

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ALAŞIMLARIN (85/15
BRONZ) MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
Co VE Ni ELEMENTLERİ İLE SİNERJİ
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Süleyman ABA

Yüksek Lisans Tezi
Metalürji Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Tülay YILDIZ

OCAK-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ALAŞIMLARIN (85/15 BRONZ) MİKRO YAPI
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE Co VE Ni ELEMENTLERİ İLE SİNERJİ
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süleyman ABA

(111122101)

Anabilim Dalı: Metalürji Eğitimi

Programı: Ekstraktif Metalürji

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tülay YILDIZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 21 Aralık 2016

OCAK-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ALAŞIMLARIN (85/15 BRONZ) MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE Co VE Ni ELEMENTLERİ İLE SİNERJİLEME
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süleyman ABA

(111122101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 21 Aralık 2016

Tezin Savunulduğu Tarih: 12 Ocak 2017

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tülay YILDIZ

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Sermin OZAN

Yrd. Doç. Dr. Yakup SAY

OCAK-2017

ÖNSÖZ

Tez konusunun önerilmesinde ve yönlendirilmesinde her türlü desteği veren danışman hocam Doç. Dr. Tülay YILDIZ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Hocamız Prof. Dr. Halis ÇELİK’e yardımlarından ve sanayi ortamının bütün imkanlarını sunduğundan dolayı şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarım esnasında sürecin teknik boyutunda sürekli desteğini hissettiğim Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Hocamız Doç. Dr. Ali Kaya GÜR’e, Arş. Gör. Nida KATI’ya ve arkadaşım Semih TAŞKAYA’ya teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca bu tezin oluşturulmasına TEKF.14.05 nolu proje kapsamında maddi imkânları sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Zaman bize kendisinden ne kadarını bağışlayacak bilmiyorum; fakat bu süreçte sizden aldığım zaman için, size daha güzellerini sunmaya borcum olsun. Eşim Tuğba ve kızım Zeynep’e...

Süleyman ABA
ELAZIĞ, 2017

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLOLAR LİSTESİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
3. TOZ METALURJİSİ.....	7
3.1. Toz Metalürjisine Giriş	7
3.2. Toz Metalürjisi Tarihçesi	7
3.3. Toz Metalürjisinde Parça Üretim Süreci	7
3.4. Tozların Şekillendirilmesi	8
3.4.1. Tozların Karıştırılması	8
3.4.2. Tozların Preslenmesi (Sıkıştırılması)	9
3.4.3. Sinterleme.....	9
3.4.4. Sıcak İzostatik Presleme (HIP).....	11
3.5. Toz Metalürjisinin Diğer Üretim Yöntemlerine Göre Avantajları.....	12
3.6. Toz Metalürjisinin Diğer Üretim Yöntemlerine Göre Dezavantajları	13
3.7. Toz Metalürjisinin Kullanım Alanı	13
3.8. Alaşım Elementleri.....	14
3.8.1. Bakır	14
3.8.2. Nikel	14
3.8.3. Kobalt	15
3.8.4. Bronz (85Cu+15Sn)	15
3.9. Matriste Oluşan Faz ve Bileşiklerin İkili ve Üçlü Denge Diyagramlarındaki Yerin Belirtilmesi.....	15
4. AŞINMA.....	18
4.1. Aşınma Sisteminde Temel Unsurlar.....	19

4.1.1.	Ana Malzeme (Aşınan)	20
4.1.2.	Karşı Malzeme (Aşındırılan).....	20
4.1.3.	Ara Malzeme	20
4.1.4.	Yük (temas kuvveti)	21
4.1.5.	İzafi Hareket	21
4.2.	Aşınmayı Etkileyen Faktörler	22
4.2.1.	Ana Malzemeye Bağlı Faktörler	22
4.2.1.1.	Malzemenin Kristal Yapısı.....	22
4.2.1.2.	Malzemenin Sertliği	23
4.2.1.3.	Elastisite (Young) Modülü	23
4.2.1.4.	Deformasyon Davranışları	24
4.2.1.5.	Yüzey Pürüzlülüğü	24
4.2.1.6.	Isıl İşlem	25
4.2.1.7.	Malzemenin Boyutu	25
4.2.1.8.	Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi	25
4.2.1.9.	Ortamın Etkisi	26
4.2.1.9.1.	Sıcaklık	26
4.2.1.9.2.	Nem	26
4.2.1.9.3.	Atmosfer	27
4.2.2.	Aşınma Parametreleri	27
4.2.2.1.	Basınç	27
4.2.2.2.	Hız	27
4.2.2.3.	Kayma Yolu	28
4.2.2.4.	Sertlik ile Abrasif Aşınma Direnci Arasındaki İlişki	29
4.2.3.	Aşınma Çeşitleri	29
4.2.3.1.	Abrasiv Aşınma Mekanizması	29
4.2.3.1.1.	Abrasiv Aşınmaya Sıcaklığın Etkisi.....	30
4.2.3.1.2.	Abrasiv Aşınmaya Nemin Etkisi	30
4.2.3.1.3.	Abrasiv Aşınmanın Kontrolü	31
4.2.3.2.	Erozif Aşınma.....	32
4.2.3.3.	Kavitasyon Aşınması.....	33
4.2.3.4.	Adhezif Aşınma.....	34
4.2.4.	Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri	36

4.3.1.	Aşınma Deneyleri.....	36
4.3.1.1.	Ağırlık Farkı Yöntemi	38
4.3.1.2.	Kalınlık Farkı Yöntemi	39
4.3.1.3.	İz Değişimi Yöntemi	39
4.3.1.4.	Radyo İzotop Yöntemi	39
4.3.2.	Abrasiv Aşınma İçin Deney Yöntemleri	39
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
5.1.	Çalışmada Kullanılan Metal Tozlar	42
5.2.	Numunelerin Üretim Aşamaları	43
5.2.1.	Metal Toz Oranlarının Belirlenmesi.....	43
5.2.2.	Tozların Karıştırılması	45
5.2.3.	Metal Tozlarının Sinterleme Öncesi Hazırlanması	45
5.3.	Sinterleme İşlemi.....	47
5.4.	Mikro Yapı İncelemeleri	49
5.5.	SEM ve EDS Analizleri	50
5.6.	Sertlik Ölçümleri	51
5.7.	Aşınma Deneyi	51
6.	BULGULAR VE TARTIŞMA	53
6.1.	A Grubu Numunelerin Mikro Yapı Değerlendirmeleri.....	53
6.2.	B Grubu Numunelerin Mikro Yapı Değerlendirmeleri	55
6.3.	C Grubu Numunelerin Mikro Yapı Değerlendirmeleri	57
6.4.	D Grubu Numunelerin Mikro Yapı Değerlendirmeleri.....	59
6.5.	Mikro Sertlik Değerlendirmeleri	61
6.6.	Aşınma Sonuçları	66
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	77
	KAYNAKLAR.....	79
	ÖZGEÇMİŞ	85

ÖZET

T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ALAŞIMLARIN (85/15 BRONZ) MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE Co VE Ni ELEMENTLERİ İLE SİNERLEME PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Son zamanlarda toz metalürjisi, geniş ölçüde kabul edilen ekonomik üretim yöntemlerinden biri oldu. Başarılı bir matris malzeme, yüksek kaliteli metal tozları ve üretim parametrelerinin uygun seçimi ile başlar. Önemli olan hususlardan bir tanesi de kaymalı yatağın yoğun aşınmaya karşı göstermiş olduğu dirençtir.

Bu çalışmada, farklı oranlarda bronz (85/15), kobalt ve nikel elementi ile farklı sinterleme basıncı ve sıcaklığının matrisin yapısında meydana getirdiği değişiklikler araştırılmış; imal edilen numunelere aşınma davranışlarının belirlenebilmesi için abrasiv aşınma testi uygulanmıştır. Ayrıca üretilen numunelerin mikro sertlik değerleri incelenmiştir.

Toz Metalürjisi üretim yöntemlerinden bir tanesi olan Sıcak İzostatik Presleme (HIP) yöntemi ile sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sinterlenen numuneler birbirleri arasında mikro yapı, abrasiv aşınma ve mikro sertlik deneyleri doğrultusunda yorumları yapılmıştır. Sinterleme sıcaklığının ve basıncının ayrıca mikro yapıya olan etkisi de incelenmiş, üretilen numunelerin EDS ve SEM analizleri doğrultusunda ayrıntılı olarak inceleme çalışmaları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalürjisi, Sıcak İzostatik Presleme (HIP), Abrasiv Aşınma, Kesici Soketler, 85/15 Bronz, Kobalt ve Nikel Alaşımları.

SUMMARY

T/M METHODS WITH ALLOYS PRODUCED (85/15 BRONZE) MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES Co AND Ni THE ELEMENTS INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SINTERING PARAMETERS

Recently, powder metallurgy, it was one of economical production methods adopted widely. A successful matrix material starts with the appropriate selection of high quality matrix powder and production parameters. One of these issues it is important that showed resistance against intense wear of the sliding bed.

In this study, the changes in bronze (85/15), cobalt and nickel elements and different sintering pressures and temperature of the matrix were investigated in different ratios; abrasive wear test was applied to determine the wear behaviors of the manufactured specimens. Micro hardness values of the produced samples were also examined.

Sintering was performed by Hot Isostatic Pressing (HIP), one of the powder metallurgy production methods. Sintered specimens were interpreted in the direction of microstructure, abrasive wear and microhardness tests among each other. The effect of sintering temperature and pressure on the microstructure was also investigated and detailed studies were carried out in the direction of EDS and SEM analyzes of the produced samples.

Keywords: Powder Metallurgy, Hot Isostatic Pressing (HIP), Abrasive Wear, Cutting Sockets, 85/15 Bronze, Cobalt and Nickel Alloys.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1 Karıştırıcı	8
Şekil 3.2 Presleme işleminin basamakları	9
Şekil 3.3 Çift-Küre sinterleme modeli	10
Şekil 3.4 Cu-Sn ikili faz diyagramı	16
Şekil 3.5 Co-Cu ikili faz diyagramı.....	16
Şekil 3.6 Cu-Sn-Ni üçlü faz diyagramı	17
Şekil 4.1 Tribolojik sistem.	20
Şekil 4.2 Sürtünen iki cisimde aşınmanın temel unsurları	22
Şekil 4.3 Saf malzemeler için elastisite modülü-bağıl aşınma direnci arasındaki ilişki	24
Şekil 4.4. Takviyesiz LM-13, %15 ve %30 saf fiber takviyeli alaşımlarda aşınma hızı- ağırlık-uygulanan yük ilişkisi.....	27
Şekil 4.5 a) Kayma yolu ile aşınma miktarının değişimi b) kaymanın aşınmaya etkisi	28
Şekil 4.6 Abrasiv aşınma mekanizması.....	29
Şekil 4.7 Abrasiv aşınma testi uygulanan yaşlandırılmış Al-SiC kompoziti	31
Şekil 4.8 Farklı tasarımlı abrasiv aşınma aparatları	32
Şekil 4.9 Kavitasyon aşınma mekanizması	33
Şekil 4.10 Kavitasyon aşınmasına uğramış pompa	34
Şekil 4.11 Adhesiv aşınma mekanizması a) Yüzey kaynak bağları b) A'dan B'ye malzeme transferi c) Kopan parçaların serbest hali	35
Şekil 4.12 Adhesiv aşınma pozisyonları	35
Şekil 4.13 Aşınma türlerinin şematik resmi	38
Şekil 4.14 Abrasiv aşınma türlerinin şematik resmi	40
Şekil 4.15 Abrasiv aşınma deneylerinde kullanılan yöntemler	41
Şekil 5.1 Oransal olarak metal tozların hazırlanması.....	44
Şekil 5.2 Numune metal toz hazırlığı.....	44
Şekil 5.3 Bağlayıcının hazırlanması.....	44
Şekil 5.4 Karıştırma makinası	45
Şekil 5.5 Karıştırma işlem sonucu.....	45
Şekil 5.6 Metal toz tartım cihazı	46
Şekil 5.7 Soğuk pres makinası	46

Şekil 5.8 Grafit kalıpların yağlanması işlemi.....	47
Şekil 5.9 Numunelerin sinterleme kalıbına alınması	47
Şekil 5.10 Sinterleme makinası.....	48
Şekil 5.11 Sinterleme işlemi.....	49
Şekil 5.12 Üretilen numune grupları	49
Şekil 5.13 Taramalı elektron mikroskobu inceleme grubu	50
Şekil 5.14 Mikro sertlik ölçüm cihazı	51
Şekil 5.15 Aşınma aparatı	52
Şekil 6.1 A grubu numunelerin mikro yapısı	53
Şekil 6.2 A2 numunesinin SEM ve EDS görüntüsü.....	54
Şekil 6.3 B grubu numunelerin mikro yapı fotoğrafları.....	55
Şekil 6.4 B2 numunesinin SEM ve EDS görüntüsü.....	56
Şekil 6.5 C grubu numunelerin mikro yapı fotoğrafları.....	57
Şekil 6.6 C1 numunesinin SEM ve EDS görüntüsü.....	58
Şekil 6.8 D1 numunesinin SEM ve EDS görüntüsü.....	60
Şekil 6.9 Bileşim oranının sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (1 Nolu Gruplar).....	62
Şekil 6.10 Bileşim oranının sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (2 Nolu Gruplar).....	62
Şekil 6.11 Bileşim oranının sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (3 Nolu Gruplar).....	63
Şekil 6.12 Bileşim oranının sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (4 Nolu Gruplar).....	63
Şekil 6.13 Sinterleme parametrelerinin sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (A Grubu).....	64
Şekil 6.14 Sinterleme parametrelerinin sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (B Grubu).....	64
Şekil 6.15 Sinterleme parametrelerinin sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (C Grubu).....	65
Şekil 6.16 Sinterleme parametrelerinin sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (D Grubu).....	65
Şekil 6.17 5 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (1)	70
Şekil 6.18 10 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (1)	70
Şekil 6.19 15 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (1)	71
Şekil 6.20 5 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (2)	72
Şekil 6.21 10 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (2)	72
Şekil 6.22 15 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (2)	73
Şekil 6.23 5 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (3)	73
Şekil 6.24 10 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (3)	74
Şekil 6.25 15 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (3)	74
Şekil 6.26 5 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (4)	75
Şekil 6.27 10 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (4)	75
Şekil 6.28 15 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (4)	76

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1 Yükleme ve hareket değışikliklerinin sistemi etkilemesi	21
Tablo 4.2 Bazı aşındırıcılar ve sertlik değerleri	26
Tablo 4.3 ASTM tarafından geliştirilmiş bazı test metodları	36
Tablo 5.1. Metal toz tane büyüklükleri	42
Tablo 5.2. Numunelerin üretim parametreleri	43
Tablo 5.3 Numune gruplarının ağırlık dağılımı	46
Tablo 5.4 Sinterleme değerleri	48
Tablo 5.5 Dağlayıcı formülü	50
Tablo 6.1 A grubu numunelerin üretim parametreleri	53
Tablo 6.2 A2 numunesinin EDS analizi oransal dağılımı	54
Tablo 6.3 B grubu numunelerin üretim parametreleri	55
Tablo 6.4 B2 numunesinin EDS analizi oransal dağılımı	56
Tablo 6.5 C grubu numunelerin üretim parametreleri	57
Tablo 6.6 C1 numunesinin EDS analizi oransal dağılımı	58
Tablo 6.7 D grubu numunelerin üretim parametreleri	59
Tablo 6.8 D1 numunesinin EDS analizi oransal dağılımı	60
Tablo 6.9 Mikro sertlik ölçüm sonuçları	61
Tablo 6.10 A grubu numunelerin aşınma değerleri	66
Tablo 6.11 B grubu numunelerin aşınma değerleri	67
Tablo 6.12 C grubu numunelerin aşınma değerleri	68
Tablo 6.13 D grubu numunelerin aşınma değerleri	69

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C	: Santigrat derece
µm	: Mikrometre
85CuSn15	: Bronz
CIP	: Soğuk İzostatik Presleme
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetre Kare
cm ³	: Santimetre Küp
Co	: Kobalt
Cu	: Bakır
F	: Kuvvet
gr	: Gram
HIP	: Sıcak İzostatik Presleme
kg	: Kilogram
kgf	: Kilogram Kuvvet
kN	: Kilo Newton
m	: Metre
m ²	: Metrekare
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetrekare
MPa	: Mega Paskal
N	: Newton
Ni	: Nikel
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Sn	: Kalay
TM	: Toz Metalürjisi
α	: Alfa
β	: Beta
σ	: Sigma

1. GİRİŞ

Kaymalı yatak malzemesi olarak, teknikte ilk zamanlar tahta, demir, deri v.b. malzemeler kullanılmıştır. Zamanla bunların yerini pirinç, bronz, beyaz metal almıştır. Son zamanlarda alüminyum ve çinko esaslı malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. İlerleyen teknoloji ile birlikte devamlı yağlama imkanı olmayan yerlerde kendinden yağlamalı sinter yataklar ve belirli kullanım alanları için polimer malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Kaymalı yatakların seçiminde ise kullanım yerlerine göre kendinden beklenen özellikleri sağlayan malzemeler seçilmelidir (Ünlü, Yılmaz ve Varol, 2005).

Makine elemanlarından kaymalı yataklar, basit ve ucuz yapıları, radyal yönde az yer kaplamaları, iki parça halinde yapılabilmeleri, darbe ve titreşimlere dayanıklılığı, yağlı ortamda çok yüksek performansa sahip olmaları gibi nedenlerle tercih edilirler. Yatakların servis ömrü özellikle karışık sürtünme alanlarındaki çalışma performanslarıyla sınırlıdır ve çalışma şartlarına bağlı olarak yatakların ömürleri teorik olarak 20000 ile 50000 saat arasındadır. Kaymalı yatakların servis süreleri ise ideal şartlar altında ve hidrodinamik yağlama yapıldığında sınırsızdır. Karışık sürtünme alanlarında ve aşırı yük altında çalışan yataklarda aşınmalar olur. Aşınmaların başlıca nedenleri; aşırı ve ani yükler, düşük kayma hızı, titreşim durumu, sıcaklık farklılıklarının yüksek olması, dur-kalk çalışma ve kısmi dönmedir (Ünlü ve Köksal, 2004).

Kaymalı yataklardan beklenen en önemli özellik aşınma direncinin iyi olmasıdır. Aşınma özelliklerini etkileyen değişkenler oldukça karmaşıktır. Yağlamanın iyi yapıldığı ve yükün bütünüyle sıvı sürtünme ile karşılandığı durumlarda yatak malzemesinin gerekli mukavemet ve rijitlikte olması yeterlidir. Fakat uygulamada optimum çözüm için, ana malzeme içerisine katılan alaşım elementleri, ana malzeme ile etkileşime girerek malzeme özelliklerini değiştirir. Bu nedenle, ana malzeme içerisine katılan alaşım elementlerinin malzeme ve sistem özelliklerine etkisi doğrudan bilinmemektedir. Birçok çalışmada, kaymalı yatak malzemelerinin aşınma özelliğini geliştirme yönünde araştırmalar yapılmaktadır (Enomoto ve Yamamoto, 1998).

Kaymalı yatak malzemelerinin düşük sürtünme katsayısı, yüksek aşınma direnci, yüksek yükleme kapasitesi, iyi korozyon dayanımı, iyi ısı iletkenlik, düşük ısıl genleşme ve yabancı partikülleri gömme gibi özelliklere sahip olması gerekir. Bakır esaslı alaşımlar iyi korozyon direnci, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik, kendi kendini yağlayabilme

ve iyi aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı yatak malzemesi olarak kullanılmaktadırlar (Schmidt, 1993)

Ana malzeme bakır olmak üzere, içerisine değişik oranlarda Sn, Zn, Pb, Al, P gibi alaşım elementleri katılmaktadır. Bu katkı malzemeleriyle oluşan alaşım, kullanım yerine uygun özelliklerine göre tercih edilmektedir. Bakır, üstün fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır, ısıyı ve elektriği en iyi ileten metallerden biridir, aynı zamanda kimyasal olarak oksijenle çabuk reaksiyona girer. En saf olarak üretilen ve satılan metaldir. Bakır alaşımlarında aşınma direncini artırmada kalayın etkisi önemlidir. Kalay içeren bakır alaşımları yüksek aşınma direncine sahip oldukları için yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. (Ünlü ve Köksal, 2004).

Üretim teknolojilerini oluşturan sanayi dallarındaki ilerlemeler, bu sektörlerin hammaddesi olan malzemelerin üretimi ve geliştirilmesi üzerine çalışan malzeme bilimlerinin de gelişmesini sağlamıştır. Özellikle, spesifik dayanım özelliklerinde malzeme üretilebilmesini mümkün kılan toz metalürjisi yönteminin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Toz metalürjisi, saf metal ve alaşım metal tozlarının bir kalıp içerisinde şekillendirilip, ısıl işlemle (sinterleme) mukavemet kazandırılması tekniğine verilen genel isimdir. Son yıllarda toz metalürjisi yöntemi ile üretilen parça sayısında ve çeşidinde artışlar yaşanmıştır. Bunun nedenlerinden başlıcası; ekonomiklik, düşük yoğunluklarının yanında yüksek mukavemete sahip olmaları ve kullanım yerine özgü özelliklerde üretilebilmeleridir (Yurtkuran,2011).

Toz metalürjisi ile parça üretiminin en önemli işlem basamaklarından biri sinterlemedir. Sinterleme, sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiş metal tozlarına, kullanım alanlarında parçalardan istenen mekanik dayanımlarının kazandırıldığı, önemli derecede enerji ve zaman tüketiminin olduğu ısıl işlemidir. Son yıllarda, üretim proseslerinde zaman ve enerjinin, dolayısı ile maliyetlerin azaltılması önemli bir amaç haline gelmiştir. Bu amaca uygun olarak geleneksel sinterleme yöntemine alternatif yöntemler araştırılmakta ve uygulanmaktadır.

Toz metalürjisi ile üretilen matris malzemeler (kaymalı yataklar) farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde, Sıcak İzostatik Presleme (HIP) yöntemi ile sinterlenmiştir. Sinterleme sıcaklığının ve basıncının mikro yapıya olan etkisi de incelenmiş, numunelerin sertlik değerleri ile aşınma değerleri deneysel olarak tespit edilmiştir. Üretilen numunelerin mikro yapıları ile SEM ve EDS analizleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada matris malzemelerin (yatak malzemesi) toz metalürjisi yöntemi ile üretiminin yapılabilirliğı araştırılmıştır. Bronz esaslı olarak üretilen matrislerin (yatak malzemesi) aşınma ve sürtünme özelliklerinin geliştirilebilmesi için amacı ile kobalt ve nikel tozları kullanılmıştır. Farklı oranlarda kobalt ve nikel elementinin matrisin yapısında meydana getirdiğı değişiklikler araştırılmış; imal edilen numunelere aşınma davranışlarının belirlenebilmesi için abrasiv aşınma testi uygulanmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür çalışması olarak ilgili tezler, yayınlar ve internet üzerinden taramalar yapılmıştır. Bu incelemeler sonucunda yapılan çalışmalar özet olarak aşağıda belirtilmiştir.

Toz metalürjisi (T/M) metal tozlarının belirli oranlarda karıştırılarak, oda sıcaklığında hassas kalıplarda, istenen teknik değerlere uygun basınçlarda sıkıştırılması (presleme) ve kontrollü atmosferlerde fırınlanmasıyla (sinterleme) parça üretme yöntemidir (Yıldırım, 1999).

T/M üretim yöntemleri diğer üretim metotlarından bütünüyle farklıdır ve seramik parça üretim teknolojisine benzemektedir. İşlem her iki durumda da tozların bir kalıp içinde sıkıştırılmasıyla başlar. Oluşturulan şekil sinterlenerek gerekli mukavemete kavuşturulur (Somunkıran, 1999).

T/M üretim teknolojisi, artık malzeme biliminin önemli bir alanı olmuştur. Böylece toz, dövme, metal matrisli kompozit, sıcak izostatik presleme (HIP) gibi çeşitli süreçlerde toz metalürjisi teknolojisinin kullanım alanı gün geçtikçe genişliyor (Taner, 2000).

Demir, bakır, demir-bakır, demir-karbon, demir-bakır-karbon, pirinç, bronz, paslanmaz çelik, nikel ve alaşımları çok kullanılan bazı metal tozlarıdır. Bunların yanı sıra metal dışı malzemeler de metal tozlarla birlikte kullanılabilir. (Yılmaz, 2004).

Bazı metallerin ergime sıcaklıklarının çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşamaması bazı özelliklerin ancak toz metalürjisi ile sağlanabilmesi, süper alaşım ve sert metaller gibi önemli malzemelerin bu yöntem ile üretilmesi bu yöntemi zorunlu kılan önemli nedenlerdir (Lawley, 1992-Turan ve Sarıtaş 1994).

Toz metalürjisi ürünlerinin genel özellikleri toz tane şekli, boyutu, bileşimi, yağlayıcı tipi, sinterleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve süresi gibi çok sayıda parametreye bağlı olduğundan özellikler hakkında genel bilgi vermek zordur. Genellikle mekanik özellikler yoğunluğa büyük bir bağımlılık gösterir. Düşük mukavemetli metallerden üretilen toz metalürjisi ürünlerinin mekanik özellikleri dövme ürünlerinkine eşdeğerdir. Daha yüksek yoğunluklu parçaların üretimi için yüksek kapasiteli presler veya sıcak izostatik presleme (HIP) yöntemi kullanılır. Böylece elde edilen toz ürünlerin özellikleri dövme ürünlerinin özelliklerine yaklaşıp. % 100 yoğunluğa ulaşılması ve çok ince tane boyutunun sağlanması halinde ise toz parçaların özellikleri dövme ürünlerinin üzerine çıkar. Toz metalürjisi ile

üretileen ürünlerde gözenek miktarı azaldıkça tüm mekanik özelliklerde iyileşme gözlenmektedir (Tunay ve Diğerleri, 2002).

Kaymalı yatak malzemesi olarak, bakır esaslı malzemeler iyi korozyon direnci, yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik, kendi kendini yağlayabilme ve iyi aşınma direnci gibi özellikleri sebebi ile genellikle yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır (Varol ve Sarıtaş, 1996).

Bakır esaslı malzemelerde anti-sürtünme özelliği olan kalayın rolü aşınmada önemlidir. Kalay ihtiva eden bakır esaslı kalay bronzları aşınmaya karşı yüksek direnç göstermeleri sebebi ile yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır (Prasad, 1997).

Üretilen parçalardaki kalay miktarı ile bu malzemelerin sürtünme ve aşınma özellikleri orantılı olarak olumlu yönde etkilenmektedir (Backensto, 1990-Günther ve Kanazawa, 1995).

Yatak malzemesi olarak, kalay bronzu korozyon tehlikesi olan yerlerde, yüksek sıcaklıklarda ve gıda maddesi ile temas oluşacak yerlerde kullanılması uygundur (Niemann, 1973).

Kesici takımlarının mikro yapısını belirleyen iki ana evre olan matris ile elmas ara yüzeyinde sinterleme koşullarında kimyasal bir reaksiyon oluşması istenir ve bu reaksiyon, elmaslı kesici takımın ömrünü büyük ölçüde belirler (Karagöz ve Zeren, 1998).

Elmaslı kesici takımın başarılı bir şekilde sinterlenmesini engelleyen en önemli etken yüzeyel oksitlerdir. Toz yüzeyindeki oksit filmleri temel sinterleme reaksiyonlarını önlemektedir. (Wick, 1988)

Doğal taş için standart matris dizaynı; kobalt, nikel ve bronz tozları kullanılarak yapılmaktadır (Fritsch 1996).

Yoğun matris aşınmasının arzulandığı durumlarda kullanılan bronz bileşiği miktarı % 70'e kadar yükseltilmekte, düşük aşınma arzulandığı zaman bronz miktarı yalnızca gözenekleri kapamak için gerekli dolgu evresi miktarına (<%5) düşürölmektedir. Co ve Ni tozları iyi ısılatma özellikleri doğrultusunda elmas bağlayıcı evre olarak Cu-Sn katkısına ters bir miktarda kullanılmaktadır. Cu-Sn katkısı hem Cu ve Sn tozlarının karışımı halinde veya saf bronz tozu halinde olabilmekte. Üretici basınçlı sinterleme uygulama karakteristiğiyle kullanım şeklini belirlemektedir (G., E., 1991).

“Mermer Kesiminde Kullanılan Elmas Kesici Takımlarda Aşınma Karakteristiği” adlı makalede Co, Ni ve Cu+Sn toz tanelerinden oluşan matris bileşimi sabit tutularak sinterleme koşulları değiştirilmiştir. Uygulanan sıcak preste basınç 35 Mpa ve sinterleme

sıcaklığı 730 °C olarak sabitlenmiş ve sinterleme süresi değiştirilmiştir. Sinterleme süresi 3-15 dakika arasında değiştirilmiştir. Saha sonuçları ve eğme mukavemeti deneyleri sonucunda en iyi sonuç 730 °C de 15 dakikalık sinterleme süresi ile alınmıştır (Karagöz ve Zeren 2001).

