

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE KESİCİ UÇ
(SOKET) ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

KERİM EMRE ÖKSÜZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
2011

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE KESİCİ
UÇ (SOKET) ÜRETİLMESİ VE
KARAKTERİZASYONU

KERİM EMRE ÖKSÜZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
DOÇ.DR MEHMET ŞİMŞİR

SİVAS
2011

Bu alışma Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış ve jürimiz tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan	<u>Doç.Dr Burhan SELÇUK</u>
Üye	<u>Doç.Dr. Züleyha ASLAN</u>
Üye (Danışman)	Doç. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

ONAY

Bu tez çalışması, 20/01/2011 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa DEğİRMENCİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 24.09.2008 tarihli ve 09 sayılı toplantısında kabul edilen Fen/Sağlık Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

“Zaman bize kendisinden ne kadarını bağışlayacak, bilmiyorum, bilmiyoruz. Ama çok iyi bildiğimiz bir şey var; Ne kadar sürecekte bu zaman, bu yaşam, bu Anıl’ar son âna kadar birbirimizin hakkını vererek yaşayacağız.”

Hüznü dahi güzel kılân Aileme, Serra’ya...

ÖZET

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE KESİCİ UÇ (SOKET) ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU

Kerim Emre ÖKSÜZ

Yüksek Lisans Tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

2010, 114 sayfa

Son zamanlarda, doğal taşların kesiminde elmas kesici takımların kullanımı, geniş ölçüde kabul edilen en ekonomik yöntemlerden biri oldu. Başarılı bir elmaslı kesici takımını dizaynı, yüksek kaliteli matriks tozları ve elmasların uygun seçimi ile başlar. Önemli parametrelerden bir tanesinde matriksin herhangi bir zarar vermeden elmas tanelerini sıkı bir şekilde tutmasıdır.

Ticari soketlerin üretiminde halen Co metali kullanılmaktadır. Fe, Co metalinden daha ucuz olduğu için Co metali yerine Fe kullanılması ticari soketlerin ekonomik olarak üretimini sağlamaktadır. Üstelik Co tehlikeli bir metaldir. Bu deneysel çalışmada; Fe ve B₄C ilavesinin elmas emdirilmiş Co matrisli kompozitler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elmas emdirilmiş Fe-Co matrisli kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle sıcak presleme tekniği kullanılarak üretilmiştir. B₄C takviyeli ve takviyesiz 3 farklı kompozisyona (farklı Fe/Co oranı) sahip numuneler hazırlanmış, 25 MPa basınç altında ve 800–900–1000 °C derece sıcaklıkta sinterleme işlemine tabi tutularak, B₄C ve Fe takviyesinin etkisi araştırılmıştır. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin tespiti için sertlik ölçümü yapılmış ve aşınma deneyleri de farklı yük şartlarında pim-disk türü aşınma deneyi cihazı aracılığı ile yapılmıştır. Deneysel sonuçlar; Fe ilavesi ile matriksin sertliğinin biraz azaldığını göstermiştir. Fakat B₄C takviye elemanının katılmasıyla matriksin sertliğini hayli artırmıştır. B₄C takviyeli Fe-Co metal matriks kompozitlerin farklı yükleme şartlarında aşınma direncinin ise; B₄C takviyesiz malzemelere göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Üretilen kompozitlerin; Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) ve Enerji saçılımlı X-ray spektroskopisi (EDS) teknikleri ile karakterizasyon çalışmaları yapılmış sonuçlar açık bir şekilde tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Toz Metalürjisi; Bor Karbür; Kompozit; Sertlik; Aşınma.

ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF DIAMOND SOCKET BY
POWDER METALLURGY

Kerim Emre ÖKSÜZ

Master of Science Thesis, Department of Metallurgical and Materials Engineering

Supervisor: Associate Professor Mehmet ŞİMŞİR

2010, 114 pages

The use of diamond tools has, over recent years, become widely accepted as the most economical method of processing natural stone. Successful diamond tool design starts with the appropriate choice of high quality matrix powder and diamonds. The matrix should support the diamond particles without damaging them.

Co metal has been using currently in the production of commercial sockets. Usage of Fe instead of Co metal causes the economic production of commercial sockets since Fe is cheaper than Co metal and also Co is a hazardous metal.

In this experimental study, the effects of Fe and boron carbide (B_4C) additions on characteristic of diamond impregnated Co matrix composites have been investigated. Diamond impregnated Fe-Co matrix composites (socket) were produced by powder metallurgy method using hot pressing technique. The composite reinforced with and without B_4C samples having three different compositions (different Fe / Co ratio) were produced under 25 MPa pressure and sintered at 800-900-1000°C temperature. The effect of B_4C reinforcement and Fe addition has been investigated. For determining the mechanical properties of the composite, hardness test was carried out and wear tests were performed by a pin-on-disc type of wear configuration. The experimental results showed that addition of Fe caused slightly decreasing in the hardness of the matrix. However, reinforcing of B_4C increased the hardness of the matrix. It is observed that wear resistance of B_4C reinforced Fe-Co metal matrix composite was greater than that of composite without reinforcement

(B₄C). Furthermore, the characterizations of produced composites using SEM and EDS analyses have been discussed clearly.

Keywords: Powder Metallurgy Boron Carbide; Composite; Hardness; Wear.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda danışmanım Doç. Dr. Mehmet ŞİMŞİR'e tez boyunca yaptığı katkılardan dolayı ve desteğinden ötürü teşekkür ederim.

Çalışma boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Ekip soke çalışanlarına başta Maden Mühendisi Doğan BUDAK'a, çalışmamın deneysel kısımlarında benden engin tecrübelerini esirgemeyen ve bana her türlü imkânı sağlayan Prof. Dr. Yusuf Şahin'e teşekkür ederim.

Fen edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü Dr. Ebru Şahine, Lisans döneminden beri yalnız bırakmayan çok kıymetli dostum Yüksek Mühendis Ümit Çetinkaya ve Jeofizik Mühendisi Gözde Taşseten'e, Fen bilimleri enstitüsü sekreteri Murat Yıldırım, Aydın Demir ve tüm enstitü çalışanlarına, yardım ve desteklerinden ötürü çok teşekkür ederim.

Her konuda sabırla yanımda durmaktan vazgeçmeyen ve sevgisini her daim gösteren aileme ve tüm dostlarıma çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	viii
TEŞEKKÜR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER DİZİNİ.....	xv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
1 GİRİŞ.....	1
2 ELMAS KESİCİ TAKIMLAR.....	3
2.1 Tarihçe.....	3
2.1.1 Elmaslı Kesici Takımların Gelişim Süreci.....	3
2.1.2 Son 50 yıl İçerisindeki Gelişmeler.....	5
2.1.3 Elmas Malzemelerin Geleceği.....	6
2.2 Elmaslar Hakkında Genel Bilgiler.....	6
2.3 Elmaslı Kesici Takımların Kullanım Alanı.....	7
3 ELMAS TESTERELER VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	9
3.1 Doğal Taş Kesimi için Kullanılan Dairesel Elmas Testerelerin Genel Özellikleri ve Türleri.....	9
3.2 Elmas Soketlerin Yapısı.....	10
3.3 Toz Metalurjisi.....	11
3.4 Toz Metalurjisinin Tarihçesi.....	13
3.5 Elmas Soketlerin İmalatında Kullanılan Malzemelerin Türleri Ve Özellikleri.....	15
3.5.1 Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılan Tozlar.....	15
3.5.2 Bağlayıcı olarak kullanılan tozlar.....	16
3.5.3 Sertleştirici ve mukavemet artırıcı tozlar.....	17
3.6 Bor Karbür.....	18
3.6.1 Bor Karbürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	19
3.6.1.1 Sertlik.....	19
3.6.1.2 Aşınma Direnci.....	19
3.6.1.3 Yoğunluk.....	19
3.6.1.4 Elektriksel Direnç.....	20
3.6.1.5 Mekanik Özellikler.....	20
3.6.1.6 Kimyasal özellikler.....	21
3.6.1.7 Bor Karbürün Yapısı.....	21
3.6.1.8 Bor Karbon Faz Diyagramı.....	24
3.6.1.9 Bor Karbürün Kullanım Alanları.....	25
3.7 Elmas Soketlerin İmalatı.....	25
3.7.1 Kullanılacak Tozların Seçimi Ve Kullanım Miktarlarının Belirlenmesi..	26
3.7.2 Tozların karıştırılması.....	28
3.7.3 Tozların Sıkıştırılması ve Sinterleme İşlemi.....	29
3.7.4 Sinterleme Aşamaları.....	30

4 AŞINMA.....	35
4.1 Aşınma Mekanizmaları ve Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	37
4.1.2 Aşınma Mekanizmaları	37
4.1.3 Abrasif Aşınması	37
4.1.4 Adhesiv Aşınma	38
4.1.5 Erozyon Aşınması	39
4.1.6.Kavitasyon Aşınması	41
4.1.7 Korozyon Aşınması	42
4.1.8 Oksidasyon Aşınması	43
4.1.9 Yorulma Aşınması	44
4.2 Aşınmayı Etkileyen Faktörler	44
5 DENEYSEL YÖNTEM	46
5.1 Soket Malzemelerinin Belirlenmesi.....	46
5.2 Elmas Soketlerin Üretimi	47
5.2.1 Elmas Soketlerin Üretiminde Kullanılacak Tozların Miktar Hesapları	48
5.2.2 Tozların Karıştırılması	51
5.2.3 Tozların Preslenmesi	52
5.2.4 Sıcak Presleme Yöntemi	53
5.2.5 Sinterleme	55
6 DENEYSEL ÇALIŞMA, SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	58
6.1 Mikro Sertlik Ölçümü.....	58
6.2 Mikro Sertlik Deneyi Sonuçları.....	59
6.3 Makro Sertlik Ölçümü	64
6.4 Pin On Disk Metoduyla Adhesiv Aşınma Deneyi	67
6.5 Pin On Disk Metoduyla Abrasiv Aşınma Deneyi	73
6.6 Optik Mikroskop Mikroyapı İncelemeleri	81
6.7 Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) İncelemeleri.....	89
6.8 Noktasal Analiz (EDX) Ölçümleri.....	96
7 SONUÇLAR.....	10
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	10
ÖZGEÇMİŞ.....	11

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Dairesel elmas kesici	9
Şekil 3.2 Elmas soketin testere üzerindeki gösterimi	10
Şekil 3.3 Elmas soketlerin şematik olarak gösterimi	11
Şekil 3.4 Toz metal parçaların üretim aşamaları	14
Şekil 3.5 Bakır-Kalay faz diyagramı	16
Şekil 3.6 Cubo-oktahedral yapıdaki elmas taneleri	17
Şekil 3.7 Elmas kesici takımın aşınma yüzeyindeki elmas tane yüzeyinin sürekli kırılmasını gösteren keskin köşelerin SEM görüntüsü	18
Şekil 3.8 Bor karbürün şematik olarak gösterimi	22
Şekil 3.9 Icosahedral yapı	22
Şekil 3.10 Rombohedral Yapı	22
Şekil 3.11 Bor-karbon faz diyagramı	24
Şekil 3.12 Laplace gerilmesi	32
Şekil 3.13 Boyun bölgesinde muhtemel sinter mekanizmaları	32
Şekil 3.14 Sinterlenmeden önce SEM ile görüntülenmiş değişik tozların yüzey genel görüntüleri	33
Şekil 3.15 Tozların sinterlenmesi sırasında boyun oluşumunun ilk safhalarına ait şematik bir resim	33
Şekil 3.16 Sinterlenme sırasında mikroyapıda görülen gelişmeler.	34
Şekil 4.1 Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi	35
Şekil 4.2 Abrasiv aşınma mekanizmaları	38
Şekil 4.3 Adhezyondan dolayı malzeme taşınımı	39
Şekil 4.4 Erozyon aşınma mekanizmaları	40
Şekil 4.5 Kavitasyon aşınma mekanizmasında kabarcık çökme mekanizması	41
Şekil 4.6 Korozyon oluşturucular ve aşınan yüzey arasındaki etkileşim modelleri	43
Şekil 4.7 Yorulma aşınma mekanizmasının şematik görüntüsü	44
Şekil 5.1 T ₂ F TURBULA karıştırıcının şematik olarak görünümü	52
Şekil 5.2 Soğuk presleme (a) tek yönlü presleme, (b) izostatik presleme	53
Şekil 5.3 Sıcak sinterleme presi	54
Şekil 5.4 Kalıp içerisinde sinterlenmiş elmas soketlerin sıcak pres içerisindeki görünümü.	54
Şekil 5.5 800 °C’de sinterlenmiş elmas katkılı soketlerin ısıtma işlem grafiği	55
Şekil 5.6 900 °C’de sinterlenmiş elmas katkılı soketlerin ısıtma işlem grafiği.	55
Şekil 5.7 1000 °C’de sinterlenmiş elmas katkılı soketlerin ısıtma işlem grafiği.	56
Şekil 5.8 Üretilen elmas soketlerin sinterlendikten sonra kalıp içindeki görünümü	57

Şekil 5.9 Üretilen elmas soketlerin sinterlendikten sonra nihai görünümü.	57
Şekil 6.1 Mikro sertlik ölçüm cihazı	58
Şekil 6.2 800 ° C ' de sinterlenen numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri.	59
Şekil 6.3 900 ° C ' de sinterlenen numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri.	59
Şekil 6.4 1000 ° C ' de sinterlenen numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri.	60
Şekil 6.5 800-900-1000°C'de sinterlenmiş numunelerin mikro-sertlik ölçüm ortalamaları.	60
Şekil 6.6 800°C'de sinterlenen B ₄ C katkılı numuneler için mikro sertlik değerleri	61
Şekil 6.7 900°C'de sinterlenen B ₄ C katkılı numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri...	61
Şekil 6.8 1000°C'de sinterlenen B ₄ C katkılı numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri.	62
Şekil 6.9 800–900–1000 ° C'de sinterlenmiş B ₄ C katkılı ve katkısız numunelerin mikro sertlik ölçüm ortalamaları.	62
Şekil 6.10 800-900-1000°C'de sinterlenmiş B ₄ C katkılı ve katkısız numunelerin mikro-sertlik ölçüm ortalamaları	63
Şekil 6.11 Makro sertlik ölçüm cihazı	64
Şekil 6.12 C ₁ – C ₃ – C ₅ kompozisyonuna sahip numunelerin HB 100 kgf yük altında sertlik ölçüm değerleri.	65
Şekil 6.13 C _{1B4C} – C _{3B4C} – C _{5B4C} kompozisyonuna sahip numunelerin HB 100 kgf yük altında sertlik ölçüm değerleri.	65
Şekil 6.14 800-900-1000°C'de sinterlenmiş B ₄ C katkılı ve katkısız numunelerin makro sertlik ölçüm ortalamaları.	66
Şekil 6.15 Aşınma deney cihazının şematik görünümü	68
Şekil 6.16 Aşınma Deney Düzeneği	68
Şekil 6.17 800°C' de sinterlenmiş C ₁ -C ₃ -C ₅ kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.	69
Şekil 6.18 800°C' de sinterlenmiş C _{1B4C} – C _{3B4C} – C _{5B4C} kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.	69
Şekil 6.19 900°C' de sinterlenmiş C ₁ -C ₃ -C ₅ kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.	70
Şekil 6.20 900°C' de sinterlenmiş C _{1B4C} – C _{3B4C} – C _{5B4C} kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.	70
Şekil 6.21 1000°C' de sinterlenmiş C ₁ -C ₃ -C ₅ kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.	71
Şekil 6.22 1000°C' de sinterlenmiş C _{1B4C} – C _{3B4C} – C _{5B4C} kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.	71
Şekil 6.23 800–900–1000 ° C'de sinterlenmiş B ₄ C katkılı ve katkısız numunelerin	

farklı yükler altındaki aşınma miktarları	72
Şekil 6.24 Nikon Eclipse L150 optik mikroskobun görünümü	81
Şekil 6.25 800 °C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmamış mikro yapı fotoğrafları	82
Şekil 6.26 900 °C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmamış mikro yapı fotoğrafları	82
Şekil 6.27 1000 °C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmamış mikro yapı fotoğrafları	83
Şekil 6.28 800°C’de sinterlenmiş bor karbür katkılı elmas soketlerin mikro yapı fotoğrafları	84
Şekil 6.29 900°C’de sinterlenmiş bor karbür katkılı elmas soketlerin dağlanmamış mikroyapı fotoğrafları	84
Şekil 6.30 1000°C’de sinterlenmiş bor karbür katkılı elmas soketlerin dağlanmamış mikroyapı fotoğrafları	85
Şekil 6.31 1000°C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmış mikro yapı fotoğrafi	86
Şekil 6.32 1000°C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmış bir başka mikro yapı fotoğrafi	86
Şekil 6.33 1000°C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmış mikro yapı fotoğrafi	87
Şekil 6.34 1000°C’de sinterlenmiş bor karbür katkılı elmas soketlerin dağlanmış mikro yapı fotoğrafi	87
Şekil 6.35 1000°C’de sinterlenmiş bor karbür katkılı elmas soketlerin dağlanmış mikro yapı fotoğrafi	88
Şekil 6.36 1000°C’de sinterlenmiş bor karbür katkılı elmas soketlerin dağlanmış bir başka mikro yapı fotoğrafi	88
Şekil 6.37 1. grup soket için (C ₅ 800°C) elmas tanesinin SEM görüntüsü	89
Şekil 6.38 1. grup soket için (C ₅ 800°C) elmas-matriks ara yüzeyin SEM görüntüsü	90
Şekil 6.39 1. grup soket için (C ₅ 800°C) elmas tanesinin matriks yapıya gömülmüş elmas tanesinin SEM görüntüsü	90
Şekil 6.40 2. grup soket için (C ₅ B ₄ C 800°C) elmas-matriks ilişkisinin SEM görüntüsü	91
Şekil 6.41 1. grup soket için (C ₅ 900°C) matriks yapıya gömülü gruplaşmış elmas tanelerinin SEM görüntüsü.	91
Şekil 6.42 1. grup soket için (C ₅ 900°C) elmas-matriks yapının SEM görüntüsü	92
Şekil 6.43 2. grup soket için (C ₅ B ₄ C 900°C) matrikse tutunmuş elmas tanesinin SEM görüntüsü.	92
Şekil 6.44 1. grup soket için (C ₅ 1000°C) matrikse gömülmüş elmas tanesinin SEM görüntüsü	93
Şekil 6.45 1. grup soket için (C ₅ 1000°C) güçlü elmas matriks ilişkisini gösteren SEM görüntüsü	93
Şekil 6.46 2. grup soket için (C ₅ B ₄ C 1000°C) matrikse gömülmüş 2 tane elmas tanesinin SEM görüntüsü	94
Şekil 6.47 2. grup soket için (C ₅ B ₄ C 1000°C) matriks yapıyla iç içe geçmiş ve	

gömülmüş elmas tanesinin SEM görüntüsü.	94
Şekil 6.48 2. grup soket için ($C_5 B_{4C}$ 1000°C) yüksek büyütmede elmas ile matriks arasındaki ara yüzeyin SEM görüntüsü	95
Şekil 6.49 C_1 800 °C numunesine ait EDS analizi.	97
Şekil 6.50 C_3 800 °C numunesine ait EDS analizi.	97
Şekil 6.51 C_5 800 °C numunesine ait EDS analizi.	98
Şekil 6.52 C_1 900 °C numunesine ait EDS analizi.	98
Şekil 6.53 C_3 900 °C numunesine ait EDS analizi.	99
Şekil 6.54 C_5 900 °C numunesine ait EDS analizi.	99
Şekil 6.55 C_1 1000 °C numunesine ait EDS analizi.	100
Şekil 6.56 C_3 1000 °C numunesine ait EDS analizi.	100
Şekil 6.57 C_5 1000 °C numunesine ait EDS analizi.	101
Şekil 6.58 $C_1 B_{4C}$ 800 °C numunesine ait EDS analizi.	102
Şekil 6.59 $C_3 B_{4C}$ 800 °C numunesine ait EDS analizi.	102
Şekil 6.60 $C_5 B_{4C}$ 800 °C numunesine ait EDS analizi.	103
Şekil 6.61 $C_1 B_{4C}$ 900 °C numunesine ait EDS analizi.	103
Şekil 6.62 $C_3 B_{4C}$ 900 °C numunesine ait EDS analizi.	104
Şekil 6.63 $C_5 B_{4C}$ 900 °C numunesine ait EDS analizi.	104
Şekil 6.64 $C_1 B_{4C}$ 1000 °C numunesine ait EDS analizi.	105
Şekil 6.65 $C_3 B_{4C}$ 1000 °C numunesine ait EDS analizi.	105
Şekil 6.66 $C_5 B_{4C}$ 1000 °C numunesine ait EDS analizi.	106

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	3.1 Sıcak preslenmiş ve sinterlenmiş B ₄ C'nin özellikleri.....	21
Tablo	3.2 Bor karbürün özellikleri.	23
Tablo	3.3 B ₄ C ve karbonca zengin B ₄ C kafes parametrelerinin değişimi.	24
Tablo	3.4 Elmasın tane boyutunun farklı standartlarda gösterimi.....	27
Tablo	3.5 Elmas yoğunluğuna karşılık gelen konsantrasyon değerleri.....	28
Tablo	3.6 Tane boyutu ve konsantrasyona göre elmas tanelerinin sayısı	28
Tablo	5.1 Soket imalatında kullanılan tozların boyutları.	46
Tablo	5.2 Soket imalatında kullanılan tozların miktarları.....	47
Tablo	5.3 Soket üretiminde kullanılan metal tozu % miktarlarının şematik gösterimi.	47
Tablo	6.1 İz çaplarına göre devir sayıları	68
Tablo	6.2 Kontrol faktörleri ve seviyeleri	65
Tablo	6.3 800 °C'de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları.	74
Tablo	6.4 900 °C'de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları.	74
Tablo	6.5 1000°C'de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları.	75
Tablo	6.6 800 _(B₄C) °C'de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları	76
Tablo	6.7 900 _(B₄C) °C'de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları	76
Tablo	6.8 1000 _(B₄C) °C'de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlaması ve aşınma testi sonuçları	77
Tablo	6.9 900°C'de sinterlenip abrasiv aşınma deneyi uygulanmış numuneler için ana etki parametrelerini gösteren grafikler	78
Tablo	6.10 900°C'de sinterlenip abrasiv aşınma deneyi uygulanmış numuneler için değişken etkileşimlerini gösteren grafikler	78
Tablo	6.11 900°C'de sinterlenip abrasiv aşınma deneyi uygulanmış numuneler in SN oranları için ana etki parametrelerini gösteren grafikler	79
Tablo	6.12 900°C'de sinterlenip abrasiv aşınma deneyi uygulanmış numuneler in SN oranları için etkileşimlerini gösteren grafikler.	79

SİMGELER DİZİNİ

B_4C Bor Karbür.

Ω Ohm

HIP

$MPa\ m^{1/2}$

KISALTMALAR DİZİNİ

CÜ	Cumhuriyet Üniversitesi
DEÜ	Dokuz Eylül Üniversitesi
IFEU	Institut für Energie und Umweltforschung
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu

1.GİRİŞ

Günümüz şartlarında, teknolojinin ve makineleşmenin ilerlemesiyle beraber ülkemizde birçok yeraltı kaynağı etkin bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Dünyadaki toplam mermer rezervlerinin yaklaşık üçte birinin ülkemizde bulunduğunu göz önünde tutulduğunda, mermer ülkemiz sanayisi için önemli bir sektör haline gelmiştir. Bu nedenle mermerin daha kaliteli ve daha ucuz bir şekilde işlenmesi bu sektör açısından oldukça önemlidir.

Bilinen en sert malzeme olması nedeniyle elmas, kesme ve aşındırma türü işlemler için ideal konumdadır. Doğal elmas kırpıntılarının endüstriyel anlamda kullanımı ile başlayan uygulama, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç elmas sentezinin başarılması ile sentetik elmas üretimine neden olmuştur. Takım üreticileri polikristalin elmas kesici takımlarda giderek artan bir şekilde doğal elmas yerine sentetik elmas kullanımını tercih etmişlerdir. Ana tercih nedeni ise doğal elmastaki değişik kesim veya kırılma yüzeyleri yerine sentetik elmasta belirli kafes düzlemlerinde yönlenmiş kristal büyütme olanağı ve bunun sonucu elde edilen avantajlı kristal morfolojileridir. Günümüzde belirli alanlarda elmaslı takımlarda sentetik elmasların kullanımı artan bir performansla sürmektedir.

Ülkemizde yaygın olarak bulunan mermerin, işlenmesi sırasındaki en önemli aşama mermerin kesimidir. Dünyada mermerin kesimi su jeti ve lazer kullanmak suretiyle ve daha birçok yöntemle yapılırken, ülkemizde en yaygın kullanılan yöntem dairesel elmas testereler ile kesimdir. Elmas testerelerin yaygın kullanılmasının nedeni diğer yöntemlere nazaran daha ekonomik olması ve makinelerin daha yaygın olmasıdır.

Dairesel elmas testereler farklı işlemler için farklı boyutlarda üretilirler. Testerenin imalatı, testerenin gövdesini teşkil eden dairesel çelik levhayla beraber kesme işlemini yapan elmas soketlerin imalatından oluşur. Elmas soketler kompozit malzemedirler ve toz metalürjisi yöntemi ile imal edilirler. Farklı içerikteki soketler farklı tür kesimler için kullanılırlar dolayısıyla önemli olan noktalardan birisi soketin içeriğinin belirlenmesidir. Soketlerin içeriklerine bakıldığı takdirde hemen her farklı mermer türü için farklı içerikte soket imal edilmektedir. Bu durum da imalat parametrelerinin çok geniş bir yelpazede yer almasına neden olmaktadır. Farklı işlev gören soketlerin imalatı için, kullanılacak malzemelerin seçimi, kullanılacak

malzemelerin oranlarının ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, sinterleme koşullarının belirlenmesi gibi birçok parametrenin değişimi söz konusudur.

Kesici takımlarının mikro yapısını belirleyen iki ana evre olan matriks ile elmas ara yüzeyinde sinterleme koşullarında kimyasal bir reaksiyon oluşması istenir ve bu reaksiyon, elmaslı kesici takımın ömrünü büyük ölçüde belirler [1]. Elmas yüzeyi ile onu çevreleyen metal matriks arasında genelde kimyasal bir reaksiyon oluşması istenir. Böylece mekanik bir bağın yanı sıra kimyasal bir bağ oluşturulmaya çalışılır. Bu bağ reaksiyonunun oluşumu metal tozlarının bileşimine, partikül boyutuna ve dağılımına, gaz ortamının koruyucu etkisine, sinterleme sıcaklığına, süresince ve basıncına bağlıdır [2]. Elmaslı kesici takımın başarılı bir şekilde sinterlenmesini engelleyen en önemli etken yüzeysel oksitlerdir; toz yüzeyindeki oksit filmleri temel sinterleme reaksiyonlarını önlemektedir [3]. Bu tür uygun metaller ile sağlanan metalurjik ıslatmayla matrikse kuvvetlice bağlanan elmaslar, sadece mekanik yolla tutulanlara nazaran matriks içerisindeki oturma yüzeyinden koparak uzaklaşmaya (yerinden sökülme) karşı daha dirençlidir. Elmas takımlarda kullanılan matriks toz karışımlarının elmasları sağlam bir şekilde tutması gerekir [4]. Kesici takımın ömrü açısından elmaslar tamamen kaybolmadan veya elmaslarda hasar oluşturmadan metalik matriks optimum bir hız ile aşınmalıdır. Aşınan matriks yüzeyinde talaş akma kanallarının oluşması ve iş parçası malzemesi talaşının bu kanallardan dışarı atılması gerekir [5]. Çok kolay bir şekilde aşınan matriks, elmasların aşırı bir şekilde zayıflayarak kaybolmasına yol açabilmekte, çok sert bir matriks ise yüzeydeki elmasların bir süre sonra kesme yüzeylerini yitirmeleri ve alttan da yeni kesici yüzeylerin çıkmaması neticesinde kesme işleminin kesintiye uğramasına neden olabilmektedir. Kesilmesi amaçlanan doğal taşın öncelikle sertliği doğrultusunda matriks bileşiminin ayarlanması gerekmektedir [6].

2. ELMAS KESİCİ TAKIMLAR

2.1 Tarihçe

İlk kez Hindistan'ın güneyindeki bir bölgede bulunan elmasın, büyüleyici güzelliği ile yüzyıllardır öncelikli bir takı malzemesi olarak diğer doğal taş ürünlerinden apayrı bir yeri olmuştur. Birçok kişi için mücevher olarak elmas kullanımı yerine elmasın endüstriyel uygulaması (elmaslı kesici takımlar endüstrisi) oldukça yenidir. Şüphesiz son elli yıl içerisinde endüstriyel elmasların kesici takımlarda kullanımında büyük bir gelişme kaydedilmiştir [7].

2.1.1 Elmaslı kesici takımların gelişim süreci

M.Ö. 150'de Hindistan, Çin ile ticari ilişki kurarak, içi oyularak elmas yerleştirilmiş kesici takımlardan sattığı bilinmektedir. Bu ilk elmaslı kesici takımlar, çok sert olan değerli süs taşlarının oyulması ve kesilmesi amacıyla kullanılmaktaydı. Bu tip kesici takımlar Çin'de "kin-kang tsuan" (taş kesen bıçaklar) olarak bilinmekteydi. Elmasın kullanımı ile ilgili ilk referans M.S. 77'de yayınlanan Pliny'in "Dünya Tarihi" eserinde verilmiştir. M.S. 1751'e kadar elmasın kaya delici matkaplarda kullanımına ait bilgilere rastlanmamıştır. Bu tarihte Diderot, "Ansiklopedi" adlı eserinde, "Kayanın delinmesinde usta, dik açı yapacak şekilde üç köşeye elmas uçlar yerleştirilmiş bir demir çubuk kullanır. Usta, bu aleti elleri ile aşağıya ve yukarıya doğru hareket ettirir. Açılan deliğe su dökülmesine dikkat eder."(Tolansky'nin Fransızca'dan çevirisi) ifadeleri yer almaktadır [8]. M.S. 1800'lerin ortalarına kadar elmaslı kesici takımlar gelişmelerini sürdürmüş ve doğal taşların bu tip takımlar kullanılarak makine yardımı ile kesilmesine başlanmıştır. Makine ile ilk kez, 8 Haziran 1852 tarihinde, granitin 5 cm çapında 37 cm derinliğinde 87 dakikada delindiği kayıtlara geçmiştir. Günümüz modern delici makinelerinde ise aynı deliğin açılması birkaç saniye sürmektedir.

Diğer tipteki elmaslı kesici takımların gelişimi benzer dönemlerde olmuştur. 1777'de J. Ramsden tarafından elmas uçun kullanıldığı bir kesici takım ile, bir torna tezgahında vida açma işlemi yapılmıştır [8]. Bu endüstriyel anlamda tornalama işleminin başlangıcını oluşturmuştur.

1842 yılında çok küçük elmas parçacıklarından oluşan bir kesici takım yapılmıştır. Pritchard, dökme demir bir gövdenin içerisine elmas partiküllerinin sıkıştırılmasıyla oluşturulan bir kesici takımı mikroskop lenslerinin taşlanması kullanılmıştır. Bu konuda ilk patent 4 Ağustos 1878'de Paris'te A.L. Caverdon tarafından alınmıştır. Bu, muhtemelen çok ince elmas tanelerin kullanıldığı elmasa matriks bağlantılı kesici takımların üretiminin başlangıcını teşkil eder [8].

1939 yılında Rus araştırmacı Luipunskii, sentetik elmas üretiminde demirin bir çözüldürücü olarak kullanılmasının mümkün olduğunda ısrar ederek sentetik elmas üretimi için basınç ve sıcaklığın düşürülebileceğini iddia etmiştir. Ancak bu iddiaya Nobel ödüllü Percy Bridman tarafından şiddetle karşı çıkmıştır. Bridman grafitin 200 kbar gibi yüksek bir basınçla yaklaşık 3000°C'de bir süre tutulması gerektiğini ifade etmiştir. 15 Şubat 1953 'te İsveç'te ASEA araştırmacıları, demir karbür (Fe_3C) ve grafit karışımının 75 kbar basınçta 1500°C sıcaklıkta birkaç dakika süre ile sıkıştırılmasıyla elmas kristallerinin oluşacağını belirlemişlerdir.

1957 yılında General Electric firması, endüstriyel uygulamalar için süper aşındırıcı adı altında sentetik elması piyasaya sürmüştür. 1961 yılında De Beers, sentetik elmasları ticari olarak üreten firmalar arasına katılmıştır. 1970 yılında General Electric firması araştırmacıları sentetik elmas üretiminde yüksek basınç ve sıcaklık koşulları sağlandığında ergimiş bir katalizör içerisinde elmas kristallerinin büyütülebileceğini belirlemişler ve bu yöntemi 500 saat gibi uzun bir süre uygulanmasıyla 14.2 karatlık bir elmasın büyütülmesinde uygulamışlardır. Son yıllarda, yüksek basınç altında üretilmiş 200 tonun üzerinde ticari amaçlı sentetik elmas olduğu tahmin edilmektedir. Halen yirminin üzerinde ülke sentetik elmas üretimi için uğraş vermektedir. İki büyük üretici olan General Electric ve De Beers Firmalarına ait üretim fabrikalarının bulunması nedeni ile İrlanda Cumhuriyeti halen en büyük üretici ülke konumundadır.

Yukarıdaki tarihten de görülebileceği gibi elmaslı kesici takımlardaki ilk gelişmeler oldukça yavaştır. Buna karşılık, özellikle son 50 yıl içerisindeki gelişmeler çok hızlı olmuştur. Şüphesiz bu gelişmedeki en büyük pay, ticari olarak temin edilebilen sentetik elmaslara aittir. Özellikle sentetik endüstriyel elmasların üretiminin yaygınlaşması ile son 50 yıl içerisinde elmaslı kesici takımlar kullanımında büyük bir artış olmuştur [8].

2.1.2 Son 50 yıl içerisindeki gelişmeler

Günümüzde elmaslı kesici takımlar petrol, maden araştırmaları için sondaj, doğaltaş ve beton kesilmesi, cam ve seramiklerin taşlanması kullanılmaktadır.

Son 50 yıl içerisinde, elmaslı kesici takımlar piyasasında çok hızlı bir gelişme kaydedilmiştir. İlk önemli gelişme II. Dünya Savaşı sırasında olmuş, endüstri üzerindeki artan savunma sanayi baskısı sonucu özellikle tungsten karbür içeren kesici takımlara (sert metaller) olan talep olağanüstü artmıştır. 1960'lı yıllarda rezin bağlayıcılı, metal kaplanmış elmas kesici takımların gelişmesiyle performanslarda da önemli artışlar olmuş ve bu da elmaslı kesici takımların kullanımında artışa yol açmıştır. Daha sonraki dönemde ikinci önemli gelişme, sentetik elmasların kullanımının doğal taş endüstrisinde benimsenmesi ile olmuştur. Bu sektördeki son 15–20 yıl içerisinde yıllık büyüme hızı %10'un üzerinde olup, günümüzde de büyük ölçüde sürmektedir. Yine 1960'lı yıllarda elmaslı kesici takım piyasası ilk kez kübik bor nitrid (CBN) ile tanışmıştır. Kesici takımlarda kullanılan doğal ve sentetik elmasların yanı sıra CBN'de tamamlayıcı olmuş ve geliştirilen çok sert aşındırıcı takımlarla demir esaslı malzemelerin (çelikler v.b.) kolaylıkla işlenebilmesine yol açmıştır. CBN içeren kesici takımlardaki sürekli gelişmeler bu malzemenin çok sert aşındırıcılar arasındaki gerçek yerini almasını sağlayacaktır [9,10].

Sektördeki diğer önemli aşama polikristalin elmasların (PCD) gelişmesi ile olmuştur. Örneğin abrasiv demir/çelik malzemelerin taşlanması ve kesme işlemleri sentetik olarak üretilmiş polikristalin elmas kesici takımlar ile mümkün olmuştur. Bu teknolojinin uygulamaları arasında petrol ve doğal gaz araştırmaları için zeminin delirmesinden fiber takviyeli plastiklere ve son zamanlarda kompozit malzemelere varan geniş bir alan bulunmaktadır. Ek olarak PCD takımlar aşınma dirençli yüzeylerde, örneğin aksel yatakların işlenmesinde de başarı ile kullanılmaktadırlar. Polikristalin CBN'de de son yıllarda benzer önemli gelişmelerin olmasıyla birlikte çok sert demir esaslı malzemeler, bu tip kesici takımların kullanımı ile CNC tezgâhlarda daha da hızlı işlenebilmektedir. Böylece işleme sürelerinde büyük oranlarda azalma sağlanmıştır. Talaşlı işlem sürecinde soğutucu sıvılara daha az gereksinim duyulması ve düşük gürültü seviyeleri nedeni ile bu tip kesici takımlar çevre dostu olarak adlandırılabilir [11].

2.1.3 Elmas Malzemelerin Geleceği

Son birkaç yıldır sentetik elmaslar, kimyasal buhar fazından kaplama (CVD) yöntemi ile üretilmiştir. Böylece bu tür üretilen sert malzeme kaplamaları içinde gelecek vaat edenleri arasında elmas kaplamalar sayılabilir. Yoğun AR-GE çalışmaları sonucu bu alanda oldukça hızlı gelişmeler olmaktadır ve elmas kaplamalar yakın gelecekte önemli rol oynayabilecektir. Elmasın bilinen en sert malzeme olmasının yanı sıra, diğer önemli özellikleri arasında termal ve optik özellikleri sayılabilir. Elmas gümüşten beş kat daha iyi ısı iletken, elektriksel olarak yalıtkan, silisyuma göre güç dağıtımı açısından 8200 kat ve yüksek frekans açısından 32 kat daha iyi bir yarı iletkendir. Elmas bu özelliği ile silisyumlu sistemlerden çok daha iyi bir transistor malzemesidir. Optik açıdan en geçirgen malzeme olarak tıp ve diğer endüstri alanlarında kullanılan cihazlarda yüksek performanslı pencere ve mercek üretiminde yeni çığırılar açabilir. Elektronik devrelerdeki yüksek işlem performansı, elmasa tasarımda büyük avantaj kazandırmaktadır Ayrıca çok yüksek sertliği, düşük sürtünme katsayısı ve yüksek kimyasal ve radyasyon direnci nedeni ile de kullanım alanı adeta sonsuzdur. Dolayısıyla ince elmas kaplamaların sadece elmaslı kesici takım endüstrisinde değil, birçok alandaki geleceği de çok parlak gözükmektedir. Şüphesiz gelecekte CVD elmas tekniği ile yeni çok sert malzemeler geliştirilebilecektir. Yeni yüksek teknoloji ürünü malzemelerin kesimi ancak bu tip elmaslı kesici takımlar ile mümkün olabilecektir [12,13].

2.2 Elmaslar Hakkında Genel Bilgiler

Elmas, büyük basınç ve yüksek sıcaklıklar altında üretilen kristalin yapıdaki karbona verilen addır ve kafes yapısı sonucu bilinen en sert maddedir. Bu nedenle elmasın abrasyon direnci diğer aşındırıcılardan daha yüksektir. Ayrıca ısıl iletkenliği bakırdan fazladır. Yüksek basınç teknikleri, doğal elmasın yapı sertliğinden aşağı olmamak üzere, hatta bazı yönlerden üstün olan sentetik elmasların üretiminde başarılı olmuştur [13,14,15].

Kesici takım ucu olarak elmasların kullanımı, 700°C'nin üzerinde grafitleşme (elmas kafesinin c-ekseninde bozunarak grafit kafesine dönüşmesi) sorunu ve elmasın demir esaslı malzemeler, kobalt, nikel ve titanyum ile karbür oluşturma

eğiliminde olması sonucu kimyasal olarak sınırlıdır. Geleneksel elmasların mukavemeti 700°C'ye (950-973 K) kadar sabit olup, sıcaklığın bir miktar arttırılması durumunda mukavemet hızla düşmektedir. Sıcaklık sadece elması değil aynı zamanda CBN, SiC, Al₂O₃ gibi değişik aşındırıcılarda da etkili olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda bu tip aşındırıcıların sertliklerinde belirgin bir düşme olmaktadır. Özellikle elmas sıcaklığa karşı son derece duyarlı olup, artan sıcaklıkla birlikte diğer tip aşındırıcılara göre daha fazla sertliğinden kaybeder [16].

Elmas kristalleri, sentetik veya doğal oluşumlarına ve empüritelere bağlı olarak oktahedral veya kübik şekildedir. En yüksek sertlik, bir oktahedral kristalde <011> yönündedir. Doğal ve sentetik elmaslarda sertliği düşük yönler, <001>'e paraleldir. Doğal ve sentetik elmaslar sahip oldukları çok ince kesme kenarları ile yüksek kalitede kesme yüzeyleri vermektedirler.

