

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN
AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA Ti VE B₄C
İLAVESİNİN AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Harun AY

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075 ALÜMİNYUM
ALAŞIMINA Ti VE B₄C İLAVESİNİN AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Harun AY

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2014**

Harun AY tarafından hazırlanan “TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA Ti VE B₄C İLAVESİNİN AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/ 06/ 2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hatice EVLEN (KBÜ)



..../..../2014

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

Prof. Dr. Mustafa BOZ
Fen Bilimleri Enstitü 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.”

Harun AY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA Ti VE B₄C İLAVESİNİN AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Harun AY

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Haziran 2014, 79 Sayfa

Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemiyle üretilen AA7075 alaşımına (Ti ve B₄C) ilave edilerek üretilen Al kompozitlerin aşınma davranışları incelenmiştir. Çalışma kapsamında Al kompozit malzemeler, AA7075 alaşımına farklı oranlarda (%2, %4 ve %6) Ti ve (%3, %6 ve %9) B₄C ilave edilerek üretilmiştir. Hazırlanan kompozit tozlar, 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek ön şekillendirilmiştir. Ön şekillendirilmiş parçalar atmosfer kontrollü (argon) ısıtma fırınında 580 °C de 240 dakika sinterlendikten sonra, fırın ortamında soğutulmuştur. Sinterleme işleminden sonra üretilen numuneler optik mikroskop (OM), tarama elektron mikroskobu (SEM+EDS), X-ışını kırınımı (XRD), yoğunluk ölçümleri ve sertlik ölçümleri yapılarak karakterize edilmiştir. Karakterizasyon işlemi yapılan Al kompozit numuneler, 1msn⁻¹ kayma hızı, 30N yük ve 6 farklı kayma mesafesi (500-3000m) kullanılarak aşındırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, farklı oranlara üretilen

alaşımlarda, ilave edilen Ti ve B₄C' le matris fazın reaksiyonu sonucunda üretilen alaşımların yoğunluklarının, takviye elemanlarındaki artışa bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Sertlik lmleri sonucunda, en yüksek sertliğin AA7075 alaşımına (%6Ti+%9B₄C) ilavesiyle üretilen kompozitlerde olduğu belirlenmiştir. Aşınma testleri sonucunda ise, kayma mesafesindeki artışa paralel olarak, AA7075 alaşımına (Ti ve B₄C) ilavesiyle üretilen kompozitlerin ağırlık kayıplarının arttığı belirlenmiştir. AA7075 alaşımına (Ti ve B₄C) ilavesiyle üretilen kompozitlerin aşınma yüzeyleri SEM görüntüleri incelendiğinde, kayma yönüne bağlı olarak yüzeyden kopan parçacıkların tekrar yüzeye kaynaklandığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : AA7075 alaşımı, Ti ve B₄C ilavesi, Al kompozitler, mikroyapı, aşınma davranışı, toz metalurjisi.

Bilim Kodu : 916.1.193

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ADDED TI AND B4C ON WEAR BEHAVIOUR IN AA7075 ALLOY PRODUCED BY POWDER METALLURGY ROUTE.

Harun AY

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK

June 2014, 79 Pages

In this present study, the wear behaviour of Al composites' with added Ti and B4C to AA7075 alloy, produced by powder metallurgy route were investigated. In the scope of study, Al composites were produced with additional different amount of Ti (2%, 4% and 6%) and different amount of B4C (3%, 6%, 9%). Prepared composite powders were pre-shaped with cold pressing under 600 MPa pressure. Pre-shaped components were cooled in the furnace after sintered at 580 °C for 240 min. in the atmosphere controlled furnace. Produced samples were characterized by optical microscope (OM), scanning electron microscope (SEM+EDS), X-ray diffraction (XRD). Density and hardness measurements were carried out after sintered. Characterized samples were worn with 1msn^{-1} sliding speed and at 6 different sliding distance (500- 3000 m) under 30 N load. As results of the study, it was observed that the produced of Al composites, which were resulted of reaction matrix with

additional different amount of Ti and B₄C, densities were increased with depend on increasing reinforcing phases. The highest hardness value was determined on AA7075 Al with additional 6% Ti +9 % B₄C composite. The results of wear tests, it was determined that the produced composites' with additional of Ti and B₄C in AA7075 alloy weight loss were increased in parallel to increasing sliding distance. When the worn surfaces of produced composites were investigated, detached particles from surface were welded again on surface depending on sliding direction.

Key Word : AA7075 alloy, Addition of Ti and B₄C, Al composites, Microstructure, The wear behavior, Powder metallurgy.

Science Code : 916.1.193

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 hocam Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e ve ayrıca, yazım aşamasında bana yardımcı olan değerli dostum Ahmet Akın BAKIR'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

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

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	3
ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLAR.....	3
2.1. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLAR.....	3
2.1.1. Dayanım/Yoğunluk Oranı.....	3
2.1.2. İletkenlik.....	3
2.1.3. Mekanik Özellikler.....	3
BÖLÜM 3.....	9
KOMPOZİT MALZEMELER.....	9
3.1. KOMPOZİTLER.....	9
3.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ.....	9
3.2.1. Hafiflik.....	9
3.2.2. Rijitlik ve Boyutsal Kararlılık.....	10
3.2.3. Yüksek Mekanik Özellikler.....	10
3.2.4. Yüksek Kimyasal Direnç.....	10
3.2.5. Yüksek Isıl Dayanım.....	10

	<u>Sayfa</u>
3.2.6. Elektriksel Özellikler.....	10
3.3. KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	10
3.3.1. Polimer Matrisli Kompozitler.....	11
3.3.2. Seramik Matrisli Kompozitler.....	11
3.3.3. Metal Matrisli Kompozitler.....	11
3.4. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLER.....	12
3.4.1. Takviye Elemanı Olarak B ₄ C Kullanılması.....	12
3.4.2. Takviye Elemanının Şekline Göre Kompozitler.....	13
3.5. KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	13
3.5.1. Sıvı Hal İşlemleri.....	13
3.5.2. Katı Hal İşlemleri.....	14
3.5.3. İn-Situ İşlemler.....	14
BÖLÜM 4.....	15
TOZ METALURJİSİ.....	15
4.1. TOZ METALURJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	15
4.1.1. Atomizasyon Yöntemi ile Toz Üretimi.....	16
4.1.2. Döner Disk Yöntemi ile Toz Üretimi.....	16
4.1.3. Döner Elektrot (Rep) Yöntemi ile Toz Üretimi.....	17
4.1.4. Vakum Atomizasyon Yöntemi ile Toz Üretimi.....	17
4.1.5. Su Atomizasyon Yöntemi ile Toz Üretimi.....	17
4.1.6. Gaz Atomizasyon Yöntemi ile Toz Üretimi.....	18
4.1.7. Mekanik Yöntem ile Toz Üretimi.....	18
4.1.8. Fiziko Kimyasal Yöntem ile Toz Üretimi.....	19
4.1.9. Kimyasal Yöntem ile Toz Üretimi.....	20
4.1.10. Elektrolitik Yöntem ile Toz Üretimi.....	20
4.2. T/M PARÇA ÜRETİMİ.....	20
4.2.1. Karıştırma ve Harmanlama.....	20
4.2.2. Presleme.....	21
4.2.3. Sinterleme.....	23
4.2.4. Yeniden Presleme.....	27

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	28
AŞINMA	28
5.1. AŞINMANIN TEMEL UNSURLARI	29
5.2. TRIBOLOJİK SİSTEM	29
5.3. AŞINMA ÇEŞİTLERİ	31
5.3.1. Adhesiv Aşınma Mekanizması (Yapışma Aşınması)	32
5.3.2. Abrasiv Aşınma Mekanizması	34
5.3.3. Yorulma Aşınması	37
5.3.4. Erozif Aşınma	38
5.3.5. Öğütmeli Aşınma (Grinding Wear)	39
5.3.6. Oymalı Aşınma (Gouging Wear)	40
5.3.7. Kazımalı Aşınma (Fretting Wear)	40
5.3.8. Tribosüblimasyon ve Difüzyon Aşınması	41
5.3.9. Termal Aşınma (Termal Etkenler)	42
BÖLÜM 6	43
MALZEME VE METOT	43
6.1. GİRİŞ	43
6.2. TOZLARIN HAZIRLANMASI	44
6.3. SOĞUK PRESLEME İŞLEMİ	45
6.4. SİNERLEME	46
6.5. METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA	47
6.6. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ	47
6.7. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ	47
6.8. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMESİ	47
6.9. ENERJİ DAĞILIMLI X-İŞİNİ SPEKTROSKOPİSİ (EDS) İNCELEMESİ	48
6.10. X-İŞİNİ KIRINIMI (XRD) İNLEMELERİ	48
6.11. AŞINMA TESTLERİ	48
6.11.1. Aşınma Deney Cihazı	48
6.11.2. Karşılık Diski ve Malzemesi	49
6.11.3. Aşınma Deneyleri	49

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	51
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMASI	51
7.1. MİKRO YAPI İNCELEMELERİ	51
7.1.1. SEM ve EDS Analizleri	51
7.1.2. XRD İncelemeleri	54
7.2. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ	56
7.3. SERTLİK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ	58
7.4. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENİRİLMESİ	59
7.4.1. Aşınma Testleri	59
7.4.2. Aşınma Oranları	62
7.4.3. Sürtünme Katsayıları	63
7.4.4. Aşınma Yüzeylerinin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri	65
BÖLÜM 8	69
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
8.1. SONUÇLAR	69
8.2. ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Al-Ti sisteminin faz diyagramı.....	7
Şekil 3.1. Takviye elemanının şekline göre kompozit çeşitleri.....	13
Şekil 4.1. Farklı kalınlıktaki iki kesite sahip parçanın preslemeden önceki ve sonraki hali.....	22
Şekil 4.2. İki farklı kesite sahip bir parçada homojen yoğunluk elde edilmesi iki farklı presleme metodu.....	22
Şekil 4.3. Sinterleme sırasında meydana gelen mekanizmaların şematik gösterim....	23
Şekil 4.4. Sinterleme sırasında meydana gelen gözeneklerin oluşumu ve zamana bağlı tavrının şematik olarak gösterimi.....	24
Şekil 4.5. Sıvı faz sinterlemesinin şematik gösterimi.....	25
Şekil 4.6. Sinterleme reaksiyonunda reaksiyonlu sinterleme için uygun denge diyagramı ve reaksiyonlu sinterlemede meydana gelen olayların şematik gösterimi.....	26
Şekil 5.1. Tribolojik sisteme giren enerji dağılımı.....	30
Şekil 5.2. Tribolojik sistemin elemanları.....	30
Şekil 5.3. Yapışkan bir transfer nesnesinin şematik görünüşü.....	33
Şekil 5.4. Kum taşının geçişi sırasındaki yüzey deformasyonunun görüntü.....	34
Şekil 5.5. Abrasiv aşınma mekanizmasının şematik olarak gösterimi.....	35
Şekil 5.6. Abrasiz aşınma; iki elemanlı ve üç elemanlı.....	36
Şekil 5.7. Yorulma aşınmasında yüzeyde çatlamanın başlaması ve artarak devam etme sürecinin şematik görüntüsü.....	37
Şekil 5.8. Eroziyon aşınma mekanizması.....	38
Şekil 5.9. Bir kesici uçta meydana gelen kendi kendine bilenmesinin oluşumunun şematik olarak gösterilmesi.....	39
Şekil 5.10. Oymalı aşınmaya.....	40
Şekil 5.11. Yüzeyler arası malzeme transferi.....	41
Şekil 6.1. Elementel tozların karıştırılmasında kullanılan Turbula® Shaker Mixer (Model T2F Glenn Mills) tipi karıştırıcı.....	45
Şekil 6.2. Numuların şekillendirilmesinde kullanılan metal kalıp.....	45
Şekil 6.3. Deney numunelerinin preslendiği "HİDROLİK SAN" marka pres.....	46
Şekil 6.4. Aşınma test cihazının görüntüsü.....	49

Şekil 7.1. 7075 Alüminyum alaşımlarına farklı oranlarda Ti ve B ₄ C ilave edilen kompozitlerin SEM görüntüleri.....	52
Şekil 7.2. 7075 Alüminyum alaşımlarına farklı oranlarda Ti ve B ₄ C ilave edilen kompozitlerin SEM görüntüleri.....	53
Şekil 7.3. 7075 Alüminyum alaşımına a) %4 Ti, %4 Ti + %3 B ₄ C, %4 Ti + %6 B ₄ C, %4 Ti + %9 B ₄ C b) %9 B ₄ C, %9 B ₄ C + %2 Ti, %9 B ₄ C + %4 Ti, %9 B ₄ C + %6 Ti ilave edilen XRD sonuçları.....	55
Şekil 7.4. a) %4 Ti sabit ve %3-6-9 B ₄ C, b) %7075AA alaşımına ilave edilen %9 B ₄ C sabit ve %2-4-6 Ti için yoğunluk değişimi.....	57
Şekil: 7.5. a) AA7075+% 2-4-6 Ti b) AA7075+%4 Ti+%3-6-9 B ₄ C c) AA707+%3-6-9 B ₄ C c) AA7075+%9 B ₄ C+%2-4-6 Ti' farklı oranlarda ilave edilen Ti ve B ₄ C nin sertliğe etkisi.....	58
Şekil 7.6. a) AA7075+% 2-4-6 Ti b) AA7075+%4 Ti+%3-6-9 B ₄ C c) AA707+%3-6-9 B ₄ C c) AA7075+%9 B ₄ C+%2-4-6 Ti farklı oranlarda ilave edilen Ti ve B ₄ C nin ağırlık kaybı.....	60
Şekil 7.7. a) AA7075+% 2-4-6 Ti b) AA7075+%4 Ti+%3-6-9 B ₄ C c) AA707+%3-6-9 B ₄ C c) AA7075+%9 B ₄ C+%2-4-6 Ti farklı oranlarda ilave edilen Ti ve B ₄ C nin aşınma oranı.....	62
Şekil 7.8. a) AA7075+% 2-4-6 Ti b) AA7075+%4 Ti+%3-6-9 B ₄ C c) AA707+%3-6-9 B ₄ C c) AA7075+%9 B ₄ C+%2-4-6 Ti farklı oranlarda ilave edilen Ti ve B ₄ C nin sürtünme katsayısı.....	64
Şekil 7.9. 7075 Alüminyum alaşımlarına ilave edilen a) %2 Ti, b) %4 Ti, c) %6 Ti, d) %4 Ti + %3 B ₄ C, e) %4 Ti + %6 B ₄ C, d) %4 Ti + %9 B ₄ C içeren kompozitlerin aşınma yüzeylerin SEM görüntüleri.....	65
Şekil 7.10. 7075 Alüminyum alaşımlarına ilave edilen a) %3 B ₄ C, b) %6 B ₄ C, c) %9 B ₄ C, d) %9 B ₄ C + %2 Ti, e) %9 B ₄ C + %4 Ti, f) %9 B ₄ C + %6 Ti içeren kompozitlerin aşınma yüzeylerin SEM görüntüleri.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Alüminyum ve alaşımlarında dayanım artırma mekanizmalarının etkisi.....	4
Çizelge 6.1. Toz üretiminde kullanılan 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi.....	43
Çizelge 6.2. Deneysel çalışmada kullanılan (alaşım ve kompozit) malzemelerin kimyasal bileşimleri.....	44
Çizelge 7.1. %4 Ti içeren kompozitlerin EDS analiz sonucu.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Cr	: krom
Ni	: nikel
Al	: alüminyum
Cu	: bakır
Ti	: titanyum
Mn	: manganez
Mg	: magnezyum
Zn	: çinko
Ar	: argon
H	: hidrojen
N	: azot
Ag	: gümüş
Fe	: demir
MPa	: mega pasca

KISALTMALAR

T/M : Toz Metalurjisi

MA : Mekanik Alaşımlama

NK : Nano Kristal

RBM : Tepkimeli Bilyalı Öğütme (Reactive Ball Milling)

PAS : Plazma Etkileşimli Sinterleme (Plasma Activation Sintering)

HİP : Sıcak İzostatik Presleme (Hot İzostatic Pressing)

EDC : Deşarj Sıkıştırma (Electro-Dicharging Compaction)

GSFS : Geçici Sıvı Faz Sinterlenmesi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları demir esaslı alaşımlardan sonra, en fazla kullanılan metal malzeme grubunu oluşturmaktadır. Sahip olduğu özelliklerin ve kullanım alanlarının başka metaller tarafından doldurulamaması, alüminyum ve alaşımlarının önemini artırmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmasında etkili olan üç önemli neden vardır. Birincisi alüminyumun mukavemetlenme mekanizmalarına kolaylıkla tepki vermesi ve alüminyum alaşımlarının dayanımlarının saf alüminyumdan yaklaşık 30 kat daha fazla olmasıdır [1]. İkincisi, 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. Üçüncüsü ise, alüminyum alaşımlarının zayıf olan aşınma dirençlerinin, ısı işlemlerle iyileştirilebilmesidir. Bunun nedeni atmosferle etkilerde malzeme yüzeyinde oluşan çok ince bir oksit tabakasının yüzeyi tamamen kaplaması ve oluşan bu ince tabakanın metal-atmosfer temasını kesmesidir [2].

Saf alüminyumun yumuşak ve dayanımının düşük olması kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Bundan dolayı saf alüminyumun özelliklerini istenilen doğrultuda iyileştirmek için, alaşımlama yapılmaktadır. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde kullanılan alaşım elementleri alaşımın yüksek uzama kabiliyeti (süneklik) ve aşınma dayanımı gibi faydalı özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden düşük akma sınırını ve çekme dayanımını artırmaktadır. Ayrıca bu alaşım elementlerinin malzemenin ısı işlem kabiliyetini de arttırmaktadır [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 alaşımlarının en belirgin

özellikleri; oksitlenme ve aşınma direncine sahip olması, yüksek sıcaklık dayanımları ve düşük yoğunluklarıdır. Bu nedenle de, uzay ve otomotiv teknolojisi ve mühendislik uygulamalarında tercih edilen alaşımlardır. Bu alaşım grubu için temel problem, oda sıcaklığındaki düşük uzama kabiliyetidir. Oda sıcaklığındaki düşük uzama kabiliyeti, yaygın kullanımının önündeki en büyük engeldir. Bu problemin giderilmesi için, alaşımın tane boyutunun küçültülmesi ve ısıl işlem gibi farklı işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemler ile alaşımın faz bileşenlerinin oranı, yapısı ve dağılımı, kayma sistemlerinin sayısı ve alaşımın mikroyapısı değiştirilebilmektedir. Titanyum (Ti) % 0,01 gibi düşük bir oranda ilave edilmesi ile alüminyum alaşımlarında hızlı bir şekilde tane inceltme işlemi yapılmaktadır [6]. Tane inceltme işlemi uygulanmış alüminyum dökümlerde, tane inceltme işlemi uygulanmamış olanlara göre, daha iyi beslenebilirlik ve daha gözeneksiz yapı elde edilmektedir. Buna bağlı olarak bu alaşımlar ince taneli dökümler, düşük segregasyon, yüksek mekanik özellikler ve sızdırmazlık direnci gibi üstün özelliklere sahiptirler. Tane inceltme özellikle, ikinci faz parçacıklarının dağılımını etkilediğinden dolayı, döküm parçalarının mekanik özellikleri üzerinde etkilidir.

B₄C, düşük yoğunluk, yüksek rijitlik ve ısıl kararlılıkları nedeniyle alüminyum kompozitlerin üretiminde kullanılan cazip bir takviye malzemesidir [7, 8]. Al- B₄C üstün özellikler sunmasına karşın, yaygın olarak kullanılmasının önünde bazı engeller bulunmaktadır. Bu engellerden biri ekonomik, diğeri ise teknik engellerdir. B₄C tozlarının maliyetinin, SiC veya Al₂O₃ gibi takviye malzemelerine göre daha yüksek olması, B₄C takviyeli malzemeler üzerinde yapılan araştırmaların nispeten sınırlı kalmasına yol açmaktadır [9].

Bu çalışmada, toz metalurjisi ile üretilen AA7075 Al alaşımına farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek, elde edilen Al kompozitlerin aşınma davranışları incelenmiştir. İkinci aşamada ise 7075+Ti alaşımına B₄C ilave edilerek üretilen Al kompozitlerinde mikro yapısal değişimler ve bu değişimlerin, kompozitlerin aşınma davranışları üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLAR

2.1. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLAR

Alüminyumun sahip olduğu fiziksel özellikler, onu son derece kullanışlı bir mühendislik malzemesi yapmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmasında etkili olan üç önemli faktör vardır.

Bunlar;

- Dayanım/yoğunluk oranı,
- İletkenlik,
- Mekanik özelliklerinin geliştirilebilir olmasıdır.

2.1.1. Dayanım/Yoğunluk Oranı

Alüminyum alaşımları, dayanım/yoğunluk özellikleri bakımından çeliklerle mukayese edilebilen bir malzeme grubudur. Bu üstün özellikleri nedeni ile 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. Mekanik Özellikler

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

işlemlerle arttırılabilmektedir. Bu özelliğinden dolayı, dayanım arttırma mekanizmalarına kolaylıkla tepki vermektedir. Çizelge 2.1.' de tavllanmış saf alüminyum dayanımı, çeşitli tekniklerle dayanımları arttırılmış alaşımlarla karşılaştırılmıştır. Alüminyum alaşımları saf alüminyumdan yaklaşık 30 kat daha dayanıklıdır. Diğer taraftan, alüminyum genellikle yorulmada dayanım sınırı göstermemektedir [1-10].

Çizelge 2.1. Alüminyum ve alaşımlarında dayanım arttırma mekanizmalarının etkisi [10].

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 (%5,62Zn %2,5Mg)	572,41	503,54	11

Saf alüminyumun elektrik iletkenliği, bakırın elektrik iletkenliğinin yaklaşık %60' kadardır. Diğer taraftan bakırın yoğunluğunun alüminyumun yoğunluğundan 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, enerji iletim hatlarında da kullanılmaktadır. Alüminyumun diğer bir üstün özelliği de korozyona dayanımının iyi olmasıdır. Bunun nedeni, yüzey atmosferin etkisiyle oluşan çok ince oksit tabakasının, metal-atmosfer temasını kesmesidir [11].

Saf alüminyumun dayanımının düşük olması sebebi ile kullanım alanı sınırlıdır. Bundan dolayı, özelliklerde malzeme üretmek için alaşımlama yapılmaktadır. Saf

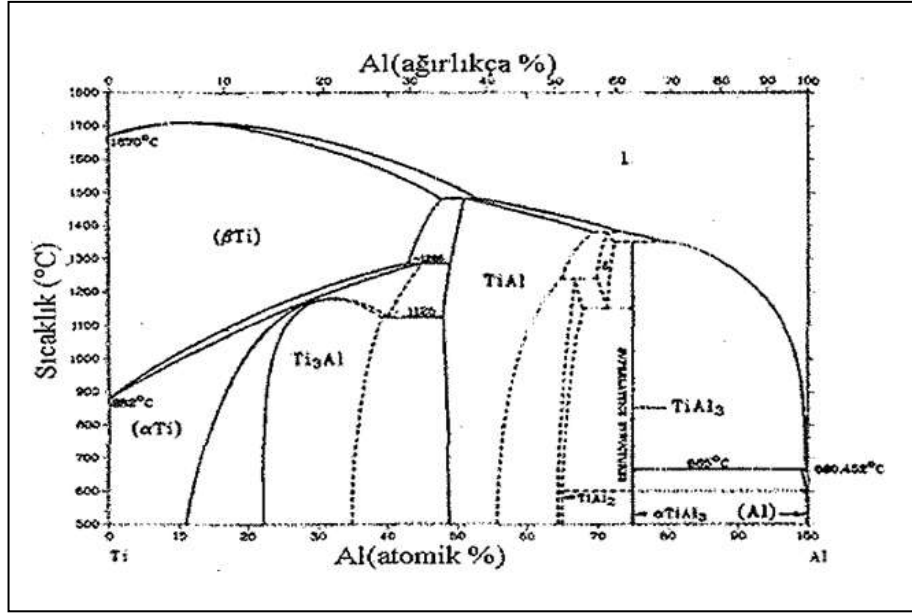
alüminyumun mekanik özelliklerini iyileştirmek için ilave edilen alaşım elementlerinin, yüksek uzama kabiliyetini (süneklik) olumsuz yönde etkilemeden akma ve çekme dayanımını arttırması beklenmektedir. Alüminyuma ilave edilen önemli alaşım elementleri Cu, Mg, Zn, Ti, Si, Mn ve Cr dur. Katı eriyik oluşturan bu alaşım elementlerinin çözünebilirlik oranının altında kalması durumunda, bu elementler alüminyumun kristal kafesine yerleşerek, deformasyon sırasında kaymaya karşı malzemenin direncini arttırmaktadır. Buna bağlı olarak da alüminyum alaşımları akma ve çekme dayanımları artmaktadır. Alaşım elementleri miktarlarının yüksek olması durumunda ise, alüminyum atomları ile alaşım elementlerinin katı çözelti oluşturmayan atomları arasında, sert ve kırılğan olan metaller arası bileşikler (intermetalik) oluşmaktadır. Yapıda oluşan bu intermetalikler dayanımı arttırırken, şekil değiştirme kabiliyetini azaltmaktadır [12, 13].