“Toz Metal Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Performansı Üzerine Çinkonun Etkisi” isimli çalışmada; tozların büyüklüğü 0,2-80 µm arasında seçilmiştir. İlk olarak toz metalürjisi yöntemi ile bronz esaslı fren balataları üretilmiş ve üretilen balataların sürtünme-aşınma performansları test edilmiştir. İkinci aşamada ise bronz esaslı balata tozlarına %0,5 - %4 oranında Zn tozu ilave edilerek üretilmiştir. Numuneler 350 Mpa’da 820 °C’ de sinterlenmiştir. Bu Zn-Bronz alaşımlı balata da sürtünme-aşınma testine tabi tutulmuştur. Daha sonra bu iki malzeme de yoğunluk, sertlik, sürtünme katsayısı, sürtünme kuvveti ve aşınma miktarları mukayese edilmiştir. En iyi aşınma direnci %0,5 Zn içeren numunede tespit edilmiştir. En iyi sürtünme katsayısı %2 Zn içeren numunede tespit edilmiştir (Boz ve Kurt 2006).

“T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması” adlı çalışmada ise bu yöntemle üretilmiş bakır esaslı CuSn₁₀, demir esaslı Fe-Grafit, FeCu-Grafit ve bronz-demir esaslı CuSnFe-Grafit yatakların aşınma ve mekanik özellikleri belirlenip, birbiriyle karşılaştırması yapılmıştır. Üretilen numuneler 360 Mpa basınçta, 1120 °C’de sinterlenerek elde edilmiştir. Üretilen numunelere çekme, basma, üç nokta eğme, sertlik ve radyal kırılma deneyi yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda döküm yatakların T/M üretilen yataklara göre çok daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir (Ünlü ve diğerleri 2005).

Değişik tür ve oranlarda seramik tozu ilave edilerek toz metalürjisi yöntemi ile bronz esaslı malzeme üretimi ve üretim sonucu yapılan aşınma deneylerinde en iyi sonucu 350 MPa presleme basıncında ve 820 °C olduğu tespit edilmiştir (Boz, 2003).

Mikro yapı fotoğraflarından malzeme içerisindeki düşük ergime dereceli tozların, sıvı faz sinterleme oluşturduğu ve buna bağlı olarak gözeneklerin küçüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca düşük ergime sıcaklığına sahip metal tozların bir kısmının sinterleme esnasında buharlaştığı gözlenmiştir (Boz, 2003).

Günümüz endüstrisinde, bu yöntemle üretilen parçaların, özellikle şekil ve ağırlık bakımından sağladığı avantajlar nedeniyle tercih edilmesi, bu yönde üretim ve araştırma yapan kuruluşların sayısını artırmıştır. Ülkemizde ise 2005 yılında gerçekleştirilen 4. Uluslararası Toz Metalürjisi Konferansı, bu alandaki gelişmelerin daha da iyi olacağının göstergesidir (Tanberk, 1997).

3. TOZ METALURJİSİ

3.1. Toz Metalürjisine Giriş

Toz metalürjisi üretim metodu; metal tozlarının üretimi ve üretilen bu metal tozların imalatı istenilen parçaların belirli işlemler sırasında nihai şekle dönüştürülme işlemidir. Bu metot metal toz üretimi, üretilen metal tozların karıştırılması, metal tozların preslenmesi, sinterleme ve isteğe bağlı işlemler (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma, vb.) olmak üzere belirli aşamalardan oluşur.

3.2. Toz Metalürjisi Tarihçesi

M.Ö. 3000 yıllarında Mısır'da toz metalürjisi ile üretilmiş küçük parçalara rastlanmasına rağmen, ilk önemli kullanım 1920 yılında tungsten-karbür kesici takımların üretimi şeklinde gerçekleşmiştir. Modern anlamda yeni bir parça üretim tekniği olarak teknolojiye yerini İkinci Dünya Savaşından sonra almıştır (Sarıtaş,2003).

3.3. Toz Metalürjisinde Parça Üretim Süreci

Toz metalürjisi ile parça üretimi, metal tozlarının preslenmesi ve elde edilen parçaların belirli sıcaklıkta ve redükleyici bir atmosferde fırınlanması ile sağlanır. Klasik olarak toz metalürjisi üretim aşamalarını dört adımdan oluşur. Bunlar;

- 1) Metal toz karışım hazırlama,
- 2) Presleme,
- 3) Sinterleme, sıcak izostatik presleme (HIP),
- 4) Kalibrasyon olarak tanımlanabilirler.

İlk olarak, önceden saf veya alaşımlı olarak üretilen metal tozlar harmanlanır, istenilen kimyasal bileşim elde edilir. Bu bileşim iyice karıştırılarak homojen bir dağılım elde edilir. Bu karışımın hazırlanması sırasında kalıp ömrünü arttırıcı

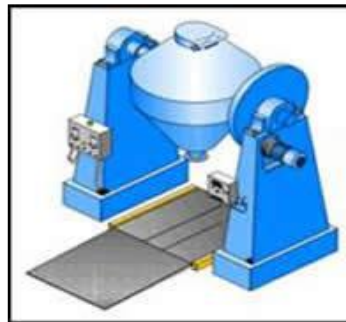
yağlayıcılar da kullanılır. Presleme işlemdeki ikinci adımdır. Burada yüksek basınçla metal tozlar sıkıştırılırlar. Bu sıkıştırma zaman zaman doğrudan elde edilmek istenen parçanın şeklini verecek şekilde, bazen de büyük bir parça şeklinde olur. Bu büyük tek parça ön sinterden sonra şekil almaya hazırlanır. Pres sonrası malzeme sertliği çok da fazla olmadığı için dikkatle muhafaza edilmelidir. Fırınlama sırasında sıkıştırılan parçalar özel fırınlarda sinterlenerek dayanım kazanırlar. Bu sinterleme kontrollü atmosferde gerçekleşir. Sinterlemeden sonra çeşitli nihai işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemlere kaplama, taşlama, bileme örnek olarak gösterilebilirler.

Özellikle hassas ölçü gereken parçalar da tolerans aralığı çok düşüktür. Bu yüzden yağlama ile bir kalibrasyona tabi tutulur. Sinter malzemelere diğer yöntemlerle elde edilen parçalara uygulanan tüm ısı işlemleri uygulanabilir (Bakkaloğlu,2000).

3.4. Tozların Şekillendirilmesi

3.4.1. Tozların Karıştırılması

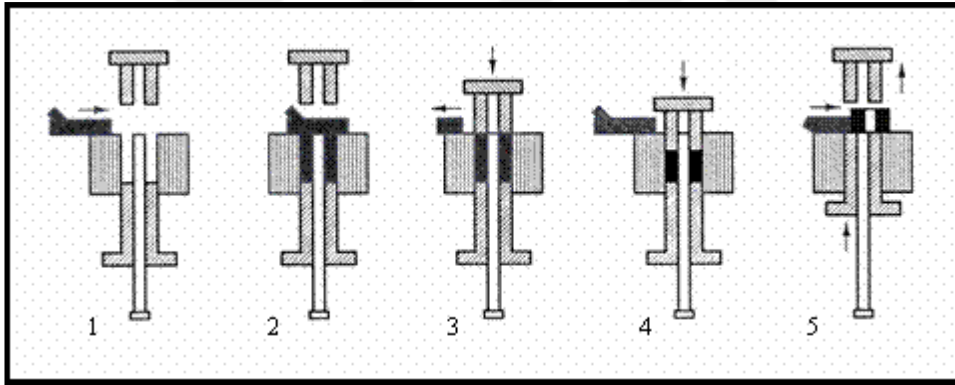
Metal tozlarının karıştırılması V veya Y tipi karıştırıcılar adıyla bilinen çift borulu ve çift-koni karıştırıcılarda yapılmaktadır (Şekil 3.1). Karıştırma işlemi, tozların tane boyutuna ve şekline göre yığılmasını önlerken, akma hızını ve görünür yoğunluğunu da değiştirir. Karıştırma işleminin uzun tutulması taneciklerin kırılarak küreselleşmesine ve önemli ölçüde plastik deformasyona uğramasına neden olabilir. Bu da tozun sıkıştırılabilme özelliğini azaltıp, şekillendirme sırasında gerekenden fazla soğuk işlem gerektirir. Sinterleme dâhil bütün işlem kademelerinin değerlendirilmesi yapılmadan yeterli derecede karıştırma yapıp yapılmadığına karar vermek oldukça zordur.



Şekil 3.1 Karıştırıcı

3.4.2. Tozların Preslenmesi (Sıkıştırılması)

Sıkıştırma bir yük altında serbest yapıdaki metal toz tanelerinin istenilen forma dönüştürülmesi için yoğunluk kazandırma işlemi olarak tanımlanabilir. Metal tozların sıkıştırılmasındaki ana amaç; ham yoğunluk ve dayanımın elde edilmesidir. Bu işlem için genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik presler kullanılmaktadır. Preslerin uyguladıkları basınç değerleri 70-700 MPa arasındadır ve pratikte kullanılan basınç değerleri ise genellikle 145-450 MPa arasındadır (Klar,1984). Birçok halde sıkıştırmadan önce tozlar 400-800 °C arasında bir ısıtmaya tabi tutulur. Böylece oksitler, rutubet, karbon, kükürt ve fosfor mümkün mertebe ortamdaki uzaklaştırılmış olur. Ayrıca ısı işlem tozların sertliklerini de azaltır. Böylece metal tozların sıkıştırılabilme oranı artar. Sıkıştırılabilme tavlama sıcaklığı arttıkça, oksijen azaldıkça artar. Presleme sıcak (HIP) veya soğuk (CIP) yapılabilir. Şekil 3.2’de örnek bir dikey presleme işleminin basamakları görülmektedir.



Şekil 3.2 Presleme işleminin basamakları

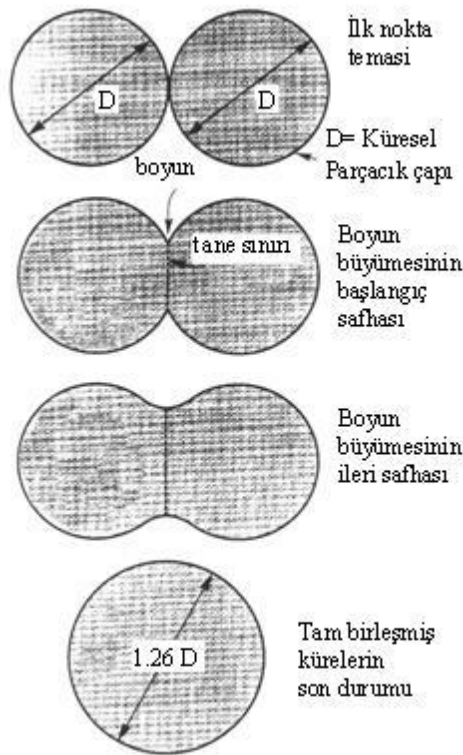
(1) işlem başlangıcı, (2) toz doldurma, (3) presleme başlangıcı, (4) preslemenin bitişi, (5) preslenmiş parçanın çıkarılması

3.4.3. Sinterleme

Sinterleme, gözenekli yapıda bir şekil kazandırılmış metal tozların; yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek şeklinin değişmesine ve gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısı olarak aktive edilmiş malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir. Sıkıştırılmış metal toz parçalar arasındaki bağlantı yapışma, mekanik kitlenme ve benzeri türden zayıf bağlar olup kristal kafes içerisindeki bağ dayanımına oranla çok zayıf kalmaktadır. Bu nedenle sıkıştırılmış ham yoğunluktaki

toz metalürjisi parçalarına, mukavemet ve yüksek yoğunluk kazandırmak amacıyla ergime noktasının altındaki sıcaklıkta ısıtılabilir. Sinterlemenin başlaması noktasal olarak temas halinde bulunan toz parçacıklarının katı-hal bağına dönüşümü ile olur. Sinterleme işlemi sırasında, nokta teması ile başlayan, ara parçacık bağının gelişmesi ile devam eden mekanizmaya çift-küre sinterleme modeli denilmektedir (Şekil 3.3). Bu modelde, parçacık temasının sonucunda oluşan boyun büyümesiyle yeni bir tane sınırı oluşur ve iki parçacık tek bir parçacık oluşturacak şekilde birleşir.

Sinterleme sıcaklığı, tek bileşenli sistemlerde metalin ergime sıcaklığının $2/3$ veya $4/5$ 'i alınarak tespit edilirken, birden fazla bileşenli sistemlerde ise sinterleme sıcaklığı, ergime sıcaklığı yüksek olan bileşenin ergime sıcaklığının altında, ergime sıcaklığı düşük olan bileşenin ergime sıcaklığının üzerinde seçilir.



Şekil 3.3 Çift-Küre sinterleme modeli

Fe alaşımları $1000-1300\text{ }^{\circ}\text{C}$, refrakter metaller $2000-2900\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda sinterlenirler. Sinterleme süresi kullanılan malzemenin bileşimine göre değişir. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe sinterleme süresi kısalır. Metal toz kütlelerinde, sahip oldukları büyük yüzeylerden dolayı yüzey enerjisi bulunur. Sinterleme sırasında metal tozların

birbiriyle bağlanması ve metal toz yüzeylerinin düzelmesiyle yüzey alanları azalır ve böylece yüzey enerjisi de azalır (Klar, 1984).

3.4.4. Sıcak İzostatik Presleme (HIP)

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

Yüksek sıcaklık ve basınçta geçen süre; plastik deformasyona, sürtünmeye ve difüzyona neden olur. Dahili gözenekliliği ortadan kaldırmak için kritik uygulamalara yönelik döküm parçalara sıcak izostatik presleme işlemine uygulanarak hataların giderilip, mekanik özelliklerin iyileştirilmesi sağlanır. Sıcak izostatik presleme, katı veya toz formunda iki veya daha fazla malzemenin bir arada bağlanmasına veya kaplanmasına olanak sağlar.

Sıcak izostatik presleme, toz metalürjisinde de önemli bir araçtır. Katı durumdaki tozu tam yoğun parçalara dönüştürmekte kullanılır. Bu şekilde, geleneksel eritme ya da presleme ve sinterleme üretim teknolojileriyle elde edilenden daha iyi fiziksel özellikler elde edilir. Metal tozlar, şekillendirilmiş sac metal içine hapsedilir ve net şekle yakın parçalar üretmek için HIP işlemine tabi tutulabilir.(URL-1)

Gözenekler tamamen kapandığı zaman uygun bir yoğunluğa ulaşmak için parçalar sinterleme fırınlarında ön sinterleme işlemine tabi tutulurlar. Bu, HIP işlemleri için malzemeyi uygun hale getirir. HIP işleminde gazın olumsuz etkilerinden korumak için parçalar, önce cam kapsüllerde saklanır (Bonneau ve Moltenni, 2002; Bose ve Eisen, 2003).

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

Sıcak izostatik presleme (HIP), iç gözenekliliği ortadan kaldırarak dökümlerin mekanik özelliklerini geliştirir. Yüksek basınç, sıcaklık ve süre malzemenin katı halde akmasını ve atomik seviyede bağlanmasını sağlar. Aynı ilke, metal, seramik, kompozit veya polimer tozlardan tam yoğunlukta malzemelerin üretiminde kullanılır. Sıcak izostatik presleme (HIP) üretim yöntemi, alternatif toz metalürjisine göre daha iyi malzeme özellikleri sağlar ve diğer üretim yöntemlerinde ortaya çıkan mekanik özelliklerin yönlülük problemini ortadan kaldırır.

Soğuk izostatik presleme (CIP); metal, seramik, kompozit ve/veya polimer tozların, içinde, daha sonraki işlem aşamalarında alınması gereken herhangi bir bağlayıcı olmadan, ham işlem diye de bilinen, mekanik olarak sıkıştırılması işlemidir. Basınç tüm yönlere, tek eksenli preslemeyle üstün özellikler elde ederek kalıp duvarı yağlayıcıları ile kirlenme olasılığını ortadan kaldırarak eşit olarak uygulanır. CIP, düşük paketleme faktörlü tozların kapsülleme ve HIP için yeterli yoğunlukta elde etmesini sağlar.

3.5. Toz Metalürjisinin Diğer Üretim Yöntemlerine Göre Avantajları

Toz metalürjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Belirli derecede porozite (gözenek) ve geçirgenlik elde edilir. Toz metalürjisi ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimleri ortadan kaldırması ve malzeme kaybının çok az olması toz metalürjisi yönteminin ekonomik bir üretim yöntemi olduğunun göstergesidir (Sarıtaş ve Doğan, 1994).

Bazı metallerin ergime sıcaklığı çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşamaması (tungsten, molibden gibi), bazı özelliklerin ancak toz metalürjisi ile sağlanabilmesi (kendi kendine yağlanan yataklar), süper alaşım ve sert metaller gibi önemli malzemelerin bu yöntem ile üretilmesi toz metalürjisini zorunlu kılan başlıca sebeplerdir. Çok sayıda üretim söz konusu olduğunda en iyi uygulanabilen bir metot olması, boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı toz metalürjisi yönteminin en bariz avantajlarıdır (Baksan ve Gürler, 2003).

Toz metalürjisi yönteminin genel olarak avantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Yüksek malzeme kullanım oranı, düşük malzeme kaybı.
- Yüksek üretim hızları.

- Düşük maliyet
- Düzgün yüzey, yakın tolerans değerlerinin elde edilmesi.
- Karmaşık şekilli parçaların imalatı.
- Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin imalatı.
- Yüksek yoğunluğa sahip parça üretimi.
- Metal matris kompozit ve metal alaşımları üretimi.
- Belirli derecede gözeneklilik ve geçirgenlik (Kaysser ve Rzenitzek, 1990)

3.6. Toz Metalürjisinin Diğer Üretim Yöntemlerine Göre Dezavantajları

Her imalat yönteminin kendine özgü kullanım alanı olmasından dolayıyla, T/M teknolojisinin de avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur:

- Seri imalat yapılmaz ise, sıkıştırma ve sinterleme üniteleri gibi ilk yatırım maliyetini ve ikincil yatırım maliyeti olarak tanımlanan gözenek doldurma donanımı, kalıpların tasarımı ve imalatı maliyetlerinin yüksek olması,
- Metal tozların maliyeti ingot haldeki malzemeden daha pahalıdır,
- Mukavemet gerektiren parçalarda gözenek doldurma ve infiltrasyonu gibi ikincil işlem uygulanmaz ise, diğer yöntemlere nazaran kötü mekanik özellikler ve değişken yoğunluk değerleri, Gözenekten kaynaklanan düşük korozyon dayanımı ve düşük plastisite özellikleri,
- Büyük hacimdeki parça imalatının yapılamaması, tasarım sınırlılıkları veya yüksek maliyetteki yeni T/M tekniklerinin kullanılması (Yalçın, 2007).

3.7. Toz Metalürjisinin Kullanım Alanı

Toz metalürjisi uygulama alanları oldukça geniştir. Tungsten lamba teli, diş dolguları, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, zırh delici mermiler, elektrik kontakları ve fırçaları, mıknatıslar, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik protezler, iş makinesi parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, şarj edilebilir piller ve jet motoru parçalarının üretimi toz metalürjisinin kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir. Metal tozlar boyalar, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, mükrekkepler, sert lehim bileşikleri ve katalizörlerde kullanılmaktadır (Turan,1993). Toz

metalürjisinin kullanım alanlarından bir tanesi de savunma sanayisidir. Ateş sanatı olarak bilinen piroteknik uygulamalar savunma sanayisi için oldukça önemlidir. Piroteknik reaksiyonlar çok yüksek sıcaklık oluşturdıklarından aydınlatmaya yol açarlar. Piroteknikler havai fişek, işaret fişegi ve flaş tozu olarak kullanılırlar. Genellikle demir parçalarının üretiminde kullanılan toz metalürjisi yöntemi otomotiv endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük yoğunlukta parçalara ihtiyaç duyulan otomotiv endüstrisi de toz metalürjisi yöntemi ile daha hafif parça üretimine doğru yönelmektedir (TS 3087, 1978).

3.8. Alaşım Elementleri

3.8.1. Bakır

Bakır tozu, demir tozuna sinterlenmiş ürünün mukavemetini arttırmak için ilave edilmektedir. Fe-Cu kompaktlarının sinterlenmesi sırasında bakır yüzdesine bağlı olarak boyutsal değişimler meydana gelir. Saf Fe tozundan preslenen parçalar sinterleme sırasında büzülürler. Bakır tozu ilavesi ve bakırın ergime noktasının (1083°C) üzerinde sinterleme yaparak bu büzülme tersine çevrilir ve sonuç olarak genleşme gerçekleşir. Genleşme, % 8–10 Cu ilavesine kadar artan bakır miktarı ile artar. Bu da Cu'nun Fe içinde çözünebilme limitlerine bağlıdır ve bundan sonra azalır. Az miktarda Cu ilavesi (% 1–2,5) saf Fe tozlarının sinterlenmesi sırasındaki büzülmesini karşılamak için kullanılabilir.

Yüksek miktarda bakır ilavesi ile oluşan genleşme, parçayı dar toleranslarda tutmayı ve presleme sırasında aynı kalıpların kullanımını zorlaştırır. Cu ilavesinden kaynaklanan genleşmeleri elimine etmek için demir tozlarına dengeleyici element olarak C, P ya da W ilavesi yapılabilirken demir tozunun tane boyutu da küçültülebilir.

3.8.2. Nikel

Fe-Ni karışımları, yüksek mukavemet ve uzama özellikleri istenen parçaların üretiminde kullanılır. Demir tozuna eklenen nikel miktarı genellikle % 2–5 arasında değişir. Ni, Fe içerisine çok yavaş yayılır. Bu sebeple Fe-Ni alaşımlarının sinterlenmesinde yüksek sinterleme sıcaklığına ve uzun bir sinterleme süresine ihtiyaç duyulur. Eğer Ni tozlarının tane boyutu çok küçükse alaşımlanma daha hızlı gerçekleşir.

Bu sebeple genellikle 5 µm tane büyüklüğüne sahip tozlar kullanılır. Sinterleme sıcaklığı en az 1250–1350°C civarında olmalıdır ve 1–2 saat sinterleme yapılmalıdır. Parçalanmış amonyak bu işlem için en uygun sinterleme atmosferidir. Fe–Ni karışımından üretilmiş kompaktlar sinterleme sırasında büzülürler. Sinterleme sıcaklığında ya da süresinde yapılacak en ufak değişiklikler bile büzülme miktarı üzerinde çok önemli etkiler oluşturabilir. Bu nedenle sinterleme sırasındaki bütün değişkenler sabit tutulmalıdır. Aksi takdirde parçanın boyutları değişkenlik gösterebilir.

3.8.3. Kobalt

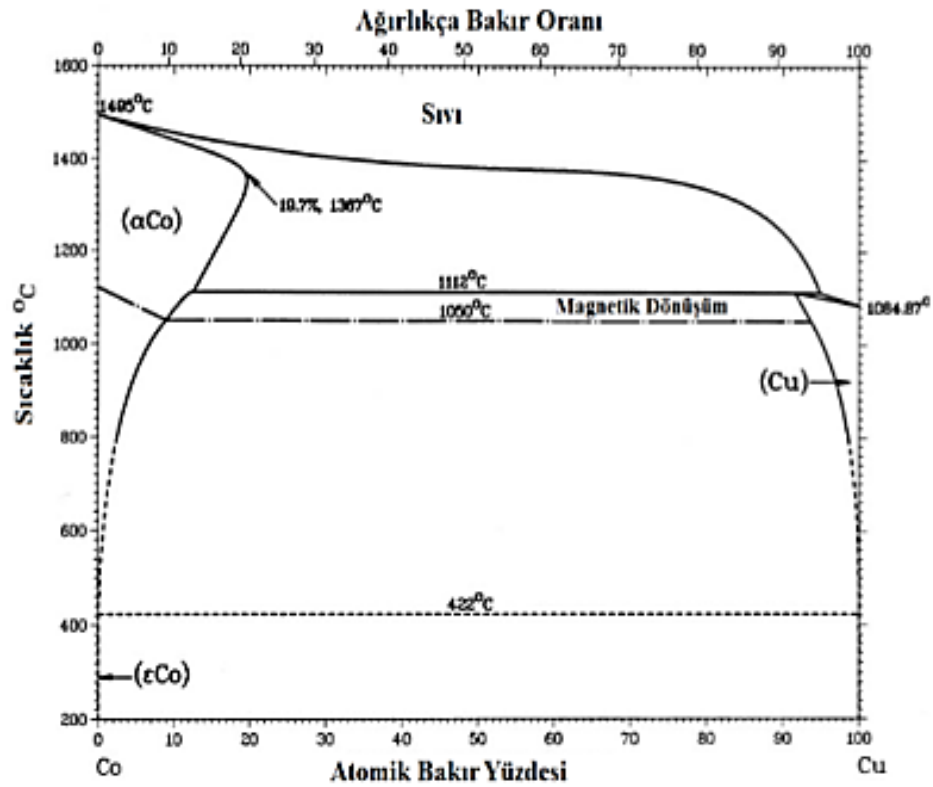
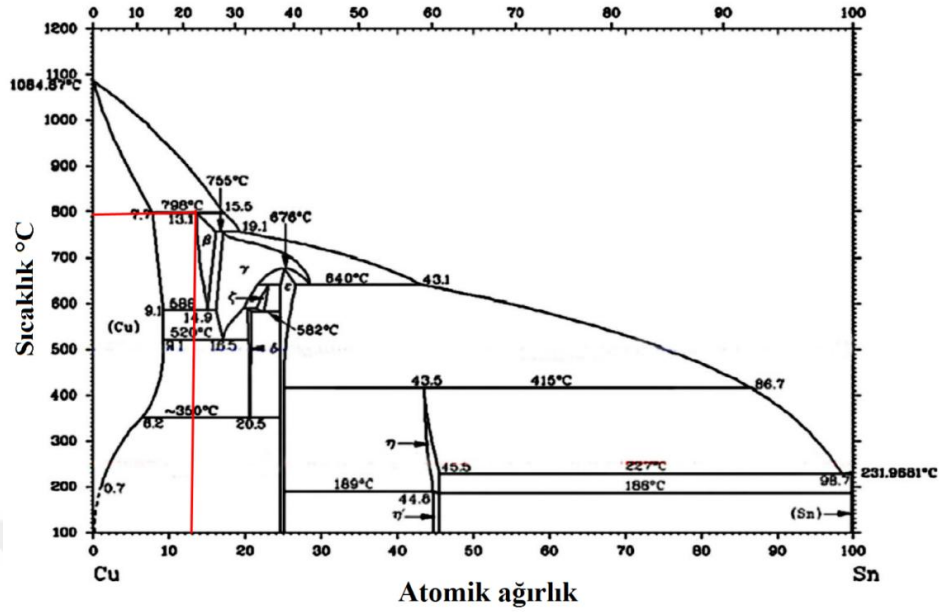
Sıcak presleme işleminde kobaltın; yüksek akma dayanımı ve tokluğu sayesinde, mükemmel derecede bağlanma kabiliyeti vardır. Matrisin abrasif aşınmaya karşı direncini arttırmak için kobalt elementi kullanılabilir. Deneyler sonucu elde edilen bilgiler, sıcak preslenmiş Co'nın mikro yapı, faz bileşimi, sertlik, mekanik dayanımı, süneklik ve aşınma direnci özellikleri ve sıcak presleme işlem parametrelerine bağlı olarak önemli derecede değişiklik gösterir (Konstanty, 1991, 1996, 1997).

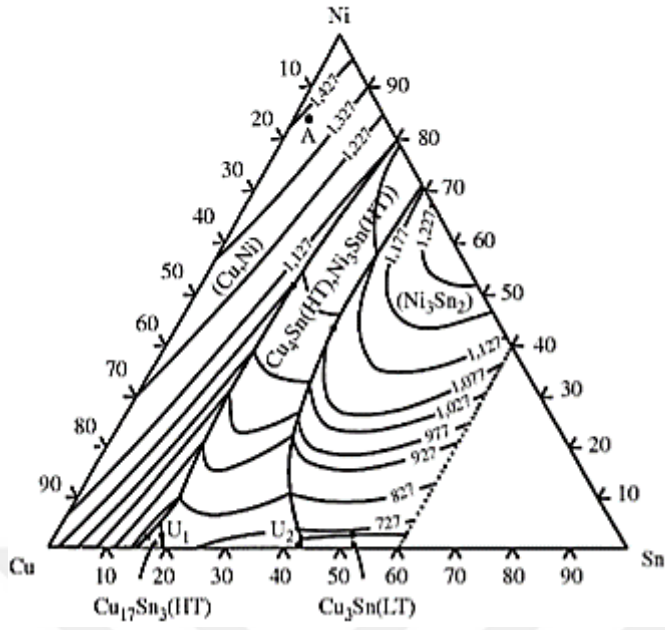
3.8.4. Bronz (85Cu+15Sn)

Bronz veya tunç, bakırın önemli bir alaşımıdır. Önceleri bakır ve kalaydan meydana gelen bakır alaşımlarına bronz denilmekteydi. Bununla birlikte bronz terimi modern kullanımda bakırın bakır-nikel, bakır-berilyum ve bakır-çinko (pirinç) alaşımı dışındaki bütün alaşımları için kullanılmaktadır. Bronz bakırdan daha serttir, daha kolay erir ve kalıba daha kolay dökülür. Bazı bronzlar demirden de serttir. Bu tür bronzlar silah namlusu ve makina yataklarının imalinde kullanılır.

