

**TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN Cu MATRİSLİ
NANO KOMPOZİTLERİN ELEKTRİK
İLETKENLİĞİ VE AŞINMA DİRENÇLERİNİN
İNCELENMESİ**

**2017
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Fatih TAŞDEMİR

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN Cu MATRİSLİ NANO
KOMPOZİTLERİN ELEKTRİK İLETKENLİĞİ VE AŞINMA
DİRENÇLERİNİN İNCELENMESİ**

Fatih TAŞDEMİR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Aralık 2017

Fatih TAŞDEMİR tarafından hazırlanan “TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN Cu MATRİSLİ NANO KOMPOZİTLERİN ELEKTRİK İLETKENLİĞİ VE AŞINMA DİRENÇLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

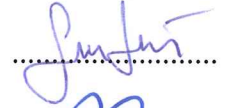


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 08/12/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

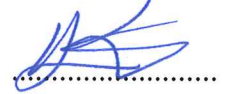
Başkan : Yrd. Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN (KÜ)



Üye : Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali KALYON (KBÜ)



...../...../2017

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımızı beyan ederiz.”

Fatih TAŞDEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN CU MATRİSLİ NANO KOMPOZİTLERİN ELEKTRİK İLETKENLİĞİ VE AŞINMA DİRENÇLERİNİN İNCELENMESİ

Fatih TAŞDEMİR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Aralık 2017, 58 Sayfa

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile saf Cu içerisine %0,5 , %1 , %1,5, %2, %2,5 oranlarında karbon nanotüp (KNT) ve nano Al₂O₃ ilave edilerek üretilen kompozitlerin aşınma davranışları ve elektrik iletkenliği incelenmiştir. Çalışma kapsamında ticari olarak temin edilen Cu tozları içerisine KNT ve Nano Al₂O₃ tozları mekanik öğütme cihazında 5 farklı öğütme süresinde mekanik öğütülerek karbon nanotüp takviyeli kompozit tozlar ve Nano Al₂O₃ takviyeli kompozit tozlar üretilmiştir. Üretilen kompozit tozların tane boyut ölçümleri yapılarak optimum öğütme süresi (KNT için 360 dk nano Al₂O₃ 240 dk) belirlenmiştir. Optimum sürede öğütülen tozlar 600 MPa kuvvet altında soğuk preslenerek Ø12 mm çapında 7 mm yüksekliğinde önşekillendirilmiş numuneler elde edilmiştir. Ön şekillendirilen bu numuneler atmosfer kontrollü fırın içerisinde 1000 °C’de 1 saat sinterlenmiştir. Sinterleme işleminden sonra numunelerin yoğunluk ölçümleri, sertlik ölçümleri,

aşınma testleri ve elektrik iletkenlik testleri yapılarak üretilen numuneler karakterize edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda çeşitli oranlarda KNT ilave edilerek üretilen kompozitlerin yoğunluk sonuçlarına göre takviye elemanlarındaki artışa bağlı olarak (%1,5 KNT'ye kadar) artış gözlemlendiği ve bu artışın sebebinin KNT'lerin yapı içerisinde bulunan makro ve mikro boşluklara (porozitelere) yerleştiği %1,5'den fazla KNT ilave edilen kompozitler de ise yoğunluğun azaldığı görülmüştür. Sertlik ölçümleri ilave edilen KNT miktarı arttıkça sertlikte bir artış olduğu, en yüksek sertliğin saf Cu'a %1,5 KNT ilave edilen kompozitte görülürken %1,5'den daha fazla KNT ilave edilen kompozitlerde ise takviye fazının yapı içerisinde homojen dağıtılamaması sonucu sertlikte düşüş meydana gelmektedir. Yapılan aşınma testleri sonucunda sertlik ve ağırlık kayıplarının birbirini desteklediği görülmüştür. En düşük ağırlık kaybı %1,5 KNT ilave edilen kompozitlerde ölçülmüştür. Elektrik iletkenliği testleri sonucu en yüksek elektrik iletkenlik değeri %1,5 KNT ilave edilen kompozitlerde elde edilmiştir. Yine aynı şekilde Nano Al₂O₃ ilave edilen kompozitlerin yoğunluğu, numunedeki % Al₂O₃ miktarı arttıkça azaldığı belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri ise ilave edilen Nano Al₂O₃'lerin miktarı arttıkça sertliğin azaldığı görülmüştür. Yapılan aşınma testleri sonucunda sertlik ve ağırlık kayıpları birbirini desteklediği görülmüştür. En yüksek ağırlık kaybı ise %2,5 nano Al₂O₃'de olduğu gözlemlenmiştir. Elektrik iletkenliği testleri sonucu en yüksek elektrik iletkenliği %0,5 nano Al₂O₃ ilave edilen numunelerde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Toz metalürjisi, KNT, Nano Al₂O₃, aşınma, elektrik iletkenliği, sertlik.

Bilim Kodu : 915.1.193

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN INVESTIGATION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND WEAR RESISTANCE OF Cu MATRIX NANO COMPOITES PRODUCED BY POWDER METALLURGY METHOD

Fatih TAŞDEMİR

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK

December 2017, 58 Sayfa

In this study the effect of carbon nanotube and nano Al₂O₃ content on the wear behaviours and electrical conductivity of Cu-CNT and Cu- Al₂O₃ composites produced by powder metallurgy method was investigated. The scope of the study five different amount of carbon nanotube and nano Al₂O₃ (%0.5, % 1.0, % 1.5, %2.0, % 2.5) were added into pure Cu powders and mechanical milled 360 and 240 min. respectively. The mechanical milled Cu-CNT and Cu- nano Al₂O₃ powders were pre shaped by cold pressing under 600 MPa load. Pre-shaped samples were sintered in atmosphere controlled furnace at 1000 °C for 1 hour. Microstructure examinations, density and hardness measurements, wear tests and electrical conductivity tests were carried out. As a result of the study the density, hardness and electrical conductivity values were increased with increasing CNT content up to 1.5%. Then, decreased with

increasing CNT content. Wear test results were compatible with hardness results. The lowest weight losses were measured with 1.5% CNT content. In the different amount of nano Al₂O₃ samples, the density values were increased by increasing nano Al₂O amount. The hardness values were decreased with increasing Al₂O₃ amount. Wear test results were compatible with hardness results. The highest weight loss was measured with 2.5% Al₂O₃ content. The maximum electrical conductivity value was measured with 0.5% Al₂O₃ amount.

Key Word : Powder metallurgy, CNT, Nano Al₂O₃, wear, electric conductivity, hardness.

Science Code : 915.1.193

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumun da ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e ve ayrıca, araştırma ve yazım aşamasında bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Musa YILDIRIM ile değerli dostlarım Ali Osman KALENCİ ve Emirhan Can BÜYÜKKAYACI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu Yüksek Lisans Tez alıŐması, Karabük Üniversitesi Rektörlüğü BAP Komisyonu tarafından KBÜ-BAP-15/2-YL-035 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
BAKIR VE ALAŞIMLARI	3
2.1. BAKIR VE ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ.....	3
2.2. BAKIR ÜRETİMİ.....	3
2.3. SAF BAKIRA İLAVE EDİLEN ALAŞIMLAR.....	4
BÖLÜM 3	6
KOMPOZİT MALZEMELER.....	6
3.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ.....	6
3.1.1. Hafiflik	6
3.1.2. Rijitlik Ve Boyutsal Kararlılık.....	6
3.1.3. Yüksek Mekanik Özellikler	7
3.1.4. Yüksek Kimyasal Direnç	7
3.1.5. Yüksek Isıl Dayanım	7
3.1.6. Elektriksel Özellikler	7
3.2. KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	7

	<u>Sayfa</u>
3.2.1. Polimer Matrisli Kompozitler	7
3.2.2. Seramik Matrisli Kompozitler	8
3.2.3. Metal Matrisli Kompozitler	8
3.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	9
3.3.1. Sıvıdan Üretim.....	9
3.3.2. Katıdan Üretim	10
3.3.3. İn-Situ Üretim.....	10
BÖLÜM 4	11
MEKANİK ALAŞIMLAMANIN TANIMI VE TARİHÇESİ	11
4.1. İŞLEM PARAMETRELERİ	12
4.1.1. Öğütme Tipi.....	13
4.1.2. Öğütme Kabı.....	13
4.1.3. Öğütme Hızı.....	13
4.1.4. Öğütme Süresi	14
4.1.5. Öğütme Malzemeleri	14
4.1.6. Bilya-Toz Ağırlık Oranı	14
4.1.7. Kabın Doluluk Oranı	15
4.1.8. Öğütme Atmosferi	15
4.1.9. İşlem Kontrol Kimyasalları	15
4.1.10. Öğütme Sıcaklığı	16
4.2. ALAŞIMLAMA MEKANİZMASI	16
4.2.1. Sünek-Sünek Sistemi	16
4.2.2. Sünek-Gevrek Sistemi	17
4.2.3. Gevrek-Gevrek Sistemi	17
BÖLÜM 5	18
AŞINMA	18
5.1. AŞINMANIN TEMEL UNSURLARI	19
5.2. TRİBOLOJİK SİSTEM.....	19
5.3. AŞINMA ÇEŞİTLERİ	21
5.3.1. Adhesiv Aşınma Mekanizması (Yapışma Aşınması).....	22

	<u>Sayfa</u>
5.3.2. Abrasiv Aşınma Mekanizması.....	23
5.3.3. Yorulma Aşınması.....	26
5.3.4. Eroziyon Aşınma.....	27
5.3.5. Öğütmeli Aşınma (Grinding Wear).....	28
5.3.6. Oymalı Aşınma (Gouging Wear).....	28
5.3.7. Kazımalı Aşınma (Fretting Wear).....	29
5.3.8. Tribosüblimasyon Ve Difüzyon Aşınması.....	29
5.3.9. Termal Aşınma (Termal Etkenler).....	30
BÖLÜM 6.....	31
MALZEME VE METOT.....	31
6.1. TOZLARIN HAZIRLANMASI VE ÖĞÜTÜLMESİ.....	32
6.2. SOĞUK PRESLEME İŞLEMİ.....	32
6.3. SİNERLEME.....	34
6.4. METALOGRAFİK İŞLEMLER.....	34
6.5. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ.....	35
6.6. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ.....	35
6.7. AŞINMA TESTLERİ.....	35
6.7.1. Aşınma Deney Cihazı.....	35
6.7.2. Karşılık Diski Ve Malzemesi.....	36
6.7.3. Aşınma Deneyleri.....	36
BÖLÜM 7.....	37
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA.....	37
7.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ.....	37
7.2. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ.....	40
7.3. SERTLİK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ.....	41
7.4. ELEKTRİK İLETKENLİĞİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ.....	42
7.5. AŞINMA TESTLERİ.....	43
7.5.1. Aşınma Yüzeyi SEM Görüntüleri.....	47

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 8	50
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	58



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Saf bakır üretimi	4
Şekil 2.2. Alaşım elementlerinin etkilerinin şematik gösterimi.....	5
Şekil 5.1. Tribolojik sisteme giren enerji dağılımı	20
Şekil 5.2. Tribolojik sistemin elemanları.....	20
Şekil 5.3. Yapışan bir transfer malzemenin şematik görünüşü.....	23
Şekil 5.4. Kum taşının geçişi sırasındaki yüzey deformasyonunun görüntüsü.....	24
Şekil 5.5. Abrasiv aşınma mekanizmasının şematik olarak gösterimi	25
Şekil 5.6. Abrasiv aşınma; iki elemanlı ve üç elemanlı	25
Şekil 5.7. Yorulma aşınmasında yüzeyde çatlamanın başlaması ve artarak devam etme sürecinin şematik görüntüsü.....	26
Şekil 5.8. Erozif aşınma mekanizması.....	27
Şekil 5.9. Bir kesici uçta meydana gelen kendi kendine bilenmesinin oluşumunun şematik olarak gösterilmesi.....	28
Şekil 5.10. Oymalı aşınma	29
Şekil 6.1. Elementel tozların karıştırılmasında kullanılan mekanik alaşımlama/öğütme cihazının görüntüsü.	32
Şekil 6.2. Deney numunelerinin preslendiği “HİDROLİK SAN” marka pres.	33
Şekil 6.3. Numunelerin şekillendirilmesinde kullanılan metal kalıp.....	34
Şekil 6.4 Sinterleme fırını.	34
Şekil 6.5 SHİMADZU marka mikro sertlik cihazı	35
Şekil 6.6 Aşınma test cihazı görüntüsü.....	36
Şekil 7.1. Cu-KNT kompozitlerin optik mikroskop görüntüsü	37
Şekil 7.2. Cu-KNT kompozitlerin SEM görüntüsü	38
Şekil 7.3. Cu- Nano Al ₂ O ₃ kompozitlerin SEM görüntüsü	39
Şekil 7.4. Farklı miktarda KNT ve Nano Al ₂ O ₃ ilave edilen kompozitlerin yoğunluk ölçümleri.....	40
Şekil 7.5 Farklı miktarda KNT ve Nano Al ₂ O ₃ ilave edilen kompozitlerin sertlik ölçümleri	41
Şekil 7.6. Farklı miktarda KNT ve Nano Al ₂ O ₃ ilave edilen kompozitlerin elektrik iletkenliklerinin ölçümleri	42

Sayfa

Şekil 7.7. Farklı miktarlarda KNT ilave edilen kompozitlerin ağırlık kayıpları grafikleri.	43
Şekil 7.8. Farklı miktarlarda KNT ilave edilen kompozitlerin sürtünme katsayıları grafikleri.	44
Şekil 7.9. Farklı miktarlarda Nano Al ₂ O ₃ ilave edilen kompozitlerin ağırlık kayıpları grafikleri.	45
Şekil 7.10. Farklı miktarlarda Nano Al ₂ O ₃ ilave edilen kompozitlerin sürtünme katsayıları grafikleri.	46
Şekil 7.11. Farklı miktarlarda KNT ilave edilerek üretilen kompozitlerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.	47
Şekil 7.12. Farklı miktarlarda nano Al ₂ O ₃ ilave edilerek üretilen kompozitlerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 6.1. Deneysel çalışmada kullanılan (Nano Al ₂ O ₃) malzemelerin kimyasal bileşimleri.....	31
Çizelge 6.2. Deneysel çalışmada kullanılan (KNT) malzemelerin kimyasal bileşimleri.....	31



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Cu	: Bakır
Al	: Alüminyum
B	: Bor
Ni	: Nikel
SiC	: Silisyum Karbür
Al ₂ O ₃	: Alümina
TiC	: Titanyum karbür
Cr	: Krom
P	: Fosfor
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum
Sn	: Kalay
Be	: Berilyum
Co	: Kobalt
As	: Arsenik
Si	: Silisyum
Fe	: Demir
Mn	: Mangan

KISALTMALAR

MA : Mekanik Alaşımlama

MÖ : Mekanik Ögütme

KNT : Karbon Nanotüp

T/M : Toz Metalürjisi

MMK : Metal Matrisli Kompozitler

HMV : Hardness Micro Vickers (Mikro Vickers Sertlik)

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüz teknolojileri her zaman gelişme ve daha iyi malzeme üretme arzusunda. Yeni ve en iyiyi üretme de insan ihtiyaç ve isteklerine göre şekillenir. Otomotiv gibi insanların bu isteklerine göre gelişen sektörlerde kaynak ve kaynak teknolojileri büyük önem taşır. Bu açıdan sektörde kullanılan bazı ekipmanların elektrik iletkenliğinin ve aşınma dayanımının iyi olması istenir.

Bakır alaşımları yüksek performansları sebebiyle iletkenliğin önemli olduğu alanlarda yaygın olarak kullanılan çok önemli alaşımlardır. Bu alaşımların en büyük dezavantajları mekanik özelliklerinin (özellikle aşınma dayanımı) düşük olmasıdır. Alaşımlandırma işlemlerinin yanında, uygulanan ısıtma işlemleri bu özellikleri geliştirilmektedir [1]. En yaygın kullanılan ısıtma işlemi ise yaşlandırma ısıtma işlemleridir. Yaşlandırma ısıtma işlemi bakır alaşımlarının mekanik ve elektrik iletkenliği özelliklerinin olumlu bir şekilde artmasına neden olan ve en çok kullanılan yöntemlerden birisidir [2,3]. Bu yüzden alaşımlarında (örneğin Cu-Cr-Zr alaşımları) iyi dayanım ve elektrik iletkenliği istendiğinde yaşlandırma ısıtma işlemi kullanılmaktadır. Bu alaşımlarda meydana gelen yüksek sertlik, yaşlanma ile yapıda oluşturulan ikinci faz çökeltiler boyunca meydana gelen dislokasyonlar ve çökeltilerin oluşmasıyla sağlanan dağılım mukavemetlenmesi ile elde edilmektedir.

Cu alaşımları, otomotiv sektörünün yanı sıra yüksek elektrik iletkenliklerinden dolayı metro ve raylı sistemlerde akım geçiş hatlarında bağlantı elemanları olarak tercih edilmektedir [4]. Bu nedenle bu alaşımların elektrik iletkenliklerinin yanı sıra aşınma özellikleri de önemli olmaktadır. Bu alaşımlar demir esaslı malzeme ile karşılaştırıldığında daha düşük aşınma direncine sahiptir. Yapılan yaşlandırma ile mukavemeti artırılarak aşınma dayanımları (özellikle yüzey sertlikleri artırıldığında, düşük oranlarda alaşımlandırılarak yüksek termal iletkenlik de arttırmaktadır)

iyileştirilebilir [5]. Ayrıca son yıllarda bu alaşıma ilave edilen çeşitli takviye elemanları ile Cu matrisli üretilen kompozitlerde dayanım arttırılmaktadır.

Karbon nanotüpler çapları ve boylarına bağlı olarak, çok yüksek elastikiyet modülüne sahip olması (yaklaşık 1 TPa) çekme dayanımı değerlerinin yüksek olması (150 GPa, aynı ağırlıktaki çeliğin 5 katı elastikiyet modülü, 100 katı çekme dayanımı). mekanik özelliklerin yanı sıra $6000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ değerlerine ulaşan termal iletkenlik özellikleri gibi üstün özelliklerinden dolayı malzemelere ilave edilerek kompozitler üretilmeye başlanmıştır. Takviye fazı olarak karbon nanotüp kullanılarak üretilen bu kompozitlerin mekanik dayanımları kendi monolitik alaşımlarından daha yükseğe çıkabilmektedir. Karbon nanotüp takviyeli kompozitlerde karşılaşılan en büyük problem yüzey enerjisinin çok yüksek olması ve tane boyutunun çok küçük olmasından dolayı takviye fazının yapı içerisinde homojen dağıtılamamasıdır. Bu yüzden geleneksel üretim metodu olan döküm yöntemi ile üretilmeleri çok zordur. Son yıllarda karbon nanotüp takviyeli metal matrisli kompozitler hakkında yapılan çalışmalar incelendiğinde toz metalürjisi yöntemi olan mekanik öğütme yöntemi kullanılarak matris yapı içerisinde takviye fazının dağılımının sağlanabildiği, mekanik özelliklerinin arttırılabildiği başarılı çalışmalar bulunmaktadır [6-9].

