

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIKIŞTIRMA DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ ve SOĞUK HADDELENMİŞ AlMg3/SiCp
KOMPOZİTİNİN AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Cuma KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN

2008
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIKIŞTIRMA DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ ve SOĞUK HADDELENMİŞ AlMg₃/SiCp
KOMPOZİTİNİN AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Cuma KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 26/08/2008 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Nurşen ÖNTÜRK
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Nilhan ÜRKMEZ
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN
Jüri Üyesi-Tez Danışmanı

ÖNSÖZ

Alüminyum matrisli kompozit malzemeler (Al-MMK) ihtiva ettikleri takviye türü, hacmi ve üretim şekillerine bağlı olarak karakteristik özelliklerinde değişiklik gösterirler. Genelde toz metalurjisi ya da sıvı yöntemlerle üretilbilirler. Parçacık takviyeli Al-MMK üretimi diğer (fiber, levhasal, tabakalı gibi) kompozitlere göre daha ekonomik ve kolay olmasının yanında diğer kompozitlerden daha üstün mekanik özelliklere sahiptirler. Parçacık takviyeli kompozitler izotropik özellik gösterirler ve ekstrüzyon, haddeleme ve dövme işlemleri gibi ikincil operasyonlar uygulanabilir.

Al matrisli parçacık takviyeli kompozitlerin, ticari Al alaşımları ile kıyaslandığında artan sertlik, yüksek aşınma direnci, yüksek mukavemet, titreşim azaltıcı ve düşük ısıl yayılım katsayısı gibi malzemelerde istenilen bütün özellikleri bir arada bulundurması nedeniyle daha da önemli hale gelmiştir.

Bu tezin hazırlanması sırasında benden ilgi ve desteklerini esirgemeyen başta danışman hocam Yrd. Doç. Vedat TAŞKIN ve Yrd. Doç. Nilhan ÜRKMEZ hocalarıma, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU ve Prof. Dr. Hatem AKBULUT'a, deneysel çalışmalarda emeği geçen arkadaşlarım İ. Metin ÖZKARA, Fatih KILIÇ ve Ahmet SAĞLAM'a ve de her zaman yanımda olan aileme TEŞEKKÜR'ü bir borç bilirim.

ÖZET

Yapılan çalışmada sıkıştırma döküm yöntemiyle farklı hacim oranlarında SiC parçacıkları ile takviye edilmiş Al-Mg esaslı (AA5754) metal matrisli kompozitin aşınma davranışı ve sürtünme katsayısı değişimi farklı yüklerde ileri-geri aşınma testi yapan reciprocating aşınma cihazı ile incelenmiştir. Deneyler oda sıcaklığında 6.0 N ve 1.0 N yük altında yapılmıştır. Malzemenin yüksek oranda yük uygulandığında takviye oranı düştükçe plastik deformasyona uğradığı ve deformasyon sertleşmesinin etkisiyle sürtünme katsayısının düştüğü görülmüştür. Yükün artmasının sürtünme katsayısını büyük oranda arttırdığı, takviyesiz ve düşük oranlarda takviyeli kompozitlerde 6 N yük altında aşınmadan çok deformasyon meydana geldiği SEM resimlerinde görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AA5754 Matrisli Kompozitler, SiCp, Soğuk Haddeme, Sıkıştırma Döküm, Sürtünme, Aşınma

ABSTRACT

ABRASIVE WEAR OF ABRASION AND COLD FORMING FOR THE COMPOSITE PRODUCED BY SQUEEZE CASTING METHOD WITH Al-Mg MATRIX (AA5754) SiC_p CONSOLIDATION

For this study, the abrasion behavior and coefficient of friction change for the metal matrix composite with Al-Mg basis (AA5754) to which SiC particles in various volume ratio were consolidated with compression casting method was examined through a reciprocating device that tests back-and-forth various charges. The experiment started with the rolling of the Al₂O₃ ball under 6.0 N and 1.0 N charge in room temperature. A plastic deformation was observed and coefficient of friction decreased due to the deformation hardening as the consolidation ratio of the material decreased in parallel to a high-rate of charges onto it. It was observed that increase in the charge changed the coefficient of friction to a great extent, plus it was seen in SEM pictures that deformation rather than abrasion was observed under 6 N charges for the consolidation-free material and 5% consolidation material.

Keywords: AA5754 matrix composites, SiC_p, Cold Forming, Squeeze Casting, Friction, wear

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
BÖLÜM I	1
1.1 GİRİŞ	1
1.2. KOMPOZİT MALZEMELER	3
1.2.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı	3
1.2.2 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	4
1.2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
1.2.3.1. Metal Matrisli Kompozitler	6
1.2.3.1.1. Parçacık Takviyeli MMK Malzemeler	8
1.2.3.1.2. MMK'nın Karakteristiği	11
1.2.3.1.3. Metal Matrisli Kompozitlerde Matris Malzemeleri	12
1.2.3.1.3.a. Matris Olarak Al-Mg	14
1.2.3.1.4. Metal Matrisli Kompozitlerde Takviye Fazları	19
1.2.3.1.4.a. Takviye Olarak SiC	20
1.2.3.1.5. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	22
1.2.3.1.6. Metal Matrisli Kompoziterin Üretimi Yöntemleri	25
1.2.3.1.6.a. Sıkıştırma Döküm Yöntemi (Squeeze Casting)	27

1.2.4. Kompozit Malzemelerin Haddelenmesi	31
1.2.4.1. Soğuk Haddelemenin Malzemeye Etkisi.....	34
2. SÜRTÜNME VE AŞINMA	37
2.1 SÜRTÜNME	37
2.2 AŞINMA	39
2.2.1. Aşınma Türleri	40
2.2.1.1. Abrasif Aşınma	41
2.2.1.2. Difüzyon Aşınması.....	43
2.2.1.3 Oksidasyon Aşınması	44
2.2.1.4 Yorulma ve Tabakalaşma Aşınması.....	45
2.2.1.5 Adhesif Aşınma.....	45
3. KAYNAK TARAMASI	49
4. METERYAL ve METOD	71
4.1. Malzeme	71
4.2. Mikroyapı	73
4.3. Aşınma Deneyi	75
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	77
5.1. Sonuçlar	77
5.1.1. Haddesiz Numunelerde Deney Sonuçları.....	77
5.1.2. Haddeli Numunelerde Deney Sonuçları.....	87
5.1.3. Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması.....	91
5.1.4. Aşınma Miktarının Karşılaştırılması.....	93
5.2. Tartışma	94
6.ÖNERİLER	97
KAYNAKÇA	98
ÖZGEÇMİŞ.....	103

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
°C	Santigrad derece
Fs	Sürtünme Kuvveti
m	Metre
mm	milimetre
μ	Sürtünme Katsayısı
Po	Porozite
Sn	Saniye
N	Uygulanan Yük (Newton)
Lap	Çevrim Sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit takviye elemanı
Al-Mg	Alüminyum magnezyum alaşımı
Al-MMK	Alüminyum matrisli kompozit
B ₄ C	Bor karbür
DIN	Alman Kalite Teşkilatı
Mg	Magnezyum
MMK	Metal matrisli kompozit
MPa	Mega paskal
Ni	Nikel elementi
PMK	Polimer Matrisli Kompozit
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SMK	Seramik Matrisli Kompozit
SiC	Silisyum karbür takviye elemanı
SiCp	Silisyum karbür parçacık
Si ₃ N ₄	Silisyum nitrür
SiO ₂	Silisyum oksit
TM	Toz Metalurjisi
TS	Türk Standartları
TiC	Titanyum karbür kaplama malzemesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Kompozit Malzemelerin Malzeme Sınıfları	4
Şekil 1.2 Parçacık takviyeli metal matrisi kompozitin şematik yapısı	10
Şekil 1.3. Al-MMK (a) Piston kolu prototipi, (b) Fren parçaları, (c) Kardan mili	17
Şekil 1.4 Askeri uçaklarda kompozit uygulamaları	25
Şekil 1.5. MMK'ların sıkıştırma döküm yöntemi ile üretiminin şematik olarak gösterilişi a-d) Metal kalıba döküm e-f) Metal kalıp içerisindeki preforma döküm	29
Şekil 1.6 Haddeleme	32
Şekil 1.7 (a) Soğuk Deformasyonun malzeme mukavemeti üzerindeki etkisi (b) deformasyonun yönüne tane uzaması	33
Şekil 1.8. Soğuk şekillendirilmenin metallere etkileri (a) Soğuk şekillendirmenin kristal yapıya etkisi (b) Soğuk şekillendirilmiş metallerde kayma düzlemlerinin şekil değişimi (c) Çatlak yayılım mekanizması (d) Elektrik iletkenliğine soğuk şekillendirmenin etkisi	34
Şekil 2.1. Sürtünme Çeşitleri a: Kuru b:Sınır c: Sıvı.....	38
Şekil 2.2 Tribolojik bir sistemin elemanları.....	40
Şekil 2.3. Temel aşınma mekanizmaları; 1-Abrasyon, 2-Difzyon, 3 Oksitlenme, 4 Yorulma, 5-Adhesyon.....	41
Şekil 2.4 Abrasif Aşınmanın Oluşumu Şematik (sol) ve Kesici Kenarın SEM Görüntüsü (sağ)	42
Şekil 2.5. Abrasif aşınma mekanizması a) Oymalı b) Öğütmeli c) Erozyon	43
Şekil 2.6 Adhesif Aşınmanın Oluşumu Şematik (sol) ve Kesici Kenarın SEM Görüntüsü (sağ).....	46
Şekil 2.7. Adhesif aşınmasının oluşması (a) Yükün etkisiyle kaynak (b) Hareketin etkisiyle kaynağın kopması	47
Şekil 2.8. Adhesif Aşınma Türleri.....	47
Şekil 4.1 Sıkıştırma döküm yöntemi	72
Şekil 4.2 Matris malzemesi AA5754 alaşımının döküm sonrası SEM görüntüsü[48]...	73
Şekil 4.3 Hadde uygulanmamış AA5754 / %5 SiCp malzemesinin SEM görüntüsü[48]	74
Şekil 4.4 AA5754 / %10 SiCp kompozit malzemesinin %20 Hadde uygulanmış mikroyapısı.....	74
Şekil 4.5 AA5754/ %10 SiCp kompozit malzemesinin hadde uygulanmamış mikroyapıları	74
Şekil 4.6 AA5754/ %15 SiC kompozit malzemesinin mikroyapıları	75

Şekil 4.7 AA5754 -% 20SiCp kompozit malzemesinin mikroyapı SEM fotoğrafları....	75
Şekil 4.8. Aşınma deney düzeneği resmi	76
Şekil 4.9. Aşınma Deney Düzeneği Şematik Yapısı	76
Şekil 5.1 AA5754 (Al-Mg) alaşımının 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi	77
Şekil 5.2 AA5754 (Al-Mg) alaşımının 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi	77
Şekil 5.3 Takviyesiz AA5754 Alaşımının 6 N Yük Altında Aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri.	78
Şekil 5.4 Takviyesiz AA5754 alaşımın Aşınma Deneyi yapılmış numunenin EDS analiz sonuçları.	78
Şekil 5.5. %5 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	79
Şekil 5.6 % 5 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	79
Şekil 5.7: %5 SiC takviye edilmiş AA5754 kompozitinin 6 N Yük Altında Aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri.	80
Şekil 5.8. %5 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin Aşınma Deneyi yapılmış numunenin EDS analizi	80
Şekil 5.9 % 10 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	81
Şekil 5.10 % 10 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	81
Şekil 5.11: %10 SiC takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri	82
Şekil 5.12. %10 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin Aşınma Deneyi yapılmış numunenin EDS analizi.....	82
Şekil 5.13 % 15 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	83
Şekil 5.14 % 15 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	83
Şekil 5.15: %15 SiC takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri	84
.....	84
Şekil 5.16: %15 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin Aşınma Deneyi yapılmış numunenin EDS analizi	84
Şekil 5.17 % 20 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	85

Şekil 5.18 % 20 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	85
Şekil 5.19 %20 SiC takviye edilmiş AA5754 kompozitinin aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri	86
Şekil 5.20 % 20 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma deneyi yapılmış numunenin EDS analizi.....	86
Şekil 5.21 % 20 Haddelenmiş Takviyesiz AA5754 Alaşımının 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi	87
Şekil 5.22. % 20 Haddelenmiş Takviyesiz AA5754 Alaşımının 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi	87
Şekil 5.23: %20 Haddelenmiş AA5754 Alaşımın aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri	88
Şekil 5.24 % 20 Haddelenmiş AA5754 alaşımının aşınma deneyi yapılmış numunenin EDS analizi.....	88
Şekil 5.25. % 20 Haddelenmiş %10 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitinin 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi	89
Şekil 5.26. % 20 Haddelenmiş %10 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitinin 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi	89
Şekil 5.27. %10 SiC takviyeli %20 Haddelenmiş AA5754 Kompozitinin aşınma yüzey resimleri.....	90
Şekil 5.28 % 20 Haddelmiş % 10 SiC takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma deneyi yapılmış numunelerin EDS analizi	90
Şekil 5.29: % SiC Takviye oranının artmasıyla 1 N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin Sürtünme Katsayısındaki Değişim	91
Şekil 5.30: % SiC Takviye oranının artmasıyla 6 N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin Sürtünme katsayısındaki Değişim.	91
Şekil 5.31: % Hadde oranının artmasıyla 1 N ve 6 N Yük altında AA5754 alaşımı AA5754-%10 SiC kompozitinin Sürtünme katsayısındaki Değişim.....	92
Şekil 5.32: % SiC Takviye oranının artmasıyla 1 N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin aşınma miktarındaki değişim	93
Şekil 5.33: Hadde Oranı ve SiC Takviye oranının artmasıyla 1 N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin aşınma miktarındaki değişim.	93
Şekil 5.34 Malzemede yoğunluğunun az olması ve takviye boyutunun küçük olmasının aşınmaya etkisi	96

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. MMK malzemelerde matris metali olarak en çok kullanılan bazı metal ve alaşımların mekanik özellikleri	14
Tablo 1.2. SiC ve Al_2O_3 takviyelerinin özellikleri	20
Tablo 1.3. Değişik yöntemler ile üretilen SiC takviye malzemesinin özellikleri.....	21
Tablo 4.1 kullanılan malzemenin bileşimi	71
Tablo 4.2 Deney numunelerinin teorik ve özgül ağırlıkları ve porozite oranları.....	72
Tablo 4.3 : Malzemenin cinsi ve uygulanan hadde miktarı	73

BÖLÜM I

1.1 GİRİŞ

Her alanda yeni malzeme geliştirme, varolan malzemelerin özelliklerini iyileştirme ve bu bağlamda özellikle kompozit malzemelerin geliştirilmesi konularında birçok çalışmanın yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Hızla gelişen günümüz teknolojisinin, elektronikteki gelişmeler kadar malzeme bilimindeki gelişmelere de bağlı olduğu açıktır. Enerji, iletişim, ulaşım, havacılık, uzay gibi sivil ve askeri amaçlı sektörlerde halen çalışılan veya planlanan sistemlerdeki teknolojik gelişmeler, yeni malzemelere olan gereksinimi arttırmaktadır. Geleneksel metaller ve alaşımları ile seramik malzemeler, sadece doğal özellikleri nedeniyle devam eden araştırma ve gelişmelerle gelişmiş sistemlerin gereksinimlerini karşılamakta zorlanmaktadır[1]. 1980’li yılların başlarından beri üzerinde çalışılan malzeme gruplarından biri olan metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek çekme ve basma mukavemeti, iyi korozyon direnci ve aşınma dayanımı ile metallerin süneklik ve tokluğunu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirmelerinden dolayı son derece önemli mühendislik malzemeleri haline gelmişlerdir [2].

Bunun yanı sıra bazı dezavantajları ise, üretimlerinin güçlüğü, pahalı olması, işlenmelerinin güç olması, maliyetin yüksek olması, gerekli yüzey kalitesinin elde edilmeyişi ve kopma uzamasının az oluşu gibi özelliklerdir [3].

MMK’lerde matris olarak Al,Ti, Mg, Cu, Ni,Co, Pb, Ag, Zn, Fe, Nb, bronz, süper alaşımlar ve intermetalikler kullanılırken, takviye elemanı olarak Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiC, karbon, Si_3N_4 gibi elyaf veya parçacıklar kullanılmaktadır [4].

Kompozit malzemelerin üretiminde uygulanabilen başlıca yöntemler; sıvı metal emdirme tekniği, sıkıştırma veya dövme döküm tekniği, basınçlı veya basınçsız infiltrasyon, sıvı metal karıştırılması tekniği, hızlı katılaşma yöntemi, yarı katı

karıştırma tekniği, plazma püskürtme tekniği, toz metalurjisi tekniği, difüzyon bağlama, vakumda presleme tekniği, sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme tekniğidir [3].

Matris olarak en çok alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Bunlar hafif, dökümü kolay ve üstün mekanik özelliklere sahip, yoğunluklarının düşük, elektrik ve ısı iletkenliklerinin ise yüksek olması nedeniyle üretim ve imalat sektöründe tercih edilen malzemelerdendir. Ancak Al ve alaşımlarının aşınma dirençlerinin düşük olması, uygulama alanlarını kısıtlamaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının mevcut özelliklerini iyileştirmek için whisker, fiber veya parçacık biçimli sert takviye elemanları kullanılarak alüminyum matrisli kompozit malzemeler üretilmektedir. MMK malzemelerin aşınma performansları ise matris ve takviye elemanının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir [5,6,7].

Aşınma, makine elemanlarında enerji, malzeme ve zaman kayıplarına yol açan ve dolayısıyla ülke ekonomilerini önemli ölçüde etkileyen istenmeyen bir durumdur. Aşınma türleri ve mekanizmalarının çok iyi bilinmesi, aşınma kayıplarını asgariye indirmede önemli açılımlar sağlayacaktır. Malzeme seçimi, yüzey işlemleri ve yağlama sistemi seçimi gibi iyileştirme çabaları da aşınma kayıplarını asgariye indirmek için önemli parametrelerdir[8].

MMK'ların mekanik davranışları üzerine yapılan araştırmalar önem kazanmaktadır. Yapılan çalışmalar, malzeme cinsi, katkı fazının hacimsel oranı ve anayapı içerisindeki dağılımı ve arayüzey özellikleri MMK'ların deformasyon ve hasar parametreleri kontrol edilebilir olduğunu göstermektedir. Bu parametrelerden bir çoğu büyük oranda kompozitin ısıtılma işlem geçmişine ve üretim şartlarına bağlıdır. Literatürde kompozit malzemelerin hasar oluşumuna neden olan üç farklı kaynak tanımlanmıştır bunlar ; arayüzeyin ayrılması, takviyenin hasarı ve anayapının hasarıdır.

MMK'ların aşınma davranışları genellikle mikroyapı özelliklerine, uygulanan yüke ve temas yüzeyine bağlıdır. Al-MMK'ların aşınma özellikleri üzerine katkı fazının etkisi Bhansali and Mehrabian çalışmalarında şu şekilde belirtmişlerdir ; Al_2O_3 katkılı Al-MMK'lar SiC katkılı Al-MMK'lara göre daha yüksek aşınma direnci

göstermektedir. Bu davranış SiC 'ün Al anayapı ile oluşturduğu gevrek arayüzeyden kaynaklandığı belirtilmiştir. Aşınma olayı sırasında parçanın üçte bir oranında daha az aşınmasına neden olan MMK'nın bünyesinde seramik parçacıklarla oluşturduğu kuvvetli bağ, parçacıkların daha az ayrılması ile sonuçlanır. Genel olarak parçacık katkılı kompozitlerde düşük enerjili parçacık-anayapı arayüzeyi ve arayüzeylerle sünek bağ oluşumu tercih edilmektedir. Katkı fazının artması aşınma direncini arttırmaktadır [7].

1.2. KOMPOZİT MALZEMELER

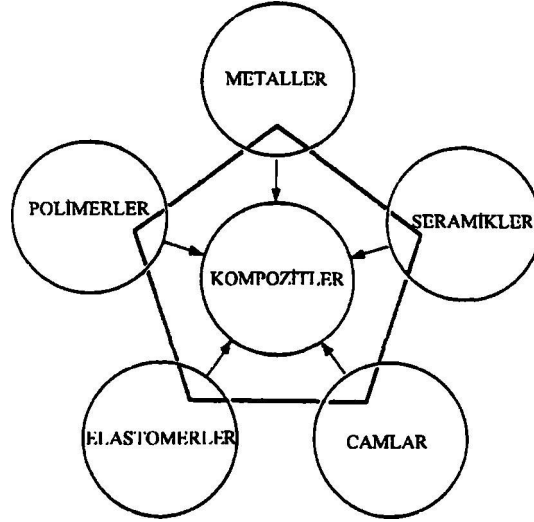
1.2.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı

Malzeme sektörü, ekonomide tüm faaliyetlere girdi sağlayan temel, yayılğan (jenerik) alanlardan biridir. Bu niteliği açısından mikro-elektronik, biyoteknoloji ve nanoteknoloji ile birlikte sinai üretimin karakterini dönüştürecek ana teknolojik alanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Savunma, havacılık, mikro-elektronik, iletişim ve otomotiv sektörlerinde kullanılacak ileri malzemelerin ortaya çıkışı, malzeme biliminin bu gereksinimleri karşılayabilecek çok disiplinli, proses ağırlıklı bir alana dönüşmesiyle birlikte ilerlemektedir. Polimerik ve kompozit malzemeler, akıllı ve işlevsel malzemeler, optoelektronik malzemeler gibi önümüzdeki yıllarda önemli çekim alanları oluşturacak ileri malzeme alanları, ülkemiz için de önemli fırsat alanlarıdır [8]. Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılır. Bir kompozit malzeme genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanından oluşmaktadır. Ancak moleküler ve atomsal düzeyde birleştirilen malzemeler, alaşımlar mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak adlandırılmazlar [10,11]

Bir malzemenin kompozit sayılabilmesi için kabaca aşağıdaki özellikleri taşıması gerekmektedir.

- İnsan tarafından üretilmelidir,
- Farklı bileşenlerle beraber kimyasal olarak birbirinden farklı en az iki malzemenin kombinasyonundan oluşmalıdır,
- Kompozit malzemeyi oluşturan ayrı malzemeler üç boyutlu olarak birleşmelidirler (kaplama metalleri ve bal peteği gibi laminar malzemeler ayrı malzeme kullanıldığı için temel olarak kompozit malzeme sayılmazlar),
- Kompozit, kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başlarına sahip olamayacakları özellikler göstermelidir.

Kompozit malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları Şekil 1.1’de verilmiştir [12].



Şekil 1.1: Kompozit Malzemelerin Malzeme Sınıfları [13]

1.2.2 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerini alabilecektir.

Yüksek Mukavemet : Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı

kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemeden tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

Elektriksel Özellikler : Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilere zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

Kalıcı Renklendirme: Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

Titreşim Sönümleme: Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümleme ve sok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır.

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
- Hammaddenin pahalı olması; Uçaklarda kullanılabilecek kalitede karbon elyafının bir metre karelik kumaşının maliyeti yaklaşık 50 \$'dır.

- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği bulunmaktadır.
- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur.
- Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar bir çok sanayi kolunda problemleri çözümleyecek bir malzemedir [9,14].

1.2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin sınıflandırılmasında birçok sınıflandırma şekli kullanılmıştır [15,16,17].

Matris malzemelerine göre kompozitler üçe ayrılmaktadır[16,17].

- Seramik matrisli kompozitler,
- Polimer matrisli kompozitler,
- Metal matrisli kompozitler.

1.2.3.1. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitlerin üretim ve kullanımları son 20 yılda teknolojik gelişmelerle birlikte, özellikle otomotiv endüstrisi ile uzay ve havacılık sektöründe artış göstermiştir. Metal matrisli kompozitler, tek bileşenli malzemelerle ulaşılamayan yüksek elastisite modülü, yüksek mukavemet ve yüksek aşınma direnci gibi özellikleri sağlamak üzere en az biri metal ve metal alaşımı, diğeri sürekli fiber, kılcal kristal veya parçacık şeklinde SiC, TiC, B₄C ve Al₂O₃ gibi seramik takviye olmak üzere iki farklı sistemin birleşimi ile elde edilmektedir [18].

Kompozit malzemelerde metalik matrislerin kullanılmasının sağladığı üstünlükler, metallerin bilinen bazı özellikleriyle ilgilidir. Bunlar;

- Yüksek mukavemet (çekme, basma, aşınma, sürünme ve kayma) gösterirler,
- Daha yüksek sıcaklıklarda çalışırlar,
- Metallerin süneklik ve tokluk, Seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek modül özelliklerini birleştirirler,
- Tekrar üretilebilir özelliklere sahiptirler,
- Düşük yoğunluk değerleri verirler,
- Sıcaklık değişiklikleri veya termal şoka karşı düşük hassasiyet gösterirler,
- Yüksek yüzey dayanıklılığı ve yüzeydeki dalgalanmalara karşı düşük hassasiyete sahiptirler,
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik özellikleri mevcuttur,
- Yüksek elastik modüle sahiptirler [13,20].

Metaller, seramikler ve plastiklerle karşılaştırıldığında mukavemet ve modülleri daha yüksektir. Matris mukavemeti özellikle takviye yönü dışındaki yönlerde kompozit özelliklerini kontrol etmesi açısından kritik bir önem taşır. Kompozit malzemenin sürünme, yorulma mukavemeti, kaynak ile birleştirilmiş parçalarda kaynak mukavemeti matris malzemesinin mukavemetine önemli derecede bağlıdır. Matris malzemesinin mukavemet ve modülünün yüksek olması aynı zamanda, pahalı takviyelerin daha az oranda kullanılmasını sağlar [20].

Kompozit malzeme üretilmesinde matris ve takviye malzemesi beraber karıştırılır. Bir kompoziti elde etmek için başlangıçta farklı bileşenler seçilir. Matris bir metaldir. Ancak matris olarak saf metalin kullanılmasına çok seyrek rastlanır. Her tip metal matris kompozit malzeme aşağıdaki gibi tanımlanır:

1-Dispersiyonla Sertleştirilmiş Kompozit: Bir kompozit malzeme, seçilen bir matris içerisinde çok ince parçacıkların dağıldığı yapı olarak karakterize edilir. Parçacık

boyutu 0,01 mm den 0,1 mm ye kadar değişebilir ve matris içindeki parçacık hacim oram % 1-15 arasındadır.

2-Parçacık Takviyeli Kompozit: Bu tür kompozitlerde ilave edilen takviye malzemesinin boyutu 1 mm.'den büyüktür ve ilave matris-parçacık hacim oranları % 5-40 arasındadır.

3 - Fiber veya Whisker Takviyeli Kompozitler: Fiber takviyeli kompozit malzemelerde fiber uzunlukları 0.1 mm. ve 250 mm. aralığında olabilmektedir. Sürekli fiberlerle takviye edilmiş metal matris kompozit malzemelerde takviye malzemesinin matrise hacim oram % 70'lere kadar artabilmektedir [10].

1.2.3.1.1. Parçacık Takviyeli MMK Malzemeler

Bu tür kompozitler, parçacıkların büyüklüğüne göre iki gruba ayrılır: Küçük parçacıklarla (0.01-0.1)mm dayanımının arttırılmış kompozit malzemeler ve iri parçacıklarla takviye edilmiş kompozit malzemeler.

Genel olarak eş eksenli ve nispeten homojen büyüklükteki seramik parçacıkları ihtiva etmektedir. Seramik parçacıklar genel olarak oksit, karbür nitrür veya bor bileşenleri olabilir ve yapısal ve aşınmaya dayanıklı uygulamalarda katkı miktarı %30 civarındadır. Genelde Al-MMK'lar toz metalürjisi yada sıvı yöntemle üretilebilirler. Parçacık takviyeli Al- MMK'ların üretimi fiber takviyeli kompozitlere göre daha ekonomik olmasının yanında fiber takviyeli kompozitler daha üstün mekanik özelliklere sahiptir. Kompozitler izotropik özellik gösterir ve ekstrüzyon, haddeleme ve dövme işlemleri gibi ikincil operasyonlara maruz kalabilirler [21].

Küçük parçacıklarla takviye edilmiş kompozitler, dispersiyonla kuvvetlendirilmiş kompozitler olarak da tanımlanmaktadır. Bunların yapısı, okelme sertleşmesi uygulanmış alaşımlara benzemekle beraber, aynı kategoride ele alınamaz. Alaşımlarda parçacık hacim oranı daha düşük, dağılım daha az üniform ve parçacıklar daha iridir. Bu nedenle, oda sıcaklığında alaşımlar daha yüksek dayanıma sahip iken, yüksek sıcaklıklarda kompozitler içerisindeki oksit parçacıklarının ısı kararlılıklarının yüksek olması sebebiyle, matris

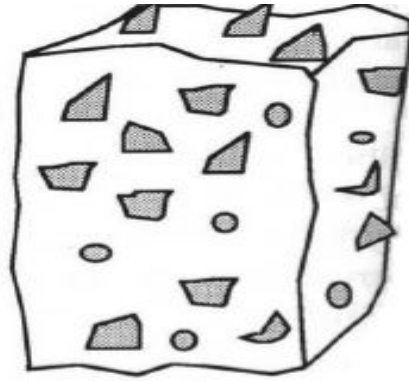
içerisinde çözünmezler ve mukavemetlerini muhafaza ederler. Bu özelliklerinden dolayı, yüksek sıcaklık malzemesi olarak kullanılırlar. Bu tür kompozitlerde yük matris tarafından taşınır, küçük parçacıklar ise dislokasyonların hareketini engelleyerek, malzeme dayanımını artırır [22].

Güçlendirici faz uzun boyutlara sahip olmadığından dolayı, parçacık takviyeli kompozit malzemelerde destekleyici, yuvarlak, kare ya da üçgen şekilli olabilirler, fakat kenarlarının boyutları hemen hemen eşittir. Parçacık takviyeler matris içinde rastgele ve homojen olarak dağıldıkları için, parçacık takviyeli kompozitler genellikle isotrop malzemelerdir. Sermetler ve çökeltme sertleştirilmiş alışımlar (dispersion-hardened alloys) bu tip kompozit malzeme ailesi içine girmektedir. Bütün boyutları yaklaşık olarak birbirine eşit destekleyici içeren tanecikli kompozitler ile, yine tanecikli kompozit malzeme ailesi içerisinde yeralan çökeltme ile sertleşmiş alışımlar, destekleyicilerin boyutu ve içerisindeki fazın hacimsel konsantrasyonu açısından birbirinden farklıdır. Parçacık takviyeli kompozitler ile çökelen fazın tane boyutu 0.01 ile 0.1mm ve hacimsel konsantrasyonu %15'den az olan çökeltme ile mukavimleşmiş malzemeler (dispersion-strengthened materials) arasında çeşitli farklılıklar vardır. En belirgin farklılık mukavimleşme mekanizmasıdır. Çökeltme ile sertleştirilmiş malzemelerin mukavemeti direkt olarak, çökeltmiş taneciklerin sertliğine bağlıdır. Çökeltme mukavimleşme kompozitlerinde çökelen ince faz, çökeltme ile oluşan engeli aşmak veya kırmak için daha büyük gerilim gerektiren dislokasyon hareketlerini sınırlayarak matris malzemesinin güçlenmesini sağlamaktadır. Parçacık takviyeli kompozitlerde parçacık, matris malzemesi tarafından hidrostatik olarak iletilen yükleri üzerine alıp malzemenin dayanımının artmasını sağlar. Parçacıklar matris malzemesine göre daha sert ve mukavemeti yüksektir.

Parçacık destekli kompozitler, elyaf destekli kompozitlere göre daha az dayanım sağladığı halde, daha geniş kullanım alanı vardır. Parçacık destekli kompozitler, elemental malzemelerin veya alaşımların üzerinde, birçok yönden ilerleme arzemektedirler. T/M yapısal parçaları, elektrik kontakları, kesici takımlar, kaya delici matkaplar, mıknatıslar, roket memeleri vb. birçok malzemeler tanecik destekli malzemelerdir [23].

Seramik parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler üstün, özel mukavemet ve özel modül, aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık mukavemetine sahiptir. Güçlendirilmiş parçacık hacmi, döküm yoluyla üretilen kompozitlerde pratikte karşılaşılan zorluklardan biri parçacık eklendiğinde tozların karıştırılma zorluğu ve eriyik viskozitesinin yükselmesidir. Bazen de eriyiğin seramik parçacıkları ıslatmadığı görülmektedir. Islatabilirliğin gerçekleşebilmesi için katı yüzey enerjisinin artırılması, sıvı metal yüzey geriliminin azaltılması ve katı-sıvı ara yüzey enerjisinin azaltılması gibi tedbirler alınmaktadır. Örneğin, parçacık yüzeyinin kaplanması ve ısıtma işlemi, matris sıvı geriliminin azaltılması için bileşimin ayarlanması gibi yöntemler de uygulanmaktadır. Alüminyum alaşımlarında ıslatmayı iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan alaşım magnezyumdur. Şekil 1.2’de parçacık takviyeli kompozitlerin şematik yapısı gösterilmiştir.

Kompozitin dayanımı parçacıkların büyüklüğüne, takviyenin arayüzey özellikleri, parçacıklar arası mesafeye ve matrisin özelliğine bağlıdır. Parçacıklar yapı içerisinde homojen dağıldığında genellikle parçacık hacminin artışı ile dayanımının aşınma direncinde doğru orantılı olarak artar. Fakat artan takviye oranı ile porozite de artma gözlenir.



Şekil 1.2 Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı

Parçacık takviyeli kompozitin diğer kompozitlerden önemli üstünlüğü, döküm yolu veya toz metalurjisi ile imal edildiğinden, artan takviye elemanı ilavesi ile birlikte yapı içerisinde porozite vb. gibi hataların, ikincil bir işlem olan haddeme ile giderilebilmesidir. Yani parçacık takviyeli MMK üretildikten sonra, ikincil bir işlem yapılabilmektedir. Bunun kompozit açısından önemi çok büyüktür. Çünkü ara reaksiyon esnasında oluşan bu

boşluklar kompozitin dayanımını düşürmektedir ve izotropik özellik gösterdiğinden homojen dağılımı istenilene çok yakındır [24].

1.2.3.1.2. MMK'nın Karakteristiği

Metaller, çok yönlü mühendislik malzemeleridir. Metalik bir malzemenin özellikleri, alaşımlandırma ve diğer metalurjik işleme tabi tutma metodunun uygun seçimi ile kolayca kontrol edilebilir. Mühendislikte metal ve alaşımların geniş kullanım alanı bulması sadece mukavemet ve sertliğine bağlı değil, bunların yanında üretimden başlayarak son ürüne kadar ki süreçte malzemeyi kullanım alanına uygun hale getirebilmede önemlidir.

MMK'lerin, metallere elde edilen performanstan daha iyi özelliklerde olma zorunluluğu, MMK'nın farklı türlerinin gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Bu yüzden, bir metale takviye fazının eklenmesi iyi sonuç veren metaller, arttırılan spesifik sertliğin, geliştirilen yorulma, dayanma direnciyle birleştiğinde ve arttırılan mukavemetin, MMK'da arzulanan termik işlemlerle gelişmesi sağlayabilir. Yine de, kullanım alanına uygun geliştirmeleri başarmanın maliyeti, birçok potansiyel MMK uygulamaların da görüldüğü gibi büyük bir başarıdır.

MMK geliştirmede problemlerin biri, takviye fazları ve matrisin arasında kimyasal temasın (ıslatmanın) optimum derecesini sağlamaktır. Birçok sistemde, ıslatmak, oksit filmleri oluşmasından dolayı engellenir. Çoğunlukla arayüzeyde karakteristik olarak gelişmesi için prosedürler, takviye matris etkileşiminin istenmeyen bir şekilde sonuçlanır ve arayüzey oluşumuna zarar verir. Yüksek sıcaklıklarda, doğal termodinamik uyumsuzluk gözlenir. MMK'leri, ıslatma kararlılık problemi doğurur.

MMK'nın polimer matris kompozitleri (PMK), ve seramik matris kompozitleri (SMK), arasında bazı farklar şöyledir; MMK, SMK'ten daha sünektir ve sertliği daha düşüktür, seramik takviyelerin katkısıyla sertlik nispeten artar. MMK'de takviyenin rolü, kuvveti PMK'te benzer şekilde arttırmaktır. SMK'te takviye, geliştirilen zarar toleransını

genellikle sağlamaktır. MMK, sıcaklığa polimer ve PMK'ten daha dirençli, fakat seramik ve SMK'ten daha azdır [26].