Endüstriyel uygulamalarda alüminyum alaşımları genel olarak, dökme alaşımları ve mekanik işlem alaşımları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Plastik şekillendirme ile sertleştirilebilen mekanik işlem alaşımları, düküm alaşımlarından oldukça farklı mikro yapı ve bileşimlere sahiptirler. Her iki ana grup içindeki alaşımlar, ısıl işlem yapılabilir ve yapılamaz alaşımlar olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Isıl işlem yapılabilen alaşımların dayanımı yaşlandırma ile arttırılabilirken, ısıl işlem yapılamayan alaşımların dayanımı ise katı eriyik mukavemetlenmesi, pekleşme ve dağılım mukavemetlenmesi ile arttırılabilmektedir [14].

Sıvı haldeki alüminyum, katılaşma sırasında tane büyümesi eğilimindedir. Bu durumun önlenmesi için, sıvı alüminyuma katılaşma sırasında %0,1-0,2 oranında Ti ilave edilmektedir. Yapıda Ti tane inceltici olarak görev yapmaktadır. Al-Ti alaşımları, gelecekteki en önemli malzemelerden biri olarak görülmektedir. Çünkü bu alaşımlar dayanım, yüksek uzama kabiliyeti ve hafiflik gibi avantajlara sahiptir. Bu özelliklerin geliştirilmesi ve metal matrisli kompozitleri de kapsayan araştırmalar yapılmaktadır [15, 16]. Ayrıca, Al-Ti alaşımları oksidasyon ve aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımları ve düşük yoğunlukları nedeniyle uzay ve havacılık teknolojisi ve mühendislik uygulamaları için cazip malzemelerdir [17].

Mekanik alaşımlama (MA) tekniği ile üretilen Al-Ti alaşımları, 500  C' ye kadar kusursuz bir kararlılık sergileyen karbürler, oksitler ve metaller arası Al-Ti bileşikleri içermektedirler. Düşük Ti içerikli Al-Ti alaşımlarında yaygın olarak gözlenen metaller arası faz, Al₃Ti bileşiğidir. Mekanik alaşımlama 1990' lardan bu yana, farklı kimyasal bileşimlere sahip alaşımların üretiminde yaygın olarak kullanılan bir katı hal işlemidir [18]. Ayrıca bu yöntemle, nano kristal yapılı (NK) malzemelerde retilabilmektedir. MA tekniği ile üretilen Al-Ti alaşımlarının düşük yoğunluğa sahip olması ve yüksek sıcaklık dayanımlarının arttırılması, bu yöntemin kullanımı yaygınlaştırmaktadır. Bu teknikle, farklı elementel tozlar kolaylıkla alaşımlanabilmektedir. Bu işlemdede gaz olarak Ar, H₂, N₂, ve HN₃ kullanılmaktadır. Genel olarak bu işlem RBM (Reactive Ball Milling) olarak adlandırılmakta ve RBM H₂, N₂ ve NH₃ gibi aktif gaz ortamındaki gaz ve tozlar arasındaki kimyasal reaksiyonlara neden olan bir işlem olarak tanımlanmaktadır. Hidrojen gazının kullanıldığı RBM ile, H₂ gazının tozlar içerisinde çözünmesi sonucu TiH₂ oluşturulmaktadır. Bu kolay bozulan faz, Al-Ti alaşım tozlarının tane ve parçacık boyutlarının düşürülmesinde etkilidir. Son olarak elde edilen tozlar sinterleme, sıcak presleme, sıcak ekstrüzyon (Hot Extusion), PAS (Plasma Activation Sintering), HİP (Hot Isostatic Pressing) ve EDC (Electro-Discharging Compaction) gibi tekniklerle birleştirilmektedir. İstenilen amaca ulaşılabilmesi için birleştirilen tozların, nano boyutlu yapısını koruması istenmektedir. MA ve sinterleme sırasında oluşturulan ikincil fazların (rneğin; Al₃Ti ve TiH₂), alüminyumun tane sınırlarında bulunması beklenmektedir. Çünkü bunlar, sinterleme sırasında tane büyümesini etkin bir şekilde engellemektedir [19].

Al-Ti faz diyagramında (şekil 2.1), Al ve Ti elementlerinin oranı ve alaşımlama şartlarına bağlı olarak, farklı metaller arası bileşiklerin (a₂- Ti₃Al, y- TiAl, TiAl₃ ve TiAl₂) oluştuğu görülmektedir. Titanyum alüminatlar, bir metaller arası bileşiktir. İntermetalikler, kristal yapıları metallerden farklıdır.



Şekil 2.1. Al-Ti sisteminin faz diyagramı [19].

Takviye malzemesi olarak kullanılan B₄C'ün, malzemenin yüksek sertlik, düşük yoğunluk, yüksek rijitlik, ve ısıl kararlılıklarına katkı sağlamasıdır. Al-B₄C kompozitleri, üstün özellikler sunmasına karşın, yaygın olarak kullanılmasının önünde bazı engeller bulunmaktadır. Bu engellerden biri ekonomik, diğeri ise teknik engellerdir.

Al-B₄C üretiminde, karşılaşılan temel sorun, özellikle %10' (ağ.) üzerindeki takviye oranları ve 1100 °C ve altı gibi düşük sıcaklıklar için, alüminyumun takviye malzemesi olan bor karbür yüzeyini, ıslatamamasıdır. Kompozit malzemelerin mukavemeti, matris ile takviye malzemesi arasındaki bağın kuvvetine bağlıdır. Güçlü bir ara yüzey, yükün takviye malzemesinden matris malzemesine iletilmesini ve matris malzemesinde dağıtılmasını sağlamaktadır. Rijitlik, kırılma tokluğu, yorulma, ısıl genleşme katsayısı, ısıl iletkenlik ve sürünme gibi özellikler de ara yüzeyden etkilenmektedirler [20].

Alüminyum matrisli kompozitlerde, döküm sırasında parçacık takviyeleriyle sıvı alüminyum metali arasında istenilen bağlanmanın oluşabilmesi için temel koşul, matris metalinin takviye parçacıkların iyi bir şekilde ıslatabilmesidir [21, 22]. Takviye parçacıkları yüzeylerinin ergiyik metal tarafından ıslatılması, bir metal

matrisli kompozit malzeme tasarımından kompozit malzemelere düşünülmesi gereken en önemli noktadır [23].

Alüminyum kompozitlerde ara yüzeyde oluşan bağlar, mekanik bağ ve kimyasal bağ olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Mekanik bağ, matris ile takviyenin, kenetlenmesiyle, kimyasal etkiler oluşmadığında tam olarak gerçekleşmektedir. Bu durum, özellikle fiber takviyeli kompozitlerin üretiminde önemlidir. Kimyasal bağlanma ise, matris ve takviyenin atomlarının direkt temasıyla oluşmakta ve karşılıklı elektron transferi ile sonuçlanmaktadır. Bu türden bir bağlanma metalik, iyonik veya kovalent bağ oluşturabilmektedir. Metalik bağ, yönsüz olduğundan metal matrisli kompozitlerde istenen bağ türüdür [24].

Alüminyum matrisli kompozitlerin üretiminde, matris/takviye ara yüzeyinde oluşan reaksiyonlar son derece önemlidir. Daha önce yapılan bir çalışmada, Al-B-C üçlü sisteminde, en az dokuz faz olduğu belirtilmektedir [25]. Bunlar, seramik fazların metal matris tarafından ıslatılabilirliğini artırmaya katkıda bulunurken, ara yüzey mukavemetini ise olumsuz etkileyecek reaksiyon ürünlerinin oluşmasına da sebep olabilmektedir. Bu yüzden, Al-B₄C kompozitlerinin üretimi sırasında işlem şartlarına bağlı olarak, istenmeyen fazların oluşması mümkündür [25, 27].

Al kompozitlerin üretim sıcaklıkları ıslanmaya olumlu etkide bulursa da, işlem maliyetlerini artırmaktadır. Buna karşılık, 1100 °C altındaki sıcaklıklarda Al ile B₄C arasındaki düşük ıslanma sebebiyle, parçacıkları sıvı faz içine karıştırmak zordur. Bu zorluğu aşmak için, parçacıkların ıslatabilirliğini artırmak ve alüminyum ile birleşebilirliğini kuvvetlendirmek gereklidir. Genellikle parçacıklar ısı ile işlemle veya kaplanarak bu zorluklar aşılmaktadır [25, 28]. Örneğin, B₄C parçacıkların titanyum tozu ile kaplanması ve reaksiyona sokulması, karmaşık titanyum borür ve titanyum karbür yüzey tabakalarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu reaksiyon ürünleri, bağlardaki metalik özellikleri artırarak, ıslatabilirliği arttırılmaktadır [29, 30].

BÖLÜM 3

KOMPOZİT MALZEMELER

3.1. KOMPOZİTLER

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla malzemenin istenilen özelliklerinin makro düzeyde birleştirilmesiyle elde edilen, yeni özellikli malzemelerdir.

Kompozitler;

- Kompozit, iki ya da daha fazla (fiziksel olarak ayrı ve mekaniksel olarak ayrılabilir) malzemelerden meydana gelebilmektedir.
- Kompozit, iki farklı veya daha fazla malzemenin birisinin takviye malzemesi diğeri (matris malzemesi) içerisinde dağılımıyla meydana gelmektedir.
- Kompozitlerin özellikleri, kompoziti meydana getiren malzemelerin özelliklerinden çok farklıdır.

3.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

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

3.2.1. Hafiflik

Polimer kompozitler genelde $1,5-2 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğundadır. Metal kompozitler, $2,5-4,5 \text{ gr/cm}^3$ olmakla beraber, özel amaçlı kompozitlerde yoğunluk daha yüksek olabilmektedir. Seramik kompozitler ise ikisinin arasındadır.

3.2.2. Rijitlik ve Boyutsal Kararlılık

Genleşme katsayıları düşük, sert ve sağlam bir yapı ve büyük bir boyutsal kararlılık göstermektedir.

3.2.3. Yüksek Mekanik Özellikler

Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları çok yüksektir.

3.2.4. Yüksek Kimyasal Direnç

Kompozitler birçok kimyasal maddelere, bu arada asitler, alkaliler, çözücüler ve atmosferik şartlara karşı son derece dirençlidir. Kimya tesisleri için çok kullanılan malzemelerdir.

3.2.5. Yüksek Isıl Dayanım

Kompozitlerin ısı dayanımı, geneleksel polimer malzemelere göre daha yüksektir.

3.2.6. Elektriksel Özellikler

Elektriksel özellikler kompozitlerde isteğe göre ayarlanabilir. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler (MMK)' iletken malzemelerdir.

3.3. KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozitler genellikle kullanılan matris malzemesi ve takviye elemanının şekline ve cinsine göre sınıflandırılmaktadır. Matris malzemesine göre kompozitler;

- Polimer matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Metal matrisli kompozitlerdir.

3.3.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler, düşük yoğunluk, ekonomiklik, kolay üretilebilirlik, mekanik özellikleri ve yalıtkanlıklarından dolayı, endüstride yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Polimer matrisli kompozit malzemelerin sıcaklık dayanımını, büyük oranda matris malzemesi tarafından belirlenmektedir. Polimer esaslı kompozitlerin ısı dayanımlarının düşük olması ise, bir dezavantajdır.

Polimer matrisli kompozitler yayma yöntemi, basma ve transfer kalıplama, soğuk presleme, helisel sarma, torba kalıp ve profil çekme yöntemleri kullanılarak üretilmektedir [31].

3.3.2. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik matrisli kompozit (SMK) malzemeler, genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçaların üretiminde kullanılmaktadır. SMK matris malzemesi olarak; Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu bileşikler değişik yapıdadır ve amaca göre, bir veya bir kaçını beraber kullanarak SMK'ler üretilmektedir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçaların üretimi ile uzay ve havacılık sektörü, bu ürünlerin başlıca kullanım alanlarıdır [32].

3.3.3. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler, ana yapıyı metalin oluşturduğu takviye elemanı olarak, seramiklerin veya refrakterlerin kullanıldığı malzemelerdir. MMK malzemeler, metal ve takviye elemanının üstün özelliklerini birleşmesi sonucunda, yüksek dayanım/yoğunluk, yüksek elastikiyet modülü, yüksek mukavemet gibi özelliklere sahiptir. MMK'lerde matris malzemesi olarak, yoğunluğu düşük olan metaller tercih edilmektedir. Yoğunluğun düşük olması, korozyon direnci ve birçok seramik malzemeyi ıslatabilirliğinin yüksek olmasından dolayı, MMK'lerde Al alaşımları en çok tercih edilen alaşım grubudur. Al yanı sıra Ti, Mg Cu gibi diğer metal ve alaşımları da, matris malzemesi olarak kullanılmaktadır [32]. Metal matrisli kompozitlerin metal ve alaşımlarına göre üstün özellikleri şunlardır;

- Yüksek elastikiyet modülü.
- Yüksek mukavemet.
- Yüksek tokluk ve darbe özellikleri.
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik.
- Isıl şoklar ve sıcaklık değışikliklerine karşı düşük hassasiyet ve iyi sürünme direnci.
- Sürekli mükemmel özellik.
- İyi yüzey dayanımı ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet.
- Tasarım, üretim, biçimlendirme, birleştirme ve son işleme bakımından mükemmel teknolojik birikim [31-32].

3.4. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Al alaşımları yoğunluğunun düşük olması, şekillendirilmesinin kolay olması, elektrik iletkenliğinin yüksek olması, korozyon dayanımının yüksek olması gibi üstün özelliklerinden dolayı, otomotiv ve havacılık sektörlerinde kullanılmaktadır. Al bu üstün özelliklerinden dolayı, metal matrisli kompozit malzemelerde en çok matris malzemesi olarak kullanılan elementtir. Matris malzemesi olarak daha çok, yaşlandırılabilen Al alaşımları kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada, Al matrisli kompozitler de takviye elemanı olarak SiC, Al₂O₃, B₄C, TiC, AlN, TiN, Al₄C₃ gibi karbitler oksitler ve nitritler kullanılmıştır. İlave edilen takviye elemanları yüksek sıcaklıklarda dayanımı arttırırken, aşınma dirençlerinin de arttığı belirlenmiştir [83]. Kompozitin özelliği, takviye fazının karakteristik özelliğine ve hacimsel katkı oranına göre değışmektedir.

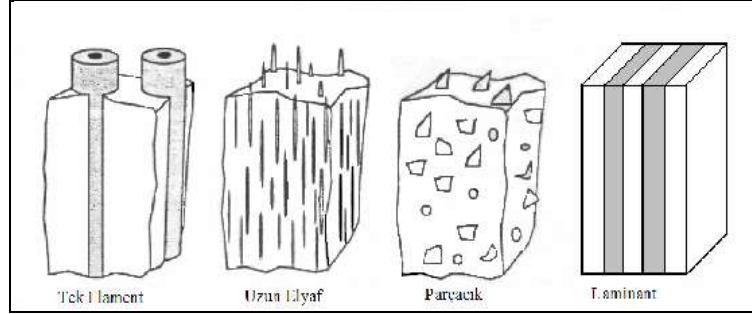
3.4.1. Takviye Elemanı Olarak B₄C Kullanılması

Al matrisli kompozitlerde kullanılan B₄C'ün yoğunluğu 2.52 gr/cm³ dür. B₄C sertliği SiC ve Al₂O₃ ya göre daha yüksektir. Ancak maliyetinin yüksek olması, B₄C takviyeli kompozitlerin üretilmesini sınırlamaktadır. Al ile ıslatabilirliğinin çok az olmasından dolayı, sıvı metal içerisinde karıştırarak üretilmeleri zordur. Ancak ortama ilave edilen K₂TiF₆ gibi flakslar kullanılarak, ıslatabilirlik özelliği arttırılabilmektedir.

3.4.2. Takviye Elemanın Şekline Göre Kompozitler

Metaller çoğunlukla seramik takviye elemanları ile güçlendirilerek metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üretilmektedir. Şekil 3.1’de takviye elemanının şekline göre, kompozit çeşitleri görülmektedir. Takviye elemanının şekline göre kompozitler;

- Tekflament
- Uzun ve kısa elyaf (fiber)
- Parçacık
- Laminant (Tabakalı) olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3.1. Takviye elemanının şekline göre kompozit çeşitleri [33].

3.5. KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri matris ile takviye elemanının uyumlu ve iyi bir bağ oluşturmalarına bağlıdır. Bu bağların gücü matrisin takviye elemanını iyi ıslatabilmesinin yanı sıra, seçilen üretim yöntemi ile de yakından ilgilidir. Üretim yöntemleri, üç guruba ayrılmaktadır [33].

- Sıvı hal işlemleri
- Katı hal işlemleri
- İn-situ işlemler

3.5.1. Sıvı Hal İşlemleri

Sıvı hal üretim işlemleri, ergitilmiş matris malzemelerininin takviye elemanları ile

temasa geçirilerek, aralarında bağ oluşturma işlemleridir [33]. Yaygın olarak kullanılan sıvı hal üretim işlemlerini şöyle sıralamak mümkündür.

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

3.5.2. Katı Hal İşlemleri

Katı hal üretim yöntemlerinde matris malzemesinin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta, farklı işlemler uygulanarak kompozit malzeme üretilmektedir. Yaygın olarak kullanılan katı hal üretim yöntemlerinin başlıcaları;

- Toz metalürjisi
- Difüzyonla birleştirme
- Sıcak haddelemedir.

Toz metalürjisi yöntemi, en yaygın kullanılan kompozit malzeme üretim tekniğidir. Bu yöntemle, toz halindeki matris ve takviye elemanları birlikte karıştırılarak mekanik olarak alaşım lanmaktadır. Hazırlanan kompozit tozlar bir kalıba konularak preslenmektedir. Preslemeden sonra sinterleme işlemi yapılmaktadır.

3.5.3. İn-Situ İşlemler

Bu tür kompozit üretim tekniklerinde malzeme içerisinde farklı fazların oluşturulması ve bu fazlardan birinin veya birkaçının takviye elemanı gibi davranması ile kompozit üretimidir. Bu işlemlerde, farklı birkaç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

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

BÖLÜM 4

TOZ METALURJİSİ

Toz metalurjisi (T/M), çok küçük parçacıkları birbirine bağlayarak parça üretimi yapılan bir işlemdir. Daha geniş bir ifade ile T/M, toz şeklindeki malzemelerin preslenmesi ve yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi ile parça üretimini kapsamaktadır. Toz metalurjisini çekici kılan en önemli unsur, yüksek kaliteye sahip karmaşık şekilli parçaların, istenilen toleranslarda kayıpsız ve/veya çok az kayıpla üretilebilmesidir. Toz metalurjisi ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi, talaşlı işlem gibi ilave işlemlere olan gereksinimi de ortadan kaldırmaktadır. Günümüzde, toz metalurjisini endüstriyel üretim aşamalarının uygulanabilir hale getirilmesinde bazı zorlayıcı nedenler vardır. Bu nedenler, malzemedeki tasarruf edilmesi, üretilen parçanın homojen mikro yapısı, karmaşık şekilli parçaların nispeten ekonomik olarak üretilebilmesi ve tam yoğunluk ile yüksek dayanım performansdır. Bu yüzden, toz metalurjisi dünyada giderek yaygınlaşmakta ve diğer üretim yöntemlerine alternatif bir teknolojidir [34].

4.1. 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, dentritik şekillere kadar çok farklı aralıklarda olabilmektedir. Aynı şekilde toz yüzeyi de (yani düzgün veya gözenekli olması) yine üretim yöntemine göre farklılık göstermektedir. Ortalama toz boyutları, şekli ve yüzey durumu, parça üretimi açısından önemlidir. Metal ve alaşımların üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır.

4.1.1. Atomizasyon Yöntemi ile Toz Üretimi

Bu yöntemde sıvı metal başka bir katı yüzeye çarpmadan önce, küçük damlacıkların hızlı bir şekilde katılaştırılması ile toz üretimi yapılmaktadır. Yöntem, sıvı metalin bir gaz veya sıvı akışkan jeti ile parçalanması sağlanarak gerçekleştirilmektedir. Kullanılan gazlar genellikle argon, azot veya havadır. Sıvı olarak ise, su kullanılmaktadır.

Bu yöntemle gazın veya sıvının püskürtme açısı, akışkan hızı, debisi, akan metalin miktarı gibi birçok parametrenin kontrolü ile, çok farklı boyutlarda toz üretimi mümkündür. Katılma hızına bağlı olarak parçacığın şekli küreselden, düzensiz parçacıklara kadar farklılık göstermektedir. Pratikte bu yöntem, ergitilebilen bütün metallere uygulanabilmektedir. Ticari olarak üretilen tozlar demir, takım çelikleri, alaşımlı çelikler, bakır, pirinç, bronz ve alüminyum, kurşun, kalay çinko ve kadmiyum ve diğer düşük ergime dereceli metallerdir. Krom gibi kolay oksitlenebilen elementler içeren alaşımlar ise, argon gibi asal gaz altında üretilmektedir. Atomizasyon yönteminin avantajlarından biri de, alaşım tozlarının ergitilmesinde rahatlıkla kullanılabilmesidir.

4.1.2. Döner Disk Yöntemi ile Toz Üretimi

Bu yöntemde merkezkaç kuvvetinin etkisiyle toz metal üretimi yapılmaktadır. Ayrıca, yöntem de iki ayrı üretim tekniği vardır. Bunlardan biri, belli bir miktarda sıvı metale, toz oluşturacak kadar merkezkaç kuvvet uygulanmaktadır. İkinci yöntemde ise, ergimiş metal sürekli olarak dönen bir disk veya koni üzerine akıtılmaktadır. Buradan saçılan metal toz haline gelmektedir. Bir potadan tandişe aktarılan sıvı metal, tandiş altındaki nozuldan dönen bir disk üzerine akıtılmaktadır (saçılan metal parçacıklar nozulden çıkışta bazen su ile soğutulur, birbirine yapışmaları engellenmektedir).

4.1.3. Döner Elektrod (Rep) Yöntemi ile Toz Üretimi

Bu yöntemde, tozu elde edilecek metalden yapılmış bir elektrod ile, ergimeyen tungsten elektrod arasında ark oluşturulmaktadır. Ergiyen elektrodun döndürülmesiyle (elektrik arkı altında), iç kısmında oluşan metal damlaları savrulur ve bir tankta toplanmaktadır. Oksidasyonu önlemek için toz toplama tankı genellikle helyum, argon gibi bir asal gazla doldurulmaktadır. Bu yöntemle küresel ve eşit boyutlu metal tozu üretmek mümkündür.

4.1.4. Vakum Atomizasyon Yöntemi ile Toz Üretimi

Bu yöntemle toz üretimi, silindirik bir tankın alt kısmında sıvı metal potası, üst kısmında da vakum atomizasyon odası bulunan bir sistemle yapılmaktadır. Her iki bölüm, sıvının geçeceği nozulu taşıyan bir plaka tarafından ayrılmaktadır. Nozulun alt kısmında, nozula bağlı bir seramik boru bulunmaktadır. Vakum altındaki sıvı metal önce belirli bir sıcaklığa kadar indüksiyon ile ısıtıldıktan sonra, bu bölüme hidrojen gazı doldurulmaktadır. Potadaki sıvı metalde hidrojen gazı çözüldükten sonra, potayı taşıyan mil potayı yukarı iterek, seramik boruyu potaya daldırmaktadır. Üst kısımda vakum olduğu için, ergimiş sıvı metal nozuldan geçerek parçalanmaktadır. Böylece metal ve alaşımlarından, ince ve küresel tozlar üretilmektedir.

4.1.5. Su Atomizasyon Yöntemi ile Toz Üretimi

Bu yöntemle toz üretiminde, sıvı metali pülverize etmek için basınçlı su kullanılmaktadır. Ergitme ocağından tandişe, buradan da bir nozulden geçerek akan sıvı metal demetine, belirli açıda basınçlı su püskürtülerek sıvı damlacıklar parçalanarak katılaştırılmaktadır. Kimyasal ve fiziksel özellikleri değiştirebilmek amacıyla, suya bazı katkıları yapılabilmektedir. Özel nozullardan püskürtülen suyun basıncı 5,5-20 MPa, hızı 70-230 m/s, debisi ise 110-380 litre/dakika arasındadır. Kullanılan su filtre edilip soğutulduktan sonra, tekrar kullanılabilir. Atomize edilen sıvı metal, paslanmaz çelikten yapılan bir tankta toplanmaktadır. Metal tozunu oksidasyondan korumak için, tank azot ile doldurulmaktadır. Sıvı metalin aktığı

nozulların şekli ve suyu püskürten üfleçlerin tipi, elde edilecek metal tozunun boyutlarını, boyut dağılımını ve şeklini etkilemektedir.