Görüldüğü gibi elmasın aşırı sertlik, kimyasal inertlik, yüksek ısı iletkenlik, yüksek elektriksel direnç, optik geçirgenlik ve yarı iletkenlik gibi ilgi çekici özellikleri vardır. Mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bu kombinasyonu, elmasa endüstriyel alanda çok geniş uygulama olanağı vermektedir [17].

2.3 Elmaslı Kesici Takımların Kullanım Alanı

Üstün sertlik ve aşınma dirençleri nedeni ile elmaslı kesici takımlar madencilikte doğal taş kesiminden uzay, otomotiv, elektro-optik endüstrilerine kadar çok geniş bir alanda artarak uygulanmaktadır. Otomotiv endüstrisinde elmaslı kesici takımlar çok aşındırıcı olan piston ringleri ve bağlantı rodları gibi kokil döküm alüminyum parçaların işlenmesinde kullanılırlar. Bu tür yüksek silisyum içeren alüminyum alaşımları, yüksek mukavemeti ve düşük ağırlıkları nedeniyle otomotiv endüstrisinde artan bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tip alaşımlardan, motor blokları, silindir başlıkları, fren diskleri, oto ve kamyon tekerlekleri ve pistonlar üretilmektedir [18,19].

Günümüzde bu malzemelerin işlenmesi, sert metaller ve PCD kesici takımlar ile yapılmaktadır. Bu uygulamalarda PCD takımların ömrü sert metal takımlardan daha uzundur. Avrupa ülkelerinde, özellikle Almanya'da ulaşım sektöründe, demir yollarının onarımında hızlı ve hassas kesme imkânı ile elmaslı kesici takımlar yaygın bir kullanım alanı bulmuşlardır [20,21].

Uzay ve havacılık endüstrisinde elmaslı kesici takımlar çok aşındırıcı olan süper sert kompozitlerin işlenmesinde kullanılırlar. PCD takımlar, yüksek kaliteleri ile nihai işlemler için gerekli olan aşınma direncine sahiptir. Her bir uygulama alanı için değişik elmaslı kesici takım tipi mevcuttur. Doğal elmaslı kesici takımlar genelde tek taş elmasa sahiptirler. Bu tip kesici takımlar yüksek hassasiyetle yapılan uygulamalarda, örneğin bilgisayar bellek disklerinin kesiminde ve çok köşeli aynalar, yansıtıcı metal optikler gibi demir dışı metallerin hassas işlenmesinde kullanılırlar. Doğal tek-kristal elmaslı takımlar, elmasın kimyasal etkileşimi nedeniyle demir esaslı malzemeler için tavsiye edilmemektedirler [19].

Elmaslı kesici takımların en büyük uygulaması, iş parçalarının çok fazla aşındırıcı olduğu ve/veya yüksek yüzey kalitesinin istendiği, dar toleranslarla çalışıldığı veya uzun takım ömrü beklendiği durumlarda olmaktadır. Elmaslı kesici takımlar ayrıca aşağıdaki malzemelerin etkin bir şekilde talaşlı işlenmesi için oldukça uygundur:

Demir dışı metaller; özellikle düşük çekme mukavemetli ve yüksek aşındırıcılar. Bunlar, bronz, pirinç, alüminyum, bakır, altın, gümüş, magnezyum, kurşun ve çinko alaşımları içermektedir.

Metal dışı malzemeler; örneğin plastikler, karbon, grafit, cam, beton, seramik, granit, kauçuk ve ağaç [22,23,24].

Kompozit malzemeler; işlenmesi güç malzemelerde, örneğin kompozitler, geleneksel kesici takımlar için aşınmanın çok fazla olduğu uygulamalarda, ısınmanın zararlı olabileceği durumlarda doğal ve sentetik elmaslı kesici takımların kullanılması idealdir. Ayrıca fiberglas, epoksi ve plastik dolgu malzemeler için de kullanılırlar.

Polikristalin elmas kesiciler, yüksek basınçlara, artan kesme hızına bağlı olarak darbe kuvvetlerine dayanıklı olup ilerleme ve kesme derinliği oldukça fazladır. Ayrıca tornalama uygulamaları gibi süresiz kesme işlemlerine daha uygundur. Bununla birlikte polikristalin elmas kesici takımların kesme yüzeyi kalitesi sınırlı olup çok mükemmel yüzey kalitesinin gerekli olduğu uygulamalar için hala doğal tek-kristal elmaslar tercih edilmektedir.

Elmasın sahip olduğu özellikler, taşlama ve tornalama gibi uygulamalarda çoğu malzemeyi işlemeye uygundur. Ayrıca elmaslı kesici takımlar herhangi bir

kesici takım malzemesinden daha fazla aşınma direncine sahiptir. Yüksek aşınma direnci nedeni ile kesme kenarlarındaki çok büyük basma gerilmeleri altında dahi elmaslı takım boyutsal hassasiyetini korur. Günümüzde değişik uygulamalar için yüksek elastisite modülü nedeni ile düşük sürtünme katsayılı, sertliği ve kesme kapasitesi yüksek elmas kesici takımlar dizayn edilmektedir [25].

3. ELMAS TESRTERELER VE ÜRETİM YÖNTEMİ

3.1 Doğal Taş Kesimi için Kullanılan Dairesel Elmas Testerelerin Genel Özellikleri ve Türleri

Dairesel elmas testereler şekil itibarıyla, değişik kalınlık ve çaplarda belirlenmiş, dairesel, uç kısımları segmentlere ayrılmış çelik levhalar ile segmentlerin uçlarına sert lehim ile tutturulmuş bir dizi kompozit soketten oluşan testerelerdir [26].

Bu testereler kullanılarak mermer ve granit gibi doğal taşların kesimi yapılmaktadır.



Şekil 3.1: Dairesel elmas kesici [25].

Este Testereleri

Çapları 100cm ile 170cm arasında değişen büyük testerelerdir. Ocaktan blok kütük halinde çıkartılan mermerin kullanılmayacak kadar düşük kalitede olan kısımları bu testerelerle kesilerek ayrılır [26].

Yarma Testereleri

Çapları 60cm ile 90cm arasında olan testerelerdir. Este testereleri ilk kaba kesimi yapılan mermer blokların tezgahta işlenebilecek daha küçük boyutlarda kesilmesi işlemi yarma testereleri ile yapılmaktadır [26].

Yatay Testereler

Çapları 40cm ile 50cm arasında değişmektedir. Yarma testeresiyle daha küçük bloklara ayrılan mermer yatay testere kullanılarak dilimlenir ve mermer levhalar haline getirilir [26].

Atölye Testereleri

Çapları 40cm ile 55cm arasında olan testerelerdir. Bu testereler kullanılarak mermer levhalar arzu edilen boyutlarda kesilir böylece alınacak siparişlere göre boyutlar kabaca belirlenmiş olur [26].

Kafa Kesim Testereleri

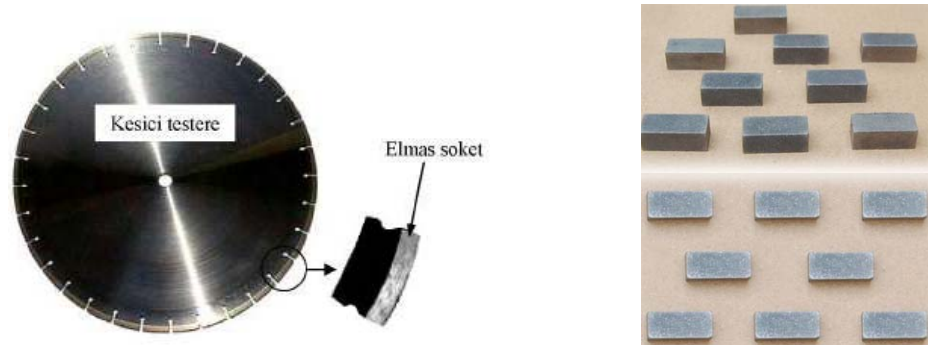
Çapları 30cm ile 35cm arasında değişmektedir. Bu testereler kullanılarak hassas kesimi yapılacak mermer levhanın kafa olarak tabii edilen uç kısımları kesilir ve levha hassas kesime hazır hale getirilir [26].

Hassas Kesim Testereleri

Çapları 20cm ile 35cm arasında değişen küçük testerelerdir. Bu aşamada artık kesilmesi istenen mermer levhanın kesin boyutları belirlidir. Belirlenen boyutlara göre mermer bu testereler kullanılarak hassas olarak kesilir ve boyutsal olarak koyulacağı yere göre hazırlanmış olur [26].

3.2 Elmas Soketlerin Yapısı

Elmas soket testerenin kesme işlemini yapan ve kesme mekanizmasını belirleyen kısımlarıdır (Şekil 3.2). Yapı olarak, kompozit bir matriksin içerisinde homojen olarak dağılmış elmas tozlarından oluşmuştur [26].



Şekil 3.2: Elmas socketin testere üzerindeki gösterimi [25].



Şekil 3.3: Elmas socketlerin şematik olarak gösterimi [25].

Elmas socketler toz metalürjisi yöntemi kullanılarak üretilmektedirler. Soket için seçilen uygun metal tozları uygun oranlarda karıştırılır, uygun basınçlarda sıkıştırılır ve sinterlenir. Tozların miktarları, cinsleri, sinterleme şartları gibi farklı parametreleri değiştirmek suretiyle farklı yapıda elmas socketler üretmek mümkündür [26].

3.3 Toz Metalürjisi

Toz metalürjisi; metal tozlarının karıştırılarak istenilen şekle sıkıştırılması, kontrollü atmosferde sinterlenmesi ile parça üretme yöntemidir [25]. Malzeme imalat yöntemlerinden biri olan toz metalürjisi; ileri teknoloji malzemelerinin üretilmesinde oldukça uygun ve çok sayıda küçük parçaların ekonomik üretimini sağlayan önemli bir teknolojidir. “Son şekle yakın” (near-net shape) parça üretim teknolojisi olan (T/M), diğer imalat yöntemlerinden oldukça farklı üretim aşamalarına sahiptir. Son şekle yakın ürünler elde etmede kullanılan süreçler; sinterleme, sıcak presleme, sıcak izostatik presleme, toz metal enjeksiyonu, nano parçacık teknikleri ve mekanik alaşımlamadır. Kısaca bu metot çok karmaşık şekilli ürünlerin elde edilmesinde uygulanan ileri bir teknolojidir [27].

Toz metalürjisi, bir imalat yöntemi olmanın ötesinde aynı zamanda önemli bir malzeme ve yarı mamul üretim yöntemidir. Periyodik cetvelde metal olarak sayabileceğimiz 86 kadar elementten yaklaşık 8.000 kadar alaşım üretilmektedir. Hâlbuki bu 86 elementten ikili, üçlü, dörtlü ve çoklu kombinasyonlar ile kurumsal

olarak $7,7 \times 10^{25}$ tür malzeme üretmek mümkündür. Bu da düşünce sınırlarını asan çok büyük bir imkândır. Bu imkan toz metalurjisi yönteminde mekanik alaşımlama ile uygulanabilir hale gelmiştir.

Toz metalurjisi (T/M) yöntemiyle yüksek kaliteli ve karmaşık parçaları ekonomik olarak üretmek, bu üretim tekniğini cazip kılmaktadır. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem temel olarak; tozların şekillendirilmesi (preslenmesi) ve daha sonra sinterleme yoluyla, ısıl yoldan bağlanması basamaklarını içerir. T/M yöntemi ile üretim; malzeme kaybını en aza indirmesi, iyi bir boyut toleransı sağlaması, geniş alaşım sistemlerine izin vermesi, kendinden yağlama amacıyla kontrollü gözenek imkânı ve diğer imalat yöntemleriyle üretilmesi zor olan karışık şekilli parçaların üretebilmesi gibi birçok avantaja sahiptir. Bu avantajları ile verimlilik, ekonomiklik, az enerji kullanımı, hammaddeden tasarruf ve çevreye daha az zarar verme bakımından ortaya çıkan olumsuz etkenleri her geçen gün ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak T/M teknolojisi sürekli gelişmekte ve birçok alanda diğer geleneksel metal şekillendirme yöntemlerinin yerini almaktadır. Basta otomotiv endüstrisi olmak üzere elektronik, tıbbi cihaz ve çeşitli makine parçalarının imalatında T/M teknolojisinin kullanımı giderek genişlemektedir.

Toz metalürjisinin amacı; metal ve metalsel alaşımların tozlarını ergitmeden, basınç ve sıcaklık yardımıyla, dayanıklı cisimler haline getirmektir. Sinterleme denilen bu işlem, ergitmenin yerini tutmakta ve kullanılan metal tozuna ergitme sıcaklığının altında bir sıcaklıkta işlem yapılmasıdır. Ergitme sıcaklığı yüksek olan metallerin üretiminde kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca dökümdeki oksidasyon, segregasyon, gaz absorpsiyonu, yüksek yoğunluk farkından dolayı alaşım güçlükleri gibi birçok sorun, toz metalurjisi yönteminde ortadan otomatik olarak kalkmış olur.

Toz metalürjisi, dökümle karşılaştırıldığında; kalite, tolerans kontrolü, aşınma dayanımı bakımlarından daha üstün bulunmakta ve birçok döküm hatalarını ortadan kaldırmaktadır. T/M parçalarında çok daha az mekanik talaş kaldırma işleminin bulunması talaş ve hurda kaybını da minimuma indirmektedir.

Toz metalürjisinin en önemli avantajı değişik bileşiklerden ya da büyük fiziksel farklılıklar gösteren elementlerden malzeme üretilebilmesidir. Günümüzde en büyük dezavantajı göreceli olarak değerlendirilebilecek olan yüksek maliyetidir.

Parça boyutunun ve ağırlığının sınırlı olması da göz önüne alınması gereken diğer bir dezavantajdır [28].

3.4 Toz Metalurjisinin Tarihçesi

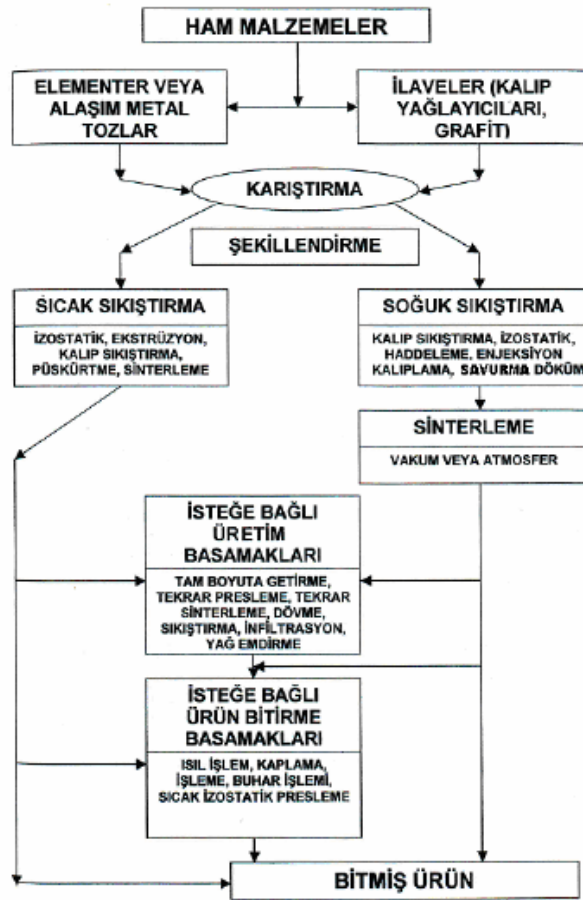
İnsanoğlu akıl ve bilim sayesinde evrendeki mevcut imkânları kendi yararına kullanmasını bilmiştir. Bilim ve teknoloji, insanın ihtiyaçlarını sağlama, kendisine daha iyi yaşam şartları oluşturma ve merak duygusunu giderme çabalarının bir sonucu olarak, sürekli ve ivmesi artan bir şekilde gelişmektedir. Doğada bulunan çeşitli malzemeler, uygulanan bir dizi işlemde sonra kullanılabilir hale gelmektedir. Böylece, seçilen özelliklerdeki malzemelerden, göreceği işleme uygun çeşitli makine parçaları, alet, eşya ve donanımlar elde edilmektedir [29]. Malzemelerin ürün haline gelmesinde çok çeşitli imalat yöntemleri geliştirilmiş ve kullanılmıştır Bu imalat yöntemlerinden biri de T/M'dir.

Toz metalurjisi bilinen en eski metal şekillendirme yöntemidir. Kil ve diğer seramik malzemelerin aksine ergitme yoluyla ve ateşle şekillendirilen sanatsal ya da dekoratif amaçlı parçalar tarihin ilk dönemlerinden beri sıklıkla uygulanmıştır. İlk insanlar doğada saf haliyle bulduğu metalleri ergitemediğinden onları çekiçle döverek birleştirmeyi gerçekleştirmişlerdir. 1800'li yıllara gelene kadar T/M yöntemi endüstriyel olarak değer kazanmış ve o yıllarda, örneğin altın tozları bir sanat dalı olarak, mücevher yapımında kullanılmıştır. Bu tozların nasıl üretildiği tam olarak bilinmemektedir fakat tozların bazılarının metallerin ergitilerek taneleştirildiği olasılığı üzerinde durulmaktadır. Düşük ergime noktası ve oksitlenmeye karşı dayanımı bu tozlardan yapılan üretim de aranan ve istenen özelliklerdir. Bu koşulları en iyi altın tozları sağlar. Pigment olarak ve dekoratif amaçlar için bu tozların kullanılması doğru bir toz metalurjisi tekniği değildir. Çünkü modern sanatta asıl amaç tozun üretilmesi, üretilen tozun preslenerek katı durumda ısıtılması ve kullanılan metal tozlarının ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta birleştirilmesidir. insan oğlu metallerin ergime noktalarına kadar çıkan fırınlar geliştirmeden önce, toz metalurjisi yöntemini kullanmıştır. Yaklaşık M.Ö. 3000 yılında Mısırlılar el aletleri yapımında günümüz “sünger demiri” ne benzer tozlar ve parçacıklar kullanmışlardır. T/M 'sinin 1800'lü yılların başında Amerika'da flaman şekilli parçaların üretiminde kullanılması ile endüstriyel olarak uygulamaya girmiş

ve 1826 yılında Rusya'da tedavüle çıkarılan bir platin paranın T/M ile üretilmesiyle ilk kez geniş çaplı endüstriyel uygulama alanı bulmuştur [30]. Ergitme yöntemlerinin geliştirilmesiyle bakır, gümüş ve demir gibi metallerin şekillendirilmesinde T/M yöntemi önemini kaybetmiştir. Ancak, platin gibi çok yüksek sıcaklıklarda ergiyen metallerden üretim yapmanın ve bu metalleri islemenin en önemli yollarından biri T/M yöntemidir. İspanyolların Güney Amerika'yı keşfinden çok önce İnka'ların platin işlemeyi bildikleri anlaşılmıştır. Wollaston, 1829 yılında platini endüstriyel olarak üretmeyi başarmıştır. Geotzel'e göre bu başarı T/M teknolojisinin başlangıcıdır. 19. yüzyılın ortalarında tungsten, molibden ve osmiyum tozlarından elektrik lambası filamanı üretilmiştir.

İlk kendi kendini yağlayan yatağın üretimi 1870'li yıllarda gerçekleştirilmiştir. Krupp firması 1914 yılında bu yolla sert metal üretimini denemiş ve 1927 yılında ürettiği ürünler piyasaya sürmüştür.

T/M yönteminde modern gelişmeler I. Dünya Savaşı yıllarında başlamıştır. Gözenekli gereçler, mıknatıslar ve yağ emdirilmiş demir tozu parçaları ilk kez bu yıllarda üretilmiştir [31].



Şekil 3.4 : Toz metal parçaların üretim aşamaları [32].

3.5 Elmas Soketlerin İmalatında Kullanılan Malzemelerin Türleri Ve Özellikleri

Elmas soketin mekanik özelliklerini belirleyen faktör soketin içeriğindeki matriks yapıdır. Matriks yapının temel görevi, elmas parçacıklarının hem kimyasal hem de fiziksel bir bağ ile bağlamak suretiyle bir arada tutmak, dolayısıyla kesme işlemi esnasında elmas parçacıklarının matriksten kolayca ayrılmalarını engellemek ve bu suretle takım ömrünü belirlemektir. Matriks yapı aşınmaya elverişli olmalıdır. Kesme işlemi süresince matriks yapı optimum bir biçimde aşınmalı, ve yüzey altı elmas taneciklerinin yüzeye gelmelerini sağlayarak kesme işleminin devamını sağlamalıdır.

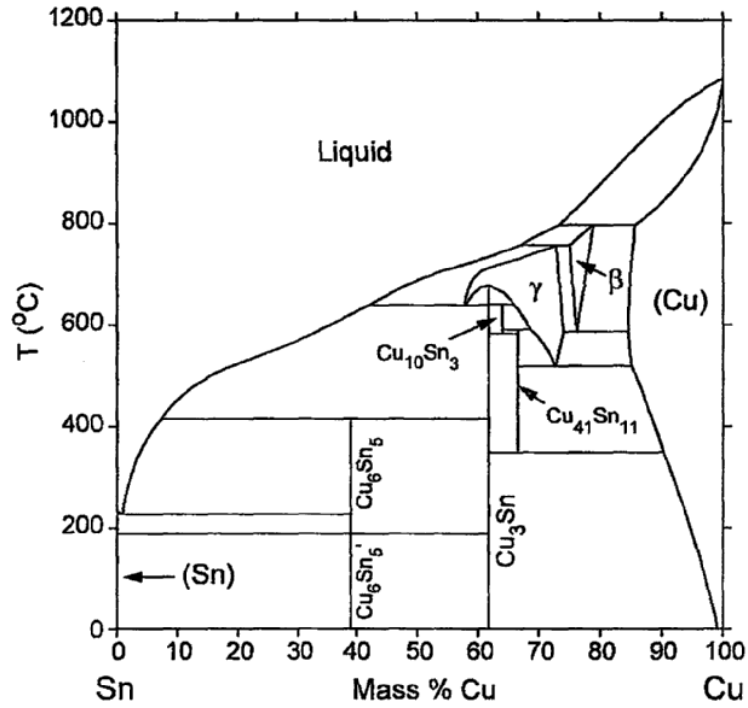
Ayrıca matriksin kesme yüzeyinde çıkan talaşı uzaklaştıracak kanallar oluşmalıdır. Aksi takdirde talaş matriks yapıda ve elmas parçacıkların üzerinde kuvvetli aşınmaya sebep olabilmektedir [33].

Bütün bu özelliklerin sağlayacak socketin standart matriks yapısı, doğal taşların kesimi için, Co / Ni, Cu-Sn tozlarının farklı kombinasyonları ile oluşturulmaktadır [34]. Elmas socket imalatında kullanılan malzemeler dört ana gruptan oluşmaktadır:

- a) Dolgu malzemesi olarak kullanılan tozlar,
- b) Bağlayıcı olarak kullanılan tozlar,
- c) Sertleştirici ve mukavemet arttırıcı tozlar,
- d) Elmas tozları

3.5.1 Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılan Tozlar

Matriks tasarımında elmasları bir arada tutan bir bağlantı evresinden ve sinterleme koşullarında gözenekleri kapatmaya yarayan ve kesme koşullarında hızla aşınarak talaş akma kanallarını oluşturan bir dolgu evresinden yararlanır. Dolgu evresi için genelde sinterleme koşullarında ergiyen bronz veya pirinç kullanılır. Dolgu evresinde kullanılan malzeme sinterleme etkisi ile ergiyerek matriks içerisindeki boşlukları doldurur. Bu tür ergiyen bir faz ile yapılan sinterlemede (Supersolidus sinterleme veya sıvı faz sinterlemesi) sonucu hemen hemen gözeneksiz malzeme elde edilir [34]. Yukarıda belirtilen matriks özelliklerinin karşılaması açısından dolgu evresi olarak en yaygın bronz tozu kullanılmaktadır. Bronz tozunun yaygın kullanımının en önemli nedeni bu tozun ucuz olması ve kolay bulunabilir olmasıdır. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak bronz tozu kullanım şekli olarak müstakil kullanılmaktadır veya gerekli oranlarda bakır ve kalay tozu karıştırılmak suretiyle de bronz yapı oluşturulabilmektedir [34]. Bronz tozunun yanında çok az miktarda kalay ilave etmek suretiyle değişik özellikte matriks yapıda oluşturulabilmektedir [34].



Şekil 3.5. : Bakır-kalay faz diyagramı [26].

3.5.2 Bağlayıcı Olarak Kullanılan Tozlar

Bağlayıcı malzeme itibariyle yaygın olarak kobalt tozu veya nikel tozu ve ucuz olması nedeniyle demir tozu ve bunların kombinasyonları kullanılmaktadır [34]. Fakat bağlayıcı özelliğinin daha iyi olması, iyi ıslatma özelliğinin olması (elmasların optimum bağlanması) dolayısıyla, aşınma direncini doğrudan ve dolaylı yoldan artırması ve yüksek ısı dayanımı (Ergime 1493 °C) nedeni ile kobalt daha yaygın olarak tercih edilmektedir.

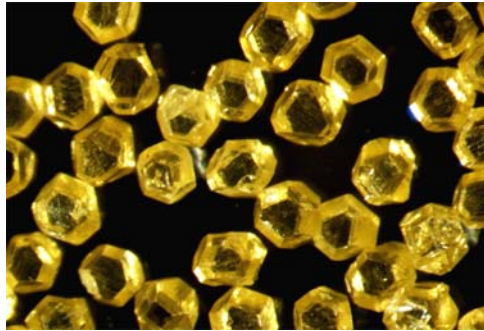
Nikel tozunun kobalt tozuna oranla daha ucuz olması nedeniyle nikel tozu da zaman zaman tercih edilmektedir veya kobaltla beraber de düşük oranlarda kullanılabilir. Bağlayıcı malzemenin yapı içerisindeki en önemli görevi soket yapısını bir arada tutan bağların oluşumunu sağlamak ve elmas parçacıklarının matrikse kimyasal ve fiziksel olarak bağlayıp kolayca kopmasını engellemektir. Oluşan bu bağ kuvvetleri takım ömrünü ve kesme hızlarını belirlemektedir.

3.5.3 Sertleştirici ve Mukavemet Arttırıcı Tozlar

Matriksi sertleştirici ve mukavemetini arttırıcı malzemeler nadiren kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise matriks yapının gereksiz sertlikte olmasının kesme mekanizmasını olumsuz etkilemesidir. Ancak granit gibi çok sert malzemelerin kesimi için kullanılacak testerelerde matriks yapının süratle aşınmasını engellemek amacı ile çok düşük oranlarda kullanılabilir. (Kütlece %1-2). Titanyum karbür, molibden karbür, tungsten karbür gibi mukavemet arttırıcı özelliği olan malzemeler toz halinde, sertleştirici malzeme olarak kullanılabilirler[26].

Matriks yapı içerisindeki elmas parçacıkları kesme işini gerçekleştiren unsurlardır. Elmas testerelerle yapılan kesme işlemi aşındırma prensibi ile gerçekleşmektedir. Buradaki temel aşınma mekanizması abrasif aşınma olup aşınma, sert elmas parçacıkları daha yumuşak olan mermeri mikro talaş kaldırma ile kesmesi sonucu gerçekleşmektedir [34].

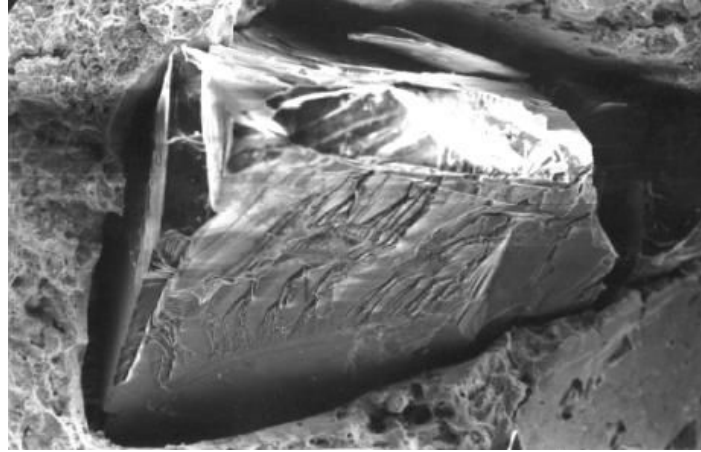
Soketin imalatında doğal elmas tozu kullanıldığı gibi daha pahalı olmasına rağmen yapay elmas tozu daha fazla tercih edilmektedir. Bunun nedeni istenilen kalitedeki ve miktardaki elmas tozunun doğada her zaman bulunamamasıdır. Elmas tozu seçiminde dikkat edilecek iki husus elmas tanelerinin boyutu ve kalitesidir. Elmasın kalitesi dendiğinde, tanelerin geometrik şekilleri ve sertlikleri yani fiziksel ve mekanik özellikleri ön plana çıkmaktadır.



Şekil 3.6. : Cubo – oktahedral yapıdaki elmas taneleri [35].

Soket imalatında kullanılan elmas taneleri şekil olarak cubo-oktahedral (Şekil 3.6) yapıdadırlar. Taneciklerin şekli ne kadar düzgün olursa kesme kalitesi ve sürekliliği o kadar iyi olur. Kaliteli elmas taneleri saydam ve homojen yapıda olur. Elmas tanelerinin sertliği de kesim işlemi açısından son derece önemlidir. Bunun nedeni ise çalışma esnasında elmas tanelerinin körelmesinin değil kırılmasının

istenmesidir. Sert elmas taneleri çalışıkça kırılacak ve kırılma düzlemleri boyunca yeni keskin kenarlar oluşacaktır [34,36]. Oluşan bu keskin köşeler ise kesme işleminin sürekliliğini sağlayacaktır (Şekil 3.7). Mekanik özellikleri iyi olmayan elmas tanelerinin kenarları kırılmak yerine aşınarak körelecek ve kesme fonksiyonunu yitirecek dolayısıyla kesme işlemi kesintili olacaktır. Bu durum da kesme kalitesini ve takım ömrünü düşürecektir [34]. Bir diğere hususta elmas tanelerinin sertliğinin kesme işlemi esnasında oluşan ısının etkisiyle azalmasıdır. Kaliteli tabir edilen elmas tanelerinin sertliğinin ısının etkisi ile azalması nispeten daha az olmaktadır.



Şekil 3.7: Elmas kesici takımın aşınma yüzeyindeki elmas tane yüzeyinin sürekli kırılmasını gösteren keskin köşelerin SEM görüntüsü [34].

3.6 Bor Karbür

Yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sertlik, düşük yoğunluk, kimyasal maddelere karşı üstün direnç, üstün mekanik özellikleri nedeniyle bor karbür, günümüzde ileri teknolojinin önemli bir malzemesidir. Bor karbür özellikle, nükleer reaktörlerde, hafif zırh üretiminde ve yüksek sıcaklık malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bor karbür bilinen en kararlı bileşiklerden birisidir. Asit ve bazlarla kolaylıkla reaksiyona girmez. Bilinen diğere birçok karbür ve nitrürlerin erimeden buharlaşma yoluyla bozulma eğilimi gösterirken bor karbür; 2450 °C' de eriyerek sıvı faz oluşumu gösteren nadir bileşiklerden birisidir [37].

3.6.1 Bor Karbürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

3.6.1.1 Sertlik

Literatürde bor karbür bileşikleri için belirtilen sertlik değerleri 20 GPa ‘dan 78 GPa ‘a kadar değişiklik göstermekle birlikte B₄C bileşimi için genel kabul görmüş vickers sertliği 32 GPa civarındadır. Karşılaştırma yapılabilmesi için nitrürlenmiş çeliğin sertliği yaklaşık 21 GPa’ dır. Bor karbür, elmas ve kübik bor nitrürden sonra gelen en sert malzemedir. Karbon miktarının sertliğe olan etkileri konusunda birbirinden farklı sonuçlar ileri sürülmektedir. Yüksek sıcaklık sertlik ölçümlerinde 1300 °C ‘ ye kadar olan sıcaklıklar için sertlikte bir azalma gözlenmemiştir. Basınçsız şartlar altında sinterlenmiş numunelerde 200 gr yükü yapılan sertlik ölçümleri ortalama 25.5 GPa sertliğe sahipken sıcak presleme ile üretilmiş numunelerde ortalama 29 GPa sertlik değeri elde edilmiştir [37,38].

3.6.1.2 Aşınma Direnci

Yüksek sertliğinden dolayı B₄C’ ün aşınma direnci de oldukça yüksektir. Bir fikir vermesi açısından diğer sert malzemelerle aşınma direnci mukayese edildiğinde elmas 0,6 13 ile rölatif skalanın en üstünde yer alırken B₄C 0,422 ve SiC 0,3 14 ile aynı skalada yer alır [37,38].

3.6.1.3 Yoğunluk

Bilinen bazı bor karbür stokiometrik ara bileşikleri için hesaplama yapıldığında B₄C için 2,52 gr/cm³, B₁₃C₂ için 2,488 gr/cm³, B_{10,5}C için ise 2,465 gr/cm³ yoğunluk değerleri elde edilir. Yapıdaki bor miktarının artması ile yoğunlukta da bir azalma görülmesi elementel bor atom ağırlığının karbona göre daha küçük olmasından dolayı beklenen bir sonuç olması gerekir; Bilinen bir stokiyometrik yapı için ölçülen yoğunlukların teorik değerlerden fazla olması yapıda empürite olarak demir, alüminyum gibi daha ağır metallerin bulunduğunu göstermektedir [37,38].

3.6.1.4 Elektriksel Direnc

Elektriksel direnci, grafit ve SiC’ e benzer değişimler göstermektedir. oda sıcaklığında silisyum karbür için spesifik elektrik direnci 0,2 – 10 ohm x cm

aralığında değişirken, bor karbür için 0,1 – 10 ohm x cm 'dir. Oda sıcaklığında 10 ohm x cm elektriksel direnç gösteren saf bor karbürün direnci 1600 °C civarında 0,2 ohm x cm değerine kadar bir düşüş gösterir. Bor karbür – silisyum karbür ile mukayese edildiğinde daha yüksek akım geçirebilme özelliğine de sahiptir. Yoğunluk ve diğer özelliklere benzer şekilde elektriksel iletkenlikte bor / karbon oranına bağlı olarak değişiklik gösterir [37,38].

3.6.1.5 Mekanik Özellikler

Yüksek sertliği ve ergime noktasının yanı sıra bor karbürün mekanik özellikleri de oldukça önemlidir. Özellikle mukavemetle yoğunluk oranı göz önüne alındığında bor karbür ideal bir malzemedir. Kristal yapıdaki atomların kuvvetli kovalent bağlarla birbirine bağlı olması yüksek mukavemetin bir göstergesidir. Ölçülen mukavemet değerleri sıcak presleme sıcaklığı ile mikroyapı stokiometrisine bağlıdır. Karışıma yapılan az miktardaki bor ilavesi mikro yapıdaki serbest karbonu elemine ederek mukavemette artışa sebep olur. Sıcak preslenmiş numuneler 300-500 MPa arasında eğme mukavemeti gösterirken, sinterleme sonrası HIP işlemine maruz bırakılmış numunelerde ise bu değerler 150-350 MPa aralığına karşılık gelmektedir. Bu değerlerin sadece basınçsız sinterleme işlemine tabii tutulmuş numunelerinkilerden daha fazla olması doğaldır [37,38].

Yüksek sıcaklıklarda sertliğin düşmesine paralel olarak mukavemette de azot gazı altında 1500°C 'ye kadar herhangi bir azalma gözlenmez. Öte yandan havada 600-1000°C arasında yapılan eğme deneyleri B₄C 'nin oksitlenmesine bağlı olarak mukavemetinin azalmasına yol açmaktadır. Yapıya Si ve Al katkıları yapılması oksitlenmenin önüne geçerek havadaki yüksek sıcaklık mukavemet değerinin iyileştirilmesine yardımcı olur. Tablo 3.1' de sıcak preslenmiş ve sinterlenmiş B₄C malzemesinin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Parantez içersinde belirtilen değerler +I- olarak ölçümlerde görülen değişimleri göstermektedir [37,38].

Tablo 3.1: Sıcak preslenmiş ve sinterlenmiş B₄C'nin özellikleri [37].

Özellik	Sıcak Preslenmiş	Sinterlenmiş	
		% 1 C	% 3 C
Karbon (%)	21,7	22,5	24,8
Gözeneklilik (%)	0,5	2	2
Yoğunluk (gr/cm ³)	2,51	2,44	2,46
Ortalama Tane Boyutu (µm)	5	8	7
Nokta Eğme Mukavemeti (MPa)	480±(40)	351±(40)	353±(30)
Young Modülü (GPa)	441	390	372
Kayma Modülü(GPa)	188	166	158
Poisson Oranı	0,17	0,17	0,17
Kırılma Tokluğu (MPa m ^{1/2})	36±(0,3)	3,3(0,2)	3,2±(0,2)

3.6.1.6 Kimyasal Özellikler

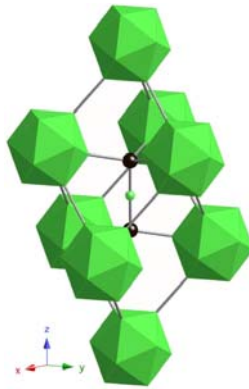
Bor karbür bilinen en kararlı bileşiklerden birisidir. Standart oluşum entalpisi 9,3 ile 17,1 kcal/mol arasındadır. Asit ve bazlarla kolaylıkla reaksiyona girmez. Fakat HF – H₂SO₄ ve HF – HNO₃ karışımlarında çok uzun sürelerde yavaşça çözünüm gösterir. Sıcak ortamda HNO₃ – H₂SO₄ gibi asitlerle oksitlenebilir. Ufak boyutlu bor karbür tozları rutubetli havada veya oksijen ile yavaşça oksitlenebilir ve partikül yüzeyinde zamana bağlı olarak B₂O₃, HBO₃ veya H₃BO₃ filmi oluşur. 1000°C' den başlayarak B₄C; demir, titanyum, zirkonyum, nikel, alüminyum ve silisyum gibi metallerle reaksiyona girerek borür ve karbürlerin oluşmasına neden olur [37,38].

3.6.1.7 Bor Karbürün Yapısı

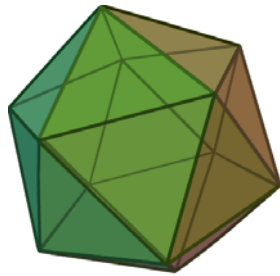
Bor karbür yapısının görünümü Şekil 3.8' de verilmiştir. Karbon atomu, üç atom zincirinde ve icosahedralin bir parçası olarak yer almıştır. Tetragonal (sp³) hibritleşmelerinden dolayı, merkez atomu bor olan zincirin diğer iki ucunu doldururlar (CBC zinciri). Bazı istisnai durumlarda iyonlaşmış karbon atomları merkezde yer alabilmektedir. Bağ yapma kıstaslarına göre en fazla iki atom,

icosahedrale katılabilir. Bor icosahedralinin, termodinamik açıdan kararlı kapalı kabuk (closed-shell) yapısını oluşturmak için iki elektrona ihtiyacı vardır. Bu elektronlar karbon atomları tarafından sağlanmaktadır.

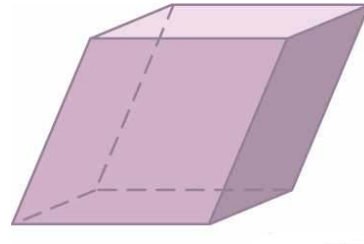
Bor karbürün yapısı icosahedraldir. 12 atomlu kafes yapısını oluşturan bir polihedrarın 20 yüzü, 12 eş dikmesi ve 12h simetrisi vardır. Şekil 3.9 ve şekil 3.10’da görülen bir rombohedral konfigürasyonunu birleştirmektedir. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi bor karbür için bu icosahedrallerin merkezleri, rombohedralin her bir köşesine yerleşmiştir [37,38,39].



Şekil 3.8 : Bor karbür yapısının şematik gösterimi [37].



Şekil 3.9 :Icosahedral yapı [37].



Şekil 3.10 : Rombohedral yapı [37].