1.2.3.1.3. Metal Matrisli Kompozitlerde Matris Malzemeleri

MMK malzemelerin üretiminde kullanılan matris metallerinde kesin bir ayrımı yapmak mümkün değildir. Geleneksel olarak kullanılan tüm metal ve alaşımlarının MMK malzeme üretmek amacıyla matris metali olarak kullanımı mümkündür. Uygun takviye malzemesinin seçimiyle her türlü metal ve alaşım matris malzemesi olarak kullanılabilir. Matris ve takviye elemanı arası fiziksel ve kimyasal uygunluk sağlandığında kullanım yerine ve amacına göre MMK malzeme üretilebilir [13].

Kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matris malzemesi düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlardır. Alaşım nisbeten basit fakat genellikle çok elementli olmakta, alaşım içinde birkaç faz oluşabilmektedir. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarda tercih edilmektedirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımının da çok yüksek olması diğer karakteristik özelliklerinden biridir. Matris malzemesi olarak kullanılan bir çok metal vardır. Bunlara Al, Zn, Cu, Fe, Mg, Ti ve Pb örnek gösterilebilir. Bununla birlikte alaşım sistemlerinin hemen hemen hepsi metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak kullanılırken; silisyum karbür (SiC), bor (B), grafit, alüminyum oksit (Al_2O_3), wolfram (W) ve molibden (Mo) gibi değişik sürekli, kılcal kristalli, parçacık veya elyaflar takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Ancak matris olarak yaygın bir şekilde kullanılan Al, Ti, Mg ve bunların alaşımlarıdır [14,19].

Matris, takviye elemanlarını bir arada tutar ve işlem sırasında malzeme yüzeyini mekanik hasarlardan korur. Matris, takviye elemanlarına gelen yükü transfer eder ve dağıtır. Böylece takviyeler, yükün büyük bir kısmını taşırlar.

Yükün transferi, matris ve takviye arasındaki ara yüzeye bağlıdır. Metal matrisli kompozitlerde alüminyum, magnezyum, titanyum, nikel ve nikel-kobalt gibi metaller

ve süper alaşımları matris olarak kullanılmaktadır. Fakat düşük yoğunluğu, ucuz oluşu, çeşitli alaşım formlarında bulunabilmesi ve oldukça iyi mekanik özellik kombinasyonlarına sahip olmasından dolayı, matris olarak en çok alüminyum kullanılır. Metal matrisli kompozitlerde en ciddi problem, matris ile takviye arasında kimyasal bir uyum sağlamaktır. Takviyelerin, matris içinde kolay ve homojen dağılması için iyi bir karıştırma gereklidir. Bazen takviyeler, yüksek sıcaklığa maruz kaldıkları taktirde, matris ile takviyeler arasında , takviyelerin özelliklerini bozacak şekilde bir etkileşim meydana gelebilir. Örneğin; karbon fiberler alüminyum karbür (Al_4C_3) oluşturacak şekilde alüminyumla reaksiyona girerler. Bu reaksiyon ise kompozit malzemenin mukavemetini düşürür. Benzer şekilde bor, bor fiberleri (TiB_2) oluşturmak üzere titanyum ile reaksiyona girer. Fakat bu reaksiyon, borun silisyum karbür (SiC) ile kaplanmasıyla önlenir [25].

Matris seçiminde sadece yoğunluk, dayanıklılık ve süneklik-tokluk kriteri değil bunların yanında, üretim metodunun uygunluğu da dikkate alınmaktadır. Alüminyum iyi ıslatılabilirlik özelliği, üretimde kolaylığı ve kompozitin kalitesini özelliklerini etkileyen kuvvetli arayüzey bağı oluşturma özelliğinden dolayı, diğer metallere nazaran daha yaygın olarak kullanılmaktadır [24].

Tablo 1.1. MMK malzemelerde matris metali olarak en çok kullanılan bazı metal ve alaşımların mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo1.1. MMK malzemelerde matris metali olarak en çok kullanılan bazı metal ve alaşımların mekanik özellikleri [15].

Matris	σ_{ym} (MPa)	σ_m (MPa)	E(%)	E_m (GPa)
Saf Al (Ticari)	30	80	40.0	12
Al-6 Fe	280	350	12.5	82
Al-4,5 Cu-T6	107	182	17.0	71
Al-Cu-Mg-T6	319	345	1.2	72
AM100-T6	63	99	4.1.0	-
2014 Al-T6	414	409	10.0	72
2024 Al-T4	268	388	8.2	-
Al 2124-T4	350	479	12.0	-
A 356 Al-T6	200	275	6.0	69
6061 Al-T6	276	326	15.0	68
7010Al-T6	490	550	10.5	70
Mg-2 Ag-T6	200	240	-	48
Mg-Al-Zn	168	311	21.0	49
σ_{ym} : Matrisin akma mukavemeti σ_m : Matrisin maksimum mukavemeti e: Matrisin kopmadaki % uzama miktarı E_m : Matrisin elastik modülü				

1.2.3.1.3.a. Matris Olarak Al-Mg

Son zamanlarda ticari uygulamalarda ve bilimsel araştırma programlarında alüminyum matrisli kompozitler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü matris malzemesi olarak kullanılan Al alaşımları iyi mekanik özelliklere, düşük elektrik iletkenliğine, düşük yoğunluk ve yüksek korozyon direncine sahiptir. Bu özelliklerinin yanında diğer metallere nazaran daha ucuz olması (1.5 \$/kg), kolay üretilebilmesi, uzay uygulamalarında ve otomotiv pazarındaki hakimiyeti diğer ilgi çekici özellikleridir [17].

Al ve alaşımlarının etkin olarak kullanılma nedenleri;

- Dayanım/özlük ağırlık oranının yüksek olması,
- Elektrik iletkenliği/özlük ağırlığının yüksek olması,
- Atmosferle ve diğer ortamlara karşı yüksek korozyon direncine sahip olması[38].

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılmakta olan diğer bir malzeme de magnezyum alaşımlarıdır. Magnezyum metal matrisli

kompozit malzemeler, sahip oldukları yüksek mukavemet, uzama, şekilverilebilirlik, kaynaklanabilirlik ve yüksek korozyon dayancı özellikleriyle farklı piston malzemesi motor parçalarında kullanılmaktadır. Magnezyum alaşımları, düşük genleşme katsayısı, yüksek mukavemet özellikleri ve düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle magnezyum metal matrise sahip kompozit malzemeler, havacılık uygulamalarında da kullanılmaktadır [16].

Alüminyum alaşımları üretim metodları esas alınarak dövme ve döküm olmak üzere iki ana alt gruba ayrılabilir; Dövme alüminyum ve alüminyum alaşımlarının simgelenmesi ve kimyasal bileşimleri EN 573-3: 1995'te tanımlanmıştır. Ülkemizde de TS EN 412/Ocak 1987 "Biçimlenebilen Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları- Kimyasal Bileşimi" olarak standartlaştırılmışlardır. EN 573'e göre standart gösterimleri verilen alüminyum ve alüminyum alaşımları içinde en çok kullanılan alaşımlar 1xxx, 2xxx, 4xxx, 5xxx, 6xxx ve 7xxx serisi alaşımlardır.

Isıl işleme tabi tutulamayan alaşımlar en yüksek mekanik özelliklerini, soğuk şekillendirme yoluyla sertlik ve mukavemeti artırma yöntemi olan şekil değiştirme sertleştirilmesi ile kazanırlar. Bu serinin ana alaşım elementi olan magnezyum katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar ve miktarı %5 e kadar çıkabilir[27,28].

5XXX serisi Al-Mg alaşımları sahip oldukları yüksek mukavemet, uzama, şekilverilebilirlik, kaynaklanabilirlik ve yüksek korozyon direnci özellikleriyle farklı alanlarda yaygın kullanım bulurlar. AA5754 (AlMg₃), AA5052 (AlMg_{2,5}) ve AA5182 (AlMg₅Mn) bu grubun tipik ve en yaygın kullanılan alaşımlarıdır. Bu alaşımların yüksek şekillendirilebilirlik yetenekleri sahip oldukları Mg içeriğinden kaynaklanmaktadır. Mg atomlarının katı çözeltide Al atomları ile yer değiştirmesi ile mekanik deformasyon esnasındaki dislokasyon hareketi engellenerek yüksek uzama değerlerine kadar çalışma sertleşmesi geciktirilir, deformasyon yaygın boyunverme mekanizması şeklinde gelişir ve erken yırtılmalar engellenir [37].

Alüminyum alaşımları mükemmel mekanik özelliklere, düşük elektrik iletkenliği, düşük yoğunluk ve yüksek korozyon direncine sahiptir. 1xxx, 2xxx, 5xxx, 6xxx ve 7xxx, 8xxx, serisi alüminyum alaşımları çok yaygın bir şekilde kompozit

üretiminde kullanılmaktadır. Genelde matris alaşımı olarak, mukavemet ve hasar toleransları iyi olan Al-Cu-Mg (2xxx) ve Al-Zn-Mg-Cu (7xxx) alaşımları ticari uygulamalarda kullanımı alanı bulmuştur. Al-Mg-Cu-Si (6xxx) alaşımları kompozit üretiminde kolaylık sağladığı ve diğer alaşımlara göre daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu için matris alaşımı olarak tercih edilmektedir [16,17].

Alüminyum ve alaşımlarının mevcut özelliklerini daha iyi yapmak için whisker, fiber veya parçacık biçimli sert takviye elemanı karışımıyla alüminyum matrisli kompozit malzemeler üretilmektedir [6].

Al-MMK'lar ihtiva ettiği takviyeye bağlı olarak karakteristik özellikleri değişmektedir. Genelde Al-MMK'lar toz metalurjisi ya da sıvı yöntemlerle üretilirler. Parçacık takviyeli Al-MMK'ların üretimi fiber takviyeli kompozitlere göre daha ekonomik olmasının yanında fiber takviyeli kompozitler daha üstün mekanik özelliklere sahiptir. Fiber takviyeli Al-MMK'lar çelikle karşılaştırdıklarında yoğunluğu yarısından az olmasına rağmen eşit dayanımda kompozitler üretilmektedir. Kompozitler izotropik özellik gösterir ve ekstrüzyon, haddeleme ve dövme işlemleri gibi ikincil operasyonlara maruz kalabilirler [21].

Al-MMK'lerin, öne çıkan üstün özellikleri; yüksek elastiklik modülü, yüksek mukavemet, yüksek yorulma direnci, yüksek aşınma dayanımı, yüksek rijitlik, yüksek sıcaklıkta kararlılık, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, düşük ısıl genleşme katsayısı ve düşük yoğunluktur. Bu özellikleriyle Al-MMK'ler özellikle havacılık, uzay ve otomotiv gibi alanlarda büyük ilgi görmektedir. Al-MMK'ler son yıllarda özellikle hafiflikleri, yüksek mukavemetleri, düşük ısıl genleşme katsayıları ve iyi aşınma dirençleri gibi özellikleriyle otomobillerde motor pistonu, silindir gömleği, fren diski/kampanası gibi uygulamalarda kullanım alanı bulmaya başlamıştır (Şekil 1.3).



Sekil 1.3. Al-MMK (a) Piston kolu prototipi, (b) Fren parçaları, (c) Kardan mili [39]

Al-MMK'lar diğerlerine göre; yüksek mukavemet, iyileştirilmiş rijitlik, daha düşük yoğunluk, yüksek sıcaklık özellikleri, kontrollü ısıl genleşme katsayısı, elektriksel özellikleri, iyileştirilmiş aşınma ve abraziv özellikleri, özellikle kütle kontrolü ve iyileştirilmiş sönümleme kapasite özellikleri açısından avantajlara sahiptir. Belirtilen avantajları daha iyi kullanabilmek için değerlendirme yapılabilir. Örneğin saf alüminyum, hacimsel olarak %60 a kadar fiber takviyesi ile elastik modülü 70 GPa dan 240 GPa kadar artırılabilir. Diğer taraftan saf alüminyum içine hacimsel olarak %60 alümina fiber takviyesi malzemenin genleşme katsayısını $24 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ den $7 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ e düşürür. Benzer şekilde Al- %9Si-%20 SiC kompozitin aşınma direnci gri dökme demirin özelliğinden daha iyi olabilmektedir. Bütün bu örnekler göstermektedir ki alüminyum/alüminyum alaşımı uygun takviye fazları ile desteklendiğinde özellikleri iki veya üç kata kadar iyileştirilmektedir. Al-MMK malzeme sistemi tek fazlı sistemlere göre üstün özelliklere sahip olmasından dolayı avantajını korumaktadır. Al-MMK'ların kullanımında performans, ekonomiklik ve çevre etkileri açısından önem arz etmektedir. Al-MMK'lar bazı uygulamalarda alüminyum alaşımlarının, demir alaşımlarının, titanyum alaşımlarının ve polimer esaslı kompozitlerin yerini tutacağı düşünülmektedir. Geniş ölçekte Al-MMK'ların tek fazlı malzemelerin yerine tutması mühendislik sistemlerinin tekrar gözden geçirilmesi ağırlık ve hacimsel kazanım elde edilmesi nedeni ile gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada Al-MMK'ların üretimi, mikroyapısı özellikleri ve endüstriyel uygulamaları üzerine bugüne kadar yapılan çalışmalar değerlendirilmiş ve yaptığımız çalışmalarla bütünleştirilmiştir. Al-MMK'ler

ihativa ettiği takviyeye bağlı olarak parçacık takviyeli, whisker/sürekli fiber takviyeli ve sürekli fiber takviyeli olarak sınıflandırılırlar. İlaven tek tip filament takviyeli Al-MMK'ların üretim yöntemi diğerlerinden farklıdır [21].

Al-MMK' ların kullanımı çok spesifik uygulamalarda, uçak endüstrisi ve askeri silahlar gibi yüksek maliyet özelliklerine bağlıdır. Al-MMK' lar, piston, silindir gibi otomobil ürünlerinde de kullanılmaktadırlar. Al-MMK' lar için üretim teknikleri: 1-Sıvı faz süreci, 2-Katı faz süreci, 3-TM gibi sınıflara ayrılmıştır. Parçacık katkılı Al kompozitler sıvı faz yoluyla daha kolay üretilmektedirler. Ergitme karıştırma kalıp metodu ucuzdur. Matris, katkı fazlarını birbirine bağlamaktadır, iletmektedir ve bireysel katkı fazlarına dış yükleri dağıtmaktadır. Kompozitlerin özelliklerini düzeltme, katkı fazlı ana yapılarda yükün dağılımına ve transferine izin veren, parçacık katkılı ve sıvı Al- MMK' lar kalıplama esnasında önemli olmaktadır. Kompozitler arasındaki bağlar, karşılıklı birbirini eritme veya parçacıkların ve ana yapının reaksiyonlarıyla şekil alabilmektedirler. [33].

Parçacık katkılı MMK'lerde mekanik özellikler önemli oranda değişmez, fakat elastisite modülü ve tribolojik özellikleri dikkate değer gelişme gösterir. SiC, Al₂O₃, WC, TiC, Zr, SiO₂ ve B₄C gibi sert taneler örneğin Al alaşımlı matrisin aşınma direncini arttırırken, grafit ve mika gibi katı ve nispeten yumuşak yağlayıcı parçacıklarda sıvanma (sarma) özelliklerini iyileştirir. Tane şeklindeki katkılar aynı zamanda matris alaşımının iletkenliğinde ve sönümleme kabiliyetinde yükselme sağlar. Katkı olarak kullanılan malzemelerin yoğunlukları genelde matris alaşımına yakındır. Bu nedenle MMK'in yoğunluğunu pek değiştirmemektedir. Bu ise MMK'lerin özgül özelliklerinin, takviye içermeyen alaşımlarla karşılaştırıldığın da çok üstün olması sonucunu vermektedir [22,33].

1.2.3.1.4. Metal Matrisli Kompozitlerde Takviye Fazları

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde değişik takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Kompozit malzemeden beklenen özelliklerin elde edilmesi için takviye malzemesinin seçimi, önemli bir konudur[16].

Kompozit malzemelerde iki yada daha fazla sayıda farklı faza sahip malzemeler bir araya geldiğinde, malzemeden beklenen özelliklerin gerçekleşebilmesi için fazlar arasında belirli fiziksel ve kimyasal uyumun olması gerekir. Matris ile takviye elemanı arasındaki fiziksel uyum, süneklik ve ısı genleşme özellikleri ile ilgilidir. Kimyasal uyum ise, ara yüzey bağı ve ara yüzey reaksiyonları açısından önem taşır. Takviye elemanı ve matrisin ısı genleşme katsayıları arasındaki uyum, kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması yönünden önemlidir.

Takviye elemanı, kompoziti oluşturan en önemli elemanlardan biri olup, kompozit üzerine gelen yükün büyük bir bölümünü taşımaktadır. Yükün takviye elemanına iletilmesi için ara yüzey bağının güçlü olması gerekir. Takviye elemanlarının ıslanamaması durumunda ara yüzey bağlarının oluşumunu engellemesine ve hava boşluklarının oluşmasına neden olur. Bundan dolayı takviye elemanı seçimi, matris içerisinde yönlendirilme şekilleri ve hacim oranları, kompozitin fiziksel ve mekaniksel karakteristiklerini etkiler [14].

Metalik kompozitlerde kullanılacak takviyelerin belirli özelliklere sahip olması gerekir. Bu özellikler; yoğunluk, üretim kolaylığı, ısı direnç , ısı kararlılık kimyasal uygunluk vb takviyede aranan özelliklerdir [20].

Takviye malzemeleri kimyasal yapılarına göre oksitler, karbürler, nitrürler ve diğer ilave malzemeleri olarak dört ana başlıkta incelenebilir. Bu malzemelerin seçiminde; kolay temin edilebilmeleri, fiyatı, matris malzemesi ile uyumu ve katkıda bulunacağı özellikler göz önünde tutulmaktadır [29].

Al_2O_3 , SiC, TiC ve B_4C gibi seramik malzemeler fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı mühendislik alanında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak seramik malzemelerin makine parçalarında kullanımı düşük kırılma tokluğu ve dayanımına neden olduğundan kullanım alanları sınırlandırılmıştır. Ancak bunun yanı

sıra parçacık sertliği ana yapının sertlik değerlerini de arttırdığı gözlenmiştir [30].Yaygın kullanıma sahip SiC ve Al₂O₃ takviyelerinin bazı önemli özellikleri Tablo1.2. 'de gösterilmiştir .

Tablo 1.2. SiC ve Al₂O₃ takviyelerinin özellikleri [10].

Parçacık	Elastik Modülü GPa	Yoğunluk gr/cm ³	Isı Genleşme Kat Sayısı K ⁻¹	Özgül Isı J kg *K-1	Isıl iletkenlik	Poisson Oram
SiC	420-450	3.20	4.3x10 ⁻⁵	840	1100°C'de 10-40	0.17
Al ₂ O ₃	380-450	3.96	7.0x10 ⁻⁶	1050	1000°C'de 5-10	0.25

1.2.3.1.4.a. Takviye Olarak SiC

SiC parçacıklar, Al₂O₃ ve AlN gibi diğer seramik takviye elemanlarına göre sıvı alüminyum tarafından daha iyi ıslatılabilme özelliği ve ucuz olması nedeni ile çok sık olarak kullanılmaktadır. SiC_p takviyeli alüminyum kompozit, yüksek mukavemet, yüksek elastisite modülü, düşük termal genleşme katsayısı ve düşük yoğunluk özelliklerine sahiptir. Bu özellikleri sebebiyle uzay yapı elemanları, elektronik taşıyıcılar ve aşınma dayanımı gerektiren yerlerde tercih edilmektedir [31].

SiC erimiş metallerin içinde dahi mukavemet ve modül değerlerini kaybetmeksizin oksidasyon direnci yüksek olan bir malzemedir. Refrakter, aşındırıcı yada kimyasal alanda kullanılmak üzere parçacık yada whisker yapısındaki SiC eldesi gayet kolay ve ucuzdur [29].

Silisyum karbür fiberlerin oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve rijitliğini koruma özelliği bor fiberlerden daha iyidir. Ergimiş alüminyum SiC fiberler üzerindeki etkisi de bor fiberlere göre çok düşüktür. Bu nedenle alüminyum matrislerin takviyelendirilmesinde kullanılan bor filamentleri SiC ile kaplanır. Bor fiberlere benzer bir yöntemle üretilen silisyum karbürler, uzun kristalli yapıya sahip olmalarına rağmen, yüzeyleri boron fiberlerinkinden daha düzgündür. SiC fiberlerin yanında metalik matrisli kompozitlerde SiC whiskerslerde kullanılır. Bu SiC whiskersler 20 - 51 x 10⁻⁶ mm çapında ve 30 mm uzunluğunda üretilirler.

Plastik deformasyon tekniklerinin yanı sıra, toz metalurjisi tekniği ile metalik matrislerin SiC whiskersleriyle güçlendirilmeleri mümkündür. Kompleks şekilli parçalar sıcak izostatik presleme ile ekonomik bir şekilde üretilebilirler. Preslenmiş parçalar, minimum düzeyde bitirme işlemine ihtiyaç duyarlar. Kısaca SiC whiskersleriyle pekiştirilmiş metalik kompozitler, klasik şekillendirme tekniklerinin uygulanabildiği sistemlerden biridir. Bu whiskerslerle güçlendirilmiş alüminyumun işlenebilirlik özelliği, sürekli SiC, bor ve alümina fiberle güçlendirilmiş esaslı kompozitten daha iyidir [14]. Tablo 1.3’da değişik yöntemler ile üretilen SiC takviye malzemesinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.3. Değişik yöntemler ile üretilen SiC takviye malzemesinin özellikleri [29].

Bileşim	Yoğunluk(gr/cm ³)	Mukavemet(MPa)	Young Modülü(GPa)
P-SiC	3,3	3500	430
Nicalon SiC	2,6	2000	180
VLS- SiC	-	8400	581

Kısaca özetlenecek olursak SiC'ün özellikleri şunlardır;

- Mükemmel sertlik ve aşınma direnci,
- Mükemmel korozyon direnci,
- Ani sıcaklık değişimlerine karşı direnç,
- Çeliğe göre daha yüksek ısı iletim,
- Çok düşük ısı genleşme [29].

Son yıllarda geliştirilen kaliteli ve ucuz parçacık ve kısa fiberler sayesinde MMK'ler daha ucuz olarak üretilmeye başlanmıştır. SiC veya Al₂O₃ ile takviye edilmiş alüminyum alaşım matrisli kompozitlerin uzay ve otomotiv endüstrilerindeki uygulamaları; pistonlar, silindir kafaları gibi malzemelerin tribolojik özelliklerinin çok önemli olduğu yerlerde gittikçe artmaktadır [22, 32].

1.2.3.1.5. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin çok farklı malzemelerin kombinasyonundan elde edilebilmeleri uygulama alanlarının da genişlemesine sebep olmaktadır. Kompozit malzeme uygulamasının geçerli olduğu endüstriler, bu malzemelerden en yüksek performans beklemektedirler. Ancak tüm uygulamalar için bu beklentiler gerçekleştirilmesi mümkün olmadığından bazı özelliklerden ödün verilerek de optimum verim alınabilmektedir. Örneğin, yüksek performanslı ve güvenliğin birinci planda olduğu roket parçaları, uçak gövde ve kanatları gibi uygulamalarda optimum yaklaşım, üretim maliyetinin düşük tutulmayacak şekilde olması gerekir. Daha düşük performanslı uygulamalar söz konusu olduğunda örneğin, otomobil sanayi, tekstil sanayi ve spor malzemeleri üretiminde ise yaklaşım, üretim hızı ve üretim maliyeti dikkate alınarak yapılmaktadır [10].

MMK üretimin ana amacı matris alaşımının mukavemet ve elastik modülünü arttırmaktır. Bununla beraber matris alaşımları çok değişik varyasyonlardan dolayı değişik esneklik katsayıları, mukavemet ve termal genleşme katsayıları vererek istenen malzemelerin üretilmesini sağlamaktadırlar. En önemli özelliklerinden biri ise aşınma dirençlerinin çok iyi olmasından dolayı aşınma uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilmeleridir [33].

MMK malzemelerin en önemli üstünlüklerinden birisi de matris alaşımlarına göre daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmeleridir. Seramik takviye malzemesi ilavesinin matris alaşımının yüksek sıcaklık mukavemetini arttırdığını tespit edilmiştir. MMK malzemelerin bir başka avantajı matris alaşımına göre kullanılan seramik takviye malzemesinin düşük yoğunluğundan dolayı kompozitinde yoğunluğunun düşmesidir. MMK malzemelerinin spesifik kullanımları, üretim masraflarının malzemenin kullanım yerlerine göre bir avantaj sağladığı alanlarda bir anlam taşır. Örneğin bir MMK malzeme türbin motoru olarak kullanılacaksa diğer yüksek sıcaklık motor malzemelerine göre özelliklerinin optimal olarak geliştirilmesi gerekir. Kompozit performansının geliştirilmesi için en önemli anahtar parametreler, mukavemet-ağırlık oranı veya spesifik mukavemettir. MMK'lerin mekanik özelliklerin dışında, oksidasyon

direnci ve darbe tokluğu özelliklerinin daha iyi olabileceği düşünülebilir. Ancak bu konuda MMK malzemelerin belli dezavantajlarının da göz önüne alınması gerekir. Bu dezavantaj genelde MMK malzemelerin matris alaşımlarından daha düşük tokluğa sahip olmalarından ileri gelmektedir. MMK malzemelerde ikinci önemli özellik yorulma özellikleridir. Jet motorlarının kompresör kanatları gibi özellikle yüksek sıcaklık çevrimlerinde kullanılan yüksek sıcaklığa maruz kompozitlerde metal yorulması yıkıcı bir özellik sergiler. Bu duruma bir örnek, termal çevrimin bir neticesi olarak sürekli W fiberlerle takviye edilen süper alaşımların yorulma ömürlerinin kısalığı nedeniyle kullanılamamalarıdır.

MMK'ler bazı dezavantajlarına rağmen hala yüksek sıcaklık malzemesi olarak seramik matris malzemelerden daha fazla ve güvenilir olarak kullanılmaktadırlar. Bunun en önemli sebebi de metal bilimi ve teknolojisinin seramiklerden çok daha ilerde olmasıdır. Böylece havacılık araçlarının çeşitli motor parçalarında MMK'lerin kullanımı, seramik matrisli kompozitlerden daha güvenilir olmaktadır.

MMK malzemelerin çok değişik uygulamaları arasında NASA ve Amerika hava kuvvetleri sadece motor parçalarında değil aynı zamanda çeşitli yapısal bileşenlerle de kullanılabilecek yüksek performanslı yapısal MMK'ler üzerinde geliştirme çalışmalarına devam etmektedir. Bu duruma bir örnek, termal çevrimin bir neticesi olarak sürekli W fiberlerle takviye edilen süper alaşımların yorulma ömürlerinin kısalığı nedeniyle kullanılamamalarıdır.

MMK'ler bazı dezavantajlarına rağmen hala yüksek sıcaklık malzemesi olarak seramik matris malzemelerden daha fazla ve güvenilir olarak kullanılmaktadırlar. Bunun en önemli sebebi de metal bilimi ve teknolojisinin seramiklerden çok daha ilerde olmasıdır. Böylece havacılık araçlarının çeşitli motor parçalarında MMK'lerin kullanımı, seramik matrisli kompozitlerden daha güvenilir olmaktadır.

MMK malzemelerin çok değişik uygulamaları arasında NASA ve Amerika hava kuvvetleri sadece motor parçalarında değil aynı zamanda çeşitli yapısal bileşenlerle de kullanılabilecek yüksek performanslı yapısal MMK'ler üzerinde geliştirme

alışmalarına devam etmektedir. Metal matrisli kompozitlerin ticari kullanım alanları şu şekilde sıralayabiliriz [24,25,35].

Otomotiv sanayiinde kullanılan elik şaftların yerine % 20 Al_2O_3 elyaf takviyeli Al metal matrisli kompozit kullanımıyla, ağırlık tasarrufunun yanı sıra, titreşimlerin azalması ve kritik şaft dönme hızının artması sağlanmıştır. Otomotiv sanayide kullanılan dökme demir fren kampanalarının yerine % 20-30 SiC takviyeli Al metal matrisli kompozit kullanımı, fren sisteminde % 60'a varan ağırlık tasarrufu sağlanmıştır[10,34,36].

Motor bloklarındaki silindir gömleklerinin grafit- Al_2O_3 parçacık takviyeli Al metal matrisli kompozit malzemeden üretimi, ısı iletimini arttırmış, ayrıca kompozitin ısı genleşme katsayısı çok düşük olduğundan piston ile gömlek arasındaki toleransları en aza indirmiş, dolayısıyla motor verimi arttırılarak yakıttan tasarruf sağlanmıştır. Otomobillerde kullanılan pistonların Al-SiC(p), Al-TiC(p) kompozit malzemeden üretilmesi ağırlık kazancı ve aşınma dayanımı sağlamıştır.

Biyel kolunun Al- Al_2O_3 , Al-TiC(p) kompozit malzemeden üretilmesi, hareket halindeki biyel kolunun hafifliğini ve yüksek mukavemetli olmasını sağlamıştır .

Otomobillerde kullanılan piston segmanlarının Al- Al_2O_3 kompozit malzemeden üretilmesi, piston aşınmasını minimuma indirerek malzeme ömrünü arttırmıştır [8].

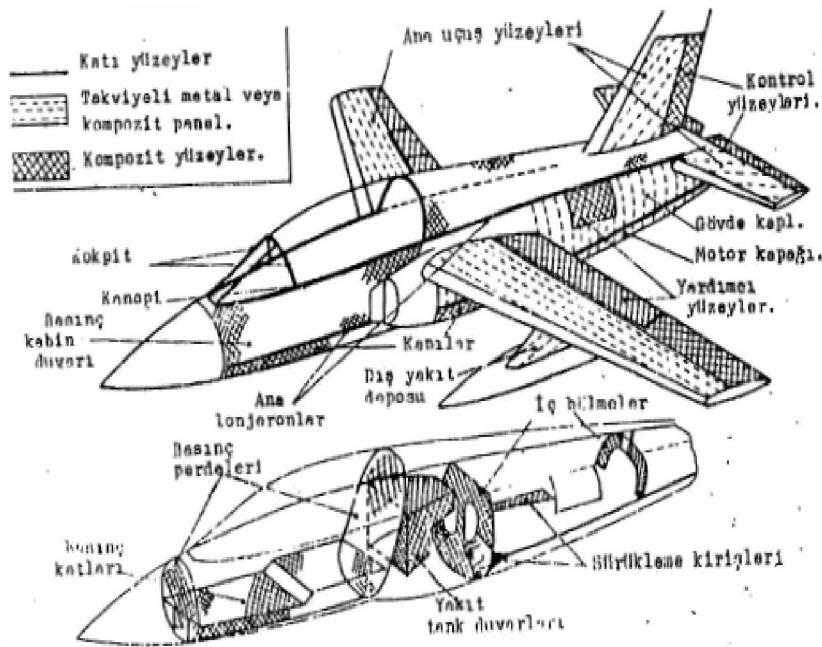
Havacılık ve uçak sanayiinde henüz deneme aşamasında olmasına karşın, grafit elyaf takviyeli Al metal matrisli kompozit malzemeler roket ve helikopter parçalarında, Al_2O_3 elyaf takviyeli Al metal matrisli kompozit malzemeler, helikopter dişli kutularının yapımında kullanılmaktadır.

Boron-SiC karışımı elyaflarla takviye edilen Al metal matrisli kompozit malzemeler jet motoru kanatçıklarının yapımında kullanılmaktadır.

Yüksek aşınma dayanımının istendiği uygulamalarda da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Klasik WC-Co kesici uçlarının yerini, TiC-Mo₂C-Ni/Mo ve Ti(C,N)/Ni-Fe-Mo kesici uçlar almıştır.

Son yıllarda elektronik sanayinde ise süper iletken kabloların yapımında MMK'lerin kullanıldığı görülmektedir. Kırılgan bir yapıya sahip olan NbTi, VaGa gibi süper iletken bileşikler, 2.5 μm çapındaki tel haline getirildikten sonra 1500 adet tel sargısı olarak Ag veya bronz matris içersine gömülerek dış etkenlerden korunmaktadır.

Bağlantı milleri ve hareket iletim millerinin yapımında Al-SiC(w) kompozit malzemenin kullanılması yüksek mukavemetli, hafif ve düşük genleşme katsayısına sahip olması nedeniyle kullanılmaktadır[16]. Şekil 1.4 te kompozit malzemelerin uçak sanayinde kullanımı model bir uçağın üzerinde görülmektedir.



Şekil 1.4 Askeri uçaklarda kompozit uygulamaları [36].

1.2.3.1.6. Metal Matrisli Kompoziterin Üretimi Yöntemleri

Kompozit malzemelerin üretiminde karşılaşılan temel problem, matris ile takviye malzemeleri arasında etkili bir bağlanmanın elde edilememesidir. Nispeten düşük sıcaklıklarda yapılan TM üretim yöntemi, teorik olarak arayüzey kinetiğinin daha iyi kontrol edilmesini sağlar [30].

Kompozit üretim metodunun seçiminde, takviye ve matris malzeme, bunlar arasındaki reaksiyonlar, ürün kalitesi ve maliyeti etkili olmaktadır. Çoğu zaman yöntemler birbiri ile rekabet halinde olmakla beraber, herbirinin diğerine göre üstünlükleri bulunmaktadır. Ancak tüm kompozit üretim metodları geleneksel alaşım malzeme üretim metodu ile kıyaslandığı zaman, matris ile takviye arasındaki etkileşimler edeniyile karmaşıklığı dikkati çekmektedir [16,39,40].

Parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri, proses süresince metal matrisin üretim sıcaklığına bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Buna göre metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır.

- Sıvı-faz üretim yöntemleri,
- Katı-faz üretim yöntemleri,
- Çift faz (sıvı/katı) üretim yöntemleri [16].

Metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde çok değişik sayıda üretim metodu geliştirilmiş olmasına rağmen bu üretim yöntemlerini; toz metalurjisi, difüzyon, ekstrüzyon çekme ve döküm yöntemleri olarak dört ana gruba ayırmak mümkündür. Metal matrisli kompozitlerin en ucuz ve en kolay üretim metodlarından olan döküm ile kompozit üretmenin olanakları araştırılmaktadır. Metal matrisli kompozitlerin üretimi için en çok tercih edilen döküm yöntemleri aşağıdaki gibidir [12].

- Sıkıştırma döküm
- Kompozit döküm
- Atomizasyon ve püskürtme şekillendirme
- Basınçlı infiltrasyon
- Peket metodu
- Vorteks metodu
- Santrifüj yöntemleri
- Ultrasonik titreşim
- Metalik köpük yöntemi
- Yönlenmiş katılaşma[34].

1.2.3.1.6.a. Sıkıştırma Döküm Yöntemi (Squeeze Casting)

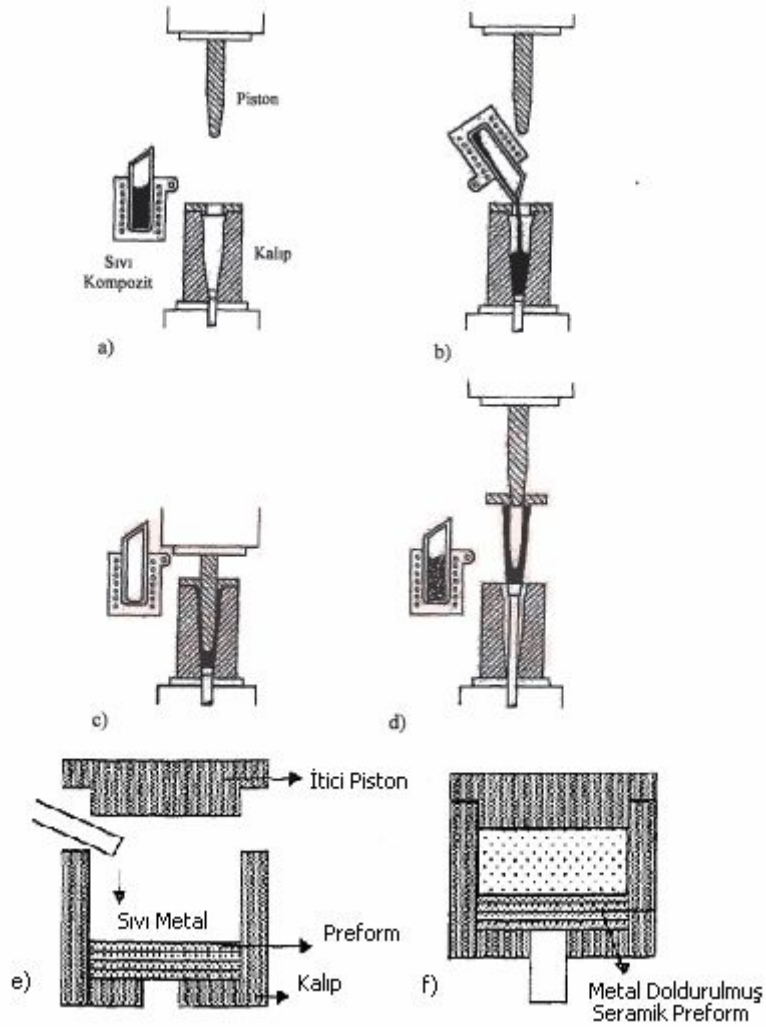
Döküm işlenmiş malzemelerin kullanılabilir parçalara dönüştürülmesinin en kolay yoludur. Bununla birlikte, geleneksel döküm tekniklerinin başlıca sakıncası, gözeneklilik gibi kusurların oluşumudur. Daha da önemlisi, sıcak yırtılmalar, segregasyon kusurları ve bant oluşumu dökülmüş parçaların çalışması esnasında potansiyel çatlak başlangıçtan olabilirler. Bu nedenle, bu kusurları gidermek için yeni döküm teknikleri geliştirilmiştir. Çok sayıda kullanılabilir döküm tekniğinden biri olan sıkıştırma döküm, daha az kusurlu döküm parçaları yaratmak için büyük bir potansiyele sahiptir [41].