4.1.6. Gaz Atomizasyon Yöntemi ile Toz Üretimi

Basınçlı gaz ile atomizasyon da prensip olarak su atomizasyonu yöntemine benzemektedir. Ancak burada akışkan olarak, su yerine gaz kullanılmaktadır (Gaz yerine, su buharı veya hava da kullanılabilir). Sistem, nozullar ile irtibatlı düşey olarak üst üste bulunan iki odacıktan oluşmaktadır. Üstteki odada, sıvı metal potası bulunmaktadır. Alttaki odada ise, atomizasyon işlemi yapılmaktadır. Her iki oda da oksidasyonu engellemek için, işlem vakum altındadır. Sıvı metal potası ve nozullar, 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. Basınçlı gaz tüpünden boru ile nozula ulaşan gaz, potadaki sıvı metali beraberinde sürükleyerek, atomizasyon odasına pülverize etmektedir. Soğuyan metal tozları, oda tabanındaki bir haznede toplanmaktadır. Atomize edilen metal tozlarının birbirine yapışmaması şekillerinin bozulmaması için, atomizasyon odasının boyutları dikkatli seçilmelidir.

Süper alaşım tozları üretiminde, kapalı devre argon gazı kullanılmaktadır. Takım çelikleri ve paslanmaz çelikler için (daha ucuz olması bakımından), argon veya argon gazı karışımları tercih edilmektedir. Atomizasyon işlemi sırasında sıvı metal, gönderilen gazın bir kısmını absorbe edebilmektedir. Su atomizasyon yönteminde olduğu gibi, gaz atomizasyon yönteminde de nozulların özellikleri, elde edilecek tozun şeklini belirlemektedir. Genellikle istenen, toz tane boyutunu olabildiğince ince olmasıdır. Bunun için, süpersonik nozular da geliştirilmiştir. Bu sayede, çok küçük boyutlu tozlar elde edilebilmektedir.

4.1.7. Mekanik Yöntem ile Toz Üretimi

Bu yöntemde malzeme, mekanik ya da pnomatik olarak kırma, çarpma ve öğütme şeklinde parçalanarak, toz haline getirilmektedir. 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 toz haline getirilmektedir. Sünek malzemelerin kırılması zor olduğu için, öğütme işlemi genellikle bu tür malzemelere uygulanmamaktadır. Bunun yerine bazı sünek malzemeler sıvı azot ile gevrek hale getirilerek, öğütme işlemine elverişli hale gelmesi sağlanmaktadır. Sünek malzemelerin öğütülmesinde (özellikle alüminyumun), kutuplaşmayı engelleyici işlem kontrol kimyasalları kullanılmaktadır.

4.1.8. Fiziko Kimyasal Yöntem ile Toz Üretimi

Bu yöntemde, bileşenler organik bir bağlayıcı ile fiziksel olarak bir bağ oluşturacak şekilde karıştırılmaktadır. Sistemdeki solvent uçurularak, kalan malzeme elekten geçirilmektedir. Üfleme sırasında ise, bağlayıcının yanması sağlanmaktadır. Daha çok NiAl ve AlSi tozlarının üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Püskürtme ile kurutma yöntemi, tozların topak haline getirilmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlemde bulamaç haline getirilen karışım, döner bir püskürtücüden geçirilmektedir. Oluşan bulut, karşıdan verilen sıcak hava ile tozların ayrılması ve hava akımı ile taşınmaları sağlanmaktadır. Bu yöntem, zirkonya gibi seramik malzemelerde ve WC-Kobalt gibi sermetlerde kullanılmaktadır. Üretilen tozlar genellikle küreseldir. Ayrıca püskürtme ile kurutma yapıldığından dolayı gözeneklidir ve kolayca ufalanabilmektedir. Malzeme genellikle, sinterleme ile yoğunlaştırılarak kararlı hale getirilmektedir. Kimyasal olarak topak haline getirmenin haricinde, bir de mekanik topaklaştırma (Hosakawa Yöntemi) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, daha sert olan bileşenlerden birinin daha yumuşak olan matrise batması ile kompozit toz üretimi yapılmaktadır. Aslında, basit öğütme işlemi ile kompozit malzeme üretmek mümkündür. Sinterleme, toz metalurjisinin adımlarından biri olmasına rağmen, kendi başına da toz metal üretiminde de kullanılan bir yöntemdir. Tekrarlı sinterleme işlemi ile, reaksiyona girmiş bir veya çok bileşenli tozların üretimi mümkündür.

4.1.9. Kimyasal Yöntem ile Toz Üretimi

Kimyasal yöntemle toz üretiminde farklı işlemler kullanılmaktadır. Bunlar 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 işlemleridir. CVD yönteminde, hidrojen atmosferinde ısıtma ile (Eşitlik 4.1) TiC tozları üretilmektedir.



Sol-Gel metodu ise genellikle nükleer endüstriyel amaçlar doğrultusunda, seramik malzeme üretiminde için eleme ve sınıflandırma işlemlerinden kurtulabilmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemle elde edilen parça boyutları <20 µm dir.

4.1.10. Elektrolitik Yöntem ile Toz Üretimi

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

4.2. T/M PARÇA ÜRETİMİ

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

4.2.1. Karıştırma ve Harmanlama

Tek bir boyut ve sabit kompozisyona sahip bir toza, istenen karakteristiklerin kazandırılması çok nadir gerçekleşmektedir. Bu nedenle, çoğu zaman başlangıç

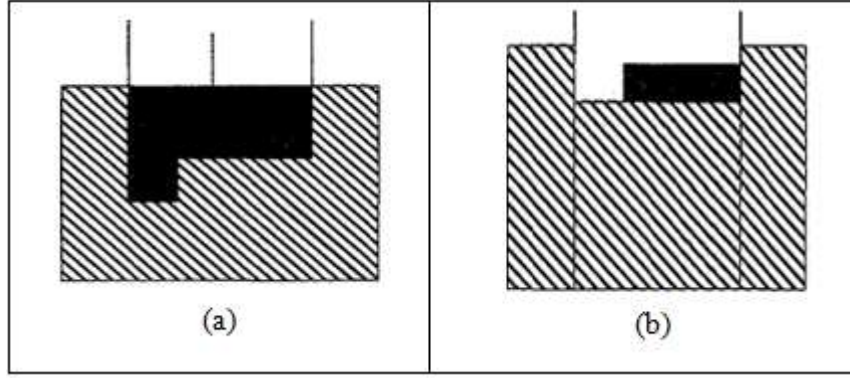
malzemesi olarak değişik Şekil, boyut ve farklı kompozisyondaki tozlar, yağlayıcı ve bağlayıcıdan oluşan karışımlar kullanılmaktadır. Kaba tozlar, ince tozlarla harmanlanarak, aralarındaki boşluklar doldurulmaktadır. Böylece, küresel geometriye sahip tozlarda, teorik yoğunluğun %65'inin üzerinde bir yoğunluğa ulaŐılmaktadır.

Harmanlama, mekanik bir homojenizasyon işlemidir ve karışım boyut, Şekil ve kompozisyon açısından uniform bir hale getirilmektedir. Harmanlama veya karıştırma işlemleri yaŐ veya kuru olarak yapılmaktadır. Patlama tehlikesini azaltmak ve daha iyi karışım oluŐturmak için, su veya diğer sıvılar (solventler) kullanılmaktadır. Yüksek miktardaki toz karışımlar (16,000 kg'a kadar) bile, kimyasal bileŐimlerin dağılımı, boyut ve Şekil açısından oldukça homojen bir hale getirilebilmektedir.

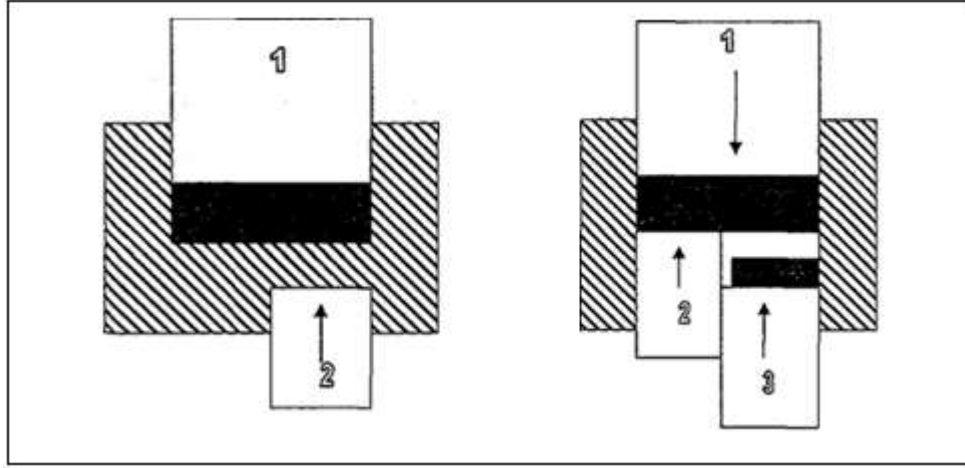
4.2.2. Presleme

Toz metalurjisindeki en önemli aşamalardan biride preslemedir. Tek eksen boyunca uygulanan basınç sonucu kalıbı dolduran tozlar, preslenerek Őekillendirilmektedir. Toz kalıba doldurulduktan sonra, st baskı plakası ile basma gerçekleŐir ve parça alt pistonun hareketi ile çıkarılmaktadır. Seri retim sırasındaki basma işlemi, bir sonraki toz harmanı için yeniden tekrarlanmaktadır. Basma işlemi sırasında kullanılan kalıplar basit geometrik Őekillerde olabileceği gibi (geometrik sınırlamalar çerçevesinde), karmaşık Şekilli de olabilmektedir (Şekil 3.2). Basma sırasında kalıbın aşınması problemi, yağlayıcı kullanılarak giderilmektedir. Yağlamanın bir başka amacı da, parçanın kolayca çıkmasını sağlamaktır. Kalıplar, sementit karbür esaslı ve/veya ısıl iŐlemlle sertleştirilmiş takım çeliğinden üretilmektedir.

Presleme işlemi için genellikle hidrolik, mekanik ve pnomatik presler kullanılmaktadır. Preslerin uyguladıkları basınç değerleri 70-700 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 maksimum kesit alanı 2000 mm² 'dir.



Şekil 4.1. Farklı kalınlıktaki iki kesite sahip parçanın a) preslemeden önceki, b) sonraki hali [36].

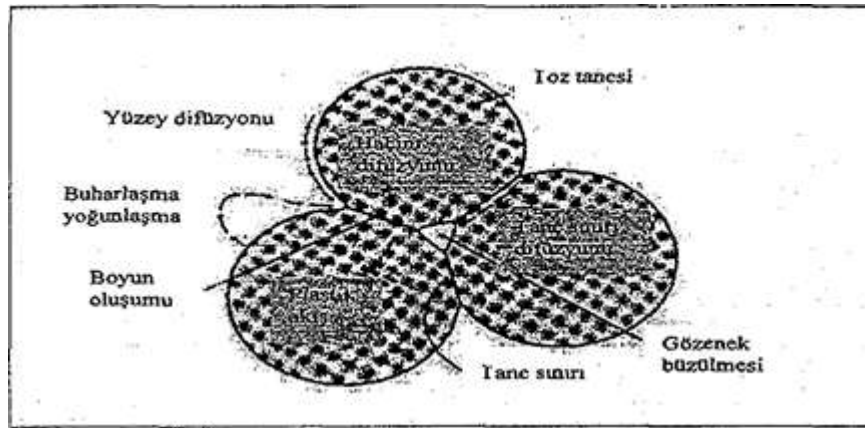


Şekil 4.2. İki farklı kesite sahip bir parçada homojen yoğunluk elde için kullanılan iki farklı presleme metodu [36].

Sıkıştırma işlemi sırasında toz parçaları, önce uygulanan kuvvet yönünde hareket etmektedir. Tozlar sıvı gibi akışkan değildir. Bu yüzden, kalıp yüzeyi ile parçacıklar arasında meydana gelen sürtünme sonucu, bir reaksiyon meydana gelmektedir. Bu reaksiyon uygulanan kuvvete eşit bir değere ulaşana kadar, aksel yönde devam etmektedir. 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 dağılımının sağlanabilmesi 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 gösterebilmektedir.

4.2.3. Sinterleme

Sinterleme, yüksek sıcaklıkta toz parçacıkların birleştirilmesi işlemidir. İşlem genellikle, ergime noktası altında ve atomik boyutta gerçekleşmektedir. Ancak bazı malzemelerde bu işlem, sıvı faz bölgesinde de yapılmaktadır. İşlem, bölgesel birleşmenin olduğu yerde, boyun noktasının büyümesiyle başlamaktadır (Şekil 4.3). Boyun oluşumu, parçacık şekline ve malzemeye göre farklılıklar göstermektedir. Parçacıkların sinterlenmesinde, atomik hareketler yüzey enerjisini engellemektedir. Birim alana düşen yüzey enerjisi, atomik çapla ters orantılıdır. Küçük parçacıkların spesifik yüzey alanı küçük, enerjileri ise 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 birleşmektedir. Tane sınırları, atomik hareketlilik açısından önemli bölgelerdir. Sinterleme mekanizması, atomların bir yoldaki kütleli akışı gibidir. Metalik malzemelerde bu olay genellikle, difüzyon şeklindedir. Bu difüzyon hareketleri, parçacıkların geometrisine bağlı olarak modellenilebilir ve hareket enerjisi ve kinetiği hesaplanabilir. İlk toz çapı ile son toz çapının birbirine oranı genellikle, ilk çap = D , ise son çap = $1,26xD$ dir.

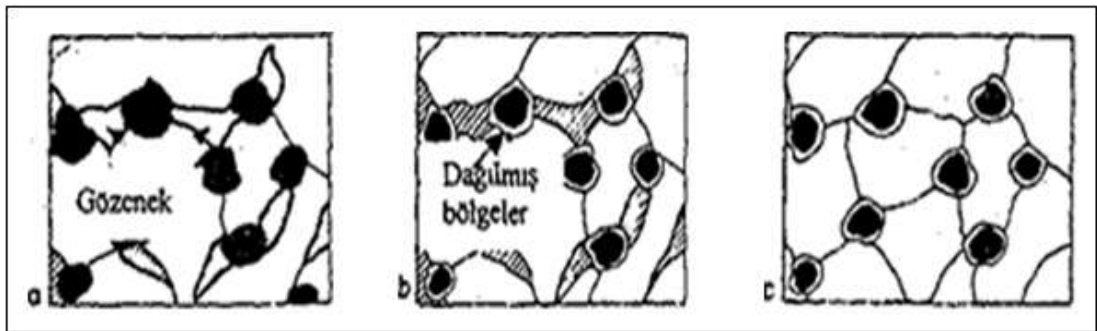


Şekil 4.3. Sinterleme sırasında meydana gelen mekanizmaların şematik gösterimi [37].

Sinterlemeyi etkileyen birçok faktör (toz boyutu, sıcaklık, alaşım elementlerinin ham yoğunluğu, sinterleme atmosferi vb) vardır. Sinterleme mekanizmasının etkin olabilmesinde en önemli etken, preslenen ve sinterlenen tozların yüzeyinde oksit

veya sinterlemeyi olumsuz etkileyen katmanlarının oluşmamasıdır. Toz yüzeylerinde oluşan oksit katmanları nedeniyle sinterleme verimsiz olmaktadır.

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 parça boyutlarında değişiklik istenmese de, boşlukların giderilmesi için katı transfer işlemlerinin olması beklenir. Bunlar, hacim difüzyonu, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve sıvı akışı şeklindedir. Şekil 4.4. de sinterleme sırasında gözeneklerin oluşumu görülmektedir. Bu genel bir oluşumdur ve malzemedeki malzemeye değişiklik gösterebilmektedir. Karışım tozlarının sinterlenmesinde denge diyagramları dikkate alınmalı ve eğer büyük farklar varsa, hacimsel oranlarına göre uygun sinterleme sıcaklığı seçilmelidir. Sinterlemenin ileri aşamalarında toz sınırları kalkarak, tane büyümesi devam etmektedir. Ancak büyümenin ileri safhalarında, gözenekler tamamen tane içlerine hapsolmektedir. Bu ise istenmeyen bir durumdur. Sinterlenen numunedeki gözenek şeklinin küresel hale geldiği, sinterlenmenin son aşamasında anlaşılabilir. Son aşamada hiçbir zaman %100 yoğunluk elde edilememektedir. Sinterleme işleminden sonra yoğunluk artışı için ekstrüzyon, haddeleme gibi farklı metotlar uygulanmaktadır.

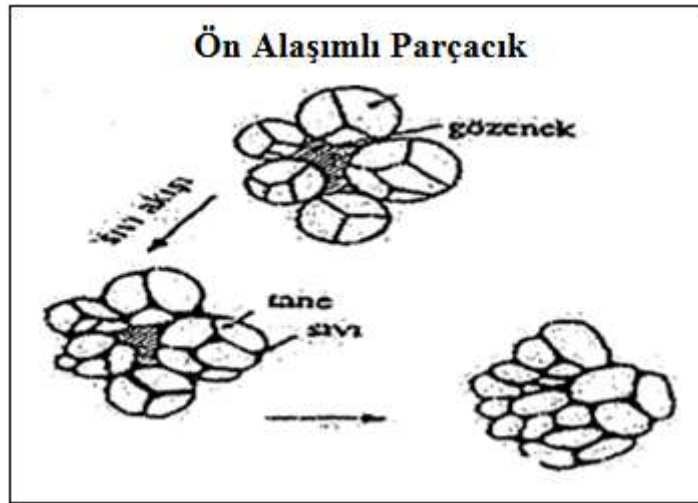


Şekil 4.4. Sinterleme sırasında meydana gelen gözeneklerin oluşumu ve zamana bağlı tavrının şematik olarak gösterimi [38].

Son zamanlarda tam yoğun malzeme elde etmek için kullanılan bir metot da, sıvı faz sinterlemesidir. Bu işlemde, katı fazların yanı sıra sıvı faz da oluşturulmaktadır. Sıvı faz, difüzyon hızını büyük ölçüde artırarak, parçacıklar arası bağ oluşmasını

sağlamaktadır. Bu oluşum gözenek yapısını, mukavemeti, iletkenliği manyetik özellikleri ve korozyon dayanımını büyük oranda etkilemektedir [39].

Yüksek sıcaklıkta ve sürekli sıvı faz sinterleme işleminde, hızlı yoğunluk artışı ve tane büyümesi gerçekleşmektedir. Başlangıçta katıyı ıslatan sıvının (katı parçacıklar üzerine uyguladığı kapiler kuvvetler yardımıyla) etkisiyle, parçacıkların yeniden düzenlenmesi sonucu, hızlı bir yoğunluk artışı olmaktadır. Yeniden düzenlenme ile ulaşılan yoğunluk artışı, oluşan sıvı faz miktarına, parçacık büyüklüğüne ve katının sıvı fazda çözünürlüğüne bağlıdır. Sıkıştırılmış kütle içerisindeki gözenek miktarının azalması, sıvı hareketini güçleştirmektedir. Bu nedenle, yoğunlaşma hızı giderek azalmaktadır. Belirli bir aşamadan sonra, çözünürlük ve yayınma (difüzyon), daha etkin hale gelmektedir. Bu nedenle, çözünme ve tekrar çökme meydana gelmektedir. Bu aşamada, yoğunlaşma ve tane büyümesi ve tane şekli oluşumunun her ikisi de difüzyon kontrollü olarak gerçekleşmektedir [40]. Bu işlemlerin oluşabilmesi için, katı fazın sıvı fazda belirli oranda çözünmesi gereklidir [41].

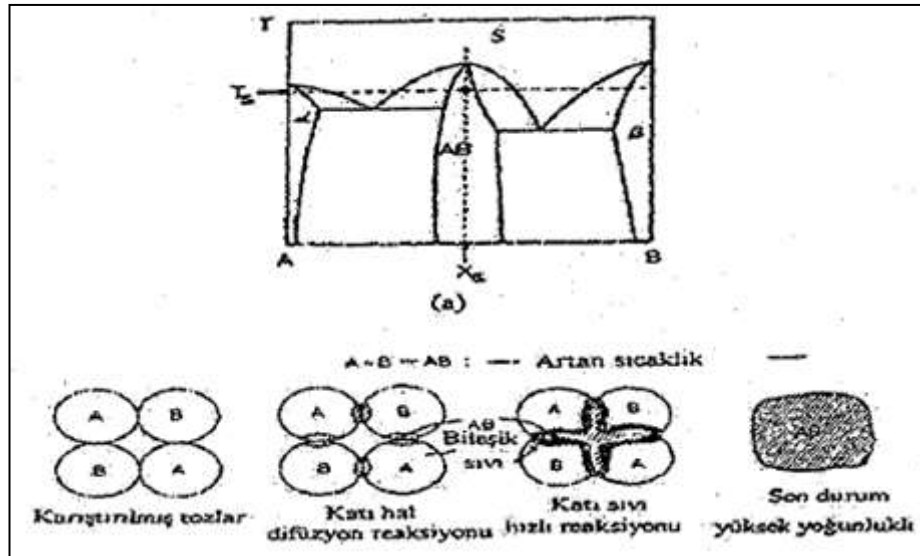


Şekil 4.5. Sıvı faz sinterlemesinin şematik gösterimi [41].

Şekil 4.5' de görüldüğü gibi, ısıtma sırasında her toz parçacığı içerisinde sıvı faz oluşmaktadır. Sıvı oluşumuyla birlikte, yoğunluk artışı çok hızlı olmakta ve artan sıvı miktarıyla orantılı olarak yoğunlukta artmaktadır. Sıvı faz sinterlemesinin (SFS) farklı bir uygulaması da, geçici sıvı faz sinterlenmesidir (GSFS) [39]. Bu yöntemde, sıkıştırılabilirliği yüksek saf element tozları kullanılmakta ve böylece sürekli SFS' de

görülen tane irileşmesi oluşmaktadır. 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 benzemektedir. Toz karışımı karşılıklı difüzyonla, sıvı fazın olduğu sıcaklıkta sinterlenmektedir. 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 gerçekleşmektedir. Şekil 4.6'da sinterleme reaksiyonunda uygun denge diyagramı ve meydana gelen olayların şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.6. Sinterleme reaksiyonunda a) Reaksiyonlu sinterleme için uygun denge diyagramı b) Reaksiyonlu sinterlemede meydana gelen olayların şematik gösterimi [42].

Özellikle karşılıklı difüzyon hızlarının farklı ve bileşik oluşum ısısının yüksek olması durumunda, sinterlenen parçada hacimsel artış meydana gelmektedir [43]. Ayrıca gözenek oluşumu da söz konusudur. Sıvı akışı ve homojen bir içyapı oluşumu için reaksiyon sıcaklığı, ötektik sıcaklığın üzerinde olmalıdır. Reaksiyonlu sinterleme, henüz geliştirilme aşamasıdır ve intermetaliklerin, seramiklerin ve değişik

bileşiklerden oluşan parçaların sinterlenmesinde kullanılmaktadır. Bu sinterleme işleminde egzotermik reaksiyon kontrol edilerek, iç yapıya zarar vermesi önlenmektedir. İşlem kontrol parametrelerinin denetimi için yeterli bilgi olmadığından dolayı, reaksiyonlu sinterleme, bileşiklerin daha sonraki aşamada yoğunluğunu arttırabilmek için ön şekillendirme sonrasında yapılmaktadır. Diğer yandan, basınçlı sinterleme yöntemi ile doğrudan yoğunluğu yüksek parçalar üretmek mümkündür [44].

Sinterleme sırasında elde edilen ürünler, boyutsal olarak son şekle sahip oldukları için, genellikle ek bir işleme gerek duyulmamaktadır. Ancak, bazı ürünler için talaşlı imalat gereklidir. Son ürünlerde yapılması gereken bu ilave işlemler, genellikle maliyeti arttırdıklarından dolayı arzu edilmezler. Çünkü, genelde yüksek mukavemete ve aşınma direncine sahip olan bu ürünlerin işlenmesi oldukça güçtür. Bunların işlenmesinde, özel takımlar veya özel teknikler kullanılmaktadır. Toz metalürjisi ile üretilen parçaların en önemli özellikleri, son şekle sahip olmalarıdır ve bu büyük avantajlar sağlamaktadır. Bunun için geliştirilen ve üzerinde halen çalışmaların devam ettiği pek çok yeni yöntem (ikinci presleme, ikinci sinterleme, lazer sinterleme vb.) vardır.

