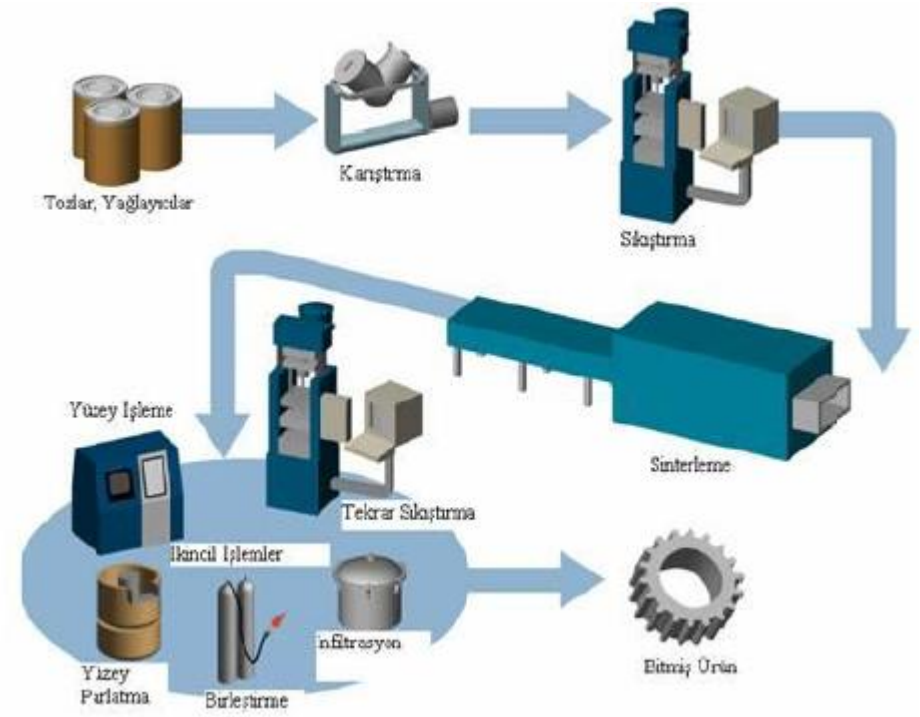
Şekil 3.9' da Element Six firmasının elmas soketlerde kullanımı için Encapsulated teknolojisi ile üretmiş olduğu elmas peletler görülmektedir.



Şekil 3.9 Encapsulated teknolojisi ile kaplanmış elmasların görünümü.

3.3 Elmas soket üretimi

Elmas soket üretiminde genellikle toz metalürjisi ile üretim yöntemi kullanılmaktadır. Ham madde kullanımının düşük olması, seri üretime yatkınlık ve nihai ürünün kullanıma hazır olarak son şekline yakın olarak elde edilmesi üretim tekniği olarak toz metalürjisinin tercih sebebidir [40].

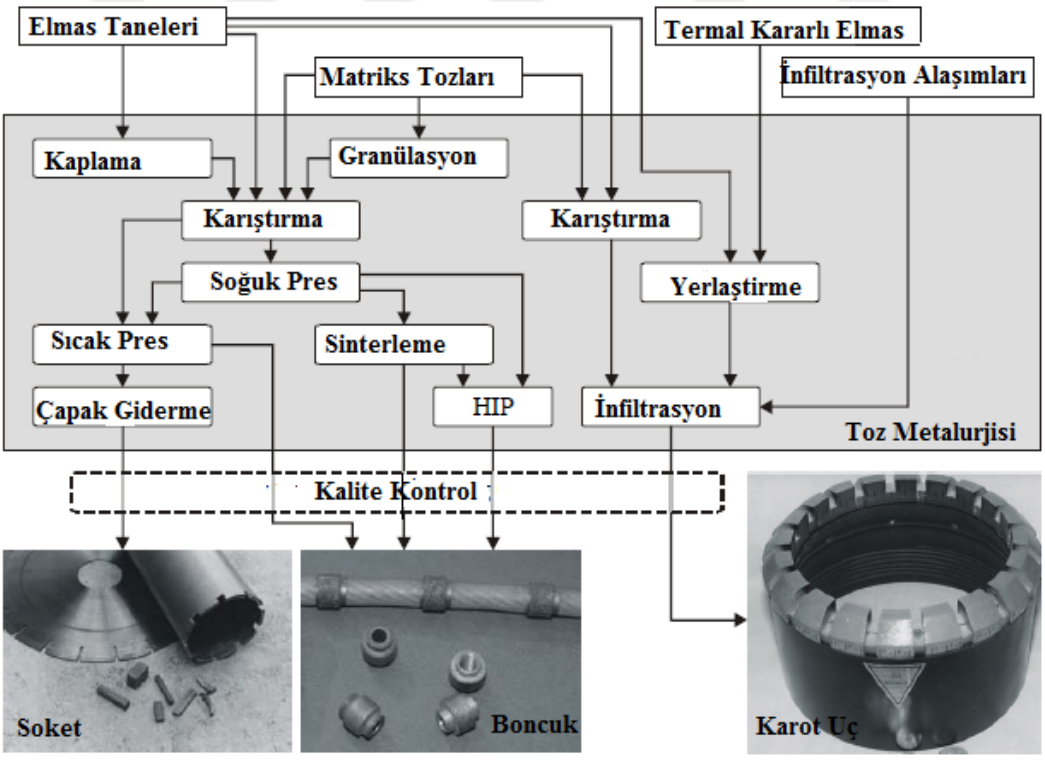


Şekil 3.10 Toz metalürjisi yöntemi ile parça üretim aşamaları [41].

Toz metalürjisi ile parça üretiminin avantajları maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir;

- Daha az malzeme kaybı
- Seri ve yüksek üretim hızı
- Daha az maliyet
- Fazla karmaşık parçaların üretimi
- Yüksek yoğunlukta daha az porozite ye sahip malzeme üretimi
- Daha az pürüzsüz düzgün yüzey
- Daha iyi mikro yapısal ve mekanik özellikler [41].

Toz metalürjisi yöntemi ile elmas soket üretim basamakları şekil 3.11' de şematik olarak verilmiştir. Soğuk presleme, sinterleme, infiltrasyon aşamaları proseste yaygın olarak kullanılmaktadır ancak, HIP (sıcak izostatik pres) veya lazer eritme gibi işlem basamakları sinterleme veya sıcak presleme aşamaları yerine yapılarak mekanik özellikleri ve mikro yapıyı geliştirme amacı ile gerçekleştirilmektedir [8].



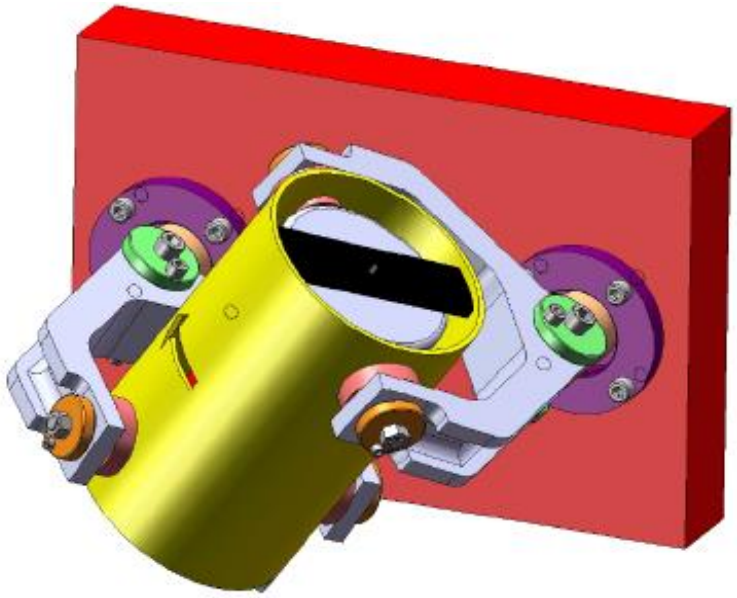
Şekil 3.11 Elmas soketlerin toz metalürjisi ile üretim aşamaları [42].

Elmas soketlerin toz metalürjisi yöntemi ile üretim prosesi aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır;

- Matriks toz karışımının hazırlanması
- Matriks tozları ile elmas karışımının hazırlanması
- Soğuk presleme
- Sıcak presleme/ Sinterleme
- Çapak giderme
- Kalite kontrol
- Lehim/lazer kaynağı [43].

3.3.1 Matriks tozlarının hazırlanması

Toz metalürjisi ile elmas soket üretiminde ilk aşama matriksi oluşturan dolgu malzemesi tozları, bağlayıcı tozları ve var ise mukavemet arttırıcı tozların karıştırılarak hazırlanmasıdır. Karıştırma işlemi matriks tozlarının presleme esnasında yapıda homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak amacı ile yapılır ve soketin mikro yapısının homojenliği için oldukça önemli bir aşamadır. Bu aşamada tozlar karıştırılacakken ortama %2-%3 oranında tozlar arasında segregasyonu önlemek için bağlayıcı ilave edilir. Bağlayıcı olarak genellikle parafin, polietilen glikol ve türevleri gibi polimerler kullanılmaktadır.



Şekil 3.12 Üç boyutlu dönebilen toz karıştırma mikseri [41].

3.3.2 Matriks-elmas karışımının hazırlanması

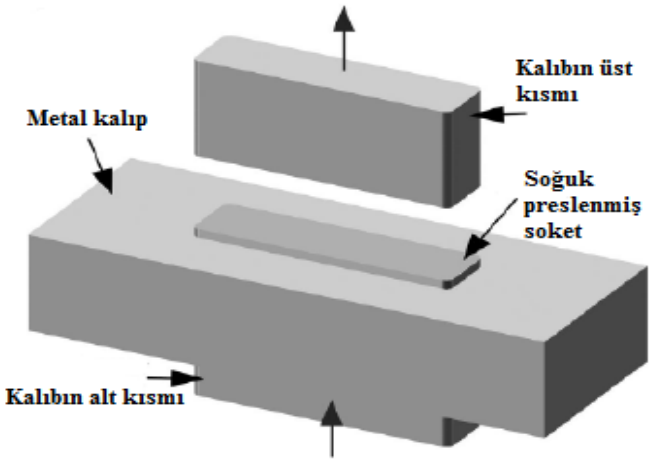
Matriks-elmas karıştırma işleminin nihai ürünün kalitesi üzerine büyük etkisi vardır. Matriks tozları ile elmas tozlarının soket içerisinde homojen olarak dağılmaması, elmasların kümelenme sorununun olması elmas soketin erken aşınmasına neden olacaktır. Elmas kümelenmesinin önüne geçmek için her bir elmas tanesi matriks tozları ile kaplanabilir ve daha iyi elmas dağılımı sağlanır [43].

3.3.3 Soğuk presleme

Soğuk presleme, homojen bir yapıya sahip geleneksek ticari soketlerin üretiminde isteğe bağlı bir aşamadır. Soğuk presleme aşamasında ek donanımlara gerek duyulurken, sonraki aşama olan sinterleme esnasında grafit kalıbın aşınmasını azaltacaktır [42].

Soğuk presleme genellikle metal kalıplarda orta düzeyde basınç uygulamak sureti ile çift taraflı olarak gerçekleştirilir.

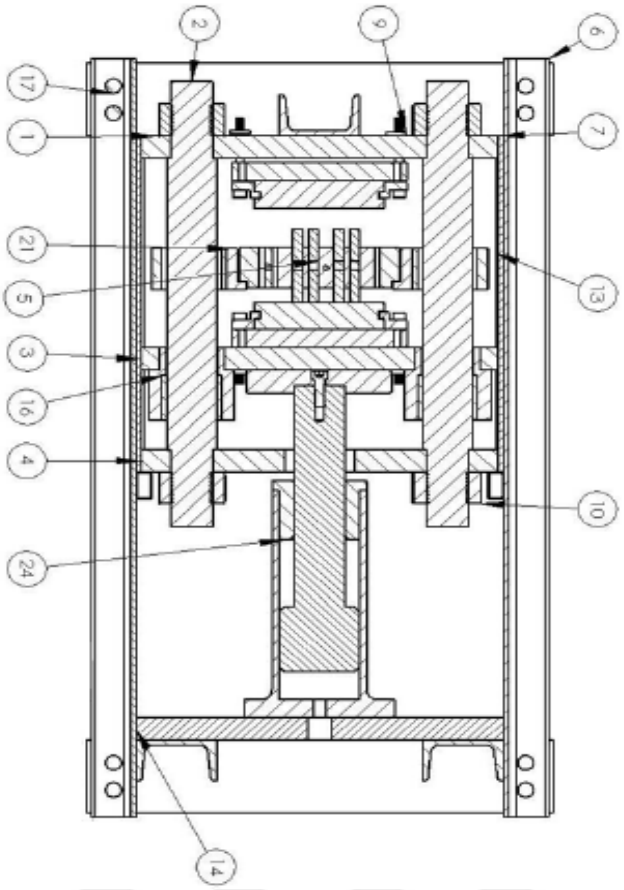
Şekil 3.13' de soğuk presleme esnasında kullanılan presleme makinesine ait metal kalıbın resmi verilmiştir.



Şekil 3.13 Soğuk pres kalıbı [27].

3.3.4 Sıcak presleme/ Sinterleme

Sıcak presleme, mikro yapı ve mekanik özelliklere olan önemli etkisinden dolayı elmas soket üretimi yapan her yerde kullanılmaktadır [16]. Elmas sokette gözenek bırakmamak için basınç ve sıcaklığın eş zamanlı olarak uygulandığı bir ısıl işlem basamağıdır ve toz metalürjisi yönteminin en önemli aşamasıdır [44]. Bu aşamada tozların preslenmesi ve sinterlenmesi aynı anda olmaktadır.

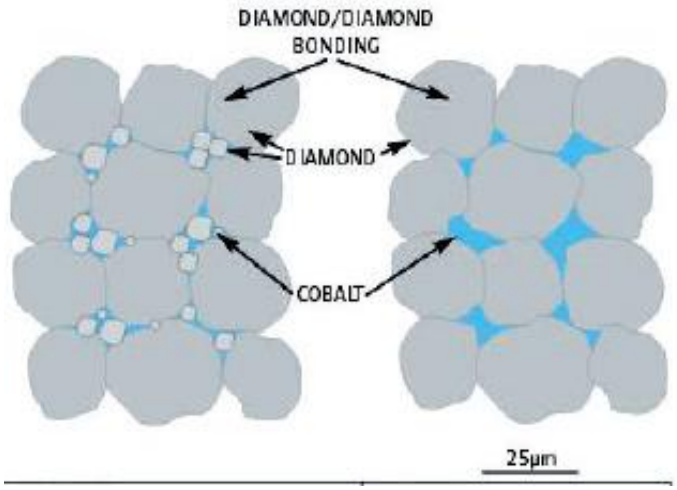


Parça no	Parça adı
1	üst plaka
2	kolon
3	orta plaka
4	alt plaka
5	Grafit Kalıp
6	dış tutucu
7	yan sac 2 adet
8	arka sac bakırlı
9	izole fiberi
10	M42 civata
11	M16 Civata
12	Kalıp tutucu
13	grafit elektrot tutucu
14	alt kriko plakası
15	ön kapak
16	bronz burç
17	m16 civata
18	M16 x 35 35S
19	M16 x 25 25S
20	M5 x 25 25S
21	kalıp tutucu kolon
24	hidrolik piston

Şekil 3.14 Sıcak presleme makinasının şematik görünümü [41].

Sıcak presleme aşaması ile elmas soket üretiminde yüksek verimlilik sağlar ayrıca ortamda kullanılan CO/CO_2 koruyucu atmosferi sayesinde hem matriksi hem de elmas tanelerini oksidasyona karşı korur [42].

Şekil 3.15' de sıcak presleme sonrası Co tanelerinin bağlayıcı matriks olarak elmas tanelerini ıslattığını ve bir arada tuttuğunu gösteren şekil verilmiştir.



Şekil 3.15 Co 'ın elmas tanelerini ıslatması [45].

Toz metalürjisi ile elmas soket üretiminde matriks ve elmas tozları karıştırıldıktan sonra soğuk preslenir ve grafit kalıba soketler yerleştirilerek sinter fırınına gönderilir.

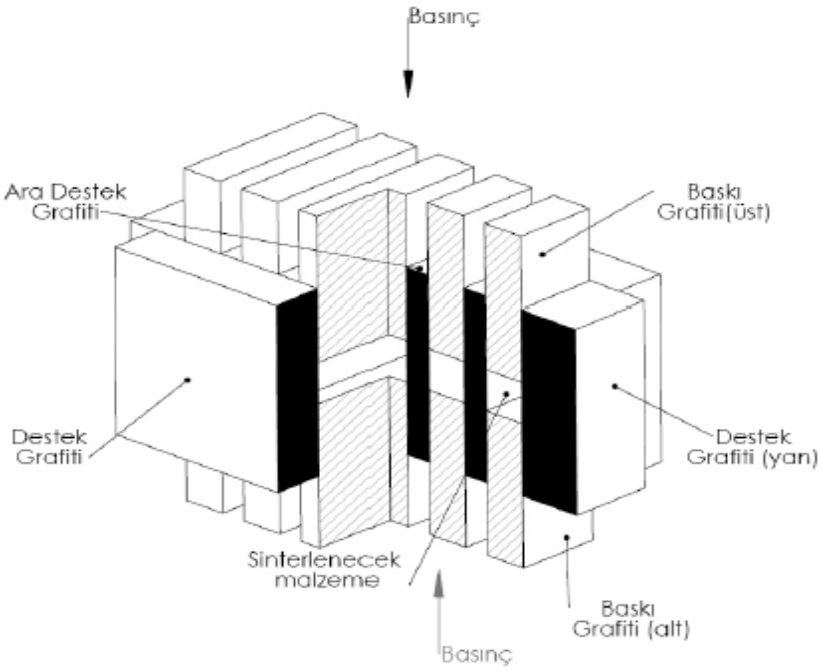
Sinterleme, belli bir hacimdeki parçanın belli bir sürede ısıl enerji uygulanarak metal ve seramik tozlarından kontrollü malzeme üretim yöntemidir.

Sıcak presleme esnasında elmas soketlerin kalitesini sıcaklık, basınç ve zaman gibi değişkenler belirlemektedir. Presleme esnasında kullanılan basınç metal tozlarının çeşidine bağlı olmasına rağmen elmas soket üretiminde uygulanan basınç genellikle 35MPadır. Ticari elmas soket üretiminde zaman çevrimi ise genellikle 10-15 dakika arasındadır, sinterleme sıcaklığı ise elmasın matrikse tutunma kabiliyetini etkileyen en önemli faktördür [25].

Sinterleme birbiri ile temas halinde olan tozların yüksek ısıda birbirine bağlanmasını sağlar. Küçük boyuttaki tozların yüzey alanları daha fazla olduğu için daha fazla temas olacağından daha kolay ve hızlı sinterlenir [45].

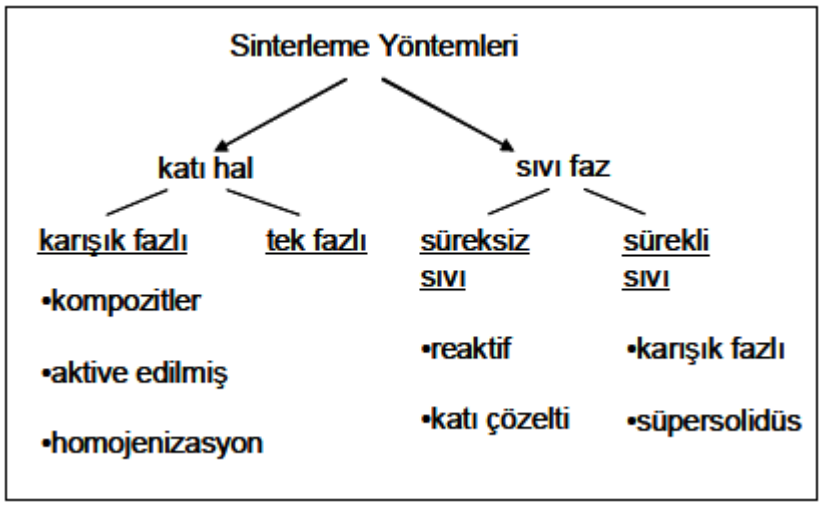
Grafit kalıplar parça üretiminde yüksek verimlilik sağladığı ve yüksek sıcaklıklarda gaz halindeki CO ve CO_2 den dolayı hem matriksin hem de elmasın oksitlenmesini engelleyebildiklerinden dolayı sinterleme işleminde genellikle kalıp olarak kullanılmaktadır [25].

Şekil 3.16' da sinterleme esnasında kullanılan grafit kalıbın görüntüsü verilmiştir.



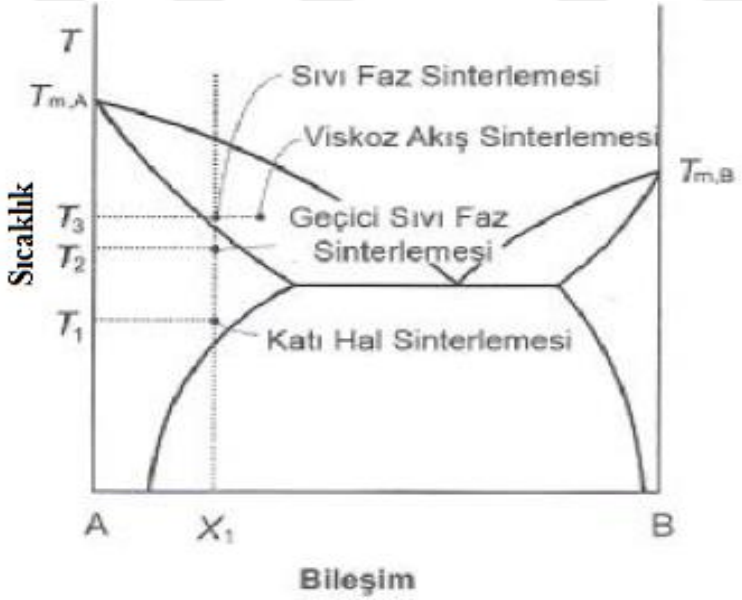
Şekil 3.16 Grafit kalıbın görünümü.

Sinterleme mekanizması yapıdaki farklı tozların faz diyagramlarındaki bileşimlerinin bulunduğu bölgelere göre çeşitlilik göstermektedir. Şekil 3.17' de sinterleme yöntemleri verilmiştir.



Şekil 3.17 Sinterleme yöntemleri [45].

Temelde sinterleme işlemi yöntem olarak katı hal ve sıvı faz sinterlemesi adı altında iki sınıfa ayrılmaktadır. Şekil 3.18' de temsili bir faz diyagramı üzerinde sinterleme yöntemleri örneklenmiştir.



Şekil 3.18 Farklı sinterleme yöntemlerinin örnekleri [45].

Faz diyagramında T_1 sıcaklığında, X_i bileşiminde A ve B tozları arasında katı hal sinteri meydana gelirken, T_3 sıcaklığında X_i bileşiminde sıvı faz sinterleme meydana gelmektedir [45].

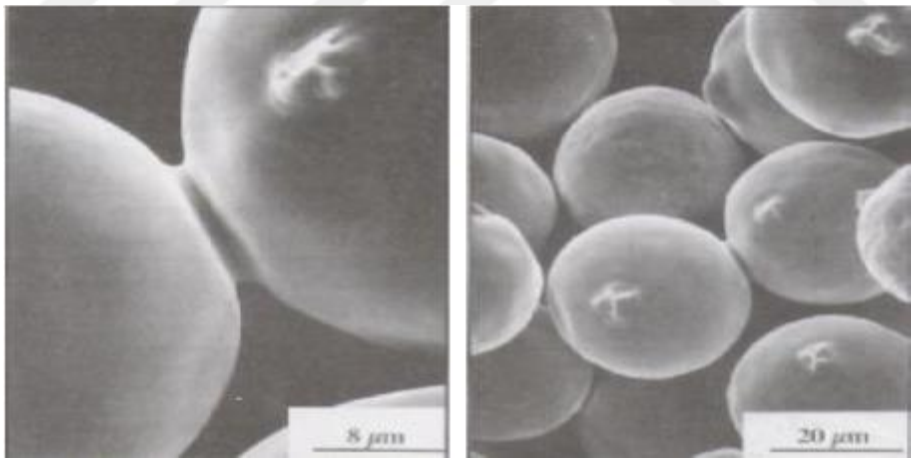
Sinterleme işleminde toz sisteminin sinterlenebilirliğini ve mikro yapısını etkileyen ve belirleyen birçok faktör mevcuttur. Çizelge 3.2' de bu faktörler verilmiştir.

Çizelge 3.2 Sinterlenebilirliği ve mikro yapıyı etkileyen faktörler

	Toz	Kimya
Başlangıç malzemeleri ile ilgili faktörler	Şekil, boyut, aglomerasyon	Bileşim, empürite, homojenlik
Sinterleme koşulları ile ilgili faktörler	Sıcaklık, süre, basınç, atmosfer, Isıtma ve soğutma hızı	

Presleme işleminden sonra belirli bir şekle girmiş tozlar arasında boşluklar vardır. Sinterleme esnasında difüzyon sayesinde birbiri ile temas halinde olan tozlar arasında boyun oluşumu olarak adlandırılan bağ oluşur ve bu olay sinterlemenin ilk aşamasıdır [17].

Şekil 3.19' da sinterleme esnasında tozlar arasındaki boyun oluşumunun SEM fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.19 Sinterleme esnasında meydana gelen boyun oluşumu [45].

Boyun oluşumu gittikçe artar ve zamanla tanelerin birbiri ile teması artarak aralardaki boşluklar yok olmaya başlar. Bu sırada gözeneklerin şekilleri de küreselleşir. İdeal bir sinterleme işlemi neticesinde gözenekler tamamen ortadan yok olur ve malzeme bulk bir kütle haline gelir.

Şekil 3.20' de sinterleme de tozların birleşmesi ve gözenek morfolojisinin değişimini gösteren temsili resim verilmiştir.

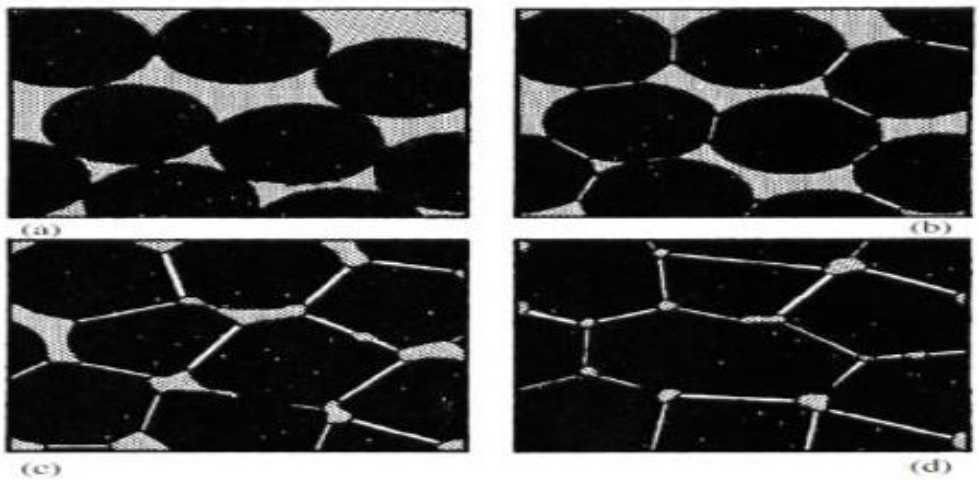


Şekil 3.20 Tozların birleşmesi ve gözenek morfolojisinin değişimi [17].

Çizelge 3.3' de sinterlemenin aşamaları verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi ilk evre boyun oluşumu daha sonra gözeneklerin küreselleşmesi ve en son gözeneklerin kapanması evrelerinden oluşmaktadır. Şekil 3.21' de sinterleme aşamalarının temsili resmi verilmiştir.

Çizelge 3.3 Sinterleme aşamaları [17]

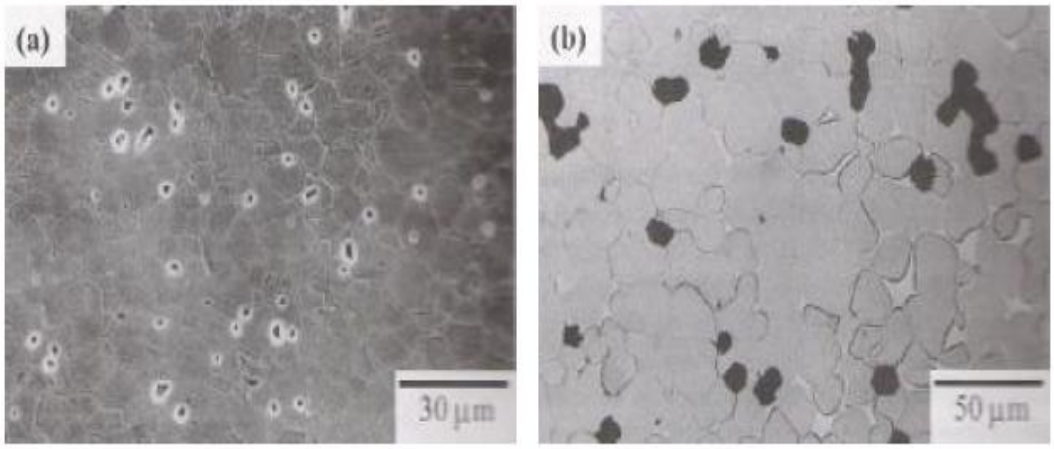
Aşama	Süreç	Yüzey Alan	Yoğunlaşma	Tane Büyümesi
Yapışma	Temas oluşumu	En az düzeyde	Yok	Yok
Başlangıç	Boyun büyümesi	Önemli ölçüde	Başlangıçta az	En az düzeyde
Orta	Gözeneklerin	Açık	Önemli ölçüde	Tane boyutu
Son	Gözeneklerin	İhmal edilebilir	Çok az	Tane büyümesi



Şekil 3.21 Sinter aşamaları a) gevşek toz, b) ilk, c)orta, d) son aşama [45].

Sıvı faz sinterleme; yapıdaki tozlardan en az birinin solidüs sıcaklığının üzerinde ki bir bölgede sıvılaşmanın meydana geldiği, preslenmiş tozların güçlendirildiği sinterleme yöntemidir. Sıvı içerisinde malzeme taşınım olayı katı hal sinterlemeye nazaran daha kolay olduğu için sinterleme daha hızlı meydana gelir. Sıvı faz sinterlemede oluşan sıvı faz katı tozlara daha fazla temas ettiği için mikro yapıda ve mekanik özelliklerde katı hal sinterlemeye göre gelişmeler söz konusudur.

Şekil 3,22' de katı hal ve sıvı faz sinter de meydana gelen mikro yapıların görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.22 Katı hal ve sıvı faz sinterleme sonrası mikro yapı fotoğrafları a) katı hal, b) sıvı faz sinterleme [45].

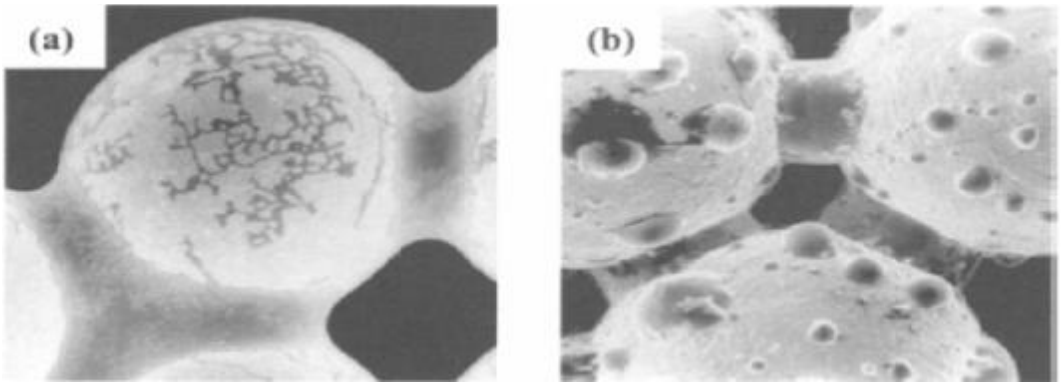
İdeal bir sıvı faz sinterleme için;

- Sıvılaşmanın düşük sıcaklıklarda meydana gelmesi
- Oluşan sıvı içerisinde katının çözünmesi
- Sıvı fazın katı fazı uygun bir ıslatma derecesi ile ıslatabilmesi

Bu koşullar sağlandığında sıvı faz ideal bir şekilde yayılarak yüzey enerjisini düşürecektir.

Sıvı faz sinterlemede düzenlenme evresindeki yoğunlaşma, düşük ıslatma açısı ve yüksek sıvı-buhar yüzey enerjisi ile sağlanmaktadır. Islatma açısı, 90° den az olduğunda basınç farkı partiküllerde çekime neden olurken, ıslatma açısı 90° den yüksek olduğunda partiküller itici bir etkiye sahip olur ve ıslatma meydana gelmez yani, ıslatma açısı yüksek olunca partikülleri saran sıvı faz aglomera olma eğilimindedir [45].

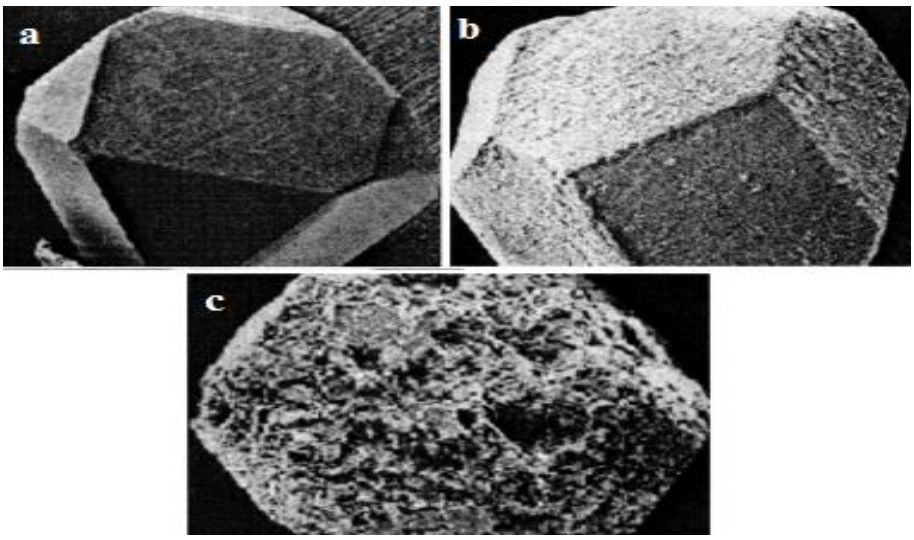
Şekil 3.23' de ıslatma açılarının W taneleri arasındaki Cu dağılımını gösteren mikro yapı fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 3.23 Farklı ıslatma açıları için W partikülleri arasında Cu dağılımı a) 8°,b) 85°.

Ticari elmas soket üretiminde kullanılacak matriks tozlarının aralarındaki çözünürlük yayılmayı teşvik etmektedir. Ayrıca sokette dolgu malzemesi olarak kullanılan bronz düşük sıcaklıklarda sıvı faz bölgesine geçtiği için sinterleme sıvı faz sinterleme mekanizması şartlarında gerçekleşecektir. Bunun sonucunda daha gelişmiş bir mikro yapı ve mekanik özellikler elde edilerek dayanıklı ticari elmas soket üretimi yapılmaktadır.

Yukarıda da bahsedildiği gibi sinterleme koşulları elmas soketin matriks özelliklerine etki ederken elmasın özelliklerine de etki etmektedir. Özellikle sinterleme sıcaklığının elmasın yüzey bozunumuna büyük etkisi vardır. Şekil 3.24' de sinterleme sıcaklığının elmasın yüzey özelliklerine etkisini gösteren SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.24 Sinter sıcaklığının elmas yüzeyine etkisi a)800°, b)900°, c)1000° [25].

3.3.5 Çapak giderme

Sinterleme işleminden sonra fırından çıkarılan soketler çapak giderme işlemine tabi tutularak elmas soketlerin köşeleri düzeltilir ve soket temizlenir. Temizleme işlemleri için kaba taneli zımpara aşındırıcılar kullanılmaktadır.

3.3.6 Kalite kontrol

Üretilen ticari elmas soketlerin istenilen boyutta ve sertlikte olduğu kontrol edilerek üretim basamaklarının sorunsuz bir şekilde yerine getirilip getirilmediği uzman kişiler tarafından kontrol edilir.

3.3.7 Sert lehimleme/Lazer kaynağı

Üretilen soketler çelik bir gövdeye lehim ya da kaynak ile bağlanarak elmas kesici takım üretilir.

4. LİTERATÜR TARAMASI

Li ve ark, yapmış oldukları çalışmada kobalt matriksli kompozit içerisine kobalt kaplanmış Al_2O_3 ve TiC taneleri ilave ederek kaplı tanelerin matriksin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlar ve kobalt kaplı tozların daha homojen bir şekilde matrikse dağıldığını, sinterleme kabiliyeti ile kompozitin kırılma davranışlarını önemli ölçüde geliştirdiğini rapor etmişlerdir [46].

Liu ve ark, yapmış oldukları çalışmada 10 nm kalınlığında TiC kaplanmış elmasları alüminyum esaslı bir kompozitin içerisine ilave etmişler ve kaplamanın elmas ile Al arasındaki ıslanabilirliği artırdığını ve bu iki yapı arasındaki kimyasal bağlanmanın arttığını rapor etmişlerdir [47].

Weidenmann ve ark, yapmış oldukları çalışmada elmas katkılı metal kompozitlerin mekanik davranışlarını incelemiş ve elmas katkısının metal matriksli kompozitin young's modülüsü değerini artırdığını, elmas tanelerinin boyutunun kompozitin kırılma tokluğu üzerine çok büyük etkisi olduğunu rapor etmişlerdir [48].