Sıkıştırma döküm tekniği, en önemli ve en pratik yöntemlerden birisidir. Yapılan araştırmalarda sıkıştırma döküm ile elde edilen MMK malzemelerin ucuz olarak elde edilebilmesinden dolayı, ileride en çok kullanılacak üretim yöntemi olacağı ifade edilmektedir. Sıkıştırma döküm yöntemi, herhangi bir metalin basınç altında katılaşmasıdır. Bu yöntemle hemen hemen her tipte takviye malzemesi kullanılarak MMK malzeme üretilmesi mümkündür. Takviye malzemesi verilen bir kalıp içine yerleştirilir. Döküm sıcaklığına çıkarılmış sıvı metal belli bir sıcaklığa ısıtılan takviye malzemesi üzerine dökülür. Katılaşma tamamlanıncaya kadar sıvı metal üzerine yüksek miktarda basınç uygulanır. Basınç altında katılaştırma ile takviye malzemesi ile anayapı metali arasında ara yüzey bağ mukavemeti oldukça olumlu etkilenmektedir [33].

Sıkıştırma döküm, basınçlı dökümle kapalı kalıpta dövmenin bir bileşimidir. Döküm işlemindeki sıvı metalin kalıbı doldurması ve dövme işi eminindeki dikey pres hareketinin bir araya gelmesiyle oluşmuş melez bir yöntem olarak ortaya çıkar. Yaygın düşüncenin aksine sıkıştırmak döküm yeni bir yöntem değildir. Bu konudaki ilk referans 1819'da James Hollingrake tarafından alman patenttir. Bununla birlikte 20. yüzyılın ikinci yarısına kadar önemli bir gelişme gözlenmemiştir. 1931'de alüminyum-silisyum alaşımlarında basıncın etkisi incelenmiş, sonra Sovyetler Birliği'ndeki gelişmelerle 1975'de Plyatskii tarafından sıkıştırmak döküm konusunda ilk sayılabilecek bir kitap yayınlanmıştır. Sovyetler Birliği'ndeki gelişmelere paralel olarak 1965-1970 yıllarından itibaren Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Japonya da çalışmalar başlamış ve bu tarihi gelişimin sonucu olarak 1974'de ilk ticari uygulamaya geçilmiştir

Sıkıştırma Dökümün ana prensibini, doğru ölçülmüş hacimdeki sıvı metalin istenilen sıcaklıktaki kalıba konması ve üst kalıbın inerek veya pistonun yukarı çıkarak metalin katılaşması esnasında basınç uygulaması oluşturur. Son yıllarda yöntem iki ana gruba ayrılmıştır, direkt ve dolaylı yöntem. Yöntem basit ve ekonomik bir yöntem olup yüksek üretim oranlarında otomatikleştirilmiş üretim potansiyeline sahiptir. Yüksek boyutsal tamlik ve yüzey düzgünlüğü parçaların talaşlı işleme ihtiyacını en aza indirir. Diğer döküm yöntemlerine nazaran uygulanan yüksek basınçtan dolayı gözenek oranı azaltılmış ve küçük taneli mikro yapıya sahip parçalar üretilebilir. Günümüzde pistonlar, jantlar, rulman parçaları, bilezikler, bağlantı milleri, varil başlıkları, fren diskleri, dökme demirden bomba kılıfları gibi parçalar bu teknikle üretilmektedir. Sıkıştırma döküm işleminin çeşitli alaşımlarla en kaliteli şekilde gerçekleştirilebilmesi için yöntemdeki değişkenlerin ürün üzerindeki etkilerini tam olarak bilmesi gereklidir. Sıkıştırma döküm işlemine etki eden değişkenler olarak döküm anındaki metal sıcaklığı, sıvı metal kalitesi, kalıp sıcaklığı, basınç uygulanma anına kadar geçen süre, uygulanan basınç ve bekleme zamanı, kalıp malzemesi ve kalıp tasarımı sayılabilir .

MMK malzemelerin üretilmesinde sıkıştırma döküm tekniğinin, en önemli en pratik ve en ümit verici yöntemlerden birisi olduğu belirtilmektedir. Bu yöntemle hemen hemen her tipte takviye malzemesi kullanılarak MMK malzeme üretilmesinin mümkün olduğu ifade edilmektedir. Bu metotta takviye malzemesi Şekil 1.5'de şematik olarak verilen bir kalıp içine yerleştirilmekte ve döküm sıcaklığına çıkarılmış sıvı metal belli bir sıcaklığa ısıtılan takviye malzemesinin (parçacık, fiber) üzerine dökülmektedir. Takiben, katılaşma tamamlanıncaya kadar sıvı metal üzerine yüksek miktarlarda basınç uygulanmaktadır. Bir diğer üretim şeklide; takviye malzemesinin parçacık halinde matris malzemesine vorteks metodu ile karıştırılması ve kalıba dökülerek basınç altında katılaştırılmasıdır. Basınç altında katılaştırma ile takviye malzemesi ile matris metali arasında arayüzey bağ mukavemetinin oldukça olumlu yönde etkilendiği rapor edilmektedir [29].



Şekil 1.5. Metal matrisli kompozitin sıkıştırma döküm yöntemi ile üretiminin şematik olarak gösterilişi a-d) Metal kalıba döküm [29]. e-f) Metal kalıp içerisindeki preforma döküm [13].

Sıkıştırma döküm, geleneksel döküm yöntemlerine göre daha fazla basınç gereksinim duymaktadır. Fiber ve matris arasındaki sürtünme kuvvetlerini ve kapiler etkileri yenmek için 50-150 MPa kadar basınç uygulanması gerekmektedir. Katılaşma sürecince uygulanan basınç sayesinde ince taneli, porozitesiz ve pürüzsüz yüzeye sahip malzemeler elde edilebilmektedir. Yüksek basınç gereksinim duyulduğundan, parçanın boyutu sınırlayıcı bir faktördür. Bir diğer sorun ise yine yüksek basınçtan dolayı takviye malzemesine mekanik bir hasar verme ihtimalinin var olmasıdır [15].

Silisyum karbür, grafit, alüminyum oksit ve paslanmaz çelik gibi takviye elemanları, ergimiş metal içinde gereği gibi ıslanamaz. Bu nedenle sıvı metal emdirilmesi metodu oldukça zordur. Fakat sıkıştırma döküm tekniğinde, ergimiş metalin elyaf demeti içerisine basınçla emdirilmesi esasına dayandırıldığından mikro boşluklar önlenabilmektedir. Alüminyum matris kompozitler için yüksek basınç kullanımı son zamanlarda büyük oranda gelişmiştir. Eğer katılaşma sırasında daha yüksek basınçlar uygulanırsa matris yapı, basınç uygulanmayan proseslere göre daha ince taneli olur. [41].

Sıkıştırma Dökümün Avantajları:

- Uygulanan basınç sayesinde katkı fazının sıvı metal tarafından ıslatabilirliğinin artması,
- Katılaşmanın basınç altında gerçekleşmesi, makro-mikro porozitelerin giderilmesine ve dolayısıyla alüminyum matris alaşımının daha iyi metalurjik bir yapıya sahip olmasını sağlar.
- Daha yüksek mekanik özellikler gösterir.
- Yüksek sıcaklıklarda ısısal kararlılık,
- Daha ince mikro yapı,
- Geleneksel döküm yöntemlerine göre segregasyonunun en aza indirilmesi ve porozitenin engellenmesi,
- Net veya net şekle yakın üretim sağlaması, karmaşık şekillerin üretilebilmesi,
- Isıl işlem yapılabilmesi,
- Kaynaklanabilme yeteneği,
- Kusursuz yüzey bitirme,
- Daha az enerji gereksinimi,
- Kompozit üretimine uygulanabilmesi ve özel alaşımlarının dökülebilmesi gibi avantajlar sağlar [41].

1.2.4. Kompozit Malzemelerin Haddelenmesi

Malzemelerin merdane adı verilen ve eksenleri etrafında dönen silindirler arasında geçirilerek plastik olarak şekillendirilmesine haddeme denir. Şekil 1.6'da şematik olarak verilen bu sistemde iş parçasının kesiti küçülürken aynı zamanda da uzama ve genleşme meydana gelir [43].

Şekil Değiştirme : Plastik ve elastik olmak üzere ikiye ayrılır. Haddelenerek şekil değiştirme plastik şekil değiştirmenin uygulama kollarından en önemlisini oluşturmaktadır.

Plastik Şekil Değiştirme : Cisimlerin plastik özelliğine, yani şekillerini kalıcı olarak değiştirme kabiliyetine dayanır. Metalde plastik şekil değiştirme, başlıca kristal kafeslerindeki kayma, ikiz teşekkülü neticesidir. Bundan başka yapılarındaki amorf kitleleri (tane sınırı kitleleri), kuvvetlerin sürekli tesiriyle akması sonucunda sürünme suretiyle de şekil değiştirir. Plastik şekil değiştirme neticesinde meydana gelen değişimler şekil değiştirme derecesine göre belirli bir sıcaklıkta kaybolmaya ve cismin yapısında yeniden kristal teşekkül etmeye başlar. Bu olaya yeniden kristalleşme veya rekristalizasyon adı verilir [42].

Haddeme usulünde ilk amaç haddelenen malzemeyi sıkıştırmak yani daha yoğun hale getirmektir. Bu suretle bunker ve buna benzer boşluklar giderilir veya azaltılır. Aynı zamanda malzemedeki curuf birikintileri dışarı atılır. İkinci amaç malzemeyi daha küçük bir kesit haline getirmektir. Haddeme iç yapı bakımından ikinci derecede, dış yapı bakımından birinci derecede düzgünlük arz eder.

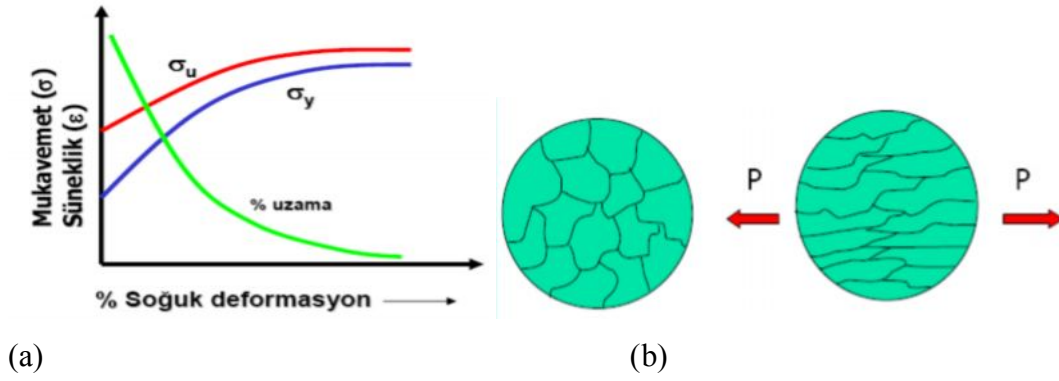


Şekil 1.6 Haddелеme [44].

Şekil değıştirme esnasında metalin sıcaklığı, yeniden kristalleşme sıcaklığının altında ise soğuk şekil değıştirme, üstünde ise sıcak şekil değıştirme adı verilir [42].

Soğuk haddелеme, sıcak haddelenmiş şeritlere nazaran daha iyi çap toleransı ve düzgün yüzeyli şerit imalatı için kullanılır. Soğuk haddелеme neticesi meydana gelen yüzey sertliği (gerilme sertliği) mukavemeti arttırmak için kullanılabilir. Soğuk haddelenmiş çelik levhalar için başlama maddesi, devamlı, sıcak şerit haddelerden bozulan sıcak haddelenmiş saçlardır. Soğuk haddelenmiş levhalar ya sıcak haddelenmiş şeritlerden veya bakır alaşımları halinde direkt olarak dökümünden sonra soğuk haddelenir. Üç-beş tezgahlı (arka arkaya) yüksek devirli dörtlü haddeler çelik levha, alüminyum ve bakır alaşımlarının soğuk haddelemesi için kullanılır [42].

Kuvvetin etkisi altında malzemenin mikro-yapısında bir takım değışimler meydana gelir. Metalik malzemelerde soğuk işlem miktarı sınırlıdır. Çünkü belirli bir soğuk deformasyon sonrasında malzemenin sünekliği şekil 1.7 a’da görüldüğü gibi sifira iner. Bunun ötesinde yapılacak deformasyon malzemedede çatlamalara neden olur. Kristal taneler şekil 1.7b’de görüldüğü gibi deformasyon yönünde uzar [45].



Şekil 1.7 (a) Soğuk Deformasyonun malzeme mukavemeti üzerindeki etkisi (b) deformasyonun yönüne tane uzaması [45].

Soğuk deformasyona uğramış bir parçanın dış yüzeyi düzgün ve sürtünmeden dolayı da parlak olur. Fakat bu yüzey, soğuk-işlem esnasında serbest olarak meydana gelirse, her kristalin ayrı şekilde deformasyona uğraması yüzünden, kaba, düzgün olmayan bir şekilde olur.

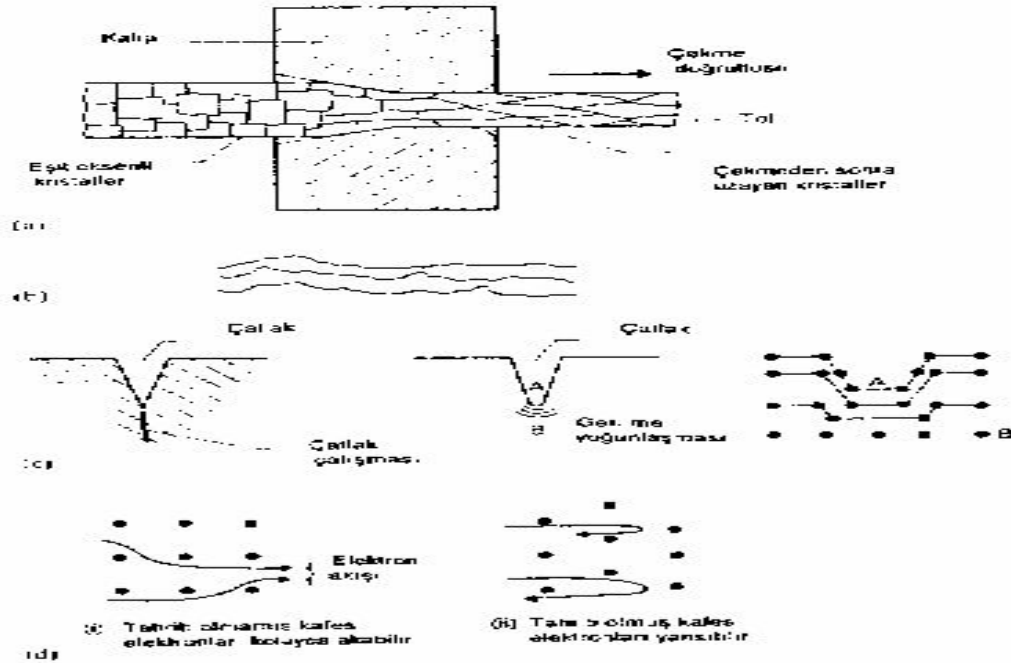
Kabalığın (düzgünsüzlüğün) derecesi tane büyüklüğüne bağlı olup, cilalama yapılacak mamullerde çok önemlidir. Tamamen tavlanmış madenlerde, kırılma oranı yüksek, kuvvet ise azdır. Uzama değeri ilk soğuk deformasyonla azalır ve soğuk işlemin artmasıyla daha da azalmaya devam eder. Uzama değeri, metalin soğuk işlenmeye olan uygunluğunu belirtir. Uzama değeri aynı zamanda soğuk çekmeye olan dayanıklılığı gösterir. Fakat bu değerler, tavlanmadan tekrar işleme girecek olan metaller için bir kritik teşkil etmez.

Kesit azalma değeri soğuk-işlemlerle azalır; fakat bu azalma uzama değerinin azalmasından daha yavaştır. Kesit azalma değeri, metalin tekrarlanan çekme operasyonuna olan kabiliyetini gösterir. Kesit daralması gösteren metal ve kesit azalması grafikleri düze yakın olan metaller (deokside bakırda olduğu gibi) tekrar soğuk işlemeye ve çekilmeye uygundur. Deoksid bakıra göre kesit azalması daha az olan elektrolitik bakır tekrar çekme operasyonlarına daha az uygundur. Pirinç, daha çabuk kesit azalmasına uğradığından, soğuk-işlem esnasında daha sık olarak tavlanmaya ihtiyaç gösterir [46].

1.2.4.1. Soğuk Haddelenmenin Malzemeye Etkisi

Bir metal çubuğun kalıp içerisinde çekilerek çapının daraltılması ve boyunun uzatılmasının etkileri Şekil 1.8 (a)'da görülmektedir. Çubuk kalıp içerisinde geçirilirken, metal yoğun şekilde plastik şekil değişimine maruz kalmakta ve eşit eksenli kristalleri (tavlanma şartlarında tipik metaller) uzamakta ve şekil değişimine uğramaktadır. Metalin kristal yapısındaki bu bozulma, metalin aşağıda belirtilen özelliklerine tesir eder:

- Metalin çekme dayanımı artar. Bunun nedeni metal kafesinin kayma düzlemi boyunca kaydıktan sonra kırılmasıdır. Soğuk şekillendirilen metallerde kayma düzlemi şekil 1.8 (b) de olduğu gibi şekil değiştirmekte (kaba) ve hareket, birbirine teğet kayma düzlemleri arasında iki zımpara kağıdının sürtünmesine benzer şekilde oluşmaktadır. Bunun anlamı, bir düzlemin diğer düzlem üzerinde hareket edememesi sonucunda metallerin daha dayanıklı olmasıdır.



Şekil 1.8. Soğuk şekillendirilmenin metallere etkileri (a) Soğuk şekillendirmenin kristal yapıya etkisi (b) Soğuk şekillendirilmiş metallerde kayma düzlemlerinin şekil değişimi (c) Çatlak yayılım mekanizması (d) Elektrik iletkenliğine soğuk şekillendirmenin etkisi

Benzer biçimde, yumuşaklık nedeni metallerdeki kaymadır. Eğer, kayma oluşmadan önlenibilirse malzeme daha sertleşir. Bu nedenle sertlik ve dayanım birbirleriyle ilgilidir.

- Metallerin soğuk şekillendirilmelerinde, kayma düzlemleri arasındaki sürtünmenin artmasının sonucu olarak, metaller daha sertleşmektedir.
- Metallerin akına noktalan yükselmekte ve metaller daha uzun elastik bölgeye sahip olmaktadır. Bu kaymanın getirdiği bir sonuçtur.
- Süneklik ve tokluk azalmaktadır. Soğuk şekillendirmede, kayma düzlemleri arasında sürtünmenin artması, kaymanın zorlaşması bu sonucu vermektedir. Tokluğun eksikliği (veya kırılmalığının artışı) kayna düzlemleri hareketinin bir yansımasıdır. Eğer yüzeyde çatlak gibi bir süreksizlik mevcutsa, kayma çatlağın olduğu bölgede kolayca oluşmaz ve malzeme daha az tok (daha kırılmal) olur. Bunun nedeni, malzemeye vuruş muayenesindeki gibi çentik açılmasıdır.

Şekil 1.8 (c)'de kırılmal bir malzemedeki çatlağın yayılma düzeni görölmektedir. Çatlağın temelinde oluşan gerilim, metalin çekme geriliminde oluşundan daha büyüktür. "A" noktasında gerilim yığılması oluşur. "A" düzlemindeki çatlağın tabam, "B" düzlemi üzerinden kayarak çatlağın genişlemesini önler. Eğer düzlem kaymazsa, çatlak çalışır (genişler). Çünkü "A" noktasındaki gerilim, moleküller arasındaki bandı kıracağından; böylece yoğunlaşmış gerilim "B"ye ve diğer düzlemlere taşınır. Bu nedenle soğuk şekillendirmede metallerin daha kırılmal olduğu ifade edilebilir

- İşlenebilme. Soğuk şekillendirme metalleri daha katı yapması nedeniyle işlenebilirlikleri gelişmektedir. Kesme noktasındaki kesine işleminin düzgünlüğü sonucu daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilir.

Tüm kafes yapıları şekil değişimine uğradığında, elektrik iletkenliği azalır. Bu işe şekil 1.8 (d)'de göröldüğü gibi, elektron akımını daha da zorlaştırır.

Metallerin şekillendirilmesi yoğunlaştırıldığında, bu sıkı çalışma metali kırılmallaştırır veya kırılmasına neden olur. Bu, çekme muayenesindeki işlemin aynısıdır. Metallerin plastik şekil değişimi, kristal şekil değişim sıcaklığı altında oluştuğundan (tekrar kristalleşme sıcaklığı) bu metallere soğuk şekillendirilen metaller denilir. Böylece soğuk şekillendirilen metaller, tahrip olmuş kristal yapıyı korurlar ve yapı içindeki tanımsız değişimler sonucunda, özelliklerinde bazı değişiklikler oluşur.

Isıl işlemle, tahrip olmuş kristal yapıyı değiştirmek için yeni girişimlerde bulunulmamaktadır. Tüm uygulamalarda metallerin çoğunun soğuk şekillendirilmesi amaçlanır ve alaşımlar da yaklaşık oda sıcaklığında gerçekleştirilir[47].

Süreksiz takviyeli kompozit malzemelerin en önemli avantajlarından biri, takviyesiz alaşımlara uygulanması gerekli ve faydalı bazı basit üretim tekniklerinin ve ikincil üretim işlemlerinin bu malzemelere uygulanabilir olmasıdır. Bununla birlikte, bu malzemelerin takviyeli olması nedeniyle sözü edilen yöntem ve işlemlerde uygulama itibarıyla değişiklikler yapmak zorunlu olmaktadır.

MMK'ların ikincil işlemlerinden ekstrüzyon yöntemi, toz metalurjisi tekniği ile üretilmiş MMK'larda oldukça sık olarak kullanılan bir yöntem olup, hem ileri, hem de geri ekstrüzyon, sıcak ve soğuk olarak uygulanabilmektedir. Takviye olarak elyafların kullanıldığı uygulamalarda elyaflar ekstrüzyon ekseninde yönlenmekte, malzeme içindeki gözeneklilik azalmakta ve buna karşın elyaflarda hasar meydana gelme riski fazla olmaktadır. Haddeme ve dövme gibi uygulamalarda ise bilhassa düşük sıcaklıklarda parçacık veya elyaflarda parçalanma, mikroskobik çatlamlar meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında ise sıcak yırtılma en büyük sorun olmaktadır. Sıcak izostatik presleme uygulamalarında ise bu tür olumsuz etkiler düşük seramik takviye içeren MMK üretiminde en az seviyeye inmektedir. Ancak, yüksek takviye oranlarında, parçanın yüzeyden uzak bölgelerinde işlem esnasında takviyece yoğun bölgeler arasında kalmış olan kalıntı ve porozite oranları bu yöntemle de azaltılamamaktadır.

Parçacık takviyeli alüminyum kompozitlerin dövme işlemleri ile şekillendirme uygulamaları da mevcuttur. Bu konuda çok sayıda çalışma olup, özellikle şahmerdan ile dövme sonucunda yüksek şekil verme hızlarında iyi sonuçlar alındığı belirtilmektedir. İlk üretimleri kütük halinde gerçekleştirilen parçacık takviyeli alüminyum kompozitlerin haddelenme yolu ile şerit, sac ve plaka haline getirilmesi çalışmaları devam etmekte ve başarılı sonuçlar alınmaktadır [48].

2. SÜRTÜNME VE AŞINMA

2.1 SÜRTÜNME

İnsanlığın tükettiği enerjinin büyük bir bölümü çalışma sırasında meydana gelen sürtünme kayıplarını yenmek için harcanmaktadır. Yapılan konstrüksiyonlarda, daha uygun bağlantı malzemelerinin kullanılması veya daha iyi bir yağlama ile sürtünmenin azaltılabilmesi bugünkü teknolojinin oldukça önemli bir sorunudur.

Sürtünme ve aşınma günümüzde Tribolojinin bir alt bilimi olup Triboloji terimi, Yunanca'da sürtünme anlamına gelen TRIBOS kelimesinden gelmektedir. 1966 yılında İngiltere'de toplanan bir komite tarafından Triboloji kelimesi bir bilim dalı olarak kabul edilmiştir. Triboloji, birbiriyle temas halindeki iki nesnenin veya elemanın hareket etmesiyle oluşan etkileşimin teknolojisi veya bilimi olarak tarif edilir [24].

Sürtünme (DIN 50281): Sürtünme temas halindeki iki veya daha fazla yüzeyin bağıl harekete karşı gösterdiği fiziksel dirençtir. Sürtünmeyi tanımlayan en önemli fiziksel parametreler :

Sürtünme kuvveti : Bir harekete karşı gösterilen direnç kuvvetinin miktarı

Sürtünme katsayısı (sürtünme faktörü) : Sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranıdır.

Sürtünme gücü : Sürtünme kuvveti x kayma hızıdır.

Sürtünmenin sınıflandırılması:

- Sürtünmenin koşuluna (temas tipi) göre
- Hareketin tipine göre

Makine bileşenlerinde sürtünme arzu edilmediğinden meydana gelen etkiler enerji sarfiyatı ve/veya sıcaklık artışı ve/veya malzemedeki değişimler için negatif sonuçlar doğurmaktadır. Diğer durumlarda sürtünme uygun çalışma için gerekli katkı sağlayabilir. Bu kendi kendine kilitlenmeli transmisyon aygıtlarıyla, yağlayıcı spesifik sürtünme katsayısını sağlamak zorundadır ve kavramaların bazı tiplerinde sürtünme gereklidir [49].

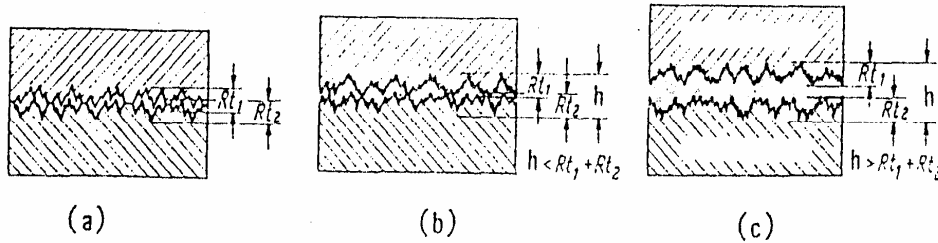
Katı Hal Sürtünme Teorisi Sürtünme, birbirine relatif çalışan iki madde arasında kinetik enerjinin sürekli olarak düşüşünü ifade eder. Malzeme mühendisliği açısından önemli olan katı hal sürtünmesidir.

Düşük sürtünme istenen alanlar : yataklar, dişliler, malzeme üretim işlemleri

Yüksek sürtünme istenen alanlar: Fren diskleri, debriyaj kavrayıcısı, tornavida uçları, yol yüzeyleri

Kaymalı sürtünme malzeme mühendisliğinde en önemli olanıdır. Sürtünmede harcanan enerjinin önemli bir kısmı sürtünme ısını oluşturur. Bir kısmı ise sistemde entropiyi artırır[60].

Amontons ve Coulomb ; ilk mekanik sürtünme teorisini kurarak, temel sürtünme kanunlarını bulmuşlardır. Bu konuda aşağıdaki kurallar geçerlidir. Katı cisimler arasındaki sürtünme görünen temas alanından bağımsızdır. Sürtünme kuvveti normal kuvvetle doğru orantılı olup aralarında sürtünme katsayısı olarak tanımlanan sabit bir oran vardır. Kinetik sürtünme kayma hızından bağımsızdır [50].



Şekil 2.1. Sürtünme Çeşitleri a: Kuru b: Sınır c: Sıvı

İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması veya konulmaması bakımından sürtünme olayı kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üç halde incelenir. Genel anlamda kuru sürtünme birbirine göre izafi harekette bulunan ve doğaldan doğruya temasta bulunan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir (Şekil 2.1.a). Yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması halinde iki durum ortaya çıkabilir ve esas sürtünme yağlayıcı maddenin tabakaları arasında oluşur; bu hale sıvı sürtünmesi

denir (Şekil 2.1.c). İkinci durumda yani yüzeyler tamamıyla ayrılmadığı takdirde, sınır sürtünmesi hali vardır (Şekil 2.1.b) [51].

2.2 AŞINMA

Çeşitli makine elemanlarının ömürlerine büyük oranda etki eden aşınma, iki cismin birbirine göre bağlı hareketleri sırasında temas halindeki yüzeylerden mekanik veya kimyasal etkenlerden dolayı istenilmediği halde oluşan malzeme kaybıdır. Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında kaçınılmaz olan ve kompleks bir sistem özelliği gösteren aşınma büyük miktarlarda malzeme kaybına ve enerji israfına neden olmaktadır. Bundan dolayı, günümüz teknik sistemlerinde yapılan çok sayıdaki araştırmalar sürtünmeyi ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yaygınlaşmıştır [24].

1976'da yayınlanan DIN 50320'ye göre aşınma; Katı cismin yüzey bölgesinden tribolojik zorlamalar sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır[50].

Teknik anlamda ise aşınma, cisimlerin yüzeylerinde mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopup ayrılması nedeniyle istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir. Belirtilen tariflerden görüleceği gibi hiç bir açıklama yapılmadan genel bir tarif yapmak oldukça zordur. Bu bakımdan aşınmayı bir tarif olarak vermek yerine aşınma olayını niteleyen bazı şartların veya kriterlerin belirtilmesi yerinde olacaktır [24]. Mühendislikte malzemede görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için şu şartların mevcut olması gerekir.

Mekanik bir etken olması,

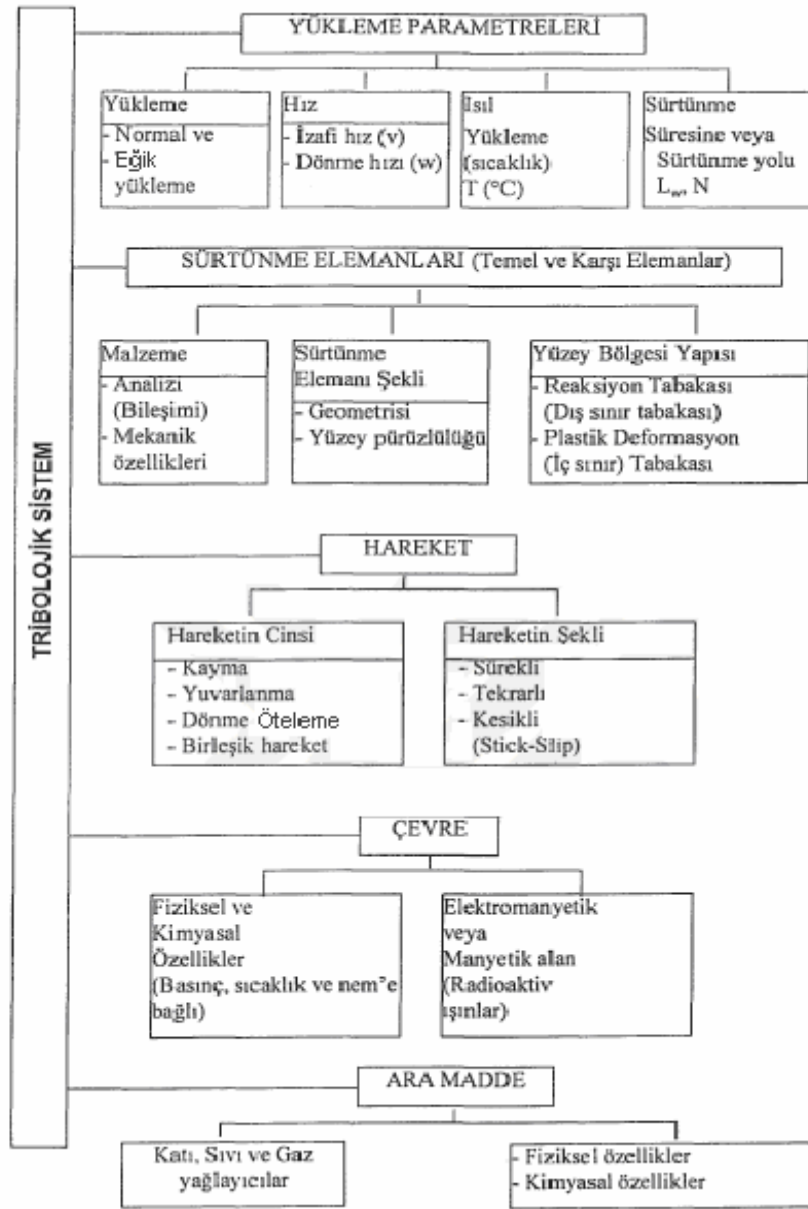
Sürtünmenin olması(bağlı hareket)

Yavaş ve devamlı olması

Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,

İsteğimiz dışında meydana gelmesidir [50].

Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte tribolojik sistem olarak adlandırılır ve Şekil 2.2'de böyle bir sistemin şematik gösterimi verilmiştir.

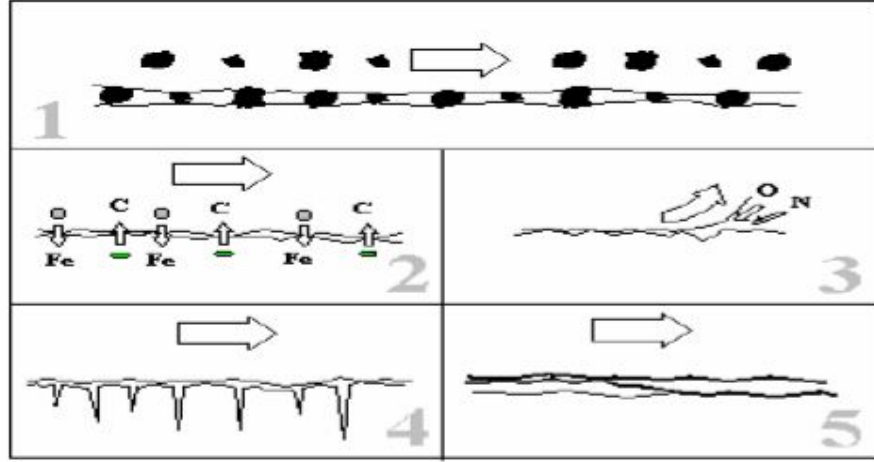


Şekil 2.2 Tribolojik bir sistemin elemanları

2.2.1. Aşınma Türleri

Kompleks bir yapıya sahip olan aşınmanın sınıflandırılması da birçok değişik şekillerde yapılmaktadır. Aşınmanın miktarına göre hafif ve şiddetli aşınma olarak yapıldığı gibi tribolojik sistem direk etkileyen mekanik, kimyasal ve termal olarak ta sınıflandırılabilir. Sınıflandırmada esas olan parçanın maruz kaldığı etkenlerdir [24]. Mekanik aşınma içinde;

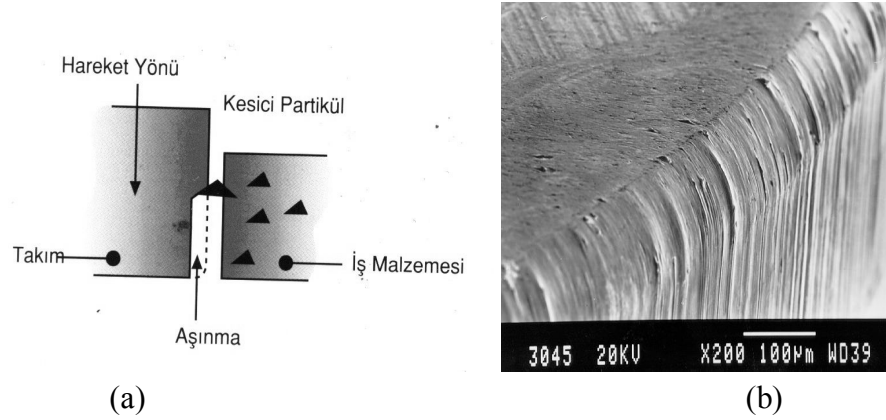
- 1.Abrasif aşınma,
- 2.Difüzyon aşınması (atomik yer değiştirme),
- 3.Oksidasyon aşınması,
- 4.Yorulma aşınması(statik veya dinamik),
- 5.Adhesif aşınma, şeklinde gruplandırılmaktadır. (şekil 2.3)



Şekil 2.3. Temel aşınma mekanizmaları; 1-Abrasyon, 2-Difüzyon, 3 Oksitlenme, 4 Yorulma, 5-Adhesiyon[14].

