

**A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA TİTANYUM
MİKTARININ AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNDE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

Seda ÇAM

**A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA TİTANYUM MİKTARININ AŞINMA
DAVRANIŞI ÜZERİNDE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Seda ÇAM

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Haziran 2012

Seda ÇAM tarafından hazırlanan “A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA TİTANYUM MİKTARININ AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNDE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Vedat DEMİR

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27 / 06 / 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Bülent BOSTAN (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Vedat DEMİR (KBÜ)

...../...../2012

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“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 yaptığımı beyan ederim.”

Seda ÇAM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA TİTANYUM MİKTARININ AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNDE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Seda ÇAM

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:
Yrd. Doç. Dr. Vedat DEMİR
Haziran 2012, 82 sayfa**

Bu çalışmada, A356 alüminyum alaşımında titanyum miktarının aşınma davranışları üzerine etkisi incelenmiştir. Bu çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama mekanik alaşımlama yöntemiyle alüminyum alaşımına (A356), %4, %6, %8 oranlarında Ti ilave edilerek alaşımın aşınma davranışları incelenmiştir. Deneysel çalışmada mekanik alaşımlama yöntemiyle karıştırılan tozlar 600 MPa basınç altında soğuk presleme ile şekillendirilmiştir. Şekillendirilen numuneler 530°C sıcaklıkta 1 saat (10 °C/dak) atmosfer kontrollü fırında Argon atmosferinde sinterlenmiş ve fırın ortamında soğutulmuştur. İkinci aşamada ise %6 Ti ilave edilen Al-Ti alaşımına 550°C’ de farklı sürelerde (1, 4, 8, 16 saat) sentezleme işlemi uygulanmıştır. Sinterleme ve sentezleme işlemleri uygulanan numuneler aşındırılmıştır. Aşınma deneyleri 1 ms⁻¹’lik kayma hızında 30 N yük altında beş farklı (400 m, 800 m, 1200 m, 1600 m ve 2000 m) mesafede test edilmiştir. Çalışmada öncelikle titanyum miktarına bağlı olarak sentezleme ile yapıda oluşturulmak istenilen TiAl₃ intermetalik fazın malzemenin aşınma davranışı üzerine

etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Karakterizasyon çalışmalarında optik mikroskop, tarama elektron mikroskobu (SEM+EDS), X-ışını kırınım (XRD) teknikleri kullanılmıştır. XRD incelemelerinde TiAl ve TiAl₃ intermetalik fazların bulunduğu belirlenmiştir. 530°C'de 1 saat sinterleme sonunda en yüksek sertlik değerinin Al-%8Ti içeren alaşımda olduğu belirlenmiştir. 550°C'de sentezleme süreleri dikkate alındığında en yüksek sertlik değeri 8 saat sentezlenen Al-%6Ti içeren numunelerde ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler : A356-Ti, mekanik alaşımlama, sinterleme, sentezleme, aşınma davranışı.

Bilim Kodu : 710.1.195

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

AN INVESTIGATION THE EFFECT AMOUNT OF TITANIUM ON WEAR BEHAVIOUR OF A356 ALUMINIUM ALLOY

Seda ÇAM

**Karabuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metallurgy Education**

Thesis Advisor:

Assoc. Yrd. Doç. Dr. Vedat DEMİR

June 2012, 82 pages

In this study, it is investigated the effect of amount Ti on wear behaviour of A356 Aluminium alloys. These study was carried out two stages. First stage, wear behaviours of added different amount of Ti (4wt.%, 6wt.%, 8wt.%) by mechanical alloying method were investigated on A 356 aluminium alloy. In experimental procedure, the powder of mixed by mechanical alloying method were shaped by cold press under 600 Mpa pressure. The shaped samples were sintered at 530 °C for 1 hour in atmosphere controlled furnace under argon and cooled in furnace. In second stage, Al-Ti alloy, which added 6wt.% Ti, were applied synthesis treatment at 550 °C for different time (1, 4, 8, 16 hour). Applied Sintering and synthesis treatment samples were worn. Wear experiments were tested on 1 ms⁻¹ sliding speed at five different sliding distance (400 m, 800 m, 1200 m, 1600 m, 2000 m) under 30 N load. In this study, initially it is gained to determine the effect of on wear behaviour of TiAl₃ intermetallic phase, which depend on amount of Ti desired to occur by

synthesis. Optical microscope, scanning electron microscope, X-Ray diffraction techniques were used to characterize . TiAl, TiAl₃ intermetallic phases have been identified on XRD samples. The highest hardness value is measured on Al- 8% Ti at 530 °C for 1 hour after sintering. When the Synthesis time is considered, the highest hardness value is measured on Al-6% Ti which is 8 hours synthesized at 550 °C samples.

Keywords : A356- Ti, mechanical alloying, sintering, synthesis, wear behaviour.

Science Code : 710.1.195

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın danıőman hocam Yrd. Doç. Dr. Vedat DEMİR'e ve değerli hocam Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Beni her konuda destekleyen Arő. Gör. Musa YILDIRIM'a, değerli arkadaőım Aynur TOPUZ'a ve aşınma deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen lisans öğrencisi Osman PALAVAR'a çok teşekkür ederim.

Sevgili aileme maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için 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
ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLAR	3
2.1. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLAR.....	3
2.1.1. Dayanım / Yoğunluk Oranı.....	3
2.1.2. İletkenlik / Yoğunluk Oranı	3
2.1.3. Aşınma Dayanımı.....	4
BÖLÜM 3.	9
TOZ METALURJİSİ.....	9
3.1. TOZ METALURJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	9
3.1.1. Atomizasyon	10
3.1.2. Döner Disk Yöntem.....	10
3.1.3. Döner Elektrod (rep) Yöntem	11
3.1.4. Vakum Atomizasyon Yöntemi.....	11
3.1.5. Su Atomizasyon Yöntemi.....	11

	<u>Sayfa</u>
3.1.6. Gaz Atomizasyon Yöntemi	12
3.1.7. Mekanik Toz Üretim.....	13
3.1.8. Fiziko Kimyasal Yöntemle Toz Üretimi.....	13
3.1.9. Kimyasal Yöntemle Toz Üretimi	14
3.1.10. Elektrolitik Yöntemle Toz Üretim.....	14
3.2. T/M PARÇA ÜRETİMİ	14
3.2.1. Karıştırma	15
3.2.2. Presleme	15
3.2.3. Sinterleme.....	17
3.2.4. Yeniden Presleme	22
3.3. TOZ METALURJİSİ ÜRÜNLERİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI.....	22
3.3.1. Avantajları.....	22
3.3.2. Dezavantajları.....	23
 BÖLÜM 4.	 25
AŞINMA	25
4.1. AŞINMANIN TEMEL UNUSURLARI	26
4.1.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler	26
4.2. TRIBOLOJİK SİSTEM.....	26
4.3. AŞINMA TEST MODELLERİ	28
4.4. AŞINMA VEYA YÜZEY DEFORMASYONU	30
4.5. AŞINMA ÇEŞİTLERİ	32
4.5.1. Adhesiv Aşınma Mekanizması (Yapışma Aşınması).....	32
4.5.2. Abrasiv Aşınma Mekanizması	34
4.5.3. Yorulma Aşınması.....	37
4.5.4. Erozif Aşınma	38
4.5.5. Öğütmeli Aşınma (Grinding Wear).....	39
4.5.6. Oymalı Aşınma (Gouging Wear)	40
4.5.7. Kazımalı Aşınma (Fretting Wear).....	41
4.5.8. Tribosüblimasyon ve Difüzyon Aşınması	41
4.5.9. Termal Aşınma (Termal etkenler).....	43

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5.....	44
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	44
5.1. DENEYSEL MALZEMELER.....	44
5.2. MEKANİK ALAŞIMLAMA İŞLEMİ.....	45
5.3. SOĞUK PRESLEME İŞLEMİ.....	46
5.4. SİNERLEME İŞLEMİ.....	47
5.5. SENTEZLEME İŞLEMİ.....	47
5.6. METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA	47
5.7. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ.....	48
5.8. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ.....	48
5.9. TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMESİ.....	49
5.10. ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI SPEKTROSKOPİSİ (EDS) İNCELEMESİ	49
5.11. X-RAY DİFFRACTION (XRD) İNCELEMELERİ.....	49
5.12. AŞINMA TESTLERİ.....	49
5.12.1. Aşınma Deney Cihazı.....	49
5.12.2. Karşılık Diski ve Malzemesi.....	50
5.12.3. Aşınma Testleri	50
5.12.4. Aşınma Miktarının Ölçümü	51
 BÖLÜM 6.	 54
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	54
6.1. KARAKTERİZASYON İŞLEMELERİ.....	54
6.1.1. Sinterlenen Numunelerin SEM ve EDS İncelemeleri	54
6.1.2. Farklı Sürelerde (1, 4, 8, 16 saat) Sentezlenen Numunelerin SEM ve EDS İncelemeleri.....	56
6.2. X-RAY DİFFRACTION (XRD) İNCELEMELERİ.....	58
6.3. SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI	59
6.4. YOĞUNLUK ÖLÇÜM SONUÇLARI	61
6.5. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ.....	64
6.5.1. Kuru Sürtünme Aşınma Davranışları	64
6.5.2. Aşınma Yüzeylerinin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri.....	68

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7.	72
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.	72
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Al-Ti sisteminin faz diyagramı.....	7
Şekil 2.2. Al-Ti sistemindeki Ti_3Al , $TiAl$ ve $TiAl_3$ faz modellerinin kristal yapıları.....	7
Şekil 3.1. Farklı kalınlıktaki iki kesite sahip parçanın preslemeden önceki a) ve sonraki b) hali.....	16
Şekil 3.2. Değişik kalınlıkta iki kesite sahip bir parçada homojen yoğunluk elde edilmesi amacıyla kullanılan iki farklı presleme metodu.....	16
Şekil 3.3. Sinterleme sırasında meydana gelen mekanizmaların şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.4. Sinterleme sırasında meydana gelen gözeneklerin oluşumu ve zaman bağlı tavrının şematik gösterimi	19
Şekil 3.5. Sıvı faz sinterlemesinin şematik gösterimi	20
Şekil 3.6. Sinterlemede a) Reaksiyonlu sinterleme için uygun denge diyagramı b) reaksiyonlu sinterlemede meydana gelen olayların şematik gösterimi.....	21
Şekil 4.1. Tribolojik sisteme giren enerji dağılımı.....	27
Şekil 4.2. Tribolojik sistemin elemanları.....	27
Şekil 4.3. Şematik kayma sürtünmesi ve aşınma test modelleri.....	29
Şekil 4.4. Şematik abrasiv aşınma test modelleri	30
Şekil 4.5. Yüzey aşınma ve bozulmalarının sınıflandırılması	31
Şekil 4.6. Yapışkan bir transfer nesnesinin şematik görünüşü	34
Şekil 4.7. Kum taşının geçtiği esnasındaki yüzey deformasyonundan	34
Şekil 4.8. Kumtaşının keskin yüzeylerinin körelmesi ile aşınmanın kesilmesi.....	35
Şekil 4.9. Abrasiv aşınmanın mekanizması.....	36
Şekil 4.10. İki elemanlı abrasiv aşınma.....	36
Şekil 4.11. Üç elemanlı abrasiv aşınma	37
Şekil 4.12. Yorulma aşınmasında yüzeyde çatlamanın başlaması ve artarak devam etme sürecinin şematik resimleri	38
Şekil 4.13. Erozif aşınma mekanizması	39

Şekil 4.14. Bir kesici uçta meydana gelen kendi kendine bilenmesinin oluşum mekanizması.....	40
Şekil 4.15. Oymalı aşınmaya örnek	41
Şekil 4.16. Yüzeyler arası malzeme transferi	42
Şekil 5.1. Mekanik alaşımlama cihazı.....	45
Şekil 5.2. Toz konan öğütücü hazneler ve bilyalar	45
Şekil 5.3. Öğütücü haznelerin cihaza bağlanmış hali.....	46
Şekil 5.4. Toz malzemenin şekillendirilmesinde kullanılan metal kalıp.....	46
Şekil 5.5. Sentezleme işleniminde kullanılan Protherm marka ısıtma işlem fırını.....	47
Şekil 5.6. AFFRI SYSTEM marka sertlik cihazı.....	48
Şekil 5.7. Aşınma test cihazının şematik görüntüsü	50
Şekil 6.1. 530 °C’de 1 saat sinterlenen a) % 4Ti b) % 6Ti c) % 8Ti içeren Al-Ti alaşımlarının SEM görüntüleri d) 1. ve 2. noktaların EDS analizleri.....	55
Şekil 6.2. % 6Ti içeren 550 °C’de a) 1 b) 4 c) 8 d) 16 saat sentezlenen Al-Ti alaşımlarının SEM görüntüleri e) Genel EDS analizi	56
Şekil 6.3. 530 °C’ de sinterlenen 1) 530 °C’de 1 saat sinterlenen a) %0.4Ti, b) 0.6Ti c) 0.8Ti içeren 2) % 6 Ti içeren 550 °C’de a) 16 b) 8 c) 1 d) 4 saat sentezlenen alaşımların XRD görüntüsü.....	58
Şekil 6.4. 530 °C’de 1 saat sinterlenen numunelerin sertlik değerleri	60
Şekil 6.5. 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen Al-Ti numunelerinin sertlik değerleri.....	61
Şekil 6.6. 530 °C’de 1 saat sinterlenen numunelerin yoğunluk değerleri	62
Şekil 6.7. 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen numunelerin yoğunluk değerleri	63
Şekil 6.8. 530 °C’de 1 saat sinterlenen % 4Ti, % 6Ti ve % 8Ti içeren numunelerin aşınma, yük, mesafe ve ağırlık ilişkisi	64
Şekil 6.9. 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen ve % 6 Ti içeren numunelerin aşınma, yük, mesafe ve ağırlık ilişkisi.....	65
Şekil 6.10. Al-% 4Ti, % 6Ti, % 8Ti alaşımlı numunelerin 30 N yük altında ortalama sürtünme katsayısı grafiği.....	66
Şekil 6.11. Al-% 6Ti alaşımlı 1,4, 8,16 saat sentezlenen numunelerin 30 N yük altında ortalama sürtünme katsayısı grafiği.....	67
Şekil 6.12. 530 °C’ de 1 saat sinterlenmiş Al-Ti alaşımlarının aşınma yüzeyleri a) % 4Ti b) % 6Ti c) % 8Ti	68
Şekil 6.13. % 6Ti içeren 550°C’de a)1 saat b) 4 saat c) 8 saat d) 16 saat sentezlenen alaşımların aşınma yüzeyleri	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Alüminyum ve alaşımlarında dayanım artırma mekanizmalarının etkisi	4
Çizelge 5.1. A356 Alaşımın kimyasal bileşimi	44
Çizelge 6.1. Sinterlenen alaşımların teorik yoğunlukları ve gözenek değerleri.....	62
Çizelge 6.2. Sentezlenen alaşımların teorik yoğunluğu ve gözenek değerleri.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

MPa	: Mega paskal
Gr	: Gram
N	: Newton
mgr	: Miligram
m	: Metre
mm	: Milimetre
sn	: Saniye
ms ⁻¹	: Metre/saniye
μ	: Sürtünme katsayısı
F _s	: Sürtünme kuvveti
ΔG	: Ağırlık kaybı
t	: Alınan yol
V	: Hacim kaybı
W	: Hacimsel aşınma miktarı
d	: Yoğunluk

KISALTMALAR

- AA : Alüminyum alaşımları
HV : Vickers sertlik değeri
MA : Mekanik alaşımlama
T/M : Toz metalurjisi
XRD : X-Ray Diffraction
SEM : Elektron mikroskop tarayıcısı
EDS : Elektron saçınım spektrometresi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları demir esaslı alaşımlardan sonra en önemli metal malzeme grubunu oluşturmaktadır [1]. Sahip olduğu özelliklerin ve kullanım alanlarının başka metaller tarafından doldurulamaması, alüminyum ve alaşımlarının önemini artırmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının teknoloji ve sanayide yaygın olarak kullanılmasında etkili olan üç önemli durum şu şekilde özetlenebilir: Alüminyum mukavemetlenme mekanizmalarına kolaylıkla tepki vermektedir ve alüminyum alaşımları saf alüminyumdan yaklaşık 30 kat daha dayanıklıdır. Diğer metallere göre iletkenlik/yoğunluk oranı alüminyumda oldukça yüksektir. Bakır ile mukayese edildiğinde alüminyumda birim kütle başına düşen elektriksel iletkenliği daha yüksek olduğu için enerji iletim hatlarında alüminyum teller kullanılmaktadır. Alüminyumun diğer bir üstün özelliği de aşınma direncinin iyi olmasıdır. Bunun nedeni yüzeyde havanın etkisi ile oluşan çok ince bir oksit tabakasının yüzeyi tamamen kaplaması ve oluşan bu ince tabakanın daha sonraki metal-hava temasını kesmesidir [2].

Saf alüminyumun yumuşak ve dayanımının düşük olması kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Bundan dolayı saf alüminyumun çeşitli özelliklerini istenilen doğrultuda iyileştirmek için alaşımlama yapılır. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde kullanılacak olan alaşım elementlerinin onun yüksek uzama kabiliyeti (süneklik) ve aşınma dayanımı gibi faydalı özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden düşük akma sınırını ve çekme dayanımını artırması beklenir. Ayrıca kullanılacak olan alaşım elementlerinin saf alüminyumun düşük ergime derecesini yükselterek, yüksek sıcaklık performansını ve ısıl işlem kabiliyetini artırması beklenir [3,4].

Titanyum yüksek dayanım/yoğunluk oranı ve yüksek sıcaklık özellikleri sergileyen nispeten hafif bir elementtir [5]. Al-Ti alaşımları gelecekteki en önemli malzeme

gruplarından biri olarak dikkate alınmaktadır. Al-Ti alaşımları; oksitlenme ve aşınma dirençlerinden, yüksek sıcaklık dayanımlarından ve düşük yoğunluklarından dolayı uzay ve otomotiv teknolojisi ve mühendislik uygulamaları için aday malzemelerdir. Bu alaşım grubu için temel problem oda sıcaklığındaki düşük uzama kabiliyetidir. Oda sıcaklığındaki düşük uzama kabiliyeti yaygın kullanımını engellemektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak için alaşımı tane inceltimi ve ısıl işlem gibi farklı işlemler uygulanır. Bu işlemler ile alaşımın faz bileşenlerinin oranı, yapısı ve dağılımı değiştirilebilir, kayma sistemlerini sayısı artırılabilir ve alaşımın mikroyapısı değiştirilebilir. Titanyum (Ti) %0,01 gibi az bir oranda ilave edilmesi ile alüminyum alaşımlarında hızlı bir şekilde ve önemli derecede tane inceltme etkisi gösterdiği uzun yıllardır bilinmektedir [6]. Tane inceltme işlemi uygulanmış alüminyum dökümlerinde inceltme uygulanmamış olanlara göre daha iyi beslenebilirlik ve daha gözeneksiz bir yapı elde edilmektedir. Buna bağlı olarak ince taneli dökümler, düşük segregasyon dağılımı, yüksek mekanik özellikler ve sızdırmazlık direnci gibi üstün özelliklere sahiptirler. Tane inceltme özellikle, ikinci faz parçacıklarının dağılımını değiştirdiğinden döküm parçaların mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Bu çalışmada, mekanik alaşımlama ile üretilen Al-Si-Mg (A356) alaşımına farklı oranlarda ilave edilen Ti' un alaşımın aşınma davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. Farklı sürelerde yapılan sentezleme işlemi ile yapıda oluşturulan $TiAl_3$ ve $TiAl$ intermetalik alaşımın aşınma özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLAR

2.1. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLAR

Alüminyumun sahip olduğu özellikler onu son derece faydalı ve kullanışlı bir mühendislik malzemesi yapmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının teknolojiye ve sanayide yaygın olarak kullanılmasında etkili olan üç önemli faktör vardır.

Bunlar:

- Dayanım/yoğunluk oranı,
- İletkenlik,
- Aşınma dayanımıdır.

2.1.1. Dayanım/Yoğunluk Oranı

Alüminyum alaşımları dayanım/yoğunluk özellikleri bakımında çeliklerle mukayese edilebilen bir malzeme grubudur. Bu üstün özellikleri nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

2.1.2. İletkenlik

Diğer metal ve alaşımlara göre (bakır hariç) bu oran alüminyumda daha yüksektir ve bundan dolayı da yüksek iletkenlik istenen yerlerde alüminyum malzemeler tercih edilmektedir.

2.1.3. Aşınma Dayanımı

Alüminyum ve alaşımları sünek karakterli olmalarından dolayı, aşınmaya karşı dayanımları oldukça zayıftır. Fakat bu zayıf özelliği alaşımlara uygulanan bazı ısıl işlemlerle arttırılabilmektedir.

Bu özelliğinden dolayı dayanım artırma mekanizmalarına kolaylıkla tepki verir. Çizelge 2.1’de tavllanmış saf alüminyum dayanımı, çeşitli tekniklerle dayanımları artırılmış alaşımlarla karşılaştırılmıştır. Alüminyum alaşımları saf alüminyumdan yaklaşık 30 kat daha dayanıklıdır. Diğer taraftan, alüminyum genellikle yorulmada dayanım sınırı sergilemez [7].

Çizelge 2.1. Alüminyum ve alaşımlarında dayanım artırma mekanizmalarının etkisi [7].

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	% Uzama
Saf Tavllanmış Al (%99,999)	44,83	17,24	60
Ticari Saf Al (Tavllanmış %99)	89,67	34,48	45
Katı Eriyik Mukavemetlendirilmiş (%1,2 Mn)	110,34	41,38	35
%75 Soğuk Şekillendirilmiş Saf Al	165,52	151,72	15
Dağılım Mukavemetlendirilmiş (%5 Mg)	289,66	151,72	35
Yaşlandırılmış (%5,62 Zn %2,5 Mg)	572,41	503,54	11

Saf alüminyumun elektrik iletkenliği, bakırın elektrik iletkenliğinin yaklaşık %60’ı kadardır. Diğer taraftan bakırın yoğunluğunun alüminyumun yoğunluğunun yaklaşık üç kat fazla oluşu ve buna bağlı olarak da birim kütle başına düşen (iletkenlik/yoğunluk oranı) elektrik iletkenliğinin alüminyumun birim kütle başına düşen elektrik iletkenliğinden daha düşük olması nedeniyle iletim hatlarında da kullanılmaktadır. Alüminyumun diğer bir üstün özelliği de korozyona dayanımının iyi olmasıdır. Bunun nedeni yüzeyinde atmosferin etkisiyle oluşan çok ince bir oksit

tabakasının yüzeyi tamamen kaplaması ve oluşan tabakanın daha sonraki metal-hava temasını kesmesidir [8].

Saf alüminyumun sünek ve dayanımının düşük olması sebebiyle kullanım alanı sınırlıdır. Bundan dolayı saf alüminyumun çeşitli özelliklerini istenilen doğrultuda iyileştirmek için alaşımlama yapılır. Saf alüminyumun mekanik özelliklerini iyileştirmek için ilave edilen alaşım elementlerinin, yüksek uzama kabiliyetini (süneklik) olumsuz yönde etkilemeden akma ve çekme dayanımını artırması beklenir. Alüminyuma ilave edilen önemli alaşım elementleri Cu, Mg, Zn, Ti, Si, Mn ve Cr olarak yazılabilir. Katı eriyik oluşturan bu alaşım elementleri oranlarının çözünebilirlik oranının altında olması durumunda, alüminyumun kristal kafesine yerleşirler ve böylece deformasyon sırasında kaymaya karşı olan direnç artar. Buna bağlı olarak da alüminyumun akma ve çekme dayanımları artar. Alaşım elementleri oranlarının yüksek olması durumunda ise alüminyum atomları ile alaşım elementlerinin katı çözelti oluşturmayan atomları arasında sert ve kırılabilir olan metallere arası bileşikler (intermetalik) oluşur. Bu durumda dayanım artarken şekil değiştirme kabiliyeti ise azalmaktadır [9,10].

Endüstride alüminyum alaşımları genel olarak dökme alaşımları ve mekanik işlem alaşımları olmak üzere iki gruba ayrılır. Plastik şekillendirme ile sertleştirilebilen mekanik işlem alaşımları, döküm alaşımlarından oldukça farklı mikroyapı ve bileşime sahiptirler. Her iki ana grup içindeki alaşımlar ısıl işlem yapılabilir ve yapılamaz alaşımlar olmak üzere iki alt gruba ayrılabilir. Isıl işlem yapılabilen alaşımların dayanımı yaşlandırma ile artırılabilirken, ısıl işlem yapılamayan alaşımların dayanımı ise katı eriyik mukavemetlenmesi, pekleşme ve dağılım mukavemetlenmesi ile artırılabilir [11].

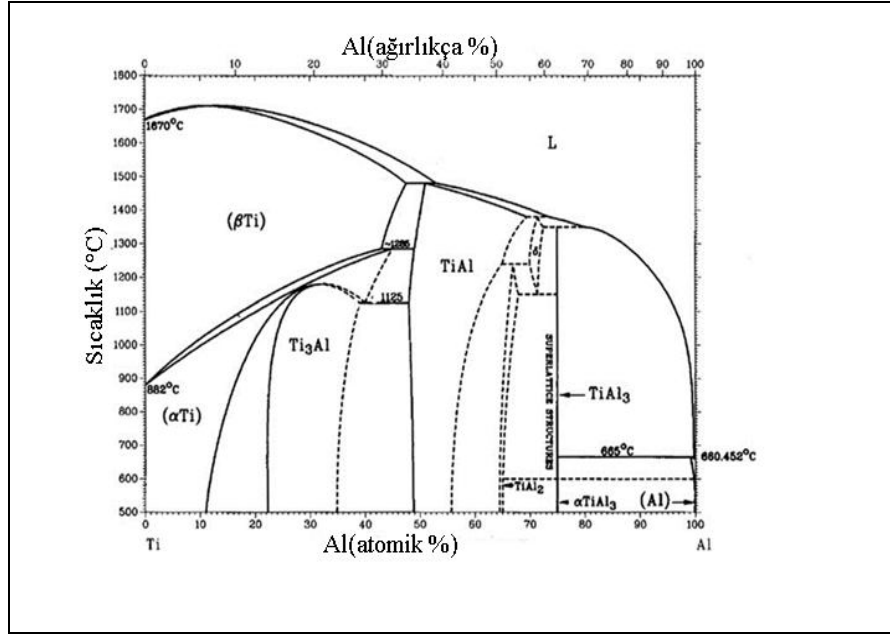
Erimiş sıvı haldeki alüminyum katılaşma sırasında anormal tane büyümesi göstermektedir. Bu durumu önlemek için sıvı alüminyuma katılaşma sırasında çoğu zaman %0,1–0,2 oranlarında titanyum ilave edilir. Yapıda titanyum tane inceltici olarak görev yapar. Al-Ti alaşımları gelecekteki en önemli malzemelerden biri olarak görülmektedir. Çünkü dayanım, yüksek uzama kabiliyeti ve hafiflik gibi avantajlara sahiptir. Bu özelliklerin geliştirilmesi ve ayrıca metal matrisli kompozitleri de

kapsayan araştırmalar yapılmaktadır [12,13]. Ayrıca Al-Ti alaşımları oksidasyon ve aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımları ve düşük yoğunluklarından dolayı uzay teknolojisi ve mühendislik uygulamaları için cazip malzemelerdir. Bu alaşımlar için önemli problem oda sıcaklığında sergiledikleri düşük uzama kabiliyetidir. Oda sıcaklığındaki düşük uzama kabiliyeti yaygın kullanımı engellemektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak için alaşımı katkılama, tane inceltme ve ısıl işlemler gibi farklı prosesler uygulanmaktadır [14].

