

169216

**ÇELİK TAKVİYELİ ALÜMİNYUM KOMPOZİT ÜRETİMİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Mehmet ERDOĞAN

**Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.**

Danışman : Doç. Dr. Rasim İPEK

Ekim - 2005

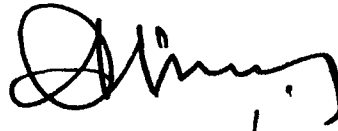
KABUL ve ONAY SAYFASI

Mehmet ERDOĞAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı **Çelik Takviyeli Alüminyum Kompozit Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi** başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

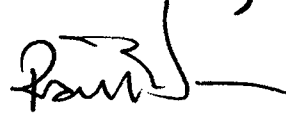
05/10/2005

(Sınav tarihi)

Üye : Prof.Dr.Alim İŞİK



Üye : Doç.Dr. Rasim İPEK (Danışman)



Üye : Yrd.DoçDr. Rahmi ÜNAL



Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun 26/10/05 gün ve 19..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof.Dr. M. Sabri ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÇELİK TAKVİYELİ ALÜMİNYUM KOMPOZİT ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Mehmet ERDOĞAN

Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2005

Tez Danışmanı: Doç.Dr.Rasim İPEL

ÖZET

Bu çalışmada, döküm yöntemi ile SAE 6150 çelik yay takviyeli E-Al 99.5 alüminyum kompozit üretilmiş ve takviye elemanın mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Döküm ile yapılan kompozit üretimi Dumlupınar Üniversitesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kokil kalıp kullanılarak yapılan üretimde, takviye malzemesinin aşınma ve basma değerleri, gözenekliliği, ıslatılabilirliği test edilmiştir. Gözeneklilik tamamen, ıslatılabilirlik ise kısmen başarılıdır. Aşınma deneyleri yuvarlanmalı yatak prensibine dayanılarak yapılmış ve takviye malzemesinin aşınma sonuçlarına olumlu etkisi saptanmıştır. Basma mukavemetinde ise çelik ile alüminyum arasında yeterli bağ oluşamamasından dolayı mukavemetin, takviyesiz malzemeden düşük olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Alüminyum , çelik , takviye malzemesi , aşınma

**THE PRODUCTION OF STEEL FIBRE REINFORCED ALUMINIUM COMPOSITE
MATERIAL AND INVESTIGATION OF IT'S MECHANICAL PROPERTIES
EXPERIMENTALLY**

Mehmet ERDOĞAN

Mechanical Engineering, M.S. Thesis, 2005

Thesis Supervisor : Rasim İPEK, Assistant Prof.

SUMMARY

In this study, SAE 6150 fibre reinforced E-Al 99.5 aluminium composite material was produced by casting method and the effect of the reinforcement material was investigated. The production of this composite material was done in Dumlupınar University laboratories. The effect of the reinforcement material to the wear, compressive strength, porosity and wettability of the composite material was investigated. The porosity ratio was prevented almostly but the wettability was partially prevented. The wear experiments were carried out on a rolling wear tester and it was seen that the wear resistance of aluminium was increased by the reinforcement material. Because of low wettability between the aluminium and steel, the compressive strength of composite material was lower than the substrate material.

Keywords: Aluminium, steel, reinforcement, wear

TEŐEKKŪR

Bu tezin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen baŐta tez danıŐmanım Sayın Doç. Dr. Rasim İPEK'e ve tüm bölüm hocalarıma, kalıbın hazırlanması ve tadilatı için yardımcı olan Gürpınar Makina San.ve Tic.A.Ő'ye, çalışmalarında her türlü desteği veren Osman KARAYEL'e, hem maddi hem de manevi desteklerini seferber eden aileme sonsuz teŐekkŪrlerimi sunarım.