3.9. Matriste Oluşan Faz ve Bileşiklerin İkili ve Üçlü Denge Diyagramlarındaki Yerinin Belirtilmesi

Sinterleme sıcaklığı, Şekil 3.4'deki Cu-Sn ikili faz diyagramından da görüldüğü gibi 700-800 °C olarak seçilmiştir. Bu sıcaklıktaki sinterlemeden sonra mikro yapıda α Cu- β Sn oluşmuştur. Bu durum Cu-Sn ikili faz diyagramı ve XRD grafiği ile de desteklenmektedir.





Şekil 3.6 Cu-Sn-Ni üçlü faz diyagramı

Şekil 3.4'te Cu-Sn ikili denge diyagramı, Şekil 3.5'te Co-Cu ikili denge diyagramı, Şekil 3.6'da Cu-Sn-Ni üçlü denge diyagramında çalışılan deney malzemesinin yeri ve fazları belirtilmiş olup bu fazlar daha detaylı bir şekilde XRD analizleri ile desteklenmeye çalışılmıştır.

4. AŞINMA

Sürtünme; cisimlerin veya maddelerin birinin diğerine bağlı olarak hareketinden doğan kinetik enerji kayıpları olarak tarif edilir.

Sürtünmeye, temas eden iki cismin ara yüzeylerinde gerçekleşen kuvvetler sebep olur. Bu kuvvetler; yükün yanı sıra temas eden malzemenin özellikleri ve temas alanı olarak belirlenir. Gerçek temas alanı cismin görünen alanından çok küçüktür. İşlem görmüş bütün malzemeler farklı bir yüzey topografyasına sahiptirler. Bu farklılıklar; işleme aletinin geometrisi, çalışma parçasının mikro yapısı ve sistemdeki titreşimlerin sebep olduğu dalgalı sapmalardır.

Sürtünme kuvveti; bir katı ile temas eden cismin diğeri üzerinde kaymasını sağlamaya yarayan teğet halindeki yüzeysel kuvvettir. Sürtünme, yüzeylerin düzleminde gerçekleşir ve yüzeye dik olan kuvvetle orantılıdır.

$$F_s = \mu \cdot N$$

F_s = Sürtünme kuvveti;

μ = Sürtünme katsayısı;

N = Yüzeye dik olan kuvvet ya da normal kuvvet.

Başlangıçta yüzey pürüzleri noktasında temas düşünülerek zahiri temas alanı (A_a) ve gerçek temas alanı (A_r) belirlenir. Sürtünme etkileşim derecesi gerçek temas alanının büyüklüğü ile saptanır. İlk önce gerçek temas alanının büyüklüğünün saptanması gerekir (Orhan, 2008).

Günümüz sanayisinde yaygın olarak kullanılan sistemlerde korozyon ve yorulmadan sonraki en önemli üçüncü sorun olarak aşınma gözümüze çarpmaktadır. Aşınma için bazı tarifler şöyledir; Aşınma; mekanik ve kimyasal etkilerden dolayı malzemede istenmeyen partikül kayıpları olarak tarif edilebilir. DIN 50320 ve ASTM G4093 standartlarına göre ise; kullanılan malzemelerin, mekanik etkenlerle başka malzemelerle teması sonucunda, yüzeyden küçük parçaların ayrılmasıyla oluşan ve istenilmeyen yüzey bozulmalarını aşınma olarak tarif eder (Korkut, 1997).

Teknik anlamda aşınma; cisimlerin yüzeylerinde, mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopup ayrılması sonucunda istenilmeden malzemede meydana gelen değişiklik

olarak adlandırılır (Gediktaş, 1970). Moor'a göre (1974) aşınma; malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması sonucunda malzemenin yüzeyinden mikro tanelerin kopmasıyla meydana gelen yüzey bozulmasıdır. Aşınma teknik problem olduğu kadar ekonomiyi de yakından ilgilendirir. Yapılan araştırmalar, gelişmiş ülkelerde aşınmadan kaynaklanan malzeme kayıplarının milli hasılanın % 6-7'sini oluşturduğunu göstermiştir (Özay, 2004).

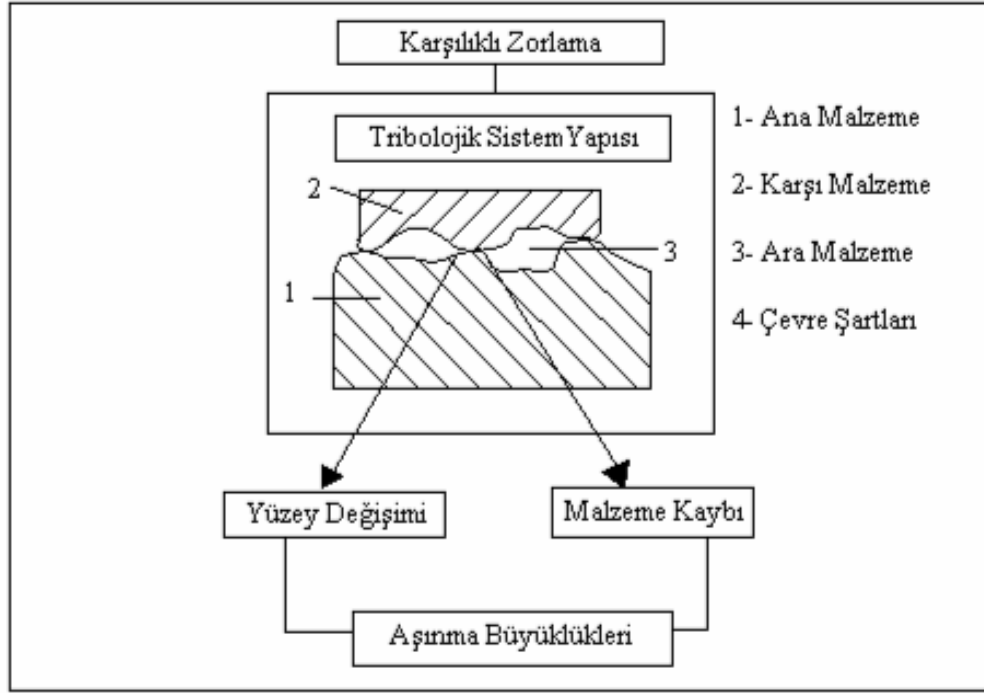
Çeşitli tanımlara göre, malzemede meydana gelen hasarın aşınma olarak ele alınabilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekir. (Solmaz, 2002)

- Mekanik bir etkinin olması,
- Sürtünmenin olması (izafi hareket),
- Yavaş, fakat devamlı olması,
- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- İstenmediği halde oluşması.

Yukarıda belirtilen etkilerin dışında herhangi bir sebepten dolayı hasar oluşuyor ise, aşınmanın diğer hasarlarla beraber olduğu söylenebilir. Fakat bu şartlardan herhangi biri gerçekleşmiyorsa, bu hasar türünün aşınma olarak değerlendirilmesi mümkün değildir.

4.1. Aşınma Sisteminde Temel Unsurlar

Bir aşınma sistemindeki unsurların oluşturduğu sistemin tümüne; teknikte “Tribolojik Sistem” denir. Bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi Şekil 4.1’de görülmektedir (Pekin ve diğ., 1993).



Şekil 4.1 Tribolojik sistem (Pekin ve diğ., 1993).

4.1.1. Ana Malzeme (Aşınan)

Fiziksel ve kimyasal özellikleriyle yüzey yapısı, şekil durumu tamamen bellidir. Ayrıca bu özelliklerin yanında aşınma özelliği ile incelenen katı cisimlerdir.

4.1.2. Karşı Malzeme (Aşındırılan)

Aşınmanın oluşumunda önemli olan karşı sürünme elemanıdır. Bunlar; gaz, sıvı veya katı bir cisim olabilir. Aşındırılan ve aşınan eleman birlikte bir aşınma çiftini oluşturmaktadırlar.

4.1.3. Ara Malzeme

Aşınan ve aşındırılan elemanlar arasında katı, sıvı, gaz, buhar yada bunların karışımı şeklinde bulunan maddeye denir. Örneğin; bu ara madde, yüzeylerin arasına herhangi bir nedenle girmiş kum taneleri olabileceği gibi, aşınma esnasında kopan parçacıklar da ara madde görevi üstlenebilmektedir.

4.1.4. Yük (temas kuvveti)

Etki eden kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli), doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemenin şiddetini belirleyen etmenleri oluşturur.

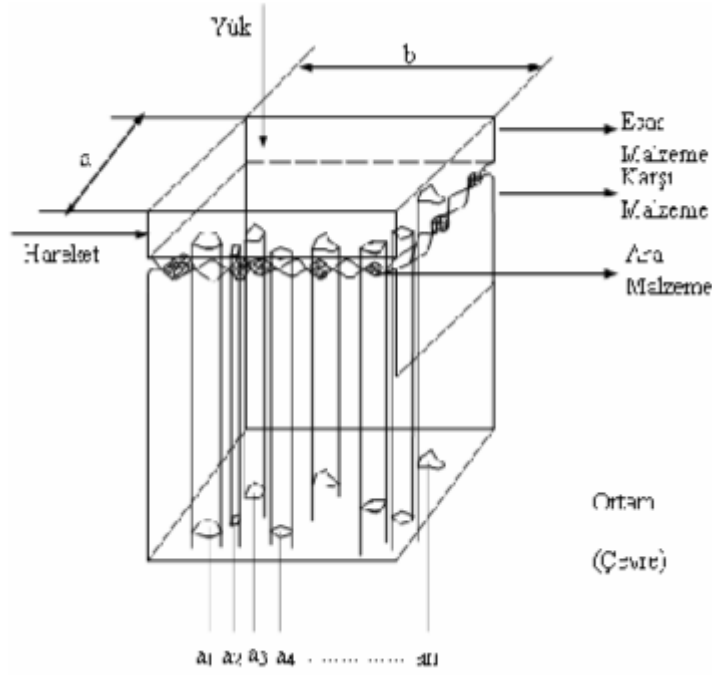
4.1.5. İzaği Hareket

Aşındırılanın aşındırıcı elemana göre izafı hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma veya çarpma), büyüklüğü ve doğrultusu ile belirlenir. İzaği hareket ve yükleme değişkenleri sistemi etkileyen en önemli giriş büyüklükleridir. Bunların etkisiyle yapıda bazı değişmeler oluşurken, sürtünme ve aşınma ile gerçekleşen kayıplar ortaya çıkar. Bu durum arasındaki ilişki Tablo 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4.1 Yükleme ve hareket değişikliklerinin sistemi etkilemesi (zay, 2004)

Başlangıç Büyüklükleri	Tribolojik Esnada Değişen Faktörler		Sonuç Büyüklükleri
Sürtünme elemanlarının yapısı	Yüzey pürüzlülüğü değişimi	Yapı değişimi	Sürtünme kuvveti
Yükleme	Ara maddesi	Fiziksel-kimyasal zellikler	Aşınma miktarı
Hareket	Sıcaklık değişimi	-	-

Tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak farklı bir gösterimi şekil 4.2’de gösterilmektedir. Birbiriyle temas eden iki cismin gerçek temas yüzeyi, görülen temas yüzeyinden küçüktür. Çünkü temas yüzeyleri ne kadar düzgün işlenirse işlensin yüzeyde mutlaka prz denilen çıkıntılarının varlığı bir gerçektir.



Şekil 4.2 Sürtünen iki cisimde aşınmanın temel unsurları (Özay, 2004)

4.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen faktörler birçok farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmiştir.

4.2.1. Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

4.2.1.1. Malzemenin Kristal Yapısı

Malzemelerin kristal yapılarının aşınma direncine etkisinin araştırılmasıyla; sıkı paket yapıya sahip malzemenin aşınma dirençlerinin, diğer kristal yapılarına sahip olanlara göre daha büyük olduğu gözlenmiştir. Buna örnek olarak kobalt gösterilebilir. Ergime sıcaklığı 1495 °C olan saf kobaltın yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik (YMK) ve düşük sıcaklıklarda sıkı paket hegzagonal (SPH) olmak üzere iki alotropu mevcuttur. Saf kobaltta YMK→SPH dönüşümü 417 °C de gerçekleşmektedir (Özay, 2004).

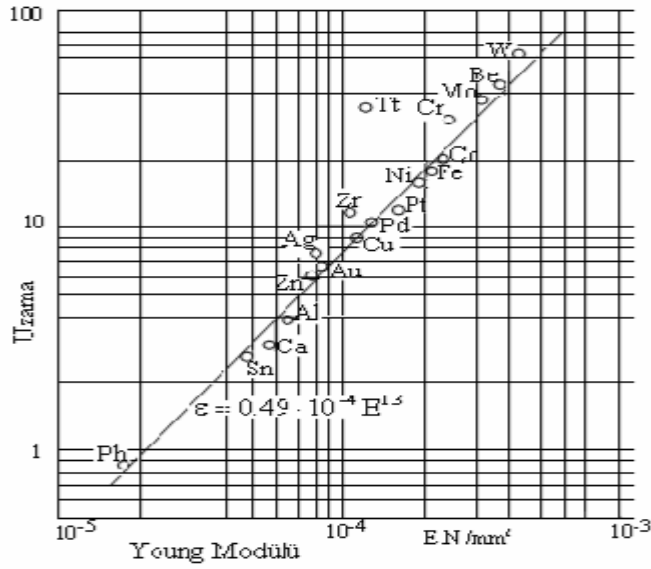
4.2.1.2. Malzemenin Sertliği

Malzemenin sertliği ile ana malzemeye katılan alaşım elementlerinin cins ve miktarı arasında sıkı bir ilişki vardır. Genelde alaşım elementleri, malzemelerin mukavemetini ve sertliğini artırırılar. Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında gelen sertlik ile aşınma direnci arasındaki ilişki bir düzeye kadar doğrusal değişim gösterir. Yani sertliğin artmasıyla aşınma direnci de artar. Ancak belli bir değerden sonra sertlik, aşınmaya karşı yeterli direnci sağlayabilir (Muratoğlu, 1997). Çeliklerde ve tavlanmış saf metallerde aşınma direnci (R) ile sertlik (H) arasında doğru orantılı bir değişim vardır.

4.1.2.3. Elastisite (Young) Modülü

Elastiklik modülü veya akma sınırı yüksek olan malzemelerde gerçek temas alanı azalmaktadır. Bu durumda yüzeye etki eden yük, sadece pürüzlerin değdiği noktalardan desteklenir ve yüzey alanının küçük bir kısmı yükü taşır. Uygulanan yük sabit olarak kabul edilirse; pürüzlere gelen yük daha fazla olacağından, deformasyonla birlikte kaynak bağları oluşumu artacaktır. İzafî hareketin etkisiyle oluşan kaynak bağlarının kopması sonucunda aşınma artacaktır. Khruchov ve Babichev'in yaptıkları araştırmalarla, saf metaller için aşınma direncinin elastiklik modülüne bağlı olduğunu, fakat bu ilginin ısıl işlem görmüş çelikler için geçerli olmadığını ileri sürmüşlerdir.

Özet olarak malzemelerin elastiklik modülleri ile aşınma dirençleri arasında Şekil 4.3'teki gibi bir ilişki vardır. Bu ilişki, malzemenin elastiklik özelliğiyle açıklanabilir (Keleştemur, 1989).



Şekil 4.3 Saf malzemeler için elastisite modülü-bağıl aşınma direnci arasındaki ilişki (Keleştemur, 1989)

4.1.2.4. Deformasyon Davranışları

Soğuk şekil değiştirme işlemi sertliği etkilediği için aşınma direncini değiştirmektedir. Malzemenin mekanik özellikleri soğuk deformasyonla geliştirilebildiği gibi, aşınma direnci de soğuk şekil değiştirme ile sertleştirilmiş malzemelerde hissedilir derece arttırılabilmektedir. Soğuk şekillendirme sırasında malzeme yapısında meydana gelen pekleşme, malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Aşınma sırasında verilen enerjinin bir kısmı sürekli olarak soğuk deformasyon meydana getirerek malzeme yüzeyinin pekişmesine sebep olacaktır. Eğer hakiki yüzey basıncı ve şekil değiştirme mukavemeti arasında böyle bir denge söz konusu olursa, aşınma azalacak bir müddet sonra sabit olarak devam edecektir (Keleştemur, 1989).

4.1.2.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzeyin pürüzlülük derecesi, yani büyüklüğü veya küçüklüğü, temas davranışını etkileyeceğinden; aşınma ve sürtünme olayında önemli faktörlerden biridir. Yüzeylerin kaba işlenmiş olması gerçek temas alanını azaltacağından yüzeyde tek bir pürüze gelen yük miktarının büyümesine ve dolayısıyla aşınmanın artmasına sebep olur (Özay, 2004).

Başlangıç şartlarında yüzey pürüzlülüğünün kontrolü kolaydır. Fakat çalışma esnasında aşınma mekanizmasına göre değişen yüzey profilinin kontrolü olanaksızdır. Bu nedenle uygun çalışma çiftleri ile çalışılması daha uygun olur.

4.1.2.6. Isıl İşlem

Isıl işlemin etkisi ile malzemelerin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler, aşınma direncini büyük ölçüde etkiler. Malzemeye uygulanan ısıl işlemle sağlanan sert yapı, aşınma direncini artırır (Solmaz, 2002). Bu da ısıl işlem sonunda malzemenin mikro yapısında değişiklik meydana getirdiği için, malzemenin birçok özelliğini değiştirir. Bu nedenle ısıl işlemin etkisiyle malzemede aşınmaya etki edecek birçok faktör değiştirilerek metallerin aşınma davranışları önemli ölçüde etkilenebilir.

4.1.2.7. Malzemenin Boyutu

Malzemenin boyutu, aşınma karakteristiklerini etkileyen özelliklerden biridir. Malzemenin aşınmaya uğrayan bölgelerinin boyutu fazlaysa, aşınma esnasında malzemenin ısınma süresi o kadar geç olacağından, mikro yapıya fazla etki edemeyecektir. Bu nedenle mikro yapı farklılığı oluşmadığından malzemenin aşınma direncinde bir düşüş olmayacaktır. Fakat aynı malzemenin daha küçük bir bölümü aşınmaya maruz kalınca, mikro yapı özelliklerinin değişmesi mümkündür. Bu nedenle mikro yapının tane küçülmesinden dolayı malzemenin aşınma direnci artacaktır (Solmaz, 2002). Ayrıca malzemenin düz yüzeyleri arasında oluşan ve temas arabirimi kayma yönüne paralel olduğunda, arabirim rotasyon oluşturur. Buda kayma içindeki normal ve teğetsel güçlerin birleşik etkisinin bir sonucu olarak aşınma eğrisi, eğimli ve dalgalı bir hale gelir (Gür, 2006).

4.1.2.8. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi

Laboratuvar deney ortamlarında çok çeşitli aşındırıcılar kullanılır. Aşındırıcı tanenin; boyutu, sertliği ve şekli aşınma hızında önemli derecede rol oynar. Tablo 4.2’de bazı aşındırıcılar ve bunların sertlik değerleri verilmektedir.

Tablo 4.2 Bazı aşındırıcılar ve sertlik değerleri

Aşındırıcı Cinsi	Mikrosertlik (HV ₅₀)	Dayanabildiği Sıcaklık (°C)
Elmas	10.000	700-800
Bor karbürü (B ₄ C)	3700-5000	700-800
Silisyum karbür (SiC)	2300-2600	1300-1400
Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	2000-2300	1700-1800

Alüminyum oksit (Al₂O₃) aşındırıcı taneleri sert ve köşelidir. Silisyum karbür (SiC) aşındırıcı taneleri ise daha sert ve köşeli olmalarına rağmen, Al₂O₃ aşındırıcılarına göre kırılğıandırılar. Yüksek sıcaklıklarda bazı Al₂O₃ ve SiC aşındırıcıların sürtünme katsayıları incelendiğinde SiC'ün sürtünme katsayısı sıcaklığın yükselmesiyle azaldığı bulunmuştur. Yüzeyler arasında sürtünme söz konusu olduğuna göre sürtünme kuvvetinin bir kısmı sistemde sıcaklık olarak ortaya çıkacaktır. Özellikle sistemde kuru bir sürtünme mevcut ise ortaya çıkan ısının boyutları oldukça yüksek olmakta, hatta bazı malzemelerde mikroyapı değişikliklerine bile neden olmaktadır (Muratoğlu, 1997).

4.1.2.9. Ortamın Etkisi

4.1.2.9.1. Sıcaklık

Aşınma bölgesinde artan sıcaklık, yüzeyin sertliğini düşürdüğü, plastik deformasyonu kolaylaştırdığı ve oksidasyona yol açtığı için aşınma miktarını artırmaktadır. Şiddetli aşınmada ise artan çevre sıcaklığının aşınmaya katkısı, yüzeyin özelliğini iyileştirdiği için olumlu yönde olmaktadır (Özmen ve diğ., 1991)

4.1.2.9.2. Nem

Atmosferdeki bağıl nem oranı da aşınmayı etkilemektedir. Bağıl nem oranı arttıkça sürtünme katsayısı azalmakta, dolayısıyla aşınma miktarı azalmaktadır (Özay, 2004).

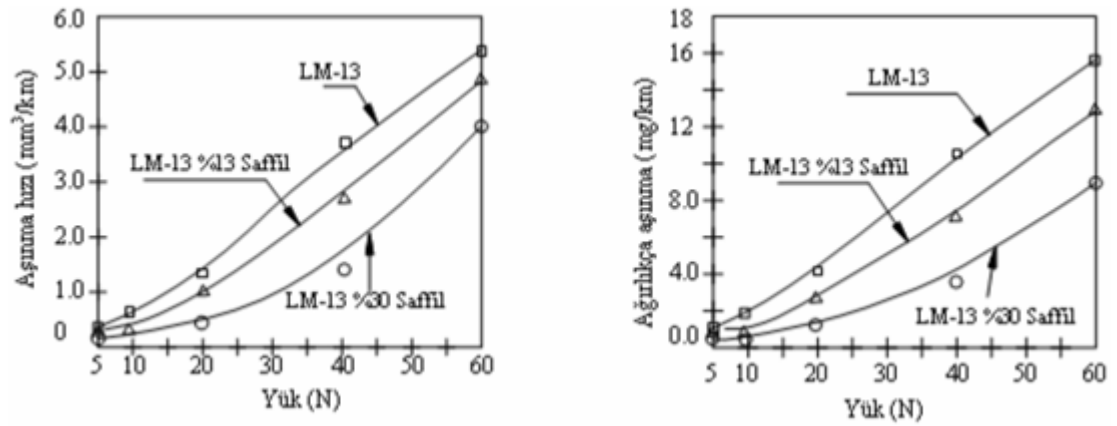
4.1.2.9.3. Atmosfer

Atmosferde bulunan oksijen yüzeyde koruyucu oksit tabakası oluşturur. Ortam olarak soygaz (Ar, He... v.b) kullanıldığında oksit oranı azalacaktır. Bu oksit tabakasının yüzeyden koparılmasıyla metal teması oluşur ve parça aşınmış olur (Özay, 2004).

4.1.3. Aşınma Parametreleri

4.1.3.1. Basınç

Tribolojik sistem içerisinde yükün artmasıyla temas alanı da artar. Bu nedenle yüzeydeki sürtünmenin artmasıyla aşınma da artar. Etkileşen çiftler üzerine gelen, yükün cinsi aşınma oranını farklı şekillerde etkiler. Statik yükler, yüzeye sabit bir etki yaparken, dinamik yükler daha farklı bir etkide bulunurlar. Yataklarda ve çoğu mekanik elemanlarda kullanılan bakır alaşımlarıyla çelik çifti, dinamik yüke maruz kalır. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi dinamik yükün titreşim genliğinin artması ile aşınma azalır (Yılmaz, 1997).



Şekil 4.4. Takviyesiz LM-13, %15 ve %30 saf fiber takviyeli alaşımlarda aşınma hızı-ağırlık-uygulanan yük ilişkisi

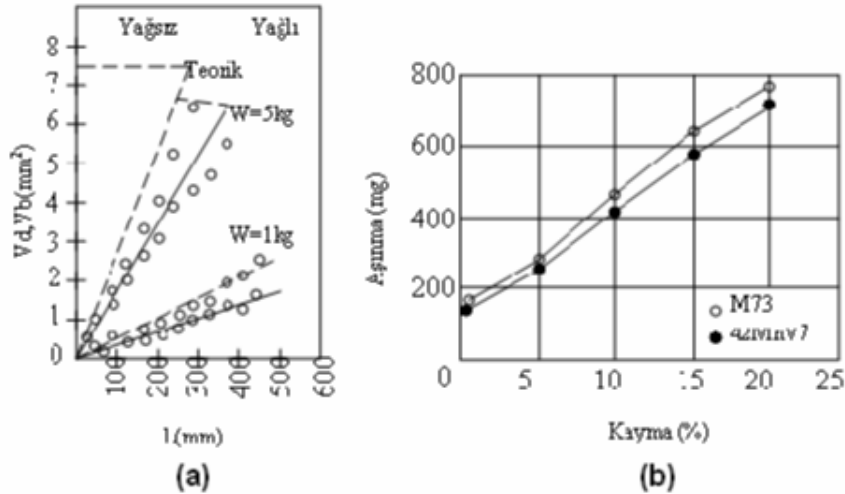
4.1.3.2. Hız

Aşınma esnasındaki hız malzemenin mikroyapısına etki ettiğinden bununla bağlantılı olarak aşınma direncini de etkiler. Bazı araştırmalarda aşınma hızının fazla olmasının,

karbürlerin ya da sert takviye elemanlarının miktarının düşmesine neden olduğunu, bunun da ağırlık kaybı ve sertliğin düşmesi sonucunda aşınma direncinde bir azalmaya yol açtığı belirtilmektedir. Aşınma öncesi malzemelerin mikroyapısında tespit edilen; MC3, M23C6, M2C, M3C, ...v.b. karbürlerin belli bir aşınma hızından sonra yüzeyden uzaklaşması ya da aşınma esnasında yüzeyden kopması ve bunların bir kısmının da aşındırıcı görevi üstlenmesi sonucunda malzemelerin aşınma direncinin önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir. Bu durum aşınma hızının artmasına da neden olmaktadır (Desai, 1984).

4.1.4. Kayma Yolu

Yağlamalı ve yağlamasız şartlarda aşınma hacmi, kayma mesafesiyle orantılıdır. Kayma mesafesi arttıkça aşınma da artar. Bütün hacimsel aşınma eşitliklerinde kayma yolu, aşınma ile orantılı olarak ifade edilmiştir. Hisakado'nun (1976), deneysel ve teorik çalışmalarında, kayma mesafesi ile aşınma miktarının büyük bir uyum göstererek orantılı olduğu belirtilmektedir. Şekil 4.5'de teorik hesaplar, aynı kayma mesafesinde deneysel sonuçlara göre aşınmanın daha fazla olacağını göstermişse de, çok az bir farklılıkla sonuçlar benzeşmektedir.



Şekil 4.5 a) Kayma yolu ile aşınma miktarının değişimi b) kaymanın aşınmaya etkisi

4.1.5. Sertlik ile Abrasif Aşınma Direnci Arasındaki İlişki

Sertlik aşınma direncini etkileyen önemli faktörlerin başında gelir. Sertlik ile aşınma direnci arasındaki ilişki belli bir düzeye kadar doğrusal değişim gösterir. Yani sertliğin artmasına bağlı olarak aşınma direnci de artar. Ancak bu artış belli bir değerden sonra doğrusal artma oranının dışında kalır. Bu aşamadan sonra da sertlik, aşınmaya karşı yeterli direnci sağlayabilir (Muratoğlu, 1997).

Abrasif aşınmayı minimuma indirmek için aşınmaya uğrayan malzemenin diğer malzemeye göre çok daha sert olması istenir. Bu özellik şu metotlarla sağlanabilir:

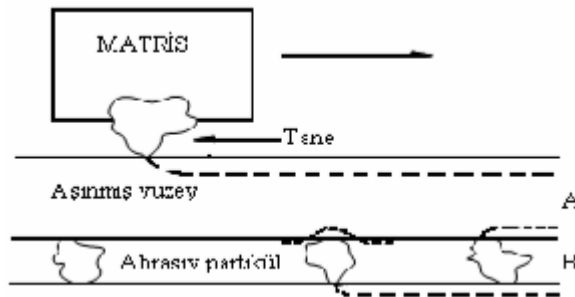
- a) Alaşımlama ile malzemelerin sertlikleri iyi bir şekilde arttırılabilir.
- b) Isıl işlem uygulamaları yine malzemenin sertliğini önemli ölçüde değiştirebilir.
- c) Malzemelerin yüzeylerine dışarıdan müdahale ederek sert yüzey tabakası oluşturulabilir.