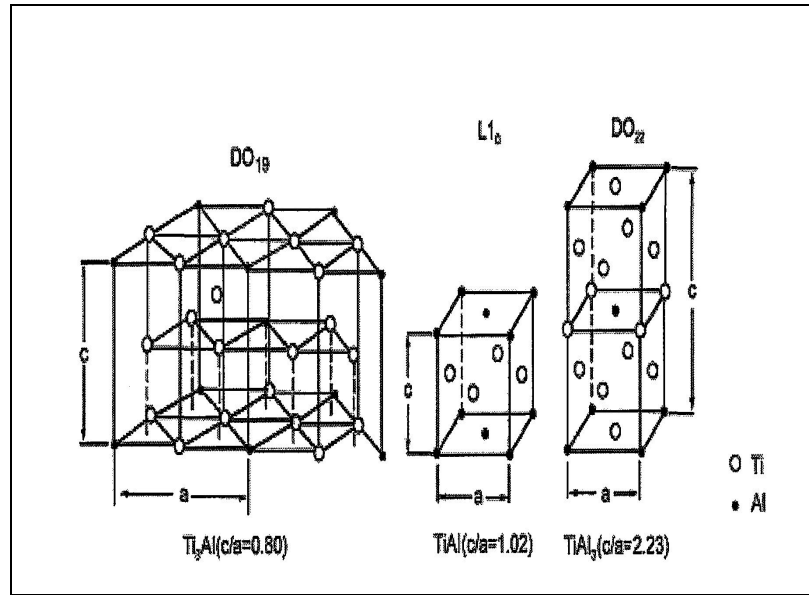
Mekanik alaşımlama (MA) tekniği ile üretilen Al-Ti alaşımları 500 °C'ye kadar kusursuz bir kararlılık sergileyen karbürler, oksitler ve eşit boyutlu metaller arası Al-Ti bileşikleri içermektedirler. Düşük Ti içerikli Al-Ti alaşımlarında yaygın olarak gözlenen metaller arası faz Al_3Ti bileşimidir. Mekanik alaşımlama 1990'lardan bu yana farklı kimyasal bileşimlere sahip alaşımların üretiminde yaygın olarak kullanılan bir katı hal işlemdir [15]. Ayrıca bu yöntemle nano kristal yapılı (NC) malzemelerde üretilebilmektedir. MA tekniği ile üretilen Al-Ti alaşımlarının düşük yoğunluğa sahip olması ve yüksek sıcaklık dayanımlarının artırılması bu yöntemi yaygınlaştırmaktadır. Bu teknikte farklı elementlerin tozları öğütme ile kolaylıkla alaşımlanabilmektedir. Bu işlemden gaz olarak Ar, H_2 , N_2 , ve HN_3 kullanılır. Genel olarak bu işlem RBM (Reactive Ball Milling) olarak adlandırılır ve RBM H_2 , N_2 ve NH_3 gibi aktif gaz ortamındaki gaz ve tozlar arasındaki kimyasal reaksiyonlara neden olan bir işlem olarak tanımlanır. Hidrojen gazının kullanıldığı RBM ele alındığında H_2 gazının tozlar içerisinde çözünmesi sonucu TiH_2 bileşimi oluşur. Bu kolay bozulan faz Al-Ti alaşım tozlarının tane ve parçacık boyutlarını düşürmede etkilidir. Son olarak elde edilen tozlar sinterleme, sıcak presleme, sıcak ekstrüzyon (Hot Extrusion), PAS (Plasma Activation Sintering), HIP (Hot Isostatic Pressing) ve EDC (Electro-Discharging Compaction) gibi tekniklerle birleştirilir. İstenilen amaca ulaşılabilmesi için birleştirilen tozların nano boyutlu yapısını koruması istenir. MA ve sinterleme sırasında oluşturulan ikincil fazların (örneğin; Al_3Ti ve TiH_2) alüminyumun tane sınırlarında bulunması beklenir. Çünkü bunlar sinterleme sırasında tane büyümesini etkin bir şekilde engellemektedir [16].

Al-Ti faz diyagramında (Şekil 2.1) Al ve Ti elementlerinin oranlarına ve alaşımlama şartlarına bağlı olarak farklı metaller arası bileşiklerin (α_2 - Ti_3Al , γ -

TiAl, TiAl₃ ve TiAl₂) oluştugu gör÷lmektedir. Titanyum alüminatlar metaller arası bileşiklerdir. İntermatalikler, kristal yapıları metallere farklıdır. İkili Al-Ti alaşım sisteminde yaygın olarak gör÷len intermetaliklerin kristal yapıları şematik olarak Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Al- Ti sisteminin faz diyagramı [17].



Şekil 2.2. Al- Ti sistemindeki Ti₃Al, TiAl ve TiAl₃ faz modellerinin kristal yapıları [18].

Düzenli yapıda olan metaller arası $TiAl_3$ bileşiğinin (trialüminat) kristal yapısı tetragonal DO_{22} 'dir ($a=0,3848$ nm, $c=0,8596$ nm ve $c/a=2,23$) ve onun kristal yapısı $L1_2$ yapısı ile yakından ilgilidir. Yapı, c-ekseni boyunca uzanan her (001) düzlemi üzerindeki $a/2\langle 100 \rangle$ yer değiştirme vektörü ile bir anti faz sınırının çıkarılması ile öncekinden elde edilmektedir. Zengin Al içeriğine sahip birçok metaller arası bileşikler mukayese edildiğinde $TiAl_3$ fazı yüksek erime noktası, düşük yoğunluğu ve yüksek young modülünden dolayı çok ilgi çekmektedir. Ayrıca sahip olduğu yüksek Al içeriği bu fazı daha hafif ve oksitlenmeye karşı dirençli yapmaktadır [19].

Yeni yüksek sıcaklık yapısal malzemeleri için yapılan araştırmalar düzenli intermetaliklere olan ilginin artmasına neden olmuştur. Düzenli intermetalikleri içeren alaşımlar, genellikle kritik düzenlenme sıcaklığı (T_c) olarak tanımlanan ve belirli sıcaklığın altında uzun mesafeli atomik diziliş düzene sahip bir kristal yapı oluşturan metalik malzemelerdir. Düzenli yapılı intermetalikler özel uygulamalar için metallerin özelliklerin gelişiminde ve yüksek sıcaklık alaşımlarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. Böylece, intermetaliklerin kristolografik birim hücrelerindeki düzenli konumları yüksek dayanımlı alaşımların gelişiminde mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerin anlaşılmasında temel faktörlerdir [20].

İntermetalikler yüksek sıcaklık uygulamaları için çok çekici özelliklere sahiptir. Ti-Al intermetalikleri (özellikle Ti_xAl , X, $x=3$ veya 1) artan sıcaklıklardaki iyi mekanik özellikleri, yüksek erime noktaları ve düşük yoğunluklarından dolayı son zamanlarda çok fazla ilgi çekmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı Ti_xAl ($x=3$ veya 1) tabanlı alaşımlar uzay ve otomotiv sanayisindeki uygulamalar için beklenen yapısal malzemeler olarak düşünülmektedirler. Özellikle, çok iyi dayanım/ağırlık oranına sahip yüksek sıcaklık yapısal malzemelerine duyulan ihtiyaç TiAl tabanlı alaşımların gelişimine karşı çok büyük ilgi uyandırmıştır. $TiAl_2$ ve Ti_xAl_y gibi intermetalikler ise endüstriyel uygulamalar için iyi mekanik özellikler sunmaktadır [21].

BÖLÜM 3

TOZ METALURJİSİ

Toz metalurjisi (T/M) çok küçük parçacıklar birbirine bağlayarak parça üretimi yapılan bir işlemdir. Daha geniş bir ifade ile T/M, toz şeklindeki malzemelerin preslenmesi ve takiben yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi ile parça üretimini kapsamaktadır. Toz metalurjisini çekici kılan en önemli unsur, yüksek kaliteye sahip karmaşık şekillerdeki parçaların istenilen toleranslarda kayıpsız ve/veya çok az kayıpla ekonomik olarak üretilebilmesidir. Toz metalurjisi ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimi de ortadan kaldırmaktadır. Günümüzde toz metalurjisini endüstriyel üretim aşamalarının hemen hepsinde uygulanabilir hale getiren bazı zorlayıcı nedenler vardır. Bu nedenler arasında, malzemedeki tasarruf edilmesi, üretilen parçanın mikro yapısında ince tane boyutları ile kimyasal olarak homojenizasyonun sağlanması, karmaşık şekilli parçaların nispeten ekonomik olarak üretilebilmesi ve tam yoğunluk ile yüksek dayanım performansı gibi etkiler sayılabilir. Bu yüzden, toz metalurjisi dünyada giderek yaygınlık kazanmakta ve diğer üretim yöntemlerine alternatif olarak karşımıza çıkan bir teknolojidir [22].

3.1. TOZ METALURJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Metal malzeme üretimi açısından ortalama boyutları birkaç mikrondan birkaç yüz mikrona kadar olan küçük parçacıklar, toz olarak tanımlanmaktadır. Tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, dendritik formlara kadar çok farklı olabilmektedir. Aynı şekilde tozun yüzey durumu da (yani düzgün veya gözenekli olması da) yine üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Tozun ortalama boyutları, şekli ve yüzey durumu parça üretimi açısından önemlidir. Üretim yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. Atomizasyon

Bu yöntemde sıvı metalin başka bir katı yüzeye çarpmadan önce küçük damlacıkların hızlı bir şekilde katılaşması ile elde edilir. Bu ise sıvı metalin, bir gaz veya sıvı akışkan jeti ile parçalanmasını sağlamak suretiyle gerçekleştirilir. Kullanılan gaz çeşitleri genellikle argon, azot veya hava, sıvı olarak ise su kullanılır.

Püskürtme açısı ve konisi, akışkan hızı, debisi, akan metalin kalınlığı gibi bir çok parametrenin kontrolü ile çok farklı boyutlarda toz üretimi mümkündür. Katılaşma hızına bağlı olarak parçacığın şekli küresel halden, su veya düşük ısı kapasiteli gaz kullanılması halinde ise daha düzensiz parçacığa kadar farklılık gösterebilir. Pratikte bu yöntem ergitilebilen bütün metallere uygulanabilir. Ticari olarak üretilebilen tozlar arasında, demir, takım çelikleri, alaşımli çelikler, bakır, pirinç, bronz ve alüminyum, kurşun, kalay çinko ve kadmiyum gibi diğer düşük ergime dereceli metal tozları sayılabilir. Krom gibi kolay oksitlenebilen metaller içeren alaşımlar, argon gibi asal gaz altında üretilmektedir. Atomizasyon yönteminin avantajlarından biri de alaşım tozlarının ergitilmesinde rahatlıkla kullanılabilmesidir. Bu yöntemle üretilen tozların bileşimleri her bir toz tanesinde aynı kalmaktadır.

Atomizasyon ile toz üretimi şu yöntemlerle gerçekleştirilmektedir :

- Döner disk yöntemi
- Döner elektrod (Rep) yöntemi
- Vakum atomizasyon yöntemi
- Su atomizasyon yöntemi
- Gaz atomizasyon sistemi

3.1.1.1. Döner Disk Yöntemi

Atomizasyon için değişik yöntemler kullanılabilir. Bunların içinde önemli bir yer tutan yöntem olarak merkezkaç kuvvetinin etkisiyle toz metal üretimini sağlayan döner disk yöntemidir. Bu yöntem içinde de iki ayrı üretim tekniği vardır. Bunlardan biri belli bir miktarda sıvı metal toz oluşturacak kadar merkezkaç kuvvete tabi tutulur.

Diğer yöntemde ise ergimiş metal sürekli olarak dönen bir disk veya koni üzerine akıtılır. Buradan saçılan metalin toz haline gelmesi sağlanır. Bir potadan tandişe aktarılan sıvı metal, tandiş altındaki memeden dönen bir disk üzerine akıtılır. Saçılan metal parçacıklar nozülden çıkışta bazen su ile soğutularak birbirine yapışmadan katılaşmaları sağlanır.

3.1.1.2. Döner Elektrod (Rep) Yöntemi

Bu yöntemde tozu elde edilecek metalden yapılmış bir elektrod ile ergimeyen tungsten elektrod arasında ark oluşturulur. Ergiyen elektrodun döndürülmesiyle, elektrik arki altında bunun ucunda oluşan metal damlaları savrulularak parçalanır ve tankta toplanır. Oksidasyonu önlemek için toz toplama tankı genellikle helyum, argon gibi bir asal gazla doldurulur. Bu yöntemle küresel ve oldukça eşit tane iriliğinde metal tozu üretmek mümkün olmaktadır.

3.1.1.3. Vakum Atomizasyon Yöntemi

Bu yöntemde silindirik bir tankın alt kısmında sıvı metal potası, üst kısmında da vakum atomizasyon odası bulunmaktadır. Her iki bölüm sıvının geçeceği memeyi taşıyan bir plaka tarafından bölünmüştür. Memenin alt kısmında ona bağlı bir seramik boru bulunmaktadır. Vakum altındaki sıvı metal önce belirli bir sıcaklığa kadar induksiyon akımı ile ısıtıldıktan sonra bu bölüme hidrojen gazı doldurulur. Potadaki sıvı metalde bu hidrojen gazı çözüldükten sonra potayı yukarı taşıyan mil potayı yukarı iterek seramik boruyu potaya daldırır. Üst kısımda vakum olduğu için ergimiş sıvı metal memeden geçerek (parçalanarak) pülverize olur ve soğur. Böylece metal ve alaşımlarından ince küresel tozlar üretilir.

3.1.1.4. Su Atomizasyon Yöntemi

Sıvı metali pülverize etmek için bu yöntemde basınçlı su kullanılmaktadır. Ergitme ocağından tandişe, buradan da bir nozülden geçerek akan sıvı metal demetine belirli açıda basınçlı su püskürtülerek pülverize olması sağlanır. Kimyasal ve fiziksel özellikleri değiştirebilmek için suya bazı katkıları yapılabilir. Özel memelerden

püskürtülen suyun basıncı 5,5-20 MPa, hızı 70-230m/s, debisi ise 110-380 litre/dakika değerleri arasında değişmektedir. Kullanılan su filtre edilip soğutulduktan sonra tekrar kullanılabilir. Atomize edilen sıvı metal paslanmaz çelikten yapılan bir tankta toplanır. Metal tozunu oksidasyondan korumak için tank azot gazı doldurulmaktadır. Sıvı metalin aktığı memenin şekli ve suyu püskürten üfleçlerin tipi elde edilecek metal tozunun boyutlarını, boyut dağılımını ve şeklini etkilemektedir.

3.1.1.5. Gaz Atomizasyon Yöntemi

Basıncılı gaz ile atomizasyon da prensip olarak su atomizasyon yöntemine benzemektedir. Ancak burada akışkan olarak su yerine gaz kullanılır (Gaz yerine, su buharı veya hava da kullanılabilir). Sistemin birbirine püskürtme memesi ile irtibatlı düşey olarak üst üste bulunan iki odası vardır. Üstteki odada sıvı metal potası, alttaki odada ise atomizasyon işlemi yapılmaktadır. Her iki oda da vakum pompasına bağlantılı olup oksidasyonu engellemek için işlem vakum altında yapılmaktadır. Sıvı metal potası ve atomizasyon memesi yüksek frekanslı indüksiyon bobinleri ile sıcak tutulmaktadır. Atomizasyon odasında oluşan fazla buharı ve yüksek basıncı atmak için emniyet ventilinden yararlanılmaktadır. Bu ventilin bulunduğu borunun diğer ucu siklon ve filtre üzerinden atmosfere veya bir emişe bağlıdır. Basıncılı gaz tüpünden boru ile memeye ulaşan gaz potadaki sıvı metali beraberinde sürükleyerek atomizasyon odasına pulverize ederek dağıtılır. Soğuyan metal tozu bu odanın tabanındaki bir hazne içinde toplanır. Pulverize edilen metal tozlarının birbirine yapışmaması şekillerinin bozulmaması için atomizasyon odasının boyutları dikkatli seçilmelidir.

Süper alaşımlar için kapalı devre argon gazı kullanılır. Takım çelikleri ve paslanmaz çelikler için daha ucuz olması bakımından argon veya argon gazı karışımı kullanılır. Sıvı metal atomizasyon gazının bir kısmını absorbe edilir. Bu gaz daha sonra vakum altında uzaklaştırılabilir. Su atomizasyon yönteminde olduğu gibi gaz atomizasyon yönteminde de üfleçlerin özellikleri elde edilecek tozun şeklini yakından etkilemektedir. Genellikle istenen tane boyutu olabildiğince ince toz üretmektir. Bunun için ise supersonik üfleçler geliştirilmiştir. Bu sayede çok ince boyutlu toz elde edilir.

3.1.2. Mekanik Toz Üretimi

Bu yöntemde malzeme mekanik ya da pnomatik olarak kırma, çarpma ve öğütme şeklinde parçalanarak toz haline getirilir. Bu amaçla kullanılan makineler kırıcılar ve öğütücüler (kaba ve ince) olarak adlandırılmaktadır. Kırıcılar genellikle cevher hazırlamada, kaba ve ince öğütücüler ise birkaç mikrona kadar değişen boyutlarda toz hazırlamada kullanılmaktadır. Seramik malzemeler, (metaller arası bileşikler) ferro alaşımlar (ferrosilis, ferrokrom) gibi gevrek malzemeler bilyalı değirmenlerde öğütülerek ve toz haline getirilmektedir. Gevrek olmayan malzemelerin kırılması zor olduğu için öğütme işlemi genellikle bu tür malzemelere uygulanmaz. Bunun yerine bazı sünek malzemeler sıvı azot ile soğutularak gevrek hale gelmesi ve öğütme işlemine elverişli hale gelmesi sağlanır. Sünek malzemelerin öğütülmesi özellikle alüminyumun öğütülmesinde yapışmayı engelleyici işlem kontrol kimyasalları kullanılır. Bu yöntemde diğer bir uygulama da hidrürler oluşturmak ve sonra bu hidrürlerin vakum ortamında giderilmesi ile metal veya tozlarının eldesi sağlanır. Bu yöntem daha çok titanyum için kullanılan bir yöntemdir. Burada elde edilen toz, kütleler halindedir ve yüksek oranda hidrojen ve oksijen içerir.

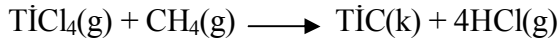
3.1.3. Fiziko Kimyasal Yöntemle Toz Üretimi

Bu yöntemde bileşenler organik bir bağlayıcı ile fiziksel olarak bir bağ oluşturacak şekilde karıştırılır. Sistemdeki solvent uçurularak kalan malzeme elekten geçirilir. Üfleme sırasında bağlayıcının yanması sağlanır. Bu yöntem daha çok NiAl ve AlSi-polyester tozlarının üretiminde kullanılır. Püskürtme ile kurutma yöntemi tozların topak haline getirilmesinde de yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bulamaç haline getirilen karışım döner bir püskürtücüden geçirilir. Oluşan bulut, karşıdan verilen sıcak hava ile tozların ayrılması ve hava akımı ile taşınmaları sağlanır. Bu yöntem zirkonya gibi seramik malzemelerde ve WC-Kobalt gibi sermetlerde kullanılmaktadır. Toz genellikle küreseldir. Fakat püskürtme ile kurutma yapıldığından gözenekli ve kolayca ufalanabilir. Malzeme genellikle sinterleme ile yoğunlaştırılır ve kararlı hale getirilir. Kimyasal olarak topak haline getirmekten başka bir de mekanik topaklaştırma (Hosakawa Yöntemi) vardır. Bu yöntemde daha sert olan bileşenlerden biri daha yumuşak olan matris içine mekanik olarak girmesi ve böylece kompozit bir toz haline

gelmesi sağlanır. Aslında basit öğütme işlemi ile kompozit malzeme elde edilmesi mümkündür. Sinterleme, toz metalürjisinin adımlarından biri olmasına rağmen kendi başına da toz metal üretiminde de kullanılan bir yöntemdir. Tekrarlı sinterleme işlemi ile reaksiyona girmiş bir veya çok bileşenli toz malzeme elde etmek mümkündür.

3.1.4. Kimyasal Yöntemle Toz Üretimi

Kimyasal yolla toz üretiminde sayısız yöntem kullanmak mümkündür. Bunlar arasında Sol-gel, kimyasal çöktürme, reaksiyon ile kimyasal buhar biriktirme (CVD), redüksiyon (otoklav içindeki hidrojen vasıtasıyla metal tuzlarını redükleyerek metal eldesi), dekompozisyon (parçalama, örneğin metal karbonil bileşikleri gibi) ve elektroliz sayılabilir. CVD yönteminde hidrojen atmosferinde ısıtma ile aşağıdaki reaksiyon sonucu TiC tozları üretilmektedir.



Sol-Gel metodu ise genellikle nükleer endüstri için, seramik malzeme üretimi için eleme ve sınıflandırma işlemlerinden kurtulabilmek için geliştirilmiş bir yöntemdir, bu yöntemle elde edilen parça boyutları <20 µm dur ve akıcılığı çok iyidir. Diğer ilginç kimyasal yöntem INCO firmasının geliştirdiği karbonil prosesidir.

3.1.5. Elektrolitik Yöntemle Toz Üretimi

Yüksek iletkenliğe sahip metal tozlarını üretmenin bir başka yöntemi ile elektrolit bir hücrenin katot çubuğunda metal tozlarını çöktürmektir. Bu yöntemle yüksek saflıkta Cu, Fe, Zn, Mn ve Ag tozlarını üretmek mümkündür.

3.2. T/M PARÇA ÜRETİMİ

Toz metalürjisi son ölçülerde ve hassas boyutlarda parça üretimine imkan verdiği için oldukça ekonomik sayılabilecek bir üretim tekniğidir. T/M parça üretimi de çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Bunlar; karıştırma, presleme, sinterleme ve sinterleme sonrası işlemlerdir.

3.2.1. Karıştırma

Tek bir boyut ve sabit kompozisyona sahip bir toza, istenen karakteristiklerin kazandırılması çok nadir gerçekleşir. Bu nedenle çoğu zaman başlangıç malzemesi değişik şekil, boyut ve farklı kompozisyondaki tozlar, yağlayıcı ve bağlayıcıdan oluşan bir karışımdır. Kaba tozlar ince tozlarla karıştırılarak aralarındaki boşluklar doldurulur. Böylece küresel geometriye sahip tozlarda teorik yoğunluğun %65'inin üzerinde bir yoğunluğa ulaşılır. Böylece yüksek ürün yoğunluğu mukavemet ve kırılma direnci gibi mekanik özellikler de artmaktadır.

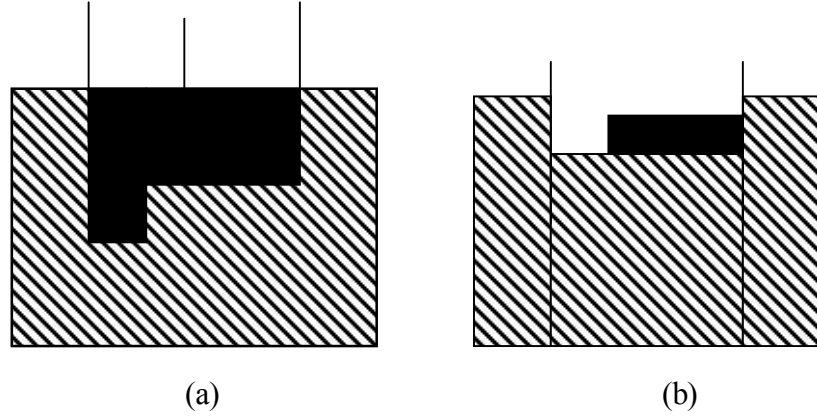
Harmanlama mekanik bir homojenizasyon işlemidir ve karışım boyut, şekil ve kompozisyon açısından üniform bir hale getirilir. Harmanlama veya karıştırma işlemleri yaş veya kuru halde yapılabilir. Patlama tehlikesini azaltmak ve daha iyi karışım oluşturmayı sağlamak için su veya diğer sıvılar (solvent) kullanılır. Yüksek miktardaki toz karışımlar (16.000 kg'a kadar) bile kimyasal bileşimlerin dağılımı, boyut ve şekil açısından oldukça homojen bir hale getirilebilir.