Gu ve ark, yapmış oldukları çalışmada mikrodalga ısıtma yöntemi ile elmas partiküllerinin Ti ile kaplanabilirliğini araştırmışlardır. Bahsedilen kaplama yöntemi sayesinde elmasın optimal olarak 760˚C de Ti ile kaplanabileceğini, kaplama ile elmas- metal matriks arasındaki bağlanma kuvvetinin arttığını rapor etmişlerdir [9].

Oliveria ve ark, yapmış oldukları çalışmada demir esaslı elmas sokete SiC ilavesinin mekanik özellikler üzerine etkisini araştırmışlar ve SiC ilavesinin sertliği, akma dayanımını, aşınma direncini büyük ölçüde artırdığını rapor etmişlerdir [49].

Xu ve Yu, yapmış oldukları çalışmada Ti-Cr kaplanmış elmas soketlerin mekanik özelliklerini araştırmışlar ve Ti-Cr kaplı elmas sokette meydana gelen aşınmanın kaplamasız soketlere nazaran çok daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir [50].

Ersoy ve ark, yapmış oldukları çalışmada elmas soketlerin farklı kayaçlardaki aşınma karakteristiğini araştırmışlardır. Laboratuvar ortamında farklı besleme hızlarında, kesim derinliklerinde ve sabit hızda elmas soket ile on çeşit kayaç kesmişlerdir. Kesilen kayaçlarda ana aşınma türü abrasif aşınma olduğunu rapor etmişlerdir [51].

Büyüksağış' a göre, yukarı kesme yöntemi aşağı kesme yöntemi ile kıyaslandığında daha verimli bir yöntemdir. Spesifik aşınma oranı değerleri yukarı kesme yönteminde daha yüksektir [11].

Xi ve ark, yapmış oldukları çalışmada Ni-P kaplanmış elmasın özelliklerine fosfor konsantrasyonunun etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarında Ni-P kaplı elmaslarda düşük fosfor konsantrasyonunda düşük pürüzlülük, daha yüksek termal direnç ve daha iyi yüzey özellikleri sergilediğini rapor etmişlerdir [22].

Zeren ve Karagöz, başarılı bir elmas soket tasarımının yüksek kalitede matriks tozları ve uygun elmas tanelerinin seçimi ile başladığını ve soket mikro yapısının elmas ve matriks tarafından karakterize edildiğini rapor etmişlerdir [52].

Zeren ve Karagöz bir diğer çalışmalarında verimli bir takım performansı için metal matriks ve elmas taneleri arasındaki ara yüzey bağ reaksiyonunun önemli olduğunu, bağ karakteristiğinin basınç, sinterleme sıcaklığı ve zamanın bir fonksiyonu olarak sıcak presleme esnasında geliştiğini rapor etmişlerdir [53].

Jianxin ve ark, yapmış oldukları çalışmada 700˚C' ye kadar olan sıcaklıklarda elmasın sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Elmasın sürtünme katsayısının sıcaklığa bağlı olduğunu ve artan sıcaklık ile sürtünme katsayısının azaldığını, farklı sıcaklıklarda yapılan aşınma testinde aşınma yüzeylerindeki farklılıkların kimyasal dönüşüm ile ilgili olduğunu gerçekleştirdikleri deneysel çalışma ile ortaya koymuşlardır [54].

Dong ve ark, yapmış oldukları çalışmada dış yüzeyi Ti ile kaplanmış elmasın bakır ve elmas ara yüzeyi arasındaki ıslatabilirliği artırdığını rapor etmişlerdir [23].

Davim yapmış olduğu çalışmada elmas soket içine ilave edilen SiC ile yüksek yüzey sertliği ve uzun takım ömrü elde edilebildiği, CVD ile ince film şeklinde metal yüzeyine kaplanmış elmas aşınma sırasında kaplama kırıldıktan sonra çok hızlı bir şekilde aşınacağı için soketin ömrünün kısa olacağını rapor etmiştir [55].

Nitkiewicz ve Swierzy' ye göre elmas soketlerin 700˚C' nin üstündeki sıcaklıklarda sinterlenmesi gerekir ve sokete %11 Sn ilavesi sertliği artırır ve yoğunlaşma derecesini artırarak yüksek yoğunlukta elmas soketler elde edilebilir. Co ve Sn sinterleme şartlarında Co_3Sn_2 fazını oluşturmaktadır. Ayrıca Sn, Cu ve Ni in katı çözelti oluşumunu artırmaktadır [56].

Morisada ve Miyamoto yapmış oldukları çalışmada ince bir SiC tabaka ile kaplanmış elmasın oksidasyon dayanımı ve SiC'ün büyüme mekanizmasını araştırmışlar ve SiC kaplı elmasın oksidasyona 950˚C de başlayarak oksidasyon direncinin SiC tabakasının kalınlığına bağlı olarak arttığını rapor etmişlerdir [12].

Xu ve ark.' na göre nadir elementlerin ilavesi ile bağlayıcı matrikste oksijen konsantrasyonu azalır bundan dolayı elmas soketin sertliğinde bir artış gözlemlenir. Matrikste yüksek Fe ve Ni içeriği elmas matriks ara yüzeyindeki bağlanmayı azaltır ve yüksek termal iletkenlik farkından dolayı çatlamalar meydana gelebilir. Kaplamalı elmas kullanılsa bile sinterleme esnasında kaplamanın hasar görmesi durumunda Fe ve Ni termal farklılıktan dolayı gene elmasa baskı uygulayacaktır [24].

Zeren ve Karagöz'e göre elmas soketler de elmas ve metal matriks arasındaki bağ reaksiyonunun derecesi metal tozlarının kompozisyonuna, partikül dağılımına, toz boyutuna, sinterleme sıcaklığı ve süresi ile indirgeyici gazlara bağlıdır [28].

Zeren ve Karagöz' ün elmas soketlerle ilgili yapmış oldukları bir başka çalışmaya göre matriks tozlarının temiz olmaması, inklüzyonlar, sinterleme prosesinin neden olduğu kusurlar ve mikro yapısal hatalar elmas soketlerin verimliliğini düşürmektedir. Yapıdaki inklüzyonlar ve oksitler çatlak başlatan kusurlardır [57].

Wang ve ark.'na göre Ti kaplanmış elmas tanelerinin dayanımı kaplanmamış tanelere göre daha yüksektir. Ti kaplama ile elmasın oksidasyon sıcaklığı 1024˚C' ye kadar çıkabilmektedir. Kesme esnasında elmas kopma oranı Ti kaplı elmaslarda yüksek bağ mukavemetinden dolayı daha azdır, soketin takım ömrü Ti kaplama sayesinde %36 artmıştır [58].

Xu, Tie ve Wu' ya göre Ti kaplı elmas nadir metal ilave edilmiş Fe-Ni-Bronz matriksin mukavemetini artırır, artan mukavemet matriksin kaplı elmaslar ile arasında olan yapışma kuvvetine bağlı olabilir [59].

Konstanty ve Tyrala' ya göre elmas sokette artan elmas konsantrasyonu neticesinde her bir elmas tanesi üzerine uygulanan yük düşecek ve matriks aşınmaya karşı korunacaktır [35].

Dhokey ve ark.' na göre elmas soketler düşük yük ve kayma hızında daha iyi performans gösterir, eş zamanlı yük artışı ve kayma hızı ile aşınma mekanizması iki yapılı aşınmadan üç yapılı aşınmaya geçer. Elmasların kırılması ve aşınma sırasında kopup yapıdan ayrılması aşınma sürecini hızlandırmaktadır [60].

Zong ve ark. yapmış oldukları çalışmada elmas soketlerin aşınma direncini tahmin etmek için yeni bir değerlendirme faktörü önermişlerdir. Bu değerlendirme faktörü ne kadar yüksek olur ise, elmas soketin aşınma direnci de o kadar yüksektir [61].

Chu ve ark.'na göre Cr kaplanmış elmas / Cu kompozitleri spark plazma sinterleme tekniği ile başarılı bir şekilde üretilebilir. Cr kaplanmamış elmas ile kıyaslandığında kaplamalı elmas kompozitlerin yoğunluğu, termal iletkenliği ve ara yüzey bağı daha yüksektir. Cr ve elmas ara yüzeyi arasındaki difüzyon ve karbür oluşumu hem ara yüzey bağlanmasını hem de termal iletkenliği artırır [62].

Zhang ve ark.' na göre Ti kaplı elmas tanecikleri ilave edilen Cu/elmas kompozitleri, kaplanmamış elmastan daha yüksek bir termal iletkenliğe sahiptir. Bu yüksek termal iletkenlik Cu/elmas ara yüzeyindeki bağlanmayı geliştiren Ti kaplamadan kaynaklanmaktadır [32].

Filgueira ve Pinatti' ye göre bronz matriksin kullanıldığı elmas soketlerde aşınma çok yüksektir. Aşınma direncini artırmak için iki yol izlenmelidir. Ya ara yüzey bağlanmasını artırmak için metal kaplı elmas kullanılmalı ya da matriks içine Co-W ve ya Fe-Co alaşımları ilave edilmelidir [63].

Zhao ve ark.' na göre elmas soketler ile yapılan kesme işleminde takım hızı, iş parçası hızı, kesme derinliği gibi kesme parametreleri kesme oranına daha etkilidir. Soketin dönüş hızının iyileştirilmesi ile kesme verimliliği artmaktadır [64].

Selvi ve ark. yapmış oldukları çalışmada farklı sinter yöntemleri ile elmas soket üretimi gerçekleştirmişler ve en iyi mekanik özellikler ile en yüksek yoğunluk 950˚C'de üç saatlik sinter süresinde elde etmişlerdir. 100˚C üstü sıcaklıklarda yapıda porozite meydana geldiği gözlemlenmiştir [65].

Islak ve Çelik yapış oldukları çalışmada B_4C ve sinterleme sıcaklığının elmas soketlerdeki etkisini araştırmışlar ve B_4C miktarı arttıkça soket yoğunluğunun azaldığını, artan sinter sıcaklığı ve B_4C miktarı ile dispersiyon sertleştirme mekanizması sonucu sertlikte artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca B_4C ağırlıkça %5' den fazla olduğunda sinterleme koşullarının yetersiz oluşundan aşınma oranı artmaktadır bu da tanelerin dışarı çekilmesine neden olur [66].

Bulut ve ark.' na göre elmas soket üretimine en yüksek yoğunluk, sertlik ve basma dayanımı değerleri spark plazma sinterleme (SPS) ile elde edilebilir. Geleneksel sinterleme 60% bronz, 30% Co, 10%Ni bileşimindeki elmas sokette en iyi sonuçlar 960˚C elde edildi. Mikro yapı da meydana gelen Co_3Sn_2 fazı mekanik özelliklerin yükselmesine neden olur. Geleneksel sinterleme yöntemi ile sinterlenen soketlerin aşınma dayanımı SPS yöntemi ile sinterlenen soketlerinkinden daha iyidir [67].

Villar ve ark. yapmış oldukları çalışmada elmas soketler için ön alaşımlandırılmış tozlar kullanıp bu tozların farklı sinterleme atmosferlerinde soketin mikro yapı ve sertliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Kullanılan tozlardan birinde Fe miktarı fazla iken (Next 100), diğerinde Cu miktarı fazladır (Next 200). Next100 tozları ile 900˚C de sinterlemenin indirgeyici atmosfer şartlarında yapıldığı durumlarda elmasın orijinal şeklini koruduğu gözlemlenirken vakum sinterlemesinde ise elmas yüzeylerinde zararlı yüzey delikleri ve elmas kenarlarının yuvarlaklaştığını gözlemlemişlerdir. Demirin yüksek C afinitesinden elmas ile yüksek reaktiviteye girmiştir [21].

Dai ve ark' na göre kısmen ön alaşımlandırılmış Fe-Cu tozları elmas soket içinde daha homojen bir alaşım element dağılımı sağlar, ön alaşımlama boyunca Cu, kısmen demir-bakır alaşımı oluşturmak için Fe yüzeyini kaplar. Kısmi ön alaşımlama yapılmış tozlar daha iyi sıkışabilme özelliğine sahiptir, ön alaşımlandırılmış tozların kullanıldığı matriks karıştırılarak kullanılan tozlara göre daha iyi mukavemet ve daha yüksek elmas tutma kabiliyeti sağlar [68].

Zhu ve ark.' na göre elmas yüzeyinin Si ile kaplanması hem sinterlenmiş numunelerin yoğunluğunun arttırır hem de termal iletkenliğin geliştirilmesini sağlar. Kaplamasız elmas taneleri ile Cu arasındaki ara yüzeyinde çatlaklar oluşur bunun nedeni iki ara yüzey arasındaki bağın zayıf olmasıdır. Elmas tanelerinin Si ile kaplaması sonucu bu sorun ortadan kalkmaktadır [69].

Oliveria ve ark.' na göre Fe-Cu-%1 SiC bileşimine sahip soketlerde etkin bir sıvı sinterleme için sinterleme sıcaklığı 1150˚C olmalıdır. Bu sıcaklıkta daha yüksek aşınma direnci, sertlik elde edilir. Fe-%20 Cu-%1 SiC bileşimine sahip elmas soketler en iyi sonucu sunar. SiC aşınma esnasında aşınma kontrolörü görevi yaparak aşınma dayanımını artırır [70].

Che ve ark.' na göre elmas tanelerinin dış yüzeyinin Ti ile kaplanması kompozitin özelliklerini artıracaktır. Burada kaplamanın kalınlığı özellikler için son derece önemlidir. Ağırlıkça %1 Ti ile termal iletkenlik artarken, %0,4 Ti ile termal iletkenlik kaplı elmas ve matriks arasındaki zayıf bağlanmadan dolayı azalır. Termal iletkenlik %1,6 Ti' da azalır çünkü elmas taneleri ve matriks arasında heterojen bağa neden olan kaplama çatlakları meydana gelir. Ayrıca elmasın grafitleşme sıcaklığını da arttırır [71].

Konstanty' ye göre elmas yerleştirme sistemlerinin verimliliği geleneksel hacimsel soğuk preslerinkinden daha düşüktür. Encapsulated elmas kullanımı soketlerin servis ömrünü arttırır ve dahası elmasların kümelenmesini önleyerek daha homojen dağılmayı sağlar [72].

Konstany yapmış olduğu bir başka çalışmada ise elmas testerelerde, aşınma ve kesme performansı üzerindeki etkili parametreler, bu parametrelerin davranışları, kesme ve talaş oluşma süreci üzerinde durmuştur. Elmas testerenin aşağı hareket yöntemi ile kullanılması elmas kırılmasını ve matriksin aşınmasını hızlandırdığını ve kesme esnasında oluşan talaş kalınlığının matriksin aşınma şiddetinin ön göstergesi olduğunu rapor etmiştir [73].

Romanski' ye göre elmas soketlerde matriksin elmasları tutmasını sağlayan en önemli etkenlerden biri de yüksek akma mukavemetine sahip olan matrikstir [62].

Islak ve ark.'na göre elmas soket içerisine mukavemet arttırıcı olarak ilave edilen B_4C taneleri bronz içerisinde homojen bir dağılım sağlar. B_4C taneleri bronzun tane sınırlarında oluşur ve bronz ile kuşatılır. İlave edilen mukavemet arttırıcı ile yoğunluk azalır. En iyi sonuçlar Bronz-%2B_4C bileşimindeki sokette elde edildi. Yapıda karbür oranı arttıkça sinterlenebilirlik azalır ve karbür ile bronz arasında zayıf bir ıslatmaya neden olur [27].

Ünal'a göre elmas soket üretimi için yüksek mekanik özellik elde etmede 750˚C sinterleme sıcaklığı yeterlidir. Sabit sinter sıcaklığı ve süresinde değişen matriks kompozisyonlarında kobalt miktarı artıp, bronz oranı azaldıkça elmas soketin sertlik ve aşınma dayanımı artmaktadır. Yapıya ilave edilen WC taneleri ile elmas arasında zayıf bir bağlanma olmasına rağmen WC homojen olarak yapıya dağılması halinde soketin sertliğini ve aşınma dayanımını arttıracaktır [29].

Çelik ve ark.' na göre 68Fe-20Cu-10Co-2Sn bileşimine sahip elmas soket üretiminde en mükemmel mekanik özellikleri 850˚C sinterleme sıcaklığında elde edilir. Artan sinterleme sıcaklığı sonucu yapıdaki tozlar birbiri ile daha iyi etkileşime geçer ve yüksek sertlikte gevrek kırılma görüntüleri azalır [74].

Ersoy ve Atıcı'ya göre elmas soketlerdeki ana aşınma mekanizması abrasif aşınmadır. Soket tasarım ve çalışma parametreleri kesilecek doğal taşın fiziki özelliklerine göre optimizasyonu işleme kalitesini artırmakta ve soket ömrünü artırmaktadır [75].

Çelik ve ark.' na göre Fe-Cu-Ni-Mo matriksli elmas soketin içerisine yüksek miktarda ilave edilen Al_2O_3 soketin sertliğini, aşınma dayanımını artırır. Al_2O_3 matriks içerisindeki gözenekleri doldurur ve daha kompakt bir yapı elde edilir. Ayrıca Al_2O_3 sinterleme boyunca tane büyümesini engellemektedir [76].

Çelik ve ark. yapmış oldukları bir başka çalışmada elmas soketlere sinterleme sıcaklığının ve Mo' in etkisini araştırmış ve Fe-Cu-Mo matriksli sokette artan sinterleme sıcaklığı ve Mo miktarı ile soketlerin mukavemetlerinin arttığını, Cu'ın tane sınırlarında biriktiğini ve sinterleme sıcaklığının artması ile tane kabalaşmasının meydana geldiğini rapor etmişlerdir [77].

Ucun ve Büyüksağış elmas sokette aşınmanın belirlenmesinde yeni bir sistem olan lazer deplasman sensörü kullanmışlardır. Yapılan aşınma ölçümleri mikron düzeyinde yapıldığından aşınmanın ölçülmesinde daha hassastır [78].

Çelik ve ark. Fe-Cu-Sn-Co matriksli Elmas soketlere Ti etkisini araştırmış ve Ti ilavesi ile alaşımın sertliğinin ve mukavemetinin arttığını, tokluğun azaldığını ve %7 Ti ilavesi ile kırılma yüzeylerinde gevrek kırılma izlerinde artış olduğunu rapor etmişlerdir [79].

Çelik ve ark. başka bir çalışmada elmas soket üretim teknikleri ve özelliklerini araştırıp, sıcak presle sinterlemede sıcaklığın soketin mekanik özelliklerinin gelişimine olumlu yönde etkisi olduğunu ve en iyi mekanik özelliklerin 850˚C de elde edildiğini rapor etmişlerdir [80].

Elmas ve Budak, Fe-Cu-Sn matriksli elmas sokete Co katkısının mikro yapı ve mekanik özelliklere olan etkini araştırıp, artan Co miktarı ile soketin sertlik artışının dikkate değer bir şekilde arttığını ve 850˚C sinterleme sıcaklığının tozların bir biri ile olan teması arttırdığı, yapıda gözenek bulunmadığını rapor etmişlerdir [81].

Ji ve ark. Silisyum karbür seramiklerin işlenmesinde elektrik boşaltma işlemi (EDM) ve aşındırıcı öğütmenin etkilerini araştırdı. Bu iki sistemin kombinasyonunun kullanılması durumunda takım aşınmasının da azalacağını, Yüzey pürüzlülüğünün mekanik öğütmeden biraz kötü, EDM' den daha iyi olduğunu rapor etmişlerdir [82].

Rocha ve ark' PCBN takım kullanarak demir tozu esaslı metallerin işlenmesinde kesim parametrelerinin (hız, besleme oranı, işleme derinliği) etkilerini araştırmışlar ve kesme şeklinin ve kesme hızının soketlerdeki aşınmada en etkili faktör olduğunu,

orta hızda kesimde difüzyon baskınken düşük kesme hızlarında abrasif aşınmanın etkili olduğunu rapor etmişlerdir [83].

Watmon yapmış olduğu tez çalışmasında soketlerin dış yüzeylerini TiN ile kaplayarak bu kaplamanın aşınma direncine olan etkisini araştırmış, TiN kaplama sonrası kesme işleminde hissedilen temas sıcaklığı yapı üstüne TiN kimyasal olarak bağlandığı için azalmıştır. TiN bu kayganlaştırıcı özelliği neticesinde yüksek aşınma direnci ve düşük sürtünme katsayısı elde edilir [84].

Oliveria ve ark. Elmas soketlerde elmas dış yüzeylerinin TiC ile kaplanmasının mikro yapı ve mekanik özelliklere olan etkisini araştırmış, TiC ile kaplanmış olan elmas soketlerin kaplamasız olanlardan daha iyi sonuçlar verdiğini, demir matriksli soketlerde dahi grafitleşmenin meydana gelmediğini rapor etmişlerdir [85].

Koseki ve ark. Ti-6Al-4V alaşımının sürekli işlenmesinde PVD ile TiN kaplanmış kesici takımların aşınma mekanizmalarını araştırmışlar ve TiN kaplamanın hasar oranının kaplamasız semente karbür takımlarına oranla daha yüksek olduğunu, işleme esnasında sürecin başında kaplamanın gevrek kırılma ile kaybolduğunu rapor etmişlerdir [86].

Literatürde yapılmış olan çalışmalar genellikle elmas soketlerde elmasların ince bir film tabakası ile kaplanarak üretilmesi ve elmas soketlerin kesme performansları ile aşınma mekanizmaları arasındaki ilişkiyi açıklar niteliktedir. Yapılan çalışmalarda elmas ile metal matriks arasındaki yoğunluk farklılığından dolayı meydana gelen kümeleşme ve kümeleşme sonucu oluşan problemler ile bu problemlerin çözümüne ilişkin bir çalışmaya rastlanmamıştır.

5. DENEYSEL YÖNTEM

5.1 Soket Malzemelerinin Belirlenmesi ve Temini

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere bileşimi Çizelge 5.1' de verilmiş olan, birbirinden farklı 5 çeşit elmas soketten üç farklı sinterleme sıcaklığında 15 adet soket toz metalürjisi üretim tekniği ile üretilmiştir. Çizelge 5.1' de verilmiş olan A_1, A_2, A_3 numaralı parçalar endüstride Ticari Soket olarak kullanılan soketlerdir. Bu çalışmada ticari soket referans numune olarak üretilmiştir.

Çalışmanın ilk etabında ticari soket içerisine pelet haline getirilmiş (yüzeyi Co+Bronz kaplı) elmas taneleri ilave edilerek soketlerdeki yoğunluk farkından dolayı oluşan elmas kümelenme problemi, kaplanmış elmasların yüksek sıcaklıklardaki grafitleşme eğilimleri ve mikro yapı da meydana gelen değişimler sonucu mekanik özelliklerdeki değişimler araştırıldı.

Çalışmanın ikinci etabında ise; kaplanmış elmaslı Ticari sokete ağ. %10 SiC ve ağ. %10 WC ilavesinin mikro yapıda elmas-matriks ara yüzeyine olan etkisi ve mekanik özeliklere olan etkisi araştırıldı, Ticari soket ile karşılaştırması yapıldı.

Çizelge 5.1 Çalışmada kullanılan soketlerin matriks bileşenleri ve işlem sıcaklıklarına göre verilen malzeme kodları

Malzeme Kodu	Fe	Co	Bronz	Elmas	Kaplı Elmas	WC	SiC	Sinterleme Sıcaklığı
A_1*	✓	✓	✓	✓	-	-	-	800°C
B_1	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	800°C
C_1	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	800°C
D_1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	800°C
E_1	✓	✓	✓	-	-	-	-	800°C
A_2*	✓	✓	✓	✓	-	-	-	900°C
B_2	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	900°C
C_2	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	900°C
D_2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	900°C
E_2	✓	✓	✓	-	-	-	-	900°C
A_3*	✓	✓	✓	✓	-	-	-	1000°C
B_3	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	1000°C
C_3	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	1000°C
D_3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	1000°C
E_3	✓	✓	✓	-	-	-	-	1000°C

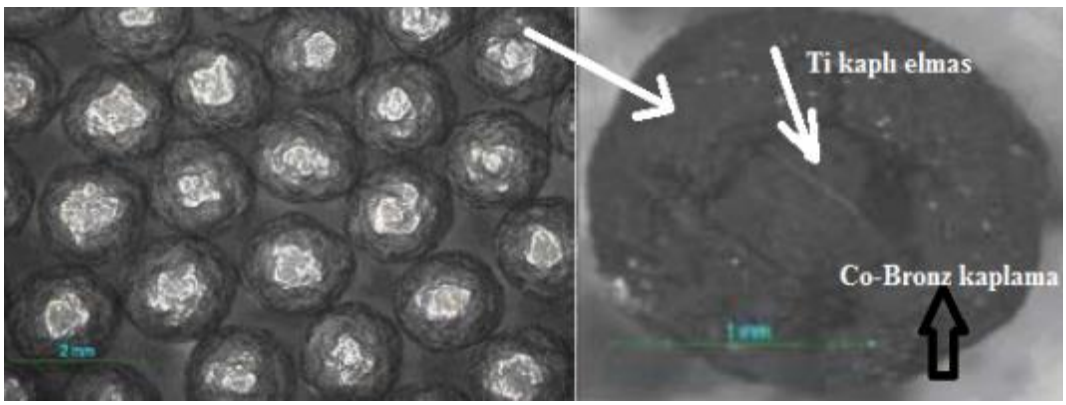
**Ticari Soket*

Soketlerin üretiminde matriks tozu olarak ön alaşımlandırılmış (pre-alloyed) mix tozları kullanıldı. Çizelge 5.2'de çalışmada kullanılan tozların temin edildikleri yerler ve tane boyutları verilmiştir. Soketlerin bileşimindeki ön alaşımlandırılmış mix tozu/ Bronz; 4:1 oranında kullanılmıştır. B serisi soketlerde ağ.%50 Hardzone Encapsulated elmas, ağ. %50 ön alaşımlı toz bulunurken, C ve D serisi soketlerde ağ.%50 Hardzone Encapsulated elmas, ağ. %40 ön alaşımlı toz ve ağ.%10 mukavemet artırıcı toz (SiC ve WC) bulunmaktadır.

Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılan tozların tane boyutları ve temin edildikleri yer

Toz	Üretici	Tane Boyutu
Ön alaşımlandırılmış	Eurotungsten, Fransa	< 100 µm
Sentetik elmas	Element Six, Afrika	40/50 mesh
Kaplı elmas	Element Six, Afrika	40/50 mesh
WC	Eurotungsten, Fransa	< 30 µm
SiC	Eurotungsten, Fransa	<30 µm
Bronz	Eurotungsten, Fransa	< 50 µm

Bu tez çalışmasında ticari soket içerisine ilave edilen kaplı elmaslar, Element Six firması tarafından Hardzone Encapsulated teknolojisi ile özel olarak üretilmiş elmaslardır. Hardzone teknolojsinde elmasın dış yüzeyinde çift kaplama bulunmaktadır. İlki elmasın dış yüzeyinde mikron seviyesinde bir Ti bombardıman edilmiş TiC-TiO_2 alanı, ikinci kaplama ise, Ti kaplamanın dış kısmında bulunan ve elması pelet haline getiren milimetre seviyesinde bir Co-Bronz kaplamadır. Yüksek sinterleme sıcaklıklarında dış taraftaki Co-Bronz kısım yayılarak elmas tanelerinin kümelenmesini engelleyecek ve sıralı bir dizilim sağlayacaktır. Şekil 5.1' de hardzone encapsulated teknolojisi ile kaplanmış elmas taneleri görülmektedir.



Şekil 5.1 Çalışmada kullanılan Hardzone Encapsulated tekno. kaplanmış elmas.

5.2 Elmas Soketlerin Üretimi

5.2.1 Tozların karıştırılması

Yapıda metal matriks ve elmas tanelerinin homojen bir şekilde dağılabilmesi için bütün tozların iyi bir şekilde karıştırılması gerekir. Yapılan hesaplamalar dahilinde farklı bileşime sahip olan tozlar ayrı ayrı karıştırma işlemine tabi tutuldu. Her bir tozun karışım süresi 30 dakika olarak seçildi.

Toz karıştırma işlemi Turbula Mikser karıştırma cihazı ile yapıldı. Tozların kolay bir şekilde karışımını sağlamak ve homojen bir karışım elde etmek için %2 sıvı parafin eklendi. Şekil 5.2' de çalışmada kullanılan T_2F turbula mikser' in fotoğrafi verilmiştir.

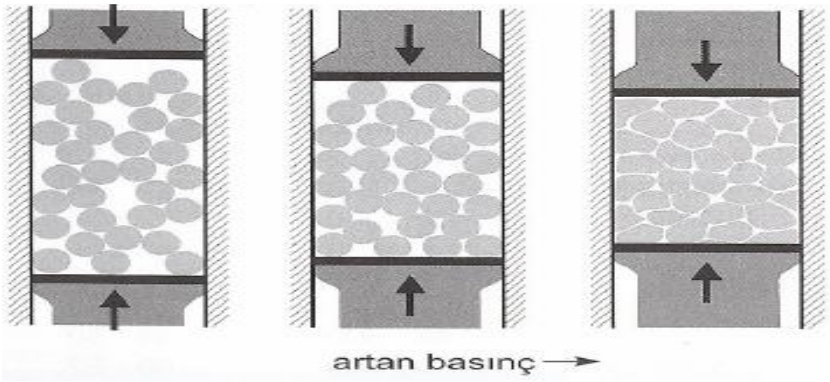


Şekil 5.2 Turbula mikser şematik görünümü.

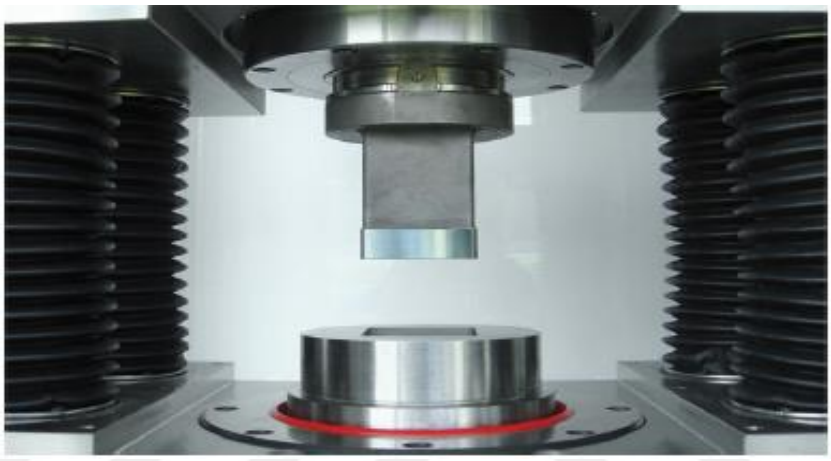
5.2.2 Tozların soğuk preslenmesi

Tozlar homojen bir yapı elde etmek amacı ile karıştırıldıktan sonra bulk bir malzeme haline getirmek için soğuk presleme işlemine tabi tutuldu. Üretilecek her bir numune için gramaj hesabı yapılıp uygun ağırlıkta tozlar terazide tartılarak soğuk pres kalıbına yerleştirildi. Çalışmada 8 x 24 x 10 (mm) boyutları, ticari soket üretiminde baz alınmıştır. Soğuk preslemede her bir numuneye 35MPa basınç uygulanarak kompakt numuneler elde edildi.

Kalıba yerleştirilen tozlar üzerine bir sıkıştırma basıncı uygulandığında tozlar birbiri üzerinde kayar ve sonra yüksek basınçlarda yoğunlaşma gösterir. Aralarında boşluk bulunan tozlar (gevşek tozlar), uygulanan basınç sonrasında birbiri ile temas edecek şekle gelir. Şekil 5.3' de basıncın tozlar üzerindeki etkisi verilmiştir.



Şekil 5.3 Uygulanan sıkıştırma kuvvetinin tozlara fiziki etkisi.



Şekil 5.4 Soğuk pres makinesinin kalıp haznesi.

5.2.3 Sıcak presleme

Soğuk presten çıkarılan dayanımı çok düşük olan kompakt numuneler dayanımlarını arttırmak ve oluşan poroziteyi yok edip tozlar arasında kimyasal bağ oluşturmak için sıcak presleme işlemine tabi tutuldu. Sıcak presleme sıcaklık ve basıncın her bir numuneye aynı anda uygulanması işlemidir. Şekil 5.5' de sıcak sinterleme pres makinesi verilmiştir.



Şekil 5.5 Sıcak pres cihazı.

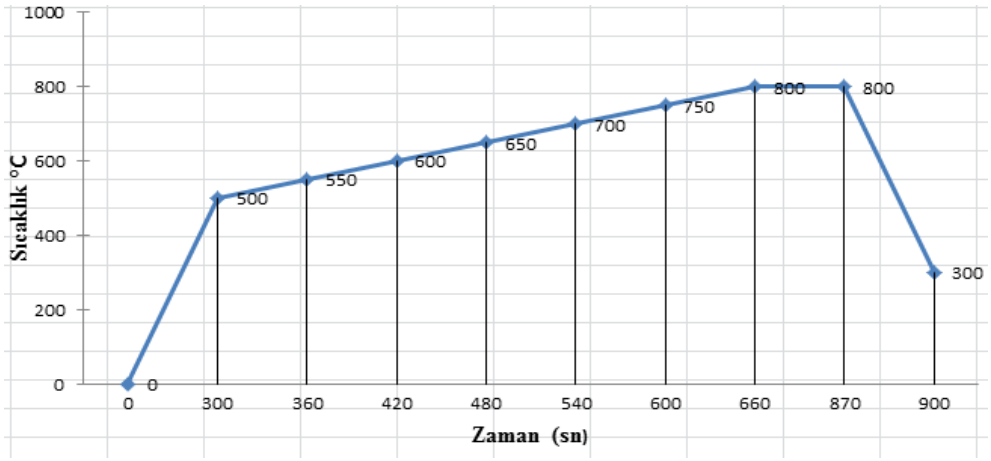
5.2.3.1 Sinterleme

Sıcak presleme cihazının içinde gerçekleşen bu evre tozların yüksek sıcaklıkta difüzyon hareketi ile birbirlerine tutunur. Numunelerin sinterleme mekanizması üzerine etki eden en önemli faktörlerden biri sıcaklıktır. Malzemelerin yapısında bulunan metaller sıcaklık neticesinde sıvılaşmaya başlar ise sinterleme mekanizması sıvı faz sinter olarak ilerleyecektir. Eğer malzeme sadece tek fazın katı olarak var olduğu bir bölgede ise sinterleme mekanizması katı hal olacaktır. Elmas soket üretiminde gerek yüksek yoğunluğa ulaşmak istenmesi gerekse elmas-matriks ara yüzeyinde sağlam bir bağlanma istenmesi sıvı faz sinterleme yönteminin tercih sebebidir. Şekil 5.6' da sıvı faz sinterin aşamaları verilmiştir. Çalışmada 800-900-1000˚C sinterleme sıcaklığı olarak seçildi. Bu sıcaklıklarda yapıdaki bronz sıvı hale geçtiğinden (özellikle 900˚C ve 1000˚C de) sıvı faz sinterleme meydana gelmiştir.

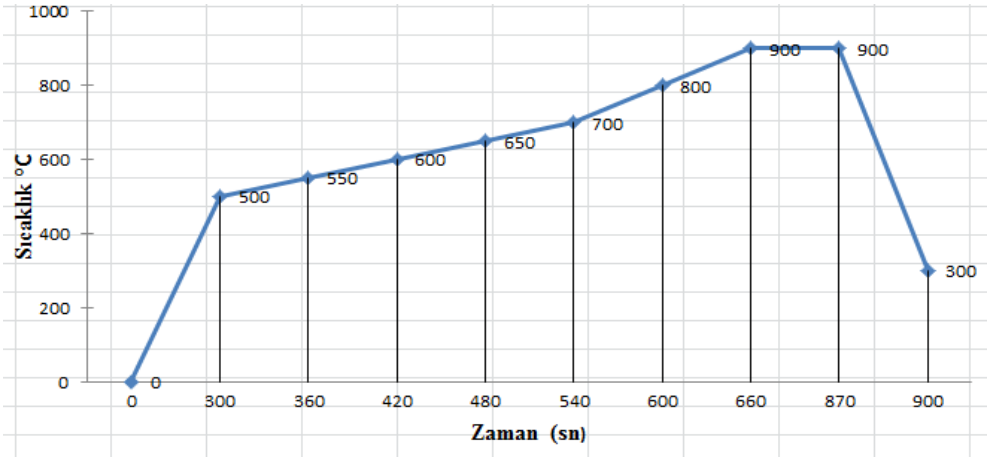


Şekil 5.6 Sıvı faz sinterleme aşamaları.

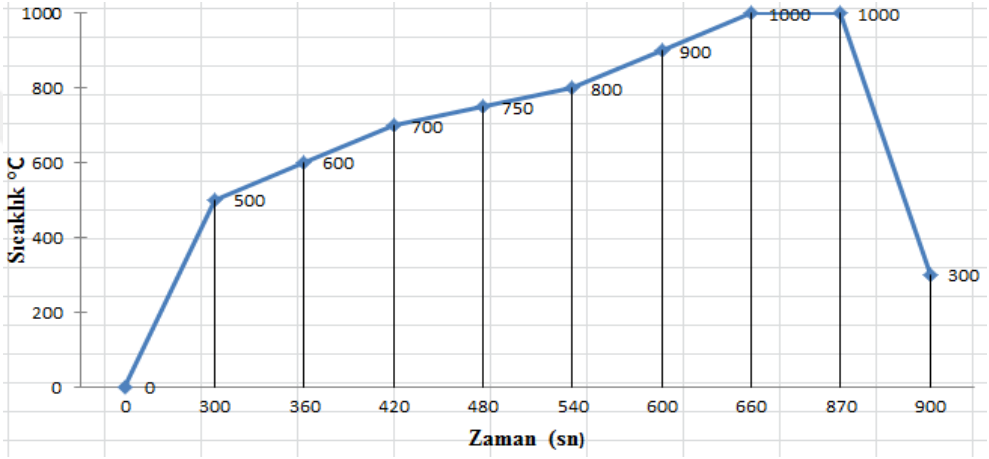
Soğuk presten çıkarılan soketler sinterleme işlemi için önceden hazır hale getirilen grafit kalıplara yerleştirildi. Grafit kalıplar içerisinde sıcak pres cihazına yerleştirilen soketler Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9' de verilen ısıl işlem rejimi kullanılarak sinterlendi.