Mehmet ERDOğAN



İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET..... | iv |
| SUMMARY..... | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | ix |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xii |
| | |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Genel..... | 1 |
| 1.2 Çalışmanın Önemi Ve Amacı..... | 2 |
| 2. KOMPOZİT MALZEMELER..... | 3 |
| 2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması..... | 5 |
| 2.1.1. Polimer Matriksli Kompozit Malzemeler (PMK)..... | 5 |
| 2.1.2. Seramik Matriksli Kompozit Malzemeler (SMK)..... | 6 |
| 2.1.3. Metal Matriksli Kompozit Malzemeler (MMK)..... | 6 |
| 2.1.3.1. Sürekli Fiber Takviyeli MMK Malzemeler..... | 7 |
| 2.1.3.2. Kısa Fiber Takviyeli MMK Malzemeler..... | 8 |
| 2.1.3.3. Parçacık Takviyeli MMK Malzemeler..... | 9 |
| 2.2. Matriks Malzeme ve Özellikleri..... | 11 |
| 2.3. Metal Matriksler ve Alaşımlar..... | 12 |
| 2.3.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları..... | 12 |
| 2.4. Takviye Elemanları ve Özellikleri..... | 14 |
| 2.5. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri..... | 16 |
| 2.5.1. Sıvı faz üretim yöntemleri..... | 16 |
| 2.5.1.1. Ergimiş Metal Emdirme (Sıvı İnfiltrasyon)..... | 16 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.5.1.2. Basınçlı döküm yöntemi..... | 17 |
| 2.5.1.3. Ergiyik metal içerisinde takviye elemanlarının karıştırılması (Vortex) yöntemi..... | 17 |
| 2.5.2. Katı faz üretim yöntemleri | 19 |
| 2.5.2.1. Toz Metalurjisi Yöntemi | 19 |
| 2.6. Metal Matrisli Kompozit Üretiminde Görülen Problemler | 20 |
| 2.6.1. Takviye Malzemesinin Dağılımı..... | 20 |
| 2.6.2. Islatabilirlik..... | 21 |
| 2.6.3. Gözeneklilik..... | 22 |
| 2.7. Metal Matrisli Kompozitlerin Uygulama Alanları..... | 23 |
| 2.8. Alüminyum Matrisli Kompozitler ve Mekanik Özellikleri..... | 23 |
| 3. KOMPOZİT MALZEMELERDE AŞINMA | 25 |
| 3.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler..... | 27 |
| 3.2. Aşınma Mekanizmaları | 28 |
| 3.2.1. Adhesiv Aşınma..... | 28 |
| 3.2.2. Abrasiv Aşınma..... | 30 |
| 3.2.3. Oksidasyon Aşınması..... | 32 |
| 4. MALZEME VE YÖNTEM..... | 33 |
| 4.1. Malzeme..... | 33 |
| 4.2. Yöntem..... | 34 |
| 5. BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 37 |
| 5.1. Aşınma Deneyi Sonuçları..... | 38 |
| 5.2. Basma Deneyi Ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 43 |
| 6. Sonuçlar Ve Öneriler..... | 49 |
| 6.1. Sonuçlar..... | 49 |
| 6.2. Öneriler..... | 49 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2. 1. Sürekli fiber takviyeli metal matris kompozitin şematik yapısı..... | 8 |
| 2.2. Kısa fiber takviyeli metal matris kompozitin şematik yapısı..... | 8 |
| 2.3. Parçacık takviyeli kompozitler..... | 9 |
| 2.4. Farklı matris malzemelerinin sıcaklık ve yoğunluk özelliklerinin karşılaştırılması | 12 |
| 2.5. Ergiyik metal içerisinde takviye elemanı karıştırma yöntemi | 18 |
| 3.1. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi..... | 26 |
| 3.2. Adhesiv aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterilişi..... | 29 |
| 3.3. Abrasiv aşınma mekanizması..... | 30 |
| 3.4. İki elemanlı abrasiv aşınma..... | 31 |
| 3.5. Üç elemanlı abrasiv aşınma | 31 |
| 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan kokil kalıp..... | 33 |
| 4.2. Yatak aşınması şematik gösterimi..... | 35 |
| 5.1. 20 N yük altında 710 d/d hızla dönen numunenin aşınma grafiği..... | 38 |
| 5.2. 20 N yük altında SAE 6150 takviyeli numunenin a) 1 dakika b) 3 dakika c) 7 dakika d)10 dakika aşınma sonrası ışık mikroskobu altındaki 100x büyütme ile görüntüleri..... | 39 |
| 5.3. 20 N yük altında takviyesiz E-Al 99.5 numunenin a) 1 dakika b) 3 dakika c) 7 dakika d) 10 dakika aşınma sonrası ışık mikroskobu altındaki 100x büyütme ile görüntüleri..... | 39 |
| 5.4. 50 N yük altında 710 d/d hızla dönen numunenin aşınma grafiği..... | 40 |
| 5.5. 50 N yük altında SAE 6150 takviyeli numunelerin a)1 dakika , b)3 dakika , c) 7 dakika , d) 10 dakika sonunda oluşan aşınma yüzeylerinin ışık mikroskobu altında 100x büyütme ile görüntüleri..... | 41 |
| 5.6. 50 N yük altında takviyesiz E-Al 99.5 numunelerin a)1 dakika , b) 3 dakika , c)7 dakika , d)10 dakika sonunda oluşan aşınma yüzeylerinin ışık mikroskobu altında 100x büyütme ile görüntüleri..... | 41 |
| 5.7. 100 N yük altında 710 d/d hızla dönen numunenin aşınma değerleri..... | 42 |
| 5.8. 100 N yük altında SAE 6150 takviyeli numunelerin a)1 dakika , b) 3 dakika , c) 7 dakika , d)10 dakika sonunda oluşan aşınma yüzeylerinin ışık mikroskobu altında 100x büyütme ile görüntüleri..... | 43 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| | | |
|-------|--|----|
| 5.9 | 100 N yük altında takviyesiz E-Al 99.5 numunelerin a) 1 dakika , b) 3 dakika , c) 7 dakika , d) 10 dakika sonunda oluşan aşınma yüzeylerinin ışık mikroskobu altında 100x büyütme ile görüntüleri..... | 43 |
| 5.10. | E-Al 99.5 alüminyum malzemenin basma deneyi sonunda gerçekleşen kuvvet-%uzama grafiği ve kırılma şekli..... | 44 |
| 5.11. | E-Al 99.5 alüminyum malzemenin basma deneyi sonunda gerçekleşen kuvvet-%uzama grafiği ve kırılma şekli..... | 45 |
| 5.12. | SAE 6150 takviyeli alüminyum malzemenin basma deneyi sonunda gerçekleşen kuvvet- %uzama grafiği ve kırılma şekli..... | 46 |
| 5.13. | SAE 6150 takviyeli alüminyum malzemenin basma deneyi sonunda gerçekleşen kuvvet- %uzama grafiği ve kırılma şekli..... | 47 |



ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 2.1 Metal matrisli kompozitlerin uygulama alanları | 4 |
| 2.2 MMK malzeme matriksi, takviye elemanı, üretim teknikleri ve uygulama alanları..... | 11 |
| 2.3 Saf alüminyumun önemli özellikleri..... | 13 |
| 2.4 Takviye elemanları ve bazı önemli özellikleri..... | 14 |
| 4.1 Deney numunesi olarak kullanılan E-Al 99.5 alüminyum malzemesi ağırlıkça % bileşenleri..... | 33 |
| 5.1 Farklı yükler altında takviyeli ve takviyesiz alüminyum alaşımlarının aşınma deneyi sonuçları..... | 37 |
| 5.2 Basma deneylerinde elde edilen kopma kuvvetleri..... | 48 |
| 5.3 Varyans analiz çizelgesi..... | 48 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|-----------------|---------------------------|
| h | Deney Numunesi Boyu, [mm] |
| d | Deney Numunesi Çapı, [mm] |
| d / d | Devir / dakika |
| N | Newton |



1. GİRİŞ

1.1. Genel

Üretim teknolojilerini oluşturan çeşitli endüstri dallarındaki gelişmelere paralel olarak, malzeme üretimi ve geliştirilmesi amacıyla çalışan malzeme bilimlerinin de gelişmesini zorunlu kılmıştır. Malzeme bilimciler, günlük yaşamımızı kolaylaştıracak daha üstün özelliklere sahip ve daha ekonomik malzeme arayışı içerisine girmişlerdir. Yapılan çalışmalar neticesinde, kullanılan metal, seramik ve polimer esaslı malzemelerin özelliklerini iyileştirmek amacıyla üretilen kompozit malzemeler insanlığın faydasına sunulmuştur [1].