4.2.4. Yeniden Presleme

Mekanik ve manyetik özellikler açısından bir önem arz ediyorsa, toz metalürjisi ile üretilen parçaya tekrar presleme işlemi uygulanabilmektedir. Preslenmiş parçaların 700-800°C de ön sinterlenmesinde, üretimi sırasında ilave edilen yağlayıcılar yakılarak uzaklaştırılmaktadır. İşlem sırasında oluşan sertleşme ve iç gerilimler giderilerek, süneklik ve yoğunluk arttırılmaktadır.

BÖLÜM 5

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 oluşmaktadır. Bu şekilde yüzeylerin ilk şekilleri bozularak, parçalar arasındaki boşluklar büyümekte ve beklenen fonksiyonlar yerine getirilememektedir [45].

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 yoğunlaşmıştır. Sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken, enerji ve malzeme israfı da önlenmektedir. Çeşitli makine elemanlarının, mühendislik malzemelerinin kullanım ömürlerine büyük oranda etki eden aşınma, makine elemanları temas yüzeylerinin zamanla deforme olmasıdır [46].

Ayrıca aşınma, dış etkenler altında temas yüzeylerinde meydana gelen fiziki değişimlerin sonucunda oluşmaktadır [47]. Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için bazı şartların gerçekleşmesi gereklidir. Bunlar;

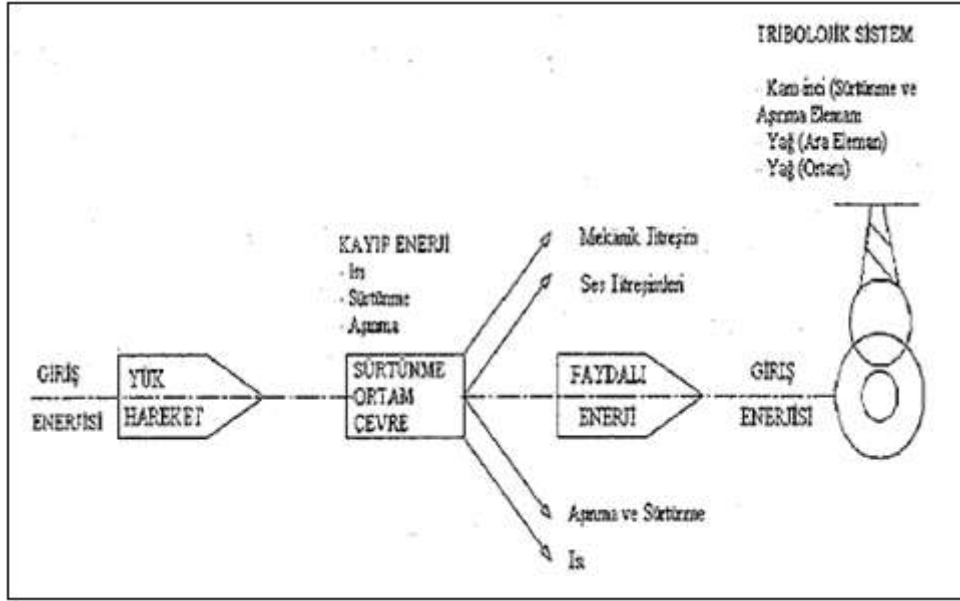
- Mekanik bir etken olması,
- Sürtünmenin (bağıl hareketin) olması,
- Yavaş ve devamlı olması,
- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- İstem dışında meydana gelmesidir.

5.1. AŞINMANIN TEMEL UNSURLARI

Aşınmanın gerçekleşmesi için sürtünme olmalıdır. Sürtünen iki cismin temas alanı, görünen temas alanından küçüktür. En hassas işletme yöntemleri ile de olsa işlenen katı malzemelerin yüzeyi hiçbir zaman düz değildir [48]. Çünkü üretim tekniğinde tam olarak pürüzsüz düz bir yüzeyin elde edilmesi imkansızdır. Yüzeylerin temas etmesi halinde ise, yüzeylerdeki pürüzler karşılıklı etkileşmektedir. İlk temas, pürüz tepeleri arasında oluşmaktadır. Pürüz tepeleri arasındaki girintiler temas etmezler. Gerçek temas alanı, temasta olan pürüzlerin toplam alanıdır. Yüklemenin şekli, yük temas alanının büyüklüğünü de etkilemektedir. Yük arttıkça ilk temas eden pürüzler şekil değişimine uğrar, yani ezilir ve bunun sonucu kısa boyutlu yeni pürüzler ile temas ederler. Yüklemenin temas etmesi ile de pürüz sayısı azalarak, gerçek temas alanı görülen temas alanına yaklaşmaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün artışı ile aşınma direnci de artmaktadır. Temasta olan cisimlere bağlı hareket yaptırabilmek için sisteme bir enerji girmektedir. Bu enerji yük ve hareket şeklindedir. Giriş ile çıkış arasındaki fark, mekanik titreşime, ısı, ses ve sürtünme ve aşınmaya dönüşmektedir [49].

5.2. 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 [48]. Şekil 5.1'de bir tribolojik sisteme giren enerji dağılımı, Şekil 5.2'de ise tribolojik sistem elemanları görülmektedir.



Şekil 5.1. Tribolojik sisteme giren enerji dağılımı [50].



Şekil 5.2. Tribolojik sistemin elemanları [51].

İçinde aşınma ve sürtünme olaylarının gerçekleştiği 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 [52].

Tribolojik sistemi oluşturan unsurlar, ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük, hareket ve çevreden oluşmaktadır. Bir tribolojik sistem, bu unsurların birçoğunu içinde bulundurmaktadır. Aşınma çiftini oluşturan ana malzeme ve karşı malzeme, aralarında belirli bir ara malzeme varken az veya çok yük altında hareket ettiklerinde aşınma başlamaktadır. Ana malzeme metal, mineral, plastik, kauçuk, ağaç, deri, vs gibi aşınma karakteristiğine önem verilen katı malzemedir. Aşındıran malzeme ise metal, mineral, plastik, ağaç vs şeklinde katı olabileceği gibi, sıvı veya gazlarla karışım durumunda da olabilmektedir. Ara malzeme ise yağlar, aşınma parçacıkları vb olabildiği gibi, bazen hiçbir madde olmayabilir. Endüstride çoğu zaman aşınma parçacıkları temizlenmemektedir. Böyle durumlarda arada yağlayıcıda yoksa, teknik olarak kuru sürtünmeden söz edilebilir. Çevre çalışma ortamıdır. Yükleme darbeleri, darbesiz, sabit, değişken vs şeklinde veya bunların birden fazlasının bir arada bulunması halinde olabilmektedir. Hareket ise kayma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma, darbe şeklinde olabilmektedir [53, 54].

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 belirlenmemektedir. Ancak etken olan aşınma mekanizmasına göre, önlemler arttırılmaktadır. Tribolojik test cihazları, gerçek sistemlerde etkenlerinin analiz edilebilmesinin zorluğu ve ölçümlerin uzun sürelerde ve güçlükle yapılabilmesinden dolayı, model sistemlerin geliştirilmesini zorunludur. Araştırmacılar genellikle inceledikleri sistemi dikkate alarak kullanılan 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 [55]. Ancak standart test cihazlarında her sistemin şartlarını bulmak mümkün olmamaktadır.

5.3. AŞINMA ÇEŞİTLERİ

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

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

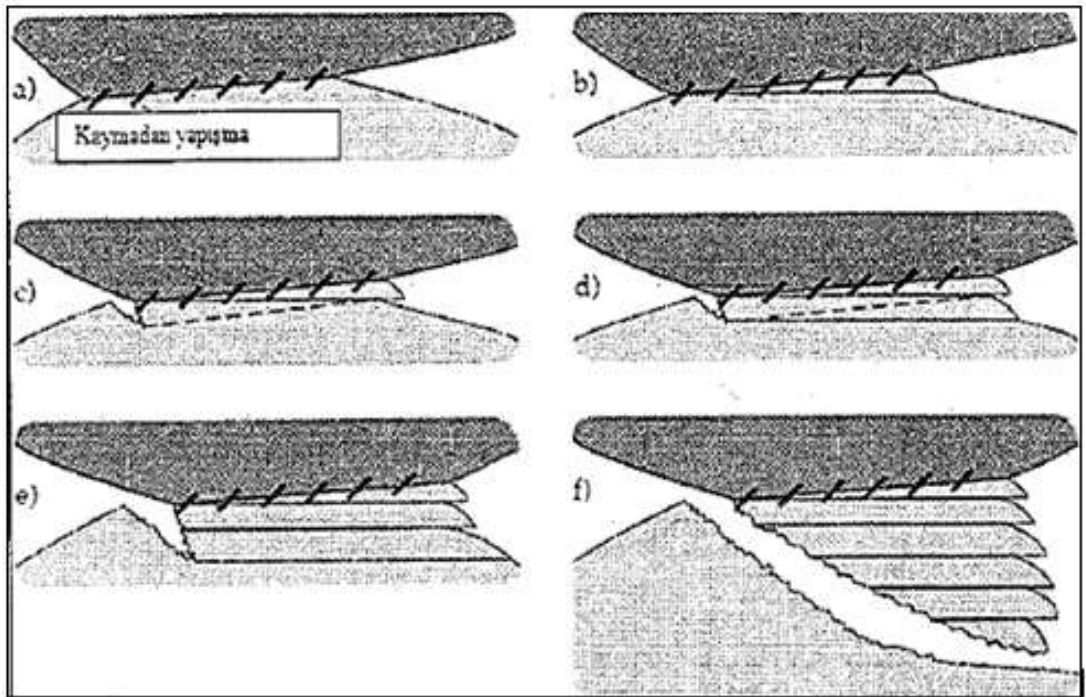
5.3.1. Adhesiv Aşınma Mekanizması (Yapışma Aşınması)

Adhesiv aşınma, yüksek aşınma oranları ve büyük kararsız bir sürtünme katsayısı ile tanımlanır ve ciddi bir aşınma şeklidir [56]. Kayma sürtünmesi yapan ve metalografik yapıları birbirine benzeyen iki metalin yüzeyleri arasında, adhesiv çekim kuvveti söz konusudur. Bu kuvvetin oluşması, moleküllerin yaklaştırılmasına bağlıdır. Temas halindeki yüzeyler pürüzlerle etkileştiklerinden dolayı, metal ağırlığı veya etkiyen kuvvet, temasla olan çok küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç olarak etkiler. Bu basınç, temas noktalarındaki gerilme pürüzlerinin akma sınırını aştığında plastik deformasyona, pürüzlerin birbirini çizmesine ve sıvanıp kaynaklanmalarına neden olmaktadır. Ayrıca pürüzlerin deformasyonu ile oluşan mikro adhesiv temas, yüzey boyunca yayılmaktadır. Çiftin karşılıklı hareket etmesi halinde de yüzeyde bulunan absorbe olmuş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanarak, aşınma çiftinde soğuk kaynaklanmayı oluşturmaktadır. Kayma hareketi sonrasında bu noktalar koparak, yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu tip malzeme kaybı, adhesiv aşınmayı oluşturmaktadır [57, 58].

Aşınma çiftinin yüzeyleri arasındaki tutma kuvvetleri (adhesiv bağ mukavemetleri) eşit büyüklükte ise, veya adhesiv bağ mukavemeti büyük ise, pürüz koparak malzeme kaybına neden olmaktadır. Eğer adhesiv bağ kuvveti pürüz mukavemetinden küçükse, pürüz kaynak noktasından kopar ve hiç bir malzeme kaybına neden olmaz. Adhesiv aşınması sırasında iki sürtünme yüzeyi arasında üçüncü bir cisim meydana gelmektedir. Özellikle adhesiv aşınmada kırılan parçalar

ara yüzey de serbest kalabileceği gibi, metallere birine bağlı olarak da taşınabilirler. Parçacığın bir yüzeyden diğer yüzeye taşınması, malzeme transferi olarak adlandırılmaktadır [58, 59].

Adhesiv aşınma sırasındaki oksidasyon ile, korozif aşınmanın karıştırılmaması gerekir. Yukarıda bahsedilen parçalanma, malzeme moleküllerinin direkt temasa geçmelerine imkân sağlamaktadır. Bunun sonucunda da bölgesel kaynak bağları oluşmaktadır (soğuk kaynaklanma). Bu sırada eğer izafi hareket de varsa, yüzeydeki sıcaklık yükselerek ve ergime noktasına kadar ulaşabilmektedir. Böylece kaynaklanma yerinden veya metal yüzeyinden bir miktar parça koparak, ara yüzeyde serbest halde kalabilecekleri gibi, 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 [60].

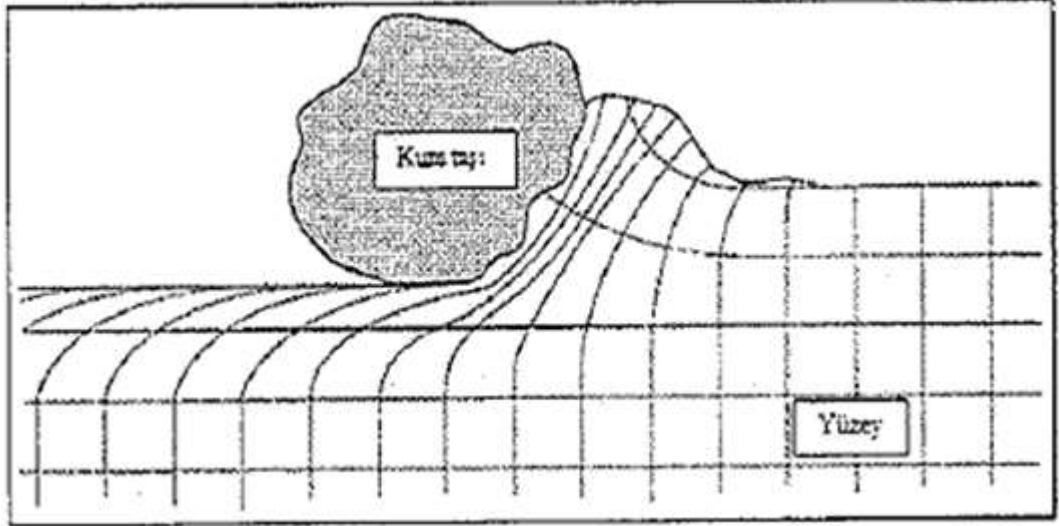


Şekil 5.3. Yapışan bir transfer malzemenin şematik görünüşü [60].

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

5.3.2. Abrasiv Aşınma Mekanizması

Abrasiv aşınma, katı bir madde eşit veya daha büyük sertliği sahip olan malzemeye karşı yüklenildiği durumlarda meydana gelmektedir (bu problem yaygın olarak kazı makinelerinin bıçaklarında). Bu mekanizma uygulanan yük ve hareketin etkisiyle, sürtünen iki cisimden daha sert olanının, pürüzleri veya taneleri vasıtasıyla diğerini çizerek üzerinden mikro talaş kaldırması olarak ifade edilmektedir. Bu tanım, katı/katı, katı/mineral, katı/sıvı gibi birçok sürtünme elemanlarında meydana gelen abrasiv aşınmayı kapsamaktadır. Cisim aşınmaya maruz kaldığında, önemli bir plastik deformasyon gerçekleşmektedir.



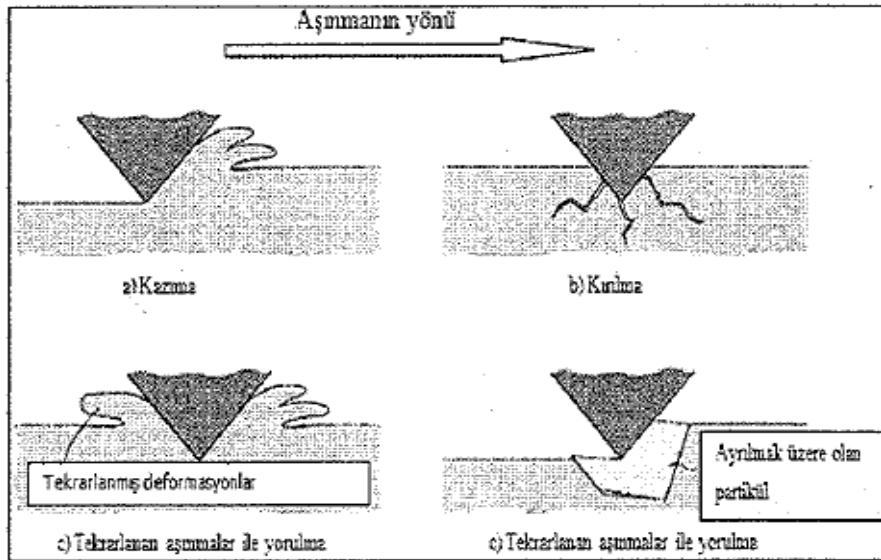
Şekil 5.4. Kum taşının geçişi sırasındaki yüzey deformasyonunun görüntüsü [61].

Sürtünen cisimlerin, direkt olarak karşılıklı etkileşimleri sonunda meydana gelen abrasiv aşınma, iki cisimli abrasiv aşınmadır. Eğer ara yüzeyde sürtünme elemanlarını çizerek tahrip eden sert tanecikler de bulunuyorsa, bu tür aşınmaya üç cisimli aşınma denir [69]. Bu tanecikler ara yüzeye dışarıdan girebilecekleri gibi, aşınma sırasında kopan parçacıklarda olabilmektedir. Genellikle aşınma mekanizmaları, metal/metal sürtünmelerinde iki cisimli abrasiv veya adhesiv olarak başlayıp üç cisimli abrasiv olarak devam etmektedir. Üçüncü cisim olarak ortaya çıkan toz, mineral taneleri, çizilme sonunda serbest hale gelen mikro talaşlar ve parçalanmış oksit parçacıkları da olabilmektedir. Üçüncü cisim, abrasiv aşınmayı

hızlandırmaktadır. Bir sistem içinde yüksek hızlı parçacıkların akışı, erozyon olarak bilinen abrasiv aşınmanın özel şeklini ortaya çıkarmaktadır. Khruschov ve Babichev, aşındırıcı tanelerle temas eden yüzeyde iki işlemin meydana geldiğini belirtmişlerdir [56]. Bu işlemler;

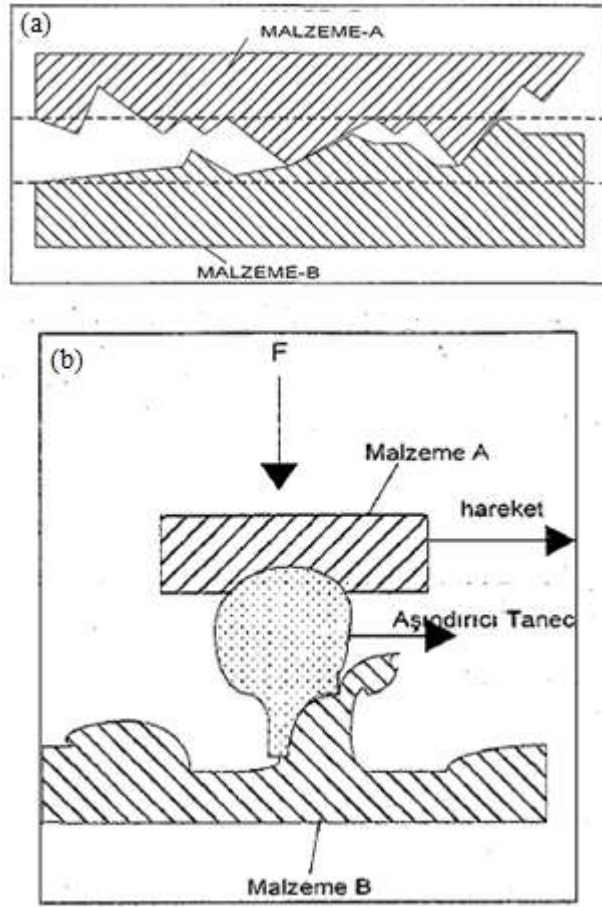
- Basıncın etkisiyle plastik şekil değiştirme sonucu çiziklerin oluşması (Metal kalkmadan, yüzeyin plastik şekil değiştirmesi).
- Mikro talaş şeklinde metal parçacıkların ayrılmasıdır (Yüzeyden mikro talaşların ayrılması).

Abrasiv aşınma, kesilme, kazınma ve tekrarlanan deformasyon gibi yüzeyi tahrip eden çeşitli mekanizmalar ile meydana gelmektedir. Abrasiv aşınma için en önemli şart, sürtünme sırasında, abrasivin sertliğinin aşınma malzemesi sertliğinden daha fazla olmasıdır [57]. Aşınma şeması, Şekil 5.5.'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Abrasiv aşınma mekanizmasının şematik olarak gösterimi [58].

Bu mekanizmada daha sert olan cismin pürüzleri yumuşak olan malzemeyi çizerek, mikro talaş kaldırmaktadır. Bu aşınma, iki elamanlı ve üç elamanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu mekanizma, Şekil 5.6' da iki elemanlı a. ve üç elemanlı Şekil 5.10.b.' de abrasiv aşınma mekanizması şematik olarak gösterilmektedir.

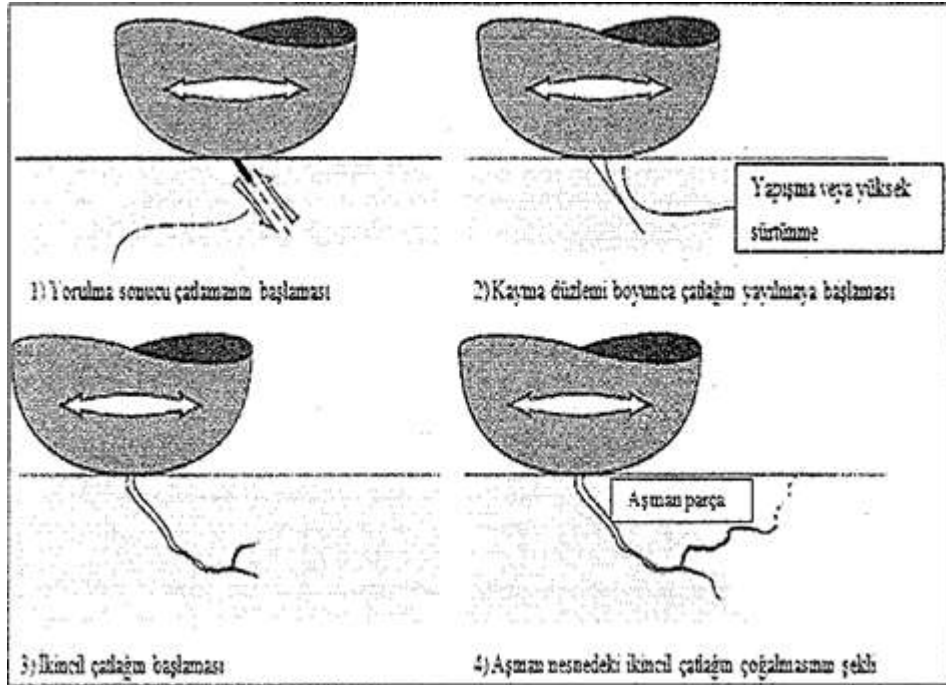


Şekil 5.6. Abrasiv aşınma; iki elemanlı a) ve üç elemanlı b) [59].

İki elemanlı abrasiv aşınma, sürtünen elemanların doğrudan birbiriyle etkileşimleri sonucu meydana gelmektedir. Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise, aşınan ve aşındıran malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden ayrılan parçacıklarda üçüncü eleman olarak görev yapmaktadır. Metal-metal sürtünmelerinde aşınma iki elemanlı abrasiv veya adhesiv olarak başlayıp, üç elemanlı abrasiv olarak devam etmektedir. Bu durumda araya giren toz, mineraller, çizilme sonucu serbest hale geçen mikro talaşlar ve parçalanmış oksit parçaları, üçüncü elemanı (ara malzemeyi) oluşturmaktadır. Serbest hale geçen mikro talaş parçaları, genellikle ana malzemeden daha sert olduklarından dolayı, aşınmayı hızlandırmaktadır.