Bor karbür için kabul edilen en yaygın model $B_{11}C$ icosahedrali ile C-B-C intericosahedral üniteleri arasındaki zincirdir. Bu nedenle bor atomlarının farklı yerleşmeleri yapı açısından farklı iki fazın oluşumunu mümkün kılar. Bunlar $B_{13}C_2$ veya $B_{12}(CBC)$ ile $B_{12}C_3$ 'dür. Bir icosahedraldeki bor atomunun, karbon atomuyla

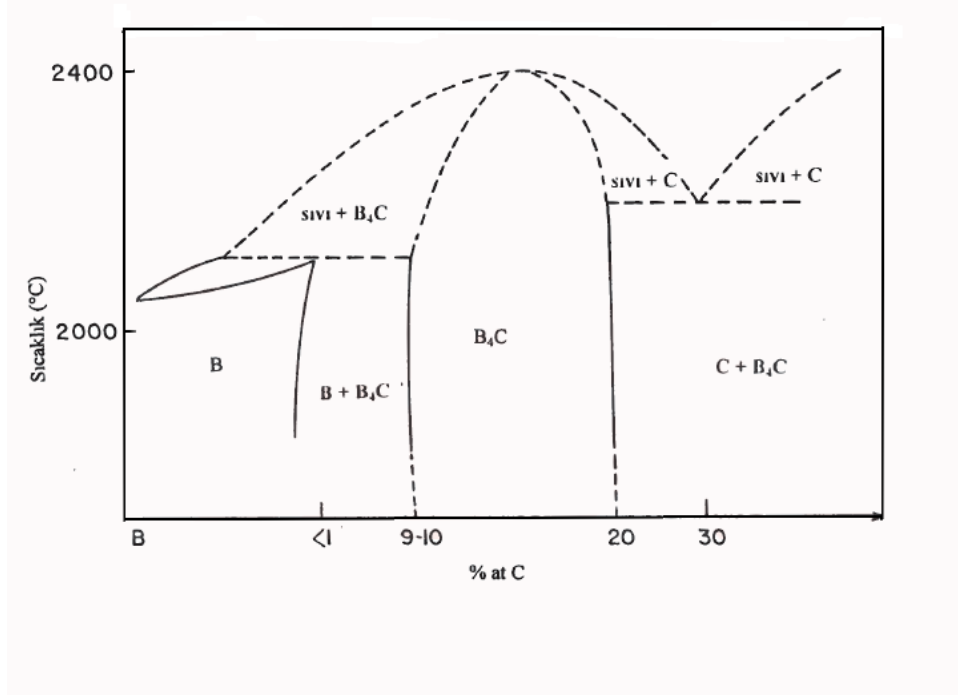
yer değiştirmesi $B_{11}C(CBC)$ yapısını oluşturur. $B_{13}C_2$ ile karşılaştırıldığında, $B_{13}C_2$ ısıl kararlılık açısından daha iyi olup, sistemin tek normal ergiyen fazıdır. Bu fazların oluşum sıcaklığı ile ilgili yapılan alışmalar $B_{11}C(CBC)$ fazının 1800 °C altında oluşmadığını, 2500 °C üzerinde oluşma olasılığını ortaya çıkarmıştır. Yapı içersinde bulunabilecek aşırı borun, HNO_3 ve başka kimyasallarla uzaklaştırılamaması B_4C ile B arasında bir çözünürlük olduğunu ortaya çıkarmıştır [37, 38, 39].

Tablo 3.2: Bor karbürün özellikleri özetlenmiştir [37].

Özellikler	Değerler
Bileşimi	$(B_{11}C)CBC$
Moleküler Ağırlılığı (gr/mol)	55,26
Renk	Siyah (saf kristali transparant ve renksiz)
X-ray Yoğunluğu(gr/cm^3)	2,52
Kaynama Noktası	2400 °C (parçalanmaz)
Spesifik Isı (J/mol.K)	50,88
Oluşum Isısı ($-\Delta H$)(kJ/molK.298 K)	57,8
Termal İletkenlik (W/m.K)	30
Termal Genleşme ($10^6/C$)	4,3
Elektriksel Direnç ($\Omega.cm$)	0,1-10
Seebeck Katsayısı(pV/K)	200-300
Vickers Sertliği (GPa)	27,4-34,3
Elastisite Modülü (GPa)	290-450
Kayma Modülü (GPa)	165-200
Bulk Modülü (GPa)	190-250
Poisson Oranı	0,18
Esneme Dayanımı (MPa)	323-430
Basma Dayanımı (MPa)	2750
Oksitlenme Direnci	Havada 600°C 'ye kadar oksitlenme direnci oluşan B_2O_3 filmi oksitlenmeyi azaltır.
Kimyasal Direnç	Mükemmeldir, sıcaklıkta halojenlerle reaksiyona girer.

3.6.1.8 Bor Karbon Faz Diyagramı

Şekil 3.11’de Bor-Karbon faz diyagramından da görüldüğü gibi karbon miktarının ağırlıkça % 8–20 arasında değiştiği bölge tek fazlı bölgedir. Bor karbür fazından oluşan, % 8,8 — 20,1 aralığındaki borca zengin bor karbür ve karbonca zengin bor karbürde kafes parametrelerinin değişimi Tablo 3.3’de görülebilir [38, 39,40].



Şekil 3.11: Bor-karbon faz diyagramı [37].

Tablo 3.3: Borca zengin bor karbür ve karbonca zengin bor karbür kafes parametrelerinin değişimi [37].

Borca Zengin Bor Karbür		Karbonca Zengin Bor Karbür	
$a_H = 5,561 \text{ \AA}^\circ$	$a_R = 5,607 \text{ \AA}^\circ$	$a_H = 5,607 \text{ \AA}^\circ$	$a_R = 5,1705 \text{ \AA}^\circ$
$C_H = 12,196 \text{ \AA}^\circ$	$\alpha = 65,60 \text{ \AA}^\circ$	$C_H = 12,095 \text{ \AA}^\circ$	$\alpha = 65,683 \text{ \AA}^\circ$
$V_H = 337,29 \text{ \AA}^\circ$	$V_R = 112,43 \text{ \AA}^\circ$	$V_H = 329,30 \text{ \AA}^\circ$	$V_R = 109,77 \text{ \AA}^\circ$

H = Hekzagonal

R = Rombohedral

Rombohedral birim kafesin hacmi karbon miktarının değişimi ile lineer olarak azalır. Farklı yöntemler kullanılarak üretilen bor karbürlerde kafes sabitlerinde

görülen farklılığın nedeni de şöyle ifade edilebilir. Bileşimin tam olarak belirlenmemesi, az miktarda empürite konsantrasyonunun kafes sabitleri üzerinde çok büyük etki gösterebilmesi, iç gerilmelerin kafes sabitlerini etkileme olasılığı gibi nedenlere bağlıdır [37,38, 39].

3.6.1.9 Bor Karbür Kullanım Alanları

Aşınmaya dayanıklı malzeme olarak: Bor karbür, fiziksel özelliklerine bağlı olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bor karbürün sertliği çok yüksek olduğu için aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Bor karbürün diğer bir önemli kullanım alanı, aşınmaya dayanıklı makine parçalarının üretimidir. Örneğin; kumlama ve su-jeti ile kesmede kullanılan nozullar [41].

Zırh yapımında: Bor karbür yüksek sertlik, mukavemet ve düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bor karbür esaslı bir zırh sisteminin geleneksel sistemlere oranla % 20 hafif olması günümüz tank ve helikopterlerinde daha kolay hareket ve manevra yeteneği demektir [42].

Nükleer Reaktörlerde: Bor karbürün en yaygın kullanım alanlarından biriside nükleer enerji santrallerinde radyasyondan korunma amaçlı ve yakıt yükleme çubuğu olarak kullanımıdır. Günümüz nükleer santrallerinin % 95 ' inde kontrol çubuğu olarak Ag - In - Cd alaşımı ve bor karbürden mamul malzemeler kullanılmaktadır. Bor karbürün nötron absorblama yeteneği yapısındaki bor izotopundan kaynaklanmaktadır. Nükleer amaca yönelik olarak kullanılan bor karbürün yüksek miktarda bor içermesi gereklidir. Bu sınırlar içersine düşen bor karbür tozları tane boyutuna göre klasifikasyona sokulur ve -16 + 20 mesh, - 60 +80 mesh ve 200 +325 mesh gruplarına ayrıldıktan sonra her bir gruptan sırasıyla % 40 - % 20 - % 40 oranında karıştırılarak toz yoğunluğu 1,6 gr/cm³ olacak şekilde hazırlanır. Bu karışım kontrol çubuğu üretimine uygun bir boyut dağılımı verir[39].

Refrakter malzeme olarak: Magnezya - karbon refrakterlerinde antioksidan katkısı olarak kullanılmaktadır[43].

3.7 Elmas Soketlerin İmalatı

Elmas soketin imalatında soketin nasıl fiziksel özelliklerde olması gerektiğini belirleyen kriter, ne kadar sertlikteki mermerin hangi hızla kesileceğidir. Belirlenen

bu kritere esas alınarak soketlerin nasıl mekanik özelliklere sahip olması gerektiği (sert soket-yumuşak soket) tespit edilmelidir[26]. Soketin mekanik özelliklerini belirleyecek kriterler şunlardır,

- i. Soketin matrisini oluşturacak malzemeler.
- ii. Kullanılacak malzemelerin oranları.
- iii. Tozların sıkıştırılma basınçları ve sinterlenme ortamları

Elmas soketlerin imalatı üç temel aşamadan meydana gelmektedir;

- a-) Kullanılacak tozların seçimi ve kullanma miktarlarının belirlenmesi.
- b-) Tozların karıştırılması.
- c-) Tozların sıkıştırılması ve sinterleme işlemi.

3.7.1 Kullanılacak Tozların Seçimi ve Kullanım Miktarlarının Belirlenmesi

Malzemelerin ve miktarlarının belirlenmesi imalatın en önemli aşamasıdır. Daha önce de belirtildiği üzere kesilmesi düşünülen mermerin sertliğine ve istenilen kesme hızına göre malzemeler ve kullanılması gereken miktarlar belirlenir. Her ne kadar da kesilecek mermerin sertliği ve kesme hızları belli olsa da, doğada bulunan mermer tam homojen bir yapı göstermediğinden, istenilen mermeri kesecek en uygun soket dahi bazen istenilen kesme performansını gösteremeyebilir.

Yumuşak bir malzeme kesilmek istendiğinde yoğun matris aşınması arzu edilir. Yumuşak bir malzemeyi düşük aşınması olan “sert” bir soketle kesilirse, soket yüzeyindeki elmas taneleri kesici özelliğini kaybettikten sonra (aşınma, kırılma, koparak ayrılma) yeni elmas taneleri yüzeye gelmeyecek veya çok yavaş gelecek ve kesme işlemi kesintiye uğrayacaktır. Ayrıca talaşın uzaklaştırılması için gerekli olan kanallar soket yüzeyinde oluşmayacak ve dolayısıyla abrasif aşınma kuvvetleneceğinden elmaslar daha kolay aşınacak ve takım ömrü kısılacaktır. Çok yumuşak ve çok kolay aşınan bir matris yapıları soket kullanırsak, bu defa da matris yapı içerisindeki elmasların kesme sırasında yerlerinden çıkması söz konusu olacak ve bu durum da kesme işlemini olumsuz etkileyecektir. Sert bir malzemeyi kesmek istediğimiz zaman ise yumuşak malzemeyi kesmek için kullandığımızı nazaran daha sert bir soket kullanılması gerekir. Yumuşak bir soket kullanıldığı takdirde, soket kesilmesi istenen malzeme tarafından fazla aşındırılacak ve dolayısıyla takım ömrü kısa olacaktır. Optimum bir performans açısından elmasın bulunduğu yerde tutmaya yetecek ve aşırı aşınmayı engelleyecek bir rijitlik, talaş kanallarının oluşabilmesi ve

optimum aşınma sağlanarak yüzeydeki kesme işlevini yitiren elmasların yerini dolduracak yeni elmasların yüzey altından çıkmasını sağlayacak yumuşaklık sağlanmalıdır [34].

Yoğun matriks aşınmasının arzu edildiği durumlarda “yumuşak soket”, bronz oranı kütlece %70 e kadar arttırılmakta, düşük matriks aşınması istendiği durumlarda ise “sert soket” bronz miktarı yalnızca gözenekleri kapatacak dolgu evresini oluşturması amacıyla %5 e kadar düşürülebilmektedir. Kobalt tozları “iyi ıslatma özelliği doğrultusunda” elmas bağlayıcı evre olarak bronz katkısına ters oranda kullanılmaktadır. Yumuşak mermerin kesimi için sokette sertleştirici malzeme kullanmaya ihtiyaç yoktur. Bunun nedeni, matriks yapının kesme işlemi sırasında optimum olarak aşınmasının gerekliliğidir [34].

Elmas tozu seçiminde iki kritere dikkat edilmelidir. Bu kriterler elmasın boyutu ve kalitesidir. Kalite noktasında normal sertlikteki mermerin kesimi için yüksek kalitede elmas tozların kullanımı maliyeti gereksiz arttıracaktır çünkü soket nihayetinde aşınan bir yapıdır. Çok düşük kalitede elmas tozunun kullanılması da takım ömrünü azaltacağından mermer için orta kalite elmas tozu uygun olacaktır. Boyut noktasında, elmas tane boyutları ANSI (US mesh), FEPA (uluslar arası), ve mikron tane boyutu olmak üzere üç şekilde ifade edilebilir.

Tablo 3.4: Elmasın tane boyutunun farklı standartlarda gösterimi [26].

ANSI Mesh Standartı	FEPA Standardı	Ortalama Tane Boyutu (μm)	Karat Başına Tane Sayısı
25/30	D/B 711	650	450
30/35	D/B 601	545	750
35/40	D/B 501	460	1250
40/45	D/B 426	385	2150
45/50	D/B 356	325	3600
50/60	D/B 301	275	6000
60/70	D/B 251	230	10000
70/80	D/B 213	195	16900
80/100	D/B 181	165	28200
100/120	D/B 151	140	47500
120/140	D/B 126	115	80000
140/170	D/B 107	97	136000
170/200	D/B 91	81	230000
200/230	D/B 76	68	390000
230/270	D/B 64	58	640000
270/325	D/B 54	49	1100000
325/400	D/B 46	41	1800000

Soket içerisindeki elmas miktarı ise konsantrasyon olarak ifade edilir. Tablo 3.5’ de görüldüğü gibi 0,44 cts/cm³ yoğunluktaki elmas tozları 10 konsantrasyon olarak ifade edilir. Tablo 3.6’ da ise belirli tane boyutundaki elmas tozlarının belirli konsantrasyonlardaki tane sayıları verilmektedir. Sokete koyulacak elmas konsantrasyonunu belirleyen unsur ise yine mermerin sertliğidir. Granit gibi sert taşların kesimi için kullanılacak soketlerde, tane boyu daha küçük ve konsantrasyon miktarı olarak da daha yüksek konsantrasyonlarda elmas tozu kullanılırken, mermeri kesecek olan elmas soketlerde ise tane boyutu daha iri ve konsantrasyon bakımından daha düşük elmas tozu kullanılmaktadır.

Tablo 3.5: Elmas yoğunluğuna karşılık gelen konsantrasyon değerleri [26].

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

Tablo 3.6: Tane boyutu ve konsantrasyona göre elmas tanelerinin sayısı [26].

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

3.7.2 Tozların Karıştırılması

Türleri ve oranları belirlendikten sonra, üretilecek soket sayısına göre miktarı belirlenen malzeme karıştırma işlemine tabi tutulacaktır. Karıştırma işlemi genel olarak derece eğimli toz mikseri tarafından, tozların mümkün olduğu kadar atmosfer ortamından yalıtılmak amacıyla kapalı ortamda yapılmaktadır. Bunun nedeni toz taneciklerinin atmosferdeki oksijenle tepkimeye girerek yüzeylerinde oksit tabakası oluşturmalarıdır. Karıştırılacak tozlardaki oksit oluşumu ise sinterleme sırasındaki oluşacak bağ yapısını etkilemekte ve bazı bağların oluşmasına engel olarak soket yapısının sağlıklı olmasına sebep olmaktadır. Bir başka önemli husus ise tozların homojen olarak karışmasını sağlamaktır. Homojen olarak karışmayan tozlar homojen bir soket yapısı meydana getirmeyecektir[26].

Dolayısıyla kesici soketten istenilen mekanik özellikler verimli bir şekilde alınamayacaktır. Düzgün bir biçimde aşınması beklenen elmas soketin elmas yoğun yerleri daha az, elmas yoğunluğu daha az olan kısımları daha fazla aşınacağından sokette istenmeyen kırılmalar meydana gelecektir. Bu durum da takım ömrünün ve kesim kalitesinin azalmasına sebep olacaktır. Bu nedenle homojen bir karışım oluşturabilmek için tozların en az yarım saat sürekli karıştırılması gerekmektedir. Bazı karıştırıcılar için karışımın içine zincir atılmak suretiyle karıştırma işleminin daha homojen olarak gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır.

Ayrıca karıştırma sırasında yağlayıcı vazifesi görmesi açısından karışımın içine parafin de konulabilmektedir. Bu sayede tozlar birbirlerinin üstünde kaymak suretiyle daha kolay karışacak, bu durum da karıştırma süresinin kısaltılmasına imkan verebilecektir [26].

3.7.3 Tozların Sıkıştırılması ve Sinterleme İşlemi

Tozların sıkıştırılması ve sinterleme işlemi, bir kademede veya ayrı iki işlem olarak gerçekleştirilebilir. Mevcut imkânlar, yani makine ve teçhizat el veriyor ise sinterleme işlemi ile sıkıştırma işleminin bir kademede yapılması zamandan tasarruf sağlayabilmektedir. Tozlar özel bir sinter presi aracılığıyla belirli basınçlarda bir kalıp içerisinde sıkıştırılıp aynı anda da belirli bir ısıl rejim uygulanarak sinterlenebilmektedir [26].

Sıkıştırma ve sinterleme işleminin ayrı yapıldığı durumda, karıştırılmış tozlar bir toz enjeksiyon makinesi yardımı ile daha önceden hazırlanmış bir kalıp içerisinde

ve uygun bir basınç altında sıkıştırılır. Sıkıştırma basıncının fazla yüksek olmamasına dikkat edilmelidir, aksi takdirde karışımın içinde bulunan elmaslar kırılabilmektedir. Sıkıştırılarak kabaca şekil verilmiş toz tabletler daha sonra önceden hazırlanmış iki dereceli grafit kalıplara yerleştirilir ve bir tertibat vasıtası ile belirli bir basınçla sıkıştırılır. Sıkıştırılan grafit kalıp sinterleme makinesine yerleştirilerek sinterleme işlemine hazır hale getirilir.

Sinterleme işlemindeki temel mantık yüksek ısı dayanıma ve elektriksel geçirgenliğe sahip olan grafit kalıbın yüksek akım altında direnç vazifesi görekerek ısınmasıdır. Kalıba gönderilen akım kontrol edilerek grafit kalıp, üst sinterleme sıcaklığına kadar kontrollü olarak ısıtılır. Isının ve basıncın etkisiyle kalıbın içerisindeki tozlar, kimyasal ve mekanik olarak bağlanır ve istenilen mekanik özellikteki elmas soketler üretilmiş olur. Kalıplanarak ve sinterlenerek kullanıma hazır hale getirilen elmas soketlerin çapakları taşlamak suretiyle giderilir ve böylece kullanmak üzere istenilen özellikteki soketler hazırlanmış olmaktadır [26].

Hazırlanan soketler dairesel çelik levhaların etrafına sert lehim ile birleştirilir. Dairesel çelik gövdenin etrafındaki aşınmış veya kullanılmayacak hale gelen soketler sökülerek yerlerine yeni soketler kaynatılmak suretiyle eski testereler yenilenebilmektedir. Çapları büyük olan testerelerin gövde maliyetleri yüksek olduğundan, testerenin olduğu gibi değiştirilmesi yerine yalnızca soketlerinin değiştirilmesi, daha ekonomik ve pratik olmaktadır [26].

3.7.4 Sinterleme Aşamaları

Sinterlemede 4 aşama söz konusudur. Bunlar;

* 1. Aşama: Gaz atım evresi olarak adlandırılır. Bu evrede grafit kalıp içerisindeki toz halinde bulunan soket ön ısıtmaya tabi tutulur. Ön ısıtmada, tozların karıştırılması esnasında ilave edilen kayganlaştırıcı veya benzer maddelerin buharlaştırılarak uzaklaştırılması sağlanır. Partiküller arası temas "boyun" olarak adlandırılan sinter köprülerine dönüşür. Toz partikülleri birbirinden bağımsız ve müstakildirler. İki partikül arasındaki temas düzlemlerinde tane sınırı oluşumu başlar. Partiküllerin merkezleri çok küçük bir miktar birbirlerine yaklaşır. (Hacimsel daralma sınırlıdır.) [43].

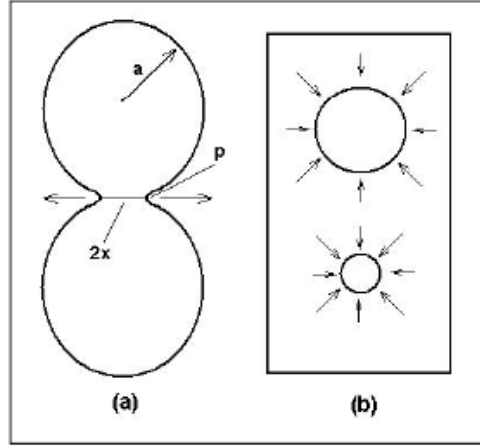
* 2. Aşama tırmanma evresi olarak adlandırılır. Güçlü boyun oluşumuna müteakip bu ara aşamada şayet x:a oranı belli bir değerin üzerine çıkacak olur ise müstakil tane şekli tanınabilirliğini kaybeder. Düzenli bir boşluk ağı oluşumu gözlenir ve yeni mikro yapı oluşumuna izin veren tane büyümesi meydana gelir. Gözenekler parça yüzeyine kadar birbiri ile bağlantılıdır. Boyutsal küçülmenin en fazla görüldüğü aşama bu ara aşamadır. Yabancı maddelerin buharlaştırılması sonucu içerisinde hacim boşlukları olan soket tekrar basınca maruz bırakılarak boşlukların kapanması hedeflenir [43].

* 3. Aşama maksimum tırmanma evresi olarak adlandırılır. Kapalı gözenek oranı hızla azalır. Birbirinden izole edilen gözenekler küresel şekil kazanmaya başlar. Şayet gözenekler içerisinde hapsolmuş ve dışarıya çıkması (difüz olması) mümkün olmayan gaz varsa ve gözenekteki gazın basıncı ile yüzey geriniminden doğan basınç denge halini aldığı anda sinterlenmiş yapıda teorik yoğunluğa çıkmak mümkün olamaz. Şayet vakumla sinterleme yönteminde olduğu üzere gözeneklerde gaz yok ise veya gözenekteki gaz ana yapıdan kolayca difüz olup sistemden uzaklaşabiliyorsa yoğunluk artışı devam eder ve %100 teorik yoğunluğa ulaşıla bilinir. Bu evrede soket maksimum sinterleme sıcaklığına ulaşır ve ısının etkisiyle soket içerisindeki kimyasal ve fiziksel bağlar tam anlamıyla oluşur.

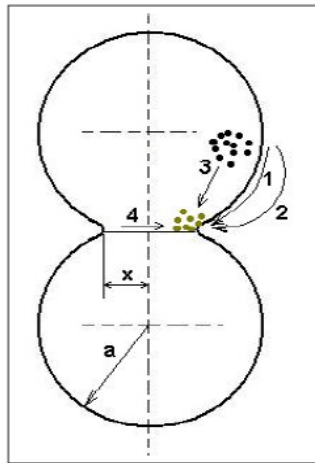
Yüksek yoğunluk ve dayanım gerektiren çelikler, manyetik malzemeler, sementit karbürler gibi toz metalurjisi ürünlerinde çoğu kez 3. aşamaya çıkılabiliyor veya en azından ara aşamanın (2. Aşama) sonuna ulaşıla bilinir. Daha çok kaba toz boyutunda ve küresel şekilli tozlardan mamul yüksek gözenekli yapıda, gaz veya sıvı geçirgenlik özellikleri aranan filtre türü toz metalurjisi ürünlerinde sadece 1. aşama yeterli sinterleme prosesini oluşturur. Çok ince toz boyuttaki tozlarla yapılan sinterlemede sinterleme proseslerini (özellikle 1. aşamayı) tanımlamak oldukça zordur. Boyutsal küçülme ve tane büyümesi düşük sıcaklıklarda başlar ve sinterleme sıcaklık artışı ile birlikte gerçekleşir [43,44].

* 4. Aşama soğuma evresi olarak adlandırılır. Artık grafit kalıbın şeklini alarak sinterlenmiş olan soket soğumaya bırakılır ve sıcaklığı maksimum sıcaklıktan 100–150 dereceye gelinceye kadar kontrollü olarak soğutulur. Bu evrede dikkat edilmesi gereken husus soketin ani soğumasını engellemektir. (Ani soğuma şartlarında soket, ani soğumanın verdiği içyapı kusurları nedeni ile fazla sertleşecek,

dolayısıyla istenenden fazla gevrek olacak ve istenen aşınma özelliğininde kaybedecektir) . sinterleme işlemi 2 farklı grup socket için aynı şekilde tekrar edilmiş ve bu şekilde istenilen içerikteki elmas socketlerin üretimi tamamlanmıştır [26].

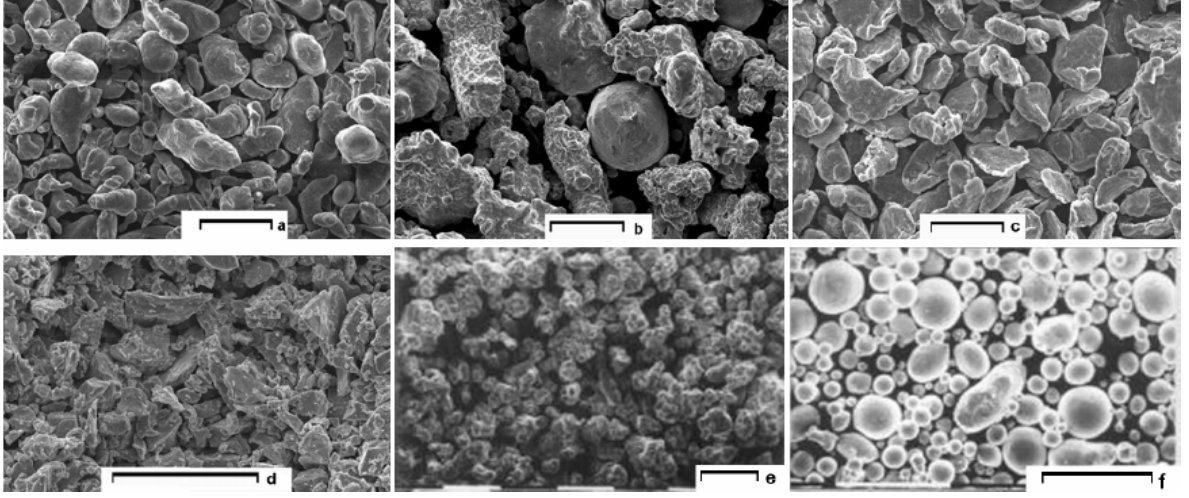


Şekil 3.12: Laplace gerilmesi (a) boyun bölgesinde (a=partikül yarıçapı, x=sinterleme boyun yarıçapı, p=boyun dış kavis yarı çapı) ve (b)gözenekler çevresinde [44].



Şekil 3.13: Boyun bölgesinde muhtemel sinter mekanizmaları [45].

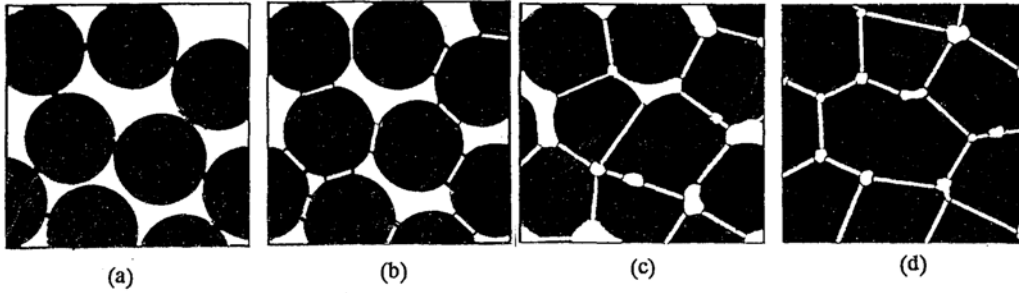
- 1: Yüzey difüzyonu
- 2: Buharlaştırma ve yoğunlaşma
- 3: Kütle difüzyonu
- 4: Tane sınır difüzyonu



Şekil 3.14: Sinterlenmeden önce Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiş değişik tozların yüzey genel görüntüleri. a) alüminyum, b) bakır (sıvı atomizasyonu), c) magnezyum, d) titanyum, e) demir, f) bakır (gaz atomizasyonu). Ölçü çizgileri 100 µm`u göstermektedir [44].



Şekil 3.15: Tozların sinterlemesi sırasında boyun oluşumunun ilk safhalarına ait şematik bir resim [46].



Şekil 3.16: Sinterlenme Sırasında Mikroyapıda Görülen Gelişmeler.

- a. Taneler arası bağ oluşumu,
- b. Taneler arası boyun gelişmesi (başlangıç aşaması),
- c. Tane sınırlarının oluşması (Ara aşama),
- d. Porların miktarca azalarak tane sınırlarında yer alması (Son aşama) [46].

4. AŞINMA

Teknikte aşınma, katı cisimlerin yüzeylerinden çeşitli etkenlerle sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkması anlaşılmaktadır. Alman DIN normuna göre (DIN 50320 1979) aşınma, “Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyinden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulmasıdır” [47].

Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleşebilir Bunlar bölgesel erimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel anlamda oluşan ayrılmalıdır. Uygulamada aşınma kapsamına, daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dahil edilmektedir.

Bir aşınma sisteminde aşınmanın temel unsurları şunlardır [47];

- 1.Ana malzeme (Aşınan),
- 2.Karşı malzeme (Aşındıran),
- 3.Ara malzeme,
- 4.Yük,
5. Hareket,

Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte “Tribolojik Sistem” olarak adlandırılır. Bir aşınma sisteminde ki önemli etkenlerden biri de *çevre* şartlarıdır. Sistem elemanlarının nem ve korozyon etkenlere maruz kalması aşınmayı hızlandırır [47]. Şekil 4.1’ de tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.1: Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi [26,48].

Aşınma, çeşitli yönleri ile korozyona benzer. Bu iki hasar tipi de zamanla kendiliğinden gelişir, her ikisinin de oluşumu önceden bir derecede bilinebilir, her ikisinin de çeşitli tipleri vardır. Aşınma da korozyon gibi bir yüzey olayı olduğundan, yüzeyi etkileyen her şey aşınma davranışını da etkiler.

Orta şiddetteki aşınmadan şiddetli aşınmaya doğru aşınma özelliklerindeki değişim çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler; sıcaklık, uygulanan yük, kayma hızı ve kayma veya aşınma mesafesi olarak sayılabilir [27]. Metallere ilave edilen seramik fazların yüksek mukavemet ve sertliklerinden dolayı başta aşınma olmak üzere metallerin mekanik ve fiziksel özelliklerini azımsanmayacak ölçülerde arttırdığı bilinmektedir [28]. Aşınma zorlamasının yüksek mertebeden olduğu ve/veya yağlamanın yeterli veya mümkün olmadığı durumlarda genellikle aşınma mukavemeti yüksek ve sürtünme katsayısı düşük malzemeler seçilmesi yoluna gidilir. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan malzeme gruplarından biride metal-seramik kompozitlerdir [29,50].

Aşınma veya aşınma direnci, kayma yolu, kuvvet veya basınçla meydana gelen kütleli veya hacimsel kayıp olarak esas alınır. Aşınmayı karakterize eden test değişkenleri olarak kuvvet veya basınç, yüzey pürüzlülüğü veya sürtünme katsayısı, sıcaklık, kayma hızı, aşınma ortamı (kum, yağlı, nemli, korozif, abrasiv) ve temas şekli sayılabilir [30].

4.1 Aşınma Mekanizmaları ve Aşınmayı Etkileyen Faktörler

4.1.2 Aşınma Mekanizmaları

Bazı mekanik etkiler sonucunda yüzeyde meydana gelen malzeme kaybına aşınma denir. Aşınma tribolojik sistemin elemanları arasında karşılıklı zorlanmalar neticesinde meydana gelir [51]. Aşınmaya maruz kalan makine parçalarının ömürlerinin kısa olması; üretilen malın maliyetini artırdığı gibi bundan dolayı geçen süre ve harcama maliyetlerini de önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu etkiye maruz kalan makine parçalarının aşınmaya dirençli malzemelerden, doğru tespit yapılarak seçilmesi gerekir. Kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması sonucunda çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyi farklı aşınma çeşitlerinden birine maruz kalır [52]. Aşınma çeşitleri;

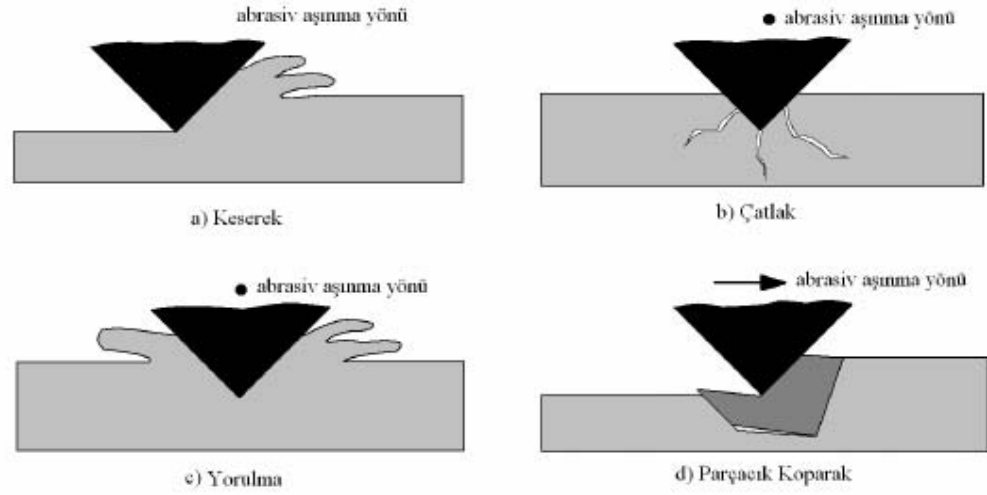
- a- Abrasiv aşınma,
- b- Adhesiv aşınma,
- c- Erozyon aşınması,
- d- Kaviteleşme aşınması,
- e- Korozyon aşınması,
- f- Oksidasyon aşınması,
- g- Yorulma aşınması.

4.1.3 Abrasiv Aşınması

Katı bir yüzeyden tersi yönde kuvvetlerle sert parçacıkların ve sert çıkıntıların taşınması sonucu oluşan aşınmadır. Daha genel bir ifadeyle abrasiv aşınma; katı bir objeye eşit ya da daha sert taneli bir malzeme aksi yönde yüklenildiği zaman oluşan aşınmadır. Bu aşınmaya genel bir örnek olarak küreğin aşınması verilebilir. Abrasiv aşınmanın kontrolü ve önlenmesinde temel zorluk abrasiv aşınma terimi, abrasiv aşınma mekanizmasını tam olarak tanımlayamamasındandır. Gerçekte ahenkli bir aşınma hareketi farklı birkaç mekanizmanın biriyle gerçekleşir. Tüm bu mekanizmalar farklı karakteristiklere sahiptir. Abrasiv aşınma mekanizması onları kontrol eden çeşitli yöntemleri gözden geçirerek tanımlanır.

Abrasiv aşınma mekanizması, sert tanelerin oluşturduğu aşınmayı bir eğenin malzeme yüzeyini aşındırması gibi tanımlar. Mikroskobik deneyler, kesme

yöntemini sadece keskin taneler yaklaşımıyla açıklansa da birçok indirek mekanizmalar aşınmada etkindir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi abrasiv aşınma mekanizmaları parçacık veya taneler mikroskobik kesme, mikroskopik kırılma, tanelerin bireysel olarak ayrılıp malzemeden taşınımı veya deformasyonun tekrarlanması ile yorulmanın ivme kazanması şeklinde olur.

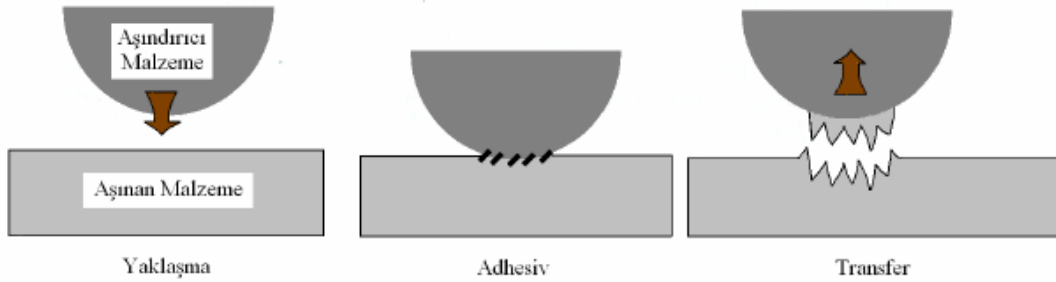


Şekil 4.2: Abrasiv aşınma mekanizmaları [53].

Şekil 4.2 (a)’ da gösterilen ilk mekanizmada kesme; klasik metotlarla tanımlanan sert ve keskin tanelerin yumuşak bir yüzeyi kesmesi şeklindedir. Burada malzeme aşınma derinliği kadar aşınır, aşındıran taneciklerin sıvanması ve deformasyonu önemlidir. Aşınan malzeme seramiklerde olduğu gibi sert ise şekil 4.2 (b)’de görüldüğü gibi gerçekleştirilirse aşınma yüzeyinde çatlaklar oluşur. Sünek bir malzeme, körleşmiş tanelerle aşındırıldığı zaman kesmenin aksine aşınma yüzeyi Şekil 4.2 (c) de olduğu gibi tekrarlanarak deformasyona uğrar. Bu durumda aşınma derinliği metal çatlamaıyla meydana gelen derinliktir. Şekil 4.2 (d) ’de gösterilen son mekanizma tanelerin yerinden sökülmesi ya da tanelerin kopması şeklindedir. Bu mekanizma temel olarak seramiklerde görülür. İşlem diğerlerine göre zayıf olan tanelerin sınırlarından kopar, bu mekanizmada aşınma derinliği kopan tanenin büyüklüğü kadardır.

4.1.4 Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma yüksek aşınma oranı ve yüksek dengesiz sürtünme katsayısından dolayı aşınma karakteristiğinin çok önemli bir biçimidir. Kayma noktaları adhesiv aşınmayla hızla bozulabilir ve bunun sonucunda kayma hareketi çok büyük sürtünme katsayısından dolayı önlenir ve tutulur. Metal malzemeler özellikle adhesiv aşınmaya meyillidir, bundan dolayı pratikte önem arz eder. Çoğu yağlayıcılar adhesiv aşınmada kayan metallerin temas noktalarında başarısızdır. Şayet kayan yüzeylerde adhesiv ayrılma olmasa da sonraki aşınmada daima kaçınılmazdır. Yapışma mekanizması olarak da adlandırılan adhesive aşınma, en sık rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle hasarları hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhesiv aşınma bir metal yüzeyinin bir başka metal yüzeyindeki bağlı hareketi sırasında birbirlerine kaynamış veya yapışmış yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkar. Adhesiv aşınma özellikle metaller arasındaki kayma sürtünmesi nedeniyle meydana gelir ve aşınma parçacıkları yumuşak bir metalden kopar [51]. Eğer iki metal aynı sertlikte ise aşınma her iki yüzeyde de meydana gelir. Metaller arasındaki sürtünmenin mükemmel olması, yüzeye etki eden yükün azaltılması ve malzemenin sertliğinin artırılması adhesiv aşınmayı azaltır. Sonuç olarak adhesiv aşınma; yüzeye etkileyen normal kuvvet, kayma yolu ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır. Aşağıdaki şekilde metal taşınımı şematik olarak gösterilmektedir.



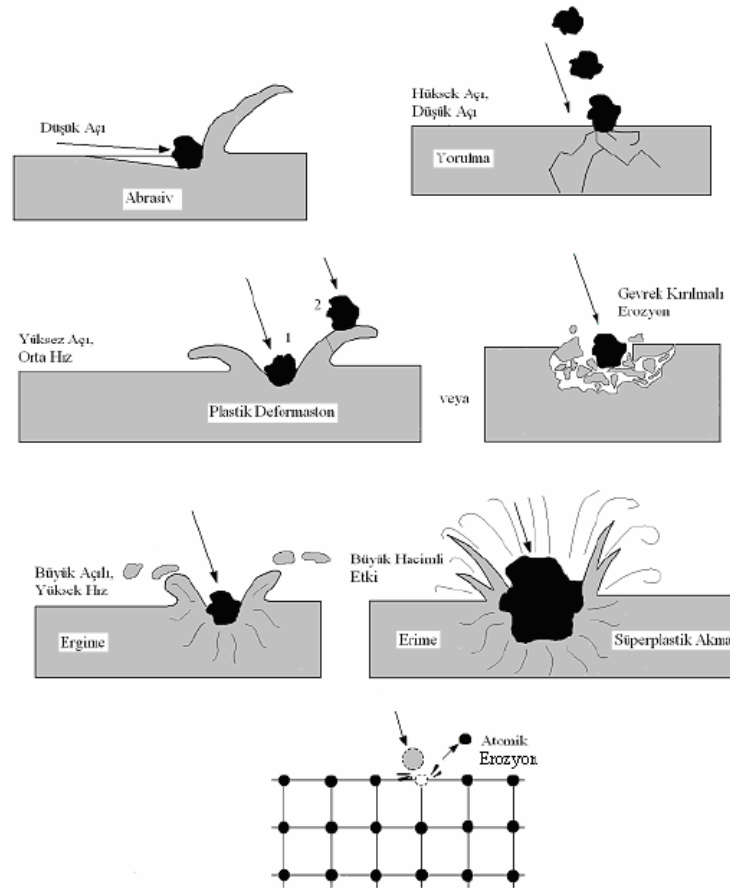
Şekil 4.3 Adhezyondan dolayı malzeme taşınımı [53].