3.2.2. Presleme

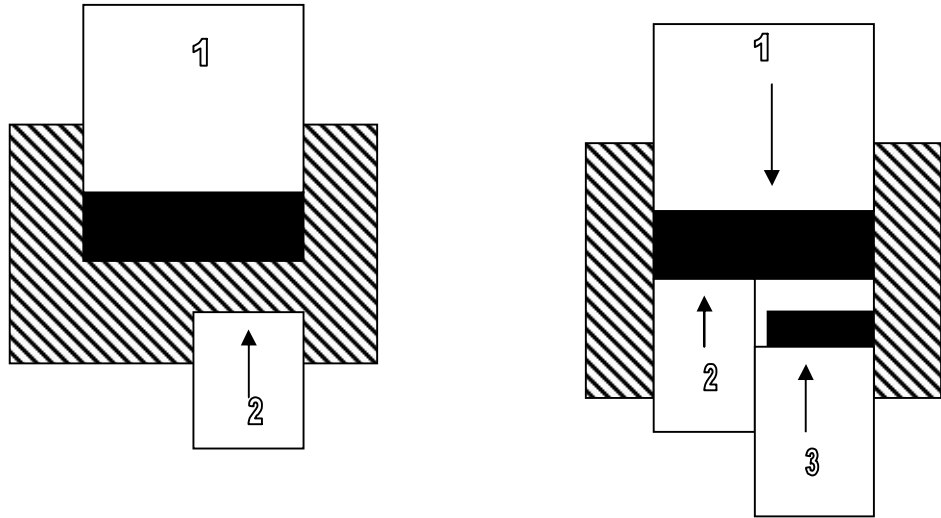
Toz metalurjisindeki en önemli aşamalardan biride preslemedir. Tek eksen boyunca uygulanan basınç sonucu kalıbı dolduran tozları, preslenerek şekillendirilir. Toz kalıba doldurulduktan sonra üst baskı plakası (dalgıç/piton) ile basma gerçekleşir ve kompakt alt pistonun hareketi ile çıkarılır. Seri üretim sırasında basma işlemi bir sonraki toz harmanı için yeniden tekrarlanır. Basma işlemi sırasında kullanılan kalıplar basit geometrik şekillerde olabileceği gibi, geometrik sınırlamalar çerçevesinde karmaşık da olabilir (Şekil 3.2). Basma sırasında kalıbın aşınması problemi tozlara ve kalıp duvarlarına yağlayıcı eklenerek giderilir. Yağlamanın bir başka amacı da, parçanın kolayca çıkmasını sağlamak içindir. Kalıplar sementit karbür esaslı ve/veya ısıl işlemlerle sertleştirilmiş takım çeliğinden imal edilir.

Presleme işlemi için genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik presler kullanılmaktadır. Preslerin uyguladıkları basınç değerleri 70 ile 700 MPa arasındadır. Pratikte kullanılan basınç değerleri ise genellikle 145-450 MPa arasındadır. Preslerin büyük bir kısmının

kapasitesi 100 ton civarındadır. Son zamanlarda 200-300 ton kapasiteli presler kullanılmaktadır. Toz metalürjisi ürünlerinin kesit alanı maksimum 2000 mm²'dir. Ancak yüksek kapasiteli özel preslerin kullanılması halinde bu değer 6500 mm' ye çıkabilmektedir.



Şekil 3.1. Farklı kalınlıktaki iki kesite sahip parçanın preslemeden önceki a) ve sonraki b) hali. Parçanın kesit farkından dolayı yoğunluk farkı meydana gelmektedir [23].



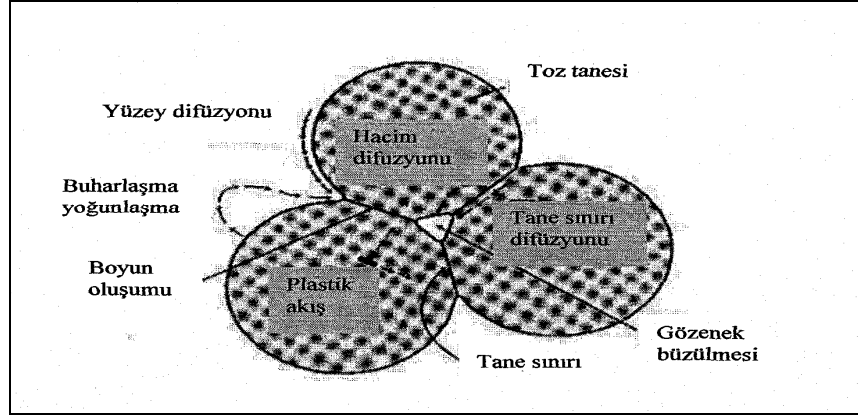
Şekil 3.2. Değişik kalınlıkta iki kesite sahip bir parçada homojen yoğunluk elde edilmesi amacıyla kullanılan iki farklı presleme metodu [24].

Sıkıştırma işlemi sırasında toz parçaları önce uygulanan kuvvet yönünde hareket ederler. Toz sıvı gibi akmaz. Kalıp yüzeyi ile parçacıklar arasında sürtünme sonucu bir reaksiyon meydana gelir. Bu reaksiyon uygulanan kuvvete eşit bir değere ulaşana kadar sıkışma aksel yönde devam eder. Daha sonra parçacıklar yatay yönde hareket ederler.

Yoğunlaştırma veya sıkıştırma işleminde kalıbın kenar duvarlarında meydana gelen sürtünme, anahtar bir faktördür. Bu nedenle presleme sonucu elde edilen yoğunluk, kalıplanan parçanın kalınlığı ve genişliğinin bir fonksiyonudur. 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.

3.2.3. Sinterleme

Sinterleme, yüksek sıcaklıkta toz parçacıkların birleştirilmesi işlemidir. İşlem genellikle erime noktası altında atomik boyutta gerçekleşir. Ancak bazı malzemelerde bu işlem sıvı faz bölgesinde de yapılır. Bölgesel birleşmenin olduğu yerde boyun noktasının büyümesiyle işlem başlar (Şekil 3.3). Boyun oluşumu parçacık şekline ve malzemeye göre farklılıklar gösterir. Parçacıkların sinterlenmesinde, atomik hareketleri yüzey enerjisini engelleyebilir. Birim alana düşen yüzey enerjisi atomik çapla ters orantılıdır. Küçük parçacıkların spesifik yüzey alanı küçük, enerjileri yüksektir. Buna bağlı olarak da sinterlenmeleri daha hızlıdır. Ancak tüm yüzey alanı sinterleme için geçerli değildir. Katı kristallerde her temas noktasında taneler, tane sınır enerjisiyle birleşir. Tane sınırları atomik hareketlilik açısından önemli bölgelerdir. Sinterleme mekanizması atomların bir yolda kütleli akışı gibidir. Metalik malzemelerde bu olay genellikle difüzyon şeklinde, yüzeyde bulunan tane sınır hareketi ve kristal kafeslerin geçişi şeklindedir. Bu difüzyon hareketleri parçacıkların geometrisine bağlı olarak modellenilebilir ve hareket enerjisi ve kinetiği hesaplanabilir. Sinterleme sırasında temas halindeki parçacıklar temas noktalarından difüzyonla hareket eder ve bu hareketlilik toz boyutunu alıncaya kadar devam eder. İlk toz çapı ile son toz çapının birbirine oranı genellikle; ilk çap = D , ise son çap = $1,26xD$ olur.



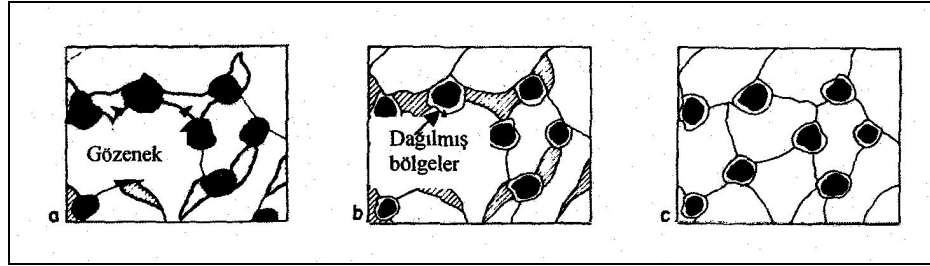
Şekil 3.3. Sinterleme sırasında meydana gelen mekanizmaların şematik gösterimi [25].

Sinterlemeyi etkileyen birçok faktör (toz boyutu, sıcaklık, alaşım elementlerinin ham yoğunluğu, sinterleme atmosferi v.b.) vardır. Sinterleme mekanizmasının etkin olabilmesinde en önemli etken preslenecek ve sinterlenecek tozların yüzeyinde oksit veya sinterlemeyi olumsuz etkileyecek tabakaların oluşmamasıdır. Eğer oksit tabakaları oluşur ve bu tabakalar presleme sırasında kırılırsa sinterleme çok verimsiz gerçekleşir.

Ancak sinterleme sonrası malzemenin mekanik ve tüm işlevsel özelliklerine etki eden sonuç, parça içerisinde oluşan boşluk ya da gözenek miktarıdır. Her ne kadar bu oluşumlarda presleme basıncı ve malzemenin özellikleri etkinse de, sinterleme sonrası gözeneklilik miktarı çok önemlidir. Sinterleme sırasında her ne kadar ebatlarda değişiklik istenmese de, boşlukların giderilmesi için katı transfer işlemlerinin olması beklenir. Bunlar, hacimsel difüzyon, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve sıvı akışı şeklindedir. Şekil 3.4 (a) ve 3.4 (b)'de sinterleme sırasında gözeneklerin oluşum mekanizması görülmektedir. Bu gösterim bir genel oluşum mekanizmasıdır ve malzemedan malzemeye değişiklik gösterebilir. Karışım tozlarının sinterlenmesinde denge diyagramları dikkate alınmalı ve büyük farklar varsa hacimsel oranlarına göre uygun sinterleme sıcaklığı seçilmelidir.

Sinterlemenin ileri aşamalarında toz sınırları kalkar ve tane büyümeye devam eder. Ancak büyümenin ileri safhalarında gözenekler tamamen tane içlerine hapis olur. Bu istenmeyen bir durumdur. Eğer sinterlenen numunede gözenek şekli dairesel hale

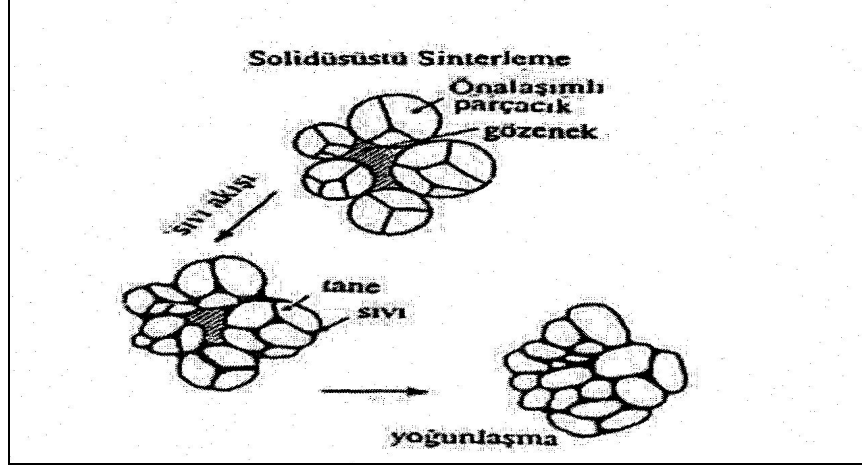
gelirse sinterlenmenin son aşamasına erişildiği anlaşılabilir. Bu son aşamada hiçbir zaman %100 yoğunluk elde edilemez. Sinterleme işleminin ardından yoğunluk artışı için farklı metotlar uygulanmaktadır (ekstrüzyon, haddeleme gibi). Toz parçalarının yoğunluk problemi çok önemlidir ve en büyük dezavantajlarıdır.



Şekil 3.4. Sinterleme sırasında meydana gelen gözeneklerin oluşumu ve zamana bağlı tavrının şematik gösterimi [26].

Son zamanlarda tam yoğun malzeme elde etmek için sıkça kullanılan bir metotta sıvı faz sinterlemesidir. Bu işlemde, katı fazların yanı sıra sıvı faz da oluşur. Sıvı faz difüzyon hızını büyük ölçüde artırarak parçacıklar arası bağ oluşmasını sağlar. Bu oluşum gözenek yapısını, mukavemeti, iletkenliği manyetik özellikleri ve korozyon dayanımını büyük oranda etkiler [27].

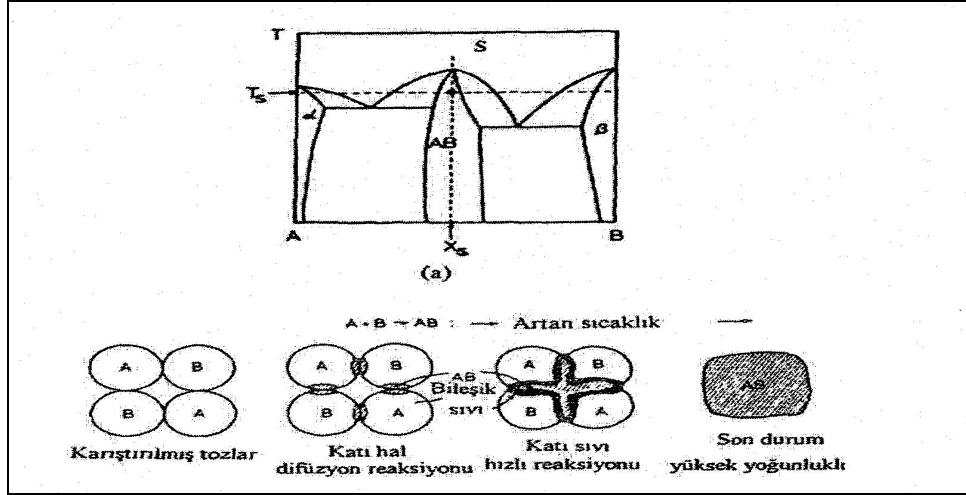
Yüksek sıcaklıkta ve sürekli sıvı faz sinterleme işleminde, hızlı yoğunluk artışı ve tane büyümesi gerçekleşir. Başlangıçta katıyı ıslatan sıvının (katı parçacıklar üzerine uyguladığı kapiler kuvvetler yardımıyla) etkisiyle parçacıkların yeniden düzenlenmesi sonucu hızlı bir yoğunluk artışı olur. Yeniden düzenlenme ile erişilen yoğunluk artışı, oluşan sıvı faz miktarına, parçacık büyüklüğüne ve katının sıvı fazda çözünürlüğüne bağlıdır. Sıkıştırılmış kütle içerisindeki gözenek miktarının azalması, sıvı akışını güçleştirir. Bu nedenle yoğunlaşma hızı giderek azalır. Belirli bir aşamadan sonra çözünürlük ve yayınma (difüzyon) daha etkin hale gelir. Bu nedenle çözünme ve tekrar çökme meydana gelir. Bu aşamada yoğunlaşma ve tane büyümesi, olgunlaşması ve tane şekli oluşumunun her ikisi de difüzyon kontrollü olarak gerçekleşir [28]. Bu işlemlerin oluşabilmesi için katı fazın sıvı fazda belirli oranda çözünmesi gerekir [29].



Şekil 3.5. Sıvı faz sinterlemesinin şematik gösterimi [30].

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi, ısıtma sırasında her toz parçacığı içerisinde sıvı faz oluşur. Bu durum tanelerin küçülmesine sebep olmaktadır. Sıvı oluşumuyla birlikte yoğunluk artışı çok hızlı olmakta ve artan sıvı miktarıyla orantılı olarak yoğunlukta artmaktadır. Sıvı faz sinterlemesinin farklı bir uygulaması da, geçici sıvı faz sinterlenmesidir (GSFS). Sinterleme sırasında oluşan denge fazı katı ise sıvı faz difüzyon homojenizasyonu ile katılarak kaybolur [31]. Bu yöntemde, sıkıştırılabilirliği yüksek saf element tozları kullanılabilir ve sürekli SFS’de görülen tane irileşmesi oluşmaz. Ancak oluşan sıvı faz miktarı bazı işlem parametrelerine bağlı olduğundan bu yöntem de sinterleme şartları çok önemlidir. GSFS’ne örnek olarak civa ve gümüş esaslı diş amalgamları, gözenekli bronz yataklar, demir esaslı yapı alaşımları, manyetik malzemeler ve alümina esaslı seramik malzemeler verilebilir.

Reaksiyonlu (reaktif) sinterleme geçici sıvı faz sinterlemesine benzer. Şekil 3.6 (a)’da reaksiyonlu sinterleme işlemi şematik olarak gösterilmektedir. Toz karışımı karşılıklı difüzyonla sıvı fazın olduğu sıcaklıkta sinterlenir. Oluşan sıvı faz geçicidir ve son ürün ise bir metaller arası bileşiktir. Bileşenler arasındaki reaksiyon çoğunlukla egzotermiktir. Sıvı oluşumu ve egzotermik reaksiyon sonucu meydana gelen ısınmayla birlikte hızlı bir sinterleme gerçekleşir.



Şekil 3.6. Sinterleme reaksiyonunda a) Reaksiyonlu sinterleme için uygun denge diyagramı, b) reaksiyonlu sinterlemede meydana gelen olayların şematik gösterimi [32].

Özellikle karşılıklı difüzyon hızlarının farklı ve bileşik oluşum ısısının yüksek olması durumunda sinterlenen parçada hacimsel artış meydana gelir [33]. Ayrıca gözenek oluşumu da söz konusudur. Sıvı akışı ve homojen bir içyapı oluşumu için reaksiyon sıcaklığının ötektik sıcaklığın üzerinde olması gerekir. Reaksiyonlu sinterleme henüz geliştirilme aşamasıdır ve intermetaliklerin, seramiklerin ve değişik bileşiklerden oluşan parçaların sinterlenmesinde kullanılmaktadır. Bu sinterleme işleminde egzotermik reaksiyon kontrol edilerek içyapıya zarar vermesi önlenmelidir. İşlem kontrol parametrelerinin denetimi için yeterli bilgi olmadığından reaksiyonlu sinterleme, bileşiklerin daha sonraki aşamada yoğunluk artırabilmek için ön şekillendirme esasında kullanılır. Öte yandan basınçlı sinterleme tekniği ile doğrudan yoğunluğu yüksek parçalar üretmek mümkündür [34].

Sinterleme sırasında elde edilen ürünler boyutsal olarak son şekline sahip oldukları için genellikle ek bir işleme gerek duymazlar. Ancak, bazı ürünler için talaşlı imalata da gerek duyulabilir. Son ürünlerde yapılması gereken bu ilave işlemler genellikle maliyeti artırdıklarından arzu edilmezler. Çünkü genelde yüksek mukavemete ve aşınma direncine sahip olan bu ürünlerin işlenmesi oldukça güçtür. Bunların işlenmesinde özel takımalar yada özel teknikler kullanılır. Toz metalürjisi ile üretilen parçaların en önemli özellikleri son şekle sahip olmalarıdır ve bu büyük avantajlar

sağlar. Bunun için geliştirilen ve üzerinde halen çalışmaların devam ettiği pek çok yeni yöntem (ikinci presleme, ikinci sinterleme, lazer sinterleme vb.) vardır.

3.2.4. Yeniden Presleme

Mekanik ve manyetik özellikler açısından bir önem arz ediyorsa toz metalurjisi ile üretilen parçaya tekrar presleme işlemi uygulanır. Böylece istenen özelliklerin elde edilmesi sağlanır. Preslenmiş parçaların 700-800°C de ön sinterlenmesinde, üretimi sırasında ilave edilen yağlayıcılar yakılarak uzaklaştırılır. İşlem sırasında oluşan sertleşme ve iç gerilimler giderilerek süneklik ve yoğunluk daha fazla arttırılabilir. Bu nedenle presleme yapılır ve parça bundan sonra sinterlenir.

3.3. TOZ METALURJİSİ ÜRÜNLERİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Diğer imal usullerinde olduğu gibi toz metalurjisinin de belirli avantaj ve dezavantajları vardır. Toz üretim yönteminin ekonomik bir şekilde ve başarıyla uygulanabilmesi için avantaj ve dezavantajlarının başlangıçta değerlendirilmesi gerekir.

3.3.1. Avantajları

- Talaşlı işlem gereksiniminin azaltılması veya tamamen elemine edilmesi

Toz yöntemiyle elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey bitirme kalitesi çoğu ürün veya uygulama alanı için yeterli olduğundan ilave talaşlı işleme gerek yoktur. Özel durumlarda boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesinin talebi halinde ürünler basma ve boyutlandırma gibi ikincil işlemler uygulanabilir.

- Yüksek üretim hızları

Toz prosesindeki bütün adımlar basittir ve otomatizasyona uygundur. İş gücü gereksinimi düşüktür. Ürün homojenliği ve aynı kalitede tekrar üretilebilirlik oranı diğer yöntemlere göre daha yüksektir.

- Karmaşık şekillerin üretimi

Dişli çark, kam mili gibi oldukça karışık şekilli parçalar üretilebilir. Ekonomik olarak talaşlı işlem ve dökümle şekillendirilemeyen parçalar toz yöntemiyle üretilir.

- Çok geniş bir kompozisyon aralığı

Kompozisyon açısından oldukça yüksek saflığa sahip parçalar üretilebilir. Metal ve seramikler gibi birbiri içinde çözünmeyen ve farklı karakterdeki malzemelerde bir araya getirilebilir. Katı eriyik veya çözünürlük sınırları aşılarak aşırı doymuş katı çözültü alaşımları veya yüksek alaşımlı malzemelerde elde edilebilir.

- Hurda miktarının azaltılması

Toz metalurjisi bilinen üretim yöntemleri içerisinde malzeme kaybına neden olmayan tek yöntemdir. Döküm, talaşlı işlem, presle şekillendirme işlemlerinde hurda miktarı başlangıçtaki miktarın yarısına ulaşabilmektedir. Hurda oranı, özellikle pahalı malzemelerin şekillendirilmelerinde daha da önem kazanmaktadır. Toz metalurjisi ile bazen toplam maliyeti arttırmadan daha pahalı malzemeler kullanılarak üretim yapılabilir.

3.3.2. Dezavantajları

- Düşük mekanik özellikler

Çoğu kez toz metalurjisi parçalarının mekanik özellikleri döküm ve dövme yöntemi ile üretilen malzemelerin özelliklerinden daha düşüktür. Yüksek gerilmelerin söz konusu olduğu uygulama alanlarında bu parçalar kullanılmaz. Bununla birlikte, ilave masrafların göze alınması halinde ürünlerin mukavemet değerleri çeşitli yöntemlerle yükseltilebilir.

- Nispeten yüksek kalıp maliyeti

Toz prosesinde yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve şiddetli aşınma söz konusu olduğu için kalıplar pahalı malzemelerden ve büyük kütleler halinde yapılmaktadır. Bu nedenle, toz metalurjisi ile üretilecek parçaların sayısı maliyet açısından belirli bir miktarın altına düşmemelidir.

- Yüksek malzeme maliyeti

Birim ağırlık esasına göre toz malzemeler, dövme ve döküm malzemelerden daha pahalıdır. Ancak hurda şeklinde malzeme kaybının olmayışı ve talaşlı işleme gereksinimin ortadan kalkmasından dolayı yüksek malzeme maliyeti dengelenmektedir.

- Dizayn sınırlamaları

Toz metalurjisi, bazı şekildeki parçaların üretiminde uygun bir imalat yöntemi değildir. Parçalar kalıptan kolay çıkarılacak şekilde olmalıdır. Kalınlık/çap oranı sınırlıdır. İnce kesitlerin eldesi güç olduğundan, parça boyutu pres kapasitelerinin belirlediği sınırlar içinde olmalıdır.

BÖLÜM 4

AŞINMA

Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde mekanik etkenlere bağlı olarak meydana gelen malzeme kaybıdır. Birbiriyle temas halindeki iki cisim arasında meydana gelen bağıl hareket ile cisimlerin yüzeylerinin birbirini etkilemesi sonucu aşınma meydana gelir. Bu şekilde yüzeylerin ilk şekilleri bozulur, parçalar arasındaki boşluklar büyür ve amaçlanan fonksiyon yerine getirilemez [35].

Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında kaçınılmaz olan ve karmaşık bir sistem özelliği gösteren aşınma, korozyonun ve yorulmanın yanı sıra üçüncü büyük problemdir. Bu nedenle araştırmalar sürtünmeyi ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yoğunlaşmıştır. Sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken enerji ve malzeme israfı da önlenmiş olur. Çeşitli makine elemanlarının, mühendislik malzemelerinin kullanım ömürlerine büyük oranda etki eden aşınma verilememekte ve birbiri ile sürtünerek çalışan makine elemanlarının temas yüzeyleri zamanla aşınarak değişikliğe uğramaktadır [36].

Aşınmanın bir tanımı yapılacak olursa;

- Relatif hareket eden ve yüzey basıncı altında kalan iki cismin teması sonucu oluşan mekanik enerjisi tesiri ile malzeme yüzeyinden parçacıkların kopması sonucu meydana gelen malzeme yıpranmasıdır [36].
- Mekanik etkenler ile cisimlerin yüzeyinde zamanla oluşan malzeme kaybıdır.

Ayrıca aşınma, dış etkenler altında temas yüzeylerinde meydana gelen fiziki değişimlerin sonucu meydana gelmektedir [37]. Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için bazı şartların gerçekleşmesi gerekir.

Bunlar;

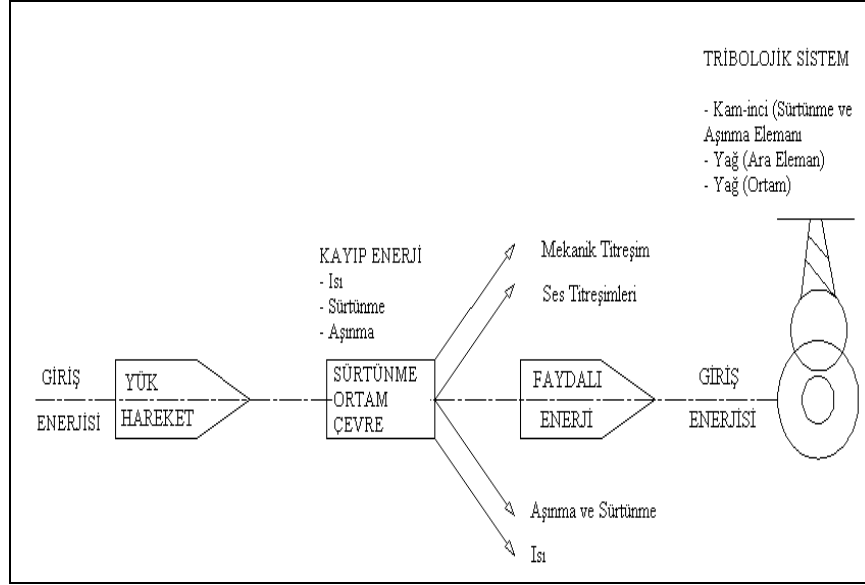
- Mekanik bir etken olması,
- Sürtünmenin (bağıl hareketin) olması,
- Yavaş ve devamlı olması,
- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- İstem dışında meydana gelmesidir.