Buna elektro-kaplama, alev püskürtme, nitrürasyon, plazma sprej gibi birçok uygulama örnek olarak verilebilir.

4.2. Aşınma Çeşitleri

4.2.1. Abrasiv Aşınma Mekanizması

Bir malzemenin diğer bir malzeme tarafından abrasiv aşınmaya tabi tutulabilmesi için en önemli şart, sürtünme sırasında aşındıran malzemenin sertliğinin aşındırılan malzemenin sertliğinden daha fazla olmasıdır. Şekil 4.6'da abrasiv aşınma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir. Metalurji yöntemi ile üretilen numunelere uygulanan adheziv aşınma testinde dört kontrol faktörü kullanılmıştır (Yıldız ve diğ., 2014).



Şekil 4.6 Abrasiv aşınma mekanizması (Çimenoglu ve Diğ., 2003)

4.2.1.1. Abrasiv Aşınmaya Sıcaklığın Etkisi

Aşınmaya maruz kalan sistemin elemanları ve çevre çalışma ortamı, aşınma şiddetini belirler. Ayrıca, malzeme cinsi, kimyasal içerik, sertlik, elastik modülü, yüzey pürüzlülüğü, uygulanan ısıt işlemler, aşındırıcının tane boyutu ve şekli de aşınma direncine etki eder (Metal Handbook, 1983).

Malzeme seçiminde en önemli parametrelerden birisi sertliktir ve sert malzemelerin aşınma dirençlerinin de daha yüksek olduğu bilinmektedir (Oğuz, 1993; Meriç ve diğ., 1997).

Metalik balataların, asbest esaslı balatalara göre avantajları, daha büyük hızda enerji emmeleri ve daha fazla aşınma direncine sahip olmalarıdır. Bunlar daha yüksek sıcaklıklara dayanabildikleri gibi aynı zamanda daha fazla ısı iletirler. Sürtünme katsayıları da sıcaklık ve basınçla daha az değişir (Libisch ve Rhee, 1978; Liu ve Rhee, 1978).

4.2.1.2. Abrasiv Aşınmaya Nemin Etkisi

İleri teknoloji ürünü seramik malzeme olarak çok kullanılan alümina, uygulamalarda yüzeyden tane kopması şeklinde aşınma davranışı gösterir. Bu durum, farklı yönlerdeki kristallerin termal genleşmelerinde anizotropik özellikler göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bu anizotropik özellikler tane sınırları boyunca çatlak oluşumlarına neden olduklarından, iri taneli yapılarda daha etkilidirler. Büyük taneli yapılarda mikro çatlaklar tane içlerine doğru gelişme göstermektedirler (Gleaze, 1995). Bu aşınma davranışının iki önemli sonucu vardır.

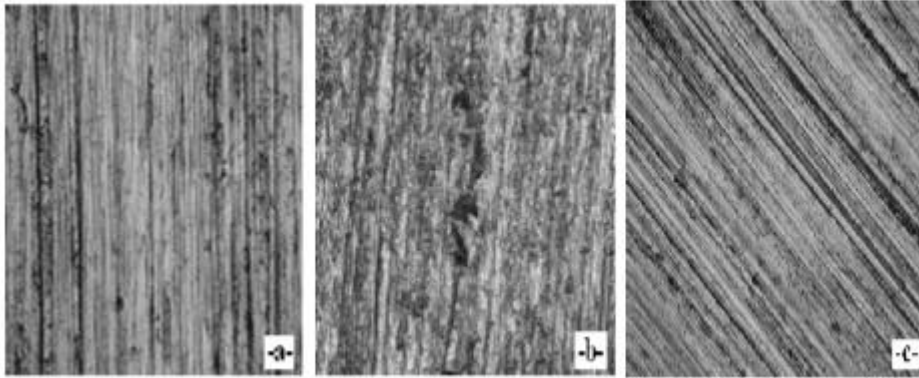
- İlk olarak yüzeyde boşluklar oluşur. Bu, boşluklara en yakın partikülün yüksek açılı aşınmasına neden olur. Çarpma aşınma testleri, çarpma açısının 60 °C'nin üzerinde olması, daha hızlı aşınmanın oluşacağını göstermektedir.

- Aşınmada daha sonra, yüzeyden kopan partiküller aşındırıcı partiküller halini alır. Bu partiküller genellikle keskin köşeli, yüzeydeki taneler kadar büyük ve serttirler. Bu partiküller, seramik yüzeyini başlangıç aşındırıcı partiküllerden çok daha etkili bir şekilde aşındırırlar. Bir seramik malzemenin sıcaklığını, ergime sıcaklığının 0,6 katına yükseltmekle; dislokasyonların hareketliliği ile plastik deformasyon potansiyeli artırılır. Mukavemette meydana gelen azalmayla birlikte yüksek sürtünme hızları, sıcaklığın

yükselmesine eşlik eder. Ancak seramik malzemelerde sıcaklıktaki artışla birlikte plastisitedeki artış metallerde sık görülen sünekliğe sebep olmaz. Seramikler gevrek ya da yarı gevrek bir davranış gösterirler (Başman ve diğ., 2001).

4.2.1.3. Abrasiv Aşınmanın Kontrolü

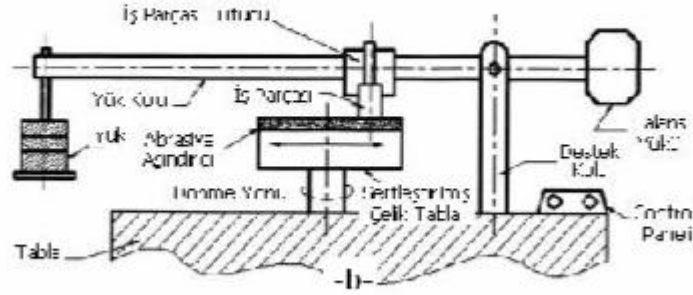
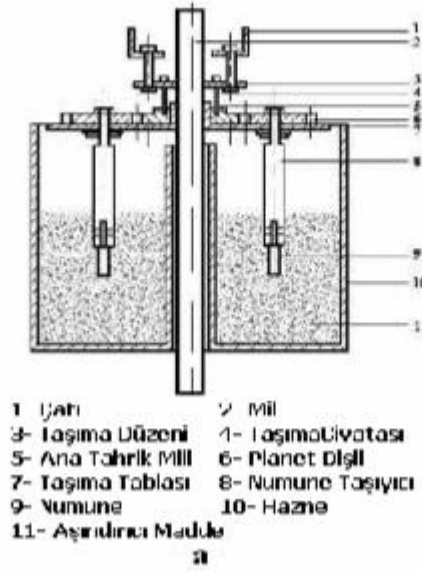
Abrasiv aşınmanın uygulandığı, Şekil 4.7.a'da kayma doğrultusunda tabakalaşma, Şekil 4.7.b'de kayma yüzeyine dik ince çatlaklar ve plastik deformasyon, Şekil 4.7.c'de ise kayma doğrultusunda tabakalaşma olduğu görülmektedir. Numune yüzeyinde kısmen plastik deformasyon etkileri görülmekle beraber daha çok tabakalaşma ve derin çizikler meydana gelmiştir. Burada olay aşındırıcı parçacık büyüklüğüne bağlı olarak ilk aşamada numune yüzeyi plastik deformasyona uğrar. Bu esnada aşındırıcı parçacıklar aşındırmaz hale geldiğinde veya parçacık büyüklüğü azaldığında aşınma mekanizması yüzeyde deformasyon veya kesme mekanizmasından tabakalaşma mekanizmasına dönüşür.



Şekil 4.7 Abrasiv aşınma testi uygulanan yaşlandırılmış Al-SiC kompoziti (Bedir ve Ögel, 2004)

Abrasif aşınma testleri için farklı tasarımlar yapılmıştır. Şekil 4.8'de abrasif aşınma aygıtları görülmektedir (Sarı ve Yılmaz, 2004; Sahin, 2006; Durmuş ve diğ., 2004).

Aşınma malzemesi, bir şerit benzeri sünek bir niteliğe sahiptir ve uzun aşınma parçası mikro kesimdeki mekanizma ile oluşmaktadır. Kırılgan malzemenin aşınması durumunda ise aşınma, bir çatlağın yayılması suretiyle meydana gelmektedir. Sert abrasif aşındırıcıların, kayma temasının tekrar edilmesi sonrasında, aşınmanın temas ara yüzeyindeki üçlü deformasyon ve faz geçişlerini sertleştirir. Bu işlem aşındırıcının aşınan yüzeyi üzerinde biçimlendirilme yaptığı anlamını vermektedir. Dolayısıyla, abrasif aşınma, sünek malzemelerin aşındırılması işlemlerinde karşımıza en fazla çıkan aşınma modelidir.



Şekil 4.8 Farklı tasarımlı abrasiv aşınma aparatları (Sarı ve Yılmaz, 2004)

4.2.2. Erozif Aşınma

Erozif aşınma, bir sıvı veya taşıyıcı içerisindeki sert partiküllerin malzeme yüzeyinden yüksek hızlarla kayması veya yuvarlanması sırasında, yüzeye temas eden partiküllerin uzun bir periyot sonunda metal yüzeyinden çok sayıda parça koparılması ile oluşan aşınma türüdür (Buytoz, 2004).

Erozif aşınma plastik deformasyon ve gevrek kırılma gibi iki ana unsuru bir arada gerçekleştirir. Bu aşınmanın yapısı; aşınan malzemeye, aşındırıcının özelliğine, darbelerin durumuna ve şiddetine, başlangıçtaki partikül kütlelerine, partikül hızına ve geliş açısına bağlıdır. Malzemelerin erozif aşınmaya gösterdiği tepki; aşındırıcının şekli, sertliği, tokluğu ve boyutlarındaki farklılıklarına önemli ölçüde bağımlılık gösterir.

Erozif aşınmanın mekanizmaları, aşındırıcı tozların askıda durduğu sıvı veya hava gibi akışkan bir ortam vasıtasıyla malzeme yüzeyine çarpma etkisiyle gerçekleşmesi olayından yola çıkılarak; her bir temasın olması, malzeme yüzeyinden küçük bir parçanın kaybına neden olmaktadır. Normal şartlar altında aşınma hızı düşüktür; ancak yüksek sıcaklıklarda, malzemenin akma dayanımı düşmekte ve yüksek akış hızlarında erozif aşınma hız kazanmaktadır (Kılıç, 2008)

Erozif aşınmada yüzeye çarpan partiküllerin çarpma açısına göre her malzeme farklı aşınma dayanıklılığı gösterir. Örneğin küçük püskürtme açısında yumuşak ve deforme olan malzemeler büyük aşınma gösterirken, sert ve gevrek malzemelerde büyük püskürtme açılarında aşırı zorlanarak maksimum aşınma gösterirler. Erozif aşınma düzenekleri genelde deneysel olarak kullanılmalarından dolayı, çok hassas olarak ayarlanmalıdır. Mekanizması genel olarak; hızlı gaz veya sıvı akışıyla bir lüleden taşınan partiküllerin aşındırılacak malzemeye gönderilmesi ve malzemede meydana gelen aşınmayı tespit etme esasına dayanır.

4.2.3. Kavitasyon Aşınması

Kavitasyon aşınmasının diğer bir adı ise çukurcuk aşınmasıdır. Kavitasyon aşınması; metal yüzeyinde kabarcıkların oluşması sonucu hızın ani etkisi altında kalan bölgede ortaya çıkan çökmelerin oluşmasıyla sonuçlanan aşınma şekli olarak açıklanabilir.

Kavitasyon aşınması genellikle gemilerin ve pompaların pervanelerinde, ayrıca kompresör silindirlerinin iç kısımlarında meydana gelen aşınma olarak göze çarpar.

Şekil 4.10'da kavitasyon aşınmasına uğramış bir pompa santrifüj motoru görülmektedir.



Şekil 4.9 Kavitasyon aşınma mekanizması

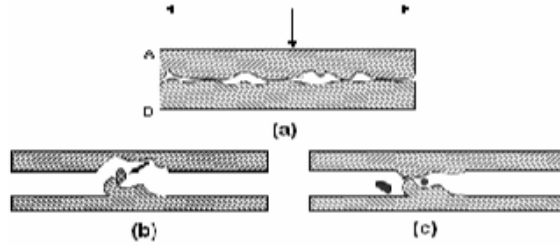


Şekil 4.10 Kavitasyon aşınmasına uğramış pompa

4.2.4. Adhezif Aşınma

Kısa ve genel bir tanım ile adhezyon (yapışma); iki farklı maddenin molekülleri arasındaki çekim kuvvetine verilen isimdir. Kohezyon ise, maddenin kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetidir. Bir maddenin atomu ile diğer bir maddenin atomu arasında da çekme kuvvetleri mevcuttur ve buna da adhezyon adı verilir. Atomlar arası kuvvetler sadece aynı madde içerisinde tesir göstermezler. İster katı, ister sıvı, isterse gaz hali olsun bir maddenin atomları arasında birbirlerine karşı kuvvet etkileşimleri vardır. Aralarında uygun bir mesafe bulunan iki atom arasında çekme kuvveti tesirlidir. Eğer iki atom, bu çekme kuvvetinin tesiri ile birbirine çok fazla yaklaşırsa bu defa birbirlerini itmeye başlarlar. İtme ve çekme kuvvetlerinin dengelendiği mesafede atomlar en kararlı konumlarında bulunur (Cendel, 2000).

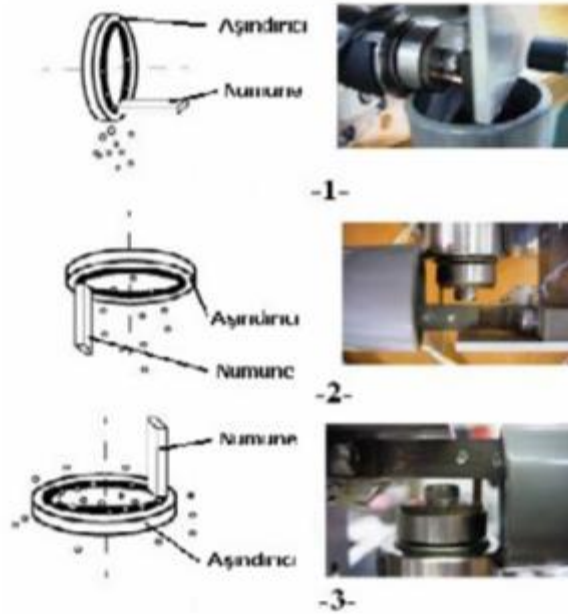
Adhezyonda; iki metal bir kuvvet etkisi altında birbirine sürtünürken, yüzeyleri oluşturan küçük tepecikler geçici olarak birbirlerine yapışıp kaynak olurlar. Kaynak olmuş bu tepecikler iki metalin hareketlerine devam etmesi sonucu koparlar ve küçük parçacıklar serbest kalırlar. Böylece aşınma gerçekleşmiş olur. Bu metalik parçacıklar, iki yüzey arasında serbest halde kalabilecekleri gibi metallerden birine de bağlı halde bulunabilirler (Şekil 4.11). Böylece malzeme kaybı (aşınma) meydana gelir.



Şekil 4.11 Adhesiv aşınma mekanizması a) Yüzey kaynak bağları b) A'dan B'ye malzeme transferi c) Kopan parçaların serbest hali

Adheziv aşınma testleri Şekil 4.12'de görüldüğü gibi üç farklı pozisyonda yapılabilir.

1. Düşey pozisyon,
2. Ters (inverse) pozisyon,
3. Yatay pozisyon.



Şekil 4.12 Adhesiv aşınma pozisyonları

4.3. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

4.3.1. Aşınma Deneyleri

Aşınma araştırmaları, laboratuvar şartlarında ana malzemenin bir modeli ile yapıldığı gibi gerçek işletme şartlarında da yapılabilmektedir. İşletmelerde, ya aşınmaya maruz kalan elemanın üzerinde bizzat belli süre boyunca gözlem yapılmakta veya o şartlarda kullanılabilecek boyut ve özelliğe haiz başka bir malzemelerin aşınması gözlenebilmektedir. İşletme şartlarının devamlı değişkenliği göz önünde tutulursa, bu tür denemelerin tekrarlana bilirliliği oldukça zayıf bir ihtimaldir. Dolayısıyla neticelerin mukayesesinde güçlük ortaya çıkmaktadır. Ancak bu tür deneyler, işletme şartlarına benzer şartları laboratuvarında tesis ederek; hangi değişkenlerin aşınmayı nasıl etkilediği tespit edilip, bu sonuçların uygulamaya aktarılması ile sağlanabilir.

Aşınmanın birçok tipi ve makine parçaları için problem olan aşınmada birçok farklı durumlar olduğu için aşınma test metodlarının da birçok tipi vardır. ASTM (American Society for Testing and Materials) ve ASLE (American Society of Lubrication Engineers) tarafından yüz kadar deney sistemi belirtilmiştir. ASTM tarafından standartlaştırılmış bazı aşınma test metodları Tablo 4.3'te verilmiştir (Blau ve Budinski, 1999).

Tablo 4.3 ASTM tarafından geliştirilmiş bazı test metodları (Blau ve Budinski, 1999)

Test kodu	Test tipi
D-4172	Yağlayıcı sıvıların aşınma önleme özelliklerinin testi
D-4170	Yağlayıcı greslerle yıpratma aşınmasının önlenmesi testi
G-32	Titreşimli kavitasyon erozyon testi
G-65	Kuru kumlu plastik tekerlekli abrasyon testi
G-73	Sıvı vuruşlu erozyon testi
G-76	Gaz jeti kullanılarak katı parçacık çarptırılmasıyla meydana getirilen erozyon testi
G-77	Yüksek dirençli malzemeler için block-on-ring aşınma testi
G-81	Çene ezicili öğütücülerin abrasyon testi
G-99	Pin-on-disc testi
G-105	Islak kumlu plastik tekerlekli abrasyon testi
G-132	Pin abrasyon test metodu
G-133	İleri geri kaymalı aşınma testi

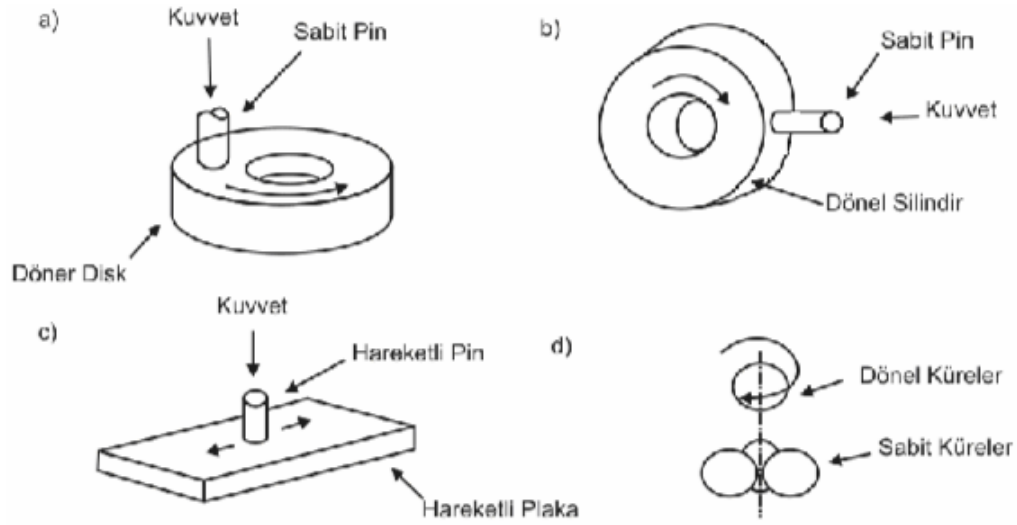
Sürtünme, aşınma ve yağlamanın bir karakterizasyonunu veren birkaç teknik vardır. Sürtünme, bir enerji kaybı yöntemidir. Ölçümü oldukça güçtür, bu nedenle uygulanan

yükün sürtünme bileşeni, kuvvet sensörleri vasıtasıyla ölçülebilir. Tribolojik davranışların çalışılmasında basit geometrik kavramlar kullanılır. Bunlar şu şekilde sınıflandırılabilirler. (Şekil 4.13)

- Pin-on-disk testi,
- Block-on-disk testi,
- Çok yönlü (unidirectional) test,
- Hareketli tabaka üzerinde hareketli pin testi.

Temas eden en az iki malzeme, yüzeyin durumu, uygulanan normal kuvvet, uygulanan basınç, kayma mesafesi, zaman, hız, test sıcaklığı, atmosfer, yağlayıcı ve test sayısı bilgileri elde edilebilir. Aşınma veya aşınma direnci, kayma yolu, kuvvet veya basınçla meydana gelen kütleli ya da hacimsel kayıp olarak esas alınır. Aşınmayı karakterize eden test değişkenleri olarak kuvvet veya basınç, yüzey pürüzlülüğü veya sürtünme katsayısı, sıcaklık, kayma hızı, aşınma ortamı (kuru, yağlı, nemli, korozif, abrasiv) ve temas şekli sayılabilir. Test sonuçları üzerinde son derece etkili olan malzeme ve malzeme çiftinin özellikleri de çok büyük oranda değişken ve test sonuçlarını etkilediği düşünülürse, neden bu kadar çok aşınma test yönteminin olduğu da anlaşılır. Bu nedenle, aşınma test yöntem ve değişkenlerinde bir sınırlama ya da standardizasyona gidilmiştir. Örneğin, aşınma değerinin gösterilişi DIN 50321 de ve aşınma test yöntemi olarak da en çok kullanılan pim-disk mekanizması ASTM G99’da tarif edilmiştir.

Malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü temas eden parçalardan birinin veya her ikisinin hacim ve ağırlık kaybı esas alınarak yapılır. Aşınma deneylerinde, aşınma ölçüm deney yöntemleri olarak bilinen; ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyo izotop yöntemleri vardır (Korkut, 1997).



Şekil 4.13 Aşınma türlerinin şematik resmi

4.3.1.1. Ağırlık Farkı Yöntemi

Yöntemin ekonomik oluşu, ayrıca ölçümün, aletin duyarlılık durumuyla ilişkisi ve kolaylığı sebebiyle en çok tercih edilen yöntemdir. Ağırlık kaybı ölçümleri 10^{-4} veya 10^{-5} gr hassasiyetindeki teraziler yardımıyla yapılır. Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilir. Metre ya da kilometre olarak tespit edilen, sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (gr/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesaplanacaksa (gr/cm²) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek bulunabilir (Korkut, 1997). Bu tanımlara göre, en çok kullanılan ağırlık farkı ölçme metodundaki bağıntı şudur;

$$W_a = \Delta m / M \cdot s \cdot \rho$$

Burada;

$$W_a = \text{Aşınma oranı (mm}^3/\text{N.m)},$$

$$\Delta m = \text{Ağırlık kaybı (gr)},$$

$$M = \text{Yükleme ağırlığı (N)},$$

$$s = \text{Aşınma yolu (m)},$$

ρ = Yoğunluk (gr/mm³) olarak verilmiştir.

Aşınma oranının (Wa) tersi ise, aşınma direnci (Wr) olarak gösterilir.

4.3.1.2. Kalınlık Farkı Yöntemi

Aşınma sırasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırılması yolu ile elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerlerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımıyla $\pm 1 \mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülmelidir.

4.3.1.3. İz Değişimi Yöntemi

Sürtünme yüzeyinde, plastik deformasyon yoluyla geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca, bu izin karakteristik bir boyutunun (çapının) değişimi ölçülür. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyenin bıraktığı iz boyutlarındaki değişim, mikroskop yardımıyla ölçülerek belirlenir.

4.3.1.4. Radyo İzotop Yöntemi

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi, avantajlı yönleridir. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle, ancak özel amaçlarda kullanılır. Özel problemlerin çözümü dışında, yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir.

4.3.2. Abrasiv Aşınma İçin Deney Yöntemleri

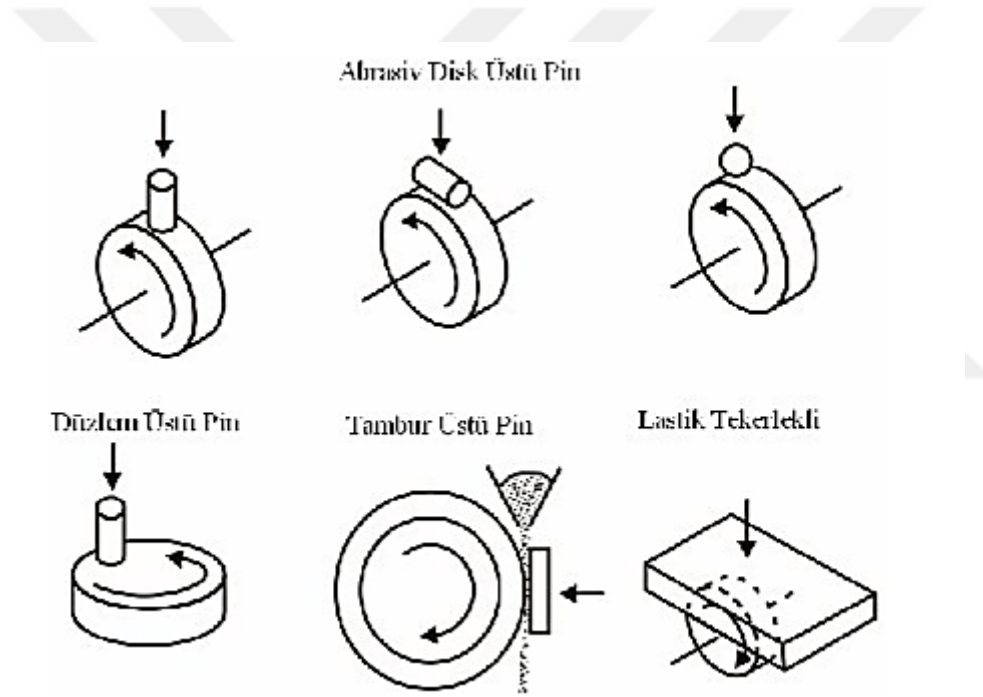
Abrasiv aşınma için birçok deney yöntem ve ortamları vardır. Abrasiv aşınma için kullanılan en yaygın laboratuvar test yöntemleri şu iki esasa göre yapılır:

Bunlardan birincisi; sabitleştirilmiş bir abrasiv malzeme üzerinde pim şeklinde hazırlanmış numunenin kaymasıdır.

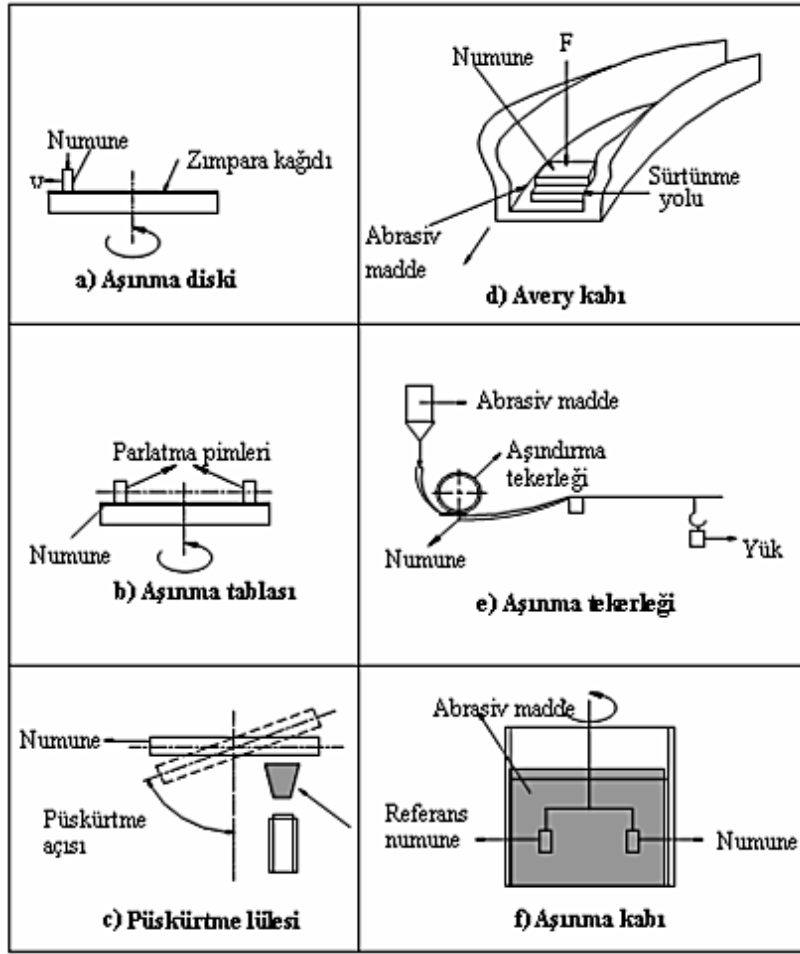
İkincisi ise; dönen bir tekerlek ve ona temas halinde kayan düz bir numune arasına serbest abrasiv partiküllerin sürekli olarak dökülmesidir.

