

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BRONZ ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞINA
Co ve Ni İLAVESİNİN ETKİSİ

Alaattin YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi
Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi
Program: Metal Öğretmenliği
Danışman: Doç. Dr. Tülay YILDIZ

OCAK-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BRONZ ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞINA
Co ve Ni İLAVESİNİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alaattin YILMAZ

(122122107)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Aralık 2018

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Ocak 2019

Danışman : Doç. Dr. Tülay YILDIZ(F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sermin OZAN (F.Ü)

Doç. Dr. Ertuğrul ÇELİK(M.Ü)

OCAK-2019

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmam boyunca benden yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Tülay YILDIZ'a, Prof. Dr. Halis ÇELİK'e, Prof. Dr. Hüseyin TURHAN'a, Doç. Dr. Ali Kaya GÜR'e, Metalurji ve Malzeme Yük. Müh. Semih TAŞKAYA'ya, Arş. Gör. Dr. Nida KATI'ya ve aileme sonsuz çok teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Alaattin YILMAZ
ELAZIĞ, 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLOLAR LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. TOZ METALURJİSİ.....	4
3.1. Tanım ve Tarihçe.....	4
3.2. Toz Metalurjisi Tarihçe.....	4
3.3. Toz Metalurjisinde Parça Üretim Süreci.....	4
3.3.1. Tozların Karıştırılması.....	8
3.3.2. Presleme.....	9
3.3.3. Sinterleme.....	10
3.4. Sıcak İzostatik Presleme (HIP).....	13
3.5. Toz Metalurjisinin Avantaj ve Dezavantajları.....	13
3.5.1. Toz Metalurjisinin Avantajları.....	13
3.5.2. Toz Metalurjisinin Dezavantajları.....	14
3.6. Toz Metalurjisinin Uygulama Alanları.....	15
4. BAKIR-KALAY (BRONZ) ALAŞIMLARI.....	16
4.1. Bakır – Kalay Alaşımlarına Diğer Elementlerin Etkileri.....	18
4.2. Matriste Oluşan Faz ve Bileşiklerin İkili ve Üçlü Denge Diyagramlarındaki Yerin Belirtilmesi.....	19
5. AŞINMA.....	21
5.2. Aşınma Sisteminde Temel Unsurlar.....	22
5.2.1. Ana Malzeme (Aşınan).....	23
5.2.2. Karşı Malzeme (Aşındırılan).....	23
5.2.3. Ara Malzeme.....	23
5.2.4. Yük (temas kuvveti).....	23

5.2.5.	İzafi Hareket.....	23
5.2.6.	Aşınma Parametreleri.....	24
5.2.6.1.	Basınç.....	24
5.2.6.2.	Hız.....	25
5.2.6.3.	Kayma Yolu.....	25
5.2.7.	Sertlik ile Abrasif Aşınma Direnci Arasındaki İlişki.....	26
5.3.	Aşınma Çeşitleri.....	27
5.3.1.	Adhezif Aşınma.....	27
5.3.2.	Abrasif Aşınma.....	28
5.3.3.	Erozif Aşınma.....	29
5.3.4.	Kavitasyon Aşınması.....	29
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
6.1.	Numunelerin Üretim Aşamaları.....	32
6.1.1.	Metal tozlarının hazırlanması.....	32
6.1.2.	Metal Tozlarının Karıştırılması.....	33
6.1.3.	Metal Tozların Sinterlenme İşlemi.....	33
6.1.4.	Mikroyapı İncelemeleri.....	36
6.1.5.	Sertlik Ölçümleri.....	36
6.1.6.	Yoğunluk Hesaplama.....	37
6.1.7.	Aşınma Deneyi.....	38
7.	DENEY SONUÇLARI.....	40
7.1.	Mikroyapı Sonuçları.....	40
7.2.	EDS Analiz Sonuçları.....	43
7.3.	Yoğunluk Ölçüm Sonuçları.....	49
7.4.	Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	50
7.5.	Aşınma Deney Sonuçları.....	50
8.	GENEL SONUÇLAR.....	57
	KAYNAKLAR.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	61

ÖZET

Toz metalürjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri, dökümde olduğu gibi net şekilli parça üretimine imkân tanır. Fakat toz teknikleri, sadece düşük sıcaklıkta ergiyen metallere uygulanan dökümden farklı olarak hemen hemen her malzemeye uygulanabilir. Bundan dolayı toz metalürjisi yoluyla üretilen ürünlerin pek çoğu; mesela kompozitler, yüksek sıcaklık seramikleri, bazı polimerler, bakırlı çelikler, refrakter metaller, geniş bir dağılım gösteren intermetalikler, sermetler ve karışık fazlı bileşimler, döküm yoluyla üretilemezler.

Toz metalurjisi yöntemlerinden olan sıcak presleme yöntemi; çekinti boşlukları, mikroporlar, sıcak yırtılma gibi porozite kusurlarını ortadan kaldırmaktadır. Sıcak presleme, metallerdeki porozite, çekinti gibi döküm hatalarını azaltmak ve seramik malzemelerde yoğunluğu arttırmak üzere geliştirilmiş bir yöntemdir.

Bu çalışmada, Bronz (Cu+Sn) alaşımına belirli oranlarda (%3, %5 ve %8) Kobalt ve Nikel elementleri ilave edilerek Toz Metalurjisi (TM) yöntemi ile yeni numune grupları üretilmiştir. Üretilen numunelerin mikroyapıları, ortalama sertlikleri, yoğunlukları ve adhesiv aşınma davranışları incelenmiştir. Bronz alaşımına ilave edilen Ni ve Co elementlerinin sertliği ve aşınma direncini arttırarak mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, Sıcak Presleme, Mikroyapı, Sertlik, Adhesiv Aşınma.

SUMMARY

Effect of CO and Ni Addition on Corrosion Behavior of Bronze Alloys

Powder metallurgy and particulate material processes allow the production of clear-shaped parts as in casting. However, the powder techniques can be applied to almost any material, unlike the casting applied to metals that only melt at low temperature. Therefore, most of the products produced by powder metallurgy; Composites, high temperature ceramics, some polymers, copper steels, refractory metals, intermetallics, cermets and mixed phase compositions with a wide distribution cannot be produced by casting.

Hot pressing method is one of powder metallurgy methods; It can eliminate porosity defects such as shrinkage cavities, micropores, hot tears. Hot pressing is a method developed to reduce casting defects such as porosity, shrinkage and increase the density of ceramic materials.

In this study, by adding Cobalt and Nickel elements in certain ratios (3%, 5% and 8%) to the Bronze (Cu + Sn) alloy, new sample groups were produced by Powder Metallurgy (PM) method. Microstructures, average hardness, densities and adhesive wear behavior of the samples were investigated. It was observed that the Ni and Co elements added to the bronze alloy improved their mechanical properties by increasing their hardness and wear resistance.

Keywords: Powder Metallurgy, Hot Pressing, Microstructure, Hardness, Adhesivewear.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Tek yönlü preslemenin şematik gösterimi	10
Şekil 3.2. (a) Sinterleme operasyonu süresince T/m ürünlerinin yoğunluk, mukavemet ve süneklilik gibi özelliklerinin diğer yöntemle üretilen mamüllerin özelliklere oranının zamanla değişimi (b) Sinterleme esnasında preslenmiş parçaların bünyesinde zamanla meydana gelen değişiklikler	11
Şekil 4.1. Cu-Sn denge diyagramı.....	16
Şekil 4.2. Cu-Sn İkili Faz Diyagramı	19
Şekil 4.3. Co-Cu İkili Faz Diyagramı	20
Şekil 4.4. Cu-Sn-Ni Üçlü Faz Diyagramı	20
Şekil 5.1. Tribolojik Sistem.....	22
Şekil 5.2. Sürtünen İki Cisimde Aşınmanın Temel Unsurları.....	24
Şekil 5.3. Takviyesiz LM-13, %15 ve %30 Saf Fiber Takviyeli Alaşımlarda Aşınma Hızı-Ağırlık-Uygulanan Yük İlişkisi	25
Şekil 5.4. a) Kayma Yolu ile Aşınma Miktarının Değişimi b) Kaymanın Aşınmaya Etkisi	26
Şekil 5.5. Adhesif Aşınma Mekanizması a) Yüzeyden Kaynak Bağları b) A'dan B'ye Malzeme Transferi c) Kopan Parçaların Serbest Hali	27
Şekil 5.6. Adhesiv Aşınma Pozisyonları	28
Şekil 5.7. Abrasiv Aşınma Mekanizması	28
Şekil 5.8. Kavitasyon Aşınma Mekanizması	30
Şekil 5.9 Kavitasyon Aşınmasına Uğramış Pompa.....	30
Şekil 6.1. Metal toz oranlarının hazırlanması.....	32
Şekil 6.2. Tozların karıştırılması	33
Şekil 6.3. Karıştırılan alaşımların soğuk preslenmesi	34
Şekil 6.4. Soğuk presten çıkan karışımların kalıplanması	34
Şekil 6.5. Sinterleme fırın makinası	35
Şekil 6.6. Üretilen numune gurupları	35
Şekil 6.7. Brinell Sertlik Ölçümü	37
Şekil 6.8. Yoğunluk Ölçüm Kiti.....	37
Şekil 6.9. Aşınma deney düzeneği	39

Şekil 7.1. A grubu numunelerine ait SEM fotoğrafları	40
Şekil 7.2. A grubu numunelerine ait kırık yüzey fotoğrafları	41
Şekil 7.3. B grubu numunelerine ait SEM fotoğrafları	42
Şekil 7.4. B grubu numunelerine ait kırık yüzey fotoğrafları	42
Şekil 7.5. A1 numunesine ait EDS analizi	43
Şekil 7.6. A2 numunesine ait EDS analizi	44
Şekil 7.7. A3 numunesine ait EDS analizi	45
Şekil 7.8. B1 numunesine ait EDS analizi	46
Şekil 7.9. B2 numunesine ait EDS analizi	47
Şekil 7.10. B3 numunesine ait EDS analizi	48
Şekil 7.11. Numunelerin sertlik değerleri	50
Şekil 7.12. A grubu numuneleri 5 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi	52
Şekil 7.13. A grubu numuneleri 10 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi	52
Şekil 7.14. A grubu numuneleri 15 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi	52
Şekil 7.15. B grubu numuneleri 5 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi	54
Şekil 7.16. B grubu numuneleri 10 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi	54
Şekil 7.17. B grubu numuneleri 15 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi	54
Şekil 7.18. A2 numunesi aşınma yüzeyi SEM fotoğrafı	56
Şekil 7.19. B2 numunesi aşınma yüzeyi SEM fotoğrafı	56

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Toz metalurjisinin önemli uygulama alanları çeşitli sektörlere göre dökümü sunulmuştur.	5
Tablo 5.1 Yükleme ve Hareket Değişikliklerinin Sistemi Etkilemesi.....	24
Tablo 6.1. Çalışmada kullanılan metal tozlar	31
Tablo 6.2. Numunelerin Üretim Parametreleri	31
Tablo 6.3. Numune Gruplarının Ağırlık Dağılımı	32
Tablo 6.4. Dağlayıcı formülü.....	36
Tablo 7.1. A1 numunesine ait EDS element dağılımı	44
Tablo 7.2. A2 numunesine ait EDS element dağılımı	45
Tablo 7.3. A3 numunesine ait EDS element dağılımı	46
Tablo 7.4. B1 numunesine ait EDS element dağılımı.....	47
Tablo 7.5. B2 numunesine ait EDS element dağılımı.....	48
Tablo 7.6. B3 numunesine ait EDS element dağılımı.....	49
Tablo 7.7. Numunelerin yoğunluk ölçümleri.....	49
Tablo 7.8. A grubu numunelerine ait aşınma parametreleri ve kütle kayıpları	51
Tablo 7.9. B grubu numunelerine ait aşınma parametreleri ve kütle kayıpları.....	53

1. GİRİŞ

Metal teknolojisi alanında toz metalurjisi en kapsamlı ve en fazla çeşitliliğe sahip üretim yöntemidir. Toz metalurjisi karmaşık şekilli parçaların istenilen toleranslarda kayıpsız olarak üretilebilmesi için yüksek avantajlara sahiptir. Toz metalurjisi, metal tozların, tam ve/veya yarı ön alaşımlanmış metal tozların bağlayıcılar ve yağlayıcılarla birlikte karıştırılarak uygun sıcaklık ve yöntemler kullanılarak istenilen şekillerde üretilmesini içeren kapsamlı ve disiplinli bir malzeme üretim yöntemidir. Toz metalurjisi endüstriyel üretim aşamalarında uygulanabilir çünkü malzeme tasarrufu, mikro yapıda ince tane boyutları ile kimyasal olarak homojenizasyonun sağlanması, karmaşık şekilli parçaların ekonomik olarak üretilmesi ve tam yoğunluk ile yüksek dayanım performansı gibi faktörler sayılabilir. Kaymalı yatak malzemesi olarak literatürde ilk olarak demir, tahta vs. malzemeler kullanılmıştır. Zaman geçtikçe bunların yerini beyaz metal almıştır, Toz metalurjisinde düşük enerji tüketimi, düşük maliyetlerde ve yüksek verimde malzeme kullanımı içeren otomasyon üretim süreçlerinden yararlanır, çünkü üretim aşamalarında şekillendirilip, pekiştirilmesi ve ısıtılarak sinterlenmesi anahtar adımlardır. Toz metalurjisi, bu özellikleri nedeni ile günümüzde önemli kavramlar olan verimlilik, enerji ve hammadde üçlüsü ile uyum içerisindedir. Bu nedenle, toz metalurjisi dünya giderek yaygınlık kazanıp gerek teknolojik gerekse de ekonomik açılardan diğer teknolojilere alternatif oluşturan bir üretim yöntemidir [1]. Toz metalurjisi 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 işlemdir. 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.

Bu çalışmada yeni bir matris malzemesi (yatak malzemesi gibi) toz metalurjisi ile üretilmesi araştırılmıştır. Özellikle Bronz esaslı yatak malzemelerinin mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için kobalt ve nikel tozları kullanılmıştır. Kobalt ve nikel farklı oranlarda katılarak yeni bir matris malzeme üretilmiş ve bu üretilen numunelerin adhesiv aşınma davranışları belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kalay bronz, yatak malzemesi olarak, korozyon tehlikesi olan yerlerde, yüksek sıcaklıklarda ve gıda maddesi ile temas olabilecek yerlerde kullanılabilir [2].

Değişik tür ve oranlarda seramik tozu ilave edilerek toz metalürjisi yöntemi ile bronz esaslı malzeme üretimi ve üretim sonucu yapılan aşınma deneylerinde en iyi sonuç; 350 MPa presleme basıncında ve 820 °C olduğu tespit edilmiştir [3].

Doğaltaş için standart matris dizaynı; kobalt, nikel ve bronz tozları kullanılarak yapılmaktadır [4].

Matris ie elmas kesici takımların mikroyapısını belirleyen iki ana evredir. Bu iki ana evre arayüzeyinde sinterleme şartlarında kimyasal reaksiyon oluşması istenir. Bu reaksiyon, ile elmaslı kesici takımın ömrü belirlenir [5].

Yüzey oksitleri elmas kesici takımın başarılı bir şekilde sinterlenmesini engeller. Toz yüzeyindeki oksit filmleri sinterleme reaksiyonlarını önlemektedir [6].

Toz metalürjisi metal tozlarının belirli oranlarda karıştırılarak, oda sıcaklığında hassas kalıplarda, uygun basınçlarda preslenmesi ve kontrollü atmosferlerde sinterlenmesiyle parça üretme yöntemidir [7].

T/M üretim teknolojisi, 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 genişlemektedir [8].

T/M üretim yöntemleri diğer üretim metotlarından bütünüyle farklıdır, seramik parça üretim teknolojisine benzemektedir. İşlem her iki durumda da tozların bir kalıp içinde sıkıştırılır. Oluşturulan şekil sinterlenerek gerekli mukavemete kavuşturulur [9].

Toz metalürjisi ürünlerinin genel özellikleri toz tane şekli, boyutu, bileşimi, yağlayıcı tipi, sinterleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve süresi gibi çok sayıda parametreye bağlıdır. Mekanik özellikler genellikle yoğunluğa bağlıdır. Düşük mukavemetli metallere üretilen toz metalürjisi ürünlerinin mekanik özellikleri dövme ürünlerinkine yakındır. Yüksek kaliteli presler ve HIP yöntemi ile daha yoğun parçalar üretilebilir. Bu durumda üretilen toz ürünlerin özellikleri dövme ürünlerinin özelliklerine yaklaşır. Eğer % 100 yoğunluğa ulaşılır ve çok ince tane boyutu sağlanırsa toz parçaların özellikleri dövme ürünlerinin üzerine çıkar. Toz metalürjisi ile üretilen ürünlerde gözenek miktarı azaldıkça mekanik özelliklerde iyileşme sağlanır [10].

Bakır esaslı malzemelerde anti-sürtünme özelliği olan kalay aşınmada önemli rol oynar. Kalay ihtiva eden bakır esaslı kalay bronzları aşınmaya karşı yüksek direnç göstermeleri sebebi ile yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır [11].

Günümüzde, bu yöntemle üretilen parçalar, özellikle şekil ve ağırlık bakımından önemli avantajları nedeniyle tercih edilir [12].

Prinç, bronz, demir, bakır, demir-bakır, demir-karbon, demir-bakır-karbon, nikel ve alaşımları, paslanmaz çelik, çok kullanılan bazı metal tozlarıdır. Ayrıca metal dışı malzemeler de metal tozlarla birlikte kullanılabilir [13].

Bazı metallerin ergime sıcaklıkları çok yüksektir ve bu sıcaklıklara ulaşamaması bazı özelliklerin ancak toz metalürjisi ile sağlanabilmesi, sert metaller ve süper alaşımların bu yöntem ile üretilmesi bu yöntemini zorunlu kılmaktadır [14].

Üretilen parçalardaki kalay miktarı ile sürtünme ve aşınma özellikleri orantılı olarak olumlu yönde etkilenmektedir [15].

Yoğun matris aşınmasının istenildiği çalışmalarda kullanılan bronz bileşiği miktarı % 70'e kadar yükseltilmekte, aşınma miktarı düşük istenildiğinde bronz miktarı yalnızca gözenek kapamak için gerekli dolgu evresi miktarına (<%5) düşürülmektedir. Co ve Ni tozları iyi ıslatma özelliklerine sahiptir. Bu nedenle elmas bağlayıcı evre olarak Cu-Sn katkısına ters orantılı miktarda kullanılır. Cu-Sn katkısı hem Cu ve Sn tozlarının karışımı halinde hemde saf bronz tozu halinde kullanılabilir. Üretici basınçlı sinterleme uygulama yöntemine göre kullanım şeklini belirlemektedir [16].

3. TOZ METALURJİSİ

3.1. Tanım ve Tarihçe

Toz metalürjisi, metal tozlarının belirli oranda karıştırılarak, oda sıcaklığında hassas kalıplarda istenilen teknik değerlere uygun basınçlarda sıkıştırılması ve sonrasında kontrollü atmosferde sinterlenmesiyle parça üretme yöntemidir.

3.2. Toz Metalurjisi Tarihçe

Toz metalürjisi oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir. 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 örnektir. Metal tozlar boyalar, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, mürekkepler, sert lehim bileşikleri ve katalizörlerde kullanılmaktadır [17]. Savunma sanayisi de Toz metalürjisinin kullanım alanlarından biridir. Piroteknik uygulamalar savunma sanayisi için çok önemlidir. Piroteknik reaksiyonlar çok yüksek sıcaklıklarda oluşarak aydınlatmaya neden olurlar. 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 [18].