2.2.1.1. Abrasif Aşınma

Abrasif aşınma; bir yüzeyin temas halinde bulunduğu diğer yüzeyden daha sert olduğu durumlarda veya temas bölgesinde sert taneciklerin bulunduğu durumlarda meydana gelir. Sert yüzeyin yüzey pürüzlülükleri yumuşak yüzeye bastırıldığı zaman yumuşak malzemede plastik akma meydana gelir. Şayet sert yüzey teğetsel olarak hareket ettirilirse dalma meydana gelir ve yumuşak malzemenin yüzeyinde kanallar ve çizikler meydana gelir. Sert yüzeyin geometrisine ve nüfuziyet derecesine bağlı olarak yüzeyden malzeme uzaklaştırır. Abrasif aşınma, iki elemanlı, üç elemanlı ve erozyon aşınması olarak üç gruba ayrılır. Abrasif aşınma mekanizmaları Şekil 2.4.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Abrasif Aşınmanın Oluşumu Şematik (sol) ve Kesici Kenarın SEM Görüntüsü (sağ), (Moster, 1997) [52].

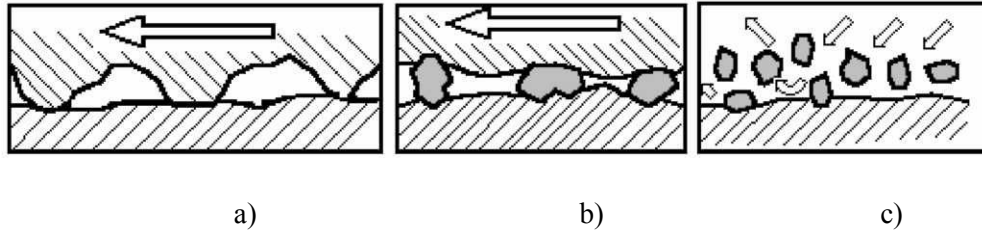
Genel olarak abrasif aşınma türleri üç ana grupta toplanmaktadır. Bunlar; oymalı sürtünme aşınması, öğütmeli sürtünme aşınması ve erozyondur. Bir çok karakteristik açıdan bu aşınma türlerini birbirlerine benzemelerine rağmen, tek tek incelendikleri zaman, birbirlerinden önemli farklılıklar sergiledikleri görülür.

Oymalı sürtünme aşınması, kütleli bir şekilde yüzeyin deformasyonu sonucunda oluşan bir aşınma türüdür, aşırı yüklemeler etkisi ile meydana gelen oymalı sürtünme aşınmasına örnek olarak, ağır koşullar altında çalışan kazıcı, kırıcı gibi maden araçlarında görülen aşınmalar verilebilir.

Öğütmeli sürtünme aşınması, iki yüzeyin birbiri üzerinde hareket etmesi sonucunda ortaya çıkar ve ara yüzeyde abrasyona dayalı parçacıklar bulunmaktadır. Bu ara yüzeyde yer alan taneler, ya bir yüzeyden aşınarak gelir yada her iki yüzeyin birlikte aşınması sonucunda ortaya çıkar. Abrasif aşınma, keskin köşelere sahip olan abrasif tanelerin yüzeye yük uygulanması durumunda parçanın yüzeyini kazıyarak veya kaldırarak parçalar koparmasıyla hasara neden olmaktadır. Örnek olarak bilyalı değirmenler gösterilebilir.

Erozif aşınma ise, aşındırıcı tozların askıda durduğu sıvı veya hava gibi akışkan bir ortam vasıtasıyla malzeme yüzeyine çarpma etkisi ile gerçekleşmektedir. Her bir temas malzeme yüzeyinden küçük bir parçanın kaybına neden olmaktadır. Normal şartlar altında aşınma hızı düşüktür. Ancak yüksek sıcaklıklarda, malzemenin akma dayanımı düşmekte ve yüksek akış hızlarında erozif aşınma, hız kazanmaktadır. Bazı şartlarda, malzemenin yüzeyinin her tarafını korozyon ürünleri kaplayabilmektedir.

Buna erozyonun korozyon etkisi de denilmektedir. Örnek olarak gemi pervaneleri verilebilir. Abrasif aşınma mekanizmaları Şekil 2.5'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Abrasif aşınma mekanizmaları; a) Oymalı b) Öğütmeli c) Erozyon abrasyon

2.2.1.2. Difüzyon Aşınması

Difüzyon aşınmasında, yüzeylerin karşılıklı çalışması sırasında oluşan kimyasal olaylar daha etkili olmaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin kimyasal özellikleri ve karşılıklı malzemeyle olan birleşme eğilimleri difüzyon aşınması mekanizmasının oluşmasını sağlamaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin sertliği bu aşınmada çok fazla etkili olmamaktadır. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki, asıl aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin etmektedir. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüzeyler arasında yüksek basınç ve yüksek kayma hızlarında daha fazla olmaktadır [14].

Sürtünme esnasında, uygulanan kuvvetle yüzeylerin teması sağlanarak malzeme yüzeylerinde gerilme yığılmaları ve sıcaklığın artışı ile birlikte, temas noktalarında

akma ve sürünme başlar. Bunun sonucunda temas noktaları plastik şekil değiştirmeye maruz kalarak temas alanları büyür. Böylece yüzeyler arasında atom alışverişi meydana gelerek mukavemeti düşük olan bir yüzey tabakası meydana gelir. Bu tabaka sürtünmeden ve izafi hareketin devam etmesiyle birlikte esas malzeme yüzeyinden koparak malzeme kaybına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya diffüzyon aşınması denir. Bu aşınma mekanizması fren balatalarında, uzay araçlarında ve takım tezgahlarında görülür. Demiryollarında çalışan fren papuçları ile tekerlek arasındaki sürtünmeden dolayı diffüzyon aşınması meydana gelebilir [34].

2.2.1.3 Oksidasyon Aşınması

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber, metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon anlamına gelmektedir. Sürtünme etkisi yüzeyde yüksek sıcaklıkların meydana gelmesine neden olur ve bu sıcaklık artışı kimyasal reaksiyonların sebep olduğu çatlak oluşumunu artırır. Hava çalışan iki yüzey kenarlarından ve abrasif aşınmanın neden olduğu kanallardan içeri girme imkanı bulur. Bu tür aşınma yüksek sıcaklık ve dış havayla temas gerektirdiğinden daha çok kuru kayma aşınmasında meydana gelir [14].

Malzemelerin izafi hareket sırasında statik ve dinamik sürtünme kuvvetlerinin farklılık göstermesi sebebiyle düşük kayma hızlarında yüzeyler arasında titreşimler meydana gelir. Bu titreşimler yüzeyler arasında bir oksit filminin oluşmasına yol açar. Bu olaya tribolojik zorlanma esnasında meydana gelmesinden dolayı sürtünme oksidasyonu veya tribo-oksidasyon denir.

Sürtünen elemanlar arasında oluşan oksit tabakası ana malzemenin aşınma direncini önemli ölçüde etkiler. Meydana gelen oksit filmi adhesif aşınmaya karşı direncini artırmasına rağmen, izafi hareketin devam etmesiyle birlikte, parçalanmış oksit filmi malzemeler arasında aşındırıcı tane oluşturarak abrasif aşınmayı hızlandırır. Bu tür aşınma çoğunlukla taş kırma makinalarında görülür[34].

2.2.1.4 Yorulma ve Tabakalaşma Aşınması

Malzemelerde yorulma yüzeyde başlar ve mikro çatlaklara sebep olur. Sürtünen yüzeylerde pulcuklar şeklinde malzeme kaybına neden olur [50].

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve karşılıklı kaymanın sık sık durup başlaması neticesinde çalışan yüzeylerin kenarlarına düşen yüklerdeki değişimden dolayı kenarlarda çatlaklar ve kırılmalar oluşur. Yorulma büyük bir çatlağın orijini başlatabilir ve malzeme yüzeyinden taneciklerin kopmasını sağlayabilir. Tabakalaşma aşınması; yüzey pürüzlülüklerinin birbiri üzerinde kayması sırasında mikroskobik ölçekte meydana gelen bir yorulma aşınmasıdır. Küçük çatlaklar yüzeyin altında çekirdeklenir. Yüzeyin hemen altında üç eksenli basma gerilmelerinden dolayı çatlak başlangıç yüzeyin hemen altında meydana gelmez. Tekrarlı yükleme ve deformasyonlar, çatlakların genişlemesini, ilerlemesini ve diğer komşu çatlaklarla birleşmesine neden olur. Çatlaklar yüzeye paralel doğrultuda oluşur ve sonuçta uzun ince aşınmış tabakalar meydana gelir [14].

2.2.1.5 Adhesif Aşınma

Benzer kafes yapısına sahip iki metalin, yüzeyleri arasında adhezyon kuvveti sözkonusudur. Bu kuvvetin oluşması moleküllerin yaklaştırılmasına bağlıdır. Temas halindeki yüzeyler bir-birleriyle pürüzlü noktalarda etkileşirler. Metal ağırlığı ve/ya herhangi bir dış kuvvet, temasta olan çok küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç olarak etkir. Bu basınç, pürüzlerin akma sınırını aşınca plastik deformasyona, pürüzlerin birbirlerini çizmesine, yarmasına ve birbirlerine sıvanıp kaynak yapmalarına neden olur. Pürüzlerin deformasyonu sonucu mikro adhezyon temas yüzeyi boyunca hızla yayılır. Sonuçta yüzeyde oksit tabakaları parçalanır, Nihayet temas noktalarında mikro soğuk kaynak bağları meydana gelir. Bağlı hareketin devamı halinde bağlar kırılarak malzeme kaybına neden olur. Adhesif aşınma izafi hıza ve normal kuvvete bağlı olup, temiz

yüzeylerde kısmen daha düşük hızlarda meydana gelir. Şekil 2.6 te adhesif aşınma verilmiştir.

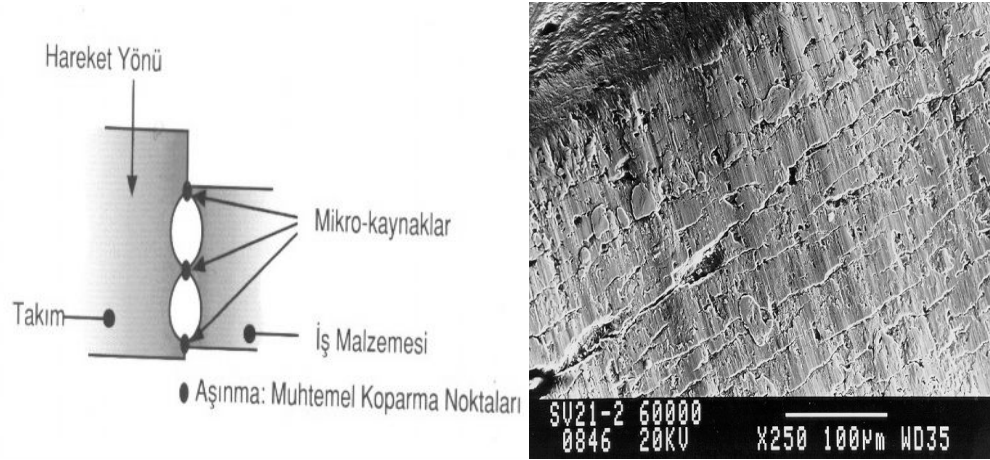
Archard'ın adhesif aşınma ile ilgili çalışmalarından şu sonuçlar çıkartılabilir.

Aşınan malzeme hacmi;

Sürtünme mesafesiyle doğru orantılıdır.

Uygulanan kuvvetle orantılıdır.

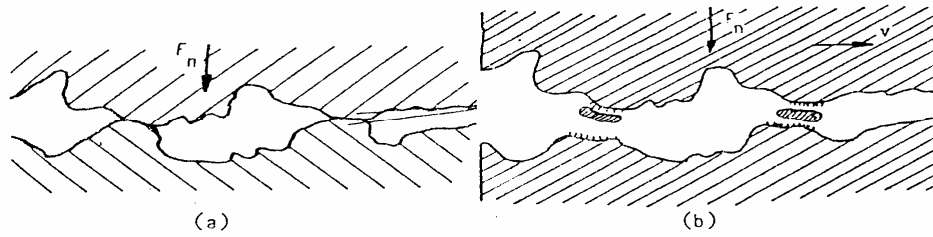
Malzemenin sertliği ile ters orantılıdır [50].



Şekil 2.6 Adhesif Aşınmanın Oluşumu Şematik (sol) ve Kesici Kenarın SEM Görüntüsü (sağ), (Moster, 1997) [52].

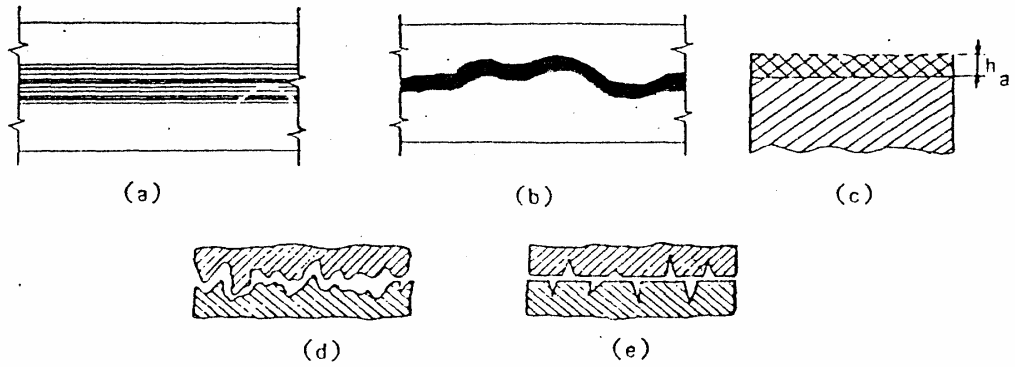
Yapışma aşınması olarak ta bilinen adhesif aşınma en yaygın olarak rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle adhesif aşınma hasarlarının etkisi bulunmaz. Bu tür aşınma iki malzemenin birbiri üzerinde hareket etmesi sırasında yapışması ve kayması sonucunda küçük parçacıkların ayrılmasıyla oluşmaktadır. Teorik olarak, malzeme yüzeyinde bulunan düzensizlikler sebebiyle birbirine temas etmekte olan iki yüzey arasında uygulanan yüke bağlı olarak bir çok noktada temas gerçekleşir. İki metal yüzeyi birbiri ile temas ettiği taktirde, malzemenin yüzeylerinde bulunan izler, düzensizlikler malzeme yüzeyinde bölgesel yüksek basınçlar oluştururlar ve yüzey filmlerinin kırılmasına neden olurlar. Temiz metal yüzeyleri birbirlerine temas ettirildikleri zaman, yüzeylerdeki elektrostatik düzensizlikler sebebiyle, kaynama için bir eğilim söz konusudur. Eğer bir yüzey diğer yüzey üzerinde hareket halinde ise, kaynamanın olduğu bölgeler kırılacaktır. Kırılma düzlemi orijinal ara yüzey olabilmekte ve ana malzemede bir zayıflamaya neden olmaktadır. Adhesif aşınmanın esas kaynak

bağı teorisi ile açıklanabilir. Daha önce belirtildiği gibi yüzeyler arasındaki gerçek temas alanı çok küçük olduğundan temas noktaları büyük bir basınç altında bulunmaktadır. Normal olarak yüzeylerde adsorbe edilmiş olan tabii veya yağ tabakaları basınç altında parçalanır; malzemelerin molekülleri doğrudan doğruya temasa gelir ve bölgesel kaynak bağları oluşur. Bu kaynak bağlarının kopması ile meydana gelen malzeme kaybı, adhesif aşınmasını oluşturur (Şekil 2.7. a,b). [51].



Şekil 2.7. Adhesif aşınmanın oluşması (a) Yükün etkisiyle kaynak (b) Hareketin etkisiyle kaynağın kopması

Adhesif aşınması, yüzeylerde bir takım çizikler şeklinde (Şekil 2.8.a) veya tam tersine yüzeyleri parlatmış gibi görülmektedir; bu şekilde yüzeylerden bir tabaka kaldırılmaktadır. Teorik olarak bu tabaka Şekil 2.8 c de gösterildiği gibi olur.



Şekil 2.8. Adhesif Aşınma Türleri[51].

Zamana bağlı aşınmanın yanı sıra yenme adını taşıyan ani aşınma tipide vardır; bu aşınmada yüzeyler arasında kuvvetli kaynak bağları oluşur, parçalar birbirine

kilitlenir veya hareket ettiği halde yüzeyler tamamen bozulur. Genellikle yenme; eş çalışan malzemelerin seçiminde yapılan hatalardan, basınç veya kayma hızlarının çok büyük ve yağlanmanın yetersiz olmasından kaynaklanır. Yenmede görülen şiddetli kaynama, o noktanın sıcaklığının artmasından ileri gelir. Sıcaklık arttıkça, yapışmış tabakanın düzeni bozulmaya başlar, belirli bir sıcaklıkta kopar ve metalik kaynak bağları oluşur. Bu sıcaklığa tabakanın kritik sıcaklığı da denilir.

3. KAYNAK TARAMASI

Bu bölümde araştırmacıların MMK'lerin sahip oldukları özellikleri iyileştirmek ve üretim safhalarında karşılaşılan problemleri en aza indirmek için yaptığı çalışmalardan örnekler verilmektedir. Araştırmacılar özellikle, MMK'lerin üretimi ve aşınma direncinin artırılması üzerinde yoğun çalışmalar yapmaktadırlar.

Metal matrisli kompozitlerin yüksek özgül dayanımı, modülleri ve yüksek sıcaklık özellikleri nedeniyle son yıllarda kullanım alanları genişlemektedir. Bunun yanında, yüksek performans gerektiren sürtünme ve aşınma dirençli malzemelere olan ilgi ve istek de özellikle otomotiv sanayinde bu malzemelerin geliştirilmesinde bir diğer tahrik edici unsur olmuştur[38].

MMK malzemelerin aşınma performansları matris ve takviye elemanının özelliklerine bağlı olarak değişir. Aşınma genellikle, fiziksel veya kimyasal bir yöntemle yüzeyden malzemenin uzaklaştırılması olarak tarif edilir. Bir çok araştırmacı, Al metal matrisli kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışı üzerine çalışmışlardır. Sonuçta, sert tane takviyeli kompozitlerin matris alaşımına göre çok yüksek değerlerde aşınmaya karşı direnç gösterdiğini tespit etmişlerdir. Aşınma oranı, kayma hızı, parçacık boyutu, sertlik, uygulanan yük, matris malzemesinin kimyasal bileşimi ve takviye malzemesinin hacim miktarı ile yapı içindeki dağılımından etkilenmektedir. Literatürde, sert fazların miktarının ve tane boyutunun artmasıyla aşınma oranının arttığı bildirilmiştir. Zhang ve Alpas'ın yaptıkları çalışmalarda, % 20 Al_2O_3 -Al6061 kompozitinin takviyesiz Al6061 alaşımıyla karşılaştırıldığında kritik yük değerinin yükseldiğini tespit etmişlerdir [6].

Al alaşımları MMK malzemeler içinde matris alaşımı olarak oldukça çok kullanılmaktadır. Hafif metaller, kompozitler için matris malzemesi olarak çok cazip olmaktadır. Bunlar plastiklerden daha yüksek elastik modül, dayanım ve tokluğa sahip olup

yüksek sıcaklıklarda özellikleri de daha iyidir. Ancak metal matrisli kompozit üretimi daha zordur. Bunlar her fiberle iyi ara yüzey bağı oluşturmazlar. Metallerle en kolay bağ oluşturan silisyum karbür ile kaplanmış boron fiberdir. MMK'lerde çok yaygın olarak kullanılan matris malzemesi, düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarda tercih edilirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımının da çok yüksek olması diğer karakteristik özelliklerinden biridir. Genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, ve Zn matris malzemesi olarak kullanılır fakat Al ve alaşımları, Ti ve Mg yaygın olarak kullanılmaktadır [35].

Metal matrisli kompozit malzemelerin sürtünme ve aşınma davranışı ilave edilen fazın tabiatına ve matris malzemesi ile yaptığı bağa bağlıdır. MMK malzemelerdeki aşınma davranışı incelemeleri genelde sert seramik parçacık ilavesi ile yada yağlayıcı özelliklere sahip yumuşak grafit yada MoS_2 gibi malzemeler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Metal içine dağıtılmış seramik parçacıklar aşındırıcı olarak kullanılan diskten çok daha yüksek sertlik değerine ve çok düşük yapışma (adhesion) özelliğine sahiptirler. MMK ile aşındırıcı diskin temasında parçacıkları çevreleyen metal matris hemen aşınmakta ve böylece parçacıklar disk ile temas ederek yük taşıyıcı faz olarak davranmaktadır. Yumuşak parçacık grafit vb. uygulamasında ise bu malzemelerin yağlayıcı özelliğinden faydalanılmaktadır. Parçacık takviyeli Al esaslı kompozitlerin sürtünme davranışı hakkında oldukça detaylı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Araştırmacıların büyük bir kısmı sert parçacıkların Alüminyum esaslı kompozitlerde sürtünme katsayısını düşürdüğünü tespit ederken az sayıdaki araştırmacıda bunun tersini iddia etmiştir. İkinci gruptaki araştırmacılara göre, seramikler aşınma esnasında sürtünme kuvvetini arttırmakta ve sürtünme katsayısı da buna paralel olarak artmaktadır. Sürtünme katsayısının artışında en önemli etkenin parçacık segregasyonu ve zayıf arayüzey bağından kaynaklanabileceği de ayrıca bildirilmektedir. [29].

Yüksek performans gerektiren otomotiv sanayiinde kompozit malzemelerin geliştirilmesi önemli bir unsur olmaktadır. Alümina ve SiC ile takviye edilmiş MMK' ler üzerine pek çok araştırmalar yapılmış ve aşınma özellikleri incelenmiştir . Matris alaşımının takviye elemanı ile kuvvetli bir matris/parçacık bağ mukavemeti meydana getirmesi matris

alaşımının daha hızlı aşınmasına ve takviye elamanlarının aşındırıcı disk ile temasını daha hızlı gerçekleştirmektedir.

Parçacık ve matris bağ mukavemetinin sağlam olması kompozitlerin istenilen şartlara yakın üretilmesi ile sağlanabilir. Bu durumda metal matris kompozitlerin aşınma mukavemeti matris alaşımına göre oldukça fazla olduğu ifade edilmektedir [35].

Mekanik özellikleri ve mikro yapılarındaki karmaşıklık nedeniyle MMK malzemelerin aşınma mekanizmaları çok iyi anlaşılamamaktadır. Ancak, bir çok araştırmaya göre kuru şartlar altında yapılan deneylerde karmaşık ve birbirine zıt sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir. Metal matrisli kompozitlerin aşınma sürtünme davranışları konusunda farklı kayma şartlarında son yıllarda yapılmış ulusal ve uluslararası çalışmaların özeti verilmiştir.

Mindivan ve Kayalı [55], sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş olan % 50 hacim oranında SiC parçacık takviyeli döküm halindeki ve yaşlandırılmış durumdaki 2618 alüminyum matrisli kompozitin kuru kayma aşınma davranışları incelenmiştir. Kompozitlerin oda sıcaklığı mekanik özellikleri sertlik ve darbe deneyleri ile belirlenmiştir. % 50 SiC içeren 2618 alüminyum matrisli kompozitin sertliği yaşlandırma işlemi ile % 5 oranında artarken darbe direnci ise yaklaşık olarak % 12 oranında azalmıştır. Kompozitlerin aşınma davranışları ileri-geri aşınma deneyleri ile incelenmiştir. İleri-geri aşınma deneyleri 1.5-6.0 N yük aralığında, 0.02 m/s ve 0.09 m/s olmak üzere iki farklı kayma hızında Al_2O_3 topun sürtünmesi ile yapılmıştır. Aşınma deneyleri sonunda SiC ile takviye edilmiş 2618 alüminyum matrisli kompozitin döküm haline kıyasla, yaşlandırma ısı işlemi ile aşınma direncinin düşük test yüklerinde ve yüksek kayma hızlarında değişmediği, ancak yüksek test yüklerinde ve düşük kayma hızlarında ise arttığı tespit edilmiştir.

Bedir ve Ögel [7] çalışmalarında, sıcak presleme yöntemi kullanılarak Al-metal anayapılı kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde hem sıvı üretim yönteminin hem toz metalürjisi yönteminin avantajlı yanları kullanılmaya

çalışılmıştır. Üretilen numuneler iki gruba ayrılmıştır. Bir gruba sadece 530 C de 24 saat ısıtıl işlem uygulanmış, diğer gruba ilaveten 180 C de 24 saat yaşlandırma ısıtıl işlemi uygulanmış ve sertlik değerleri belirli zaman aralıklarıyla ölçülmüştür. 10 saat yaşlandırılmış numunelerin sertlik değerlerinin maksimuma ulaştığı gözlenmiştir. Daha sonra yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış numune gruplarının aşınma deneyleri pin on disk (POD) sistemle kuru ortamda yapılmıştır. Deneylerde 100p, 150p ve 220p da yapılmıştır. Aşınma deneylerinden elde edilen sonuçlar, SiC_p fazına, aşınan yüzeyin mikroyapısına ve aşınma mekanizmalarına bağlı olarak yorumlanmıştır. Her üç aşındırıcı ile yapılan deneylerde Al-Cu/SiC kompozitlerin aşınma miktarı anayapıya göre daha azdır. SiC katkı fazı kompozitin aşınma direncini artırmıştır. Diğer taraftan 100p ile yapılan aşınma deneylerle 220p'lik ile yapılan deneyler karşılaştırıldığında aşınma dirençleri farklılık göstermiştir. Bu olay büyük ölçekte aşındırıcının tane büyüklüğüne bağlı olduğu düşünülmüştür. Farklı aşındırıcılarla yapılan deneylerde farklı tip aşınma yüzeyleri elde edilmiştir. Abrasiv aşındırıcıların tane büyüklüğü aşınma mekanizmaları ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür .

Mindivan ve arkadaşları [61], tarafından aynı şekilde 1.5 N ve 6.0 N yük altında yapılan 2618, 6082, 7012, 7075 serisi Al alaşımlı takviye oranı hacimce % 50 SiC olarak kullanılan kompozitlerin incelendiği deneysel çalışmayla yükün artmasının sürtünme katsayısını büyük bir oranda arttırdığı görülmüştür.

Rana ve Stefanescu [17], Al-%15 Mg alaşımlarına ilave edilen SiC parçacıklarının boyutunun ve ağırlıkça oranlarının sürtünme katsayısına etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, 100 µm boyutlarında ve ağırlıkça %15 SiC parçacık takviye içeren kompozitin sürtünme katsayısının takviyesiz alaşımdan 3 kat, 100 µm boyutlu %12.5 SiC parçacık takviyeli kompozitten ise yaklaşık 2 kat daha düşük olduğu tesbit edilmiştir.

Arıkan R [62], yaptığı çalışmada %10, %20 ve %30 hacim oranında alümina saffil (δ -Al₂O₃) fiber içeren çinko-alüminyum esaslı alaşımın (ZA-12) sürtünme aşınma davranışları incelenmiştir. Numuneler saffil fiber preformlara vakum altında “sıvı metal infiltrasyon” yöntemiyle üretilen kompozit levhalardan hazırlanmıştır.

Seramik fiberler yaklaşık 3 mikron çapında ve ortalama 500 mikron boyunda olup kompozit levhada düzlem içinde gelişigüzel (planar random) dağılmış haldedir. Sürtünme-aşınma deneyleri pim/disk tipi bir test makinesinde 20, 25 ve 30 N yükler altında yapılmıştır. Fiberlerin disk yüzeyine dik olmasına özen gösterilmiştir. Ağırlık kaybı (aşınma kaybı) ve sürtünme katsayısı belirlenmiş ve bunların fiber hacim oranı ile ilişkileri gösterilmiştir. Ağırlık kaybının yük ve fiber oranı ile arttığı, sürtünme katsayısının ise alaşımına göre daha büyük olduğu görülmüştür. Aşınma davranışlarını belirlemek için numunelerin hem aşınma yüzeyleri hem de bu yüzeye dik kesitleri elektron mikroskopta (SEM) incelenerek karşılaştırılmıştır. Buna göre fiberlerin plastik deformasyonu azalttığı, sürtünme direncini ise artırdığı fakat kopan fiber parçacıkların matrise gömülerek sürüklenmesi nedeniyle daha fazla aşınmaya sebep olduğu görülmüştür.

Özdin K, Şahin Y [32], Al-2011 alaşımı ile değişik parçacık oranı içerikli SiC parçacıkları takviyelendirilme işlemi ergimiş metal karıştırma metoduyla yapılmıştır. Üretilen metal matrisli kompozit ve ana malzemeden hazırlanan numunelerin kuru aşınma davranışları farklı yükleme şartlarında taşlanmış rulman çelik bileziğe karşı pim-halka metodu kullanılarak, araştırılmıştır. Deney sonuçları, yük arttıkça hem matris alaşımı hem de farklı boyutlu parçacık takviyeli kompozitler için aşınma hacminin doğrusal olarak arttığını göstermiştir. Bazı kompozitlerde yaklaşık olarak 45 N yük üzerindeyken bir geçiş noktasının mevcut olduğu ve büyük parçacıkla takviyeli kompozitlerde bu noktanın daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Buna ilaveten, Al alaşımına % 5 oranında SiC parçacık takviyesi bile aşınma direncinin büyük oranda iyileşmesine neden olmuştur.

Song ve arkadaşları[64], yaptıkları çalışmada sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen Al/Al₂O₃/C hibrit metal matris kompoziterin aşınma davranışını karakterize etmişlerdir. Hibrit kompoziterin aşınma davranışında karbon liflerinin hacimce artmasının aşınmaya etkilerini araştırmışlardır. Al/Al₂O₃/C kompozitinin davranışının, çeşitli kayma hızlarının altında kuru aşınma testi ile test edildi. Aşınma 0.51, 1.97 ve 3.62 m/sn kayma hızlarında yapılmıştır malzemenin aşınma hızı düşük hızda yüksek orta hızda düşük yüksek hızda tekrar artmıştır. Al/Al₂O₃/C kompoziterin aşınma direnci,

Al/Al₂O₃/C kompozitlerine karbon liflerini ekleyerek Al/Al₂O₃ bileşiklerinin üzerinde dikkat çekecek derecede geliştirildi. Özellikle, % 8 hacimli karbon içerirken orta kayma hızda Al/Al₂O₃/C kompozitlerinin aşınma direncini arttırdığı görülmüştür. Fraktografik çalışmalarından, zarar verilen bölge, orta kayma hızında melez bileşiklerinin aşınma yüzeylerinde, katı yağlama filmi biçimi gözlenmedi. Karbon liflerinin, karbon hibrit kompozitlerinin aşınma direncini geliştirdiğini eklemenin sonucu olarak oluşturulan katı yağlama filmi sağlamaktadır. çünkü bu film, MMK aksine malzemenin arasında yüksek sürtünme kuvvetini azaltır.

Zhenfang Zhang ve arkadaşları[65], metal matris kompozitlerin aşınma modelini belirlemek için yapılan deneyde 6061 Al matrisli ve Al₂O₃ takviyeli kompozitin aşınmasını iki farklı aşındırıcıyla AISI 1030, AISI 4140 çelikleriyle pin on disk yöntemiyle aşınmaya tabi tutulmuştur. Yapılan deneyde saf Al, % 10 Al₂O₃ ve %20 Al₂O₃ AISI 1030 ile yapılan deneyde AISI 4140 göre daha az aşınmıştır. Buna karşılık aşındırıcı malzemeler saf 6061 Al alaşımında bir problem olmazken takviye arttıkça aşındırıcı çeliklerde de malzeme kaybı artmıştır. AISI 4140 sertliği AISI 1030 çeliğinden daha yüksektir ve deneyde AISI 4140 daha az aşınmıştır.

Şahin [14], SiC whiskerslerle üretilen kompozitlerin önemli bir avantajının, ekstrüzyon, haddeleme, kalıpta dövme ve presleme gibi plastik şekil verme tekniklerinin, whiskerslerde ve parçacık takviyeli kompozitlerde mekaniksel bir hasar meydana getirmeden uygulanabilmesi olduğunu belirtmiştir.

Alpas and Zhang [5] , 2014Al- SiC ve 6060Al-Al₂O₃ alüminyum matrisli kompozitlerin kuru kayma aşınma davranışına takviye parçacık hacim oranı, parçacık büyüklüğünün ve aşındırıcı malzemenin etkisini incelemişler, artan takviye hacim oranı ile takviye boyutunun kompozitlerin aşınma direncini artırdığını tespit etmişlerdir. Bunun tersine, Hopking ve arkadaşları ile Milliere ve Suery kuru aşınma şartlarında saffil fiberli kompozitlerin çelik bilyalı yataklarda iyi aşınma direnci gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak araştırmacılar şuna işaret etmektedirler ki, aşınma direnci, malzemenin yalnızca iç yapısına bağlı bir özellik değil aynı zamanda malzemenin

maruz kaldığı şartlara da son derece bağlı olmaktadır. Son yıllarda endüstride önemli uygulama alanı bulan ZA alaşımların yetersiz yağlama şartlarında ve büyük yükler altında iyi aşınma direnci gösterdiği kanıtlanmıştır.

Buytoz ve Eren [6] çalışmalarında, bir Al-Si-Mg alaşımına ağırlıkça % 5, 10 ve 15 oranlarında SiC, Al_2O_3 ve FeCrC parçacıkları ilave edilerek üretilen Al metal matrisli kompozit malzemelerin (MMK) abrasif aşınma davranışları incelenmiştir. Kompozit malzemeler karıştırılmalı döküm tekniğiyle üretilmiştir. Abrasif aşınma deneyleri, bir pin on disk test cihazında 1.89 m/s kayma hızında ve 10-30 N yük altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, üretilen matris alaşımı ve kompozit malzemelerin optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS çalışmaları yapılmıştır. Test sonuçları incelendiğinde, matris alaşımının aşınma değerinin kompozit malzemelerin aşınma değerlerine göre oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, tüm MMK numunelerinde, artan yüklerle birlikte aşınma miktarının da arttığı, ancak maksimum yükte FeCrC parçacıklarının matrisi plastik olarak deforme ettiği belirlenmiştir.

Skolianos ve Kattamis [31], tarafından yarı-katı karıştırma yöntemi ile üretilen 10.7-29 μm takviye boyutu ve %0-29 takviye hacim oranına sahip kompozitlerin abrasif aşınma testleri, artan takviye hacim oranı ve azalan takviye parçacık boyutunun aşınma hızını azalttığını göstermiştir. Candan ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş olan 13 ve 37 μm parçacık büyüklüğüne sahip kompozitlerin abrasif aşınma testleri, kompozitlerin aşınma dirençlerinin aşındırıcı tane boyutuna ve kompozitteki takviye parçacık boyutuna bağlı olduğunu göstermiştir. Roy et al., çalışmalarında SiC, TiC, TiB_2 , ve B_4C parçacıklar ile takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin kuru kayma aşınma davranışlarını incelemişler ve kompozitlerin aşınma hızında takviye şekli ve boyutunun önemli bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada, basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al-%55 SiC parçacık (SiCp) takviyeli kompozitlerin abrasif aşınma davranışına parçacık boyutunun etkisi incelenmiştir. Abrasif aşınma testleri 100, 280 ve 500 mesh Al_2O_3 zımparalar üzerinde, 12, 24 ve 36 N yükler altında, disk üzerinde pim aşınma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Takviyesiz matris alaşımı ile karşılaştırıldığında kompozitler

mükemmel aşınma direnci göstermişlerdir. Kompozitlerin aşınma hızı, artan yük, artan aşındırıcı tane boyutu ve azalan takviye parçacık boyutu ile artmıştır[31].