Diğer bir takviye malzemesi olan alümina, en yaygın olarak otomobil sektöründe ve laboratuvar uygulamalarında kullanılmaktadır. Üretiminde alümina kullanılan malzemeler bulamaç dökümle (slip-cast), ekstrüzyon, enjeksiyon, soğuk ve sıcak presleme teknikleri ile yapılmaktadır. Bu malzemelerin üretiminde polyester esaslı (polivinil alkol, lateks, doğal reçine gibi) organik malzemeler kullanılmaktadır. En yaygın üretim şekli ise Sol-Jel yöntemidir [10]. Bu malzemeler özellikle yüksek sıcaklık fırınlarında tercih edilmektedir. Bununla birlikte, tekstil sektöründe, elektronik endüstrisinde, savunma sanayinde ve biyouyumlu malzemelerin üretiminde de kullanılmaktadır. Ayrıca kompozitlerde yaygın olarak takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada saf Cu içerisine çeşitli oranlarda KNT ve nano Al_2O_3 ilave ederek üretilen kompozitlerin elektrik iletkenliği ve aşınma davranışları incelenmiştir.

BÖLÜM 2

BAKIR VE ALAŞIMLARI

2.1. BAKIR VE ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Bakır alaşımlarının endüstriyel olarak kullanımındaki artışın en önemli nedeni, şekillendirilme özelliği ile birlikte, elektrik ve ısı iletkenliklerinin yüksek olmasıdır. Bu özelliklerinden dolayı iletim hatlarında, günlük kullanılan eşyaların üretiminde ve ısıtma/soğutma sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bakır 300-370 °C arasında sıcak kırılma ı ına uğradığı için, plastik şekillendirme işlemleri genellikle 700-900 °C sıcaklık aralığında yapılmaktadır [11].

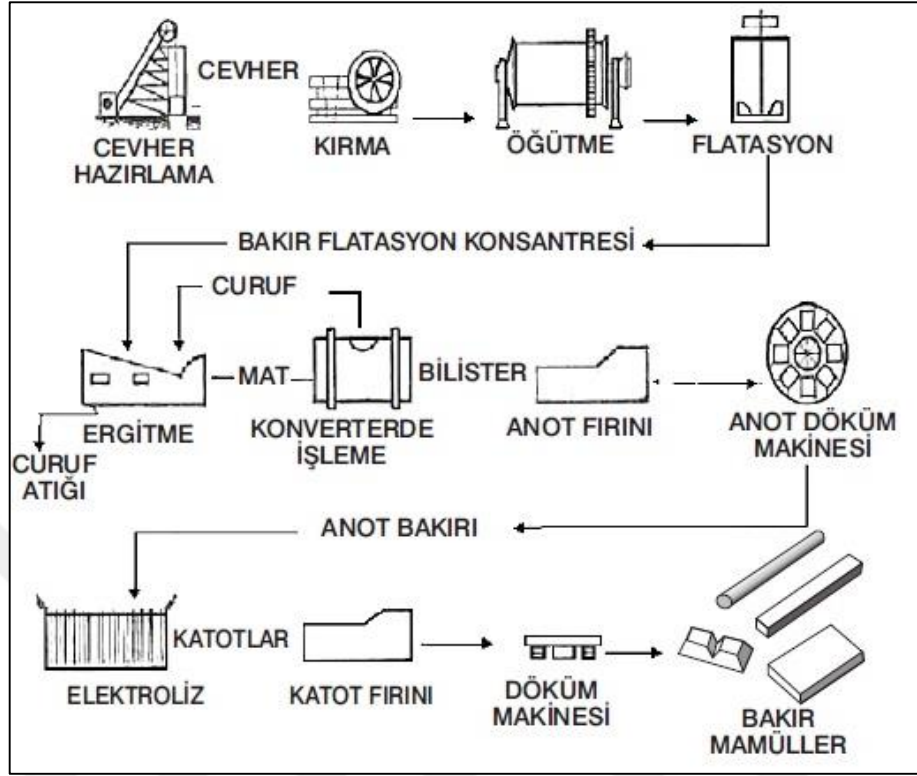
Yüzey merkez kübik (YMK) kristal yapıya sahip olması nedeniyle, kolay şekillendirilebilme özelliğine sahip olan bakırın, şekillendirme işlemleri sırasında ilave bir ısıtılma işlemine gerek kalmamaktadır. Bu nedenle de özellikle yüksek iletkenlik gerektiren sektörel ürünlerin imalatında kullanılmaktadır.

2.2. BAKIR ÜRETİMİ

Bakır üretimi kademeleri şu şekilde özetlenebilir:

- Bakır cevherinin hazırlanması
- Öğütme işlemleri
- Zenginleştirme işlemleri
- Ergitme ile mattan üretim
- Konvertörde bilister olarak üretim
- Anot fırınında anota bakır dönüştürme
- Elektrolizde katot bakır yapımı
- Ergitilerek külçe halinde [12].

Şekil 2.1’de saf bakır üretimi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Saf bakır üretimi [13].

2.3. SAF BAKIRA İLAVE EDİLEN ALAŞIMLAR

Saf bakıra ilave edilen bazı alaşım elementleri sağladığı avantajlar açısından iki grupta incelenmektedir.

Dayanım artırıcı alaşım elementleri

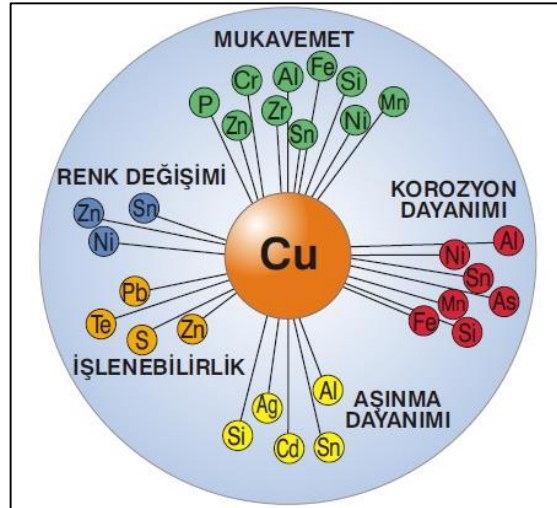
- Krom
- Alüminyum
- Fosfor
- Demir
- Silisyum
- Manganez
- Çinko

- Zirkonyum
- Kalay
- Nikel
- Berilyum
- Kobalt

Korozyon dayanımını arttırıcı alaşım elementleri

- Nikel
- Alüminyum
- Kalay
- Manganez
- Arsenik
- Demir
- Silisyum

Şekil 2.2’de bakıra ilave edilen alaşımların etkileri şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Alaşım elementlerinin etkilerinin şematik gösterimi [14].

BÖLÜM 3

KOMPOZİT MALZEMELER

İki veya daha çok malzemenin arzu edilen özelliklerinin makro seviyede bir araya getirilmesiyle üretilen malzemeler “kompozit” olarak adlandırılmaktadır. Bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri birbirinden farklıdır. Bu malzemelerden biri ana malzeme, diğeri ise takviye elemanı olarak tanımlanmaktadır. En belirgin farklılığı ise kompozitin özelliğinin, kendini oluşturan maddelerden farklı özelliklere sahip olmasıdır.

3.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Kompozit malzemelerin özellikleri hafiflik, rijitlik ve boyutsal kararlılık, yüksek mekanik özellikler, kimyasal direnç, ısı dayanım ve elektriksel olarak sıralanmaktadır.

3.1.1. Hafiflik

Hafiflik özelliği göz önüne alındığında, polimer kompozitlerin yaklaşık 1,5-2 gr/cm³ yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. Metal matrisli kompozit malzemeler ise, 2,5-4,5 gr/cm³ yoğunluk aralığındadır. olmakla beraber, seramik kompozitler ise ikisinin arasındadır.

3.1.2. Rijitlik Ve Boyutsal Kararlılık

Kompozit malzemeler düşük genleşme katsayısına ve boyutsal kararlılığa sahip olmakla birlikte, oldukça sert bir malzeme grubunu teşkil etmektedir.

3.1.3. Yüksek Mekanik Özellikler

Mekanik özellikleri oldukça yüksektir.

3.1.4. Yüksek Kimyasal Direnç

Endüstriyel amaçlı kullanılan birçok kimyevi malzemeye, asitlere, çözücülere ve atmosferik ortamlara karşı oldukça dayanımlı malzemelerdir.

3.1.5. Yüksek Isıl Dayanım

Kompozitlerin ısıl dayanımları, geleneksel polimerler malzemelere göre daha yüksektir.

3.1.6. Elektriksel Özellikler

Bu malzemelerin elektrik ve ısıl özellikleri, kullanım alanına göre tasarlanabilmektedir. Bununla birlikte, metal matrisli kompozit malzemeler (MMK) iletken malzemelerdir.

3.2. KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemeler hem matris malzemesine, hem de takviye fazının şekline ve türüne göre sınıflandırılmaktadır. Matris malzemesine göre kompozitler;

- Polimer matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Metal matrisli kompozitler olarak üç gruba ayrılmaktadır.

3.2.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler, düşük yoğunluk, ekonomiklik, kolay üretilebilirlik, mekanik özellikleri ve yalıtkanlıklarından dolayı tercih edilmektedir. Polimer

matrisli kompozitlerin ısı dayanımları, genellikle matris tarafından belirlenmektedir. Bu malzemelerin ısı dayanımlarının zayıf olması ise dezavantajdır.

Polimer matrisli kompozitler yayma yöntemi, basma ve transfer kalıplama, soğuk presleme, helisel sarma, torba kalıp ve profil çekme yöntemleri kullanılarak üretilmektedir [17].

3.2.2. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik matrisli kompozit (SMK) malzemeler, yüksek sıcaklık performansı istenen parçaların üretiminde kullanılmaktadır. SMK matris malzemesi olarak; Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu tür takviye fazları amaca bağlı olarak ayrı ayrı veya birlikte kullanılabilir. Savunma sanayinde kullanılan bazı parçalar ile uzay ve havacılık sektörü, bu malzemelerin tercih edildiği en önemli sektörlerdir [18].

3.2.3. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler, ana yapıyı metalin oluşturduğu takviye elemanı olarak, seramiklerin veya refrakterlerin kullanıldığı malzemelerdir. MMK malzemeler, metal ve takviye elemanının üstün özelliklerini birleşmesi sonucunda, yüksek dayanım/yoğunluk, yüksek elastikiyet modülü, yüksek mukavemet gibi özelliklere sahiptir. MMK'lerde matris malzemesi olarak, yoğunluğu düşük olan metaller tercih edilmektedir. Yoğunluğun düşük olması, korozyon direnci ve birçok seramik malzemeyi ıslatabilirliğinin yüksek olmasından dolayı, MMK'lerde Al alaşımları en çok tercih edilen alaşım grubudur.

Al yanı sıra Ti, Mg Cu gibi diğer metal ve alaşımları da, matris malzemesi olarak kullanılmaktadır [18]. Metal matrisli kompozitlerin metal ve alaşımlarına göre üstün özellikleri şunlardır;

- Yüksek elastikiyet modülü.
- Yüksek mukavemet.

- Yüksek tokluk ve darbe özellikleri.
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik.
- Termal genleşmeler ve iyi sürünme direnci.
- Üretildiği özellikleri muhafaza etmesi.
- Yüksek yüzey kalitesi.
- Tasarım, üretim, şekillendirme ve birleştirme altyapıları [15-16].

3.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Bu malzemelerin mekanik davranışları, matris ile takviye elemanı arasında meydana gelen ıslatma performansı ile ilişkilidir. Islatma, matris ile takviye elemanı arasındaki bağ oluşturabilme özelliğinin bir sonucudur ve tercih edilen üretim yöntemi ile ilişkilidir. Üretim yöntemleri, üç guruba ayrılmaktadır [17].

- Sıvıdan üretim
- Katıdan üretim
- İn-situ üretim

3.3.1. Sıvıdan Üretim

Sıvı hal üretim işlemleri, sıvı haldeki matrisin, takviye fazı ile teması ve aralarında bir bağ oluşturması ile yapılan bir üretim modelidir [17]. Sıvıdan üretim yöntemleri;

- İnfiltrasyon
- Sıkıştırılmalı döküm
- Basınçlı döküm
- Yarı katı döküm
- Karıştırılmalı döküm
- Püskürtme çökmesidir.

3.3.2. Katıdan Üretim

Katıdan üretim teknikleri, matrisin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta, farklı işlemler uygulanması ile yapılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan katı hal üretim yöntemlerinin başlıcaları;

- Toz metalürjisi
- Difüzyonla birleştirme
- Sıcak haddelemedir.

3.3.3. İn-Situ Üretim

Bu kompozit üretim yöntemlerinde matris faz içerisinde yeni fazların oluşturulması ve bu fazlardan bazılarının takviye elemanı gibi davranması söz konusudur. Bu işlemlerde, farklı birkaç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

- Ötektiklerin yönlü katılaştırılması
- Tercihli yönlendirilmiş metal oksidasyonu
- Ekzotermik reaksiyon işlemidir.

BÖLÜM 4

MEKANİK ALAŞIMLAMAMANIN TANIMI VE TARİHÇESİ

İlk olarak 1966 yılında uygulanan mekanik alaşımlama tekniği 1970'lerden bu yana bilyalı öğütme teknikleri uygulanarak dağılım mukavemetlendirilmiş süper alaşımların üretilmesinde kullanılmaktadır. Benjamin ilk çalışmalarında klasik toz ve ergiyik enjeksiyon yaklaşımını denemiş ve bu yaklaşımın başarısız olması üzerine yüksek enerjili mekanik öğütmeye yönelmiştir. Karmaşık bir alaşımda istenen oksit dağılımlarının elde edilmesi, mekanik öğütmenin başarılı bir yöntem olduğunu ortaya çıkarmakla birlikte yüksek sıcaklık mukavemeti iyi olan bir alaşım üretmek uzun zaman almıştır. Bu probleme çözüm olarak; termomekanik işlem kontrolü ve ikinci yeniden kristalleşme işlemiyle elde edilen kaba taneli yapı ortaya çıkmıştır.

Metalürjik gelişmelerin yönü pek çok dış kuvvetler tarafından etkilenmiştir. Bunların en önde gelenlerinden birisi uçak motorlarındaki gaz türbinlerinin gelişimidir. Bu nedenle artan türbin çalışma sıcaklıklarıyla başa çıkmak için daha kuvvetli, rijit, hafif ve korozyona daha dirençli malzemeler geliştirilmiştir.

Ciddi mühendislik malzemeleri olan kompozit ve seramiklerin devreye girmesiyle metal ve alaşımlarının gelecekteki rolü işlem gelişiminin etkisine ve kalitesine bağımlı olacaktır. Alaşım gelişimi için mevcut çizgiler, yeni ve kaliteli bir teknoloji olan mekanik alaşımlama, normalde uyumsuz olan bileşenlerin elde edilmesinde önemli bir yeterlilik arz eder. İşlemin esnekliği, klasik alaşımların yanında yarı kararlı fazlar, amorf fazlar, intermetalikler ve hatta sermetler ve organik-seramik-metalik malzeme sistemlerine uzanmaktadır. Oksit dağılımlı mukavemetlendirilmiş (ODS) alaşımlar bunun bir örneğidir. Bunların büyük avantajı nispeten ergime noktalarına yakın sıcaklıklarda dahi mukavemetlerini korumaktadırlar. Ni-ThO₂ asıllı basit ODS alaşımları bir süredir piyasada kullanılmaktadır [18]. Bunların

üretmesinde kullanılan çeşitli kimyasal işlemler daha karmaşık alaşımlar için uygun değildir.

Sinterlenmiş alüminyum tozları (SAT) gibi basit ODS sistemlerinde mekanik öğütme işlemleri kullanılmıştır. Fakat süper alaşımlarda etkili bir mukavemet için ince bir dağılım elde edebilmek, daha yüksek enerjili ve daha karmaşık bir alaşımlama gerektirir. Mekanik alaşımlamanın sonuçları bu işlemi önemli bir konuma getirir ve bütün bu işlem gelişmeleri sonucunda ortaya çıkan mekanik alaşımlama (MA), malzeme gelişimi için potansiyel olarak en güçlü araçlardan birisidir [18].

4.1. İŞLEM PARAMETRELERİ

MA karmaşık bir işlemdir ve bu yüzden istenen fazı veya mikro yapıyı üretmek için bazı değişkenlerin optimizasyonunu içerir. Önemli parametrelerin bazıları tozun son bileşimi üzerinde bir etkiye sahiptir. Bu parametreler:

- Öğütme tipi
- Öğütme kabı
- Öğütme hızı
- Öğütme süresi
- Öğütücü malzemelerin tipi ve şekli
- Bilya-toz oranı
- Kabın doldurulma miktarı
- Öğütme atmosferi
- İşlem kontrolü ve
- Öğütme sıcaklığıdır.

Bu değişkenlerin hepsi tamamen bağımsız değildir. Mesela, optimum öğütme zamanı, öğütme tipine bağlıdır. Öğütme malzemelerinin boyutu, öğütme sıcaklığı, bilya toz oranı vs. gibi parametrelerde büyük önem arz etmektedir.

4.1.1. Öğütme Tipi

Yukarıda tanımlandığı gibi MA işleminin yapılabilmesi için farklı değirmen tipleri kullanılmaktadır. Bu değirmenlerin kapasitesi, uygulama hızı ve minimum kirlenme miktarı ve öğütme sıcaklığı kontrol edilebilmektedir. Uygun bir değirmen seçimi tozun tipine, miktarına ve istenen son bileşime bağlıdır. Bundan dolayı SPEX çalkalayıcı değirmenler, alaşımı muhafaza etmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Planeter bilyalı değirmenler veya atritörler büyük miktarlarda toz üretiminde kullanılmaktadır.

4.1.2. Öğütme Kabı

Öğütme kabı için kullanılan malzeme, kabın iç duvarları üzerinde öğütücü malzemelerin çarpması sebebiyle önemlidir. Bazı malzemeler önce kabın duvarına yapışacak ve sonra yapıştığı yerden çıkarak toza karışacaktır. Bu durum tozun kimyasını değiştirebilir veya kirlenmesini sağlayabilir. Eğer öğütme kabının malzemesi tozdan farklıysa, toz öğütme kabı malzemesiyle kirlenmiş olur. Diğer bir ifadeyle, eğer iki malzeme de aynıysa ve uygun tedbirler alınmazsa toz içindeki elementlere ilaveten kabın iç duvarlarından kopan malzeme de toza karışacak ve kirlenmeye sebep olacaktır. Öğütme kabı için kullanılan malzemeler sertleştirilmiş çelik, takım çeliği, sertleştirilmiş krom-çelik, temperlenmiş çelik, paslanmaz çelik, WC-Co ve WC kaplı çeliklerdir [19].