Kompozit malzemeler; yüksek elastik modül, yüksek tokluk ve darbe özellikleri, ısı şoklarına karşı düşük duyarlılık, ikincil işlemlere uygunluk gibi özellikler ile daha kuvvetli aşınma dirençli metalik malzemelerin, termal kararlı, düşük yoğunluklu seramik takviye elemanları ile takviye ederek geliştirilirler. Bu malzemeler, mukavemet/ağırlık, yüksek sıcaklık performansı, iyi korozyon direnci, yüksek sertlik ve ısı/elektrik iletkenliği/yalıtkanlığı gibi mekanik ve fiziksel özelliklere ulaşmak amacıyla geliştirilirler. Belirli bir uygulama için malzemeden beklenen değişik fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler bu özelliklere sahip bileşenler tarafından sağlanır. Bazı uygulamalarda, malzemenin yüksek sertliğinin yanı sıra yüksek tokluk özelliğine de sahip olması ve enerjiyi absorbe etmesi istenebilir [1].

Kompozit malzemeler, kullanılan matris (ana yapı) malzemesine göre, seramik matrisli kompozitler (SMK), polimer matrisli kompozitler (PMK) ve metal matrisli kompozitler (MMK) olmak üzere üçe ayrılır. Metal matrisli kompozitler, metallerin yüksek süneklik ve tokluk ile seramiklerin yüksek sertlik ve dayanım özelliklerini bir arada bulduklarından endüstride önemli bir kullanım alanı bulan malzemelerdir [2].

MMK malzemeler takviye elemanının şekline göre, parçacık takviyeli, elyaf takviyeli ve katmanlı MMK malzemeler olmak üzere üçe ayrılır. Parçacık maliyetinin düşük olması, daha kolay üretilmeleri ve daha izotropik yapıya sahip olmaları, parçacık takviyeli MMK malzemelerin diğerlerine göre tercih sebepleridir [3].

Genel olarak Al, Ti, Mg, Fe, Zn, Si, Ni, Pb, Cu ve Ag matris malzemesi olarak seçilmekle birlikte en yaygın uygulama alanına sahip olanlar Al, Ti ve Mg'dur. Günümüzde ise Al ve alaşımları; hafiflikleri, yüksek korozyon dirençleri ve mekanik özelliklerinden dolayı matris malzemesi olarak tercih edilmektedirler. Takviye elemanı olarak en yaygın kullanılanlar ise SiC, Al₂O₃, TiB₂, Si₃N₄, TiC, bor ve grafitir [4,5].

Kompozit malzemelerde takviye elemanının üretiminin zor ve pahalı olması, bu malzemelerin aşınma malzemelere oranla maliyetini oldukça artırmaktadır. Kompozit malzemeler sahip oldukları üstün özelliklere rağmen üretim maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı kullanım alanları endüstriyel olarak istenilen seviyelere ulaşmamıştır. Yüksek maliyetli kompozitlerin kullanımı yerine daha düşük maliyetli malzeme kullanımı ve oluşabilecek hasarların giderilmesinde kaynaklı birleştirmeye zaman zaman ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle farklı bir çok kaynak yöntemiyle kompozit malzemelerin birleştirilmesi üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Ergitmeli döküm yöntemleri ile kompozit malzemelerin üretimi esnasında, ergiyik sıvı matris ile takviye elemanının karıştırılması zordur. Soğuma esnasında katılaşmada segregasyonlar, yüksek sıcaklıklardan dolayı istenmeyen reaksiyonlar oluşmakta, parçacığın dibe çökmesi gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu problemler de kompozit malzemelerin daha ekonomik ve daha güvenli olarak kullanımını engellemektedir. Ergitme kaynağındaki yüksek sıcaklığın, katı hal kaynak tekniklerinde oluşmaması, dikkatleri bu kaynak yöntemlerine çevirmiştir. Bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme kaynağında yüksek sıcaklıklara çıkılmadığından malzemede istenmeyen mikro ve makro dönüşümler meydana gelmemektedir[3].

1.2 Çalışmanın Önemi Ve Amacı

Yapılan bu deneysel çalışmada hareket ve yük ileten makine elemanlarına alternatif bir malzeme olarak düşünülen yay takviyeli kompozit malzeme üretilmesi ve özellikle aşınmaya karşı olan direncinin tesbit edilmesi amaçlanmıştır. Takviyeli olarak üretilen alüminyum malzemenin aşınma direncindeki değişimin daha sonraki yapılacak çalışmalara ışık tutması ve literatürde benzer bir uygulamanın bulunmaması nedeniyle böyle bir çalışma yapılmıştır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Genel anlamda kompozit malzeme; iki veya daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek bir malzeme toplamak, ya da kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun bir malzeme oluşturmak için makro seviyede bir araya getirilmesi ile oluşan yeni malzemedir. Yeni elde edilen malzeme, karıştırılan malzemelerin tüm özelliklerine sahip olabileceği gibi, kullanılan takviye elemanları yardımıyla yeni özelliklerde kazanmaktadır[1,3].