Ay M. ve arkadaşları [55] çalışmalarında, toz metalurjisi yöntemi ile üretilen ağırlıkça % 3 oranında Mo, % 1.5 oranında C ve farklı tane boyutlarında % 4, % 8 ve % 12 oranlarında ferrokrom tozları içeren Fe-C-Mo-FeCr kompozitinin abrasif aşınma davranışına krom karbürün (Cr_7C_3) etkisi incelenmiştir. Aşınma deneyleri farklı yükler kullanarak pim-disk aşınma cihazında yapılmıştır. Numunelerin mikroyapıları SEM, optik mikroskop, EDS ve X-Ray ile incelenmiştir. Numunelerin sertlikleri RB skalasında ölçülmüştür. Sonuç olarak, yapıdaki ferrokrom oranının artmasıyla aşınma direncinin arttığı ve ferrokrom tozlarının tane boyutu arttıkça aşınma direncinin düştüğü tespit edilmiştir.

Ahlatçı H ve Candan E [18], basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş olan alüminyum matrisli kompozitlerin eğme mukavemeti ile darbe ve aşınma direncine takviye SiC parçacık boyutunun etkisi incelemiştir. Kompozitlerin oda sıcaklığı mekanik özellikleri eğme ve darbe deneyleri ile belirlenmiştir. % 60 SiC içeren alüminyum matrisli kompozitlerin eğme mukavemeti ve darbe direnci SiC boyutu arttıkça azalmıştır. Kompozitlerin aşınma davranışları metal-metal aşınma deneyleri ile incelenmiştir. Metal-metal aşınma deneyleri kuru kayma koşullarında M2 kalite takım çeliği üzerinde yapılmıştır. Deneyler, numunelere 28 N yük uygulatarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deney sonuçları, iri SiC (37 μm) ile takviye edilmiş kompozitlerin, ince SiC (13 μm) parçacıkları ile takviye edilen kompozitlere nazaran daha yüksek aşınma direnci gösterdiğini ortaya çıkarmıştır.

Ünlü ve arkadaşları [56], saf Al içerisine değişik oranlarda (% 3 Mg + % 3 Si) alaşım elementi ve (%3 Al_2O_3 + %3 SiC) parçacık ilavesiyle döküm yöntemiyle üretilen kompozit yapılardan elde edilen kaymalı yataklar üretilmiştir. Bu yataklar, radyal kaymalı yatak aşınma test cihazında 20 N yükte ve 1500 d/dak da yağlı ortamda aşındırılarak tribolojik özellikleri incelenmiştir. Sonuçta; tribolojik özelliklerde iyileşmeler görülmüştür.

Küley [57] yaptığı çalışmada nitrür esaslı kaplamalardan olan MoN kaplamalar halen ancak laboratuvar düzeyinde üretilen, endüstriyel üretimi olmayan kaplamalardır. Kaplama şartlarına göre MoN veya Mo₂N şeklinde oluşabilir. Bu iki tip kaplamanın oksidasyon sıcaklıkları birbirinden farklıdır. Ayrıca oksidasyon ürünü MoO₂ kararlı bir oksit iken MoO₃ uçucudur. Çalışmanın amacı Mo-N-Cu sisteminin oksidasyonu sırasında oluşan fazları görmek ve oluşan Cu₂O ve MoO₃ fazların katı yağlayıcı görevi görüp görmediğini tespit etmektir. Bu nedenle disk üzeri bilya aşınma deneyleri yapılmış ve oluşan oksit filmin sürtünme katsayısı hesaplanmıştır. Alümina bilya kullanılan deneylerde sürtünme katsayısının 0,32-0,4 seviyesinde; çelik bilya kullanılan deneylerde 0,6-0,7 seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Oksidasyon sıcaklığı arttırıldığında sürtünme katsayısı değerlerinde çelik bilya için net bir azalma tespit edilmiştir.

Yılmaz ve Altıntaş [58] çalışmalarında, parçacık SiC takviyeli Al-%5Mg esaslı kompozitleri modifiye edilmiş bir döküm tekniği kullanılarak üretilmişlerdir. Ortalama 86 µm çapında olan SiC parçacıkları suni olarak oksitlendirilmiş ve alüminyum alaşımına değişik yüzdelerde (5, 10, 15, 20) karıştırılmıştır. Döküm halindeki kompozitler yaklaşık 445°C de ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Optik ve Taramalı Elektron Mikroskobu ile mikro yapı çalışmaları yapılmış ve homojen bir parçacık dağılımı gözlenmiştir. Üretilen kompozitler üzerinde yapılan aşınma testleri sonucu aşınma direncinin SiC parçacık yüzdesi ile arttığı saptanmıştır.

Ma ve arkadaşları [10], matris olarak ortalama büyüklüğü 60 µm olan 2024 alüminyum alaşım tozları (% ağırlıkça, Al-4.2 Cu-1.47 Mg-0.56 Mn-0.02 Zr-0.4 Si-0.27 Fe) ve takviye elemanı olarak ortalama büyüklükleri 3.5, 10 ve 20 µm hacimce %0, %15, %20 ve %30 oranlarında SiC ile takviye ederek toz metalürjisi yöntemiyle üretmişlerdir. Bu teknikte, alaşıma SiC taneleri alüminyum alaşımlı tozları ile karıştırılmış ve sonra 20:1 ekstrüzyon oranında 450°C sıcaklıkta sıcak ekstrüzyon yapılmıştır. Ekstrüzyona uğramış malzemeler daha T6 tabi tutulmuş, sonra işlenerek aşınma ve sertlik değerleri tespit edilmiştir. Sertlik değerlerinin; SiC taneleri hacim oranının artmasıyla arttığı, ancak SiC tane boyutlarının artmasıyla azaldığı; aşınma dirençlerinin yüksek yük altında takviyesiz alaşımın yaklaşık iki katı olduğu, SiC

tanelerinin hacim oranının ve boyutlarının artmasıyla, kompozitlerin aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir.

Mondal ve Das [14], ADC-12 alüminyum alaşımlı SiC parçacık takviyeli kompozitlerin yüksek basınçlı abrasif aşınma davranışlarını; uygulanan yük, takviye boyutu ve hacimsel oranın fonksiyonu olarak incelenip, matris alaşımının aşınması ile kıyaslanmıştır. Takviye elemanı olarak 25-50 ve 50-80 μm boyutlarında SiC parçacıkları kullanılmıştır. SiC 'ün hacimsel oranı ağırlıkça %5-12 arasındadır. SiC parçacık ilavesinin artmasıyla kompozitin abrasif aşınma oranı çok düştüğü gözlenmiştir. Alaşım ve kompozitin aşınma oranı yüke göre lineer fakat abrasif ebatına göre sabit olup, bir kritik abrasif ebatında geçiş olduğu belirlenmiştir. Bu durum analitik olarak elde edilen denklemlerle ve aşınma yüzey incelemeleri sonucunda doğrulanmıştır.

Şahin [14], çalışmasında, sıvı metal yöntemi ile üretilmiş bulunan değişik hacim oranlarında eş eksenli sürekli boron elyaf içeren alüminyum esaslı kompozitlerin, aşınma ve sürtünme davranışları, standart deney aparatında, elyaf doğrultusuna dik yönde kesilen kompozit ve takviyesiz matris alaşımı numuneleri, farklı yüklerde aşınma testine tabii tutulmuştur. Deneylerde, elyaf takviyelendirilen matrisin aşınma miktarının hayli azaldığı, artan yüklerle orantılı olarak arttığı, fakat elyaf içeriğinin aşınma üzerine etkisinin olmadığı ortaya çıkmıştır. Ancak kompozitlerde sürtünme katsayısının, matris alaşımından daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Bununla beraber, aşınma yüzeylerinin tarama elektron mikroskobu incelemesi, takviyesiz alaşımda aşınmanın abrasif olarak meydana gelirken, kompozitlerde ise elyaf doğrultusuna dik yönlerde küçük boyutlu kırılmalar, bu kırılan parçacıklarında matris içine gömülmesi şeklinde olduğu dolayısıyla, adhesif ile birlikte yorulma/kırılma tipi aşınma mekanizmalarıyla malzeme kaybına sebep olmuştur.

Zhiqiang ve arkadaşları [14], tarafından toz metalurjisi metodu ile 9Si/Al-Cu-Mg kompozitleri üretilmiştir. Sarsıntılı aşınma üzerinde ring aşınma mekanizmasında, karşı yüzey malzemesi olarak GCr15 çelik bilezik kullanılıp kompozitlerin aşınma

davranışı farklı çalışma şartlarında incelenmiştir. Kompozitlerin aşınma mekanizmalarının belirlenmesi amacı ile aşınma yüzeylerinin ve kompozitlerin aşınma yüzeylerinin incelenmesi için optik mikroskop ve SEM kullanılmıştır. Aşınma deneyleri sonunda kompozitin kayıp kütlelerinin matrise göre çok az olduğu gözlenmiştir.

Şahin ve Murphy [14], pim on disk aşınma test makinası kullanılarak, sürekli B(SiC) fiberle takviyelendirilmiş alüminyum alaşımlı kompozitlerin kuru kayma aşınmasında fiber yönünün etkisi araştırılmıştır. MMK numuneleri normal (N), paralel (P) ve antiparalel (AP) yönlü olarak çelik diske karşı 1 m/sn sabit hızlı ve 12 den 60 N'a kadar yük altında test edilmiştir. Sonuçlar kompozitin ve matrisin ortalama aşınmasının yük artışı ile doğrusal arttığını göstermiştir. Kompozitin aşınması fiber içeriği bakımından hassas değil fakat bu çalışmada % 16 nın üzerinde fiber hacim içeriği kullanılmış ve aşınma oranı yaklaşık matrisin % 18 kadar olmuştur. Fiber yönü aşınma oranının üzerinde çok az bir etkiye sahip olmuştur. N ve AP yönlerinde kompozitin ortalama sürtünme katsayısı aşınma oranını artması ile doğrusal olarak azalmış ve yükün artması ile de doğrusal olmayan azalış göstermiştir. Fakat P yönü değişimlere karşı duyarsız kalmıştır. Aşınma mekanizmasının metalografik incelenmesi, kompozitin aşınma mekanizmasının matrisin oksitli aşınma mekanizmasına sahip olduğu anlaşılmıştır. Sert fiberler yönlerine bağlı olarak bunu bir derece değiştirmiştir.

Yang ve Chung , Ağırlıkça %1-20 boksit parçacık katkı elemanlı Al-12Si-1,4Cu-1,3Mg alaşım matrisli kompozit, birleşik döküm (rheocasting) metoduyla üretilmiştir. Yüksek sıcaklıkta kararlı, düşük ısı genleşme katsayılı ve yüksek sertliğe sahip mükemmel kimyasal madde boksit, alüminyumun hammaddesidir. Parçacık ilavesiyle abrasif aşınma direnci artmıştır. Düşük ve orta yükler altında ağırlıkça %20 boksit ihtiva eden kompozitin aşınma direnci karbon çeliği ile kıyaslanabilir durumdadır. Boksit parçacık ebatlarının küçüklüğünden dolayı kompozit içerisinde parçacık kümelenmesi gözlenmiş olup; bunun kompozitin çekme gerilmesine ve aşınma direncine etkisi az olmuştur.

Şahin ve Murphy, kayma hızı ve mikroyapının kuru aşınmaya olan etkisi ve takviyelendirilmemiş Al-2014 alaşım matrisinin sürtünme özelliklerinin ve yönsüz

takviyelendirilmiş boron fiberli kompozitlerin aşınması incelenmiştir. Testler, dik ve kayma yönüne paralel farklı yükler altında 0,6, 1,0 ve 1,6 m/sn hızlarda dönen çelik disk üzerinde yürütüldü. Matris ve kompozit numunelerinin aşınma yüzeyleri ve yüzey altı kısımları, aşınma testinden sonra SEM ile incelenmiştir. Matrisle kıyaslandığında MMK muhteşem aşınma direnci gösterdi fakat kayma yönüne göre elyafların yönü aşınma oranını etkilemektedir. Testler 0,6 ve 1.m/sn hızla yürütüldüğü zaman normal yönelimin (N) paralel yönelimden (P) daha iyi aşınma direnci göstermekte fakat hız 1,6 m/sn olduğunda ufak farklılıklar olmaktadır. Her iki kayma yönünde de elyaflar yüzey hasarını ve alt yüzey plastik deformasyonunu azaltmaktadır. N yönelimli numüne yüzeyindeki elyaflar test esnasında çentiklenmektedir. Elyafdan ayrılan parçalar yumuşak alüminyum matrix içine gömülmektedir. Bu durum özellikle düşük kayma hızlarında düşük aşınma oranı verir. P yönelimli numünelerde, düşük hızlarda elyafın pek çok bölümü aşınma yüzeyi tarafından çekilir ve yüzeyin sürülmesi vuku bulur. Yüksek hızlarda elyafın çekilmesi yer değiştirir ve küçük elyaf parçaları yüzeye gömülü olarak kalır. Yüzeyin oksitlenmesi ve aşınma oranı onun minimum değerine iner. Genellikle matris ve kompozitlerin aşınma katsayısı kayma hızının artmasıyla azalır. Matrix kompozite göre daha düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Düşük yük her iki elyaf yönelimi için elyaf oranı ile sürtünme katsayısı artmaktadır. Ancak daha yüksek yüklerde intizamsız ve kararsızdır. P yönelimi için kompozitin sürtünme katsayısı N yöneliminden daha düşüktür.

Kurnaz ve arkadaşları [14], yaptıkları çalışmada çinko-alüminyum esaslı ZA12 alaşımını % 10, 15, 20 ve 30 hacim oranlarında kısa saffil (S-alumina) içeren mastarlara, 0,1, 0,3 MPa arasında değişen basınçlarda infiltre ederek MMK'ler üretmişlerdir. Üretilen malzemelerin belirlenen yoğunlukları sonucu, her bir hacim oranındaki master için infiltrasyonun belirli bir basınç aralığında gerçekleştiği görülmüştür. Fiber hacim oranının artması, bu basınç aralığını yüksek basınç değerlerine kaydırmış ve buna bağlı olarak mastarların dolma oranını azaltmıştır. Ayrıca elde edilen malzemeler üzerinde yapılan sertlik ölçümleri ve aşınma deneyleri; kompozitlerin fiberlere dik ve paralel kesitlerindeki sertliklerinin birbirlerine eşit olduğu ve her ikisinin de fiber hacim oranı ile doğrusal olarak arttığı, aşınma miktarlarının ise artan saffil fiber hacim oranı ile önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur. Matris ZA12

alaşımı ve kompozitlerin aşınma miktarları yükün artmasıyla artmış, fakat artış hızı ZA12 alaşımı ve % 10 saffil içeren kompozitte yüke daha fazla bağımlı olarak gerçekleşmiştir.

İpek, Sıvı metalurji ile üretilmiş, ağırlıkça %10, 15 ve 20 B₄C parçacıklü (4147Al/ B₄C) kompozitleri ve ağırlıkça %20 SiC parçacıklü (Al/SiC) kompozitleri kuru deney şartları altında araştırılmış ve aşınma davranışları kıyaslanmıştır. Al matris alaşımının aynı aşınma şartlarında şiddetli abrasif-adhesif aşınmada iken Al/ B₄C kompozitlerinde hafif oranlı adesif aşınma gözlenmiştir. B₄C parçacıkünün matris tarafından ıslanabilirliğinin kompozitin aşınma direnci ve aşınma mekanizmasıyla doğrudan ilişkili olduğu gözlenmiştir. Al/ B₄C ile Al/SiC 'ün aşınma dirençleri kıyaslandığında Al/SiC 'ün aşınma direncinin daha yüksek olduğu; aynı aşınma şartlarında Al/B₄C normal aşınma durumunda iken Al/SiC'ün aşınmasında sadece hafif adesif aşınma izi görüldüğü rapor edilmiştir.

Şahin , kütlece % 10 ve 20 ve farklı ebatlarda SiC ile takviyelendirilmiş alüminyum alaşımlı kompozitler, argon gazı altında ergiyik karıştırma ve sıkıştırma döküm metodu ile hazırlanmıştır. Parçacıkların ilavesi esnasında grafit cubukla karıştırılmıştır. Karıştırma tamamlandığında ergiyik karışım, kalıba dökülüp basınç uygulayarak kompozit üretilmiştir. Mikroskobik inceleme, sertlik, yoğunluk ve porozite ölçümü gerçekleştirilmiştir. Buna ilaveten, MMK farklı kesme takımları kullanılarak farklı hızlarda ve derinliklerde kesme işlemi yapılmıştır. Parçacıkların matris alaşımında uygun dağılımı gözlenmiştir. Yoğunluk azalan parçacık ebatı ile düşmüş fakat porozite artan parçacık ebadı ile azalmıştır. İlaveten, bütün testlerde takım ömrü, artan kesme hızı ile fazlaca düşmüştür. Kesme takımları arasında, Al₂O₃ kaplı takımın aşınma direncinin performansı, SiC takviyeli kompozitin işlenmesinde, kırıcı çentiği olmayan diğer takımlarinkinden daha iyi olmuştur.

Gültaş ve arkadaşları, yaptıkları bu çalışmada, pim-disk tipi aşınma deney düzeneği aracılığı ile S-Al₂O₃ elyaf içerikli çinko-alüminyum esaslı kompozitlerin aşınma davranışları farklı yükler altında, 0.8 m/sn sabit kayma hızında kuru sürtünmeli

olarak incelenmiş, matris, elyaf içeriği ile elyaf doğrultularının etkileri karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları, aşınma oranının Zn-Al (Zn-8) matrisine göre S- Al_2O_3 elyaf takviyelendirilmesi ile azaldığını, artan yük ile de arttığını göstermiştir. Bununla birlikte, deneyler, normal doğrultuda yönlendirilmiş kompozitlerin aşınma dirençleri rastgele düzlemsel yönlendirilmiş kompozitlerin aşınma dirençlerinden daha düşük olduğunu göstermiştir.

Şahin, S-alüminyum elyaf ile takviyelendirilmiş alüminyum-çinko alaşımlı kompozitlerin aşınma davranışı, fiber doğrultusunun kompozite olan etkisini belirlemek için standart aşınma makinasında alaşımla birlikte incelenmiştir. Pim-disk sisteminde sertleştirilmiş rulman çeliğine karşı deney yapılmıştır. Yağsız ve farklı yükler altında kayma aşınma testleri kaymaya karşı normal ve rasgele fiber yönlerinde gerçekleştirilmiştir. MMK'lerin aşınmış yüzeyleri SEM ile incelenmiştir. Deneysel sonuçlar kompozitin aşınmasının matrise göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Aşınma oranı artan yüklerle artmış ve artan fiber hacim oranı ile azalmıştır. En uygun aşınma direnci, fiber ucunun mikroyapısından dolayı, fiberlerin çoğunun aşınma düzlemine dik olduğunda gerçekleşmiştir.

Liu ve arkadaşları [14], hacimce maksimum % 30 Nb içeren Cu-Nb kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Cu-Nb kompozitler, Cu ve Nb elektrotlarının arkla ergitilerek döküm yapılmasıyla elde edilmişlerdir. Silindirik şeklinde dökülen bu külçe Cu-Nb kompozitler daha sonra ekstrüzyon ya da haddelemeyle deformasyona uğratarak levha ya da çubuklar hâline getirilmiştir. Burada Cu matris olarak, Nb fiber takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Elde edilen bu kompozitler, diğer yaygın kompozitlerden farklı olmuştur çünkü burada Nb fiber malzeme ve Cu matris malzemenin her ikisi de yumuşaktır. Nb oranının Cu-Nb kompozitlerin tribolojik davranışı üzerindeki etkisi araştırılmış, kompozit içindeki Nb oranının artmasıyla sürtünme katsayısının azaldığı ve hacimce % 20 Nb içeren Cu-Nb kompozitin en iyi aşınma direncine sahip olduğu bulunmuştur. Bu kompozitler, yüksek mekanik mukavemet, yüksek termal ve elektriksel iletkenliklerin bir bileşimini göstermiştir.

Yılmaz ve Altıntaş [14], SiC parçacık takviyeli Al-% 5Mg esaslı kompozitleri modifiye edilmiş bir döküm tekniği ile üretmişler ve bu kompozitlerin mikroyapı ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Takviye elemanı olarak kullanılan ortalama 86 µm çapındaki SiC parçacıklarının yüzeyleri alüminyum içine karıştırılmadan önce 1000 °C'de 1.5 saat süre ile suni olarak oksitlendirilmiş ve yüzeyde parçacıkların alüminyum alaşımı tarafından daha iyi ıslatılmasını sağlayan bir silisyum dioksit (SiO₂) tabakası oluşturulmuştur. Ayrıca parçacıklar ile matris arasındaki bağı kuvvetlendirmek ve parçacıkların daha iyi ıslanması için alüminyum içine % 5 Mg katılmıştır. Daha sonra döküm halindeki bu kompozitler sıcak ekstruzyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Sonuç olarak döküm tekniği ile üretilen ve sıcak ekstruzyon işlemi ile özellikleri iyileştirilen SiC parçacık takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerde parçacıkların matris içinde homojen bir dağılım gösterdiği ve matris ile parçacıkların arasında kuvvetli bir bağ olduğu ve bu kompozitlerin aşınma dayanımlarının artan SiC parçacığı oranı ile arttığı görülmüştür.

Tjong and Lau, TiB₂ parçacıklarıyla güçlendirilmiş bakır matrisli kompozitlerin abrasif aşınma davranışını incelemiştir. Saf bakır ve TiB₂ ile güçlendirilmiş kompozitleri eşit sıcaklık ve eşit basınçla hazırlamıştır. Bu numunelerin abrasif aşınma davranışı, numunenin 240 elek ebatlı SiC parçacıklü zımparaya karşı, pim-disk sistemi kullanılarak araştırılmıştır. Saf bakır yumuşaklığından dolayı yüksek abrasif aşınma kaybı sergilemiştir. Sadece %5 TiB₂ parçacıkü ilave edilmesi sonucunda aşınma direncinde ciddi bir iyileşme görülmüştür. SiC aşındırıcılarının mikro kesmesine direnen güçlendirme parçacıklarının hacimsel oranı arttıkça aşınma direnci de artmıştır.

Şahin, MMK'lerin Taguchi metoduna dayalı aşınma direnci modeli tahmini geliştirilmiştir. Numunelerin iki elemanlı aşınma davranışı, farklı şartlar altında çeşitli SiC parçacık ebatlı numunelerin pim-disk sistemindeki aşınmaları incelenmiştir. Sinyal-gürültü (S/N) oranı ve analizi optimal deney şartlarını ortaya çıkarmak için deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları, zımpara taneciklerinin büyüklüğünün, zımpara aşınması üzerinde diğer kontrol faktörleri arasında en önemli parametre olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, kayma mesafesinin önemli olmadığı ve uygulanan yükün daha az etkili olduğu görülmüştür. Üstelik, deney parametrelerinin optimal kombinasyonu

belirlenebilmiş ve aşınma miktarı tahmin edilebilmiştir. Yapılan bu modelleme ile tahminler ve gerçek aşınma değerleri arasında $\pm\%5$ 'lik hata ile iyi bir uyum sağladığı anlaşılmıştır.

Sigh ve arkadaşları [14], Silimanite parçacıklü güçlendirilmiş Al alaşımlı kompozitin abrasif aşınma davranışını incelemişlerdir. Dökme Al alaşımı ve ağırlıkça %10 silimanite parçacıklü Al matrisli kompozitin abrasif aşınma davranışı, farklı kayma mesafeleri için farklı yüklerde ve abrasif ebatlarında çalışılmıştır. Aşınma oranının kayma mesafesinin artmasıyla azalıp sabit bir değere yaklaştığı ve bütün malzemeler için abrasif ebadının ve uygulanan yükün artmasıyla arttığı belirtilmiştir. Tüm yüklerde 25 μ m abrasif ebatlı aşınmadaki kompozit direnci sürekli olarak alaşımdan büyük olurken, 200 μ m abrasif ebatlı aşınmada kompozit aşınma direnci alaşım aşınma direncinden daha düşük olmuştur. Orta ebatlı abrasiflerde düşük uygulanan yüklerde kompozit yüksek seviyede aşınma direnci sergilerken yüksek uygulanan yük de bu eğilim tersine döndüğü tespit edilmiştir.

Şahin , hazırladığı başka bir çalışmada bor-fiber-takviyeli alüminyum kompozitlerinin kuru kayma aşınması deneylerinden elde edilen aşınma yüzeylerinin analizleri yapılmıştır. Aşınma testleri farklı yük ve kayma hızlarında (0,6 ve 1,6 m/sn) dönen çelik diske karşı normal ve paralel olarak yapılmıştır. Ayrıca, alüminyum esaslı kompozitin aşınma yüzeyinin X-ray ve XPS analizi incelenmiştir. MMK, alaşımla kıyaslandığında çok iyi aşınma direnci göstermiştir. Normal yönde düşük hızda en düşük aşınma oranını vermiştir. Fakat bu eğilim yüksek hızda tem tersine olmaktadır. Kullanılan deney şartları altında, XPS analizleri yüzeydeki oksit oranının önemli olmadığını göstermiştir.

Tiejun ve arkadaşları [14], Bilezik üzerinde blok kuru sürtünme deneyleri basınçlı döküm A390 alüminyum alaşımına, yüksek basınçlı %20 SiC-Al kompozitlerine ve yeni geliştirilmiş dökme %50 SiC-Al kompozitlerine uygulanmıştır. Tüm malzemeler için deney aralık şartları hafif aşınma konumundan şiddetli aşınma mekanizmasına kadar olmuştur. Sonuçlar, SiC parçacık hacmi arttıkça aşınma direncinin yükseldiğini göstermiştir. İyi huyludan şiddetli aşınma mekanizmasına

geçişteki kritik sıcaklık SiC oranının artmasıyla artmıştır. Aşınma yüzeylerinin incelenmesi yüzey altı karakteristikleri ve aşınma debrisı sert bir mekanik alüminyum tabakasını tanımlamıştır. Bu tabaka A390 alaşımında adhesif aşınma mekanizmasını engellemiş ve %20 SiC içerikli kompozitlerinin hafif aşınmasını tabakalaşmaya çevirdiği rapor edilmiştir. Oksitlenmeyle %50 SiC kompozitin aşınması hafif aşınmayla sonuçlanmıştır.

Lim ve arkadaşları çalışmalarında, Mg temelli ve SiC partükülleri ile takviye edilmiş kompozitlerin aşınma davranışlarını incelemiştir. Deneyler pim-disk olmak üzere 10 ve 30 N yükleri altında 0,2-5 m/sn kayma hızlarında sertleştirilmiş takım çeliğine karşı yapılmıştır. Kompozitler düşük yük altında biraz iyi aşınma direnci göstermiş fakat SiC parçacıklarının aşınma direnci üzerine etkisi artan yükte olmamıştır. SEM incelemeleri abrasif, oksitlenme, tabakalaşma, adhesif, tokluğu ve erime aşınma mekanizmalarını göstermiştir.

Akbulut ve Durman geleneksel piston malzemesi olan LM13 (ETIAL145) alaşımını kullanarak santrifüj döküm yöntemi ile yoğunluğu sıvı matris alaşımından yüksek olan SiC parçacıklarını, döküm dış yüzeyinde biriktirip, aşınmaya dayanıklı bir tabaka oluşturmaya çalışmışlar; tabaka derinliği ve sertliğinin parçacık boyutu ve hacim oranı ile değişimini incelemişlerdir. Kompozit dökümle üretilen ve üç farklı boyut (36 μm , 17 μm ve 9 μm) ve hacim oranında (% 5, 10 ve 15) SiC parçacık takviyeli alüminyum-silisyum (Al-Si) kompozitler, ön ısıtılmış yatay tip bir santrifüj cihazında dökülmüşlerdir. Kompozit döküm ve santrifüj döküm tekniklerinin beraber kullanılması ile üretilen bu SiC parçacık takviyeli kompozitlerde, santrifüj dökümde SiC parçacıkları döküm dış kısmına radyal olarak hareket edip silindirik parçanın dış yüzeyinde birikmişlerdir. SiC parçacıklarınca zengin dış tabaka kalınlığı, artan parçacık hacim oranı ve azalan parçacık boyutu ile artmıştır. Döküm kesitinde yapılan sertlik ölçümleri ile sertlik profili elde edilmiş ve dış yüzeylerin maksimum sertliğe sahip oldukları, ama iç kesite gidildikçe SiC parçacıklarının hacim oranlarının sürekli azalmasına bağlı olarak sertlikte sürekli düşüşler meydana geldiği görülmüştür.

Ma ve diğ. , SiC parçacık takviyeli 2024 alüminyum alaşımlı kompozitlerin sürtünmeli aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Matris olarak ortalama büyüklüğü 60 mm olan 2024 alüminyum alaşımı tozları (% ağırlıkça, Al-4.2Cu-1.47Mg-0.56Mn-0.02Zr-0.4Si-0.27Fe) ve takviye elemanı olarak ortalama büyüklükleri 3.5, 10 ve 20 mm olan a-SiC parçacıkları kullanılmıştır. Parçacık takviyeli kompozitler hacimce %0, 15, 20 ve 30 oranlarında SiC_p ile takviye edilmiş ve toz metalürjisi tekniği kullanılarak üretilmiştir. Yapılan sertlik deneyleri sonuçları; kompozitlerin sertliğinin, SiC parçacıklarının hacim oranının artmasıyla arttığını, ancak SiC parçacık boyutlarının artmasıyla azaldığını göstermiştir. Alüminyum alaşımının aşınma özellikleri, SiC parçacıklarının eklenmesiyle belirli bir şekilde iyileşmiş ve kompozitlerin aşınma direnci yüksek yük altında takviyesiz alaşımınkinden yaklaşık iki katı olmuştur. Ancak SiC parçacıklarının hacim oranının ve boyutlarının artmasıyla, kompozitlerin aşınma direnci artmıştır. SiC parçacık boyutlarının kompozitlerin aşınma direnci üzerindeki etkisinin, SiC parçacıklarının hacim oranından daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Jiang ve diğ. , Al-Si alaşımlı ve hacimsel olarak % 5, 8, 12 ve 16 kısa Al₂O₃ fiberli kompozitlerin kuru kayma aşınması halka üzerinde blok yöntemiyle araştırılmıştır. Aşınma hacmi, sürtünme katsayısı, hem matris alaşımının hem de metal matris kompozit (MMK)'in temas yüzey sıcaklığı, farklı kayma aralıklarında ve 20-150 N dizili yük altında ölçülmüştür. Merkezkaç güçlü infiltrasyon metoduyla üretilmiş kompozitle sıkma infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş kompozitin aşınma özellikleri kıyaslanmıştır. Deneysel sonuçlar; Al-Si alaşımı içine ilave edilen Al₂O₃ fiberleri sadece aşınma oranını düşürmeyip birde 100-150 N yük aralığında, Al-Si alaşımında vuku bulan yoğun-aşınmaya-geçiş etkili bir şekilde sindirmiştir. 100 N 'un altında yük uygulandığında kompozitlerin sürtünme katsayısı alaşımınkinden daha büyük fakat 100 N 'un üzerinde de 0,4 'den farklı bir değer hemen hemen yoktur. Artan yükte temas yüzey sıcaklığı artar ve 150 N 'da 520 K 'e ulaşmaktadır. Aşınmış yüzeylerdeki SEM incelemesi, Al₂O₃ fiberlerinin varlığının, yoğun-aşınmaya-geçiş engellediği rapor edilmiştir.

Bai ve Xue [14], Güçlendirilmemiş Al-20Si-3Cu-1Mg (ASCM) Alüminyum alaşımı ve SiC parçacıklarıyla güçlendirilmiş Al-20Si-3Cu-1Mg Alüminyum matrisli

kompozitler toz metalurjisi metodu ile üretilmiştir. Numuneler 25-175 N yükleri arasında, karşılıklı sürtünmeli deney düzeneğinde 4Cr13 paslanmaz çeliğe karşı ve kayma hızı 0,3-1,2 m/sn arasında olmak üzere kaydırılmıştır. Sonuçlar, kompozitlerin kuru kaymada iyi ve sulu kaymada daha az aşınma dencine sahip olduklarını göstermiştir. Kuru kaymada oluklanma aşınma mekanizması ve sulu aşınmada tribokimyasal aşınmanın baskın olduğu belirtilmiştir. Tarama Elektron Mikroskopu (SEM) ve X-ışınli Fotoelektron Spektroskopu (XPS), aşınma morfolojisini ve yüzey kimyasını incelemek için kullanılmıştır.

Barnhust ve Forge, çinko alüminyum alaşımları ile geleneksel döküm alaşımlarından Al bronzu, Al-Sn alaşımı ve SAE 660 Pb-Sn bronzunun aşınma özelliklerini, halka üzerinde blok aşınma düzeneği kullanarak incelemişlerdir. ZA 27 alaşımının bütün alaşımlardan daha iyi aşınma performansı sergilediği belirlenmiştir. Ayrıca çinko alaşımlarının bronzdan yaklaşık olarak iki kat daha fazla ısıl iletkenliğe sahip olmasının çok daha düşük yatak sıcaklığı meydana getirdiği de bildirilmiştir. Barnhust çinko alaşımlarının yüksek aşınma dayanımının, yapıda mevcut olan e fazının varlığına ve miktarına bağlı bulunduğunu ifade etmiştir.

Akbulut ve Türk [14], farklı kombinasyonlarda silisyum ve mangan ilave edilen ZA 12 ve ZA 27 alaşımı ile beyaz metal ve CuPb20Sn5 yatak bronzunun aşınma davranışlarını disk üzerinde pim aşınma yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Deneyler sırasıyla 0.65, 1.30, 1.90 m/sn hızlarda ve 5, 10, 15 N yüklerde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada çinko alüminyum alaşımları beyaz metal ve bronzdan daha iyi aşınma performansı gösterirlerken silisyum ve mangan ilavesi üretilen alaşımlar da standart çinko alüminyum alaşımlarından çok daha iyi aşınma performansı ortaya koymuşlardır. Özellikle yüksek hızlarda ve yüklerde intermetalik MnAl₃ bileşiği ve serbest Si parçacıkları yük taşıyıcı olarak davranarak aşınma dayanımını iyi yönde geliştirmiştir.

Aslan, Türk ve Durman [14], Çinko-Alüminyum esaslı ZA 8 alaşımının sertlik ve aşınma davranışa Al ve Cu elementlerinin etkisini; Al içeriğini % 5 -11 aralığında ve Cu içeriği de % 0-3 aralığında değiştirerek incelemişlerdir. Artan oranlarda alüminyum ilavesi ile alaşımların sertlik değerleri doğrusal olarak artarken buna paralel olarak da aşınma dayanımları % 8 Al oranına kadar sürekli olarak artmıştır. Bu oranın

üzerindeki Al ilavesinin aşınma dayanımına önemli katkısı olmadığı saptanmıştır. Ayrıca ZA 8 alaşımının bu Özelliklerine Cu elementinin etkisi artan Cu ile doğrusal bir şekilde arttığı gözlenmiştir.

ZA 8 alaşımının sertlik ve aşınma dayanımına Mn ve Si elementinin etkisi Türk[58] ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Alaşıma Mn ilavesi sertlik değerlerinde önemli değişiklik yapmaz iken Yaklaşık %0,01 Mn ilavesi alaşımın aşınma dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir. Artan Mn ilavesi ile bu artışın devam ettiği bildirilmiştir. Ayrıca alaşıma % 0,13-1,1 aralığında Si ilavesi de yapılmış ve artan Si ilavesinin sertlik ve aşınma dayanımını artırdığı belirtilmiştir [29].

Sui ve arkadaşları ZA 27 alaşıma SiC, Si₃N₄, B₄C, Al₂O₃ ve grafit parçacıklarını ilave etmişler ve ürettikleri kompozit malzemelerin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Sert parçacıkların matrise ilavesi ZA 27 alaşımının sertliğini arttırırken düşük sertliğe sahip olan grafit ilavesi ise sertliği düşürmüştür. Sert olan takviye fazları yük taşıyıcı olarak davranmış, bu duruma bağlı olarak da yüksek sertlikte olan kompozit malzemelerin aşınma direnci düşük sertlikteki kompozitlere kıyasla daha yüksek olmuştur .