4.1.3. Öğütme Hızı

Değirmenin daha hızlı ve yüksek devirlerde çalışması sırasında toz içine bir enerji girişi olmaktadır. Fakat değirmenin tasarımına bağlı olarak kullanılan maksimum hızın kesin sınırları vardır. Örneğin, klasik bir bilyalı değirmende dönme hızının artmasıyla bilya hareketi de artacaktır. Kritik bir hızın üzerinde bilyalar kabın iç duvarlarına çarpacaklar ve çarpma etkisiyle tam aşağı düşmeyeceklerdir. Bu yüzden maksimum hızda, maksimum sürtünme enerjisi üretmek için maksimum yükseklikten bilyaların aşağı düşmesi sadece kritik değerlerin altında olmasıyla mümkündür.

4.1.4. Öğütme Süresi

Öğütme süresi çok önemli bir parametredir. Normalde, toz parçacıklarının soğuk kaynağı ve kırılması arasındaki sabit bir konumu başarmak için süre çok hassas olarak seçilir. İstenen süreler kullanılan değirmen tipine, öğütme yoğunluğuna, bilya-toz oranına ve öğütme sıcaklığına bağlı olarak belirlenir. Bu süreler özel toz sistemleri ve üst parametrelerin her kombinasyonu için karar verilmesi gerekir. Fakat, toz istenenden daha uzun sürelerde öğütülürse bazı istenmeyen faz şekilleri ve kirlenme seviyesinde artış olduğunun da bilinmesi gerekir. Bu yüzden toz sadece belirlenen süre kadar öğütülmelidir.

4.1.5. Öğütme Malzemeleri

Sertleştirilmiş çelik, takım çeliği, sertleştirilmiş krom çeliği, temperlenmiş çelik, paslanmaz çelik ve WC-Co yaygın olarak kullanılan öğütme malzemeleridir. Öğütme malzemesinin yoğunluğu, tozların üzerinde yeterli çarpma gücünü oluşturması için bilyalarda yeterince yüksek olmalıdır. Bununla beraber, öğütme kabında olduğu gibi öğütücü elemanlar için de bazı özel malzemeler kullanılmaktadır. Bunlar bakır, titanyum, niobyum, zirkonya (ZrO_2), yitriya ile stabilize edilmiş zirkonya (YSZ) özellikle stabilize edilmiş zirkonya+yitriya, safir, silikon nitrit (Si_3N_4) ve Cu-Be'dir [20, 21]. Toz öğütülürken karşılıklı kirlenme olduğu gibi, mümkün olduğunca her zaman öğütme kabı ve öğütme malzemelerinin aynı malzemedan olması istenir.

4.1.6. Bilya-Toz Ağırlık Oranı

Bazen şarj oranı olarak da tanımlanan bilya-toz ağırlık oranı (BTO) öğütme işleminde önemli bir değişkendir. Bu oran 1:1 gibi düşük bir değerden 220:1 gibi değişen aralıklarda kullanılmaktadır [22]. Genellikle, SPEX değirmen gibi küçük kapasiteli bir değirmende toz öğütülürken yaygın olarak 10:1 oranı kullanılır. Fakat öğütme bir atritör gibi geniş kapasiteli bir değirmende yapıldığında 50:1 veya 100:1 gibi yüksek değerler kullanılır.

4.1.7. Kabın Doluluk Oranı

Öğütme kabında toz parçacıkları ve bilyaların daha rahat hareket etmesi için yeterli boşluğa ihtiyaç vardır. Çünkü toz parçacıkları arasındaki alaşımlama büyük darbe kuvvetleri nedeniyle olmaktadır. Bu yüzden bilyalar ve tozlarla kabı doldurma miktarı önemlidir. Eğer bilya ve toz miktarı çok küçükse elde edilen ürün miktarı da az olacaktır. Eğer miktar büyükse zeminde bilyaların hareketi için yeterli boşluk olmayacağından darbe enerjisi de az olacaktır. Bu yüzden, tedbir olarak kabın %50' si doldurulmalıdır.

4.1.8. Öğütme Atmosferi

Öğütme atmosferinin en önemli etkisi tozun kirlenmesiyle ilgilidir. Bu yüzden tozlar ya hava boşaltılarak veya argon veya helyum gibi inert gazlar ile doldurulan öğütme kaplarında öğütülür. Yüksek saflıktaki argon, tozun kirlenmesini ve oksidasyonu engellemek için kullanılan en yaygın atmosfer ortamıdır. Oksidasyon bir azot ortamının olmasıyla genellikle minimize edilebilmekte veya engellenebilmektedir. Fakat titanyum veya titanyum alaşımları gibi reaktif elementler öğütüldüğünde ise bu olmamaktadır.

4.1.9. İşlem Kontrol Kimyasalları

Özellikle tozlar sünekse, öğütme sırasında ağır plastik deformasyon sebebiyle toz parçacıklar birbirleriyle soğuk kaynak olur. Fakat toz parçacıkları arasındaki doğru alaşımlama sadece parçacıkların soğuk kaynağı ve kırılma arasında denge kurulduğunda olur. Bir işlem kontrol kimyasalı (İKK) öğütme sırasında soğuk kaynak etkisini azaltmak için toz karışıma ilave edilir. İKK ları katı, sıvı veya gazlar olabilir. Yüzey aktif kimyasalları olarak görev yapan İKK ları genellikle kullanılan fakat çok fazla gerekli olmayan organik maddelerdir. İKK toz parçacıkları arasındaki soğuk kaynağı minimize eder, toz parçacıkların yüzeyinde emilir ve bu şekilde topaklaşmayı önler.

4.1.10. Öğütme Sıcaklığı

Öğütme sıcaklığı, öğütülmüş tozların bileşimine karar vermekteki bir başka önemli parametredir. Çünkü difüzyon işlemleri, elde edilen son fazın bir katı çözelti, intermetalik, nanoyapı veya bir amorf faz olup olmayacağı göz önünde bulundurulmayan alaşım fazlarının oluşumunu içerir. Öğütme sıcaklığı, her alaşım sisteminde çok önemli bir etkiye sahip olacaktır.

4.2. ALAŞIMLAMA MEKANİZMASI

Toz parçacıklarının yüksek enerjili öğütülmesi sırasında sürekli olarak ezilme, soğuk kaynak, kırılma ve yeniden kaynaklanma meydana gelir. İki çelik bilyanın çarpışmasıyla, bilyalar arasındaki kalan tozlar ezilir. Tipik olarak her çarpışma sırasında yaklaşık 0,2 mg'lık bir yığınla 1000 kadar toz tanesi ezilir. Darbenin etkisiyle toz parçacıklarında plastik deformasyon, çalışma sertleşmesi ve kırılma şeklinde devam eder. Toz taneciklerinin birbirlerine kaynaklanmasıyla yeni yüzeyler artar ve bu süreklilik tanecik boyutunda bir artış yaratır. Çünkü öğütmenin başlangıcında toz yumuşaktır. Birbirleriyle kaynaklanma ve büyük tanecik oluşturma eğilimi yüksektir. Toz tanecik boyutları, başlangıç tozlarının yaklaşık üç katı kadar artar. Bu aşamada kompozit tozlar başlangıç bileşiminin değişik kombinasyonlarını içeren karakteristik bir yapıya sahip olur. Devam eden deformasyonla kolay kırılabilen incelmış tozlar parçalanır veya bir yorulma bozunmasıyla çalışma sertleşmesine ve kırılmaya uğrar. Bu aşamada kırılma eğilimi soğuk kaynaktan daha yüksektir. Öğütücü bilyalarının devam eden darbe etkisiyle toz tane yapısı yavaş yavaş incelir. Buna rağmen parçacıkların boyutu aynı kalmaya devam eder. Sonuçta tabakalar arası boşluk azalır ve parçacık tabakaları artar.

4.2.1. Sünek-Sünek Sistemi

Bu sistem MA için ideal bir malzeme kombinasyonudur. Benjamin'e göre alaşımlamanın başarılı olması için en az %15 sünek bir malzemeye ihtiyaç vardır [23]. Çünkü doğru alaşımlama toz parçacıklarının soğuk kaynak ve kırılmanın tekrarlanmasıyla olur. Eğer parçacıklar sünek değilse soğuk kaynak olmayabilir.

4.2.2. Sünek-Gevrek Sistemi

Geleneksel ODS alaşımları bu kategoriye girer. Çünkü gevrek oksit parçacıkları sünek bir matriste dağılmıştır. Öğütmenin başlangıç aşamasında gevrek oksit veya intermetalik parçacıklar parçalanırlarken, sünek metal toz parçacıklar bilya-toz-bilya çarpışmalarıyla yassılaşırlar. Kırılmış gevrek tozlar, ezilen sünek tozların ve sünek bileşimlerin içinde kalır. Gevrek bileşim, katmanlar arası boşluklar boyunca ve yakın boşluklardan oluşmaktadır. Daha ileri öğütmede, sünek toz parçacıkları çalışma sertleşmesine uğramış, tabakalar karışmış ve incelmiş olur.

4.2.3. Gevrek-Gevrek Sistemi

İki veya daha fazla gevrek malzemeden oluşan bir sistemde alaşımlamanın mümkün olmadığı anlaşılmaktadır. Bundan dolayı sistemde sünek toz parçacıklarının olmaması soğuk kaynağı engeler ve bu şartlarda alaşımlama olması beklenmez.

Bununla beraber, Si-Ge ve Mn-Bi gibi bazı gevrek-gevrek sistemlerde alaşımlamanın olduğu da belirlenmiştir [24]. Gevrek intermetalik karışımların öğütülmesiyle de amorf fazlar elde edilebilmektedir.

BÖLÜM 5

AŞINMA

Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde mekanik etkenlere bağlı olarak meydana gelen malzeme kaybıdır. Birbirine sürtünerek çalışan makine elemanları arasında meydana gelen bağıl hareket ile her iki parçanın yüzeylerinde aşınma meydana gelmektedir. Yüzeylerde meydana gelen bozunma nedeniyle parçalar, kendilerinden istenen performansı sağlayamamaktadır [25].

Yüzeyleri temas eden makine parçalarında meydana gelen bu deformasyon türü, metal ve alaşımlarında korozyon ve yorulmadan sonra gelen en ciddi problemdir. Bu amaçla yapılan çalışmalar, temas yüzeylerindeki sürtünmeyi ve aşınmayı azaltma gidermek üzerine odaklanmaktadır. Aşınma sonucu oluşan yüzey deformasyonu engellenerek, boyutsal değişimler ve malzeme sarfı da önlenmektedir [26].

Ayrıca aşınma, dış etkenler altında temas yüzeylerinde meydana gelen fiziki değişimlerin sonucunda oluşmaktadır [27]. Mühendislik malzemelerinde meydana gelen deformasyonun aşınma olarak kabul edilebilmesi için ayılabilmesi için bazı şartların gerçekleşmesi gereklidir. Bunlar;

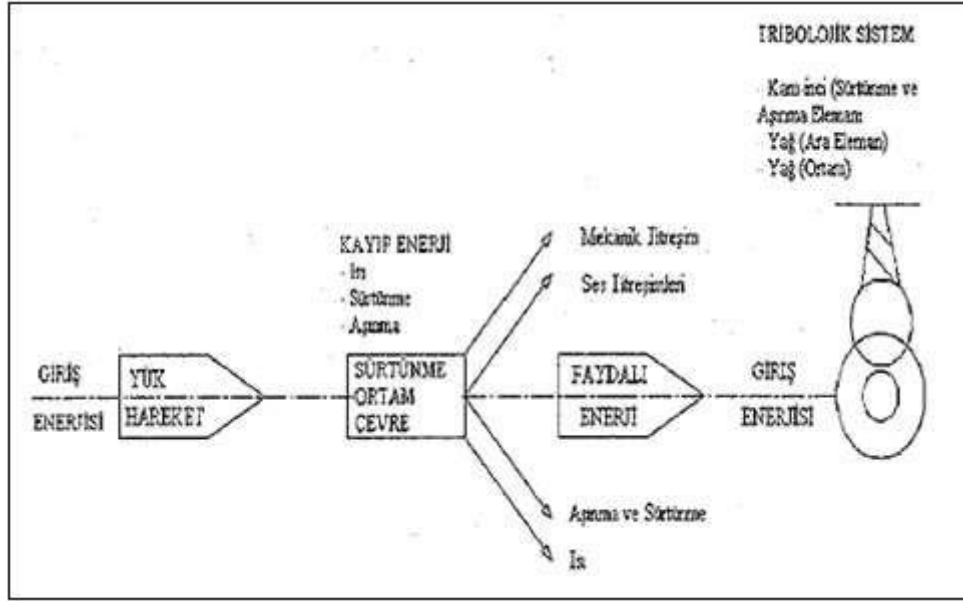
- Mekanik bir olaydan kaynaklanması,
- Sürtünme (bağıl hareketin) olması,
- Sürekliliği,
- Yüzey deformasyonu,
- Kontrolsüz olmasıdır.

5.1. AŞINMANIN TEMEL UNSURLARI

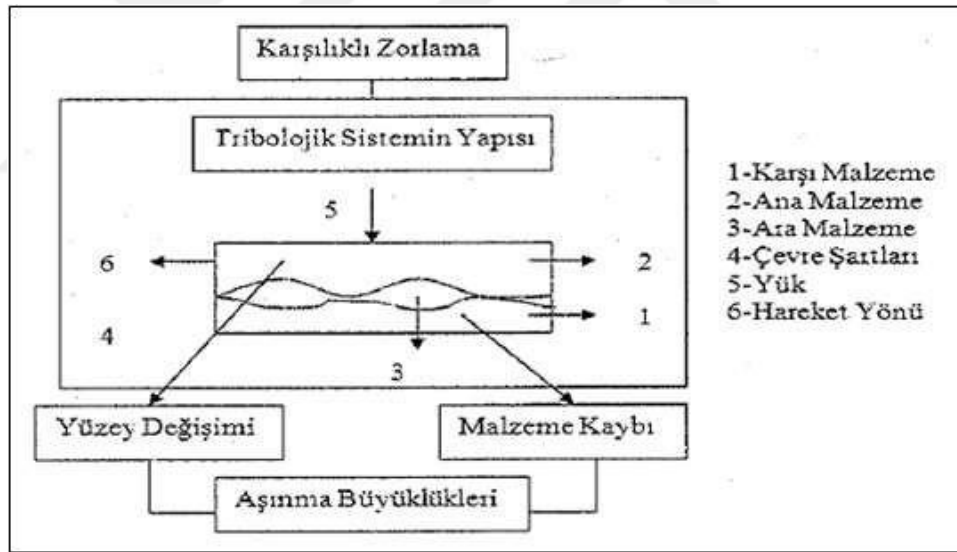
Aşınmanın gerçekleşmesi için sürtünme olmalıdır. Sürtünen yüzeylerin temas alanı, görünenden daha azdır. En hassas işletme yöntemleri ile de olsa işlenen katı malzemelerin yüzeyi hiçbir zaman düz değildir [28]. Çünkü üretim tekniğinde tam olarak pürüzsüz, düz bir yüzeyin elde edilmesi imkansızdır. Yüzeylerin temas etmesi halinde ise, yüzeylerdeki pürüzler karşılıklı etkileşmektedir. Sürtünen parçaların yüzeylerindeki ilk temas, çıkıntılı bölgeler arasında oluşmaktadır. Bu çıkıntılar arasında bulunan bölgelerde temas söz konusu değildir. Gerçek temas alanı, birbirlerine değen çıkıntılarının toplamına eşittir. Yüklemenin şekli, temas alanının boyutuyla da ilişkilidir. Yük arttıkça ilk temas eden pürüzler şekil değişimine uğrar, yani ezilir ve bunun sonucu kısa boyutlu yeni pürüzler ile temas ederler. Yüklemenin temas etmesi ile de pürüz sayısı azalarak, gerçek temas alanı görülen temas alanına yaklaşmaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün artışı ile aşınma direnci de artmaktadır. Birbirleri ile temas eden parçalara bağlı hareket yaptırabilmek için sisteme bir enerji girmektedir. Bu enerji yük ve hareketten oluşmaktadır. Giriş ile çıkışın farkı, titreşime, ısı, ses ve sürtünme ve aşınmaya dönüşmektedir [29].

5.2. TRİBOLOJİK SİSTEM

Triboloji, "bir izafi hareket içinde bulunarak birbirlerine etki eden yüzeylerin ve bunlarla ilgili olayların bilimidir. Triboloji, sürtünme, aşınma ve yağlanma işlemlerinin bir fonksiyonu olarak da kabul edilebilir [28]. Şekil 5.1'de bir tribolojik sisteme giren enerji dağılımı, Şekil 5.2'de ise tribolojik sistem elemanları görülmektedir.



Şekil 5.1. Tribolojik sisteme giren enerji dağılımı [30].



Şekil 5.2. Tribolojik sistemin elemanları [31].

İçerinde aşınma ve sürtünmenin meydana geldiği sistemler tribolojik sistem olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel malzemelerinin aşınma performanslarının belirlenmesinde mekanik sistemler, bir tribolojik sistem olarak göz önüne alınmalıdır [32].

Bu sistemin elemanları, aşınan, aşındıran ve ara malzemeler ile yük, eylem ve çevreden oluşmaktadır. Bir tribolojik sistem, bu unsurların birçoğunu içinde bulundurmaktadır. Temas eden yüzeylerde aşınmanın başlaması, ana malzeme ve karşı malzeme arasında, bir ara malzeme ile birlikte, yük altında hareket ettiklerinde gerçekleşmektedir. Genellikle ana malzeme bir katı malzemedir. Karşı malzeme ise katı olabilirken, sıvı veya gazlarla karışım durumunda da olabilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda aşınma parçacıkları temizlenmemektedir. Bu tür durumlarda arada yağlayıcıda bulunmuyor ise, kuru sürtünme oluşmaktadır. Yüzeyle gelen gerilimler darbeli, darbesiz, sabit, değişken şekillerde olabilmektedir [33, 34].

Meydana gelen aşınma mekanizmaları da farklılık göstermektedir. Bunlar, adhesive aşınma, abrasiv aşınma, yorulma aşınması, triboksidasyon aşınması gibi mekanizmalardır. Genellikle birkaç mekanizma birlikte bulunmaktadır. Alınan tedbirlerde ise, en aktif olan mekanizma göz önüne alınmaktadır [35].

5.3. AŞINMA ÇEŞİTLERİ

Birçok araştırmacı, malzemenin üzerine yaptıkları araştırmalar sonucu aşınma farklı farklı sınıflandırmışlardır. Aşınma testleri;

- Adhesiv aşınma,
- Abrasiv aşınma,
- Yorulma aşınma,
- Eroziyon aşınma,
- Öğütme aşınması (Grinding wear),
- Oymalı aşınma (Gouging wear),
- Kazımalı aşınma (Fretting wear),
- Tribosüblimasyon ve difüzyon aşınması,
- Termal aşınma (Termal etkenler) en genel olarak bilinenleridir.