3.3. Toz Metalurjisinde Parça Üretim Süreci

İmalat endüstrilerinde kullanılan toz metalürjisi ile üretilen parçalar demir, çelik ve alaşımları, bakır ve bakır esaslı alaşımlar (prinç, tunç ve nikel, gümüş) alüminyum, paslanmaz çelik, nikel, kalay esaslı tozlardan elde edilen alaşımlardır. Kalay, kendiliğinden yağlamalı tunç yatakların imalatında ilave bir element olarak kullanılmaktadır. ilave bir

element olarak kullanılan nikel ise düşük alaşımlı nikel-çelik ve paslanmaz çelik parçalarda kullanılmaktadır [19].

Mekanik tozlardan üretilen sinter parçaların pazar paylarında en büyük kısmı %86 ile demir çelik esaslı sinter parçalar oluşturur.

Demir ve bakır esaslı tozlar toz metalurjisi uygulamalarının büyük bir kısmını oluşturur. Toz metalurjisinin önemli uygulama alanlarının çeşitli sektörlere göre dökümü Tablo 3.1.'de sunulmuştur [19].

Tablo 3.1. Toz metalurjisinin önemli uygulama alanları çeşitli sektörlere göre dökümü sunulmuştur [19].

Uygulama Alanları	Kullanılan Tozlar
Uzay- Havacılık Fren balataları Karşıt ağırlıklar Jet motor aksamları Yakıt, hidrolik ve hava filitreleri Manyetik kalkanlar Roket yakıtları Aşınmaya dayanıklı aksamlar Yedek parça	Cu, Pb, Sn, C, Fe, ve Ni esaslı alaşımlar W, Ni, Fe, Cu Ni- esaslı süper alaşımlar, Ti Tunç, paslanmaz çelik, Ni Al, Ni, Co Al Mo, Cu-Ni alaşımları, Co alaşımları Ni-Cr, Ni-Al, paslanmaz çelik
Otomotiv Dinamo regülatörü, kontaklar Yataklar Fren balataları ABS fren sistemi sensör halkaları Debriyaj ve fren balataları Elektrik kontakları Amortisör Buji Vites kutusu parçaları	Pt- alaşımları, Fe Cu, Pb, Sn, Fe, Al, grafit, tunç Fe, grafit, Cu, Zn, Sn Fe, P Fe, grafit, Cu, Zn, Sn, Pb W, Cu, Ag Fe, Cu, takım çeliği Fe, Zn, seramik esaslı tozlar Fe, Cu, çelik
Tarım ve Gıda Sektörü Hayvan yemi Konserve ve Vitamin Şelat gübreler Gıda katkıları Tarım makinaları Tohumlama işlemleri Toprak işleme	Fe Fe, Al Fe Fe, Cu, Mn Fe, çelik, tunç, Cu Fe, Al Fe, Cu

<p>Kimya Mühendisliği</p> <p>Benzin sentezi</p> <p>Alkiller</p> <p>Hidrojen arıtma</p> <p>Hidrojen ve oksijen reaktör parçaları</p> <p>Petrol kuyu matkapları</p> <p>Petrol yakıt ayırma</p> <p>Olefin hidrojenasyonu</p> <p>Hidrokarbon sentezleme</p> <p>Kimyasal reaktör filitreleri</p> <p>Kimyasal katalistler</p> <p>Hidrokrak üniteleri</p>	<p>Pt, Ni</p> <p>Al</p> <p>Ru, Pb</p> <p>Pd</p> <p>WC, W</p> <p>Pt</p> <p>Pt</p> <p>Fe</p> <p>Paslanmaz çelik</p> <p>Fe,Cu, Cu-oksitler</p> <p>Pt- alaşımları</p>
<p>Elektrik/elektronik ve Manyetik</p> <p>Ampul filamanları</p> <p>X-ışınları</p> <p>Akustik elemanlar</p> <p>Piller</p> <p>Fırçalar</p> <p>Röleler</p> <p>Yakıt hücreleri</p> <p>Katot ışın tüpleri</p> <p>Kalıcı mıknatıslar</p> <p>Trafo sacları</p> <p>Yumuşak mıknatıslar</p> <p>Solenoidler</p> <p>Telefon aksamı</p> <p>Ses bant ve kasetlerde</p> <p>Terminaller</p> <p>İnce film resistörleri</p> <p>Kontaktlar</p> <p>Devreler</p> <p>Elektrotlar</p> <p>TV tüpleri</p>	<p>W, Mo</p> <p>W, Mo, Re, Ta, Nb</p> <p>Paslanmaz çelik</p> <p>Ni, Zn, Ag, Fe, Pb, grafit</p> <p>Cu, Ag, grafit</p> <p>Fe, Ni, Mo</p> <p>Ni, Zn</p> <p>Grafit, Ni</p> <p>Fe, Ni, Co, Al, ferrit, Ba, Mo, Fe-Al</p> <p>Fe, Si, B, Nd</p> <p>Fe, Fe-Ni, Si-Fe</p> <p>Fe</p> <p>Fe, prınç,tunç, Pd, paslanmaz çelik</p> <p>Fe, Co</p> <p>Ni</p> <p>Pd, Ag</p> <p>Cu, Ag, W, Mo, Fe, Sn, Pt, grafit, C</p> <p>Cu, Ag, Pd, Au, Pt</p> <p>Cu, Ag, W</p> <p>Ba, Ni</p>

<p>Ordu donatım</p> <p>Zırh deliciler</p> <p>Misket bombaları</p> <p>Cephane</p> <p>Yangın bombaları, torpiller, fişekler</p> <p>Roket rotasyon bantları</p> <p>Katı roket yakıtları</p> <p>Yumuşak hedef bombaları</p> <p>Kurşun</p> <p>Salmastralar</p> <p>Denizaltı ve gemi safraları</p> <p>Avcı uçakları motor aksamı</p> <p>Roket ateşleme platformu</p> <p>Havan mermisi gövdesi</p> <p>Roket, füze burunları</p> <p>Türbin, kompresörler kanatçıkları</p>	<p>W, Ni, Fe, Cu, Co</p> <p>WC, W, Zr</p> <p>Grafit</p> <p>Fe, Al, Cu, Ce, Mg, Zn, Si</p> <p>Fe, princi, Cu</p> <p>Al, Mg</p> <p>W, C, Fe</p> <p>Fe, Pb</p> <p>W, WC</p> <p>W</p> <p>Ni- esaslı süperalaşım, Ti</p> <p>Paslanmaz çelik, Al</p> <p>Fe, C</p> <p>Ti- alaşımları</p> <p>Ti, Ni- esaslı süperalaşım</p>
<p>Aşınma/Sertmetal/Kaplama</p> <p>Sementit karbürler</p> <p>Aşınma plakaları</p> <p>Kesici takımlar</p> <p>Aşındırıcı püskürtme tozları</p> <p>Korozyona dayanıklı boyalar</p> <p>Aşıma yüzeyleri</p> <p>Sprey kaplama</p> <p>Difüzyonla kaplama</p> <p>Kumaş kaplama</p> <p>Kağıt kaplama</p> <p>Tıp ve Diş Hekimliği</p> <p>Vücut protezleri</p> <p>İnsulin üretimi</p> <p>Açık yaraların enfeksiyon kapmasını önlemek</p> <p>Cerrah çivileri</p> <p>Radyasyon kalkanları</p> <p>Cerrah implantları</p> <p>Eczacılık filtreleri</p> <p>Amalgam diş dolgu alaşımı</p> <p>Porselen diş restorasyon yüzeyleri</p>	<p>Co, Mo, Ti, W, Ni, Ta, Nb, C</p> <p>Fe, çelik, Cu, Sn, Ni</p> <p>W, Co, C</p> <p>Fe, çelik, paslanmaz çelik</p> <p>Al, Zn, Pb, paslanmaz çelik</p> <p>Co, Ni- alaşımları, W, Mo</p> <p>Fe, Al, Zn, Sn, Cu</p> <p>Al-Ti alaşımları, Cr, Zn, Hf</p> <p>Al</p> <p>Al, Cu, Sn</p> <p>Süperalaşım, Ti, Co, Cr, Mo</p> <p>Zn</p> <p>Al</p> <p>Ta, Zr</p> <p>W</p> <p>Ni, Co alaşımları</p> <p>Paslanmaz çelik</p> <p>Ag, Au ve alaşımları, Sn, Cu</p> <p>Pd</p>

Ortopedik eklem sistemleri	Ti
Makine, Beyaz Eşya, İşyeri Çamaşır makinası pervanesi	
Çamaşır makinası eksentrik dişli	Fe, çelik
Yataklar	Fe, Cu, C
Öğütme merdaneleri	Cu, sn
Kendinden yağlamalı burçlar(yağ)	Pirinç, tunç
Kendinden yağlamalı burçlar(plastik)	Pirinç
Yüksek sıcaklık yağlayıcıları	Cu
Fotokopi makine aksamı	Al, grafit
Toner	Fe, paslanmaz çelik, tunç, Al
Faks makinası	Fe
	Al, çelik, tunç, paslanmaz çelik
Metalurji Mühendisliği Bakır sementasyonu	
Altın sementasyonu	Fe
Eriyikten metal kazanımı	Zn
Fırın ısı elemanları	Al
Fırın ısı kalkanı	Pt-alaşimleri, W, Mo, Si
Termokupleler	Al, W
İnfiltrasyon/Emdirme işlemleri	Pt-alaşimleri, W, Mo, Rh
Vakum metalizasyon işlemleri	Cu, pirinç, Ag, Mn
Kaynak elektrotları	Al, Cu, Zn
Lehimleme	W, Cu, Ag, MO, Mn
Ark kaynağı	Pb, Sn ve lehim alaşimleri
Alaşım geliştirme	Fe, Ni, Cr
-Çelik, elektroslag çeliği	Ni, Pb, ferrovolfraam, ferrosilisyum,
-Dökme demir, sünek demir	Ferromangan, Fe, Al, W, Se, Te, Mo

3.3.1. Tozların Karıştırılması

Öğütme ya da tanım itibari ile sert metal topların çarpması ile darbe etkileri altında özellikle gevrek ve kırılğan esaslı malzemelerin parçalanarak toz haline getirilmesi işlemi, toz üretim yöntemleri içerisinde en eski yöntemdir. Bu yöntem daha çok boyacılık ve baskı uygulamaları için fleyk metal tozu üretiminde kullanılır. Bu şekilde üretilen metal tozları Al, Cu ve Pirinçtir; bunlardan başka Sn, Pb, Mn, Co, Si, Zn, Fe, Fe esaslı ve Cu esaslı tozlarda bu yöntemle üretilir. Mekanik öğütme yöntemleri ile özellikle oksitleri indirgenmiş

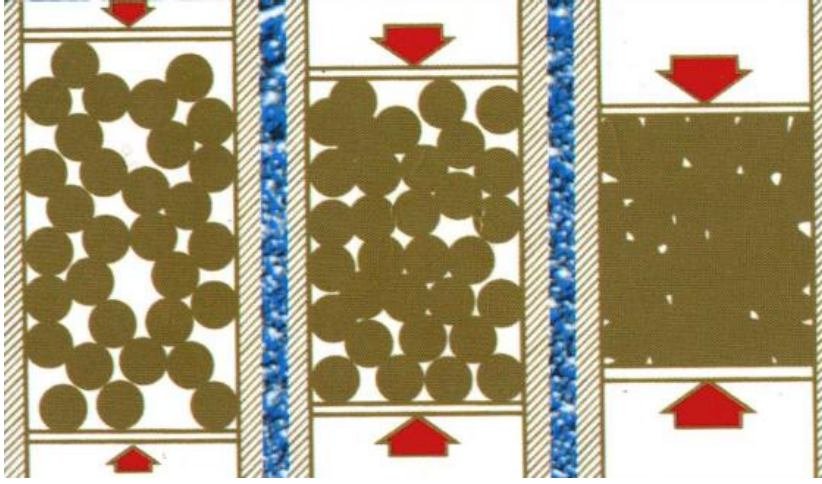
ve sünger biçimdeki metalik keklerden toz üretimi gerçekleştirir. Öğütmede kullanılan top/toz ağırlık oranı, öğütme süresi ve öğütmede kullanılan sıvı ya da öğütme atmosferi mekanik öğütme sırasında üretilen tozun yapısına ve özelliklerine etki eden en önemli parametrelerdir.

Öğütme işlemi sırasında toz parçacığının üzerine darbe, aşındırma, kesme, ve basma olmak üzere dört tür kuvvet etki eder. Darbe, öğütme ortamında kullanılan topların ya da diğer tozların her hangi bir toz parçacığı üzerine anlık çarpmasıdır. Aşınma top/toz etkileşimi ile olabileceği gibi, toz/toz etkileşimleri sonucu da oluşur. Bu iki tür kuvvet etkisinin yanı sıra daha önemli olan kesme ve basma kuvvetleri de topların tozlar üzerine olan etkileri sonucu oluşurlar. Klasik öğütme süreçlerinde toz boyutunun küçültülmesi, boyut homojenizasyonun sağlanması ve/veya çeşitli tozları birlikte öğütülmeleri ile kompozit toz üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenir. Bu amaçla düşük enerjili tambur değirmenler ve titreşimli değirmenler kullanılır. Klasik öğütme süreçleri ile mümkün olmayan katı halde alaşımlama işlemi, mekanik alaşımlama ile gerçekleştirilir [19].

3.3.2. Presleme

Toz metalurjisindeki en önemli adım preslemedir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, tek eksen boyunca uygulanan basınç sonucu kalıbı dolduran tozlar preslenerek şekillenir. Toz doldurulduktan sonra dalgıç/piton ile basma gerçekleşir ve kompakt alt pistonun hareketi ile çıkarılır.

Seri üretim sırasında basma işlemi bir sonraki toz hamanı için yeniden tekrarlanır. Basma işlemi sırasında kullanılan kalıplar basit geometrik şekillerde olabileceği gibi, geometrik sınırlamaların çerçevesinde karmaşık da olabilir. Basma sırasında kalıbın aşınması problemi tozlara ve kalıp duvarlarına yağlayıcı katışıkları eklenerek giderilir. Yağlamanın bir başka amacı da, parçanın kolayca çıkmasını sağlamak içindir. Kalıplar sementt karbür esaslı ve/veya ısı ile sertleştirilmiş takım çelğinden imal edilir [19].



Şekil 3.1. Tek yönlü preslemenin şematik gösterimi [1].

Bu işlem için genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik presler kullanılır. Preslerin uyguladığı basınç değerleri 70 ile 700 Mp arasındadır ve pratikte kullanılan basınç değerleri ise genellikle 145-450 Mp arasındadır. Preslerin büyük bir kısmının kapasitesi 100 tondur. Son zamanlarda 200-300 ton kapasteli presler yapılmıştır hatta 3000 tonluk bir pres imal edilmiştir. Toz metalurjisi ürünlerinin kesit alanı maksimum 2000 mm^2 'dir. Ancak yüksek kapasteli özel preslerin kullanılması halinde bu değer 6500 mm^2 'ye çıkabilmektedir [20].

Uygulamaların çoğunda, toz karışım yer çekimi etkisi ile kalıp doldurulur, fazla kısımlar alınır ve tozu sıkıştırmak için pres kapatılır. Toz miktarı için hacim veya ağırlık esasına göre bir başlangıç ölçüsü oluşturulur [20].

Sıkıştırma işlemi esnasında toz partikülleri önce uygulanan kuvvet yönünde hareket ederler. toz sıvı gibi akmaz; kalıp yüzeyi ile partiküller arasında sürtünme neticesi bir reaksiyon kuvveti gelişir. Bu kuvvet uygulanan kuvvete eşit bir değere ulaşana kadar sıkışma eksenel yönde devam eder. Daha sonra partiküller yatay yönde hareket ederler. Homojen yoğunluk dağılımını sağlayabilmek için kalınlık genişlik (t/w) oranı ikiden küçük olmalıdır. Kalınlık genişlik oranı ikiden büyük olan ürünlerde yoğunluk parça içinde bir noktadan diğer bir noktaya değişiklik gösterebilir [20].

3.3.3. Sinterleme

Sinterleme yüksek sıcaklıklarda preslenmiş ve ham kompozitdeki tane parçalarının birleştirilmesi işlemidir. Sinterleme süreçlerinde kullanılan sıcaklıklar genellikle sinterlenecek olan parçada katı hal atom yayılma ve ergime sıcaklığının altında seçilirse de

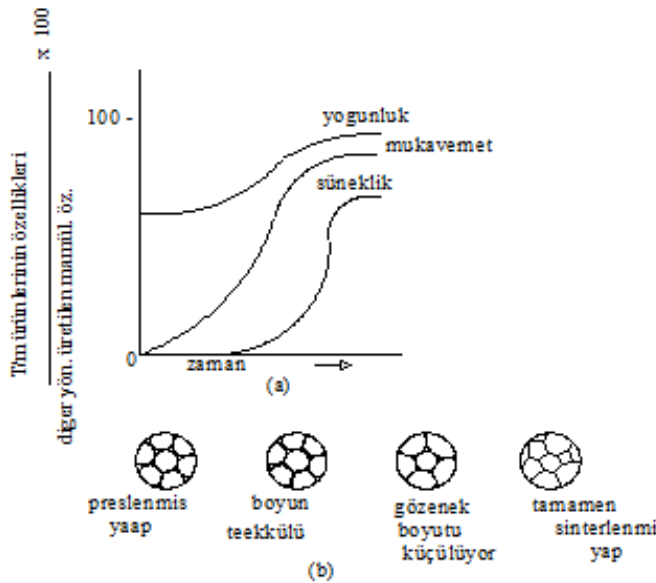
özellikle çok sistemli alışırlarda sıvı-faz sinterleme olarak bilinen bir fazın varlığında da gerçekleşebilir.

Toz parçacıklarının yüksek yüzey enerjileri aşılacak ya da ortadan kaldırılarak gerçekleşen sinterleme sonrasında parçacıklar arasında tam ve mükemmel metalurjik bağlar oluşur ve bu suretle iş yapısındaki gözeneklilikler sıfıra düşer. Hacim başına düşen yüzey enerjisi toz parçacık çapının tersi ile doğru orantılı olduğundan küçük toz parçacıkları büyüklere kıyasla daha kolay sintirlenir. Sinterleme hızına etki eden parçacık boyutunun yanı sıra başka faktörlerde vardır. Metalik tozlarda kristal tane sınırları boyunca yayılma ve tane sınırlarının keskin ya da yavaş oluşu da sinterlemeyi etkiler. Esasında sinterleme sırasında metalurjik bağların oluşumu ve gözeneklerin kopması yayılmaya bağlı [21].

- İlk
- Ara
- Son aşamaları olan bir geometrik sıra takip eder.

Sinterlenecek malzemelerin cinsine göre 1180 °C sıcaklığına kadar herhangi bir sıcaklıkta sinterleme gerçekleşir. Bu sıcaklıklar için 1400 °C veya sıcaklığa kadar dayanan kontrol ısı elemnları kullanılabilceği gibi bazı fırınlarda SiC esaslı çubuk elemanları da kullanılmaktadır. 1400 °C veya 1650 °C sıcaklığa kadar yüksek sıcaklıklar gerektiğinde ısı elemnları Mo esaslı olmalıdır [22].