4.1. AŞINMANIN TEMEL UNSURLARI

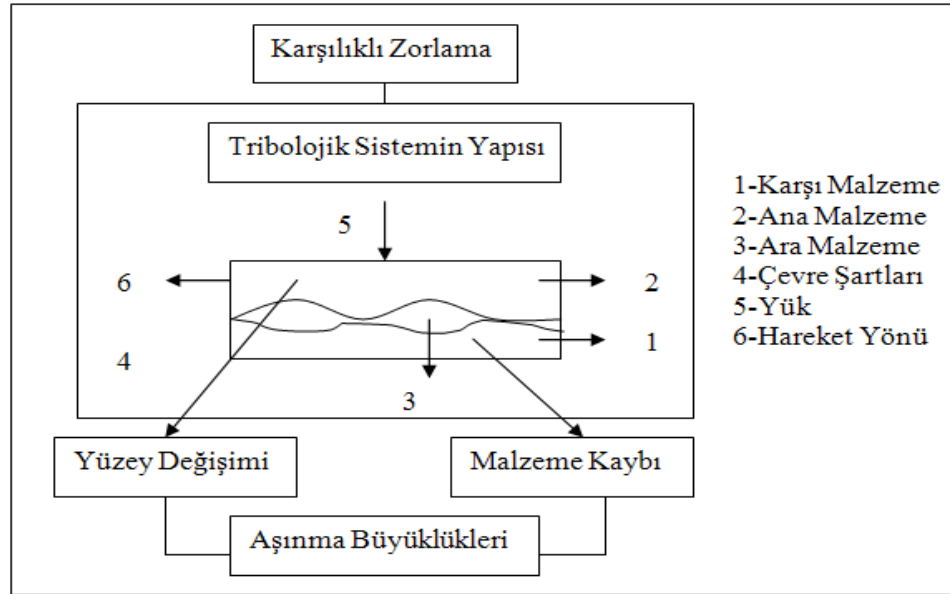
Aşınmanın gerçekleşmesi için sürtünme olmalıdır. Sürtünen iki cismin temas alanı, görünen temas alanından küçüktür. En hassas işleme yöntemleri ile de olsa işlenen katı malzemelerin yüzeyi hiçbir zaman düz değildir [38]. Çünkü üretim tekniğinde tam olarak pürüzsüz düz bir yüzeyin elde edilmesi imkansızdır. Yüzeylerin temas etmesi halinde ise yüzeylerdeki pürüzler karşılıklı etkileşir. İlk temas, pürüz tepeleri arasında oluşur. Pürüz tepeleri arasındaki girintiler temas etmezler. Gerçek temas alanı, temasta olan pürüzlerin toplam alanıdır. Yüklemenin şekli, yük temas alanının büyüklüğünü etkiler. 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 azalır ve gerçek temas alanı görülen temas alanına yaklaşır. Yüzey pürüzlülüğünün artışı ile aşınma direnci artar. Temasta olan cisimlere bağıl hareket yaptırabilmek için sisteme bir enerji girer. Bu enerji yük ve hareket şeklindedir. Giriş ile çıkış arasındaki fark, mekanik titreşime, ısı, ses ve sürtünme ve aşınmaya dönüşür [39].

4.2. TRİBOLOJİK SİSTEM

Triboloji, “bir izafi hareket içinde bulunarak birbirlerine etki eden yüzeylerin ve bunlarla ilgili olayların bilimi ve ya tekniği” olarak tanımlanmaktadır. Triboloji; sürtünme, aşınma ve yağlanmanın bilimsel incelenmesini ve tribolojik bilgilerin teknik uygulamasını içermektedir [40].



Şekil 4.1. Tribolojik sisteme giren enerji dağılımı [41].



Şekil 4.2. Tribolojik sistemin elemanları [42].

İçinde aşınma ve sürtünme olaylarının gerçekleştiği teknik sistemlere tribolojik sistem denilmektedir. Mühendislik malzemelerinin aşınma davranışlarının araştırılmasında mekanik sistemleri bir tribolojik sistem olarak dikkate almak gerekir. Yani aşınma olayı bir sistem bütünlüğü ile ele alınmalıdır [43]. Şekil 4.1’de bir tribolojik sisteme giren enerji dağılımı, Şekil 4.2’de ise tribolojik sistem elemanları görülmektedir.

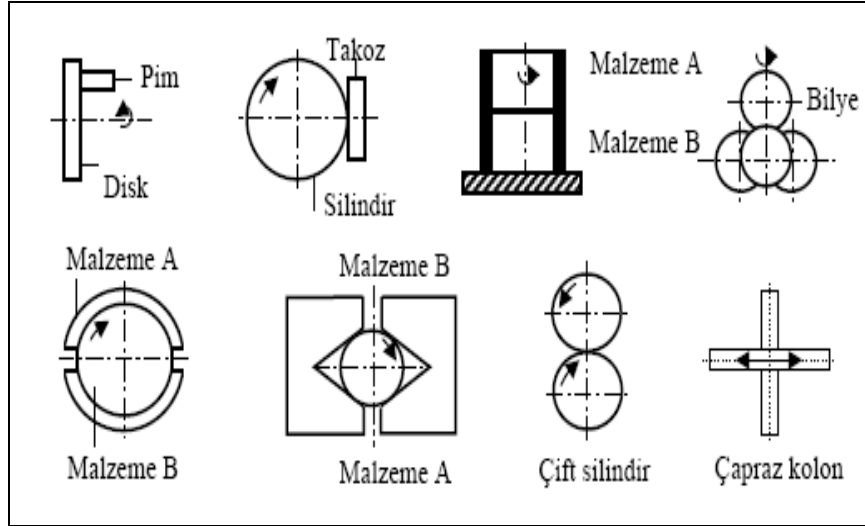
Tribolojik sistemi oluşturan unsurlar, ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük, hareket ve çevreden oluşmaktadır. Bir tribolojik sistem bu unsurların birçoğunu içinde bulundurur. Aşınma çiftini oluşturan ana malzeme ve karşı malzeme aralarında belirli bir ara malzeme varken az veya çok yük altında hareket ettiklerinde aşınma başlar. Ana malzeme; metal, mineral, plastik, kauçuk, ağaç, deri, v.s gibi aşınma karakteristiğine önem verilen katı cisimdir. Aşındıran malzeme ise metal, mineral, plastik, ağaç v.s. şeklinde katı olabileceği gibi sıvı veya gazlarla karışım durumunda da olabilir. Ara malzeme ise yağlar, aşınma parçacıkları v.b. olabildiği gibi bazen hiçbir madde olmayabilir. Endüstride çoğu zaman aşınma parçacıkları temizlenmemektedir. Böyle durumlarda arada yağlayıcıda yoksa teknik de kuru sürtünmeden söz edilir. Çevre çalışma ortamıdır. Yükleme darbeli, darbesiz, sabit, değişken v.s. şeklinde veya bunların birden fazlasının bir arada bulunması halinde olabilmektedir. Hareket ise kayma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma, darbe gibi biçimlerde olabilir [43,44].

Tribolojik sistemde ortaya çıkan aşınma mekanizmaları da farklıdır. Adhesive aşınma, abrasiv aşınma, yorulma aşınması, tribooksidasyon aşınması gibi mekanizmalarla tanımlanan aşınma, tribolojik sistem içerisinde genellikle tek başlarına bulunmaz ve etkin oranları kesin olarak belirlenmez. Ancak etken olan aşınma mekanizmasına göre önlemler yoğunlaştırılabilir. Tribolojik test cihazları, gerçek sistemlerde etkenlerinin analiz edilebilmesinin zorluğu ve ölçümlerin uzun sürelerde ve güçlükle yapılabilmesinden dolayı model sistemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Araştırmacılar genellikle inceledikleri sistemi dikkate alarak çalışmalarında kullanacakları aşınma test cihazlarını seçerler ve tasarlarlar. Bu seçim veya tasarımlarda, gerçek sistemi oluşturan tribolojik unsurları sağlayabilen ve sonuçları büyük oranda tekrarlayabilen cihazların belirlenmesi önemlidir. Aşınma test cihazları kısmen standartlaştırılmıştır [45]. Ancak standart test cihazlarında her sistemin şartlarını bulmak mümkün olmamaktadır.

4.3. AŞINMA TEST MODELLERİ

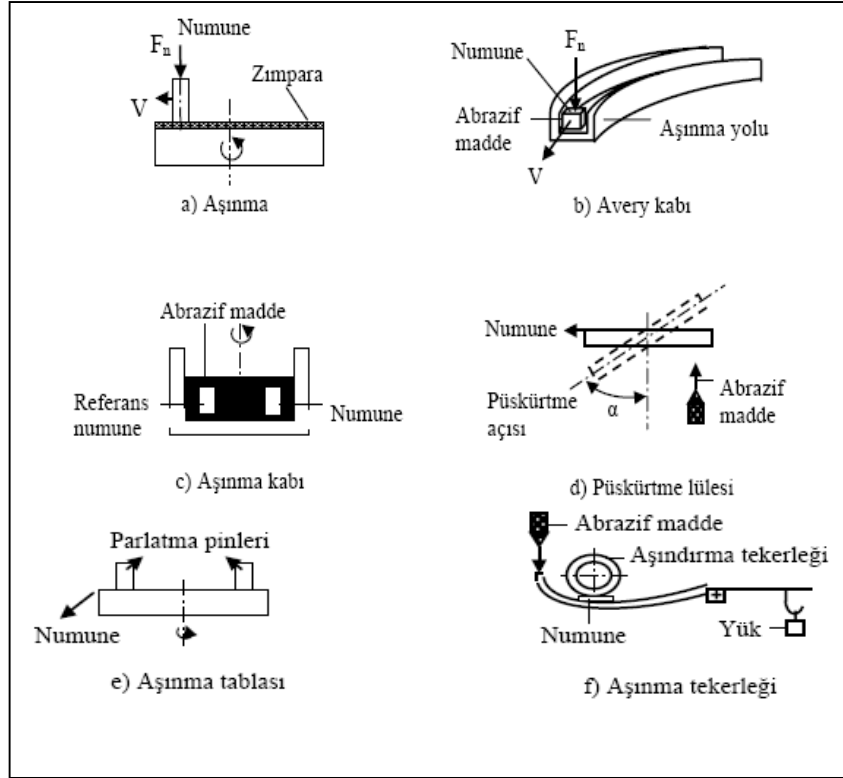
Aşınmanın gerçek sistemlerde belirlenmesinin zorluğu, bir kısmı standartlaştırılan cihazlarının geliştirilmesine yol açmıştır. Model cihazlarda tribo sistemi oluşturan

unsurların, gerçek sisteme uygun şekilde oluşturulması, sonuçların tekrarlanabilir olması bu cihazlardan beklenen özelliklerdir. Kayma sürtünme ve aşınma test cihazı modelleri tribolojik prensiplere göre Şekil 4.3’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Şematik kayma sürtünmesi ve aşınma test modelleri [46].

Katı, sıvı gaz halindeki maddelerin etkisi altında ve yalnız karşı malzeme aşınmasının ölçüldüğü aşınma test cihazı modelleri de şematik olarak Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



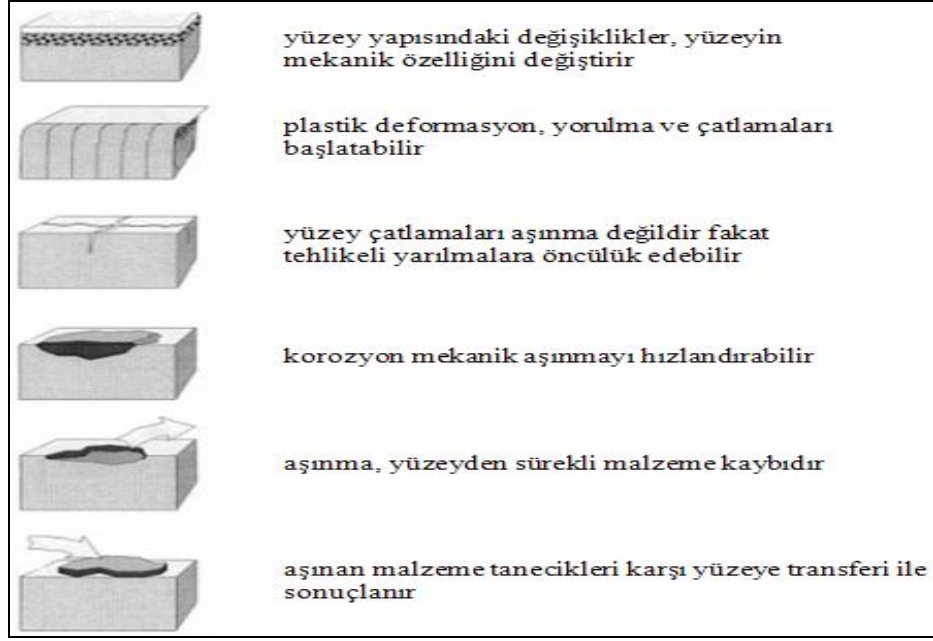
Şekil 4.4. Şematik abrasiv aşınma test modelleri [47].

Model aşınma test cihazlarıyla yapılan testlerin amaçları genellikle aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Sistem elemanlarının verimini, ömrünü, güvenilirliğini, fonksiyonunu, bakım yapılıp yapılmaması gerektiğini belirlemek, kalite kontrolünü yapmak,
- Malzemelerin ve yağlayıcıların tribolojik davranışlarını belirlemek,
- Malzeme kayıplarını araştırmak,
- Yeni malzeme veya sürtünme ve aşınma azaltıcı yöntemleri geliştirmek.

4.4. AŞINMA VEYA YÜZEY DEFORMASYONU

Yüzey deformasyonu ve bozulma nedenleri çok geniştir [48]. Önemli tribolojik yüzey bozulmalarının sınıflandırılması Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yüze aşınma ve bozulmalarının sınıflandırılması [49].

Yüze aşınması ve bozulmalarının sınıflandırılmasını sırası ile açıklanırsa;

- Yüzedeki yapısal değişiklikler, yüze kaplama veya kristalleşme gibi yüze değişikleri yüzeyin mekanik deformasyonuna yol açabilir. Yüzedeki yapısal değişiklikler aşınmayı gerektirmez, fakat dış yüzeyin mekanik özelliklerini değiştirebilir ve aşınma durumunu başlatabilir veya çatlakları oluşturabilir [49].
- Plastik deformasyon, yüzeyde termal genişleme azalmalar veya mekanik gelişmelerin etkisiyle oluşur. Yüze bölgesinin plastik deformasyonu, dereceli aşınmayı gerektirmemesine rağmen sonuçta önemli olabilecek çatlaklara öncülük edebilecek önemli yüze hasarlarının meydana gelmesi muhtemeldir [49].
- Yüze bölgesindeki çatlamlar, aşırı yüze gerilmeleri, yorulma deformasyonları ya da tekrar eden termal değişkenlerin nedeni olabilir [49].
- Korozyon ve diğer kimyasal etkiler, başlıca aşınma mekanizmasında yer alabilir. Kimyasal etkiler çatlığın genişlemesini hızlandırır ve yüze kayıplarının da nedenidir [49].
- Aşınma veya yüze hasarı, çeşitli aşınma çeşitleri ile mikroskobik parçacıklar şeklinde yüzeyden sürekli malzeme kayıpları içerir. Neticede aşınma mekanizması hem mekanik hem de kimyasal olabilir [49].

- Aşınan malzeme taneleri, karşı yüzeye transfer olur. Yüzeyde sürtünmeden dolayı oluşan aşırı ısınmanın etkisi ile aşınan tozlar toplanarak ara yüzeyde üçüncü yüzey tabakası meydana getirirler bu durum uygun kayma sürtünmesinin de nedenidir [49].

4.5. AŞINMA ÇEŞİTLERİ

Birçok araştırmacı, malzemenin üzerine yaptıkları araştırmalar sonucu aşınma farklı faklı sınıflandırmışlardır:

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

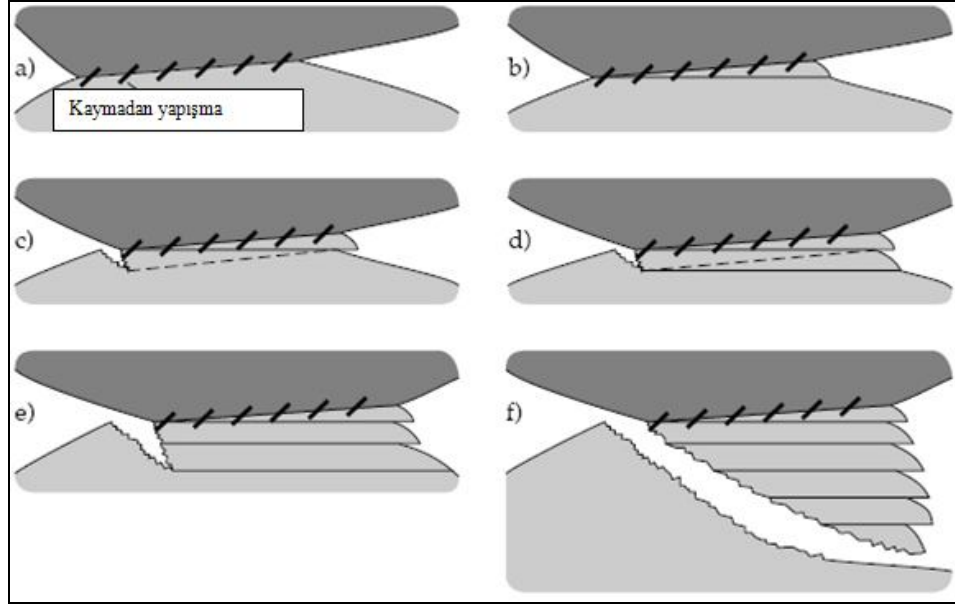
4.5.1. Adhesiv Aşınma Mekanizması (Yapışma Aşınması)

Yapışkan aşınma, yüksek aşınma oranları ve büyük kararsız bir sürtünme katsayısı ile tanımlanır ve ciddi bir aşınma formudur [50]. Kayma sürtünmesi yapan, metalografik yapıları birbirine benzeyen iki metalin yüzeyleri arasında adhesiv çekim kuvveti söz konusudur. Bu kuvvetin oluşması moleküllerin yaklaştırılmasına bağlıdır. Temas halindeki yüzeyler pürüzlerle etkileştiklerinden, metal ağırlığı veya etkiyen kuvvet, temasla olan çok küçük pürüz tepelerine çok yüksek basın olarak etkiler. Bu basınç, bu noktalardaki gerilme pürüzlerin akma sınırını aşınca plastik deformasyona, pürüzlerin birbirini çizmesine, yarmasına ve sıvanıp kaynaklanmalarına neden olurlar. Ayrıca pürüzlerin deformasyonu ile oluşan mikro adhesiv temas yüzeyi boyunca yayılır. Çiftin karşılıklı hareket etmesi halinde de yüzeyde bulunan absorbe olmuş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları

parçalanarak aşınma çiftinde soğuk kaynaklanmayı oluşturur. Kayma hareketi sırasında bu noktalar koparak yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu tip malzeme kaybı adhesiv aşınmayı oluşturur [51-52].

Aşınma çiftinin yüzeyleri arasındaki tutma kuvvetleri (adhesiv bağ mukavemetleri) eşit büyüklükte ise veya adhesiv bağ mukavemeti büyük ise pürüz kopar ve malzeme kaybına neden olur. 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 kırılan parçalar ara yüzeyde serbest kalabileceği gibi metallere birine bağlı olarak da taşınabilirler. Parçacığın bir yüzeyden diğer yüzeye taşınmasına metal transferi denir [53-55].

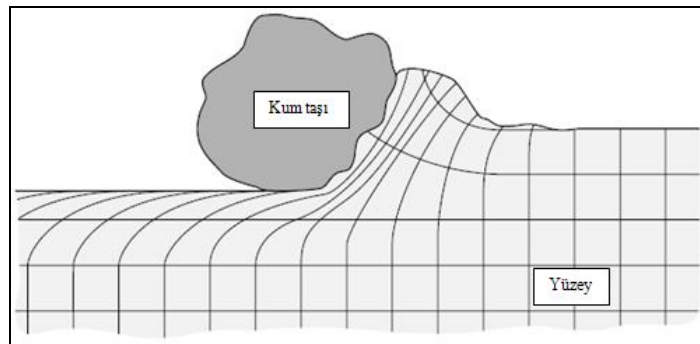
Adhesiv aşınma sırasındaki oksitlenme olayını, korozif aşınma ile karıştırmamak gerekir. Yukarıda bahsedilen parçalanma malzeme moleküllerinin direk temasa geçmelerine imkân verir. Bunun neticesinde de bölgesel kaynak bağları oluşur (soğuk kaynaklanma). Bu sırada eğer izafi hareket de varsa yüzeydeki sıcaklık yükselir ve ergime noktasına kadar ulaşabilir. Böylece kaynaklanma yerinden veya metal yüzeyinden bir miktar parça kopar. Bu metalik parçacıklar, ara yüzeyde serbest parçacıklar halinde kalabilecekleri gibi metallere birine bağlı şekilde de bulunabilirler. Her iki durumda da malzeme kaybı (aşınma) meydana gelmekle beraber, ikinci durumda malzemelerin birinden diğerine malzeme transferi söz konusudur [56].



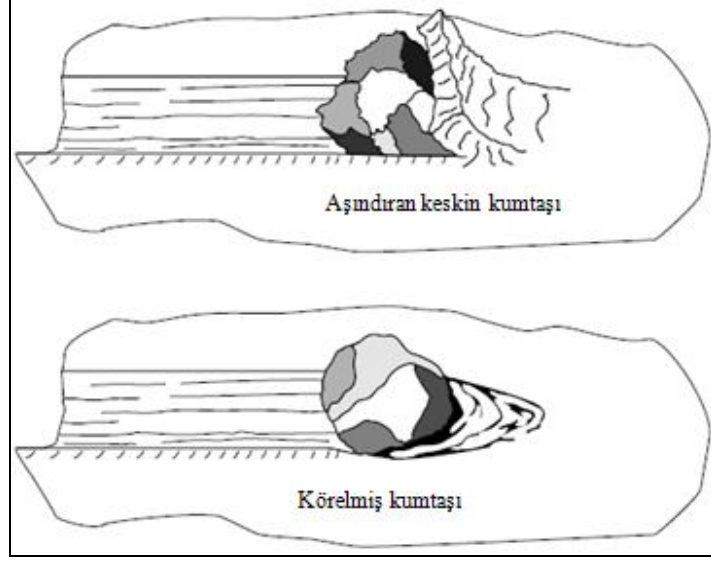
Şekil 4.6. Yapışkan bir transfer nesnesinin şematik görünüşü [57].

4.5.2. Abrasiv Aşınma Mekanizması

Abrasiv aşınma, katı bir nesne eşit veya daha büyük sertliği sahip olan malzemeye karşı yüklenildiği durumlarda meydana gelir. Örneğin; bu problem yaygın olarak kazı makinelerinin küreklerinde görülür. Uygulanan yük ve hareketin etkisiyle, sürtünen iki cisimden daha sert olanının, pürüzleri veya taneleri vasıtasıyla diğerini çizerek üzerinden mikro talaş kaldırması olayı da denilebilir. Bu tanım, katı/katı, katı/mineral, katı/sıvı gibi birçok sürtünme elemanlarında meydana gelen abrasiv aşınmayı kapsar. Cisim aşınma altındayken önemli bir plastik deformasyon gerçekleşir.



Şekil 4.7. Kum taşının geçtiği esnasındaki yüzey deformasyonundan bir görüntü [58].



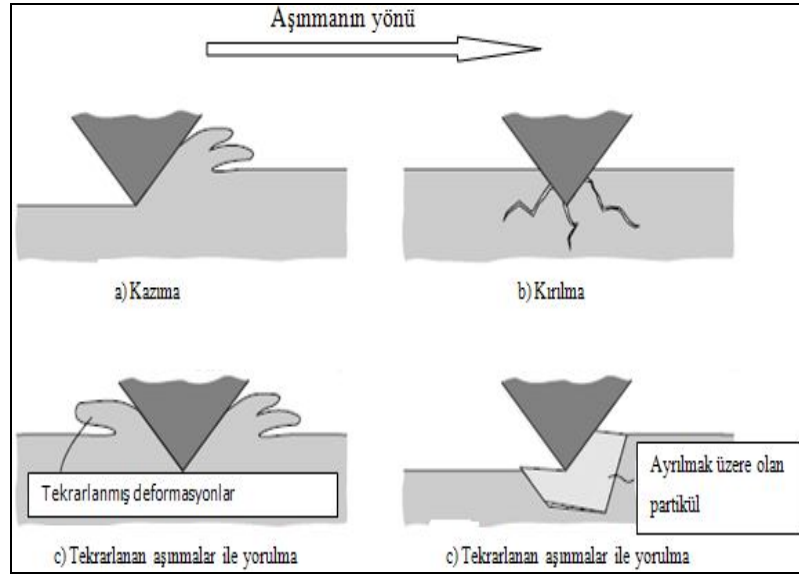
Şekil 4.8. Kumtaşının keskin yüzeylerinin körelmesi ile aşınmanın kesilmesi [59].

Sürtünen cisimlerin, direkt olarak karşılıklı etkileşimleri sonunda meydana gelen abrasiv aşınma, 'İki Cisimli Abrasiv Aşınma'dır. Eğer ara yüzeyde sürtünme elemanlarını çizerek tahrip eden sert tanecikler de bulunuyorsa bu tür aşınmaya 'Üç Cisimli Aşınma' denir [60]. Bu tanecikler ara yüzeye dışarıdan girebilecekleri gibi aşınma enkazları da olabilirler. Genellikle aşınma mekanizmaları, metal/metal sürtünmelerinde iki cisimli abrasiv veya adhesiv olarak başlayıp üç cisimli abrasiv olarak devam eder. Üçüncü cisim olarak ortaya çıkan toz, mineral taneleri, çizilme sonunda serbest hale gelen mikro talaşlar ve parçalanmış oksit parçacıkları olabilir. Üçüncü cisim abrasiv aşınma, aşınmayı hızlandırır. Bir sistem içinde yüksek hızlı parçacıkların akışı, erozyon olarak bilinen abrasiv aşınmanın özel şeklini ortaya çıkarır. Khrushov ve Babichev, aşındırıcı tanelerle temas eden yüzeyde iki prosesin meydana geldiğini teşhis etmişlerdir [61].