Bir kompozit malzeme bünyesinde, çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matris malzemesi bulunmaktadır. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, wikerler ve parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu, gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır. Buna ilaveten takviye elemanından istenen ve aranan özellikler; kompozitin yoğunluğunu düşürmek ve matrisin yüksek sıcaklık özelliklerini iyileştirmektir. Kompozitler, esasında karma malzemeler olduklarından, bu şartları sağlamak ve elde etmek için en iyi matris-takviye elemanı çifti seçilir. İstenen şartlar yerine getirilir ve uygulanırsa, hafif alaşımlara yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek özellikler kazandırmak, dayanımlarını arttırmak ve yoğunluklarını düşürmek mümkün olmaktadır [7].

Kompozit malzemeler takviye elemanının ismiyle anılmaktadır. Örnek olarak MMK sürekli fiberle güçlendirilmiş ise; sürekli fiber takviyeli MMK veya kısa fiber ile güçlendirilmiş ise kısa fiber takviyeli MMK malzemeler olarak adlandırılmaktadır [3].

Kompoziti oluşturan diğer önemli eleman matristir. Matris, kompozitin birçok özelliğini üzerinde taşır. Kompoziti oluşturan en önemli malzeme olan matrisin takviye elemanlarını bir arada tutmanın dışında daha bir çok kritik görevleri de vardır. Matris, bunların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere (bu etkiler ileride çatlaklara sebep olmaktadır) karşı koruyup dirençlerini arttırmakta, kompozit üzerine gelen yükü takviye elemanına homojen olarak dağıtmakta ve kompozit içerisindeki hata ihtimalini azaltmaktadır [3].

Matris, takviye elemanlarını birbirinden ayırarak plastiklik ve süneklik özellikleri ile takviye elemanlarından kaynaklanabilecek kırılğan çatlakların yayılmasını önler. Plastik deformasyonlar ve çatlaklar varsa takviye elemanlarına paralel olarak yönlerini değiştirir. Yani, matris, yapı içerisindeki hataların ve çatlakların giderek yayılmasını ve malzemenin özelliklerini değiştirmelerini engeller. Aynı zamanda matrisi oluşturan malzeme, uygulamada karşılaşılan yüksek sıcaklık durumlarına karşı da kimyasal ve fiziksel direnç gösterebilmelidir. Bu

nedenlerden dolayı, yüksek performans gerektiren uygulamalarda, uygun malzeme seçiminde, kompozitin en önemli yapı taşı olan matrisin tüm özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerekir [8]. Çizelge 2.1.'de farklı amaçlarla kullanılan kompozit malzemeler ve uygulama alanları görülmektedir.

Çizelge 2. 1. Metal matrisli kompozitlerin uygulama alanları [9].

| Takviye Elemanı | Matris | Uygulama Alanı |
|-----------------------|----------------------------|--|
| Grafit | Alüminyum | Uydu parçaları, güdümlü mermiler, helikopter parçaları |
| | Magnezyum | Uydu parçaları |
| | Kurşun | Akümülatör parçaları |
| | Bakır | Elektrik kontaktörleri, yatak malzemeleri |
| Bor | Alüminyum | Kompresör kanatları |
| | Magnezyum | Anten yapıları |
| | Titanyum | Jet motoru fan kanatları |
| SiC kaplı Bor | Alüminyum | Jet motoru fan kanatları |
| | Titanyum | Yüksek sıcaklık yapıları ve fan kanatları |
| Alümina (Al_2O_3) | Alüminyum | Füzyon güç reaktörlerinde süper iletken durdurucular |
| | Kurşun | Akümülatör plakaları |
| | Magnezyum | Helikopter parçaları |
| SiC | Alüminyum | Yüksek sıcaklık yapıları, motor parçaları |
| | Titanyum | |
| | Kobalt esaslı süper alaşım | Yüksek sıcaklıklarda çalışan motor parçaları |
| Molibden, Tungsten | Süper Alaşım | Yüksek sıcaklıklarda çalışan motor parçaları |

Tüm bu özellikleri aynı anda elde etmek, her zaman mümkün olmamaktadır. Buradaki mekanik ve fiziksel özellikleri elde etmede uygun matris-takviye elemanı seçimi büyük rol oynar. Yüklün, matristen takviye elemanına iletilmesi, arayüzey bağı vasıtasıyla olmaktadır. Bu nedenle matris ile takviye elemanı arasındaki arayüzey bağının güçlü olması gerekmektedir.

Arayüzcy bağının güçlü olması da çiftlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğinin iyi olmasına bağlıdır. Ayrıca, takviye elemanın matris içerisine homojen olarak dağılabilmesi, üretim tekniğinin yanında matris-takviye elemanı çiftine de bağlıdır.

2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Matris veya takviye elemanı, tek başlarına gösteremeyecekleri özellikleri kompozit malzeme olarak gösterirler. Kompozit malzeme üretimi oluşan yeni malzemeye ile aşağıda belirtilen bazı önemli özellikler kazandırılmaktadır [9].

- Yüksek dayanım ve rijitlik
- Mükemmel aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Korozyon direnci
- İyi termal ve ısı iletkenliği

Yukarıda bahsedilen özelliklerin kazandırılmasında, en önemli faktör uygun matris ve takviye elemanın seçilmesidir. Kompozit malzemeler kullanılan matris malzemesine göre üç ana gruba ayrılır. Bunlar; polimer, seramik ve metal matrisli kompozitler olarak adlandırılırlar[18,19,27].

2.1.1 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler (PMK)

Polimerler, metal ve seramiklere göre çok daha karmaşıktırlar. Matris olarak kullanılan polimerler ucuzdur ve üzerinde çalışılması kolaydır. Diğer yandan düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termosetler ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimerler genelde sürekli fiber takviyeli olarak kullanılırlar [18].

Polimerlerde kullanılan en önemli takviye elemanları cam fiber, kevlar fiber, bor fiber ve karbon fiberlerdir. Bu grupta sürekli fiberlerle takviye edilen epoksi reçine ve polye ester en önemli matris malzemesidir. Epoksi reçine matrisli kompozitlerin en önemli uygulaması havacılık endüstrisidir. Polimer matrisli kompozitlerin üretilmesinde en çok bilinen ve en yaygın kullanılan metotlardan bazıları; elle sıvama, tel sarma, sıvı akış tekniği, takviye reaksiyon enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum metotlarıdır [18].