4.1.5 Erozyon Aşınması

Bir objenin yüzeyine katı ve sıvı parçacıkların çarpmasıyla oluşan aşınmaya erozyon aşınması denir. Erozyon aşınması makine parçalarında birçok şekillerde meydana

gelebilir ve bir uçağın bir buluttan geçerken gaz türbün kanatlarının zarara uğraması buna tipik bir örnek olarak gösterilebilir. Diğer aşınma formlarının genelinde mekaniksel kuvvetler aşınma dayanımını garanti etmez. Aşınan parçanın özellikleri aşınmanın bu tipini kontrol etmek için önemlidir ve böylelikle ilişkili parametreler gittikçe tanımlanmış olur [53].

Korozyon aşınmasının oluşabilmesi için; malzeme parçacığı, etkileme açısı, çarpma hızı ve parçacık büyüklüğü gibi birkaç aşınma mekanizması gerekmektedir. Parçacık sert ve katı ise, abrasiv aşınmaya benzer bir yöntemle oluşması olasıdır. Sıvı parçacıklı bir aşındırıcı ise abrasiv söz konusu değildir ve aşınma mekanizması çarpma ile tekrarlanan gerilmeler sonucunda oluşur. Mekanik bileşiğe karşından birbirleriyle ilişkili küçük parçacıklar çarptığında oluşturduğu bilinmeyen sayıdaki aşınma mekanizmasını tanımlayan terime, erozyon aşınması denir. Erozyon aşınmasının bilinen mekanizması aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir.

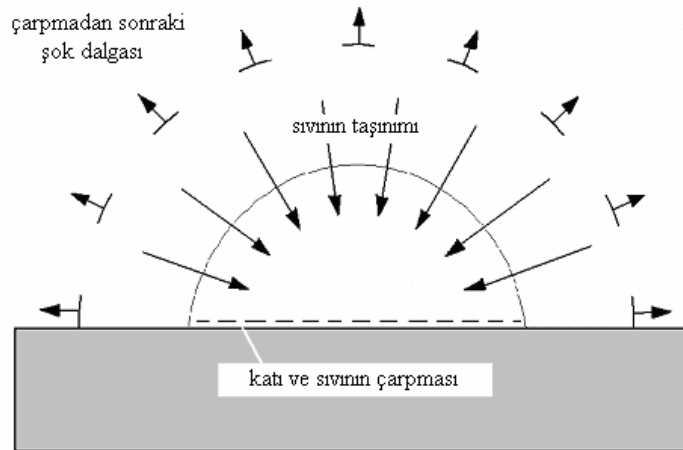


Şekil 4.4 Erozyon aşınma mekanizmaları [53].

Çarpma açısı şekil 4.4 (a) 'da gösterildiği gibi çarpmadan hemen öncesi yüzey ve parçacığın yörüngesi arasındaki açıdır. Düşük açılı çarpımlar abrasive benzer aşınma yöntemiyle tanımlanır. Büyük açılı bir çarpa açısı tipik bir erozyon aşınma mekanizmasına neden olur. Aşındırıcı parçacığın hızı aşınma yönteminde çok güçlü etkiye sahiptir. Şayet hız plastik deformasyon oluşturmayacak kadar çok yavaş ise, aşınma yüzeyi yorulmasıyla devam eder. Çoğu mühendislik malzemeleri isin geçerli olan bir hız olan 20 m/s ve üzerindeki hızlarda, çarpan parçacıkla aşınan malzeme, tekrarlanan plastik deformasyon etkisiyle aşınmaya uğrar. Şayet aşınan parça düzleşmiş veya küreselleşmiş ise, plastik deformasyon sonucu aşınan yüzeyin formu aşınan malzemede çok ince bir tabaka şeklinde olur. Parçacık keskin ise, büyük bir ihtimalle gevrek ve kırılındır. Diğer bir ifade ile gevrek malzeme alt tabakayı çatlatarak aşınır. Bir diğer mekanizma ise çok yüksek hızlarda parçacığın yüzeye çarparak eritmesi şeklinde gerçekleşir. Atomik erozyona örnek olarak uyduya hidrojen ve oksijen atomlarının çarpması ile erozyonun ortaya çıkması verilebilir.

4.1.6 Kaviteasyon Aşınması

Kaviteasyon aşınması buhar ortamlarında çalışan türbün kanat ve türbün ekipmanlarının zarara uğraması olarak bilinir. Aşınma kaviteasyona maruz kalan yüzeyde belli bir düzende delik ve çukurların şekillenmesiyle ilerler.



Şekil 4.5 Kaviteasyon aşınma mekanizmasında kabarcık çökme mekanizması [53].

Kavitasyonun karakteristik özelliği bir akışkan ile temasda olan katı bir yüzeyin üzerinde kabarcıkların çökmesi ve çevrimsel olarak şekillenmesidir. Kabarcığın şekillenmesine sıfıra yakın veya negatif bir basınç çökmesini önleyen yerdeki sıvıdan ayrılan gazın serbest kalması neden olur. Negatif basınç örneğin akışkan sıvının küçük çaptaki borudan geniş çaptaki bir boruya geçtiği zaman oluşması gibidir. Sıvının keskin köseli objelerin yüzeyinden hızla akması, kavitasyon aşınmasını doğurur örneğin keskin köseli pervaneler özellikle kavitasyona eğilimlidir. Kavitasyonu önlemedeki ideal yol yüzeyde oluşan negatif basıncı önlemektir fakat bu pratikte mümkün değildir. Yüzeyde kabarcık çöktüğü zaman kabarcığa bitişik sıvı ilk etapta ivme kazanır ve daha sonra yüzeye çarpması ile azalır. Katı ve sıvı arasındaki bu çarpışma katıya zarar verebilecek büyük gerilmelere yol açabilir, basınç kısa sürede 1,5 GPa'a kadar yükselebilir.

4.1.7 Korozyon Aşınması

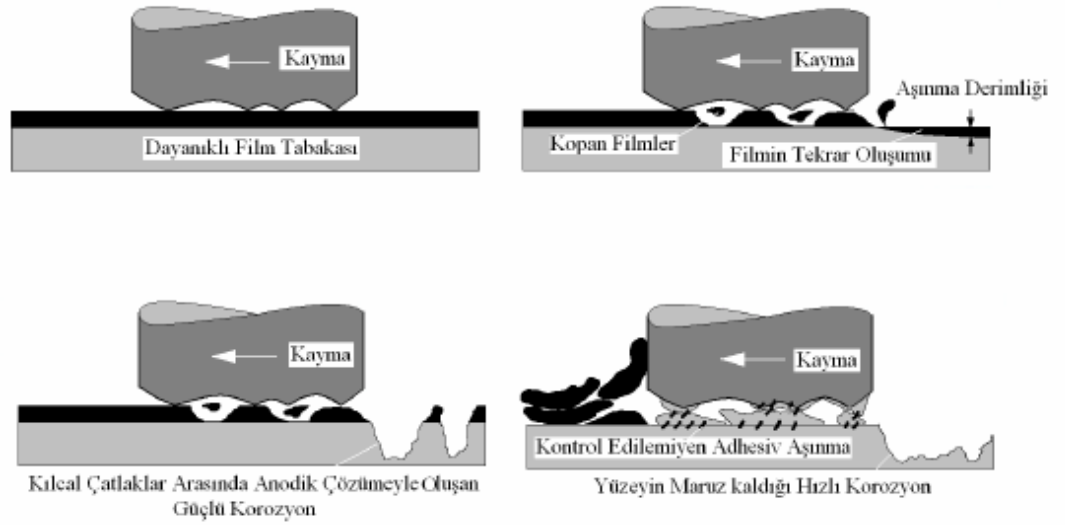
Korozyon aşınması hem yağlı hem de yağsız olarak birçok durumda oluşur. Aşınmanın bu aşınma türünün temel nedeni aşınan malzeme ve korozif bir ortam arasında kimyasal bir reaksiyondur. Hızlı aşınma oranı sürtünme katsayısının düşük olmasına neden olur. Sürtünme ve aşınma arasındaki bu farklılık aşınma yöntemini belirleyen önemli bir faktördür Adhesiv aşınmayı önlemede kullanılan yüzeydeki kimyasal reaksiyon kontrol edilemezse altlık malzemede önemli kayıplara yol açar. Bir malzeme yüzeyindeki film tabakasının oluşturduğu korozyon aşağıda belirtilen yöntemlerin biriyle gerçekleşir.

- Korozyonu ve aşınmayı önleyecek güçlü bir yağlayıcı film tabakası şekillenebilir,

- Kayma temaslarının altında kısa ömürlü zayıf film tabakası oluşabilir ve hızlı bir aşınma oranı düzenli bir şekillenmeden dolayı oluşur ve film katını parçalar.

- Koruyucu yüzey filmi, yüzeydeki aşınan alanın hızlı bir şekilde korozyona uğraması sonucunda kalan film tabakası ve alt malzeme arasında galvanik bir bağlanmaya ve çukurlardan dolayı aşınma yol açabilir [53].

- Korozyon ve aşınma yöntemleri temelde bir araya geldiklerinde malzeme kaybına neden olan bağımsız, malzeme hasarlarına yol açan özelliklerdir. Korozyon aşınmasının modelleri Şekil 4.6'da gösterildiği gibidir;



Şekil 4.6 Korozyon oluşturmalar ve aşınan yüzeyler arasındaki etkileşim modelleri [53].

4.1.8 Oksidasyon Aşınması

Oksidasyon aşınması hava ve oksijen bulunduran bir ortamda kuru yağsız metallerin aşınması olarak tarif edilir. Atmosferdeki oksijen kuru olarak kayan bir metalin aşınma oranını ve sürtünme katsayısını değiştirir. Yöntemde birkaç farklı mekanik gereksinimler vardır.

Oksitlenme aşınması farklı yükler ve aşınma oranları altında gerçekleşen çeliklerdeki kuru kaymalı aşınma, genelde aşınma derinliğindeki kimyasal bileşiği değiştirdiği zaman gerçekleşir.

Burada yük ve kayma hızı, sürtünen temas noktalarındaki sıcaklığı birkaç yüz derece artırırsa gerçekleşir. Daha sonraki oluşumlar kalın film tabakaların yumuşak aşınmanın oluşturduğu yüzey aşınma şekilleridir. Kalın film tabakası yok ve malzeme kırılgan ise adhesiv aşınma formu olan aşınma oluşur. Oksit ile etkili ve yumuşak aşınmada ortalama sürtünme katsayısı 0,3–0,6 arasında bulunur. Sert aşınmada daha yüksek bir iniş çıkış gözlenir. Oksitlenme aşınmasının karakteristik özelliklerine bakıldığında, bunlarda pürüzsüz bir aşınma yüzeyi ve küçük oksitlere sahip bir aşınma izi bulunur. Oksidasyon aşınma durumları kalın oksit filminin şekillenmesi ve yüksek üretim sıcaklıklarında oluşan hızlı oksitlenme durumlarında

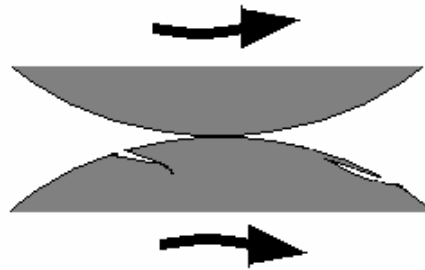
meydana gelir. Sıcak haddeleme ve çeliklerin tel haline getirilmesi gibi bazı metal şekillendirme işlemleri buna birer örnek olarak verilebilir. Oksitlenme aşınmasına daha genel bir örnek verilecek olunursa tren tekerleklerinin dökme demir bir fren balatasıyla fren yaptığında oluşan aşınmadır. Yüksek sıcaklıklar yüzeysel oluşabilir veya yüksek hız ve yüklerde yüksek sürtünme ısısı şeklinde ortaya çıkabilir.

4.1.9 Yorulma Aşınması

Yorulma aşınması değişken, tekrarlı yükler sonucu ortaya çıkar. Tribolojik zorlanmalar genel olarak yüzeyde görülür. Büyüklüğü zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur ve bu da yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur.

Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelir. Bu boşlukların zamanla yüzeye doğru ilerleyerek büyümesi yüzeyde küçük çukurların ortaya çıkmasına neden olur. Yorulma aşınma mekanizmasının şematik görüntüsü Şekil 4.7’de verilmiştir.

Bu tür aşınma genellikle rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde görülür.



Şekil 4.7 :Yorulma aşınma mekanizmasının şematik görüntüsü [54].

4.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen faktörler, farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmiştir [31].

1- Ana malzemeye bağlı faktörler:

- a. Malzemenin kristal yapısı,
- b. Malzemenin sertliği,
- c. Elastisite (Young) modülü,
- d. Deformasyon davranışı,
- e. Yüzey pürüzlüğü,
- f. Malzemenin boyutu.

2- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi.

3- Ortamın etkisi:

- a. Sıcaklık,
- b. Nem,
- c. Atmosfer.

4- Servis koşulları:

- a. Basınç,
- b. Hız,
- c. Kayma yolu.

5. DENEYSEL YÖNTEM

5.1 Soket Malzemelerinin Belirlenmesi

Bu çalışma için, içerikleri birbirinden 6 farklı çeşit elmas soketten 24 ve 12'şer adet üretilmiştir. Soket matriksindeki değişken sayısını azaltmak amacı ile bronz oranı bor karbür (B_4C) ve elmas tozu konsantrasyonu sabit tutulmuş, yalnızca üretilen soket matriksleri içerisindeki kobalt ve demir oranları birbirleriyle ters oranda kullanılmak suretiyle % 15 - % 75 oranları arasında değiştirilmiştir. Elmas soketlerden 1. grup bor karbür (B_4C) katkısız 2. grup soketler bor karbür (B_4C) katkılı olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 4 farklı sıcaklıkta (700-800-900-1000 °C) sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. 700°C' de üretilen elmas soketler yetersiz sinterleme sıcaklığı ve düşük mekanik özellikler nedeniyle deneysel çalışmaya tabi tutulmamıştır. Elmas soketlerin imalatında kullanılan tozlardan karbonil demir tozu Baymet Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den, Kobalt tozu Umicore, bronz tozu Pometon ve bor karbür (B_4C) Hermann C. Stärck firmasından, alını. Elmas tozları (LS4750+) Belçika menşeli Lands firmasından temin edilmiştir. Elmas soketlerin imalatında kullanılan tozların miktarları ve tozların ortalama tane boyutları Tablo 5.1' ve Tablo 5.2' de verilmiştir.

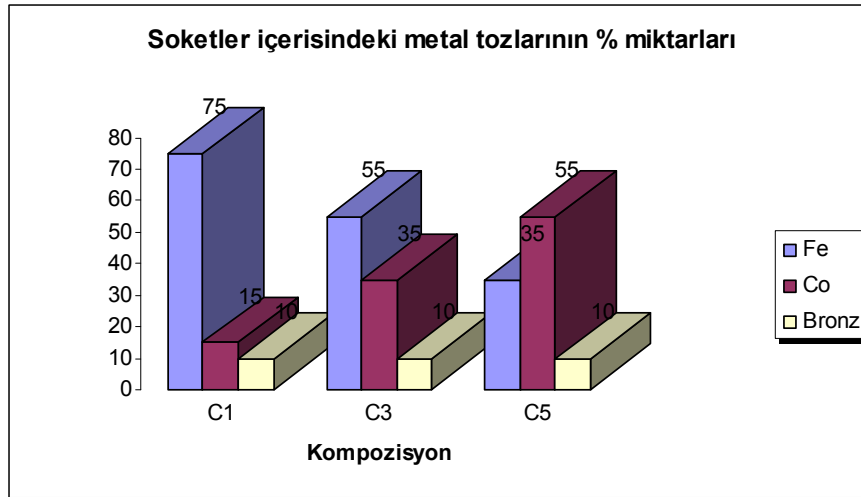
Tablo 5.1 : Soket imalatında kullanılan tozların boyutları.

Kullanılan toz	Toz boyutları
Karbonil demir tozu	< 75 μm
Kobalt tozu	37 μm
Bronz tozu	85 /15 mesh
Bor karbür tozu (geometrik şekli tetrahedral)	<10 μm
Elmas tozu (geometrik şekli kubooktahedral)	354 μm

Tablo 5.2: Soket imalatında kullanılan tozların miktarları.

Soket grup no: 1	Fe (Ağ. %)	Co (Ağ. %)	Bronze (Ağ. %)	Elmas tozu (Konsantrasyonu)	B ₄ C (gr)
C ₁	75	15	10	20	-
C ₃	55	35	10	20	-
C ₅	35	55	10	20	-
Soket grup no: 2					
C ₁	75	15	10	20	0,15
C ₃	55	35	10	20	0,15
C ₅	35	55	10	20	0,15

Tablo 5.3: Soket üretiminde kullanılan metal tozu % miktarlarının şematik gösterimi.



Elmas soketlerin içeriğindeki demir-kobalt oran değişiminin ve B₄C ilavesinin soketin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek amacı ile değişik içerikteki numuneler üzerinde mikro sertlik makro sertlik ve aşınma deneyleri uygulanmıştır.

5.2 Elmas Soketlerin Üretimi

Dairesel elmas testerelede çelik levhanın kalınlığı, levhanın çapına göre tayin edilmekte ve levhanın ucundaki soket sayısı da çapa bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada 10 x 24 x 10 (mm) boyutları soket üretimi için baz alınmıştır. Soketlerdeki çeşitliliği belirleyecek olan içerecekleri Fe-Co ve eklenen B₄C oranı olacaktır. Kullanılan demir-kobalt-bor karbür oranları Tablo 5.3 'de belirtilmiştir.

5.2.1 Elmas Soketlerin Üretiminde Kullanılacak Tozların Miktar Hesapları

Üretilecek olan soket çeşitleri için elmas miktarları sabit tutulmuştur. 2 numaralı soket grubu içinde de kullanılacak olan sertleştirici toz B₄C miktarı sabittir. Her bir soket içerisine yalnız 0,15 gr B₄C kullanılmıştır. Çünkü sertleştirici malzemenin fazla kullanılması durumunda soket fazla gevrek olacak ve kesme işlemi sırasındaki dinamik yükler nedeni ile soketin kırılma olasılığı yüksek olacaktır. Soket içerisinde 40/50 mesh tane boyutunda LS4750 endüstriyel elmas tozu her bir sokette 20 konsantrasyon olacak şekilde kullanılacaktır [26,55]. Kullanılacak olan elmas tozu kütlece hesaba katılmamaktadır. Bunun nedeni, tozların sıkışma esnasındaki sıkışma payıdır. Elmas tozlarının ilavesiyle olması gerekenden % 0,1 civarında fazla olacak hacim tozların sıkıştırılmasıyla beraber olması gereken değere küçülecektir.

Soketlerin üretimi için kullanılacak toz miktarları şu şekildedir.

Soket grup no: 1 için;

Çalışmada 10x24x10 (mm) boyutlarında soket üretimi için ;

Fe ' in yoğunluğu = Yoğunluk, 7,86 g/cm³.

Co 'ın yoğunluğu = Yoğunluk, 8,90 g/cm³

Bronze 'un yoğunluğu = Yoğunluk, 8,66 g/cm³

Bor karbürün yoğunluğu = Yoğunluğu 2,51 g/cm³

C₁ kompozisyonu için;

Teorik yoğunluk = 0,75 x 7,86 + 0,15 x 8,90 + 0,1 x 8,66 = 8,1 gr / cm³

Soket hacmi = 1 x 2,4 x 1 = 2,4 cm³

M = d x V formülünden = 2,4 x 8,1 = 19,44 gr bir soket içine koyulacak toz miktarı bulunur.

1 soket içerisine koyulacak toz miktarı ≈ 20 gr alınmıştır ve hesaplamalar sırasında küçük ihmal edilebilir değerler çift sayılara yuvarlanmıştır.

24 adet soket üretilecektir, 4 farklı sıcaklık için sinterleme işlemine tabi tutulacaktır.

$$24 \times 4 = 96 \text{ adet soket}$$

$$96 \times 20 = 1920 \text{ g.}$$

20 konsantrasyon elmas tozunun uygun olduğuna karar verildi.

$$\begin{array}{r} 1000' \text{ de} \qquad \qquad 20 \text{ ise} \\ 1880' \text{ de} \qquad \qquad \qquad x \\ \hline \end{array}$$

$X = 37,6$ g elmas tozu olarak bulunur.

$$LS4750 + 40/50 = 37,6 \text{ g.}$$

Elmas tozu olmadan mevcut ağırlık 1880 g. olarak belirlendi elmas tozuyla beraber toplam ağırlık 1920 g.

$$1920 - 37,6 = 1882,4 \approx 1880 \text{ g.}$$

$$\% 75 \text{ Fe} = 1410 \text{ g.}$$

$$\% 15 \text{ Co} = 282 \text{ g.}$$

$$\% 10 \text{ Bronze} = 188 \text{ g.}$$

C₃ kompozisyonu için;

$$\text{Teorik yoğunluk} = 0,45 \times 7,86 + 0,45 \times 8,90 + 0,1 \times 8,66 = 8,4 \text{ gr / cm}^3$$

$$\text{Soket hacmi} = 1 \times 2,4 \times 1 = 2,4 \text{ cm}^3$$

$$M = d \times V = 2,4 \times 8,4 = 20,17 \text{ gr bir soket içine koyulacak toz miktarı bulunur.}$$

1 soket içerisine koyulacak toz miktarı ≈ 20 gr alınmıştır.

C₃ = 12 adet soket üretilecektir, 4 farklı sıcaklık için sinterleme işlemine tabi tutulacaktır.

$$C_3 = 12 \times 4 = 48 \quad 48 \times 20 = 960 \text{ g. (elmas + metal tozları)}$$

20 konsantrasyon elmas tozunun uygun olduğuna karar verildi.

$$\begin{array}{r} 1000' \text{ de} \qquad \qquad 20 \text{ ise} \\ 940' \text{ da} \qquad \qquad \qquad x \\ \hline \end{array}$$

$X = 18,8$ g elmas tozu olarak bulunur.

$$LS4750 + 40/50 = 18,8 \text{ g.}$$

$$960 - 18,8 = 941,2 \approx 940 \text{ g.}$$

$$\% 55 \text{ Fe} = 517 \text{ gr}$$

$$\% 35 \text{ Co} = 329 \text{ gr}$$

$$\% 10 \text{ Bronz} = 94 \text{ gr}$$

C₅ kompozisyonu için;

$$\text{Teorik yoğunluk} = 0,35 \times 7,86 + 0,55 \times 8,90 + 0,1 \times 8,66 = 8,5 \text{ gr / cm}^3$$

$$\text{Soket hacmi} = 1 \times 2,4 \times 1 = 2,4 \text{ cm}^3$$

$$M = d \times V = 2,4 \times 8,5 = 20,42 \text{ gr bir soket için koyulacak toz miktarı bulunur.}$$

1 soket içerisine koyulacak toz miktarı ≈ 20 gr alınmıştır.

C₅ = 12 adet soket üretilecektir, 4 farklı sıcaklık için sinterleme işlemine tabi tutulacaktır.

$$C_5 = 12 \times 4 = 48 \quad 48 \times 20 = 960 \text{ g. (elmas + metal tozları)}$$

20 konsantrasyon elmas tozunun uygun olduğuna karar verildi.

$$\begin{array}{r} 1000' \text{ de} \\ 940' \text{ da} \end{array} \quad \begin{array}{r} 20 \text{ ise} \\ x \end{array}$$

$X = 18,8$ g elmas tozu olarak bulunur.

$$LS4750 + 40/50 = 18,8 \text{ g.}$$

$$960 - 18,8 = 941,2 \approx 940 \text{ g.}$$

$$\% 35 \text{ Fe} = 329 \text{ gr}$$

$$\% 55 \text{ Co} = 517 \text{ gr}$$

$$\% 10 \text{ Bronz} = 94 \text{ gr}$$

Soket grup no: 2 için;

Her bir soket içerisine 0,15 gr B₄C tozu ilave edilmiştir.

C_{1B4C} kompozisyonu için

24 adet soket üretilecektir, 4 farklı sıcaklık için sinterleme işlemine tabi tutulacaktır.

$$C_1 = 24 \times 4 = 96 \text{ adet soket}$$

$$96 \times 0,15 \text{ g / 1 soket} = 14,4 \text{ gr B}_4\text{C tozu.}$$

$$\% 75 \text{ Fe} = 1410 \text{ gr}$$

$$\% 15 \text{ Co} = 282 \text{ gr}$$

$$\% 10 \text{ Bronz} = 188 \text{ gr}$$

37,6 g elmas tozu ilave edilmiştir.

C₃B₄C kompozisyonu için;

12 adet soket üretilecektir, 4 farklı sıcaklık için sinterleme işlemine tabi tutulacaktır.

$$C_3 = 12 \times 4 = 48 \text{ adet soket}$$

$$48 \times 0,15 \text{ g} / 1 \text{ soket} = 7,2 \text{ gr B}_4\text{C tozu.}$$

$$\% 55 \text{ Fe} = 517 \text{ gr}$$

$$\% 35 \text{ Co} = 329 \text{ gr}$$

$$\% 10 \text{ Bronz} = 94 \text{ gr}$$

18,8 gr elmas tozu ilave edilmiştir

C₅B₄C kompozisyonu için ;

12 adet soket üretilecektir, 4 farklı sıcaklık için sinterleme işlemine tabi tutulacaktır.

$$C_5 = 12 \times 4 = 48 \text{ adet soket}$$

$$48 \times 0,15 \text{ g} / 1 \text{ soket} = 7,2 \text{ gr B}_4\text{C tozu.}$$

$$\% 35 \text{ Fe} = 329 \text{ gr}$$

$$\% 55 \text{ Co} = 517 \text{ gr}$$

$$\% 10 \text{ Bronz} = 94 \text{ gr}$$

18,8 gr elmas tozu ilave edilmiştir.

5.2.2 Tozların Karıştırılması

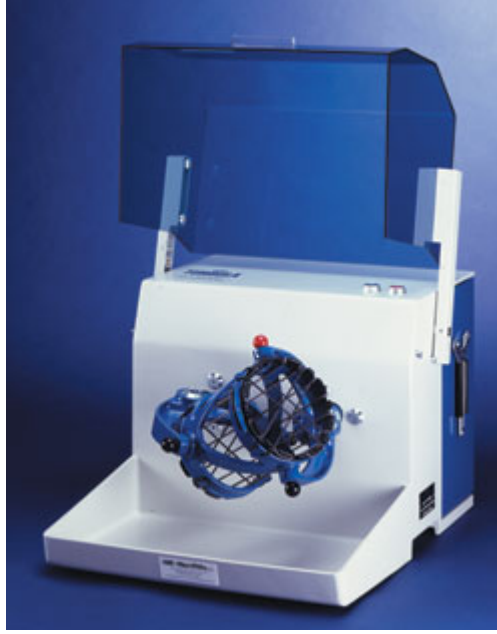
Yukarıda ki hesaplamalar dâhilinde 2 farklı grup toz ayrı ayrı karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Her bir toz kompozisyonu için karışım süreleri 45 dakikadır.

Karıştırma işlemi 45 derece eğimli Turbula Mixer karıştırma makinesi ile yapılmıştır. T₂F turbula karıştırıcının şematik olarak görünümü Şekil 5.1'de verilmiştir. Tozların karışmasını kolaylaştırmak amacıyla, karışımın homojen olması ve akışkanlığın ideal biçimde olması için % 2 glialkol (C₂H₅OH) (% 25 gliserin + % 75 alkol) eklenmiştir. Elmas tozu olmadan mevcut ağırlık üzerinden her bir kompozisyon için hesaplama yapılmıştır [55].

C₁ kompozisyonu için; 37,6 g glialkol

C₃ kompozisyonu için; 20 g glialkol

C₅ kompozisyonu için; 20 g glialkol eklenmiştir.

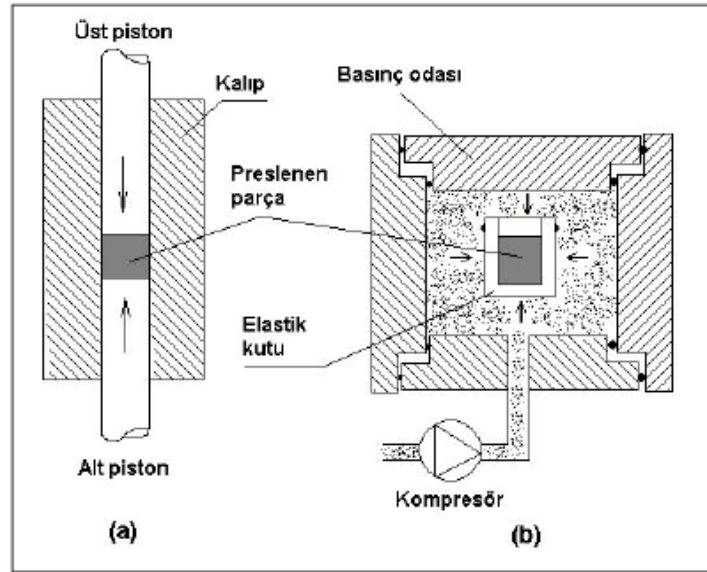


Şekil 5.1: T₂F turbula karıştırıcının şematik olarak görünümü.

5.2.3 Tozların Preslenmesi (Sıkıştırılması)

Toz metalürjisi (T/M) imalat sürecinde parça imal süresi ve oranı önemli bir faktördür. Bu nedenle tek eksenli kalıpta presleme (sıkıştırma) önemli bir parça şekil verme aşamasıdır. Tozların preslenmesinde ki ana amaç ham yoğunluk ve dayanımın elde edilmesidir. Sıkıştırma bir yük altında serbest yapıdaki toz partiküllerinin istenilen şekle ve forma dönüştürülmesi için yoğunluk kazandırma işlemi olarak tanımlanabilir.

Değişik sıkıştırma teknikleri olmakla beraber en yaygın kullanılanı tek eksenli bir kalıp ile presleme işlemidir. T/M üretim yöntemi ile elde edilen malzemenin dayanımı presleme ve sinterleme sonrası yoğunluğu ile doğrudan ilgilidir. Sinterleme de esas olan istenilen yoğunluğun (çoğu zaman tam yoğunluk) ve dolayısıyla fiziksel dayanımın elde edilmesidir. İdeal yoğunluk %100 teorik yoğunluğa erişmektir [26].



Şekil 5.2: Soğuk presleme (a) tek yönlü presleme, (b) izostatik presleme [44,56].

5.2.4 Sıcak Presleme Yöntemi

Sıcak presleme yöntemi, ısı ve basıncın aynı anda uygulanmasıdır. Isı ve basınç etkisi ile matris malzemesi ve elmas karışımı yoğunlaşır. Tüm boşlukların tamamı veya tamamına yakını giderilir. Tüm partiküller arasında oluşacak üniform bir akış ile bağ kuvvetlenir. Sıcak presleme metodu tek aşamalı bir proses olduğundan oldukça hızlıdır ve endüstride yoğun olarak uygulanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada elmas soketler sıcak presleme yöntemiyle üretilmiştir. Sıcak sinterleme presi görünümü Şekil 5.3’de verilmiştir.



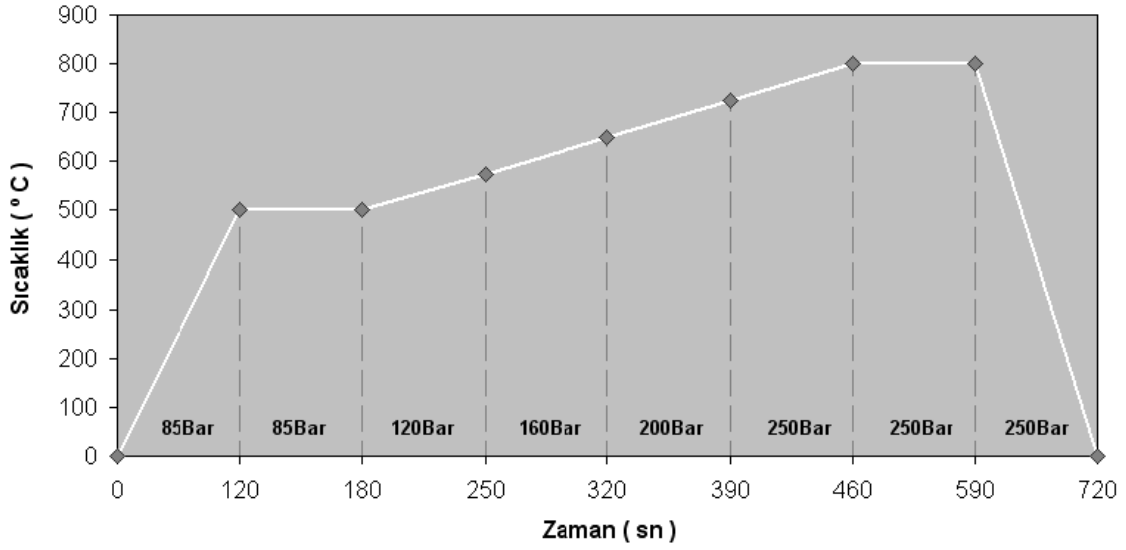
Şekil 5.3: Sıcak sinterleme presi (Dr. Fritsch DSP 510) [57].



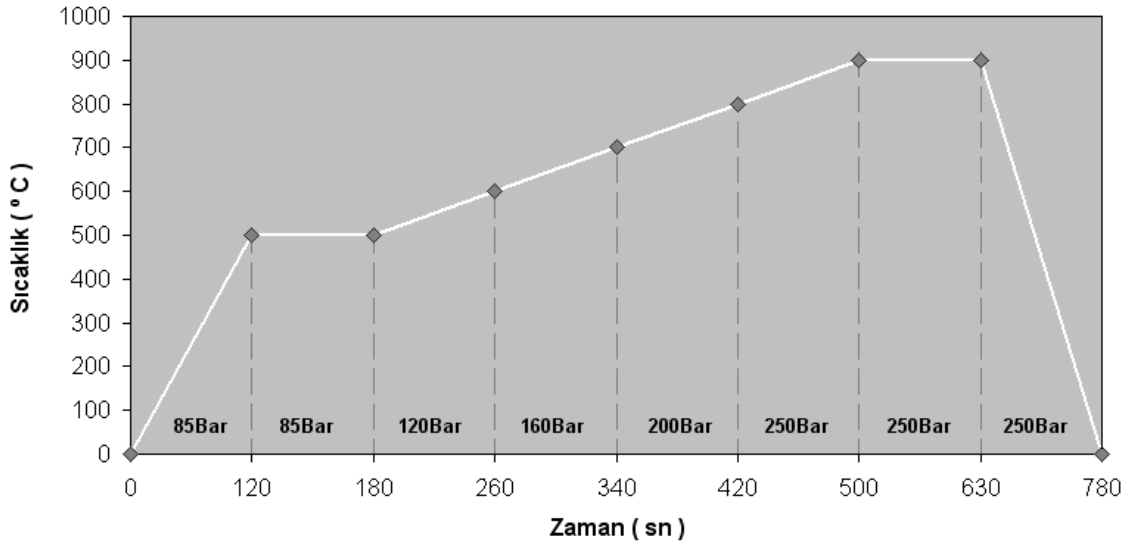
Şekil 5.4: Kalıp içerisinde sinterlenmiş elmas katkılı soketlerin sıcak pres içerisindeki görünümü.

5.2.5 Sinterleme

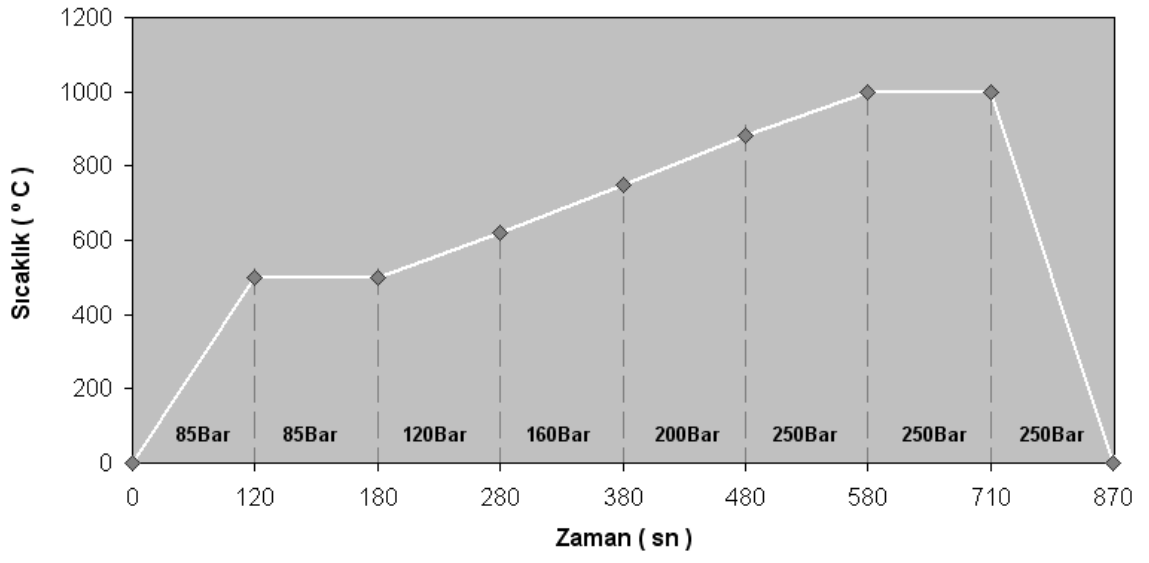
Homojen bir şekilde karıştırılan metal tozları önceden hazırlanmış grafit kalıplara tartılarak yerleştirilmiştir. Grafit kalıplara koyulan tozlar yüksek akım sayesinde, grafitte oluşan ısının etkisiyle sıcak presleme yöntemiyle 800-900-1000°C'de Şekil 5.5 – Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de belirtilen ısıl işlem rejimi kullanılarak sinterlenmiştir.



Şekil 5.5: 800 °C'de sinterlenmiş elmas katkılı soketlerin ısıl işlem grafiği.



Şekil 5.6: 900 °C'de sinterlenmiş elmas katkılı soketlerin ısıl işlem grafiği.



Şekil 5.7: 1000 °C’de sinterlenmiş elmas katkılı soketlerin ısıtım işlem grafiği.



Şekil 5.8 : Üretilen elmas soketlerin sinterlendikten sonra grafit kalıp içerisinde görünümü.



Şekil 5.9 : Üretilen elmas soketlerin sinterlendikten sonra nihai görünümü.

6. DENEYSSEL ÇALIŞMA, SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

6.1 Mikro Sertlik Ölçümü

Üretilen elmas soketlerin matriksindeki değişen Fe - Co oranı ve B₄C ilavesinin soketlerin sertliği üzerindeki etkisini araştırmak ve soketlerdeki sertlik dağılımının ne kadar homojen olduğunu görmek amacıyla soketler üzerinde mikro sertlik deneyi yapılmıştır. Deney Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarındaki mikro- sertlik cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.1).

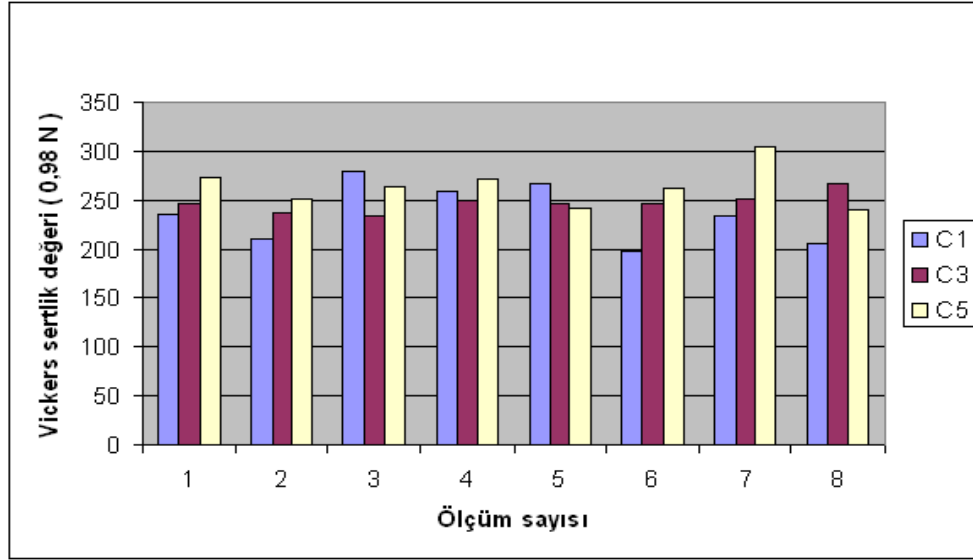


Şekil 6.1: Mikro sertlik ölçüm cihazı.