Abrasiv aşınma testlerinde genellikle karşı malzeme olarak standart grit ölçülerine zımpara kağıtları kullanılmaktadır (İpek ve Karamış, 1999).

Abrasiv malzemelerde aşınma oranı numunenin aynı iz üzerinden geçmesinin tekrarı ile azalır. Bu olayların miktarı ve önemi, numunenin malzemesi, yük, kayma hızı, atmosfer ve diğer faktörlerle değişir. Şekil 4.14’de durumların her birinde pin üzerine sabit bir yük uygulanır. Testten önce ve sonra pin tartılarak aşınma miktarı ölçülür. Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü test metotlar Şekil 4.15’de verilmiştir (Yılmaz, 1997).



Şekil 4.14 Abrasiv aşınma türlerinin şematik resmi



Şekil 4.15 Abrasiv aşınma deneylerinde kullanılan yöntemler (Yılmaz, 1997)

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 85Cu+15Sn Bronz alaşımına Tablo 5.2’de belirtilen oranlarda Co ve Ni katarak yeni bir matris malzeme üretilmiştir. Bu numuneler literatür çalışmaları doğrultusunda 20 ve 30 MPa basınç, 700 ve 800°C sıcaklık değerlerinde 15 dakika Sıcak İzostatik Preslemeye (HIP) tabi tutulmuştur. Elde edilen numunelerin mikro yapıları, mekanik özellikleri, aşınma değerleri ve sertlik değerleri incelenerek üretilen numuneler arası mukayese yapılmıştır.

5.1. Çalışmada Kullanılan Metal Tozlar

Bu çalışmada kullanılan metal tozlar Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) biriminde yapılan projeler kapsamında piyasadan, Tablo 5.1’de belirtilen tane boyutunda temin edilmiştir. Matris numunelerin üretimi Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Atölyeleri ve Çel-Mak San. ve Tic. Ltd. Şti. nde Tablo 5.2 ‘de verilen üretim parametrelerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.1. Metal toz tane büyüklükleri

Deneylerde Kullanılan Metal Tozlarının Tane Büyüklükleri (µm)		
Bronz (85/15)	Kobalt	Nikel
70 µm	35 µm	5 µm

Tablo 5.2. Numunelerin üretim parametreleri

Grup No	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (Dk)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)
A1	20	700	15	97	0	3
A2	20	800	15	97	0	3
A3	30	700	15	97	0	3
A4	30	800	15	97	0	3
B1	20	700	15	92	5	3
B2	20	800	15	92	5	3
B3	30	700	15	92	5	3
B4	30	800	15	92	5	3
C1	20	700	15	87	10	3
C2	20	800	15	87	10	3
C3	30	700	15	87	10	3
C4	30	800	15	87	10	3
D1	20	700	15	82	15	3
D2	20	800	15	82	15	3
D3	30	700	15	82	15	3
D4	30	800	15	82	15	3

5.2. Numunelerin Üretim Aşamaları

5.2.1. Metal Toz Oranlarının Belirlenmesi

Numuneler 10x10x40 mm boyutlarında üretilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda Tablo 5.2’de belirtilen oranlarda üretimin yapılabilmesi için 4 farklı grupta (A, B, C, D) toz hazırlığı yapılmıştır (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2).



Şekil 5.1 Oransal olarak metal tozların hazırlanması



Şekil 5.2 Numune metal toz hazırlığı

Tozların sinterleme öncesi belirli bir boyutta, şeklini koruyarak işleme tabi tutulabilmesi için karışıma %1 oranında polietilen glikol bağlayıcısı ilave edildi (Şekil 5.3)



Şekil 5.3 Bağlayıcının hazırlanması

5.2.2. Tozların Karıştırılması

Oransal olarak hazırlanan numune bileşimleri, karıştırma ünitesinde (Şekil 5.4) 20 dakika boyunca karıştırıldı. Karıştırma işleminin daha homojen bir yapıda olabilmesi için karıştırma kovanına değişik çaplarda demir bilye ve zincir bırakıldı. (Şekil 5.5)



Şekil 5.4 Karıştırma makinası



Şekil 5.5 Karıştırma işlem sonucu

5.2.3. Metal Tozlarının Sinterleme Öncesi Hazırlanması

Numuneler gruplar halinde 1/1000 hassaslığındaki toz tartım cihazında (Şekil 5.6) tablo 5.2’de belirtilen oranlarda hazırlandı.

Tablo 5.3 Numune gruplarının ağırlık dağılımı

Numune Gruplarının Ağırlık Dağılımı (Gram)					
Grup	Bronz (85/15)	Kobalt (Co)	Nikel (Ni)	Bağlayıcı	Toplam
A Grubu	205	0	6	4	215
B Grubu	194	11	6	4	215
C Grubu	183	21	6	4	214
D Grubu	172	31	6	4	214



Şekil 5.6 Metal toz tartım cihazı

Tartım işlemi yapılan tozların soğuk presleme makinasında (Şekil 5.7), 10x20x40 mm boyutlarında ön preslenmesi yapıldı.



Şekil 5.7 Soğuk pres makinası

Ön preslemesi yapılan numuneler daha önceden hazırlanan grafit kalıplar içerisine alınarak sinterlemeye hazır hale getirildi (Şekil 5.9). Sinterleme işleminin daha sağlıklı olabilmesi için grafit kalıp yağlayıcı ile yağlandı (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Grafit kalıpların yağlanması işlemi



Şekil 5.9 Numunelerin sinterleme kalıbına alınması

5.3. Sinterleme İşlemi

Sıcak presleme, ısı ve basıncın aynı anda uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Isı ve basıncın aynı anda uygulanması ile 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. Numuneler Tablo 5.3'te gösterilen sinterleme değerlerinde, Şekil 5.10'daki sinterleme makinası (HIP) ile üretilmiştir.



Şekil 5.10 Sinterleme makinası

Tablo 5.4 Sinterleme değerleri

SİNERLEME DEĞERLERİ				
Numune Grubu		Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (Dakika)
A Grubu	1	20	700	15
	2	20	800	15
	3	30	700	15
	4	30	800	15
B Grubu	1	20	700	15
	2	20	800	15
	3	30	700	15
	4	30	800	15
C Grubu	1	20	700	15
	2	20	800	15
	3	30	700	15
	4	30	800	15
D Grubu	1	20	700	15
	2	20	800	15
	3	30	700	15
	4	30	800	15



Şekil 5.11 Sinterleme işlemi

Sinterleme işlemi vakum altında yapılmıştır (Şekil 5.11).

Tüm üretim süreçlerinin sonrasında Şekil 5.12 verilen numuneler üretilmiştir.



Şekil 5.12 Üretilen numune grupları

5.4. Mikro Yapı İncelemeleri

Metalografik incelemeler için numunelerin yüzeyleri sırasıyla 200, 320, 500, 800, 1000 ve 1200 mesh'lik zımparalarda temizlendikten sonra 3 µm'lik elmas pasta ile parlatma işleminden geçirilmiştir. Parlatılan numuneler, daha önce hazırlanmış dağlayıcılarda dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Kullanılan dağlayıcı çözeltileri Elazığ

Gazi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Kimya Teknolojileri Bölümünde hazırlanmıştır. (Tablo 5.4)

Tablo 5.5 Dağlayıcı formülü

DAĞLAYICI FORMÜLÜ	
20 ml	HNO ₃
10 ml	H ₂ SO ₄
20 ml	H ₂ O

Mikro yapı incelemelerinin optik mikroskop çekimlerinde; Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ndeki Nikon Eclipse MA 100 marka optik mikroskobu kullanılmıştır.

5.5. SEM ve EDS Analizleri

Matris malzemesinin araştırılması ve üretilen numuneler içerisindeki kompozisyonların bileşiminin tespiti için EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler için Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Laboratuvarındaki taramalı elektron mikroskobu (Şekil 5.13) kullanılarak EDS ölçümleri yapılmıştır.

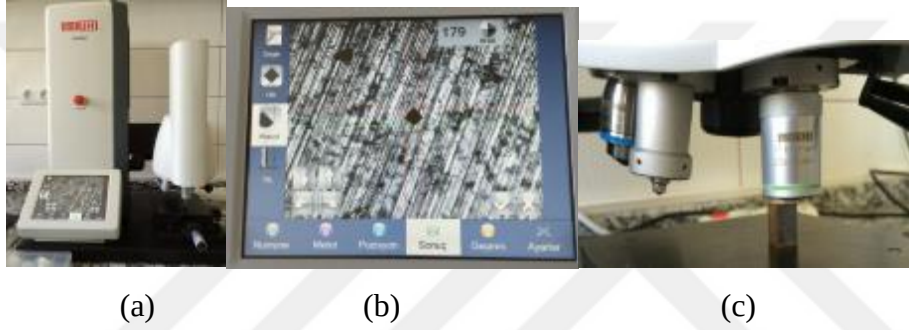


Şekil 5.13 Taramalı elektron mikroskobu inceleme grubu

5.6. Sertlik Ölçümleri

Numunelerin mikro sertlik ölçümleri ise Şekil 5.14’de verilen Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’ndeki “Emcotest Dura Scan” marka mikro sertlik cihazıyla yapıldı. Numunelerin sertlik değerlerinin ölçüldüğü noktalar 1 mm mesafeler arasında seçilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri 5 kg yük uygulanarak 10 saniye bekleme süresinde 1 mm mesafelerle toplam 5 ölçüm alınarak belirlenmiştir.

Sertlik ölçümlerinde vickers (HV) sertlik yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 5.14 Mikro sertlik ölçüm cihazı

5.7. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyi abrasiv yöntemde yapılmıştır. Aşınma numuneleri 10x10x10 mm boyutlarında hazırlanıp aşındırılmıştır.

Şekil 5.15’de abrasif aşındırıcı aparatı ve kısımları görülmektedir. Abrasif aşınma deneyi numunenin yüzey kısmının aşındırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyler pin-on disc sistemine sahip; Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Mekanik Atölyesi’nde bulunan abrasif aşınma aparatında yapılmıştır.



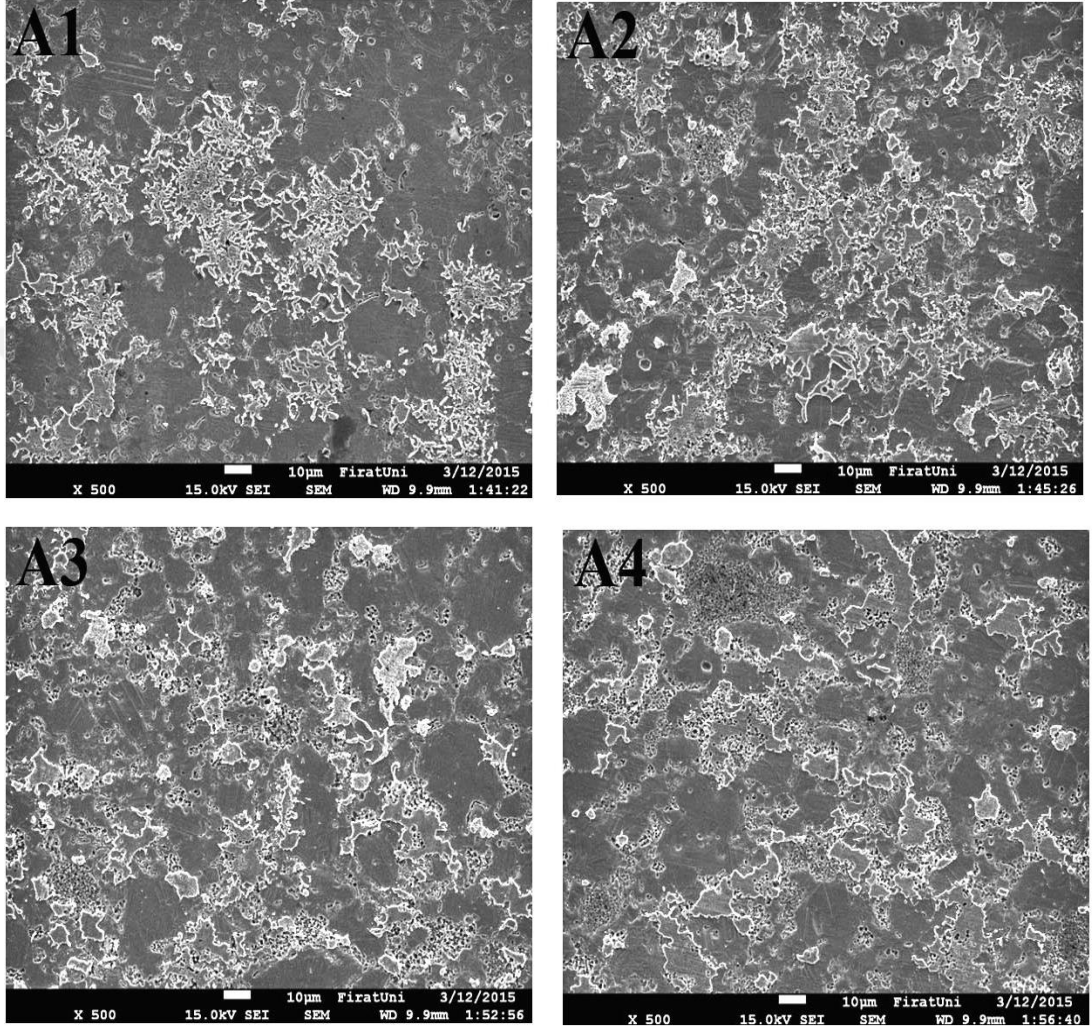
Şekil 5.15 Aşınma aparatı

Abrasiv aşındırma numuneleri, 120 mesh'lik SiC zımpara silindir ile 5 N, 10 N ve 15 N'luk üç farklı yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her yük altında 10, 20 ve 30 m'lik mesafelerde ayrı ayrı aşınma deneyi yapılmıştır (Tablo 6.10, Tablo 6.11, Tablo 6.12 ve Tablo 6.13).

Torna tezgâhında gerçekleştirilen abrasif aşınma deneylerinde devir sayısı 16 devir/dakika, ilerleme hızı ise 2,8 mm olarak seçilmiştir. Aşındırıcı zımpara silindirin çapı dikkate alınarak, kat edilen toplam yol silindirin çevre hesabıyla tespit edilmiştir. Torna tezgahının çalışmasında 16 devir/dakika baz alınmıştır. Sistemde numune aşındırıcıya 90°'lik dik açıyla üstten yük uygulanarak çalışmaktadır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

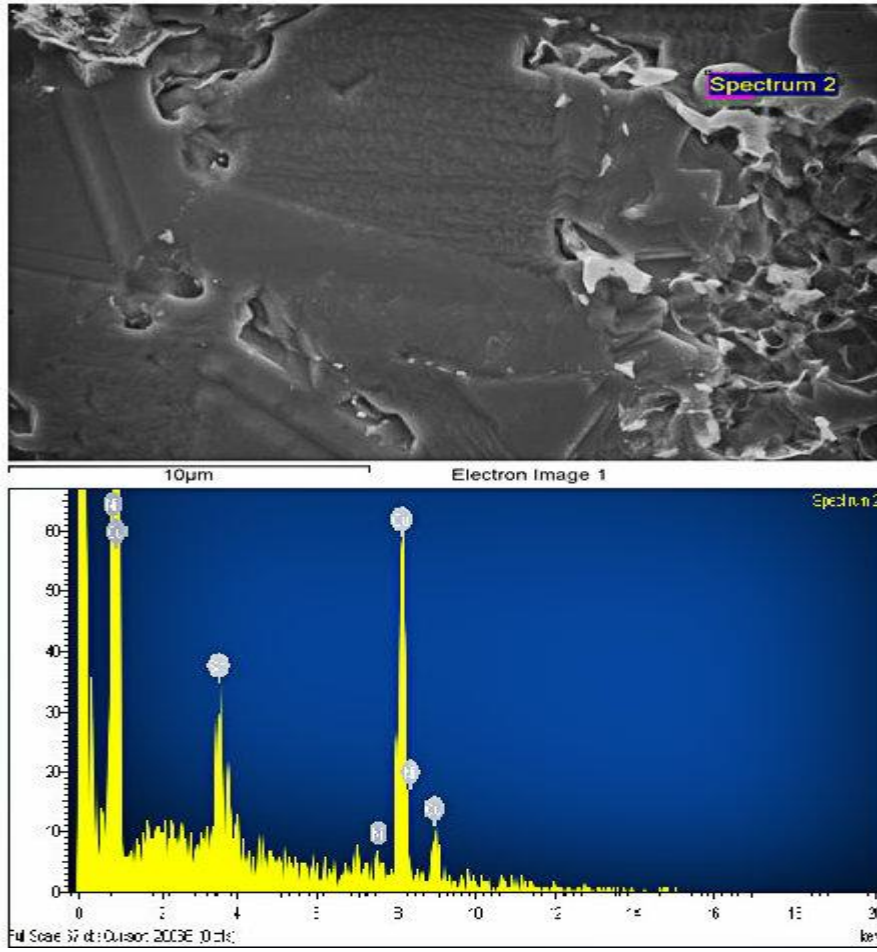
6.1. A Grubu Numunelerin Mikro Yapı Değerlendirmeleri



Şekil 6.1 A grubu numunelerin mikro yapısı

Tablo 6.1 A grubu numunelerin üretim parametreleri

Grup No	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (Dk)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)
A1	20	700	15	97	0	3
A2	20	800	15	97	0	3
A3	30	700	15	97	0	3
A4	30	800	15	97	0	3



Şekil 6.2 A2 numunesinin SEM ve EDS görüntüsü

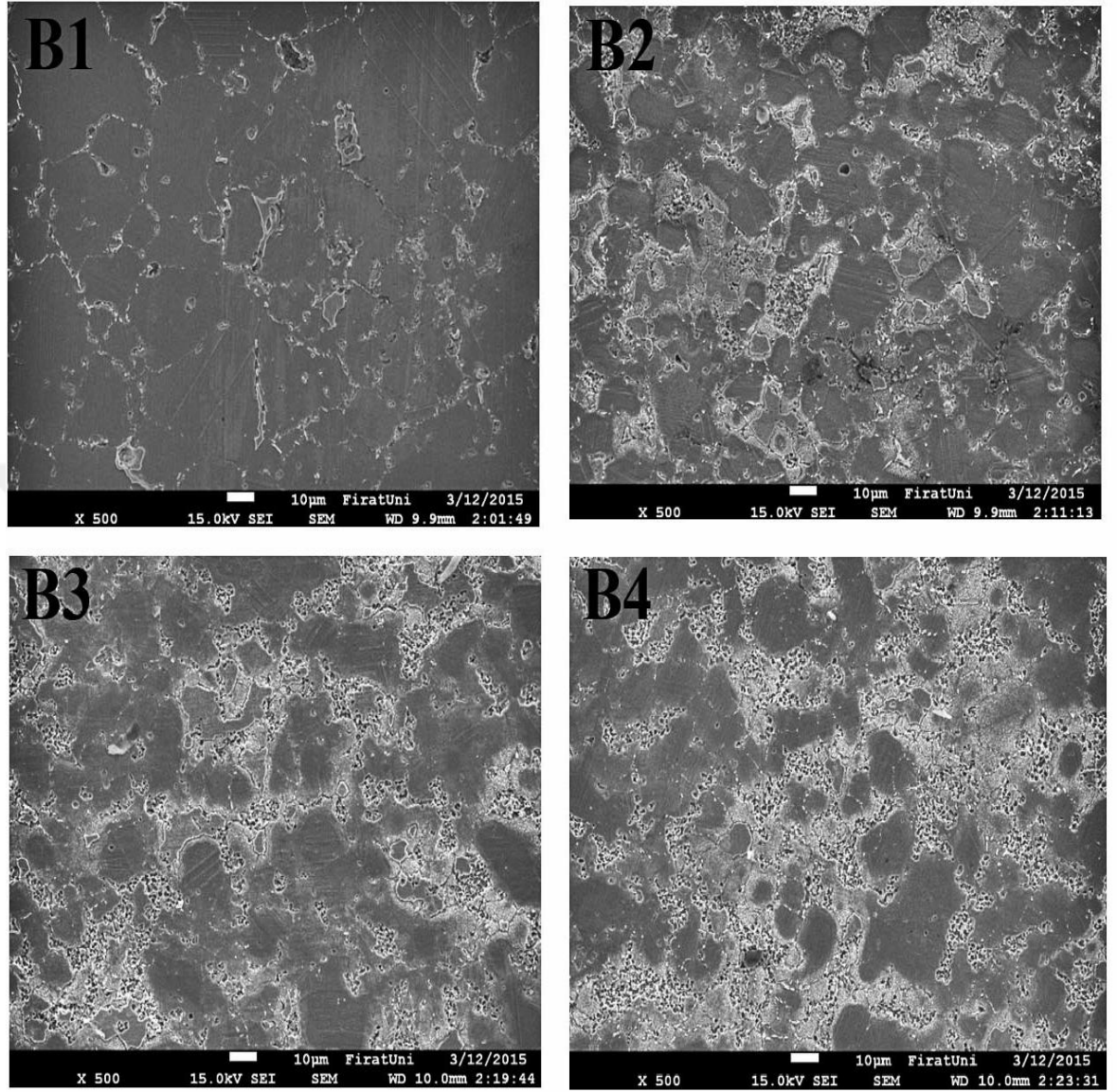
Tablo 6.2 A2 numunesinin EDS analizi oransal dağılımı

Element	Weight%	Atomic%
Ni	2.10	2.40
Cu	85.85	90.78
Sn	12.05	6.82
Totals	100.00	

Tablo 6.1’ de A grubu numunelerinin üretim parametreleri verilmiştir. Şekil 6.1’de A grubu numunelerinin mikro yapı fotoğrafları görülmektedir. Şekil 6.2’de A2 numunesine ait EDS analizi ve Tablo 6.2’de A2 numunesine ait EDS analizinin oransal dağılımı verilmiştir.

Mikro yapı fotoğraflarında görüldüğü gibi, sıcaklık ve basınç arttıkça daha homojen bir dağılım gözlenmiştir. Sıcaklık ve basıncın artmasına bağlı olarak metal tozlarının difüzyonunun gerçekleştiği söylenebilir.

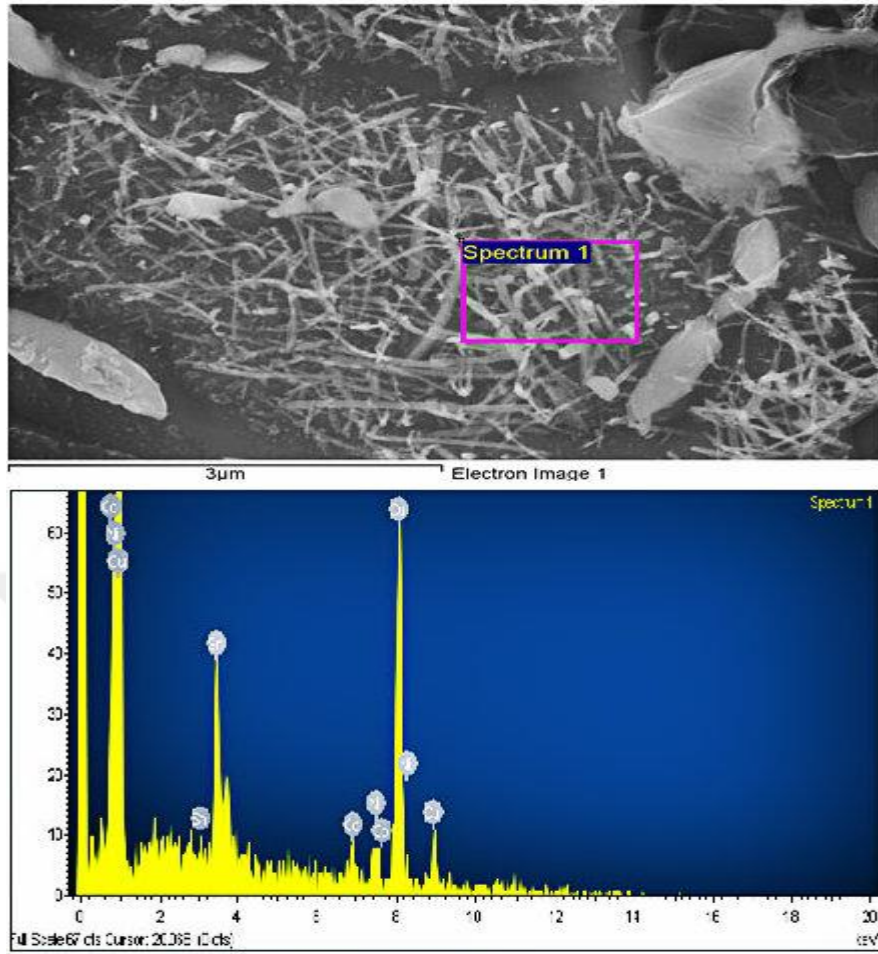
6.2. B Grubu Numunelerin Mikro Yapı Değerlendirmeleri



Şekil 6.3 B grubu numunelerin mikro yapı fotoğrafları

Tablo 6.3 B grubu numunelerin üretim parametreleri

Grup No	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (Dk)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)
B1	20	700	15	92	5	3
B2	20	800	15	92	5	3
B3	30	700	15	92	5	3
B4	30	800	15	92	5	3



Şekil 6.4 B2 numunesinin SEM ve EDS görüntüsü

Tablo 6.4 B2 numunesinin EDS analizi oransal dağılımı

Element	Weight%	Atomic%
Co	0.21	0.24
Ni	0.29	0.34
Cu	86.33	91.92
Sn	13.17	7.51
Totals	100.00	

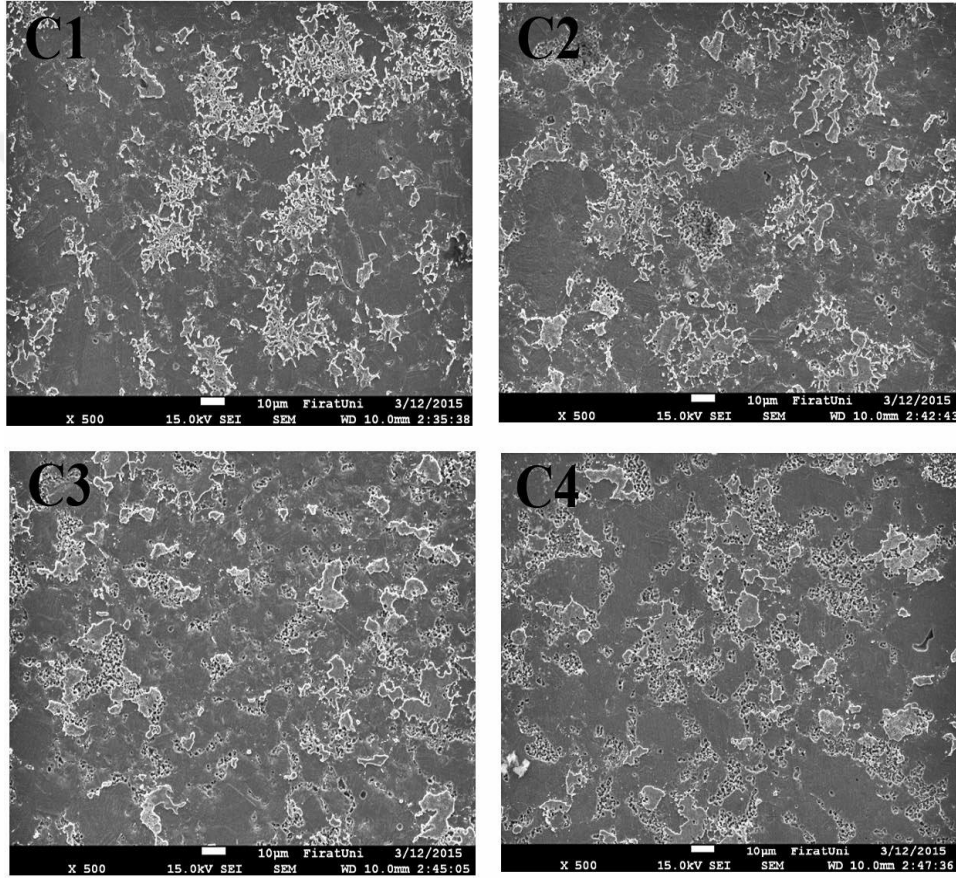
B grubu numunelerin bileşim olarak A Grubundan farkı %5 oranında kobalt ilave edilmiş olmasıdır.