5.3.1. Adhesiv Aşınma Mekanizması (Yapışma Aşınması)

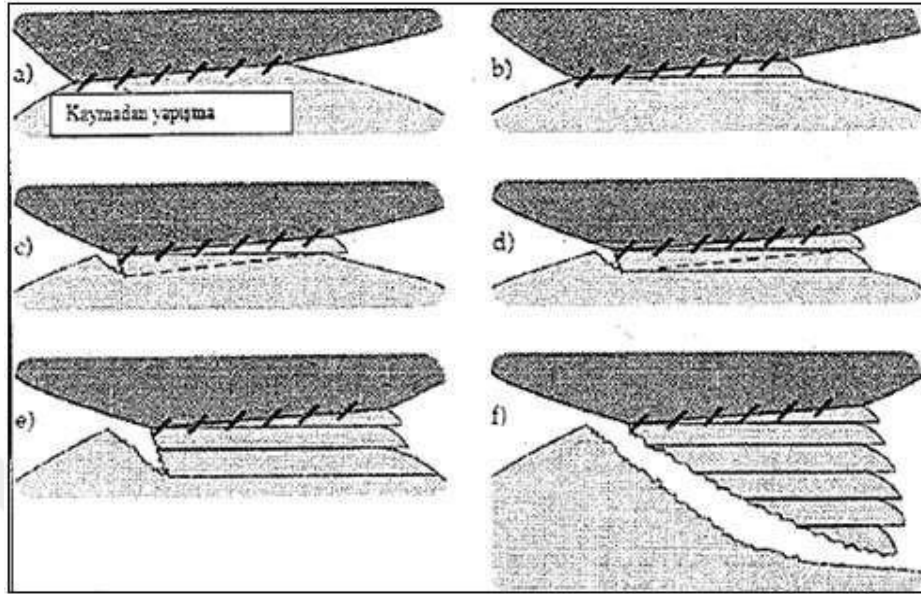
Adhesiv aşınma, yüksek aşınma oranları ve büyük kararsız bir sürtünme katsayısı ile tanımlanır ve ciddi bir aşınma şeklidir [36]. Sürtünen yüzeylerin birbiri üzerinde kayması ile yüzeler arasında bir adhesiv çekim kuvveti oluşmaktadır. Birbirine temas eden yüzelerde bulunan çıkıntıların etkileşimlerinden dolayı (parça ağırlığı veya etkiyen kuvvet), küçük çıkıntılara önemli oranda basınç etkimektedir. Bu olay, temas noktalarındaki gerilme pürüzlerinin akma sınırını aştığında plastik deformasyona, neden olmaktadır. Ayrıca, çıkıntılarının birbirine etkimesi sonucu oluşan mikro adhezyon, tüm yüzeye yayılmaktadır. Kayma hareketi sonrasında bu noktalarda oluşan kopmalar, aşınmaya neden olurlar. Bu şekilde kendini gösteren malzeme kaybı, adhesiv aşınmayı oluşturmaktadır [37, 38].

Aşınma çiftinin yüzeyleri arasındaki tutma kuvvetleri (adhesiv bağ mukavemetleri) eşit büyüklükte ise veya adhesiv bağ mukavemeti büyük ise, pürüz koparak malzeme kaybına neden olmaktadır. Eğer adhesiv bağ kuvveti pürüz mukavemetinden küçükse, pürüz kaynak noktasından kopar ve hiç bir malzeme kaybına neden olmaz. Adhesiv aşınması sırasında iki sürtünme yüzeyi arasında üçüncü bir cisim meydana gelmektedir. Özellikle adhesiv aşınmada kopan parçacıklar ara yüzey de serbest kalırken, malzeme taşınımı da oluşmaktadır. Parçacığın bir yüzeyden diğer yüzeye taşınması, malzeme transferi olarak adlandırılmaktadır [38, 39].

Adhesiv aşınma sırasındaki oksidasyon ile korozyif aşınmanın karıştırılmaması gerekir. Yukarıda bahsedilen parçalanma, malzeme moleküllerinin direkt temasa geçmelerine imkân sağlamaktadır. Bunun sonucunda da bölgesel kaynak bağları oluşmaktadır (soğuk kaynaklanma). Bu sırada eğer izafi hareket de varsa, yüzeydeki sıcaklık yükselerek ve ergime noktasına kadar ulaşabilmektedir. Böylece kaynaklanma yerinden veya metal yüzeyinden bir miktar parça koparak, ara yüzeyde serbest halde kalabilecekleri gibi, metallerden birine bağlı şekilde de bulunabilirler.

Her iki durumda da malzeme kaybı (aşınma) meydana gelmekle beraber, ikinci durumda malzemelerin birinden diğerine malzeme transferi söz konusudur [40].

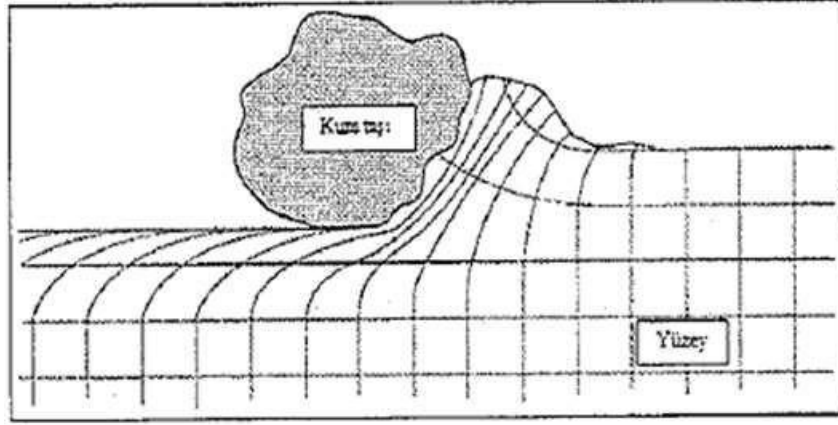
Şekil 5.3'te, yapışan bir transfer malzemenin şematik görünümü ve süreci alfabetik sıra ile verilmiştir.



Şekil 5.3. Yapışan bir transfer malzemenin şematik görünüşü [40].

5.3.2. Abrasiv Aşınma Mekanizması

Abrasiv aşınma, katı bir madde eşit veya daha büyük sertliği sahip olan malzemeye karşı yüklenildiği durumlarda meydana gelmektedir (bu problem yaygın olarak kazı makinelerinin bıçaklarında). Bu mekanizma uygulanan yük ve hareketin etkisiyle, temas halindeki parçalardan daha rijit olanının, sünek parça yüzeyinden üzerinden mikro talaş kaldırması olarak abrasiv aşınma olarak ifade edilmektedir. Parça aşınmaya maruz kaldığında, önemli bir plastik deformasyon gerçekleşmektedir.



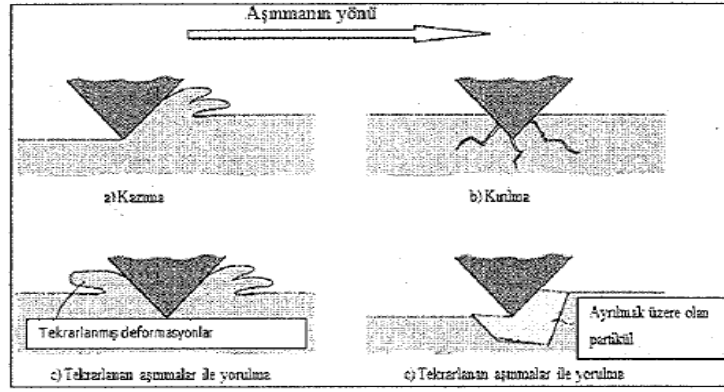
Şekil 5.4. Kum taşının geçişi sırasındaki yüzey deformasyonunun görüntüsü [41].

Temas halindeki parçaların, birbirlerinden karşılıklı direkt etkilenmeleriyle oluşan abrasiv aşınma, iki cisimli abrasiv aşınmadır. Şayet iki parça ara yüzeyinde, yüzeyleri çizerek deformasyona neden olan başka maddeler varsa, bu tür aşınmaya üç cisimli aşınma denir [42]. Bu tanecikler ara yüzeye dışarıdan girebilecekleri gibi, aşınma sırasında kopan parçacıklarda olabilmektedir. Genelde aşınma mekanizmaları, metal/metal iki cisimli abrasiv veya adhesiv olarak başlayıp üç cisimli abrasiv olarak devam etmektedir.

Üçüncü cisim olarak ortaya çıkan toz, çizilme sonunda serbest hale gelen mikro talaşlar ve kırılmış oksitlerde olabilmektedir. Üçüncü cisim, abrasiv aşınmayı hızlandırmaktadır. Bir sistem içinde yüksek hızlı parçacıkların akışı, erozyon olarak bilinen abrasiv aşınmanın özel şeklini ortaya çıkarmaktadır. Habıg, küçük aşındırıcılar ile iki işlemin olduğunu belirtmişlerdir [36]. Bu işlemler;

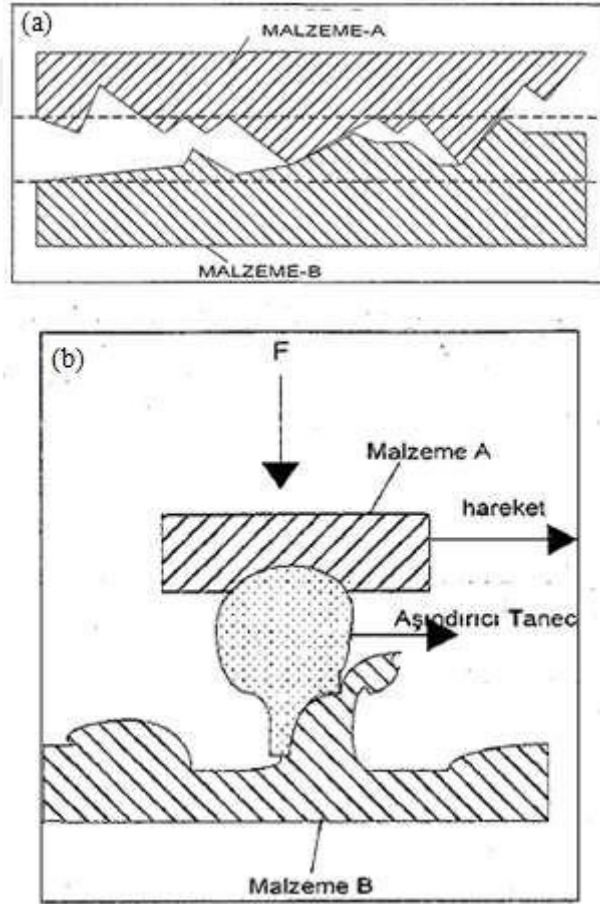
- Basıncın etkisiyle plastik deformasyonla çiziklerin oluşması
- Mikro talaşların yüzeyden ayrılmasıdır.

Abrasiv aşınma, kazıma ve tekrarlanan deformasyon gibi nedenlerden dolayı oluşmaktadır. Abrasiv aşınmadaki temel faktör, sürtünme esnasında abrasivin sertliğinin aşınandan daha yüksek olmasıdır [37]. Aşınma şeması, Şekil 5.5’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Abrasiv aşınma mekanizmasının şematik olarak gösterimi [38].

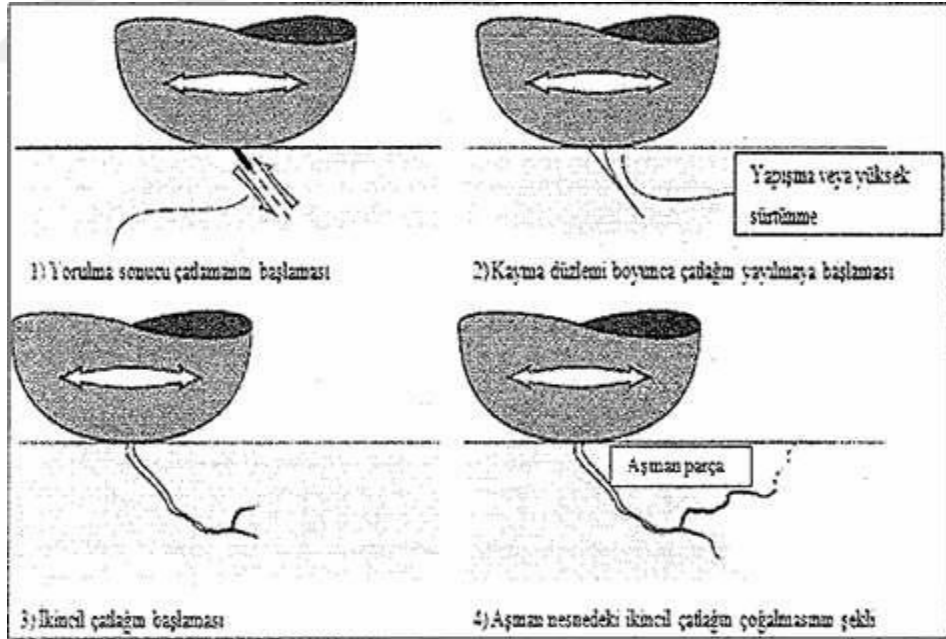
Bu mekanizmada daha sert olan cismin pürüzleri yumuşak olan malzemeyi çizerek, mikro talaş kaldırmaktadır. Bu aşınma, iki veya üç elemanlı olarak gerçekleşmektedir. Bu mekanizma, Şekil 5.6 (a)'da iki elemanlı ve Şekil 5.6 (b)'de üç elemanlı abrasiv aşınma mekanizması şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Abrasiv aşınma; a) iki elemanlı ve üç b) elemanlı [39].

5.3.3. Yorulma Aşınması

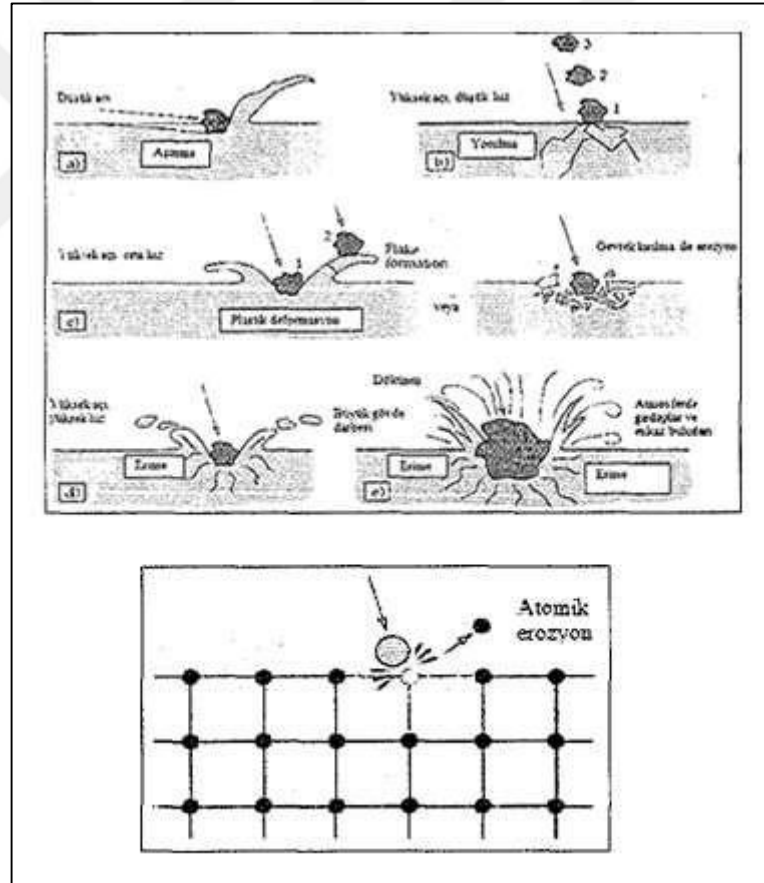
Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlanmalar altında ve zamanla meydana gelmektedir. Yorulma aşınması, malzemenin yüzeyinden başlamaktadır. Yüzey bölgesi titreşimli bir zorlanmaya maruz kaldığında veya sürtünme elemanları tekrarlanan gerilimlerle etkileştiklerinde, bu gerilmelerin sebep oldukları mikro çatlaklar vasıtasıyla, yorulma aşınması (pulcuklar şeklinde malzeme ayrılmaları) meydana gelmektedir. Bu olay sırasında, malzemenin yapısında parçalanmalar ve yırtılmalar meydana gelmektedir (yüzeydeki kısmi çözülmeler). Maksimum kopma gerilmelerinin olduğu alanlarda plastik deformasyon ve dislokasyon hareketi ile, mikro gözenekler oluşmaktadır. Oluşan gözenekler yüzeye ilerlemekte, büyümekte ve sonuçta küçük çukurcuklara dönüşmektedir [43]. Pitting adı verilen bu aşınma tipi, daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve kam mekanizmaları gibi, yuvarlanma hareketi yapan elemanların yüzeylerinde meydana gelmektedir. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi, Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Yorulma aşınmasında yüzeyde çatlamanın başlaması ve artarak devam etme sürecinin şematik görüntüsü [41].

5.3.4. Erozif Aşınma

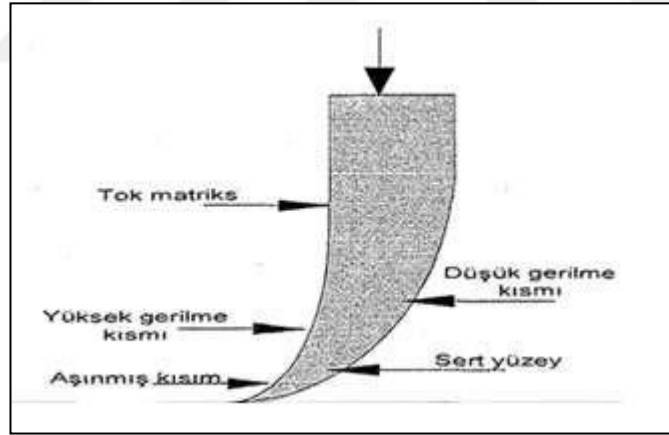
Bu aşınma türü, erozyon ortamında ile parça yüzeyi arasındaki yüksek hızlarda oluşan bozunma olarak adlandırılmaktadır. Gaz veya sıvı ortamda hareket halindeki aşındırıcı parçacıkların yüzeye belirli bir açı ile çarpmasıyla parça yüzeyinde plastik deformasyon oluşturmaktadır. Bu olay yüzeyde kopmalara neden olduğu için aşınma meydana gelmektedir. Bu tür aşınmalar erozif aşınma olarak tanımlanmaktadır. Sünük malzemeler erozyon aşınmasına çok elverişlidir. Aşındırıcı parçacıkların boyutu, hızı, geometrisi, rijitliği ve çarpma açısı, erozif aşınmayı etkileyen faktörlerdir [44]. Erozif aşınma uçaklar da, gaz türbin bıçaklarında görülmektedir. Sulu çimento sistemlerinde, pompa çarklarının aşınmasında da, bu tür aşınma aktiftir.



Şekil 5.8. Erozif aşınma mekanizması [45].