Takviye edilmiş polimer esaslı kompozit malzemelerin çok yaygın kullanım alanı mevcuttur. Bunlar; uzay çalışmalarında kontrol panelleri yapımı, uçaklarda, helikopterlerin rotorlarında, spor ekipmanlarında, yarış arabalarında, kayak yapmada, su tankı, el raketlerinde ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır [27].

2.1.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler (SMK)

Beton ve kurutulmuş çamur, seramik matrisli kompozitlerin ticari olarak tanınmasında esastır. Seramikler doğada kaya ve taşların dış etkilerle parçalanması sonucu oluşan kaolin, kil vb. maddelerin yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile elde edilirler. Bunlar; farklı şekillerde silikatlar, alüminatlar ile birlikte metal oksitlerinden oluşur ve endüstriyel seramikler olarak bilinirler. Çok sert, gevrek ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Bu malzemelerde kayma direnci yüksek olup, plastik şekil verme olmaksızın gevrek kırılırlar. Sert oldukları için bunlardan Al_2O_3 ve SiC aşındırıcı malzeme olarak kullanılırlar. Bunlarla seramik matrisli kompozit üretildiğinde, 1200 °C gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilir [28].

Seramik malzemelerin yüksek sıcaklıklara karşı dayanımları iyi olmasına rağmen, ani sıcaklık değişimlerinde ortaya çıkan ısı şoklarına karşı dirençleri metallere göre daha düşüktür. Seramikler, plastik deformasyon göstermediklerinden yapılarında oluşan bir çatlak veya çentik hızlı bir şekilde yayılabilir. Sünek özellik gösteren metallere bu çatlakların ilerlemesi daha zordur [19].

Seramik matrisli kompozitler genelde yüksek sıcaklık, aşınma direnci ve düşük yoğunluk istenen uygulamalar için üretilirler [29]. Yüksek sıcaklıklarda yüksek elastik özellik gösterirken, kimyasal olarak inert olup, ayrıca düşük yoğunluğa sahiptirler. Seramik malzemelerin fiber ile takviye edilmesi durumunda mukavemetleri yükselmekte ve toklukları da artmaktadır. Bu uygulama ile monolitik seramiklere oranla toklukları 20 kata kadar artmaktadır [18].

Seramik partiküllerle takviyelendirilmiş alüminyum alaşımları, özellikle düşük yoğunluklarından dolayı klasik (krank-biyel mekanizmalı) otomobil motorlarında eş zamanlı çalışan parçaların yapımında kullanımları yaygınlaşmıştır [30]. SMK malzemeler gaz tribün motorlarının parçalarında ve piston alaşımlarında fren rotoru ve silindir gömleği olarak kullanılırlar. Gelecekte kullanım alanlarının daha da artması beklenmektedir [27,29].

2.1.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler (MMK)

Klasik malzemeler ile dayanım, süneklik, genişleme oranı ve yoğunluk gibi kombinasyonların birlikte başarıyla sağlanması sınırlıdır. MMK malzemeler; sürekli fiber, whisker (küçük kristaller) veya parçacıklar ile takviye edildiklerinde bu kombinasyonların bir sonucu olarak, çok özel yüksek dayanım ve yüksek modül elde edilebilmektedir [31]. MMK'ler yüksek elastik modülü, çekme-basma dayanımı, kayma mukavemeti ve çalışma sıcaklığının

yanı sıra, metallerin sünekliliği ve tokluğu ile, seramiklerin yüksek mukavemeti ve yüksek elastik modül özelliklerinden dolayı son derece önemli mühendislik malzemeleridir [28,32,33].

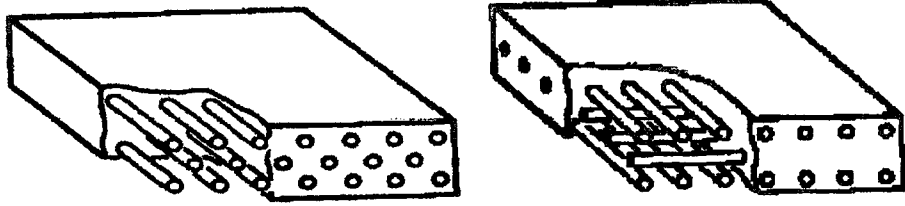
Bu malzemelerin artan mekanik özellikleri ile birlikte hafiflik ve düşük maliyet ilişkisi, otomotiv ve uzay endüstrisi gibi gelişmiş ve gelişmekte olan endüstri dallarında ve çeşitli mühendislik uygulamalarının da vazgeçilmez malzeme haline gelmiştir [18]. Otomotiv endüstrisinde piston, silindir gömleği, yataklar ve elektromekanik sanayiinde akım kollektörleri gibi değişik uygulama alanları mevcuttur [30]. Toyota otomotiv firması, metal matrisli kompozitler üzerine 1980' li yıllardan beri önemli araştırmalar yapmış ve otomobil pistonlarının segman yuvaları kısmında fiber takviyeli kompozit kullanımı ile piston ağırlığında %10 tasarruf sağlandığı belirtilmiştir. Metal matrisli kompozitlerin düşük yoğunlukta olmaları ve son yıllarda takviye elemanlarının da daha ucuza elde ediliyor olması MMK malzemelerin kullanımlarını daha da artırmıştır [18,34,35,36].

Metal matrisli kompozitler takviye elemanlarının şekil ve boyutlarına bağlı olarak, adlandırılmaktadırlar. Bunlar; sürekli fiber takviyeli MMK malzemeler, kısa fiber takviyeli MMK malzemeler ve parçacık takviyeli MMK malzemelerdir.