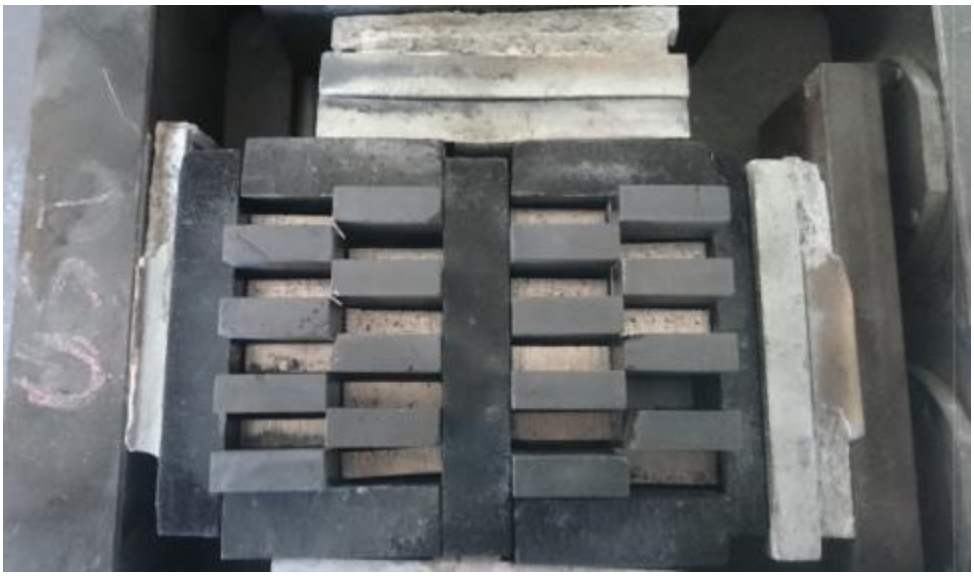
Şekil 5.7 800°C' de sinterlenen elmas soketlerin ısıl işlem grafiği



Şekil 5.8 900°C' de sinterlenen elmas soketlerin ısıl işlem grafiği.



Şekil 5.9 1000 °C' de sinterlenen elmas soketlerin ısıl işlem grafiği.



Şekil 5.10 Sıcak pres öncesi grafit kalıba yerleştirilmiş soğuk preslenmiş soketlerin kalıp içerisindeki görünümü.



Şekil 5.11 Sinterleme öncesi grafit kalıba yerleştirilip üstleri kapatılmış soğuk preslenmiş soketlerin kalıp içindeki görüntüleri.

Sinterleme işlemi ısınma ve soğuma süreleri ile toplam 15 dk. sürmüştür. Sinterleme sıcaklığının 800-900-1000˚C seçilmesinin nedeni yüksek sıcaklıklarda kaplamanın elmasın grafitleşme direncine olan etkisini, kaplı elmasların matriks ile ara yüzey arasında oluşan bağlanmaya etkisini ve artan sıcaklık ile beraber oluşan sıvı fazda kaplı elmasların mikro yapıda sergilemiş oldukları kabiliyeti incelemektir.

Sıcak pres makinesinden çıkarılan soketler soğuduktan sonra çapak alma işlemlerine tabi tutuldu. Yüzeyleri temizlenen soketler mekanik deneylere hazır hale getirildi.

5.3 Yoğunluk Ölçümü

Soketlerin yoğunluğunun anlaşılması ve teorik yoğunlukları ile karşılaştırılması amacı ile üretilen soketlerin yoğunlukları AND GR-200 hassas terazi ve Arşimet yoğunluk ölçümü ekipmanları ile ASTM B311-92 standartlarına uygun ölçülmüştür. Şekil 5.12' de yoğunluk ölçüm deney düzeneğinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.12 Arşimet yoğunluk ölçüm düzeneği.

Arşimet yoğunluk ölçümüne göre, numunelerin havada kuru ağırlıkları tartılmış sonrasında numuneler askıda olan bir metal sepet içerisine yerleştirilerek içi su dolu kaba batırılarak tartıldı. Numuneler suyun içerisinde tartıldıktan sonra literatürdeki denkleme göre değerler hesaplandı.

5.4 Mekanik Testler

Üretilen elmas soketlere mekanik deney olarak sertlik ve aşınma deneyleri yapıldı.

5.4.1 Sertlik ölçümü

Sertlik ölçümü şekil 5.13' de verilen sertlik cihazında Brinell sertlik skalasında 3 kgf ön yük de,100 kgf yük altında ölçüldü. Sertliğin tam olarak belirlenebilmesi için her bir numuneden 5 adet sertlik ölçümü alınıp ortalamaları alındı.

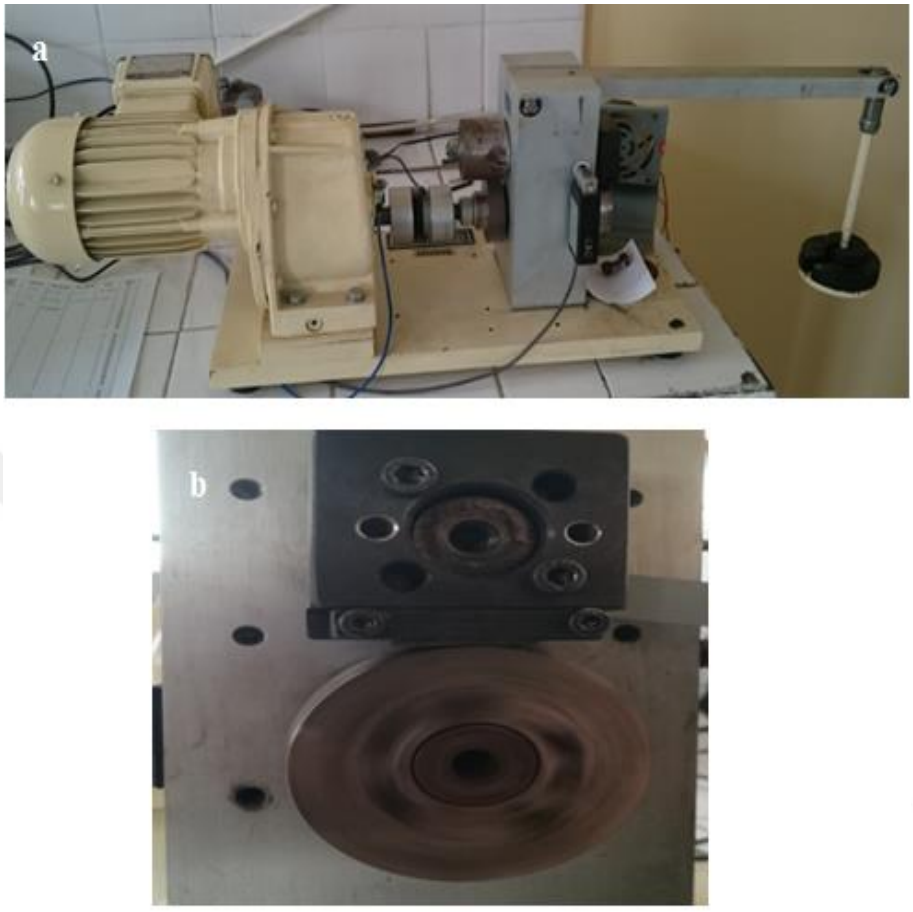


Şekil 5.13 Sertlik ölçüm cihazı.

5.4.2 Aşınma testi

Aşınma testi Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme ve Mekanik Laboratuvarında yapıldı. Hazırlanan soketler çok amaçlı sürtünme ve aşınma tezgâhında pin-on-disk sisteminde, normal nemli ortamda, oda sıcaklığında, dakikada 350 devir, 500 m kayma mesafesinde ve üç farklı yük (70-87-102 N)

altında yapıldı. Aşınma dayanımı, ağırlık kaybı bakımından değerlendirildi. Yük artışının farklı bileşimde ve farklı sinterleme sıcaklıklarında üretilen soketlerin aşınma dayanımına etkisi araştırıldı.



Şekil 5.14 Aşınma test cihazı a) cihazın motor ve yük kısmı, b) aşındırıcı.

5.5 Karakterizasyon Çalışmaları

Karakterizasyon çalışmaları için optik mikroskop ve elektron mikroskobu ile mikro yapı incelemesi yapıldı. Optik mikroskop ile mikro yapı analizi öncesinde soketler yüzeylerindeki pisliklerin temizlenmesi ve metalografik incelemeye hazır hale getirmek için yüzey parlatma işlemlerine tabi tutuldu.

5.5.1 Yüzey hazırlama işlemleri

Mikro yapı incelemeleri için üretilen numuneler sırasıyla 400-600-800-1000 numara SiC zımparalarda sulu zımparalama işlemi yapıldı. Sonrasında 3µ aşındırıcı pasta ile çuhada yüzeyleri parlatıldı.

5.5.2 Optik mikroskop ile mikro yapı incelemeleri

Numunelerin mikro yapı incelemesi Cumhuriyet Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Metalografi Laboratuvarındaki Şekil 5.15' de verilen Nikon Eclipse MA100N marka optik mikroskop cihazı ile yapıldı. Numunelerin mikro yapısındaki fazları ayırt edebilmek için her biri dağlama işlemine tabi tutuldu. Dağlayıcı olarak Amonyum persülfat (10 g $(NH_4)_2S_2O_3$ + 90 ml saf su) çözeltisi kullanıldı.

Amonyum persülfat ile dağlanan numunelerin optik mikroskop mikro yapı fotoğrafları renkli olarak verildi.



Şekil 5.15 Nikon Eclipse MA100N optik mikroskop.

5.5.3 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri

Numunelerin aşınma yüzey incelenmesi ve kırık yüzey analizleri için şekil 5.16' da verilmiş olan Mira3XMU-Tescan marka taramalı elektron mikroskobu kullanıldı.

SEM cihazında bulunan EDS donanımı sayesinde soketlerde kullanılan kaplamalı elmasların yüzeylerindeki kaplamanın varlığı, haritalama metodu sayesiyle sinterleme sonrası elementlerin yapıda dağılımı incelendi.



Şekil 5.16 Mira3XMU-Tescan taramalı elektron mikroskobu**.**

Yapılan fiziksel, mekanik ve mikro yapısal analizlerden sonra elde edilen veriler Sonuçlar bölümünde her bir malzeme açısından ele alınarak yorumlandı ve genel sonuçlar bölümünde maddeler halinde sunuldu.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1 Yoğunluk ölçüm sonuçları

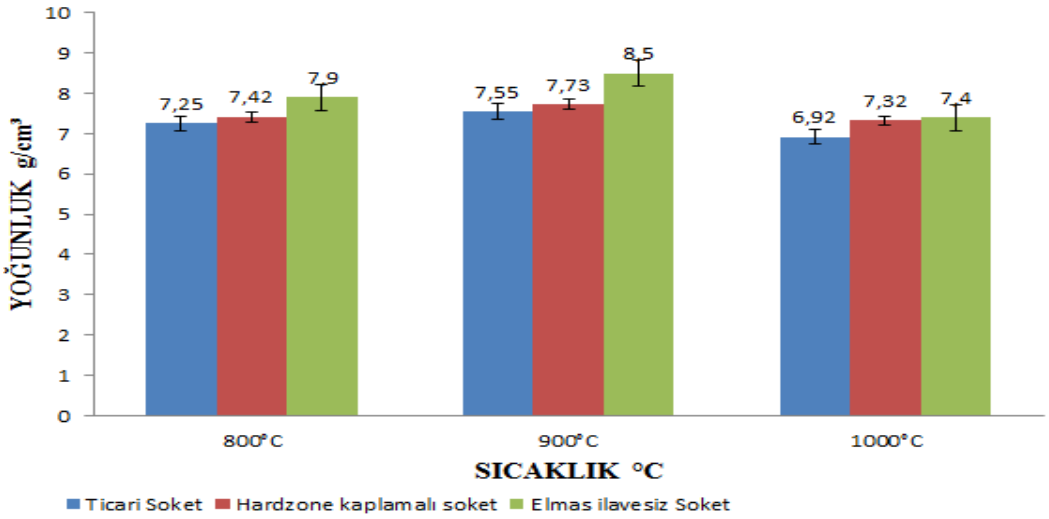
Çizelge 5.1' de verilmiş olan malzeme bileşimi ve kodlara sahip elmas soketlerin yoğunluk sonuçları çizelge 6.1' de verilmiş olup, sinterleme sıcaklığının, kaplamalı elmasın ve karbürlü elementlerin (SiC-WC) yoğunluğa etkisi araştırılmıştır. Yoğunluk deneyinde testler her bir numune için en az 5 kez tekrar edilmiş ve sonuçların ortalaması alınarak daha doğru sonuçların verilmesine gayret edilmiştir.

Çizelge 6.1 Yoğunluk testi sonuçları

Malzeme Adı	Ölçülen Yoğunluk (g/cm^3)			Teorik Yoğunluk (g/cm^3)
	800°C	900°C	1000°C	
A	7,25	7,55	6,92	8,87
B	7,42	7,73	7,32	8,9
C	7,15	7,38	7,36	8,94
D	7,75	7,85	7,98	9,4
E	7.9	8.5	7,4	8,75

6.1.1 Kaplamalı elmasın soket yoğunluğuna etkisi

Şekil 6.1' de elmassız soketin (E_1,E_2,E_3), Ticari soket (A_1,A_2,A_3)'in ve Hardzone Encapsulated teknolojisi ile kaplanmış elmas soketlerin (B_1,B_2,B_3) yoğunluk değerleri verilmiştir.

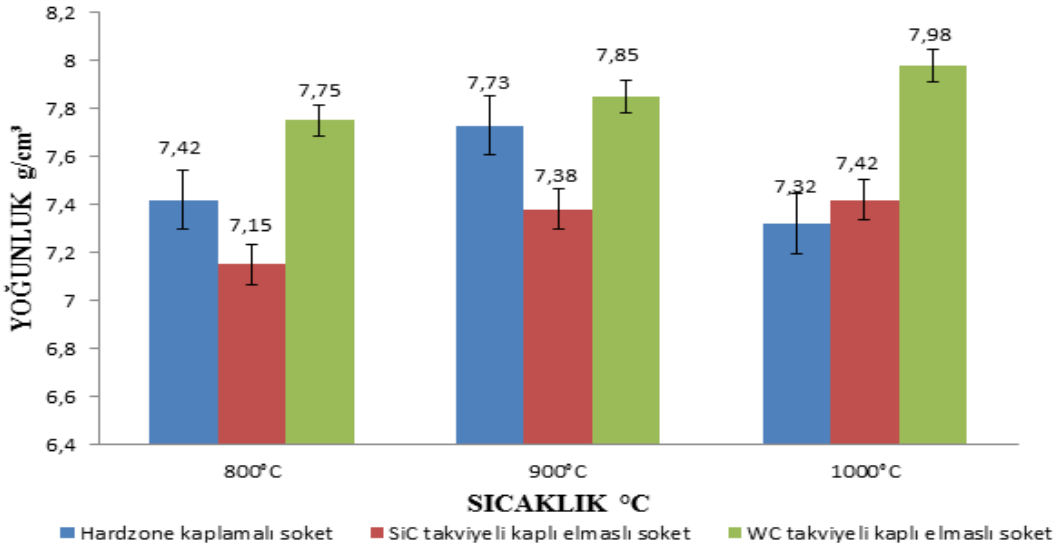


Şekil 6.1 Elmas ilavesiz, Hardzone kaplamalı ve Ticari soketin farklı sıcaklıklardaki yoğunluk değerleri.

Şekil 6.1' deki grafikten de görüldüğü üzere Ticari soketlerde kaplamalı elmas kullanıldığında daha yoğun malzemeler elde edilmektedir. Yapıda artan kobalt oranı ile birlikte yoğunluk değerleri de artmaktadır. Sinterleme esnasında Co'ın iyi akma dayanımı ve yüksek tokluk neticesinde Co-elmas taneleri arasında yüksek bağlanma söz konusudur, bu da elmas tanelerinin porozite oluşturmadan Co tarafından tutulmasını sağlar ve yoğunluk artar. Sinterleme sıcaklığının 800°C den 900°C ye çıkarılması üç soket türünde de yoğunluk artışı sağlamıştır. Elmassız soketlerin yoğunluğunun, elmas ilaveli soketlere nazaran daha yüksek bir değerde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi elmas tanelerinin yoğunluğunun (3,5 g/cm3) yapıdaki diğer metal tozların yoğunluğundan düşük olması ve elmas tanelerinin matriks içerisinde oluşturduğu boşluklar gözenek miktarını artırmakta ve bu yüzden yoğunluğu düşürmektedir. Bu sonuç literatürdeki konuyla ilgili çalışmalar ile paralellik göstermektedir [41]. 1000°C de sinterlenen soketlerin yoğunluk sonuçlarına bakıldığında en düşük değerlerin elde edildiği görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda sıvı faz miktarının artması sonucu sıvı faz katı faza itme kuvveti uygulayarak katı tanelerin birbirinden uzaklaşmasını sağlar, Ayrıca elmaslar 900°C üstü sıcaklıklarda yapıda daha fazla porozite oluşturmaktadır [41,17,107].

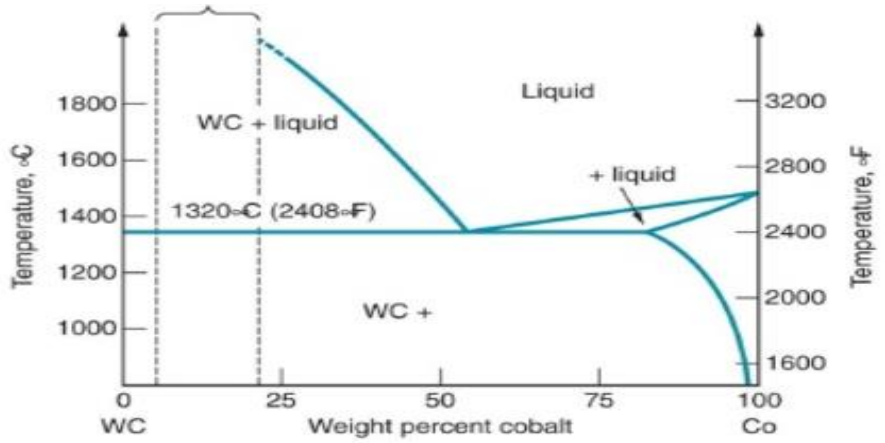
6.1.2 SiC ve WC' ün Ticari soket yoğunluğuna etkisi

Şekil 6.2' de kaplı elmas kullanılan Ticari soketin (B_1,B_2,B_3), SiC takviyesi yapılmış kaplanmış elmaslı Ticari soketin (C_1,C_2,C_3) ve WC takviyesi yapılmış kaplanmış elmaslı Ticari soketin (D_1,D_2,D_3) yoğunluk değerleri verilmiştir.



Şekil 6.2 Hardzone kaplamalı, SiC takviyeli ve WC takviyeli kaplı elmaslı soketlerin yoğunluk değerleri.

Şekil 6.2' deki grafikten de görüldüğü gibi WC takviyesi yapılmış kaplı elmaslı soketlerin yoğunluk değerleri artan sıcaklık ile artmakta ve her üç sıcaklıkta da en yüksek yoğunluk değerlerine ulaşmaktadırlar. Şekil 6.3' de WC-Co faz diyagramı verilmiştir.



Şekil 6.3 WC- Co faz diyagramı.

Sinterleme esnasında Co içinde WC taneleri aşamalı olarak çözünür, oluşan sıvı faz WC parçacıklarını ıslatır ve taneleri çözmeye başlar. WC ve Co arasındaki bu çözebilme sayesinde taneler arasında yüksek oranda bağlanma sağlanır ve bu sayede yoğunluk artışı gözlenir.

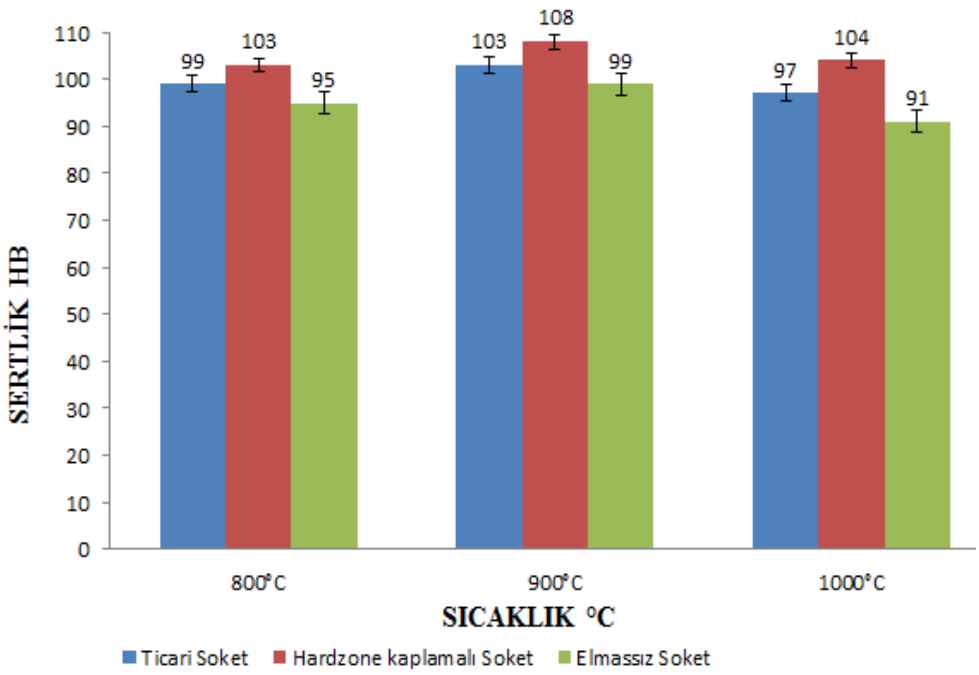
SiC takviyeli kaplı elmas kullanılan soketler de ise sıcaklık arttıkça yoğunluk değerleri de artmaktadır. Yapıda bulunan bronz sıvılaştıkça SiC parçacıkları sıvı içerisinde ortaya çıkacaktır. SiC keskin köşeleri oluşan sıvı faz sayesinde çözünerek küreselleşmeye başlar ve yapıda oluşan sıvı faz miktarına bağlı olarak ta sinterlenip yoğunluğu artacaktır. Şekil 6.2 de de görüldüğü gibi artan sıcaklık ile oluşan sıvı faz artacak ve bu sayede SiC takviyeli kaplı elmaslı soketlerin yoğunluğu artacaktır.

6.2 Sertlik Sonuçları

Üretilen bütün soketlerin sertliği Brinell cinsinden ölçülmüştür. Verimli bir sertlik değeri elde edebilmek için soketlerin çeşitli yerlerinden sertlik verileri alınmış ve değerlerin ortalaması alınarak ortalama sertlik değerleri hesaplanmıştır.

6.2.1 Kaplamalı elmasın soket sertliğine etkisi

Şekil 6.4' de elmassız soketin (E_1,E_2,E_3), Ticari soket (A_1,A_2,A_3)'in ve Hardzone Encapsulated teknolojisi ile kaplanmış elmas soketlerin (B_1,B_2,B_3) Brinell sertlik değerleri verilmiştir.



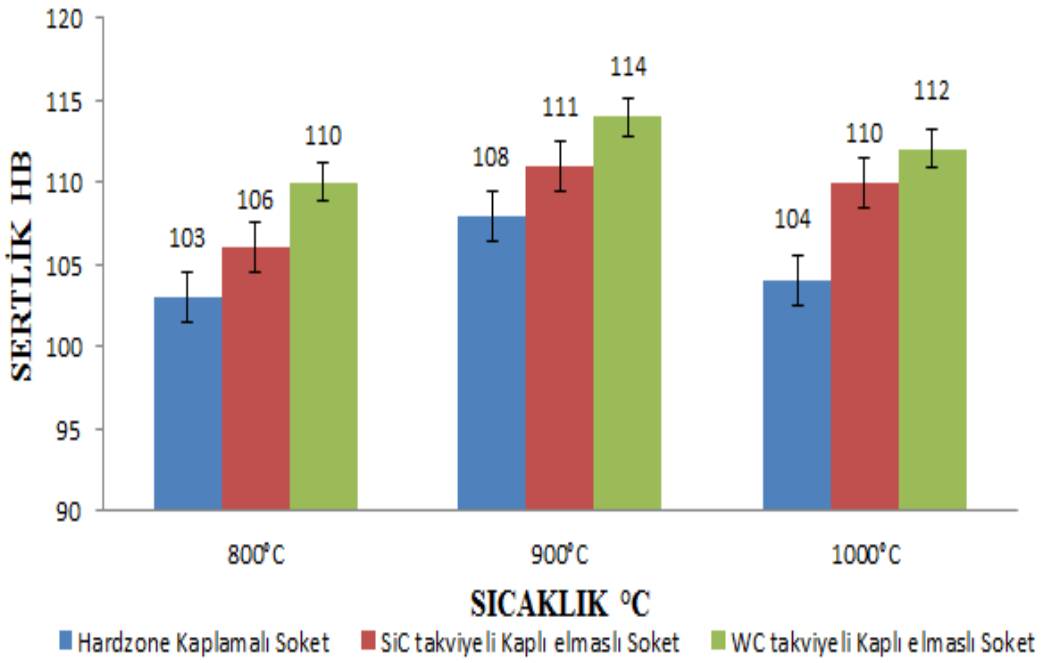
Şekil 6.4 Elmas ilavesiz, Hardzone kaplamalı ve Ticari soketin farklı sıcaklıklardaki sertlik değerleri.

Şekil 6.4' den de görüldüğü gibi elmassız soketlerin sertlik değerleri diğer soketlerin sertlik değerlerinden daha düşüktür. Matrikse elmas ilavesinin sertlik değeri üzerine olumlu bir etkisi vardır. Bunun nedeni elmas tanelerinin yapı içerisinde dispersiyon sertleştirmesi meydana getirmesidir. Elmassız soketlerde 1000˚C de sertlik te düşüş meydana gelmiştir. Yüksek sıcaklıkta yapılan sinterleme işlemi neticesinde yapıda meydana gelen tane büyümesi sertlik düşüşüne neden olmuştur.

Hardzone kaplamalı soket'in sertlik değeri en yüksek çıkan numunedir. Burada elmasın yüzeyinin hem Ti ile kaplı olması hem de Co+Bronz ile kaplı olması sertlikte artışa neden olmuştur. 1000˚C de meydana gelen sertlik düşüşü ise elmasın yüksek sıcaklıktan dolayı grafite dönüşerek yapısal bozulmasından kaynaklı olabilir.

6.2.2 SiC ve WC' ün Ticari soket sertliğine etkisi

Şekil 6.5' de kaplı elmas kullanılan Ticari soketin (B_1,B_2,B_3), SiC takviyesi yapılmış kaplanmış elmaslı Ticari soketin (C_1,C_2,C_3) ve WC takviyesi yapılmış kaplanmış elmaslı Ticari soketin (D_1,D_2,D_3) Brinell sertlik değerleri verilmiştir.



Şekil 6.5 Hardzone kaplamalı, SiC takviyeli ve WC takviyeli kaplı elmaslı soketlerin yoğunluk değerleri.

Her iki takviye elemanında da yapı içerisinde dispersiyon etkisi ve faz diyagramlarına göre intermetalik alaşımlar oluşturması sonucu fark edilir bir sertlik artışı görülmektedir. Mukavemet arttırıcı bir mekanizma olan dispersiyon sertleştirmesi çözünen SiC ve WC'ün matriks fazı içerisinde fiziksel olarak dağılıp oluşan dislokasyonları engelleyerek dislokasyon yoğunluğunu artırdığı düşünülmektedir.

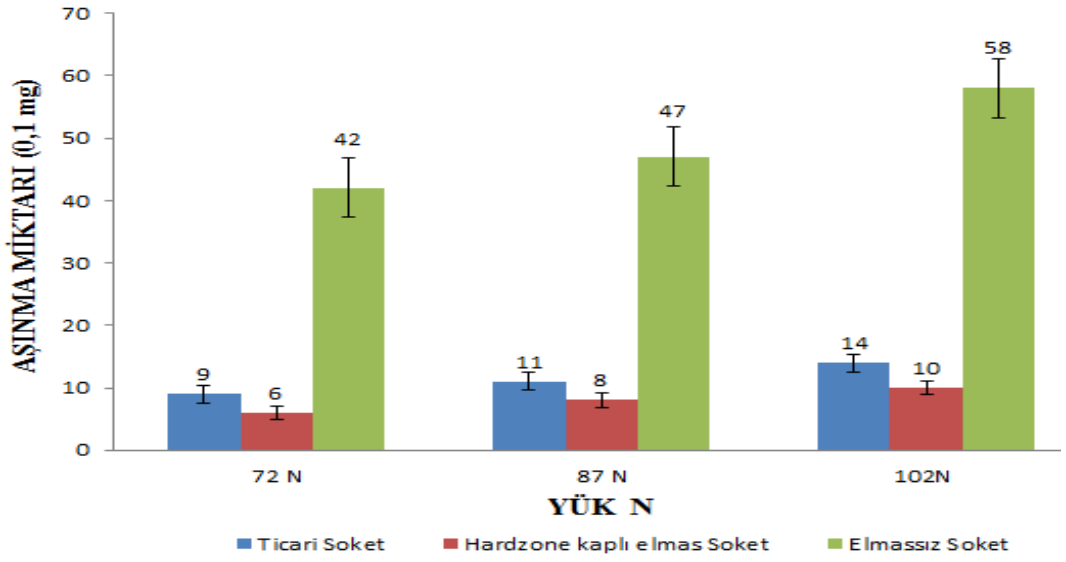
1000˚C de her üç sokette de meydana gelen sertlik düşüşünün nedeni elmasın grafitleşmesinden ve elmas-matriks ara yüzeyindeki bağın zayıflamasından kaynaklı olabilir.

6.3 Aşınma Deneyi Sonuçları

Aşınma deneyi farklı kuvvetlerin soketlerin aşınma direncine etkisini incelemek için üç farklı yük altında sabit kayma hızı ve kayma mesafesinde gerçekleştirildi.

6.3.1 Kaplamalı elmasın aşınma dayanımına etkisi

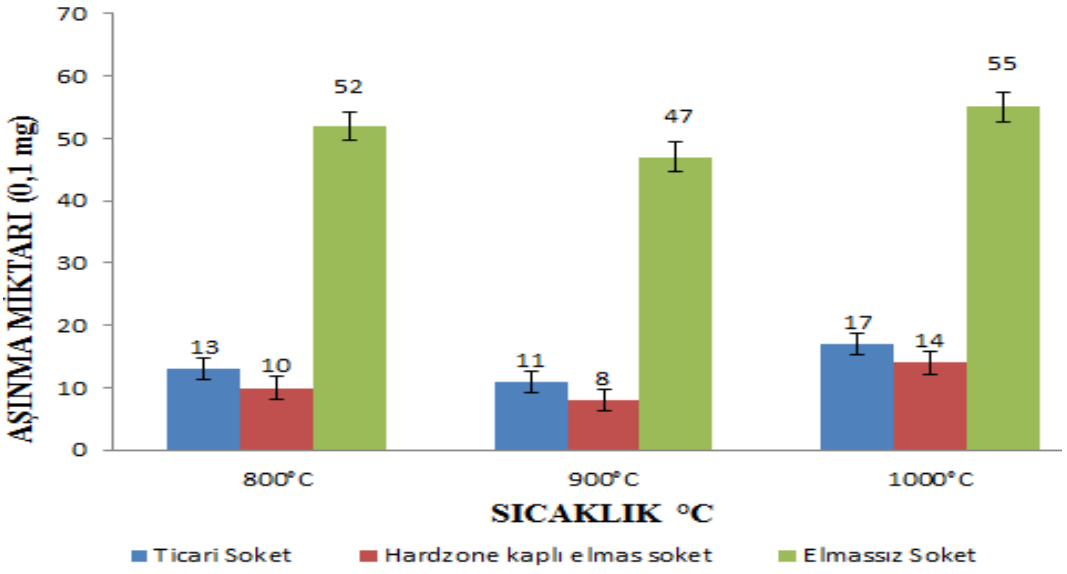
Şekil 6.6 ve 6.7' de elmassız soketin (E_1,E_2,E_3), Ticari soket (A_1,A_2,A_3)'in ve Hardzone Encapsulated teknolojisi ile kaplanmış elmas soketlerin (B_1,B_2,B_3) aşınma deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.6 900 °C de sinterlenmiş Elmas ilavesiz, Hardzone kaplamalı ve Ticari soketin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.

Şekil 6.6' dan da görüldüğü gibi her üç sokete de artan yük ile aşınma miktarı artmaktadır. Elmas olmayan soketlerde aşınma miktarı en fazladır. Yapıda bulunan elmas taneleri soketin aşınma direncini yüksek oranda artırmaktadır.

Soket içerisine kaplanmış elmas ilavesinin aşınma direncini arttırdığı görülmektedir. Elmasın dış kısmındaki Co+Bronz kaplama sadece elmas tanelerinin sıralı bir şekilde dizilimini sağlamamaktadır. Ayrıca, matriks ile elmas tanesinden daha kolay bağ kurarak yapıya sıkı bir şekilde tutunmasını da sağladığı sonuçlardan açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.7 87 N yük altında Elmas ilavesiz, Hardzone kaplamalı ve Ticari soketin aşınmasına sıcaklığın etkisi.

Şekil 6.7’ den de görüldüğü gibi her üç sıcaklıkta da en çok aşınan malzeme elmassız sokettir. 900˚C de aşınma miktarı azalmış sıcaklığın etkisi ile matrikste bulunan tozların birbirini daha iyi ıslatması sonucu aşınmaya karşı direnç kazanılsa da 1000˚C de meydana gelen tane büyümesi sonucu bu direnç kaybedilmiştir.

Ticari Soket içerisinde bulunan elmaslar yapıya aşınma direnci kazandırmış, özellikle 900˚C de elmas matriks ara yüzeyinde oluşan bağlanmadaki kuvvetlenmeden dolayı ve yapıdaki tozların yavaş soğuma sonucu faz diyagramlarına göre oluşturduğu intermetalikler sayesinde aşınma direnci artmıştır. Sıcaklığın 1000˚C’ye çıkması sonucu yapıdaki elmaslar grafitleşmeye başlamış ve uygulanan yük sonucu kırılmış ya da koparak yapıyı terk etmiş ve bunun sonucunda aşınma miktarı artmıştır.

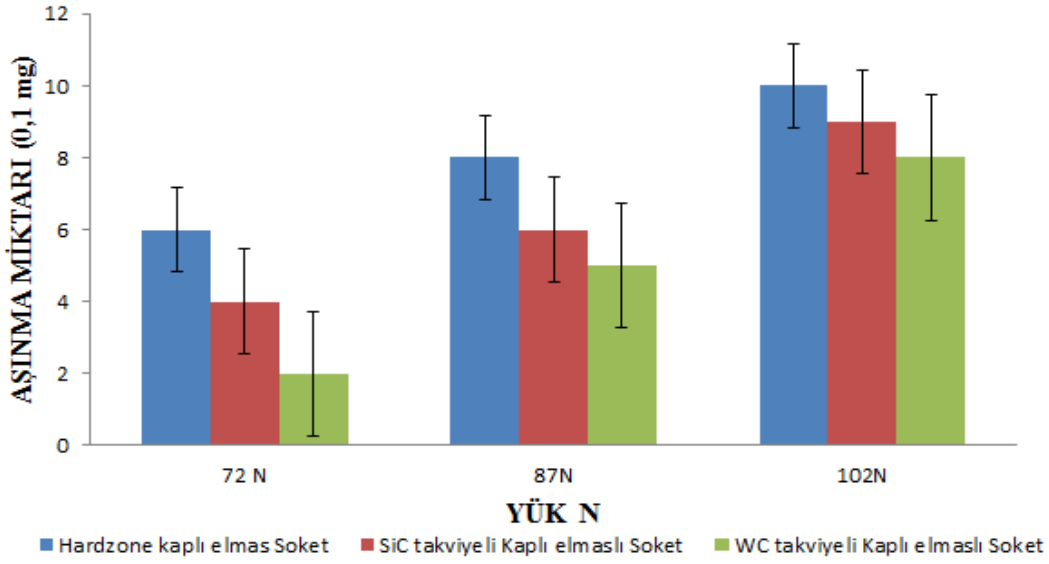
Şekil 6.8’ de 900˚C ve 1000˚C’deki iki elmas soketin görüntüsü verilmiştir. 900˚C deki sokette elmas taneleri sarı renkte iken 1000˚C’deki sokette elmas tanelerinin tamamı siyah renktedir. Bu da yüksek sıcaklıkta elmas tanelerinin grafitleşerek yapısal bozunuma uğradığının göstergesidir.



Şekil 6.8 Yüksek sıcaklıklarda elmastaki renk değişimi.