Sharma ZA 27 alaşımına %2 lik artış oranında %1 den % 5'e kadar 80-120µm boyutunda grafit ilavesi yaparak kompozit malzeme üretmiştir. Üretilen bu kompozit malzemelerin yağlamak, yan kuru ve kuru şartlarda, 10 kg artış ile 10-50 kg aralığında yük tatbik edilerek yatak test cihazında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ZA 27 alaşımı ile kıyaslandığı zaman tüm kompozit malzemeler daha iyi aşınma direnci göstermiştir. Yağlamalı şartlarda kompozit malzemeler çok düşük sürtünme değerlerine ulaşmış ve karşı yüzeye hiçbir şekilde sıvanmamıştır. Bu durum kompozit malzeme ile mil yüzeyinde çok iyi hidrodinamik ve/veya sızma yağlamasının (şekil atıf yap) oluşması ile açıklanmıştır. Benzer sonuçları Al kompozit malzemelerin tribolojik performanslarını inceleyen Lin ve arkadaşları da gözlemlemiştir. Kuru şartlarda ise grafit parçacıkları alaşımın yüzeyinde yağlamayı gerçekleştirerek yüzeylerde sıvanma oluşumunu engellemiştir. Çok az grafit ilavesi dahi yüzeylerin çalışma şartlarını değiştirmeye yetmektedir. ZA 27 alaşımının sürtünme katsayısı 10 kg lık yük altında 0,35 değerini alırken %1 grafit ilaveli kompozit bu değere 50 kg lık yük

altında ulaşmaktadır. Seah ve arkadaşları da grafit parçacıkları ilave edilen ZA 27 Kompozit malzemede benzer sonuçları rapor etmişlerdir. Ayrıca aşınma oranı; artan yük ile artış eğilimi gösterirken artan hız ile azalma eğilimi göstermiştir.

İnfiltrasyon ve sıkıştırma döküm yöntemi ile alumina silikat ve alüminyum oksit kısa fiberler içeren ZA 27 kompozit malzemenin çekme mukavemeti, sertlik ve aşınma davranışını Muthukumarasamy ve arkadaşları incelemiştir. Bu çalışmada sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen kompozitler en iyi sonuçları vermiştir. % 10-20 oranlarında ilave edilen alumina kısa fiberler, kompozitin mukavemet ve sertlik değerlerini arttırırken aşınma hızını düşürmüştür. Yine % 10-20 oranında mullit ilave edilen kompozit malzemenin aşınma hızı düşmüştür. Ancak mukavemet değerinde bir miktar kayıp oluşmuştur. %20 alumina ilave edilerek üretilen kompozit malzemenin aşınma değeri hemen hemen hiç olmamıştır.

Prasad [29], %37.5 Al içeren alaşımına 50-100 μm boyutunda hacimce % 10 oramnda SiC ilavesini vorteks metodu ile gerçekleştirmiş ve bu kompozitlerin abrasif aşınma davranışlarını 26,52,78 ve 106 m kayma mesafesinde 1,3,5 ve 7 N yüklerinde incelemiştir. Düşük yüklerde kompozit ile alaşımın aşınma oranlarının birbirine çok yakın olduğu tespit edilirken; artan yüklerde kompozit malzemelerin abrasif aşınma davranışının alaşımın aşınma davranışından çok daha iyi olduğu bildirilmiştir.

Kırdök İsmail [66], yaptığı çalışmada metal olmayan parçacık katkılı alüminyum bazlı kompozitlerin üretimi, bunların mikroyapısı, aşınma ve sürtünme davranışları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozitleri, 2024, 1070 ve A 413 alüminyum alaşımlarına 1-63 μm çapındaki SiC parçacıkların % 5'den % 15'e kadar ilavesiyle hazırlamıştır. Alaşımın yaşlandırma şartları, takviyede kullanılan malzeme, bu malzemenin hacimsel oranı ve parçacıkların boyutu gibi birçok mikroyapısal değişken kompozitin mekanik ve tribolojik (aşınma ve sürtünme davranışı) özelliklerine etki edebilir. Çalışmadaki amaç oda sıcaklığı özelliklerinde bu değişkenlerin etkilerini araştırmak idi. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki, alüminyum alaşımlarına SiC

ilavesiyle sertlik, aşınma direnci ve elastisite modülü (E) artar, sürtünme katsayısı ve birim şekil değiştirme (ϵ) azalır.

Özkonak Ö [67], yaptığı çalışmada SiC ile takviyelendirilmiş alüminyum esaslı kompozitlerin üretimine çalışılmıştır. Daha sonra bunların özelliklerini ortaya koyacak incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmada AlSi10Mg ve Al 99.5 alaşımlarının karıştırılması ile elde edilen AlSi5 alaşımı kullanılmıştır. Takviye olarak abrasif tip “yeşil” SiC tozu kullanılmıştır. Yüzde 10-15-20-25-30 oranında SiC tozu compocasting tekniği kullanılarak alaşıma katılmıştır. İşlem esnasında karıştırmaya etki eden değişkenler ıslatabilirlik sorununun üstesinden gelinmesi açısından önemlidir. Bu nedenle bu değişkenler incelenmiştir. Üretilen kompozitlerin mikroyapılan, tane dağılımları, sertlikleri, yoğunlukları, yüzey pürüzlülükleri ve abrasif aşınma davranışları araştırılmıştır. Sonuç olarak Al ve SiC tozunun karışması sağlanmıştır. Yapıda porozite ve segregasyonlar görülse de çalışma başardı sayılabilir. Çünkü bu kusurlar daha sonraki extrüzyon, haddeleme, dövme gibi işlemlerle iyileştirilmededir. Toz ilavesi Al alaşımlarının sertlik ve aşınma gibi özelliklerini iyileştirmektedir.

4. METERYAL ve METOD

4.1. Malzeme

Aşınma davranışı incelenen malzemenin bileşimi Tablo 4.1’de ve Tablo 4.2’de verilmiştir[48].

Deneyisel çalışmada matris malzemesi olarak Al-Mg alaşımlarından 5XXX serisindeki AA 5754 kullanılmış ve takviye olarak SiC parçacık takviye edilmiştir. Tablo 4.1 da malzemenin içeriği verilmiştir. Takviyenin parçacık boyutu ortalama 13 μm dir.

Tablo 4.1 kullanılan malzemenin bileşimi [48]

Mg	Si	Fe	Mn	Diğer (toplam)
2,6-3,2	0,40	0,40	0,50	0,15

5xxx serisi dövme alüminyum alaşımları ısıtıl işlem uygulanamayan türlerdir ve bunlar yalnızca şekil değişimiyle sertleştirilebilirler. Isıl işleme tabi tutulamayan alaşımlar en yüksek mekanik özelliklerini, soğuk şekillendirme yoluyla sertlik ve mukavemeti artırma yöntemi olan şekil değiştirme sertleştirilmesi ile kazanırlar.

Takviye olarak SiC seçilmiştir. SiC parçacıklar, Al_2O_3 ve AlN gibi diğer seramik takviye elemanlarına göre sıvı alüminyum tarafından daha iyi ıslatılabilme özelliği ve ucuz olması nedeni ile çok sık olarak kullanılmaktadır[31].

Malzeme modifiye edilmiş sıkıştırma döküm yöntemiyle yarıkatı karıştırma arkasından sıcaklığı yükseltilerek sıvı halde döküm yöntemiyle üretilmiştir. Sıkıştırma döküm yöntemi şekil 4.1 de verilmiştir. Bu yöntemle hemen hemen her tipte takviye malzemesi kullanılarak MMK malzeme üretilmesi mümkündür.

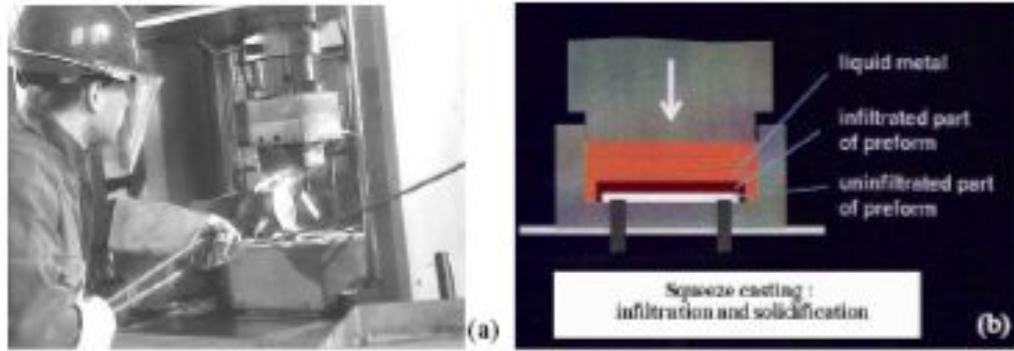


Fig. 2.5 Infiltration by squeeze-casting (a) liquid metal pouring, (b) process scheme

Şekil 4.1 Sıkıştırma döküm yöntemi [59].

Döküm sonrası elde edilen takviye oranları deneysel numunelerin teorik ve özgül ağırlıkları Tablo 4.2 verilmiştir.

Tablo 4.2 Deney numunelerinin teorik ve ölçülen özgül ağırlıkları ile porozite oranları[48].

Malzeme	%SiC (Hacimce)	Teorik Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Deneysel Özgül Ağırlık (g/cm ³)	% Porozite
AA 5754	- ----	2,66	2,62	1,5
AA 5754	+ % 5 SiC	2,69	2,65	1,2
AA 5754	+ %10 SiC	2,71	2,68	1,1
AA 5754	+ %15 SiC	2,74	2,72	0,8
AA 5754	+ %20 SiC	2,77	2,74	1,2

Hazırlanan malzeme daha sonra soğuk şekillendirmenin aşınma üzerindeki etkisinin belirlemek amacıyla hem takviyesiz Al-Mg alaşımına hemde %10 SiC takviyeli Al-Mg kompozitine %20 oranında soğuk hadde uygulanmıştır. Tablo 4.3 te malzemenin cinsi ve uygulanan hadde oranı verilmiştir. Metallerin plastik şekil değişimi, kristal şekil değişim sıcaklığı altında olduğundan (tekrar kristalleşme sıcaklığı) bu metallere soğuk şekillendirilen metaller denilir. Böylece soğuk şekillendirilen metaller, tahrip olmuş kristal yapıyı korurlar ve yapı içindeki tanımsız

değişimler sonucunda, özelliklerinde bazı değişiklikler oluşur. Bu durumun kompozitlerin aşınması üzerindeki etkisini bulmak için malzemeye soğuk hadde uygulanmıştır.

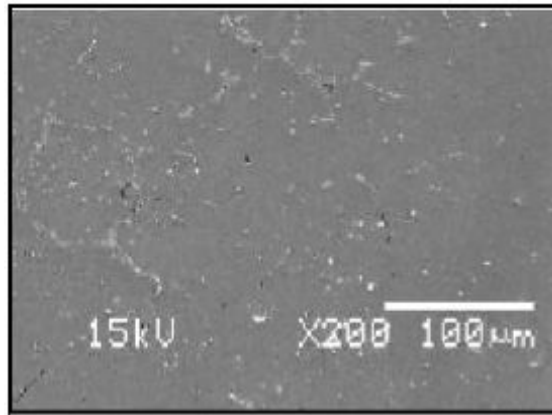
Tablo 4.3 : Malzemenin cinsi ve uygulanan hadde miktarı

Malzeme	Uygulanan Soğuk Hadde Oranı (%)
AA 5754	%20
AA5754+10 SiC	%20

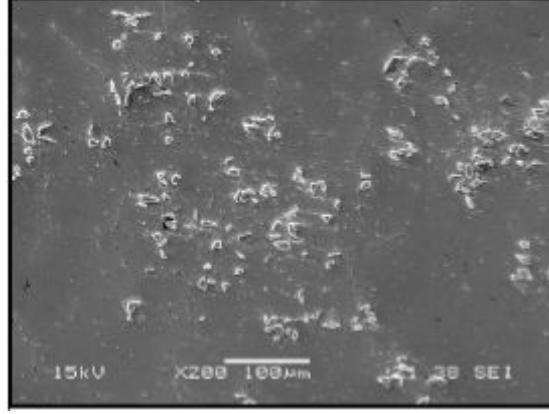
4.2. Mikroyapı

Deneyisel çalışmada elde edilen kompozitlerde, SiC parçacıklarının homojen olarak dağıldığı Şekil 4.2-Şekil 4.7’de SEM resimleri ile gözlenmiştir . Ayrıca üretim sırasında basınç uygulanması porozite oranı daha az olması ve teorik yoğunluğa yakın sonuçlar alınmasını sağlamıştır. Yapılan pek çok çalışmada, parçacık hacim oranının artması ve parçacık boyutunun azalmasıyla porozite oranının arttığını vurgulamışlardır [14,17]. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen malzemede takviye oranını hacimce artması porozitenin artmasına neden olmamıştır. Tablo 4.2 te bu açıkça görülmektedir.

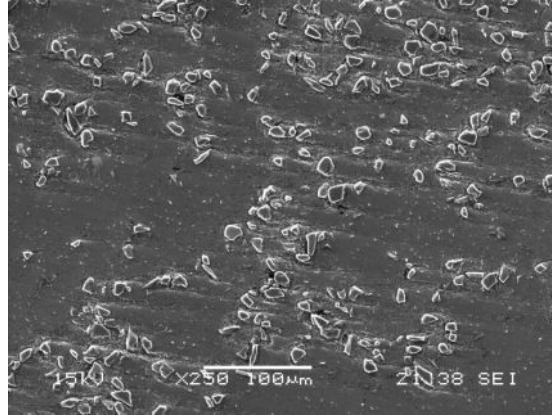
Hazırlanan numunelerde homojen dağılım sağlanıp sağlanmadığı ve ezme işlemlerinin iç yapıda meydana getirdiği değişiklikler, porozite ve iç yapı kusurları oluşup oluşmadığı optik laboratuvar mikroskobu ve yarı kantitatif elementel analiz sistemine sahip, SEM elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir.



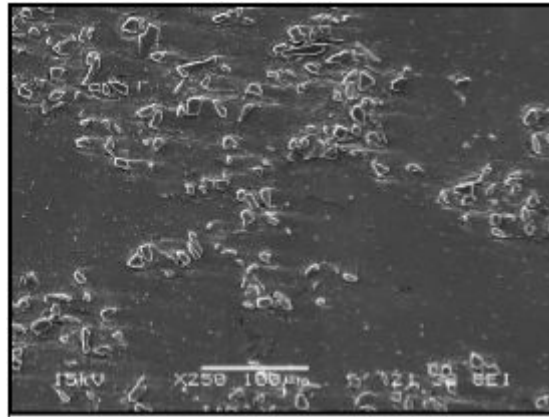
Şekil 4.2 Matris malzemesi AA5754 alaşımının döküm sonrası SEM görüntüsü[48]



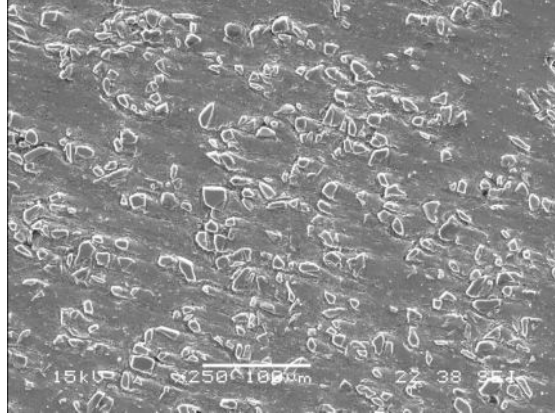
Şekil 4.3 Hadde uygulanmamış AA5754 / %5 SiCp malzemesinin SEM görüntüsü[48]



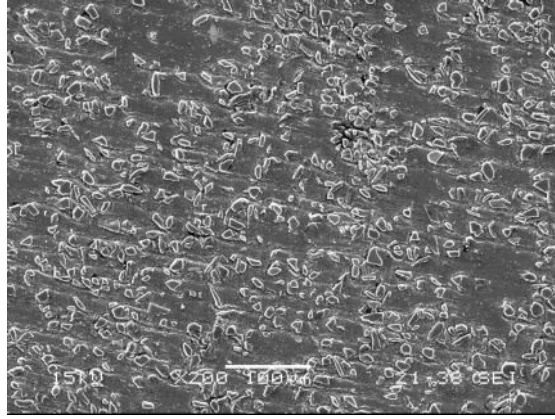
Şekil 4.4 AA5754 / %10 SiCp kompozit malzemesinin %20 Hadde uygulanmış mikroyapısı



Şekil 4.5 AA5754/ %10 SiCp kompozit malzemesinin hadde uygulanmamış mikroyapıları[48]



Şekil 4.6 AA5754/ %15 SiC kompozit malzemesinin mikroyapıları [48]



Şekil 4.7 AA5754 -% 20SiCp kompozit malzemesinin mikroyapı SEM fotoğrafları[48]

Yapılan sıkıştırma döküm sonucu takviye edilen SiC alaşım içinde homojen bir şekilde dağılmıştır. (Şekil 4.3-Şekil 4.7)

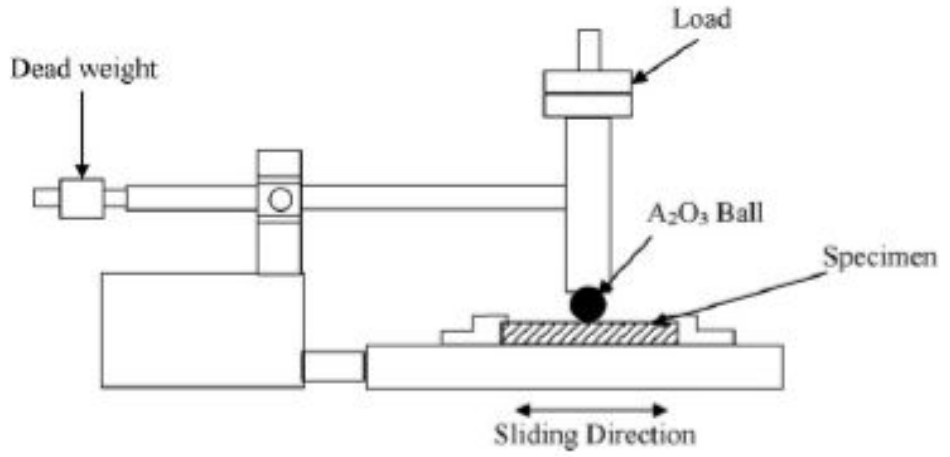
4.3. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyinde, özellikleri deneysel çalışmanın malzeme kısmında belirtilen malzemenin kuru kayma aşınma davranışları incelenmiştir. Malzeme oda sıcaklığında açık havada linear (ileri –geri) aşınma deneyi yapan reciprocating aşınma cihazı ile aşınma davranışı incelenmiştir. İleri-geri aşınma deneyleri 1.0 N ve 6.0 N yük altında 5000 çevrimde 0,04 m/s kayma hızında Al_2O_3 topun sürtünmesi ile yapılmıştır. Alümina topun çapı 10 mm’dir. Aşıma 10 mm’lik bir çizgi boyunca alümina bilyenin

gitme gelme hareketiyle yapılmıştır. Aşınma deney düzeneği Şekil 4.8’te ve şematik yapısı Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.8. Aşınma deney düzeneği resmi



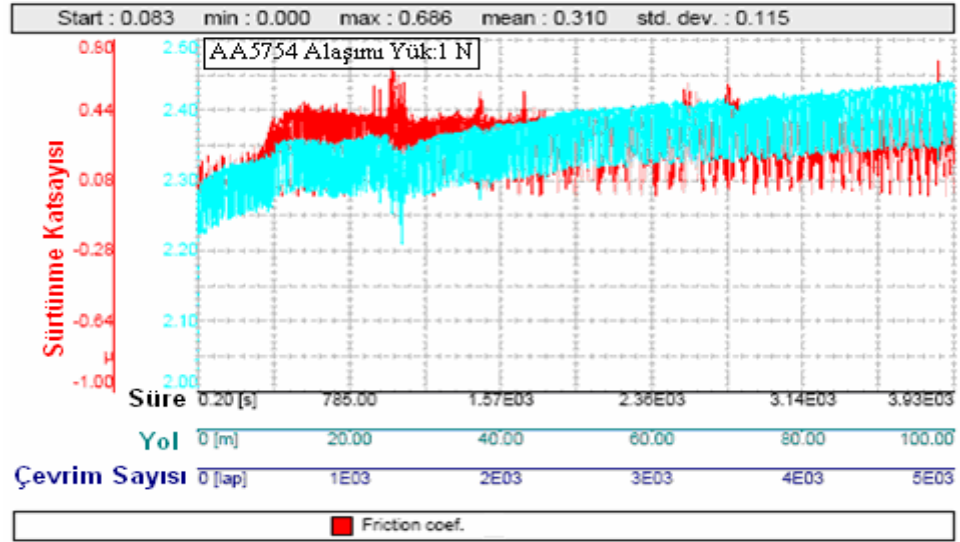
Şekil 4.9. Aşınma Deney Düzeneği Şematik Yapısı

5XXX serisi alüminyum alaşımları ısıtıl işlem uygulanamayan çökelme sertleşmesi görülmeyen alaşımlardır. Nispeten yumuşak alaşımlar olarak bilinir. Buna rağmen aşınma performansı oldukça yüksektir.

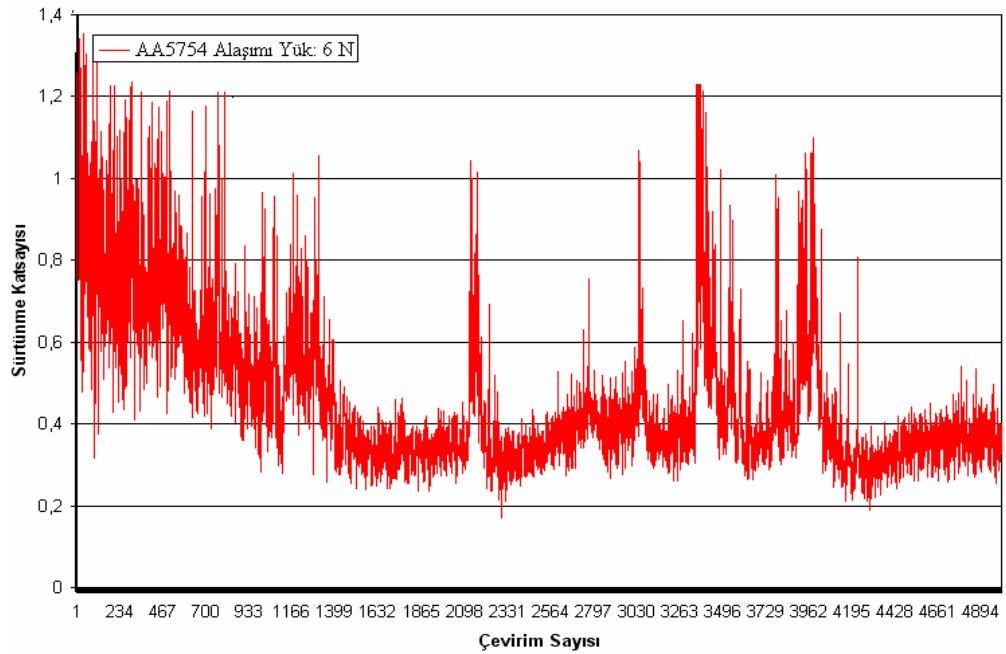
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Sonuçlar

5.1.1. Haddesiz Numunelerde Deney Sonuçları



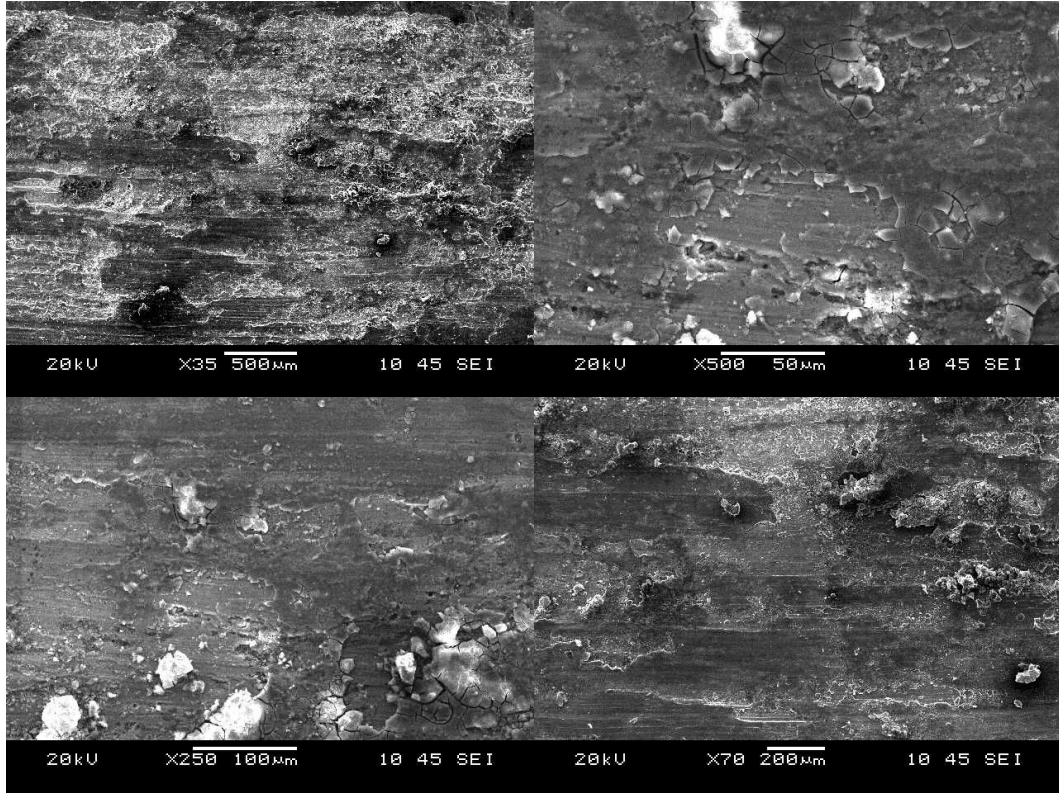
Şekil 5.1 AA5754 (Al-Mg) alaşımının 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi



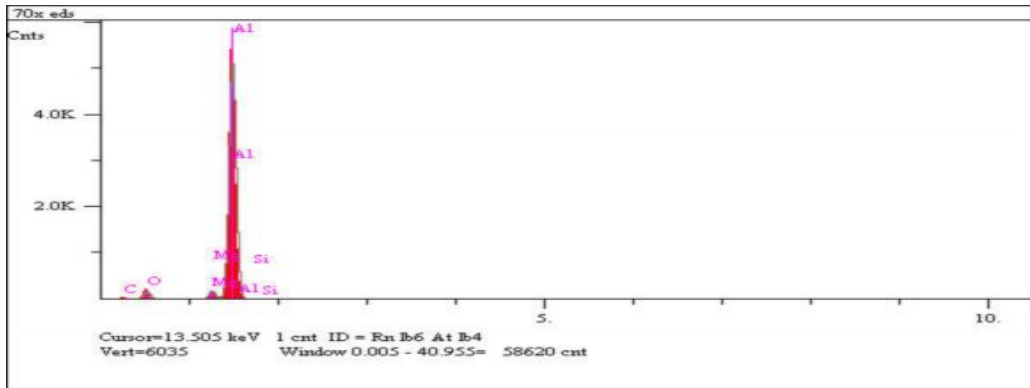
Şekil 5.2 AA5754 (Al-Mg) alaşımının 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

Şekil 5.1’de AA5754 alaşımının 1 N yük altındaki ve Şekil 5.2 AA5754 alaşımının 6 N yük altındaki sürtünme katsayısı değişimi görülmektedir. 1 N yük

altındaki sürtünme katsayısı oldukça düzenli iken 6 N yük altındaki sürtünme katsayısında sapmalar meydana gelmiştir.

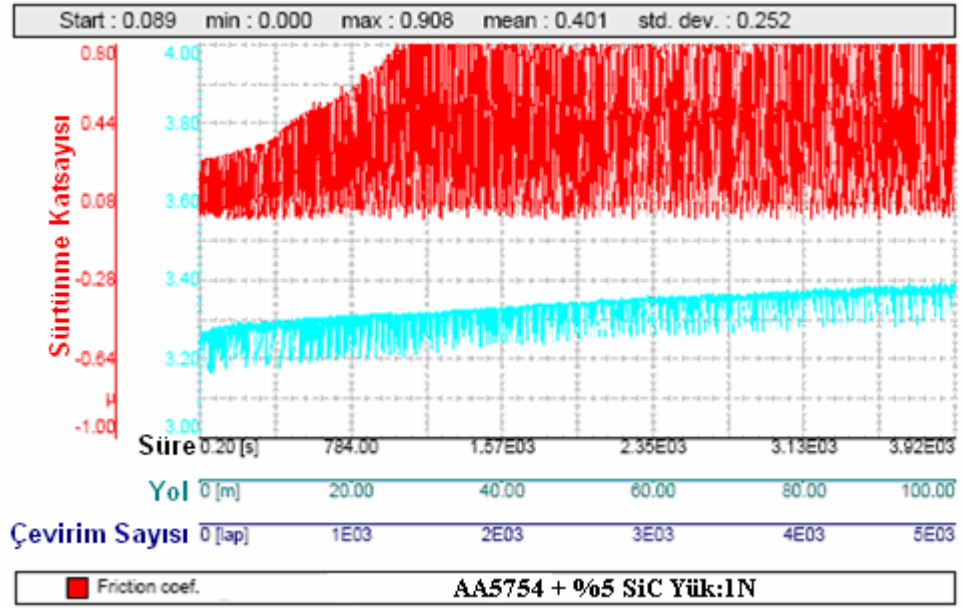


Şekil 5.3 Takviyesiz AA5754 Alaşımının 6 N Yük Altında Aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri.

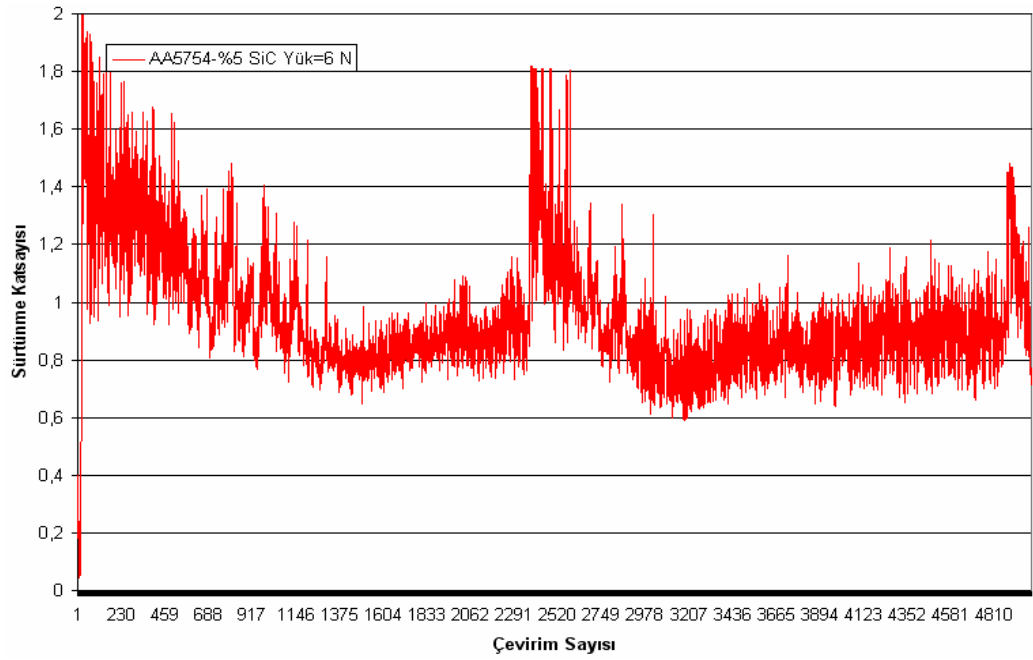


Şekil 5.4 Takviyesiz AA5754 alaşımın Aşınma Deneyi yapılmış numunenin EDS analiz sonuçları.

Şekil 5.3’de takviyesiz AA5754 Alaşımının 6 N Yük altında aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri, Şekil 5.4’de takviyesiz AA5754 alaşımın aşınma deneyi uygulanan numunenin EDS analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 5.3’de görülen SEM resimlerinde yükün etkisiyle yeni yüzeyler oluştuğu görülmektedir.

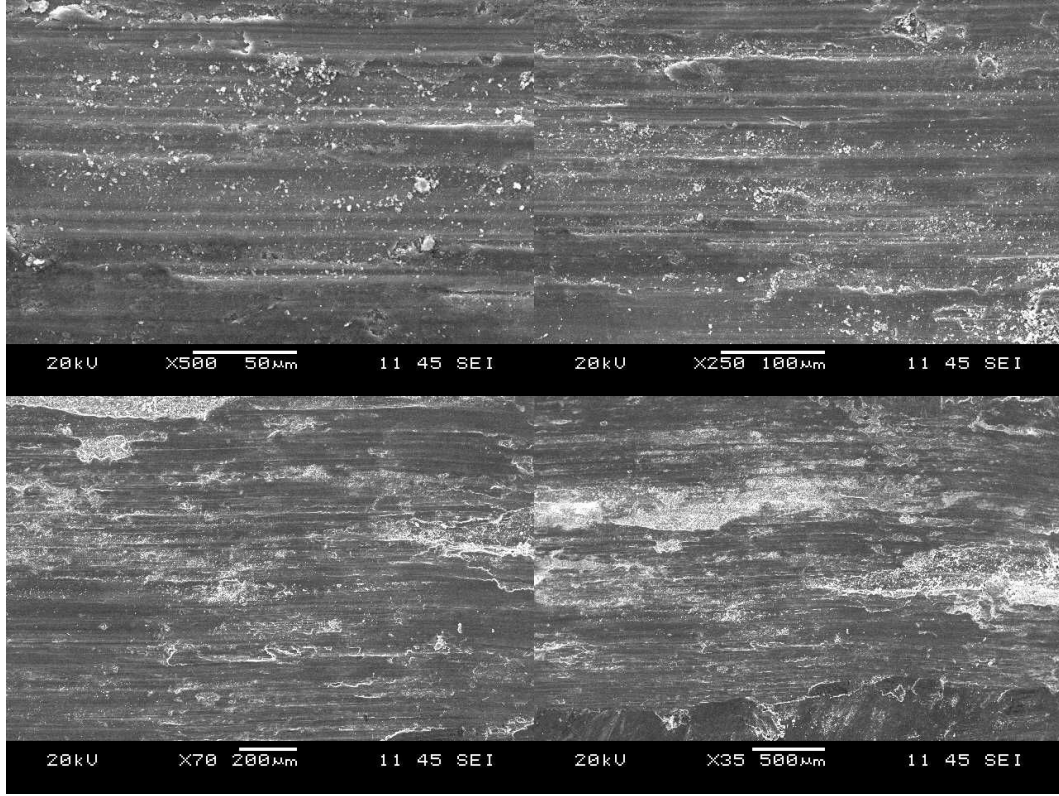


Şekil 5.5. %5 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

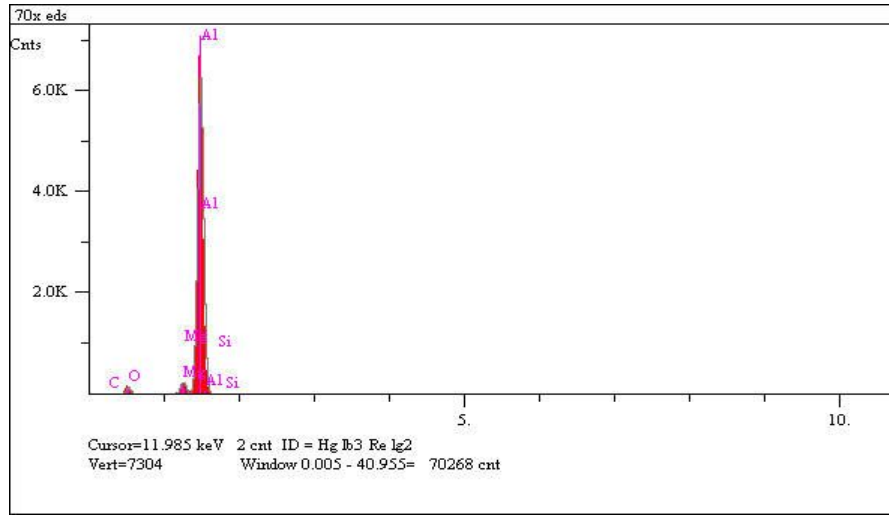


Şekil 5.6 % 5 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

Şekil 5.5’de %5 SiC takviyeli AA5754 kompozitin 1 N yük altındaki, Şekil 5.6’da % 5 SiC takviyeli AA5754 kompozitin 6 N yük altındaki sürtünme katsayısı değişimi verilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü gibi yüksek yüklerdeki sürtünme katsayısı daha yüksektir.