2.1.3.1. Sürekli Fiber Takviyeli MMK Malzemeler

Genellikle özel amaçlı üretilen sürekli fiber takviyeli kompozitler, preformların veya tel dizinlerin sıvı emdirilmesi ve preformların difüzyonu yoluyla üretilirler. Bu işlemler bir çok adımlardan oluşur ve otomasyonu zordur. Boyutları ve şekli, standart mekanik işlemler ve mekanik yöntemlerle ikincil işlemlere uygun değildir veya sınırlıdır. Ayrıca bu malzemelerin üretim maliyetleri yüksektir. Bu yüksek maliyet özellikle askeri ve uzay endüstrisinde üstün özelliklerin istendiği durumlarda daha az önem taşımaktadır [3,11]. Karbon, bor, SiC ve Al₂O₃ sürekli fiber takviyeli kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanlarının en çok tercih edilenleridir [21].

Sürekli fiberler yönlendirilebilme özelliklerinden dolayı, diğer takviye elemanlarına göre bazı üstün özelliklere sahiptir. Bunlar da fiber kuvvetleri taşırken, matriste kuvvetleri fiberlere iletir. Bu kompozitler tek yönde yüksek çekme, basma ve eğilme dayanımına maruz kalan bölgelerde, tek yönde yönlendirilmiş fiberler, fiber doğrultusunda maksimum performans gösterirler. Buna karşın, fibere dik yönde daha düşük özellikler elde edilir. Bunu da karşılamak için Şekil 2.2' de görüldüğü gibi iki boyutlu, üç boyutlu ve istenilen açıda yönlendirme yapılabilir [9].

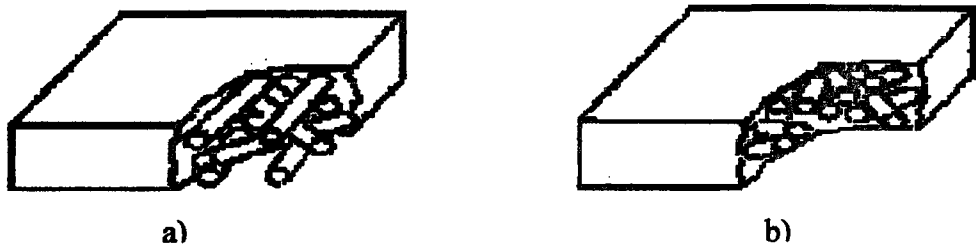


Şekil 2.1 Sürekli fiber takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı a) Tek doğrultuda yönlendirilmiş, b) 90° açılı çift doğrultuda yönlendirilmiş

2.1.3.2. Kısa Fiber Takviyeli MMK Malzemeler

Bu tür kompozit malzemeler kısa veya süreksiz fiber takviyeli malzemeler olarak adlandırılır ve Şekil 2.3'de görüldüğü gibi genellikle rasgele yönlendirilirler [9,19]. Bu malzemelerin üretiminde seçilecek yöntem, parça boyutuna ve geometrisine bağlıdır. Genellikle sıvı sızdırma yöntemi, ergiyiğin ön kalıplanmış kalıba emdirilmesi, plazma püskürtme veya toz metalurjisi yöntemleri kullanılır. Önceden şekillendirilmiş fiberlere sıvı emdirilmesi yönteminde hacim oranları önemli olduğundan fiber oranı %35 civarında tutulur. Bu değer üstündeki uygulamalarda istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri elde etmek zordur. Kısa fiberler genellikle rasgele yönlendirilmişlerdir [19].

Yüksek young modülü ve iyi aşınma direnci özelliklerine sahip kısa fiber takviyeli alüminyum matrisli kompozitler, geleneksel alaşımlarla karşılaştırıldıkları zaman, ilginç özelliklere sahiptirler [37].

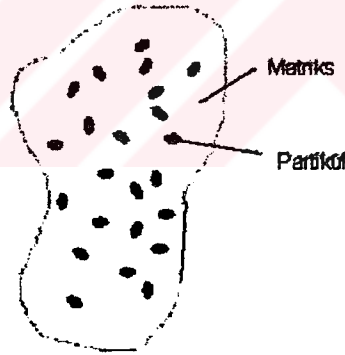


Şekil 2.2. Kısa Fiber Takviyeli Metal Matrisli Kompozitin Şematik Yapısı
a) Rastgele Düzlemsel Yönlendirilmiş Elyaf b) Kesikli Elyaf

Sürekli fiberlere göre, kısa fiberli kompozitler üretim işleminin hızlı ve düşük maliyetli oluşu, biçimlendirme ve şekil verme yeteneğinin yüksek olması sebepleri ile tercih edilmektedir. Havacılık ve otomotiv sektöründe (piston başlığı üretimi) kullanımı yaygın olup geleneksel malzemelerin yerini hızla almaktadır [38].

2.1.3.3. Parçacık Takviyeli MMK Malzemeler

Parçacık takviyeli MMK malzemeler, mikron boyutlarındaki küçük parçacıkların metalik bir matris içerisinde dağılımları ile elde edilen ve yüksek oranda izotropik özellikler gösteren kompozit malzemelerdir. Metalik malzemelerin sertliklerini, aşınma dirençlerini, yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerini geliştirmek için değişik türde oksit, karbür veya nitrür parçacıklarından faydalanılır. Şekil 2.4'de ki gibi bu fazlar metalik matris içerisinde dağıtılır. Tungsten karbür, titanyum karbür, krom karbür, bor karbür ve silisyum karbür gibi karbürlerin tipik özellikleri, yüksek sertlik ve yüksek aşınma dirençleridir. Parçacık boyutları, hacim oranları, parçacıklar arası mesafe, matris içerisindeki dağılım homojenliği, çözünürlükleri ve ısı kararlılıkları kompozit malzemelerin özelliklerini belirleyen esas faktörlerdir [19].