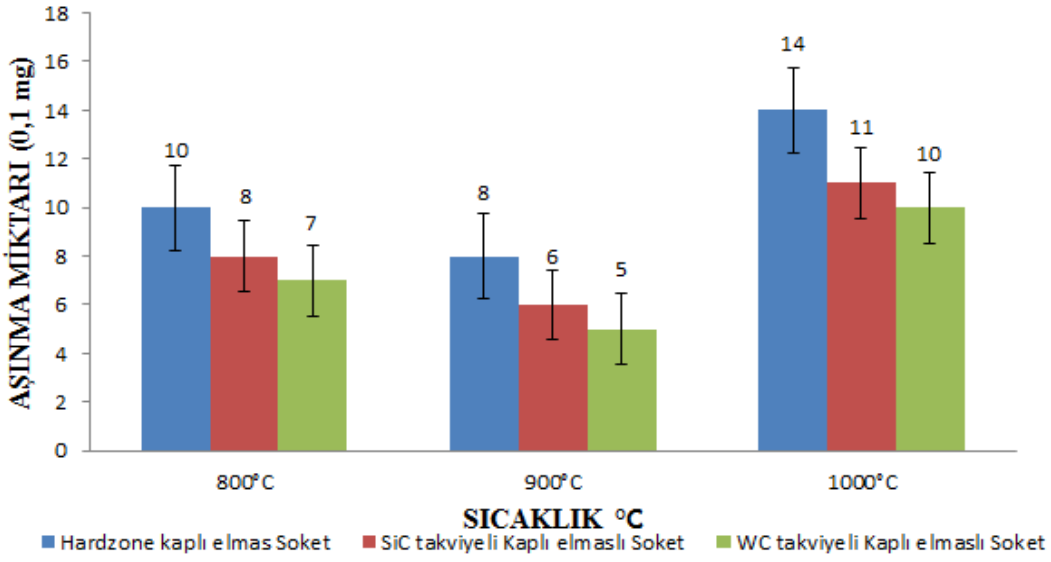
6.3.2 SiC ve WC’ ün Ticari soketin aşınma dayanımına etkisi.

Şekil 6.9 ve 6.10’ da kaplı elmas kullanılan Ticari soketin (B_1,B_2,B_3), SiC takviyesi yapılmış kaplanmış elmaslı Ticari soketin (C_1,C_2,C_3) ve WC takviyesi yapılmış kaplanmış elmaslı Ticari soketin (D_1,D_2,D_3) aşınma deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.9 900°C de sinterlenmiş Hardzone kaplamalı, SiC takviyeli ve WC takviyeli kaplı elmaslı soketlerin aşınma miktarları.

Şekil 6.9' dan da görüldüğü gibi her üç sokete de artan yük ile aşınma miktarı artmaktadır. Soket içerisine SiC ve WC gibi karbürlü element ilavesi ile aşınma direncinin arttığı özellikle WC ilavesinin matrikste bulunan Co ile yüksek oranda ıslatabilirlik sayesinde kararlı alaşımlar oluşturduğu ve oluşan bu sert yapılar sayesinde sertlik artışı sağladığı ve aşınma miktarında düşüş sağladığı görülür. Burada SiC ve WC' ün yapıyı her ne kadar aşınmaya karşı dirençli hale getirse de en yüksek yük olan 102 N luk yük altında bölünme yetmezliği ile kırılmaları sonucu aşınma miktarlarının arttığı görülmektedir [45].



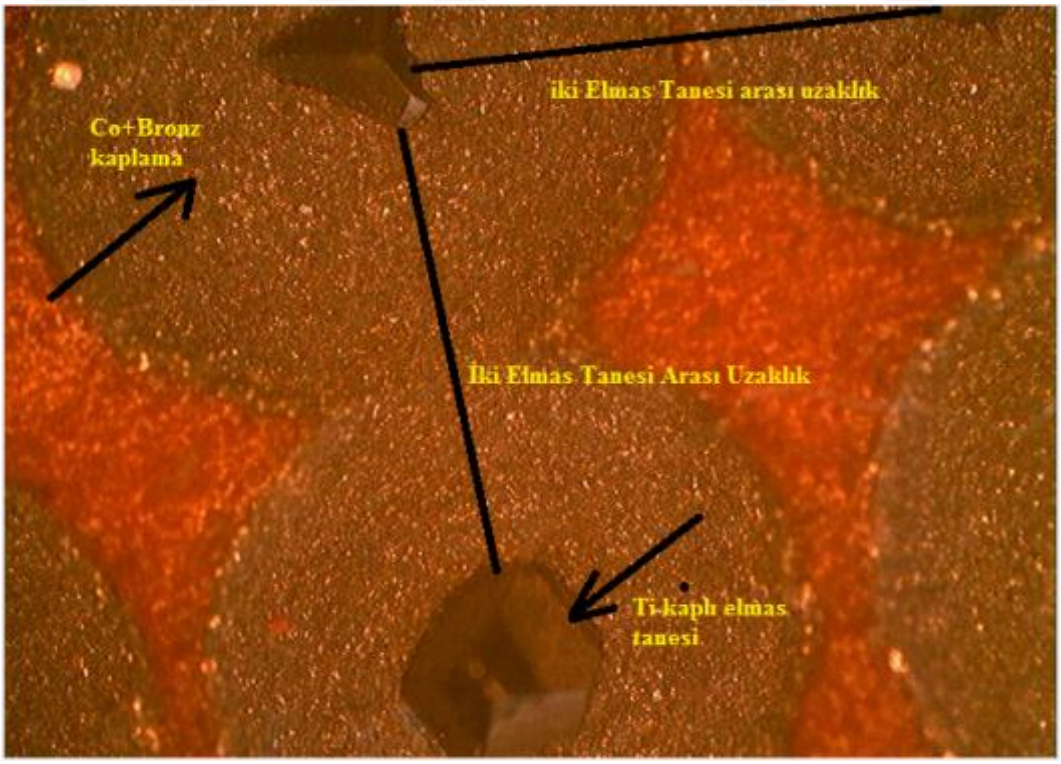
Şekil 6.10 87 N yük altında Hardzone kaplamalı, SiC takviyeli ve WC takviyeli kaplı elmaslı soketlerin aşınmasına sıcaklığın etkisi.

Her üç soket türünün de 900˚C de aşınma miktarları düşmüş ve en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta yapıda bulunan elementlerin (Fe,Co,Cu bronz sayesinde oluşan sıvı faz tarafından çevrelenmesi ve Co ile Fe' in hem SiC, WC ile hem de Bronz ile faz diyagramlarında belirtilen intermetalikleri oluşturması sonucu yapının artan sertliği ile aşınma direnci artmıştır.

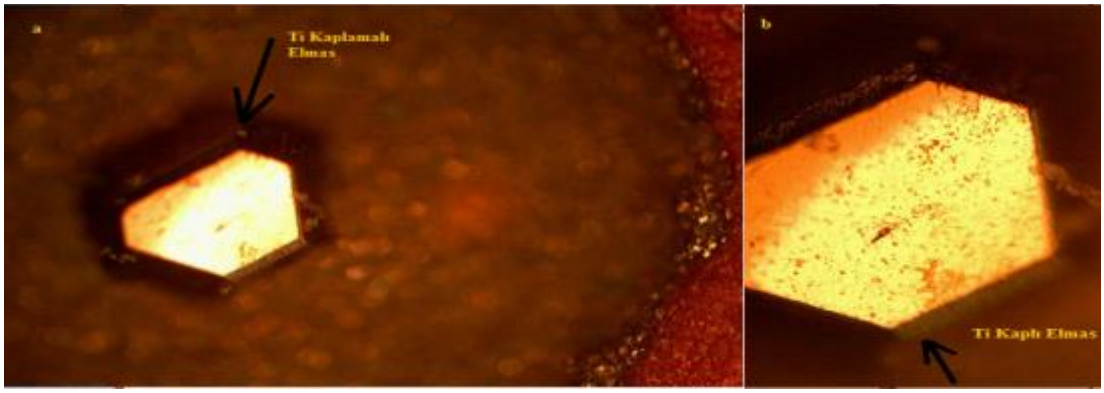
1000˚C de ise Fe' in tavlama sıcaklığına yakın bir sıcaklığa gelinmesi Fe-Co ferritik bölgesi yüzünden yapının yumuşamasını sağlar, hemde Fe'in elmas (C) ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan Fe_3C aşırı kırılgan bir faz olup yüklere dayanamayarak yapıya kırılganlık katmaktadır. Bu sıcaklıkta kaplamasız elmaslarda meydana gelen grafitleşme ile yapıda meydana gelen bozunma sonucu elmasta uygulanan yük ile beraber kırılma ya da yapıyı terk ederek kopma meydana gelmektedir. Bu sonuçlar ışığında da 1000˚C çalışmada kullanılan Ticari soket bileşimi için ve kaplamasız elmas taneleri için uygun değildir.

6.4 Optik Mikroskop Görüntüleri

Çalışmada kullanılan Hardzone Encapsulaed Elmasların optik mikroskop görüntüleri Şekil 6.11' de verilmiştir. Yapıda Co+Bronzlu kısım ve elmas yüzeyindeki TiC kaplama herhangi bir dağlama işlemi yapılmadan rahatlıkla görülmektedir.



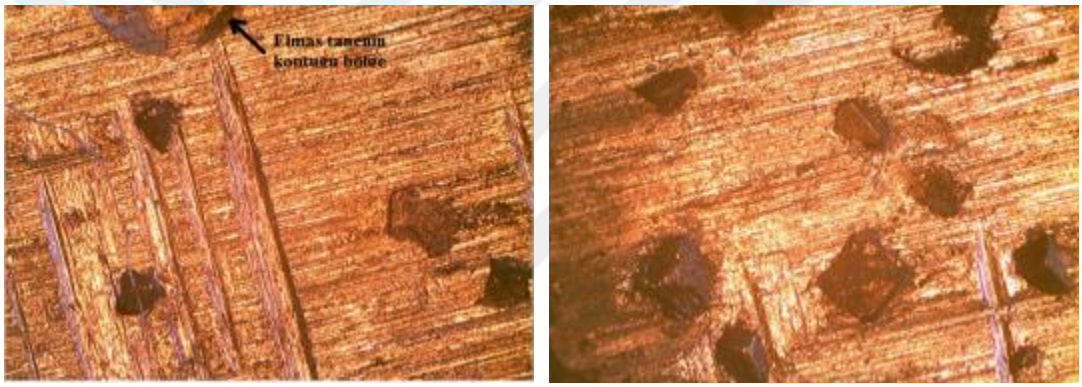
Şekil 6.11 Çalışmada kullanılan Hardzone Encapsulated teknolojisi ile kaplanmış elmas taneleri ve sıralı dizilimleri 50X.



Şekil 6.12 Çalışmada kullanılan Ti kaplı elmasın yakından görünümü a)100x b)200x.

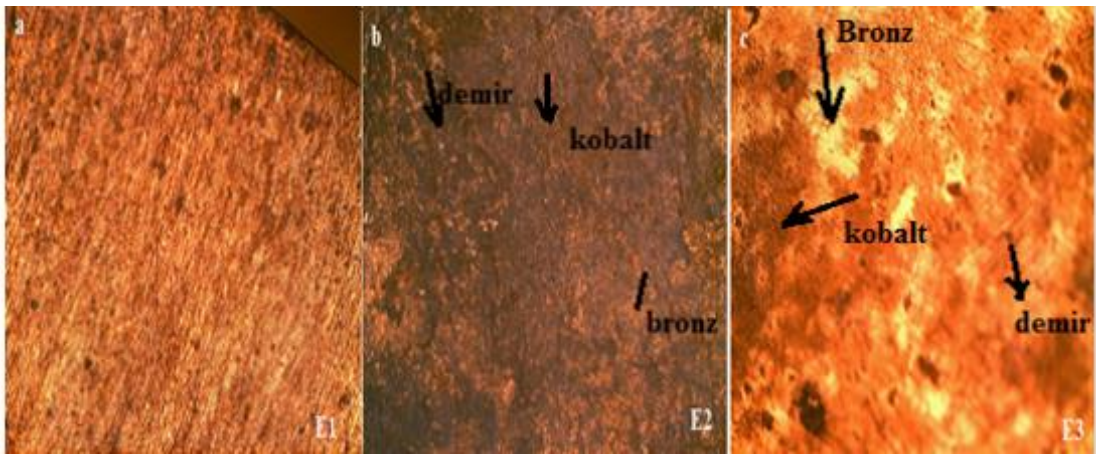
6.4.1 Soketlerde elmas ve kaplanmış elmas kullanımının mikro yapıya etkisi

Şekil 6.13' de elmas tanelerinin aşınmaya karşı durdurucu etkisi ve elmas kümelenmesinin görüntüsü verilmiştir.



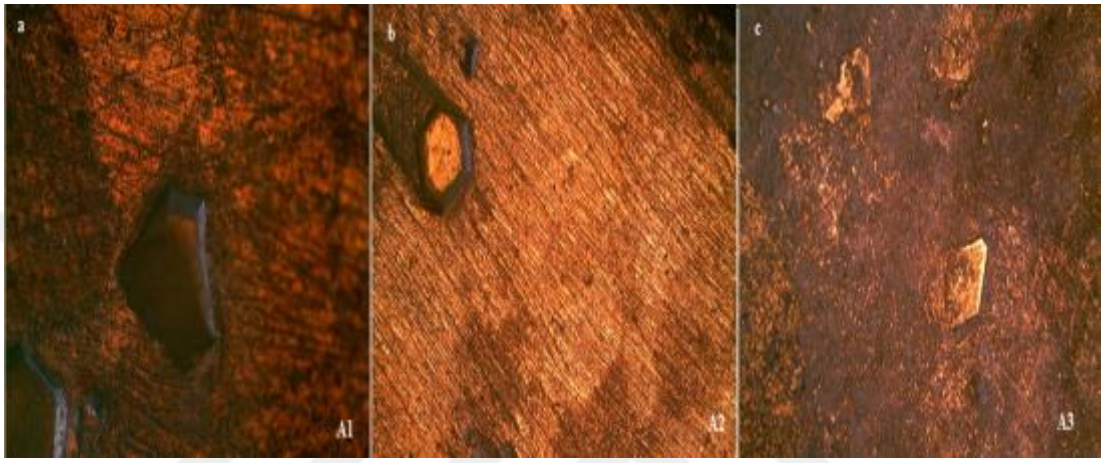
Şekil 6.13 Elmas tanelerinin aşınmayı durdurucu etkisi ve elmas kümelenmesi.

Şekil 6.14, 6.15 ve 6.16' da elmassız soketin (E_1,E_2,E_3), Ticari soket (A_1,A_2,A_3)'in ve Hardzone Encapsulated teknolojisi ile kaplanmış elmas soketlerin (B_1,B_2,B_3) mikro yapıları verilmiştir.



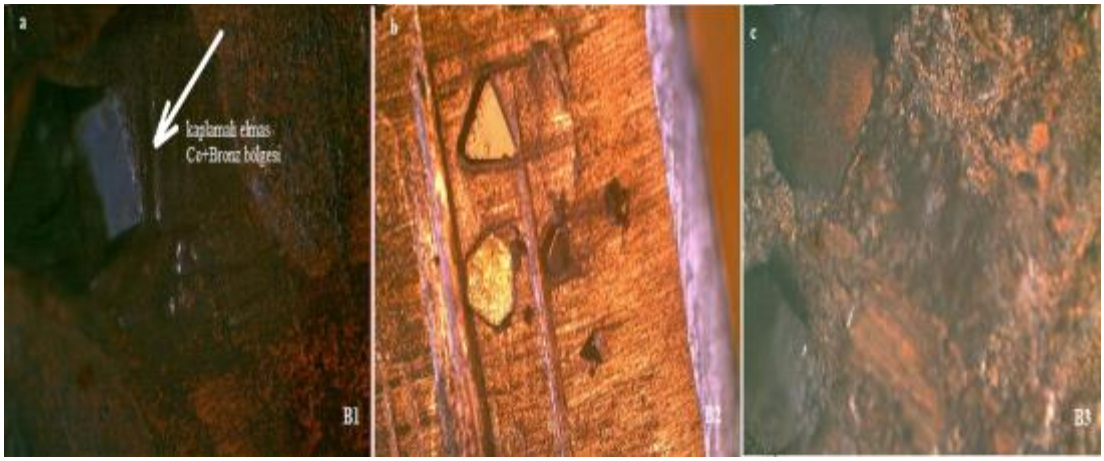
Şekil 6.14 E serisi numunelerin sinterleme sonrası O.M görüntüleri 100X.

Şekil 6.14’ de görüldüğü gibi açık kahverengi ve parlayan kısımlar Cu ve bronzca zengin bölge, gri ye çalan kısımlar kobalt ve diğer koyu olan kısım ise demir fazını temsil eden bölgelerdir. Sıcaklığın yükselmesi ile özellikle 900˚C (E_2)‘de bronzun demir fazının olduğu bölgeye girerek ıslatmaya çalıştığını demirin ise kobalt ile tam bir ıslatabilirlik sağlayarak bir arada bulunduğu görülmektedir. Fe-Co faz diyagramına bakıldığında ‘Bkz. Şekil 3.7’ ikili arasında yüksek bir afinite olduğu görülmektedir.



Şekil 6.15 A_1, A_2 ve A_3 numunelerinin sinterleme sonrası O.M fotoğrafları 100x.

Şekil 6.15’ den de görüldüğü üzere A serisi Ticari Soketlerde artan sıcaklık ile beraber yapıda sıvı faza geçen bronz ve bakır sırası ile demir ve kobaltın tane sınırlarına doğru ilerleyerek itici bir kuvvet uygular ve çözmeye çalışır her iki elementte faz diyagramında sinterleme sıcaklığında çözebileceği kadar element çözer ve soğuma esnasında bunları geri kusar bazen de çözünmeyen elementler yapıda intermetalik alaşımlar da oluşturabilir. Burada açık kahve ve parlayan kısımlar bronz ve Cu fazını, gri alanlar kobalt fazını, daha koyu alanlar ise Fe fazını göstermektedir. 1000˚C sinterlemenin gerçekleştirildiği A_3 numunesinde demirin C (elmas) ile reaksiyona girip sementit yapısını oluşturması elmasın bozunumunu hızlandırmakta bu yüzden yapı ne kadar homojen olsa da yani bronz ve bakır demir tanelerinin arasında ne kadar iyi yayılsa da istenilen verim alınamamaktadır.

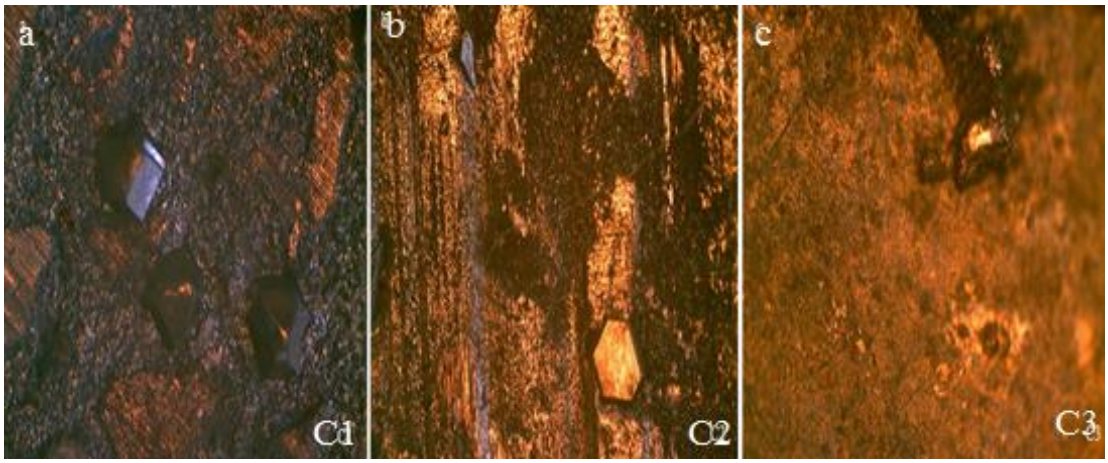


Şekil 6.16 B_1, B_2 ve B_3 numunelerinin sinterleme sonrası O.M görüntüleri 100X.

Şekil 6.16' dan da görüldüğü gibi B serisi numunelerde hem kaplamasız hem de kaplamalı elmas beraber kullanılmıştır. Kaplanmış elmasın dış kısmındaki Co ve Bronz alanı Ti kaplı elması koruyarak demirin yaklaşmasını engellemektedir. Demir ile kobalt faz ikili faz diyagramına göre belirli oranlarda çözünmektedir. 'Bkz. Şekil 3.7' kobalt bu şekilde yapıya sıkı bir şekilde tutunarak hem sağlam bir matriks oluşumuna katkı sağlar hem de elması sıkı bir şekilde yapıda tutmaktadır. Artan sıcaklık ile yapıda kullanılan kaplamasız elmasların grafitleşerek tabakalı olarak kırıldığı ya da demir yüzünden meydana gelen termal genleşmeden dolayı bir kuvvete maruz kalarak çatlamakta iken kaplamalı elmaslarda bu sorun görülmemektedir.

6.4.2 SiC ve WC' ün Ticari soketin mikro yapısına etkisi

Şekil 6.17' de SiC takviyeli kaplı elmaslı soketin mikro yapı görüntüleri verilmiştir.



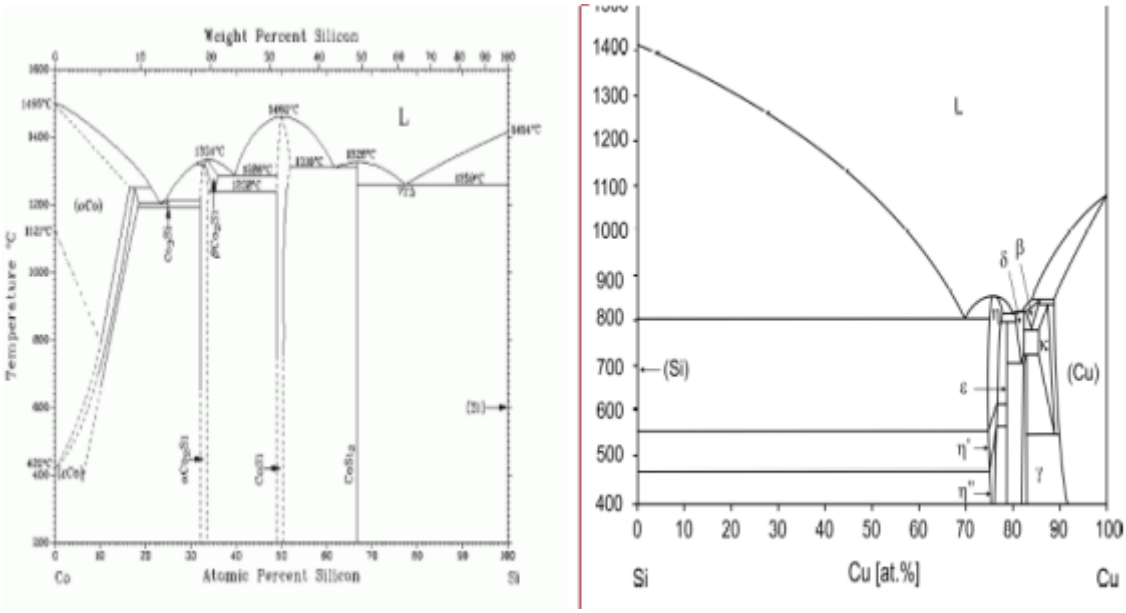
Şekil 6.17 C_1, C_2 ve C_3 numunelerinin sinterleme sonrası O.M görüntüleri 100X.

Şekil 6.17’ den de görüldüğü gibi SiC taneleri elmas tanelerini çevreleyerek birbirleri ile teması önlemektedir. Ayrıca, 800˚C de (C1 numunesi) SiC taneleri çok fazla dağılmamış yapı içinde segregasyon olarak bir tarafa birikmiştir. SiC tanelerinin sinterlenmesi için bu sıcaklık yetersizdir, bu sıcaklıkta yeterince yüksek miktarda sıvı faz oluşamamakta ve bu nedenle SiC taneleri Cu ve Bronz içerisinde çözünüp yeniden çekirdelenememektedir. Fakat bu sıcaklıkta SiC taneleri elmas gibi aşınmayı durdurucu etki yaparak SiC takviyesiz malzemelere göre aşınma dayanımını artırır. Şekil 6.18’ de SiC segregasyonunun aşınmayı durdurucu etkisi görülmektedir.



Şekil 6.18 SiC birikiminin aşınmayı durdurucu etkisi.

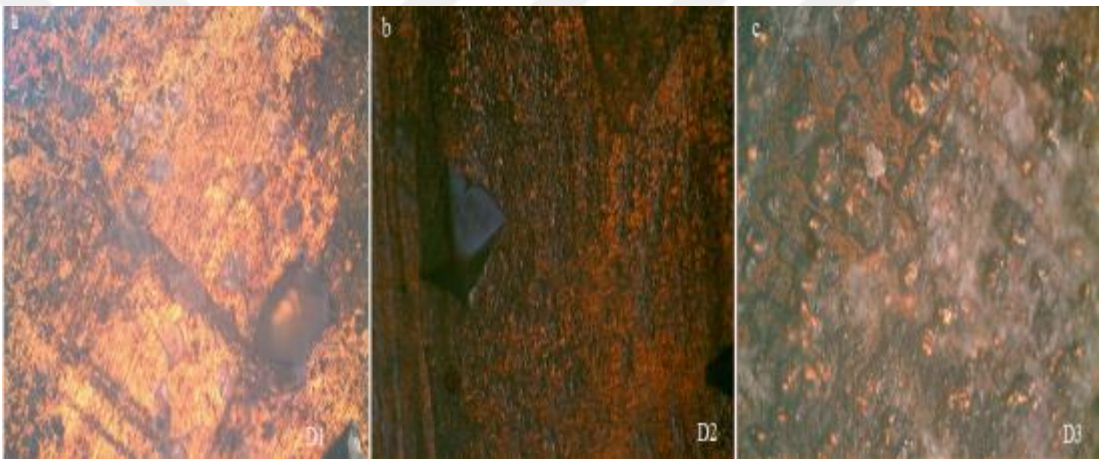
Şekil 6.19’ da verilen Co-Si ve Cu-Si faz diyagramlarından şekil 6.17’ deki mikro yapıların açıklanmasında faydalanılmıştır.



Şekil 6.19 Co-Si ve Cu-Si faz diyagramı.

900˚C de Cu ve Si ikilisi arasındaki faz diyagramına bakıldığında ikili arasında Cu_3Si fazı intermetalik olarak ortaya çıkmakta ve sinterleme işlemi bitip soğuma evresine geçince bu yüksek sıcaklık fazı 558 ile 620˚C arasında η' fazına 467 ile 570˚C arasında da η" fazına dönüşerek düşük sıcaklık fazını oluşturacaktır. Bu faz ortorombik veya tetragonal yapıdadır. Oluşan bu faz yapıda sertlik ve yoğunluk artışına neden olmaktadır. Ayrıca, Co ve Si arasında faz diyagramından da görüldüğü gibi 900 ve 1000˚C deki sinterlemelerde Co_2Si fazı meydana gelecektir. Meydana gelen bu intermetalik fazlar sayesinde 900 ve 1000˚C de sertlik artışı sağlanır fakat 1000˚C de elmaslarda meydana gelen yapısal bozunmadan dolayı yeterli verim alınamamıştır.

Şekil 6.20' de D_1, D_2 ve D_3 numaralı soketlerin mikro yapı görüntüleri verilmiştir.

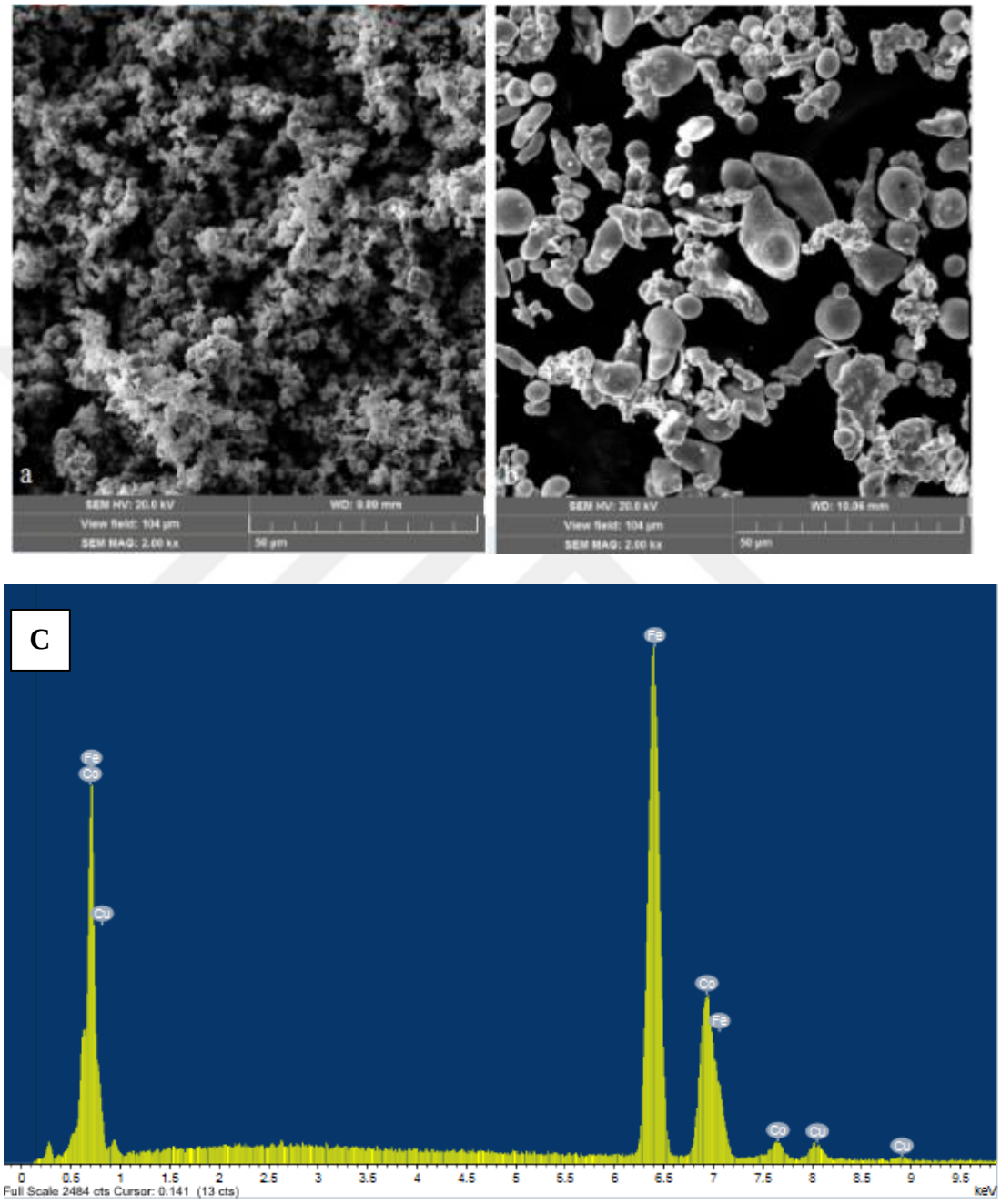


Şekil 6.20 D_1, D_2 ve D_3 numunelerinin sinterleme sonrası O.M görüntüleri 100X.

800˚C sinterleme sıcaklığındaki D numunesinin (D_1) mikro yapısında WC tanelerinin dağınık halde bulunduğu görülmektedir. Sıcaklığın artması ile miktarı artan sıvı faz WC yüzeylerinde çözülmeye neden olur ve sivri köşeler çözünmeye başlayarak küreselleşmesine neden olur. Sinterleme esnasında çözünme, çökelme veya yeniden birleşme evreleri ile yapı düzenlenir. Kaplamalı elmasların dış katmanında bulunan Co bölgesine WC tanelerinin yerleşmesi ile yapı yüksek mekanik özelliklere sahip olmuştur.

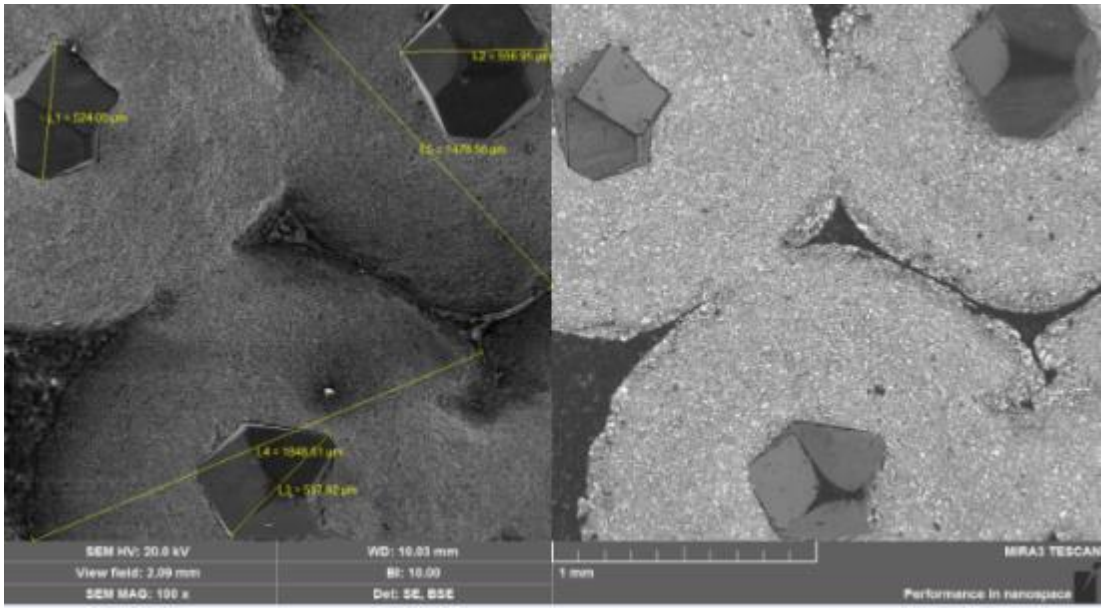
6.5 Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri

Şekil 6.21' de çalışmada kullanılan tozların sem görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.22' de ise Hardzone Encapsulated teknolojisi ile kaplanmış elmas peletlerin SEM görüntüleri ile elmasa yapılan haritalama sonuçları verilmiştir.



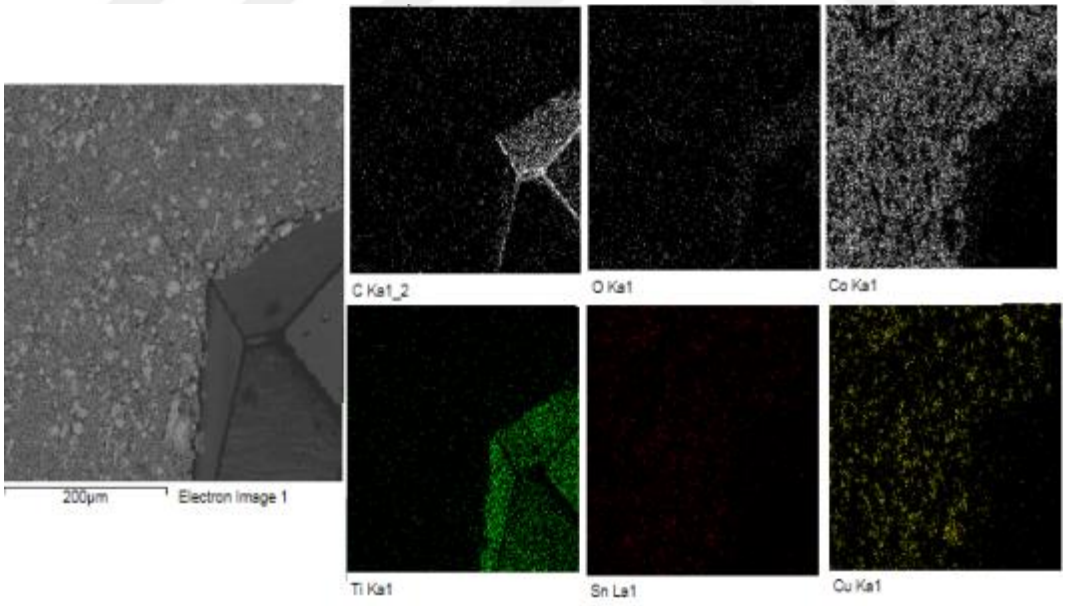
Şekil 6.21 Çalışmada kullanılan tozlar a)ön alaşımlandırılmış mix tozu b)Cu-Sn tozu c) Ön alaşımlandırılmış mix tozunun noktasal analiz sonucu.

Çalışmada kullanılan ön alaşımlandırılmış mix tozunun içinde Fe, Co, Cu mevcuttur 'Bkz. Çizelge 5.1'.



Şekil 6.22 Hardzone Encapsulated elmasın görünümü ve kaplama kalınlığı.

Şekil 6.22' de sağ tarafta verilmiş olan BSE fotoğrafında beyaz olan ve parlayan kısımlar bronz (Cu+Sn), koyu olan kısımlar ise kobalt fazını göstermektedir. Tam orta kısımda bulunan elmasın ise dış yüzeyi Ti ile kaplı olup elmas ile Ti arasındaki kısımda TiC ve TiO_2 bulunmaktadır.



Şekil 6.23 Hardzone Encapsulated elmasın elementel haritası.

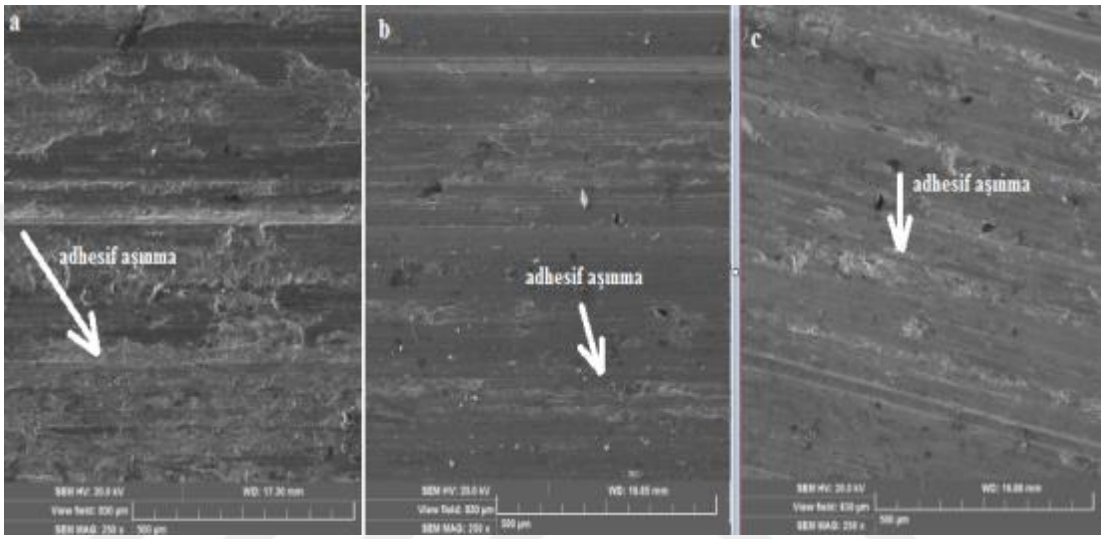
Şekil 6.23' de verilen elementel haritalama da elmas tanesinin sol tarafındaki beyaz ve koyu bölge kobalt ve bronz (Cu-Sn) bulunan bölgedir. Elmasın olduğu kısımda yüzeyde titanyum, karbon ve oksijen bir arada bulunmaktadır. Bu durumda elmas tanesinin dış yüzeyinde hem TiC hem de bölgesel olarak TiO_2 mevcuttur.