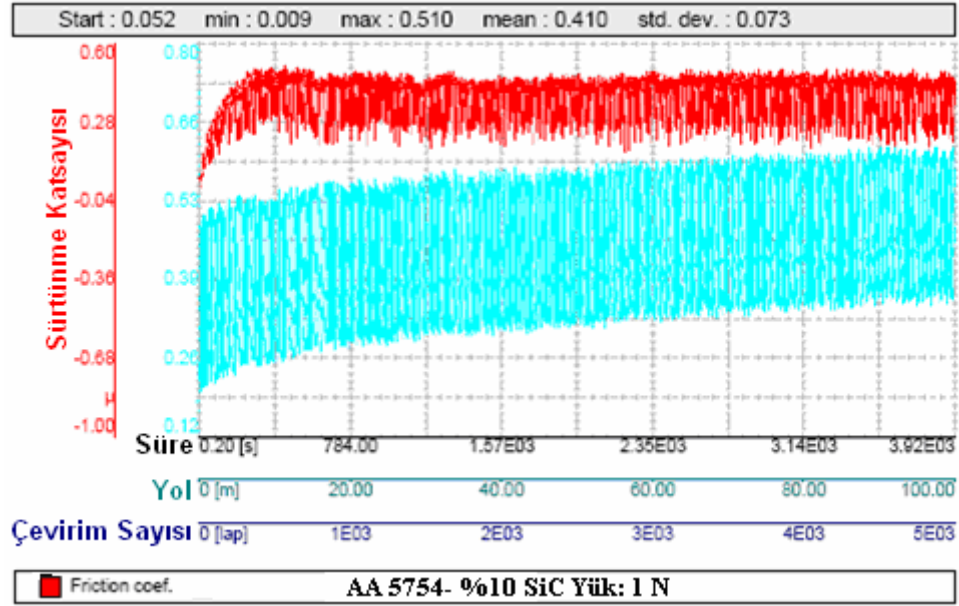
Şekil 5.7: %5 SiC takviye edilmiş AA5754 kompozitinin 6 N Yük Altında Aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri.



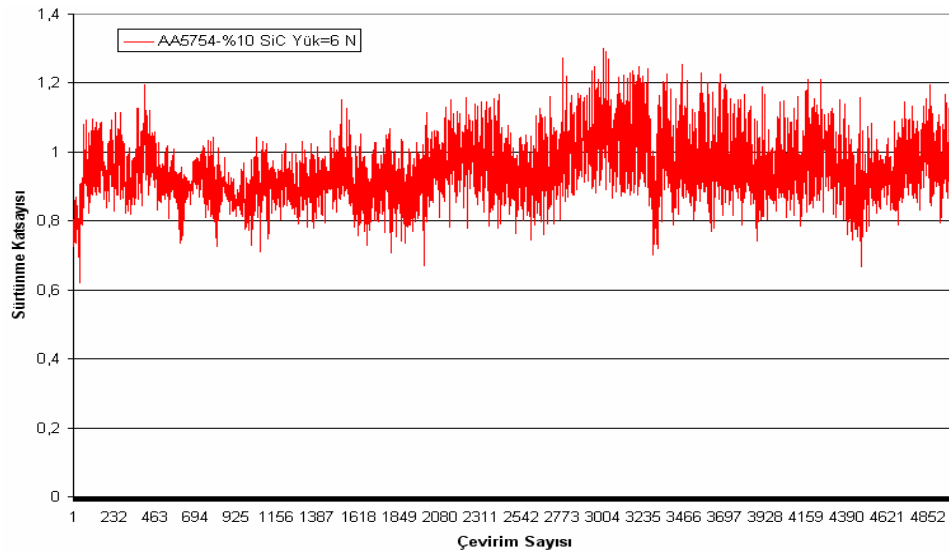
Şekil 5.8. %5 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin Aşınma Deneyi yapılmış numununun EDS analizi

Şekil 5.7’te %5 SiC takviye edilmiş AA5754 kompozitinin 6 N yük altında aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri, Şekil 5.8’de de %5 SiC Takviyeli

AA5754 kompozitinin aşınma deneyi yapılan yüzeyin EDS analizi sonuçları görülmektedir.

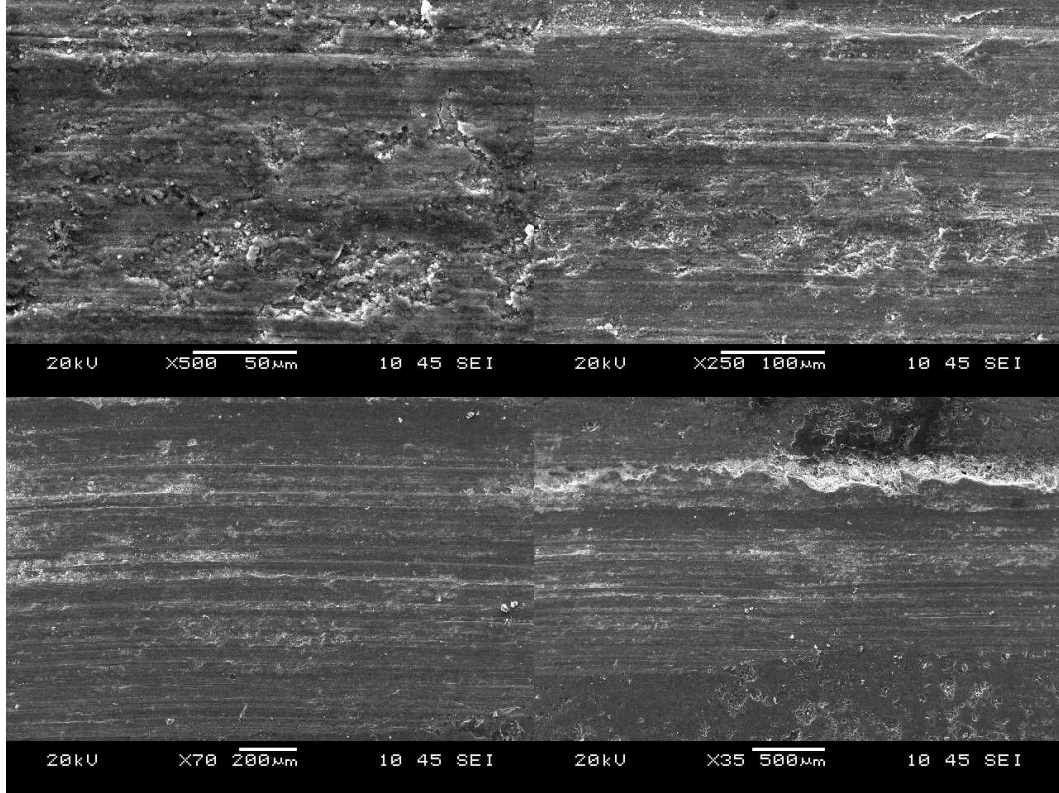


Şekil 5.9 % 10 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

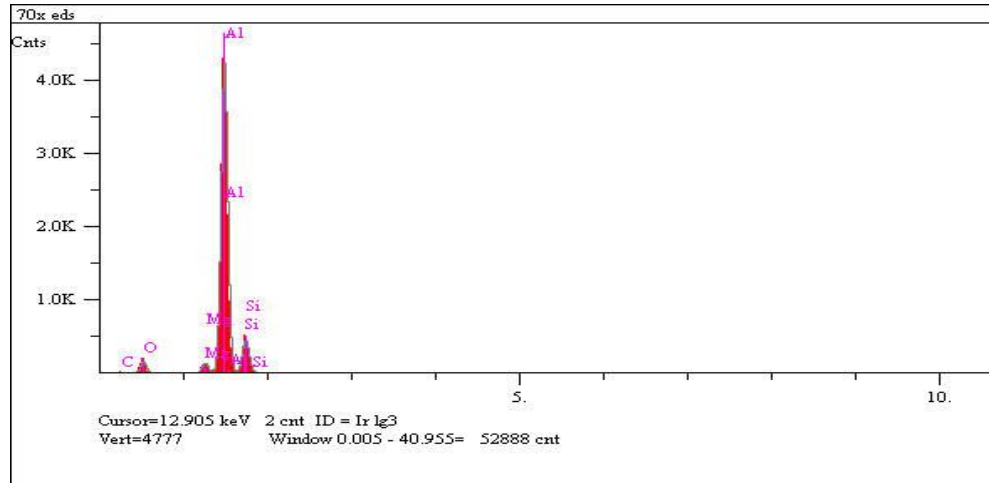


Şekil 5.10 % 10 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

Şekil 5.9’te % 10 SiC takviyeli AA5754 kompozitin 1 N yük altındaki, şekil 5.10’da % 10 SiC Takviyeli AA5754 kompozitin 6 N yük altındaki sürtünme katsayısı değişimi görülmektedir. Şekil 5.9’de sürtünme katsayısının zamanla arttığı, şekil 5.10’da ise sürtünme katsayısında ufak değişimler meydana gelmiştir.

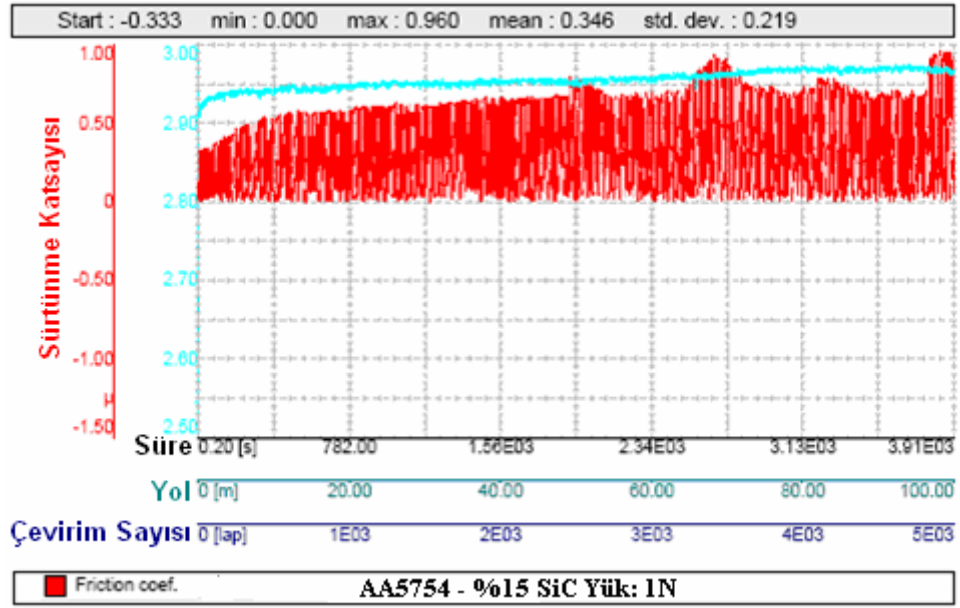


Şekil 5.11: %10 SiC takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri

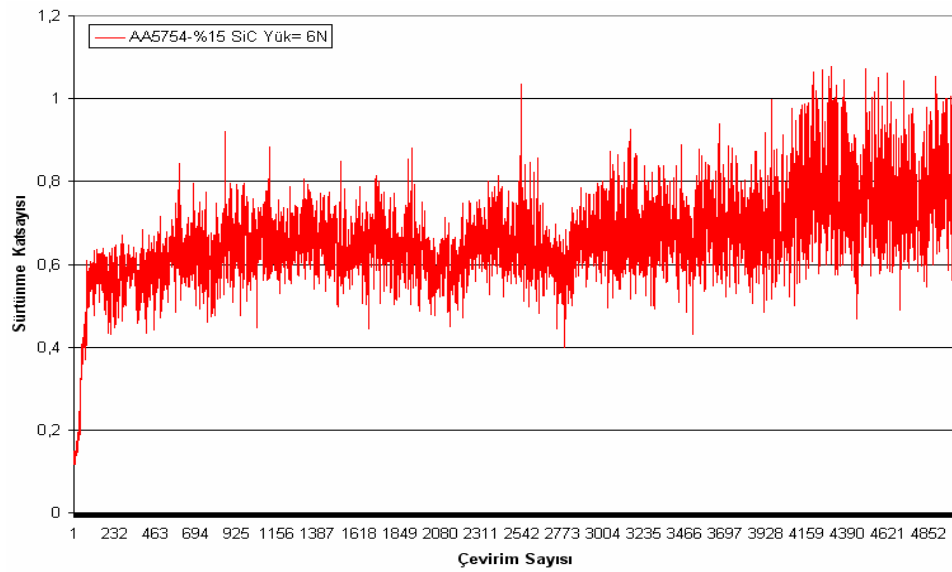


Şekil 5.12. %10 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin Aşınma Deneyi yapılmış numunenin EDS analizi

Şekil 5.11’de %10 SiC takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri Şekil 5.12’de ise %10 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma deneyi yapılan bölgenin EDS analizi görülmektedir.

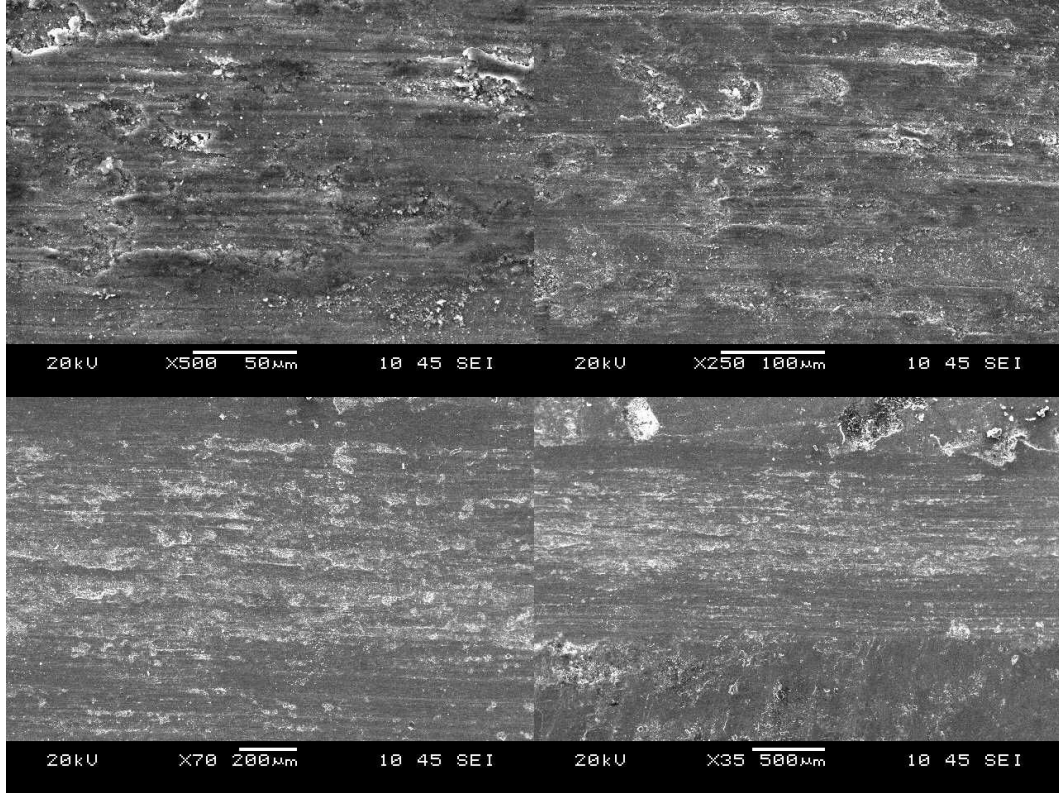


Şekil 5.13 % 15 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

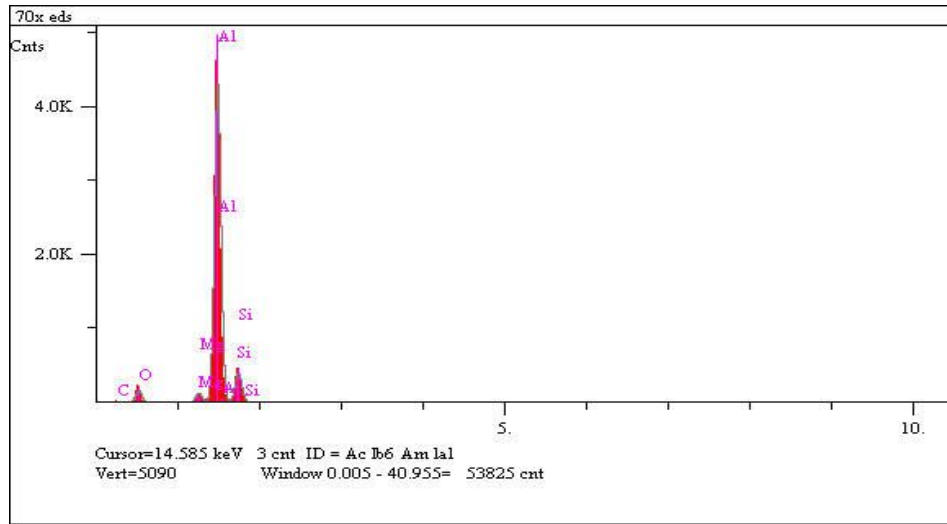


Şekil 5.14 % 15 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

Şekil 5.13’de % 15 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 1 N Yük altındaki, Şekil 5.14’te % 15 SiC takviyeli AA5754 kompozitin 6 N yük altındaki sürtünme katsayısı değişimi görülmektedir.

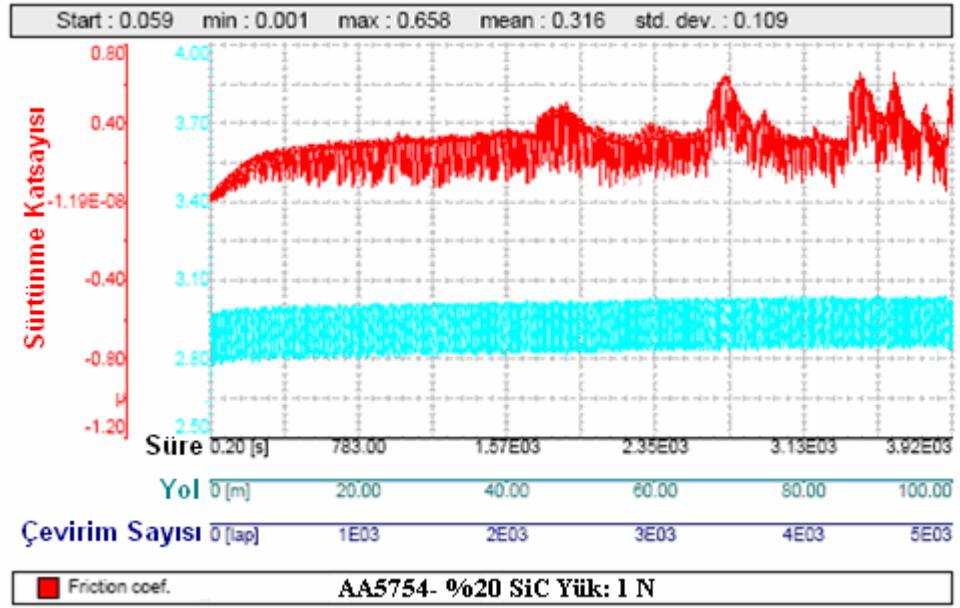


Şekil 5.15: %15 SiC takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri

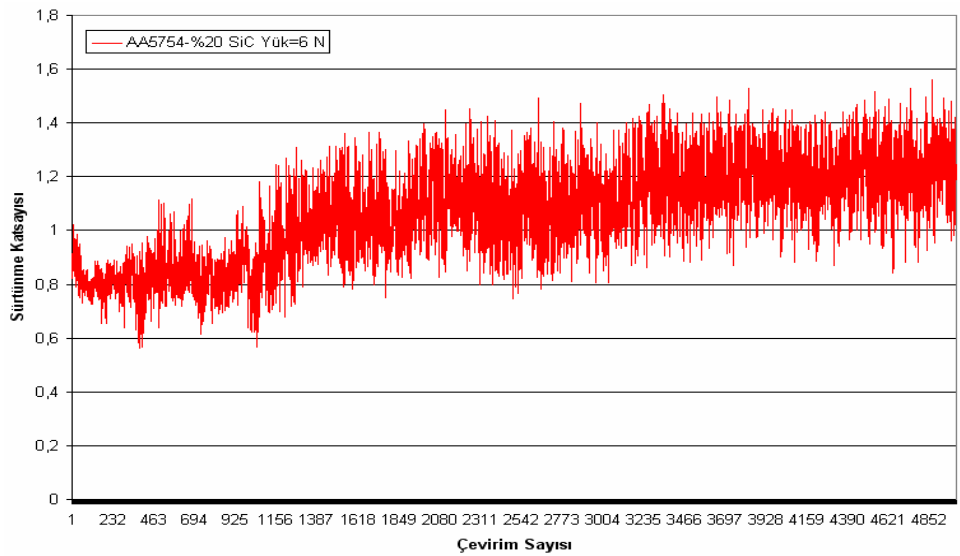


Şekil 5.16: %15 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin Aşınma Deneyi yapılmış numunenin EDS analizi

Şekil 5.15’de %15 SiC takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri ve Şekil 5.16’te %15 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma deneyi yapılan yüzeyin EDS analizi görülmektedir.

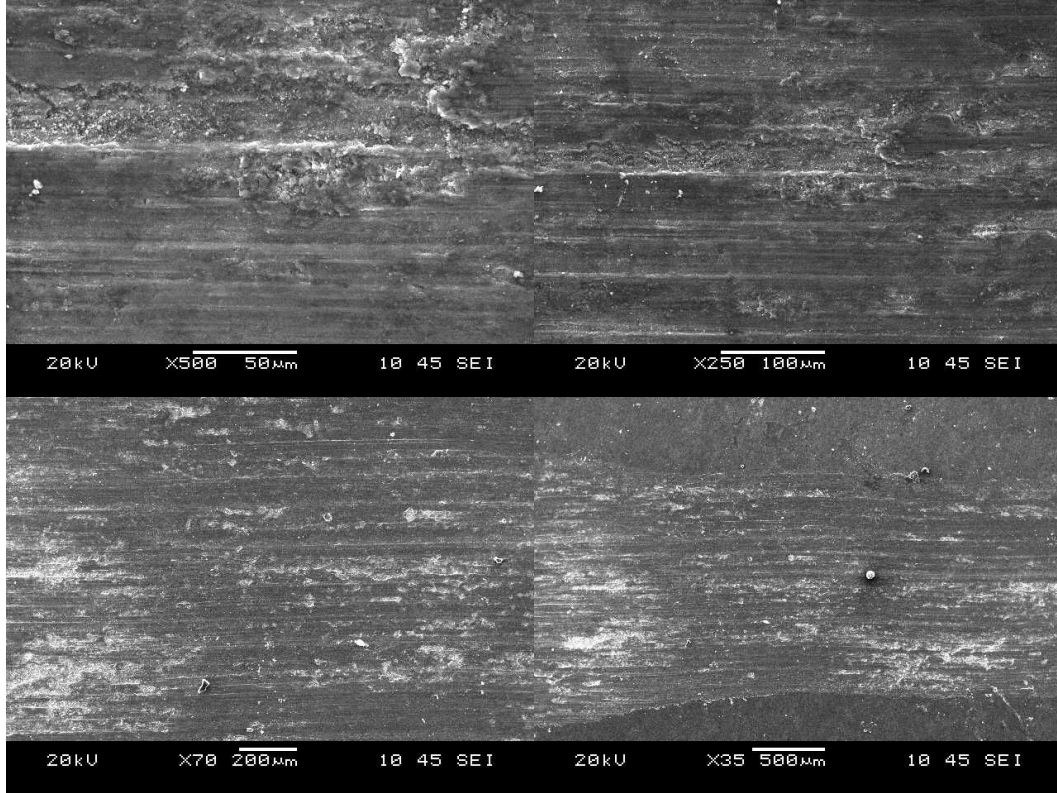


Şekil 5.17 % 20 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

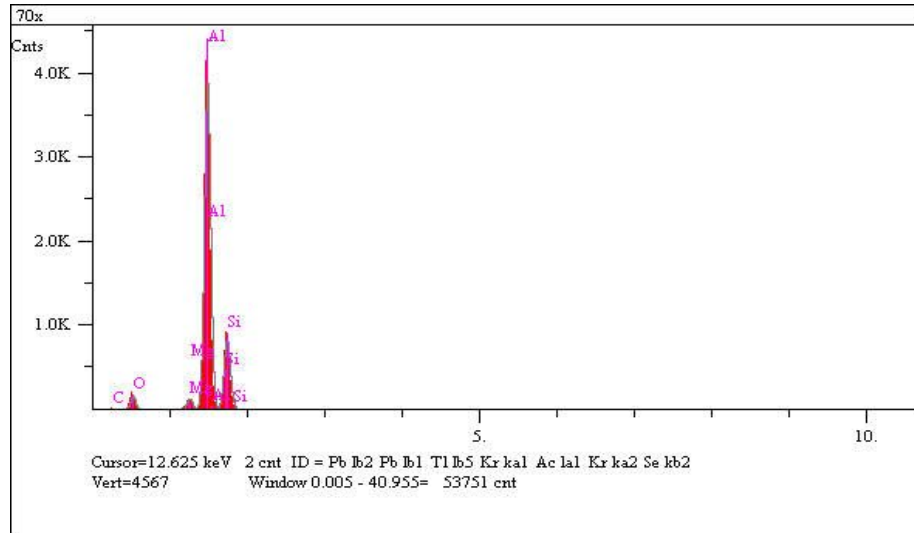


Şekil 5.18 % 20 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitin 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

Şekil 5.17’da % 20 SiC takviyeli AA5754 kompozitin 1 N Yük altındaki, Şekil 5.18’de % 20 SiC takviyeli AA5754 kompozitin 6 N yük altındaki sürtünme katsayısı değişimi görülmektedir.



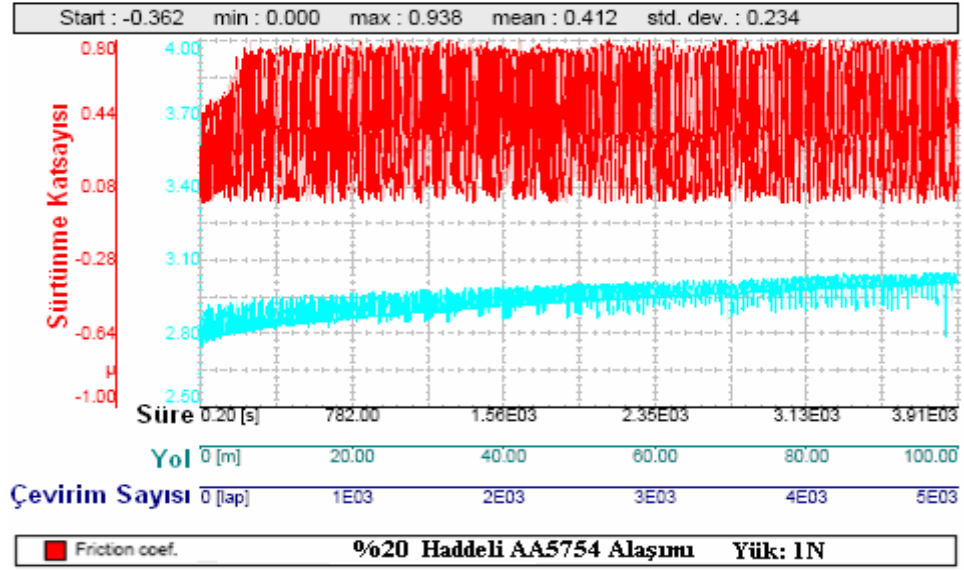
Şekil 5.19 %20 SiC takviye edilmiş AA5754 kompozitinin aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri



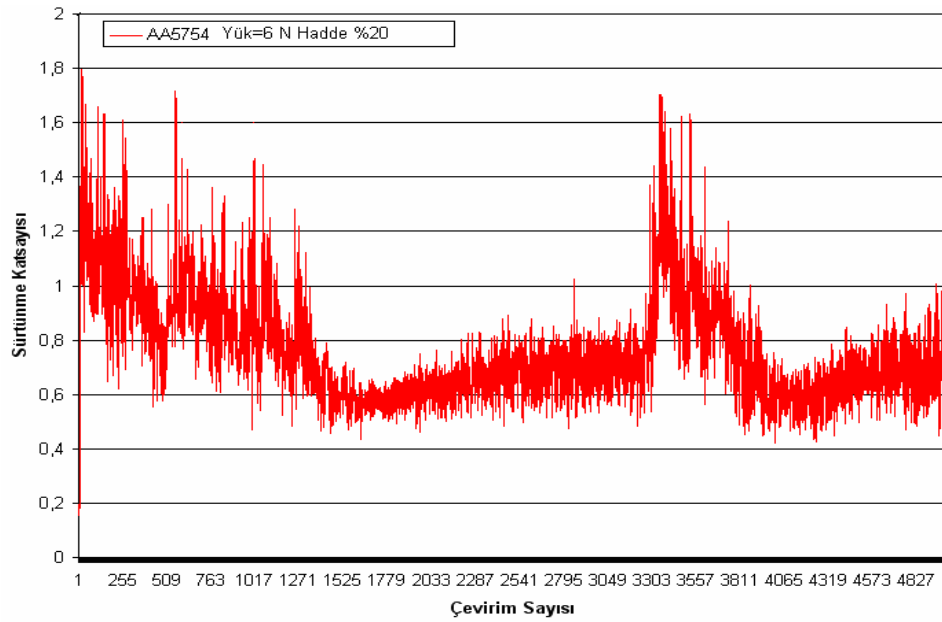
Şekil 5.20 % 20 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma deneyi yapılmış numunenin EDS analizi

Şekil 5.19’te %20 SiC takviye edilmiş AA5754 kompozitinin aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri, Şekil 5.20’da % 20 SiC Takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma deneyi uygulanan numunenin EDS analizi görülmektedir.

5.1.2. Haddeli Numunelerde Deney Sonuçları

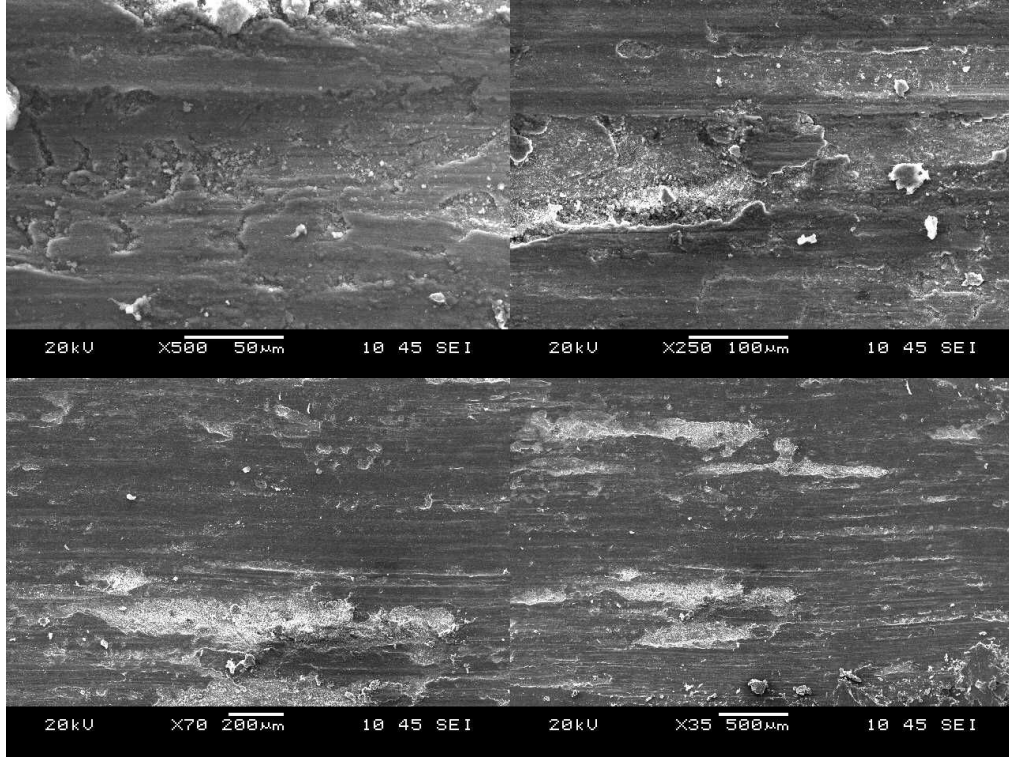


Şekil 5.21 % 20 Haddelenmiş Takviyesiz AA5754 Alaşımının 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

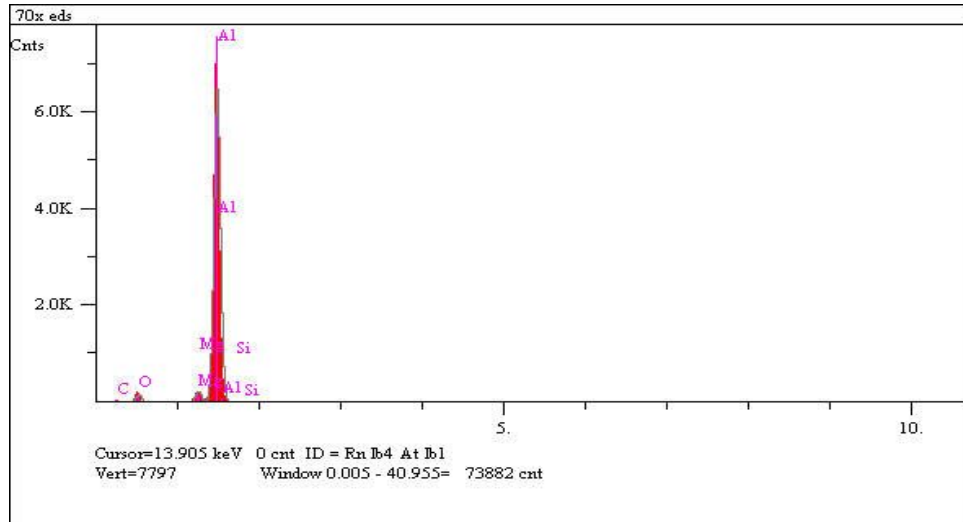


Şekil 5.22. % 20 Haddelenmiş Takviyesiz AA5754 Alaşımının 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

Şekil 5.21’de % 20 haddelenmiş takviyesiz AA5754 alaşımının 1 N yük altındaki, Şekil 5.22’de % 20 haddelenmiş takviyesiz AA5754 Alaşımının 6 N yük altındaki sürtünme katsayısı değişimi görülmektedir. Haddeli numunelerde sürtünme katsayısı karakteristik olarak haddesiz numunelere benzemektedir.



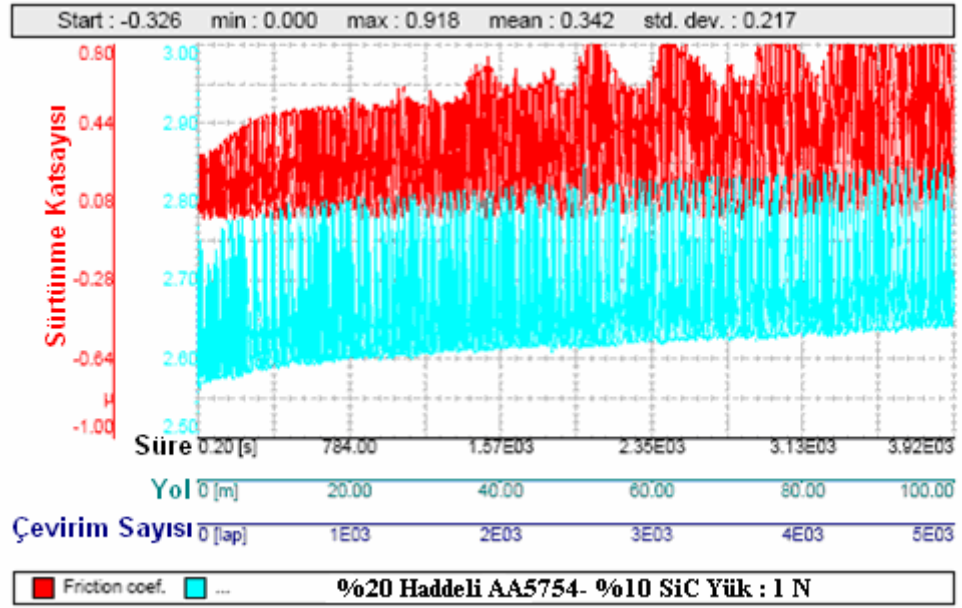
Şekil 5.23: %20 Haddelenmiş AA5754 Alaşımın aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri



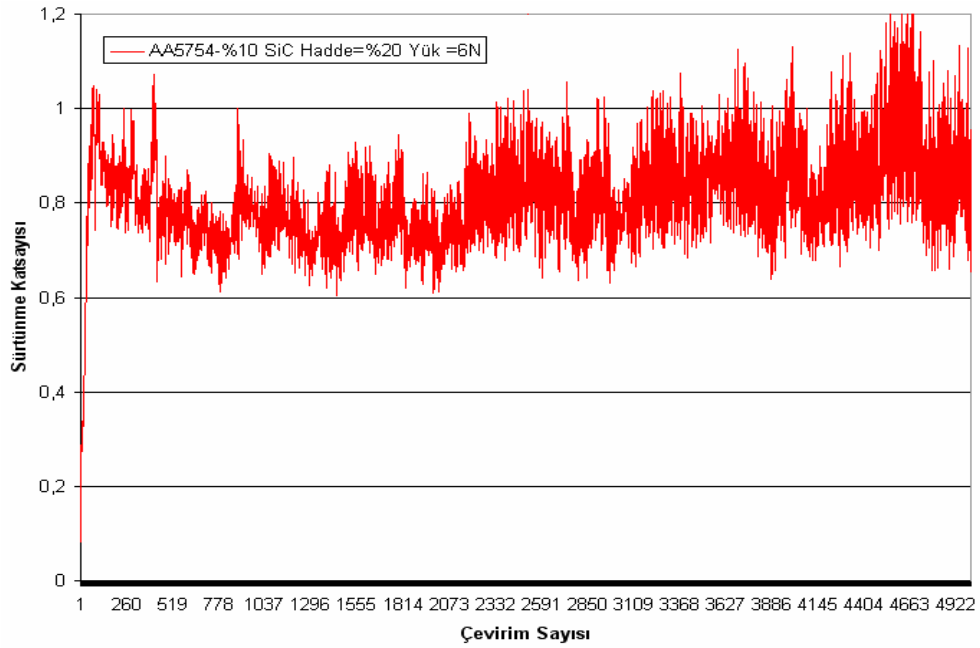
Şekil 5.24 % 20 Haddelenmiş AA5754 alaşımının aşınma deneyi yapılmış numunenin EDS analizi

Şekil 5.23’de %20 Haddelenmiş AA5754 alaşımın aşınma sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüleri Şekil 5.25’te de % 20 haddeli AA5754 alaşımının aşınma uygulanmış numunenin EDS analizi sonuçları görülmektedir. Haddelenmiş

numunelerin SEM görüntülerinde daha çok adrasif aşınma meydana gelmiştir.