5.3.3. Yorulma Aşınması

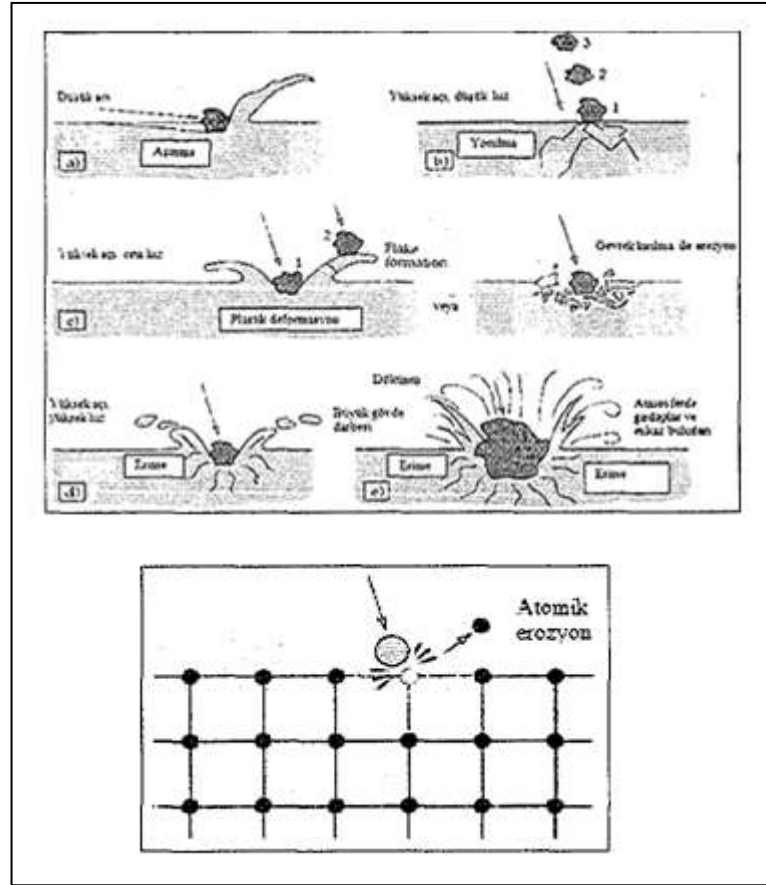
Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlanmalar altında ve zamanla meydana gelmektedir. Yorulma aşınması, malzemenin yüzeyinden başlamaktadır. Yüzey bölgesi titreşimli bir zorlanmaya maruz kaldığında veya sürtünme elemanları tekrarlanan gerilmelerle etkileştiklerinde, bu gerilmelerin sebep oldukları mikro çatlaklar vasıtasıyla, yorulma aşınması (pulcuklar şeklinde malzeme ayrılmaları) meydana gelmektedir. Bu olay sırasında, malzemenin yapısında parçalanmalar ve yırtılmalar meydana gelmektedir (yüzeydeki kısmi çözülmeler). Maksimum kopma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak, çok küçük boşluklar oluşmaktadır. Bu boşluklar zamanla yüzeye doğru ilerlemekte, büyümekte ve nihayet yüzeyde küçük çukurlar oluşturmaktadır [60]. Pitting adı verilen bu aşınma tipi, daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve kam mekanizmaları gibi, yuvarlanma hareketi yapan elemanların yüzeylerinde meydana gelmektedir. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi, Şekil 5.7' de verilmiştir.



Şekil 5.7. Yorulma aşınmasında yüzeyde çatlamanın başlaması ve artarak devam etme sürecinin şematik görüntüsü [61].

5.3.4. Erozif Aşınma

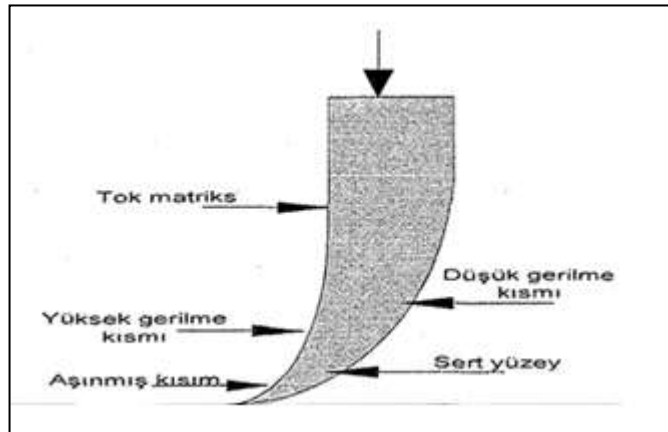
Bu aşınma türü, erozyon ortamı ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozunma olarak tarif edilmektedir. Gaz veya sıvı ortamda taşınan abrasiv tanelerin yüzeye belirli bir açı ile çarpmasıyla oluşan enerji, katı malzemenin basınç mukavemetini aştığından, malzeme yüzeyinde plastik deformasyon oluşturmaktadır. Bu olay yüzeyde kırılmalara sebep olduğu için aşınma meydana gelmektedir. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya erozyon aşınması denir. Sünek malzemeler erozyon aşınmasına çok elverişlidir. Aşındırıcı parçacıkların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliği ve çarpma açısı, değeri erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen önemli faktörlerdir [62]. Erozif aşınma uçaklar da, gaz türbin bıçaklarında görülmektedir. Sulu çimento sistemlerinde, pompa çarklarının aşınmasında da, bu tür aşınma aktiftir.



Şekil 5.8. Erozif aşınma mekanizması [63].

5.3.5. Öğütmeli Aşınma (Grinding Wear)

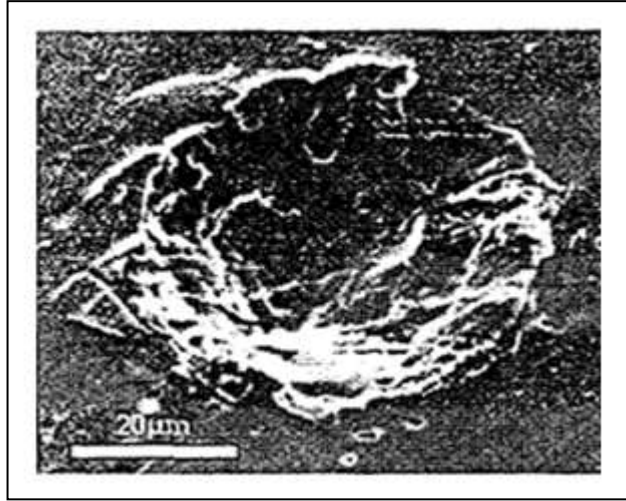
Öğütmeli aşınma, yüksek basınçlar altındaki parçacıkların metal yüzeyleri ile düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinden parçacıkların kesilerek veya çok sayıda ufak çizikler açılmasıyla, yüzeyden küçük parçaların kopmasıyla oluşmaktadır. Bu yüksek basınç ve düşük hız kombinasyonu, genellikle hafriyat çalışmalarında kullanılan buldozer ve kepçe gibi, ağır iş makinelerinin çalışma koşullarında meydana geldiği için, bu araçların kesici uç yüzeylerinde bu hasar türü meydana gelmektedir. Kepçelerde kullanılan kesici ve batıcı uçlarda, öğütmeli aşınma sonucunda şekil değişimi meydana gelerek, körlemeler oluşmaktadır. Bu tip aşınmayı engellemek için yapılan girişimlerin başarısızlığa uğraması nedeniyle, malzemenin kontrollü olarak aşındırılması yoluna gidilmeye çalışılmıştır. Kontrollü aşınma ile malzeme kendi kendine bilenererek, körlenme sebebiyle meydana gelen performans düşüklüğü önlenmektedir. Bu mekanizma ile meydana gelen kendi kendine bilenmenin oluşumu, Şekil 5.9'da şematik olarak verilmiştir. Şekil 5.9 dan' da görüldüğü gibi, kesici takım malzemesinin düşük gerilmeli yüzeyine sert metal takviyesi yapılarak, aşınma hızı azaltılmaktadır. Diğer yüzeyde ise hem malzeme sertliğinin düşük olması, hem de yüksek gerilme etkisinde kalması nedeniyle aşınma hızı, diğer yüzeye göre daha fazladır. Meydana getirilen bu farklı aşınma hızları nedeniyle, malzeme kendi kendine bilinmektedir [64].



Şekil 5.9. Bir kesici uçta meydana gelen kendi kendine bilenmesinin oluşumunun şematik olarak gösterilmesi [65].

5.3.6. Oymalı Aşınma (Gouging Wear)

Oymalı aşınma, malzeme yüzeyinin çok yüksek hızlardaki çarpma şartlarında, yüzeyden bir parçanın kesilerek veya oyularak kopmasıyla meydana gelmektedir. Bu tip aşınma genellikle hafriyat, madencilik, petrol kuyularını delme işlemi ve benzeri koşullarda çalışan cihaz ve ekipmanların kesme ve delme görevi yapan kısımlarında görülmektedir. Bu işlemler sırasında sert abrazif parçacıkların çok yüksek gerilmeler altında malzeme yüzeyine çarpmaları ile, yüzeylerde hızlı bir şekilde hasar oluşumu meydana gelmektedir. Oymalı aşınma, diğer aşınma türlerine göre çok daha hızlı olarak geliştiğinden dolayı, bu aşınmaya uğrayan parçaların yenileriyle değiştirilerek kullanılması daha ekonomik olmaktadır.



Şekil 5.10. Oymalı aşınma [66].

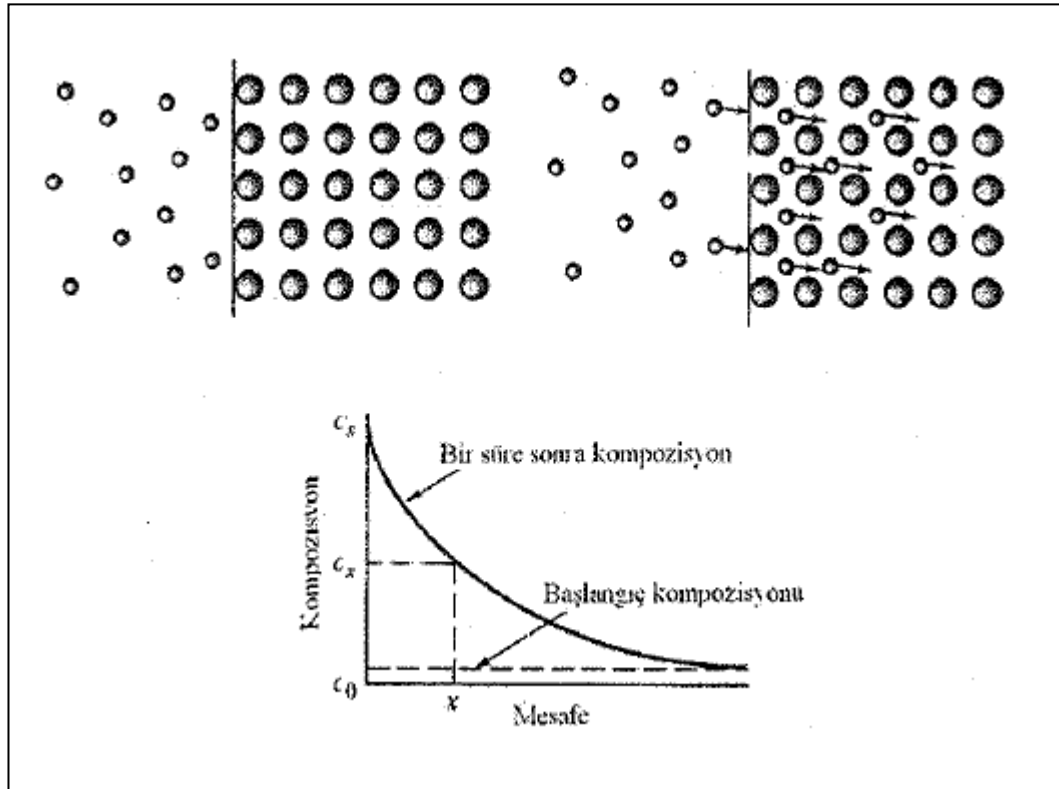
5.3.7. Kazımalı Aşınma (Fretting Wear)

Kazımalı aşınma, karşılaşılan yüzeylerde mikro kaynaşmanın meydana geldiği adhesiv aşınmaya benzemektedir. Aralarındaki fark ise, adhesiv aşınma, birbirleri üzerinde kayan yüzeylerde meydana gelirken, kazımalı aşınma birbirlerine göre hareket etmeyen yüzeylerde meydana gelmektedir. Ancak kazımalı aşınma, çok yavaş hareketlerin (vibrasyon) meydana geldiği sistemlerde, mikro kaynaklanma ile meydana gelmektedir. Kazımalı aşınma, vibrasyonlu ortamlarda çalışan somun, perçin gibi bağlantı elemanlarında, otomobil şaftlarının birleşme noktalarında ve

yataklarda yaygın olarak görülen bir hasar türüdür. Kazımalı aşınma, temas yüzeylerinde yorulma otomobil şaft gibi parçalarda önemli bir problemdir. Gerçekte, şaftlarda meydana gelen yorulma kırılmalarının sebebi, kazımalı aşınmadan kaynaklanmaktadır [67].

5.3.8. Tribosüblimasyon ve Difüzyon Aşınması

Sürtünme ısısı ile yüzey bölgesi sıcaklığının çok yükselmesi halinde meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıkta atom veya moleküllerin malzeme içine girmesi, difüzyon esasına ve çevreye transferi tribosüblimasyon aşınma mekanizması olarak ifade edilmektedir. 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 gelmektedir. Şekil 5.11'de yüzeyler arası malzeme transferi görülmektedir [68].



Şekil 5.11. Yüzeyler arası malzeme transferi [69].

Yüzeyler arası atom alışverişi nedeniyle, mukavemeti düşük olan bir yüzey tabakası meydana gelmektedir. Bu tabaka, sürtünme ve izafi (bağıl) hareketin devam etmesiyle birlikte, esas malzeme yüzeyinden koparak, malzeme kaybına sebep olmaktadır. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya difüzyon aşınması denir. Bu aşınma mekanizması fren balatalarında, uzay ve havacılıkta kullanılan araçlar ve takım tezgâhlarında görülmektedir. Demiryollarında kullanılan fren pabuçları ile tekerlek arasındaki sürtünmeden dolayı, difüzyon aşınması meydana gelebilmektedir. Sıcaklığın yükselmesi ve yeterli zaman sonunda sürtünme yüzey bölgesinde atom veya moleküllerin çevreye transfer olması ile, tribosüblimasyon aşınması oluşmaktadır [69].

5.3.9. Termal Aşınma (Termal Etkenler)

Mekanik ve kimyasal aşınma mekanizmalarının oluşumunu kolaylaştıran ve bu mekanizmalarla, eş zamanlı işleyen bir oluşumdur. Bu mekanizmada sıcaklık etkisi ile atomik hareketler hızlanmaktadır. Isıl işlemlerle malzemenin sünekleşmesi ile atomik aşınma gerçekleşmektedir. Termal şok ve yüksek sıcaklıkta ki oksidasyonda, termal aşınmaya sebep olmaktadır [70].

BÖLÜM 6

MALZEME VE METOT

6.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, matris malzemesi olarak gaz atomize 7075 Alüminyum alaşımı tozları (< 100 µm küresel) kullanılmıştır. Külçe halinde ACA METAL/firmasından temin edilen AA7075 alüminyum alaşımı, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme ve Metalurji Mühendisliği bölümünde bulunan atomizasyon ünitesinde toz haline getirilmiştir. Gaz atomize edilen 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Toz üretiminde kullanılan AA7075 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi.

Element	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Zr	Cr	Mn	Al
Ağırlık (%)	5,48	2,58	1,568	0,549	0,403	0,0305	0,0125	0,014	Kalan

Gaz atomize edilerek üretilen 7075 alüminyum alaşımına farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek 4 farklı grup malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.2'de deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 6.2. Deneysel çalışmada kullanılan (alaşım ve kompozit) malzemelerin kimyasal bileşimleri.

Grup Kodu	Ti (% Ağırlık)	B ₄ C (% Ağırlık)	7075 (% Ağ.)
1	2	—	98
	4	—	96
	6	—	94
2	4	3	93
	4	6	90
	4	9	87
3	—	3	97
	—	6	64
	—	9	91
4	2	9	89
	4	9	87
	6	9	85

6.2. TOZLARIN HAZIRLANMASI

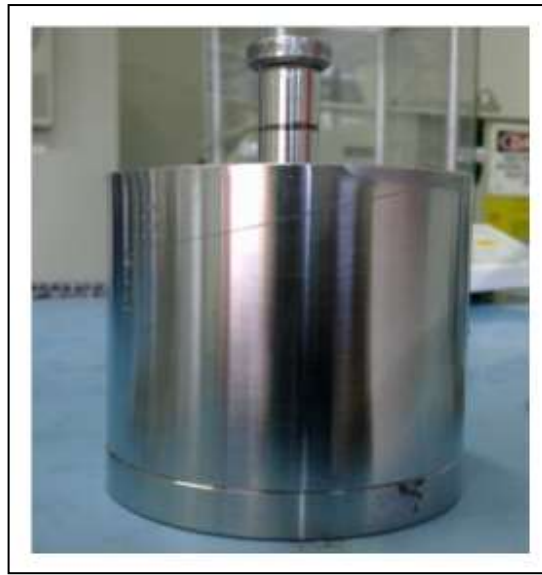
Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan AA7075 içerisine farklı oranlarda ilave edilen Ti ve B₄C, Çizelge 6.2'de verilmiştir. Dört farklı grup için her bir bileşimin toplam ağırlığı 100 g olacak şekilde hassas terazide tartılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan tozlar Şekil 6.1'de görülen Turbula® Shaker Mixer (Model T2F Glenn Mills) karıştırıcıda 67 dv/dak ile 45 dakika karıştırılmıştır.



Şekil 6.1. Elementel tozların karıştırılmasında kullanılan Turbula® Shaker Mixer (Model T2F Glenn Mills) tipi karıştırıcı.

6.3. SOĞUK PRESLEME İŞLEMİ

Soğuk presle işleminde tek eksenli 50 ton sıkıştırma kapasiteli "HİDROLİK SAN" marka pres kullanılmıştır. Şekil 5.4'de deneysel çalışmada kullanılan pres'in görüntüsü verilmiştir. Turbula mikserde karıştırılan tozlar 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek, Ø12x7 mm silindirik parçalar üretilmiştir. Alaşım ve kompozit tozların soğuk preslenmesinde kullanılan kalıbın görüntüsü ise, Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2. Numunelerin şekillendirilmesinde kullanılan metal kalıp.

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

Baskı kuvveti :

$$F = P \times A \quad (6.1)$$

$$F = 600 \text{ MPa} \times 113 \text{ mm}^2 / 9,81 \text{ N/kg} = 6900 \text{ kg} \text{ olarak bulunmuştur.}$$



Şekil 6.3. Deney numunelerinin preslendiği "HİDROLİK SAN" marka pres.

6.4. SİNERLEME

Numunelerin sinterlenmesi AA7075 alaşımına ilave edilen Ti ve B₄C alaşımli bileşimler olmak üzere, iki grupta gerçekleştirilmiştir. Bileşimler için sinterleme

çalışmaları, yüksek saflıkta argon gazı altında 580 °C'de atmosfer kontrollü (argon) ısıtma işlemi fırınında gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işleminde numuneler 10 °C/dakika ısıtma hızı ile 580 °C'ye kadar ısıtılmış, ardından argon ortamında 4 saat bekletilerek, fırın ortamında soğutulmuştur.

6.5. METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA

Sinterlenen numuneler, mikroyapı incelemesi için hazırlanmıştır. Zımparalama işlemi Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan PRESI marka MECAPOL P 262 model polisaj cihazı kullanılarak yapılmıştır. Zımparalama işleminden sonra numuneler 3 µm elmas pasta ile parlatılarak hazırlanan 95 ml saf su, 2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCl, 1 ml HF (Keller's) dağlayıcı ile 15-20 saniye dağlanmıştır.

6.6. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

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

6.7. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Yoğunluk ölçümleri yapılan numunelerin sertlikleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan SHIMAZU üniversal makro sertlik cihazında (HMV0,5) ölçülmüştür. Her bir numune üzerinden 5 adet sertlik ölçümü yapılarak ortalaması alınmıştır.

6.8. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMESİ

Standart metalografik işlemlerle hazırlanan numunelerin mikro yapı incelemelerinde Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü AR-GE Laboratuvar'ında bulunan Zeiss-Ultra/Plus (FEG) model tarama elektron mikroskop (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca aşınma testleri yapılan numunelerin, aşınma yüzeyleri SEM ile incelenmiştir.

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

Metalografik numunelerin ana malzeme ve bağlayıcı faz ve aşınma tozlarının elementel olarak incelenmesi için yapılan EDS analizleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü AR-GE Laboratuvar'ında bulunan Zeiss-Ultra/Plus (FEG) model tarama cihazda yapılmıştır.

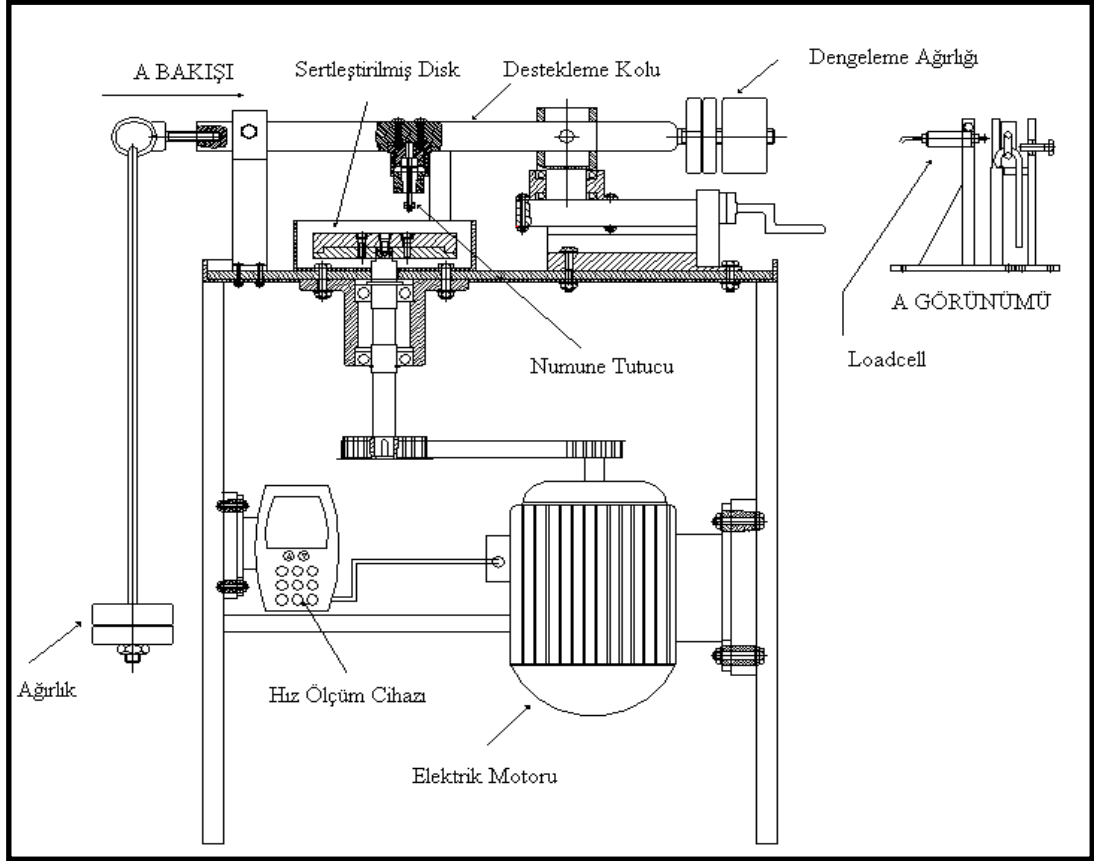
6.10. X-IŞINI KIRINIMI (XRD) İNCELEMELERİ

Yapıda oluşan fazların belirlenmesi amacıyla, X-ışını kırınımı (XRD) Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Laboratuvar'ında bulunan Rigaku D-MAX RIN-2200 serisi cihazla yapılmıştır.

6.11. AŞINMA TESTLERİ

6.11.1. Aşınma Deney Cihazı

Aşınma deneylerinde kullanılan pin-on-disk tipi standart deney aparatının görüntüsü şematik olarak Şekil 6.4'de verilmiştir. Bu cihaz her türlü yük, kayma hızı ve farklı devirlerde çalışabilmektedir.



Şekil 6.4. Aşınma test cihazının görüntüsü.