Aynı zamanda plastik veya vizkoz akış (akışkanlığı düşük, kısmi ergime) meydana gelebilir ve kütsel difüzyon ile boşlukların boyutu küçülebilir.



Şekil 3.2. (a) Sinterleme operasyonu süresince T/m ürünlerinin yoğunluk, mukavemet ve süneklilik gibi özelliklerinin diğer yöntemle üretilen mamüllerin özelliklere oranının zamanla değişimi (b) Sinterleme esnasında preslenmiş parçaların bünyesinde zamanla meydana gelen değişiklikler [23].

Bu yüzden parçaların hacmi azalır ve yoğunlukları atar. Düşük yaş yoğunluğa sahip da büzülme daha fazladır. Isıtma esnasında faz değişimi vuku bulursa, büzülme imal edilerek seviyede olabilir, hatta büyüme görülebilir [22].

Sinterleme süresince yoğunluk, süneklik ve mukavemet önemli oranda artar. Şekil 3.2’de ancak yorulma özelliklerini parazite mevcut olduğu müddetçe düşük değerlerde kalır. Optimum bir süreden sonra ısıtmaya devam edilmesi halinde ise özelliklerinde azalma meydana gelir.

Eğer bir malzemenin dökümü zorlukla ve önemli kayıplarla yapılabilen ve elde edilen malzemelerin sıcakta dövülmesi istenir ise, sinterleme yoluyla imalatı en uygun yol olmaktadır. Ayrıca sinterleme ile elde edilen parçaların yapısı, dökümle elde edilene göre daha ufak taneli ve mekanik özellikleri daha iyidir [23].

Şekillendirilmiş toz karışımının ana bileşenin, ergime sıcaklığının altında ısıtması ile tozlar arasında kimyasal bağ oluşturulması işlemine sinterleme adı verilir. Sinterlemenn itici gücü toplam yüzey alanının azaltılması ile sistemin toplam serbest enerjisinin azaltılmasıdır. Sinterleme yüksek sıcaklıklarda ana bileşenin ergime derecesinin 1/3’ ü kadar altındaki sıcaklıkta yapılır. Amaç makro düzeyde özelliklerin geliştirilmesidir. Parçacıklar arası mekanik bağlar kimyasal nitelik kazanır [24].

Sinterleme işleminin kademeleri

- 1.** Parçacıkların birbirine ilk bağlanması, sinter işleminin başlarında difüzyon olayı ile tane sınırlarının oluşmaya başlamasıdır. Parça boyutlarında değişme görülmez. Parçacıkların boyutlarında değişme görülmez. Parçacıkların temasını azaltacak nitelikte maddeler bu kademeyi güçleştirir ve sinter sonrası mukavemeti olumsuz etkiler.
- 2.** Boyun büyümesi, önceki kademede oluşan bağlantı bölgeleri genişler. Gözenek miktarında ve parça boyutlarında değişme olmaz. Bu kademe daha sonraki kademelerle çakışabilir.
- 3.** Gözenek kanallarının kapanması, birbirine bağlı gözenek kanallarının yer yer kapanarak kapalı gözenek şekillerine dönüşmesidir. Gözenek miktarı %10 üzerinde ise bu gözeneklerin büyük bir kısmı birbirine bağlantılı devamlı bir ağ oluştururlar. Gözenek miktarı %5-10’ un altına düştüğü zaman gözenekler birbirlerinden tecrit edilmiş kapalı hale dönüşürler.

4. Gözenek yuvarlanması, bu yuvarlanmadan sonra, mekanik özelliklerde bir artış görülür. Malzemenin gözenek yüzeylerinden boyun bölgelerine taşınması ile gerçekleşir.
5. Yoğunlaşma veya gözenek büzülmesi, gözeneklerin içerisine malzeme dolmasıdır. Böylece dış boyutlarda bir küçülme görülür.
6. Gözenek büyümesi, sinterleme zamanı ilerledikçe küçük gözenekler büyük gözeneklerle birleşirler ve ortalama gözenek boyunda büyüme meydana gelir [25].

3.4. Sıcak İzostatik Presleme (HIP)

Sıcak izostatik presleme, yüksek sıcaklıklarda ve yüksek basınçlarda aynı zamanda ve eşit olarak taneciklerin kuvvetli difüzyon bağları oluşturarak yoğunlaşması ile birlikte Şekillendirilmesi yöntemidir. Başka bir ifade ile yoğunlaşma ve sinterleme birlikte gerçekleşir[1].

Basınç medyası olarak en çok kullanılan yüksek yoğunluklu argon gazıdır. Fakat özellikle yüksek sıcaklıklarda helyum ve azot gazı kullanılmaktadır. Helyum ve azot gazı argon gazından daha düşük yoğunluğu sahiptirler. Sıcaklık yaklaşık alüminyum alaşımli tozlar için 480°C (895°F) ile tungsten tozu için 1700°C (3090°F) arasında değişmektedir. Basınç oranları ise 20 ila 300 Mpa arasında değişmektedir özel durumlarında basınç 1000 Mpa' a kadar çıkabilmektedir [1].

3.5. Toz Metalurjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Toz metalurjisi belli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Toz yöntemlerinin ekonomik bir şekilde ve başarıyla uygulanabilmesi için avantaj ve dezavantajları başlangıçta Şekillendirilmesi gerekmektedir [1].

3.5.1. Toz Metalurjisinin Avantajları

- Talaşlı işlem gereksiniminin azaltılması veya tamamen emisyonu.

Toz yöntemiyle elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey bitime ünitesi çoğu ürün veya uygulama alanı için yeterlidir bu nedenle ilave talaş işlemine gerek yoktur.

- Yüksek üretim hızları

Toz preslerindeki bütün adımlar battir ve atomizasyona uygundur. İş gücü düşüktür, ürün homojenliği ve aynı kalitede tekrar üretilebilirlik oranı diğer yöntemlere göre daha yüksektir.

- Çok geniş bir kompozisyon aralığına sahiptir.

Kompozisyon açısından oldukça yüksek saflığa sahiptir. Metot ve seramikler gibi birbri içinde çözünmeyen ve farklı karakterlerdeki malzemeler de bir araya getirilebilir.

- Karışık Şekillerin üretimi

Dişli çark ve kam mili gibi oldukça girift parçalar imal edilebilirler. Ekonomik olarak talaşlı işlem ve dökümle şekillendirilemeyen parçalar toz yöntemi ile üretilebilir.

- Özelliklerin geniş bir aralıkta değişmesi

Yüksek oranlı gözenek içeren filtreler gibi fonksiyonel amaçlı parçaların üretiminin yanı sıra konstrüksiyon amaçlı yüksek mukavemetli parçalarda üretilebilir. Magnetik aşınma ve diğer özellikler özel bir uygulama alanının gereksinimini karşılayacak şekilde kontrollü olarak dizayn edilebilir.

- Hurda miktarının azaltılması veya eliminasyonu

- Toz metalurjisi imal usulleri içerisinde malzeme kaybına sebep olmayan bir yöntemdir. Döküm, talaşlı işlem ve pres forming operasyonlarında hurda miktarı başlangıçtaki malzeme miktarının yarısına ulaşmaktadır. Hurda oranı özellikle pahalı malzemelerin şekillendirilmesinde daha önem kazanmaktadır [1].

3.5.2. Toz Metalurjisinin Dezavantajları

- Düşük mekanik özellikler

Çoğu zaman toz metalurjisi parçalarının mekanik özelliklerini döküm ve dövme ile üretilenlerin özelliklerinden daha düşüktür. Yüksek gerilimlerinin söz konusu olduğu uygulama alanlarında bu parçalar kullanılamaz.

- Nispeten yüksek kalıp maliyeti

Toz projesinde yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve şiddetli aşınma söz konusu olduğu için kalıplar pahalı malzemelerden ve büyük kütleler halinde yapılmaktadır.

- Yüksek malzeme maliyeti

Birim ağırlık esasına göre toz malzemeler dövme ve döküm malzemelerden daha pahalıdır. Toz metalurjisi daha çok birim parça başına malzeme maliyetinin yüksek olmadığı küçük parçaların imalatında kullanılır.

- Dizayn sınırlamaları

Toz metalurjisi projesi bazı Şekillerdeki parçalarının üretimi için uygun değildir. Parçaların kalıptan kolay çıkarılabilecek Şekillerde olmalıdır. Kalınlık çap oranı sınırlıdır.

- Parça kesiti boyunca özellikler değişim göstermesi

Yoğunluğun parça içinde bir noktadan diğer bir noktaya değişimi özelliklerinde değişimine neden olmaktadır. Üiform olmayan Şekillerin toz metalurjisi ile üretilmesi halinde bu tip problemlerle karşılaşılabılır.

3.6. Toz Metalurjisinin Uygulama Alanları

İmalat endüstrisinde kullanılan toz metalurjisi parçaları büyük ölçüde demir çelik ve alaşımları, bakır ve bakır esaslı alaşımlar (pirinç, tungsten, nikel ve gümüş). Alüminyum paslanmaz çelik, nikel, kalay esaslı tozlardan elde edilen alaşımlardır. Kalayın kendiliğinden yağlamalı tunç yatakların imalatında elementel bir ilave olarak kullanılmaktadır. Yine ilave bir element olarak kullanılan nikel ise düşük alaşımlı nikel-çelik ve paslanmaz çelik parçalarda kullanılmaktadır.

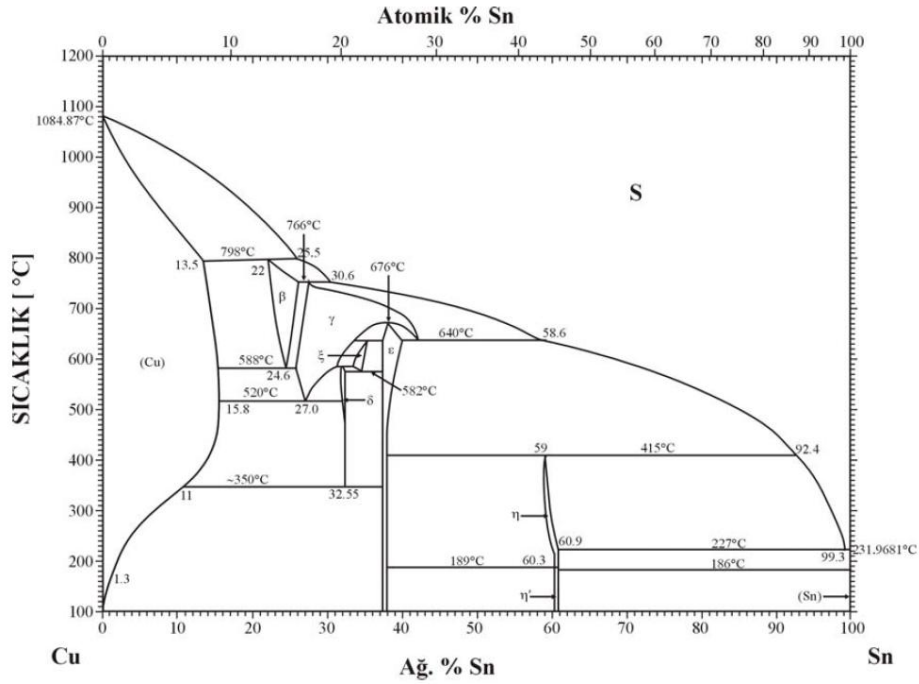
Dünya çapında üretilen tüm metalik tozlarda imal edilen sinter parçaların pazar paylarında en büyük kum % 86 ile demir-çelik esaslı sinter parçalar almaktadır.

Demir esaslı ürünlerden sonra ikinci sırada % 11 pazar payı toplamı ile bakır ve bakır esaslı sinter parçalar, üçüncü sırada % 1,4 ile paslanmaz çelik parçalar yer almakta ve bunların sırası ile % 0,6 ile kalay ve % 0,5 ile alüminyum takip etmektedir. Demir ve bakır esaslı fazlar toz metalurjisi uygulamalarının büyük bir kısmını teşkil etmesine rağmen tamamını oluşturmamaktadır [22].

4. BAKIR-KALAY (BRONZ) ALAŞIMLARI

Genel olarak bakırın çinko içermeyen diğer alaşımlarına bronz adı verilmekle birlikte, esas olarak bronz; bakır-kalay alaşımıdır. Bakır-kalay bronzu M.Ö. 3000'li yıllardan beri kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanımını ise M.Ö. 1000 yıllarında başlar ve bu devirde bronz; silah, bıçak, makas ve çekiç gibi alet yapımında, bunların yanı sıra sanat eserlerinde ve süslemelerde kullanılmıştır [26].

Cu-Sn denge diyagramında; ergime sıcaklıklarına bakılarak bronz alaşımlarının toz metalürjisi üretiminde sinterleme sıcaklıkları belirlemede kullanılmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Cu-Sn denge diyagramı [27]

Kalay miktarları belirli sınırlar içerisinde olan bakır-kalay alaşımları endüstriyel açıdan en önemli bronzları oluşturmaktadır. % 15'e kadar Sn içeren bakırca zengin alaşımlar genel olarak bronz olarak bilinir. Faz diyagramında, 350°C'nin altında sistem, iki katı eriyik tarafından ayrılmış kalayca zengin bir faza ve bakırca zengin bir faza sahiptir.

Alfa fazı % 0–15.8 aralığında Sn içerirken; ε fazı % 60.5 - 62.3 Cu, % 27.7- 39.5 Sn içermektedir [27, 28].

Bakır veya bakır alaşımı içeren parçaların toz metalurjisi yöntemiyle üretimi; toz üretimi, gerekli ilavelerin toz ile harmanlanması, tozların preslenmesi ve sinterlenmesi aşamalarını içerir. Toz metalurjisi yöntemlerinde alaşım tozu üretimi genel olarak ön harmanlanmış toz ve ön alaşımlanmış toz şeklinde ifade edilen iki yolla yapılmaktadır [29].

Ön harmanlanmış tozlar, sinterleme sırasında istenen alaşımı oluşturacak şekilde alaşım bileşimindeki elementel tozların (örneğin Cu ve Sn), yağlayıcı veya yağlayıcı içermeksizin karıştırılması ile elde edilir. Ön harmanlama ile en çok üretilen toz metalurjisi bakır alaşımı kendinden yağlamalı yataklarda kullanılan kalay bronzudur.

Bronzun tipik bileşimi % 90 Cu - %10 Sn'dir ve % 1.5'e kadar grafit içerebilir. Ön alaşımlanmış tozlar ise; alaşımı oluşturacak bileşenlerin ergitilmesi ve ergimiş alaşımın atomize edilmesi ile üretilir [30]. Toz metalurjisi uygulamalarında belirli bir bileşime sahip alaşım tozunun kullanılması, saf bileşenlerinin karışımının kullanılmasına göre daha homojen ve yüksek kalitede sinterlenmiş parçaların üretimini sağlar [31].

Kendinden yağlamalı yataklar, poroz toz metalurjisi parçaların 1920'lerin ortalarına dayanan en eski endüstriyel uygulamalarındandır. Toz metalurjisi endüstrisi tarafından üretilen hacmin en büyük kısmını bu grup oluşturur. Bir yatağın işlevi, hareketli bir parçayı mümkün olan en az sürtünme ile yönetmektir. Sinterlenmiş kendinden yağlamalı yataklar için bu, yatağın içerisinde bağlı porozitelerin yağ depolayıcı olarak kullanılmasıyla sağlanır. Grafit içeren veya içermeyen 90Cu-10Sn en çok kullanılan yatak malzemesidir ve ön harmanlama yöntemiyle üretilmektedir. Toz metalurjisi yataklar; fotokopi makineleri, çamaşır makineleri, kurutma makineleri, buzdolapları, fanlar, traktörler, çim biçme makineleri, matkaplar, tel kesiciler, elektrikli testereler ve otomobillerde klimalar, ısıtıcı, cam kaldırma, ön cam silecek, güç anteni, bagaj kapama ve koltuk ayarlama motorları olmak üzere çok geniş kullanım alanına sahiptir [30].

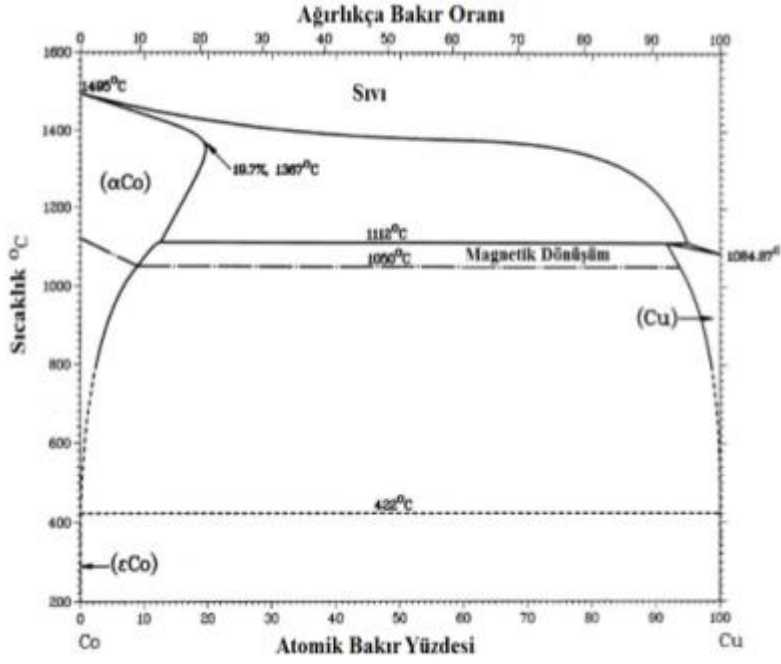
Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen filtrelerde en sık kullanılan tozlar; bronz, paslanmaz çelik, nikel ve nikel esaslı alaşımlar, titanyum ve alüminyumdur. Kalay bronzu diğer metallerle göre esas olarak fiyat avantajına sahiptir ve en çok kullanılan toz metalurjisi filtre malzemesidir. Bronz filtreler genellikle ergitilmiş ön alaşımlı bronzun atomizasyonu ile üretilmiş küresel bronz tozlarının kokil sinterlenmesi ile üretilir. Bu tozlar tipik olarak % 90–92 Cu ve % 8–10 Sn içerir. Toz metalurjisi bronz filtreler; gazları, yağları, dondurucuları ve kimyasal çözeltileri filtre etmekte kullanılır. Uzay araçlarının akışkan sistemlerinde 1 µm kadar küçük partiküllerin ayrılması için de bronz filtreler

kullanılmaktadır. Bronz filtre malzemeleri tutuşabilir atmosferlerde çalışan elektrik donanımlarında alev durdurucu olarak da kullanıma sahiptir ve bronzun yüksek termal iletkenliği tutuşmayı engeller [30].