5.3.5. Öğütmeli Aşınma (Grinding Wear)

Öğütmeli aşınma, yüksek basınçlar altındaki parçacıkların metal yüzeyleri ile düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinden parçacıkların kesilerek veya çok sayıda ufak çizikler açılmasıyla, yüzeyden küçük parçaların kopmasıyla oluşmaktadır. Bu tip aşınmayı engellemek için yapılan girişimlerin başarısızlığa uğraması nedeniyle, malzemenin kontrollü olarak aşındırılması yoluna gidilmeye çalışılmıştır. Kontrollü aşınma ile malzeme kendi kendine bilenerек, körlenme sebebiyle meydana gelen performans düşüklüğü önlenmektedir. Bu mekanizma ile meydana gelen kendi kendine bilenmenin oluşumu, Şekil 5.9'da şematik olarak verilmiştir. Şekil 5.9'dan görüldüğü gibi, kesici takım malzemesinin düşük gerilmeli yüzeyine sert metal takviyesi yapılarak, aşınma hızı azaltılmaktadır. Diğer yüzeyde ise hem malzeme sertliğinin düşük olması, hem de yüksek gerilme etkisinde kalması nedeniyle aşınma hızı, diğer yüzeye göre daha fazladır. Meydana getirilen bu farklı aşınma hızları nedeniyle, malzeme kendi kendine bilinmektedir [46].

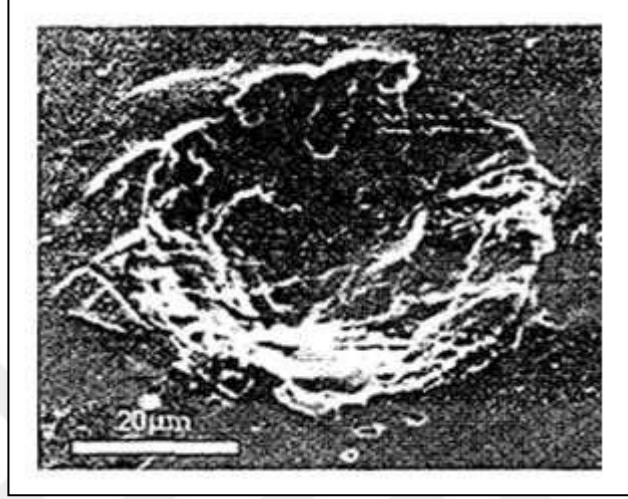


Şekil 5.9. Bir kesici uçta meydana gelen kendi kendine bilenmesinin oluşumunun şematik olarak gösterilmesi [47].

5.3.6. Oymalı Aşınma (Gouging Wear)

Oymalı aşınma, malzeme yüzeyine çok yüksek hızlardaki çarpma şartlarında, yüzeyden bazı parçacıkları kırılarak veya oyularak kopmasıyla meydana gelmektedir. Bu tip aşınma genellikle hafriyat, madencilik, petrol kuyularını delme işlemi ve benzeri koşullarda çalışan cihaz ve ekipmanlarda görülmektedir. Parçaların çalışması

esnasında, rijit abrazif tanelerin çok yüksek hızlarda parça yüzeyine çarpmaları ile yüzeylerde hasar oluşmaktadır. Bu tür aşınma, diğer aşınma türlerine göre çok daha hızlı olarak gerçekleştiği için, bu aşınmaya uğrayan parçaların yenilenmesi daha uygundur.



Şekil 5.10. Oymalı aşınma [48].

5.3.7. Kazımalı Aşınma (Fretting Wear)

Kazımalı aşınma, temas yüzeylerinde mikro kaynaklanma ile oluşan adhesiv aşınmayla benzerlik göstermektedir. İki mekanizma arasındaki farklılık ise, adhesiv aşınmada, hareketli temas bölgelerinde oluşurken, kazımalı aşınma hareketsiz etmeyen yüzeylerde oluşmaktadır. Fakat kazımalı aşınma, vibrasyonlu sistemlerde, mikro kaynaklanma ile olmaktadır. Özellikle bağlantı elemanlarında, otomobil şaftlarının birleşme noktalarında ve yataklarda yaygındır. Kazımalı aşınma, temas yüzeylerinde yorulma otomobil şaft gibi parçalarda önemli bir problemdir. Gerçekte, şaftlarda meydana gelen yorulma kırılmalarının sebebi, kazımalı aşınmadan kaynaklanmaktadır [49].

5.3.8. Tribosüblimasyon Ve Difüzyon Aşınması

Sürtünme ısısı ile yüzey bölgesi sıcaklığının çok yükselmesi halinde meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıkta atom veya moleküllerin malzeme içine girmesi,

difüzyon esasına ve çevreye transferi tribosüblimasyon aşınma mekanizması olarak ifade edilmektedir. Temas halindeki yüzeyler arasındaki sürtünme nedeniyle meydana gelen ısı artışı, temas yüzeyinde atomik hareketlenmelere sebep olmaktadır [49].

Yüzeyler arası atom alışverişi nedeniyle, dayanımı zayıf olan bir katman oluşmaktadır. Bu katman, sürtünme ve bağıl hareketin sürdürülmesiyle, yüzeyden kırılarak, malzeme kaybına neden olmaktadır. Bu tür aşınmalar difüzyon aşınması olarak tanımlanmaktadır. Fren balatalarında, uzay ve havacılıkta kullanılan ekipmanlarda ve takım tezgâhlarında karşılaşılan bir aşınma mekanizmasıdır [50].

5.3.9. Termal Aşınma (Termal Etkenler)

Mekanik ve kimyasal aşınma mekanizmalarının oluşumunu kolaylaştıran ve bu mekanizmalarla, eş zamanlı işleyen bir oluşumdur. Bu mekanizmada sıcaklık etkisi ile atomik hareketler hızlanmaktadır. Isıl işlemlerle malzemenin sünekleşmesi ile atomik aşınma gerçekleşmektedir. Termal şok ve yüksek sıcaklıkta ki oksidasyonda, termal aşınmaya sebep olmaktadır [50].

BÖLÜM 6

MALZEME VE METOT

Bu çalışmada ALFA AESAR A Johnson Matthey Company firmasından temin edilen saf bakır tozları matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Takviye fazı olarak Nanografi firmasından temin edilen çok duvarlı karbon nanotüp (% 90 saflıkta 9,5 nm çapında 1,5 µm uzunluğunda) ve nano alümina kullanılmıştır.

Mekanik alaşımlama ve öğütme (MA/MÖ) ile öğütülen saf bakır elementine farklı oranlarda KNT ve Nano Al₂O₃ ilave edilerek her 2 takviye elemanından beş farklı grup malzemesi üretimi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.1 ve 6.2’de deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmada kullanılan (Nano Al₂O₃) malzemelerin kimyasal bileşimleri.

Grup Kodu	Nano Al ₂ O ₃ (% ağırlık)	Saf Bakır (% Ağırlık)
1	0,5	99,5
2	1	99
3	1,5	98,5
4	2	98
5	2,5	97,5

Çizelge 6.2. Deneysel çalışmada kullanılan (KNT) malzemelerin kimyasal bileşimleri.

Grup Kodu	KNT (% ağırlık)	Saf Bakır (% Ağırlık)
1	0,5	99,5
2	1	99
3	1,5	98,5
4	2	98
5	2,5	97,5

6.1. TOZLARIN HAZIRLANMASI VE ÖĞÜTÜLMESİ

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan bakır tozları içerisinde farklı oranlarda ilave edilen KNT ve Nano Al_2O_3 'ler Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de verilmiştir. Beş farklı grup için her bir bileşimin toplam ağırlığı 40 g olacak şekilde hassas terazide tartılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan tozlar Şekil 6.1'de görülen FRITSCH marka (Model PULVERISETTE 6) karıştırıcıda 400 dv/dak ile karbon nanotüp için 360 dakika nano Al_2O_3 için 240 dakika mekanik öğütülmüştür (bu süreler yapılan ön çalışmalarda belirlenmiştir). MÖ işlemlerinde, 250 ml kapasiteli paslanmaz çelik öğütme hücresi, 10:1 bilye/toz oranı kullanılmıştır. İşlem sırasında tozların ısınmasını engellemek amacıyla, her 20 dakikalık öğütme sonrası cihaz 10 dakika durdurulmuştur. Matris malzemesine takviye elemanları ilave edilmeden önce, yüzey enerjilerini düşürmek ve topaklanmayı engellemek amacıyla takviye malzemesine etil alkol katılarak (0,1 ml) 5 dakika süre ile mekanik öğütülmüştür. MÖ işleminde işlem kontrol kimyasalı olarak (İKK) %1 sterik asit kullanılmıştır.



Şekil 6.1. Elementel tozların karıştırılmasında kullanılan mekanik alaşımlama/öğütme cihazının görüntüsü.

6.2. SOĞUK PRESLEME İŞLEMİ

Soğuk presleme işleminde tek eksenli 50 ton sıkıştırma kapasiteli “HİDROLİK SAN” marka pres kullanılmıştır. Şekil 6.2'de deneysel çalışmada kullanılan presin görüntüsü verilmiştir. FRITSCH marka mikserde karıştırılan tozlar 600 MPa basınç

altında soğuk preslenerek, Ø12x7 mm silindirik parçalar üretilmiştir. Kompozit tozların soğuk preslenmesinde kullanılan kalıbın görüntüsü ise, Şekil 6.3’de verilmiştir.

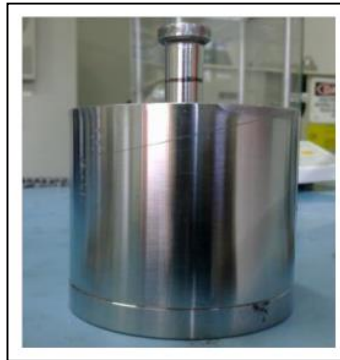


Şekil 6.2. Deney numunelerinin preslendiği “HİDROLİK SAN” marka pres.

Numuneler “HİDROLİK SAN” model 50 ton baskı kapasiteli hidrolik preste 600 MPa basınç uygulanarak yapılmıştır. (Şekil 6.2) Ø12 mm’lik kalıba göre baskı kuvveti hesabı yapılmıştır. (Eşitlik 6.1)

$$\text{Baskı Kuvveti: } F = P \times A \quad (6.1)$$

$$F = 600 \text{ MPa} \times 113 \text{ mm}^2 / 9.81 \text{ N/kg} = 6900 \text{ kg olarak bulunmuştur.}$$



Şekil 6.3. Numunelerin şekillendirilmesinde kullanılan metal kalıp.

6.3. SİNERLEME

Numunelerin sinterlenmesi saf bakır tozlarına beş farklı oranda % 0.5-2.5 ilave edilen KNT ve Nano Al₂O₃'lerin öğütme ve ön şekillendirme işlemleri sonrası gerçekleşmiştir. sinterleme işlemleri, yüksek saflıkta argon gazı altında 1000 °C'de atmosfer kontrollü (argon) ısıl işlem fırınında gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işleminde numuneler 4 °C /dakika hızı ile 1000 °C'ye kadar ısıtılmış, ardından, argon ortamında 1 saat bekletilerek, fırın ortamında soğutulmuştur.



Şekil 6.4. Sinterleme fırını.

6.4. METALOGRAFİK İŞLEMLER

Sinterleme işlemleri sonrası mikro yapı incelemeleri için numuneler standart metalografik işlemlere tabi tutulmuştur. Zımparalama işlemi Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan PRESİ marka MECAPOL P 262 model polisaj cihazı kullanılarak yapılmıştır. Zımparalama işleminde sonra numuneler 3 µm elmas pasta ile parlatılarak hazırlanan 120ml saf su, 10 ml HNO₃ (%3), 100 ml HCl, 10 ml HF (Keller's) dağlayıcı ile 1-2 saniye dağlanmıştır.

6.5. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

Yoğunluk ölçümleri PRECISA XB200 h marka maksimum 220 g 0.01g 1/10000 hassasiyetli yoğunluk ölçüm cihazında Arşimet prensibine göre yapılmıştır.

6.6. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Sertlik ölçümleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan SHİMADZU marka mikro sertlik cihazında (HMV0,5) ölçülmüştür. Her bir numune üzerinden 5 adet sertlik ölçümü yapılarak ortalaması alınmıştır.

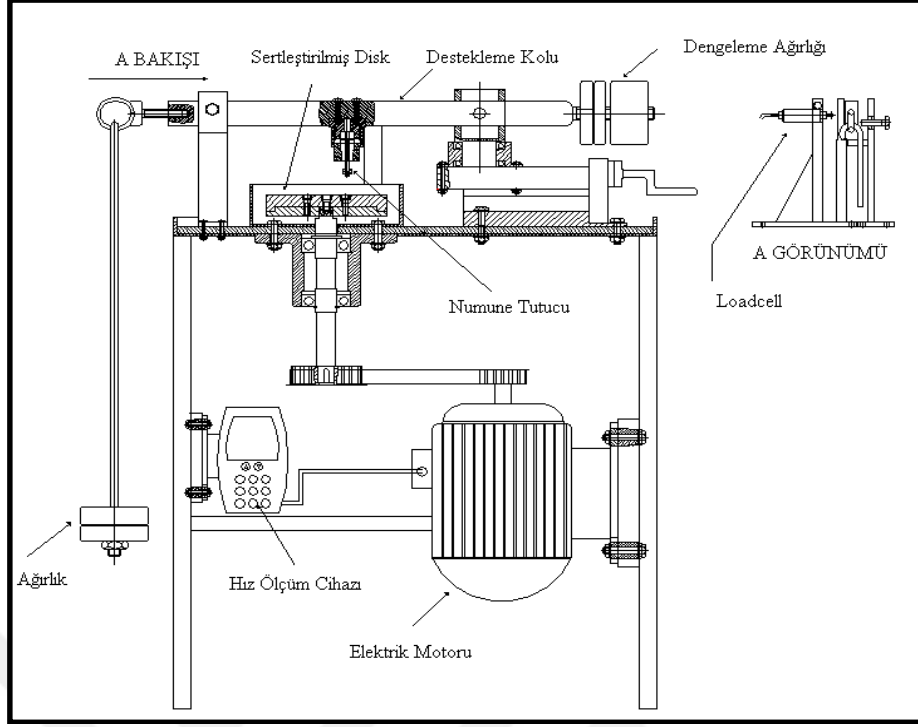


Şekil 6.5 SHİMADZU marka mikro sertlik cihazı.

6.7. AŞINMA TESTLERİ

6.7.1. Aşınma Deney Cihazı

Aşınma deneylerinde kullanılan pin-on-disk tipi standart deney aparatının görüntüsü şematik olarak Şekil 6.6'de verilmiştir. Bu cihaz her türlü yük, kayma hızı ve farklı devirlerde çalışabilmektedir.



Şekil 6.6. Aşınma test cihazı görüntüsü.

6.7.2. Karşılık Diski Ve Malzemesi

Aşınma testlerinde, disk ve numune yüzeylerinin temiz olması gerekmektedir. Bu nedenle her test öncesinde her numune ve disk yüzeyleri aseton ile temizlenmiştir. Testler öncesinde her numune için aynı yüzey kalitesi sağlanmıştır. Testlerde kullanılan dönel disk AISI 4140 malzemeden yapılmış ve Ø230 mm çapında 20mm kalınlığında ve 60-64 HRC sertliğindedir.

6.7.3. Aşınma Deneyleri

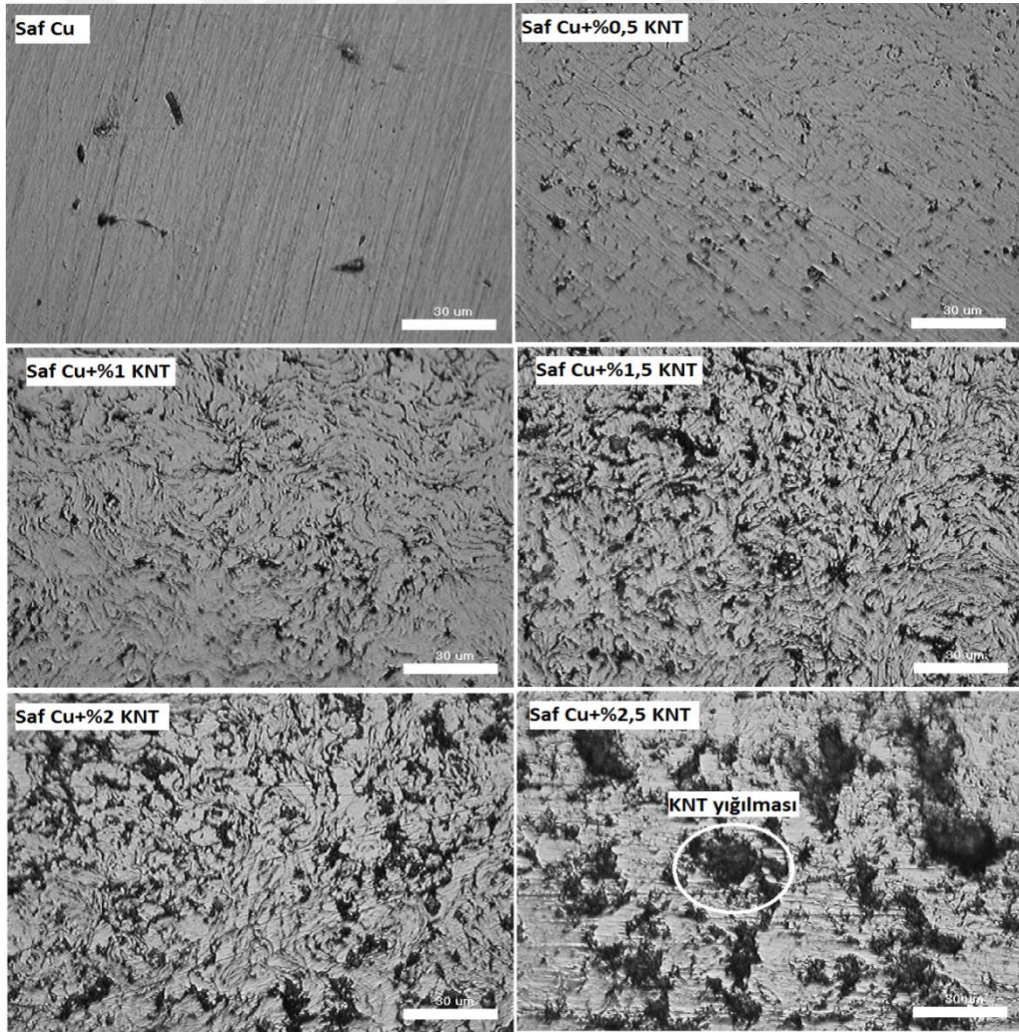
Deney cihazı devrinin ölçülmesi için COMPACT marka takometre (0-1000 dv/dk, 0.5 V çıkışlı) kullanılmıştır. Aşındırılan numuneler 1/10000 hassasiyetli PRESICA marka terazide tartılarak ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Aşınma testlerinde 10 N, 20 N ve 30 N yük, dört farklı kayma (500 m-1000 m-1500 m-2000 m) 1 ms⁻¹'lik kayma hızı kullanılmıştır. Ağırlık kaybının ölçülmesinde 1/10000 hassasiyetinde bir terazi kullanılmıştır.