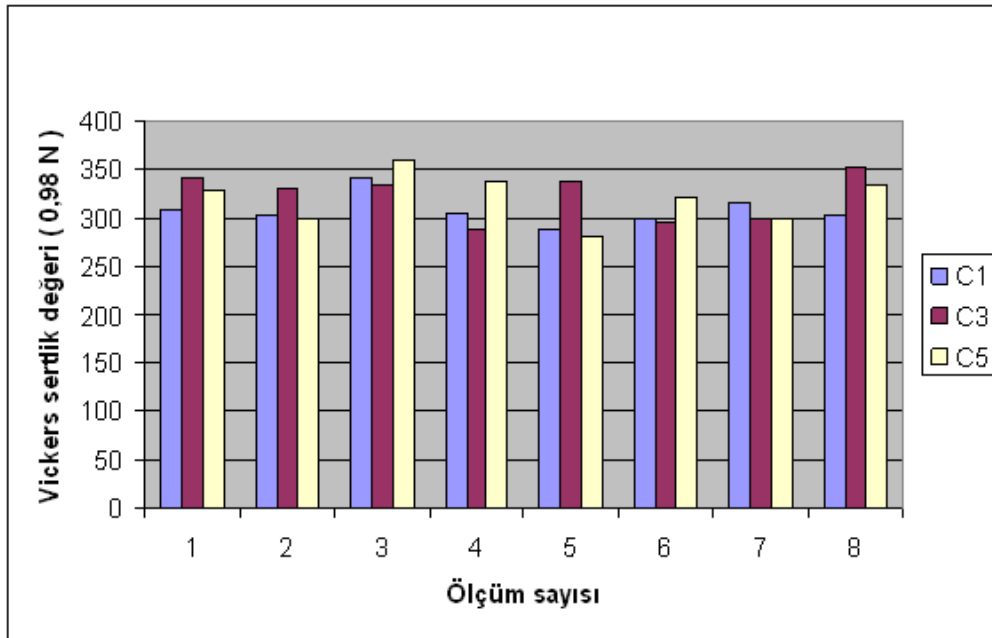
Üretilen 6 farklı içerikte, 3 farklı sıcaklıkta sinterlenen soketler çapaklarından arındırılıp, 320–600–800–1000’lik SiC zımpara aracılığı ile parlatılmış ve ölçüme hazır hale getirilmiştir. Soketlerin her birinin bir yüzeyinin 8 farklı noktasından mikro sertlik ölçümü yapılmıştır. Ölçümler yapılırken, matriks üzerindeki elmas taneleri ölçüm cihazı ile tespit edilmiş ve ölçümler matriksin elmas olmayan bölgelerinden yapılmıştır. Ölçümler Vickers sertliği cinsinden yapılmış olup her ölçümde sabit yük (0,98 N) kullanılmıştır.

6.2 Mikro Sertlik Deneyi Sonuçları

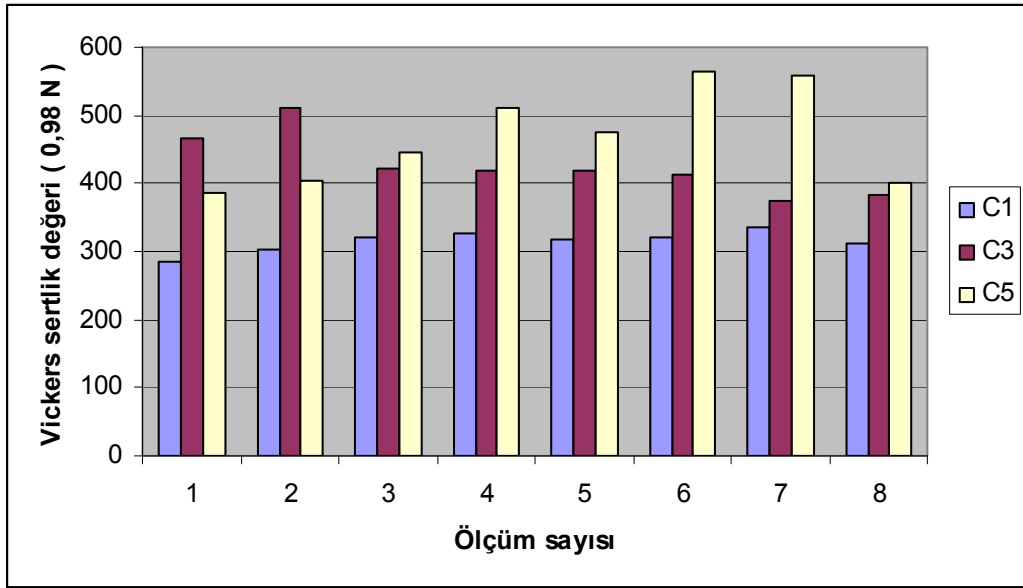
Elmas soketler üzerinden Vickers sertliği cinsinden alınan mikro sertlik deney sonuçları Şekil 6.2 – Şekil 6.10’ da verilmiştir.



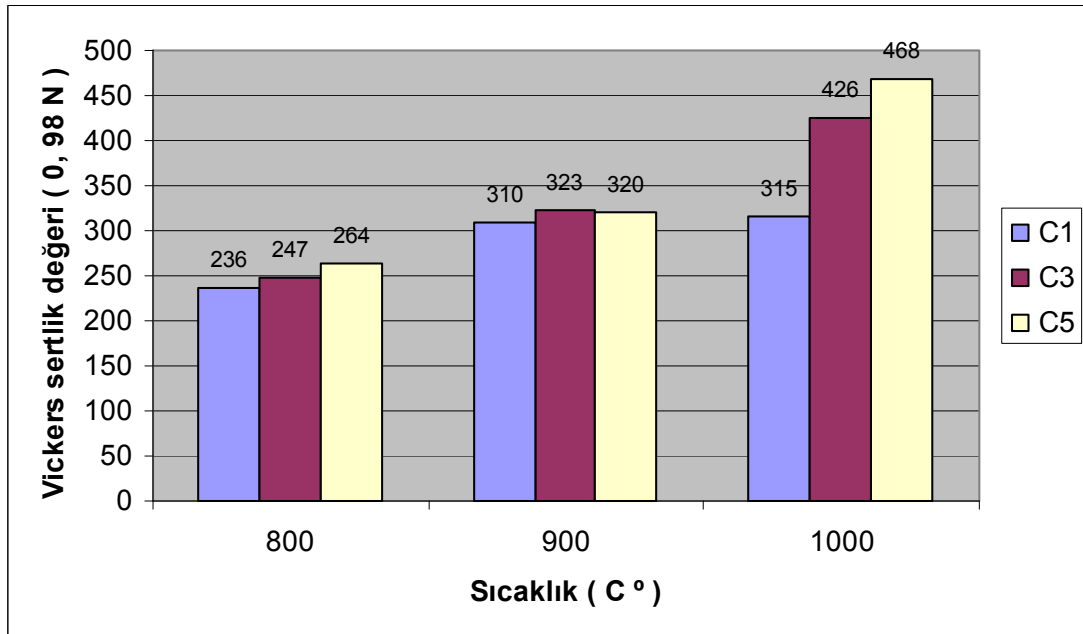
Şekil 6.2: 800 C ° de sinterlenen numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri.



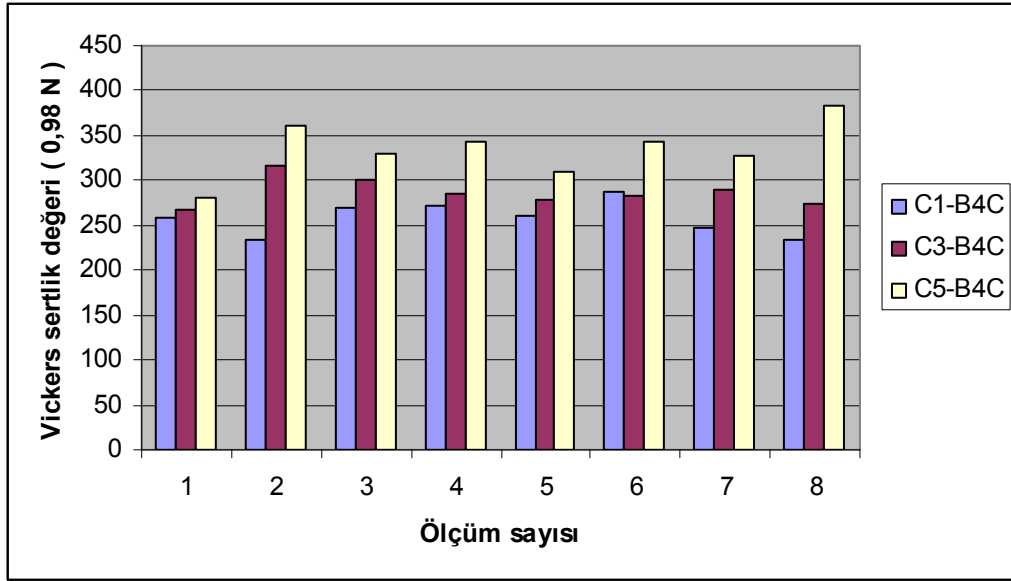
Şekil 6.3: 900 °C’ de sinterlenen numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri.



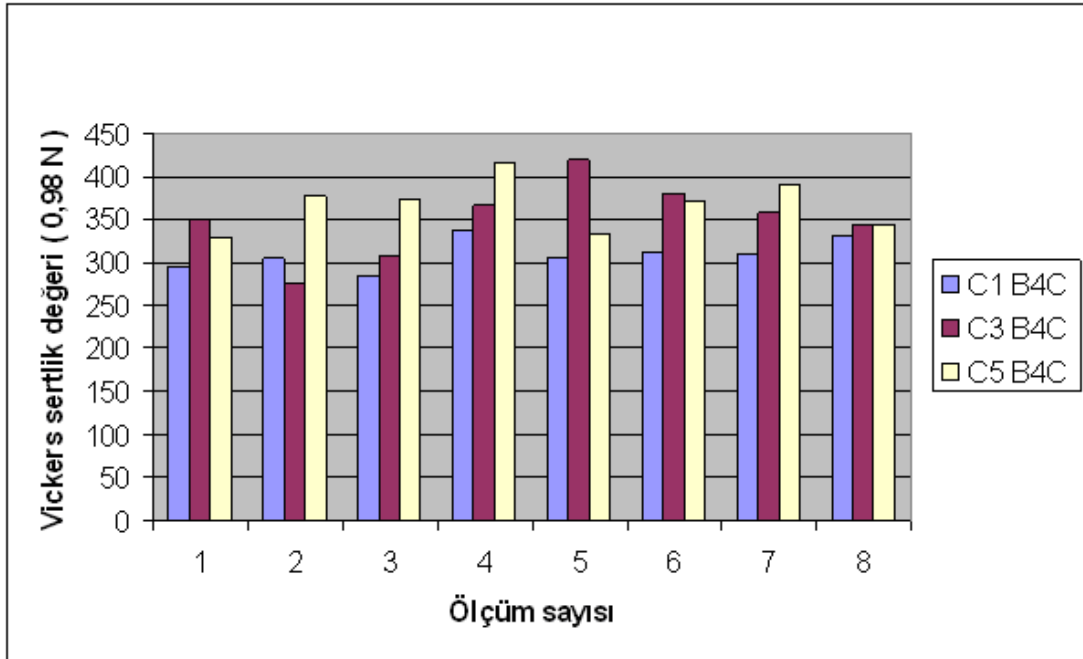
Şekil 6.4: 1000 °C’ de sinterlenen numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri.



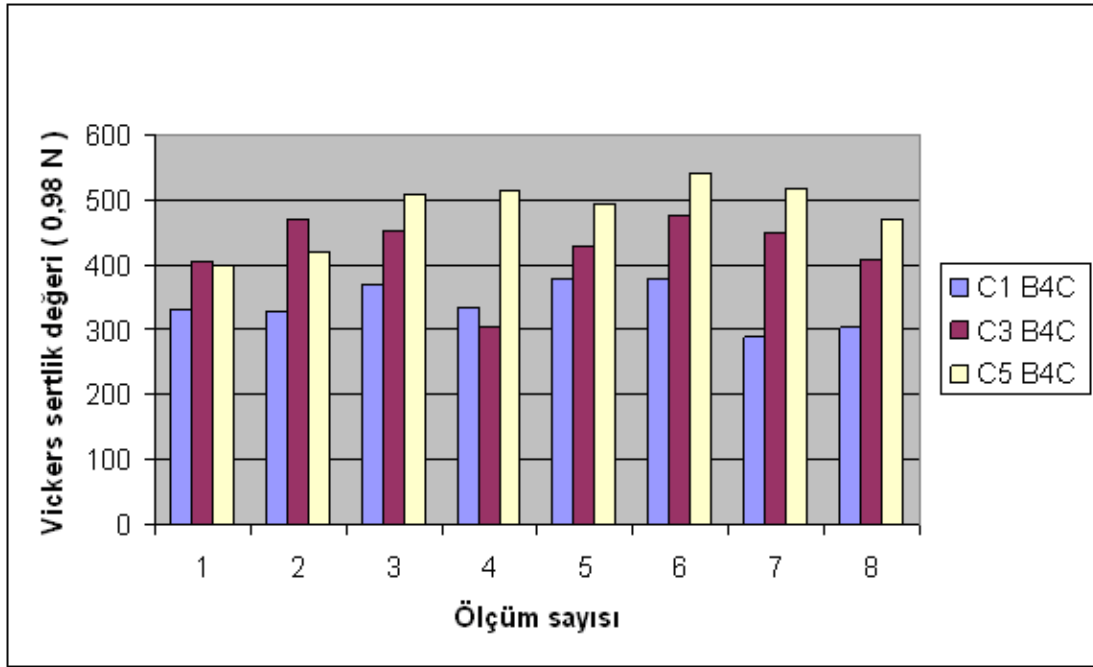
Şekil 6.5: 800–900–1000 C °’de sinterlenmiş numunelerin mikro sertlik ölçüm ortalamaları.



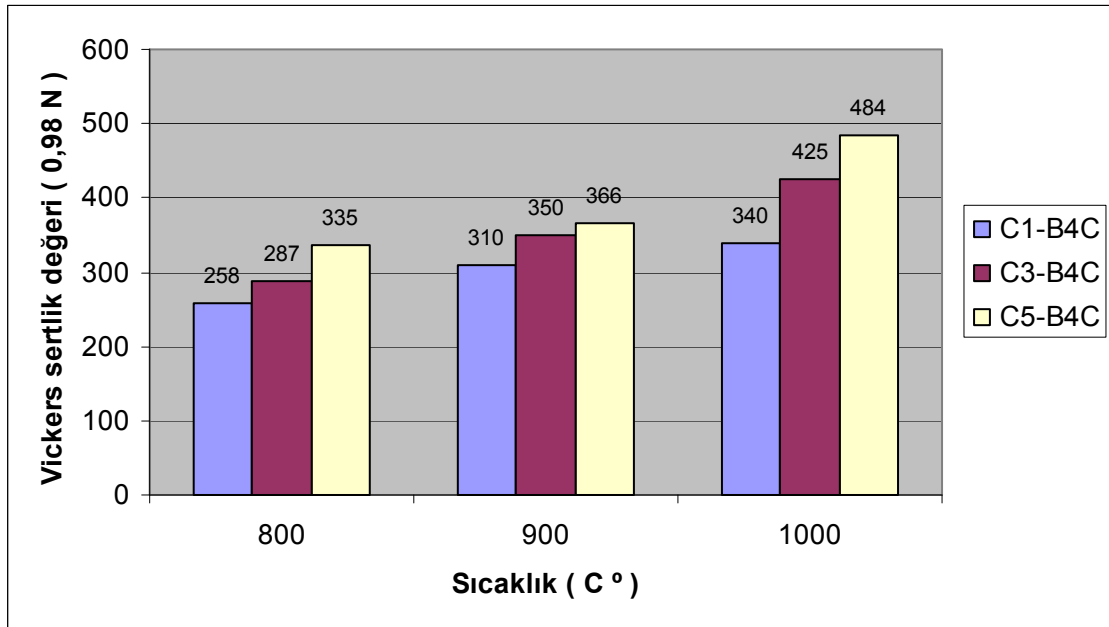
Şekil 6.6: 800 C ° de sinterlenen B₄C katkıli numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri.



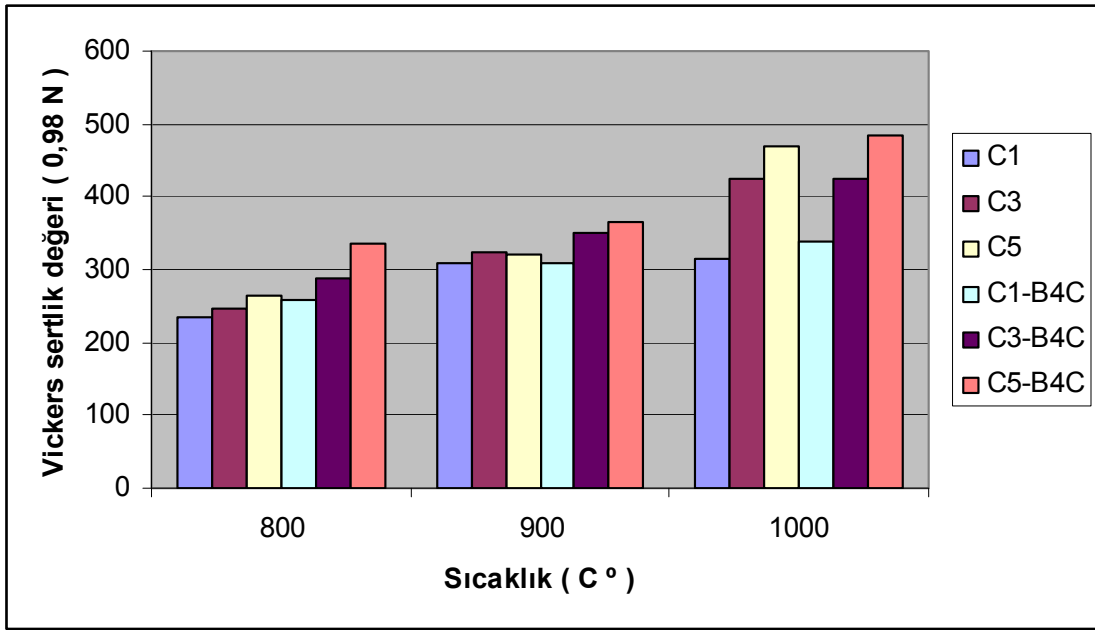
Şekil 6.7: 900 C ° de sinterlenen B₄C katkıli numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri.



Şekil 6.8: 1000 C ° de sinterlenen B₄C katkıli numuneler için ölçülen mikro sertlik değerleri.



Şekil 6.9 : 800-900-1000 C ° de sinterlenmiş B₄C katkıli numunelerin mikrosertlik ölçüm ortalamaları.



Şekil 6.10: 800–900–1000 °C’de sinterlenmiş B₄C katkılı ve katkısız numunelerin mikro sertlik ölçüm ortalamaları.

Mikro sertlik deneyinin ölçüm sonuçları incelendiğinde, sertlik dağılımının hemen her soket numunesi için oldukça homojen olduğu görülmüştür. Bu durumda soketlerin elmas dışı matriksinde homojen bir yapı oluşumu meydana geldiği anlamına gelmektedir. Ortalama sertlik sonuçlarına bakıldığında kobalt miktarının artmasıyla birlikte demir miktarının azalması sertlik değerlerinde bir artışa neden olmuş ve bor karbür takviyeli (B₄C) elmas soketlerin sertlik değerlerinin takviyesizlere göre daha sert olduğu görülmüştür.

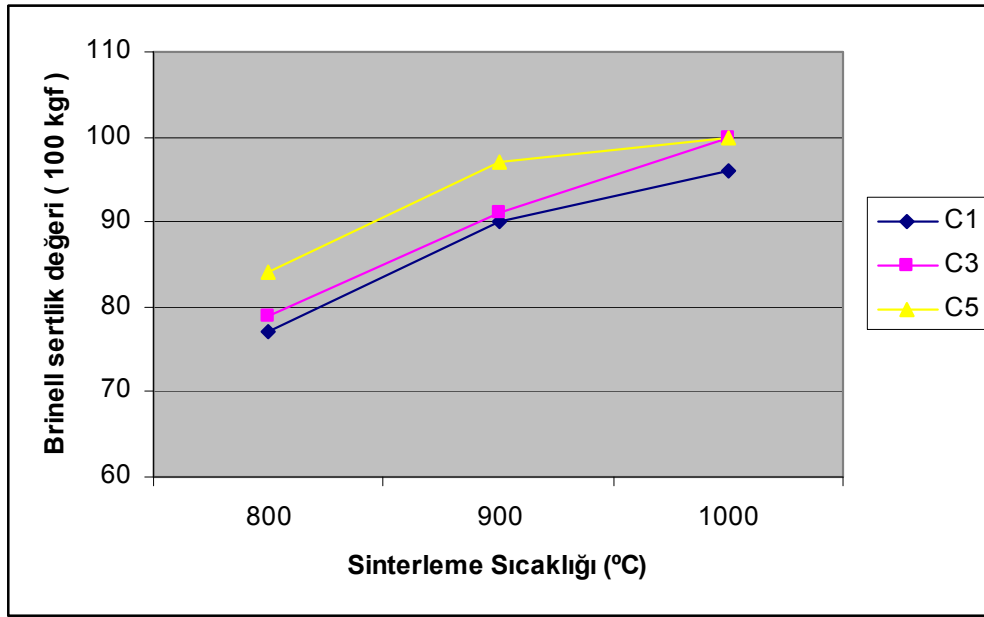
6.3 Makro Sertlik Ölçümü

Üretilen elmas soketlerin matriksindeki değişen Fe – Co oranı ve B₄C ilavesinin soketlerin sertliği üzerindeki etkisini araştırmak ve soketlerdeki sertlik dağılımının ne kadar homojen olduğunu görmek amacıyla soketler üzerinde makro sertlik deneyi yapılmıştır. Deneyler İvedik Organize Sanayi Bölgesi-Ankara EKİP soket firmasına ait laboratuarlarda Bulut Makineye ait makro- sertlik cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.11). Elmas soketler üzerinden Brinell sertliği cinsinden alınan makro sertlik deney sonuçları Şekil 6.12 – Şekil 6.14’ de verilmiştir.

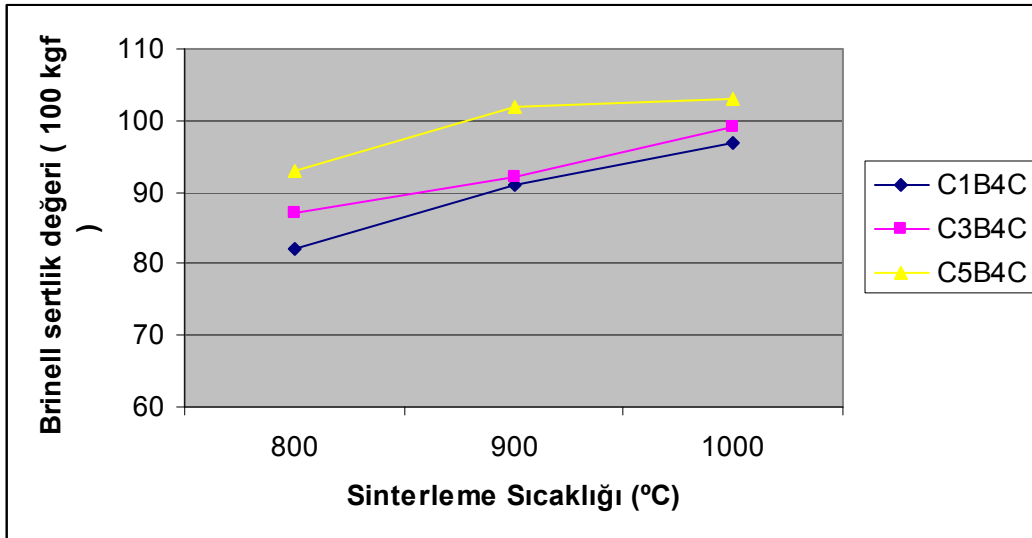


Şekil 6.11 : Makro sertlik ölçüm cihazı.

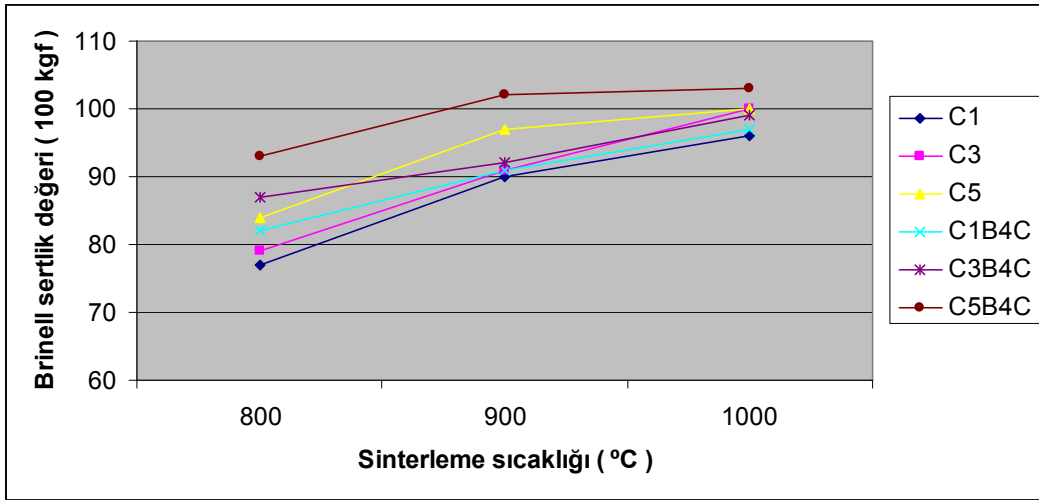
Üretilen 6 farklı içerikte, 3 farklı sıcaklıkta sinterlenen soketler çapaklarından arındırılıp, 320 kumluk SiC zımpara aracılığı ile parlatılmış ve ölçüme hazır hale getirilmiştir. Soketlerin her birinin bir yüzeyinin 3 farklı noktasından makro sertlik ölçümü yapılmıştır. Ölçümler matriksin elmas olmayan bölgelerinden yapılmıştır. Ölçümler Brinell sertliği cinsinden yapılmış olup her ölçümde sabit yük (100 kgf) kullanılmıştır.



Şekil 6.12 : $C_1 - C_3 - C_5$ kompozisyonuna sahip numunelerin HB 100 kgf yük altında sertlik ölçüm değerleri.



Şekil 6.13 : $C_{1B4C} - C_{3B4C} - C_{5B4C}$ kompozisyonuna sahip numunelerin HB 100 kgf yük altında sertlik ölçüm değerleri.



Şekil 6.14: 800–900–1000 C °’de sinterlenmiş B₄C katkılı ve katkısız numunelerin makro sertlik ölçüm ortalamaları.

Makro sertlik deneyinin ölçüm sonuçları incelendiğinde, soketlerin elmas dışı matriksinde homojen bir yapı oluşumu meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ortalama makro-sertlik sonuçlarına bakıldığında demir miktarının artmasıyla matriksde sertliğin bir miktar düştüğü fakat kobalt miktarının artması ile sertlik değerlerinde bir artış meydana gelmiştir ve bor karbür takviyeli (B₄C) elmas soketlerin sertlik değerlerinin takviyesizlere göre daha sert olduğu görülmüştür.

6.4 Pin On Disk Metoduyla Adhesiv Aşınma Deneyi

Üretilen elmas soketlerin matriksindeki değişen Fe - Co oranı ve B₄C ilavesinin soketlerin aşınma davranışları üzerindeki etkisini araştırmak için adhesiv aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Laboratuvarlarındaki aşınma deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Üretilen elmas katkılı soketlerin aşınma deneyleri pim-disk türü cihaz ile kuru ortamda yapılmıştır. Numuneler, disk yüzeyine dik bir biçimde cihaza monte edilmiştir. Adhesiv aşınma deneylerinde numuneler çapaklarından arındırılıp taşlanmış Ç₅₁₉₀ çelik diskler kullanılmıştır. Deneyler; 10, 20 ve 40 N yük altında 3,6 km kayma mesafesinde, 1 m/sn sabit hızda, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit numuneler aşınma miktarları; 0,0001 gr ölçme hassasiyetine sahip bir elektronik terazide, deney öncesi ölçülen ağırlıklarından deney sonrası tespit edilen ağırlıklarının çıkarılması ile bulunmuştur. Aşınma deneyine ait grafikler Şekil 6.17'den Şekil 6.23'e kadar belirtilmiştir.

Aşınma işlemi; döner bir disk üzerine pens aracılığı ile bağlanan numunenin taşıyıcı kola istenen kuvvetle bastırılması yoluyla yapılmıştır. Döner disk üzerinde üç iz bulunmaktadır. Deney sabit kayma hızında yapıldığı için, her izde çap değişeceğinden çevresel hızdan dolayı kayma hızı da değişecektir. Kayma hızını sabit tutmak için diskin devir sayısının farklı olması gerekmektedir. Bu nedenle kompozit numunenin temas ettiği noktaların çapları bilindiğinden her bir iz için ayrı ayrı devir sayıları hesaplanmıştır. Devir sayılarının ölçümü elektronik takometre ile yapılmıştır. İz çaplarına göre devir sayıları Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tezgâh devir sayısı (dev / dak) ;

$$N = \frac{V \cdot 100 \cdot 60}{D \cdot \pi} \quad \text{formülü ile hesaplanmıştır.}$$

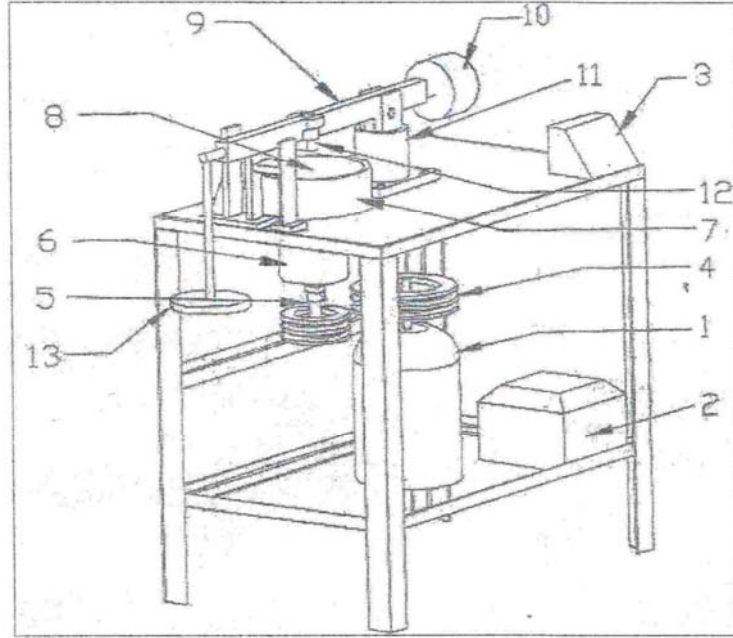
Formülde;

V; Kayma hızı (m/sn)

D: İz çapı (mm), olarak alınmıştır.

Tablo : 6.1 İz çaplarına göre devir sayıları

İz numarası	İz çapları (mm)	Devir sayısı (dev / dak.)
1	64	298
2	86	222
3	108	177

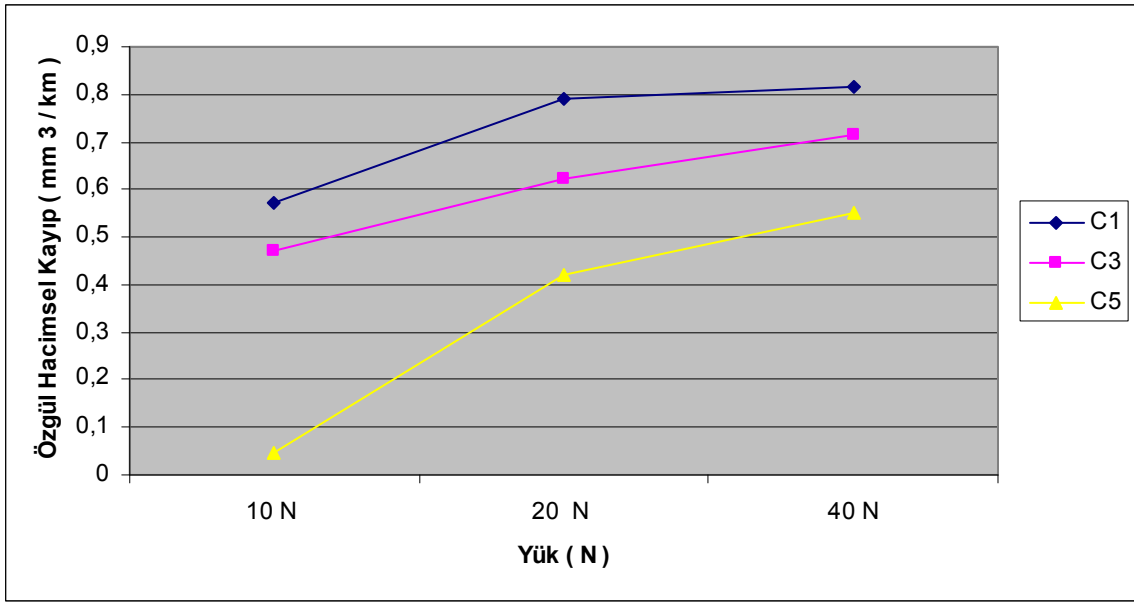


Şekil 6.15: Aşınma deney cihazının şematik görünümü.

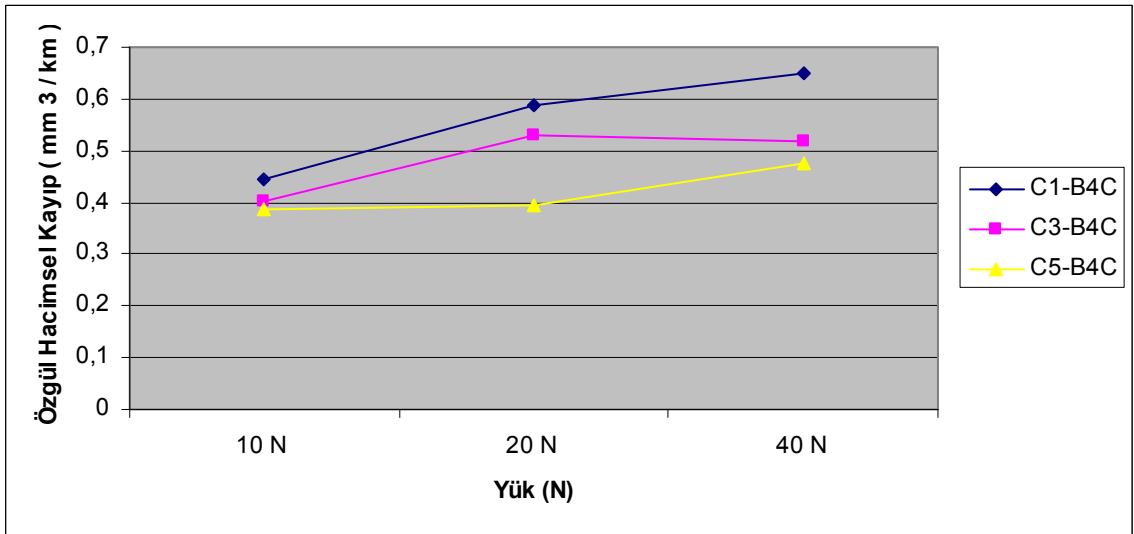
1. elektrik motoru, 2. Hız kontrol cihazı, 3. Hız kontrol paneli, 4. Kayış kasnak sistemi, 5. Mil, 6. Mil yatağı, 7. Koruyucu çanak, 8. Sertleştirilmiş disk, 9. Taşıyıcı kol, 10. Dengeleme ağırlığı, 11. Yatak, 12. Pens sıkma tertibatı, 13. Ağırlık.



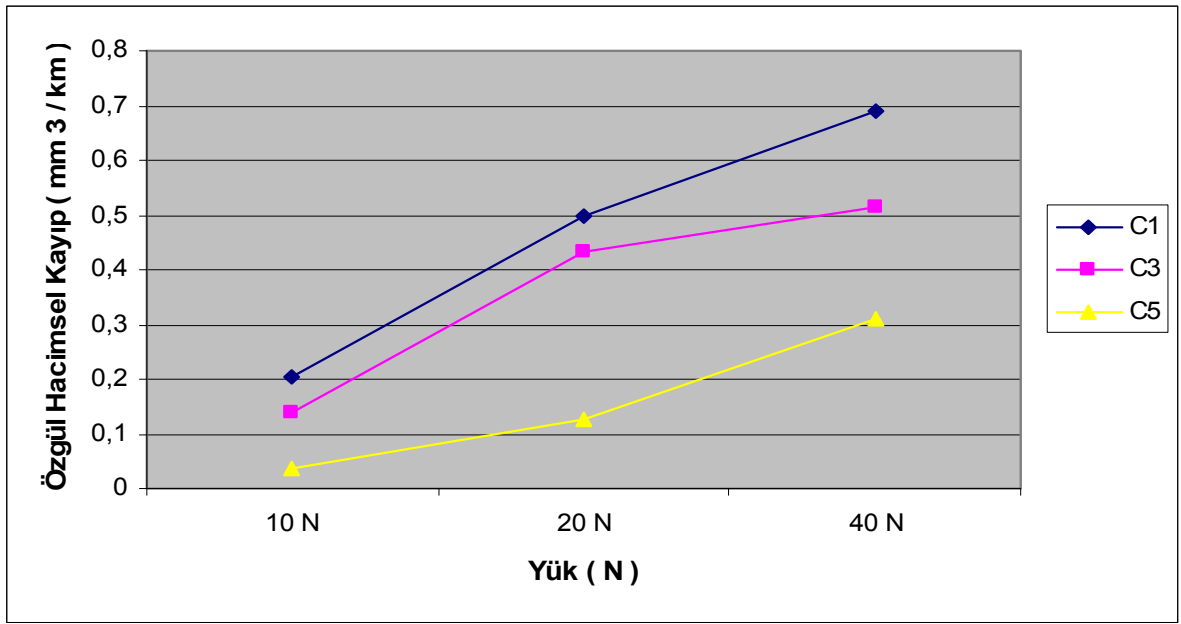
Şekil 6.16: Aşınma Deney Düzeneği, (Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü).



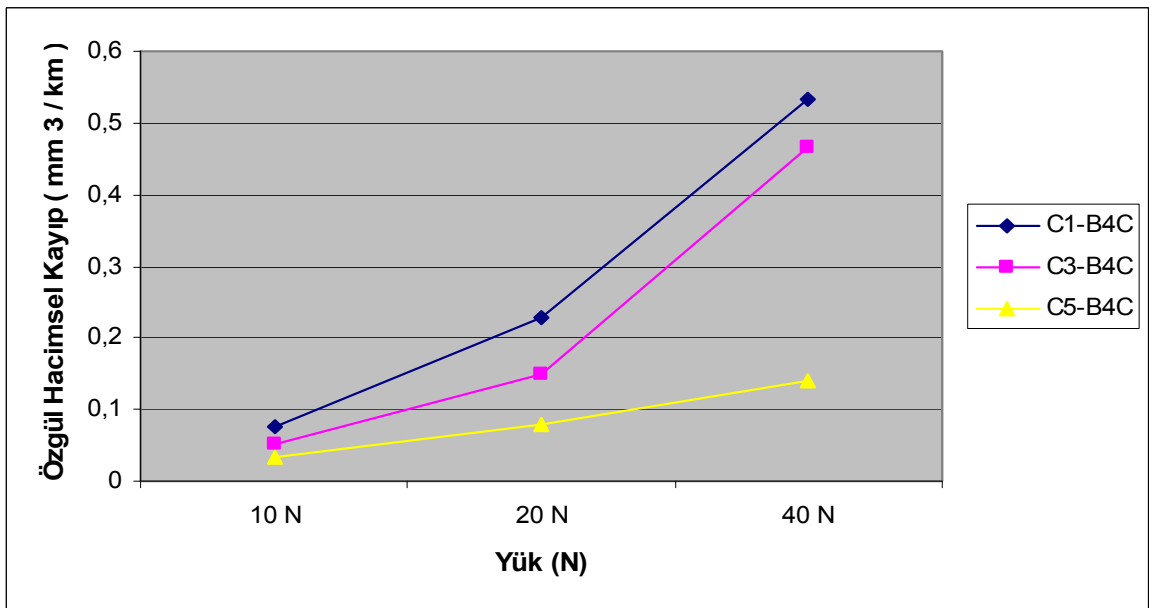
Şekil 6.17: 800 °C' de sinterlenmiş C₁ – C₃ – C₅ kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.