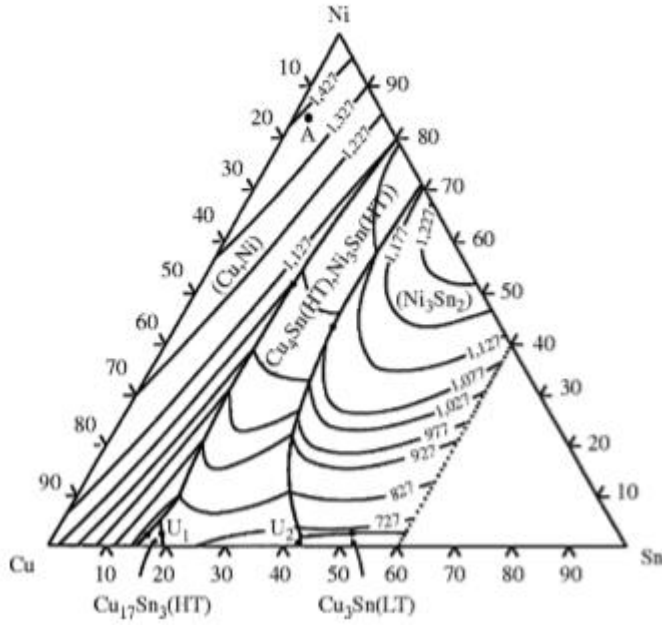
Yapısal uygulamalar için toz metalurjisi bronz parçalar, bronzun korozyon ve aşınma dayanımı nedeniyle tercih edilmektedir ve genellikle kendinden yağlamalı yatakların üretiminde kullanılan benzer yöntemlerle üretilir. Kullanılan tipik toz bileşimleri; % 87.5–90.5 Cu, % 9.5–10.5 Sn şeklindedir ve otomotiv debriyajlarında, fotokopi makinelerinde, dış motorlarda ve boya/sprey takımlarında kullanılır [30].

4.1. Bakır – Kalay Alaşımlarına Diğer Elementlerin Etkileri

- **Kurşun:** Yapıda çözünmeyen yığıntılar (segregasyon) şeklinde bulunur. Tornada iyi işlenebilme, yatak malzemesi ve basınç dayanıklılık özelliği kazandırır.
- **Demir:** Max % 0.2 oranında bulunur. Çekme mukavemetini ve sertliği artırır. Fakat sünekliği düşürür.
- **Çinko:** Sertleşme özelliği verir. Akışkanlığı mükemmel derecede artırır. Deoksidasyon özelliği vardır.
- **Kobalt:** Alaşımlı takım çeliklerinde kullanılan bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinin sıcakta sertliğini muhafaza etmesi için kullanılır.
- **Bakır:** Akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve şekillenebilirliği azaltır. Soğuk çekilebilirliği kötü yönde etkiler. Bu yüzden filmşinlerdeki bakır oranının olabildiğince düşük olması istenir. Korozyon direncini yükselten etki gösterir.
- **Fosfor:** Deoksidasyon amacıyla kullanılır. Alaşımı daha sert ve kırılgen yapar.
- **Nikel:** Sertliği ve mukavemeti artırır. max % 6'ya kadar kullanılır. Yüksek sıcaklıkta bir katı metal ağı oluşturarak donma noktasını, porozite miktarını düşürür. Basınç altında kullanılan malzemelerde sızmayı azaltarak dayanıklılığı artırır. Kurşun segregasyonunu önler [32]



Şekil 4.3. Co-Cu İkili Faz Diyagramı [34].



Şekil 4.4. Cu-Sn-Ni Üçlü Faz Diyagramı [35].

5. AŞINMA

Sürtünme; cisimlerin veya maddelerin birinin diğere bağı olarak hareketinden doğan kinetik enerji kayıplarıdır.

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.

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 [36].

Teknik anlamda aşınma; cisimlerin yüzeylerinde, mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopup ayrılması sonucunda istenilmeden malzemede meydana gelen değişiklik olarak adlandırılır. 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 [37].

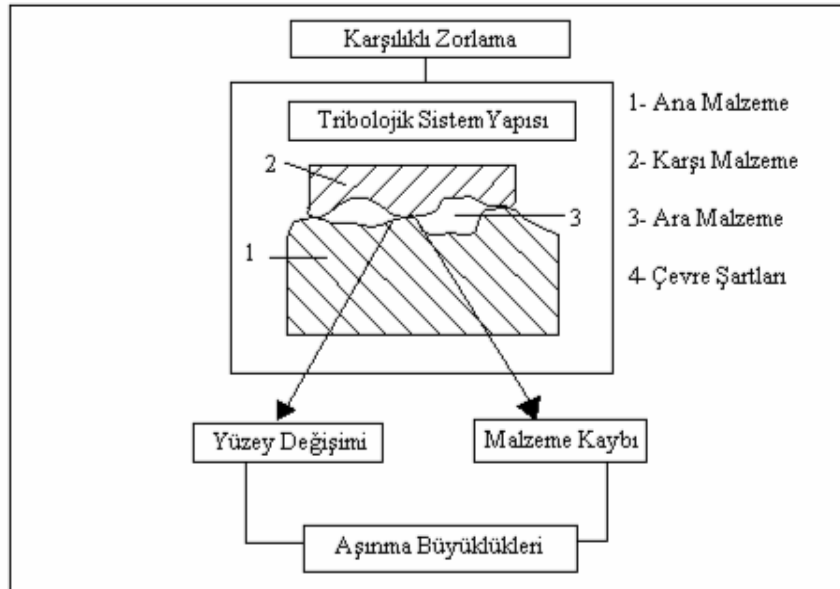
Çeşitli tanımlara göre, malzemede meydana gelen hasarın aşınma olarak ele alınabilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekir [38].

- 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.

5.2. Aşınma Sisteminde Temel Unsurlar

Bir aşınma sistemindeki unsurların oluşturduğu sistemin tümüne; teknikte “Tribolojik Sistem” denir. Bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi Şekil 5.1’de görülmektedir [39].



Şekil 5.1. Tribolojik Sistem [39].

5.2.1. Ana Malzeme (Aşınan)

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

5.2.2. 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.

5.2.3. 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.

5.2.4. Yük (temas kuvveti)

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

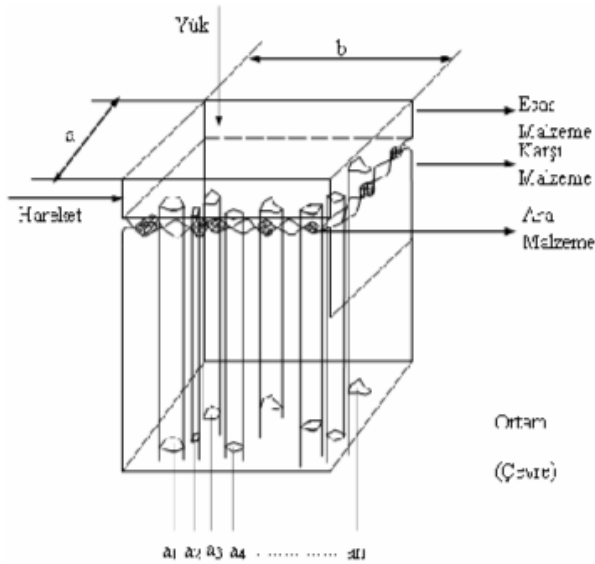
5.2.5. İzafi Hareket

Aşındırılanın aşındırıcı elemana göre izafi hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma veya çarpma), büyüklüğü ve doğrultusu ile belirlenir. İzafi hareket ve yükleme değişkenleri sistemi etkileyen en önemli giriş büyüklükleridir. Bunların etkisiyle yapıda bazı değişimler oluşurken, sürtünme ve aşınma ile gerçekleşen kayıplar ortaya çıkar. Bu durum arasındaki ilişki Tablo 5.1’de görülmektedir.

Tablo 5.1 Yükleme ve Hareket Değişikliklerinin Sistemi Etkilemesi [37].

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

Tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak farklı bir gösterimi Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Birbiriyle temas eden iki cismin gerçek temas yüzeyi, görülen temas yüzeyinden küçüktür. Çünkü temas yüzeyleri ne kadar düzgün işlenirse işlensin yüzeyde mutlaka pürüz denilen çıkıntılarının varlığı bir gerçektir.



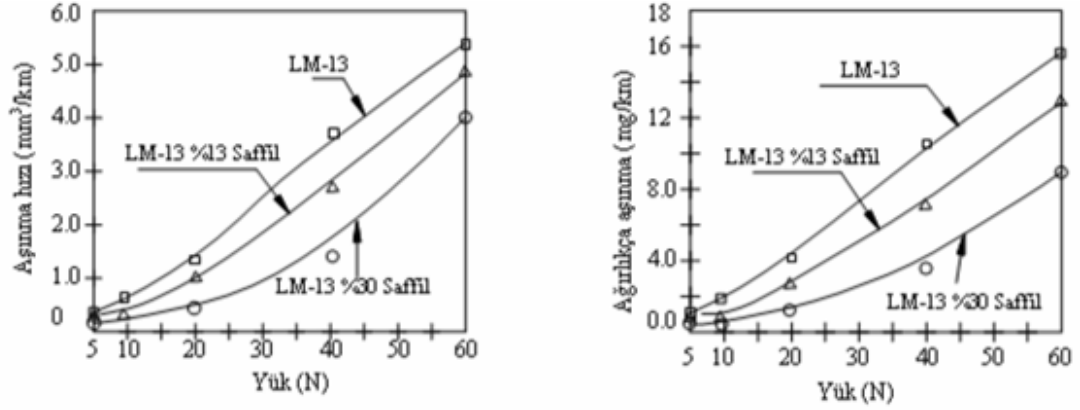
Şekil 5.2. Sürtünen İki Cisimde Aşınmanın Temel Unsurları [37].

5.2.6. Aşınma Parametreleri

5.2.6.1. 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 5.3’de görüldüğü gibi dinamik yükün titreşim genliğinin artması ile aşınma azalır [40].



Şekil 5.3. Takviyesiz LM-13, %15 ve %30 Saf Fiber Takviyeli Alaşımlarda Aşınma Hızı-Ağırlık-Uygulanan Yük İlişkisi

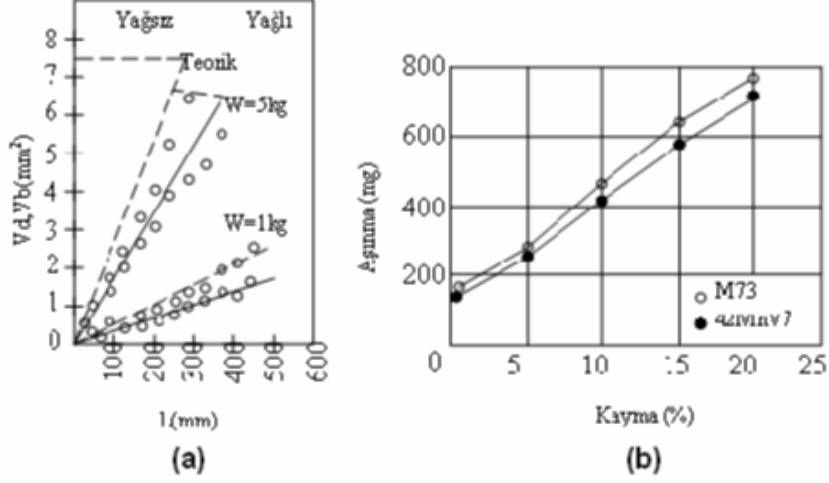
5.2.6.2. Hız

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 gözlemlenmiştir. Bu durum aşınma hızının artmasına da neden olmaktadır [41].

5.2.6.3. 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 5.4'de teorik hesaplar, aynı kayma mesafesinde deneysel

sonuçlara göre aşınmanın daha fazla olacağını göstermişse de, çok az bir farklılıkla sonuçlar benzeşmektedir.



Şekil 5.4. a) Kayma Yolu ile Aşınma Miktarının Değişimi b) Kaymanın Aşınmaya Etkisi

5.2.7. 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 [42].

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

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

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

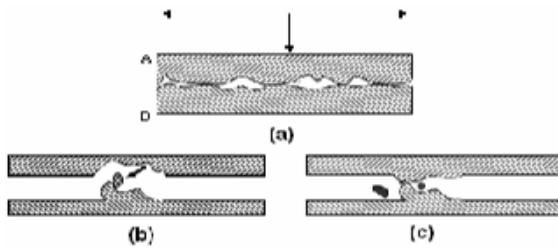
5.3. Aşınma Çeşitleri

Temel aşınma çeşitleri olarak iki çeşit aşınma mekanizması vardır. Bunlar;

5.3.1. Adhezif Aşınma

Kısa ve genel bir tanım ile adezyon (yapışma); iki farklı maddenin molekülleri arasındaki çekim kuvvetçe verilen isimdir. Kohezyon ise, maddenin kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetidir. Bir maddenin atomu ile diğ er bir maddenin atomu arasında da çekme kuvvetleri mevcuttur ve buna da adezyon 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 bulun iki atom arasında çekme kuvveti tesiredir. Eğer iki atom, bu çekme kuvvetçin tesiri ile birbirine çok fazla yaklaşırsa bu defa birbirlerini itmeye başlalar. İtme ve çekme kuvvetlerin dengelendiği mesafede atomlar en kararlı konumlarında bulunur.

Adhezyonda; iki metal bir kuvvet etkisi altında birbirine sürtünürken, yüzeyleri oluşturan küçük tepecekler geçici olarak birbirlerine yapışıp kaynak olular. Kaynak olmuş bu tepecekler iki metalin hareketlerine devam etmesi sonucu kopalar ve küçük parçacalar serbest kalalar. Böylece aşınma Gerçekleşmiş olur. Bu metalik parçacıklar, iki yüzey arasında serbest halde kalabilecekleri gibi metallerden birine de bağlı halde bulunabilirler (Şekil 5.5). Böylece malzeme kaybı (aşınma) meydana gelir.

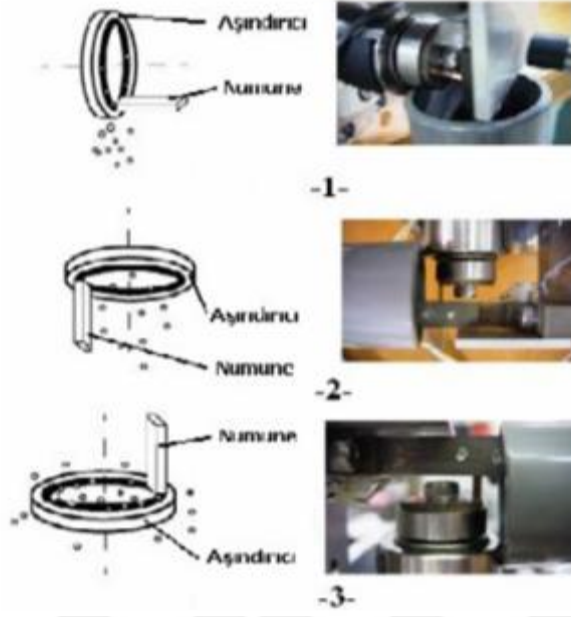


Şekil 5.5. Adhezif Aşınma Mekanizması a) Yüzeyden Kaynak Bağları b) A'dan B'ye Malzeme Transferi c) Kopan Parçaların Serbest Hali

Adhezif aşınma testleri Şekil 5.6'da görüldüğü gibi üç farklı pozisyonda yapılabilir.

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

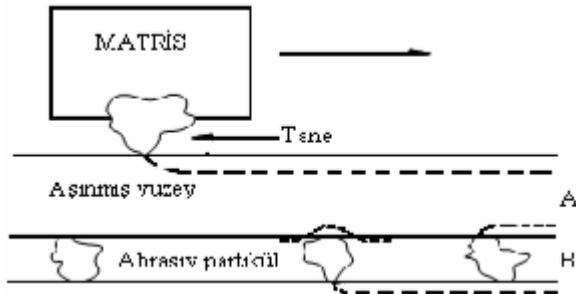
3.Yatay pozisyon.



Şekil 5.6. Adhesiv Aşınma Pozisyonları

5.3.2. Abrasif Aşınma

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 5.7’de abrasiv aşınma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Abrasif Aşınma Mekanizması

5.3.3. Eroziyon Aşınma

Eroziyon aşınma, bir sıvı veya taşıyıcı içerisindeki sert partiküllerin malzeme yüzeyinden yüksek hızlarla kayması veya yuvarlanması sırasında, yüzeye temas eden partiküllere uzun bir süre sonunda metal yüzeyinden çok sayıda parça koparılması ile oluşan aşınma türüdür [43].

Eroziyon 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 eroziyon aşınmaya gösterdiği tepki; aşındırıcının şekli, sertliği, tokluğu ve boyutlarındaki farklılıklarına önemli ölçüde bağımlılık gösterir.

Eroziyon 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 eroziyon aşınma hızı kazanmaktadır.

Eroziyon 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 açılarındaki aşırı zorlanarak maksimum aşınma gösterirler. Eroziyon 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.

5.3.4. Kaviteleşme Aşınması

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

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

Şekil 5.9’da kavitasyon aşınmasına uğramış bir pompa santrifüj motoru görülmektedir.



Şekil 5.8. Kavitasyon Aşınma Mekanizması



Şekil 5.9 Kavitasyon Aşınmasına Uğramış Pompa

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda kullanılan bronz alaşımı, %85 Cu ile %15 Sn tozlarının karışımlarından elde edilen hazır bir alaşımdır. Bronz alaşımı içerisine % 3, % 5 ve % 8 oranlarında Ni tozu katılarak A grubu numuneleri, yine aynı şekilde %3, %5 ve %8 oranlarında Co tozu katılarak ise B grubu numuneleri üretilmiştir. Üretim aşamasında 25 MPa sinterleme basıncı, 800 °C sinterleme sıcaklığı ve 15 dk sinterleme süresi kullanılmıştır. Üretilen numunelerin mikroyapı, sertlik ve aşınma değerleri incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan metal tozlar piyasadan Tablo 6.1’de belirtilen tane büyüklüklerinde temin edilmiştir. Matris numunelerin üretimi Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi atölyeleri ve Çel-Mak San ve Ltd. şirketinde Tablo 6.2’de verilen üretim parametrelerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.1. Çalışmada kullanılan metal tozlar

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

Tablo 6.2. Numunelerin Üretim Parametreleri

Grup No	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (Dk)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)
A1	25	800	15	97	-	3
A2				95	-	5
A3				92	-	8
B1				97	3	-
B2				95	5	-
B3				92	8	-

6.1. Numunelerin Üretim Aşamaları

6.1.1. Metal tozlarının hazırlanması

Numunelerin üretimi yapılmadan önce Tablo 6.2 de belirtilen oranlarda, 6 farklı grupta (A1, A2, A3, B1, B2 ,B3) Şekil 6.1.'de görüldüğü üzere 1/1000 hassaslığında toz tartım cihazında, toz oranlarının hazırlığı yapılmıştır.



Şekil 6.1. Metal toz oranlarının hazırlanması

Numune guruplarının ağırlık dağılımı da Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3. Numune Guruplarının Ağırlık Dağılımı

Numune Guruplarının Ağırlık Dağılımı (Gram)					
Grup	Bronz (85/15)	Kobalt (Co)	Nikel (Ni)	Bağlayıcı	Toplam
A1	205	-	6	4	215
A2	201	-	10	4	215
A3	195	-	16	4	215
B1	205	6	-	4	215
B2	201	10	-	4	215
B3	195	16	-	4	215

6.1.2. Metal Tozlarının Karıştırılması

Tozlar belirli oranlarda hazırlandıktan sonra, homojen bir yapı elde etmek için (Şekil 6.2) de görülen aparatta 15-20 dk boyunca, değişik çaplarda bilya kullanılarak karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tozların sinterleme öncesi belirli bir boyuttan şeklini koruyarak işleme tabi tutulabilmesi için karışıma %1 oranında glikol bağlayıcısı ilave edilmiştir.



Şekil 6.2. Tozların karıştırılması

6.1.3. Metal Tozların Sinterlenme İşlemi

Ağırlık oranları ve karıştırma işlemleri yapılan tozlar soğuk preslemede (Şekil 6.3) 10x10x40 mm boyutlarında ön presleme işlemine tabi tutuldu. Ön presleme yapılan numuneler daha önceden hazırlanan grafit kalıplar içerisine alınarak (Şekil 6.4) sinterleme işlemine hazır hale getirildi.