BÖLÜM 7

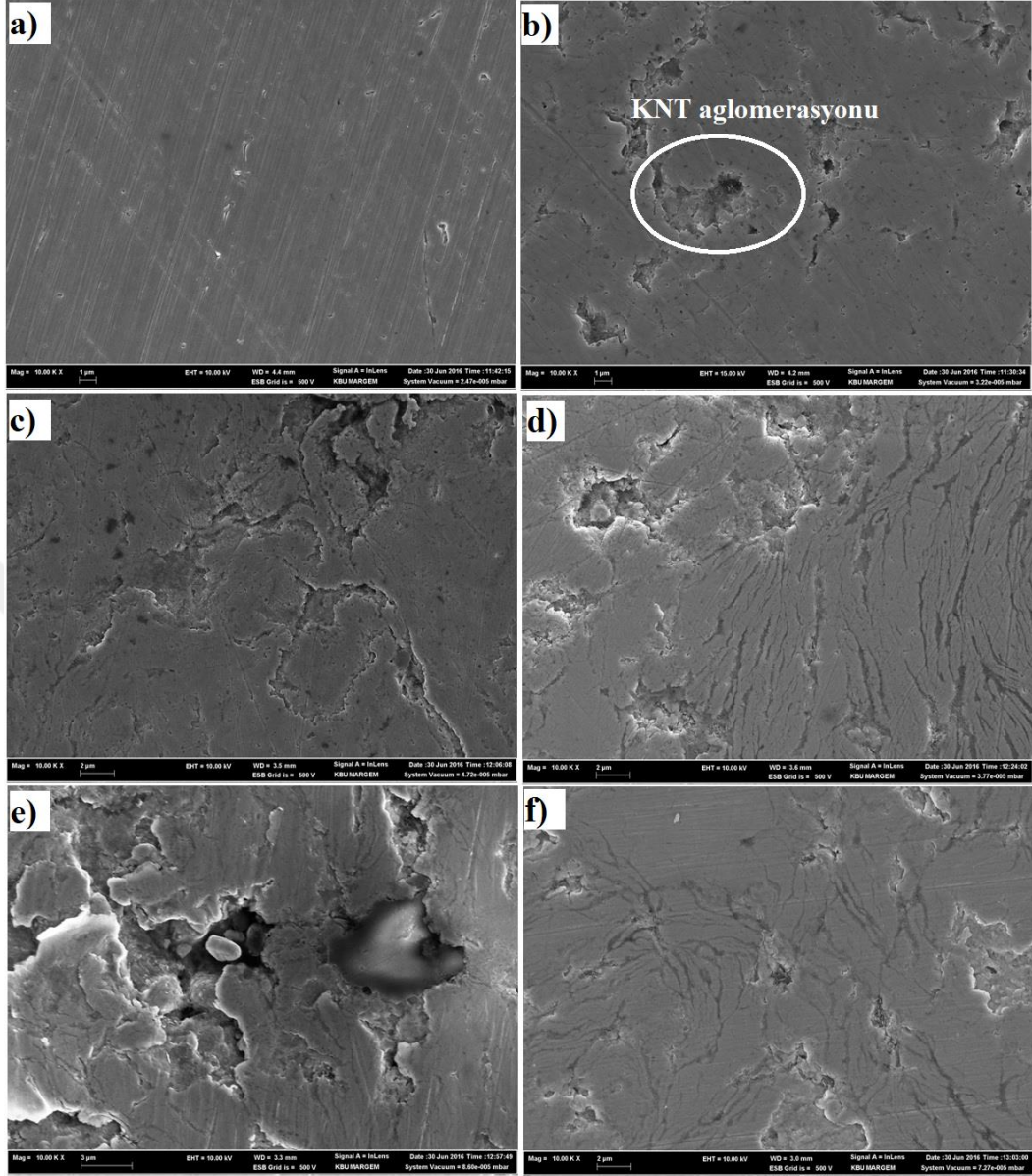
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

7.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

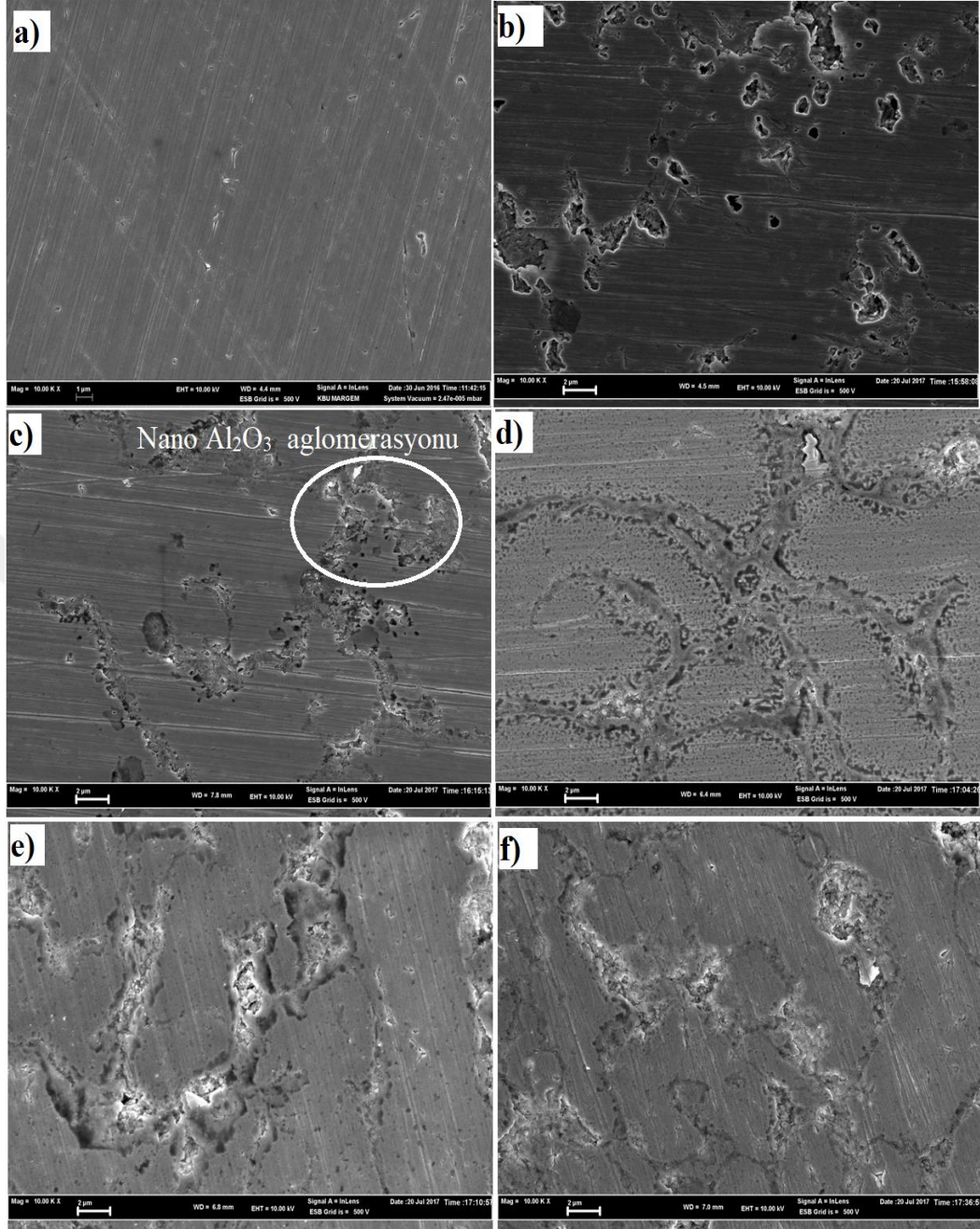
Saf Cu içerisine çeşitli oranlarda ilave edilen KNT ve Nano Al_2O_3 ilave edilerek üretilen kompozitlerin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'de verilmektedir.



Şekil 7.1. Cu-KNT kompozitlerin optik mikroskop görüntüsü.



Şekil 7.2. Cu-KNT kompozitlerin SEM görüntüsü a) Saf Cu, b) %0,5 KNT c) %1 KNT d) %1,5 KNT e) % 2 KNT f) %2,5 KNT.



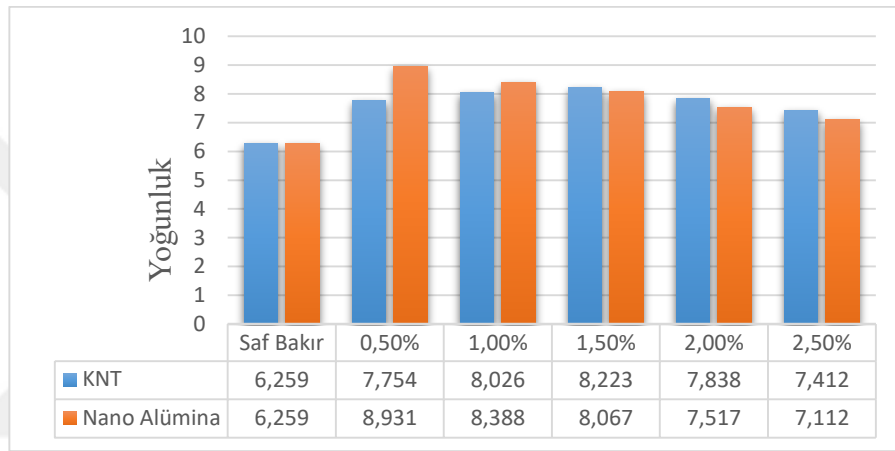
Şekil 7.3. Cu- Nano Al₂O₃ kompozitlerin SEM görüntüsü a) Saf Cu, b) %0,5 Al₂O₃ c) %1 Al₂O₃ d) %1,5 Al₂O₃ e)% 2 Al₂O₃ f) %2,5 Al₂O₃.

Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’de verilen optik mikroskop ve SEM görüntüleri incelendiği zaman saf Cu içerisine ilave edilen % KNT ve % Al₂O₃ miktarı arttıkça yapı içerisinde uniform bir dağılımın gerçekleşmediği ilave edilen KNT’lerin ve Al₂O₃’lerin belirli bölgelerde topaklandığı (aglomere) olduğu net bir şekilde görülmektedir. Kullanılan matris toz boyutu ile (mikron) takviye elemanı toz boyutu (nano) farklı olduğundan dolayı yapı içerisinde aglomerasyon kaçınılmazdır. Yapılan

çalışmalar incelendiğinde nano takviyeli kompozitler de aglomerasyon oluşumuyla sıklıkla karşılaştığı ve bu durumun malzemenin mekanik özelliklere olumsuz etki yaptığı belirtilmektedir [51-53].

7.2. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ

Saf Cu içerisine çeşitli oranlarda KNT ve Nano Al₂O₃ ilave edilerek toz metalürjisi yöntemiyle üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri Şekil 7.4’de verilmektedir.



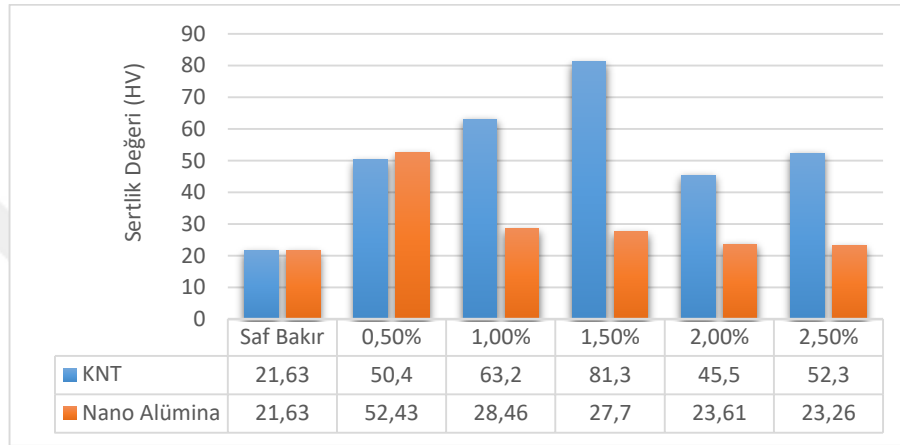
Şekil 7.4. Farklı miktarda KNT ve Nano Al₂O₃ ilave edilen kompozitlerin yoğunluk ölçümleri.

Saf bakıra farklı oranlarda KNT ve nano Al₂O₃ ilave edilerek üretilen kompozitlerin yoğunluk ölçüm sonuçları incelendiği zaman Saf Cu’ın yoğunluğunun 6.259 g/cm³ olarak ölçülürken ilave edilen KNT miktarı arttıkça %1,5 KNT’ye kadar artış devam ettiği fakat daha sonra yoğunluk sonuçlarının düştüğü görülmektedir. Yine aynı şekilde saf Cu içerisine farklı oranlarda nano Al₂O₃ ilave edilerek üretilen kompozitlerde % 0,5 Al₂O₃ içeren numunenin yoğunluğu 8,931 g/cm³ iken % 2,5 Al₂O₃ içeren numunede 7,112 g/cm³ olarak ölçülmüştür Bu durumda saf bakır içerisinde Al₂O₃ miktarı arttıkça yoğunlukta düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Yoğunlukta bu değişkenliğin nedeni toz metalürjisi yöntemiyle üretilen bu numunelerde meydana gelen poroziteler olduğu düşünülmektedir. Saf Cu ya ilave edilen takviye fazlarının presleme ve sinterleme sırasında bu porozitelere yerleştiği böylece yoğunluk değerlerinde beklenmedik bir değişkenlik gösterdiği

düşünülmektedir. Ayrıca mekanik öğütme sırasında tozların yüzey pürüzlülüğü artmakta böylece kısmi yoğunlukta da değişimler olmaktadır.

7.3. SERTLİK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ

Saf Cu içerisine çeşitli oranlarda KNT ve Nano Al_2O_3 ilave edilerek üretilen kompozitlerin sertlik sonuçları Şekil 7.5’de verilmektedir.



Şekil 7.5. Farklı miktarda KNT ve Nano Al_2O_3 ilave edilen kompozitlerin sertlik ölçümleri.

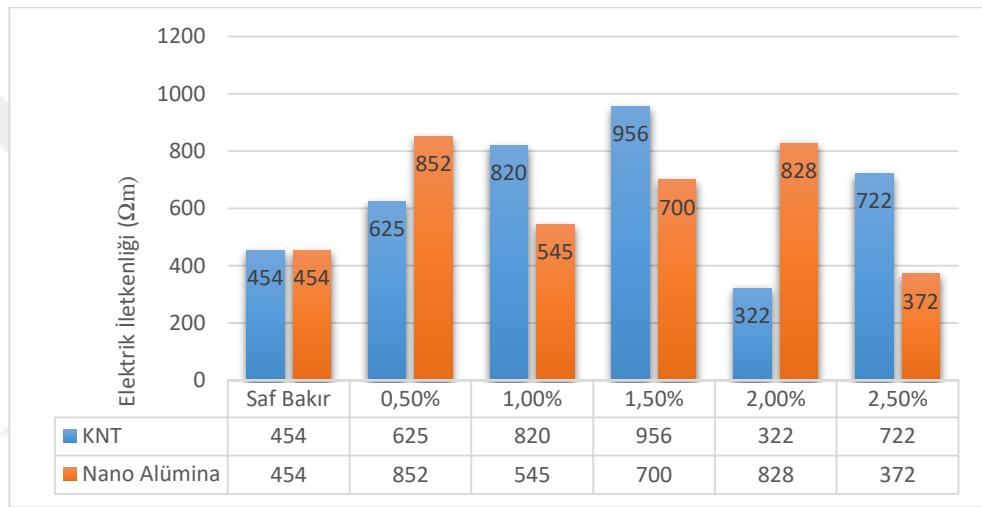
Yapılan ölçümler sonucu Saf Cu’ın sertlik değeri 21,63 olarak ölçülürken Cu içerisine farklı oranlarda ilave edilen KNT miktarına bağlı olarak sertliğin arttığı en yüksek sertlik değerinin (81,3) % 1,5 KNT ilave edilen kompozitlerde ölçülürken % 1,5’den daha fazla ilave edilerek üretilen kompozitlerde sertlik değeri düşmektedir. Saf Cu içerisine farklı oranlarda nano Al_2O_3 ilave edilerek üretilen kompozitlerin sertlik sonuçları incelendiği zaman en yüksek sertlik değerinin % 0,5 Al_2O_3 ilave edilerek üretilen kompozitte ölçülürken Nano Al_2O_3 miktarı arttıkça sertlikte düşüş meydana geldiği görülmektedir.

Sertlik sonuçlarındaki bu değişkenlik Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’de verilen mikro yapı görüntülerinden de anlaşıldığı gibi Cu içerisine ilave edilen takviye elemanı oranı arttıkça homojen bir yapının olmadığı taneler arasında ve tane içinde meydana gelen aglomerasyonun arttığı böylelikle sertlik değerinde bir azalma olduğu söylenebilir. Yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde ilave edilen takviye fazının

yapıda homojen bir şekilde dağıtılması gerektiği bu dağıtımın homojen olmadığı belirli bölgelerde yığılmaların olmasından dolayı sertlik değerinin düştüğü belirtilmektedir [54].

7.4. ELEKTRİK İLETKENLİĞİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Saf Cu içerisine çeşitli oranlarda KNT ve Nano Al₂O₃ ilave edilerek oluşturulan kompozitlerin elektrik iletkenlik sonuçları Şekil 7.6’da verilmektedir.