6.6 Aşınma Yüzeylerinin SEM Görüntüleri ve EDS Çalışmaları

Aşınma testi yapıldıktan sonra numunelerde meydana gelen aşınma mekanizmalarını irdelemek ve yapıda gelen değişimleri incelemek için SEM görüntüleme işlemi yapılmıştır.

6.6.1 Elmassız soketlerin aşınma yüzey görüntüleri

Şekil 6.24' de elmassız soketlerin 87 N yük altında gerçekleştirilen aşınma testinin yüzey fotoğrafları verilmiştir.

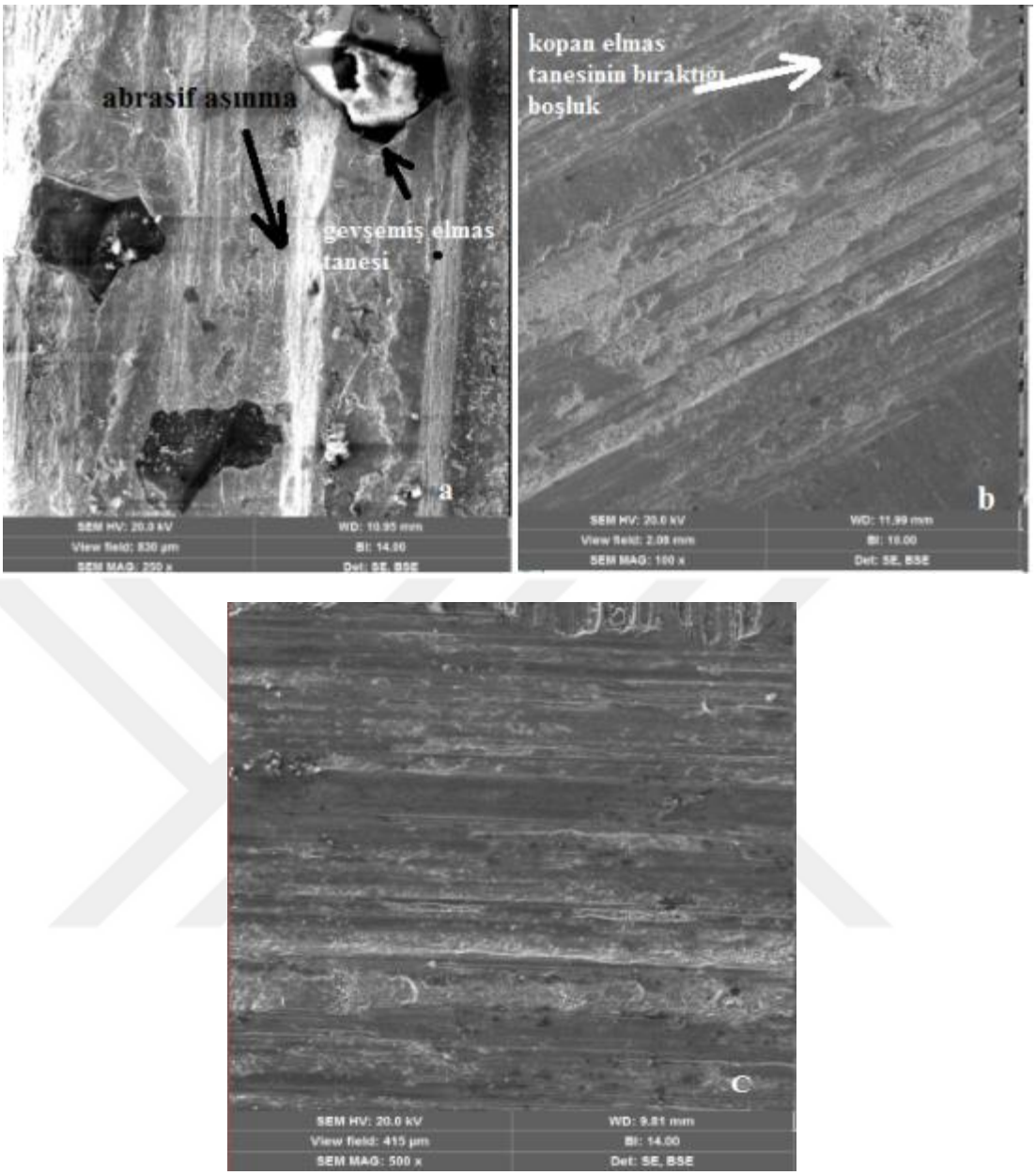


Şekil 6.24 E numunelerinin 87 N yük altındaki aşınma yüzeyleri a) E_1, b)E_2, c)E_3.

Şekil 6.24' den de görüldüğü gibi her üç sıcaklıkta da elmassız numunelerde meydana gelen ana aşınma türü adhesif aşınmadır. E_1 numunesinde adhesif aşınma daha yoğun gerçekleşir iken, E_2 numunesinde aşınma çizgileri daha az ve daha yüzeyseldir. Sinterleme sıcaklığının 1000˚C olduğu E_3 numunesinde ise, aşınma yoğunluğu tekrar artıp çizgilerin sıklaştığı görülmektedir. Burada ayrıca meydana gelen metallerin oksitlenmesi zamanla yapıda kırılmalara, çatlaklara neden olur ve devam eden tekrarlı yük altında oksitlenen kısım koparak yorulma aşınmasına neden olur ki buda en tehlikeli aşınma türlerinden biridir. Sıvanmış olarak bulunan kısımlar genellikle karşıttan gelen Fe, Mn, Ni gibi elementlerdir ve aşınma esnasında meydana gelen sıcaklık ile bu elementler oksitlenmeye başlar ve sisteme büyük zarar vermektedir.

6.6.2 Ticari soketin aşınma yüzey görüntüleri

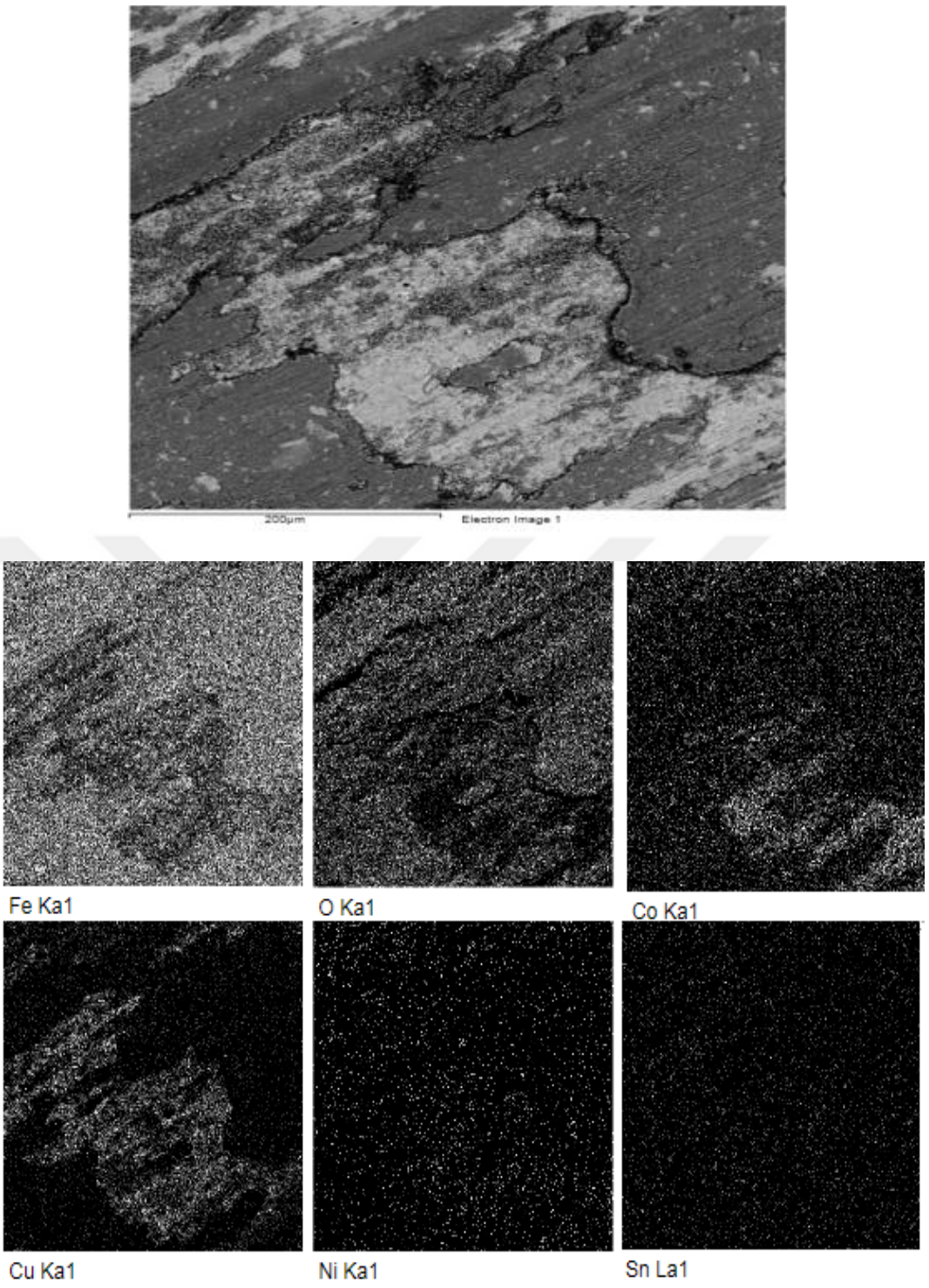
Şekil 6.25' de sanayide Ticari soket olarak kullanılan elmas soketin, 87 N yük altında gerçekleştirilen aşınma testinin yüzey fotoğrafları ve noktasal ve elementel analizleri verilmiştir.



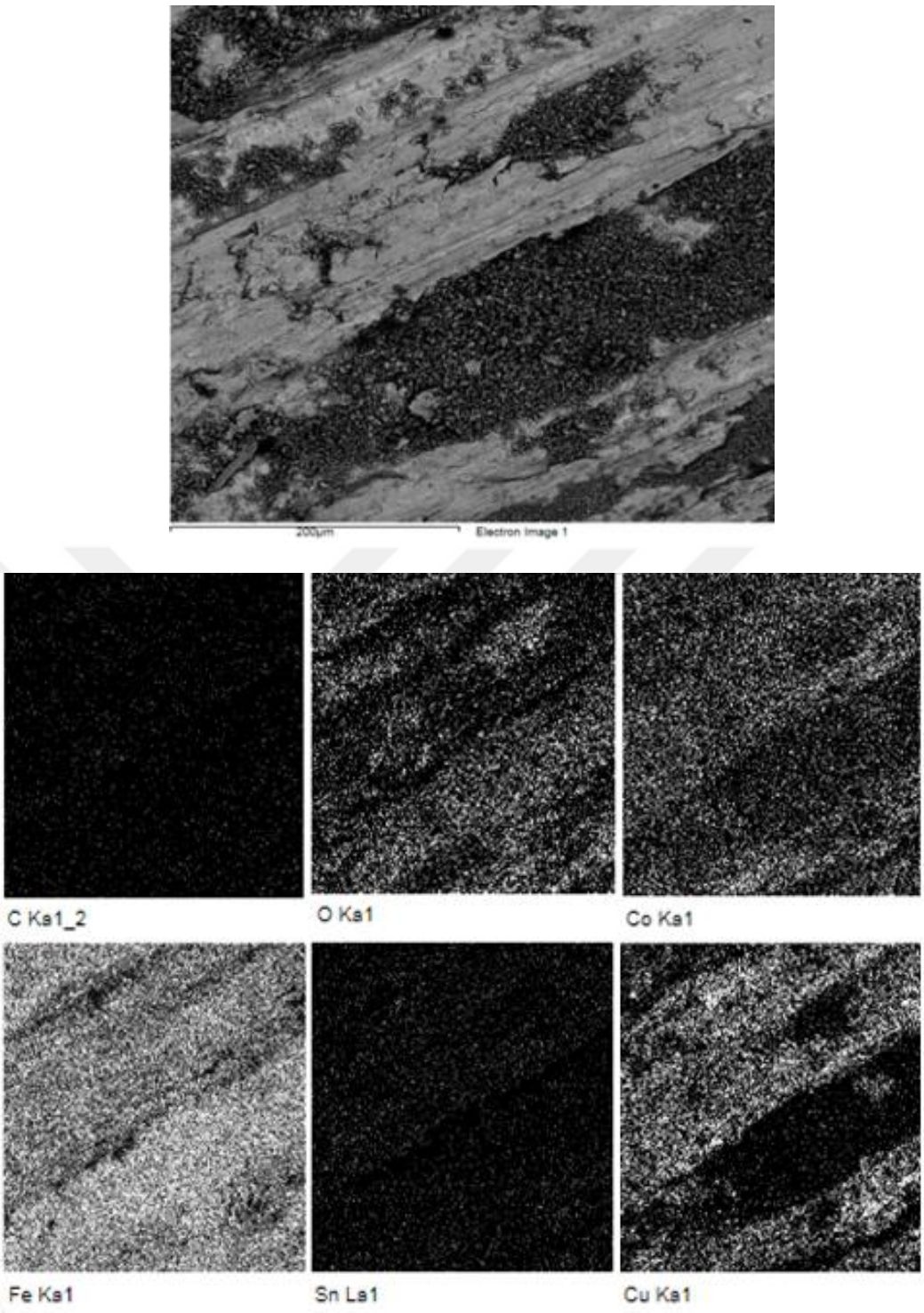
Şekil 6.25 Ticari soketin 87 N yük altındaki aşınma yüzeyleri a)A_1, b)A_2, c)A_3.

Şekil 6.25'den de görüldüğü gibi elmas tanelerinin bulunduğu yerde aşınma mekanizması abrasif aşınmadır. Elmasın olmadığı kısımlarda karşıt aşındırıcıdan kopan parçaların yapıya kaynaklandığı görülmektedir. Elmas tanesi sürüklenmeye başlayınca matriksi deforme ederek ilerler. Ticari sokette en önemli sorunlardan biri elmas ile matriks ara yüzeyinde iyi bir bağlanma sağlayamaması ve elmasların kümelenmesidir. Sinterleme sıcaklığının 1000˚C olduğu A_3 numunesinde elmasların tamamının grafitleştiği ve aşırı derece de deformasyona maruz kaldığı görülmektedir. Bu yapısal bozunmadan dolayı mekanik özellikler düşük çıkmaktadır.

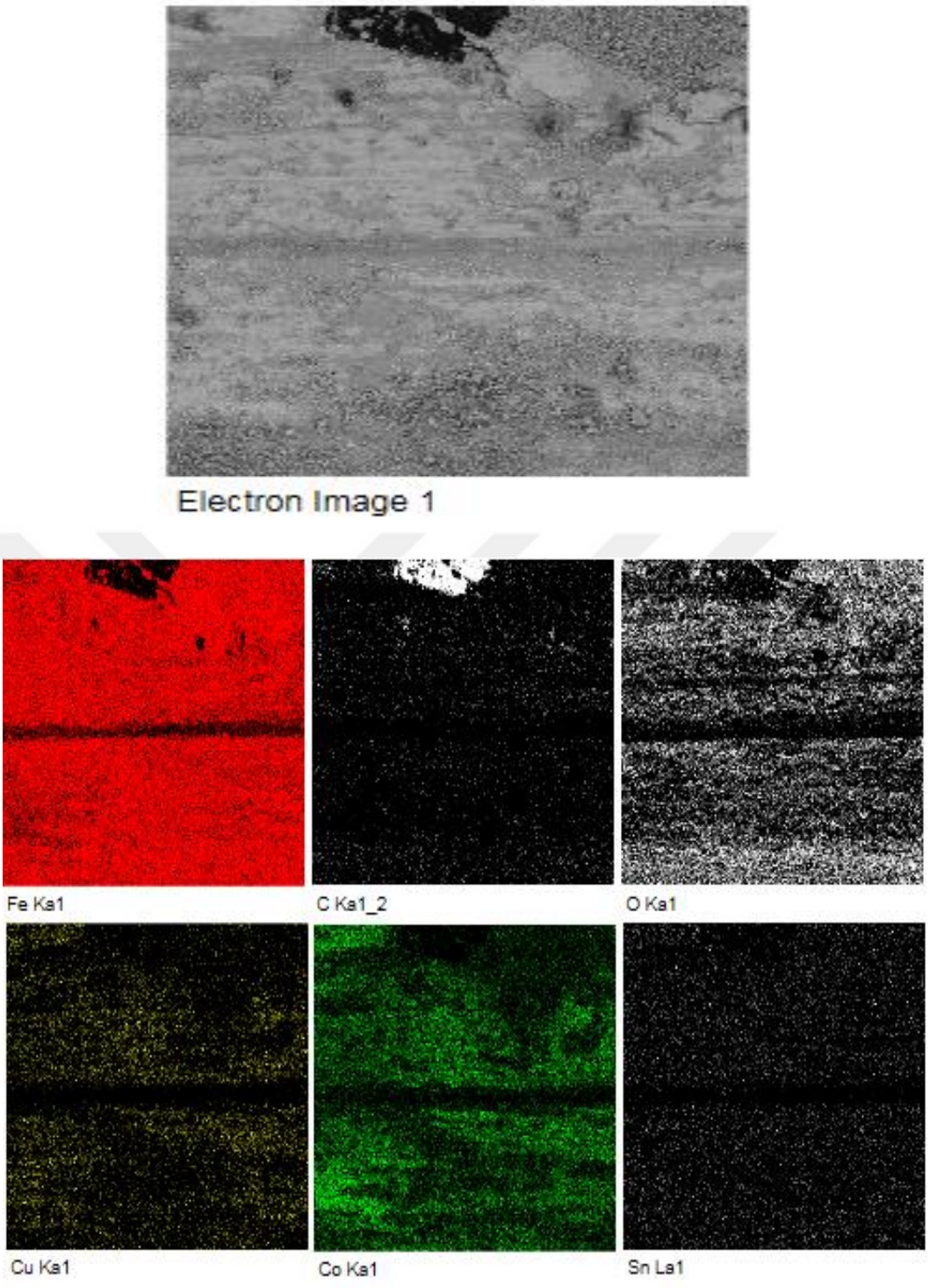
Numunelerde elmassız bölgelere EDS ve mapping yapılarak adhesif aşınmanın varlığı teyit edilmiştir.



Şekil 6.26 A_1 numunesinin 87 N yükte aşınma bölgesinin elementel haritalaması.

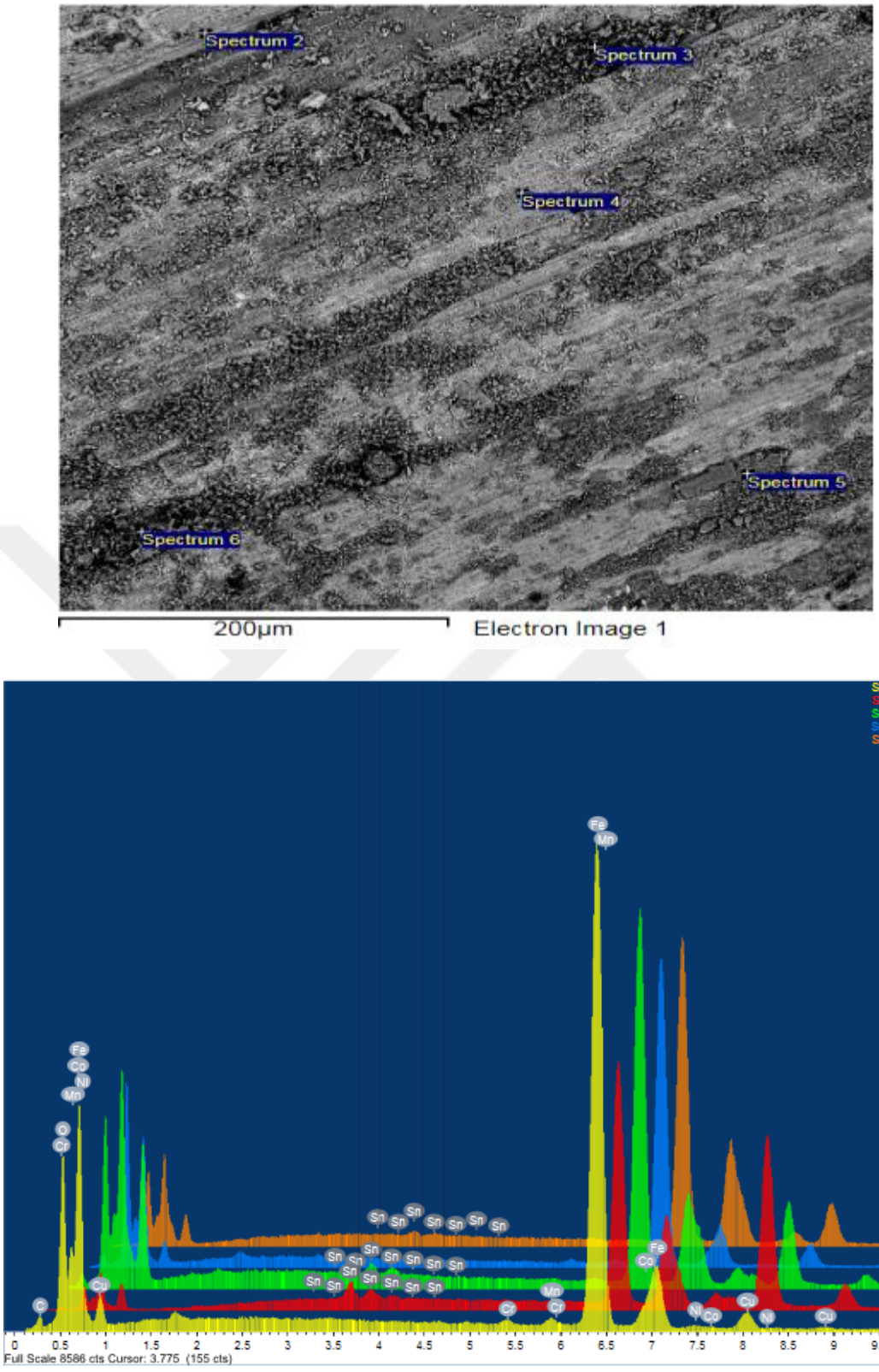


Şekil 6.27 A_2 numunesinin 87 N yük altındaki elementel haritalaması.



Şekil 6.28 A_3 numunesinin 87 N yük altındaki elementel haritalaması.

Her üç şekilden de görüldüğü gibi (Şekil 6.26, 6.27 ve 6.28) oluşan çatlaklarda ve yapının oksitlenmesinde ana etken Fe'dir. Aşınma esnasında oluşan demir oksit seramik fazı aşırı kırılgan bir faz olup parçalanarak dağılma eğilimindedir.

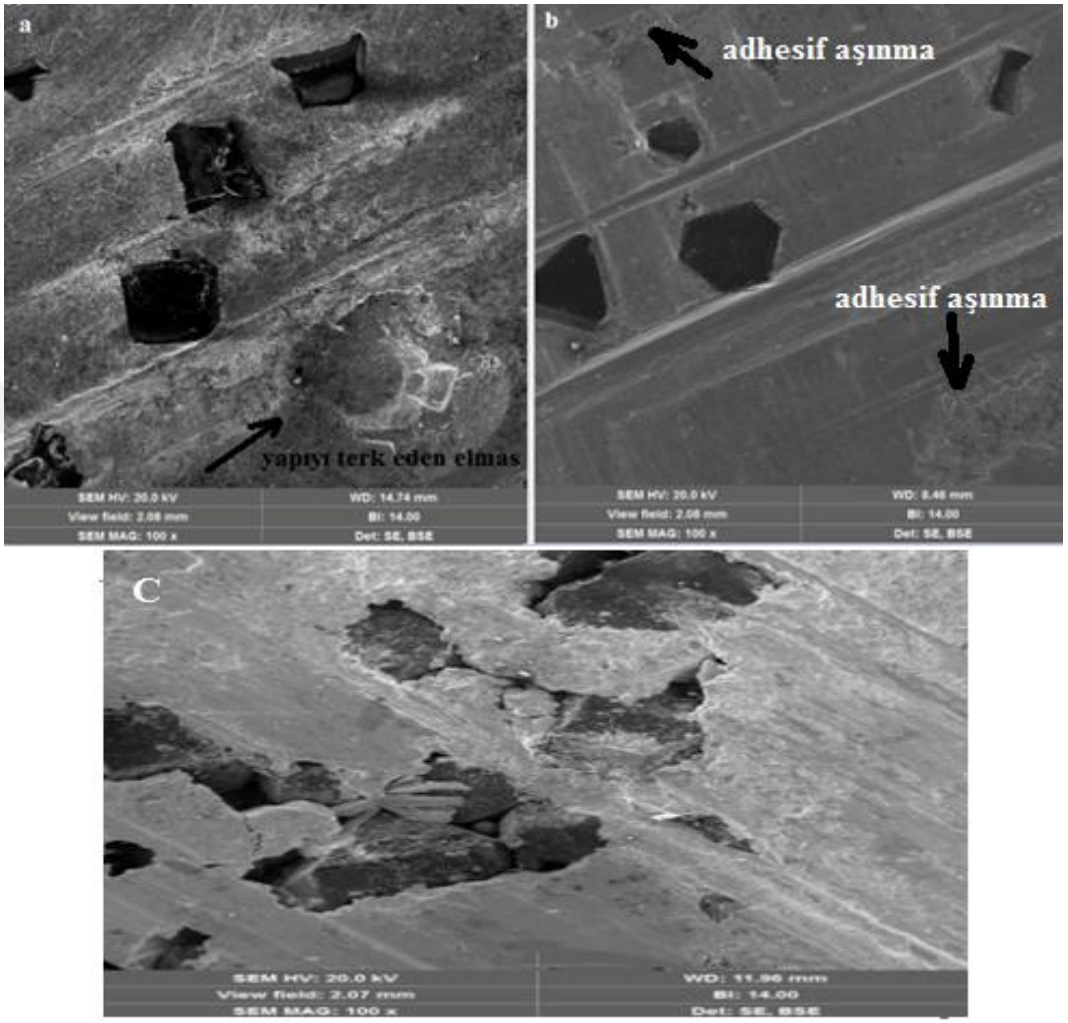


Şekil 6.29 A_2 numunesinin 102 N yük altındaki toplu EDS spektrumu.

Yük arttıkça aşınma arttığı için elmasın sürünürken sıyırdığı malzeme miktarı artmaktadır. Onun haricinde yüksek yüklerde A numuneleri için herhangi başka bir faz farkı söz konusu değildir.

6.6.3 Kaplanmış elmaslı Ticari Soketin aşınma yüzey görüntüleri

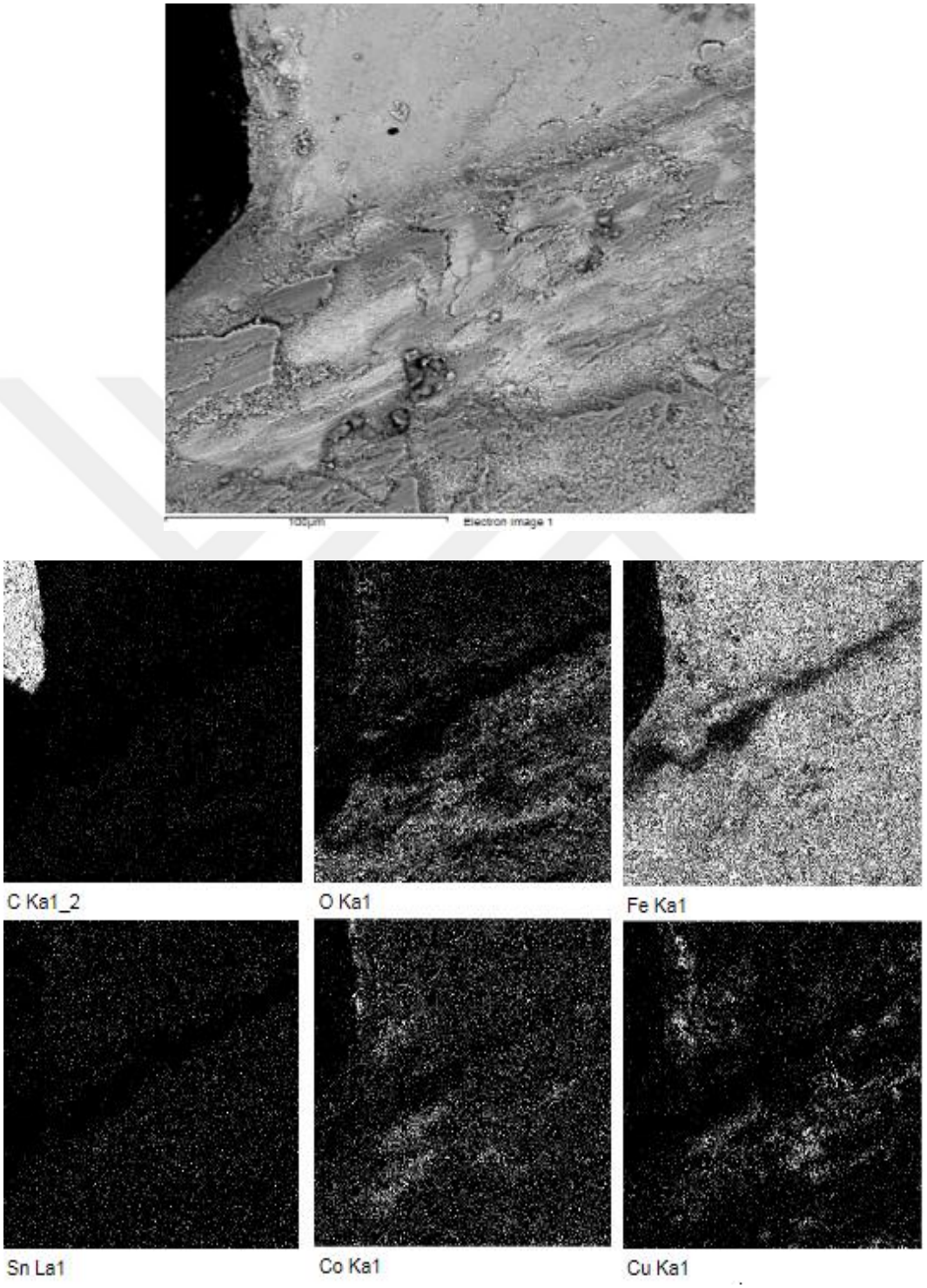
Şekil 6.30' da kaplamalı ve kaplamasız elmasların bir arada kullanıldığı Ticari soket numunelerinin (B_1,B_2,B_3) 87 N yük altında gerçekleştirilen aşınma testinin yüzey fotoğrafları ile noktasal ve elementel analizleri verilmiştir.



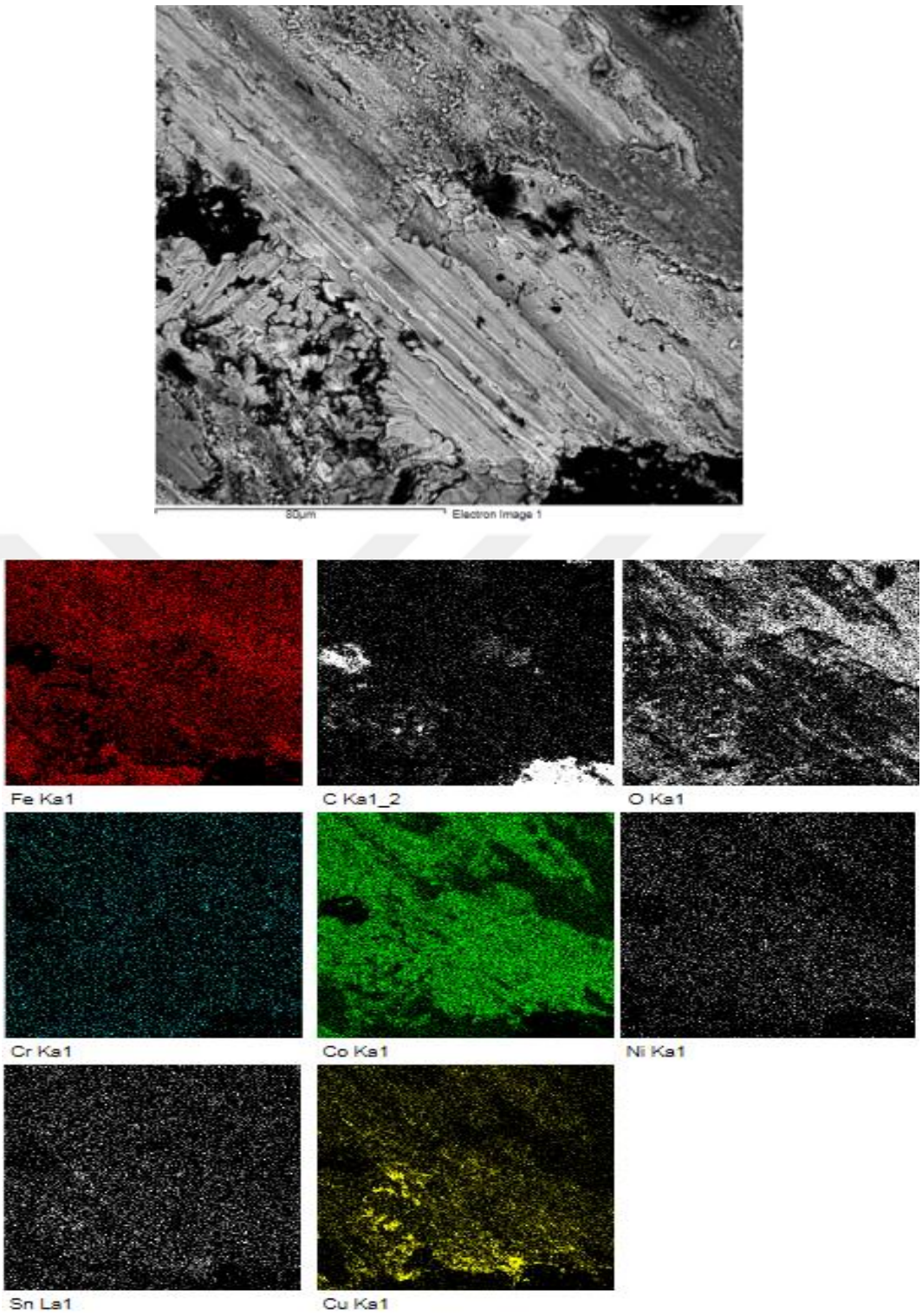
Şekil 6.30 B numunelerinin 87 N yük altındaki aşınma yüzeyleri a)B_1, b)B_2, c)B_3.

Şekil 6.30' dan da görüldüğü gibi 800˚C de sinterlenen numunenin aşınmaya direnci elmassız ve Ticari sokete nazaran yüksek olsa da yapıda elmas kopmaları devam etmektedir. Fotoğraftan elmasın sürüklenme sonucu gevşeyip daha sonra yapıyı terk ettiği anlaşılmaktadır. B_2 numunesinin aşınmasında elmas tanelerinin bulunduğu yerlerde elmas, aşındırıcıya direnç gösterdiği için abrasif aşınma meydana gelirken adhesif aşınmanın meydana geldiği kısımlarda genellikle karşıttan gelen malzeme aşınma esnasında meydana gelen sıcaklık ile de oksitlenip yapıda çatlaklara neden olmakta ve ufak bir yükte yapı oksitli kısımdan itibaren koparak yüksek miktarda malzeme kaybına neden olmaktadır. B_3 numunesinde ise, yapıda alaşım sertliği

sağlanmış olmasına rağmen elmasların yüzeylerinin bozunmasından dolayı özelliklerini kaybetmekte ve yapıda boşluklar oluşturmaktadır. Bu yüzden optimum mekanik ve fiziksel özellikler B_2 numunelerinde elde edilmiştir.