Şekil 6.3. Karıştırılan alaşımların soğuk preslenmesi



Şekil 6.4. Soğuk presten çıkan karışımların kalıplanması

Sinterleme işlemi sıcak presleme yöntemi ile ısı ve basınç aynı anda uygulanmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Sıcak presleme metodu tek kademeli bir proses olduğu için oldukça hızlı ve pratik bir yöntemdir. Numuneler 25 MPa sinterleme basıncı, 800 °C

sinterleme sıcaklığında toplam 15 dakika süreyle sinterleme fırınında (Şekil 6.5) üretilmiştir. Sinterleme işlemi vakum altında yapılmıştır.



Şekil 6.5. Sinterleme fırın makinası

Sıcak presleme yöntemi ile üretilen numune grupları Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Üretilen numune gurupları

6.1.4. Mikroyapı İncelemeleri

Üretilen numunelerde farklı oranlarda ilave edilen Ni ve Co elementlerinin matris üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 10x10x10 boyutlarında kesilen numuneler mikroyapısal analiz için, sırasıyla 300, 600, 800, 1000, 1200 mesh'lik zımpara ile zımparalandıktan sonra 3 µm' lik elmas pasta ile parlatılarak dağlamaya hazır hale getirilmiştir. Parlatılan numuneler Tablo 6.4' de görülen asitlerle hazırlanmış olan dağlayıcı ile dağlama işlemine tabi tutulmuştur.

Tablo 6.4. Dağlayıcı formülü

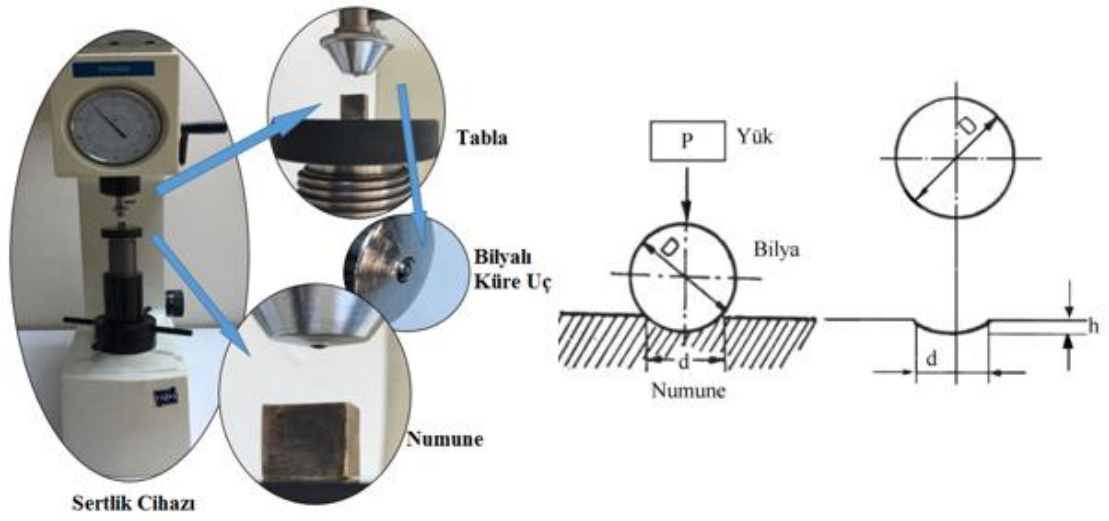
Dağlayıcı Formülü	
20 ml	HNO ₃
10 ml	H ₂ SO ₄
20 ml	H ₂ O

Dağlama işlemi gerçekleştirilen numunelerin mikroyapı ve Enerji Dağılım Spektrometresi EDS analizleri, Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü laboratuvarındaki taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır.

6.1.5. Sertlik Ölçümleri

Numunelerin sertlik ölçümleri Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ndeki "Emcotest Dura Scan" marka makrosertlik cihazıyla 62,5 kg yük ve 2,5 mm çapında bilye kullanılarak Brinell Sertlik (HB) cinsinden ölçülmüştür. Her bir numunenin yüzeyinden beş tane Brinell Sertlik değeri alınarak ortalama sertlik değeri kullanılmıştır.

Ölçümler için her bir numune yüzeyinden 5 tane Brinell sertlik değeri alındı. Bu sertliklerin ortalama Brinell sertlik ölçümleri sonuçları kullanıldı. Şekil 6.7'de Brinell sertlik ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Brinell Sertlik Ölçümü

6.1.6. Yoğunluk Hesaplama

Sıcak presleme yöntemiyle üretilen numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre hesaplanmıştır. Yoğunluk ölçümleri Şekil 6.8’de görülen AD-1653 marka yoğunluk ölçüm kiti ile ölçülmüştür. Numunelerin önce havadaki ağırlığı, daha sonra ise su içerisindeki ağırlıkları ölçülmüş ve yoğunluk ölçüm kiti ile yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılan formül (Eşitlik 1) yardımıyla deneysel yoğunlukları belirlenmiştir. Deneysel yoğunlukları belirlenen bu numunelerin Eşitlik 2’ de gösterilen formül yardımıyla teorik yoğunlukları hesaplanmıştır [44].



Şekil 6.8. Yoğunluk Ölçüm Kiti [44].

$$\rho = W/G \times \text{Rho} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

ρ : Yoğunluk (gr/cm³)

W: Numunenin havadaki ağırlığı (gr)

G: Numunenin su içindeki ağırlığı (gr)

Rho: Suyun sıcaklığına göre katalogdan alınan değer (gr/cm³)

Eşitlik formülü;

$$\text{Teorik yoğunluk} = (\text{Bronz} \times \rho_{\text{Bronz}}) + (\text{Co} \times \rho_{\text{Co}}) + (\text{Ni} \times \rho_{\text{Ni}}) + (\text{Bağ.} \times \rho_{\text{polietilenglikol}}) \quad (2)$$

Bronz, Co, Ni, Bağ.: Bileşenlerin ağırlıkça oranları

ρ_{Bronz} : 8.9 (g/cm³),

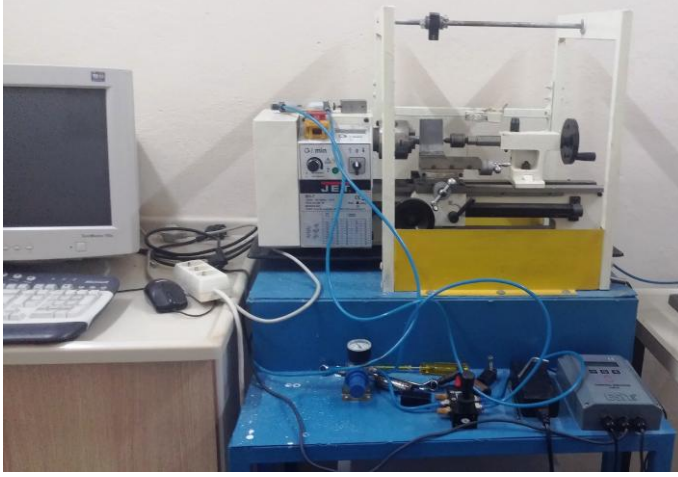
ρ_{Co} : 8.9 (g/cm³),

ρ_{Ni} : 8.9 (g/cm³),

$\rho_{\text{polietilenglikol}}$: 1,1239 (g/cm³)

6.1.7. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyi adheziv aşınma yöntemi ile yapılmıştır. Aşınma numuneleri 10x10x10 mm boyutlarında hazırlanıp aşındırılmıştır. Adheziv aşınma deneyi numunenin yüzey kısmı aşındırılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Müh. Mekanik Atölyesinde bulunan Şekil 6.9'da verilmiş olan adheziv aşınma aparatında yapılmıştır. Adheziv aşındırıcı olarak piston pimi kullanılmıştır. Aşınma numuneleri 5 N, 10 N ve 15 N yük altında 250 m, 500 m ve 750 m aşınma mesafelerinde aşındırılıp kütle kaybı yöntemi ile aşınma değerleri hesaplanmıştır.

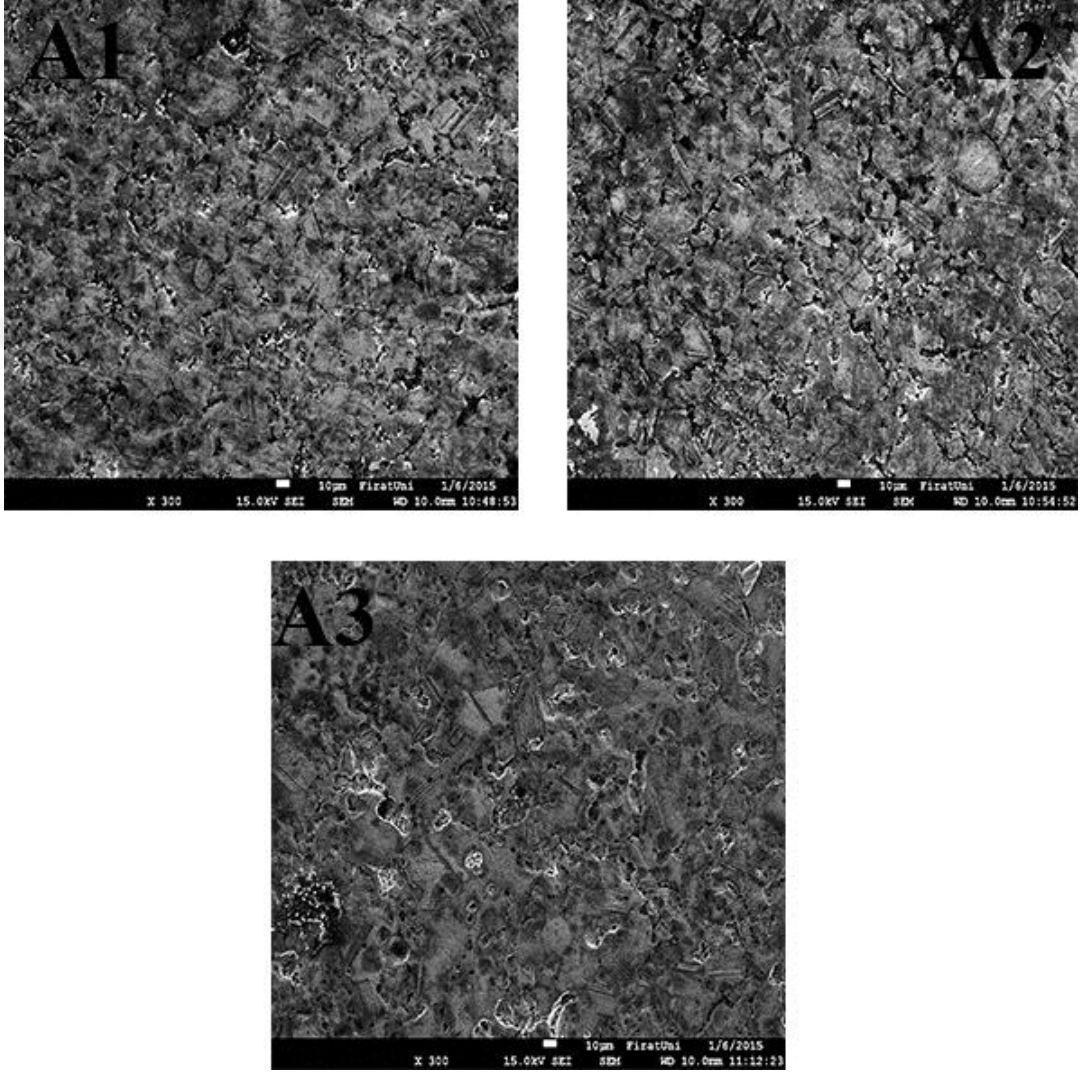


Şekil 6.9. Aşınma deney düzeneği

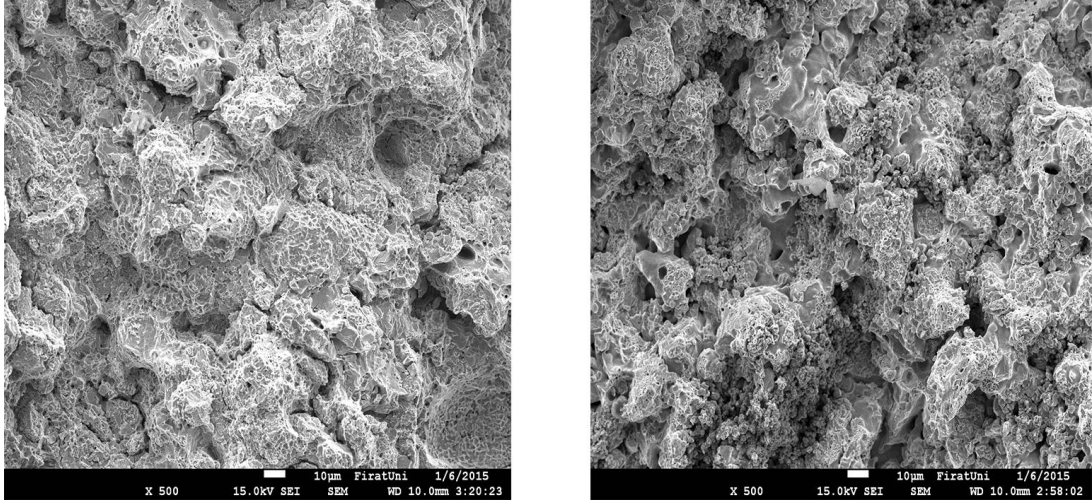


7. DENEY SONUÇLARI

7.1. Mikroyapı Sonuçları

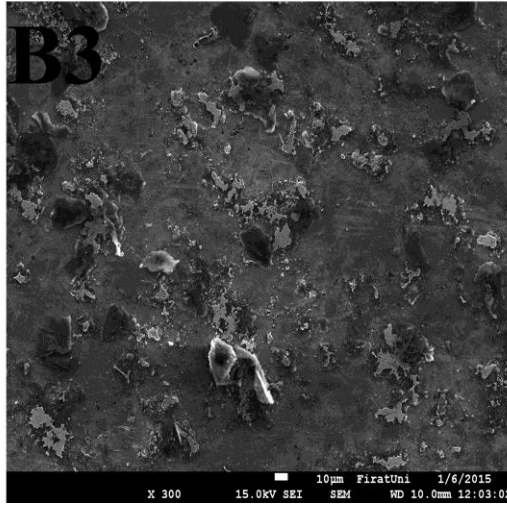
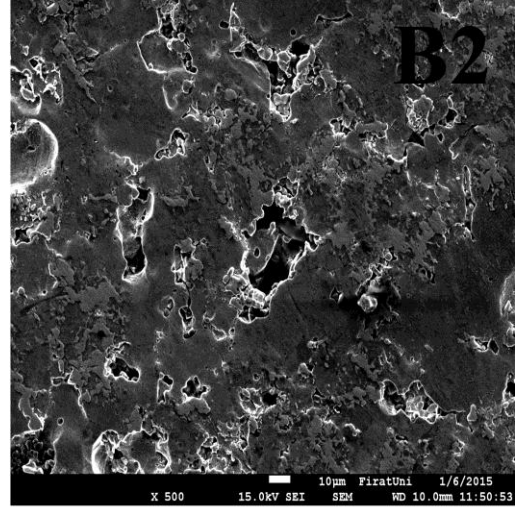
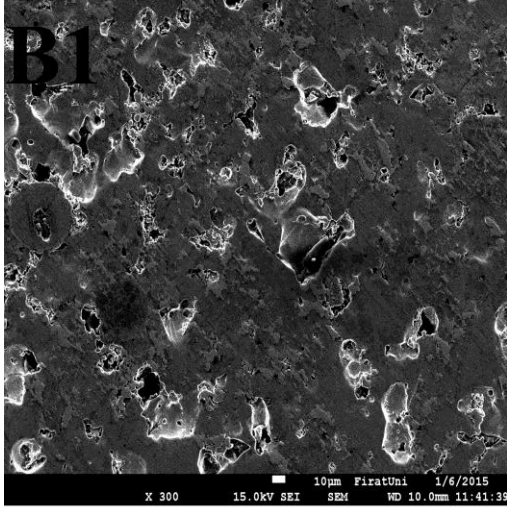


Şekil 7.1. A grubu numunelerine ait SEM fotoğrafları

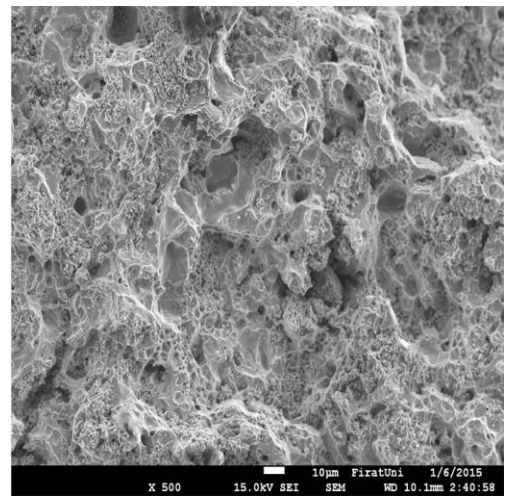
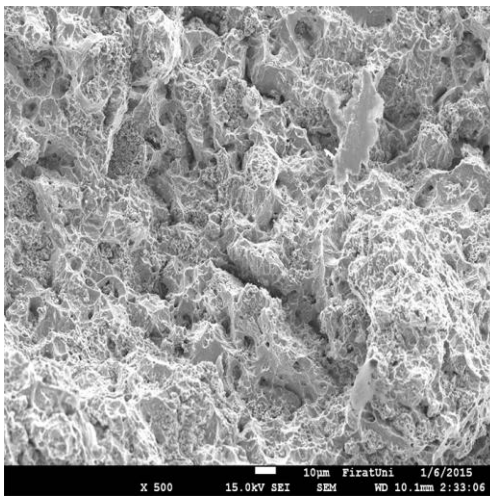


Şekil 7.2. A grubu numunelerine ait kırık yüzey fotoğrafları

Şekil 7.1’de 25 MPa sinterleme basıncı, 800 °C sinterleme sıcaklığı ve 15 dk sinterleme süresinde üretilen % 3 (A1), % 5 (A2) ve %8 (A3) Ni katkılı bronz alaşımlarının SEM fotoğrafları görülmektedir. Numuneler, Ni elementinin içyapıdaki etkisini ve kırılma şeklini (sünek- gevrek) incelemek amacıyla kırılmıştır. Bunların SEM yardımı ile alınan kırık yüzey fotoğrafları Şekil 7.2’de görülmektedir. Sıcak presleme yöntemi ile bronz alaşımlarına Ni elementinin katkısıyla üretilen numunelerin Şekil de görüldüğü üzere homojen bir dağılım elde edilmiştir. Kırık yüzey fotoğraflarında da yapının homojen olduğu ve aynı zamanda da sünek bir kırılma sergilediği görülmüştür. A1 ve A2 numunelerinde birbirlerine yakın bir mikroyapı gözlenmiştir (Şekil 7.1). Ni elementinin oranı arttıkça özellikle A3 numunesinde ise Ni elementinin tane sınırlarında biriktiği gözlenmiştir. Yoğun bir malzeme elde edilmiştir. Mikroyapılarda görüldüğü üzere gözenek yok denecek kadar azdır. Kırık yüzey fotoğraflarıca bunu desteklemektedir (Şekil 7.2).