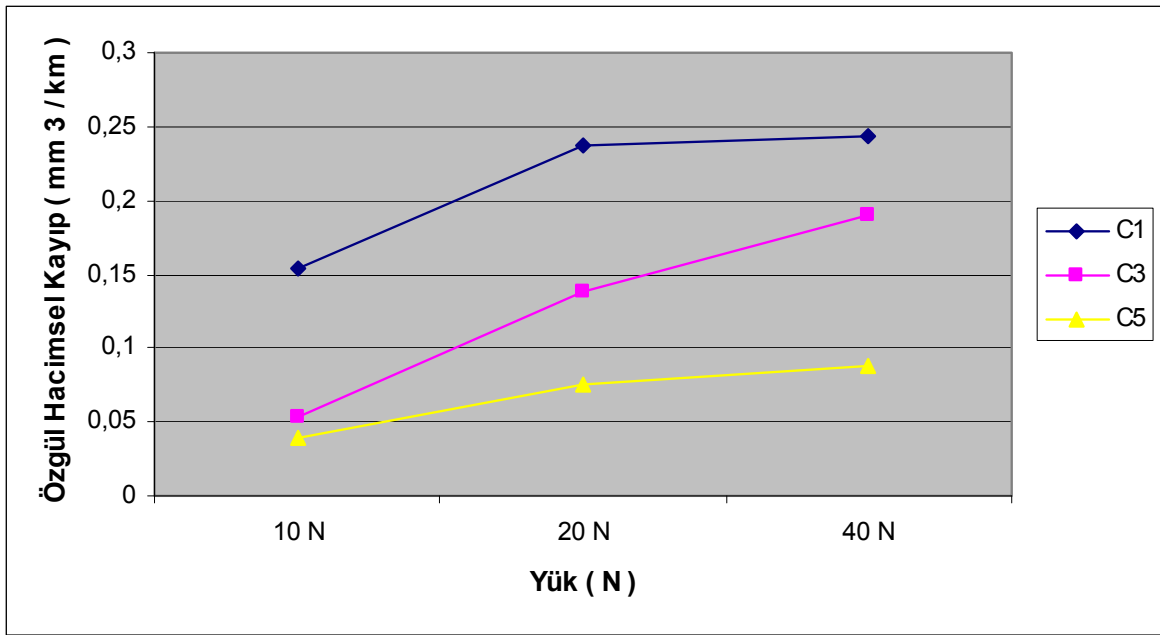
Şekil 6.18: 800 °C' de sinterlenmiş C_{1B4C} – C_{3B4C} – C_{5B4C} kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.



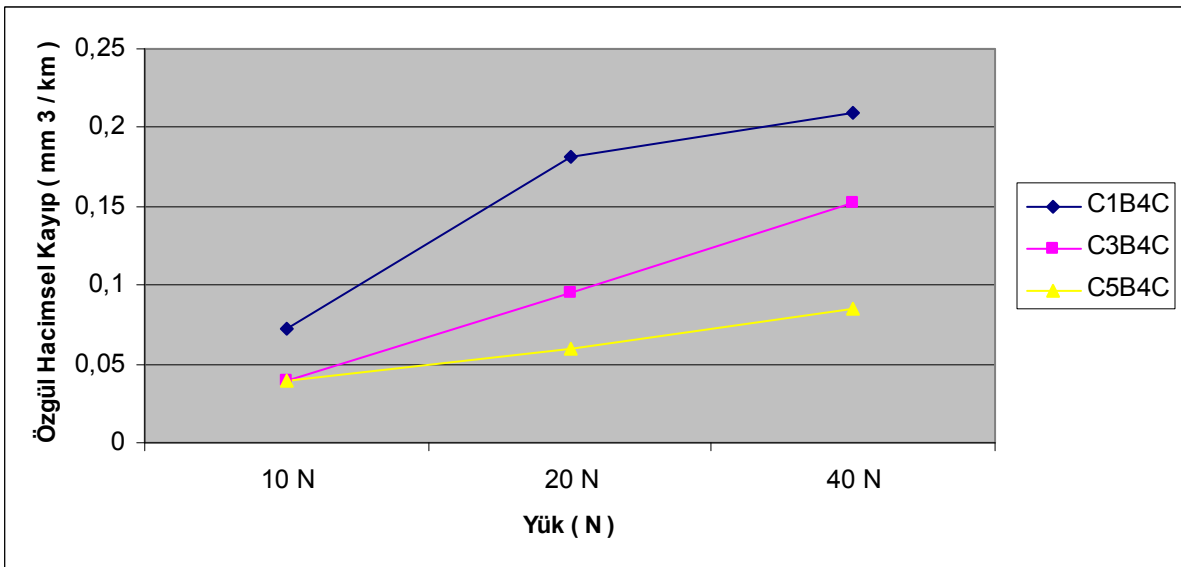
Şekil 6.19: 900 °C' de sinterlenmiş $C_1 - C_3 - C_5$ kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.



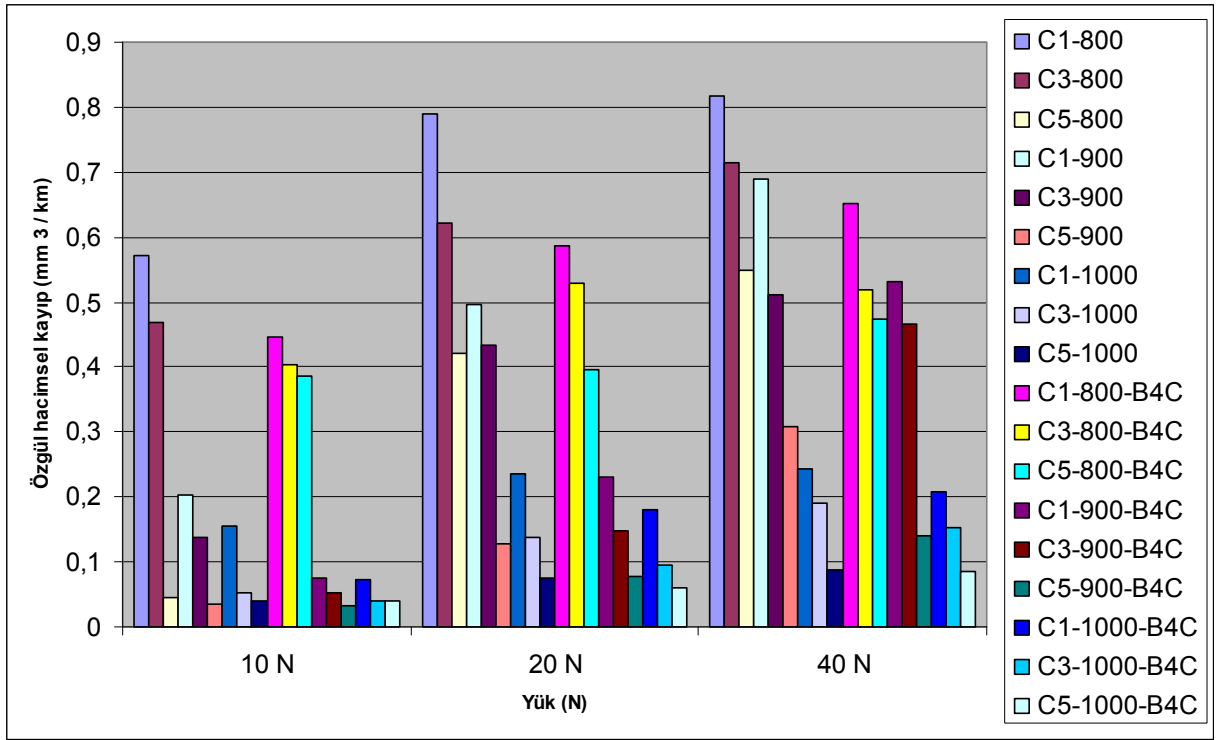
Şekil 6.20: 900 °C' de sinterlenmiş $C_{1B4C} - C_{3B4C} - C_{5B4C}$ kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.



Şekil 6.21: 1000 °C' de sinterlenmiş $C_1 - C_3 - C_5$ kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.



Şekil 6.22: 1000 °C' de sinterlenmiş $C_{1B4C} - C_{3B4C} - C_{5B4C}$ kompozisyonuna sahip numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.



Şekil 6.23: 800–900–1000 °C’de sinterlenmiş B₄C katkılı ve katkısız numunelerin farklı yükler altındaki aşınma miktarları.

Adhesiv aşınma deneyi verileri incelendiğinde, matriks yapı içerisindeki kobaltın artmasıyla beraber soketteki aşınma sonrası kütle kaybının azaldığı görülmüştür. Sinterleme koşulları ve bor karbür takviyesi göz önüne alındığında sıcaklık 800 °C’den 1000 °C’ye doğru arttığında aşınma kaybının artan sıcaklıkla azaldığı ve aşınma direncinin bor karbür katkılı soketlerin katkısızlara göre daha az olduğu görülmüştür. Aşınmanın azalmasının temel nedeni kobaltın artmasıyla beraber matriksdeki sertliğin artışı olarak tespit edilmiştir. Aşınmış numuneler incelendiğinde % 55 Co - % 35 Fe içeren soketlerin % 15 Co - % 75 Fe içeren numunelere oranla daha az aşındığı ve % 55 Co - % 35 Fe içeren bor karbür katkılı soketlerde diğer soketlere göre daha az aşınma kaybının ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

6.5 Pin On Disk Metoduyla Abrasif Aşınma Deneyi

Üretilen elmas soketlerin matriksindeki değişen Fe - Co oranı ve B₄C ilavesinin soketlerin aşınma davranışları üzerindeki etkisini araştırmak için abrasif aşınma deneyleri farklı yük şartlarında pim-disk türü aşınma deneyi cihazı aracılığı ile yapılmıştır. Deneyler Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Laboratuvarlarındaki aşınma deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.2: Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Kontrol faktörleri ve seviyeleri				
Parametreler	Kod	1.seviye	2.seviye	3. seviye
Zımpara boyutu, (μm)	A	180	400	-
Uygulanan Yük, (N)	B	5	15	25
Kayma Mesafesi, (m)	C	24	48	72
Malzeme Tipi	D	C ₁	C ₃	C ₅

Üretilen 3 farklı kompozisyona sahip elmas soketlerin aşınma davranışları zımpara boyutu, uygulanan yük, kayma mesafesi ve malzeme tipi parametreleri Taguchi, yöntemi uygulanarak geliştirilmiştir. Aynı kompozisyona sahip fakat B₄C ilaveli numunelere de aynı şartlarda abrasiv aşınma deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.3'den Tablo 6.12'ye kadar verilmiştir.

Tablo 6.3: 800 ° C’de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları.

Deney numarası	Abrasiv Zımpara boyutu	Malzeme tipi, Kompozisyon	Yük, (N)	Kayma mesafesi veya zaman, (s)	Ağırlık Kaybı, (g)	S/N oranı (dB) (farklı malzemeler için)
1	400	C1-800 °C	5	24-30s	0,0038	48,4043
2	400	C1-800 °C	15	48-60s	0,0085	41,4116
3	400	C1-800 °C	25	72-90s	0,0200	33,9794
4	400	C3-800 °C	5	72-90s	0,0068	43,3498
5	400	C3-800 °C	15	24-30s	0,0084	41,5144
6	400	C3-800 °C	25	48-60s	0,0145	36,7726
7	400	C5-800 °C	5	72-90s	0,0065	43,7417
8	400	C5-800 °C	15	24-30s	0,0019	54,4249
9	400	C5-800 °C	25	48-60s	0,0139	37,1397
10	180	C1-800 °C	5	24-30s	0,0104	39,6593
11	180	C1-800 °C	15	48-60s	0,0332	29,5772
12	180	C1-800 °C	25	72-90s	0,0310	30,1727
13	180	C3-800 °C	5	48-60s	0,0093	40,6303
14	180	C3-800 °C	15	72-90s	0,0178	34,9915
15	180	C3-800 °C	25	24-30s	0,0181	34,8464
16	180	C5-800 °C	5	48-60s	0,0154	36,2495
17	180	C5-800 °C	15	72-90s	0,0140	37,0774
18	180	C5-800 °C	25	24-30s	0,0173	35,2390

Tablo 6.4: 900 ° C’de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları.

Deney numarası	Abrasiv Zımpara boyutu	Malzeme tipi, Kompozisyon	Yük, (N)	Kayma mesafesi veya zaman, (s)	Ağırlık Kaybı, (g)	S/N oranı (dB) (farklı malzemeler için)
1	400	C1-900 °C	5	24-30s	0,0016	55,6503
2	400	C1-900 °C	15	48-60s	0,0029	50,7520
3	400	C1-900 °C	25	72-90s	0,0154	36,2496
4	400	C3-900 °C	5	72-90s	0,0049	46,1960
5	400	C3-900 °C	15	24-30s	0,0016	55,9176
6	400	C3-900 °C	25	48-60s	0,0074	42,5569
7	400	C5-900 °C	5	72-90s	0,0040	47,9588
8	400	C5-900 °C	15	24-30s	0,0006	43,7417
9	400	C5-900 °C	25	48-60s	0,0076	42,3837
10	180	C1-900 °C	5	24-30s	0,0059	44,5096
11	180	C1-900 °C	15	48-60s	0,0237	32,5050
12	180	C1-900 °C	25	72-90s	0,0240	32,3777
13	180	C3-900 °C	5	48-60s	0,0046	46,7448
14	180	C3-900 °C	15	72-90s	0,0094	40,5374
15	180	C3-900 °C	25	24-30s	0,0081	41,8303
16	180	C5-900 °C	5	48-60s	0,0046	46,7448
17	180	C5-900 °C	15	72-90s	0,0095	40,4455
18	180	C5-900 °C	25	24-30s	0,0047	46,5580

Tablo 6.5: 1000 ° C’de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları.

Deney numarası	Abrasiv Zımpara boyutu	Malzeme tipi, Kompozisyon	Yük, (N)	Kayma mesafesi veya zaman, (s)	Ağırlık Kaybı, (g)	S/N oranı (dB) (farklı malzemeler için)
1	400	C1-1000 °C	5	24-30s	0,0015	56,4781
2	400	C1-1000 °C	15	48-60s	0,0023	52,5786
3	400	C1-1000 °C	25	72-90s	0,0152	36,3631
4	400	C3-1000 °C	5	72-90s	0,0037	48,6359
5	400	C3-1000 °C	15	24-30s	0,0014	57,0774
6	400	C3-1000 °C	25	48-60s	0,0069	43,2230
7	400	C5-1000 °C	5	72-90s	0,0033	49,6297
8	400	C5-1000 °C	15	24-30s	0,0006	64,4369
9	400	C5-1000 °C	25	48-60s	0,0065	43,7417
10	180	C1-1000 °C	5	24-30s	0,0058	44,7314
11	180	C1-1000 °C	15	48-60s	0,0082	41,7237
12	180	C1-1000 °C	25	72-90s	0,0240	32,3957
13	180	C3-1000 °C	5	48-60s	0,0041	47,7443
14	180	C3-1000 °C	15	72-90s	0,0089	41,0121
15	180	C3-1000 °C	25	24-30s	0,0063	44,0131
16	180	C5-1000 °C	5	48-60s	0,0024	52,3957
17	180	C5-1000 °C	15	72-90s	0,0080	41,9382
18	180	C5-1000 °C	25	24-30s	0,0042	47,5350

Tablo 6.6: 800_(B4C) °C’ de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları.

Deney numarası	Abrasiv Zımpara boyutu	Malzeme tipi, Kompozisyon	Yük, (N)	Kayma mesafesi veya zaman, (s)	Ağırlık Kaybı, (g)	S/N oranı (dB) (farklı malzemeler için)
1	400	C1 _{B4C} -800	5	24-30s	0,0017	55,3910
2	400	C1 _{B4C} -800	15	48-60s	0,0059	44,5829
3	400	C1 _{B4C} -800	25	72-90s	0,0124	38,1315
4	400	C3 _{B4C} -800	5	72-90s	0,0030	50,4575
5	400	C3 _{B4C} -800	15	24-30s	0,0023	52,7654
6	400	C3 _{B4C} -800	25	48-60s	0,0081	41,8302
7	400	C5 _{B4C} -800	5	72-90s	0,0033	49,6297
8	400	C5 _{B4C} -800	15	24-30s	0,0022	53,1515
9	400	C5 _{B4C} -800	25	48-60s	0,0128	37,8558
10	180	C1 _{B4C} -800	5	24-30s	0,0090	40,9151
11	180	C1 _{B4C} -800	15	48-60s	0,0126	37,9581
12	180	C1 _{B4C} -800	25	72-90s	0,0279	31,0879
13	180	C3 _{B4C} -800	5	48-60s	0,0085	41,4116
14	180	C3 _{B4C} -800	15	72-90s	0,0127	37,9239
15	180	C3 _{B4C} -800	25	24-30s	0,0177	35,0405
16	180	C5 _{B4C} -800	5	48-60s	0,0043	47,3306
17	180	C5 _{B4C} -800	15	72-90s	0,0097	40,2645
18	180	C5 _{B4C} -800	25	24-30s	0,0162	35,8096

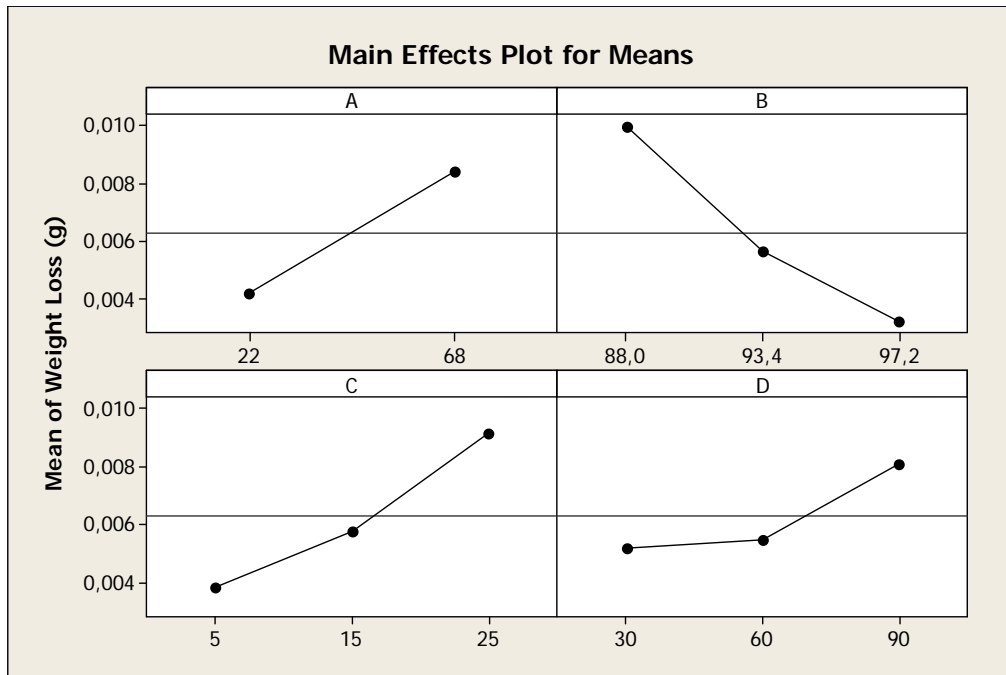
Tablo 6.7: 900_(B4C) °C’ de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları.

Deney numarası	Abrasiv Zımpara boyutu	Malzeme tipi, Kompozisyon	Yük, (N)	Kayma mesafesi veya zaman, (s)	Ağırlık Kaybı, (g)	S/N oranı (dB) (farklı malzemeler için)
1	400	C1 _{B4C} -900	5	24-30s	0,0015	56,4781
2	400	C1 _{B4C} -900	15	48-60s	0,0026	51,7005
3	400	C1 _{B4C} -900	25	72-90s	0,0105	39,5762
4	400	C3 _{B4C} -900	5	72-90s	0,0024	52,3957
5	400	C3 _{B4C} -900	15	24-30s	0,0013	57,7211
6	400	C3 _{B4C} -900	25	48-60s	0,0044	47,1309
7	400	C5 _{B4C} -900	5	72-90s	0,0015	56,4781
8	400	C5 _{B4C} -900	15	24-30s	0,0005	66,0205
9	400	C5 _{B4C} -900	25	48-60s	0,0076	42,3837
10	180	C1 _{B4C} -900	5	24-30s	0,0056	45,0362
11	180	C1 _{B4C} -900	15	48-60s	0,0132	37,5885
12	180	C1 _{B4C} -900	25	72-90s	0,0279	31,0879
13	180	C3 _{B4C} -900	5	48-60s	0,0056	45,0362
14	180	C3 _{B4C} -900	15	72-90s	0,0085	41,4116
15	180	C3 _{B4C} -900	25	24-30s	0,0058	44,7314
16	180	C5 _{B4C} -900	5	48-60s	0,0032	49,8970
17	180	C5 _{B4C} -900	15	72-90s	0,0069	43,2230
18	180	C5 _{B4C} -900	25	24-30s	0,0037	48,6359

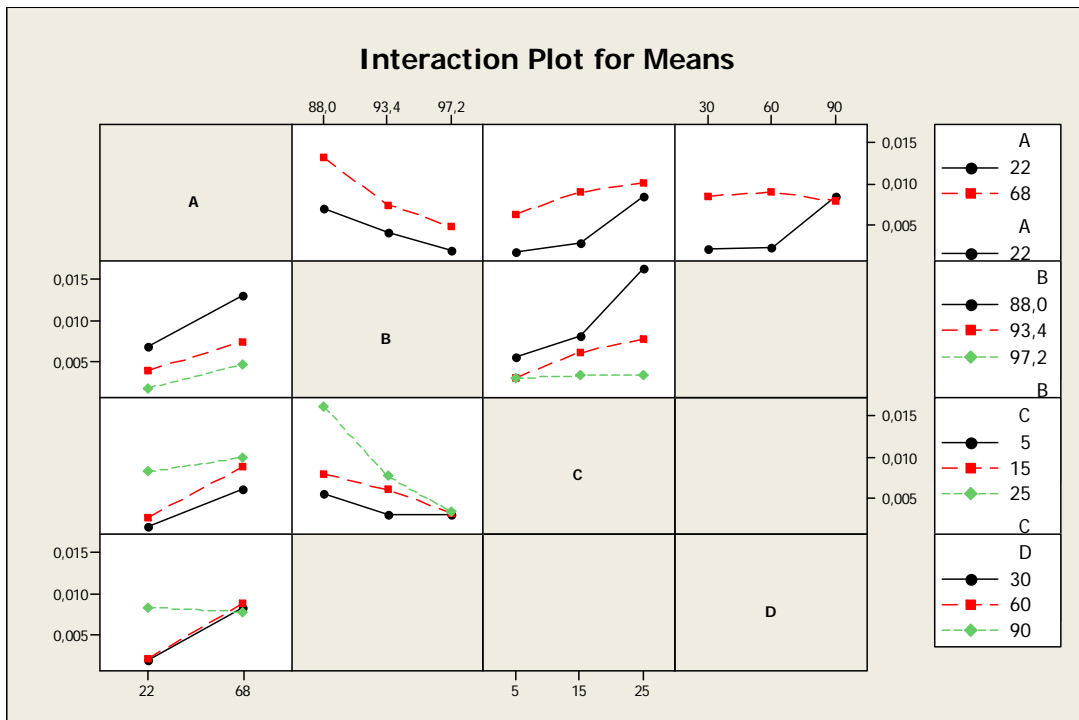
Tablo 6.8: 1000_(B4C) °C’ de sinterlenmiş numunelerin deneysel planlanması ve aşınma testi sonuçları.

Deney numarası	Abrasiv Zımpara boyutu	Malzeme tipi, Kompozisyon	Yük, (N)	Kayma mesafesi veya zaman, (s)	Ağırlık Kaybı, (g)	S/N oranı (dB) (farklı malzemeler için)
1	400	C1 _{B4C} -1000	5	24-30s	0,0013	57,7211
2	400	C1 _{B4C} -1000	15	48-60s	0,0021	53,5556
3	400	C1 _{B4C} -1000	25	72-90s	0,0072	42,8533
4	400	C3 _{B4C} -1000	5	72-90s	0,0024	52,3957
5	400	C3 _{B4C} -1000	15	24-30s	0,0011	59,1721
6	400	C3 _{B4C} -1000	25	48-60s	0,0068	43,3498
7	400	C5 _{B4C} -1000	5	72-90s	0,0014	57,0774
8	400	C5 _{B4C} -1000	15	24-30s	0,0004	67,9588
9	400	C5 _{B4C} -1000	25	48-60s	0,0063	44,0131
10	180	C1 _{B4C} -1000	5	24-30s	0,0043	47,3306
11	180	C1 _{B4C} -1000	15	48-60s	0,0053	45,5144
12	180	C1 _{B4C} -1000	25	72-90s	0,0218	33,2308
13	180	C3 _{B4C} -1000	5	48-60s	0,0034	49,3704
14	180	C3 _{B4C} -1000	15	72-90s	0,0071	42,9748
15	180	C3 _{B4C} -1000	25	24-30s	0,0057	44,8825
16	180	C5 _{B4C} -1000	5	48-60s	0,0028	51,0568
17	180	C5 _{B4C} -1000	15	72-90s	0,0032	49,8970
18	180	C5 _{B4C} -1000	25	24-30s	0,0043	47,3306

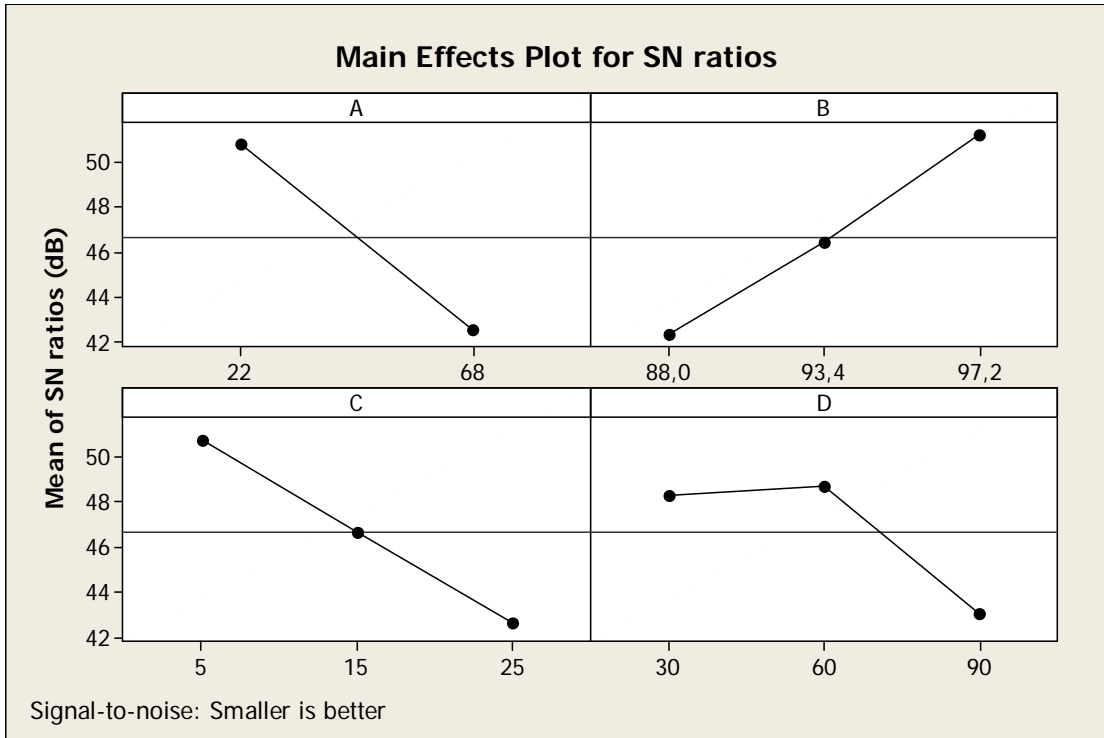
Tablo 6.9 : 900°C 'de sinterlenip abrasiv aşınma deneyi uygulanmış numuneler için ana etki parametrelerini gösteren grafikler.



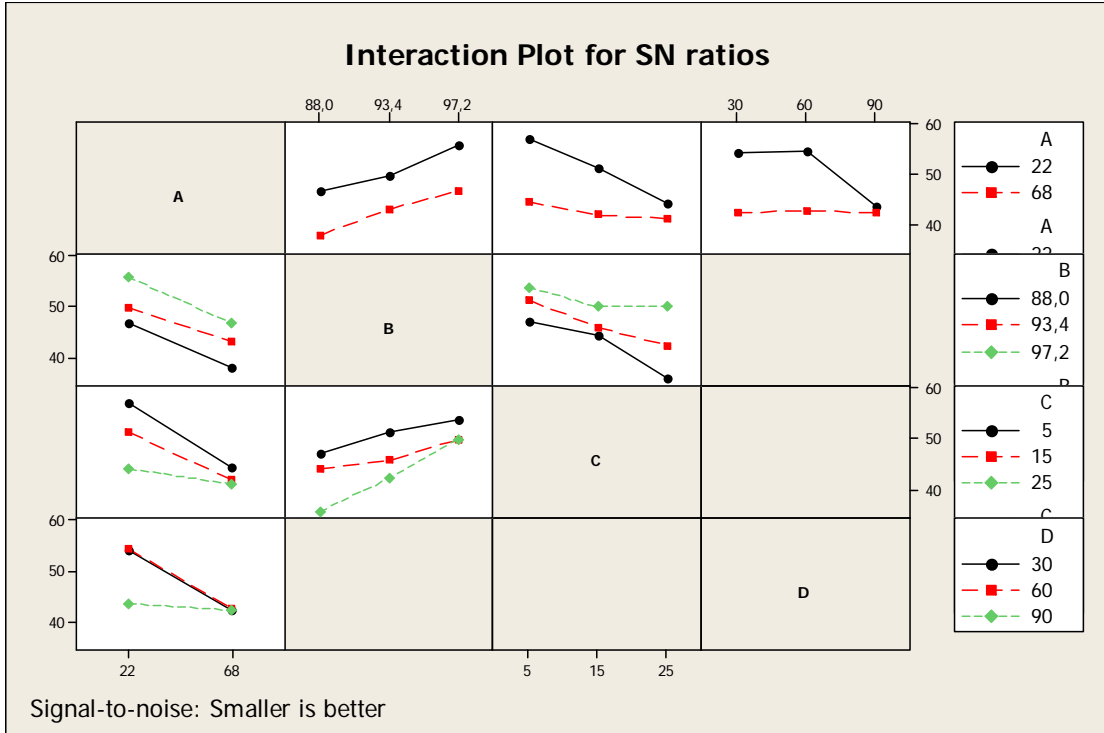
Tablo 6.10 : 900°C 'de sinterlenip abrasiv aşınma deneyi uygulanmış numuneler için değişken etkileşimlerini gösteren grafikler.



Tablo 6.11 : 900°C 'de sinterlenip abrasiv aşınma deneyi uygulanmış numunelerin SN oranları için ana etki parametrelerini gösteren grafikler.



Tablo 6.12 : 900°C 'de sinterlenip abrasiv aşınma deneyi uygulanmış numunelerin SN oranları için etkileşimlerini gösteren grafikler.



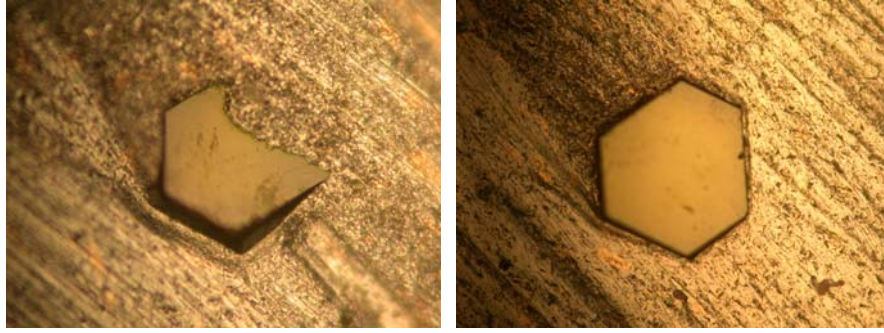
Abrasiv aşınma deneyi verileri incelendiğinde, matriks yapı içerisindeki kobaltın artmasıyla beraber soketteki aşınma sonrası kütle kaybının azaldığı görülmüştür. Sinterleme koşulları ve bor karbür takviyesi göz önüne alındığında sıcaklık 800 °C'den 1000 °C'ye doğru arttığında aşınma kaybının azaldığı ve aşınma direncinin bor karbür katkıli soketlerin katkısızlara göre daha az olduğu görülmüştür. Aşınmanın azalmasının temel nedeni kobaltın artmasıyla beraber matriksdeki sertliğin artışı olarak tespit edilmiştir. Kullanılan zımpara çeşidine göre 400 mesh'lik zımparada meydana gelen aşınma kaybı 180 mesh'lik zımparaya göre daha az olmuştur. 180 mesh'lik zımparadaki tane boyutunun daha iri olmasından kaynaklı aşınma çok daha fazladır. Aşınmış numuneler incelendiğinde % 55 Co - % 35 Fe içeren soketlerin % 15 Co - % 75 Fe içeren numunelere oranla daha az aşındığı ve % 55 Co - % 35 Fe içeren bor karbür katkıli soketlerde diğer soketlere göre daha az aşınma kaybı yaşandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca uygulanan taguchi metoduyla etkileşim grafikleri ve ana değişken parametreleri her bir sıcaklık için ayrı ayrı çizilmiş, 900°C'deki grafiklere bakıldığında en etkili parametrenin malzemenin sertliği ve cinsi olduğu görülmüştür.

6.6 Optik Mikroskop İle Mikroyapı İncelemeleri

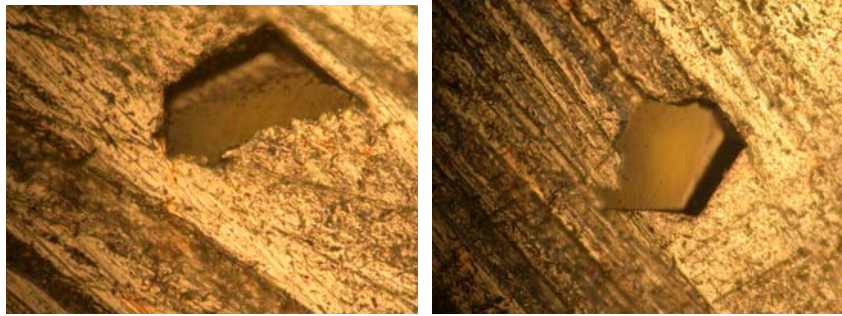
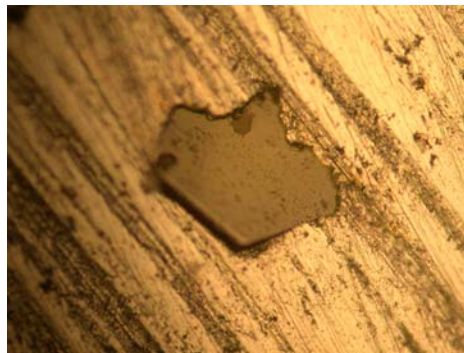
Deney numunelerinin sinterleme işlemi sonrası mikro yapılarını belirlemek amacıyla metalografik muayene yapılmıştır. Bunun için numuneler sırasıyla 180 meshden 1200 meshe kadar zımparaya tabi tutularak yüzeyleri temizlenmiş, sonrasında 6 μ ve 1 μ 'luk elmas pasta ile yüzeyleri parlatılıp hazırlanan amonyum persülfat (10 g $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ + 90 ml damıtık su) çözeltisi ile dağlanmıştır. Mikro yapı analizleri Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarındaki optik mikroskop cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.24). Amonyum persülfat ayırıcı ile yapılan dağlama sonrasındaki ışık mikroskobu görüntüsü renkli olarak verilmiştir. Açık kahve renkli faz bronzdur. Açık gri renkli bölge ana matrix cobalt ve kısmen daha açık olan gri kısımlar Fe fazının olduğu bölgedir.



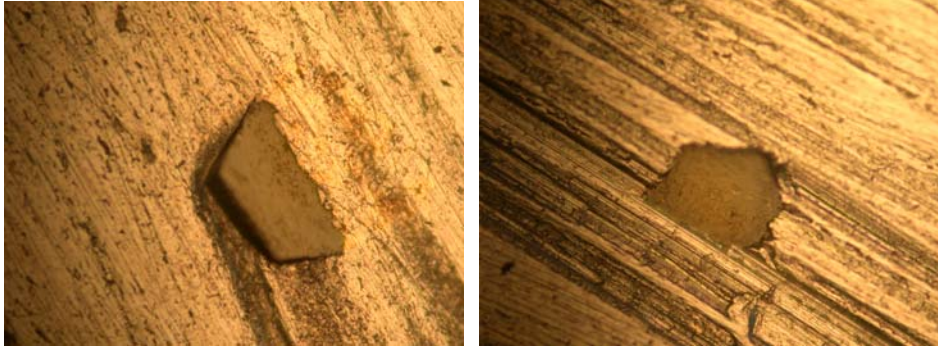
Şekil 6.24 : Nikon Eclipse L150 optik mikroskobun görünümü.

(a) C_1 (20 x)(b) C_3 (20 x)(c) C_5 (20 x)

Şekil 6.25: 800°C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmamış mikroyapı fotoğrafları.

(a) C_1 (20 x)(b) C_3 (20 x)(c) C_5 (20 x)

Şekil 6.26: 900°C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmamış mikroyapı fotoğrafları.



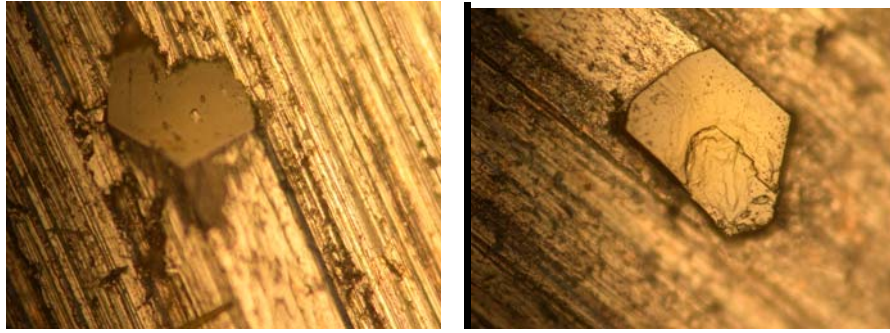
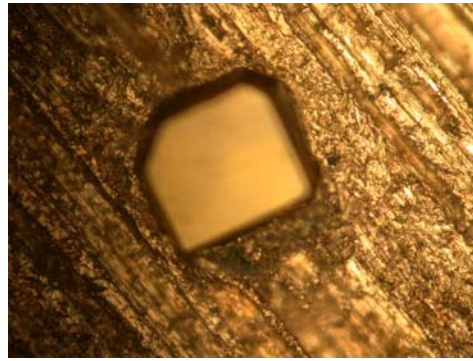
(a) C₁ (20 x)

(b) C₃ (20 x)

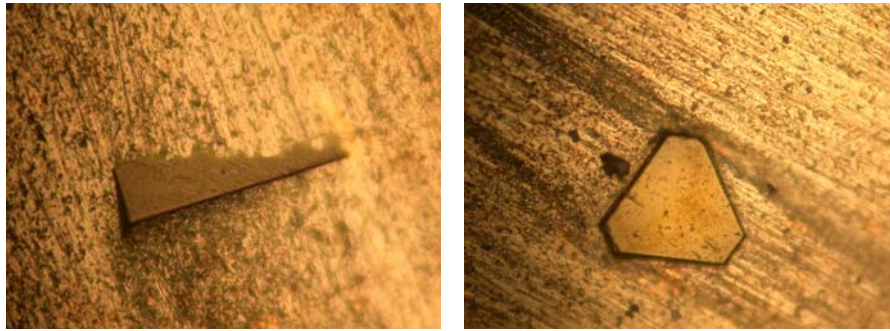


(c) C₅ (20 x)

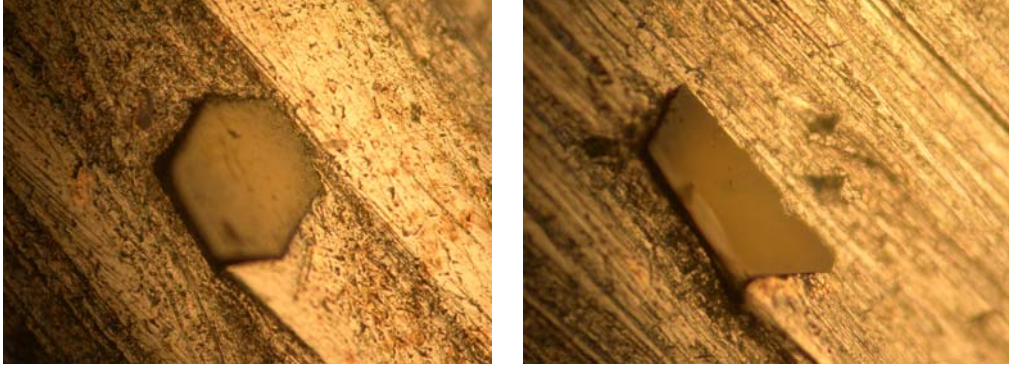
Şekil 6.27: 1000°C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmamış mikroyapı fotoğrafları.