6.11.2. Karşılık Diski ve Malzemesi

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

6.11.3. Aşınma Deneyleri

Deney cihazı devrinin ölçülmesi için COMPACT marka takometre (0-1000 dv/dk, 0.5 V çıkışlı) kullanılmıştır. Aşındırılan numuneler 1/10000 hassasiyetli PRESICA marka terazide tartılarak ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Aşınma testlerinde 30 N yük, altı farklı kayma (500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m ve 3000 m) 1ms^{-1} lik kayma hızı kullanılmıştır. Ağırlık kaybının ölçülmesinde 1/10000

hassasiyetinde bir terazi kullanılmıştır. Aşırma oranlarının hesaplanmasında en çok (Eşitlik 6.2) de verilen bağıntı kullanılmıştır.

$$W_a = \frac{\Delta G \text{ (mg)}}{d \cdot P \cdot S \text{ (g/cm}^3 \cdot \text{N} \cdot \text{m)}} \quad (6.2)$$

Burada;

W_a : Aşırma oranı (mm^3/Nm)

ΔG : Ağırlık kaybı (mg)

P : Yükleme ağırlığı (N)

S : Kayma yolu (m)

d : Yoğunluk (g/cm^3) olarak verilmiştir.

BÖLÜM 7

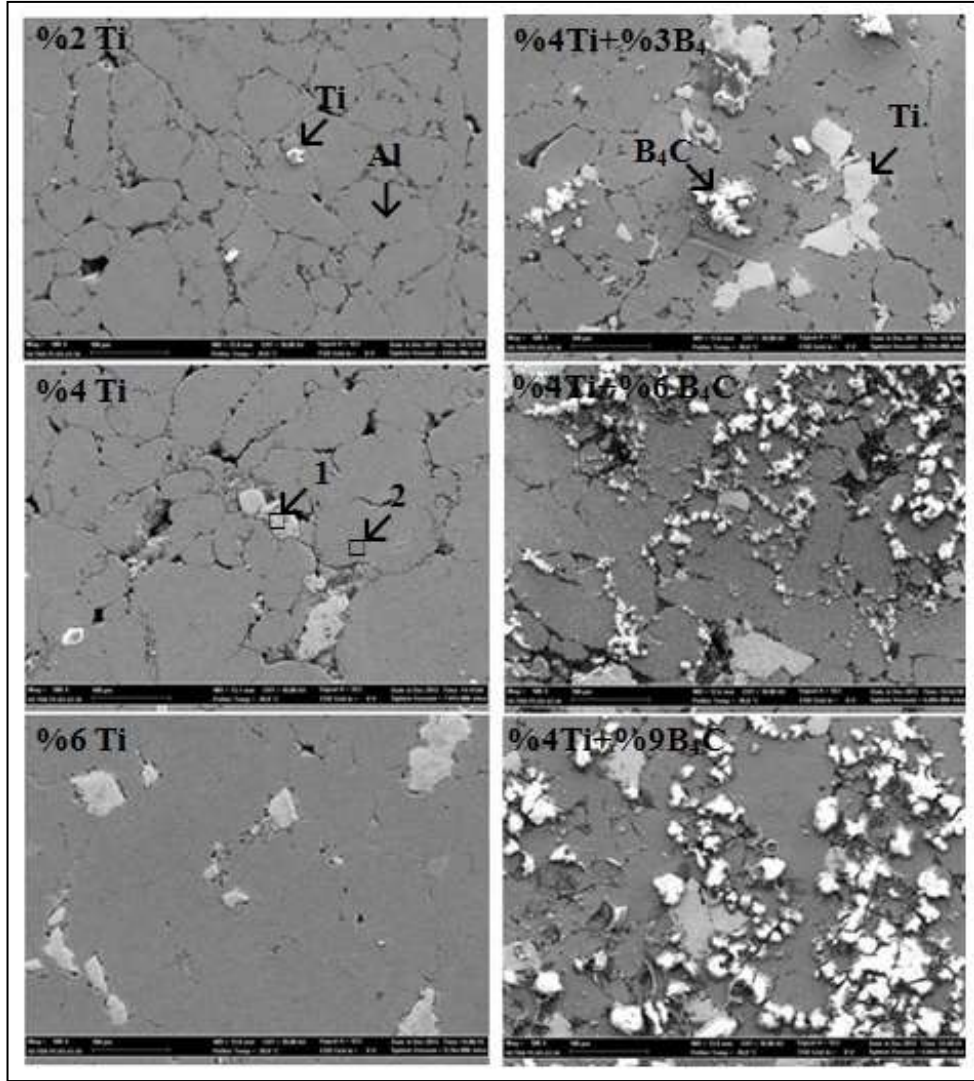
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, AA7075 alaşımına Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen alüminyum kompozitlerinin mikro yapısal özellikleri ve aşınma davranışları incelenmiştir. Toz metalurjisi ile üretilen bu kompozit malzemeler taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılım spektroskopisi (EDS), X-ışını kırınımı (XRD), yoğunluk ve sertlik ölçümleri ile karakterize edilmiştir.

7.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

7.1.1. SEM ve EDS İncelemeleri

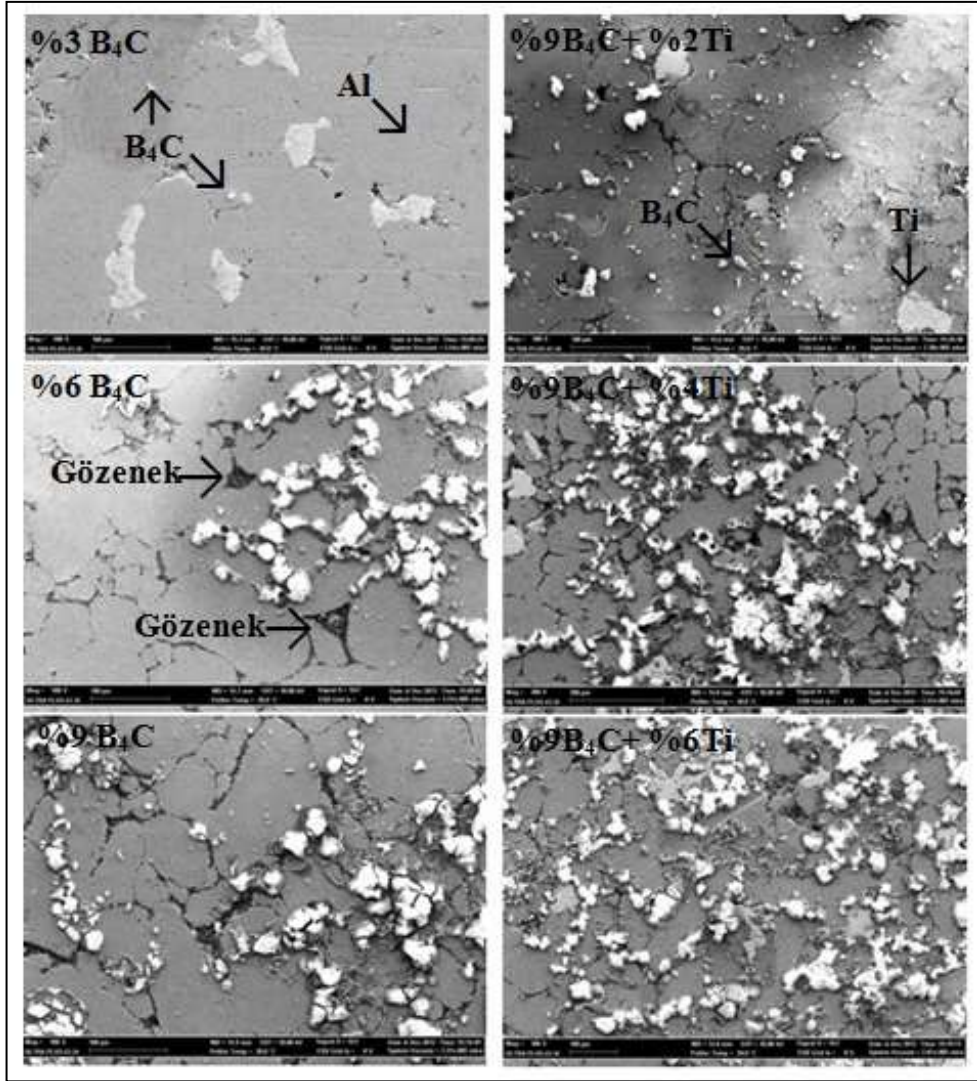
Gaz atomizasyonu ile üretilen AA7075 tozlarına farklı oranlarda Ti (%2, %4, %6) ve B₄C (%3, %6, %9) ilave edilerek elde edilen kompozit toz karışımlar, 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek alüminyum kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozitler soğuk presleme işleminden sonra, atmosfer kontrollü (argon) ortamda sinterlenmiştir. Üretilen alüminyum kompozitlerinin SEM görüntüleri Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de verilmiştir. EDS analiz sonuçları ise, Çizelge 7.1'de verilmektedir.



Şekil 7.1. 7075 Alüminyum alaşımlarına farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilen kompozitlerin SEM görüntüleri.

Çizelge 7.1. Al-Ti içeren kompozitlerin EDS analiz sonucu.

Şekil	Analiz	Element					
		C	O	Mg	Al	Ti	Zn
7.1.	1	2,41	12,45	0,67	1,08	83,39	----
7.1.	2	----	4,17	2,09	86,36	----	7,38



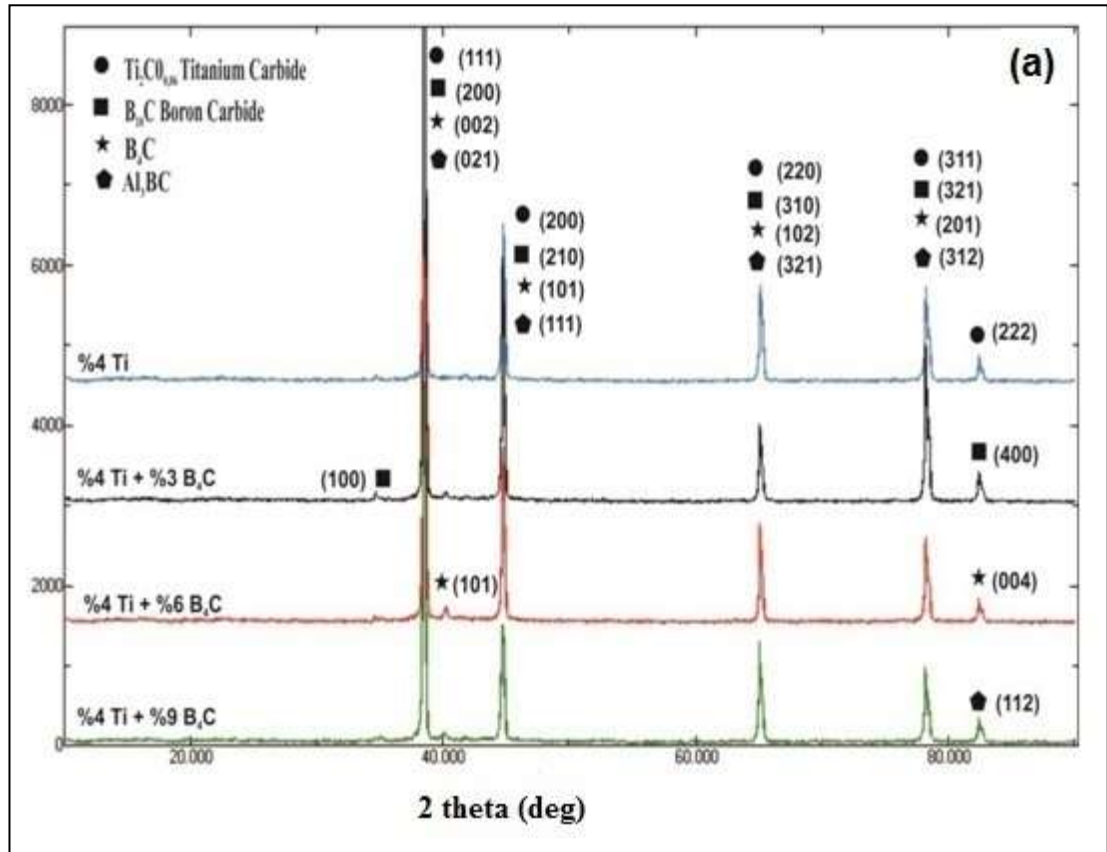
Şekil 7.2. 7075 Alüminyum alaşımlarına farklı oranlarda B₄C ve Ti ilave edilen kompozitlerin SEM görüntüleri.

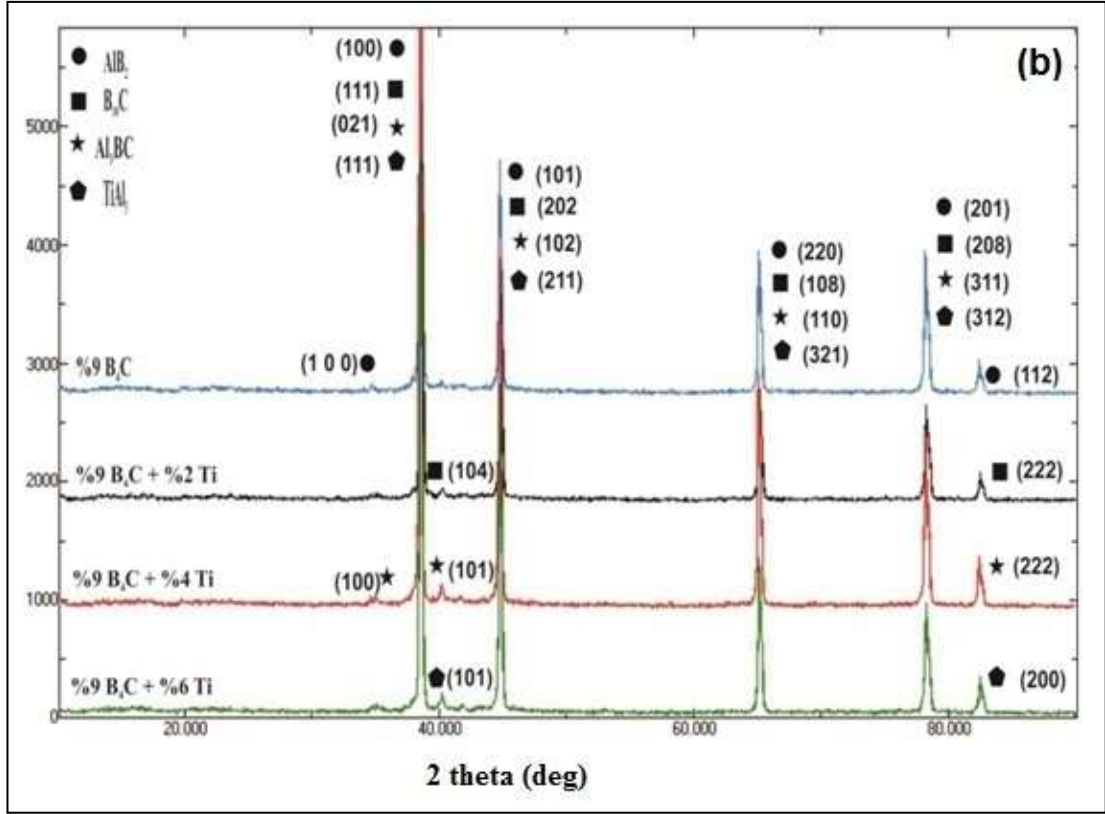
Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde, genel olarak ilave edilen Ti ve B₄C'ün yapıda homojen dağılım sergilediği görülmektedir. Bununla birlikte, özellikle Şekil 7.2'de %6 B₄C bileşimine sahip kompozitin SEM görüntüsünde ise, B₄C'ün bölgesel olarak yoğunlaştığı görülmektedir. Yapılan çalışmada Al-Ti-B₄C kompozitler toz metalurjisi yöntemiyle üretildiği için de, mikro yapı SEM görüntülerinde mikro gözenekler olduğu ve bu gözeneklerin, tane sınırlarında olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 7.1'de verilen EDS sonuçlarında ise, 7075 alüminyum alaşımına Ti ilave edilerek üretilen kompozitte bir miktar C ve O olduğu belirlenmiştir. EDS analizi sonuçlarında görülen C'un sinterleme sırasında B₄C'den çözündüğü, O'nin ise tozların hazırlanması sırasında oluştuğu

düşünülmektedir. Bu noktadan (1) alınan analizde görülen Mg ve Zn pikleri ise matrisin kimyasal bileşiminden kaynaklanmaktadır. Diğer noktadan (2) alınan EDS analizi ise matriste bulunan elementleri yansıttığı anlaşılmaktadır. Daha önce alüminyuma titanyum ilave edilerek yapılan bir çalışmada, sinterleme sonrasında yapıda gözeneklerin oluştuğu belirtilmiştir [71].

7.1.2. XRD İncelemeleri

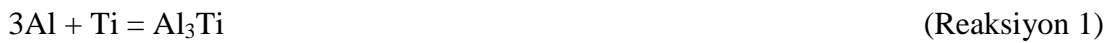
AA7075 tozlarına farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen kompozitlerin XRD sonuçları (580 °C'de 4 saat sinterleme sonrasında) Şekil 7.3'de verilmektedir.





Şekil 7.3. 7075 Alüminyum alaşımına a) %4 Ti, %4 Ti + %3 B₄C, %4 Ti + %6 B₄C, %4 Ti + %9 B₄C, b) %9 B₄C, %9 B₄C + %2 Ti, %9 B₄C + %4 Ti, %9 B₄C + %6 Ti ilave edilen XRD sonuçları.

Bu deneysel çalışmada AA7075 alaşımına ilave edilen Ti (%4) oranı sabit tutularak, %3-6-9 oranında B₄C ilave edilen kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin XRD analizi sonuçları, Şekil 7.3 de verilmektedir. Yapılan XRD incelemesi sonucunda AA7075 alaşımına Ti ve B₄C ilave edilen kompozitlerde sinterleme sırasında matris toz ile ilave edilen Ti ve B₄C arasında bazı reaksiyonların oluştuğu ve bunun sonucunda, yapıda in-situ olarak şekillenen yeni fazlar meydana geldiği belirlenmiştir. Yapıda in-situ olarak oluşan bu yeni fazlar aşağıda verilen reaksiyonların ürünü olarak gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar,

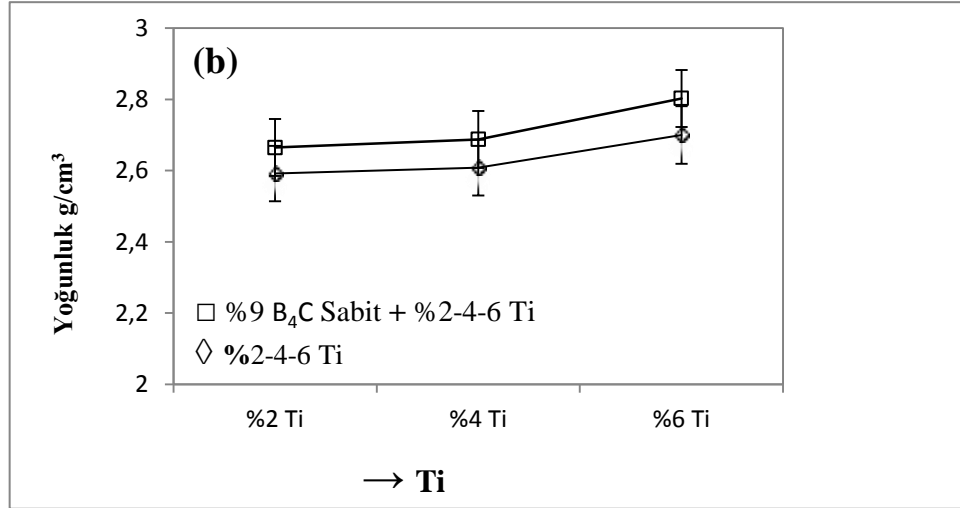
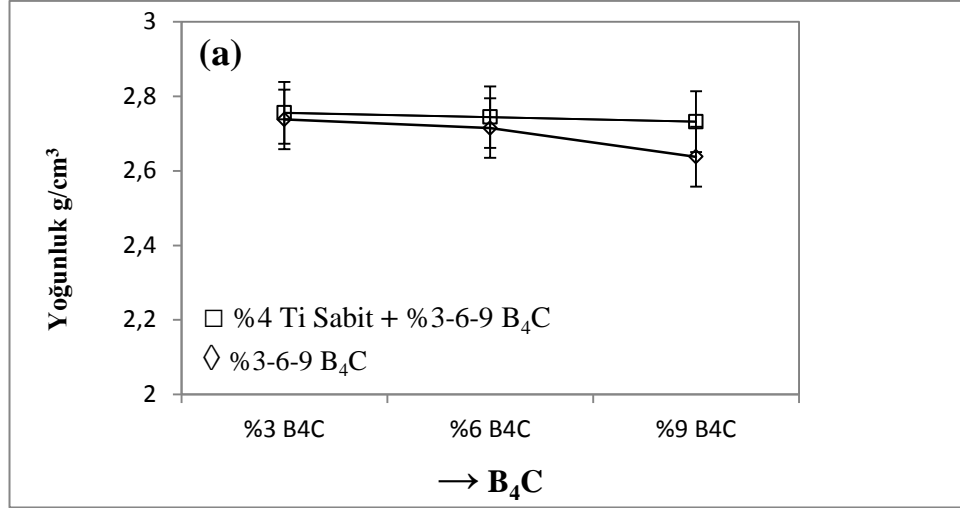


AA7075 alaşımına ilave edilen, yüksek ergime sıcaklığına sahip olan B₄C (2723°C) yapısal olarak kararlı bir malzemedir. XRD sonuçlarına göre yapı içinde farklı açılarda B₄C fazlarının olduğu görülmektedir. Bu fazın haricinde kompozit malzemede, in-situ Al₃BC (Reaksiyon 3) ve Al₃Ti fazlarının olduğu belirlenmiştir (Reaksiyon 1). Bu iki temel fazın haricinde, alüminyum kompozitlerde farklı fazlarında (AlB₂, B₁₀C, Ti₂CO_{0,06}) in-situ olarak olduğu. XRD analizinde belirlenmiştir.

Daha önce yapılan bazı çalışmalarda, 500-600 °C sıcaklık aralığında TiAl₃ intermetalik fazının olduğu rapor edilmektedir [72,73,74]. Yapıda in-situ olarak oluşan takviye fazları alüminyumun dayanımının arttırılmasında önemli roller üstlenmektedir. B₄C ilave edilerek üretilen ex-situ kompozitlerin sinterlenmesi sırasında, in-situ takviye fazlarının oluşması kompozitlerin özelliklerini ve bu kompozitlerden beklenen yüksek dayanım faktörünü de olumlu olarak arttırmaktadır. Uzun süreli sinterleme aşamalarında görülen hem ex-situ, hem de in-situ takviye elemanları hibrit kompozitler olarak ta tanımlanmaktadır. Ayrıca yapıda in-situ olarak oluşan fazların en olumlu katkısı, ex-situ kompozitlerde olduğu gibi matris takviye fazı ara yüzeyinin oluşmamasıdır.

7.2. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ

Gaz atomizasyon yöntemi ile üretilen AA7075 alüminyum alaşımlarına, farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen kompozit malzemeler, atmosfer kontrollü (argon) ısıl işlem fırınında 580 °C'de 4 saat süre ile sinterlenmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin yoğunlukları, Arşimet prensibine göre llmştir. Deney numunelerinin yoğunluk ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Şekil 7.4'de verilmiştir.

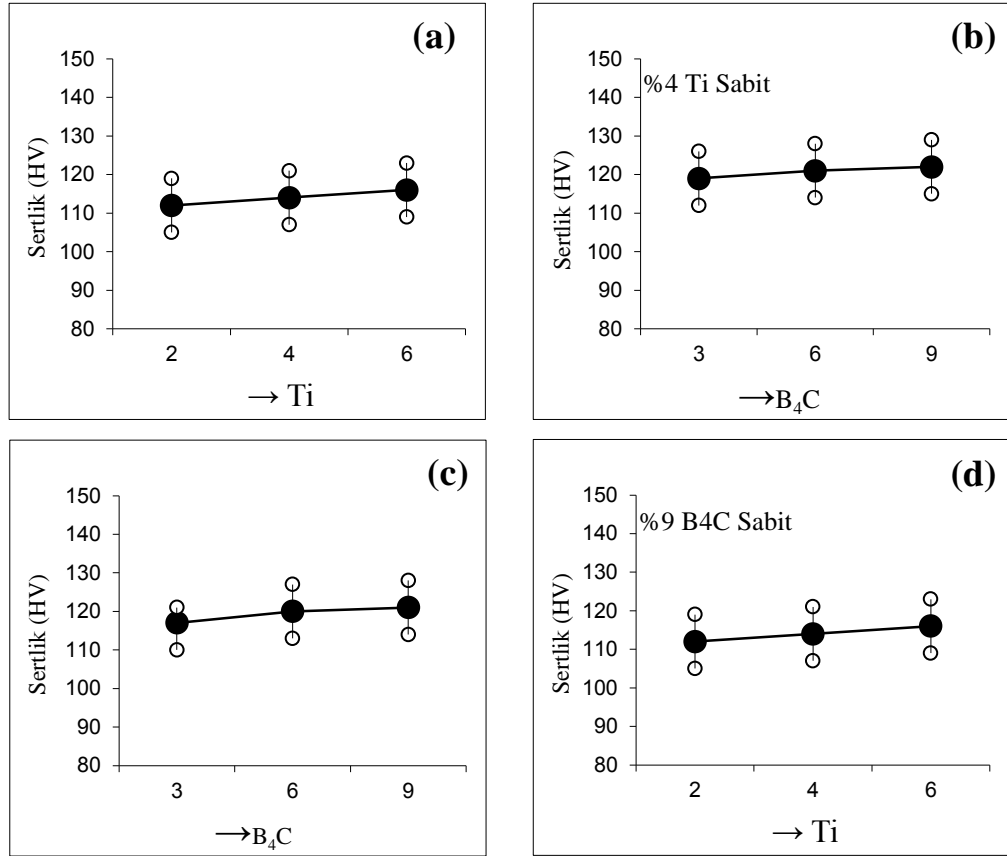


Şekil 7.4. a) %4 Ti sabit ve %3-6-9 B₄C, b) %7075AA alaşımına ilave edilen %9 B₄C sabit ve %2-4-6 Ti için yoğunluk değişimi.