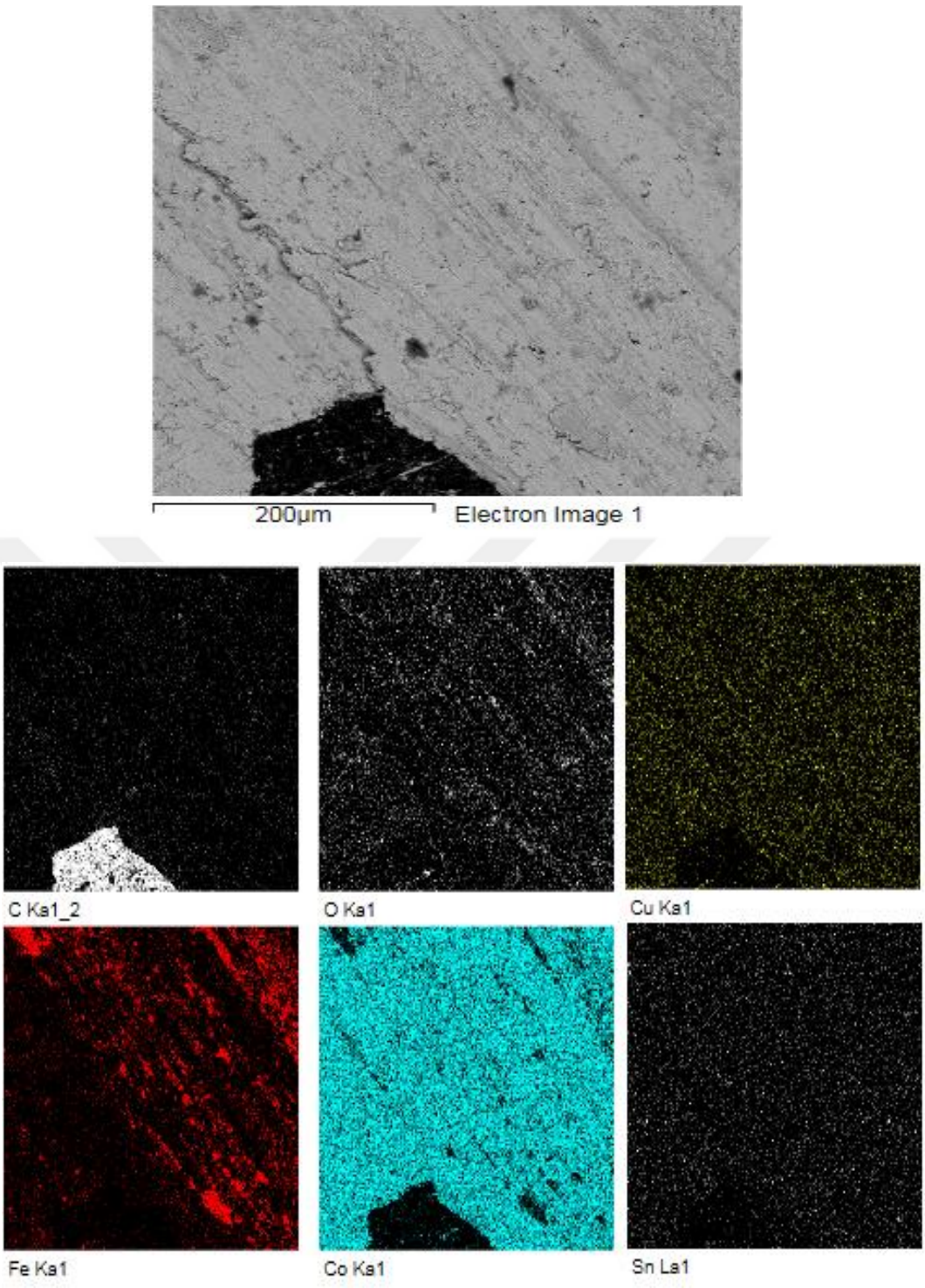


Şekil 6.31 B_1 numunesinin 102 N yük altındaki elementel haritalaması.



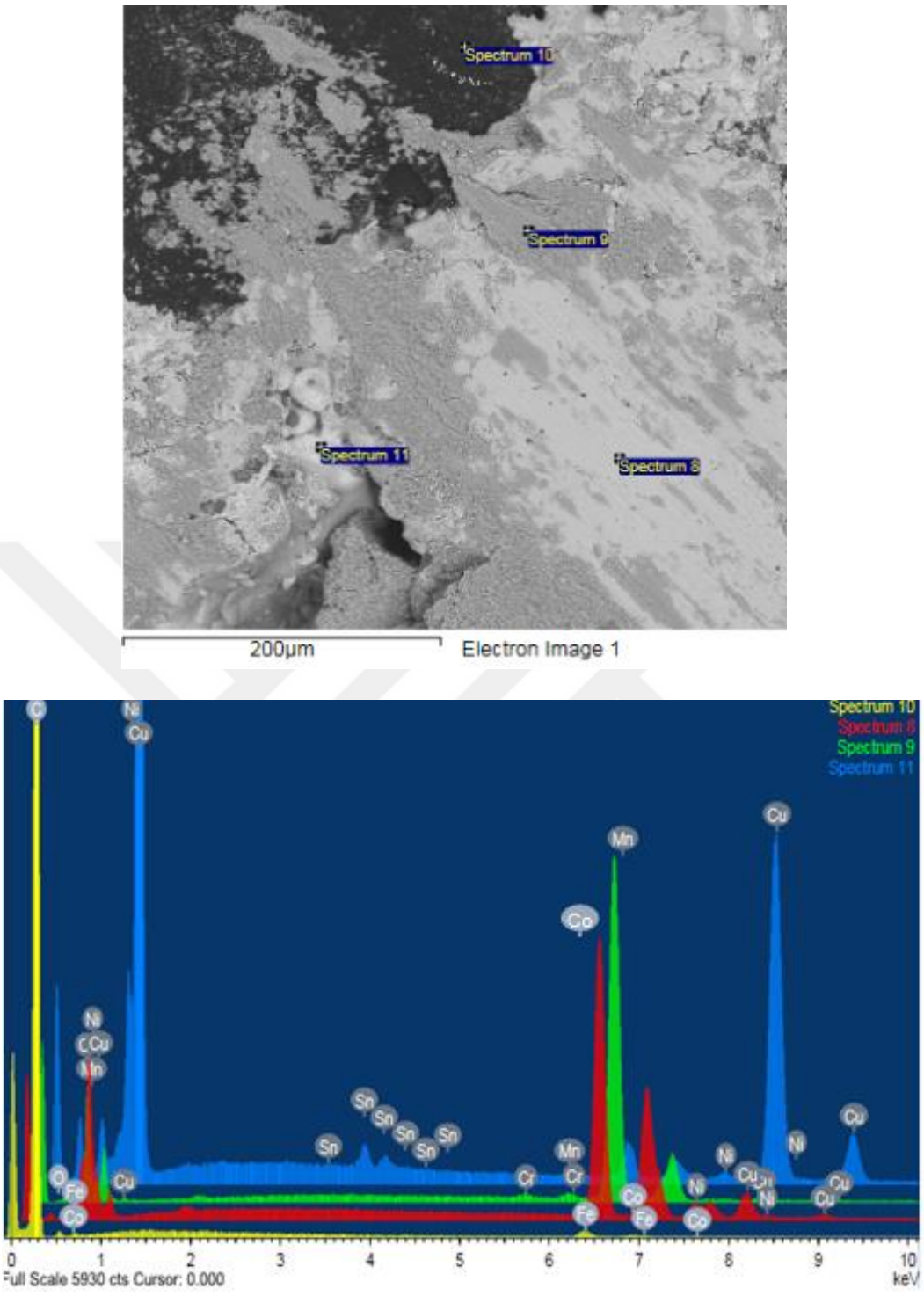
Şekil 6.32 B_2 numunesinin 102 N yük altındaki elementel haritalaması.

Yüksek yük altında B numunelerinin tamamında yüksek düzeyde deformasyon görülmektedir. Yüzeye kaynaklanan numuneler 102N da daha fazla oksitli haldedir. Bunun nedeni yüksek yükte aşınma esnasında malzeme daha fazla ısınacaktır. Isınma sonucu yapıya transfer olan metaller oksitlenir ve yorulma aşınmasına neden olmaktadır. Ayrıca, Fe-Co o sıcaklıkta ferritik yumuşamaya uğrayabilir.



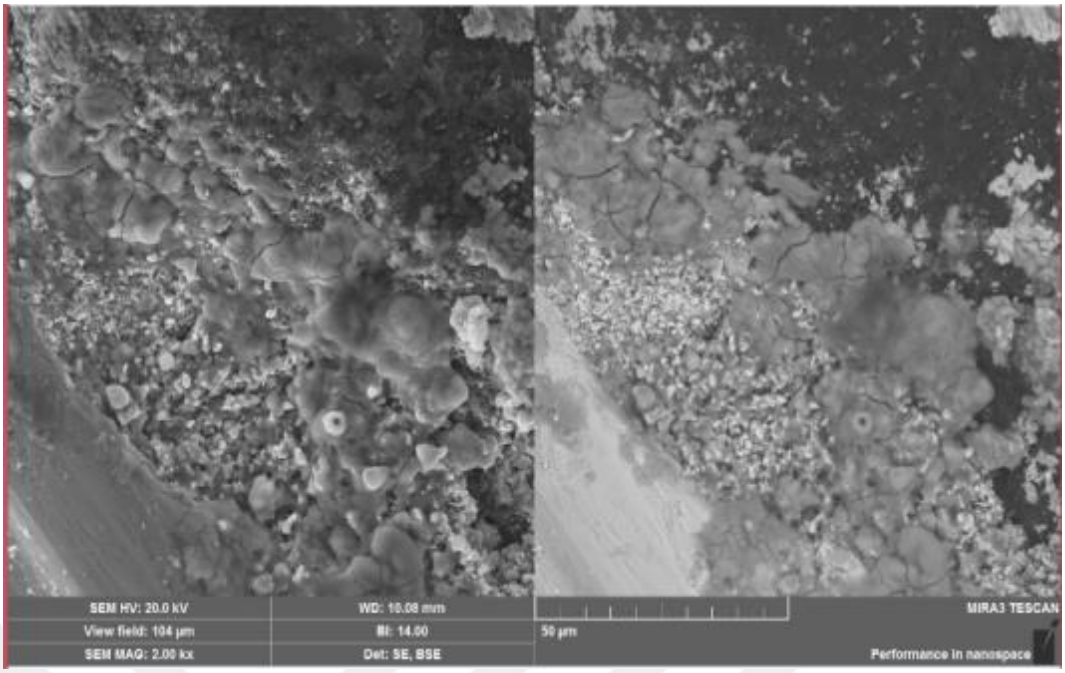
Şekil 6.33 B_3 numunesinin 87 N yük altındaki elementel haritalaması.

Şekil 6. 33' den de görüldüğü üzere 1000˚C sinterlenen numunede 87 N yük altında çok fazla deformasyon meydana gelmemiştir. Oluşan alaşımların sertliklerinin artmasından dolayı matriks aşınmaya dayanıklı hale gelmiş fakat elmasların yapısal bozunumundan dolayı aşınma miktarı fazla çıkmıştır.



Şekil 6.34 B_3 numunesinin 102 N yük altında eds analizi.

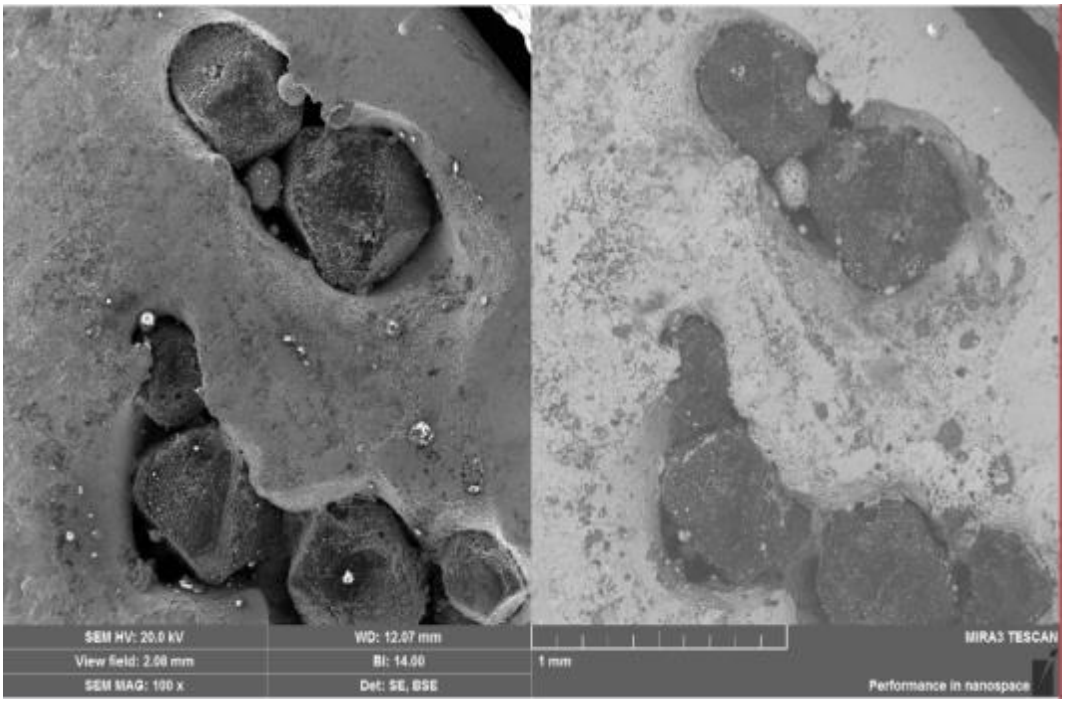
Şekil 6.34 ten de görüldüğü gibi BES yoğunluk farkına göre elementel analiz yapmaktadır. Burada beyaz olan kısımlar en yoğun malzemedir ve siyaha doğru değişen renklerde azalan yoğunluğa göre elementler sıralanır. Yapıda beyaz ile görünen kısımlar Bronz, hafif grileşen yerler kobalt, tam gri olan yerler demir ve siyah olan kısım karbon yani elmastır.



Şekil 6.35 B_3 numunesinin 102N yük altında sem fotoğrafı.

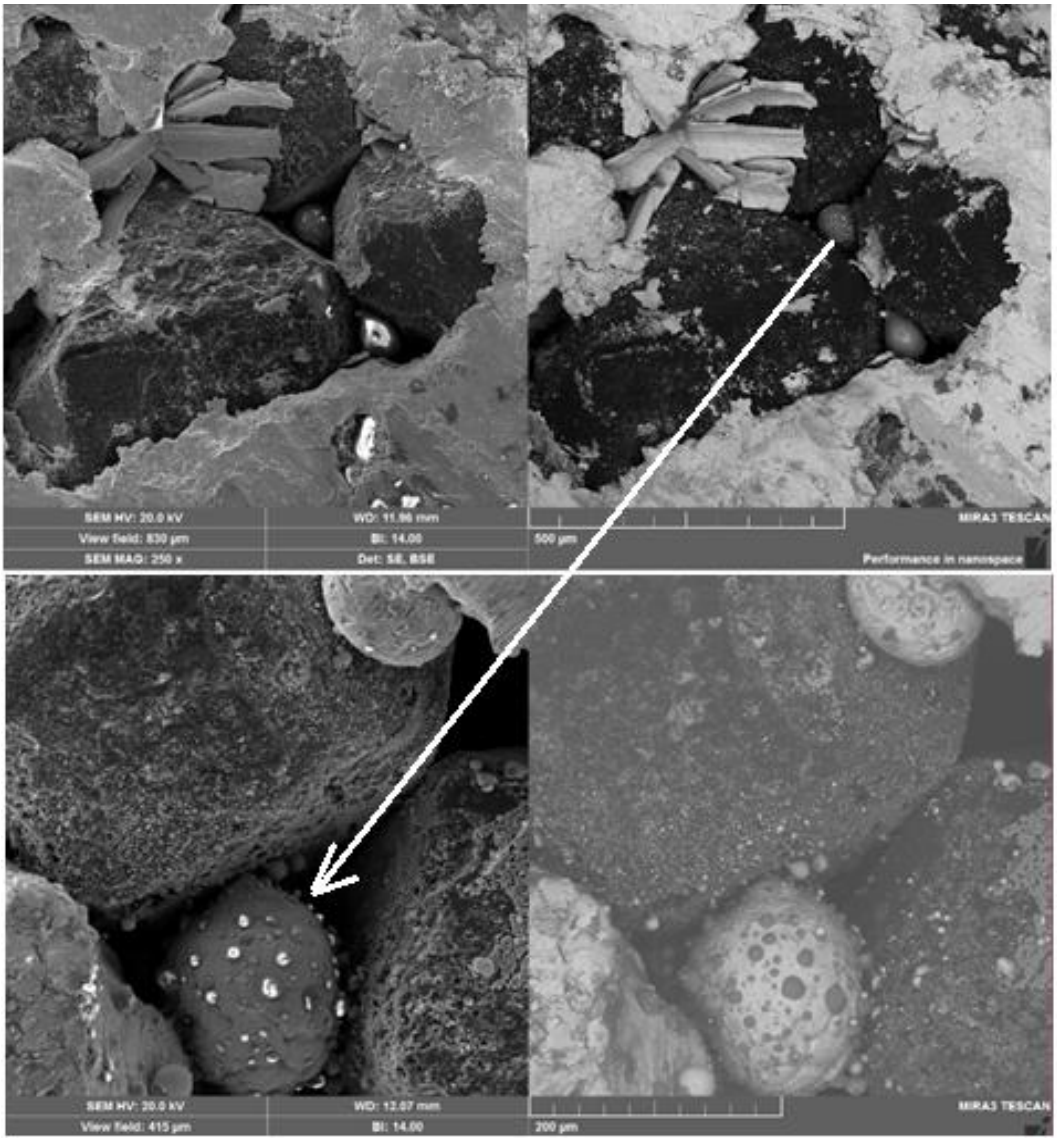
Yukarıda da bahsedildiği gibi alaşım sertliği sinterleme sıcaklığından dolayı yüksektir elmas sürüklendikçe kaldırdığı matriks kırılarak ilerlemektedir.

Fakat grafitleşen elmastan dolayı özellikler istenilen düzeyde değildir. Şekil 6.36' da grafitleşen elmasın yapıda nasıl gözenek oluşturduğu ve ıslanabilirliği nasıl olumsuz etkilediği görülmektedir.



Şekil 6.36 B_3 numunesinde grafitleşen elmasın yapıya olumsuz etkisi.

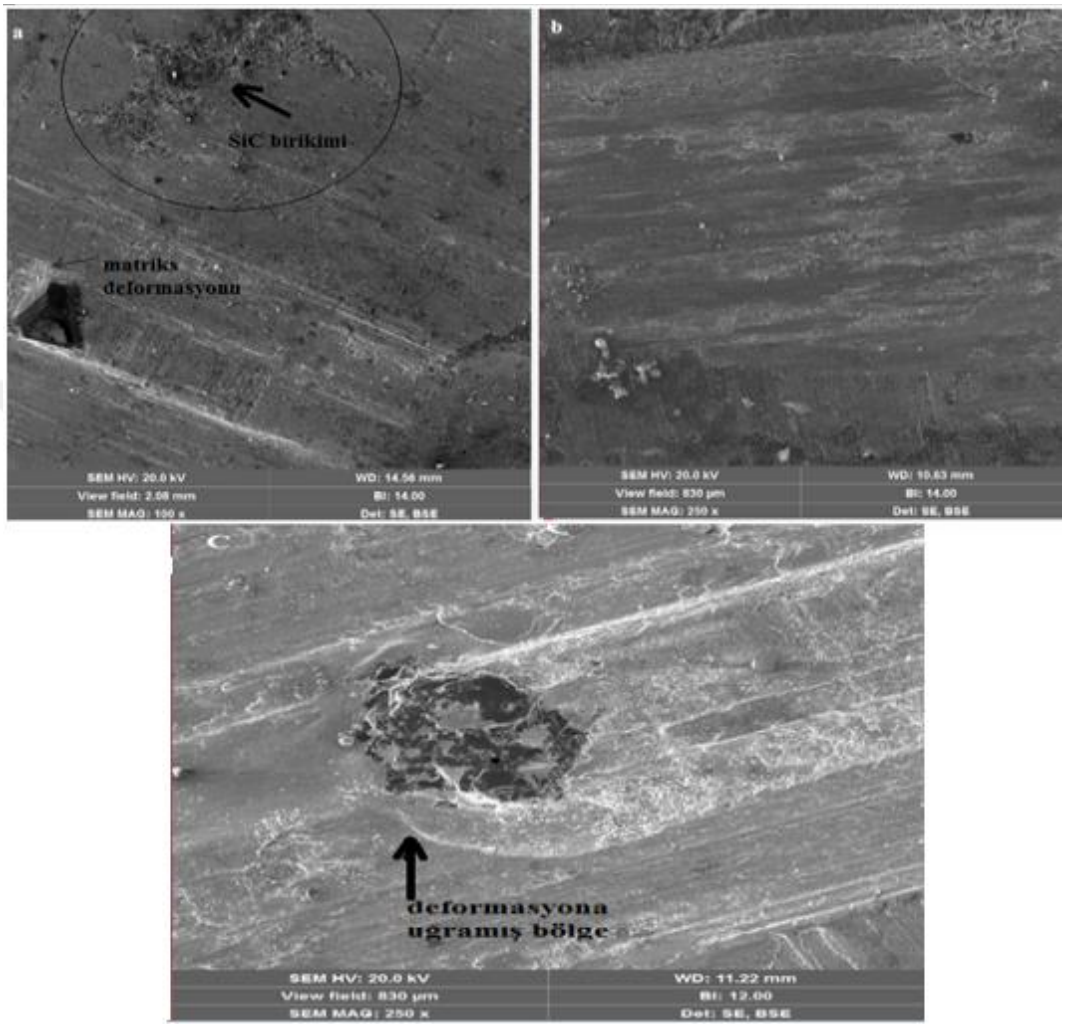
1000˚C de elmaslar bir araya toplanıyor ve çözünmeye başlıyor. Yapıda bulunan Fe, C ile reaksiyona girerek Fe_3C yapısını oluşturmaktadır. Bu kırılgan faz elmas yüzeyinde deliklere ve çatlaklara neden olmaktadır. Karbon yüksek sıcaklıklarda bir element tarafından çözülüp sıcaklığın düşüşü ile birlikte çözen elementten tekrar çekirdeklenmeye başlayınca yani kusulunca artık elmas özelliği göstermez grafit özelliği gösterir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda Fe tarafından daha çok çözülen karbon yapıya geri verilince grafit özellikleri göstermeye başlar.



Şekil 6.37 B_3 numunesinde matriksin tabakalı kırılması ve grafitleşen elmaslar.

6.6.4 SiC takviyeli kaplı elmas soketlerin aşınma yüzey görüntüleri

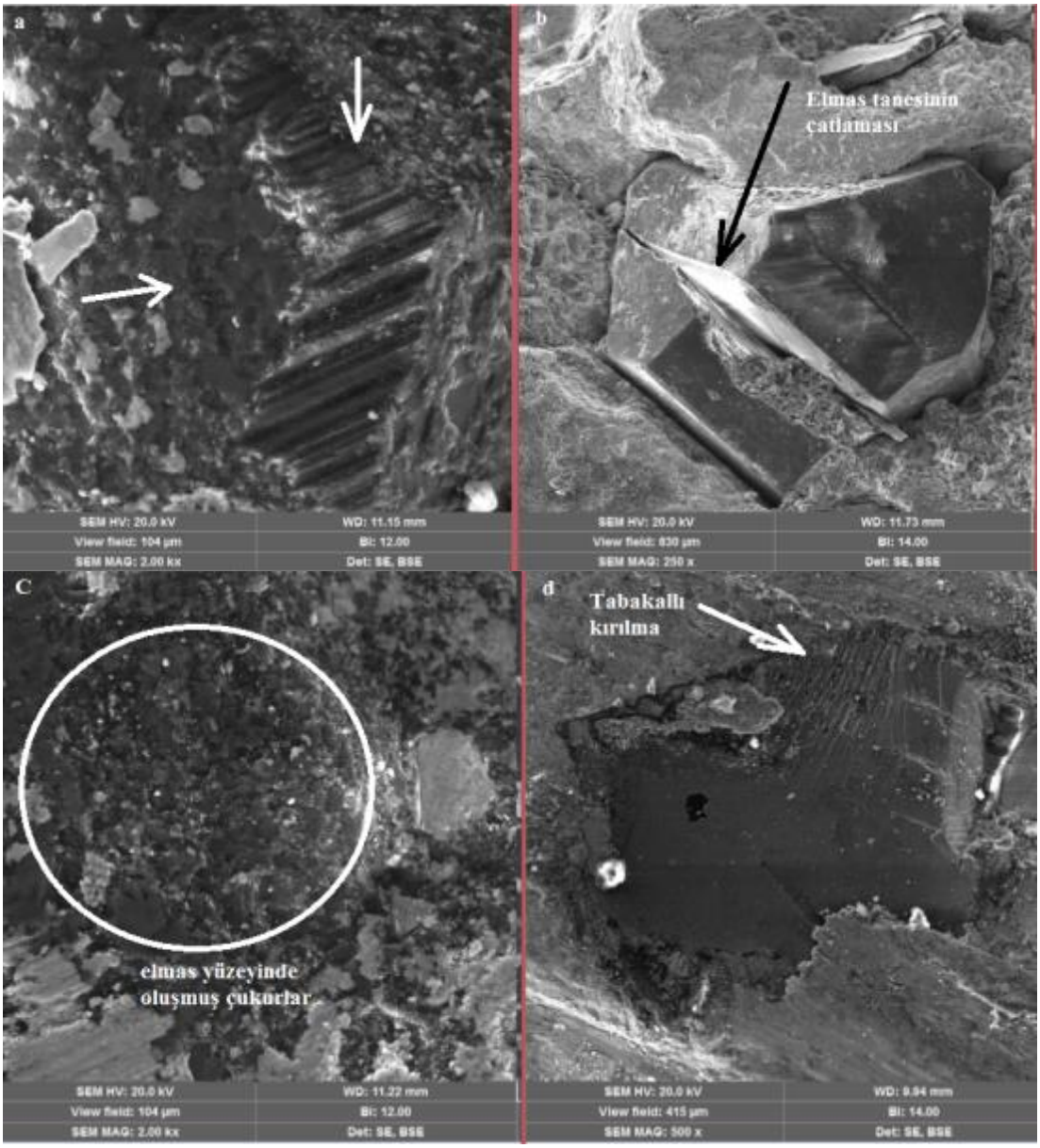
Şekil 6.38' de kaplamalı ve kaplamasız elmasların bir arada kullanıldığı SiC takviyeli soketlerin (C_1,C_2,C_3) 87 N yük altında gerçekleştirilen aşınma testinin yüzey fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 6.38 C numunelerinin 87 N yük altındaki aşınma yüzeyleri a)C_1, b)C_2, c) C_3.

Şekil 6.38 a'da görüldüğü gibi SiC taneleri aşınmayı durdurucu etki yapmaktadır ve aşınma mekanizmasını tıpkı elmas tanelerin yaptığı gibi abrasif aşınmaya çevirmektedir. SiC tanelerinin aşınma davranışları ve meydana gelen mekanizma irdelendiğinde aşınma esnasında ilk başta yapıya iki elemanlı abrasif aşınma mekanizması hakimken, SiC tanelerinin kırılarak ufalması ya da kırılmadan matrikste gömülü olduğu yerden çıkarak sisteme girmesi ile aşınma mekanizması üç elemanlı abrasif aşınmaya dönmektedir. Bu aşınma türü özellikle 102 N luk kuvvetin uygulandığı deneyde gözlemlenmiştir. Yüksek yükte SiC taneleri kırılmakta ve yapıdan çıkmadan aşındırıcı hareketi ile tekrar sistemde kalıp aşınmaya katılırlar.

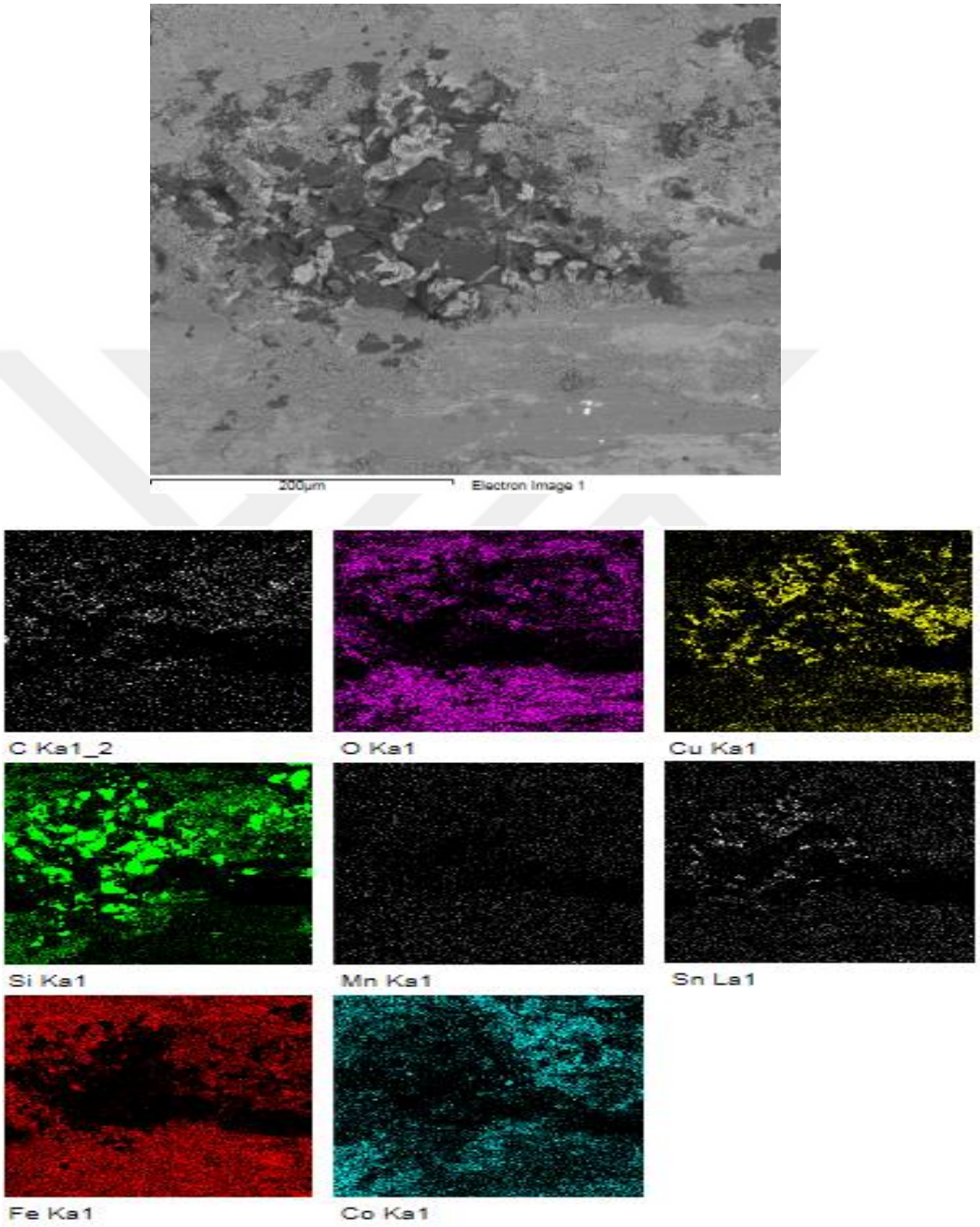
SiC takviyeli soketlerde görülen en önemli problemlerden biri bu soketlerde kullanılan kaplamasız elmaslar yapısal bozunumu diğerlerine göre çok fazla olup kaplamasız elmas tanelerinde aşınmada uygulanan kuvvetin de etkisiyle kırılmalar ufalmalar meydana gelmiştir fakat her hangi bir elmas tanesinin yapıyı terk ettiği görülmemiştir. Şekil 6.39' da C numuneleri elmaslarında meydana gelen kırılma, çatlama gibi elmas deformasyonu SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.39 C serisi numunelerde elmaslarda meydana gelen deformasyonlar a)C_2 numunesi 102 N yük altında b)C_3 numunesi 87 N yük altında c)C_3 numunesi 72 N yük altında d) C_1 numunesi 87 N yük altında.

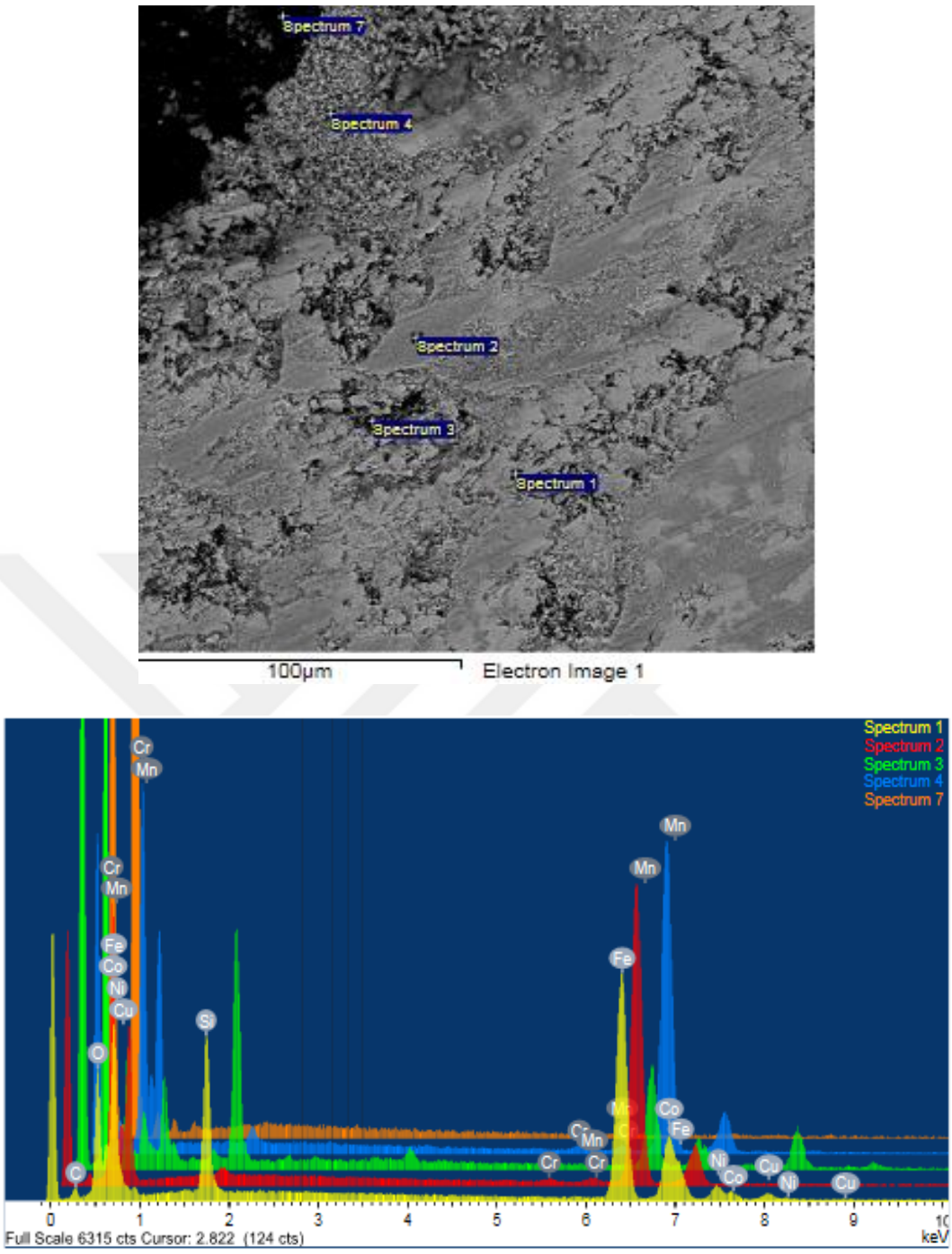
SiC ilave edilen soketlerdeki elmasın yapısal bozunumunun A ve B numunelerine kıyasla daha fazla olmasının nedeni, Si yüzünden azalan viskozite ile bakırın ve bronzun sıvı faza daha hızlı geçmesi sıcaklığın daha yüksek bir değerde

hissedilmesine neden olur ve bu da elmas tanelerinin grafitlemesine neden olmuş olabilir. Ayrıca bakırın Si çözmesi ve Co ile Si arasında oluşan intermetalikler yapıda demirin serbest olarak kalmasına neden olur, demirin de C' a karşı olan afinitesi nedeni ile reaksiyona girip elması çözmüş olabilir.

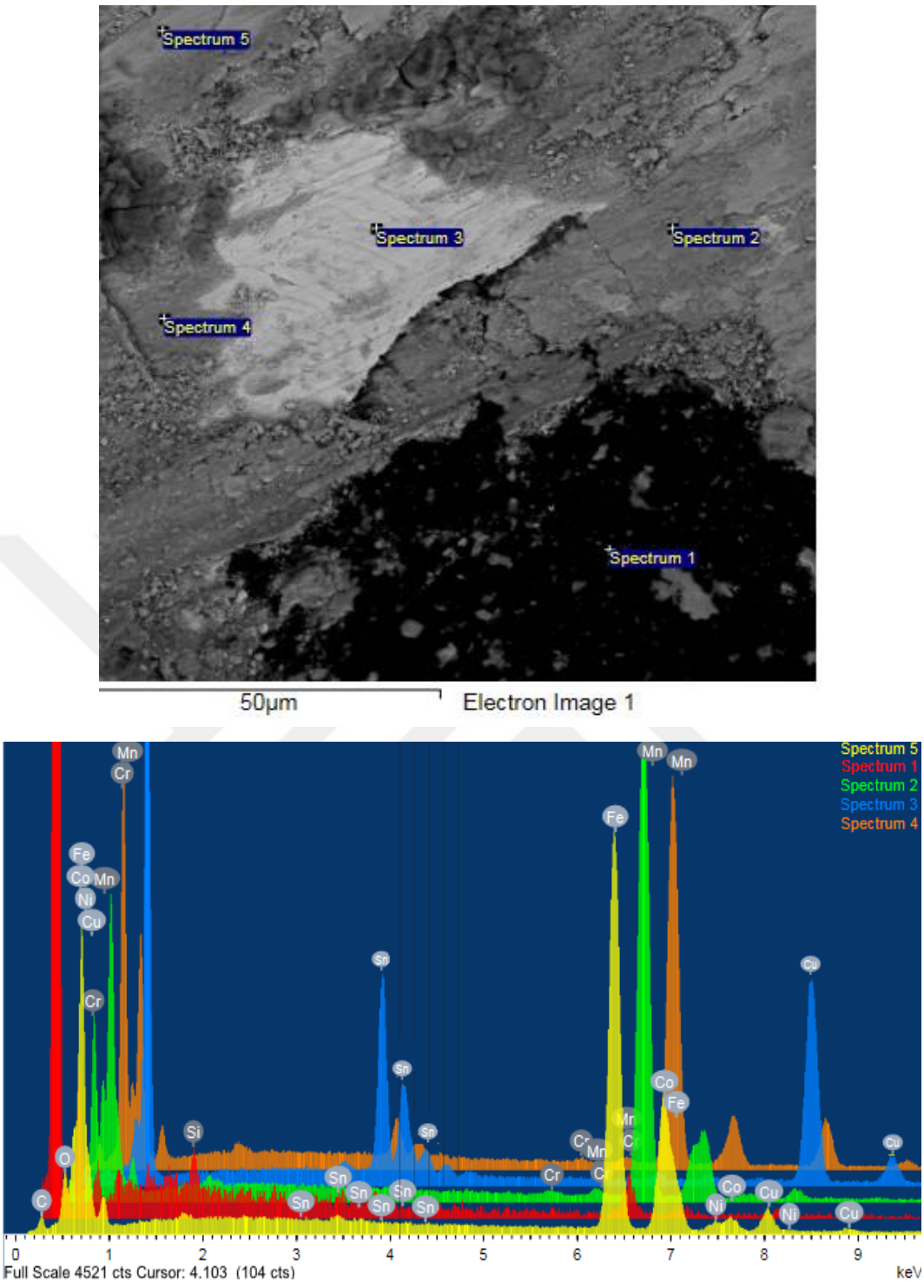


Şekil 6.40 C_1 numunesinin 102 N aşınma yükünde elementel haritalaması.