Tablo 6.3' te B grubu numunelerinin üretim parametreleri verilmiştir. Şekil 6.3'te B grubu numunelerinin mikro yapı fotoğrafları görülmektedir. Şekil 6.4'te B2 numunesine ait

EDS analizi ve Tablo 6.2’de B2 numunesine ait EDS analizinin oransal dağılımı verilmiştir.

Şekil 6.3’teki mikro yapı fotoğraflarında görüldüğü gibi sıcaklık ve basınca bağlı olarak homojen bir dağılım gözlenmiştir. Şekil 6.4’teki EDS analizinde sıcaklığa bağlı olarak farklı bir yapının oluştuğu görülmüştür. Bu yapının EDS analizinde oransal dağılımı Tablo 6.4’te verilmiştir.

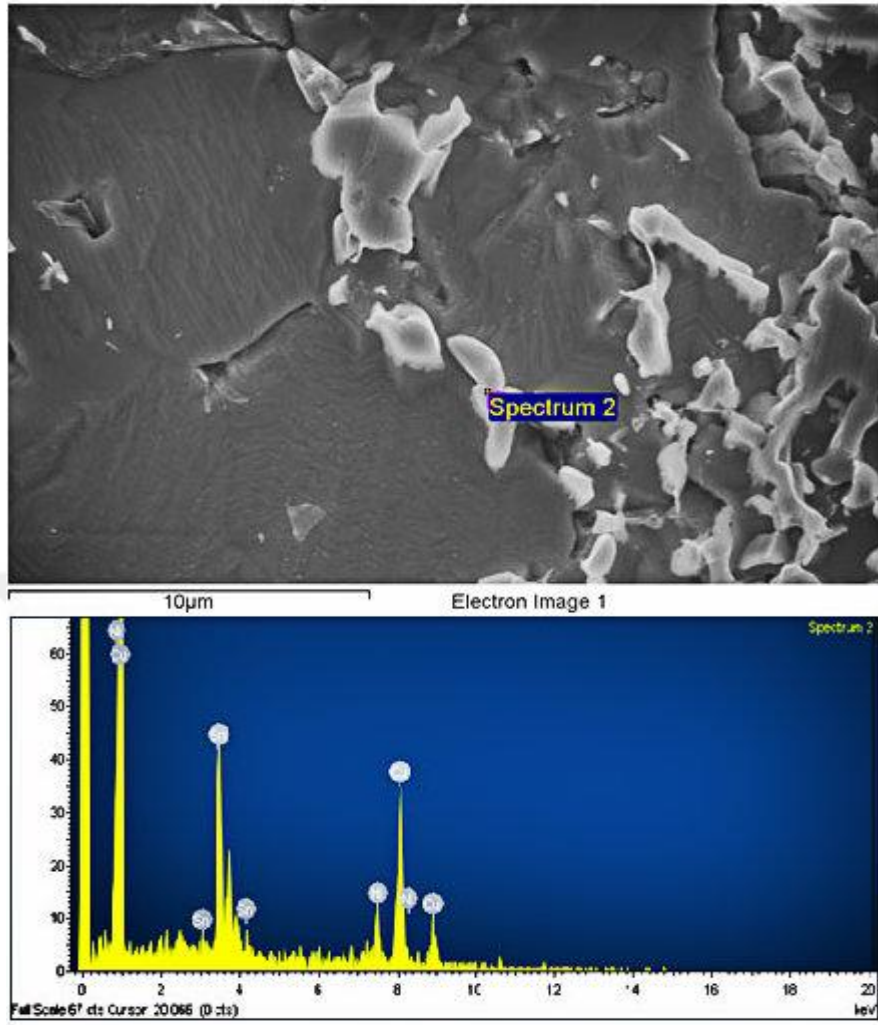
6.3. C Grubu Numunelerin Mikro Yapı Değerlendirmeleri



Şekil 6.5 C grubu numunelerin mikro yapı fotoğrafları

Tablo 6.5 C grubu numunelerin üretim parametreleri

Grup No	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (Dk)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)
C1	20	700	15	87	10	3
C2	20	800	15	87	10	3
C3	30	700	15	87	10	3
C4	30	800	15	87	10	3



Şekil 6.6 C1 numunesinin SEM ve EDS görüntüsü

Tablo 6.6 C1 numunesinin EDS analizi oransal dağılımı

Element	Weight%	Atomic%
Ni	14.00	17.22
Cu	57.69	65.56
Sn	28.31	17.22
Totals	100.00	

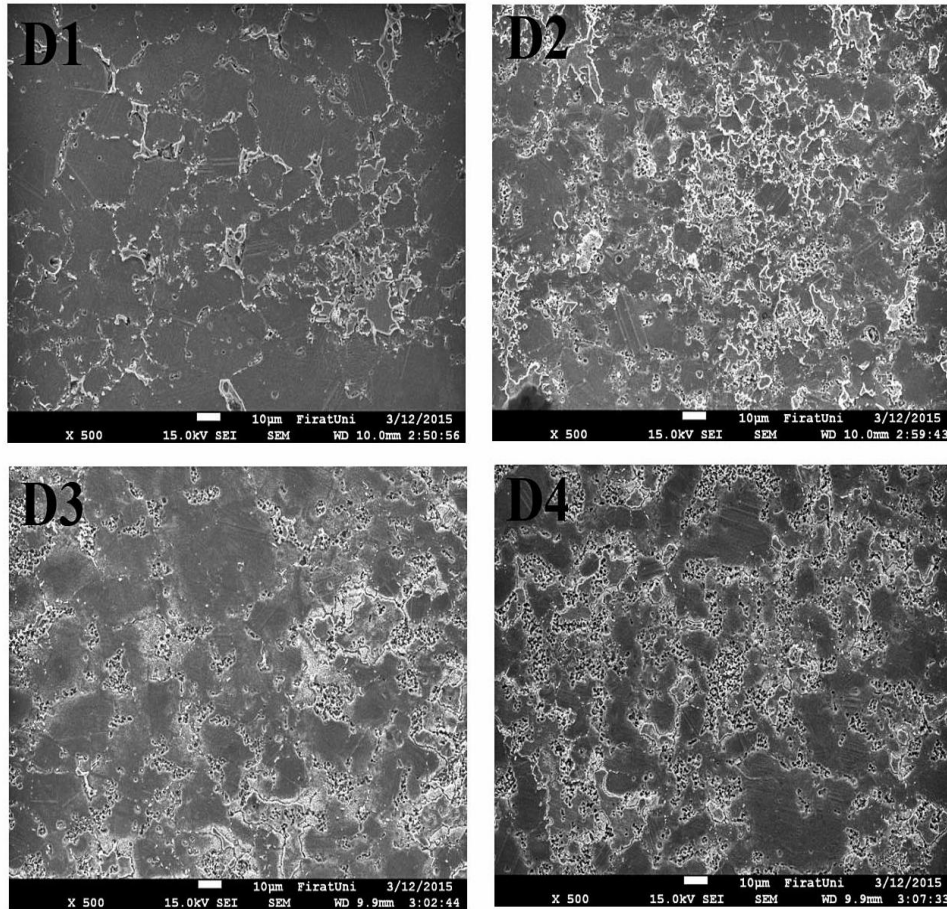
C grubu numunelerin bileşim olarak A Grubundan farkı %10 oranında kobalt ilave edilmiş olmasıdır.

Tablo 6.5'te C grubu numunelerinin üretim parametreleri verilmiştir. Şekil 6.5'te C grubu numunelerinin mikro yapı fotoğrafları görülmektedir. Şekil 6.6'da C1 numunesine

ait EDS analizi ve Tablo 6.6’da C1 numunesine ait EDS analizinin oransal dağılımı verilmiştir.

Tablo 6.6’da gösterilen değerler doğrultusunda, Şekil 6.6 EDS görüntüleri incelendiğinde nikel tanelerinin daha çok tane sınırlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca Co oranı arttıkça mikro yapı fotoğraflarından görüldüğü gibi tanelerin yapısının değiştiği görülmektedir.

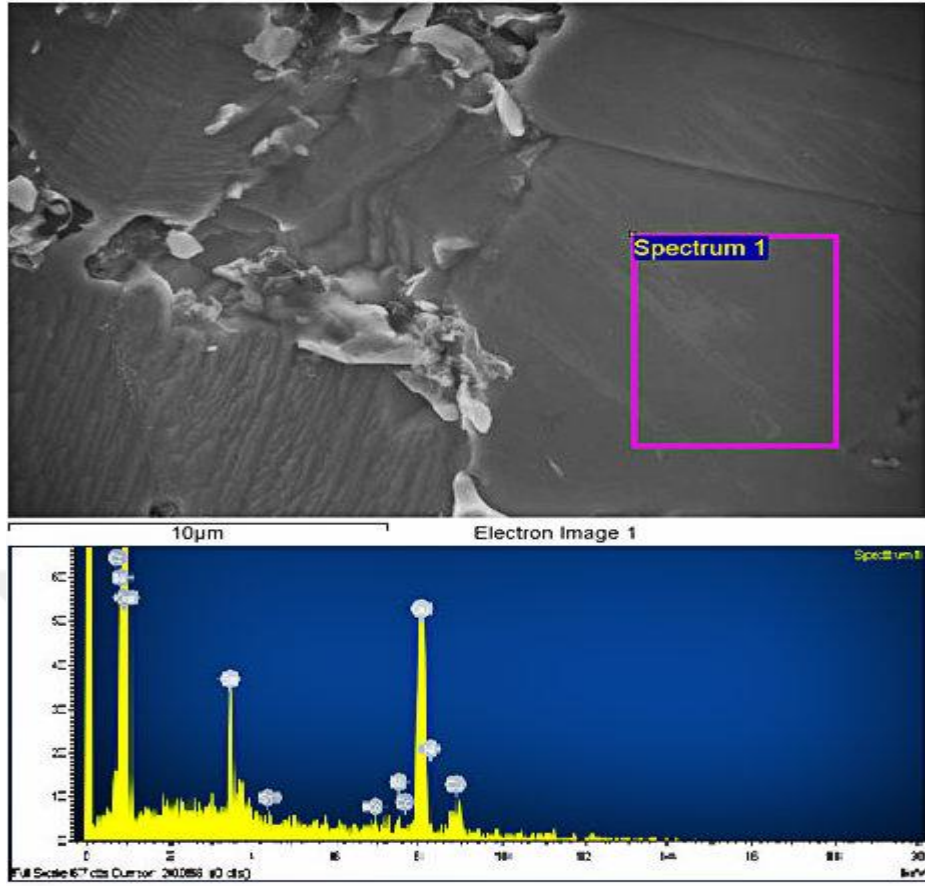
6.4. D Grubu Numunelerin Mikro Yapı Değerlendirmeleri



Şekil 6.7 D grubu numunelerin mikro yapı fotoğrafları

Tablo 6.7 D grubu numunelerin üretim parametreleri

Grup No	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (Dk)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)
D1	20	700	15	82	15	3
D2	20	800	15	82	15	3
D3	30	700	15	82	15	3
D4	30	800	15	82	15	3



Şekil 6.8 D1 numunesinin SEM ve EDS görüntüsü

Tablo 6.8 D1 numunesinin EDS analizi oransal dağılımı

Element	Weight%	Atomic%
Co	0.66	0.76
Ni	4.10	4.69
Cu	82.70	87.45
Sn	12.54	7.10
Totals	100.00	

D grubu numunelerin bileşim olarak A Grubundan farkı; %82 bronz, %15 kobalt ve %3 nikel elementi bulunmasıdır.

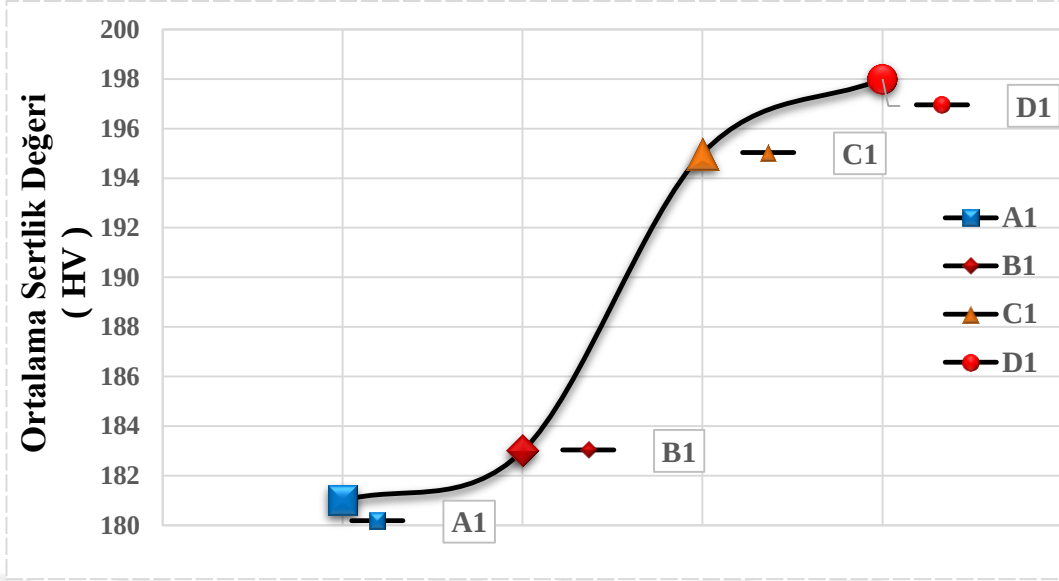
Tablo 6.7’de D grubu numunelerinin üretim parametreleri verilmiştir. Şekil 6.7’de D grubu numunelerinin mikro yapı fotoğrafları görülmektedir. Şekil 6.8’de D1 numunesine ait EDS analizi ve Tablo 6.8’de D1 numunesine ait EDS analizinin oransal dağılımı verilmiştir.

Şekil 6.7’deki D gurubu mikro yapı fotoğraflarında görüldüğü gibi sıcaklık ve basınca bağlı olarak daha iyi bir difüzyon ve homojen bir dağılım gerçekleştiği görülmektedir.

6.5. Mikro Sertlik Değerlendirmeleri

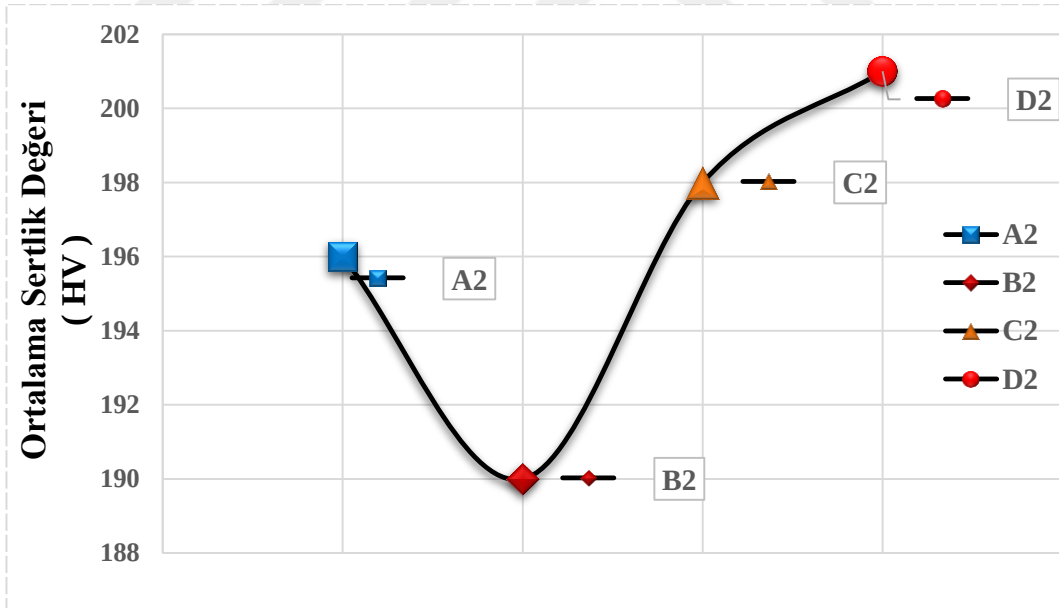
Tablo 6.9 Mikro sertlik ölçüm sonuçları

Grup No	1. Ölçüm (HV)	2. Ölçüm (HV)	3. Ölçüm (HV)	4. Ölçüm (HV)	5. Ölçüm (HV)	Ortalama (HV)
A1	183	167	188	197	170	181
A2	202	202	220	180	176	196
A3	236	171	229	204	165	201
A4	202	246	202	218	186	210
B1	175	192	192	180	176	183
B2	183	207	197	171	196	190
B3	183	202	223	229	187	204
B4	192	202	212	230	201	207
C1	202	195	192	202	186	195
C2	223	180	192	197	201	198
C3	218	188	183	242	210	208
C4	207	202	197	242	213	212
D1	192	183	204	197	215	198
D2	204	197	198	197	213	201
D3	207	263	180	230	189	213
D4	212	207	230	224	210	216



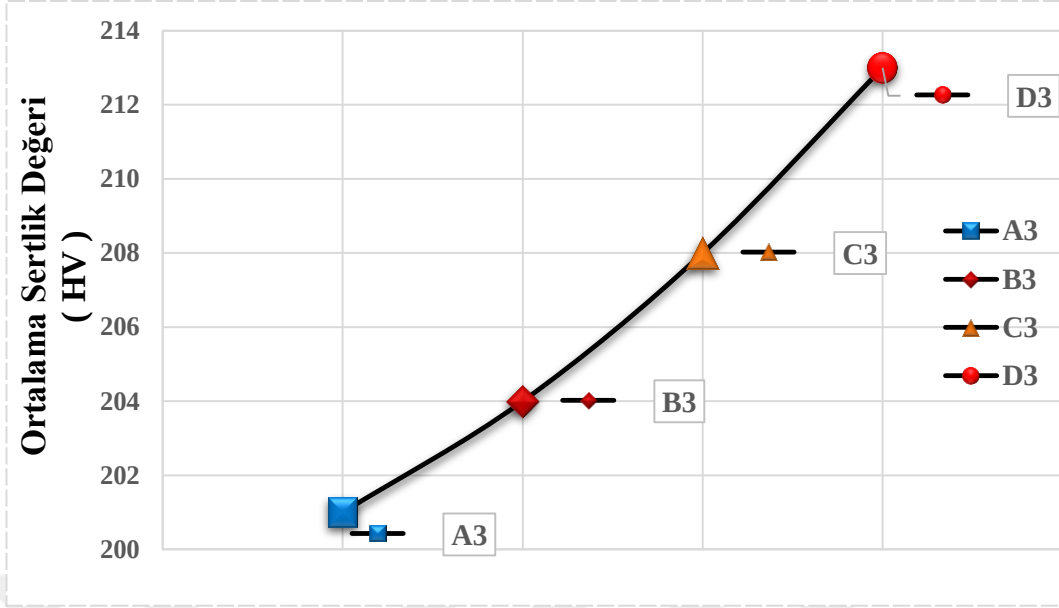
Şekil 6.9 Bileşim oranının sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (1 Nolu Gruplar)

1 nolu üretim grubu numunelerinin üretim parametreleri; sinterleme sıcaklığı 700°C ve sinterleme basıncı olarak 20 MPa'dır.



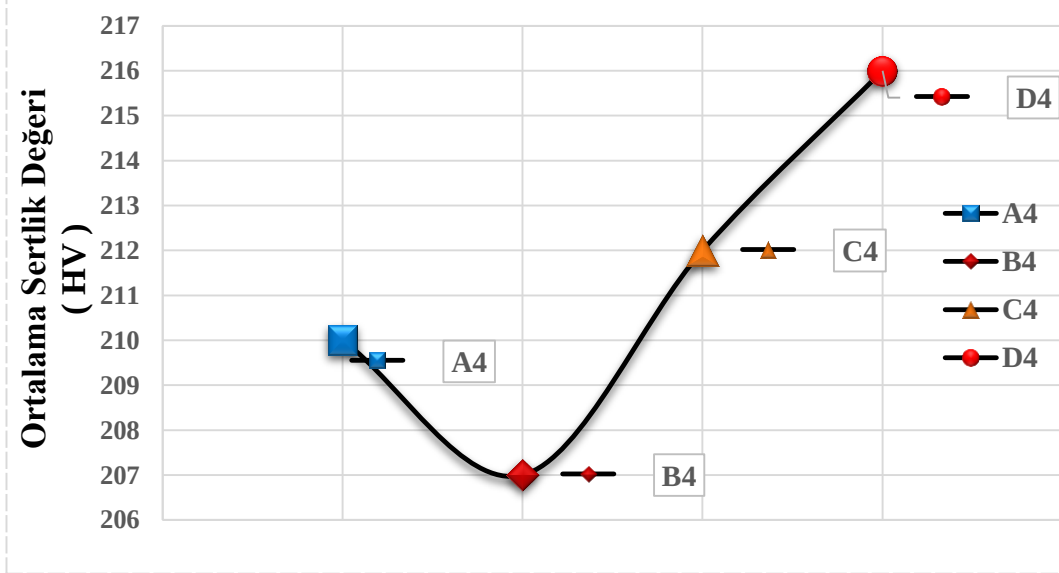
Şekil 6.10 Bileşim oranının sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (2 Nolu Gruplar)

2 nolu üretim grubu numunelerinin üretim parametreleri; sinterleme sıcaklığı 800°C ve sinterleme basıncı olarak 20 MPa'dır



Şekil 6.11 Bileşim oranının sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (3 Nolu Gruplar)

3 nolu üretim grubu numunelerinin üretim parametreleri; sinterleme sıcaklığı 700°C ve sinterleme basıncı olarak 30 MPa'dır.

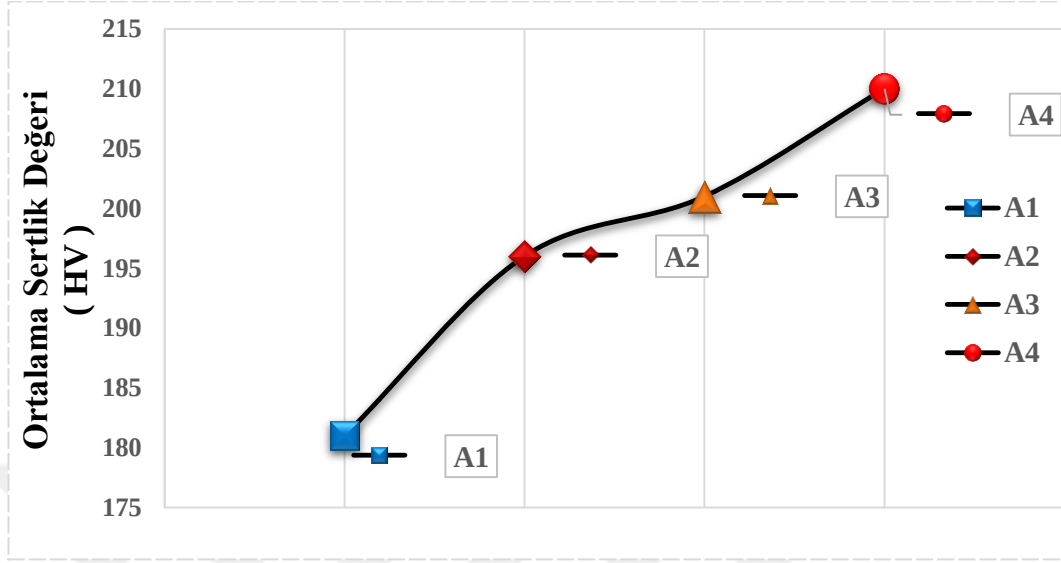


Şekil 6.12 Bileşim oranının sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (4 Nolu Gruplar)

4 nolu üretim grubu numunelerinin üretim parametreleri; sinterleme sıcaklığı 800°C ve sinterleme basıncı olarak 30 MPa'dır.

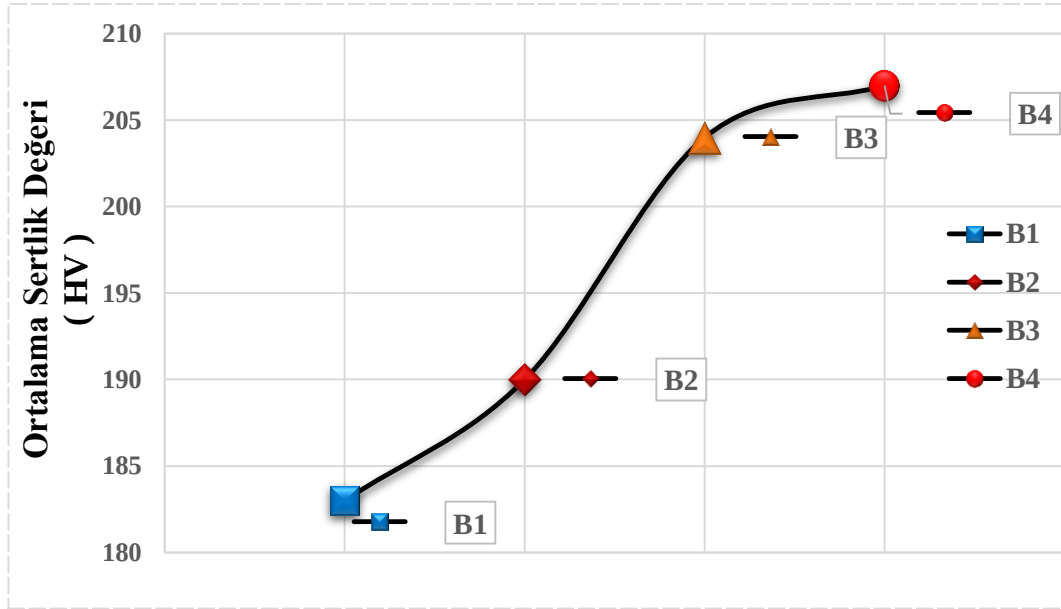
Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'deki grafiklerden kobalt elementinin sertliğe olan etkisi incelenmiştir. Burada kobalt oranının artması ile birlikte sertlik

değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Özellikle kobalt oranı %10 un üzerindeki değerlerde sertlik oranının hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir.



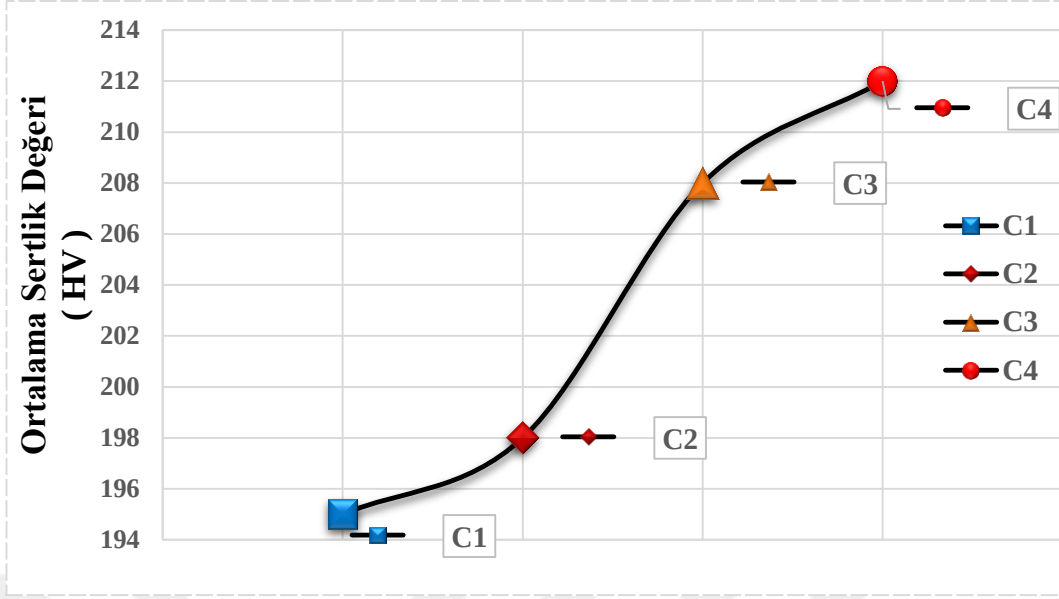
Şekil 6.13 Sinterleme parametrelerinin sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (A Grubu)

A grubu numunelerin bileşim oranı; %97 bronz ve %3 nikel olacak şekilde belirlenmiştir.