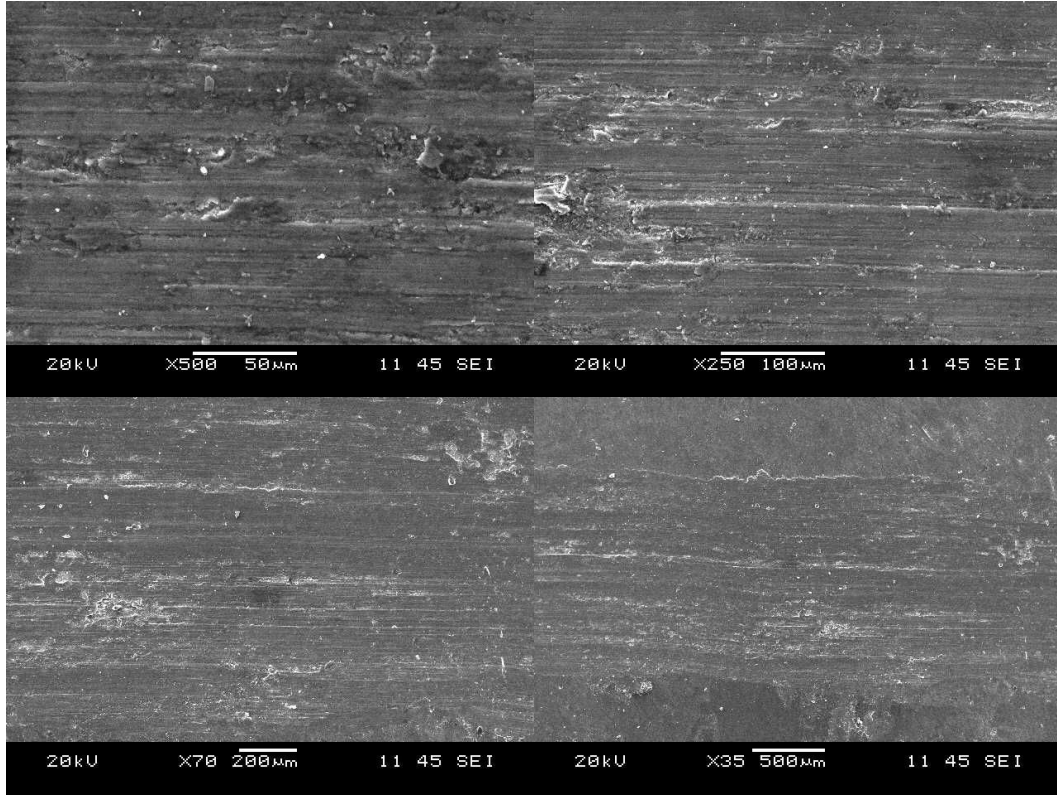
Şekil 5.25. % 20 Haddelenmiş %10 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitinin 1 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi



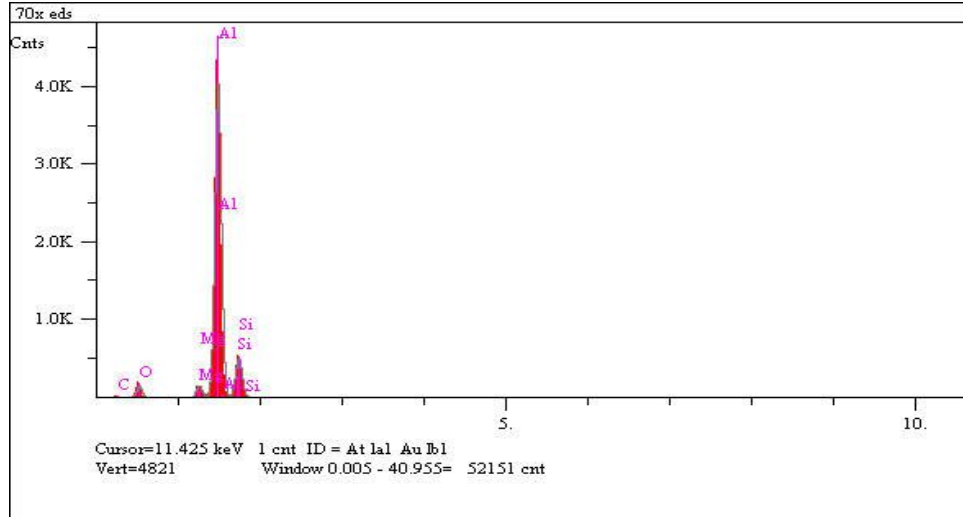
Şekil 5.26. % 20 Haddelenmiş %10 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitinin 6 N Yük Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

Şekil 5.25'te % 20 haddelenmiş %10 SiC takviyeli AA5754 kompozitinin 1 N yük altındaki, Şekil 5.26 % 20 haddelenmiş %10 SiC Takviyeli AA5754 Kompozitinin

6 N Yük altındaki sürtünme katsayısı değişimi görülmektedir. Sürtünme katsayısının benzer takviyeli haddesiz numunelere göre daha düştüğü grafiklerde grlmştir.



şekil 5.27. %10 SiC takviyeli %20 Haddelenmiş AA5754 Kompozitinin aşınma yüzey resimleri

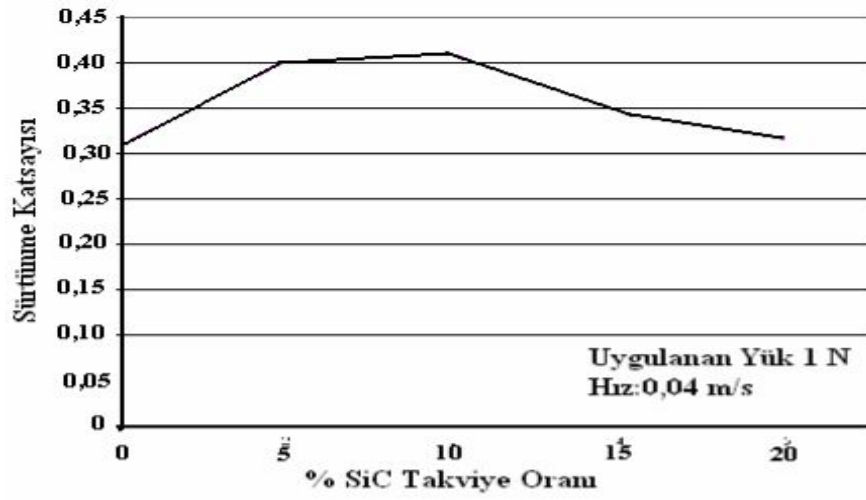


şekil 5.28 % 20 Haddelmiş % 10 SiC takviyeli AA5754 kompozitinin aşınma deneyi yapılmış numunelerin EDS analizi

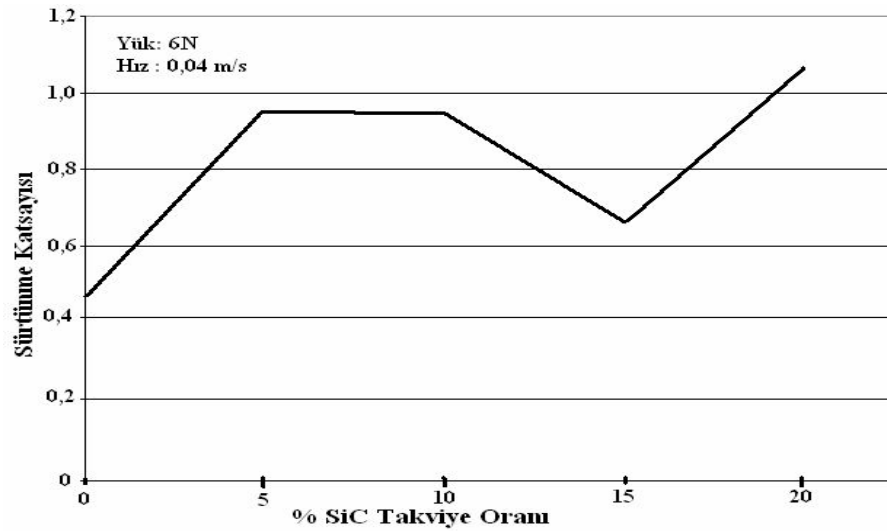
şekil 5.27’de %10 SiC takviyeli %20 haddelenmiş AA5754 kompozitinin aşınma yüzey resimleri, şekil 5.28’de ise % 20 Haddeli % 10 SiC takviyeli AA5754

kompozitinin aşınma deneyi uygulanan numunelerin EDS analizi sonuçları görülmektedir. SEM görüntülerinde göze çarpan özelliklerin başında bölgesel malzeme kaybının olmasıdır.

5.1.3. Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması

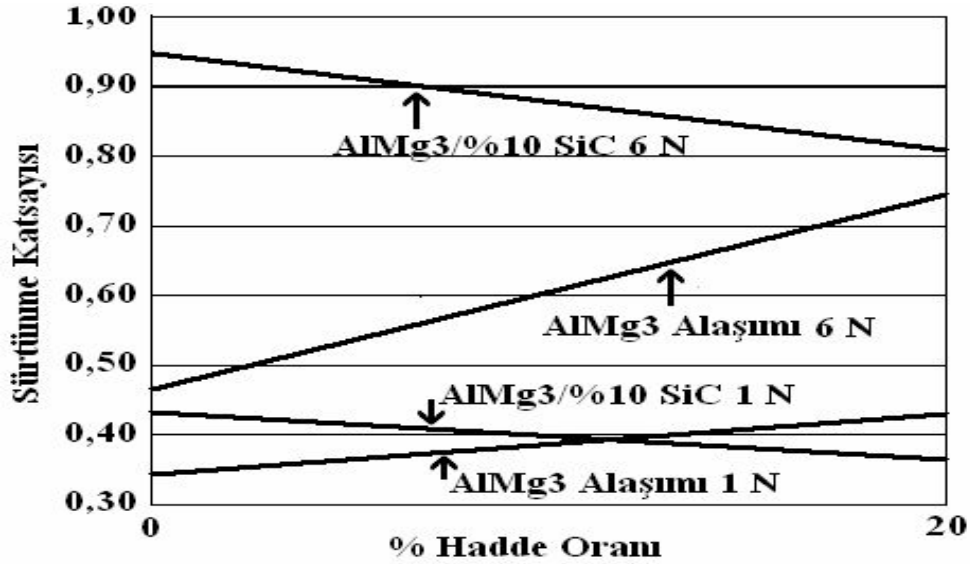


Şekil 5.29: % SiC Takviye oranının artmasıyla 1 N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin Sürtünme Katsayısındaki Değişim



Şekil 5.30: % SiC Takviye oranının artmasıyla 6 N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin Sürtünme katsayısındaki Değişim.

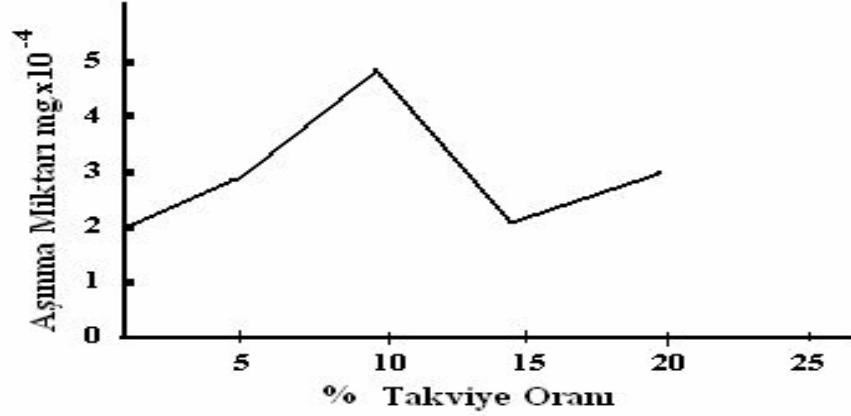
Şekil 5.29’de % SiC Takviye oranının artmasıyla 1N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin, Şekil 5.30’da % SiC Takviye oranının artmasıyla 6 N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin sürtünme katsayısındaki değişimi görülmektedir. Sürtünme katsayısı 6N uygulana deneyde oldukça yüksek değerlerde 1N yük altında ise daha düşük değerlerde görülmektedir.



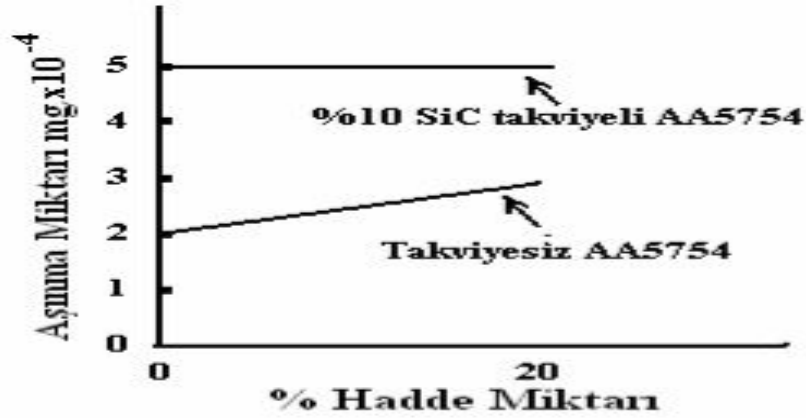
Şekil 5.31: % Hadde oranının artmasıyla 1 N ve 6 N Yük altında AA5754 alaşımı AA5754-%10 SiC kompozitinin Sürtünme katsayısındaki Değişim.

Şekil 5.31’de % Hadde oranının artmasıyla 1 N ve 6 N yük altında AA5754 alaşımı AA5754-%10 SiC kompozitinin sürtünme katsayısındaki değişimi görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi hadde oranını artması ile takviyeli malzemelerde sürtünme katsayısı düşmüşken haddeli alaşımlarda ise sürtünme katsayısı yükselmiştir.

5.1.4. Aşınma Miktarının Karşılaştırılması



Şekil 5.32: % SiC Takviye oranının artmasıyla 1 N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin aşınma miktarındaki değişim.



Şekil 5.33: Hadde Oranı ve SiC Takviye oranının artmasıyla 1 N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin aşınma miktarındaki değişim.

Şekil 5.32’de % SiC takviye oranının artmasıyla 1 N yük altında AA5754/SiC kompozitinin aşınma miktarındaki değişim, Şekil 5.33’de hadde oranı ve SiC takviye oranının artmasıyla 1 N Yük altında AA5754/SiC kompozitinin aşınma miktarındaki değişim görülmektedir. Takviye oranını artması Şekil 5.32’de görüldüğü gibi %10 takviyeli numuneye kadar aşınma miktarı artmış %15 takviyeli numunede düşmüştür. Haddeli numunelerde ise takviyeli numunelerde aşınma miktarında bir değişim

gözlenmezken takviyesiz numunelerde ise haddelenenin etkisiyle aşınma miktarı artmıştır.

Genel olarak yapılan deneysel çalışma sonucunda;

- 1) Yükün artmasının sürtünme katsayısını büyük oranda değiştirdiği hatta takviyesiz ve % 5 takviyeli malzemede 6 N yük altında aşınmadan çok deformasyona olduğu SEM resimlerin de görülmüştür.
- 2) Düşük yük (1 N) uygulanan deneyde sürtünme katsayısının takviyesiz alaşımdan %10 SiC takviye kompozite kadar arttığı daha sonra %15 ve %20 SiC takviyeli kompozitlerde düştüğü görülmüştür.
- 3) Yüksek yük (6 N) uygulanan deneyde SiC takviye oranının artmasıyla sürtünme katsayısı sürekli artmış sadece %15 SiC takviyeli malzemede sürtünme katsayısı düşmüştür.
- 4) Yapılan deneyde aşınma miktarı ise takviye oranı arttıkça artmış % 10 SiC takviyeli kompozitte en yüksek aşınma meydana gelmiş daha sonra % 15 ve %20 takviyeli kompozitte aşınma oranının düştüğü görülmüştür.
- 5) Malzemede yüksek yük (6 N) SEM görüntülerinde saf AA5754 malzemesinde metalik sıvanma ve deformasyon göze çarparken yük arttıkça abrasif aşınma göze çarpmaktadır.
- 6) Haddesiz saf AA5754 haddeli AA5754 alaşımına göre daha düşük sürtünme katsayısı ve daha yüksek aşınma direncine sahiptir.
- 7) Haddeli % 10 SiC takviyeli AA5754 kompozitinin sürtünme katsayısı düşerken aşınma miktarında bir değişim görülmemiştir.

5.2. Tartışma

Alüminyum esaslı kompozitlerle ilgili yapılan çalışmalarda aşınma direncinin ve sürtünme katsayısının takviye hacim oranı, kayma hızı, parçacık boyutu ve yapısı, uygulanan yük, matrisin özelliği, parçacık /matris arayüzeyinin mukavemeti , uydulama sıcaklığı , üretim şartları gibi pek çok parametreye bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Bu parametrelerin etkisi konusunda literatürde çelişkili görüşler vardır. Bu parametrelerde önemli olanları ise takviye hacim oranı, uygulana yük, takviye boyutu ve kayma hızıdır. Kompozitler için porozitenin etkisi az belirgindir [17].

Yapılan bir çok çalışmaya göre takviye hacim oranı arttıkça aşınma direnci artmakta, sürtünme katsayısı düşmektedir [6,63].

Bir çok çalışmada ise üretilen kompozitte takviye oranı arttıkça aşınma direnci alaşımın aşınma direncinden daha düşük dayanım göstermektedir [14,62].

Aşınma ile ilgili diğer önemli bir parametre ise uygulana yükün aşınmaya etkisidir. Genel olarak yapılan çalışmalarda yükün artması aşınma direncini düşürmekte ve sürtünme katsayısını yükseltmektedir. Yüksek yüklerde takviye oranı düştükçe aşınmadan çok deformasyon meydana gelmektedir.

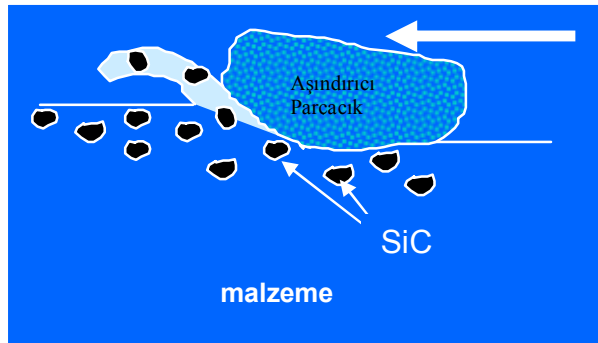
Diğer önemli bir parametre ise ilave edilen parçacığın tane boyutudur. Tane boyutu arttıkça aşınma direncinin arttığı yapılan pek çok çalışmada görülmüştür. Abrasif taneler takviye parçacıklardan daha büyük olduğu zaman takviye parçacıkların abrasif aşınmaya karşı direnç gösteremeyeceğini, takviye parçacıkların aşındırıcı tanelerden daha büyük olması durumunda ise, kompozitlerin aşınma dirençlerinin çok yüksek olacağını göstermiştir [31].

Kayma hızı konusunda ise yüksek ve düşük yüklerin aşınmayı arttırdığı yüksek hızlarda yüzeyde oluşabilecek anı sıcaklık değişimlerinin malzemede faz değişikliklerine neden olabileceği düşünülmektedir. Orta kayma hızlarında ise daha düşük aşınma gerçekleştiği yapılan çalışmalarda görülmüştür [64].

1 N yük altında yapılan deneylerde aşınma direncinin takviyesiz alaşımdan olduğu takviyenin %5 ve %10 SiC olduğu durumda ise arttığı takviyenin % 15 ve %20 olduğu durumlarda ise tekrar düştüğü görülmüştür. Bu durum pekçok çalışmada görülen kopan malzemenin özellikle SiC tanelerinin aşınmaya sebep olduğu düşünülmektedir.

6 N yük altında yaptıkları çalışmada takviye oranı arttıkça aşınmanın direncinin düştüğü, takviye oranı düştükçe plastik deformasyon meydana geldiğini görülmüştür. Buna göre parçacıkların plastik deformasyonu azalttığı, sürtünme direncini ise artırdığı fakat kopan fiber parçacıkların matrise gömülerek sürüklenmesi nedeniyle daha fazla

aşınmaya sebep olduğu görülmüştür. Şekil 5.34’de görüldüğü gibi takviye boyutunun küçük ($13\mu\text{m}$) olmasının ve takviye oranının düşük olmasından dolayı 10 mm boyutundaki bir bilye tarafından SiC taneciklerinin rahat bir şekilde koparılmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Tane boyutu küçük olmasına rağmen tane yoğunluğu arttıkça malzemenin temas ettiği SiC miktarı artmakta ve aşınma güçleşmektedir. Takviye oranının artmasının aynı zamanda aşındırıcı malzeme üzerinde de aşınmaya sebep olduğu görülmüştür [65].



Şekil 5.34 Malzemede yoğunluğunun az olması ve takviye boyutunun küçük olmasının aşınmaya etkisi

Haddeli numunelerde ise görülen aşınma, takviyesiz numunelerde hadde aşınmayı ve sürtünme katsayısını arttırırken %10 SiC takviyeli numunelerde ise sürtünme katsayısı azalmıştır. Uygulanan soğuk deformasyonla takviyesiz alaşımlar yoğun şekilde plastik şekil değişimine maruz kalmıştır ve eşit eksenli kristaller haddenin etkisiyle uzayarak kafes yapıda tahrip neden olmuştur. Soğuk şekillendirilen metaller, tahrip olmuş kristal yapıyı korurlar ve yapı içindeki tanımsız değişimler sonucunda, özelliklerinde bazı değişiklikler oluşur. Malzemenin özelliklerindeki değişim aşınma dayanımını olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Takviyeli malzemede ise termal genleşme katsayıları arasındaki farkın bir sonucu olarak dislokasyon oluşumuna bağlı yüksek dislokasyon yoğunluğu oluşur, oluşan yüksek dislokasyon sonucu olarak küçük alt tane boyutunun malzemede aşınma dayanımını arttırdığı düşünülmektedir. Bunun dışında takviyenin haddenin etkisiyle SiC parçacıklarının birbirine yaklaşmasını sağlandığı ve malzemedeki porozitenin de azalmasının etkisiyle hem malzemedeki sertlik artmıştır hemde malzemenin aşınma direnci yükselmiştir.

6.ÖNERİLER

- 1) Takviye oranı %20'nin üzerinde üretilen malzeme içinde aşınma testleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.
- 2) Kompozite ilave edilen SiC tane boyutu daha büyük seçilerek farklı oranlarda ilave edilerek aşınma direnci incelenebilir.
- 3) Daha düşük ve daha yüksek kayma hızı şartlarında aşınma deneyi yapılarak sonuçlar optimize edilebilir.
- 4) Farklı test yöntemleriyle aşınma testi yapılarak sonuçlar değerlendirilebilir.
- 5) Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen kompozit malzemeler toz metalurjisi vb. üretim teknikleriyle üretilebilir.
- 6) Farklı haddeleme oranları ve farklı takviye malzeme seçilerek aşınma direnci incelenebilir.

KAYNAKÇA

- [1] ATİK E, ÜNLÜ B, ŞEN O, ÇAVDAR U. Parçacık Takviyeli AlSi12CuNiMg Kompozitinin Aşınma Dayanımı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi ISSN 1305-1385 2.2 (2006) 75 87
- [2] AYDIN M., Yetgin H. MMK Üretiminde Farklı Tasarımlardaki Karıştırıcıların Etkisinin Araştırılması, Teknoloji, Cilt 9, (2006), Sayı 1, 39-46
- [3] ÇALIGÜLÜ U, TAŞKIN M, Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretilmiş AlSiMg-SiCp Takviyeli Kompozitlerin Difüzyon Kaynağında Basıncın Birleşme Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü
- [4] AKBULUT H, Kompozit Malzemeler Yüksek Lisans Ders Notları, Sakarya Üniversitesi
- [5] ARIKAN R, SAFFİL (δ-Al₂O₃) FIBER TAKVİYELİ ZA-12 ALAŞIMIN SÜRTÜNME AŞINMA DAVRANIŞLARI Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der Cilt 22, No 3, 359-368, 2007
- [6] BUYTOZ S, Eren H, Al Metal Matris Kompozitlerin Abrasif Aşınma Performansına Takviye Elemanlarının Etkisi Fırat Üniv. Fen Müh. Bil. Dergisi 19 (2), 209-216, 2007
- [7] BEDİR F, ÖGEL B, SiC_p Katkılı Al Kompozitlerin Sertlik, Mikroyapı Özellikleri Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi Onbirinci Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi 13 - 15 Ekim 2004, Antalya
- [8] BÜLBÜL F, Aşınma türleri <http://www.makineteknolojisi.com/asinma.htm>
- [9] ARICASOY O, Kompozit Sektör Raporu, İTO, Aralık, 2006
- [10] ÖZARSLAN S, Alüminyum Esaslı SiC Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eylül 2004 Kayseri
- [11] <http://www.makinateknik.org/download/sayfalar/37.php>
- [12] ÇINAR S, Parçacık Takviyeli Alüminyum-Silisyum Esaslı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos-1995

- [13] ILGAZ U.M, Basınçlı Döküm Yöntemiyle Üretilen Seramik Parçacık Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat- 1997
- [14] ÖZDİN K, Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat 2006, Ankara
- [15] MUTLU İ, Alüminyum Matrisli Metal Kompozit Malzemelerin Üretilmesi Yüksek Lisans Tezi , Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak -1996
- [16] BAŞCI Ü.G, Al₂O₃ Parçacık Takviyeli Al-Cu Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şubat -1999 İstanbul
- [17] KOÇER T, Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al₂O₃ Ve SiC Parçacık Takviyeli Al-Mg Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2002 İstanbul
- [18] AHLATÇI H, Candan E Ve Çimenoglu H, % 60 SiC-Al Kompozitlerin Aşınma Davranışına SiC Parçacık Boyutunun Etkisi, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul
- [19] ATİK E, Yaşlandırılabilir Bir Al-Al₂O₃ Kompozitinde Aşınma Dayanımı Açısından Optimum Mekanik Özelliklerin Ve Üretim Şartlarının Belirlenmesi Doktora Tezi Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bursa, Şubat 1994
- [20] MURATOĞLU M, SiC Katkılı 2124 Alüminyum Kompoziti Ve Yaşlandırılmış Kompozitinin Aşınma Davranışlarının Araştırılması Doktora Tezi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 1997 Elazığ
- [21] BEDİR F, Alüminyum Kompozitlerin Üretimi, Karakteristik Özellikleri ve Endüstriyel Uygulamaları Mühendis ve Makina Cilt : 47 Sayı: 554
- [22] ÇANAKÇI A, AA 2014 Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozit Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Trabzon 1998
- [23] AYDIN Ş, Toz Metalurjisi Yöntemleri ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 1997 Ankara
- [24] GÜLDAŞ A, Aşınma Deney Aparatının Tasarımı , Üretimi Ve Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül 1998 Ankara

[25] ŞAHAN E, Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilen Al Matrisli Al_2O_3 Takviyeli Kompozitin Sürtünme Kaynağının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elazığ 2002

[26] Melgarejo Pinto, Fabrication And Characterization of Functionally Graded Al/AlB2 Matrix Composites For High Wear Aerospace Applications Using Centrifugal Casting Master Of Science in Mechanical Engineering University of Puerto Rico Mayagüez Campus 2006

[27] Alüminyum ve Alüminyum Alaşımların Standart Gösterimleri <http://quarters.blogcu.com/54175/> 8/9/2005

[28] Alaşım Elementlerinin Alüminyum Alaşımlarına Etkileri <http://quarters.blogcu.com/61018/>, 20/9/2005

[29] ASLAN S, SiC Ve Grafit Takviyeli Çinko Alüminyum Hibrit Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışının İncelenmesi Doktora Tez Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2005 Sakarya

[30] ORHAN A , Makale Al Matrisli B4C Takviyeli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretimi www.teknolojikarastirmalar.com, ISSN:1304-4141 Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2007 (4) 8-13

[31] GÜL F, Acılar M, Basıncılı İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilen Al- SiCp Kompozitlerde Parçacık Boyutunun Abrasif Aşınma Davranışına Etkisi Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.. Cilt 22, No 2, 323-327, 2007

[32] ÖZDİN K, Şahin Y, SiC Parçacıklarle Takviyelendirilmiş Metal Matrisli Kompozitin Üretimi Ve Aşınma Davranışının İncelenmesi 12. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 2006 Kuşadası

[33] KÖKSAL F, Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B4C Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemi İle Üretimi Ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Isparta, 2004

[34] HİÇYILMAZ N, Toz Metallurjisi Yöntemleri İle Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 1999 Ankara

[35] ALTINKÖK N, Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Al_2O_3/SiC Parçacık Destekli Metal Matris Kompozit Üretimi Ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi Doktora Tezi Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya 2002

[36] http://rs17.rapidshare.com/files/83293623/Kompozit_Malzemeler_Ders_Notlar__305_.rar

- [37] DÜNDAR M, İNEL C, AKKURT S, Otomotiv Sektöründe Kullanılmak Amacıyla Sürekli Döküm Tekniğiyle Üretilmiş 5XXX Serisi Al-Mg Alaşımlarının Mekanik Karakterizasyonu, ASSAN Alüminyum, Tuzla, İstanbul
- [38] ŞAHİN Y, Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yay, Ankara,2006
- [39] TOPLAN F, vd. Al-B4C Kompozitlerinin Fren Diski Olarak Kullanılabilirliğine Genel Bir Bakış, Yıldız Teknik Üniversitesi
- [40] GÜL F, Döküm Yoluyla Alüminyum Temelli Parçacık Takviyeli Kompozit Geliştirme Doktora Tezi Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul 1999
- [41] BİLGİCİ Ö.E, Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Kompozit Üretimi Yüksek Lisans Tezi Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Ocak, 2004 İZMİR
- [42] Haddeleme <http://quarters.blogcu.com/54198/8/9/2005>
- [43] Soğuk Şekillendirme Yöntemleri, <http://www.yenimuhendis.com/forum/sicak-ve-soguk-sekillendirme-yontemleri-t819.html>
- [44] E-funda Engineering Proseses
http://www.efunda.com/processes/metal_processing/images/rolling.gif
- [45] ASLANTAŞ K, Plastik Şekil Verme I, Üretim Yöntemleri I, <http://ejmt.teknolojikarastirmalar.com/kubilay/plas1.pdf>
- [47] Kütleli Metal Şekillendirme Yöntemleri,
<http://www.a305teyim.com/proje.php?id=97&proje=1>
- [48] ÜRKMEZ N, AlMg3 / SiCP Kompozitlerinin Üretimi Ve Mekanik Özelliklerdeki Değişimlerin İncelenmesi Doktora Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, 2004
- [49] BOSCH Automotive Handbook 5th Edition
- [50] ÇELİK A, Karbonitasyon İle Sertleştirilmiş AISI 1020 ve AISI 5115 Çeliklerinin Kuru Sürtünme Şartlarında Tribolojik Özelliklerinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Haziran 1993 Kayseri
- [51] Triboloji, www.kutuphane.biz/fiziksel
- [52] HATMAN A, Takım Çelikleri El Kitabı, Assab Korkmaz Teknik Kataloğu, 2002
- [53] MİNDİVAN H, KAYALI S, SiC takviyeli 2618 Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışı itüdergisi/d - Mühendislik Serisi Cilt: 6, Sayı: 2, Nisan 2007 Sayfa: 63 - 70
- [55] AY M, HASÇALIK A, Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilen Fe-C-Mo-FeCr Kompozitinin Abrasif Aşınma Davranışının İncelenmesi ,Sigma 2005/1

- [56] ÜNLÜ B.S, vd., Al Esaslı Alaşım Ve Parçacık İlaveli Yatakların Aşınma Özellikleri , <http://www.metaldunyasi.com/tr/dergi.asp?id=410&dergi=buay>
- [57] Nanokompozit Mo-N-Cu Kaplamaların Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışı http://www.sonmezmedikal.com/dental_makaleler.asp?makaleid=120
- [58] YILMAZ M. ALTINTAŞ S, Parçacık SiC Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Mikroyapı ve Aşınma özellikleri Yayın Kimlik No: OK-011 Yayının Kaynağı: 7. Kongre Bildirileri Cilt No: 2 Tarihi: Mayıs 1993
- [59] Aluminum Matrix Composites: Processing and Properties cime www.epfl.ch/people/cayron/Fichiers/thesebook-chap2.pdf
- [60] AKBULUT H, Kompozit Malzemeler Yüksel Lisans Ders Notları,Sakarya, 2008
- [61] MİNDİVAN H. KAYALI S, ÇİMENÖĞLU H,Tribological Behavior of Squeeze Cast Aluminum Matrix Composites www.sciencedirect.com
- [62] ARIKAN R, Saffil (Δ -Al₂O₃) Fiber Takviyeli ZA-12 Alaşımın Sürtünme Aşınma Davranışları Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06570 Maltepe, Ankara
- [63] AKBULUT H, DURMAN M, YILMAZ F, Dry wear and friction properties of S-Al₂O₃ short fiber reinforced Al-Si (LM 13) alloy metal matrix composites Department of Metallurgical Engineering, Engineering Faculty, University of Sakarya, Esentepe Campus, Adapazari, 54040, Turkey Received 2 April 1997; accepted 24 October 1997
- [64] J.I. Song, S.I. Bae, K.C. Ham and K.S. Han Abrasife Wear Behavior of Hybrid Metal Matrix Composites Key Engineering Materials Vols. 183-187 (2000) pp. 1267-1272 2000 Trans Tech Publications, Switzerland
- [65] Zhenfang Zhang, Liangchi Zhang, Yiu-Wing Mai,Modeling steady wear of steel /Al₂O₃-Al particle reinforced compositesystem Centre for Advanced Materials Technology, Department of Mechanical and Mechatronic Engineering, University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia Received 4 June 1996; accepted 29 April 1997
- [66] KIRDÖK İ, Mechanical And Tribological Properties Of Aluminum - Based Particulate Metal - Matrix Composites A Thesis Presented to the Graduate School of Natural and Applied Sciences Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir 1993
- [67] ÖZKONAK Ö, Production And Properties Of Al-Based Metal Matrix Composites Dokuz Eylül University Graduate School Of Natural And Applied Sciences 1995 İzmir

ÖZGEÇMİŞ

13/06/1983 yılında Malatya/Darende’de doğdu. İlkokulu burada okudu. Ortaokulu Meraşal Fevzi Çakmak İlköğretim Okuluna (İstanbul) liseyi Esenler İbrahim Turhan YDA Lisesinde (İstanbul) okudu. 2001 yılında Sakarya Üniv. Metalurji ve Malzeme Mühendisliğini kazandı ve 2005’te buradan mezun olduktan sonra Trakya Üniversitesi Fen Bil. Ens. Makine Müh. Anabilimdalında yüksek lisansa başladı.

Cuma Kılıç

cumakilic@gmail.com