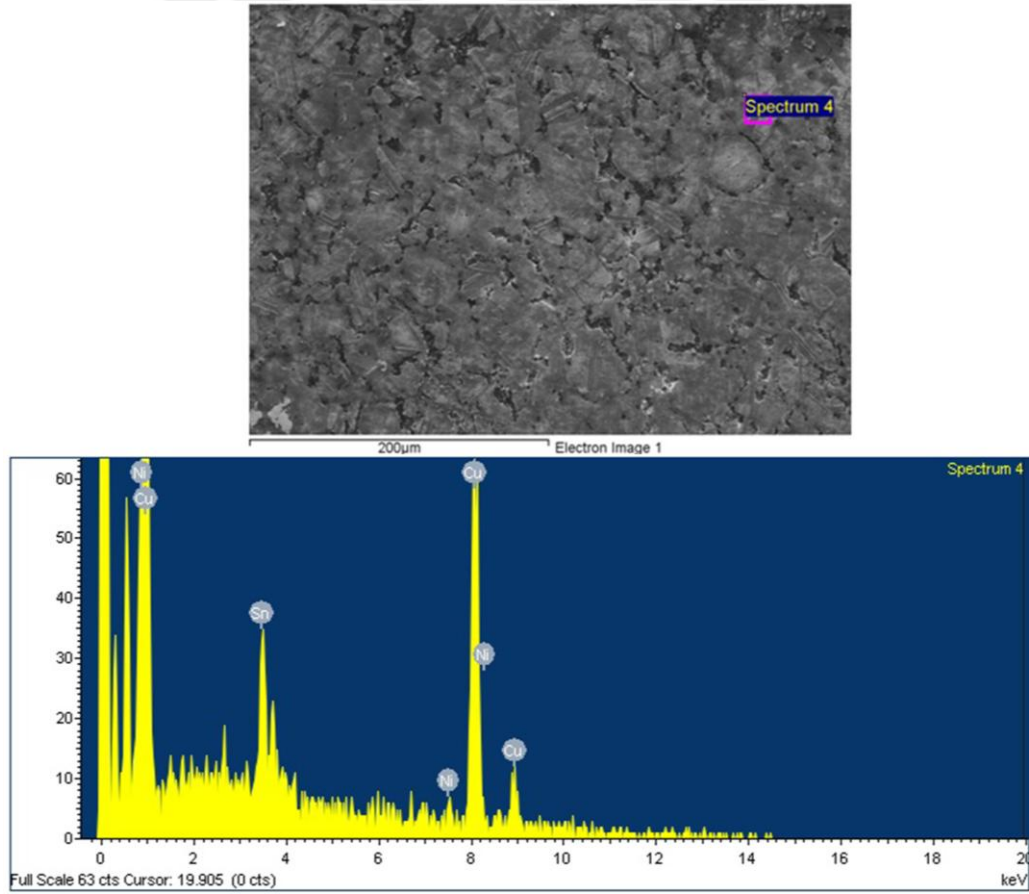
Şekil 7.3. B grubu numunelerine ait SEM fotoğrafları



Şekil 7.4. B grubu numunelerine ait kırık yüzey fotoğrafları

Şekil 7.3’de 25 MPa sinterleme basıncı, 800 °C sinterleme sıcaklığı ve 15 dk sinterleme süresinde üretilen % 3 (B1), % 5 (B2) ve %8 (B3) Co katkılı bronz alaşımlarının SEM fotoğrafları görülmektedir. Numuneler, Co elementinin içyapıdaki etkisini ve kırılma şeklini (sünek- gevrek) incelemek amacıyla kırılmıştır. Bunların SEM yardımı ile alınan kırık yüzey fotoğrafları Şekil 7.4’de görülmektedir. Sıcak presleme yöntemi ile bronz alaşımlarına Co elementinin katkısıyla üretilen numunelerin Şekil de görüldüğü üzere homojen bir dağılım elde edilmiştir. Kırık yüzey fotoğraflarında da yapının homojen olduğu ve aynı zamanda da sünek bir kırılma sergilediği görülmüştür. Tüm numunelerde görüldüğü gibi Co elementi tane sınırlarında görülmüştür. Birbirlerine yakın bir mikroyapı gözlenmiştir (Şekil 7.3).A grubu numunelerinde olduğu gibi gözenek yok denecek kadar azdır. Kırık yüzey fotoğraflarıca bunu desteklemektedir (Şekil 7.4).

7.2. EDS Analiz Sonuçları

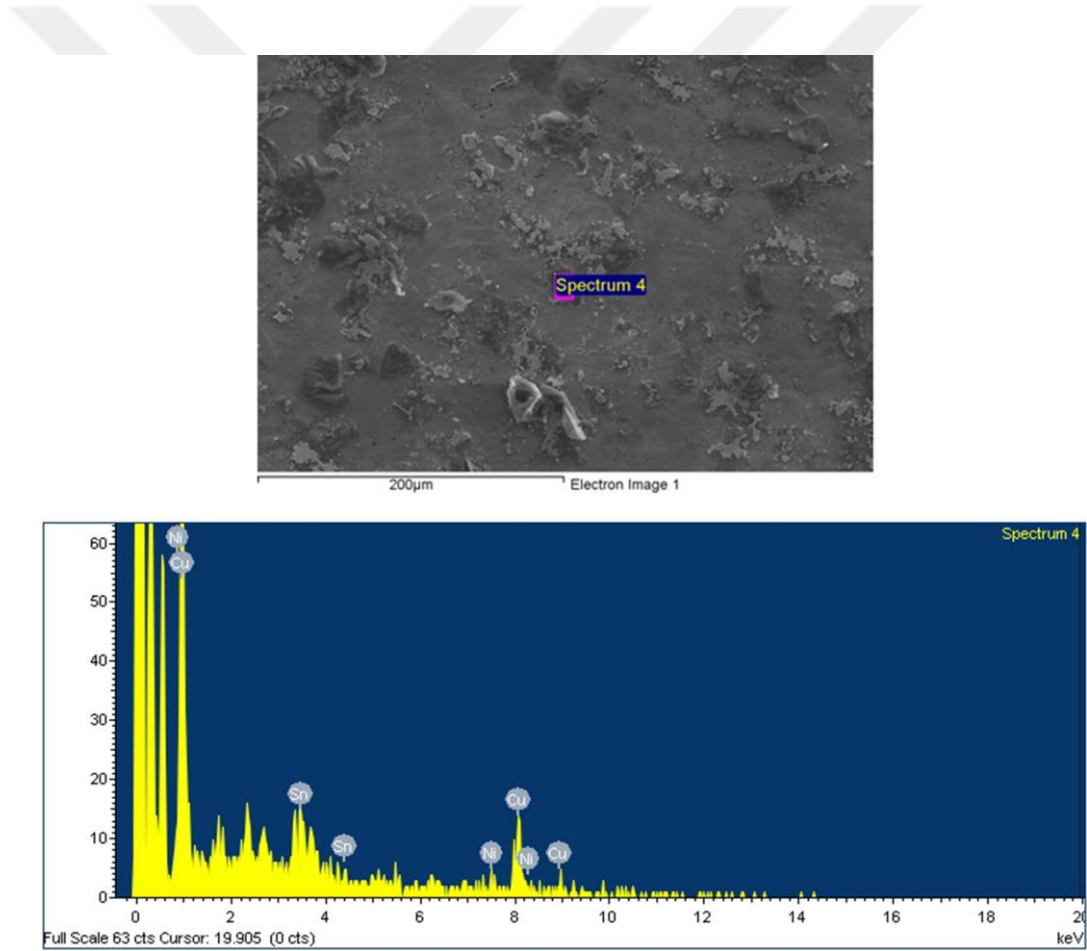


Şekil 7.5. A1 numunesine ait EDS analizi

Tablo 7.1. A1 numunesine ait EDS element dağılımı

Element	Wright%	Atomik%
Ni	1.80	2.06
Cu	86.30	91.21
Sn	11.90	6.73
Totals	100.00	

Şekil 7.5 ve Tablo 7.1 A1 numunesine ait EDS analizini ve element dağılımını göstermektedir. %3 Ni katkılı A1 numunesinden noktasal EDS analizi yapılmış ve bu noktada ağırlık olarak %1.80 Ni elementi, %86.30 Cu elementi ve %11.90 Sn elementinin mevcut olduğu görülmüştür.

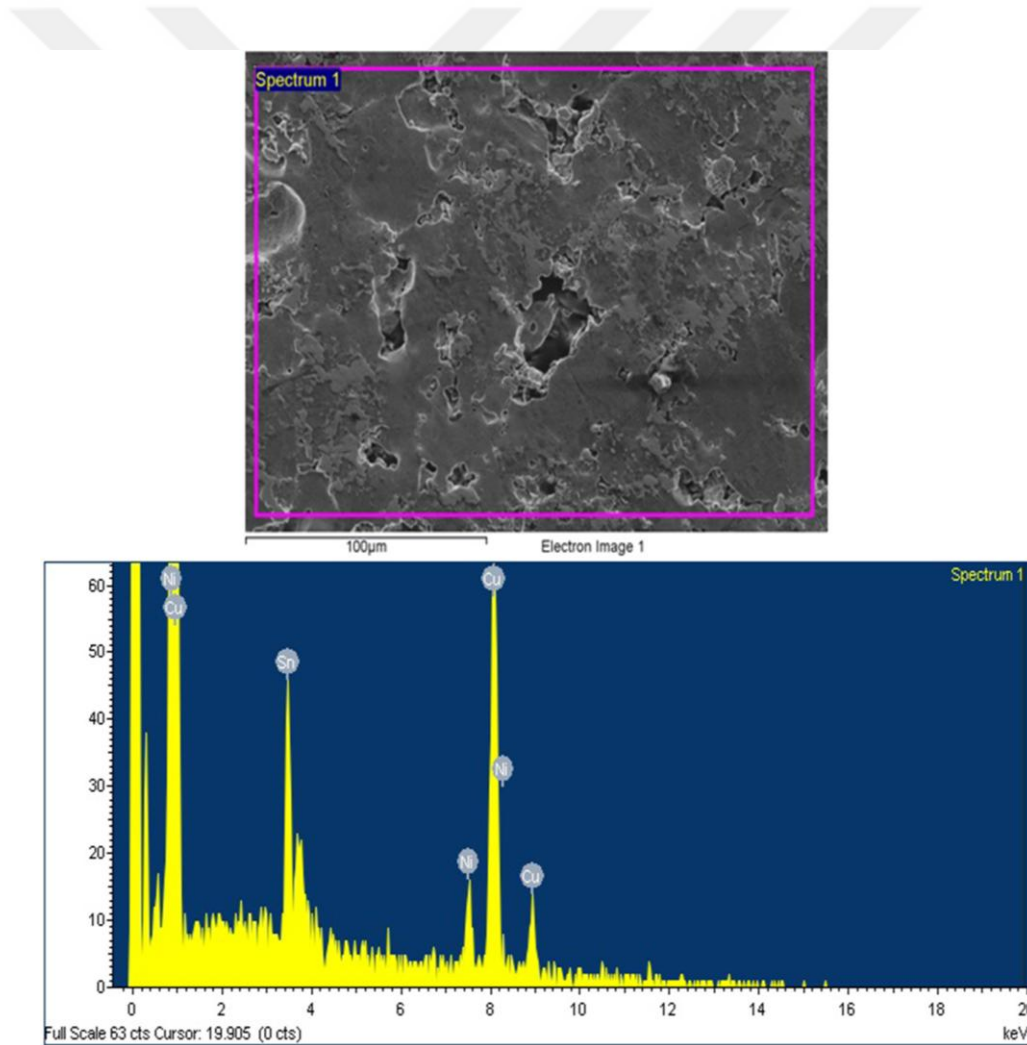


Şekil 7.6. A2 numunesine ait EDS analizi

Tablo 7.2. A2 numunesine ait EDS element dağılımı

Element	Weight%	Atomic%
Ni	5.85	6.84
Cu	77.24	83.39
Sn	16.90	9.77
Totals	100.00	

Şekil 7.6 ve Tablo 7.2 A2 numunesine ait EDS analizini ve element dağılımını göstermektedir. %5 Ni katkılı A2 numunesinden noktasal EDS analizi yapılmış ve bu noktada ağırlık olarak %5.85 Ni elementi, %77.24 Cu elementi ve %16.90 Sn elementinin mevcut olduğu görülmüştür.

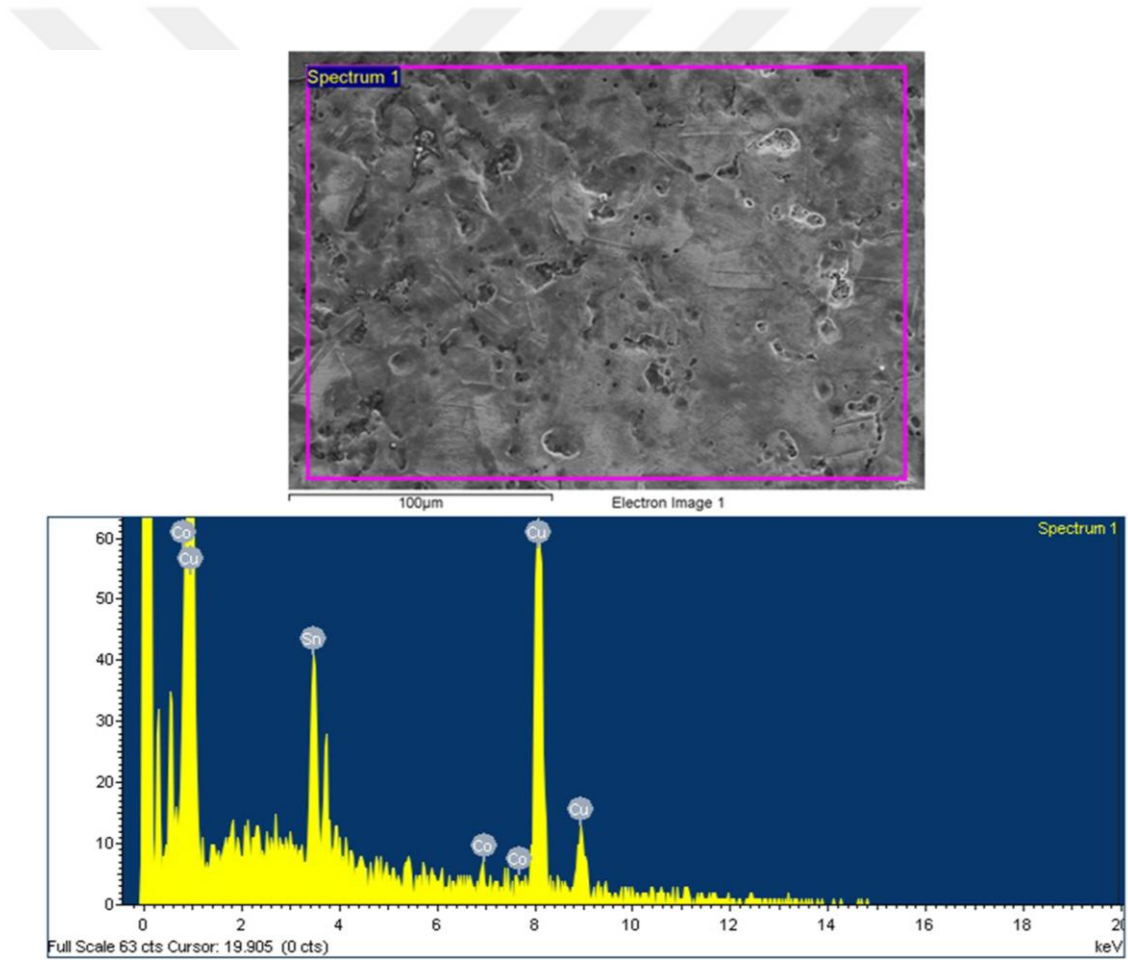


Şekil 7.7. A3 numunesine ait EDS analizi

Tablo 7.3. A3 numunesine ait EDS element dağılımı

Element	Weight%	Atomic%
Ni	8.20	9.37
Cu	78.86	83.31
Sn	12.94	7.32
Totals	100.00	

Şekil 7.7 ve Tablo 7.3 A3 numunesine ait EDS analizini ve element dağılımını göstermektedir. %8 Ni katkılı A3 numunesinden bölgesel EDS analizi yapılmış ve bu bölgede ağırlık olarak %8.20 Ni elementi, %78.86 Cu elementi ve %12.94 Sn elementinin mevcut olduğu görülmüştür.

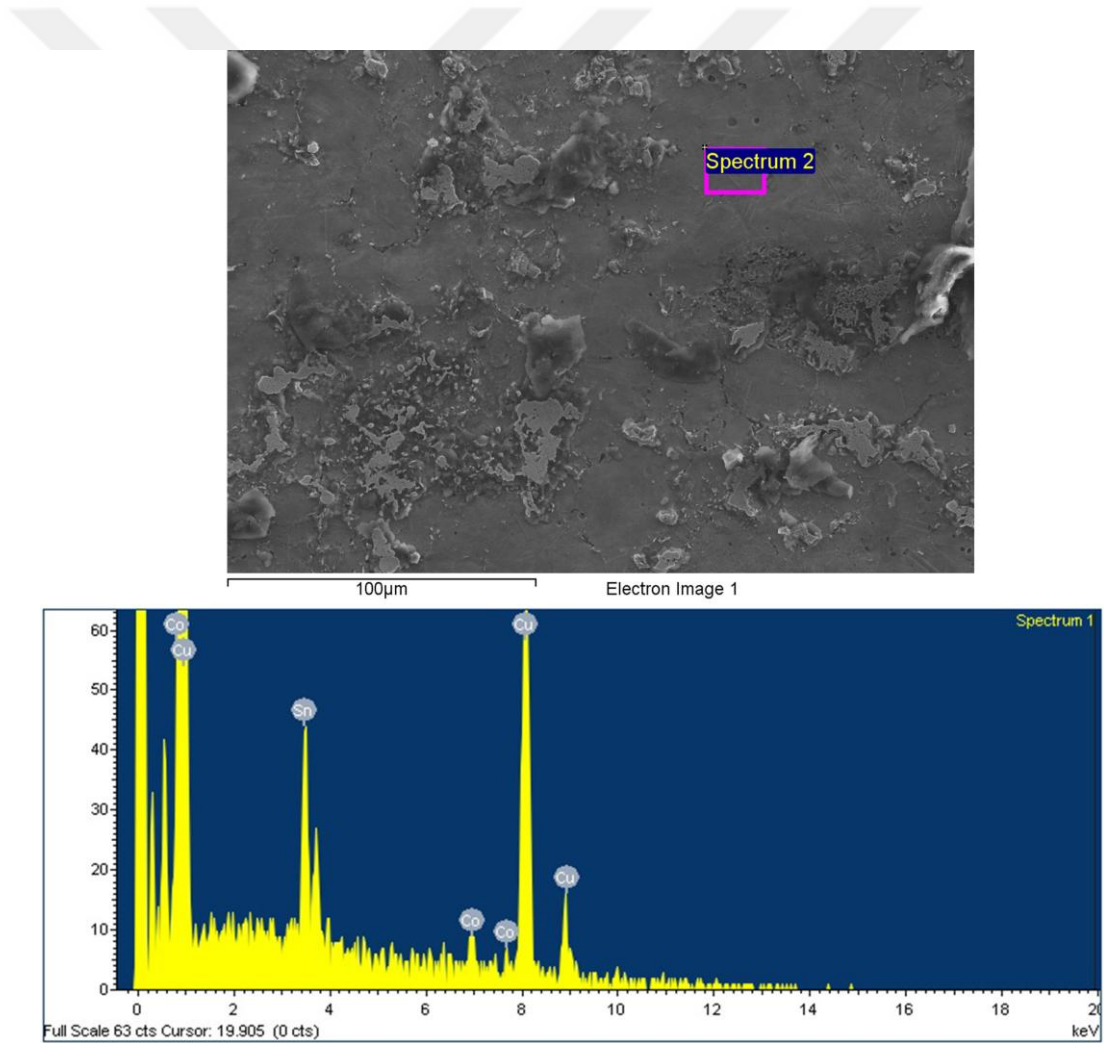


Şekil 7.8. B1 numunesine ait EDS analizi

Tablo 7.4. B1 numunesine ait EDS element dağılımı

Element	Weight%	Atomic%
Co	1.37	1.58
Cu	83.94	89.99
Sn	14.69	8.43
Totals	100.00	

Şekil 7.8 ve Tablo 7.4 B1 numunesine ait EDS analizini ve element dağılımını göstermektedir. %3 Co katkılı B1 numunesinden bölgesel EDS analizi yapılmış ve bu bölgede ağırlık olarak %1.37 Co elementi, %83.94 Cu elementi ve %14.69 Sn elementinin mevcut olduğu görülmüştür.