(a) C₁B₄C (20 x)(b) C₃B₄C (20 x)(c) C₅B₄C (20 x)

Şekil 6.28: 800°C'de sinterlenmiş bor karbür katkılı (B₄C)elmas soketlerin dağlanmamış mikroyapı fotoğrafları.

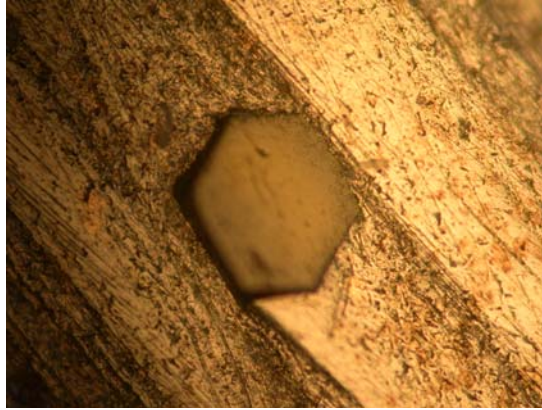
(a) C₁B₄C (20 x)(b) C₃B₄C (20 x)(c) C₅B₄C (20 x)

Şekil 6.29: 900°C’de sinterlenmiş bor karbür katkılı (B_4C)elmas soketlerin dağlanmamış mikroyapı fotoğrafları.



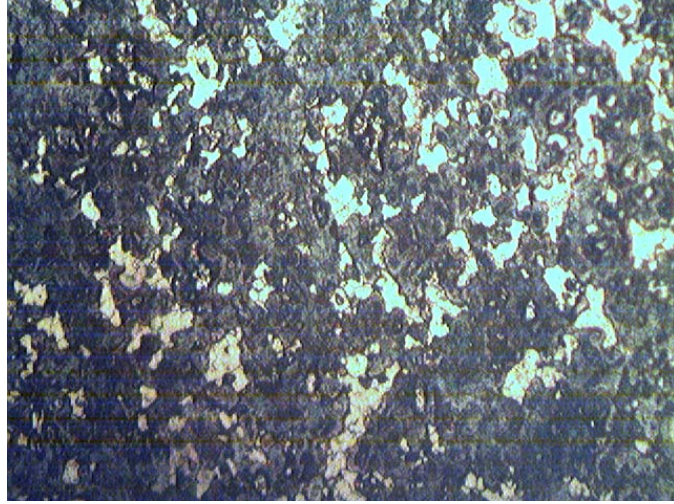
(a) $C_1 B_4C$ (20 x)

(b) $C_3 B_4C$ (20 x)

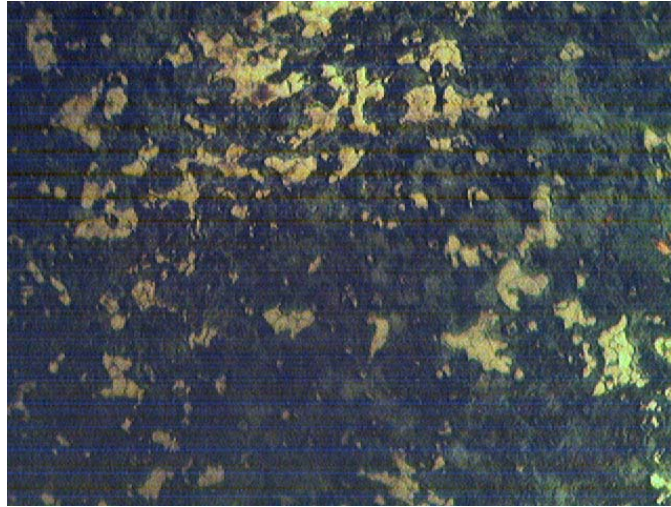


(c) $C_5 B_4C$ (20 x)

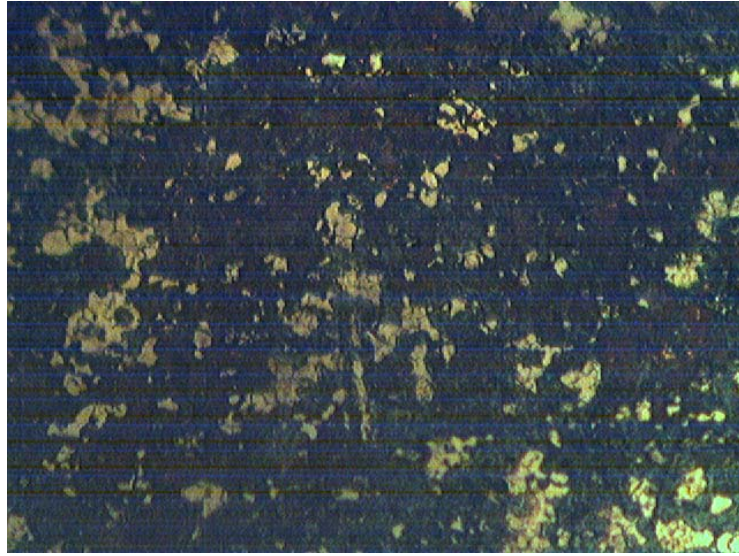
Şekil 6.30: 1000°C’de sinterlenmiş bor karbür katkılı (B_4C)elmas soketlerin dağlanmamış mikroyapı fotoğrafları.

(a) C₅ (40X)

Şekil 6.31: 1000°C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmış mikroyapı fotoğrafı. (dağlama ayıracı, amonyum persülfat) Açık kahve renk bronz, açık gri renkli bölge ana matrix cobalt ve kısmen daha açık olan gri kısımlar Fe fazının olduğu bölgedir.

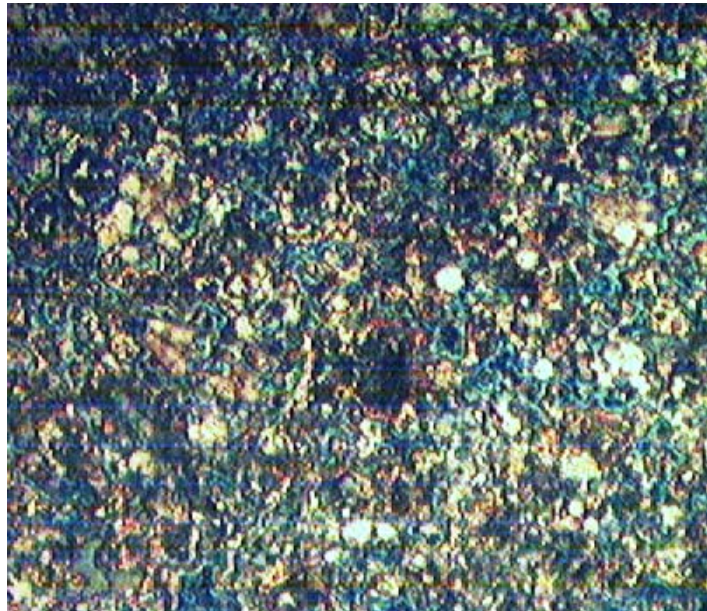
(a) C₅ (40X)

Şekil 6.32: 1000°C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmış bir başka mikroyapı fotoğrafı. (dağlama ayıracı, amonyum persülfat). Açık gri renkli bölge cobalt, kahverengi sarıya dönük bölge bronz ve nispeten daha koyu olan gri bölge demir fazıdır. Co ve Fe tozlar arasında iyi bir bağlantı sağlanmış, bronz da ana matrix içerisinde yer yer dağılmıştır.



(a) C₅ (40X)

Şekil 6.33: 1000°C’de sinterlenmiş elmas soketlerin dağlanmış mikroyapı fotoğrafı. (dağlama ayıracı, amonyum persülfat)



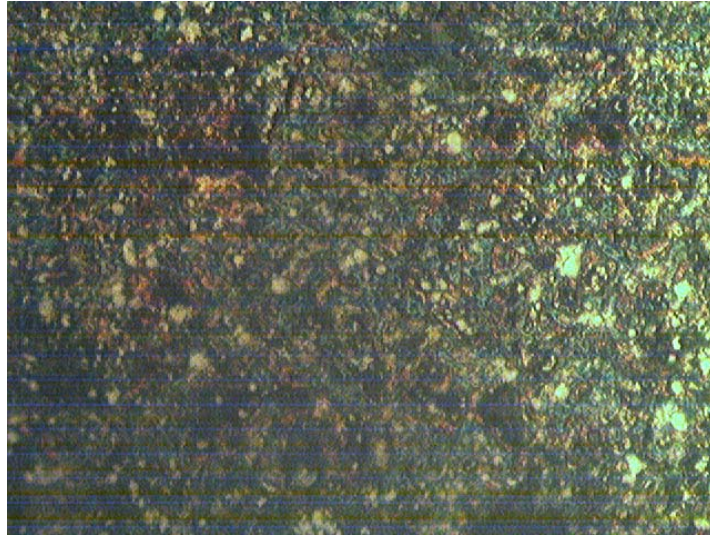
(a) C₅B₄C (40X)

Şekil 6.34: 1000°C’de sinterlenmiş bor karbür katkılı elmas soketlerin dağlanmış mikroyapı fotoğrafı. (dağlama ayıracı, amonyum persülfat)



a) C₅B₄C (10X)

Şekil 6.35: 1000°C’de sinterlenmiş bor karbür katkılı elmas socketlerin dağlanmış mikroyapı fotoğrafları. (dağlama ayıracı, amonyum persülfat). Koyu siyah ve koyu gri bölge ana matrix cobalt ve demir, küçük sarı renkli faz bronzdur.



a) C₅B₄C (40X)

Şekil 6.36: 1000°C’de sinterlenmiş elmas socketlerin dağlanmış mikroyapı fotoğrafları. (dağlama ayıracı, amonyum persülfat). Koyu siyah ve koyu gri bölge ana matrix cobalt ve demir, küçük sarı renkli faz bronzdur. Nispeten küçük yuvarlak koyu bölgelerin B₄C olduğu düşünölmektedir.

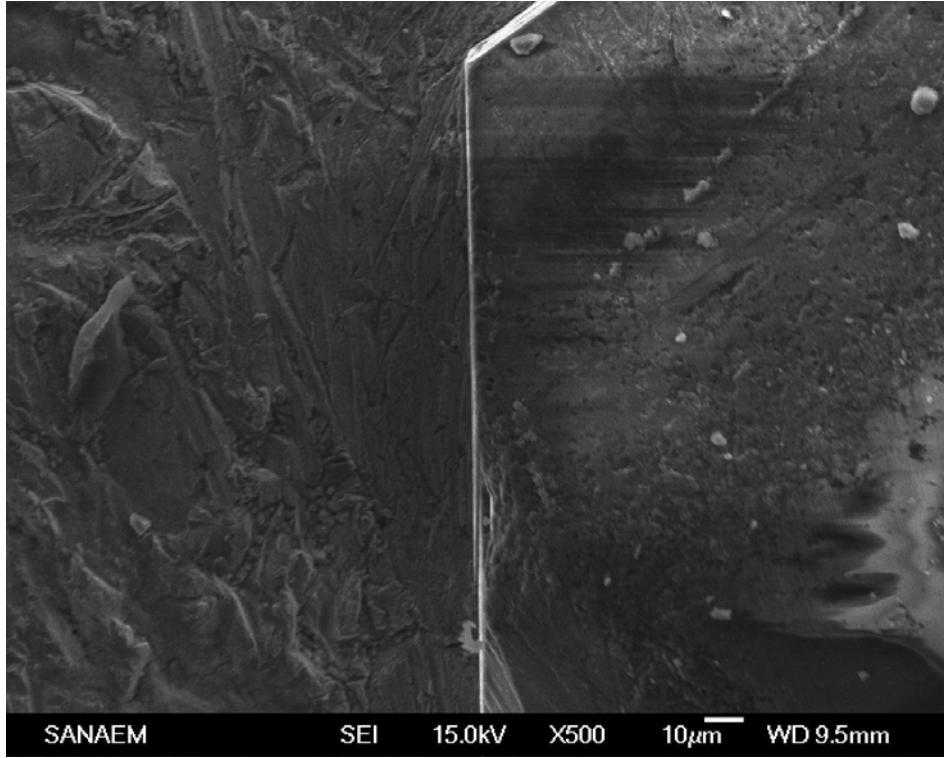
6.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Üretilen elmas soketler içerisindeki elmas dağılımlarının, elmas-matriks ilişkisi ve elmas-matriks ara yüzeylerinin incelenmesi için SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

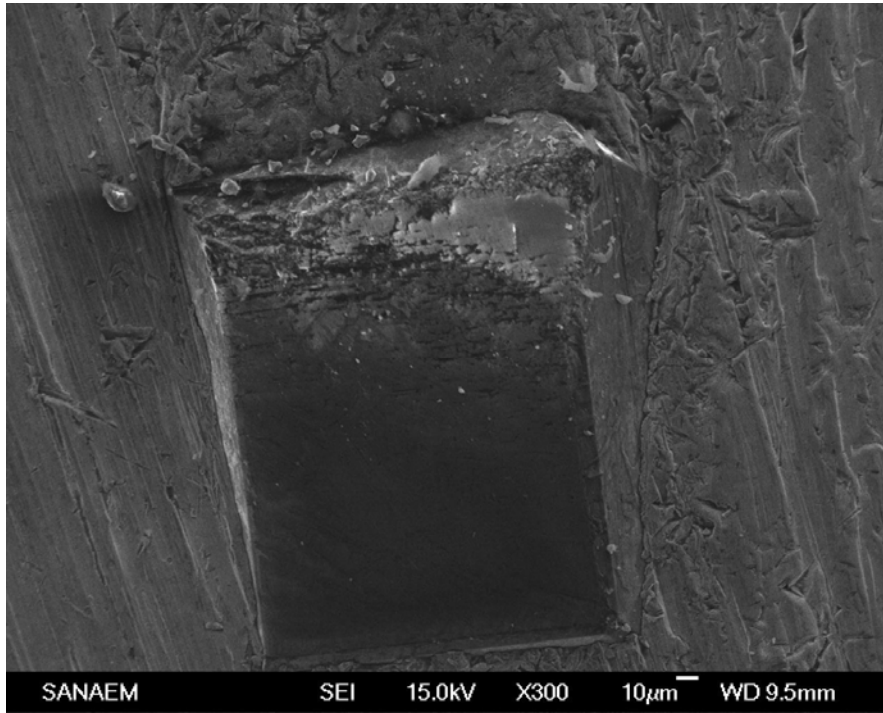
Analizler için Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Malzeme Laboratuvarlarındaki taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.



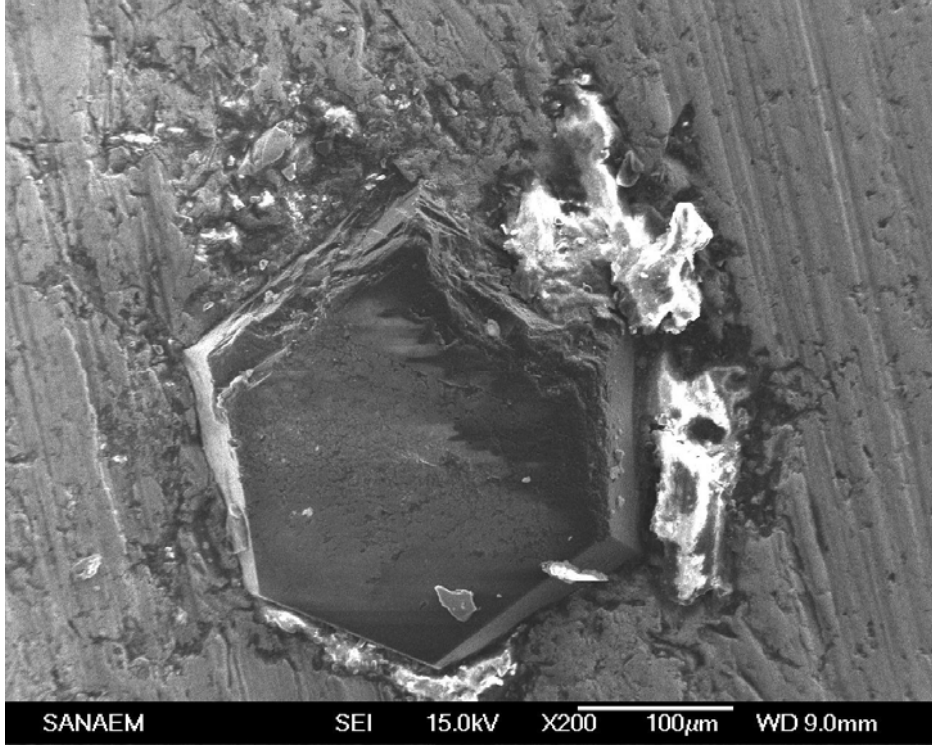
Şekil 6.37: 1.grup soket için (C₅ 800°C) elmas tanesinin SEM görüntüsü.



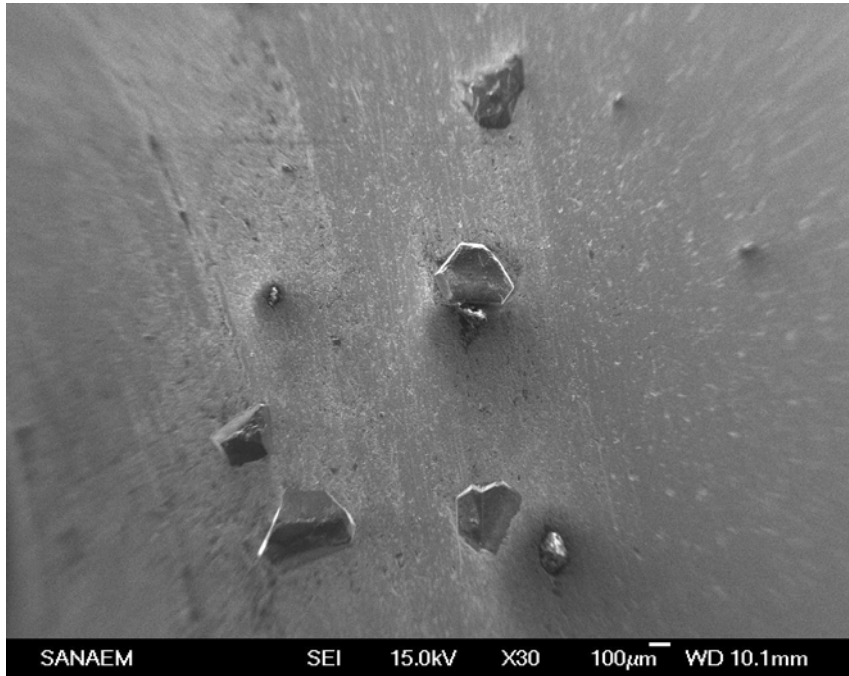
Şekil 6.38: 1.grup soket için (C₅ 800°C), elmas- matriks ara yüzeyin SEM görüntüsü.



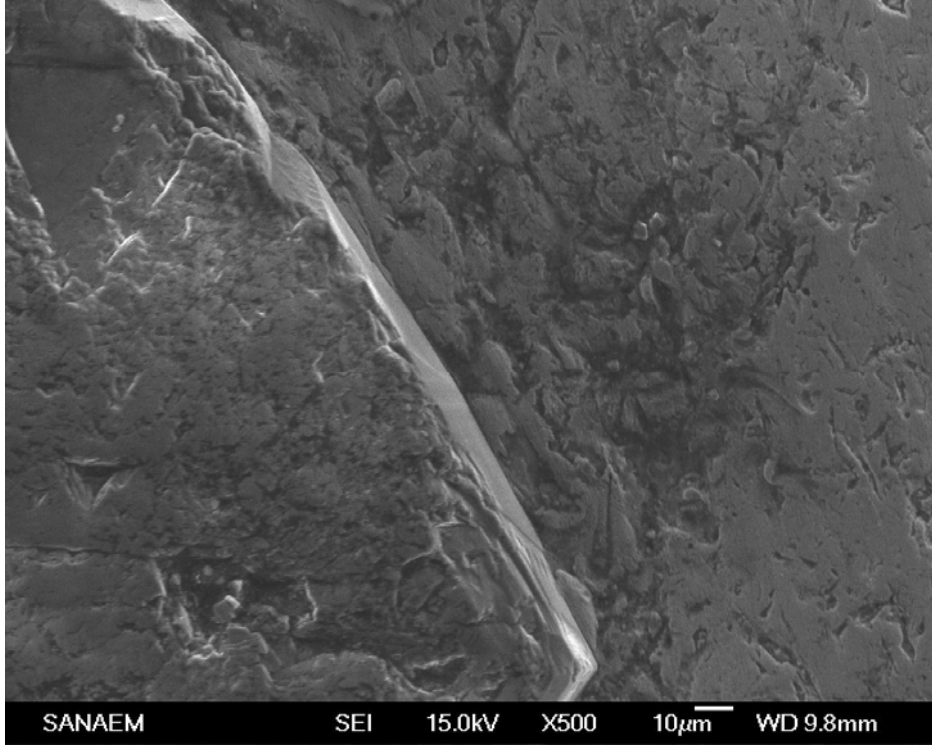
Şekil 6.39: 1.grup soket için (C₅ 800°C), matriks yapıya gömülmüş elmas tanesinin görüntüsü.



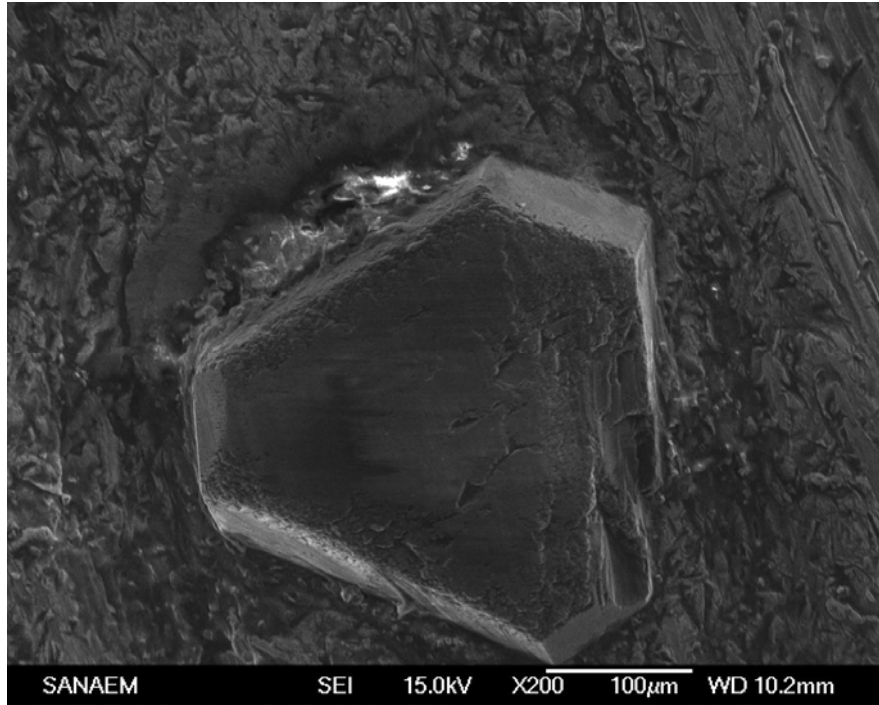
Şekil 6.40: 2.grup soket için ($C_5 B_4C$ 800 °C), elmas-matriks ilişkisinin SEM görüntüsü.



Şekil 6.41: 1.grup soket için (C_5 900°C), matrix yapıya gömülü gruplaşmış elmas tanelerinin SEM görüntüsü.



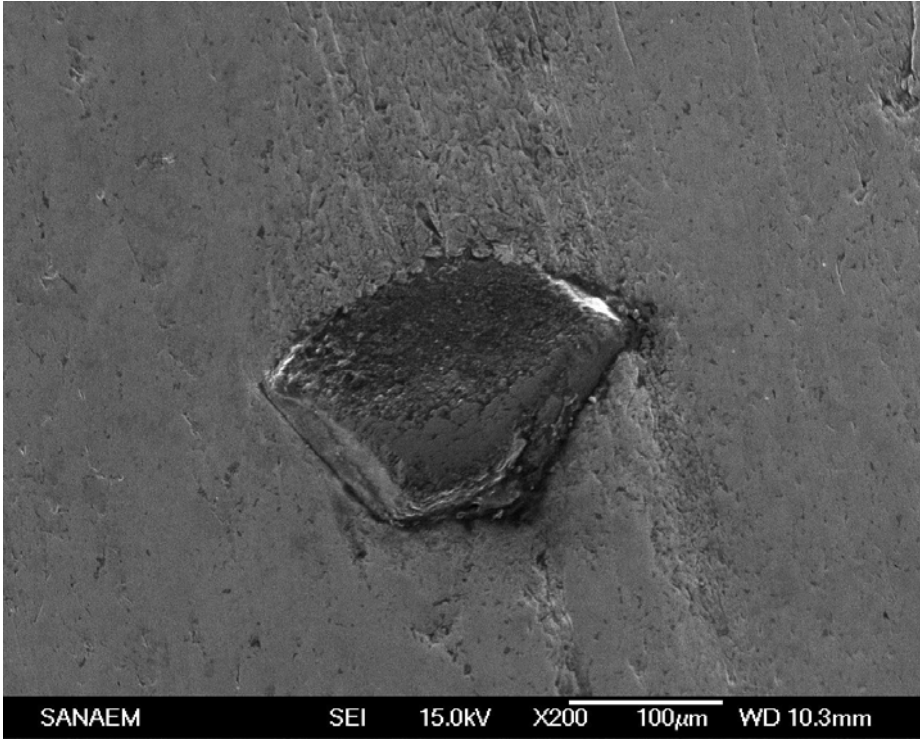
Şekil 6.42: 1.grup soket için (C₅ 900°C), elmas-matriks yapının SEM görüntüsü.



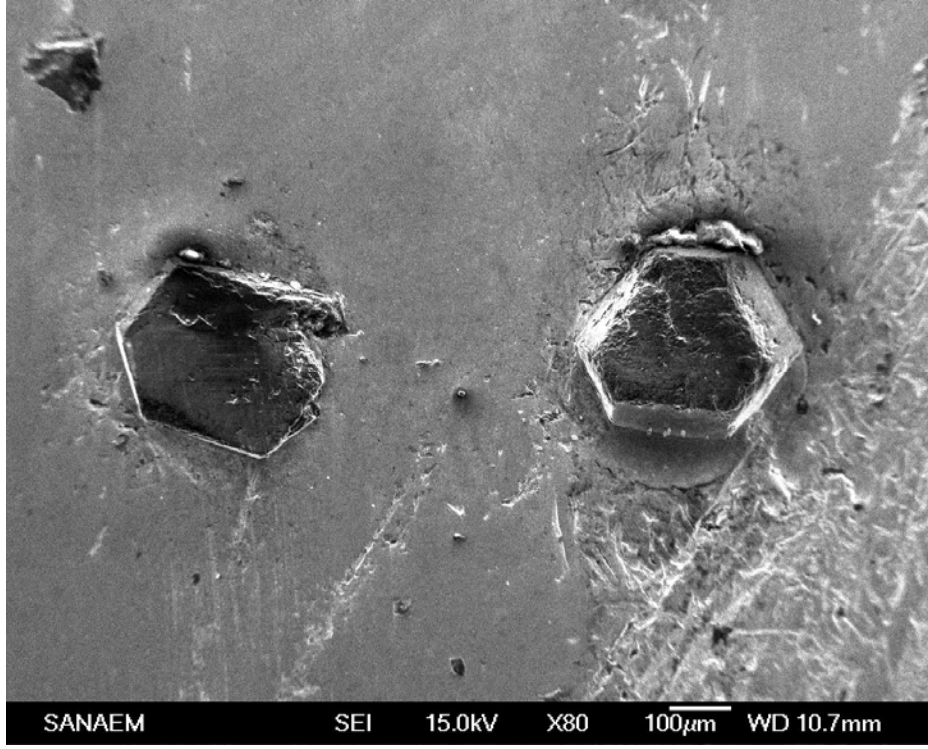
Şekil 6.43: 2.grup soket için (C₅B₄C 900 °C), matrikse tutunmuş elmas tanesinin SEM görüntüsü.



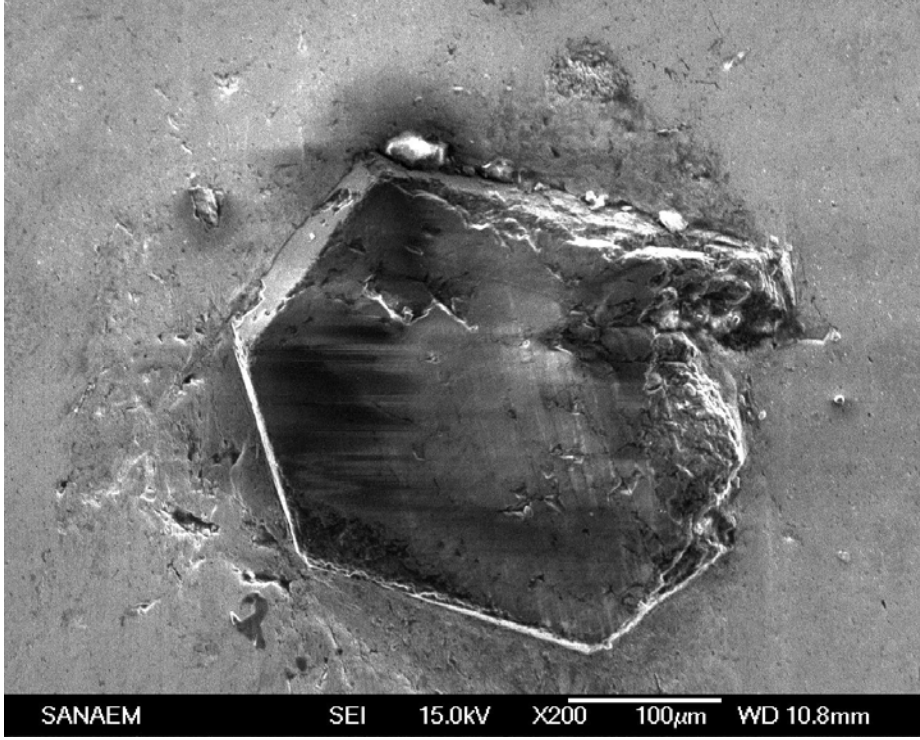
Şekil 6.44: 1.grup soket için (C_5 1000°C), matrikse gömülmüş elmas tanesinin SEM görüntüsü, elmas-matrix ile güçlü bir bağ yapmış.



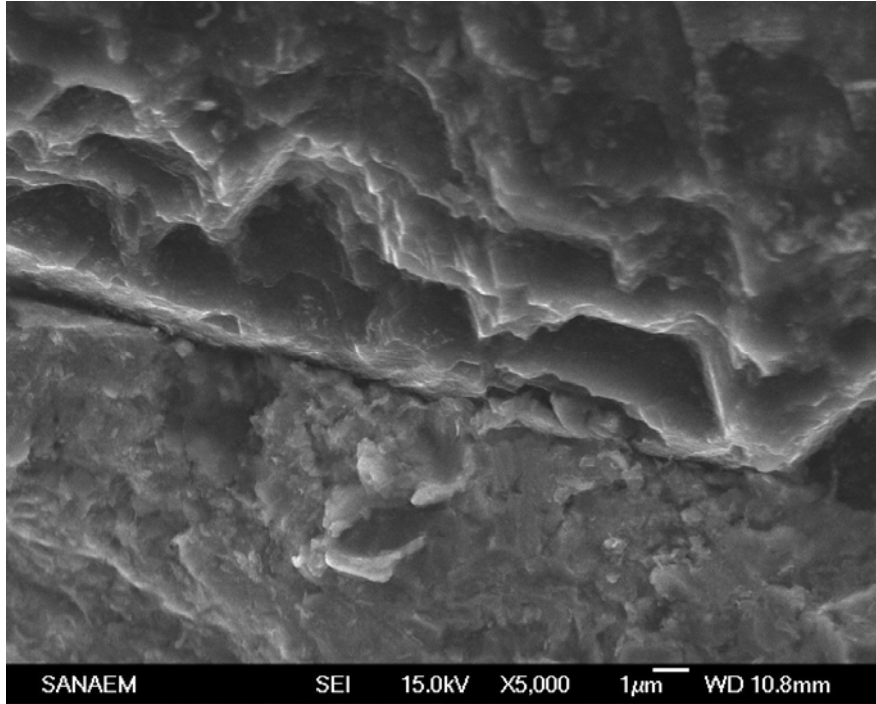
Şekil 6.45: 1.grup soket için (C_5 1000°C), güçlü elmas-matriks ilişkisini gösteren SEM görüntüsü.



Şekil 6.46: 2.grup soket için (C_5B_4C 1000 °C), matrikse gömülmüş 2 tane elmas tanesinin SEM görüntüsü.



Şekil 6.47: 2.grup soket için (C_5B_4C 1000 °C), matrix yapıyla iç içe geçmiş ve gömülmüş elmas tanesinin SEM görüntüsü.



Şekil 6.48: 2.grup soket için (C_5B_4C 1000 °C), yüksek büyütmede elmas ile matrix arasındaki ara yüzeyin SEM görüntüsü. üst taraf elmas tanesi, alt kısım matrix yapı.

6.8 Noktasal Analiz (EDS) Ölçümleri

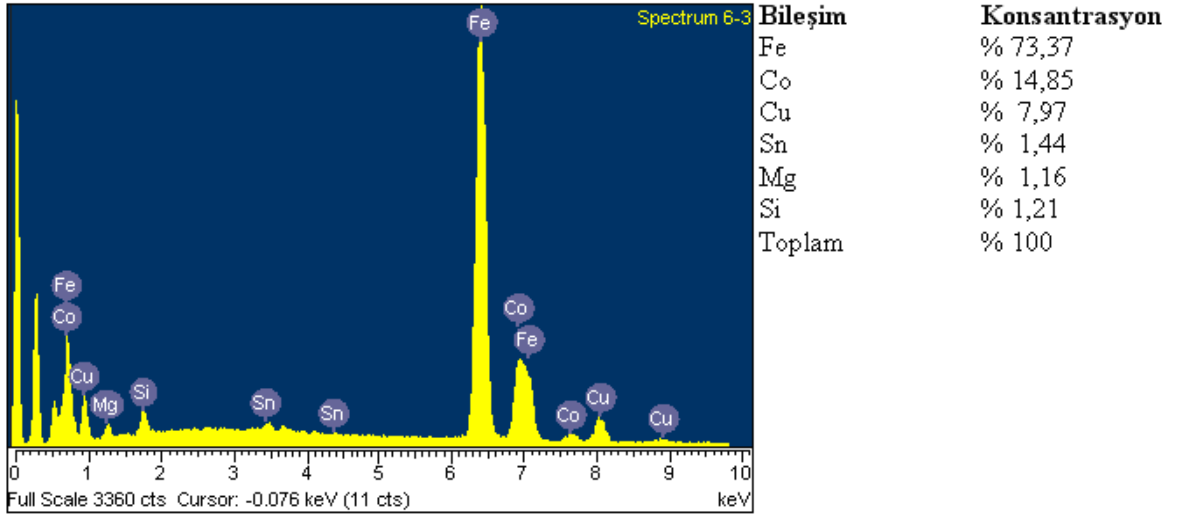
Elmas soketlerin malzemesinin araştırılması ve üretilen elmas soketler içerisindeki kompozisyonların bileşiminin tespiti için EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Elmas soketler analiz öncesinde ultrasonik yöntemle yıkandıktan sonra EDS ünitesi referans Co (kobalt) malzemesi ile kalibre edilmiştir.

Analizler için Bursa Organize Sanayi , Bosch Ticaret A.Ş, Metalografi laboratuvarlarındaki taramalı elektron mikroskobu kullanılarak EDS ölçümleri yapılmıştır.

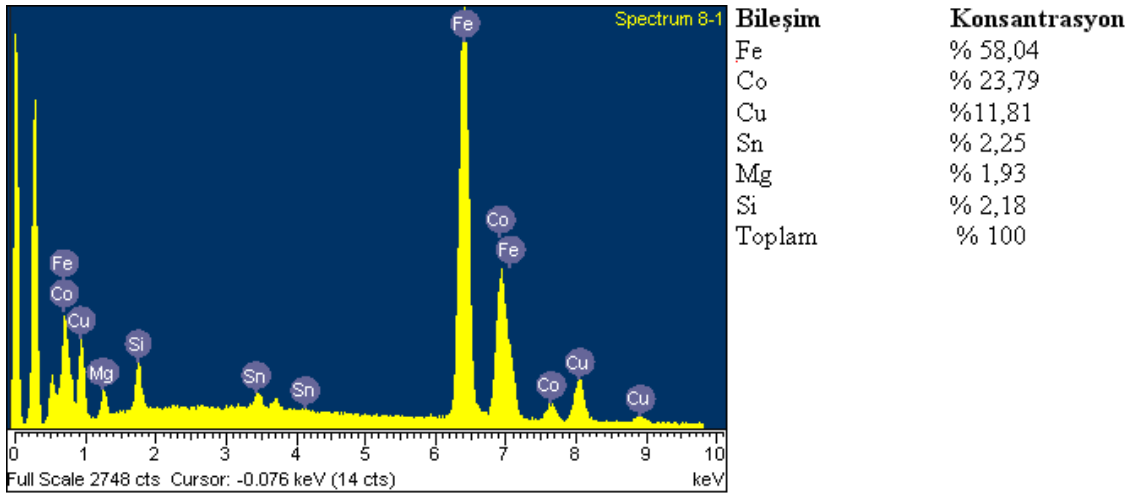
EDS-Analizi aşağıda belirtilen SEM/EDS parametrelerine göre yürütülmüştür.

EHT: 20 kV	WD: 15-30	Spot size: 350-450
Signal: SE or QBSE	Deadtime: 25-35	Livetime: 50 sec

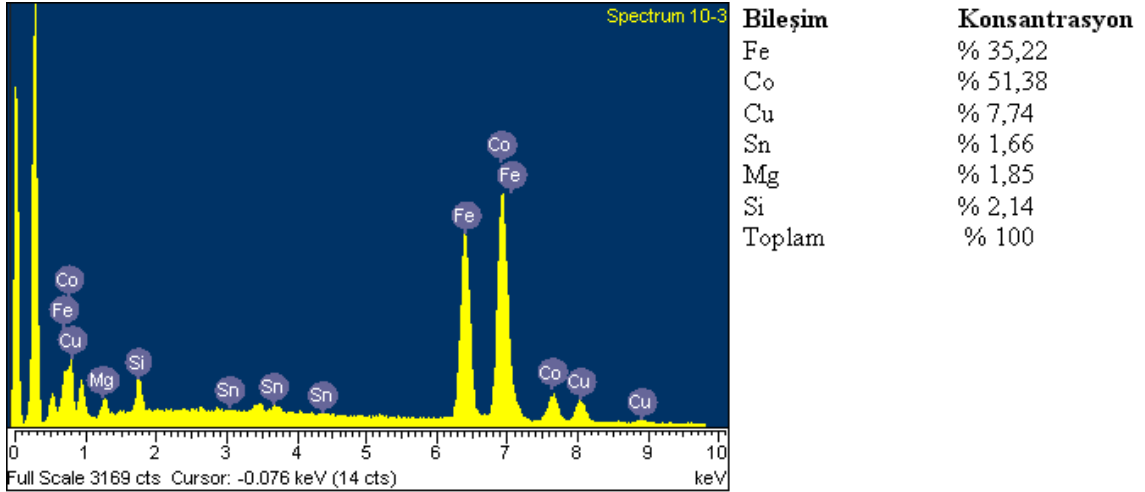
Edx-Analiz sonuçları pik grafikleri Şekil 6.49'dan Şekil 6.66'ya kadar aşağıda verilmiştir. Elde edilen değerlerden C ve O çıkarılmıştır.



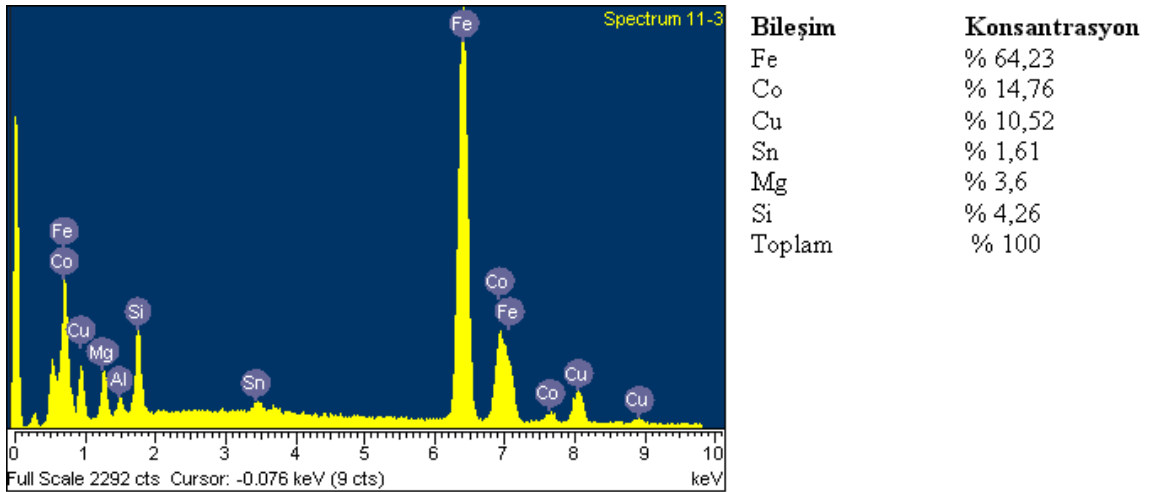
Şekil 6.49: C₁ 800 °C numunesine ait EDS analizi.