Bunlar;

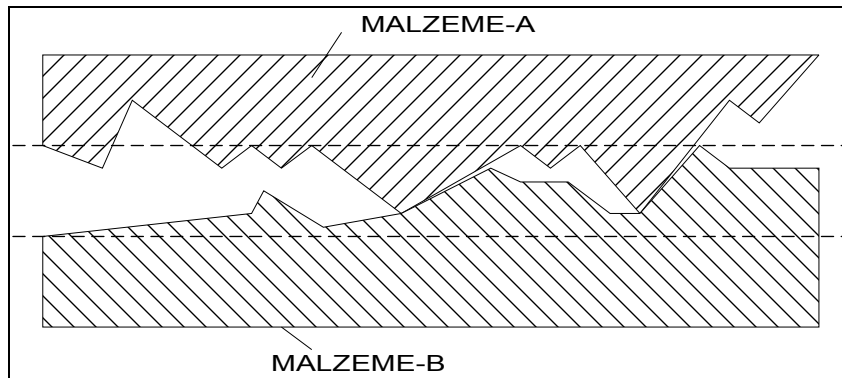
- Basıncın etkisiyle plastik şekil değiştirme sonucu çiziklerin oluşması (Metal kalkmadan, yüzeyin plastik şekil değiştirilmesi).
- Mikro talaş şeklinde metal parçacıkların ayrılması (Yüzeyden mikro talaşların ayrılması).

Abrasiv aşınma, kesilme, kazınma ve tekrarlanan deformasyon gibi yüzeyi tahrip eden çeşitli mekanizmalar ile meydana gelir. Abrasiv aşınma için en önemli şart, sürtünme sırasında, abrasivin sertliğinin aşınma malzemesi sertliğinden daha fazla olması gerekir [62]. Aşınma şeması Şekil 4.9’da gösterilmektedir.

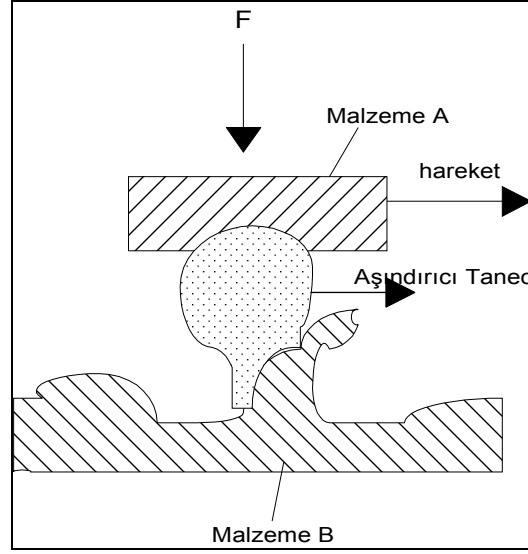


Şekil 4.9. Abrasiv aşınmanın mekanizması [63].

İki cisimli abrasiv aşınmayı göstermektedir. Daha sert olan cismin pürüzleri yumuşak olan malzemeyi çizerek mikro talaş kaldırmaktadır. Bu tip aşınmada sert ve keskin parçacık, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaş kaldırma etkileri gösterirler. Bu aşınma, iki elamanlı ve üç elamanlı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu mekanizma Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



Şekil 4.10. İki elamanlı abrasiv aşınma [64].



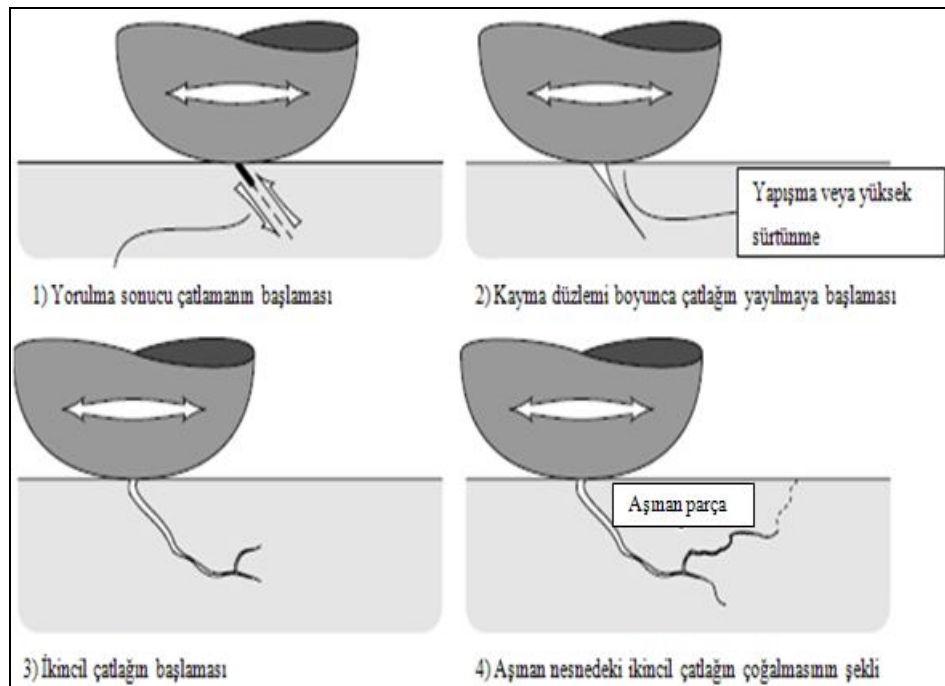
Şekil 4.11. Üç elamanlı abrasiv aşınma [65].

İki elemanlı abrasiv aşınma, sürtünen elemanların doğrudan birbiriyle etkileşimleri sonucu meydana gelir. Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise, aşınan ve aşındıran malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları da üçüncü eleman olarak görev yapabilir. Metal-metal sürtünmelerinde aşınma iki elemanlı abrasiv veya adhesiv olarak başlayıp, üç elemanlı abrasiv olarak devam eder. Bu durumda araya giren toz, mineral taneleri, çizilme sonucu serbest hale geçen mikro taşlar ve parçalanmış oksit parçaları üçüncü elemanı (ara malzemeyi) oluşturabilir. Serbest hale geçen mikro talaş parçaları, genellikle ana malzemedен daha sert olduklarından dolayı aşınmayı hızlandırır.

4.5.3. Yorulma Aşınması

Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlanmalar altında ve zamanla meydana gelir. Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlanmalar altında ve zamanla meydana gelir. Yorulma aşınması mekanizması malzemenin yüzeyinden başlar. Yüzey bölgesi titreşimli bir zorlanmaya maruz kaldığında veya sürtünme elemanları tekrarlanan gerilimlerle etkileştiklerinde bu gerilmelerin sebep oldukları mikro çatlaklar vasıtasıyla yorulma aşınması dediğimiz pulcuklar şeklinde malzeme ayrılmaları meydana gelir. Bu olay esnasında içyapıda

parçalanmalar ve yırtılmalar meydana gelerek yüzeyden kısmi çözülmeler olur. Maksimum kopma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelmektedir. Bu boşluklar zamanla yüzeye doğru ilerlemekte, büyümekte ve nihayet yüzeyde küçük çukurlar meydana gelmektedir [66]. Pitting adı verilen bu aşınma tipi, daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve kam mekanizmaları gibi yuvarlanma hareketi yapan elemanların yüzeylerinde meydana gelir. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi. Şekil 4.12’de gösterilmektedir.

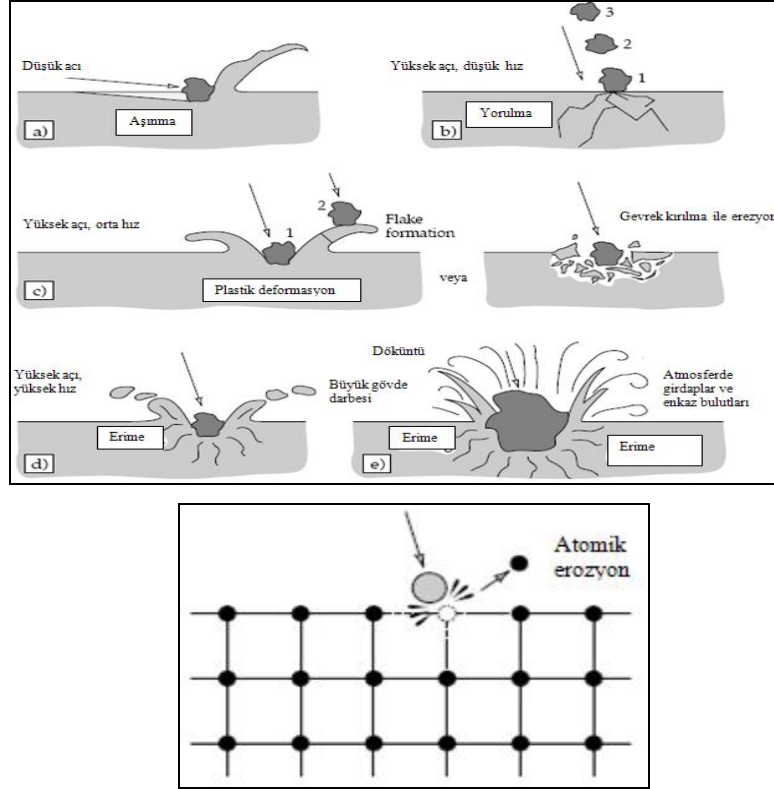


Şekil 4.12. Yorulma aşınmasında yüzeyde çatlamanın başlaması ve artarak devam etme sürecinin şematik resimleri [67].

4.5.4. Eroziyon Aşınma

Erozyon ortamı ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozunma olayı olarak tarif edilebilir. Gaz veya sıvı ortamında taşınan abrasiv tanelerin yüzeye belirli bir açıda çarpması ile oluşan enerji, katı cismin basınç mukavemetini aştığı zaman, cismin yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelerek yüzeyde kırılmalara sebep olur ve yüzeyde aşınma meydana gelir. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya erozyon aşınması denir. Yumuşak malzemeler erozyon

aşınmasına çok elverişlidir. Aşındırıcı parçaların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliği ve çarpma açısının değeri erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen önemli faktörlerdir [68]. Eroziyon aşınma uçaklar uçarken, toz bulutlarıyla karşılaştıklarında gaz türbin bıçaklarına zarar verir, sulu çimento işleme tabii tutma sistemlerinde pompa çarklarının aşınmasına neden olur.

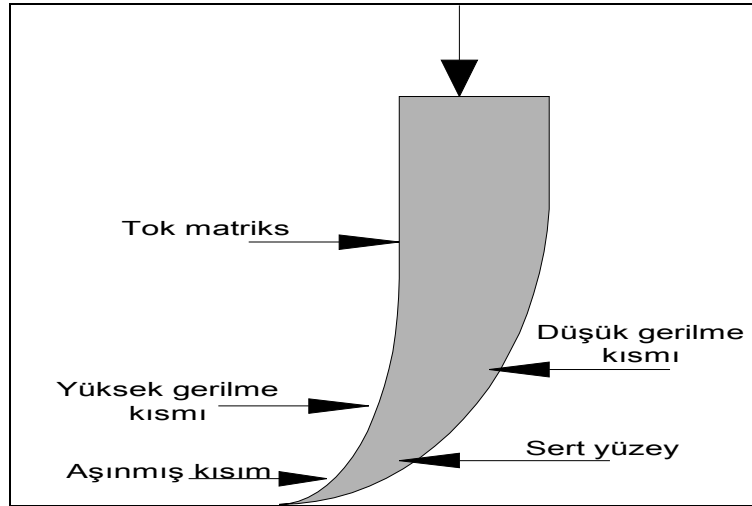


Şekil 4.13. Eroziyon aşınma mekanizması [69].

4.5.5. Öğütmeli Aşınma (Grinding Wear)

Öğütmeli aşınma, yüksek basınçlar altındaki parçacıkların metal yüzeyleri ile düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinde parçacıkların kesilerek veya çok sayıda ufak çizikler açılarak kopartılması ile meydana gelir. Bu yüksek basınç ve düşük hız kombinasyonu, genellikle hafriyat çalışmalarında kullanılan buldozer ve kepçe gibi ağır iş makinelerinin çalışma koşullarında meydana geldiği için, bu araçların kesici uç yüzeylerinde bu hasar türü meydana gelir. Kepçelerde kullanılan kesici ve batıcı uçların, öğütmeli aşınma sonucunda şekil değişimi meydana gelerek körlenme oluşur. Bu tip aşınmayı engellemek için yapılan girişimlerin başarısızlığına

uğraması nedeniyle, malzemenin kontrollü olarak aşındırılması yoluna gidilmeye çalışılmıştır. Kontrollü aşınma ile malzeme kendi kendine bilenerak, körlenme sebebiyle meydana gelen performans düşüklüğü önlenebilir. Bu mekanizma ile meydana gelen kendi kendine bilenmenin oluşumu, Şekil 4.14’de şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, kesici takım malzemesinin düşük gerilmeli yüzeyine sert metal takviyesi yapılarak aşınma hızı azaltılmıştır. 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 keskinleşir [70].

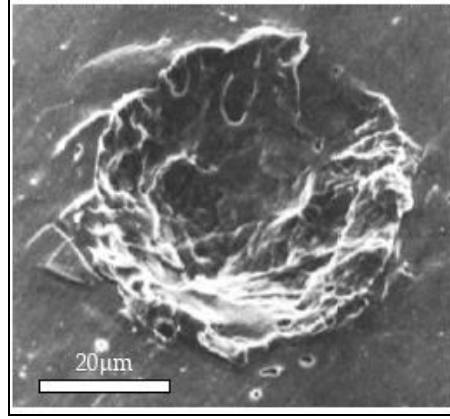


Şekil 4.14. Bir kesici uçta meydana gelen kendi kendine bilenmesinin oluşum mekanizması [71].

4.5.6. Oymalı Aşınma (Gouging Wear)

Oymalı aşınma, malzeme yüzeyinin çok yüksek gerilmelerdeki çarpma durumlarında, yüzeyden bir parçanın kesilerek veya oyularak kopmasıyla meydana gelir. Bu tip aşınmaya genellikle hafriyat, madencilik, petrol kuyularını delme işlemi ve benzeri koşullarda çalışan malzemelerin kesme ve delme görevi yapan kısımlarında görülür. Bu işlemler sırasında sert abrazif parçacıkların çok yüksek gerilmeler altında malzeme yüzeyine çarpmaları ile yüzeylerde hızlı bir şekilde hasar oluşumu meydana gelir. Oymalı aşınma diğer aşınma türlerine göre çok daha hızlı

olarak geliştiğinden, bu aşınmaya uğrayan parçaların yenileriyle değiştirilerek kullanılması daha ekonomik olmaktadır.



şekil 4.15 Oymalı aşınmaya örnek [72].

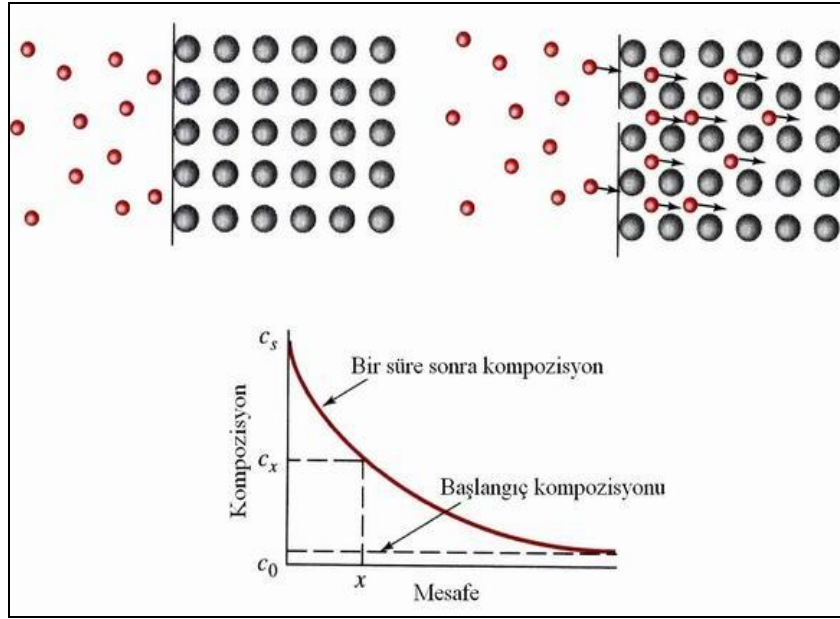
4.5.7. Kazımalı Aşınma (Fretting Wear)

Kazımalı aşınma, karşılaşan yzeylerde mikro kaynaşmanın meydana geldiği adhesiv aşınmaya bir miktar benzemektedir. Aralarındaki fark ise, řu şekilde ağıklanabilir: Adhesiv aşınma, birbirleri zzerinde kayan yzeylerde meydana gelirken, kazımalı aşınma birbirlerine gze hareket etmeyen yzeylerde meydana gelir. Ancak kazımalı aşınma, çok dűřuk genellikteki hareketlerin (vibrasyon) meydana geldiği sistemlerde, mikro kaynak oluşmasıyla meydana gelir. Kazımalı aşınma vibrasyonlu ortamlarda çalışan somun, perçin gibi bağlantı elemanlarıyla gelişmiş sistemlerde, otomobil şaftlarının birleşme noktalarında ve yataklarda en yaygın olarak kullanılan hasar oluşum mekanizmasıdır. Kazımalı aşınma, temas yzeylerinde yorulma otomobil řaft gibi parçalarda önemli bir problemdir. Gerçekte, şaftlarda meydana gelen yorulma kırılmalarının sebebini kazımalı aşınma meydana getirmektedir [73].

4.5.8. Tribosűblimasyon ve Difűzyon Ařınması

Sűrtűnme ısısı ile yzey bűlgesi sıcaklıđının çok yűkselmesi halinde ortaya çıkar. Yűksek sıcaklıkta atom veya molekűllerin malzeme içine girmesi difűzyon esasına ve çevreye transferi tribosűblimasyon esasına dayanan ařınma mekanizmalarıdır.

Birbirleriyle temas halinde bulunan yüzeyler arasında, sürtünmeden dolayı sıcaklık yükselmesi ile birlikte, temas yüzeyinde bulunan atomların kristal kafes içinde atom yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket etmeleriyle meydana gelir. Şekil 4.16’de yüzeler arası malzeme transferi görülmektedir [74].



Şekil 4.16 Yüzeyler arası malzeme transferi [75].

Yüzeyler arası atom alışverişi meydana gelerek mukavemeti düşük olan bir yüzey tabakası meydana gelir. Bu tabaka, sürtünme ve izafi (bağlı) hareketin devam etmesiyle birlikte esas malzeme yüzeyinden koparak malzeme kaybına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya difüzyon aşınması denir. Bu aşınma mekanizması fren balatalarında, uzay ve havacılıkta kullanılan araçlar ve takım tezgâhlarında görülür. Demiryollarında kullanılan fren pabuçları ile tekerlek arasındaki sürtünmeden dolayı difüzyon aşınması meydana gelebilir. Sıcaklığın yükselmesi ve yeterli zaman sonunda sürtünme yüzey bölgesinde atom veya moleküllerin çevreye transfer olması ile “tribosüblimasyon aşınması” meydana gelir [75].

4.5.9. 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 hızlanır. Malzemenin yumuşaması ile atomik aşınma gerçekleşir. Termal şok ve yüksek sıcaklıkta ki oksidasyonda termal aşınmaya sebep olur [76].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama mekanik alaşımlama yöntemiyle alüminyum alaşımına (A356), % 4, % 6, % 8 oranlarında titanyum ilave edilerek alaşımın aşınma davranışları incelenmiştir. İkinci aşamada ise % 6 Ti ilave edilen Al-Ti alaşımına 550 °C’ de farklı sürelerde (1, 4, 8, 16 saat) sentezleme işlemi uygulanmıştır. Deneysel çalışmada mekanik alaşımlanan tozlar soğuk presleme ile şekillendirilerek 530 °C sıcaklıkta 1 saat Argon atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterlenen ve sentezlenen numunelerin aşınma testlerinde 30N yük kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler aşınma mesafesi olarak 400 m, 800 m, 1200 m, 1600 m 2000 m olarak toplamda beş farklı mesafede test edilmiştir. Kayma hızı olarak da 1 ms⁻¹’lik hız seçilmiştir.

5.1. DENEYSEL MALZEMELER

Deneysel çalışmada A356 (Alüminyum) ve Titanyum (Ti) tozları kullanılmıştır. Kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de verilen A356 alüminyum alaşıma % 4, % 6, % 8 (%ağırlık) Ti eklenerek mekanik alaşımlama işlemi yapılmıştır.

Çizelge 5.1. A356 Alaşımın kimyasal bileşimi

Malzeme	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Pb
A356	6,5	0,15	0,03	0,03	0,4	0,05	0,2	0,03

5.2. MEKANİK ALAŞIMLAMA İŞLEMİ

Mekanik alaşımlama işleminde A356 ve Ti tozlar tartılarak (% ağırlık bazında) hazırlanmıştır. Sonra ETİ Maden İşletmelerinin Ankara'daki laboratuvarlarında bulunan Şekil 5.1'de gösterilen SPEX SamplePrep marka özel mekanik alaşımlama cihazı ile 45 dakika olmak üzere mekanik alaşımlama yapılmıştır.



Şekil 5.1. Mekanik alaşımlama cihazı.

Tozlar Şekil 5.2'de görülen öğütücü haznelere alınmış ve içine 3 farklı çapta çelik bilye konularak (bilye-toz oranı 10:1) mekanik alaşımlama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.2. Toz konan öğütücü hazneler ve bilyalar.



Şekil 2 Toz konan öğütücü hazneler ve bilyalar

Şekil 5.3. Öğütücü haznelerin cihaza bağlanmış hali.

5.3. SOĞUK PRESLEME İŞLEMİ

Soğuk presleme işleminde tek eksenli ve 30 ton sıkıştırma kapasiteli ‘Hidrolik San’ marka pres kullanılmıştır. Mekanik alaşımlanan toz malzemeler 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek 10 mm çapında ve 6 mm yüksekliğinde parçalar üretilmiştir. Alaşım tozlarının soğuk preslemesinde kullanılan kalıbın şematik görüntüsü Şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.4. Toz malzemenin şekillendirilmesinde kullanılan metal kalıp.

5.4. SİNERLEME İŞLEMİ

Preslenen A356-Ti alaşımı numuneler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesindeki atmosfer kontrollü protherm marka ısıtma fırınında argon gazı verilerek 530 °C 1 saat (10°C/dak) ısıtma hızında sinterlenerek fırın ortamında soğutulmuştur.

5.5. SENTEZLEME İŞLEMİ

% 6 oranında Ti içeren A356-Ti alaşımli numunelerin sentezleme işlemi Karabük Üniversitesi laboratuvarında bulunan ve 1600 °C'ye çıkabilen Protherm marka fırında yapılmıştır. Sentezleme işleminde numuneler 550 °C'de 10 °C/dak ısıtma hızında ve bu sıcaklıkta 1, 4, 8 ve 16 saat bekletilerek fırın ortamında soğutulmuştur.



Şekil 5.5.Sentezleme işleminde kullanılan Protherm marka ısıtma fırını.

5.6. METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA

Isıl işlem uygulanan numuneler, mikroyapı incelemesi için hazırlanmıştır. Zıparalama işlemi sonra Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan PRESİ marka MECAPOL P 262 model polisaj cihazı kullanılarak yapılmıştır. Zımparalama işleminden sonra numuneler 3µm elmas pasta ile parlatıldıktan sonra 2 ml (HF), 90 ml saf su, 5 ml (HNO3), 3 ml (HCL) ile 30-45 saniye dağlanmıştır (dağlama süresi 30-45 sn olarak gerçekleştirilmiştir).

Mikroyapı incelemeleri, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan MEIJI ML 7100 marka optik mikroskop kullanılmıştır.

5.7. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

Isıl işlem uygulanan numunelerin yoğunluk ölçümleri PRECİSA XB200 h marka 220 gr min 0,01 gr 1/10000 hassasiyetindeki yoğunluk ölçüm cihazı kullanılarak Archimet prensibine göre yapılmıştır.

5.8. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Yoğunluk ölçümü yapılan A356-Ti alaşım numunelerinin sertlikleri K.Ü. Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan (Şekil 5.6) AFFRI SYSTEM marka VRSD-251 model universal makro sertlik cihazında (HV2) ölçülmüştür. Numunenin uç kısmından başlayarak merkezine kadar olan bölge içerisinde 3 adet sertlik ölçümü yapılarak ortalaması alınmıştır.



Şekil 5.6. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı universal makro sertlik cihazı.

5.9. TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMESİ

Standart metalografik işlemlerle hazırlanan numunelerin mikroyapı incelemelerinde Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesinde bulunan “JEOL JSM-6060”

tarama elektron mikroskop (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca aşınma testleri yapılan numunelerin, aşınma yüzeyleri de (SEM) ile incelenmiştir.

5.10. ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI SPEKTROSKOPİSİ (EDS) İNCELEMESİ

550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezleme sonucunda mikro yapıda oluşan özelliklerin tanımlanmasını kolaylaştırmak amacı ile Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesindeki EDS analiz cihazında numuneler incelenmiştir.

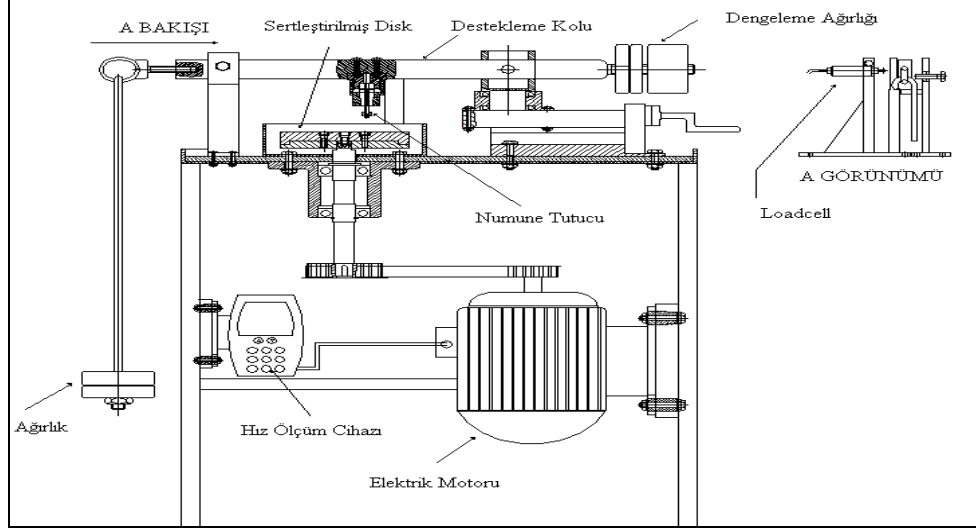
5.11. X-RAY DİFFRACTION (XRD) İNCELEMELERİ

Sinterleme ve sentezleme çalışmaları sonrasında malzemenin yapısında oluşan tozlar XRD incelemeleriyle belirlenmeye çalışılmıştır. XRD çalışmalarında “INEL” marka XRD cihazı kullanılmıştır.