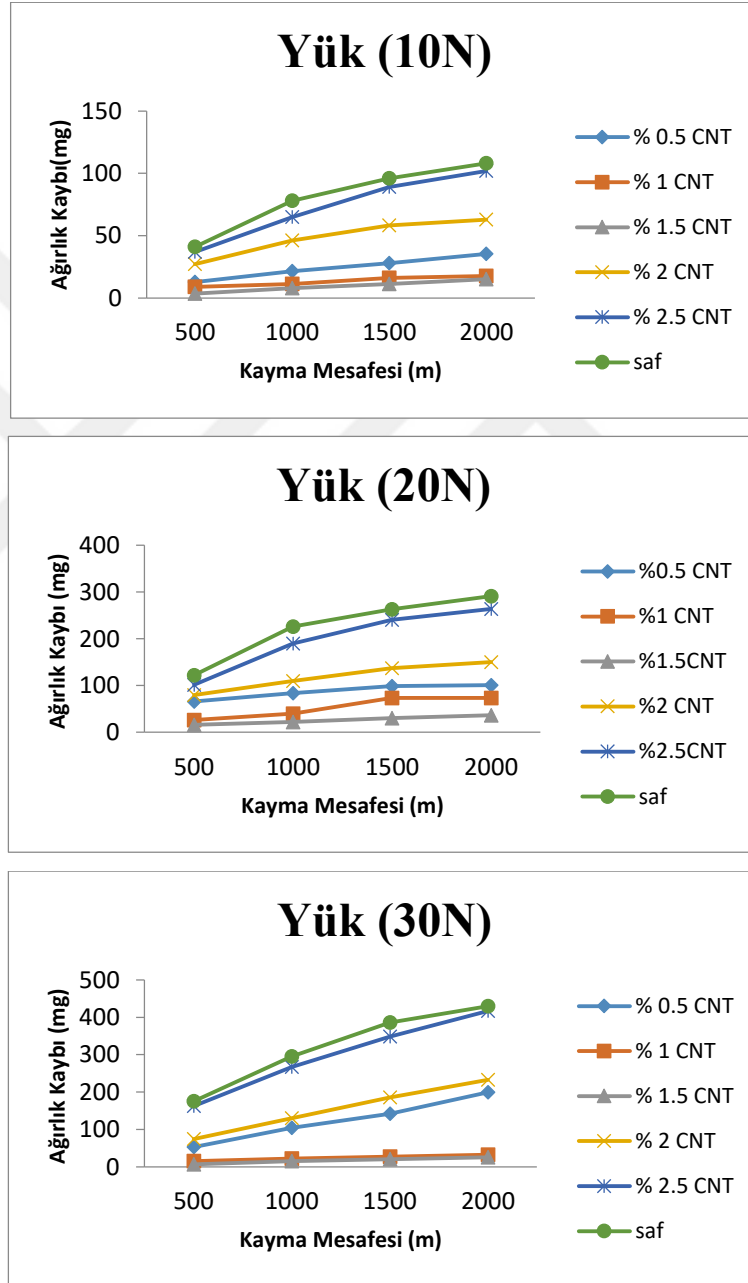
Şekil 7.6. Farklı miktarda KNT ve Nano Al₂O₃ ilave edilen kompozitlerin elektrik iletkenliklerinin ölçümleri.

Yapılan elektrik iletkenliği testleri sonucu saf Cu’nun elektrik iletkenliğinin 454 Ωm olduğu ilave edilen KNT miktarı arttıkça elektrik iletkenliğinde bir artış olduğu ancak %1,5 KNT’den fazla ilave edilen kompozitlerde elektrik iletkenliğinin düşüş eğiliminde olduğu görülmektedir.

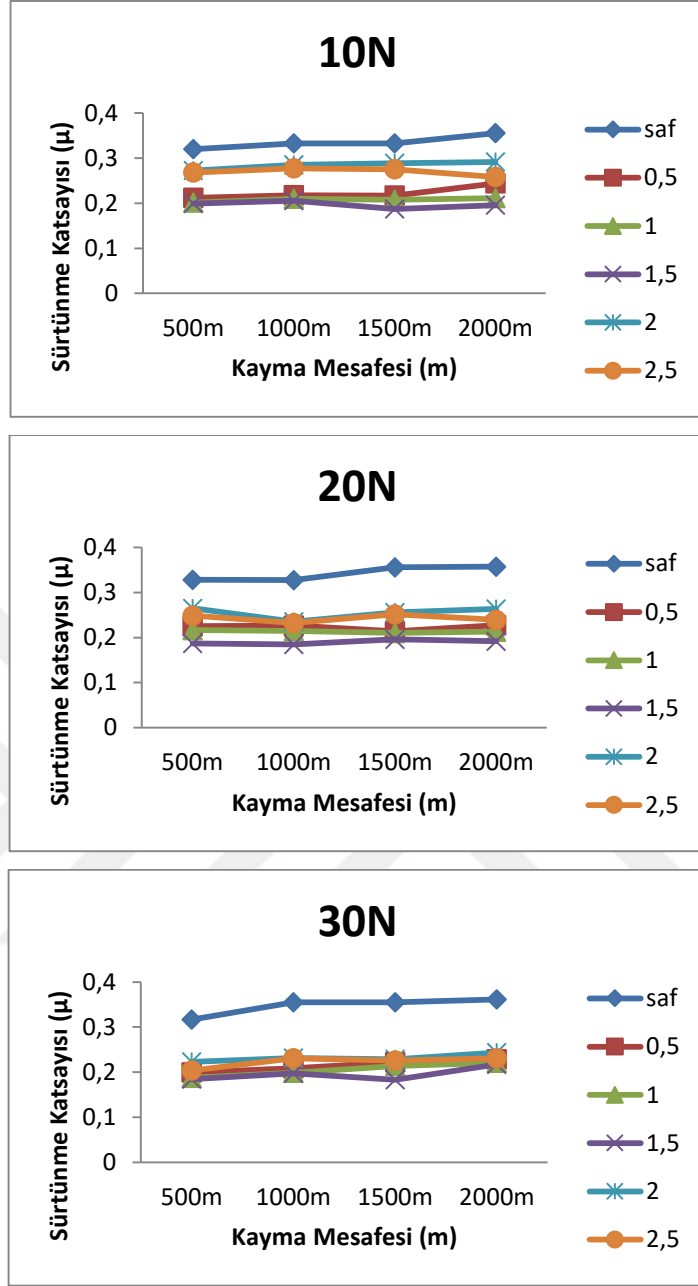
Yine saf Cu’ya ilave edilen Nano Al₂O₃’nin ölçümlerinden yüksek değerlerin % 0,5 Al₂O₃, % 1,5 Al₂O₃ ve % 2 Al₂O₃ olduğu, % 2,5 Al₂O₃’de ise elektrik iletkenliğinin Saf Cu’dan daha da aşağıda olduğu gözlemlenmiştir.

7.5. AŞINMA TESTLERİ

Saf Cu içerisine çeşitli oranlarda KNT ilave edilerek üretilen kompozitlerin aşınma testleri sonucu elde edilen ağırlık kaybı grafikleri Şekil 7.7’de sürtünme katsayıları Şekil 7.8’de verilmektedir.



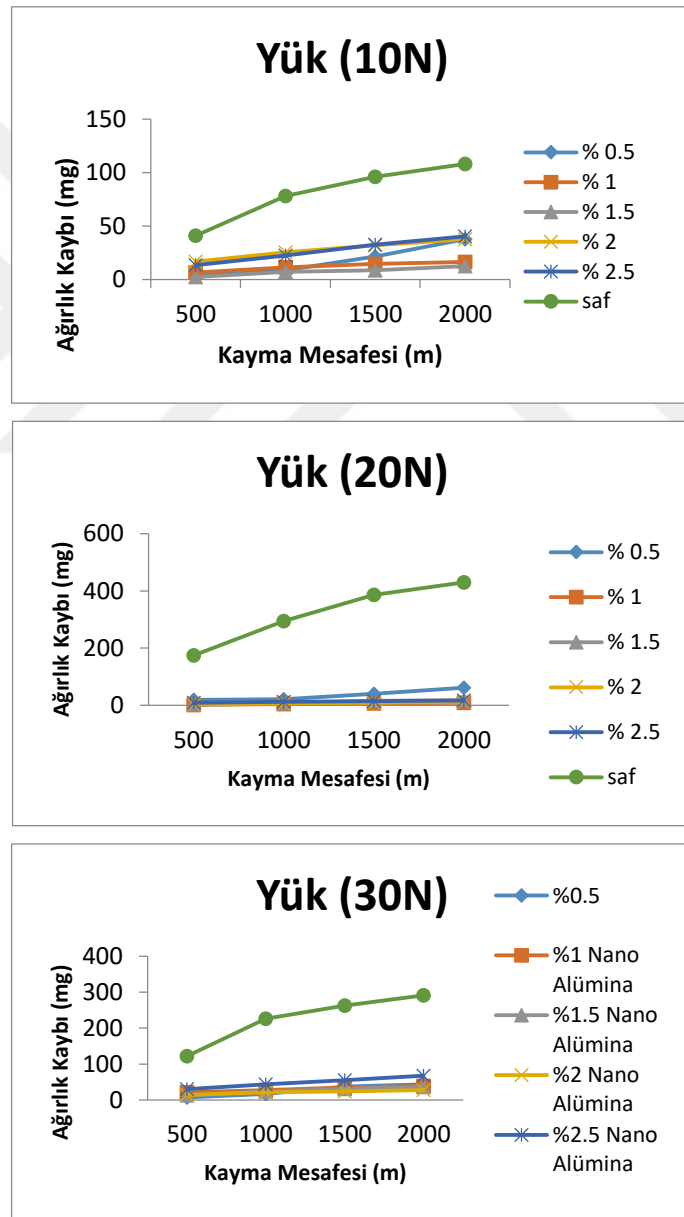
Şekil 7.7. Farklı miktarlarda KNT ilave edilen kompozitlerin ağırlık kayıpları grafikleri.



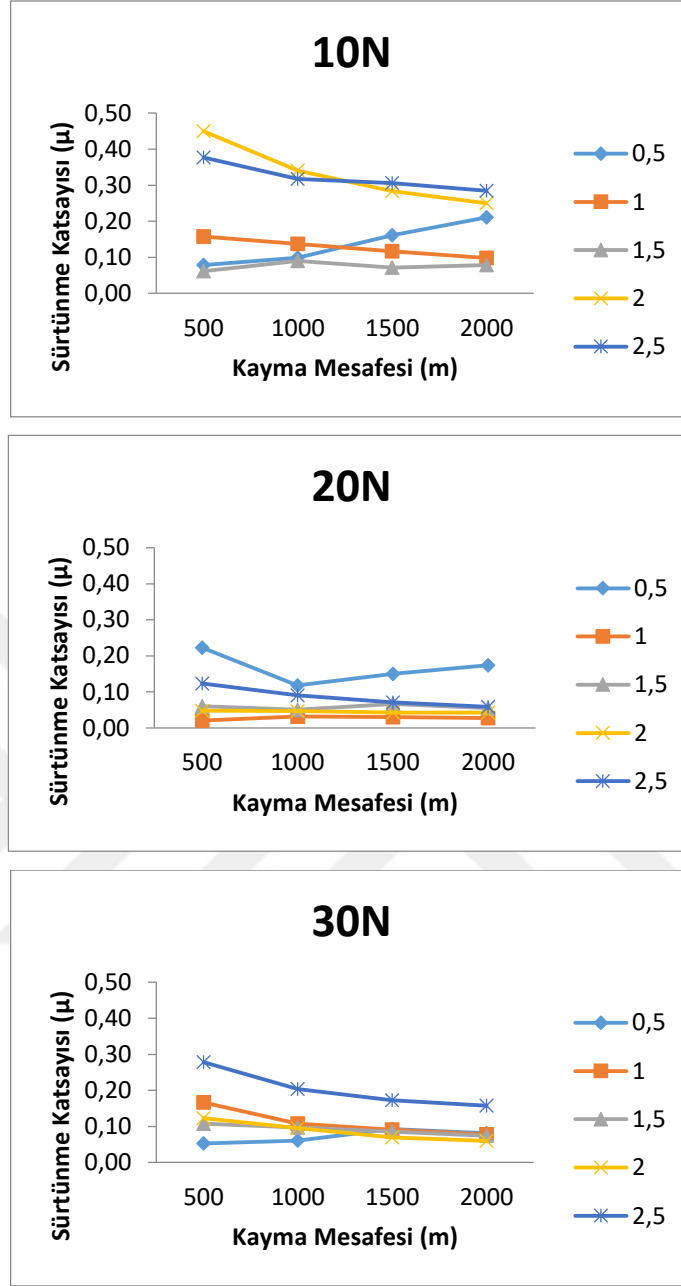
Şekil 7.8. Farklı miktarlarda KNT ilave edilen kompozitlerin sürtünme katsayıları grafikleri.

Şekil 7.7 ve Şekil 7.8 incelendiği zaman üç farklı yük altında yapılan aşınma testleri sonucu en fazla ağırlık kaybının KNT ilave edilmeyen saf Cu da olduğu görülmektedir. Farklı oranlarda KNT ilave edilen kompozitlerde en fazla %2,5 KNT ilave edilen kompozitlerde olduğu görülürken en az ağırlık kaybı %1,5 KNT ilave edilen kompozitlerde ölçülmüştür. Sürtünme katsayıları grafiği incelendiği zaman her üç yük de de en yüksek sürtünme katsayısı saf Cu da elde edilirken farklı

oranlarda KNT ilave edilen kompozitlerde de ağırlık kayıplarında olduğu gibi en yüksek sürtünme katsayısı % 2,5 KNT ilave edilen kompozisyonda görülürken en düşük sürtünme katsayısı %1,5 KNT ilave edilen kompozitlerde olduğu belirlenmiştir. Yapılan aşınma testleri sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve sürtünme katsayı sonuçları ile Şekil 7.5’de verilen sertlik sonuçları birbirini desteklediği görülmektedir. Saf Cu içerisine çeşitli oranlarda Nano Al₂O₃ ilave edilerek üretilen kompozitlerin, aşınma testleri sonucu elde edilen ağırlık kaybı ve aşınma oranı grafikleri Şekil 7.9 ve Şekil 7.10’da verilmiştir.



Şekil 7.9. Farklı miktarlarda Nano Al₂O₃ ilave edilen kompozitlerin ağırlık kayıpları grafikleri.



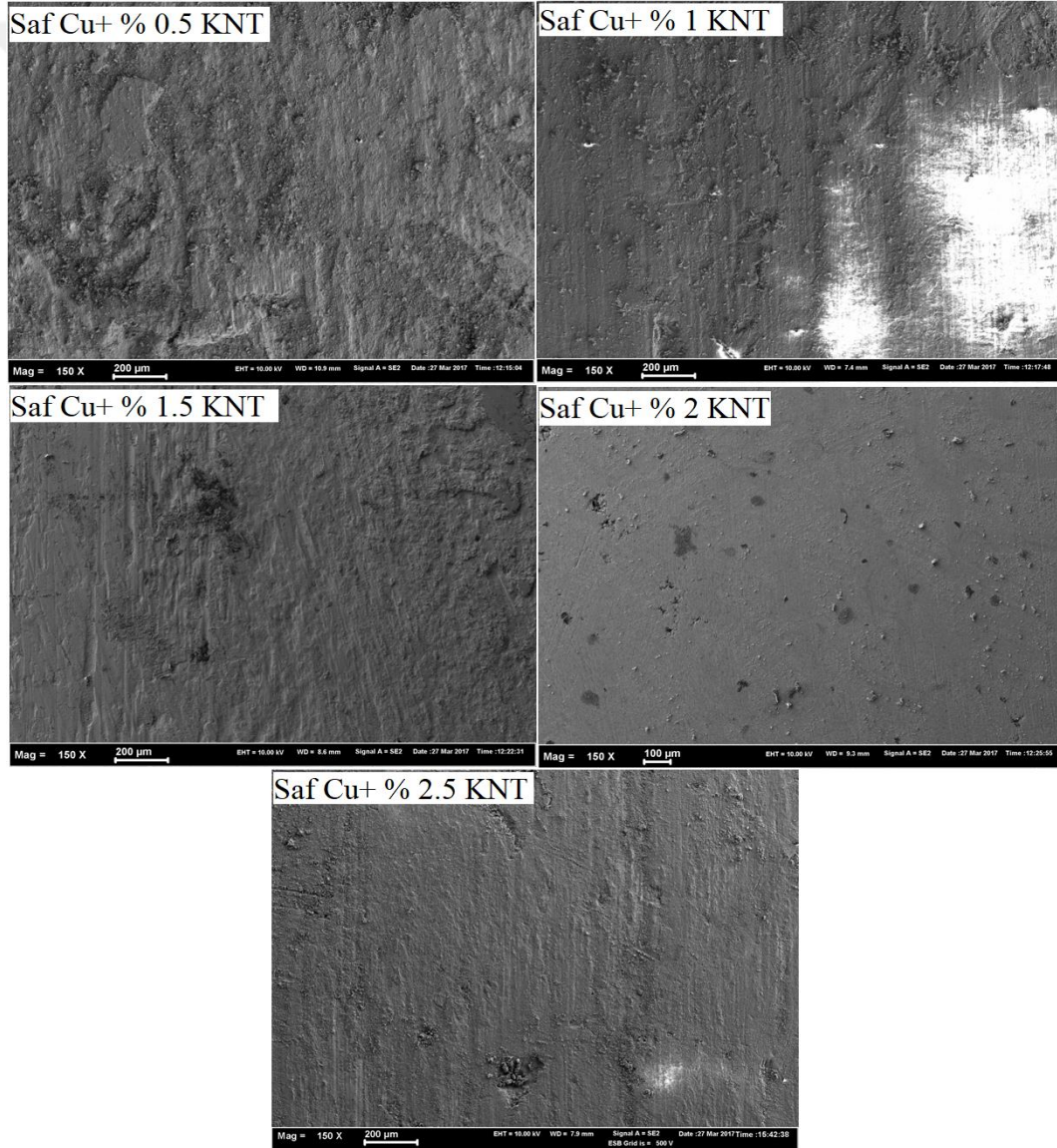
Şekil 7.10. Farklı miktarlarda Nano Al₂O₃ ilave edilen kompozitlerin sürtünme katsayıları grafikleri.