Şekil 6.40' da elektron fotoğrafinda SiC birikimine gelene kadar aşınma adhesifken SiC tanelerinden sonraki kısımda aşınma abrasif olarak devem etmekte ve aşınma azalmaktadır. Ayrıca, SiC birikiminden kopan taneler tekrar sisteme girerek yapıda doğal oksikarbürler oluşturmuş ve aşınma üç elemanlı aşınmaya dönüşmüştür.



Şekil 6.41 C_2 numunesinin 87 N aşınma yükünde EDS analizleri.



Şekil 6.42 C_3 numunesinin 72 N aşınma yükünde EDS analizi.

6.6.5 WC takviyeli kaplı elmas soketlerin aşınma yüzey görüntüleri

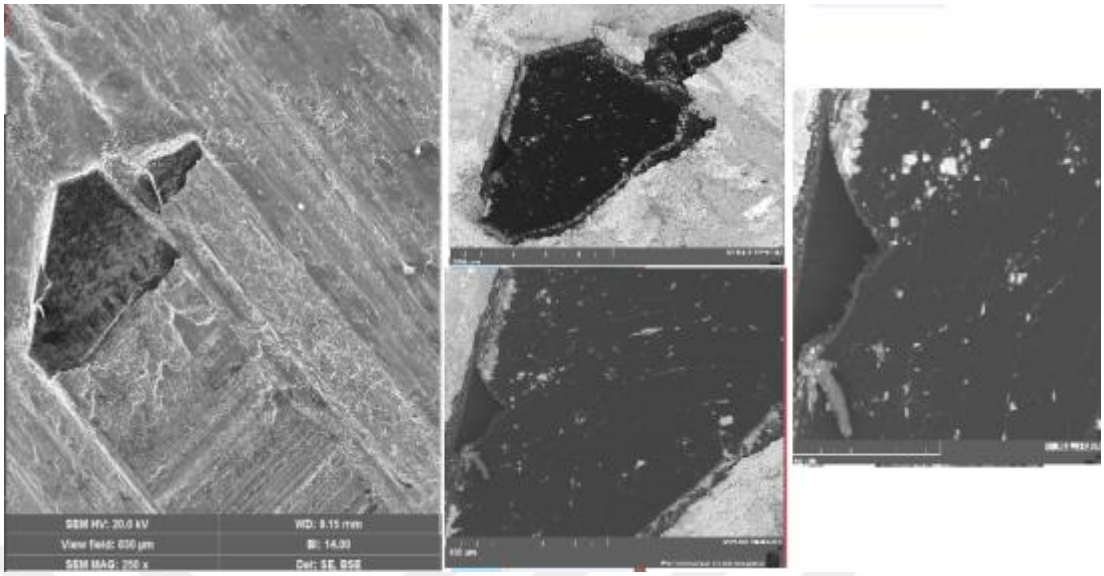
Şekil 6.43' de kaplamalı ve kaplamasız elmasların bir arada kullanıldığı WC takviyeli soketlerin (D_1,D_2,D_3) 87 N yük altında gerçekleştirilen aşınma testinin yüzey fotoğrafları, noktasal ve elementel analizleri verilmiştir.



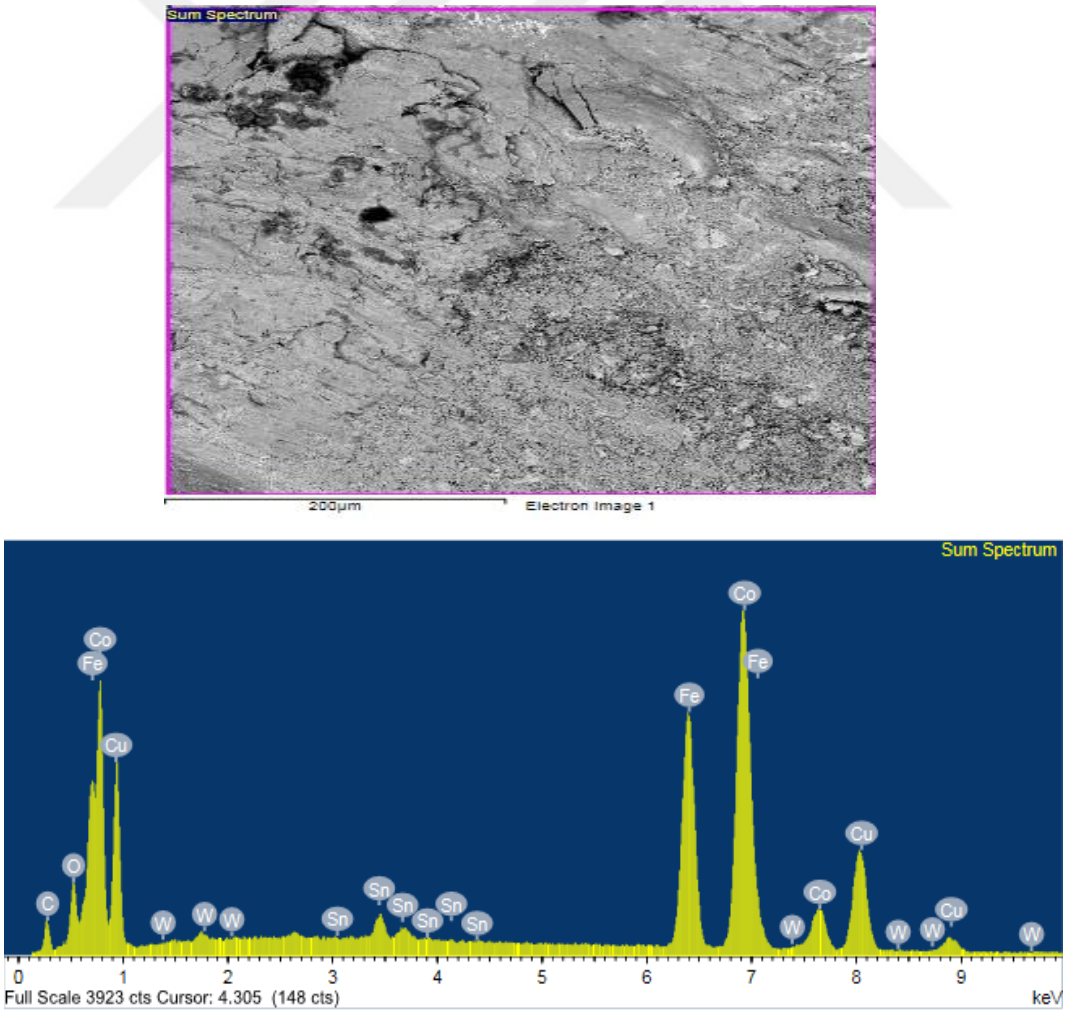
Şekil 6.43 D numunelerinin 87 N yük altındaki aşınma yüzeyleri a)D_1, b)D_2, c) D_3.

Şekil 6.43' den de görüldüğü gibi her üç sıcaklıktaki numunede de WC taneleri aşındırmayı durdurucu etki yapmakta, aşınma kontrolörü olarak görev yapmaktadır. Aşınmanın etkisi ile kırılan WC taneleri sistemde kalmaya devam ederek aşınma mekanizmasını iki elemanlı aşınmadan, üç elemanlı aşınmaya değiştirmiştir. 1000˚C de üretilen D_3 numunesinde aşınma miktarının ana artış nedenlerinden biri, grafitleşme sonucu parçalanan elmas tanelerinin yapıdan uzaklaşmasıdır. D numunelerinin aşınma sonuçları ve aşınma fotoğrafları incelendiğinde yapıdan elmasın koparak uzaklaşması söz konusu değildir. Bu da elmas ile matriks ara yüzeyinde yüksek bir bağlanma olduğunu göstermektedir.

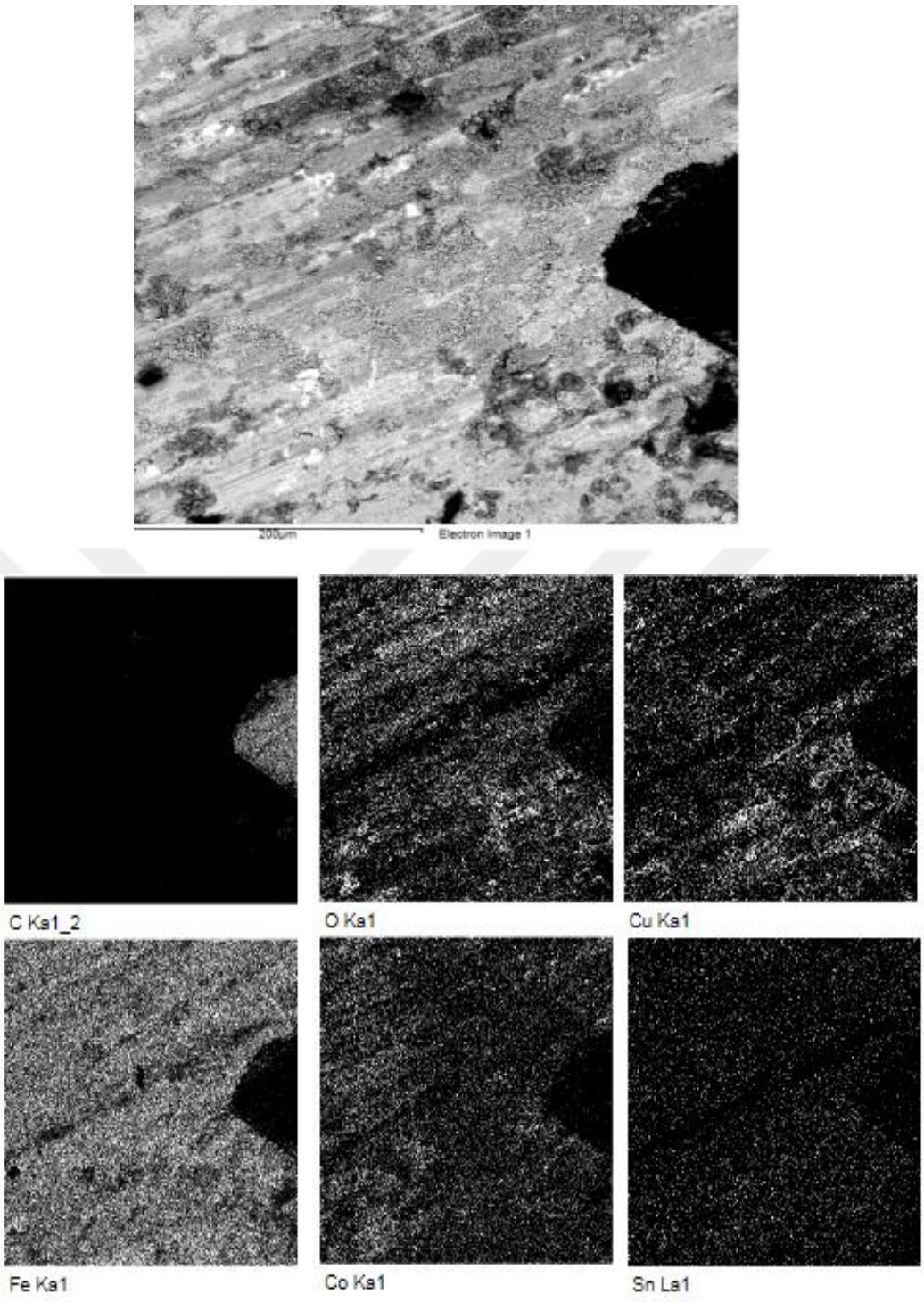
Şekil 6.44' de D numunelerinde yapıda bulunan elmasın kırılma fotoğrafı verilmiştir.



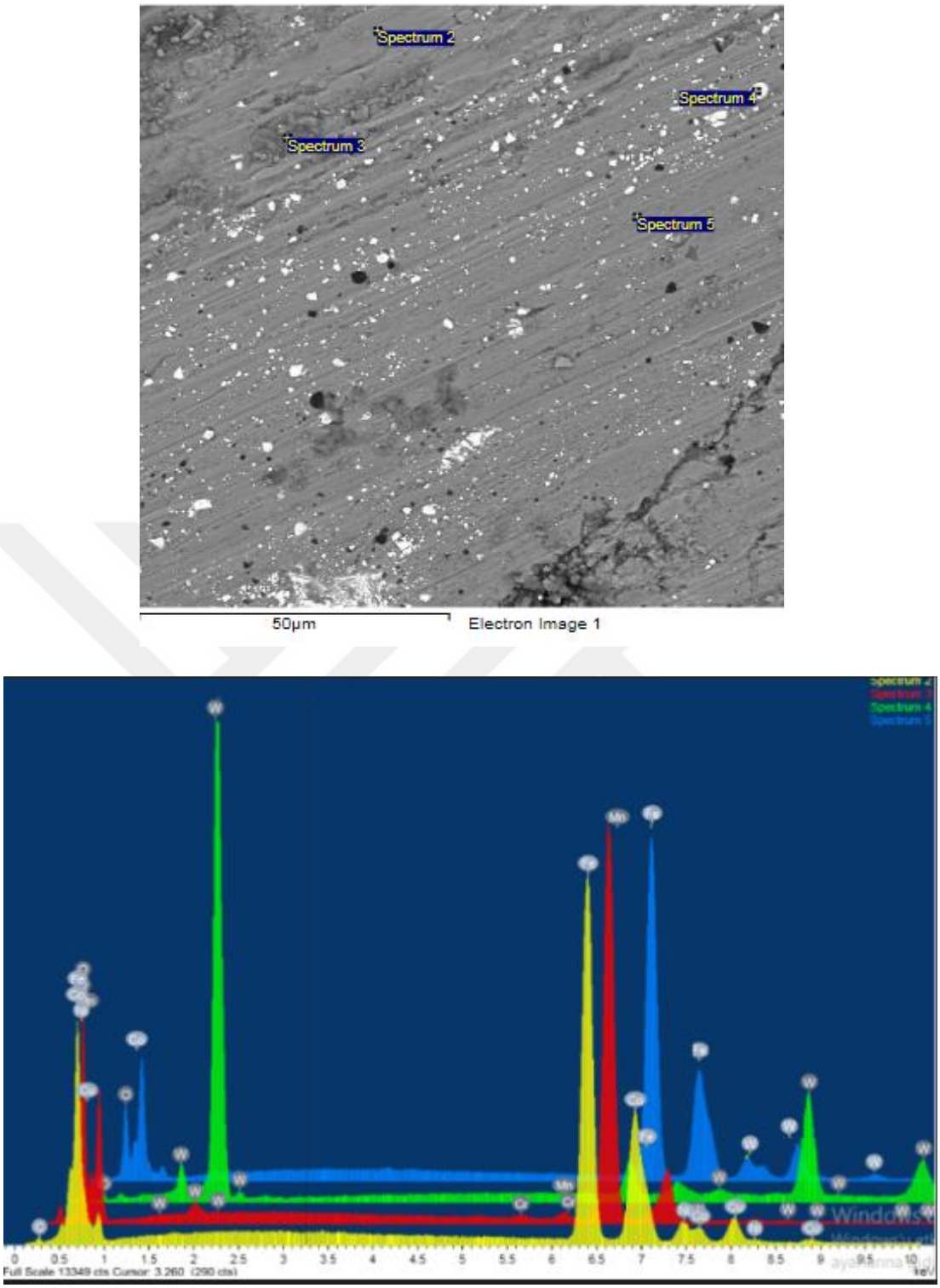
Şekil 6.44 D_3 numunesinin 102 N yük altında elmasın kırılması.



Şekil 6.45 D_1 numunesinin 72 N aşınma yükünde bölgesel EDS analizi.

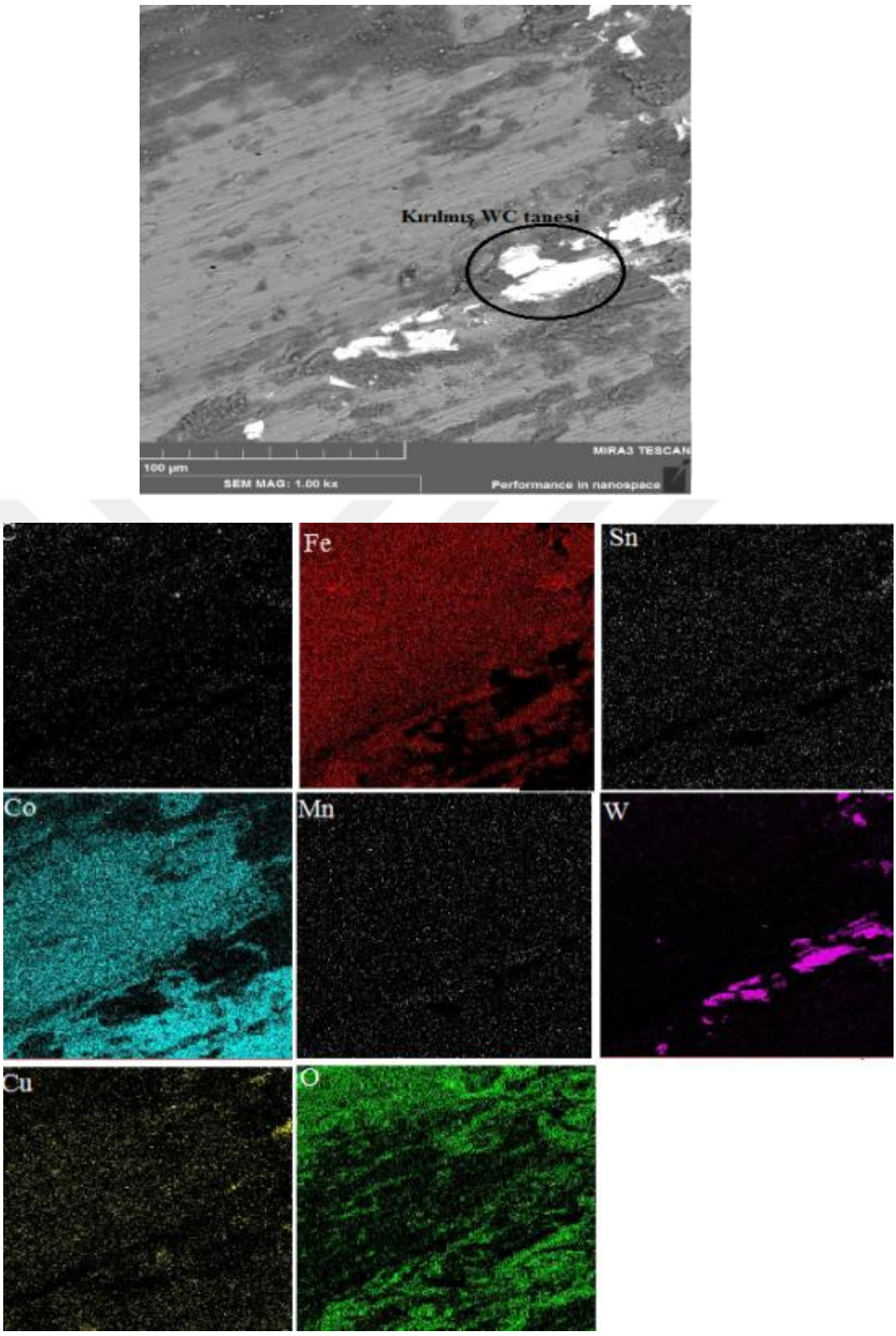


Şekil 6.46 D_1 numunesinin 102 N aşınma yükünde elementel haritalaması.



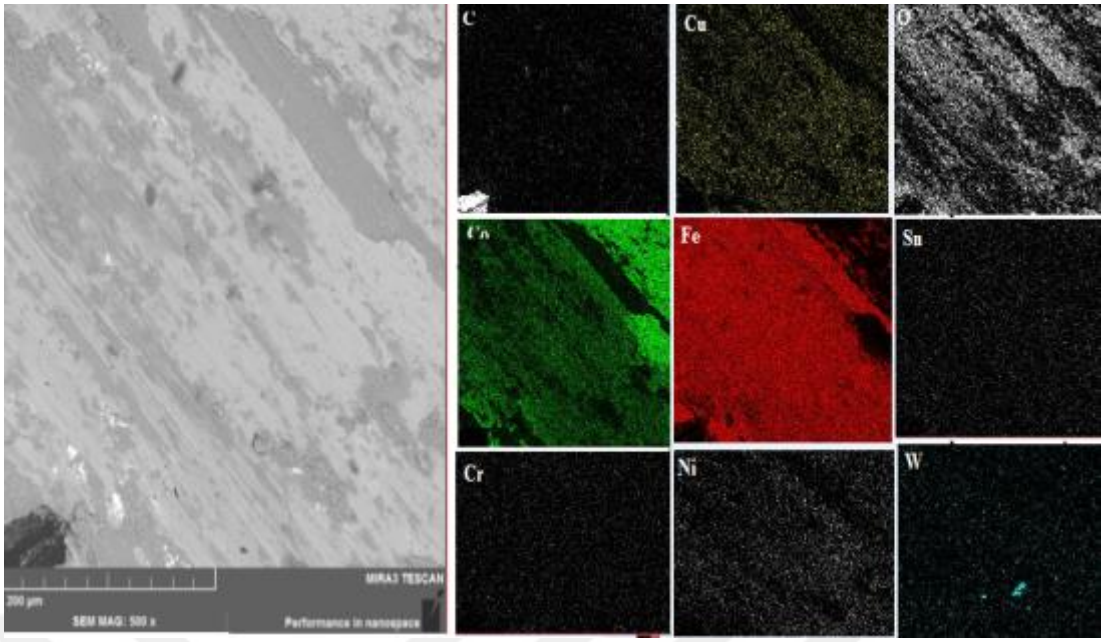
Şekil 6.47 D_2 numunesinin 87 N aşınma yükünde toplu EDS analizleri.

Şekil 6.47' de verilen BSE fotoğrafında ve EDS analizinden de görüldüğü gibi veri alınan bölgelerde belirgin bir faz farkı bulunmamaktadır.



Şekil 6.48 D_2 numunesinin 87 N yükte elmentel haritalaması.

Şekil 6.48' de yapıdaki WC taneleri kırılıp ufak parçalar halinde aşınma sistemine dahil olmuş ve yapıda üç elemanlı aşınma meydana gelmiştir.

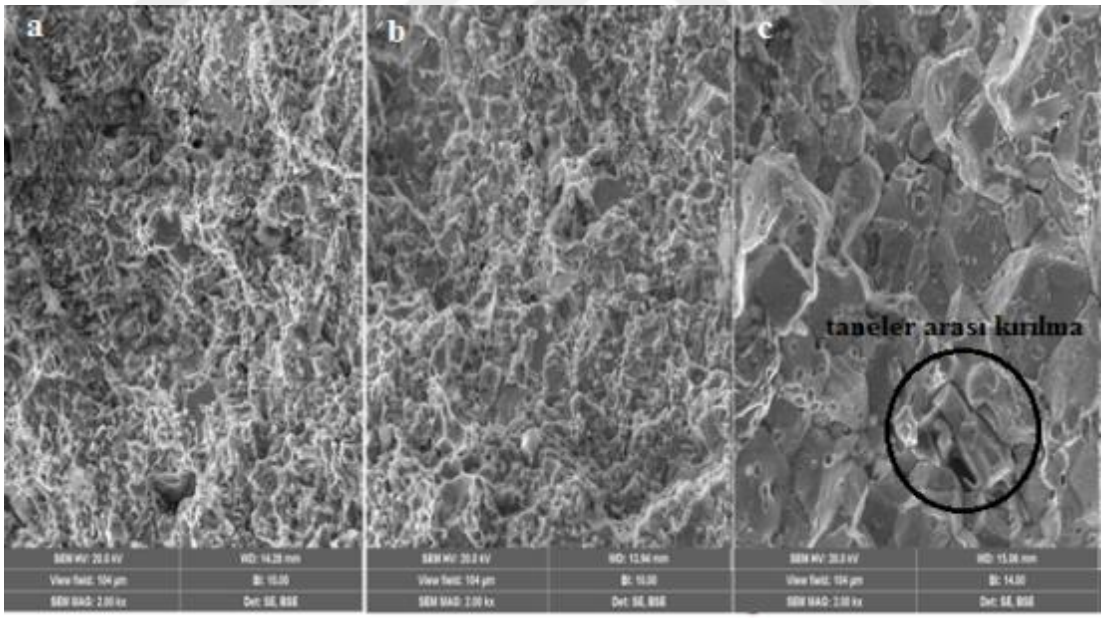


Şekil 6.49 D_3 numunesinin 102 N yükte elementel haritalaması.

6.7 Kırık Yüzey İncelemesi

6.7.1 Elmassız soketlerin kırık yüzey görüntüleri

Şekil 6.50' de elmassız soketlerin kırık yüzey fotoğrafları verilmiştir.

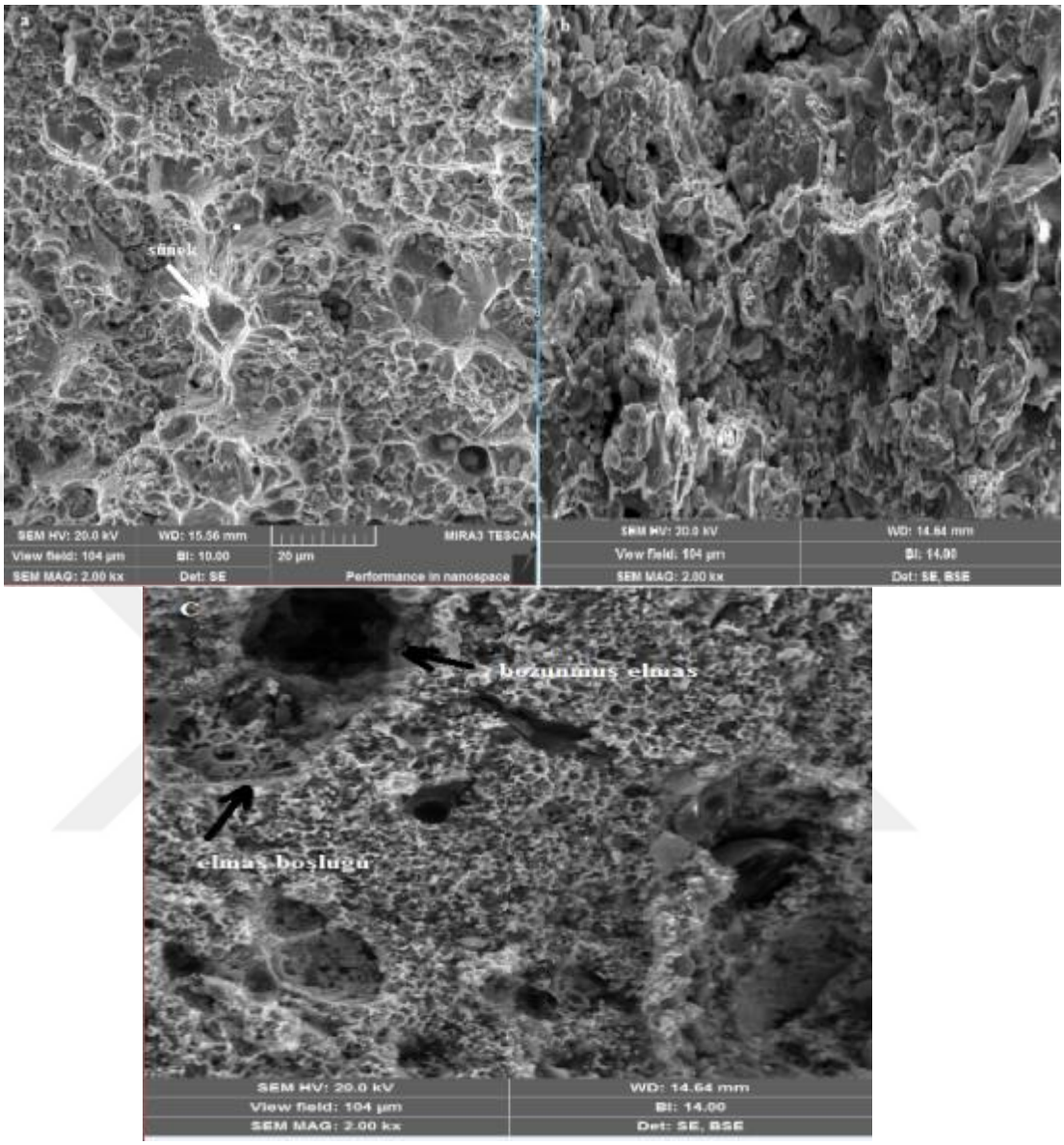


Şekil 6.50 E numunelerinin kırık yüzey resimleri a)E_1 b)E_2 c)E_3.

Şekil 6.50' den de görüldüğü gibi E_1 ve E_2 numunelerinde gevrek ve sünek kırılma beraber bulunmaktadır. Tane hızlı bir şekilde büyür ise, gözenek içeride kalır ve gözenek sürüklenmesi meydana gelir. E_3 numunesinde ise, yapıda sünek kırılma izleri yerini gevrek kırılmaya bırakmıştır ve taneler arası kırılma meydana gelmiştir. E numunelerinde sıcaklık artışı ile birlikte gevrek kırılma yapıya hakim olmaktadır.

6.7.2 Ticari soketin kırık yüzey görüntüleri

Şekil 6.51' de Ticari soketin kırık yüzey fotoğrafları verilmiştir.

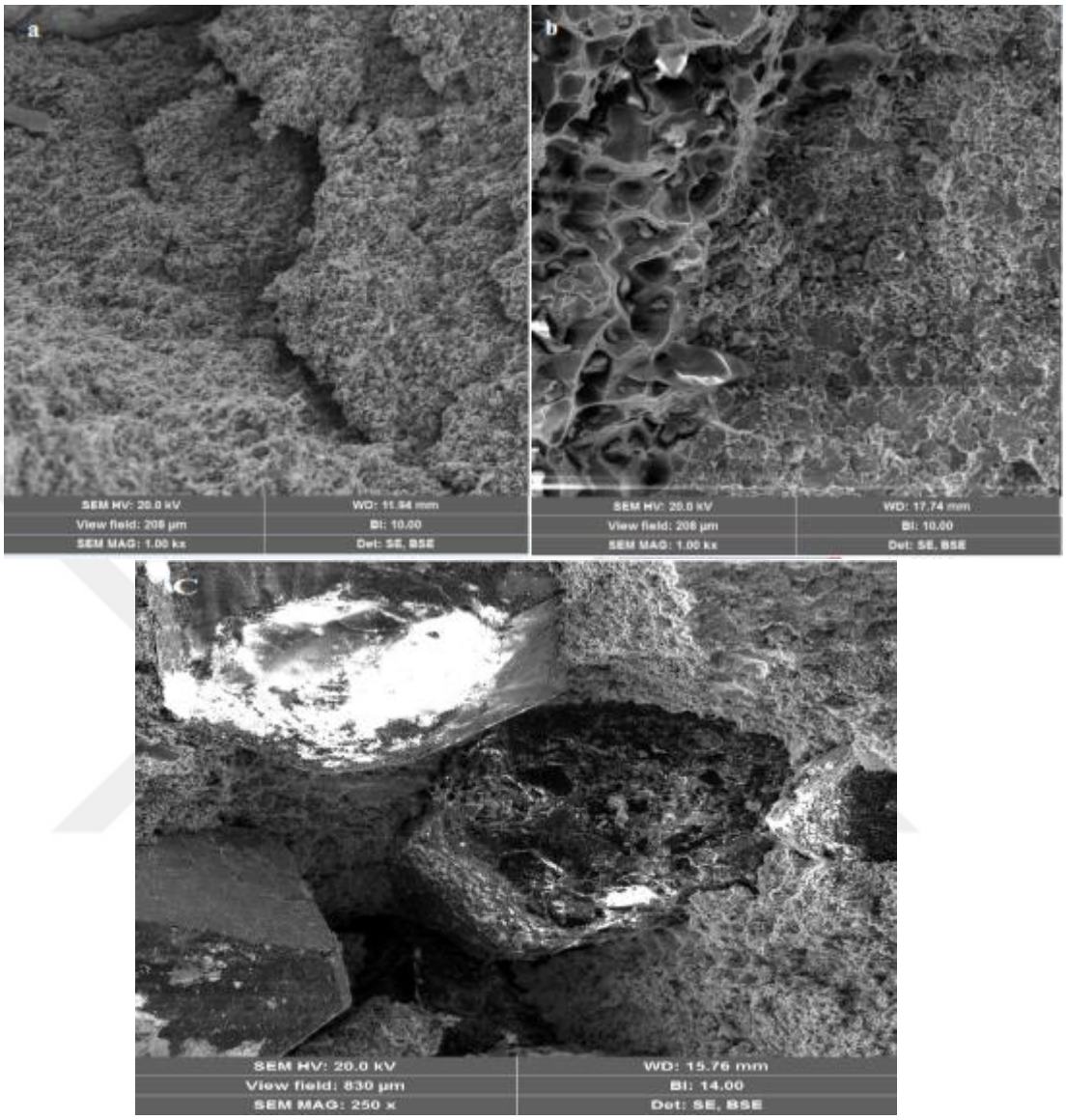


Şekil 6.51 A numunelerinin kırık yüzey resimleri a)A_1 b)A_2 c)A_3.

Şekil 6.51' den de görüldüğü gibi A_1 numunesinde tabakaların yer değiştirdiği yerler gevrek kırılmadır. Çukurların (dimple) olduğu yerler ise sünek kırılmadır. Yapıda Fe genelde gevrek kırılmaya neden olurken, Cu ve Sn gibi elementler sünek kırılmaya neden olurlar. A_2 numunesinde ise sıcaklığın artması ile yapıdaki çukurların miktarı azalıp, boyutları küçülmekte ve gevrek kırılma artmaktadır. A_3 de, üretim sıcaklığın 1000˚C olması yapıdaki sünekliği ortadan kaldırıp gevrek kırılmaya neden olmakta. Yapıda oluşan alaşımlar tabaka halinde kırılarak gevrek kırılmaya sebebiyet verir.

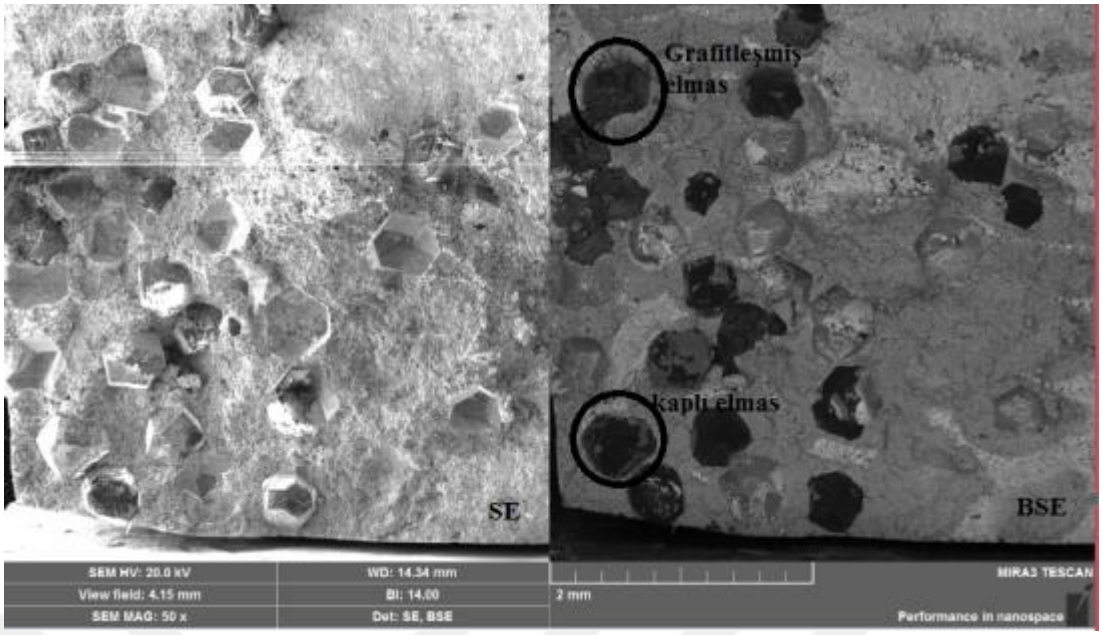
6.7.3 Kaplanmış elmaslı Ticari Soketin kırık yüzey görüntüleri

Şekil 6.52' de kaplanmış elmaslı ticari soketin kırık yüzey fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 6.52 B numunelerinin kırık yüzey görüntüleri a)B_1 b)B_2 c)B_3.

Şekil 6.52' den de görüldüğü gibi B_1 numunesinde Cu ve Sn bulunan yerler genelde sünek kırılmakta ve yapıda bulunan boşluklardan çatlamaktadır. B_2 numunesinde ise çukur büyüklükleri belli bir alandan sonra azalmakta ve küçülmekte tane sınırlarında Cu ve Sn daha az bulunmaktadır. Yapıda sünek ve gevrek kırılma birlikte bulunmaktadır. B_3 numunesinde ise, artan sıvı miktarı ile elmaslar birbirlerine yaklaşmaktadır. Ayrıca, yüksek sıcaklıktan dolayı yapıda oluşan alaşımlar gevrek kırılmaya neden olmaktadır. Bu numunede elmas ile matriks arasında bir bağlanmadan söz edilemez. Yapı aşırı gevrek olmasına rağmen, elmas bozunumundan dolayı arzu edilen özellikler elde edilememiştir.