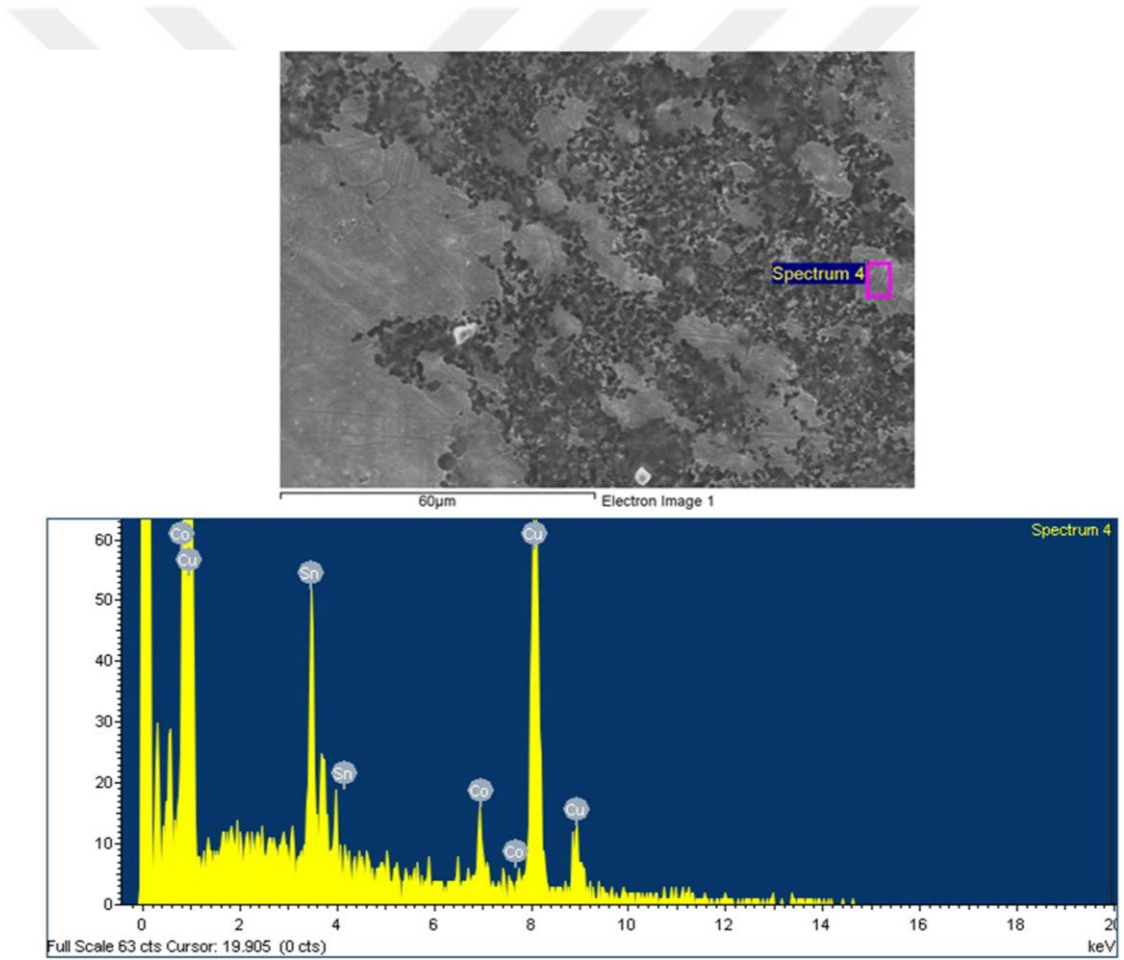


Şekil 7.9. B2 numunesine ait EDS analizi

Tablo 7.5. B2 numunesine ait EDS element dağılımı

Element	Weight%	Atomic%
Co	3.06	3.51
Cu	83.74	88.98
Sn	13.20	7.51
Totals	100.00	

Şekil 7.9 ve Tablo 7.5 B2 numunesine ait EDS analizini ve element dağılımını göstermektedir. %5 Co katkılı B2 numunesinden noktasal EDS analizi yapılmış ve bu noktada da ağırlık olarak %3.06 Co elementi, %83.74 Cu elementi ve %13.20 Sn elementinin mevcut olduğu görülmüştür.



Şekil 7.10. B3 numunesine ait EDS analizi

Tablo 7.6. B3 numunesine ait EDS element dağılımı

Element	Weight%	Atomic%
Co	4.35	4.96
Cu	83.38	88.10
Sn	12.27	6.94
Totals	100.00	

Şekil 7.10 ve Tablo 7.6 B3 numunesine ait EDS analizini ve element dağılımını göstermektedir. %8 Co katkılı B3 numunesinden noktasal EDS analizi yapılmış ve bu noktada da ağırlık olarak %4.35Co elementi, %83.38 Cu elementi ve %12.27 Sn elementinin mevcut olduğu görülmüştür.

7.3. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

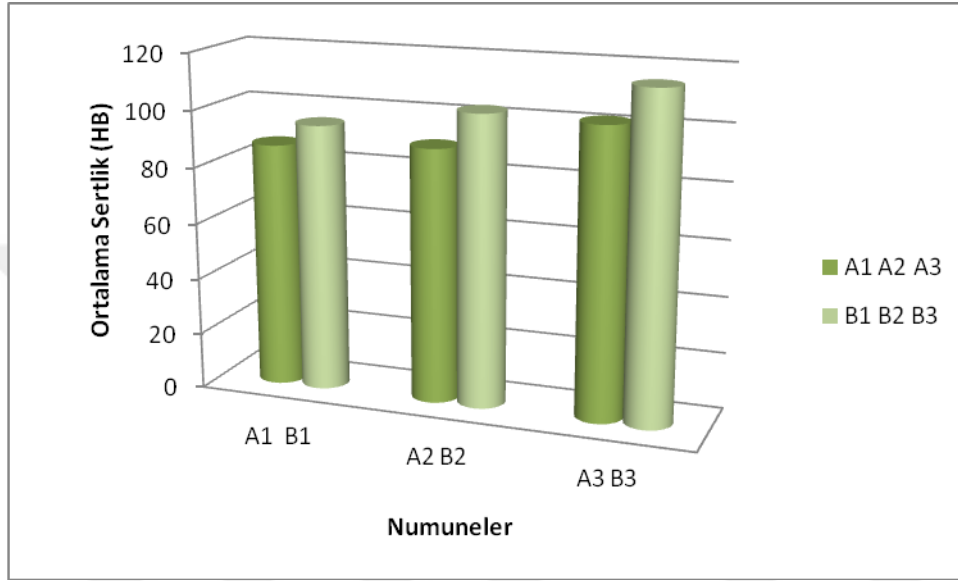
Tablo 7.7. Numunelerin yoğunluk ölçümleri

Numuneler	Hesaplanan Yoğunluk (gr/cm ³)	Teorik yoğunluk(gr/cm ³)
A1	8,800	8,9
A2	8,801	8,9
A3	8,813	8,9
B1	8,841	8,9
B2	8,843	8,9
B3	8,843	8,9

Sıkıştırılabilirlik ve yoğunlaşma hakkında fikir edinebilmek amacıyla HIP yöntemiyle üretilen numunelerin yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Farklı oranlarda Ni ve Co elementleri ilave edilerek üretilen numunelerin deneysel ve teorik yoğunluk sonuçları Tablo 7.7’de verilmiştir. Bronz alaşımının yoğunlaştırıcı etkisine rağmen özellikle A1, A2 ve A3 numunelerinde Co elementi bulunmadığı için deneysel yoğunlukları bir miktar diğer numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Co (8.9 gr/cm³) ve Ni (8.9 gr/cm³) elementlerinin yoğunluklarının birbirinden çok büyük farklar içermemelerinden dolayı numunelerin yoğunluk değerleri arasında büyük farklar oluşmamıştır. Aynı zamanda tüm numunelerde hem Ni elementinin hem de Co elementinin miktarının artmasıyla deneysel yoğunluklarda çok az da olsa bir artış görülmüştür. Literatürde numunelerin deneysel yoğunluk değeri teorik yoğunluk değerine ne kadar yakınsa numunelerdeki boşluk miktarının o kadar az olduğu tespit edilmiştir [45]. Literatür araştırması sonucunda hesapladığımız deneysel

yoğunluk değerlerimiz, teorik yoğunluk değerlerine oldukça yakındır. A ve B grubu numunelerinde gözenek miktarının çok düşük olduğu ve oldukça yoğun malzeme üretildiği görülmektedir.

7.4. Sertlik Ölçüm Sonuçları



Şekil 7.11. Numunelerin sertlik değerleri

Sıcak presleme yöntemi ile üretilen Ni ve Co ilaveli Bronz alaşımlarına ait sertlik değerlerini gösteren grafik Şekil 7.11’de verilmiştir. Co ilave edilen numunelerin sertlik değerleri, Ni ilave edilen numunelerin sertlik değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Aynı zamanda A grubunda Ni elementinin katkı miktarı arttıkça sertlik değeri artmıştır. B grubunda da Co elementinin katkı miktarı arttıkça sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir. En düşük ortalama sertlik değeri %3 Ni katkılı A1 numunesinde 87 HB, en yüksek ortalama sertlik değeri ise B3 numunesinde 115 HB olarak bulunmuştur. Sertlik değerlerinde de görüldüğü gibi Ni ve Co elementlerinin Bronz alaşımının mekanik özelliklerine etkisi birbirine çok yakındır.

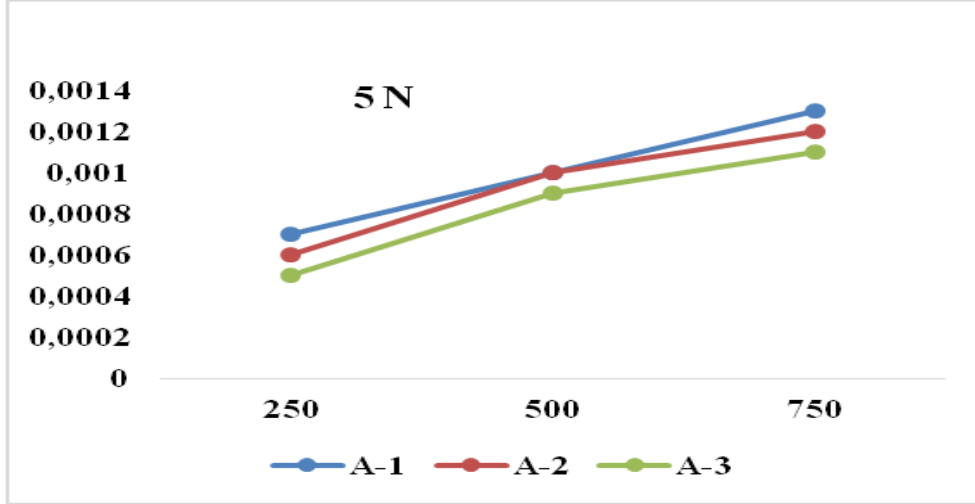
7.5. Aşınma Deney Sonuçları

Sıcak presleme yöntemi ile üretilen Ni ilaveli Bronz alaşımlarına 5 N, 10 N ve 15 N yük altında 250 m, 500 m ve 750 m aşınma mesafelerinde uygulanan aşınma deneyi

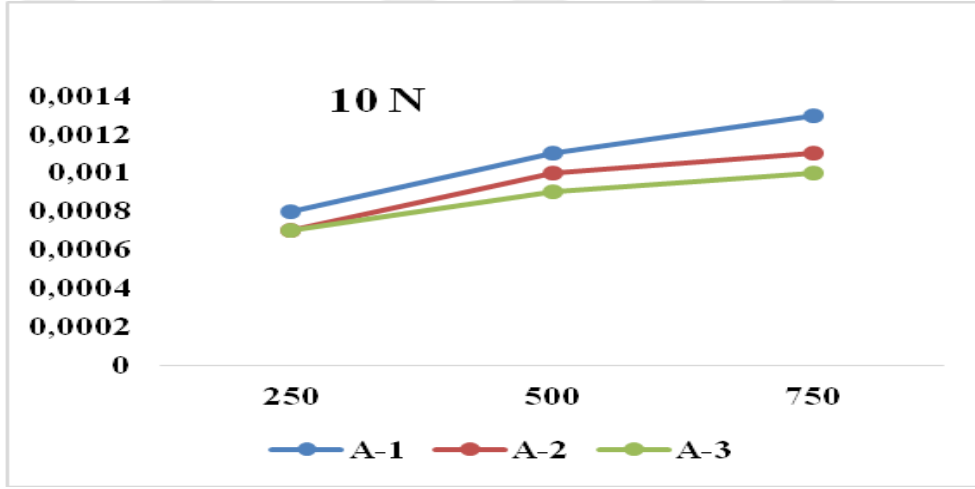
sonrasındaki ağırlık kayıpları Tablo 7.8’de verilmiştir. Bu numunelere ait kütle kaybı-mesafe ilişkisini gösteren grafiklerde Şekil 7.12, Şekil 7.13 ve Şekil 7.14’de verilmiştir.

Tablo 7.8. A grubu numunelerine ait aşınma parametreleri ve kütle kayıpları

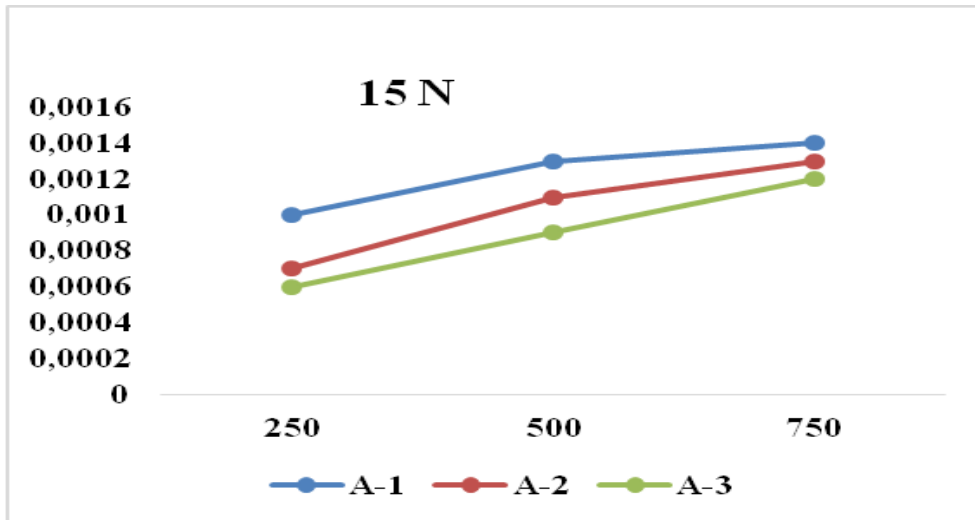
Grup No	Yük (N)	Mesafe (m)	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (MPa)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)	Fark (Gr)
A1 Numunesi	5	250	25	800	97	0	3	0,0007
		500			97	0	3	0,001
		750			97	0	3	0,0013
	10	250			97	0	3	0,0008
		500			97	0	3	0,0011
		750			97	0	3	0,0013
	15	250			97	0	3	0,001
		500			97	0	3	0,0013
		750			97	0	3	0,0014
A2 Numunesi	5	250	25	800	95	0	5	0,0006
		500			95	0	5	0,001
		750			95	0	5	0,0012
	10	250			95	0	5	0,0007
		500			95	0	5	0,001
		750			95	0	5	0,0011
	15	250			95	0	5	0,0007
		500			95	0	5	0,0011
		750			95	0	5	0,0013
A3 Numunesi	5	250	25	800	92	0	8	0,0005
		500			92	0	8	0,0009
		750			92	0	8	0,0011
	10	250			92	0	8	0,0007
		500			92	0	8	0,0009
		750			92	0	8	0,001
	15	250			92	0	8	0,0006
		500			92	0	8	0,0009
		750			92	0	8	0,0012



Şekil 7.12. A grubu numuneleri 5 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi



Şekil 7.13. A grubu numuneleri 10 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi

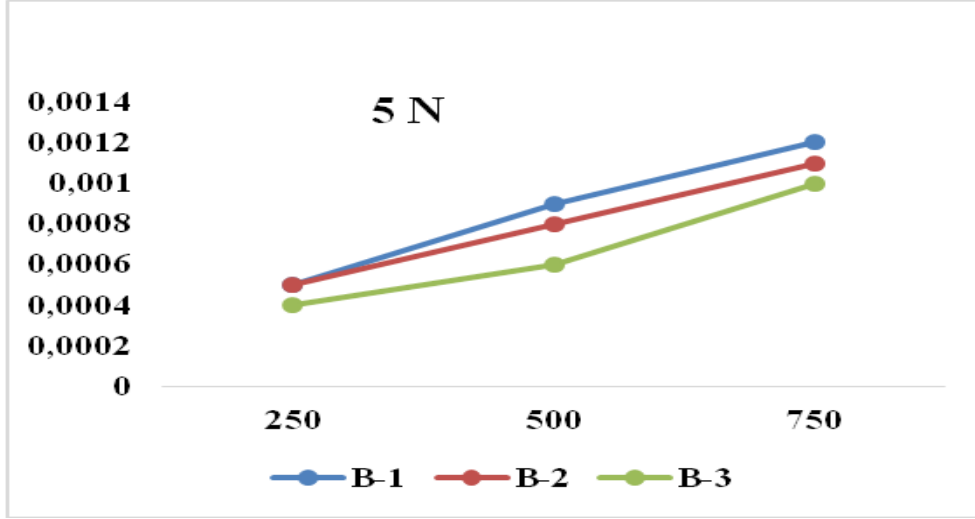


Şekil 7.14. A grubu numuneleri 15 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi

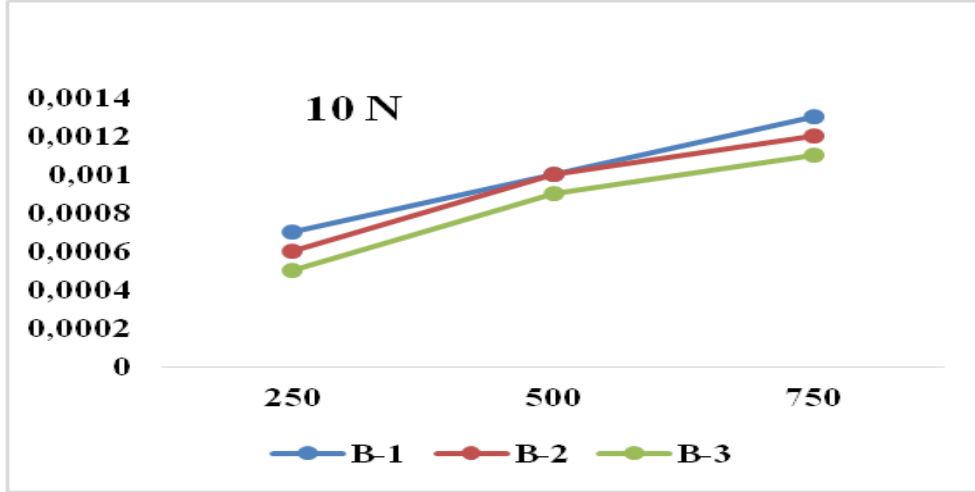
Sıcak presleme yöntemi ile üretilen Co ilaveli Bronz alaşımlarına 5 N, 10 N ve 15 N yük altında 250 m, 500 m ve 750 m aşınma mesafelerinde uygulanan aşınma deneyi sonrasındaki ağırlık kayıpları Tablo 7.9’ da verilmiştir. Bu numunelere ait kütle kaybı-mesafe ilişkisini gösteren grafiklerde Şekil 7.15, Şekil 7.16 ve Şekil 7.17’de verilmiştir.