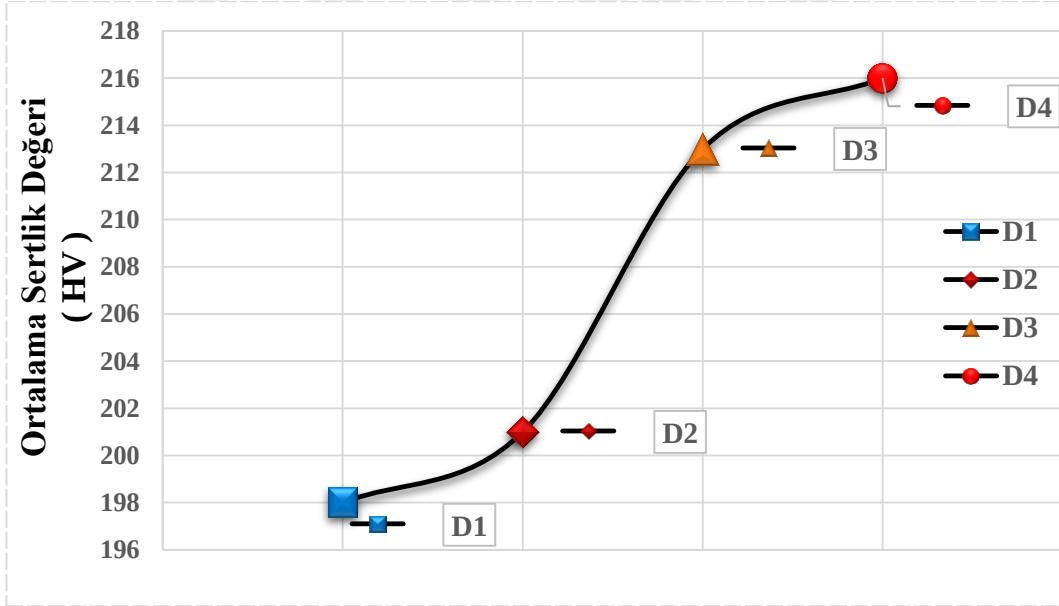
Şekil 6.14 Sinterleme parametrelerinin sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (B Grubu)

B grubu numunelerin bileşim oranı; %92 bronz, %5 kobalt ve %3 nikel olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 6.15 Sinterleme parametrelerinin sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (C Grubu)

C grubu numunelerin bileşim oranı; %87 bronz, %10 kobalt ve %3 nikel olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 6.16 Sinterleme parametrelerinin sertliğe olan etkisinin karşılaştırılması (D Grubu)

D grubu numunelerin bileşim oranı; %82 bronz, %15 kobalt ve %3 nikel olacak şekilde belirlenmiştir.

Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'daki grafiklerde sinterleme parametrelerinin sertliğe olan etkisi incelenmiştir. Burada sinterleme basıncı ve sinterleme sıcaklığının artışıyla birlikte sertlik değerlerinde artış olduğu görülmüştür.

6.6. Aşınma Sonuçları

Tablo 6.10 A grubu numunelerin aşınma değerleri

Grup No	Yük (N)	Mesafe (m)	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (MPa)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)	Ağırlık kaybı (g)
A1 Numunesi	5	10	20	700	97	0	3	0,0088
		20	20	700	97	0	3	0,0103
		30	20	700	97	0	3	0,0134
	10	10	20	700	97	0	3	0,0093
		20	20	700	97	0	3	0,0117
		30	20	700	97	0	3	0,0125
	15	10	20	700	97	0	3	0,00101
		20	20	700	97	0	3	0,0134
		30	20	700	97	0	3	0,0147
A2 Numunesi	5	10	20	800	97	0	3	0,0086
		20	20	800	97	0	3	0,0107
		30	20	800	97	0	3	0,0137
	10	10	20	800	97	0	3	0,0096
		20	20	800	97	0	3	0,0116
		30	20	800	97	0	3	0,0123
	15	10	20	800	97	0	3	0,0097
		20	20	800	97	0	3	0,0135
		30	20	800	97	0	3	0,0149
A3 Numunesi	5	10	30	700	97	0	3	0,0083
		20	30	700	97	0	3	0,0101
		30	30	700	97	0	3	0,0127
	10	10	30	700	97	0	3	0,0098
		20	30	700	97	0	3	0,0104
		30	30	700	97	0	3	0,0118
	15	10	30	700	97	0	3	0,0095
		20	30	700	97	0	3	0,0128
		30	30	700	97	0	3	0,0143
A4 Numunesi	5	10	30	800	97	0	3	0,0081
		20	30	800	97	0	3	0,0106
		30	30	800	97	0	3	0,0121
	10	10	30	800	97	0	3	0,0094
		20	30	800	97	0	3	0,0103
		30	30	800	97	0	3	0,0115
	15	10	30	800	97	0	3	0,0097
		20	30	800	97	0	3	0,0132
		30	30	800	97	0	3	0,0141

Tablo 6.11 B grubu numunelerin aşınma değerleri

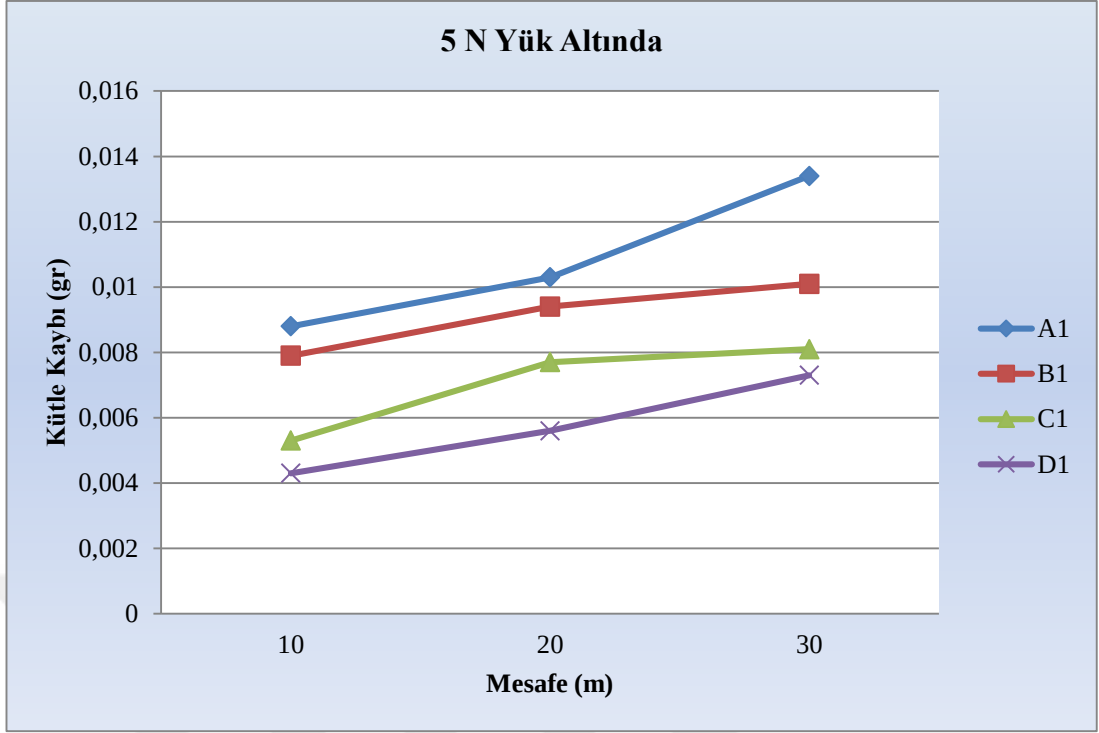
Grup No	Yük (N)	Mesafe (m)	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (MPa)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)	Ağırlık kaybı (g)
B1 Numunesi	5	10	20	700	92	5	3	0,0079
		20	20	700	92	5	3	0,0094
		30	20	700	92	5	3	0,00101
	10	10	20	700	92	5	3	0,0084
		20	20	700	92	5	3	0,0117
		30	20	700	92	5	3	0,0132
	15	10	20	700	92	5	3	0,0096
		20	20	700	92	5	3	0,0134
		30	20	700	92	5	3	0,0147
B2 Numunesi	5	10	20	800	92	5	3	0,0077
		20	20	800	92	5	3	0,0096
		30	20	800	92	5	3	0,00107
	10	10	20	800	92	5	3	0,0082
		20	20	800	92	5	3	0,0114
		30	20	800	92	5	3	0,0129
	15	10	20	800	92	5	3	0,0093
		20	20	800	92	5	3	0,0138
		30	20	800	92	5	3	0,0143
B3 Numunesi	5	10	30	700	92	5	3	0,0073
		20	30	700	92	5	3	0,0081
		30	30	700	92	5	3	0,0095
	10	10	30	700	92	5	3	0,0079
		20	30	700	92	5	3	0,0117
		30	30	700	92	5	3	0,0131
	15	10	30	700	92	5	3	0,0082
		20	30	700	92	5	3	0,0124
		30	30	700	92	5	3	0,0136
B4 Numunesi	5	10	30	800	92	5	3	0,0067
		20	30	800	92	5	3	0,0083
		30	30	800	92	5	3	0,0097
	10	10	30	800	92	5	3	0,0071
		20	30	800	92	5	3	0,0102
		30	30	800	92	5	3	0,0113
	15	10	30	800	92	5	3	0,0085
		20	30	800	92	5	3	0,0127
		30	30	800	92	5	3	0,0134

Tablo 6.12 C grubu numunelerin aşınma değerleri

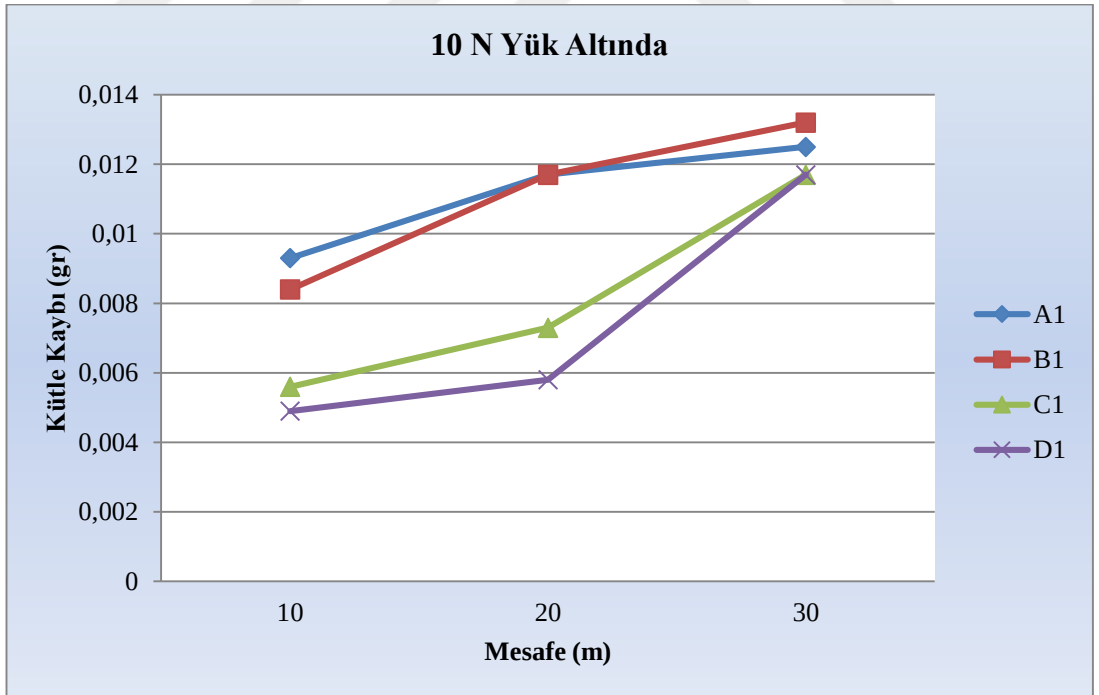
Grup No	Yük (N)	Mesafe (m)	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (MPa)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)	Ağırlık kaybı (g)
C1 Numunesi	5	10	20	700	87	10	3	0,0053
		20	20	700	87	10	3	0,0077
		30	20	700	87	10	3	0,0081
	10	10	20	700	87	10	3	0,0056
		20	20	700	87	10	3	0,0073
		30	20	700	87	10	3	0,0117
	15	10	20	700	87	10	3	0,0084
		20	20	700	87	10	3	0,0093
		30	20	700	87	10	3	0,0142
C2 Numunesi	5	10	20	800	87	10	3	0,0043
		20	20	800	87	10	3	0,0057
		30	20	800	87	10	3	0,0081
	10	10	20	800	87	10	3	0,0049
		20	20	800	87	10	3	0,0069
		30	20	800	87	10	3	0,0103
	15	10	20	800	87	10	3	0,0067
		20	20	800	87	10	3	0,0087
		30	20	800	87	10	3	0,0128
C3 Numunesi	5	10	30	700	87	10	3	0,0041
		20	30	700	87	10	3	0,0063
		30	30	700	87	10	3	0,0076
	10	10	30	700	87	10	3	0,0053
		20	30	700	87	10	3	0,0075
		30	30	700	87	10	3	0,0107
	15	10	30	700	87	10	3	0,0069
		20	30	700	87	10	3	0,0082
		30	30	700	87	10	3	0,0133
C4 Numunesi	5	10	30	800	87	10	3	0,0033
		20	30	800	87	10	3	0,0063
		30	30	800	87	10	3	0,0079
	10	10	30	800	87	10	3	0,0051
		20	30	800	87	10	3	0,0073
		30	30	800	87	10	3	0,0098
	15	10	30	800	87	10	3	0,0071
		20	30	800	87	10	3	0,0091
		30	30	800	87	10	3	0,0122

Tablo 6.13 D grubu numunelerin aşınma değerleri

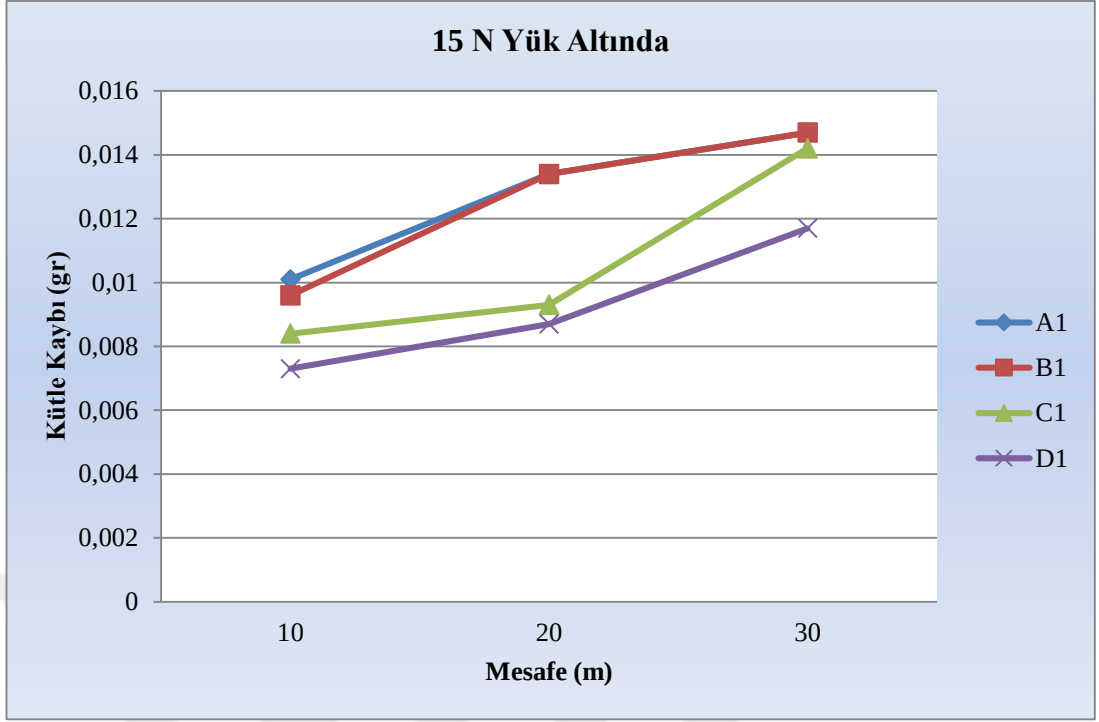
Grup No	Yük (N)	Mesafe (m)	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (MPa)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)	Ağırlık kaybı (g)
D1 Numunesi	5	10	20	700	82	15	3	0,0043
		20	20	700	82	15	3	0,0056
		30	20	700	82	15	3	0,0073
	10	10	20	700	82	15	3	0,0049
		20	20	700	82	15	3	0,0058
		30	20	700	82	15	3	0,0117
	15	10	20	700	82	15	3	0,0073
		20	20	700	82	15	3	0,0087
		30	20	700	82	15	3	0,0117
D2 Numunesi	5	10	20	800	82	15	3	0,0038
		20	20	800	82	15	3	0,0048
		30	20	800	82	15	3	0,0069
	10	10	20	800	82	15	3	0,0045
		20	20	800	82	15	3	0,0059
		30	20	800	82	15	3	0,082
	15	10	20	800	82	15	3	0,0056
		20	20	800	82	15	3	0,0074
		30	20	800	82	15	3	0,0102
D3 Numunesi	5	10	30	700	82	15	3	0,0034
		20	30	700	82	15	3	0,0045
		30	30	700	82	15	3	0,0065
	10	10	30	700	82	15	3	0,0041
		20	30	700	82	15	3	0,0052
		30	30	700	82	15	3	0,0096
	15	10	30	700	82	15	3	0,0052
		20	30	700	82	15	3	0,0071
		30	30	700	82	15	3	0,0097
D4 Numunesi	5	10	30	800	82	15	3	0,0028
		20	30	800	82	15	3	0,0041
		30	30	800	82	15	3	0,0059
	10	10	30	800	82	15	3	0,0039
		20	30	800	82	15	3	0,0056
		30	30	800	82	15	3	0,0088
	15	10	30	800	82	15	3	0,0043
		20	30	800	82	15	3	0,0068
		30	30	800	82	15	3	0,0091



Şekil 6.17 5 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (1)

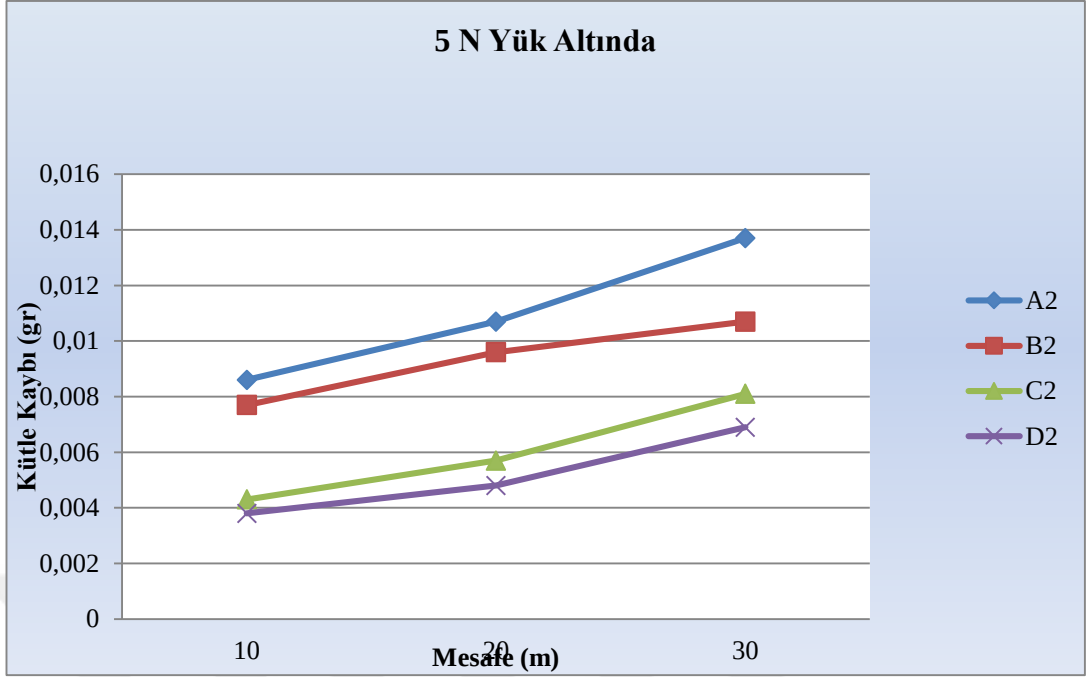


Şekil 6.18 10 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (1)

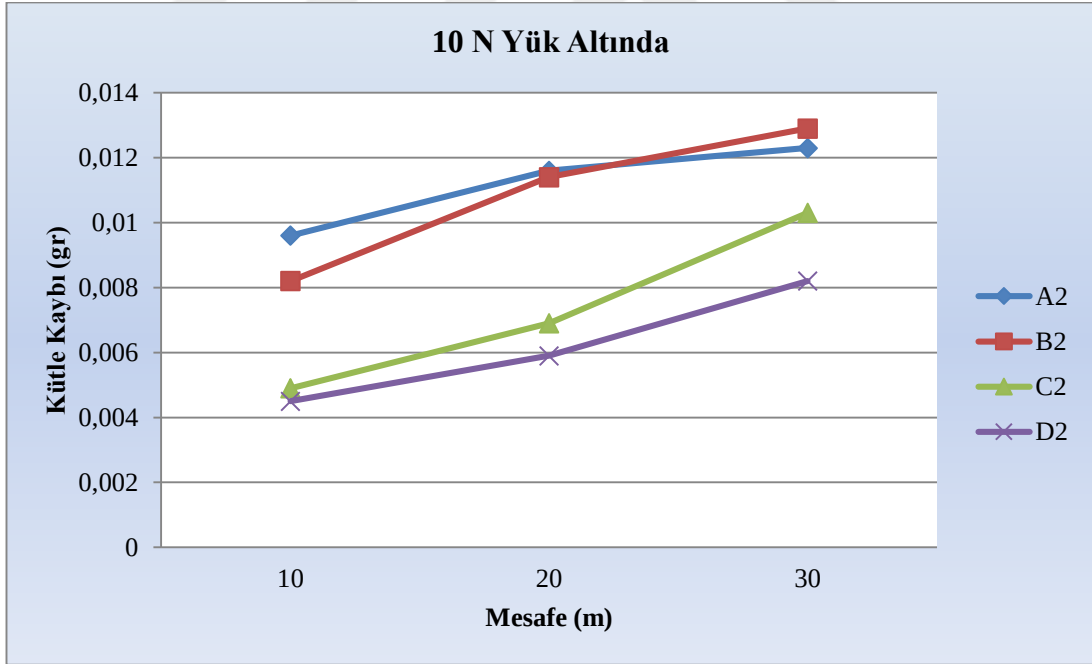


Şekil 6.19 15 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (1)

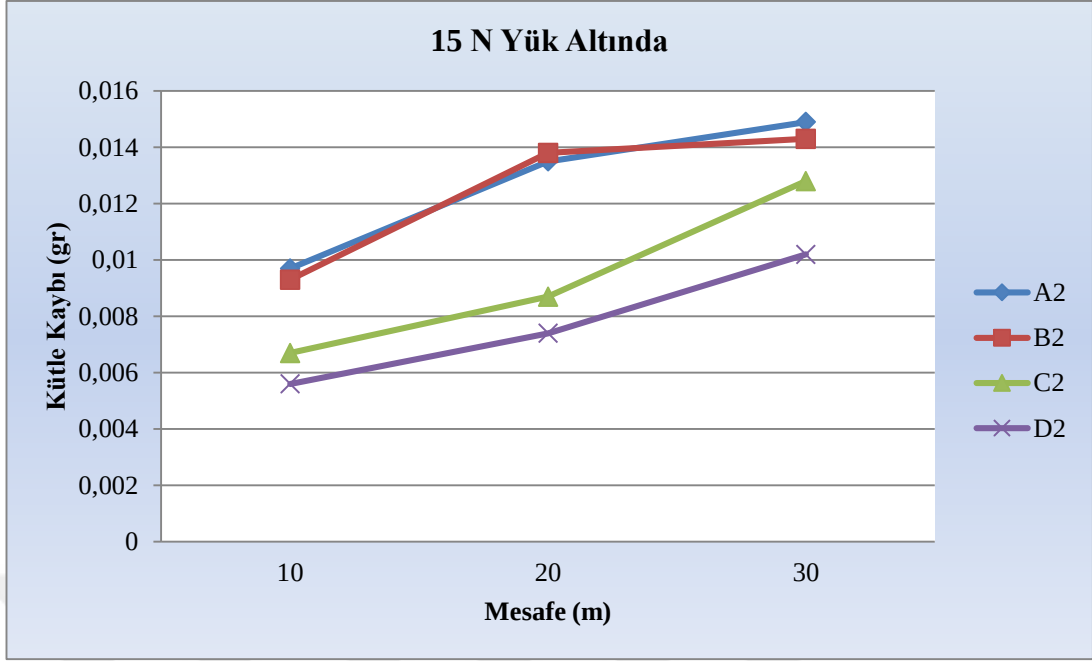
1 nolu gruptaki üretilen numunelerin üretim parametresi sinterleme sıcaklığı 700 °C ve sinterleme basıncı ise 20 MPa'dır. Bileşim oranları ise A1 nolu numunede %97 bronz ve %3 nikel elementi bulunmaktadır. B1 nolu numunede %92 bronz, %5 kobalt ve % 3 nikel elementi bulunmaktadır. C1 nolu numunde %87 bronz, %10 kobalt ve %3 nikel elementi bulunmaktadır. D1 nolu numunede %82 bronz, %15 kobalt ve %3 nikel elementi bulunmaktadır.



Şekil 6.20 5 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (2)

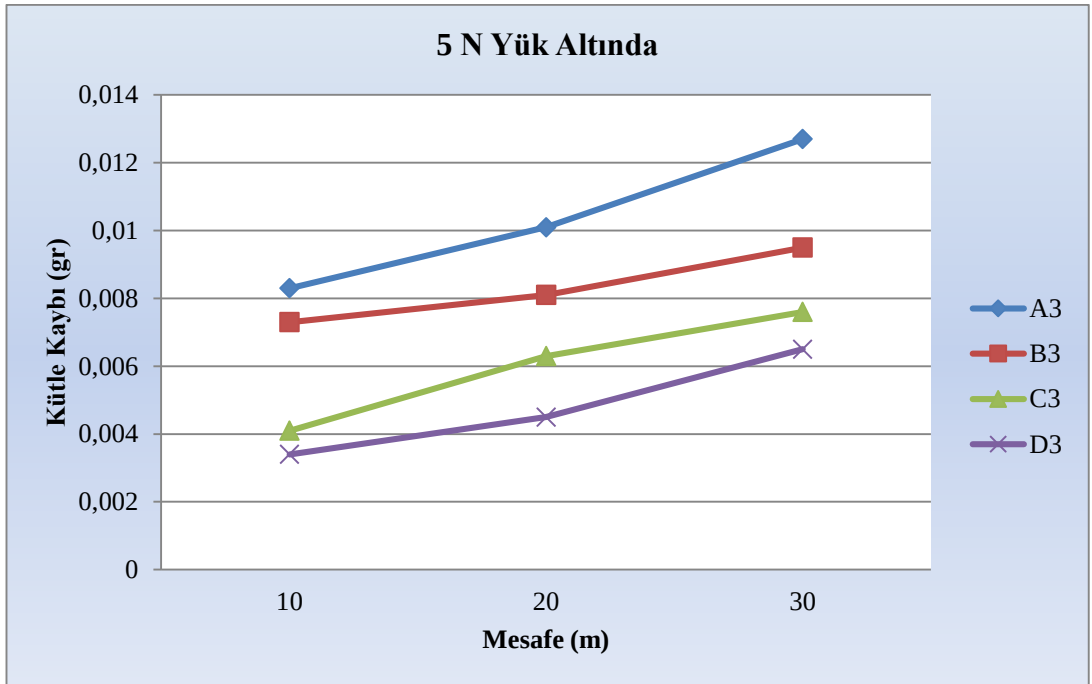


Şekil 6.21 10 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (2)

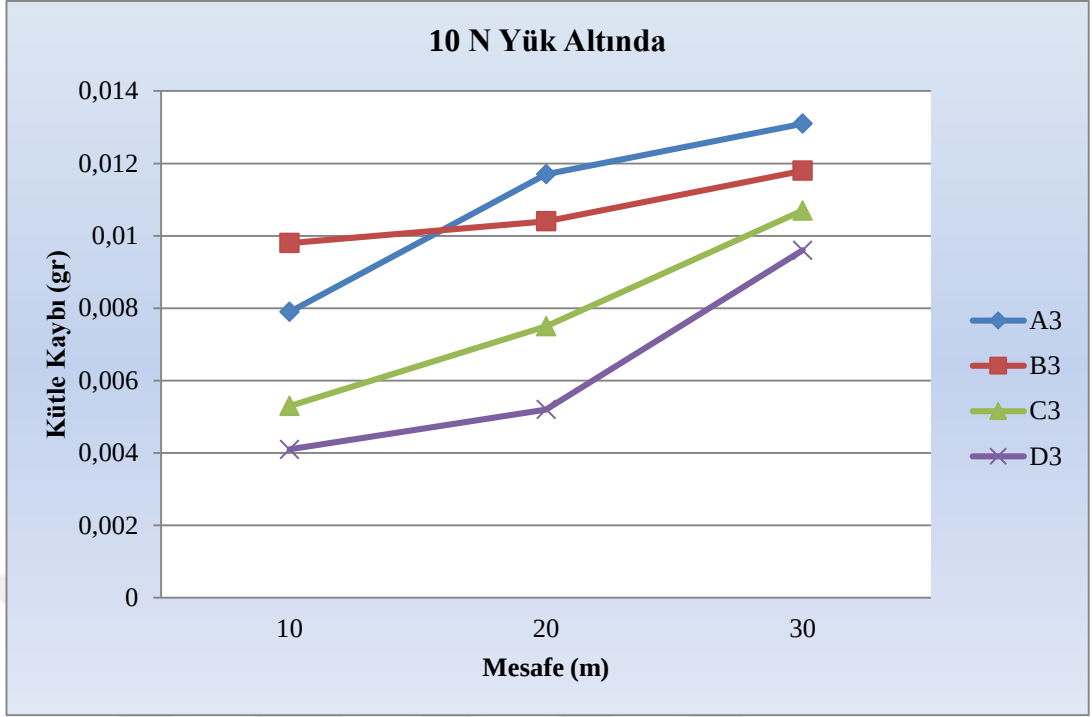


Şekil 6.22 15 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (2)

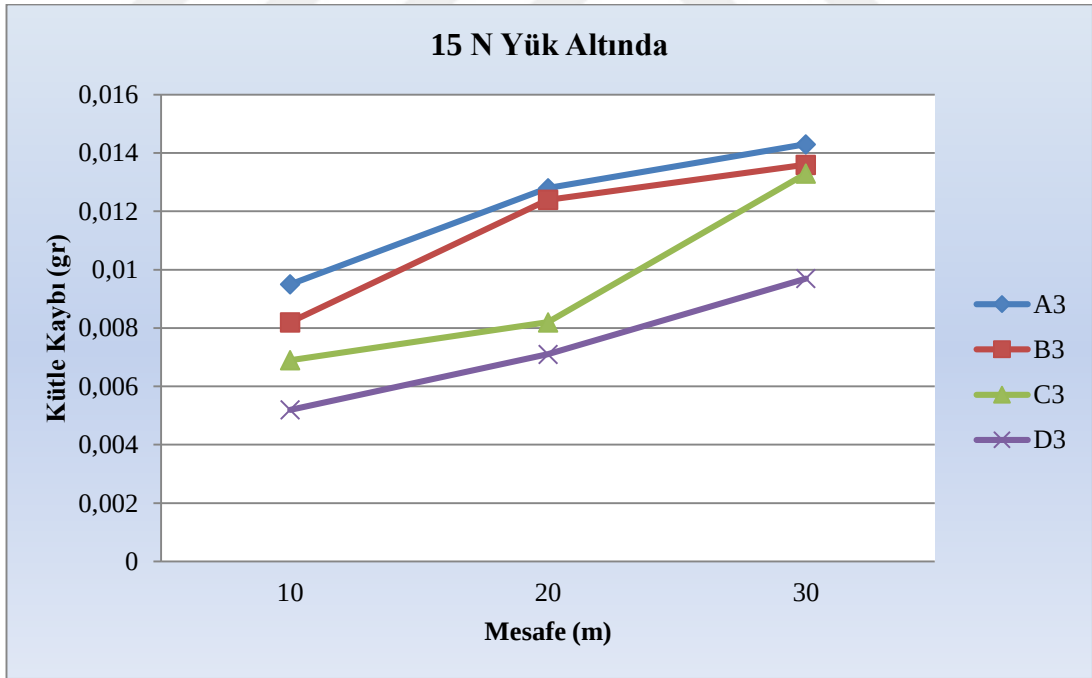
2 nolu gruptaki üretilen numunelerin üretim parametresi sinterleme sıcaklığı 700 °C ve sinterleme basıncı ise 30 MPa'dır. Numunelerin bileşim oranlarında ise herhangi bir değişiklik yoktur.