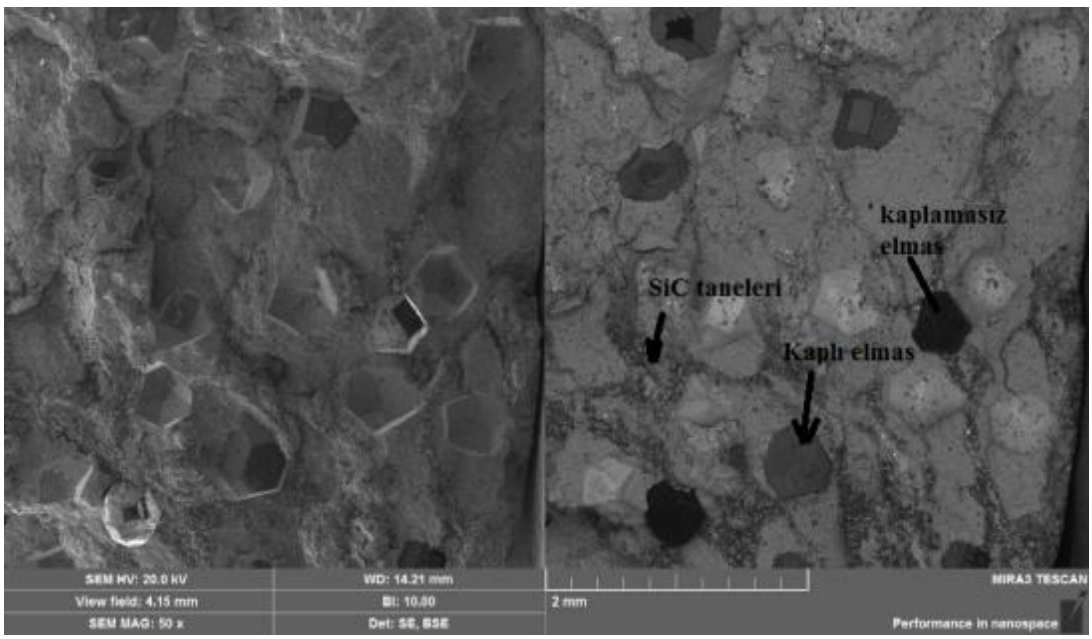


Şekil 6.53 B_3 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı.

Şekil 6.53'den de görüldüğü gibi kullanılan kaplamalı elmasların dış yüzeyindeki kobalt yüksek sıcaklıktan dolayı akmış ve diğer elmas taneleri birbirine yaklaşmıştır. Kaplamasız elmaslar yapısal bozunuma uğrarken, yüzeyi Ti kaplanmış elmaslar bozunmadan kalmaktadır.

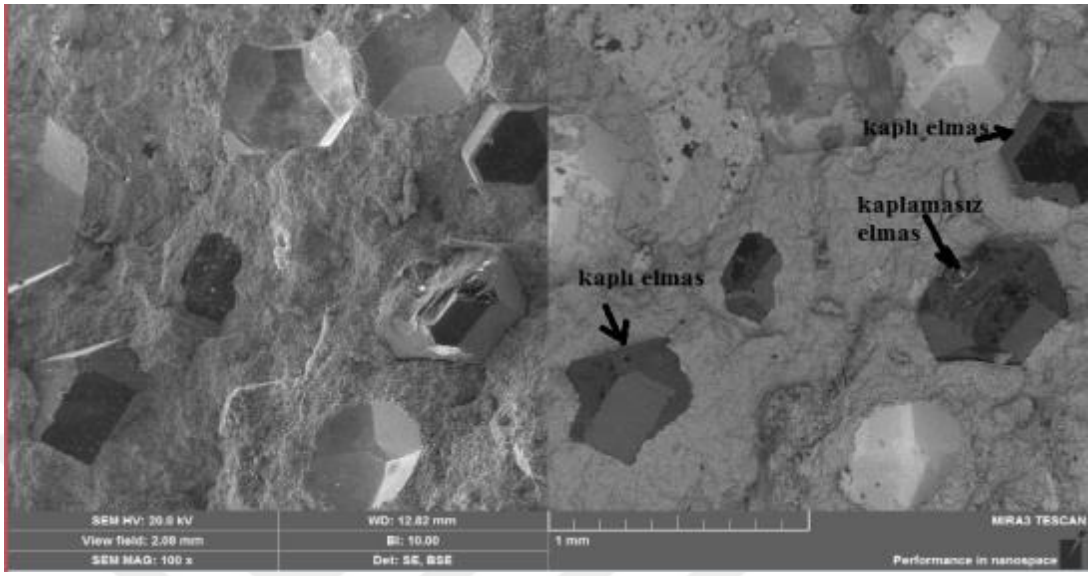
6.7.4 SiC takviyeli kaplı elmas soketlerin kırık yüzey görüntüleri

Şekil 6.54, 6.55 ve 6.56' da kaplamalı ve kaplamasız elmasların bir arada kullanıldığı SiC takviyeli soketlerin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir.



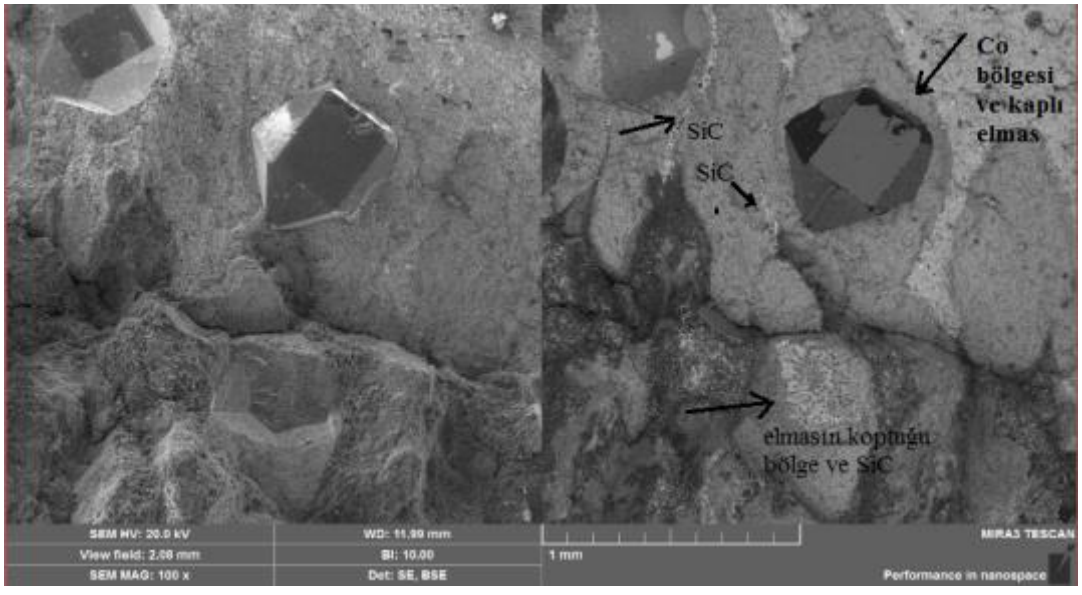
Şekil 6.54 C_1 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı.

Şekil 6.54' de SiC taneleri kaplı elmasların dış yüzeyindeki kobalt sayesinde elmas ile temas edememekte kobaltın dış kısmında kalmaktadır. Kaplamasız tanelerde ise SiC doğrudan elmas ile temas halindedir. Kobalt SiC yayılımını engellemektedir.



Şekil 6.55 C_2 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı.

Şekil 6.55' den de görüldüğü gibi sıcaklığın artması ile beraber kaplamasız elmaslarda grafitleşme ve amorflaşma sonucu camsı kırılmanın meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca kaplamalı elmaslar sıralı bir şekilde dizilim sağlarken araya giren kaplamasız elmaslar sıralanmaya olumsuz etki yapmaktadır. Kaplamalı elmas kullanımı sonucu elde edilecek bir sıralı dizilim ile elmasın aşınma miktarı da minimuma inecek ve soket ömrü artacaktır.

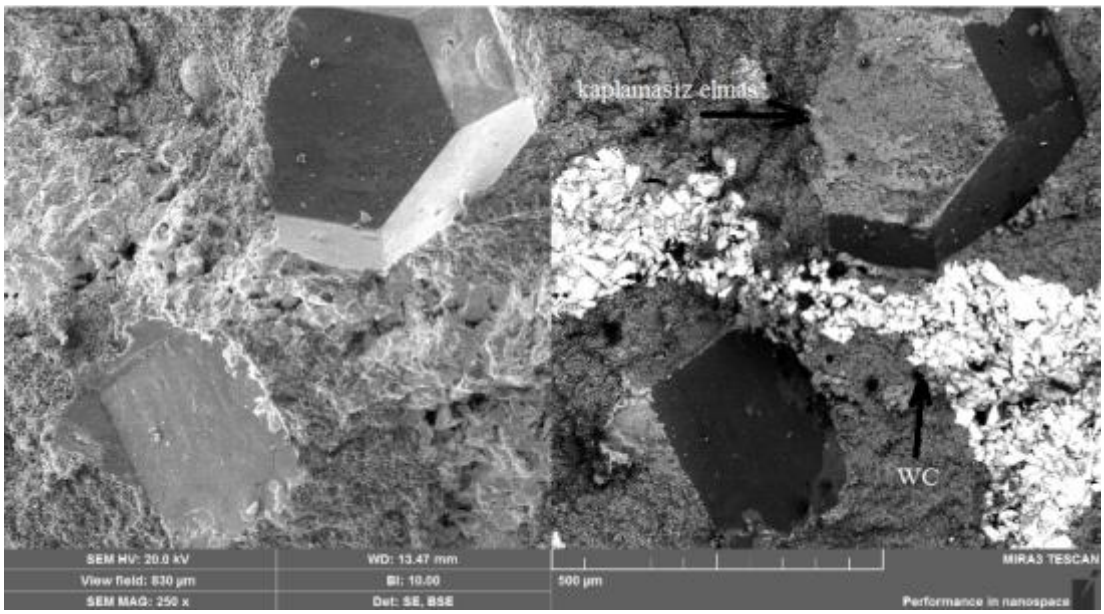


Şekil 6.56 C_3 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı.

Şekil 6.56’ dan da görüldüğü gibi kaplamalı elmas, 1000˚C de bile herhangi bir bozunuma uğramaksızın yapıda varlığını sürdürmektedir. Ayrıca kaplamalı elmasın yüzeyinde bulunan metal kalıntıları, metalin elmas yüzeyine yapıştığını ve kimyasal olarak yapıya bağlandığının bir göstergesidir. Sıcaklığın artması ve SiC varlığının da etkisi ile oluşan alaşımlar sayesinde yapı gittikçe gevrekleşmekte ve kırılmalar alaşımların tabakalı kırılması olarak meydana gelmektedir.

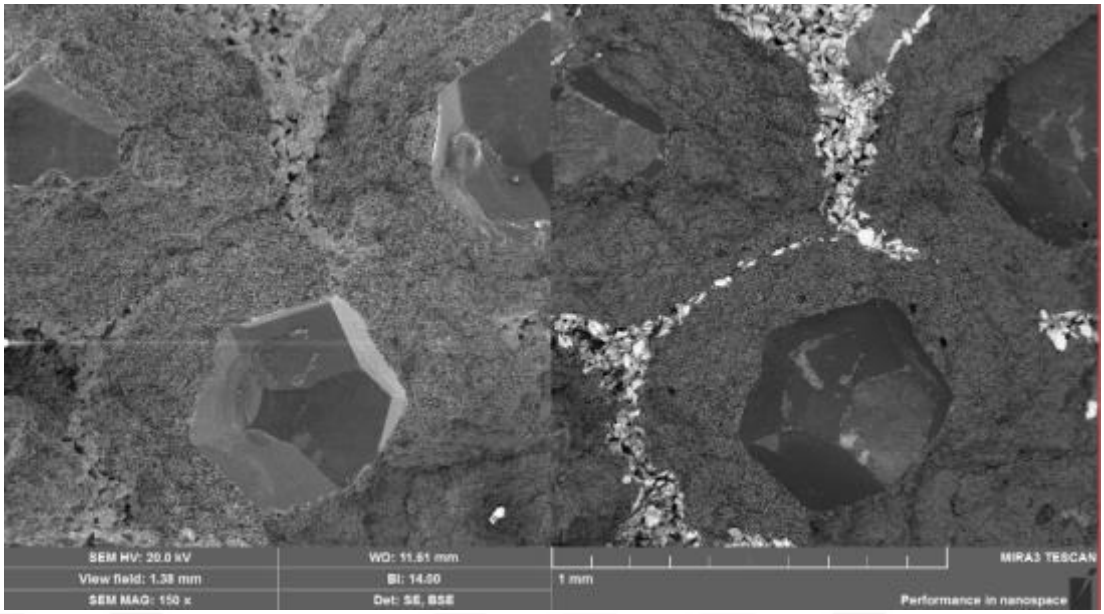
6.7.5 WC takviyeli kaplı elmas soketlerin kırık yüzey görüntüleri

Şekil 6.57, 6.58 ve 6.59’ de kaplamalı ve kaplamasız elmasların bir arada kullanıldığı WC takviyeli soketlerin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir.



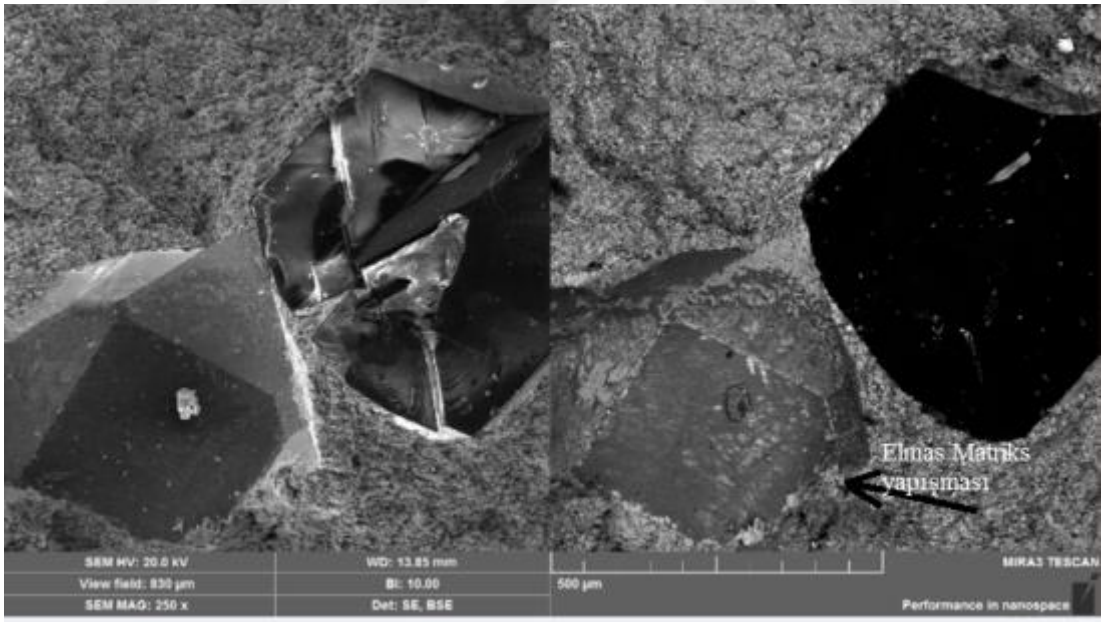
Şekil 6.57 D_1 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı.

Şekil 6.57’ de yapıda çözünmeden kalan WC taneleri birleşerek büyük birikintiler oluşturmakta ve bu birikintiler kaplamasız elmas tanelerinin birbirine aklaşmasını önlemektedir. WC’ün, Co metaline afinitesi yüksek olduğu için genelde Co metalinin olduğu kısımlara gitmektedir. Kaplamalı elmasların dış kısımlarında kobalt bulunduğu için WC taneleri buralara birikir ve elmasa temas edemez. D_1 numunesinde sıcaklık WC’ün sinterlenmesi için yeterli değildir. Topaklanma ve birikmenin en önemli nedenlerinden biri sıcaklığın düşük olmasıdır. Yapı WC’den dolayı gevrek bir şekilde kırılma göstermektedir.



Şekil 6.58 D_2 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı.

Şekil 6.58' de D_2 numunesinde sıcaklığı artması sonucu artan sıvı faz miktarı ile WC daha fazla dağılmaya başlamıştır. Burada göze çarpan en önemli olaylardan biri yapıdaki kaplamasız elmaslar deforme olmasına rağmen bu deformasyon diğer soket türlerine nazaran daha azdır.



Şekil 6.59 D_3 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı.

Şekil 6.59' da yapıdaki elmas ile matriks arasında bir ara yüzey oluştuğu görülmektedir. Soketlerde kaplanmış elmas kullanımı soketin mekanik özelliklerini artırmaktadır.

7. GENEL SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında ön alaşımlandırılmış mix tozlarının bağlayıcı matriks olarak kullanıldığı Ticari Soketlerde Hardzone Encapsulated Elmas (Kaplı elmas) kullanımı ile ağ. %10 SiC ve ağ %10 WC ilavesinin 800°C, 900°C ve 1000°C sinterleme sıcaklıklarında mekanik ve mikro yapısal özelliklere olan etkisi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Ön alaşımlandırılmış mix tozu, kaplamalı ve kaplamasız elmasların bir arada kullanıldığı, ağ. %10 SiC ve ağ. %10 WC takviyeli Ticari Soketler toz metalürjisi üretim yöntemi ile üç farklı sinterleme sıcaklığında başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- En yüksek yoğunluk değeri 900˚C sinterleme sıcaklığında elmassız numunede elde edilmiştir. Elmaslı numunelerde ise en yüksek yoğunluk değeri WC takviyeli elmas soketlerde elde edilmiştir. Artan sinterleme sıcaklığı elmas soketlerin yoğunluk değerlerini olumsuz etkilemektedir.
- En iyi sertlik değeri 900˚C de sinterlenmiş olan WC ilaveli elmas sokette 114 HB olarak ölçülmüştür.
- Sertlik sonuçlarından kaplanmış elmas kullanımının soket sertliğini artırdığı tespit edilmiştir.
- SiC ve WC ilavesinin soketin sertliğini arttırdığı tespit edilmiştir.
- Sinterleme sıcaklığının 1000˚C ye çıkması ile yapıda oluşan alaşımların sertliği artırdığı, fakat elmaslarda ise yapısal bozunum (grafitleşme) meydana gelmesi bu sıcaklığın soket üretimi için uygun olmadığını göstermiştir.
- Aşınma deneyi sonuçlarına göre, 1000˚C sinterleme sıcaklığında üretilen soketler de aşınma dayanımlarının düştüğü gözlemlenmiştir.
- Aşınma deneyi sonuçları incelendiğinde WC ve SiC ilavesinin aşınma dayanımını artırdığı tespit edilmiştir.
- En iyi aşınma sonucu 900˚C de üretilen WC ilave edilmiş elmas soketlerde elde edilmiştir.

- Soketlerde aşınma mekanizmasının elmas tanelerinin bulunduğu yerlerde abrasif, diğer kısımlarda ise adhesif olduğu görülmüştür.
- Yapıya ilave edilen SiC ve WC ile aşınma mekanizmasının iki elemanlı aşınmadan üç elemanlı aşınmaya dönüştüğü tespit edilmiştir.
- Sinterleme işleminin vakum altında gerçekleştirilmesi ile elmas yüzeyinde oksitlenme meydana gelmediği fakat soket içerisinde kullanılan demir in elmasın grafitleşmesinde katalizör görevi üstlendiği görülmüştür.
- Hardzone Encapsulated Elmas (Kaplı elmas) kullanımı ile elmas tanelerinin grafitleşmesinin önüne geçilmiş ve kaplı elmas sayesinde elmaslar sıralı bir şekilde dizilerek elmas kümelenmesinin oluşumu engellenmiştir.
- Kullanılan kaplı elmas ile elmas-matriks ara yüzeyinde kimyasal bağlanma gerçekleşerek, elmasın matrikse sıkı bir şekilde tutulduğu ve kopmaların önüne geçildiği saptanmıştır.
- Kırılma yüzeylerinde artan sıcaklık ile gevrek kırılma izlerinin arttığı görülmüştür.
- Yapılan testler sonucunda, Hardzone Encapsulated elmaslı ağ.%10 WC ilaveli soketlerin mekanik özelliklerinin Ticari soketin özelliklerine göre bir hayli yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Karagöz, Ş., Zeren, M.** (1997). Sürekli disk tipi elmaslı kesici takımlarda hata karakterizasyonu, *9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Konferansı Bildiriler Kitabı,* TMMOB, 517-525, İstanbul

[2] **Karagöz, Ş., Zeren, M.** (1998). Characterization of hot pressing behavior of diamond cutting tools, *Int. PM Conf.*, Granada, 208-212, İspanya

[3] **Karagöz, Ş., Zeren, M.** (1999). The property otimization of diamond cutting tools with the help of microstructural characterization, *3rd European Conferance on Advences in Hard Materials Productions,* EUROPM, 399-405, italya

[4] **Öksüz, K. E.** (2011). Toz metalürjisi yöntemiyle kesici uç üretilmesi ve karakterizasyonu. *C.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü,* (Yüksek Lisans Tezi). 114 sayfa, Sivas.

[5] **Anonim. (2008). Url-1 <*http://www.diamant.boart.com*>, alındığı tarih: 7.05.2017**

[6] **Konstanty, J.** (2003). Production of Diamond Sawblades for Stone Sawing Applications, İsviçre. *Key Engineering Materials*, 250, 1-12

[7] Büyüksağiş, S. (2000). Doğaltaş kesmede kullanılan elmaslı dairesel testerelerin tanıtımı ve talaş oluşum mekanizması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,* 4, 17-30.

[8] **Konstanty, J.** (2007). Powder Metallurgy Diamond Tools – A Review Of Manufacturing Routes, *Researchgat*e, 1-4.

[9] **Quanchao G., Jinghui P.** (2016). Preparation of Ti-coated diamond particles by microwave heating, *Applied Surface Science*, 390, 909-916.

[10] **Boland. N.,Xing S.** (2010). Microstructural characterisation and wear behaviour of diamond composite materials, *Materials*, 3, 1390-1419.

[11] **Buyuksagis, I.S.** (2006). Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade, *Journal of Materials Processing Technology*, 183, 399–406.

[12] **Morisada, Y., Miyamoto, Y.** (2004). Growth Mechanism of Nanometer-Sized SiC and Oxidation Resistance of SiC-Coated Diamond Particles, *Journal of the American Ceramic Society*, 87, 809-813.

[13] **Bulut, B., Tazegül, O., Baydoğan, M., Kayalı, E.** (2016). Characterization of Diamond Tools for Cutting Natural Stones Using Fe-Co-Cu Base Alloy as a Metal Matrix, *18. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı,* 489-492

[14] **Transchel,R.** (2014). Cuttıng mechanısm of actıve brazed sıngle dıamond graıns, *Dipl.-Ing., Otto-von-Guericke University Magdeburg*, (Doktora Tezi), 139 sayfa, Almanya

[15] **Marinescu, I. D., Rowe, W.B. Dimitrov, B., Inasaki. I.** (2004). Tribology of abrasive machining processes. William Andrew Publishing.

[16] **Çelik. E**. (2009). Elmaslı kesici takımlarda alternatif bağlayıcılar. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* (Doktora Tezi), 93 sayfa, Elazığ.

[17] **Selvi, E.** (2013). Doğal taş kesmede kullanılan elmas takımların serbest sinterlenmesi ve karakterizasyonu. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* (Yüksek Lisans Tezi), 73 sayda , İstanbul.

[18] **Konstanty, J.** (2005). Powder Metallurgy Diamond Tool, *Elsevier*, 15,119-120.

[19] **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.

[20] **Yergök, Ç.** (2010). Rough cuttıng of germanıum wıth polycrystallıne dıamond tools, *ODTÜ* (Yüksek Lisans Tezi), 174 sayfa, Ankara.

[21] **Villar, M. Muro, P. Sánchez, J.M. Iturriza . I.** (2001). Consolidation of diamond tools using Cu–Co–Fe based alloys as metallic binders, *Powder Metallurgy*, 44:1, 80-80.

[22] **Xi. X., Miao, H., Zhang, R., Cheng J.** (2016). Effect of phosphorus content on the properties of Ni-P coated diamond, *Surface & Coatings Technology*, 297, 27-33.

[23] **Dong, Y., Zhangd, Z.** (2012). Fabrication and infiltration kinetics analysis of Ti-coated diamond/copper composites with near-net-shape by pressureless infiltration, *Materials Science and Engineering*, 177, 1524-1530.

[24] **Xu, X., Tie, X., Yu, 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.

[25] **Dwan, J.** (1998). Production of Diamond Impregnated Cutting Tools, *Powder Metallurgy*, 41:2, 84-86.

[26] **Romanskı. A.** (2010). Factors affectıng dıamond retentıon ın powder metallurgy dıamond tools, *Archıves of Metallurgy and Materıals*, 55:4, 1073-1081.

[27] **Islak, S., Kir, D., Çelik, E., Çelik H.** (2012). Effect of boron carbide on the microstructure and the mechanical properties of segments produced using hot pressing method, *Scientific Research and Essays*, 7:23, 2095-2103.

[28] **Karagöz, Ş., Zeren, M.** (2001). The microstructural design of diamond cutting tools, , 47, 89– 91.

[29] **Ünal, R.** (2007). Effect of Cobalt to Bronze Ratio On Transverse Rupture Strength of Diamond Segments, *Materials Science Forum*, 534-536, 1105-1108.

[30] **Ertek C.** (2013). Kesici takımların fonksiyonel derecelendirilmiş TiCN ve TiBCN ile kaplanmasının karakterizasyonu, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 113 sayfa, İstanbul.

[31] **Egün, M.** (2016). Mermer kesme endüstrisinde kullanılan hurda elmas esaslı kesici takım uçlarından elmas ve bakırın geri kazanımı, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 51 sayfa, İstanbul.

[32] **Zhang, Y. Zhang, H.L. Wu, J.H.** (2011). Enhanced thermal conductivity in copper matrix composites reinforced with titanium-coated diamond particles, *Scripta Materialia*, 65, 1097-1100.

[33] **Fürtauer, S., Li D., Cupid, D., Flandorfer, H** (2013). The CueSn phase diagram, Part I: New experimental results, *Intermetallics*, 34, 142-147.

[34] **Schubert T., Trindade, B., Weißgarber B., Kieback, B.** (2008). Interfacial design of Cu-based composites prepared by powder metallurgy for heat sink applications, *Materials Science and Engineering*, 475, 39-44.

[35] **Konstanty, J., Tyrala, D.** (2013). Wear mechanism of iron-base diamond-impregnated tool composites, *Wear*, 303, 533–540,

[36] **Begüm, C.** (2012). D.A. manyetik alanda sıçratma yöntemi ile tungsten karbür ince filmlerin üretimi ve karakterizasyonu, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* (Yüksek Lisans Tezi), 55 sayfa, İstanbul.

[37] **Somunkıran, İ., Çelik, H.** (2007). T/M Yöntemiyle Üretilmiş Co Esaslı Co-Cr-Mo Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Cr Oranının Etkisi, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil.* Dergisi, 19(2), 235-241

[38] **Abdullah, A., Pak, A., Farahi, M.** (2007). Profile wear of resin-bonded nickel-coated diamond wheel and roughness in creep-feed grinding of cemented tungsten carbide, *Journal of Materials Processing Technology,* 183, 165-168.

[39] **Ottersbacha, M., Zhaoa W.** (2016). Experimental investigations on the machinability of tungsten carbides in orthogonal cutting with diamond-coated tools, *7th HPC 2016 – CIRP Conference on High Performance Cutting*, 416-419.

[40] **Bilgili, Z., Salamcı, E,. Asan, A., Ünal, R**. (2016). Elmas nano parçacık takviyeli krom kaplanmış gözenekli toz metal parçaların korozyon davranışlarının araştırılması, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31:3, 579-587.

[41] **Topaloğlu, F.** (2013). Kobalt esaslı alaşımların bağlayıcı matris olarak kullanıldığı doğal taş kesiminde kullanılan elmas kesici uçların karakterizasyonu, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 145 sayfa, İstanbul.

[42] **Konstanty, J.** (2006). Production parameters and materials selection of powder metallurgy diamond tools, *Powder Metallurgy*, 49:4, 299-306.

[43] **Konstanty, J.** (2003). Production of Diamond Sawblades for Stone Sawing Applications, *Key Engineering Materials* , 250, 1-12

[44] **Hünder E.** (2012). Demir esaslı alaşımların bağlayıcı matris olarak kullanıldığı elmas kesici uçların karakterizasyonu, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,* 81 sayda, İstanbul.

[45] **Bakoń, A., Barylskı, A**. (2017). Structures of diamond tool composites, *Mechanık Nr,* 540-543.

[46] **Li, J., Yin, Y., Shi, R., li, J**. (2006). Microstructure and mechanical properties of Al2O3–TiC–4vol.%Co composites prepared from cobalt coated powders, *Surface & Coatings Technology*, 200, 3705 – 3712.

[47] **liu, X., Wang, W, Wang, D.** (2016). Effect of nanometer TiC coated diamond on the strength and thermal conductivity of diamond/Al composites, *Materials Chemistry and Physics* ,182, 256-262.

[48] **Weidenmann,. K., Tavangar, R., Weber, L.** (2009). Mechanical behaviour of diamond reinforced metals, *Materials Science and Engineering*,523,226–234.

[49] **Oliveria, L., Filgueira, M.** (2007). Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* , 25, 328–335.

[50] **Xu, X., Yu, Y.** (2005). Sawing performance of diamond with alloy coatings, *Surface & Coatings Technology,* 198 , 459– 463.

[51] **Ersoy. A,, Buyuksagic S., Aticia, U** (2005). Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks, *Wear,* 258, 1422–1436.

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

[53] **Karagöz. Ş., Zeren, M**. (2001).). The property otimization of diamond cutting tools with the help of microstructural characterization, *International Journal of Refractory and Hard Metals,* 19, 23-26.

[54] **Jianxin, D., hui, Z., Ze, W.** (2011). Friction and wear behavior of polycrystalline diamond at temperatures up to 700 °C, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29, 631–638.

[55] **Davim. J.** (2002). Diamond tool performance in machining metal–matrix composites, *Journal of Materials Processing Technology* ,128, 100–105.

[56] **Nitkiewicz Z., ´Swierzy M**. (2006). Tin influence on diamond–metal matrix hot pressed tools for stone cutting, *Journal of Materials Processing Technology* ,175 306–315.

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

[58] **Wang, Y., Zang, J., Guan. Y**. (2002). Properties and aplications of Ti-coated diamond grits, *Journal of Materials Processing Technology*, 129, 369-372.

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

[60] **Dhokey , D.,, Utpat, K., Gosavi A**. (2013). Hot-press sintering temperature response of diamond cutting tools and its correlation with wear mechanism, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials* ,36 ,289–293.

[61] **Zonga, W,. Li, Z., Suna, T**. (2010). Analysis for the wear resistance anisotropy of diamond cutting tools in theory and experiment, *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 858–867.

[62] **Chua, K, Liua, Z., Jia, C**. (2010). Thermal conductivity of SPS consolidated Cu/diamond composites with Cr-coated diamond particles, *Journal of Alloys and Compounds*, 490, 453–458.

[63] **Filgueira, M,. Pinatti, D.** (2003). Processing of Diamond Composites for Cutting Tools by Powder Metallurgy and Rotary Forging, *Materials Science Forum*, 416-418, 228-234.

[64] **Zhao,. D. Guangyu. Y,. Wu**. Y. (2013). Research on the Wear Characteristics of PDC Diamond Cutting Tools for Natural Granite, *Advanced Materials Research, 774-776, 1026-1031*.

[65] **Selvi E., Topaloğlu, F., Tazegül O**. (2016).Conventional Sintering of Diamond Tools Used in Cutting *Natural Stones, 18. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi | IMMC 2016*, 173- 176.

[66] **Islak, S., Çelik, H.** (2015). Effect of Sintering Temperature and Boron Carbide Content on the Wear Behavior of Hot Pressed Diamond Cutting Segments, *Science of Sintering*, 47, 131-143.

[67] **Bulut. B,. Tazegül, O., Baydoğan, M**. (2016). The comparison of the sintering methods for diamond cutting tools, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 1, 30-35.

[68] **Dai, H., Wnag, L., Zhang, J**. (2015). Iron based partially pre-alloyed powders as matrix materials for diamond tools, *Powder Metallurgy*, 58:2, 83-86.

[69] **Zhu, C., Wang, C., Ma, Y**. (2013). Si-Coated Diamond Particles Reinforced Copper Composites Fabricated by Spark Plasma Sintering Process, *Materials and Manufacturing Processes, 28:2, 143-147*

[70] **Oliveira, L., Paranhos, R**. (2007).Use of PM Fe–Cu–SiC composites as bonding matrix for diamond tools, *Powder Metallurgy*, 50:2, 148-152.

[71] **Che. Q,. Zhang, J., Chen, X., Ji, Y**. (2015). Spark plasma sintering of titanium-coated diamond and copper– titanium powder to enhance thermal conductivity of diamond/copper composites, *Materials Science in Semi conductor Processing*, 33, 67–75.

[72] **Konstanty, J.** (2013). Sintered diamond tools: trends, challenges and prospects, *Powder Metallurgy*, 56:3, 184-188.
[73] **Konstanty, J.** (2002). Therotical analysis of stone saing with diamond, *Journal of Materials Processing Technology* , 123, 146-154.
[74] **Çelik, E., Çelik. Ö,. Güven, Ş.** (2010). Sıcak pres tasarımı ve elmaslı kesici takım üretimi, *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 281-289.
[75] **Ersoy, A., Atıcı. Ü.** (1999). Mermer kesicilerinin aşınma mekanizmaları, *Türkiye 16. Madencilik Kongresi*, 107-115.
[76] **Çelik, E., Çelik. Ö,. Güven**. Doğal taş kesici takımların aşınma performansına al2o3 in etkisi, *Bildiri özleri.*
[77] **Çelik, E., Çelik. Ö,. Güven.** (2010). Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen elmaslı kesici takımlara sinterleme sıcaklığının etkisi, *13th International Materials Symposium*, 1527-1534.
[78] **Ucun, İ,. Büyüksağış, İ**. (2009). Elmas soket aşınmasının belirlenmesinde lazer ölçüm sisteminin kullanılması, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09),*4 sayfa.
[79] **Çelik, E., Kaplan M., İnci, S**. (2011). Fe–Cu–Co–Sn Matrisli Elmaslı Kesici Takımlara Ti ilavesinin Etkisi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11),* 402-407.
[80] **Çelik, E., Kaplan M., İnci, S**. (2011). Bir Mermer Kesici Takım Üretimi ve Özellikleri, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11),* 512-514.
[81] **Kaplan M., Budak, S**. (2011). Bir Mermer Kesici Takımında Co Katkısının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11),* 183-188.
[82] **G. Barrow**, Use of electric current for hot machining of high strength steels, *Mach. Prod. Eng.,* 114, 370-, 1969.
[83] **Rocha, C.A., Sales, W.F., de Barcellos, C.S. and Abrão, A.M.,** (2004).Evaluation of the Wear Mechanisms and Surface Parameters when Machining Internal Combustion Engine Valve Seats Using PCBN Tools, *J. of Materials Processing Technology*, 145, 2004, pp. 397-406.
[84] **Watmon, T**. (2013). The Performance Characteristics of a Surface-Modified Cutting Tool, *School of Architecture, Computing & Engineering Docklands Campus, University of East London*., 170 sayfa, Londra.
[85] **Oliveira, L., Cabral, S. (2015**). Study of the TiC Coating on Powder Metallurgy Diamonds Tool's Performance, *Mat. Res*. vol.18 no.3.
[86] **Erdal, L.** (2006). Baryum hegza ferritin sıvı faz sinterlemesi ve mikroyapı incelemeleri (yüksek lisans tezi), *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi*, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Halit SÜBÜTAY
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 04.11.1992
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisli Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi	subutayh@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

- Sivas Kongre Lisesi (**2005-2010**)
- Cumhuriyet Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Lisans (**2010-2014**)

Uluslararası Toplantıda Sunulan Bildiriler

- **H. Sübütay**, M. Şimşir, M. Aydın, B. Karaca, KAM MİLİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN GRİ DÖKME DEMİR VE SFERO DÖKME DEMİRLERDE CHILL OLUŞUMUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ, 15th International Materials Symposium (IMSP'2014),15-17 October 2014 – Pamukkale University – Denizli – Turkey
- **H. Sübütay**, M. Şimşir, B. Karaca, E. Yıldırım, 16MnCr5 ÇELİĞİNDEN İMAL EDİLEN KAM MİLİNİN MİKROYAPISINA ISIL İŞLEMİN ETKİSİ, 2. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (IISS'15), 1-3 Nisan 2014, Karabük, Türkiye

SCI Expanded Kapsamında Yayınlanan Makaleler

- M. Kul, K. Oskay, M. Şimşir, **H.Sübütay**, H. Kırgezen, Optimization of selective leaching of Zn from electric arc furnace steelmaking dust using response surface methodology, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 25(2015) 2753−2762

Projeler

- Kam Millerinde Kullanılan Gri Dökme Demir ve Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Çil Oluşumu, Derinliği ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, TÜBİTAK 2241-A SANAYİ ODAKLİ LİSANS BİTİRME TEZİ DESTEKLEME PROGRAMI, **Proje yürütücüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, 2014**
- Soket üretiminde Metal Kaplı Elmasların Kullanımı Karakterizasyonu ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Bilimsel Araştırma Projesi, **Araştırmacı, Cumhuriyet Üniversitesi, 2016**