AA7075 alaşımına ilave edilen Ti ve B₄C oranlarına bağlı olarak, yoğunlukta değişimler olduğu görülmektedir. AA7075 alaşımına (%3-%6-%9) B₄C ilave edilerek üretilen kompozit malzemenin yoğunluğundaki azalma, B₄C'ün yoğunluğunun (2,52 g/cm³) AA7075'den (2,74 g/cm³) düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, kompozit malzemenin kimyasal bileşiminde B₄C oranı (% ağırlık) arttıkça, kompozitin yoğunluğu da azalmaktadır [72]. AA7075 alaşımına Ti ilave edilerek üretilen kompozit malzemelerin yoğunluğu ise matris malzemesi olan AA7075 den yüksek olduğu için (4,52 g/cm₃) artmaktadır.

7.3. SERTLİK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ

Toz metalurjisi ile üretilen alüminyum kompozitlerin sertlik ölçümleri (HVM 0,5) yapılmıştır. Kompozitlerin sertlik değerleri, 6 numuneden elde edilen sertlik ölçümlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Her bir numuneden alınan sertlik değeri ise 5 farklı noktadan elde edilen değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen kompozitlerin sertlik değişimi, Şekil 7.5'de verilmiştir.



Şekil 7.5. a) AA7075+% 2-4-6 Ti, b) AA7075+% 4 Ti+% 3-6-9 B₄C, c) AA7075+% 3-6-9 B₄C, d) AA7075+% 9 B₄C+% 2-4-6 Ti' farklı oranlarda ilave edilen Ti ve B₄C nin sertliğe etkisi.

Şekil 7.5'de verilen sertlik değerleri incelendiğinde, AA7075 alaşımına farklı oranlarda Ti (%2,4,6) ilave edilen kompozitlerin sertliklerinin 108-113 HV arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 7.5 a). AA7075 alaşımına takviye fazı olarak B₄C ilave edildiğinde ise, sertliğin 117-123 HV arasında değiştiği görülmektedir (Şekil

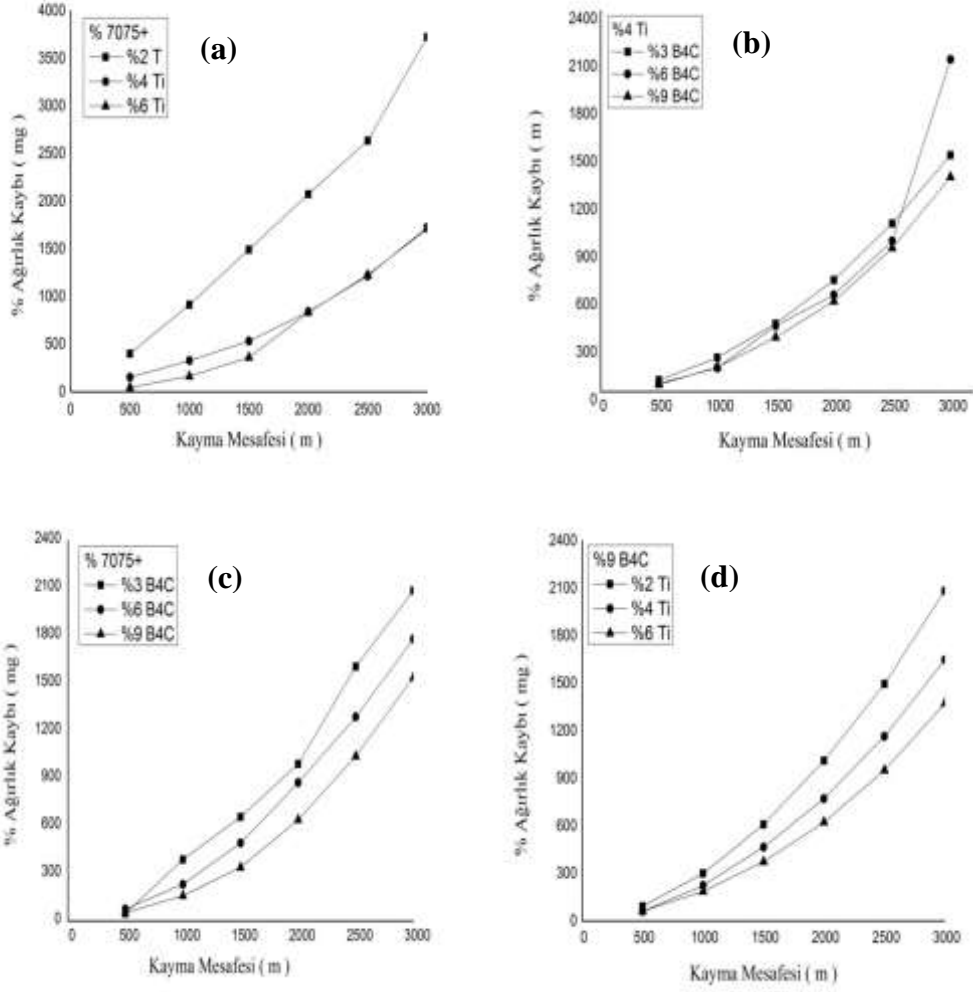
7.5.c). Bunun nedeni, yapıda in-situ olarak yapıda oluşan $TiAl_3$ fazının oluşumunun sinterleme süresine bağlı olarak değişmesidir. Sinterleme süresi arttıkça, $TiAl_3$ miktarı da artmaktadır. Bu çalışmada, sinterleme süresini 4 saat olarak belirlenmiştir ve yapı içerisinde oluşan $TiAl_3$ miktarı, uzun süreli (12-14 saat) sinterlemelerde elde edilene göre sınırlı kalmaktadır. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda, in-situ kompozitlerde sinterleme süresinin artmasıyla sertlik ve yoğunluğun arttığı belirlenmiştir [71]. Ex-situ kompozitlerde ise, ilave edilen takviye elemanın yapıya katkısı, sinterleme süresi ile değil, ilave oranı ile ilişkilidir. Bu nedenle, B_4C ilave edilen kompozitlerin sertliğindeki artışta, ilave edilen takviye fazı oranlardaki artışa paralel olarak artmaktadır. Ayrıca ex-situ olarak üretilen kompozitlerde takviye elemanı oranı (% ağırlık) arttıkça, kompozitlerin sertliklerinde arttığı belirtilmektedir. [75, 76, 77].

7.4. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

7.4.1. Aşınma Testleri

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle hazırlanan AA7075 alüminyum alaşımına Ti ve B_4C ilave edilerek üretilen kompozit malzemelerin, aşınma davranışı incelenmiştir. Aşınma testleri, 30 N yük altında 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m kayma mesafelerinde ve $1m/sn^{-1}$ kayma hızında yapılmıştır. Kompozit malzemelerde meydana gelen ağırlık kayıpları belirlendikten sonra, Eşitlik 5.2'de verilen denklemle aşınma oranları hesaplanmıştır.

Şekil 7.6'da farklı oranlarda Ti ve B_4C ilave edilerek üretilen alüminyum kompozitlerin 30 N yük altında ağırlık kayıpları verilmiştir.



Şekil 7.6. a) AA7075+% 2-4-6 Ti, b) AA7075+% 4 Ti+% 3-6-9 B₄C, c) AA7075+% 3-6-9 B₄C, d) AA7075+% 9 B₄C+% 2-4-6 Ti farklı oranlarda ilave edilen Ti ve B₄C nin ağırlık kaybı.

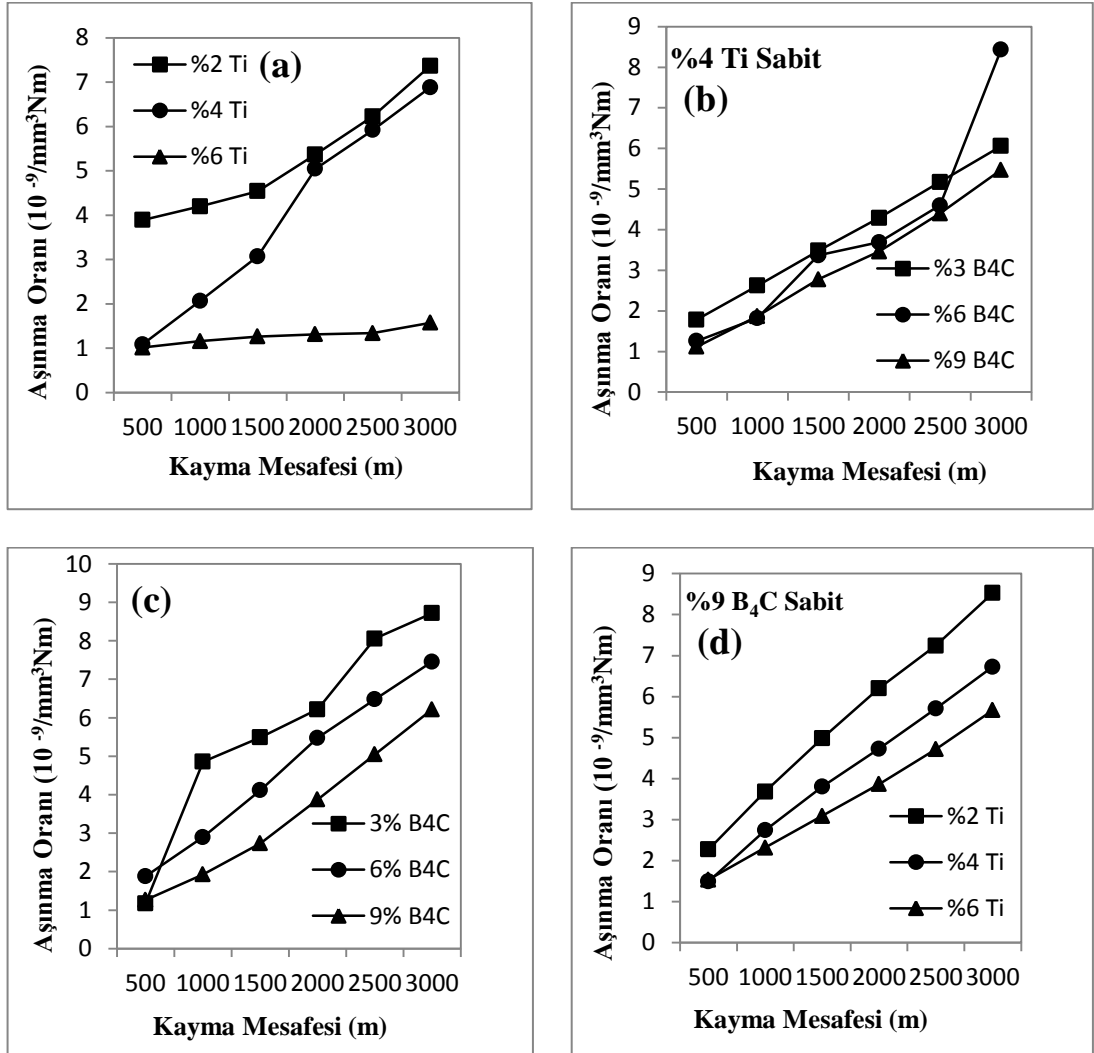
Ağırlık kaybı incelendiğinde tüm kompozit gruplarında kayma mesafesi arttıkça, ağırlık kaybının arttığı görülmektedir. Şekil 7.6'a da verilen farklı oranlarda Ti ilave edilerek üretilen kompozitlerin ağırlık kayıpları incelendiğinde, ilave edilen Ti miktarı arttıkça, ağırlık kayıplarının azaldığı belirlenmiştir. En fazla ağırlık kaybı %2 Ti içeren in-situ kompozitlerde elde edilirken, 2000 m'lik kayma mesafesi sonunda ağırlık kayıplarının örtüştüğü anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, 2000 m kayma mesafesinden itibaren %6 Ti içeren kompozitlerde temas yüzeylerinden parçacıkların kırılmasının olduğu düşünülmektedir. Bunun haricinde, %4-%6 arası içeriğinin titanyum ilavesi için kritik bir eşik olmasıdır.

Şekil 7.6 c'de verilen farklı oranlarda B₄C ilave edilen kompozitlerin ağırlık kayıpları incelendiğinde, ilave edilen B₄C (% ağırlık) oranı arttıkça, kompozitlerinin ağırlık kayıplarının azaldığı görülmektedir. Ex-situ olarak üretilen alüminyum kompozitlerde ilave edilen takviye fazı oranı arttıkça ağırlık kayıplarının azaldığı daha önce yapılan bazı çalışmalarda da vurgulanmaktadır [75,77]. Bunun nedeni, Şekil 7.5'de verilen sertlik sonuçları ile de teyit edilmektedir. Farklı B₄C oranlarında (% ağırlık) üretilen alüminyum kompozitlerin üretiminde ise, farklı bir durum olduğu gözlenmektedir. Bu alüminyum kompozit grubunda, en düşük ağırlık kaybının %9 B₄C ilave edilen kompozitlerde elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, %9 B₄C içeren kompozitlerin aşınma testlerinde, ağırlık kaybının 2500 m sonrasında çok hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu ani ağırlık kaybı artışının nedeni, temas yüzeyinden kopan parçalardır. Bu kırılmalar iki nedene bağlanmaktadır. Bunlardan birincisi kompozitlerin toz metalurjisi yöntemi ile üretilmeleridir. Toz tanelerinin sinterleme sırasında bir biri ile oluşturdukları bağların zayıf olma nedeniyle, numunelerde bu tür kırılmalar olabilmektedir. İkincisi ise, B₄C ilave edilerek ex-situ olarak üretilen metal matrisli kompozit malzemelerde, matris/takviye fazı arasında oluşan arayüzey nedeniyle, matriste oluşturulan zayıf bağlardır. Bu nedenle, aşınma testleri sırasında, kayma mesafesindeki artışa bağlı olarak zayıf bağların kırılmasıyla, takviye fazı matristen koparak ayrılmakta ve buna bağlı olarak ağırlık kaybı artmaktadır.

Şekil 7.6 d'de verilen sabit (%9) B₄C ilave edilerek, farklı oranlarda (% ağırlık) titanyum ilave edilen hibrit (ex-situ ve in-situ) kompozitlerin aşınma testleri sonucunda elde edilen ağırlık kayıpları incelendiğinde, ilave edilen Ti oranı arttıkça kompozitlerin ağırlık kayıplarının azaldığı belirlenmiştir. Aşınma testleri sonucunda en fazla ağırlık kaybı %2 Ti ilave edilen Al-B₄C kompozitlerde elde edilirken, en düşük ağırlık kaybı %6 Ti ilave edilen Al-B₄C kompozitlerde elde edilmiştir. Bunun nedeni Al kompozitlere ilave edilen titanyumun, in-situ olarak üretilen alüminyum kompozitlerde takviye fazı matris ara yüzey bağlarını güçlendirmesidir.

7.4.2. Aşınma Oranları

Şekil 7.7'de toz metalurjisi ile üretilen alüminyum kompozitlerin aşınma oranları verilmiştir.

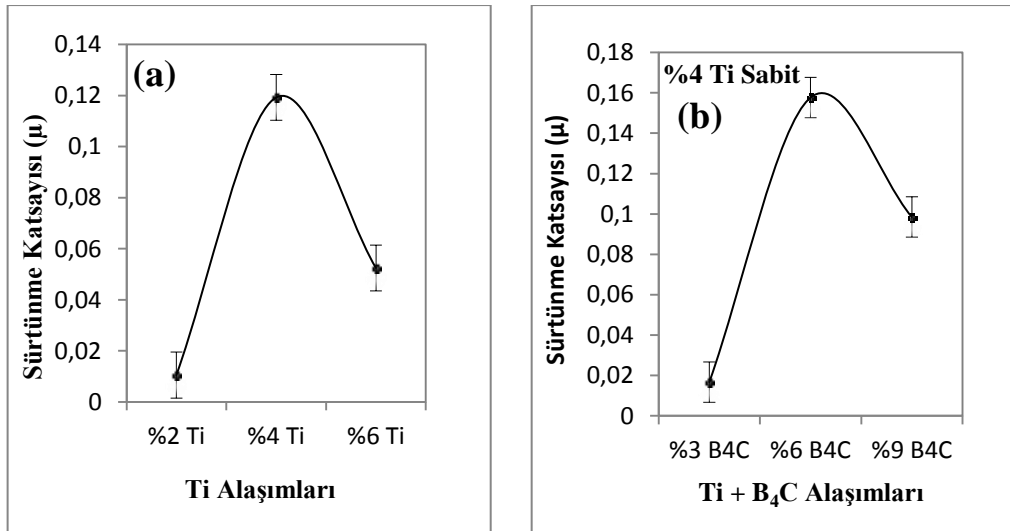


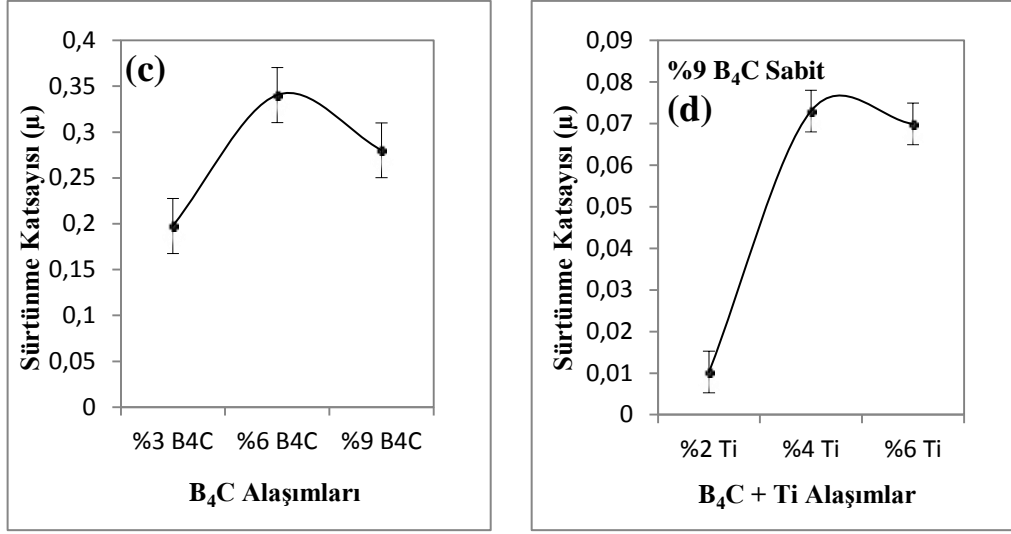
Şekil 7.7. a) AA7075+% 2-4-6 Ti, b) AA7075+% 4 Ti+% 3-6-9 B₄C, c) AA7075+% 9 B₄C+% 3-6-9 B₄C, d) AA7075+% 9 B₄C+% 2-4-6 Ti farklı oranlarda ilave edilen Ti ve B₄C nin aşınma oranları.

Şekil 7.7 de verilen alüminyum kompozitlerin aşınma oranları incelendiğinde, kayma mesafesinin artmasıyla birlikte aşınma oranının da arttığı görülmektedir. İn-situ olarak üretilen Al-Ti kompozitler de (ilave edilen Ti oranına bağlı olarak), aşınma oranları arasındaki fark daha yüksek iken, ex-situ olarak üretilen Al-B₄C kompozitlerin aşınma oranlarının birbirine daha yakın olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin, takviye elemanı olarak farklı oranlarda B₄C miktarı (% ağırlık) ilave edilerek üretilen kompozit malzemelerde, takviye fazının yapıda homojen bir dağılım sergilemesidir. Böylece kayma sırasında numuneye etkileyen deformasyon etkisi, takviye fazı tarafından dengeli olarak karşılanarak, kontrollü bir aşınma sağlanmıştır. İn-situ olarak üretilen Al-Ti kompozitlerde ise, yapıda oluşan in-situ fazlar (TiAl₃ gibi) sadece titanyumca zengin bölgelerde oluşmaktadır.

7.4.3. Sürtünme Katsayıları

Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemiyle hazırlanan AA7075 alüminyum alaşımına ilave edilen Ti ve B₄C sürtünme katsayıları, 30 N yük altında 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m'lerde kayma mesafeleri ile hesaplanarak, Şekil 7.8'de verilmiştir.



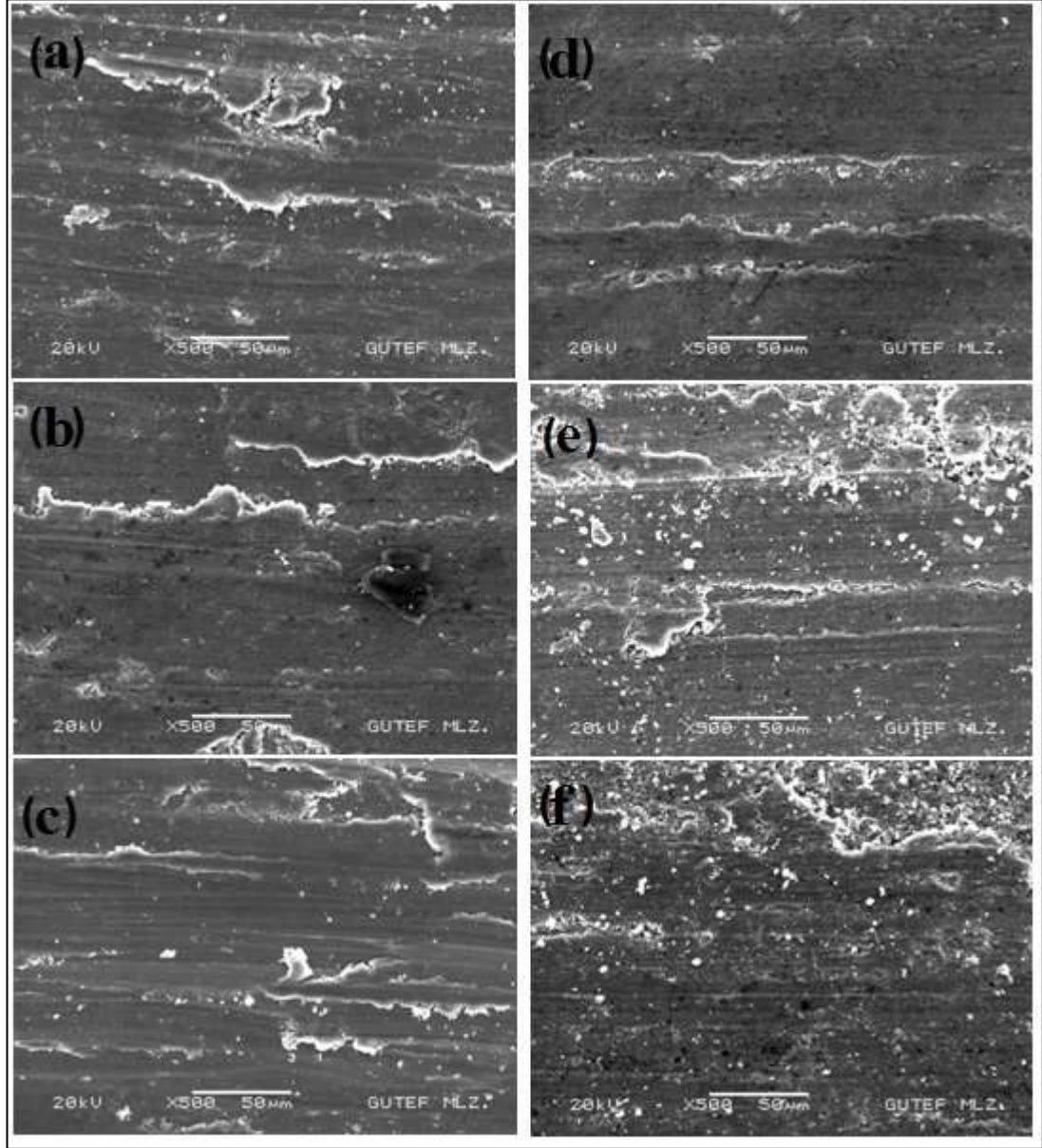


Şekil 7.8. a) AA7075+% 2-4-6 Ti, b) AA7075+%4 Ti+%3-6-9 B₄C, c) AA707+ %3-6-9 B₄C, c) AA7075+%9 B₄C+%2-4-6 Ti farklı oranlarda ilave edilen Ti ve B₄C nin sürtünme katsayıları.