Şekil 6.23 5 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (3)

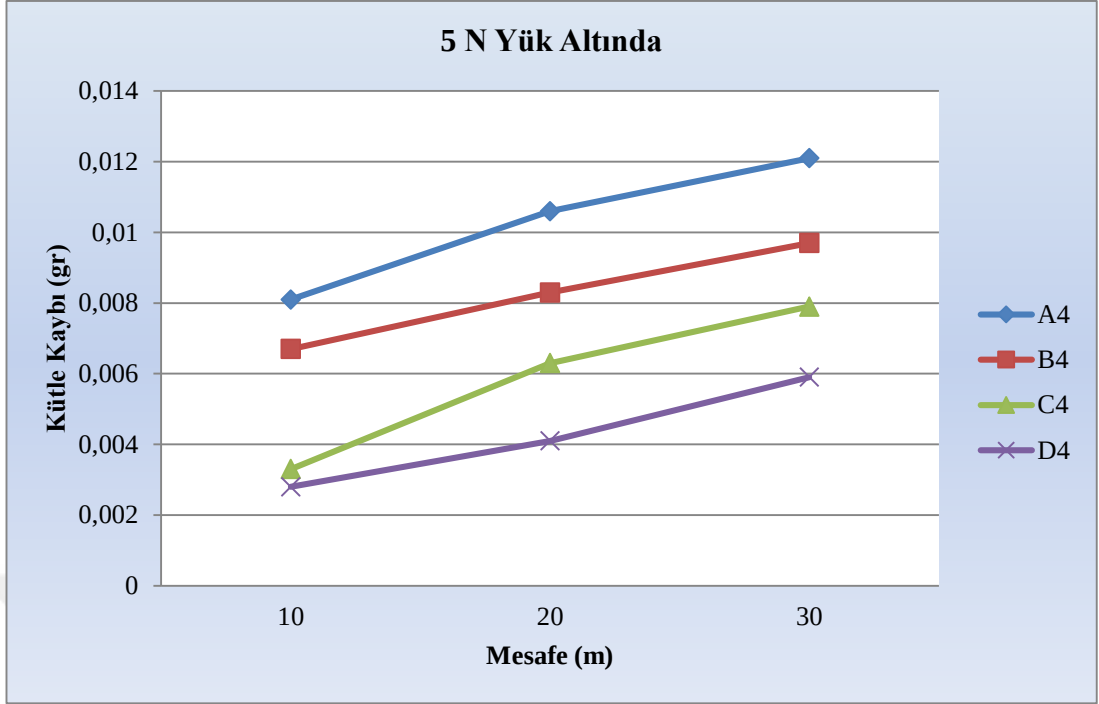


Şekil 6.24 10 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (3)

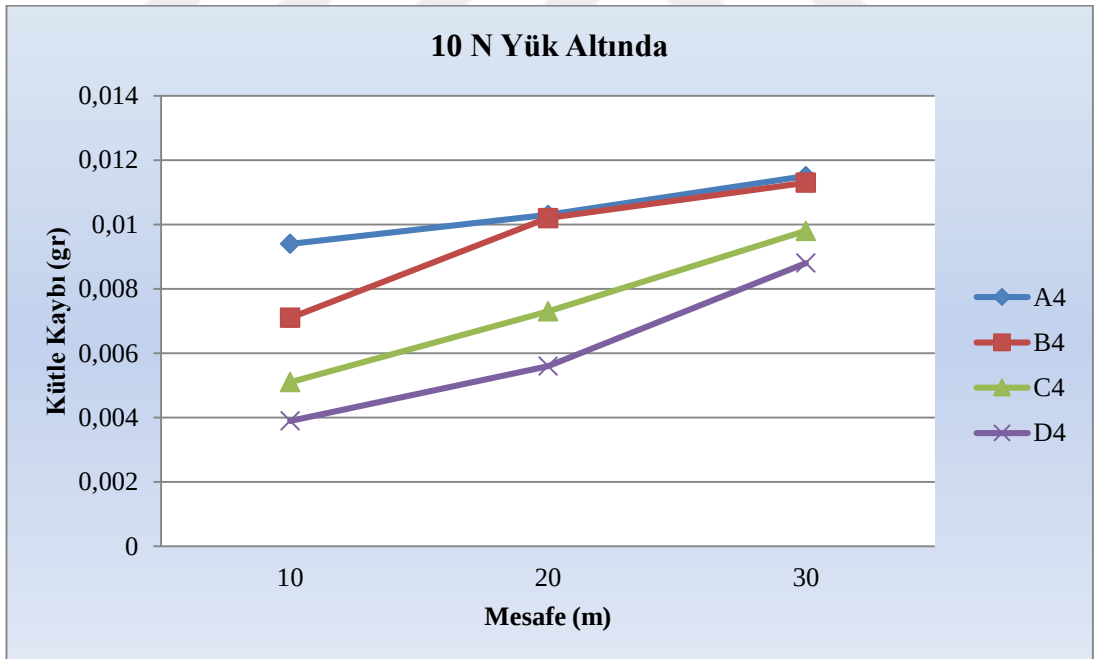


Şekil 6.25 15 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (3)

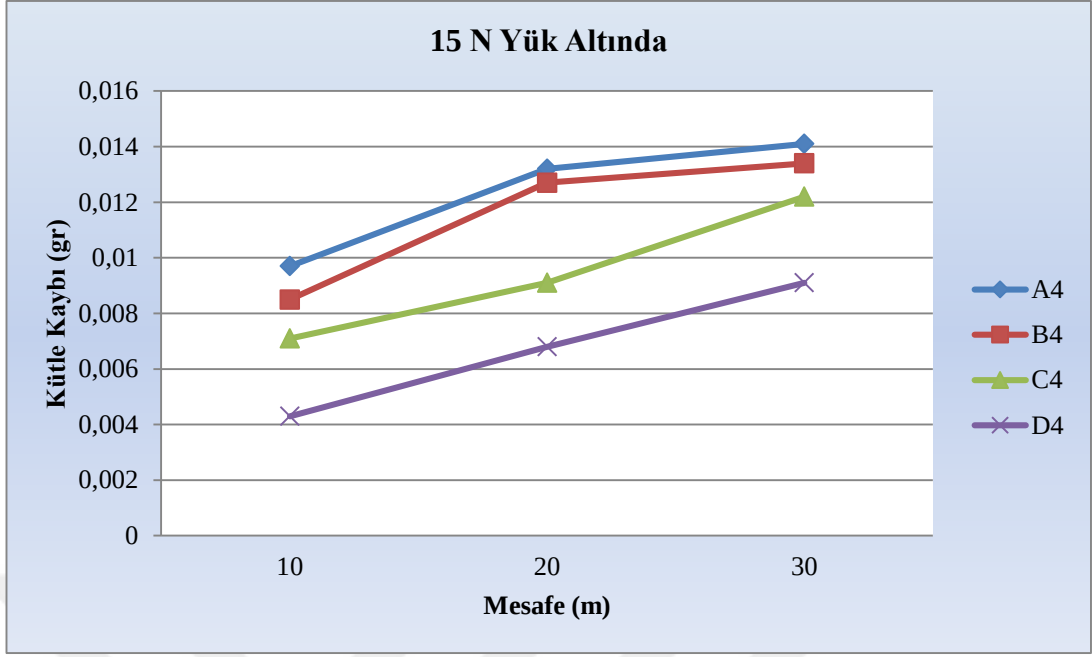
3 nolu gruptaki üretilen numunelerin üretim parametresi sinterleme sıcaklığı 700 °C ve sinterleme basıncı ise 30 MPa'dır. Numunelerin bileşim oranlarında ise herhangi bir değişiklik yoktur.



Şekil 6.26 5 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (4)



Şekil 6.27 10 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (4)



Şekil 6.28 15 N yük altında gruplar arası aşınma grafiği (4)

4 nolu gruptaki üretilen numunelerin üretim parametresi sinterleme sıcaklığı 800 °C ve sinterleme basıncı ise 30 MPa'dır. Numunelerin bileşim oranlarında ise herhangi bir değişiklik yoktur.

Aşınma deneyleri 5N, 10N ve 15N yük altında; 10m, 20m ve 30m mesafelerde abrasif aşındırma yöntemi uygulanarak kütle kaybı yöntemi kullanılarak değerler elde edilmiştir. Aşınma deneyi sonuçları kütle kaybı-mesafe kaybı ilişkisi kurularak grafiklere aktarılmıştır. Grafiklerden görüldüğü gibi genelde bütün gruplarda; kobalt oranının artışına bağlı olarak aşınmaya karşı gösterilen direncin arttığı saptanmıştır. Aşınma deneyi sonuç grafiklerinden, en yüksek aşınma direnci D grubu numunelerinde olduğu tespit edilmiştir. D grubu numunelerinin içerisinde de en az kütle kaybı yani en yüksek aşınma direnci sinterleme sıcaklığı 800 °C ve sinterleme basıncı 30 MPa olarak üretilen D4 nolu numunede tespit edilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toz metalürjisi yöntemlerinden Sıcak İzostatik Presleme (HIP) yöntemi ile üretilen numuneler üzerinde yapılan incelemeler neticesinde; farklı sinterleme sıcaklığı, farklı sinterleme basıncı ve farklı bileşim oranlarında değişik değerler elde edilmiştir. Bu çalışmada numunelerin üretilmesinde metal tozlarının sıkıştırma basıncı, sinterleme sıcaklığı ve alaşım elementlerinin çeşitliliği ile oransal miktarları parçaların özelliklerini değiştiren önemli özellikler olduğu görülmüştür.

Deneysel sonuçlar ayrıntılı olarak ele alındığında;

1- Toz metalürjisi ile üretim yönteminden sıcak izostatik presleme (HIP) ile yapılan çalışmalarımızda sinterleme basıncı ve sinterleme sıcaklığı aynı anda kullanılarak daha yoğun numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunelerin üretimi çok düzgün ve boşluksuz olarak gerçekleşmiştir. Bu özellikte toz metalürjisi ile üretim yönteminden sıcak izostatik presleme (HIP) yönteminin en önemli avantajlarındanır.

2- Toz metalürjisi üretim yöntemlerinde sıcaklık, basınç, tane boyutu, sinterleme süresi gibi etkenler çok önemlidir. Bu çalışmamızda sinterleme süresi ve metal tozlarının tane boyutu sabit tutulmuştur. Sinterleme basıncı ve sinterleme sıcaklığının önemli olduğu görülmüştür.

3- Mikro yapı fotoğraflarında numunelerdeki metal tozlarının sinterleme sıcaklığının ve basıncın artışına göre homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir.

4- Sertlik ölçümleri sonucunda kobalt oranının artışına ve sinterleme sıcaklığı ve basıncındaki artışa bağlı olarak sertlik oranının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. En yüksek sertlik değeri ise D4 nolu numunede elde edilmiştir.

5- Üretilen numuneler uygulanan yüke ve aşınma mesafesine göre değerlendirildiğinde genel olarak; en yüksek aşınma direnci gösteren D grubu numuneler olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Burada kobalt oranının %15 olarak alınmasının etkili olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca D grubu numuneleri de kendi içlerinde değerlendirdiğimizde D4 nolu numunelerin aşınmaya karşı daha dirençli oldukları bulgusuna ulaşılmıştır. Burada sinterleme basıncının ve sıcaklığının yüksek olması etkili olmuştur. Genel olarak değerlendirildiğinde ise sinterleme sıcaklığı ve basıncının ve kobalt oranının artması aşınma direncinin artmasında etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ve yaptığımız literatür araştırmasında da sıcak presleme işleminde kobaltın; yüksek akma dayanımı ve tokluğu

sayesinde, mükemmel derecede bağlanma kabiliyeti vardır (Konstanty, 1991, 1996, 1997). Deneyler sonucu elde edilen bilgilerle, Co'nın etkisi ile mekanik dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

7- Toz metalürjisi ile üretim yönteminden sıcak izostatik presleme (HIP) seri üretime diğer toz metalürjisi üretim yöntemlerine göre daha pratik ve seri üretime uygundur.

Ayrıca yapılacak çalışmalara öneri olarak;

- Alaşım elementleri değiştirilerek farklı çalışmalar yapılabilir.
- Aşınma deneylerinde Adezhif aşınma çalışılabilir.
- Farklı mekanik deneyler (Yorulma Deneyi, Çentik Darbe Deneyi, vs.) uygulanabilir.
- Farklı sinterleme sıcaklığı, basıncı ve süresi seçilerek çalışmalar yapılabilir.
- Farklı tane boyutlarında metal tozları kullanılarak çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- ASM Metals Handbook**, 1998. Powder metal technologies and applications volume 7. ASM International, 1145-1146s. USA.
- Backensto A. B.**, “Effects of Lubricants on the Properties of Copper-Tin Powders and Compacts”, N.Jersey, Advances in P/M, Proc. Of PM Conf., APMI, PP.303-314, 1990
- Bakkaloğlu A.**, “Takım Çeliklerinin Isıl İşlemleri”, Metal Dünyası, Şubat 2000, Sayı 81, s.19-24
- Bakkaloğlu A.**, “Toz Metalurjisi” ders notları, 2000, s.1, s.7-10, s.79-81
- Başman, G.**, Atar, E. ve Kayalı, E.S., 2001, Seramik malzemelerin aşınma davranışı, Metalurji Dergisi, 127, 39-44
- Blau, P.J. and Budinski, K.G.**, 1999, Development and use of ASTM standards for wear testing, Wear, 225-229 (2), 1159-1170.
- Boz, M.**, 2003, Seramik Takviyeli Bronz Esaslı Toz Metal Fren Balata Üretimi ve Sürtünme –Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, Sf. 120.
- Boz, M., Kurt, A.**, “Toz Metal Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Performansı Üzerine Çinkonun Etkisi” Gazi Üniversitesi, Müh., Mim., Fak., Dergisi 2006
- Bonneau, M., Molteni, M.**, 2002, Wire manufacturing and free sintering with NEXT. Industrial Diamond Review, 62(4), 263–265.
- Bose, A., Eisen, W.B.**, 2003, Hot Consolidation of Powders and Particulates. MPIF, Princeton, NJ.
- Buytoz, S.**, 2004, AISI 4340 çeliğin nitrürasyon ve GTA kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışlarının araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Conway, J.J., Rizzo, F.J.**, 2004, Hot isostatic pressing of metal powders, Powder Metal Technologies and Applications, ASM Handbook, Vol. 7, 1424.
- Desai, V.M.**, 1984, Effect of carbide size on the abrasion of cobalt base powder metallurgy alloys, Wear, 94 (1), 347-376.

- Enomoto, Y., Yamamoto, T.,** 1998, “New Materials in Automotive Tribology”, Tribology Letters, 5, pp. 13-24.
- Fırat Kalkınma Ajansı** Elazığ Mermer Raporu Sektörel Araştırmalar serisi-2 sf.28
- Fritsch, KG.,** "Sintermetallpulver für die Diamantwerkzeugfertigung", 2-108,1996.
- General, E.,** "Diamond Products for Sawing and Drilling Applications", GE Superabrasives. General Electric Company Teknik Yayını. 1-44,1991.
- German, R.M.,** Powder metallurgy science. MPIF, 203-335s,1989, USA.
- German, R.M.,.** Powder metalurgy science. MPIF, 278. 133-136s, 1984, USA.
- Gleese, W.A.,** 1995, Friction and wear of ceramics, ASM Handbook, 18, 812-815.
- Günther B., Kanazawa I.,** “Self Lubricating Iron Base Materials by Mechanical Alloying”, Birmingham, EURO PM 95 Proceedings, pp. 119-125, 1995
- Gür, A.K.,** 2006, Aşınma mekanizmaları, Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Gürçay, E.** (2005), Elmas Soketlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretiminde Kobalt-Bronz Oranının Soket Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 56s.
- Hale, R.,** 2003. Powder metallurgy process and applications, AE 510 research project, University of Kansas, Lawrence, 82s. U.S.A.
- İpek, R. ve Karamış, M.B.,** 1999, Aşınma test yöntemleri ve gelişmeler, Mühendis ve Makine, 40 (469), 24-29.
- İstanbul Ticaret Odası.** www.ito.org.tr
- Kalish, H.,** "How Composition Affects The Properties and Performance of Cemented Carbide Cutting Tools", Tools and Die Failure, Source Book, American Society for Metals, 86-92, 1982.
- Karagöz Ş, Zeren M.,** "Characterisation of Hot Pressing Behaviour of Diamond Cutting Tools", Int. PM Conf, Granada-İspanya, 4,208-212,1998.
- 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.

- Karagöz Ş, Zeren M.**, "The Property Optimization of Diamond Cutting Tools with the Help of Microstructural Characterisation", 3rd European Conference on Advances in Hard Materials Production, EUROPM, Turin-Italy, 399-405, 1999.
- Karagöz, Ş., Zeren, M.**, "Mermer Kesiminde Kullanılan Elmas Kesici Takımlarda Aşınma Karakteristiği", Türkiye 3. Mermer Sempozyumu (MERSEM) Bildiriler Kitabı, 2001, Afyon, s.452-461
- Kaysser W.A., and Rzesnitzek, K.**, 1990, Principles of atomization, Science of Sintering, Ed. D.P. Uskokovic, Plenum Press, 157 - 174.
- Keleştemur, H.**, 1989, Makine yapı çeliklerinin abrasiv aşınma direncine yüzey sertliğinin etkisi ve diğer mekanik özelliklerle etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Klar, E., and Fesko, J.W.**, 1984, Production of metal powders, Metals Handbook, 9th ed. Vol. 7, Powder Metallurgy, 25 – 51, Ohio.
- Kılıç, C.**, 2008 "Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Üretilmiş ve Soğuk Haddelenmiş AlMg₃/SiCp Kompozitinin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Sf., 42.
- Konstanty, J.**, 1999, Developing a better understanding of the bonding and wear mechanisms involved in using diamond impregnated tools, In Proceedings of International Workshop on Diamond Tool Production, Turin, Italy, November 8–10, pp. 97–106.
- Korkut, M.H.**, 1997, Ferritik paslanmaz çeliklerin mikro yapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Lawley, A.**, "Atomization, The Production of Metal Powders", MPIF, Princeton, 1992
- Liu, T. and Rhee, S.K.**, 1978, High temperature wear of semimetallic disc brake pads, Wear, 46(1), 213-218.
- Meriç, C., Köksal, N.S., Atik, E.**, 1997, Sert dolgu aşınmanın incelenmesi, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi MATİK'97 Sempozyumu, 186-191, Ankara.
- Muratoğlu, M.**, 1997, SiC katkılı 2124 alüminyum kompoziti ve yaşlandırılmış kompozitin aşınma davranışlarının araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- Niemann, G.**, “Makina Elemanları”, Cilt-II, 1973,
- Oğuz, B.**, 1993, Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları, Oerlikon Yayınları, :709, İstanbul.
- Orhan, A.**, 2008, “Gaz Tungsten Ark Kaynak Yöntemiyle Üretilen Fe Esaslı Kaplama Tabakalarının Aşınma ve Mikro Yapı Karakteristiklerinin Araştırılması Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özay, Ç.**, 2004, TM yöntemiyle üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ kompozitinin abrasiv aşınma dayanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Özmen, Y., Can, A.Ç., Aksoy, T.**, 1991, Aşınmaya etki eden faktörler ve aşınmanın azalması için alınacak tedbirler, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, 651-664, Denizli
- Pekin, Ş., Vuoristi, P., Mantyla, T.**, 1993, System aproach for wear rezistant coatings, Worksshop on Anti-Wear Coatings, TÜBİTAK-MAM, Kocaeli.
- Prasad B. K.**, “Dry Sliding Wear Response of Some Bearing Alloys as Influenced by the Nature of Microconstituents and Sliding Conditions”, Metall Trans. (A-28), 1997, pp. 809-815
- Sahin, Y.**, 2006, Optimal testing parameters on the wear behaviour of various steels, Materials and Design, 27(6), 455-460.
- Šalak, A.**, 1995. Ferrous powder metallurgy. Cambridge International Science Publishing, 450, England.
- Sarıtaş, S.**, 2003, “Toz metalurji ders notları ” .
- Sarıtaş, S., and Doğan, C.**, 1994, Metal powder production by centrifugal atomization, Int. J. Powder Metallurgy, 30, 419 – 427
- Schmidt R.F., Schmidt D.G.**, 1993, “Selection and Application of Copper Alloy Castings”, ASM Handbook (II), pp. 346-355.
- Solmaz, Y.M.**, 2002, Ni₃Al+B metaller arası bileşiğinin değişken sıcaklık şartlarında aşınma davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Somunkıran İ.**, “Demir Esaslı Molibden, Nikel, Bakır Katkılı Toz Metal Alaşımının Mekanik Özelliklerine Bakır Oranının Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999, Elazığ.

- Tanberk O.**, “Toz Metalurjisinde Türkiye'nin Yeri”, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 1997, İstanbul, s.229-247.
- Taner E.**, “Toz Metalurjisi Ekonomik Bir Üretim Tekniği”, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Gazi Üniversitesi, 2000, Ankara.
- TS 3087**, 1978, Toz metalurjisi - terimler, TSE, Ankara.
- Tunay, R., F., Varol, R., Yılmaz, S., S.**, “Borlamanın T/M Çelik Parçaların Mekanik Özelliklere Etkisi”, Gazi Üniversitesi 3.Uluslararası Toz Sempozyumu, s. 1221-1228, 2002.
- Turan, H.**, 1993, Gaz atomizasyonu ile metal tozu üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Turan, H., Sarıtaş, S.**, “Gaz Atomizasyonu ile Metal Tozu Üretimi”, 6.Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, 21-23 Eylül 1994, ODTU, Ankara.
- URL-1**, <http://www.bodycote.com/tr-TR/services/hot-isostatic-pressing.aspx>
- Upadhyaya, G.S.**, 1996. Powder metallurgy technology. Cambridge International Science Publishing, 7-10s. England.
- Ünlü, B., S., ve Köksal N.,S.**, “Saf Cu, Sn, Zn’ den Üretilen Yatakların Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı:2, s.37-42, 2004
- Ünlü, B.,S., Yılmaz, S., S., Varol, R.,”** T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması” Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı:2, s.31-37, 2005
- Varol, R., Sarıtaş, S.**, “ Bilyalı Dovme Dsleminin Demir Esaslı T/M Parçaların Yorulma Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması”, Ankara Gazi Üniversitesi, I. Ulusal Toz Metalurjisi Konf., s. 407-418, 1996
- Wick, C.**, "The Facts About Diamonds, Manufacturing Engineering, 63,1988.
- Yalçın, B.**, 2007, Toz Metalurjisi Yöntemi ile İmal Edilen Titanyum Alaşımı İmplantların Temel Özelliklerinin Araştırılması.(Doktora Tezi) 16-23s. Isparta.
- Yıldırım S.**, “Fe-Ferrokrom Tozundan Elde Edilen Kompozitin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999,Elazığ.
- Yıldız T., Gür K.,A., Aba S.**, 2014 “Examination Of The Wear Behavior Of Cu-Ni/B₄C_p Composite By the Taguchimethod, Sf. 1001, Elazığ

- Yılmaz, F.**, 1997, Sürtünme ve aşınma, IX. Ulusal Metalurji ve Malzeme Kongresi, 1, 229-256, Ankara.
- Yılmaz, R.**, “Toz metalurjisi ile üretilen Fe-Cu-C esaslı parçaların mekanik özellikleri ve mikro yapı karakterizasyonu”, 11. Uluslar arası Denizli Malzeme Sempozyumu 19–21 Nisan 2006, 772–776s. Denizli.
- Yılmaz, S. S.** “ Demir Esaslı T/M Parçaların Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, “ Doktora Tezi, C. B. U. Fen Bil. Enst., 2004.
- Yılmaz, S.B.**, 1999. Toz Metalurjisi ile Üretilen, Bağlı Grafitli Demir Parçalarda Kullanılan, Farklı Demir Tozu Cinslerinin Parçalardaki Mekanik Özelliklere Etkisi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 112s, İstanbul.
- Yurtkuran, E.**, 2011. T/M ile Üretilmiş Alüminyum Esaslı Malzemelerin Alaşım Elementleri ve Takviye Elemanı İçermelerine Bağlı Tel Erezyonda İşlenebilirliklerinin Araştırılması. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1s, Karabük.

ÖZGEÇMİŞ

Süleyman ABA 1989 yılında Adana'nın Yüreğir ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Osmaniye'de tamamladı.

2011 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Teknolojileri Öğretmenliğinden mezun oldu. Aynı yıl Erzurum'un Oltu ilçesinde Öğretmen olarak göreve başladı. Yine aynı yıl içerisinde Fırat Üniversitesi Metalürji Eğitimi Bölümü Ekstraktif Metalurjisi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı.

2012 yılında Vatani görevini Ankara da yerine getirdi.

2013 yılında Yüksek Lisans öğreniminden dolayı Elazığ Gazi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesine tayin oldu.

2014-2016 yılları arasında Elazığ İl Milli Eğitim Müdürlüğünde Koordinatör İş Güvenliği Uzmanı olarak çalıştı. Sosyal sorumluluk kapsamında 2015 yılında Teknik Eğitim Vakfı Elazığ İl Başkanlığı görevini üstlendi. 2016 yılında Kahramanmaraş'a tayin oldu.

Süleyman ABA halen Kahramanmaraş Elbistan İlçe Milli Eğitim Müdürlüğünde Koordinatör İş Güvenliği Uzmanı olarak görev yapmakta olup, evli ve 1 çocuk babasıdır.