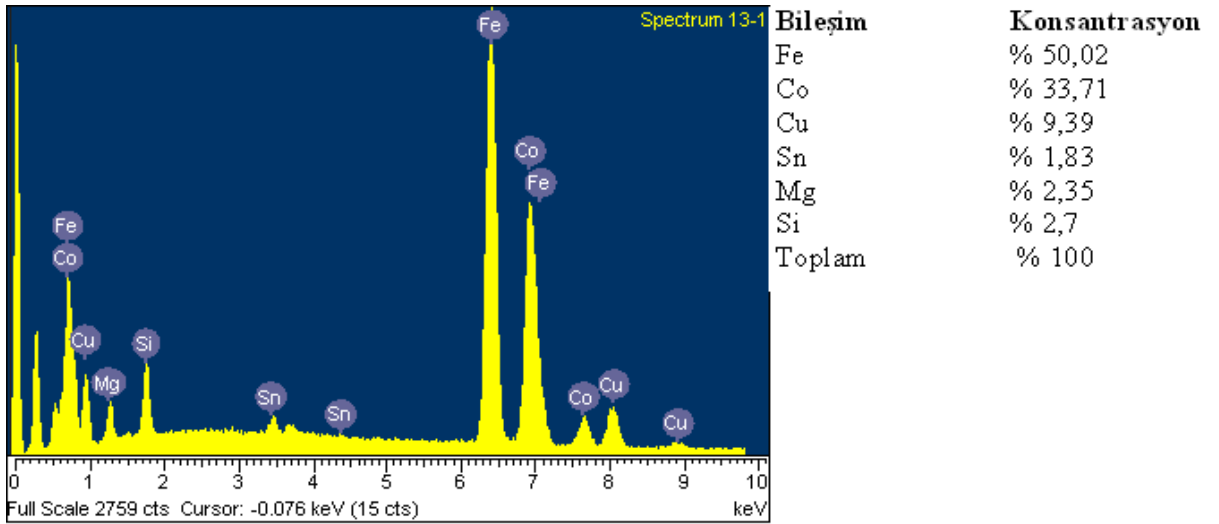
Şekil 6.50: C₃ 800 °C numunesine ait EDS analizi.



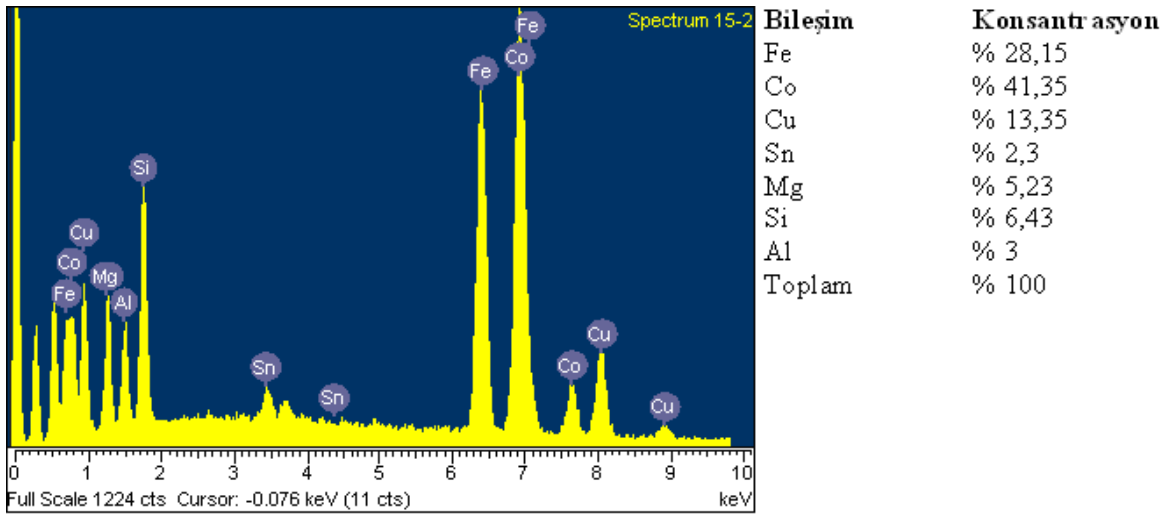
Şekil 6.51: C₅ 800 °C numunesine ait EDS analizi.



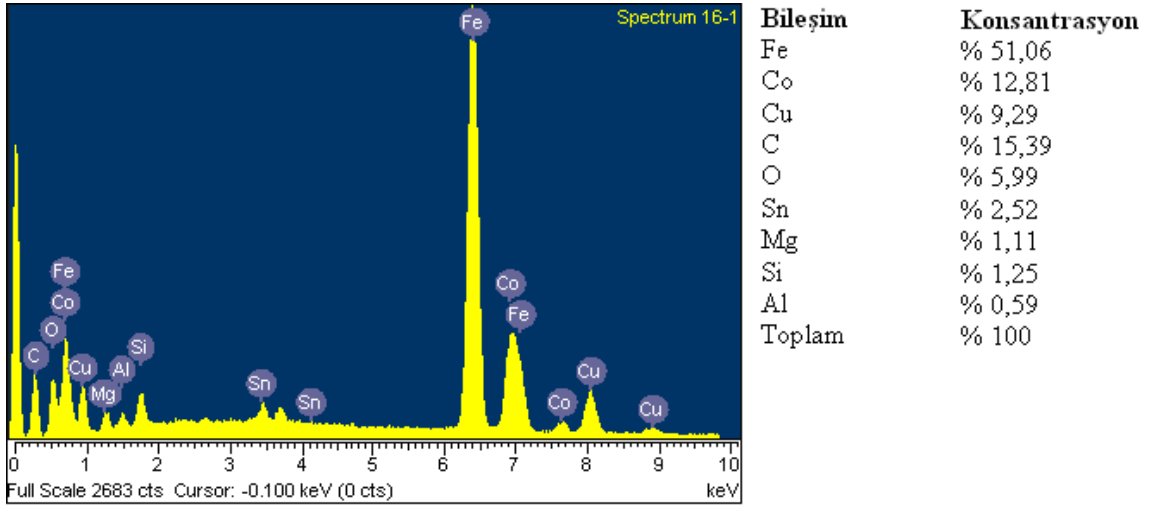
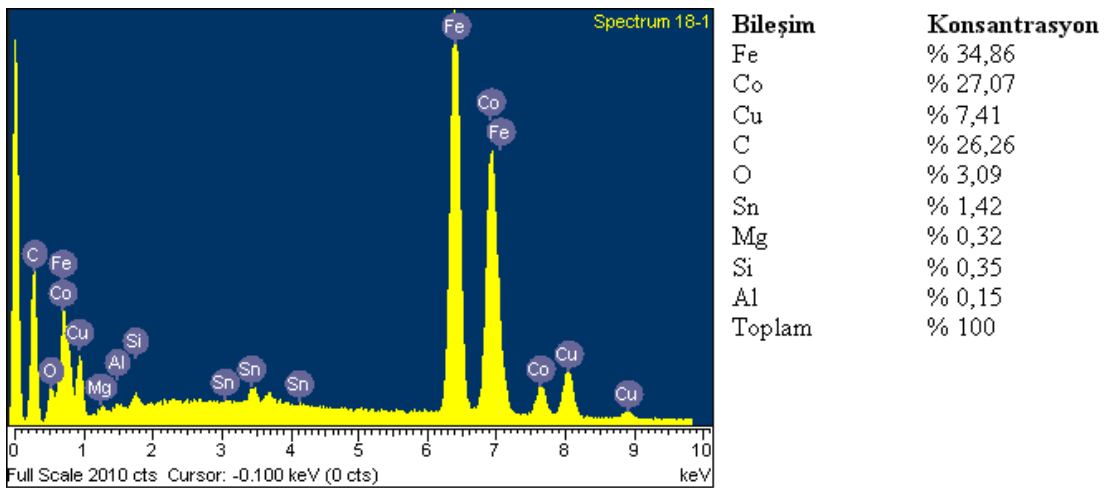
Şekil 6.52: C₁ 900 °C numunesine ait EDS analizi.

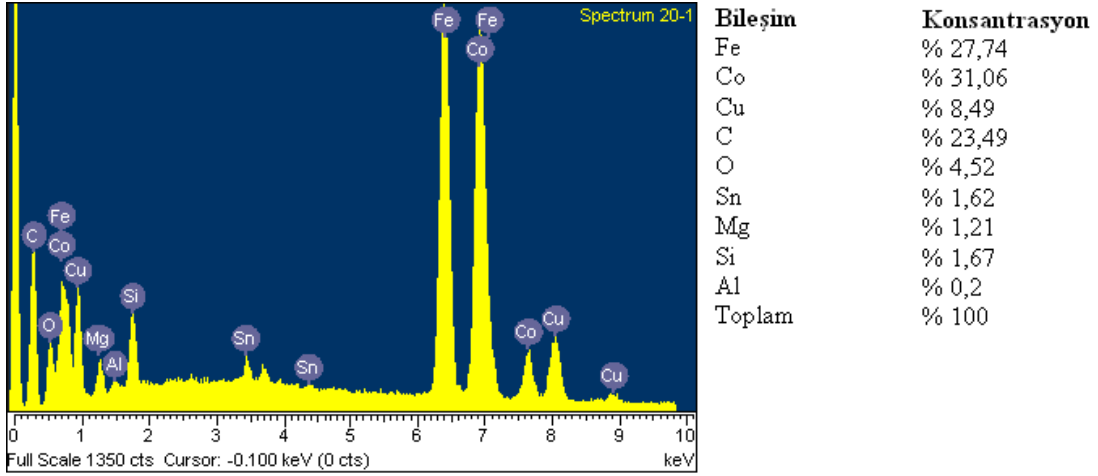


Şekil 6.53: C₃ 900 °C numunesine ait EDS analizi.

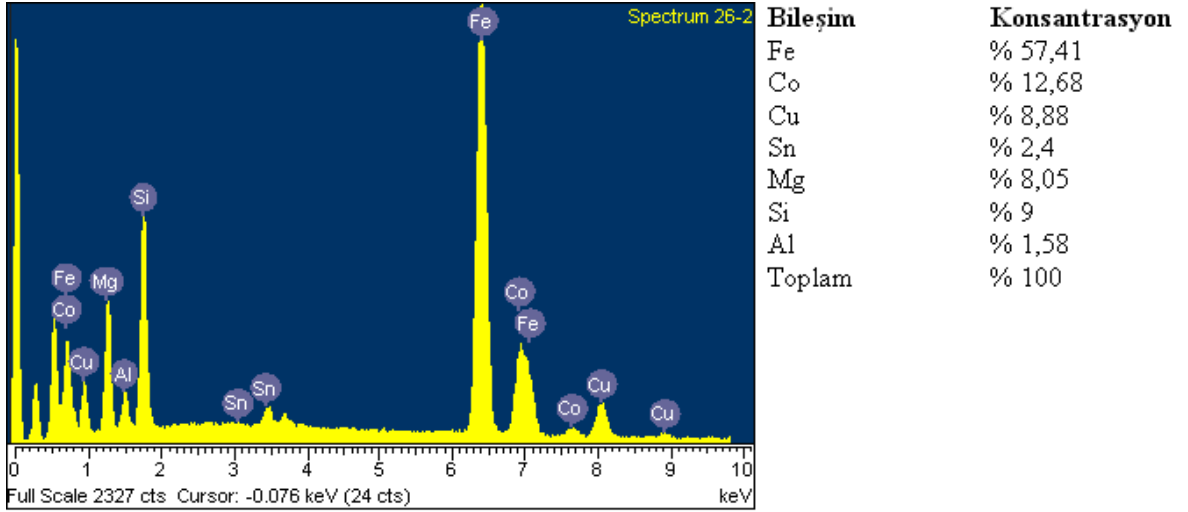


Şekil 6.54: C₅ 900 °C numunesine ait EDS analizi.

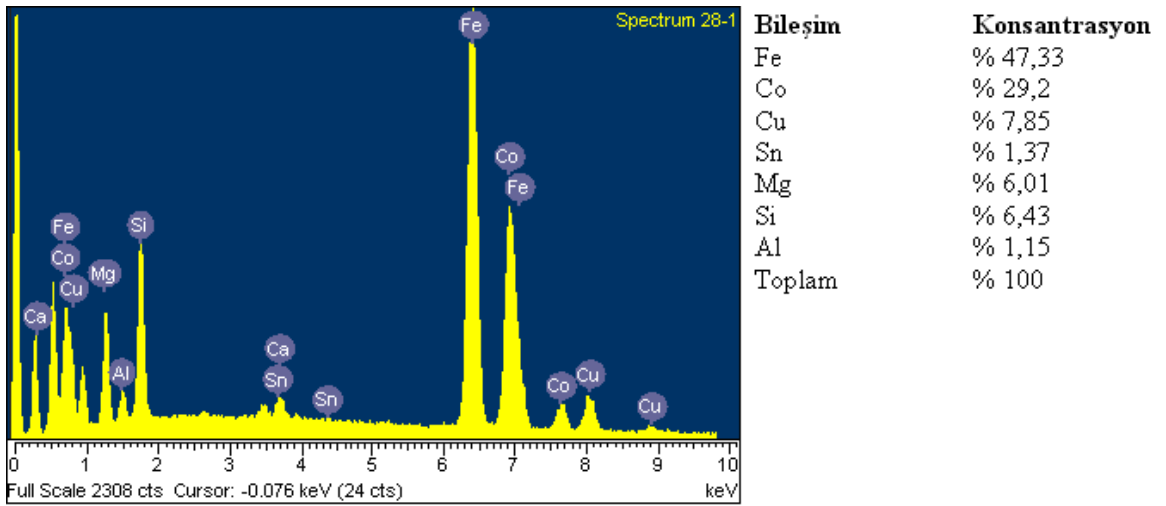
Şekil 6.55: C₁ 1000 °C numunesine ait EDS analizi.Şekil 6.56: C₃ 1000 °C numunesine ait EDS analizi.



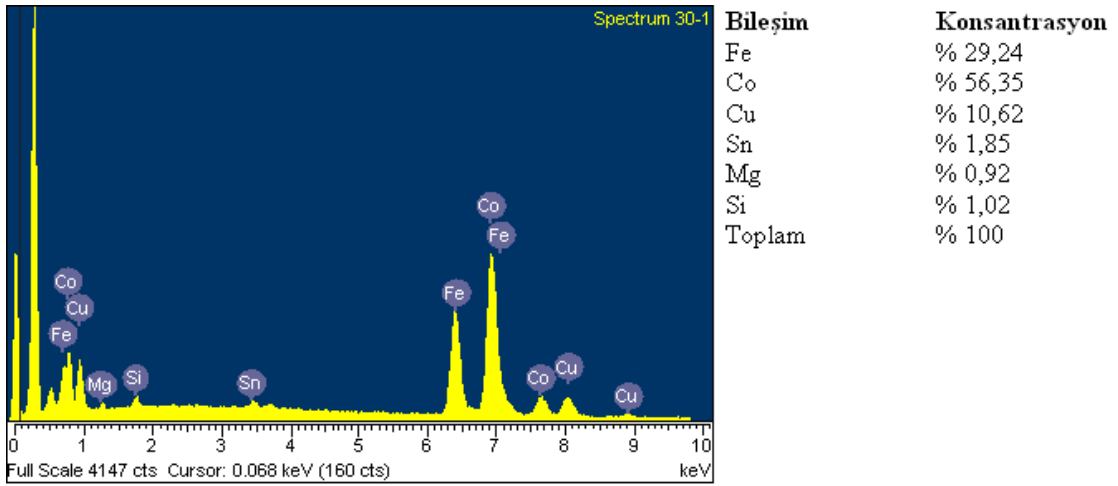
Şekil 6.57: C₅ 1000 °C numunesine ait EDS analizi.



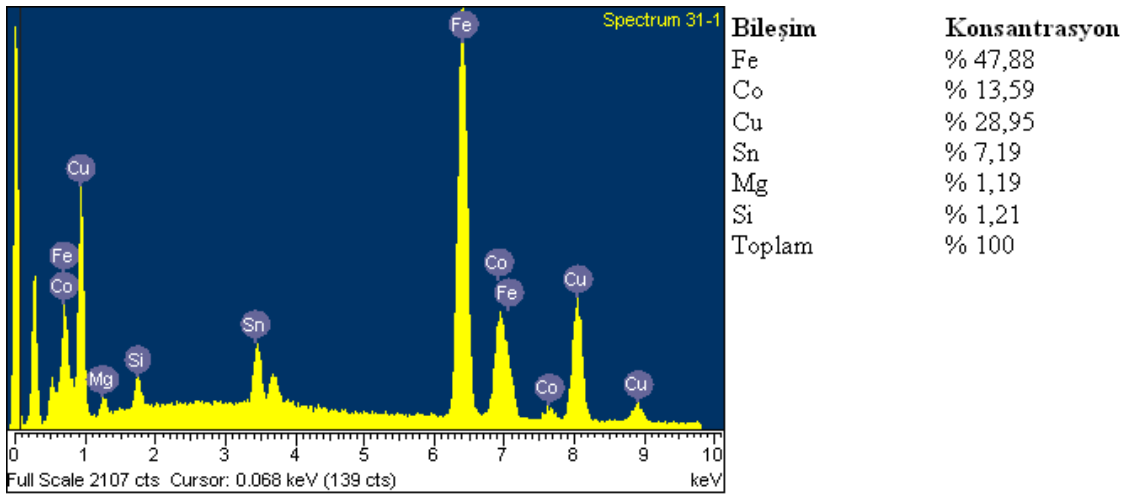
Şekil 6.58: C_1B_4C 800 °C numunesine ait EDS analizi.



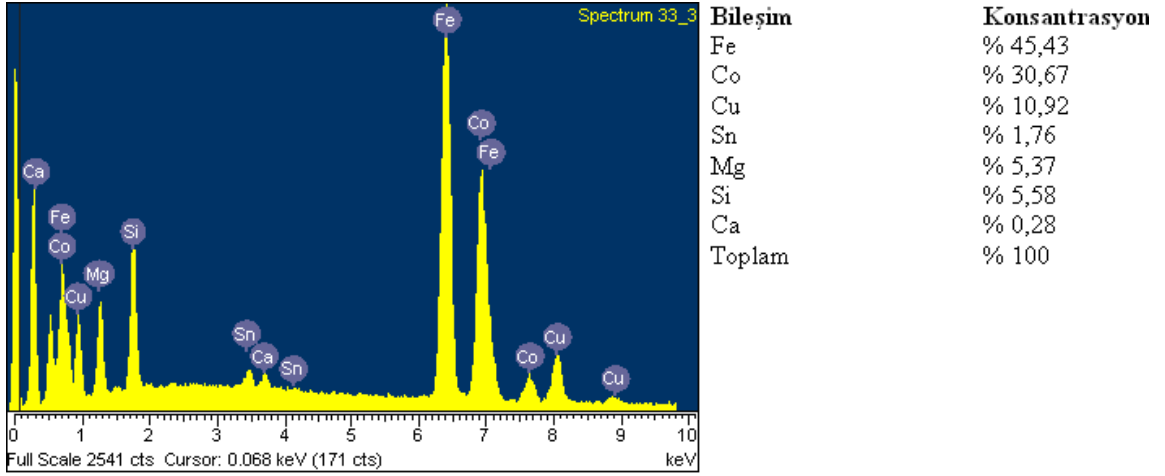
Şekil 6.59: C_3B_4C 800 °C numunesine ait EDS analizi.



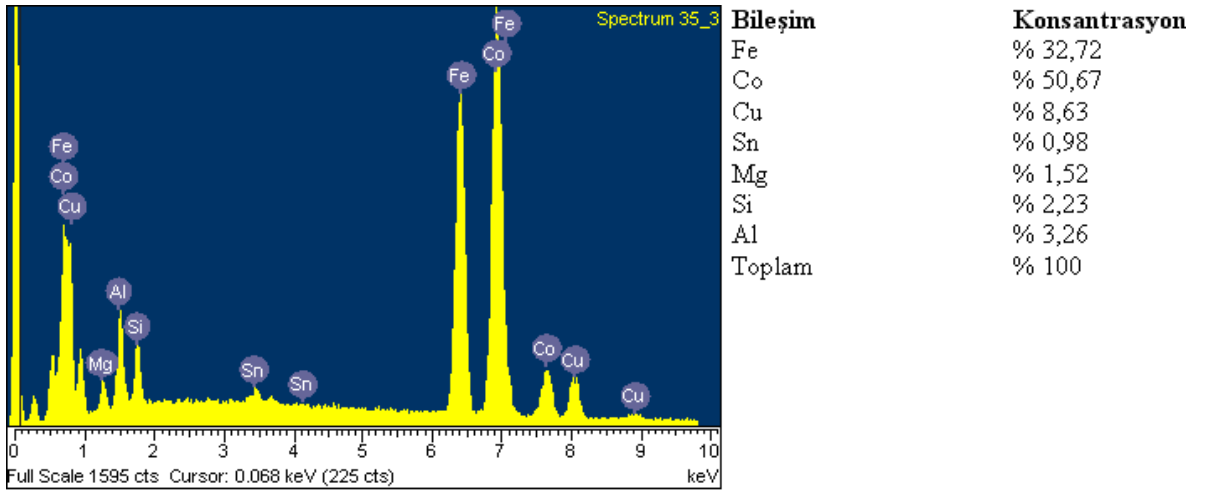
Şekil 6.60: C_5B_4C 800 °C numunesine ait EDS analizi.



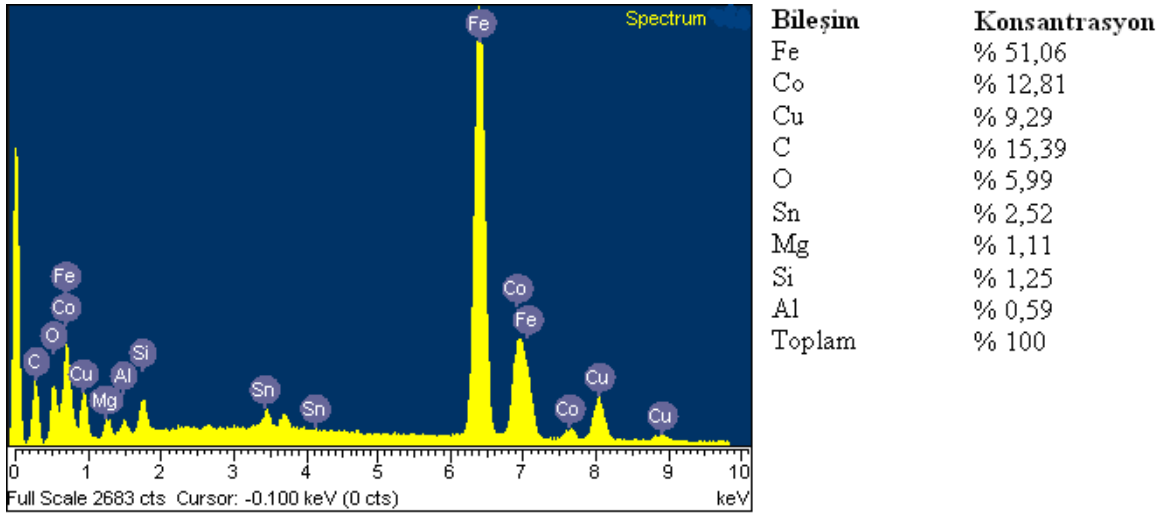
Şekil 6.61: C_1B_4C 900 °C numunesine ait EDS analizi.



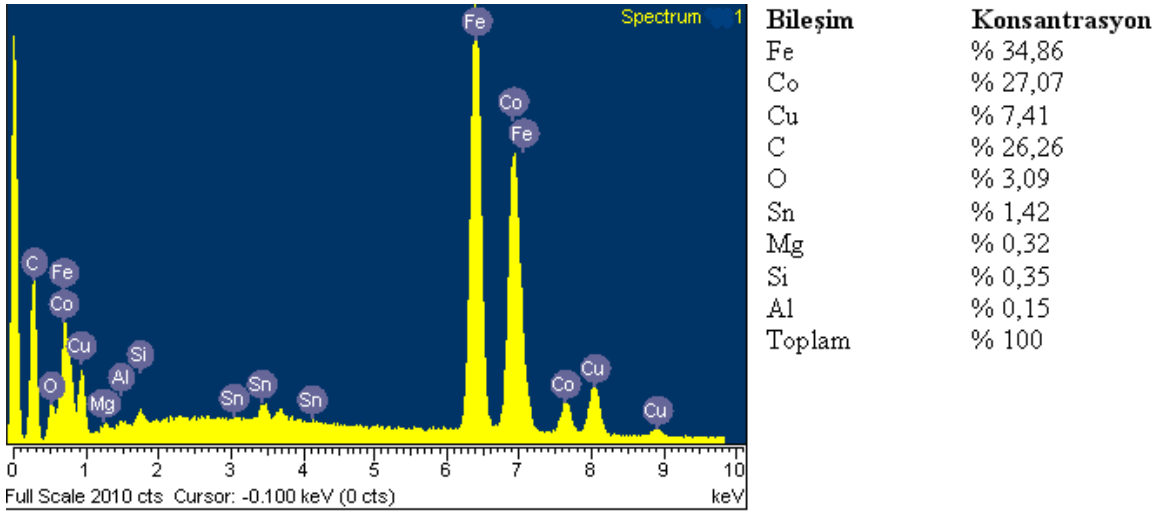
Şekil 6.62: C_3B_4C 900 °C numunesine ait EDS analizi.



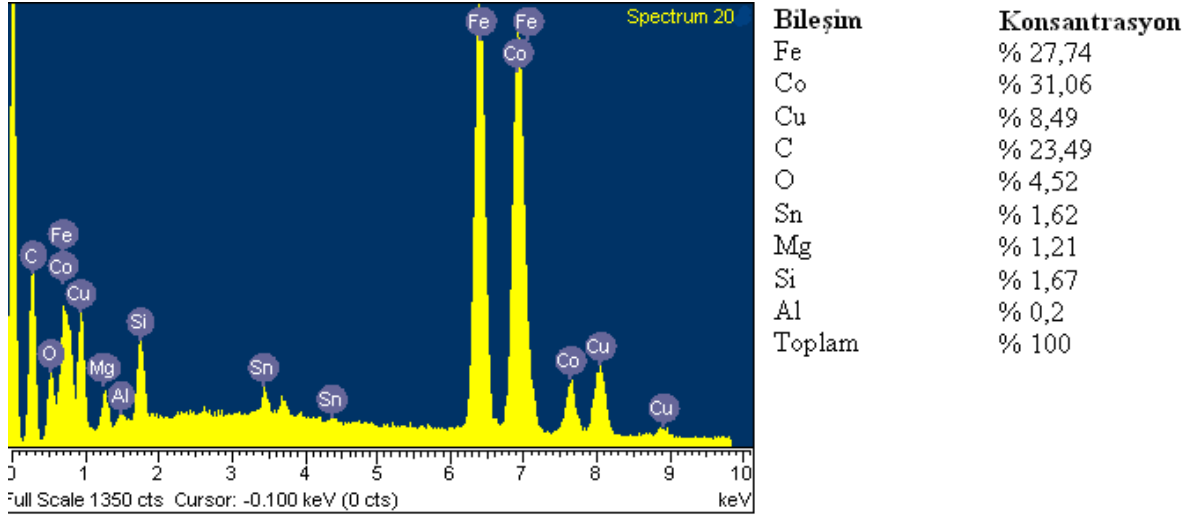
Şekil 6.63: C_5B_4C 900 °C numunesine ait EDS analizi.



Şekil 6.64: C_{1B4C} 1000 °C numunesine ait EDS analizi.



Şekil 6.65: C_{3B4C} 1000 °C numunesine ait EDS analizi.



Şekil 6.66: C_5B_4C 1000 °C numunesine ait EDS analizi.

7. SONUÇLAR

Toz metalurjisiyle üretilen elmas soket matriks içerisindeki Fe-Co oranlarını değiştirmek ve B₄C ilavesi suretiyle yapılan deneysel çalışmanın sonuçları aşağıda belirtildiği gibidir.

1-) Elmas soket matriksindeki Fe-Co ve B₄C oran değişiminin soketin özellikleri üzerinde direk olarak etkisi olduğu saptanmıştır.

2-) Elde edilen mikro sertlik verilerine göre elmas soket matriksindeki Co oranının artışının ve buna bağlı olarak Fe oranının düşüşünün elmas soketin sertliğini arttırdığı görülmüştür.

3-) Üretilen elmas soket matriksine B₄C ilavesinin elmas soketin sertliğini arttırdığı tespit edilmiştir.

4-) Üretilen elmas soketlerin mikrosertlik ölçümlerinde sinterleme sıcaklığına bağlı olarak belirgin bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

5-) 800°C'de sinterlenen elmas soketlerin 900°C ve 1000°C'de sinterlenenlere göre mikro sertlik değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. 1000°C'de sinterlenen ve Fe oranı % 45 den az Co oranı % 45 den fazla olan soketlerin mikro sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

6-) 800°C'de sinterlenen B₄C katkılı soketlerin 900°C ve 1000°C'de sinterlenen B₄C katkılı soketlere göre mikro sertlik değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. 1000°C'de sinterlenen ve Fe oranı % 45 den az Co oranı % 45 den fazla olan B₄C katkılı soketlerin mikro sertlik değerlerinin çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

7-) Üretimi gerçekleştiren elmas soketlerden en iyi sertlik değeri, B₄C katkılı 1000°C'de sinterlenen Fe oranı % 45'den az Co oranı % 45'den fazla olan soketlerde tespit edilmiştir.

8-) Ortalama makro-sertlik sonuçlarına bakıldığında demir miktarının artmasıyla matriksde sertliğin bir miktar düştüğü fakat kobalt miktarının artması ile sertlik değerlerinde bir artış meydana geldiği ve bor karbür takviyeli (B₄C) elmas soketlerin sertlik değerlerinin takviyesizlere göre daha sert olduğu görülmüştür.

9-) Adhesiv aşınma deneyi verileri incelendiğinde, matriks yapı içerisindeki kobaltın artmasıyla beraber soketteki aşınma sonrası kütle kaybının azaldığı görülmüştür.

10-) Sinterleme koşulları ve bor karbür takviyesi göz önüne alındığında sıcaklık 800 °C'den 1000 °C'ye doğru arttığında aşınma kaybının azaldığı ve aşınma direncinin bor karbür katkılı soketlerin katkısızlara göre daha az olduğu görülmüştür.

11-) Aşınmanın azalmasının temel nedeni kobaltın artmasıyla beraber matriksdeki sertliğin artışı olarak tespit edilmiştir. Aşınmış numuneler incelendiğinde % 55 Co - % 35 Fe içeren soketlerin % 15 Co - % 75 Fe içeren numunelere oranla daha az aşındığı ve % 55 Co - % 35 Fe içeren bor karbür katkılı soketlerde diğer soketlere göre daha az aşınma kaybının ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

12-) Abrasiv aşınma deneyi verileri incelendiğinde, matriks yapı içerisindeki kobaltın artmasıyla beraber soketteki aşınma sonrası kütle kaybının azaldığı görülmüştür.

13-) Abrasive aşınmada kullanılan zımpara çeşidine göre 400 mesh'lik zımparada meydana gelen aşınma kaybı 180 mesh'lik zımparaya göre daha az olmuştur. 180 mesh'lik zımparadaki tane boyutunun daha iri olmasından kaynaklı aşınma çok daha fazladır.

14-) Aşınmış numuneler incelendiğinde % 55 Co - % 35 Fe içeren soketlerin % 15 Co - % 75 Fe içeren numunelere oranla daha az aşındığı ve % 55 Co - % 35 Fe içeren bor karbür katkılı soketlerde diğer soketlere göre daha az aşınma kaybı meydana geldiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Karagöz Ş, Zeren M., “Characterization of Hot Pressing Behavior of Diamond Cutting Tools”, Int. PM Conf, Granada-İspanya, 4,208-212, 1998.
- [2] Karagöz Ş, Zeren M., ”The Property Optimization of Diamond Cutting Tools with the Help of Microstructural Characterization, 3rd European Conference on Advances in Hard Materials Production, EUROPM, Turin-İtalya, 399405,1999.
- [3] Wick C., “The Facts About Diamonds, Manufacturing Engineering, 63, 1988.
- [4] Bailey M.W. and Bullen G.J., “The de Beers sda Series of Diamond Abrasives and its Stability for the Stone Industry”, Eskenazi Semineri, 133, İstanbul, 1987.
- [5] Diamond Boart, Diamond Tools for the Stone Industry, 1995.
- [6] Karagöz Ş, Zeren M., “Sürekli Disk Tipi Elmaslı Kesici Takımlarda Hata Karakterizasyonu”, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Konf. Bildiriler Kitabı, T.M.M.O.B. İstanbul, 517- 525, 1997.
- [7] Zeren M., 1999, Elmas Kesici Takımlarda Mikroyapısal Karakterizasyon Üzerinden Özelliklerin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [8] Sung C., Min C. And TAI. F., 1997, Reactivities of Transition Metals with Carbon: Implications to the Mechanism of Diamond Synthesis Under High Pressure, Int. J. Of Refractory Metals & Hard Materials, (15), 237-256.
- [9] Dietrich R., 1983, Polykristalline Diamant und CBN-Werkzeuge Werkstatt und Betrieb, (5), 269-274.
- [10] Bohlheim W., 1994. Performance of ABN 260 and ABN 360 in Surface Grinding HSS, Industrial Diamond Review. 187-191.
- [11] Ferstl K., 1993, Babies Sleep While Apartment is Cut, International Diamond Review, (53), 89-90.
- [12] Garmp E.P., Black J.T. and Kohser A.R., 1998. Diamond, Materials and Processing in Manufacturing. 563-564.
- [13] Idr., 1997, History, Industrial Diamond Review. 1-10.

- [14] Trend E.M., 1984, Cutting Tool Materials, Metal Cutting, Second Edition, Chapter 7, 118-157.
- [15] Timings R.L., 1984, Manufacturing Technology, Mechanical and Production Engineering. 180-187.
- [16] Novikov N., 1985. Diamond Grit Strength to 1373 K, Industrial Diamond Review, (45), 17-18.
- [17] May P.W., 1995. CVD Diamond-a New Technology for the Future, Endeavour Magazine,(3), 101-102.
- [18] Pukaite L., 1990, Diamond Deliver Dazzling Results, Machine and Tool, Blue Book, February, 35-37.
- [19] Powler D., 1990. Milling with Polycrystalline Diamond, Carbide and Tool, 23-25.
- [20] Bartels W., 1993. Einfluss der Zuschlagstoffe beim Trennen von Beton, De Beers Industrie-Diamanten Technische Informationen, (3),15-20.
- [21] Sulten P., 1993, Erhöhungen des Kraftschlussangebots von Betonfahrbahnen, De Beers Industrie-Diamanten Technische Informationen,(3), 24-35.
- [22] Baushoff, Fertigteil GmbH., 1993, Spannbetonhohldecken mit Diamant zugeschnitten, Fortschrittliche Werkzeugtechnologie, 11-13.
- [23] Born O., 1993, Mittelalterliche Stadtmauer mit Diamantseilsäge saniert, Fortschrittliche Werkzeugtechnologie, 14-16.
- [24] Hausberger P., 1990, Ursachen des unterschiedlichen Gesteinsverhaltens bei der Bearbeitung mit Diamant, Fortschrittliche Werkzeugtechnologie, (12), 9-17.
- [25] Sorahi M., 1988, Toz Metalurjisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Gürçay, E. (2005), Elmas Soketlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretiminde Kobalt-Bronz Oranının Soket Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 56s.

[27] Aydın R., 1997, T/M Çelik Parçalarda Isıl İşlemlerin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

[28] Gülsoy Ö., 1996, Toz Metalurjisi Süreçleriyle Üretilen Demir Esaslı Yapısal Parçaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[29] Bututaki T., 1997, T/M ile Üretilen Çelik Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etki Eden Faktörler, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

[30] Turan İ. (2005). Toz Metalurjisi ile Üretilen Demir Esaslı Yapısal Parçalar İçerisine Katılan B ve NiB İlavelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 93s.

[31] Altunpak, Y., 2002, Alumina Kısa Fiber Takviyeli Al Piston Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşlem Özellikleri ve İşlenebilirlik, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

[32] Somunkıran İ., 2006, Kobalt Esaslı Alaşımların Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi, Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[33] Karagöz Ş, Zeren M., “Isıl İşlem Koşullarının Optimizasyonu ile Takım Ömrünün Arttırılması Etüdü, Kocaeli Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü”, Makine & Metal Aralık 2001/Sayı 120

[34] Karagöz Ş, Zeren M., Doğal taş kesiminde kullanılan elmas kesici takımların aşınma karakteristiği “4-8 Eylül 2002, Türk Toz Metalürjisi Derneği tarafından düzenlenen konferans bildirisi”.

[35] <http://www.advancedabrasives.com/premium-diamond-feedstock.asp>

[36] <http://www.diamonddiscs.com/pages/aboutbiades.htm>

[37] Arslan, G. (2001), Bor Karbür-Alüminyum Kompozitlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu. Anadolu Üniversitesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 185s.

[38] Karabaş, K. (2006), Bor Karbür Üretimi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 73s.

- [39] Alaca, M. (1999), Bor karbür üretimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Lisans Tezi
- [40] Emrullahoğlu, Ö.F. (1999), İleri teknoloji seramikleri ders notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Seramik Mühendisliği lisans dersi.
- [41] Geçkinli, A. E. (1992), İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüş suyu.
- [42] Pierson, H.O. (1996), Handbook of Refractory Carbides and Nitrides, William Andrew Publishing/Noyes.
- [43] Archbold, J., 1999, Sintering Temperature Effects on the Mechanical Properties of Porous-Coated Ti-6Al-4V ELI Alloy, Master Degree of Applied Science, Graduate Department of Metallurgy and Material Science, University of Toronto, Canada. 106 s.
- [44] Kurt, O., 2004, Toz Üretim Yöntemleri ve Sinterleme, Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ders Notları.
- [45] Thümmel, F ve Oberacker, R. (1993) "Introduction to Powder Metallurgy" ISBN: 0-901716-26-X, Institute of Materials yayını, London.
- [46] <http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/sinterleme.html>
- [47] K .Composite Hanada, Y. Murakosh, H. Negishi, T. Sano, 1997, Microstructure and mechanical properties of Al-Li/SiCp Produced by Extrusion processing, journal of material processing technology, 63, 405-410.
- [48] Rohatgi, P., 1991, Cast Aluminium Matrix Composites for Automotive Applications, JOM., Vol. 43, 10-15.
- [49] Kevorkijian, M. V., 1998, MMCs for Automotive Applications, The American Ceramic Society Bulletin, 53-59, Dee.
- [50] C.A.Jeng, J.L.Huang, S.Y.Lee, B.H.Hwang, 2002, Erosion damage and surface residual stress of Al_2O_3/Cr_3C_2 composite, Materials Chemistry and Physic, 78, 278-287.
- [51] Çelik, H., 1991, Kaynak Edilebilen Kobalt ve Demir Esaslı Alaşımların Yüksek Sıcaklıktaki Aşınma Davranışları, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 11-12.

[52] Turhan, H., 1998, Düşük Katkılı Kalay İçerikli Bronz Yatakların Aşınma ve Yorulma Davranışlarının Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.

[53] Stachowiak, G.W. and Batchelor A.W., 2001, Engineering Tribology, U.S.A., 433- 616.

[54] Buytoz, S. ,2004, AISI 4340 Çeliğin Nitrürasyon ve GTA Kaynak Yöntemi ile Yüzey Modifikasyonu işlemleri Sonrası Mekaniksel Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi, F.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[55] Ekip Soket A.Ş, Ankara-Türkiye, Sözlü Görüşme.

[56] Meydanoğlu O., 2006, Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozitlerin Aşınma ve Korozyon Davranışlarının İncelenmesi. İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[57] Dr- Fritsch, <http://www.dr-fritsch.de/index.php/sintern-281.html>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	28.05.1984	
Doğum yeri	Gelibolu / Çanakkale	
Lise	1999-2002	Gelibolu Anadolu Lisesi
Lisans	2003-2007	Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü.
Yüksek Lisans	2008-2010	Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Müh. Malzeme Anabilim Dalı.
Doktora	2011-	Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü. Malzeme Ana Bilim Dalı.