Şekil 2.3 Parçacık Takviyeli Kompozitler

Kompozit malzemelerde karbürler (WC, SiC, TiC, B₄C, Cr₃C₂, NbC), nitrürler (SiN₄, AlN), oksitler (Al₂O₃, SiO₂) ve elementler (C, Si) takviye elemanları olarak kullanılırlar. Bu tür takviye elemanlarından SiC, alüminyum ve magnezyum alaşımlarının tümünde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Bağlayıcı olarak kobalt ve alaşımları kullanılır [7,10,11].

Aşırı olmayan yükleme ve termal uygulamalarda, parçacık takviyeli MMK, takviye edilmemiş alaşımlara göre daha iyi izotropik özellikler ile, tokluk, süneklilik ve mukavemet özellikleri verirler. Pratikte en çok kullanılan partiküller Al_2O_3 ve SiC 'den oluşan seramiklerdir [7].

SiC ve Al_2O_3 takviyeli alüminyum kompozitler otomotiv, elektronik, ağır taşıma, spor, havacılık ve eğlence endüstrilerinde, malzeme aşınma özelliklerinin çok önemli olduğu pistonlar, silindirler, fren kampanaları vb. uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [18]. Teknolojik uygulamalardan otomotiv ve havacılık endüstrisinde çalışma ve yakıt masrafını düşürmek için malzeme ağırlığının düşürülmesi ve bu yolla mukavemet/yoğunluk oranlarının artırılması önemlidir. Bu oran mühendislik malzemelerinin elastik modül, mukavemet, korozyon, oksidasyon, termal kararlılık, sürtünme, aşınma ve yorulma özellikleri de önemlidir [11].

Döküm yoluyla üretilen parçacık takviyeli MMK'lerde, uygulamada karşılaşılan başlıca zorluklardan biri, tozların karıştırılma zorluğu ve ergiyik viskozitesinin düşmesidir. Bazen de ergiyiğin, seramik parçacıkları ıslatmadığı görülmektedir. Islatabilirliğin gerçekleşebilmesi için katı yüzey enerjisinin artırılması, ergimiş metal yüzey geriliminin azaltılması ve katı-sıvı arayüzey enerjisinin azaltılması gibi tedbirler alınmaktadır. Alüminyum alaşımlarında ıslatmayı iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan alaşım elementi magnezyumdur [3]. Parçacık takviyeli kompozitin diğer kompozitlerden farkı, artan takviye elemanı ilavesi ile birlikte yapı içerisinde oluşan gözenek vb. hataların, haddeleme gibi ikincil bir işlem ile giderilebilmesidir. Yani parçacık takviyeli MMK üretimi yapıldıktan sonra, ikincil bir işlem yapılabilir. Yapı içerisinde oluşan gözenekler kompozitin dayanımını düşürdüklerinden bu tür kompozitlere ikinci bir işlemin uygulanabilmesi çok önemlidir [3]. MMK malzeme matrisi, takviye elemanı, üretim teknikleri ve uygulama alanları Çizelge 2.4'de görülmektedir [39].

Çizelge 2. 2. MMK malzeme matrisi, takviye elemanı, üretim teknikleri ve uygulama alanları[39].

| Fiberler | Matris | Üretim Metodu | Uygulama Alanı |
|--|---|--------------------------------------|--|
| SiC kaplı Bor | Al | Toz Metalurjisi | Türbin kanatları |
| C | Mg veya alaşımları, Cu | Sıvı infiltrasyon | Türbin fan kanatları, basınç kazanları, zırh malzemesi |
| SiC | Be, W, Mo, Fe, Co, Ni, Cr, Si, Cu, Mg, Zr, Ti, Al | Sıvı infiltrasyon, Sıcak presleme | Havacılık, nükleer endüstri, kompresör bıçakları, hava araçlarının yüzeyleri |
| Karbür kaplı C | Ni alaşımları | Sıvı infiltrasyon | Havacılık endüstrisi |
| SiC _w | Al | Toz metalurjisi | Aşındırıcılar |
| Al ₂ O ₃ , SiC Al-Oksinitrit | Al-Cu alaşımları | Sıvı matris içerisine karıştırma | Uzay yapıları, motor parçaları, havacılık endüstrisi |
| Al ₂ O ₃ | Al-Li alaşımları | İnfiltrasyon ve reaksiyon yöntemi | Uzay yapıları, motor bileşenleri |
| Al ₂ O ₃ -SiO ₂ | Al, Al-Zn | Sıvı infiltrasyon, toz metalurjisi | Havacılık sanayii |

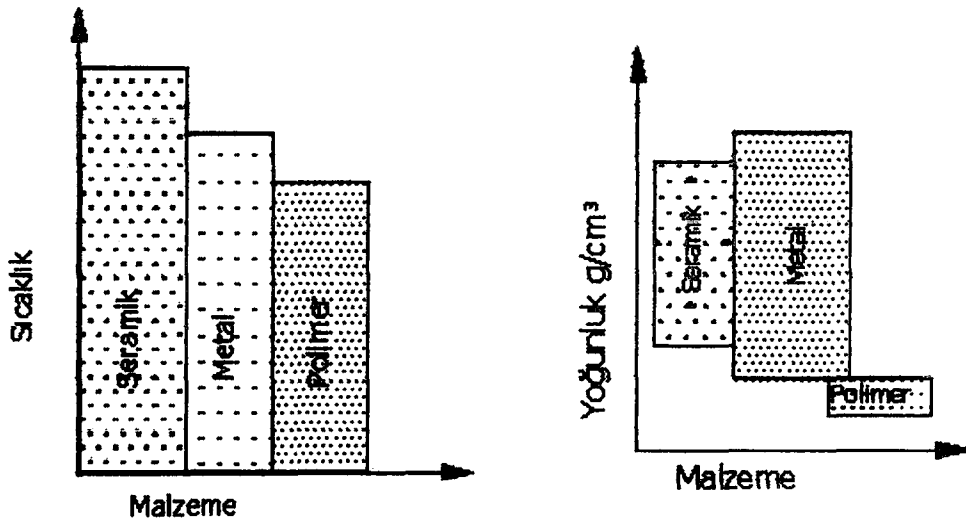
2.2. Matris Malzemeleri Ve Özellikleri

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi takviye elemanlarını çevrelemeli, tam olarak ıslatabilmeli, kimyasal veya belli şartlarda arayüzey bağı oluşturmalı, mümkün olan düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılaşabilmelidir [9].