5.12. AŞINMA TESTLERİ

5.12.1. Aşınma Deney Cihazı

Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan Pin-On-Disk tipi standart deney aparatının görüntüsü şematik olarak Şekil 5.7’de verilmiştir. Bu cihaz her türlü yük, kayma hızı ve farklı devirlerde çalışabilme kabiliyetine sahiptir. Yapılan bu deney cihazında aynı kayma hızında ve değişik yükleme şartlarında numuneler test edilmiştir.



Şekil 5.7. Aşınma test cihazının şematik görüntüsü.

5.12.2. Karşılık Diski ve Malzemesi

Aşınma testlerinde diskin ve numune yüzeylerinin temiz ve kuru olması gerekmektedir. Bu nedenle teste başlamadan önce her numune ve disk yüzeyi aseton ile temizlenmiştir. Her numune farklı bir iz oluşturacak şekilde yerleştirilerek her test için aynı yüzey kalitesi sağlanmıştır. Tüm izler kullanıldıktan sonra disk yeniden taşlanarak teste hazır hale getirilmektedir.

Al-Ti alaşımları numuneleri ile çalışacak dönel disk için A4140 malzemesi $\phi 230$ mm çapında, 20 mm kalınlığındadır. Disklerin sertlikleri ısıl işlemle 58 HRC' ye çıkarılmıştır. Sertleştirme işleminden sonra disklere düzlem taşlama işlemi yapılmıştır.

5.12.3. Aşınma Testleri

Test cihazının devrinin ölçülmesi için "COMPACT" Marka (Advent optical tachmeter) Takometre (0-1000 dv/dk, 0-5 V çıkış marka) kullanılmıştır. Aşındırılan numuneler 1/10000 hassasiyetindeki "PRESICA" marka terazide tartılarak ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Aşınma deneylerinde parametrik olarak yük 30 N kullanılmıştır. Aşınma mesafesi olarak 400 m, 800 m, 1200 m, 1600 m 2000 m

olarak beş farklı mesafe test edilmiştir. Kayma hızı olarak da 1 ms^{-1} 'lik hız seçilmiştir.

5.12.4. Aşınma Miktarının Ölçümü

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dâhilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Deney numunelerinin her ölçüm için yerinden çıkartılıp ölçme yapılması, yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınamaması bu yöntemin dezavantajıdır.

Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-3} veya 10^{-4} gr hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi ile yapılır. Aşınma miktarı gram (g) veya miligram (mg) cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre (km) olarak tespit edilen sürtünme yoluna göre birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesap edilecekse (g/cm^2) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından da gidilerek de bulunabilir. Bu tanımlamalara göre ağırlık farkı ölçme metodunda en çok kullanılan bağıntılar şunlardır ;

$$W_a = \frac{\Delta G \text{ (mg)}}{d.P.S \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \cdot \text{N.m} \right)} \quad (5.1)$$

Burada;

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

ΔG : Ağırlık kaybı (mg)

P : Yükleme ağırlığı (N)

S : Kayma yolu (m)

d : Yoğunluk (gr/cm^3)

olarak verilmiştir. Aşınma oranı (W_a), ters değeri de aşınma direnci (W_t) olarak gösterilir.

$$W_a = \frac{1}{W_a \text{ (N.m/mm}^3\text{)}} \quad (5.2)$$

Başka bir bağıntı olarak da, bir kilometre kayma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı bağıntısı vardır ki genellikle iki elemanlı abrasiv aşınmanın hesaplanmasında kullanılır.

$$W_a = \frac{10^4 \cdot \Delta G \text{ (gr)}}{A \cdot d \cdot s \text{ (cm}^2 \cdot \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \cdot \text{km)}} \quad (5.3)$$

Burada;

W_a : Bir kilometre aşınma yoluna karşılık gelen yükseklik kaybı (μm)

ΔG : Ağırlık kaybı (gr)

A : Aşınma yüzeyi (cm^2)

d : Yoğunluk (gr/cm^3)

S : Kayma yolu (km) olarak alınır.

Deney malzemesi yükseklik kaybının, referans malzemesinin (örneğin Fe 37 çeliği) yükseklik kaybına oranı, aşınma orantı sayısını (W_a) verir.

$$W_a = \frac{V_s \text{ (test numunesi)}}{V_s \text{ (Fe 37)}} \quad (5.4)$$

Bu orantı sayısının ters değeri de bağıl aşınma direnci (R) olarak kullanılır.

$$R = \frac{1}{W_a} \quad (5.5)$$

Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise, genellikle DIN 50320'de verilen boyutsuz aşınma oranı formülü yaygın olarak kullanılır.

Hassas bir terazi yardımı ile test başındaki ve sonundaki ağırlık farkı (ΔG) ölçülerek aşınma sonucu oluşan malzeme kaybı bulunur. Sürtünme elemanın özgül ağırlığı (d) ve sürtünme yüzeyinin büyüklüğü (A) üzerinden bu yöntemle bulunan aşınma miktarı diğer metotların sonuçları ile karşılaştırılabilir. Burada;

$$\Delta H = \frac{\Delta G}{d \cdot A} \quad (5.6)$$

şeklindedir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

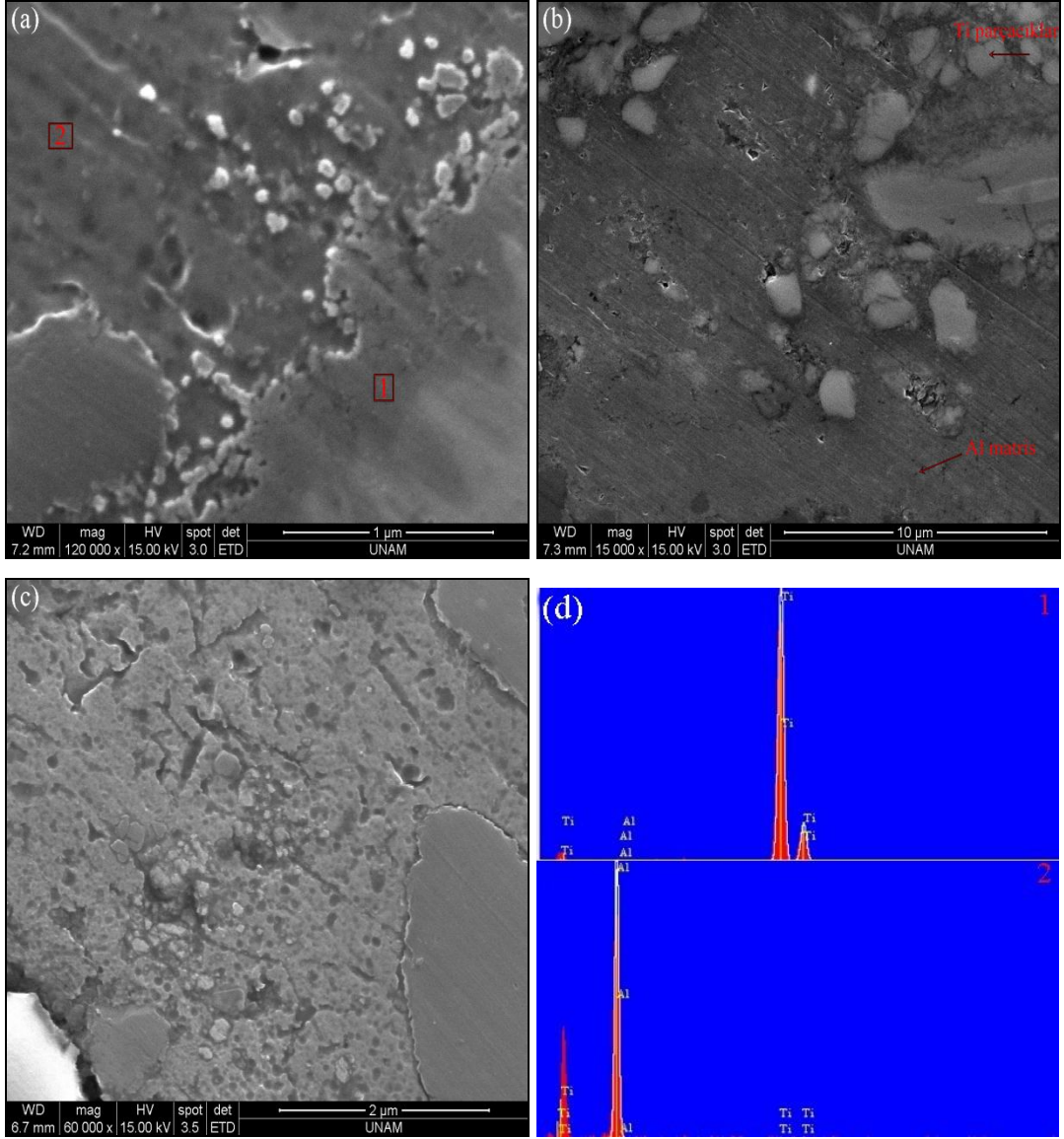
Bu çalışmada, mekanik alaşımlama ile üretilen Al-Si-Mg (A356) alaşımına farklı oranlarda ilave edilen Ti' un alaşımın aşınma davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada % 4Ti, % 6Ti, % 8Ti içeren Al-Ti alaşımları 530 °C'de 1 saat sinterlenerek ve Ti' un alaşımın aşınma davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. İkinci aşamada ise, 550 °C'de farklı sürelerde yapılan sentezleme işlemi ile yapıda oluşturulan TiAl₃ ve TiAl intermetalik alaşımın aşınma özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

6.1. KARAKTERİZASYON İŞLEMLERİ

Al-Ti alaşımların sinterleme ve sentezleme sürelerine bağlı olarak mikro yapısını incelemek amacı ile tarama elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılım spektroskopisi (EDS) çalışmaları yapılmıştır.

6.1.1. Sinterlenen Numunelerin SEM ve EDS İncelemeleri

EDS incelemeleri, numuneler üzerinden çekilen SEM resimleri üzerinde farklılıklar gösteren bölgelerde yapılmıştır. % 4Ti, % 6Ti, % 8Ti içeren 530 °C'de 1 saat sinterlenen Al-Ti alaşımının SEM ve EDS görüntüleri Şekil 6.1'de gösterilmektedir.



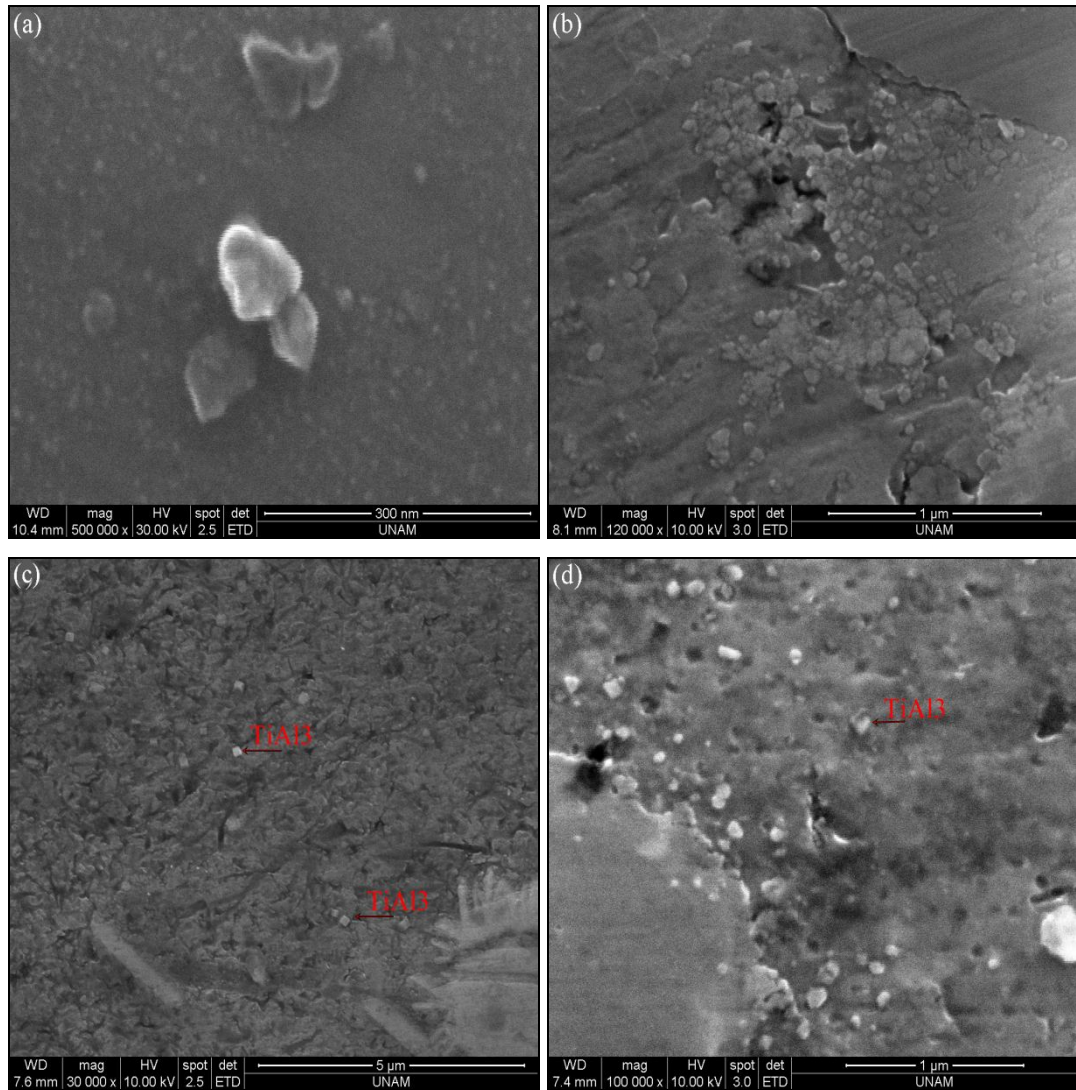
Şekil 6.1. 530 °C’de 1 saat sinterlenen a) % 4 Ti, b) % 6 Ti, c) % 8 Ti içeren Al-Ti alaşımlarının SEM görüntüleri d)1. ve 2. noktaların EDS analizleri.

530 °C’de yapılan sinterleme işlemi sonunda malzemenin yapısında oluşan değişimleri belirlemek amacıyla EDS analizleri yapılmıştır. Şekil.6.1’den de anlaşılacağı gibi A356 alüminyum matriste Ti’ un farklı boyutlarda (büyüklüklerde) bir dağılım göstermektedir. Bu durum mekanik alaşımlama işlemi sırasında tercih edilen sürenin yetersiz olduğunu (45 dk.) göstermektedir. Ayrıca mekanik alaşımlama işlemi sırasında 10 µm boyutunda olan Ti tozlarının matris malzeme içinde oldukça irileştiği görülmektedir. Bu çalışmada gözenek miktarını arttırmamak amacıyla işlem kontrol kimyasalı kullanılmamıştır. Bu nedenle küçük boyutlu Ti tozlarında irileşme meydana gelmiştir. Bununla beraber matris ile iri Titanyum

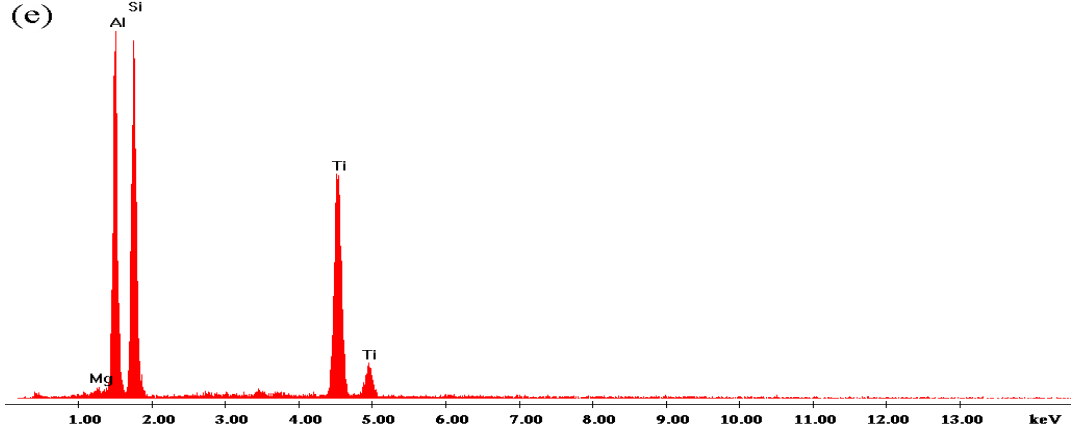
tozları arasında bir ara yüzey oluşmadığı da SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Şekil 6.1’de verilen SEM görüntüsünden EDS analizleri alınmıştır. Alınan EDS sonuçlarında 1 numaralı bölgenin titanyum, 2 numaralı bölgenin ise matris olduğu belirlenmiştir.

6.1.2. Farklı Sürelerde (1, 4, 8, 16 saat) Sentezlenen Numunelerin SEM ve EDS İncelemeleri

% 6 Ti içeren 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen Al-Ti alaşımlarının SEM görüntüleri ve Genel EDS analizi Şekil 6.2’de gösterilmektedir.



Şekil 6.2. % 6Ti içeren 550°C’de a) 1, b) 4, c) 8, d) 16 saat sentezlenen Al-Ti alaşımlarının SEM görüntüleri, e) Genel EDS analizi.

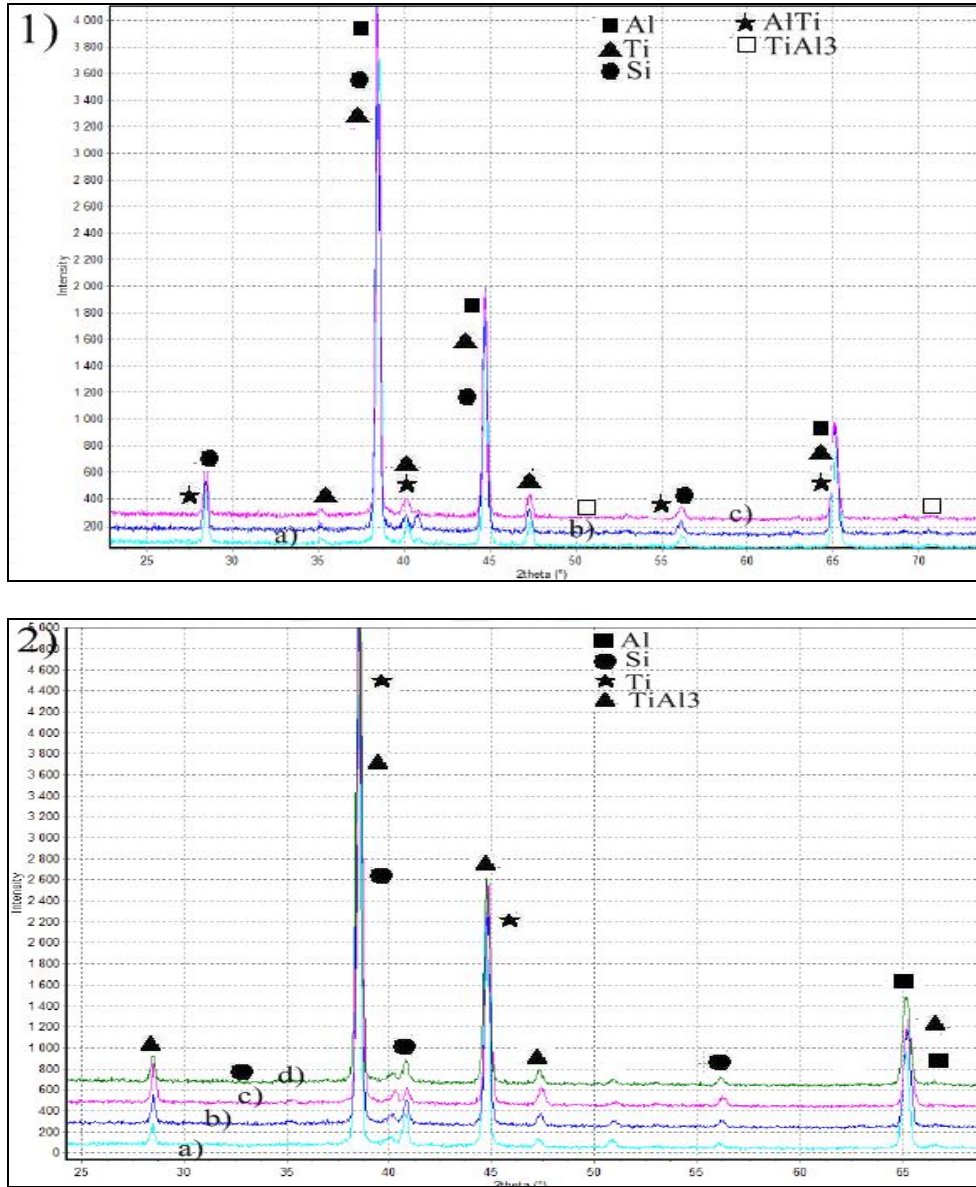


Şekil 6.2.(devam ediyor)

Şekil 6.2'den de anlaşılacağı gibi 4 saatlik sentezleme ile yapıda in-situ $TiAl_3$ intermetalik bileşiklerin oluşmaya başladıkları anlaşılmaktadır. Özellikle 8 saat sentezlenen numunelerde in-situ $TiAl_3$ intermetalikleri çok belirgin olarak görülebilmektedir. Matris fazında 8 saatlik sonucunda elde edilen (belirgin olarak) $TiAl_3$ intermetalik fazı SEM görüntülerinden de anlaşılacağı gibi matrisle ara yüzey oluşturmamış ve çok iyi bir birleşme (ıslatma) göstermiştir. Yaklaşık olarak 100-150 nm boyutunda oluşan $TiAl_3$ takviye fazı matris malzemenin sertliğinin ve dayanımının artmasında önemli bir etkidir. Sentezleme ile üretilen $TiAl_3$ parçacıklarının Bölüm 2'de verilen Al-Ti diyagramında α – Al ve $TiAl_3$ kristal yapıları ile açıklanabilir. Al-Ti faz diyagramında; alüminyumda $TiAl_3$ fazı ve alüminyum arasında oluşan bir peritektik reaksiyon olduğu anlaşılmaktadır. İn-situ olarak şekillenmiş $TiAl_3$ intermetaligi α – Al tanelerinin merkezinde bulunmaktadır [77]. Titanyum, Al / $TiAl_3$ sınırlarına difüz etmektedir ve bu bölgelerde Titanyum difüzyonu ile oluşan güçlü mekanik bağ malzemenin dayanımını da arttırmaktadır.

6.2. XRD İNCELEMELERİ

% 4, % 6, % 8 oranlarında Ti içeren 530 °C’de 1 saat sinterlenen ve % 6 Ti içeren 550 °C’de 1, 4, 8, 16 saat sentezlenen numunelerden elde edilen X-ışını kırınımı (XRD) sonuçları Şekil 6.3’de verilmektedir.



Şekil 6.3. 1) 530 °C’de 1 saat sinterlenen a) % 4Ti, b) % 6Ti, c) % 8Ti içeren, 2) % 6Ti içeren 550 °C’de a) 16, b) 8, c) 1, d) 4 saat sentezlenen alaşımların XRD görüntüsü.

Benzer konuda yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, Chianeh ve arkadaşları [78], 500-600 °C sıcaklık aralığında sadece TiAl₃ intermetalik fazını elde etmişlerdir. Şekil.6.4’den anlaşılacağı gibi 530 °C’de 1 saat argon atmosferinde sinterlenen

numunelerin yapısında Al, Si, Ti, TiAl ve TiAl₃ fazları bulunmaktadır. % 4 Ti içeren numune içerisinde % 92 civarında Al elementi, % 6 civarında da Ti ve Si elementleri, % 1.5 TiAl fazı ve TiAl₃ intermetalik faz çok az miktarda görülmektedir. 530 °C’de 1 saat sinterlenen alaşımların yapısında belli oranlarda TiAl ve TiAl₃ ikincil fazlarının oluştuğu gözlenmektedir. Yapılan incelemelerde TiAl₃ fazının 1saatlik sinterleme süresinde oluştuğu fakat alaşım içerisindeki oranlarının % Ti miktarına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. % 6 Ti içeren 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen alaşımların XRD görüntüsü incelendiğinde alaşımların yapısında Al, Ti, Si ve TiAl₃ fazları görülmektedir. Alaşım içerisinde TiAl₃ fazının da bir artış gözlenmektedir.

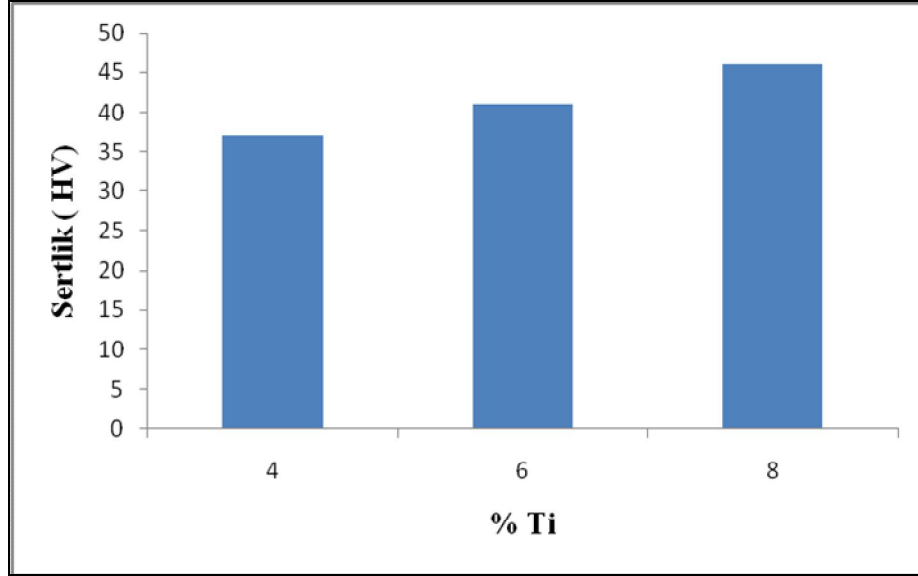
Soğuk preslenen Al-Ti numuneler sinterleme ve sentezleme işleminden sonra oluşması beklenen TiAl₃ takviye fazının belirlenmesi için X-ışını kırınımı çalışmaları yapılmış ve takviye fazının da yapıda oluştuğu belirlenmiştir. Üretilen kompozit numunelerde meydana gelen in-situ reaksiyon ;



şeklinde meydana gelmektedir.