Tablo 7.9. B grubu numunelerine ait aşınma parametreleri ve kütle kayıpları

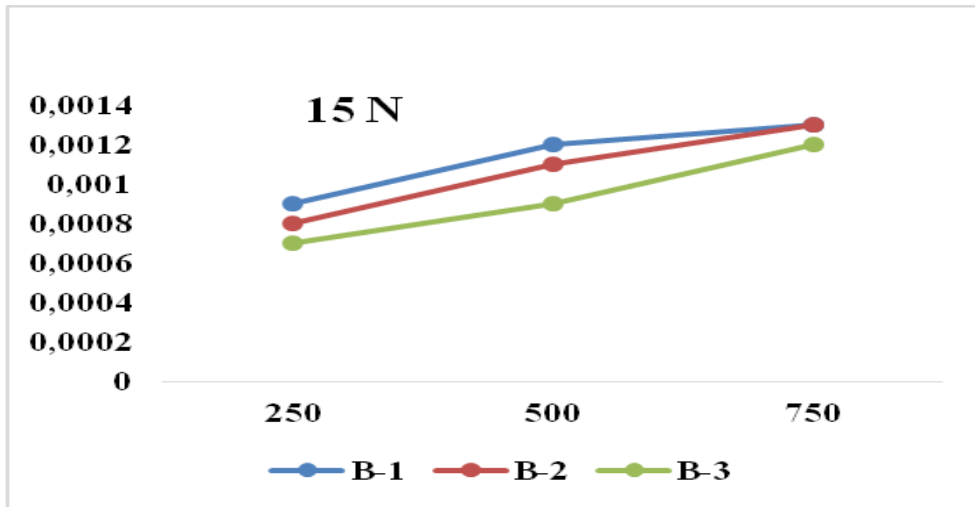
Grup No	Yük (N)	Mesafe (m)	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (MPa)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)	Fark (Gr)
B1 Numunesi	5	250	25	800	97	3	0	0,0005
		500			97	3	0	0,0009
		750			97	3	0	0,0012
	10	250			97	3	0	0,0007
		500			97	3	0	0,001
		750			97	3	0	0,0013
	15	250			97	3	0	0,0009
		500			97	3	0	0,0012
		750			97	3	0	0,0013
B2 Numunesi	5	250	25	800	95	5	0	0,0005
		500			95	5	0	0,0008
		750			95	5	0	0,0011
	10	250			95	5	0	0,0006
		500			95	5	0	0,001
		750			95	5	0	0,0012
	15	250			95	5	0	0,0008
		500			95	5	0	0,0011
		750			95	5	0	0,0013
B3 Numunesi	5	250	25	800	95	8	0	0,0004
		500			95	8	0	0,0006
		750			95	8	0	0,001
	10	250			95	8	0	0,0005
		500			95	8	0	0,0009
		750			95	8	0	0,0011
	15	250			95	8	0	0,0007
		500			95	8	0	0,0009
		750			95	8	0	0,0012



Şekil 7.15. B grubu numuneleri 5 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi



Şekil 7.16. B grubu numuneleri 10 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi



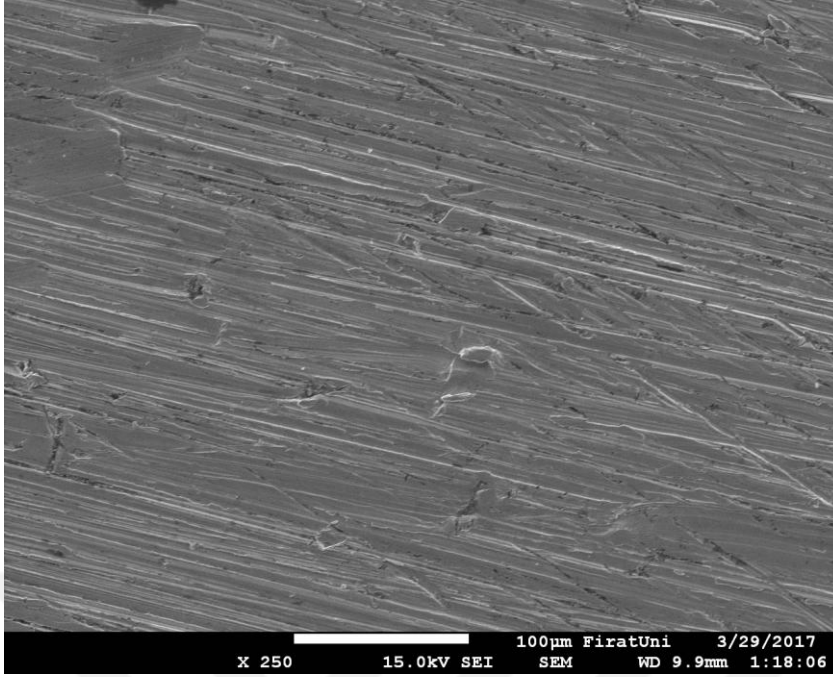
Şekil 7.17. B grubu numuneleri 15 N yük altındaki kütle kaybı-mesafe ilişkisi

A grubu numunelerin üretim parametreleri; 800 °C sinterleme sıcaklığı ve 25 MPa sinterleme basıncıdır. A grubu numunelerin bileşim oranları ise A1 nolu numunede %97 bronz, %3 Ni, A2 nolu numunede %95 bronz, %5 Ni ve A3 nolu numunede %92 bronz, %8 Ni olacak şekilde sıcak presleme yöntemiyle üretilmiştir.

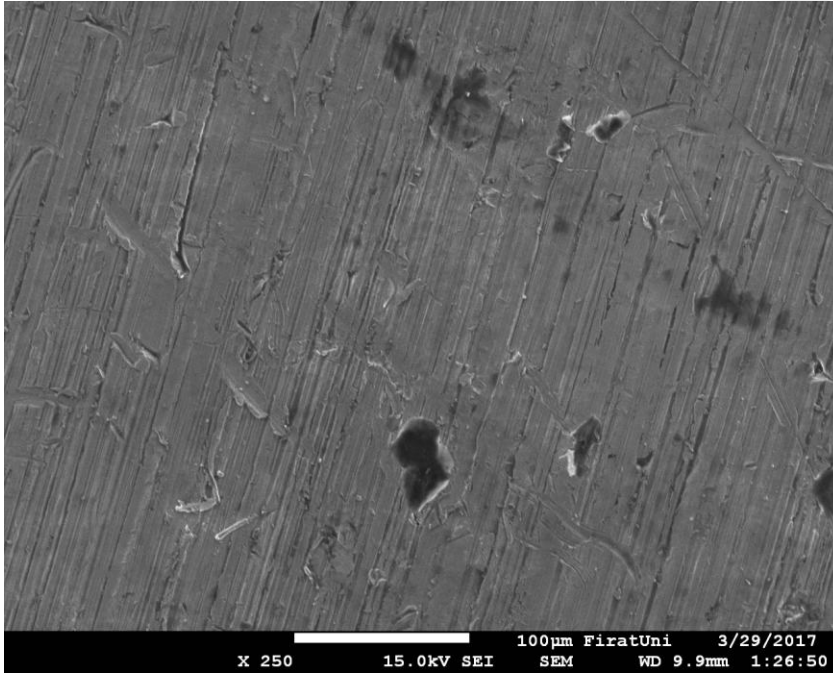
B grubu numunelerin üretim parametreleri; 800 °C sinterleme sıcaklığı ve 25 MPa sinterleme basıncıdır. B grubu numunelerin bileşim oranları ise B1 nolu numunede %97 bronz, %3 Co, B2 nolu numunede %95 bronz, %5 Co ve B3 nolu numunede %92 bronz, %8 Co olacak şekilde sıcak presleme yöntemiyle üretilmiştir.

Aşınma deneyleri 5-10-15 N yük altında 250-500-750 m mesafelerinde adhesiv aşınma yöntemi kullanılarak kütle kaybı yöntemiyle değerlendirilmiştir. Adhesiv aşındırıcı olarak piston pimi kullanılmıştır. İşlem her numune sonrasında aşındırıcı yüzeyinin temizlenmesi ve her bir aşınma işleminin aynı yüzeyde olmamasına özen gösterilmiştir. Aşınma deneyi sonuçları kütle kaybı ve mesafeyle ilişkilendirilerek grafiklere aktarılmıştır. Grafiklerde de görüldüğü gibi aşınma direnci artan Ni ve Co oranına bağlı olarak doğru orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Aynı durum sertlik ölçüm sonuçlarında da vardır. Ni ve Co oranı arttıkça sertlik değerlerinde yükselme görülmüştür. Co ilaveli numunelerde sertlik değerleri Ni ilaveli olanlara göre daha yüksektir. Bu durum aynı şekilde aşınma deneyleri sonuçları değerlendirildiğinde de, Co ilaveli numunelerde aşınma direnci Ni ilaveliye göre daha yüksek çıkmıştır.

Numune yüzeylerindeki aşınma izlerini görebilmek amacıyla A2 numunesi ve B2 numunesinin aşınma yüzeylerinden SEM fotoğrafları (Şekil 7.18, Şekil 7.19) alınmıştır. Fotoğraflardan görüldüğü üzere aşınma izleri net bir şekilde gözükmemektedir.



Şekil 7.18. A2 numunesi aşınma yüzeyi SEM fotoğrafı



Şekil 7.19. B2 numunesi aşınma yüzeyi SEM fotoğrafı

8. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada Cu+Sn bronz alaşım toz karışımı içerisinde Co ve Ni tozları ağırlıkça farklı yüzdelerde katılarak yeni toz karışımları elde edilmiş ve sıcak presleme yöntemi ile yeni malzeme üretilmiştir. Yeni üretilen bu malzeme ile ilgili olarak gerçekleştirilen analiz ve deneyler sonrasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. A1, A2, A3 ve B1, B2, B3 numunelerinin toz metalürji yöntemlerinden sıcak presleme yöntemi ile üretimleri gerçekleştirilmiştir.

- 1- Toz metalürjisi ile üretim yöntemlerinden sıcak presleme yöntemi ile yapılan çalışmamızda sinterleme basıncı ve sinterleme sıcaklığı aynı anda kullanılarak yoğun numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin üretimi homojen ve boşluksuz gerçekleştirilmiştir.
- 2- Mikroyapı (SEM) analizleri sonucunda Ni ve Co elementlerinin tane sınırları boyunca biriktiği gözlenmiştir. EDS analizleri değerlendirildiğinde Ni ve Co elementlerine katkı oranlarına paralel miktarlarda rastlanmıştır.
- 3- Sertlik ölçümleri sonucunda hem Ni hem de Co oranının artışına bağlı olarak sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değeri %8 Co ilaveli B3 numunesinde görülmüştür.
- 4- Üretilen numunelere uygulanan yük ve aşınma mesafesine göre adhesiv aşınma sonuçlarına bakıldığında Ni ve Co oranının artışına göre aşınma kaybı miktarının azaldığı gözlenmiştir. En düşük aşınma kaybı değeri yani aşınma direnci en yüksek numunemiz 5 N yük altında 250 m mesafede aşındırılan % 8 Co ilaveli B3 numunemizde elde edilmiştir. Yük ve mesafe arttıkça aşınma direnci düşmüştür.
- 5- Toz metalürjisi ile üretim yöntemlerinden sıcak presleme yöntemi diğer toz metalürjisi üretim yöntemlerine göre daha pratik ve seri üretime uygundur.

Öneriler

- Alaşım elementleri değiştirilerek yeni numuneler üretilebilir.
- Farklı mekanik deneyler (yorulma deneyi, çentik darbe deneyi vb) uygulanabilir.
- Farklı sinterleme sıcaklığı, sinterleme basıncı ve sinterleme süresi seçilerek çalışma yapılabilir.
- Farklı tane boyutunda tozlar kullanılarak çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Sarıtaş, S.**, 1996, 1. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı Bildiri Kitabı, Gazi Üniversitesi İletişim Fakültesi Matbaası, Ankara
- [2] **Niemann, G.**, "Makina Elemanları", Cilt-II, 1973,
- [3] **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.
- [4] **Fritsch, KG.**, "Sintermetallpulver für die Diamantwerkzeugfertigung", 2-108, 1996.
- [5] **Karagöz Ş, Zeren M.**, "Characterisation of Hot Pressing Behaviour of Diamond Cutting Tools", Int. PM Conf, Granada-İspanya, 4,208-212,1998.
- [6] **Wick, C.**, "The Facts About Diamonds, Manufacturing Engineering, 63,1988.
- [7] **Yıldırım S.**, "Fe-Ferrokrom Tozundan Elde Edilen Kompozitin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999,Elazığ
- [8] **Taner E.**, "Toz Metalürjisi Ekonomik Bir Üretim Tekniği", 1. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı, Gazi Üniversitesi, 2000, Ankara
- [9] **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.
- [10] **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
- [11] **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
- [12] **Tanberk O.**, "Toz Metalürjisinde Türkiyenin Yeri", 9. Uluslararası Metlaurji ve Malzeme Kongresi, 1997, İstanbul, s.229-247
- [13] **Yılmaz, S. S.** "Demir Esaslı T/M Parçaların Yüze Sertleştirme İşlemlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", "Doktora Tezi, C. B. U. Fen Bil. Enst., 2004.
- [14] **Lawley, A.**, "Atomization, The Production of Metal Powders", MPIF, Princeton, 1992

- [15] **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
- [16] **General, E.**, "Diamond Products for Sawing and Drilling Applications", GE Superabrasives. General Electric Company Teknik Yayını. 1-44,1991.
- [17] **Turan, H.**, 1993, Gaz atomizasyonu ile metal tozu üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
- [18] **TS 3087**, 1978, Toz metalurjisi - terimler, TSE, Ankara.
- [19] **Öveçoğlu, M.L.**, 1997, 9. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1, 449-485, İstanbul, 1997
- [20] **Çiğdem, M.**, 1993, İmal Usulleri, 329-357, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul
- [21] **Sarıtaş, S.**, 1994, Makine Mühendisleri El Kitabı, Cilt 1, 64-82, Ankara, 1994
- [22] **Ersümer, A.**, 1969, Toz Metalurjisi Sert metal, 26-32, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1970
- [23] **Sarıtaş, S. ve Karataş, Ç.**, 1998, Toz Enjeksiyon Kalıplama, 193-196, Gazi Üniversitesi İletişim Fakültesi Matbaası, Ankara
- [24] **Uygur, E.M.**, 1986, Toz Metalurjisi Seminer Notları, 32-40, İstanbul, 1986
- [25] **Eskin, D., Du, Q., Ruvalcaba and D., Katgerman, L.**, 2005. Experimental study of structure formation in binary Al–Cu alloys at different cooling rates. *Materials Science and Engineering A*, **405**, 1–10
- [26] **Wikipedia-Bronze**, <http://en.wikipedia.org/wiki/Bronze>, [Ziyaret Tarihi: 29 Ocak 2009]
- [27] **Baker, H.**, 1992, ASM Handbook: Alloy Phase Diagrams, ASM International, Ohio, 087-1703-815
- [28] **Okamoto H.**, 2000, Desk Handbook: Phase Diagrams for Binary Alloys, ASM International, Ohio, 087-1706-822
- [29] **Davis, J.R.**, 2001, Asm Specialty Handbook: Copper and Copper Alloys, ASM International, Ohio, 087-1707-268111
- [30] **Davis, J.R.**, 2001, Asm Specialty Handbook: Copper and Copper Alloys, ASM International, Ohio, 087-1707-268
- [31] **Fedyushkina, Y.A. ve Pomosov, A.V.**, 1971, Electrodeposition of Copper-Tin Alloy Powder from a Sulfamine Electrolyte, *Powder Metallurgy and MetalCeramics*, 10 (6), 434–436.

- [32] **Eker AA.**, 2009, Demirdışı Metal ve Alaşımlarının Korozyonu, Ders Notu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [33] **Saunders, N. And Miodownik, A.P. (1990) Bull. Alloy Phase Diagrams, 11,278.**
- [34] <http://www.himikatus.ru/art/phase-diagr1/Co-Cu.php>
- [35] <https://www.metallurgy.nist.gov/phase/solder/agcusn.html>
- [36] **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.
- [37] **Özay, Ç.**, 2004, TM yöntemiyle üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ kompozitinin abrasiv aşınma dayanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [38] **Solmaz, Y.M.**, 2002, Ni₃Al+B metaller arası bileşiğinin değişken sıcaklık şartlarında aşınma davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [39] **Pekin, Ş., Vuoristi, P., Mantyla, T.**, 1993, System aproach for wear rezistant coatings, Worksshop on Anti-Wear Coatings, TÜBİTAK-MAM, Kocaeli.
- [40] **Yılmaz, F.**, 1997, Sürtünme ve aşınma, IX. Ulusal Metalurji ve Malzeme Kongresi, 1, 229-256, Ankara.
- [41] **Desai, V.M.**, 1984, Effect of carbide size on the abrasion of cobalt base powder metallurgy alloys, Wear, 94 (1), 347-376.
- [42] **Muratoğlu, M.**, 1997, SiC katkılı 2124 alüminyum kompoziti ve yaşlandırılmış kompozitin aşınma davranışlarının araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [43] **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.
- [44] **Yıldız T., Katı N., Gür A.K.**, 2018, The effect of sintering temperature on microstructure and mechanical properties of alloys produced by using hot isostatic pressing method, Journal of Alloys and Compounds, 737,8-13.
- [45] **F. Topaloğlu**, 2013, Kobalt Esaslı Alaşımların Bağlayıcı Matris Olarak Kullanıldığı Doğal Taş Kesiminde Kullanılan Elmas Kesici Uçların Karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

Alaattin Yılmaz 1976 yılında Mardin'in Kızıltepe ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Mardin Gazi YİBO'da tamamladı. 1996 yılında Kızıltepe Teknik Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü'nü bitirdi. 2001-2003 yıllarında vatani görevini yaptı. 2003 yılında Lisans Eğitimine başladı. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal öğretmenliğinden mezun oldu. 2007-2018 yılı arası ücretli öğretmenlik yapmıştır. 2013 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ABD'de de yüksek lisansa başlamış ve devam etmektedir. Evli ve 2 çocuk babasıdır.