Saf Cu içerisine farklı oranlarda nano Al₂O₃ ilave edilerek üretilen kompozitlerin üç farklı yük altında yapılan aşınma testleri sonucu uygulanan yüklere göre en yüksek ağırlık kaybı değişmektedir. 30 N yük uygulanan numunelerde en yüksek ağırlık kaybı % 2,5 Al₂O₃ ilave edilen kompozitlerde olduğu görülmektedir. Farklı oranlarda Nano Al₂O₃ ilave edilerek üretilen kompozitlerde ağırlık kaybı değişkenlik göstermekte Şekil 7.5’de verilen sertlik sonuçlarını desteklememektedir. Bunun

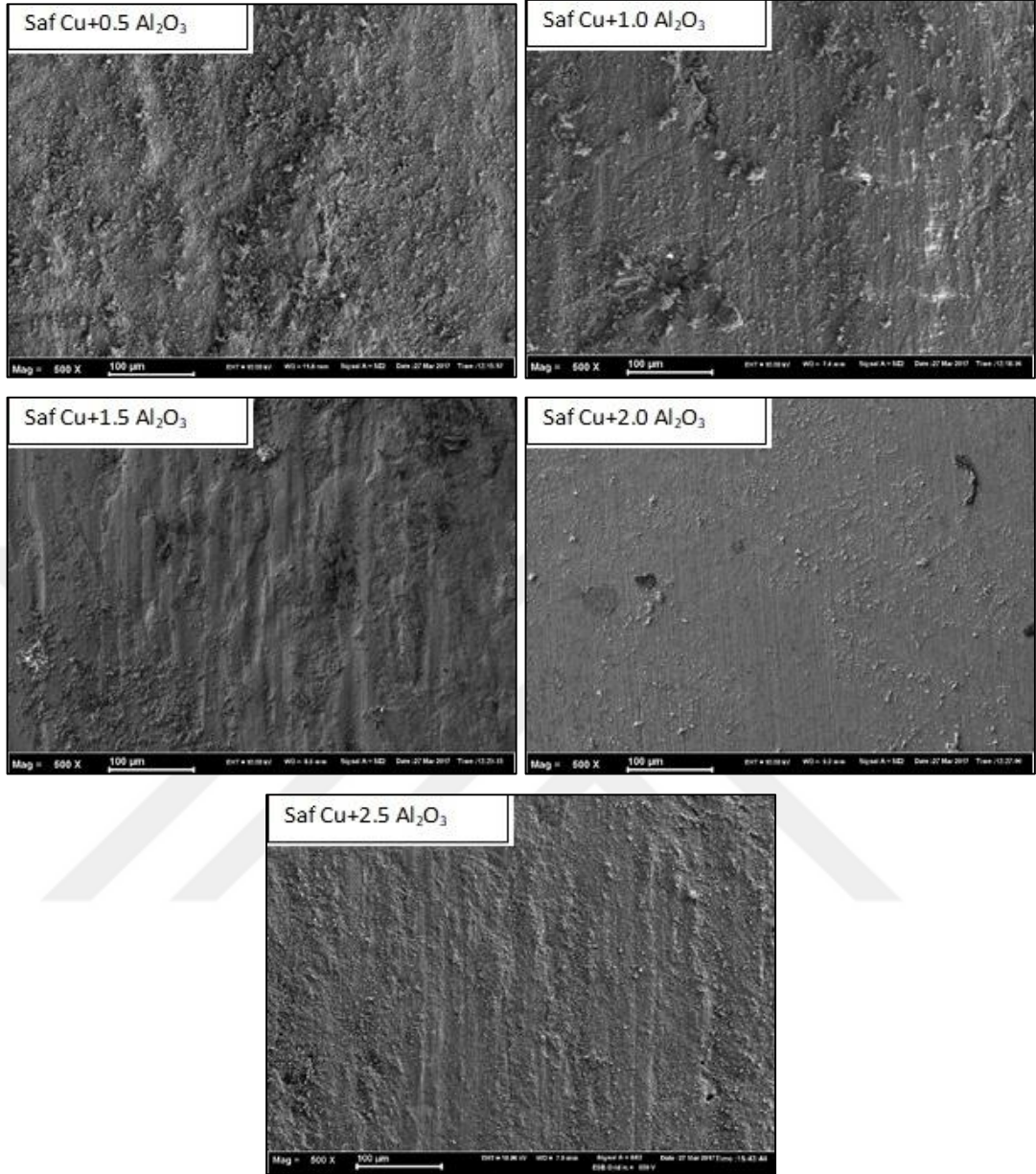
nedeni mikro yapıda nano Al_2O_3 'ların oluşturduğu aglomerasyon sonucu aşınma testleri sırasında numunelerin belirgin bölgelerinde (aglomerasyonların olduğu) kütleli kopmaların meydana gelmesi sonucu büyük ağırlık kayıplarının olduğu, bu yüzden tutarlı bir ağırlık kaybının olmadığı düşünülmektedir.

7.5.1. Aşınma Yüzeyi SEM Görüntüleri

Saf Cu içerisine çeşitli oranlarda KNT ve Nano Al_2O_3 ilave edilerek oluşturulan kompozitlerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 7.11 ve 7.12'de verilmiştir.



Şekil 7.11. Farklı miktarlarda KNT ilave edilerek üretilen kompozitlerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.



Şekil 7.12. Farklı miktarlarda nano Al_2O_3 ilave edilerek üretilen kompozitlerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.

Aşınma yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde test sırasında oluşan deformasyon ile birlikte kayma yönüne bağlı olarak aşınma çizgileri görülmektedir. Ayrıca hem KNT ilave edilen hemde nano Al_2O_3 ilave edilen kompozitlerde aşınma ya bağlı olarak bazı parçaların yüzeyden koptuğu (çukurcuklar) kopan bu parçaların numune ve disk yüzeyi arasında kalmasıyla devam eden aşınma sırasında oluşan sürtünme ve ısı yardımıyla tekrar yüzeylere yapıştığı (tepecik) görülmektedir. Aşınma yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde her iki kompozit içinde hem abrasiv hemde adhesiv

aşınma mekanizmasının etkin olduğu söylenebilir. Ayrıca bazı bölgelerde lokal oksidasyonların meydana geldiği görülmektedir. Yapıda oluşan bu oksidasyonların katı yağlayıcı etkisi göstererek kayma etkisi oluşturduğu belirtilmektedir.



BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, mekanik öğütme yöntemi ile saf bakır içerisine çeşitli oranlarda (% 0,5, %1, %1,5, %2, %2,5) KNT ve Nano Al_2O_3 ilave edilerek elde edilen kompozit malzemelerin aşınma davranışlarına ve elektrik iletkenliğine etkisi incelenmiştir. Ayrıca elde edilen kompozitlerin sertlik üzerindeki etkisi ve takviye elemanı KNT ve Al_2O_3 'lerin farklı oranlarda eklenmesiyle elde edilen malzemelerin yoğunluklarındaki değişimler incelenmiştir.

- Saf Cu içerisine ilave edilen % KNT ve % Al_2O_3 miktarı arttıkça yapı içerisinde uniform bir dağılımın gerçekleşmediği ilave edilen KNT'lerin ve Al_2O_3 'lerin belirli bölgelerde topaklandığı (aglomere) olduğu net bir şekilde görülmektedir.
- Yapılan ölçümler sonucu en yüksek sertlik değeri % 0,5 Al_2O_3 da ölçülürken Nano Al_2O_3 miktarı arttıkça sertlikte düşüş meydana gelmektedir. Bu düşüşün nedeni saf bakıra ilave edilen Nano Al_2O_3 miktarının artmasıyla takviye fazının yapı içerisinde homojen dağıtılamaması sonucu Nano Al_2O_3 'nin kendi arasında yığılmalar olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Takviye elemanı olarak KNT kullanıldığında en düşük sertlik değeri saf Cu'da (21,63) ölçülürken KNT miktarı arttıkça sertlikte artış meydana gelmektedir. En yüksek sertlik değeri %1,5 KNT ilave edilen kompozitlerde elde edilmiştir. Ancak %1,5'den daha fazla KNT ilave edilen kompozitlerde sertliğin düştüğü görülmektedir. Saf bakıra ilave edilen KNT miktarının artmasıyla takviye fazının yapı içerisinde homojen dağıtılamaması KNT'lerin kendi aralarında aglomere olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Yapılan elektrik iletkenliđi testleri sonucu saf Cu'nun elektrik iletkenliđinin 454 Ω m olduđu ilave edilen KNT miktarı arttıka elektrik iletkenliđinde bir artış olduđu ancak %1,5 KNT'den fazla ilave edilen kompozitlerde elektrik iletkenliđinin dűşű eğiliminde olduđu görűlmektedir.
- Yine saf Cu'ya ilave edilen Nano Al_2O_3 'nin ölçűmlerinden yüksek deđerlerin %0,5 Al_2O_3 , %1,5 Al_2O_3 ve % 2 Al_2O_3 olduđu, % 2,5 Al_2O_3 'de ise elektrik iletkenliđinin Saf Cu'dan daha da ařađıda olduđu gözlemlenmiřtir.
- Üç farklı yük altında yapılan aşınma testleri sonucu en yüksek ađırlık kaybının %2,5 KNT ilave edilen kompozitlerde olduđu görűlürken en az ađırlık kaybı %1,5 KNT ilave edilen kompozitlerde ölçűlműřtir. Yapılan aşınma testleri sonucu elde edilen ađırlık kayıpları ve sűrtűnme katsayı sonuçları ile edilen sertlik sonuçları birbirini desteklemektedir.
- Yine aynı şekilde üç farklı yük altında yapılan aşınma testleri sonucu en yüksek ağırlık kaybı % 2,5 Al_2O_3 ilave edilen kompozitlerde olduğu görűlürken en az ağırlık kaybının % 2 Al_2O_3 'de olduğu görűlműřtir. Yapılan aşınma testleri sonucu elde edilen ağırlık kaybı ve sertlik sonuçları birbirini desteklemektedir.

Daha sonra yapılacak çalışmalar için öneriler;

- Takviye fazı olarak kullanılan KNT'lerin ve miktarının korozyon dayanımına etkisi incelenebilir.
- MA/MÖ iřleminde kullanılan öğűtme süresi deđiřtirilerek öğűtme süresinin mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.

- MA/MÖ işlemleri sırasında kullanılan farklı işlem kontrol kimyasalları kullanılarak aglomerasyona etkisi incelenebilir.



KAYNAKLAR

1. Sua, J. H., Li, H. J., Liu, P., Dong, Q.M., Li, A. J., “Aging rocess optimization for a copper alloy considering hardness and electrical conductivity”, *Computational Materials Science*, 38: 697-701 (2007).
2. Holzwarth, U., Stamm, H. “On the recovery of the physical and mechanical properties of a CuCrZr alloy subjected to heat treatments simulating the thermal cycle of hot isostatic pressing”, *Journal of Nuclear Materials*, 279: 31-45 (2000).
3. Tu, J. P., Meng, L., Liu, M. S., “Effect of aging treatment on the electrical sliding wear behavior of Cu–Cr–Zr alloy”, *Wear*, 249: 1021-1027 (2002).
4. Durashevich, G., Cvetkovski, V. and Jovanovich, V., “Effect of thermomechanical treatment on mechanical properties and electrical conductivity of a CuCrZr alloy”, *Bulletin of Materials Science*, 25: 59-62 (2002).
5. Straffelini, G., Maines, L., Pellizzari, M., Scardi, P. “Dry sliding wear of Cu–Be alloys”, *Wear*, 259: 506-511(2005).
6. Smith, W. F. ve Kımkoğlu, N. G., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği 3. Baskıdan Çeviri”, *Mart Matbaacılık*, İstanbul, 20-22 (2001).
7. Uenishi, K., Matsubara, T., Kambara, M. and Kobayashi, K. F., “Nanostructured titanium- Aluminides and their composites formed by combustion synthesis of mechanically alloyed powders”, *Scirpta Materialia*, 44: 203-266 (2001).
8. Moon, K. I. and Lee, K. S., “Compressive deformation behaviour of nanocrystalline Al-5at %Ti alloys prepared by leactive ball millinh in H2 and ultia-high-pressure hot pressing”, *Journal of Alloys and Compounds*, 333: 249-259 (2002).
9. Moon, K. I., Park, H. S. and Lee, K. S., “Consolidation of nanocrystalline Al-5at %İİ alloys powders by ultra-high-pressure hot pressing”, *Material Science and Engineering A*, (323): 293-300 (2001).
10. Değerli S., “Bayer Prosesinin Ara Atık Ürünü Olan Alüminyum Hidroksit Kabuğundan Aktif Alümina Eldesi”, Y. Lisans Tezi, *YTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, , İstanbul, 8-16 (2002).
11. Aran, A., Güleç, Ş., “Malzeme Bilgisi Kitabı” *İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi* (1995).

12. Moon, K. I. and Lee, K. S., “Compressive deformation behaviour of nanocrystalline Al-5at %Ti alloys prepared by leactive ball millinh in H2 and ulita-high pressure hot pressing”. *Journal of Alloys and Compuonds*, 333: 249-259 (2002)
13. Hanumanth, G. S , Irons, G. A., “Partide incorporation by molt stirring for the production of metal-matrix compozites”, *Journal of Metarial Science*, 2459-2465 (1993).
14. Bahadeshia, H. K. D. H., “Thermodynamics and phase diagrams lecture , mechanical alloying, case study”. *Material Science and Metalurgy*, 345: 412-420 (2002).
15. Kalaycıoğlu, A. S., “SiC tane katkılı alüminyum kompozitlerin toz metalurjisi ile üretimi ve karakterizasyonu”, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 41-52 (2010).
16. Deng, C. F., Wang, D. Z., Zhang, X. X. and Li, A. B., “Processing and properties of carbon nanotubes reinforced aluminum composites”, *Materials Science and Engineering A*, 444: 138–145 (2007).
17. Çalın, R., “Magnezya parçacık takviyeli Al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 23-33 (2006).
18. Elliot, I. C. , Hack, A. J., “Keynote address MA alloys for aerospace applications, Structural Application of Mechanical Alloying”, *ASM* p.15, Ohio, U.S.A (1990).
19. Suryanarayana, C., Ivanov, E., Noufi, R., Contreras, M. A., & Moore, J. J., “Phase selection in a mechanically alloyed Cu₂₀13; In-Ga-Se powder mixture”, *Journal of Materials Research*, 14(2): 377-383 (1999).
20. El-Eskondarany, M. S, *Metall Mater Trans*, A27:2374-82 (1996).
21. Lee, C. H., Fukunaga, T., & Mizutani, U. “Temperature dependence of mechanical alloying and grinding in Ni Zr, Cu Ta and Fe B alloy systems”, *Materials Science and Engineering: A*, 134: 1334-1337 (1991).
22. Miki, M., Yamasaki, T., & Ogino, Y., “Preparation of nanocrystalline NbN and (Nb, Al) N powders by mechanical alloying under nitrogen atmosphere”, *Materials Transactions, JIM*, 33(9): 839-844 (1992).
23. Lee, P. Y., Yang, J. L., & Lin, H. M., “Amorphization behaviour in mechanically alloyed Ni-Ta powders”, *Journal of Materials Science*, 33(1): 235-239 (1998).

24. Davis, R.M, McDermott, B, and Koch, C. C., *Metal Trans*, A19:2867-74 (1998).
25. Odabaş, D. ve Topal, E. S., “100Q6 çeliğinin iki cisimli abrasif aşınma davranışının kuru veya sıvı sürtünme şartlarında deneysel araştırılması”, *Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli, 396-405 (1995).
26. Donald, R. A., “The science and engineering of materials third edition, psw publishing company”, *University of Missouri/Rolla*, ABD 123 (2005).
27. Ertan, G., “İş makinelerinde aşınma ömrü kriterlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 88 (1999).
28. Ulusoy, E., “Bazı toprak işleme alet ve makinelerinde iş organlarının aşınması üzerinde araştırmalar”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, 390: 11 (1981).
29. Soydan, Y. ve Ulukan, L., “Sürtünme ve aşınma direnci ölçme yöntemleri”, *8. Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, Ankara 581-588 (1988).
30. Yılmaz, F., “Sürtünme ve aşınma”, *9. Uluslar Arası Metalürji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 229-247 (1997).
31. Djanarthany, S., Viola, J. C. and Bouix, J., “An over view of monolithic titanium aluminides based on Ti_3Al and $TiAl$ ”, *Materials Chemistry and Physics*, 72 (31): 301-319 (2001).
32. Gwidon, W. S., and Andrew, W.B., “Engineering Tribology”, *Department of Mechanical and Materials Engineering University of Western Australia*, Australia, 483-573 (2007).
33. Gürleyik, M. Y. “Soğuk deformasyonla aşınma direnci artırılabilir”, *2. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, Ankara, 501-510 (1986).
34. Hurricks, P. L., “Some metallurgical factor controlling the adhesive and abrasive wear resistance of steels a review”, *Wear*, 26: 285-304 (1973).
35. Karamış, M. B., “Traktör hızı ve pulluk çalışma derinliğinin uç demiri aşınma hızına etkileri ve optimizasyonu”, *Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu*, Gaziantep, 668-677 (1986).
36. Habıg, K. H., “Verschleiß UND hörte von Werkstoffen”, *Hanser - Verlag München - Wien*, 88 (1980).
37. Anık, S., Anık E. S, ve Vural, M., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 127-143 (1977).

38. Karamış, M. B., “Abrasive aşınma mekanizmasında yüzey basıncının aşınmaya etkisi”, *Z Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, Ankara, 90 (1986).
39. Kurtçu, A. C., “SiC katkılı alüminyum matrisli kompozitlerde aşınma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 49: 3-500 (1995).
40. Gültaş, A. M., “Aşınma deney aparatının tasarımı, üretimi ve metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 45-52 (1998).
41. İnternet : Merkezi Yağlama Sistemleri, “Yorulma Aşınması”, <http://www.merkeziyaglamasistemleri.com/yorulma-asinmasi-pitting> (2017).
42. Yılmaz, M., “Alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 32-37(1996).
43. Eruslu, N. ve Kayalı, E. S., “Hasar Analiz Seminer Notları”, *TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası*, İstanbul, 52 (1997).
44. Özdin, K., “Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-22 (2006).
45. Yılmaz, T., “İyonitürleme yoluyla sertleştirilmiş SAE 4140 çeliğinin aşınma dayanımının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 27-30 (1992).
46. Li, T., Jiang, F., Eugene, A., Olevsky, B., Kenneth, S., Vecchio, A. and Marc, A., “Damage evolution in Ti6Al4V-Al₃Ti metal-intermetallic laminate composites”, *Materials Science and Engineering*, A (443): 1- 15 (2007).
47. Arıkan, R., “MoS₂ ilaveli Çinko - Alüminyum esaslı kompozitlerin yapımı ve aşınma özellikleri”, *3. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Ankara, 67-72 (1988).
48. Mutlu, H., “Al - SiC kompozitlerin termomekaniksel işlem sonrası aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 537-547 (1996).
49. Gültaş, A. M., “Aşınma deney aparatının tasarımı, üretimi ve metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 45-52 (1998).
50. Karamış, M. B., “Traktör hızı ve pulluk çalışma derinliğinin uç demiri aşınma hızına etkileri ve optimizasyonu”, *2. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu*, Gaziantep, 528-534 (1986).

51. Deng, C. F., Wang, D. Z., Zhang, X. X. and Li, A. B., “Processing and properties of carbon nanotubes reinforced aluminum composites”, *Materials Science and Engineering: A*, 444: 138-145 (2007).
52. Esawi, A. and Morsi, K., “Dispersion of carbon nanotubes (CNTs) in aluminum powder”, *Composites Part A*, 38: 646-650 (2007).
53. Liu, Z. Y., Xu, S. J., Xiao, B. L., Xue, P., Wang, W. G. and Ma, Z.Y., “Effect of ball-milling time on mechanical properties of carbon nanotubes reinforced aluminum matrix composites”, *Composites Part A*, 43: 2161-2168 (2012).
54. Yildirim, M., Özyürek, D., & Gürü, M. “The effects of precipitate size on the hardness and wear behaviors of aged 7075 aluminum alloys produced by powder metallurgy route”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(11): 4273-4281 (2016).

ÖZGEÇMİŞ

Fatih TAŞDEMİR 1983'de Ankara'nın Altındağ ilçesinde doğdu; ilkokul ve ortaokul öğrenimini aynı yerde tamamladı; Ankara Lisesinden mezun olduktan sonra 2001 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne girdi; 2008'de mezun oldu. 2009-2010 yılları arasında Ankara ilinde Star Çelik isimli firmada mühendis olarak görev yaptı. 2011 yılında girmiş olduğu Emniyet Genel Müdürlüğü kadrosuna şu an için Hakkari ilinde devam etmektedir. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Gazi Mahallesi Avukat Muhsin Zeydanoğlu Caddesi
Aktaş Apartmanı No:23/9
Merkez/HAKKARİ

Cep Tel : (507) 529 3310

E-posta : fatihtasdemir@msn.com