6.3. SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

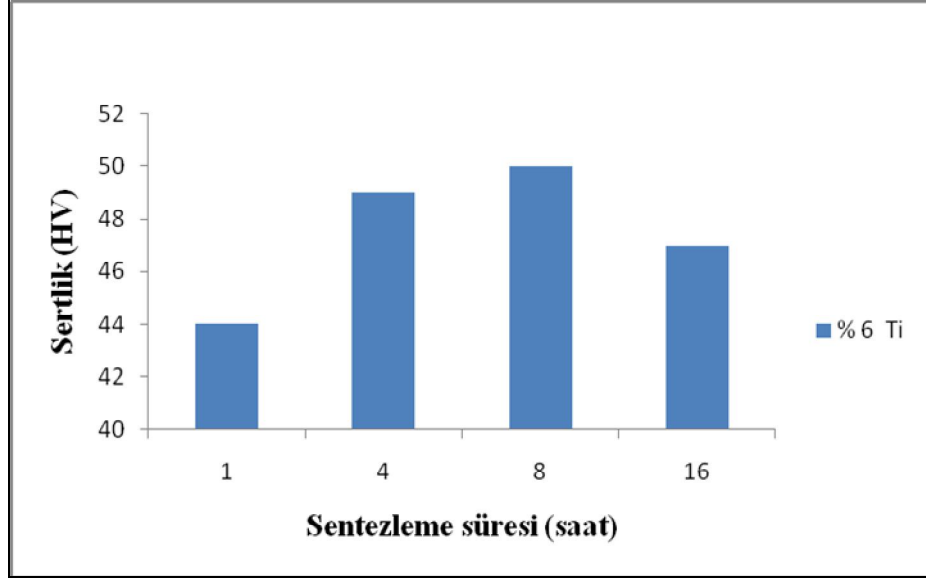
% 4 Ti, % 6 Ti, % 8 Ti içeren 530 °C’de 1 saat sinterleme ısıl işlemi uygulanmış alaşımlar üzerinden üç farklı bölgeden sertlik değerleri ölçülerek ortalaması alınmıştır. Şekil 6.4’de 530 °C’de 1 saat sinterlenen numunelerden elde edilen sertlik değerleri verilmiştir.



Şekil 6.4. 530 °C’de 1 saat sinterlenen numunelerin sertlik değerleri.

Şekil 6.4’deki sonuçlar incelendiğinde, 530 °C’de 1 saat sinterlenen numunelerin sertlikleri: % 4 Ti içeren numunenin sertliği (37 HV₂), % 6 Ti içeren numunenin sertliği (41 HV₂), % 8 Ti içeren numunenin sertliği (46 HV₂) olarak ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri % 4 Ti ilave edilen numunelerde ölçülmüştür. En yüksek sertlik değeri % 8 Ti ilave edilen numunelerde ölçülmüştür. Sertlik sonuçlarından da anlaşıldığı gibi alaşım içerisindeki Ti oranı arttıkça Al-Ti alaşımının sertlik değerleri de artmaktadır. Bu durum daha önce yapılan başka bir çalışma ile de desteklenmektedir [79].

% 6 Ti içeren 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen numunelerinin sertlik değerleri Şekil 6.5’de verilmiştir.



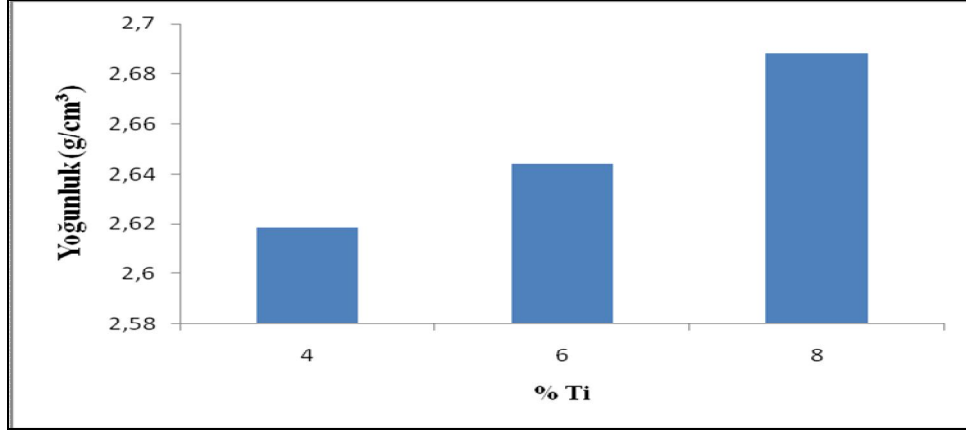
Şekil 6.5. 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen Al-Ti numunelerinin sertlik değerleri.

Şekil 6.5’deki sonuçlar incelendiğinde, 550 °C’de 1 saat sentezlenen ve % 6 Ti içeren numunenin sertliği (44 HV2) olarak ölçülmüştür. 550 °C’de 4 saat sentezlenen ve % 6 Ti içeren numunenin sertliği (49 HV2) olarak ölçülmüştür. 550 °C’de 8 saat sentezlenen ve % 6 Ti içeren numunenin sertliği (50 HV2) olarak ölçülmüştür. 550 °C’de 16 saat sentezlenen ve % 6 Ti içeren numunenin sertliği (47 HV2) olarak ölçülmüştür. Elde edilen grafik incelendiğinde 1, 4 ve 8 saat sentezleme uygulanan numunelerde sertlik değerleri sürekli bir artış seyri gösterirken 8 saatten sonra (16 saat) sertlik değerlerinde bir azalma eğilimi olduğu belirlenmiştir, en yüksek sertlik değerine ulaşılan sürenin 8 saat olduğu anlaşılmaktadır. 8 saat sentezleme sonrasında (16 saat) alaşım içerisindeki küçük Ti parçacıkları bir araya gelerek daha büyük parçacıklar oluşturması alaşımın içerisinde sertliğin azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

6.4. YOĞUNLUK ÖLÇÜM SONUÇLARI

Yoğunluk ölçümleri mekanik alaşımlama, sinterleme ve sentezleme işlemlerinden sonra yapılmıştır. Yoğunluk ölçümünde Arşimet yöntemi kullanılmıştır. Mekanik alaşımlama işleminden sonraki Al-Ti alaşımları sinterleme işlemi sonrası

yoğunlukları karşılaştırılmıştır. % 4 Ti, % 6 Ti ve % 8 Ti içeren 530 °C’de 1 saat sinterlenen numunelerin yoğunluk değerleri Şekil 6.6’da verilmiştir.



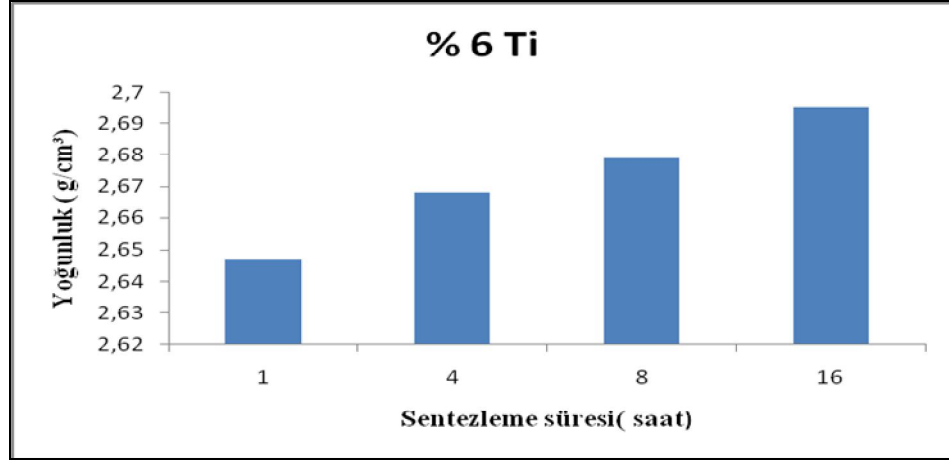
Şekil 6.6. 530 °C’de 1 saat sinterlenen numunelerin yoğunluk değerleri.

Çizelge 6.1. Sinterlenen alaşımların teorik yoğunlukları ve gözenek değerleri.

Alaşımlar	Ti (%)	Teorik yoğunluk (g/cm³)	Gözenek (%)
Al- 4%Ti	4	2,75	5,09
Al- 6%Ti	6	2,78	5,03
Al- 8%Ti	8	2,82	4,96

Şekil 6.6’da 530 °C’de 1 saat sinterleme sonrasında numunelerin yoğunluk değerleri incelendiğinde en fazla yoğunluk % 8 Ti içeren alaşımdan (2,68 g/cm³) sağlanırken, en az yoğunluk % 4 Ti içeren alaşımdan (2,61 g/cm³) sağlanmıştır. Alaşım içerisindeki % Ti miktarı arttıkça alaşımların yoğunluk değerlerinde de artış gözlenmektedir. Bu Al- Ti alaşımlarında bileşenlerin en fazla özgül ağırlığa sahip Ti’ un miktarının artmasının bir sonucudur. Çizelge 6.1’den de anlaşılacağı gibi alaşım içerisindeki titanyum oranı arttıkça gözenek oranı azalmıştır. Al-Ti alaşımına ilave edilen Ti elementinin özgül ağırlığının Al elementinden daha yüksek olması ve alaşım içerisindeki artan % Ti miktarı yoğunluğu artmıştır.

% 6 Ti içeren 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezleme sonrasında numunelerin yoğunlukları Arşimet yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. 550 °C’de sentezlenen numunelerin yoğunluk değerlerinin görüntüsü Şekil 6.7’de gösterilmektedir.



Şekil 6.7. % 6 Ti içeren 550 °C'de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen numunelerin yoğunluk değerleri.

Çizelge 6.2. Sentezlenen alaşımların teorik yoğunluğu ve gözenek değerleri.

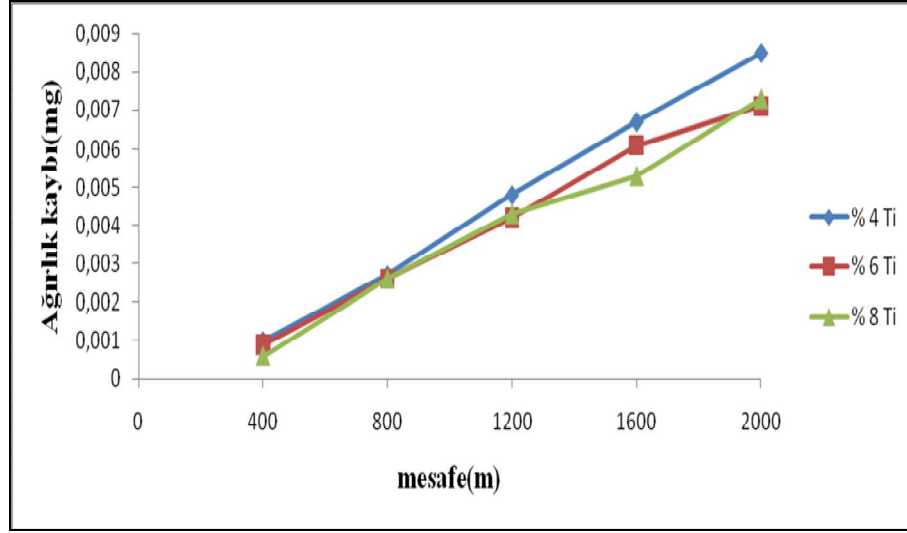
Alaşımlar	Ti (%)	Teorik yoğunluk (g/cm³)	Gözenek (%)
Al-6%Ti 1saat	6	2.78	5,03
Al-6%Ti 4saat			4,31
Al-6%Ti 8saat			3,95
Al-6%Ti 16saat			3,23

Şekil 6.7'den de anlaşılacağı gibi % 6 Ti içeren 550 °C'de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen numunelerde en fazla yoğunluk 16 saat sentezlenen alaşımdan (2,695 g/cm³) sağlanırken, en az yoğunluk 1 saat sentezlenen alaşımdan (2,647 g/cm³) sağlanmıştır. Elde edilen grafik incelendiğinde 1 saat, 4 saat, 8 saat ve 16 saat sentezlenen numunelerin sentezleme süresi arttıkça alaşımların yoğunluk değerlerinde sürekli artış gözlenmektedir. Çizelge 6.2'den de anlaşılacağı gibi sentezleme süresinin artmasıyla alaşım içerisindeki gözenek oranı azalmıştır. Bu nedenle sentezleme süresinin artışına bağlı olarak alaşım içerisindeki gözenek miktarı azalması alaşımın yoğunluğunu arttırmıştır.

6.5. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

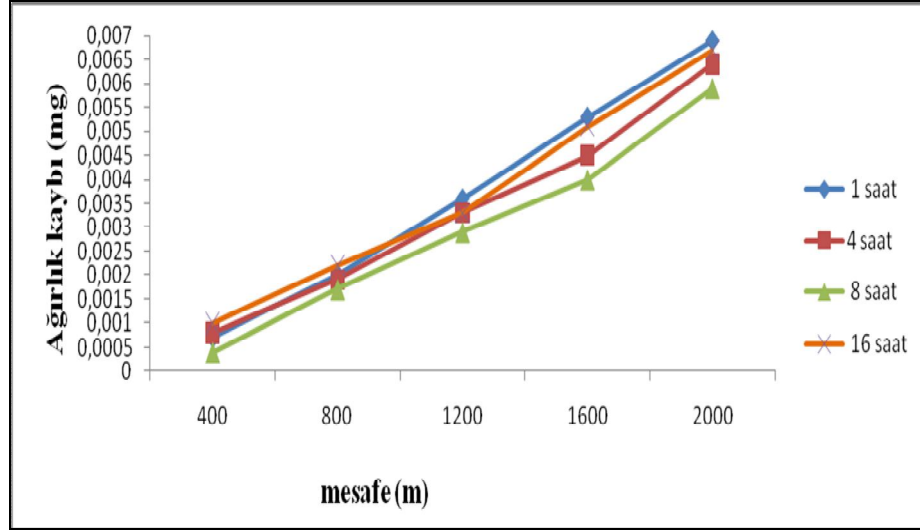
6.5.1. Kuru Sürtünme Aşınma Davranışları

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle hazırlanan Al-Ti alaşımlarının aşınma davranışları incelendi. Aşınma işleminde, numuneler pin-on disk üzerinde kayma hızı 1m/sn olacak şekilde, 30 N yük ve 400 m, 800 m, 1200 m, 1600 m, 2000 m kayma mesafeleri seçilmiştir. Aşınma oranları tüm numunelerde ağırlık kaybı olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.8. 530 °C'de 1 saat sinterlenen % 4, % 6 ve % 8 oranlarının da Ti içeren numunelerin aşınma, yük, mesafe ve ağırlık ilişkisi.

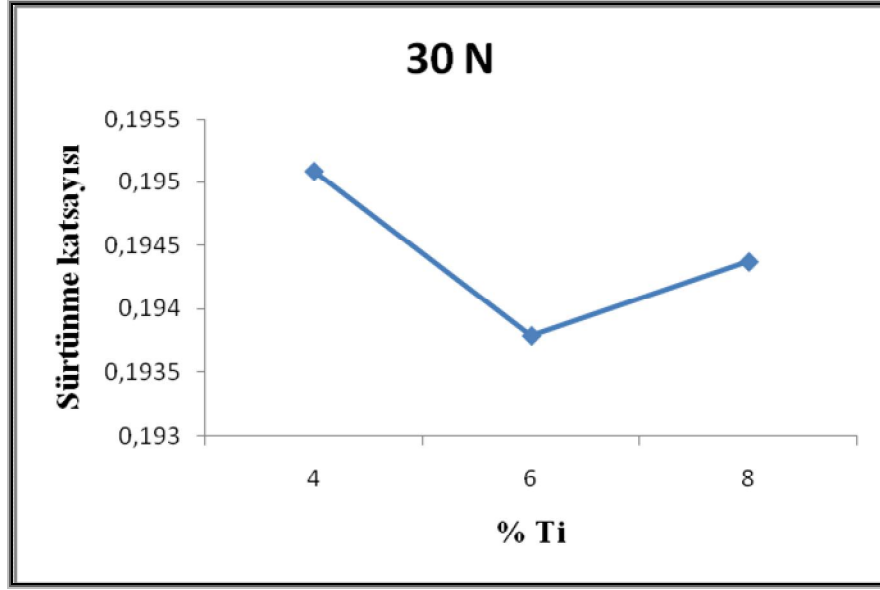
Şekil 6.8'de görülen 530 °C'de 1 saat sinterlenen numunelerin 30 N Yük altında 400 m, 800 m, 1200 m, 1600 m ve 2000 m mesafe sonunda en fazla ağırlık kaybı % 4 Ti içeren alaşımda (0,0085 mg), en az ağırlık kaybı ise % 6 Ti içeren alaşımda (0,0071 mg) görülmektedir. % 8 Ti içeren alaşımın ağırlık kaybı (0,0073 mg) ve % 6 Ti içeren alaşımın ağırlık kaybı birbirine çok yakındır. Alaşım içerisinde % Ti oranındaki artışa bağlı olarak aşınma miktarında azalma görülmektedir. % 4 Ti içeren alaşımının en fazla oranda aşınma davranışı sergilemesi alaşımın sertliğinin düşük olması ve içerisinde bulunan Ti oranının diğer alaşımlara oranla daha az olmasına bağlanmaktadır.



Şekil.6.9. 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen ve % 6 Ti içeren numunelerin aşınma, yük, mesafe ve ağırlık ilişkisi.

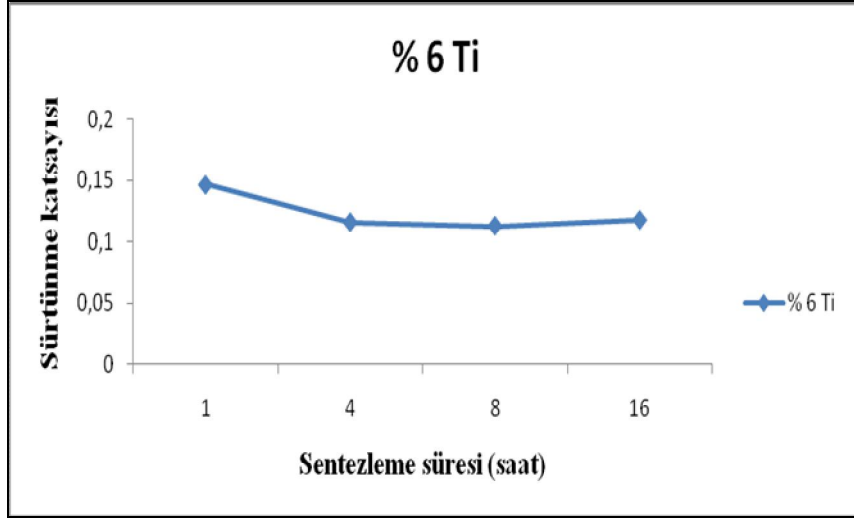
Şekil 6.9’da görülen 550 °C’de % 6 Ti içeren numunelerin 30 N’luk kuvvet uygulanarak 2000 m mesafe sonunda en fazla ağırlık kaybı 1 saat sentezlenen alaşımda (0,0069 mg), en az ağırlık kaybı ise 8 saat sentezlenen alaşımda (0,0059 mg) görülmektedir. Sentezlenme süresinin değişimine bağlı olarak sentezleme süresi arttıkça aşınma kaybında farklılık görülmektedir. Elde edilen grafik incelendiğinde 1 saat, 4 saat ve 8 saat sentezleme işlemi uygulanan numunelerin ağırlık kayıplarında sürekli bir azalma görülürken 8 saatten sonra (16 saat) aşınma kaybında bir artma olduğu belirlenmiştir. Sertliği en küçük olan ve 1 saat sentezlenen alaşımda ağırlık kaybı en fazladır. 8 saatten sonra alaşımın sertliği azalmış alaşımın ağırlık kaybı artmıştır. 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlene numunelerin sertliklerine bağlı olarak sert malzeme, sertliği düşük malzemeye göre daha az aşınmıştır.

Şekil 6.10’da 530 °C’de 1 saat sinterlenen % 4 Ti, % 6 Ti, % 8 Ti içeren Al-Ti alaşımlarının ortalama sürtünme katsayısı grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6.10. Al- % 4 Ti, % 6 Ti, % 8 Ti içeren Al-Ti alaşımlarının 30 N yük altında ortalama sürtünme katsayısı grafiği.

Şekil 6.10'da gösterilen sürtünme katsayıları her bir alaşımın 2000 m aşınma mesafesi sonunda elde edilen ortalama değerleridir. Sürtünme katsayısı grafiğinde Şekil 6.10'da görüldüğü üzere en az sürtünme katsayısı % 6 Ti içeren alaşımda (0,19379) iken, en fazla sürtünme katsayısı % 4 Ti içeren alaşımda (0,19509) gerçekleşmiştir. Sürtünme katsayıları ile aşınma oranları arasında doğrudan bir uyum vardır. Şekil 6.8'den de görüldüğü gibi ağırlık kaybı ile sürtünme katsayıları arasında doğru orantılı olarak artma ve azalmalar görülmüştür. Alaşımlarının aşınma direncinin artan Ti oranıyla arttığı, sürtünme katsayısının ise azaldığı belirlenmiştir. En az sertlik değerine sahip olan % 4 Ti içeren alaşımın, ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı en fazladır.

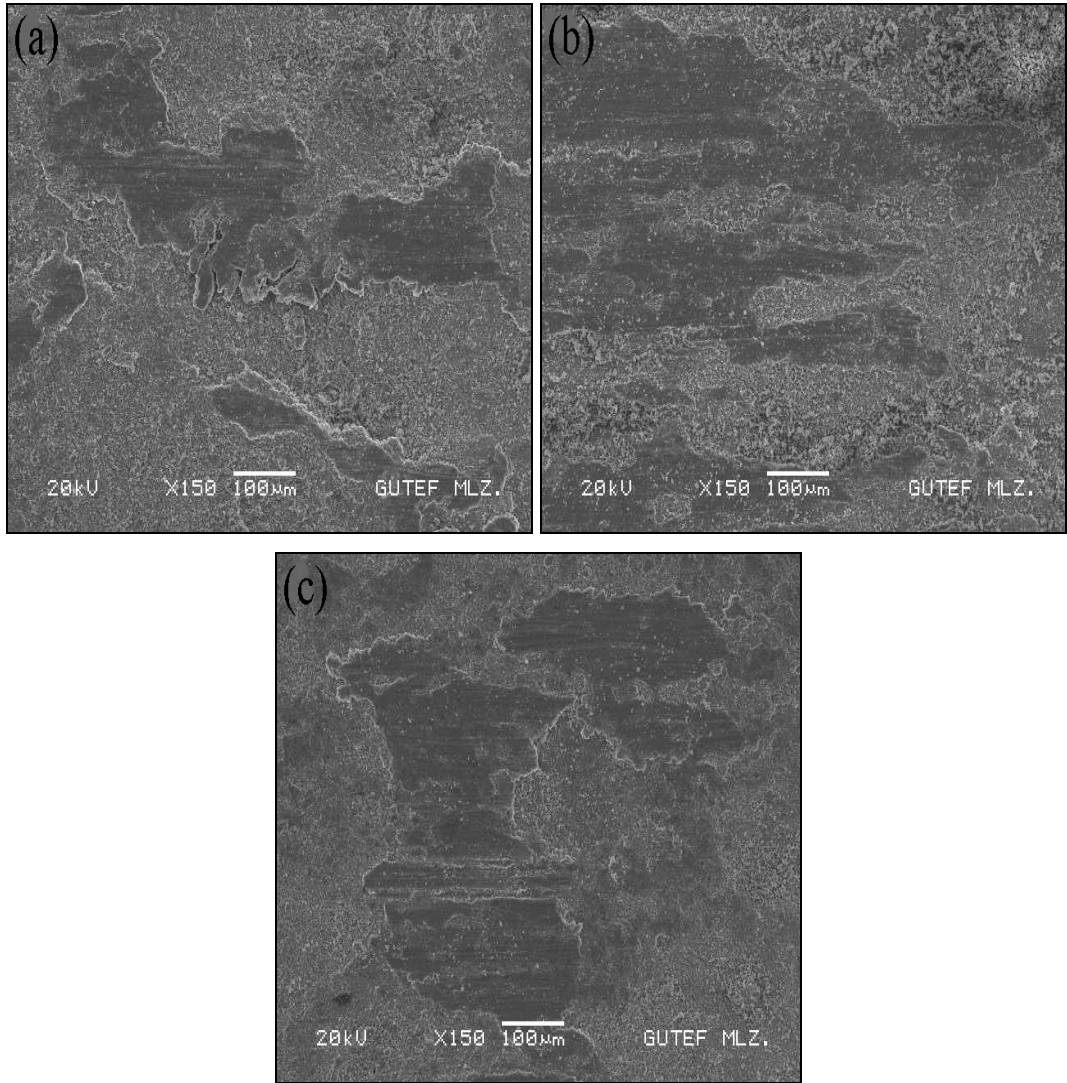


Şekil 6.11. Al-% 6 Ti alaşımlı 550 °C’de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen alaşımların 30 N yük altında ortalama sürtünme katsayısı grafiği.

Şekil 6.11’de görülen sürtünme katsayısı grafiğinde en az sürtünme katsayısı Al-% 6 Ti alaşımlı 8 saat sentezlenen numunenin (0,113129), en fazla sürtünme katsayısı ise Al-% 6 Ti alaşımlı 1 saat sentezlenen numunenindir (0,146652). Sentezleme süresi arttıkça ortalama sürtünme katsayısı azalmaktadır fakat Al-% 6Ti alaşımının 8 saat sentezleme sonrasında (16 saat) ortalama sürtünme katsayısıda artış gözlenmektedir. Sürtünme katsayısının çok yüksek olduğu yerlerde yapışma durumu söz konusu ve ani bir düşme olduğu durumda ise yapışan katmanın koptuğunu göstermektedir. Bu durumda kütle kaybına yol açmaktadır. Sünek malzemelerde (Al, Cu gibi) aşınma oranları mesafe arttıkça azalır [79]. Bunun nedeni ise mesafe arttıkça malzemede termomekanik işlem ve termal nedenden dolayı malzeme yüzeyinde oksit film tabakası oluşmaktadır. Oluşan oksit film tabakası malzeme yüzeyinde yağlayıcı görevini görmektedir ve sürtünme katsayısı azalmaktadır. Sürtünme katsayısı ‘0’ birim olduğunda idealdir ancak bu değere ulaşmak günümüzde mümkün değildir. Ne kadar ‘0’ değerine yakınsa aşınma direnci o kadar iyidir [80]. 550 °C’de 1 saat sentezlenen alaşımın aşınma direncinde en düşük, 8 saat sentezlenen alaşımın aşınma direnci en yüksektir. Alaşımların sertlik değerleri ve sentezleme süresi arttıkça alaşımın aşınma direnci artmaktadır fakat 8 saat sentezleme süresi sonrasında (16 saat) alaşımın sertlik değerinin düşmesinden dolayı aşınma direncinde azalma ve sürtünme katsayısında artma görülmektedir.