Şekil 7.8 de verilen sürtünme katsayıları (her bir kompozit grubunda) 3000 m kayma mesafesi sonucunda elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak belirlenmiştir. Şekil 7.8 a'da farklı oranlarda Ti ilave edilerek üretilen in-situ alüminyum kompozitlerin sürtünme katsayıları incelendiğinde, en yüksek sürtünme katsayısının %4 Ti ilave edilen kompozitlerde elde edildiği görülmektedir. Kompozitlerin sertlikleri arttıkça sürtünme katsayısının azaldığı bilinen bir metalurjik gelişmedir. Bu nedenle de, çalışmanın başında sertliği yüksek olan %6 Ti içeren in-situ kompozitlerin sürtünme katsayısının daha düşük olması beklenmekteydi. Ama aşınma testleri sonrasında %2 Ti içeren kompozitlerin sürtünme katsayıları daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ise, numunenin, aşındırıcı disk üzerinde kayması sırasında meydana gelen ısınma nedeniyle, numune yüzeyinde oksidasyonun oluşmasıdır. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda da belirtildiği gibi, numune-aşındırıcı disk yüzeyindeki oksidasyon sonucu meydana gelen oksit tabakaları, katı yağlayıcı etkisine neden olduğu için, sürtünme katsayısında azalmalar meydana gelmektedir [79]. Aynı durumda, Şekil 7.8 b,c ve d verilen diğer kompozitler içinde geçerlidir.

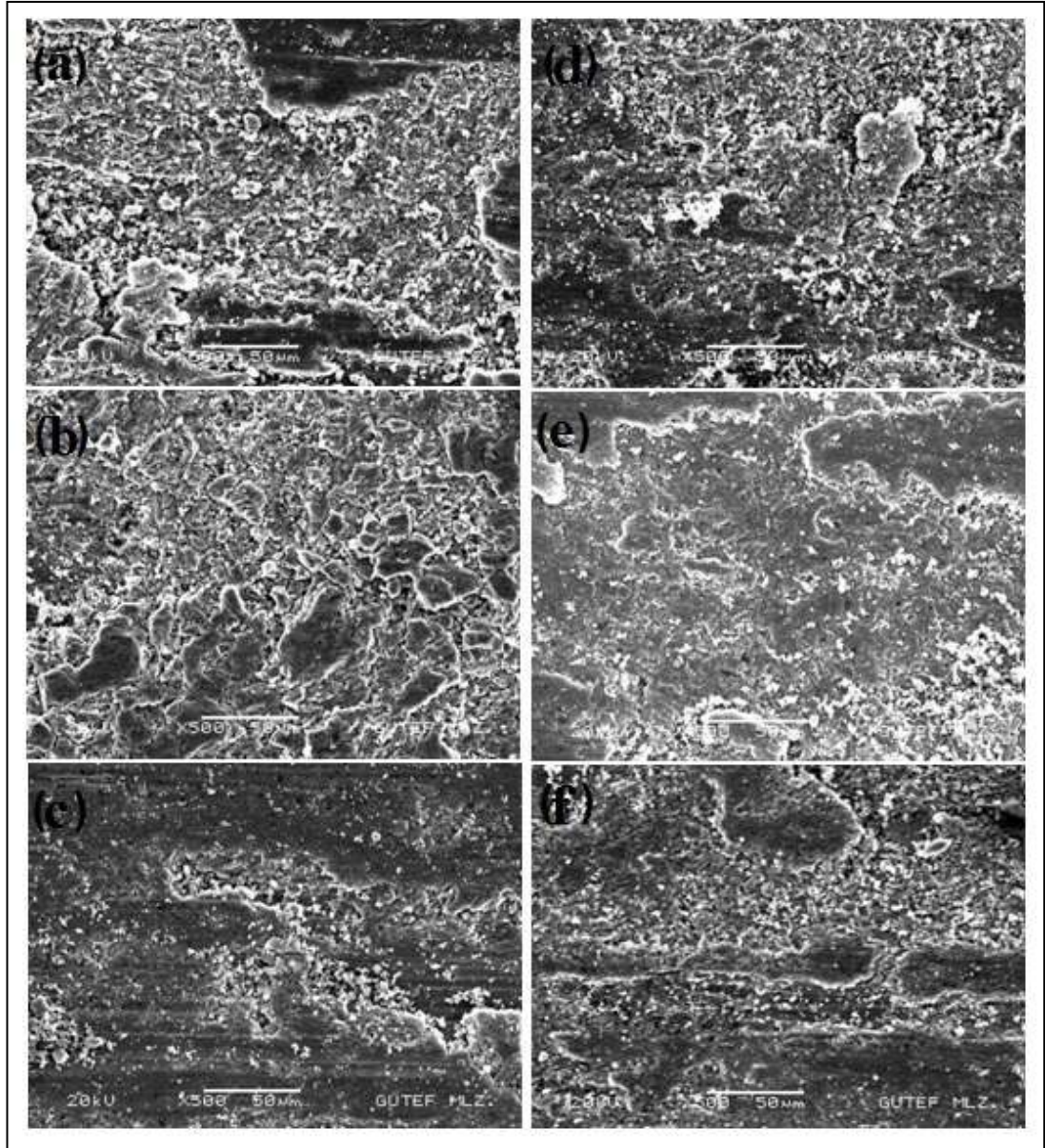
7.4.4. Aşınma Yüzeylerinin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen alüminyum kompozitlerin SEM görüntüleri, Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da verilmiştir.



Şekil 7.9. 7075 Alüminyum alaşımlarına ilave edilen a) %2 Ti, b) %4 Ti, c) %6 Ti, d) %4 Ti + %3 B₄C, e) %4 Ti + %6 B₄C, f) %4 Ti + %9 B₄C içeren kompozitlerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.

AA7075 alaşımına farklı oranda Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen in-situ kompozit numunelere 30 N yük uygulanarak elde edilen aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 7.9'da verilmektedir. Aşınma yüzeyi SEM görüntüleri incelendiğinde, kayma yönü net bir şekilde görülmekte iken, yapıda adhesiv aşınma mekanizmasının ağırlıklı olduğu anlaşılmaktadır. Aşınma yüzeyinden kopan mikro talaş parçacıklarının tekrar ısı ile yüzeye yapışarak kaynaklandığı ve numunelerin aşınma yüzeylerinde çizikler, sıvanma tabakaları, pulcuklaşma, yırtılmalar gibi hasarların oluştuğu görülmektedir. Deformasyon, genellikle küçük mikro tepelikler üzerinde gerçekleşmiştir. Yapı içerisindeki Ti ve B₄C miktarı (% ağırlık) arttıkça üretilen kompozit numunelerinde, Ti ve B₄C parçacıkları koparak hem ağırlık kaybı hem de sert olan bu parçaların yüzeyi kazıyarak aşınmayı hızlandırdığı görülmektedir.



Şekil 7.10. 7075 Alüminyum alaşımlarına ilave edilen a) %3 B₄C, b) %6 B₄C, c) %9 B₄C, d) %9 B₄C + %2 Ti, e) %9 B₄C + %4 Ti, f) %9 B₄C + %6 Ti içeren kompozitlerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.

Gaz atomizasyon yöntemi ile üretilen AA7075 alüminyum alaşımlarına, farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen kompozit malzemeler, 30 N yük altında ve altı farklı (500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m) kayma mesafesi sonunda elde edilen aşınma yüzeyi SEM görüntüleri, Şekil 7.10'da verilmektedir. Aşınma testleri sabit 1m/sn⁻¹ kayma hızında yapılmıştır. Aşınma yüzeyi SEM görüntüleri incelendiğinde, sıvama tabakaları ve kırılmalar gibi aşınmaya neden olan parçacıkların bulunduğu görülmektedir. B₄C miktarı (% ağırlık) artan kompozit

numunelerde kopan parçacıkların aşınma yüzeyinde sıvanma tabakaları oluşturduğu görülmektedir. Aşınma yüzeylerinden ve aşınma sonucunda oluşan ağırlık kayıplarından da anlaşılacağı gibi, ilave edilen Ti ve B₄C'ün artmasıyla aşınmanın azaldığını desteklemektedir. Shrestha ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek yük ile aşındırılan kompozitlerde aşınma miktarının arttığı rapor edilmiştir [80].

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada gaz atomizasyonu ile üretilen AA7075 alüminyum alaşımına, farklı oranlarda Ti ve B₄C ilavesi edilerek elde edilen kompozit toz karışımlar, 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek alüminyum kompozitler üretilmiştir. Atmosfer kontrollü (argon) ortamda 580 °C'de 4 saat sinterlenen kompozitler, SEM, EDS, XRD, yoğunluk, sertlik ve aşınma testleri yapılarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Gaz atomize AA7075 tozlarına farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen kompozitlerin mikro yapı incelemelerinde takviye fazlarının yapıda homojen bir dağılım sergilediği belirlenmiştir.
- XRD incelemelerinde farklı oranlarda Ti ilave edilerek üretilen in-situ kompozitlerde, yapıda AlB₂, B₁₀C, TiAl₃ fazlarının oluştuğu belirlenmiştir.
- İn-situ olarak üretilen Al-Ti kompozitlerde, Ti oranı (% ağırlık) artmasıyla, kompozitlerin yoğunluklarının ve sertliklerinin de arttığı belirlenmiştir.
- Ex-situ olarak üretilen Al-B₄C kompozitlerde, B₄C oranının (% ağırlık) artmasıyla, kompozitlerin yoğunlukları azalırken, sertliklerinin arttığı belirlenmiştir.
- Aşınma testlerinde in-situ olarak üretilen kompozitlerde Ti oranı (% ağırlık) arttıkça, meydana gelen ağırlık kaybının azaldığı belirlenmiştir. Bununla

birlikte, kayma mesafesindeki artışa bağı olarak, ağırlık kaybının da arttığı gözlemlenmiştir.

- Ex-situ olarak üretilen kompozitlerde B₄C oranı (% ağırlık) arttıkça, elde edilen ağırlık kaybının azaldığı gözlenmiştir.
- Hem in-situ hem de ex-situ hibrit kompozit olarak üretilen Al-Ti(sabit)-B₄C kompozitlerde, en düşük ağırlık kaybı %9 B₄C içeren kompozitlerde elde edilmiştir.
- Hibrit kompozit olarak üretilen Al-Ti-B₄C(sabit) kompozitlerde, en düşük ağırlık kaybı %6 Ti içeren kompozitlerde elde edilmiştir.
- Üretilen ex-situ ve hibrit kompozitlerin aşınma oranlarının birbirine yakın olduğu görülürken, üretilen in-situ kompozitlere aşınma oranların arasında önemli bir farklılık olduğu gözlenmiştir.
- İn-situ alüminyum kompozitlerde en düşük sürtünme katsayısı %2 Ti (% ağırlık) içeren alaşımlarda elde edilirken, en fazla yüksek ağırlık kaybının %4 Ti içeren kompozitlerde elde edilmiştir.
- Aynı durum hibrit Al-Ti(sabit)-B₄C, Al-Ti-B₄C(sabit) ve Al-B₄C kompozitlerde de gözlenmiştir.

8.2. ÖNERİLER

- 7075AA alaşımına farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek kompozit malzemeler üretilebilir.
- Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen AA7075 alaşımına farklı sinterleme sıcaklıkları ve sinterleme süreleri artırılarak üretilmeleri denenebilir.
- Aşınma deneyi yapılırken farklı kuvvet ve farklı yol alınabilir.
- AA7075 alaşımına farklı oranlarda Ti ve B₄C ilave edilerek üretilen kompozit malzemeler aşınma deneyine tabi tutulabilir.

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. I., 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 Kımkoğlu, 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", *Scirpta Materialia*, 44: 203-266 (2001).
9. Moon, K. I. and Lee, K. S., "Compressive deformation behaviour of nanocrystalline Al-5at %Ti alloys prepared by leactive ball millinh in H2 and ultia-high-pressure hot pressing", *Journal of Alloys and Compounds*, 333: 249-259 (2002).
10. Moon, K. I., Park, H. S. and Lee, K. S., "Consolidation of nanocrystalline Al-5at %İİ alloys powders by ultra-high-pressure hot pressing", *Material Science and Engineering*, A (323): 293-300 (2001).
11. Bhadeshia, H. K. D. H., "Thermodynamics and phase diagrams lecture, mechanical alloying, case study", *Material Science and Metalurgy*, 345: 412-420 (2002).
12. Moon, K. I., 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. I., 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., Göçeli, Z. ve Yiğit, G., "Alüminyum döküm teknolojisi ve kalıpcılığı", *Anadolu Üniversitesi Alüminyum Döküm Teknolojisi ve Kalıpcılığı Bölümü*, Porsuk Eskişehir, 90-91 (2003).
15. Trinh, D. and Müller, M., "Aluminides", 4H1609 Functional Materials, *Project Report Kill*, 22-35 (2002).
16. Djanarthany, S., Viola, J. C. and Bouix, J., "An overview of monolithic titanium aluminides based on Ti₃Al 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. Surappa, M. K., "Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities", *Sadhana*, 28 (1-2): 319-334 (2003).
19. Tsunemichi, I., JianFu, M., Shangli, D., Ichinori, S., Naobumi, S. and Gilles, L., "High strain rate superplasticity of TiC particulate reinforced 2014 aluminum alloy composites", *Materials Science and Engineering A*, 364: 281-286 (2004).
20. Rajan, T. P. D., Pillai, R. M. and Pai, B. C., "Review Reinforcement coatings and interfaces in aluminium metal matrix composites", *Journal of Materials Science*, 33: 3491-3503 (1998).
21. Shorowordi, K. M., Laoui, T., Haseeb, A. S. M. A., Celis, J. P. and Froyen, L., "Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: a comparative study", *Journal of Materials Processing Technology*, 142: 738-743 (2003).
22. Candan, E., "Effect of alloying elements to aluminium on the wettability of Al/SiC system", *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 26: 1-5 (2002).
23. Fujii, H., Nakae, H. and Okada, K., "Interfacial reaction wetting in the boron Nitride/Molten aluminium system", *Acta Metalic Mater*, 41 (10): 2963-2971 (1993).
24. Froyen, L. and Verlinden, B., "Aluminium Matrix Composites Materials, TALAT Lecture 1402", *European Aluminium Association*, Vlaams Brabant 25-38 (1994).
25. Oh, S. Y., Cornie, J. A. and Russel, K.C., "Wetting of Ceramic Particulates with Liquid Aluminium Alloys: Part II. Study of Wettability", *Metallurgical Transactions A*, 20 (A): 533-541 (1989).

26. Halverson, D. C., Pyzik, A. J. and Snowden, W. E., "Processing of Boron Carbide-Aluminium Composites", *J. Am. Ceram. Soc.*, 72 (5): 755-780 (1989).
27. Kennedy, A. R. and Brampton, B., "The Reactive Wetting and Incorporation of B₄C Particles into Molten Aluminium", *Scripta Materiala*, 44: 1077-1082 (2001).
28. Lee, B. S. and Kang, S., "Low-temperature processing of B₄C-Al composites via infiltration technique", *Materials Chemistry and Physics*, 67: 249-255 (2001).
29. Li, Z. W., Gao, W., Zhang, D. L. and Cai, Z. H., "High temperature oxidation behaviour of a TiAl-Al²O₃ intermetallic matrix composite", *Corrosion Science*, 30: 46-50 (2007).
30. 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 (2008).
31. Kalaycıoğlu, A. S., "SiC tane katkılı alüminyum kompozitlerin toz metalürjisi ile üretimi ve karakterizasyonu", Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 41-52 (2010).
32. Deng, C. F., Wang, D. Z., Zhang, X. X. and Li, A. B., "Processing and properties of carbon nanotubes reinforced aluminum composites", *Materials Science and Engineering A*, 444: 138-145 (2007).
33. Çalın, R., "Magnezya parçacık takviyeli Al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 23-33 (2006).
34. 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).
35. Türk Toz Metalürjisi Derneği, "Toz Metalürjisi Üretim Teknikleri", *Türk Toz Metalürjisi Derneği*, Ankara, 79-82 (2005).
36. Arslan, F., "Sıvı faz sinterlenmesi", *Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı*, 16-17 Eylül, Ankara, 551-558 (1996).
37. German, R. M., "Phase diagrams in liquid phase sintering treatments", *J. of Metals*, 38: 26-29 (1986).
38. Cebeci, H. A., "Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen SiC takviyeli alüminyum kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi", Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 80-90 (2008).
39. 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).

40. Back, W. H. and German, R. M., "Transient liquid phase sintering of iron-titanium", *Pow. Met. Int.*, 17: 273-279 (1989).
41. 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).
42. Demirel, M., "Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen metal matrisli kompozitlerde Nİ3A1 metalleri arası bileşik takviyesinin aşınma davranışına etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 45-47 (2007).
43. Yangyun, S. and Brook, R. J., "Preparation of zirconium-toughened ceramics by reaction sintering", *Sci Sintering*, 17: 35-47 (1985).
44. Miyamoto, Y., Korzimi, M. and Yamada, Ö., "High pressure self combustion sintering for ceramics", *J. Amer. Cer. Soci*, 67: 224-225 (1984).
45. 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).
46. Meyveci, A., "Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 87 (2007).
47. Odabaş, D. ve Topal, E. S., "100Q6 çeliğinin iki cisimli abrasif aşınma davranışının kuru veya sıvı sürtünme şartlarında deneysel araştırılması", *Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli, 396-405 (1995).
48. Donald, R. A., "The science and engineering of materials third edition, psw publishing company", *University of Missouri/Rolla*, ABD 123 (2005).
49. Ertan, G., "İş makinelerinde aşınma ömrü kriterlerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 88 (1999).
50. Ulusoy, E., "Bazı toprak işleme alet ve makinelerinde iş organlarının aşınması üzerinde araştırmalar", *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, 390: 11 (1981).
51. Soydan, Y. ve Ulukan, L., "Sürtünme ve aşınma direnci ölçme yöntemleri", *8. Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, Ankara 581-588 (1988).

52. Yılmaz, F., "Sürtünme ve aşınma", **9. Uluslar Arası Metalürji ve Malzeme Kongresi**, İstanbul, Türkiye, 229-247 (1997).
53. Djanarthany, S., Viola, J. C. and Bouix, J., "An over view of monolithic titanium aluminides based on Ti3Al and TiAl", *Materials Chemistry and Physics*, 72 (31): 301-319 (2001).
54. Gwidon, W. S., and Andrew, W.B., "Engineering Tribology", *Department of Mechanical and Materials Engineering University of Western Australia*, Australia, 483-573 (2007).
55. Gürleyik, M. Y. "Soğuk deformasyonla aşınma direnci artırılabilir", **2. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, Ankara, 501-510 (1986).
56. Hurricks, P. L., "Some metallurgical factor controlling the adhesive and abrasive wear resistance of steels a review", *Wear*, 26: 285-304 (1973).
57. Karamış, M. B., "Traktör hızı ve pulluk çalışma derinliğinin uç demiri aşınma hızına etkileri ve optimizasyonu", *Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu*, Gaziantep, 668-677 (1986).
58. Habıg, K. H., "Verschleiß UND hörte von Werkstoffen", *Hanser - Verlag München - Wien*, 88 (1980).
59. Anık, S., Anık E. S, ve Vural, M., "Malzeme Bilgisi ve Muayenesi", *Birsen Yayinevi*, İstanbul, 127-143 (1977).
60. Karamış, M. B., "Abrasiv aşınma mekanizmasında yüzey basıncının aşınmaya etkisi", *Z Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, Ankara, 90 (1986).
61. Kurtçu, A. C., "SiC katkılı alüminyum matrisli kompozitlerde aşınma davranışının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 49: 3-500 (1995).
62. Yılmaz, M., "Alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 32-37(1996).
63. Eruslu, N. ve Kayalı, E. S, "Hasar Analiz Seminer Notları", *TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası*, İstanbul, 52 (1997).
64. Özdin, K., "Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-22 (2006).
65. Yılmaz, T., "İyonitürleme yoluyla sertleştirilmiş SAE 4140 çeliğinin aşınma dayanımının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 27-30 (1992)

66. Li, T., Jiang, F., Eugene, A., Olevsky, B., Kenneth, S., Vecchio, A. and Marc, A., "Damage evolution in Ti6Al4V-A13Ti metal-intermetallic laminate composites" *Materials Science and Engineering*, A (443): 1- 15 (2007).
67. Arıkan, R., "MOS2 ilaveli Çinko - Alüminyum esaslı kompozitlerin yapımı ve aşınma özellikleri" *3. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Ankara, 67-72 (1988).
68. Mutlu, H., "Al - SiC kompozitlerin termomekaniksel işlem sonrası aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 537-547 (1996).
69. 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).
70. 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).
71. D. Özyürek, S. Tekeli, T. Tuncay, R. Yılmaz. "The effect of synthesis time on the wear behavior of Al-8%Ti alloy produced by mechanical alloying", *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 51 7-8, (2012), 351-356.(SCI).
72. QIO Cong-zhang, LIU Yong, HHUANGI Lan, LIU bin, ZHANG Wei, HE Yuehui, HUANG Bai-yun "*State Key Laboratory of Powder Metallurgy*", Central South University, Changsha 410083, 2593-2063, 22(2012).
73. NIU Li-bin, ZHANG Ju-mei, YANG Xiao-lan, "*In-situ synthesis of Al3Ti particles reinforced Al-based composite coating*", College of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710055, 1387-1392, 22(2012).
74. Guoliang Zhu, Yongbing Dai, Da Shu, Yanping Xiao, Yongxiang Yang, Jun Wang, Baode Sun and Rob Boom, "First-principles study of point defects and Si site preference in Al3Ti", *The State Key Laboratory of Metal Matrix Composites*, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China, 2636-2639, 50(2011).
75. D. Özyürek, S. Tekeli, A. Güral, A. Meyveci and M. Gürü, "Effect of Al2O3 Amount on Microstructure and Wear Properties of Al-Al2O3 Metal Matrix Composites Prepared Using Mechanical Alloying Method", *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 49, 5-6, (2010), 289-294. (SCI)(Atıf Sayısı:3).
76. D. Özyürek and İ. Çiftçi, "An Investigation into Wear Behaviour of TiB2 Particle Reinforced Aluminum Composites Produced by Mechanical Alloying", *Science and Engineering of Composite Materials*, 18 (1-2), 5-12. (SIC) (Atıf Sayısı:1).

77. D. Özyürek, M. Yıldırım and İ. Çiftçi, "The Tribological Properties of A356-SiCp metal-matrix composites fabricated by thixomoulding technique", *Science and Engineering of Composites Materials*, 19 (4), (2012), 351-356 (SCI).
78. T. Tunçay, S. Tekeli, D. Özyürek, "The effects of diffuser and non-diffuser runner systems the mechanical properties of A356 alloy", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol 28 (2), (2013), 241-249 (SCI).
79. I. Sağlam, D. Özyürek and K.Çetinkaya, "Effect of ageing treatment on wear properties and electrical conductivity of Cu-Cr-Zr alloy", *Bulletin of Materials Science*, Vol.34 (7), (2011), 1464-1470. (SCI), (Atıf Sayısı:3).
80. Shrestha NK, Kawai M, Saji T. "Co-deposition of B4C particles and nickel under the influence of a redox-active surfactant and anti-wear property of the coatings". *Surf Coat Technol*, Bürüksel, Belçika, 200: 2414–9 (2005).

ÖZGEÇMİŞ

Harun AY 1982 yılı Yüreğir/ADANA doğdu. İlk ve Orta eğitimini aynı şehirde tamamladı. 2001 yılında Karşıyaka Endüstri Meslek Lisesi'ni tamamladıktan sonra 2007 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Döküm Öğretmenliği Programı'nda Lisans eğitimine başlayarak 2011 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği ana bilim dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı, halen aynı ana bilim dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Doğankent Mahallesi Akdeniz Caddesi
Ev no: 12 Yüreğir / ADANA

Tel : 0 535 504 08 35

E-posta : harunay01@hotmail.com
harunay001@gmail.com