6.5.2. Aşınma Yüzeylerinin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Aşınma testleri sonunda Al-Ti alaşımlarının aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 6.12–6.13’de verilmiştir. Anlaşılacağı üzere, Al-Ti alaşımlarının aşınma yüzeylerinde çizikler, sıvama tabakaları, kırılmalar ve yırtılmalar gibi aşınmaya neden olan parçacıklarının bulunduğu görülmektedir.



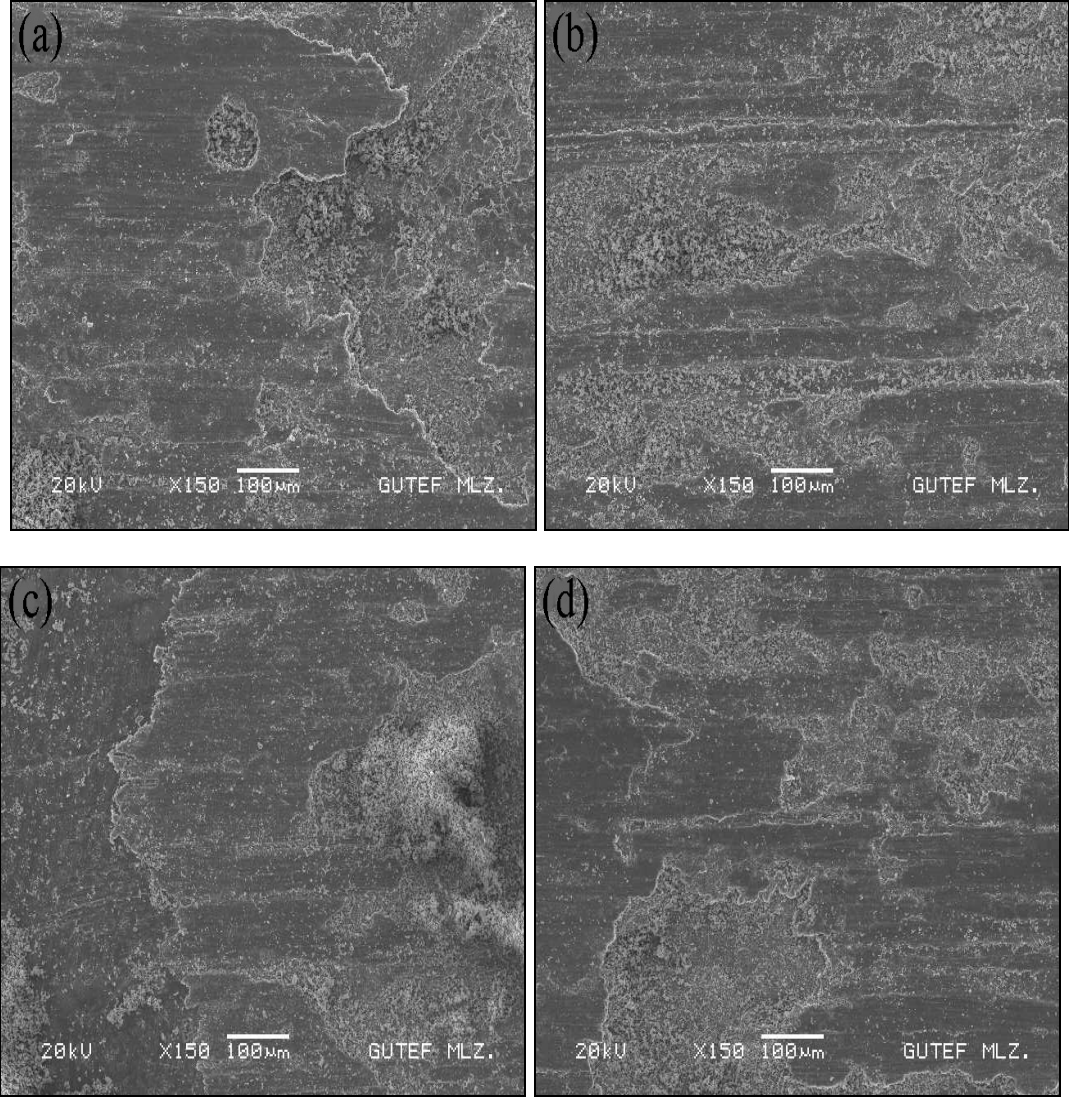
Şekil.6.12. 530 °C’ de 1 saat sinterlenmiş Al-Ti alaşımlarının aşınma yüzeyleri a) % 4 Ti, b) % 6 Ti, c) % 8 Ti.

Aşınma testleri yapılan alüminyum malzemelerin sabit bir kayma hızında soldan sağa doğru kayma yönünde aşınma yüzeyleri şekillerde görülmektedir. Alüminyum yüzeyinin düz olduğu bununda numunelerden ayrılan parçacıklarının çelik disk

üzerine yapışmasından ileri geldiği, dolayısıyla sürekli devam eden işlem ile her iki yüzeyin benzer malzemelerin aşınması gibi davrandığı, ancak yumuşamış malzemenin zayıf noktalardan koparak ayrılmaktadır. Deney sonrası çıplak gözle yapılan gözlemede karşılık diskin üzerini alüminyum katmanının kapladığı gözlemlenmektedir.

En fazla aşınma oranının gerçekleştiği Al-% 4 Ti alaşımının aşınma yüzeyi SEM görüntüsü incelendiğinde (Şekil 6.12 (a)) yüzeyde plastik deformasyon ve kırılmalar meydana gelmiştir. Kırılmaların sebebi malzemenin sertliğinin düşük olmasından dolayı yükün oluşturduğu aşınma etkisine direnç göstermesi ile malzemenin kırılmalar gözlenmektedir. Al-% 6 Ti alaşımının aşınma yüzeyi SEM görüntüsü incelendiğinde (Şekil 6.12 (b)) kısmen kraterler ve soyulmalar gözükmemektedir. Al-% 6 Ti alaşımının, % 4 Ti ve % 8 Ti içeren alaşımlara nazaran aşınma sonrası ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı daha azdır. Bu nedenle yüzeyde oluşan kütle kaybı % 4 Ti ve % 8 Ti içeren alaşımlara nazaran daha az gerçekleşmiştir. Al-% 8 Ti alaşımının aşınma yüzeyi SEM görüntüsü incelendiğinde (Şekil 6.12 (c)) yüzeydeki çukurlukların plastik deformasyona uğrayarak aşındığı gözlenmektedir. Bu çalışmada SEM ve EDS analizleri yapılarak yapı ve aşınma yüzeylerin incelenmesiyle aşınma davranışının % 6 Ti ve % 8 Ti içeren numunelerin % 4 Ti içeren numuneye göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

550 °C'de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen % 6 Ti içeren alaşımların 30 N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 6.13'de gösterilmektedir.



Şekil.6.13. % 6 Ti içeren 550 °C’de a) 1 saat, b) 4 saat, c) 8 saat, d) 16 saat sentezlenen alaşımların aşınma yüzeyleri.

(Şekil 6.13 (a)) 1 saat sentezlenen alaşımının aşınma yüzeyi SEM görüntüsü incelendiğinde yüzey kırılmalarına ve plastik deformasyona uğrayarak aşınma gerçekleşmiştir. (Şekil 6.13 (b)) 4 saat sentezlenen alaşımın SEM görüntüsünde aşınma yüzeyinde plastik deformasyon gözlenmektedir. (Şekil 6.13 (c)) 8 saat sentezlenen alaşımın SEM görüntüsü incelendiğinde yüzeydeki çıkıntıların plastik deformasyona uğrayarak aşındığı gözlenmektedir. (Şekil 6.13 (d)) 16 saat sentezlenen alaşımın SEM görüntüsü incelendiğinde yüzeydeki pürüzlerin ilk aşamada kırılması ve daha sonra yapının sert olmasından dolayı aşınma yüzeyinde kırılma oluşturarak plastik deformasyon meydana gelmiştir. Sonuç olarak aşınma davranışları incelendiğinde % 6 Ti içeren 8 saat sentezlenen alaşımın, 1, 4 ve 16 saat

sentezlenen alaşımlara göre aşınma davranışının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. % 6 Ti içeren alaşımın 8 saatten sonra (16 saat) aşınma davranışında azalma grlmştir. 8 saat sentezlenen alaşımın ağırlık kaybı ve sürtünme katsayısı 1, 4 ve 16 saat sentezlenen alaşımlara göre daha azdır. Bu nedenle 8 saat sentezlenen alaşımda ktle kaybı daha az gerçekleşmiştir. SEM ve EDS analizleri yapılarak yapı ve aşınma yüzeylerin incelenmesiyle aşınma davranışlarının 8 saat sentezlenen numunenin 1, 4 ve 16 saat sentezlenen numunelere göre daha yüksek olduğu grlmştir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada % 4 Ti, % 6 Ti ve % 8 Ti içeren Al-Ti alaşımına 530 °C'de 1 saat sinterleme ve % 6 Ti içeren Al-Ti alaşımına 550 °C'de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezleme işlemleri yapılarak Ti oranının ve sentezleme süresinin farklılığının aşınma dayanımı üzerine etkisi incelenmiştir ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- % 4 Ti, % 6 Ti ve % 8 Ti içeren Al-Ti alaşımlarında Ti oranı arttıkça sertlik değerinin arttığı tespit edilmiştir.
- % 6 Ti içeren 550 °C'de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen Al-Ti alaşımlarının sertlik değerlerinin sentezleme sürelerine bağlı olarak arttığı, fakat 8 saat sentezleme sonrasında (16 saat) alaşım içerisindeki Ti parçacıklarının bir araya gelerek daha büyük parçacıklar oluşturmasıyla alaşım içerisindeki sertlik değerinde azalma gözlenmektedir.
- % 4 Ti, % 6 Ti ve % 8 Ti içeren Al-Ti alaşımlarında Ti oranına bağlı olarak Ti oranı fazla olan alaşımın yoğunluğu titanyumun özgül ağırlığından dolayı daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- 550 °C'de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezlenen % 6 Ti içeren alaşımların sentezleme süresinin artmasıyla yoğunlukları atmıştır. Bunun nedeni olarak sentezleme süresinin artışına bağlı olarak alaşım içerisindeki gözenek miktarının azalmasıyla alaşımın yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir.
- % 4 Ti, % 6 Ti ve % 8 Ti içeren Al-Ti alaşımına 530 °C'de 1 saat sinterleme işlemi yapılması sonucunda alaşımdaki Ti oranının artmasıyla malzemenin aşınma dayanımının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

- % 6 Ti içeren Al-Ti alaşımına 550 °C'de 1, 4, 8 ve 16 saat sentezleme sonucunda sentezleme süresi arttıkça malzemenin aşınma dayanımının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Fakat 8 saat sentezleme sonunda (16 saat) ise malzemenin aşınma dayanımında bir azalma gözlenmektedir.
- Yapılan XRD incelemelerinde sinterleme işlemi sonrasında alaşımın yapısında numunelerde mukavemeti arttıran $TiAl_3$ intermetalik fazın olduğu görülmüştür.

7.2. ÖNERİLER

- Aşınma deneyleri yapılırken kullanılan test üniteleri geliştirilebilir. Isının aşınmaya etkisini daha derin irdelemek için, numunenin ünite üzerinde takıldığı yere ısıtıcı bir fırın yerleştirilebilir.
- Deney esnasında numunenin disk ile temasından oluşan ısıyı ölçmek için sisteme lazer sensör monte edilerek aşınmanın algılanmasında artı bir parametre daha kullanılabilir.
- Sistemde kullanılan yük hücresi ve ara yüz kartlar vasıtasıyla, alaşımların sürtünme davranışlarının irdelenmesi yanı sıra sistem üzerine bir deplasman ölçer eklenerek aşınma sırasında numunelerin yükseklik kayıpları elde edilerek aşınmanın algılanmasında ek bir parametreye sahip olunur.
- 4) Aşınma deneyleri yapılırken daha fazla kayma hızları, yükler ve yollar kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Topbaş, A., “Endüstri Malzemeleri”, *Prestij Basın Yayın*, İstanbul, 1: 31-35 (1993).
2. Yıldırım, M. M., Doğatan, Z. S., Çakan, A. ve Pakdil, M., “Mühendislik Malzemeleri II”, *Mustafa Kemal Üniversitesi Basımevi*, İskenderun 90-97 (2001).
3. Baydır, G., “Malzeme”, *MEB Yayinevi*, İstanbul, 30-36 (1987).
4. Weissacach, W., Anık, S., Anık, E. ve Vural, M., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, *Birsen Yayinevi*, Gayrettepe, 146-152 (1996).
5. Moon, K. Il., and Lee, K. S., “Development of nanocrystalline Al-Ti alloy powders by reactive ball milling”, *Journal of Alloys and Compounds*, 264: 258-266 (1998).
6. Onaran, K., “Malzeme Bilimi”, *Bilim Teknik Yayinevi*, 47-52 (1997).
7. Smith, W. F. ve Kınıkoğlu, N. G., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği 3. Baskıdan Çeviri”, *Mart Matbaacılık*, İstanbul, 20-22 (2001).
8. Uenishi, K., Matsubara, T., Kambara, M. and Kobayashi, K. F., “Nanostructured Titanium- Aluminides and their composites formed by combustion synthesis of mechanically alloyed powders”, *Scripta Materialia*, 44: 2093-266 (2001).
9. Moon, K. Il. and Lee, K. S., “Compressive deformation behaviour of nanocrystalline Al-5at.%Ti alloys prepared by reactive ball millinh in H₂ and ultra-high-pressure hot pressing”, *Journal of Alloys and Compounds*, 333: 249-259 (2002).
10. K. Il, Park, H. S. and Lee, K. S., “Consolidation of nanocrystalline Al-5at.%Ti alloys powders by ultra-high-pressure hot pressing”, *Material Science and Engineering*, A (323): 293-300 (2001).
11. Bhadeshia, H. K. D. H., “Thermodynamics and phase diagrams lecture4, mechanical alloying, case study”, *Material Science and Metallurgy*, 345: 412-420 (2002).
12. Moon, K. Il, Oh, M. S. and Lee, K. S., “Tensile properties of nitride dispersed Al-Ti alloy synthesized by reactive ball milling in N₂ gas”, *Journal of Alloys and Compounds*, 302: 227-234 (2000).

13. Moon K. Il. and Lee, K. S., “A study of the microstructure of nanocrystalline Al-Ti Alloys synthesized by ball milling in a hydrogen atmosphere and hot extrusion”, *Journal of Alloys and Compounds*, 291: 312-321 (1999).
14. Tetik, G., Göceli, Z. ve Yiğit, G., “Alüminyum döküm teknolojisi ve kalıpcılığı bölümü”, *Anadolu Üniversitesi Porsuk M.Y.O.*, Eskişehir, 90-91 (2003).
15. Trinh D. and Müller M., “Aluminides”, 4H1609 Functional Materials, *Project Report KTH*, (2002).
16. Djanarthany, S., Viola, J. C. and Bouix, J., “An overview of monolithic titanium aluminides based on Ti_3Al and $TiAl$ ”, *Materials Chemistry and Physics*, 72: 301-319 (2001).
17. Schuster, J.C. and Palm, M., “Reassessment of the binary Aluminium-Titanium phase diagram”, *Jpedav*, 27: 255-277 (2006)
18. Wang, X., Jha, A. and Brydson, R., “In situ fabrication of $AlTi_3$ particle reinforced aluminium alloy metal-matrix composites”, *Material Science and Engineering*, A (364): 339-345 (2004).
19. Varin, R. A., “Intermetallics: Crystal Structures”, *University of Waterloo*, Ontario, Canada, 67-70 (2000).
20. Yang, L. W., Cheng, J. Y., Luoh, T., Sun, P. L. and Kao P. W., “High strain rate superplasticity of a MA Al-8wt.%Ti alloy”, *Scripta Materialia*, 51: 47-51 (2004).
21. Mandala, A., Murtyb, B.S. and Chakrabortya, M., “Wear behaviour of near eutectic Al-Si alloy reinforced with in-situ TiB_2 particles”, *Materials Science and Engineering*, A (506):27–33 (2009)
22. Li, Z. W., Gao, W., Zhang, D. L. and Cai, Z. H., “High temperature oxidation behaviour of a $TiAl-Al_2O_3$ intermetallic matrix composite”, *Corrosion Science*, 30: 46-50 (2007).
23. Zhou, H., Yao, Q. and Yuan, S., “The 500°C isothermal section of the Nd-Al-Ti ternary system”, *Journal of Alloys and Compounds*, 381: 137-139 (2004).
24. Wu, G. Q., Huang, Z. and Ruan, Z. J., “In situ hot-stage observations of structural transformation in a laser surface-melted $TiAl$ intermetallic alloy”, *Materials Characterization*, 52: 81-849 (2004).
25. Türk Toz Metalurjisi Derneği, “Toz Metalurjisi Üretim Teknikleri”, *Türk Toz Metalurjisi Derneği*, Ankara 79-82 (2005).
26. Arslan, F. , “Sıvı faz sinterlenmesi”, *1. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı*, 16–17 Eylül, Ankara, 551–558 (1996).

27. German, R. M., "Phase diagrams in liquid phase sintering treatments" , *J. Of Metals*, 38: 26-29 (1986).
28. Cebeci, H.A, "Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen SİC takviyeli alüminyum kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi", Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 80-90 (2008).
29. Lee, C. J. and German, R. M. , "Enhanced sintering of tungsten phase equilibrium effect on properties" , *Int. J. Of Pow. Met. Pow. Tech.* , 20: 149-162 (1984).
30. Back, W. H. and German R. M., "Transient liquid phase sintering of iron-titanium" , *Pow. Met. Int.* , 17: 273-279 (1989).
31. Savitskii, A.P. and Mortsunova, L. S., "Effect of solid-state solubility on the volume change experienced by aluminum during liquid phase sintering" , *Soviet Powder Metallurgy Met. Ceram.* , 16: 333-337 (1977).
32. Demirel, M., " Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen metal matrisli kompozitlerde Ni3Al metaller arası bileşik takviyesinin aşınma davranışına etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 45-47 (2007).
33. Yangyun, S. and Brook, R. J. , " Preparation of zirconium-toughened ceramics by reaction sintering", *Sci Sintering*, 17: 35-47 (1985).
34. Miyamoto, Y. , Korzimi, M. and Yamada, O. , " High pressure self combustion sintering for ceramics", *J. Amer. Cer. Soci.* , 67: 224-225 (1984).
35. Sağlam, İ., "Mekanik alaşımlama yolu ile üretilen alüminyum bazlı kompozit malzemelerin aşınma özelliklerinin incelenmesi", Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümü Döküm Eğitimi Anabilim Dalı*, Zonguldak, 116 (2006).
36. Meyveci, A., "Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 87 (2007).
37. Pigors, O., "Abrasive Verschlei Bverhalten Von Stöhlen Bei Gleit – Und Wölbewegungen H.9" , *Schmierungstechnik*, 10 (1979).
38. Odabaş, D. ve Topal, E. S., "100Cr6 çeliğinin iki cisimli abrasif aşınma davranışının kuru veya sıvı sürtünme şartlarında deneysel araştırılması", *6. Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli, 396-405 (1995).
39. Donald, R. A. , "The science and engineering of materials third edition, psw publishing company", *University of Missouri / Rolla*, 123 (2005)

40. Ertan, G. , “İş makinelerinde aşınma ömrü kriterlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 88 (1999).
41. Ulusoy, E., “Bazı toprak işleme alet ve makinelerinde iş organlarının aşınması üzerinde araştırmalar”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, 390: 11 (1981)
42. Soydan, Y. ve Ulukan, L., “Sürtünme ve aşınma direnci ölçme yöntemleri”, **8. Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, 581-588 (1988).
43. Yılmaz, F., “Sürtünme ve aşınma”, **9. Uluslar Arası Metalurji ve Malzeme Kongresi**, İstanbul, Türkiye, 229-247 (1997).
44. Djanarthany, S., Viola, J. C. and Bouix, J., “An overview of monolithic titanium aluminides based on Ti₃Al and TiAl”, *Materials Chemistry and Physics*, 72 (31): 301-319 (2001)
45. Gwidon, W.S., and Andrew, W.B., “Engineering Tribology” *Department of Mechanical and Materials Engineering University of Western Australia*, Australia, 483-573 (2007).
46. Gürleyik, M.Y. “Soğuk deformasyonla aşınma direnci artırılabilir”, **2. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, Ankara, 501-510 (1986).
47. İpek, R. “AISI 1020 çeliğinin yüzey sertleştirme işlemleri uygulanarak AISI 5155 çeliğinin yerine kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 50-55 (1992).
48. Gürleyik, M.Y., “Makine mühendisliğinde aşınma olayları” *Mühendis ve Makine*, 27 (323): 3-14 (1986).
49. Onaran, K., “Malzeme Bilgisi”, *Bilim Teknik Yayınevi*, İstanbul, 295-310 (1993).
50. Tekin, M., “Alüminyum-Titanyum alaşımlarının aşınma ve korozyon davranışlarına yaşlandırma ısıl işleminin etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük , 75-80 (2009)
51. İpek, R., “Tren fren pabuçlarının aşınmasının deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 80-86 (1987).
52. Odabaş, D., “Kuru sürtünme şartlarında termomekanik faktörlerin AISI 3315 çeliğinin aşınma davranışına olan etkilerin teorik ve deneysel araştırılması”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 67-70 (1991).

53. Akkurt, S., “Poliasetalin kuru ve su ile yağlama koşullarında sürtünme katsayısı ve aşınma bakımından incelenmesi” **4. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, Ankara, 585 – 594 (1990).
54. Hurricks, P. L., “Some metallurgical factor controlling the adhesive and abrasive wear resistance of steels a review”, *Wear*, 26: 285 – 304 (1973).
55. Karamış, M.B., “Traktör hızı ve pulluk çalışma derinliğinin uç demiri aşınma hızına etkileri ve optimizasyonu”, **2. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu**, Gaziantep, 668 – 677 (1986).
56. Habıg, K. H., “Verschleiß UND hörte von werkstoffen”, *Hanser – Verlag München – Wien*, 88 (1980).
57. Anık, S., Anık E.S. ve Vural, M., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 127-143 (1977).
58. Gürleyik, M.Y., “Yıkama aşındırması”, *Mühendis ve Makine*, 311 (368): 25 – 34 (1980).
59. Karamış, M.B. , “Abrasiv aşınma mekanizmasında yüzey basıncının aşınmaya etkisi”, **2. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, Ankara, 90 (1986) .
60. Kurtçu, A.C., “SiC katkılı alüminyum matrisli kompozitlerde aşınma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 493 – 500 (1995).
61. Yılmaz, M., “Alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 32-37 (1996).
62. Eruslu, N. ve Kayalı, E. S, “Hasar Analiz Seminer Notları”, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası*, İstanbul, 52 (1997).
63. Özdin, K., “Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-22 (2006).
64. Yılmaz, T., “İyonitürleme yoluyla sertleştirilmiş SAE 4140 çeliğinin aşınma dayanımının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 27-30 (1992).
65. 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).
66. Arıkan, R., “MOS2 ilaveli Çinko – Alüminyum esaslı kompozitlerin yapımı ve aşınma özellikleri” **3. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi**, Ankara, 67-72 (1988).

67. Mutlu, H., “Al – SiC kompozitlerin termomekaniksel işlem sonrası aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 537 – 547 (1996).
68. 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).
69. 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).
70. Qi, W. X., Tu, J. P. , Liu F. , Yang, Y. Z. , Wang, N. Y. , H.M. Lu , Zhang, X. B. and Guo, S. Y., “Microstructure and tribological behavior of a peak aged Cu / Cr / Zr alloy”, **Materials Science and Engineering**, A (343): 89-96 (2002).
71. Saka, N., Eleiche, A.M. and Suh, N.P., “Wear of metals at high sliding speeds”, **Wear**, 44: 109 -125 (2003).
72. Tu, J.P., Meng, L. and Liu, M.S., “Friction and wear behavior of Cu---Fe₃Al powder metallurgical composites in dry sliding”, 220: 72-79 (1998).
73. Song, W.Q., Krauklis, P., Mouritz A.P. and Bandyopadhyay, S., “Theeffect of thermal ageing on the abrasive wear behaviour of age-hardened 2014 Al/SiC and 6061/SiCcomposites”, **Wear**, 244: 125–130 (1995).
74. Sato, H., Murase, T., Fujii, T., Onaka, S., Watanabe, Y. and Kato, M., “ Formation of a wear-induced layer with nanocrystalline structure in Al- Al₃ Ti functionally graded material”, **Acta Materialia**, 56: 4549-4558 (2008)
75. Günyüz, M., “ Titanyum alaşımlarının mikroark oksidasyonu”, Y.Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 37-42 (2007).
76. Chen, I.W. and Wang, X.H., “Sintering dense nanocrystalline ceramics without final-stage grain growth”, **Nature**, 404:168-171 (2000).
77. Wang, X., Jha, A. and Brydson, R., “In situ fabrication of Al₃Ti particle reinforced aluminium alloy metal–matrix composites”, **Materials Science and Engineering**, A (364): 339–345 (2004).
78. Chianeh, V.A., Hosseini, H.R. And Nofar, M., “Micro structural features andmechanical properties of Al– TiAl₃ composite fabricated by in-situ powder metallurgy route”, **Journal of Alloys and Compounds**, 473: 127-132 (2009).
79. Akbulut, H., “Alümina fiber takviyeli Al-Si metal matriksli kompozitlerin üretimi ve mikroyapı-özellik ilişkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 56-58 (2000).

80. Biçer, A., “Toz metalurjisi yöntemiyle proz Alüminyum-Titanyum intermetalik kompozitlerin üretimi”, Y.Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 67-70 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Seda ÇAM 1986'da Adana'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Şehit Öğretmen Orhan Gök Lisesinden (yabancı dil ağırlıklı lise) mezun olduktan sonra 2005 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Döküm Öğretmenliği Bölümü'ne girdi; 2009'da "iyi" derece ile mezun oldu. Halen; 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı altında sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Sanatoryum Caddesi Şeref Apartmanı No:16

KEÇİÖREN / ANKARA

Tel: 05416483025

E-posta: msfe_0180@hotmail.com