Matrisin en önemli görevi; takviye elemanını bir arada tutmak, malzemeye gelen darbeleri veya yükleri takviye elemanlarına aktarmak, kırılma tokluğunu iyileştirmek, takviye elemanı ile uyum sağlamak, takviye elemanlarını aşınmaya ve korozyona karşı korumaktır. Kompozitin sıcaklığa, kimyasal etkileşime ve korozyona karşı direnci öncelikle matris tarafından belirlenir, daha sonra takviye elemanı da sıcaklığa karşı kararlı olmalıdır [9].

Her bir matris malzemesi, kullanım amacına uygun özellikleri dikkate alınarak seçilir. Mesela yüksek sıcaklık uygulamaları için titanyum ve alaşımları seçilirler. Akıcılık özelliklerinden dolayı çinko alaşımlarının seçilmesi de örnek olarak verilebilir [11].

Kompozit malzemelerde kullanılan farklı matris malzemelerinin sıcaklık, yoğunluk özellikleri ve özelliklerin karşılaştırması Şekil 2.1'de verilmiştir [10].



Şekil 2.4. Farklı matris malzemelerinin sıcaklık ve yoğunluk özelliklerinin karşılaştırılması [10]

2.3. Metal Matrisler ve Alaşımları

Kompozitler için en uygun matris malzemesi hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bunlar, plastiklerden daha yüksek elastik modüle ve dayanıma sahip olup yüksek sıcaklıklarda özellikleri daha iyidir. Atmosfere karşı korozyon dayanımlarının çok yüksek olması, düşük yoğunluklu olmaları ve iyi tokluk özelliklerine sahip olmaları da diğer avantajlarıdır. Tek dezavantajları ise her takviye elemanı ile iyi arayüzey bağı oluşturamamalarıdır [3].

Genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Fe, Co, Mo ve Zn matris malzemesi olarak kullanılır. Fakat yoğunluğunun düşük oluşu, ucuz olması, kolay bulunuşu, çeşitli alaşım formlarında bulunabilmesi ve oldukça iyi mekanik özellik kombinasyonlarına sahip olmasından dolayı matris olarak, en çok alüminyum ve alaşımları, daha sonra Ti ve Mg alaşımları kullanılır [6].

2.3.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum, maden cevheri olarak dünyada çok geniş rezerv alanına sahiptir ve demirden sonra en çok kullanılan ikinci metaldir. Alüminyum 100 yıl içerisinde, kendisinden binlerce yıl öncesinden beri bilinen, demir ve bakır gibi metallere çok daha büyük bir kullanım hızı ile demir-çelik dışında en çok üretilen metal olmuştur. Alüminyum kullanımının bu denli büyük bir hızla yayılmasının nedenleri, demir ve bakırdan üç kez daha hafif olması ve bakıra nazaran daha iletken olmasıdır. Alüminyum, hafiflik, iyi ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek korozyon direnci ve kolay şekillendirilebilirlik gibi özelliklerinden dolayı birçok

mühendislik uygulamalarında kullanılmakta ve bilhassa metal matrisli kompozit üretiminde matris malzemesi olarak çok yaygın olarak kullanılan bir malzeme haline gelmiştir [12,13].

Çizelge 2. 3. Saf Alüminyumun önemli özellikleri [14]

| Özellik | Değer |
|---|-------------|
| Atom Numarası | 13 |
| Atom Ağırlığı (g / mol) | 26.981 |
| Atom Yarıçapı (Å) | 1.82 |
| Kristal Yapısı | YMK |
| Yoğunluk (g/cm ³) (20 °C' de) | 2.6989 |
| Ergime Sıcaklığı (°C) | 660.37 |
| Kaynama Sıcaklığı (°C) | 2467 |
| Özgül Isısı (JK ⁻¹ /g) | 0.90 |
| Isı İletkenliği (WK ⁻¹ /cm) | 2.37 |
| Lineer Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ /K) | 23.86 |
| Elastisite Modülü (MPa) | 62100-69000 |
| Elektrik Öz Direnci (mm ² /m) (20 °C' de) | 0.0266 |
| Elektrik İletkenliği (mΩ ⁻¹ /mm ²) | 37.6 |
| Sertliği (HB) | 16-23 |
| Çekme Dayanımı (MPa) | 89.7-165.6 |

Bunlara ilaveten, şekillendirilme kolaylığı ve ince levha haline getirilebilme özelliği diğer bir etkidir. Ancak, saf alüminyumun oksijene olan yüksek ilgisinden dolayı döküm kabiliyetinin kötü oluşu, daha düşük mekanik özellikler göstermesi ve talaşlı imalatta işlenebilirliğinin iyi olmaması ve kaynakla birleştirme güçlükleri gibi problemleri de bulunmaktadır. Ancak, alaşımlama yapılarak bu özelliklerde iyileşmeler elde edilebilmektedir. Diğer taraftan alüminyum malzemelerde, yorulma dayanımının düşük olmasından dolayı kırılma oldukça düşük gerilmelerde bile gerçekleşebilmektedir. Düşük ergime noktası nedeniyle yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun değildir [3,14].

2.4. Takviye Elemanları ve Özellikleri

Kompozit malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesinde matris kadar takviye elemanı da etkilidir. Takviye elemanı, kompozit üzerine gelen yükün büyük bir bölümünü taşımaktadır. Yükün takviye elemanına iletilmesi için arayüzey bağının güçlü olması gerekir. Takviye elemanlarının ısıtılmaması durumunda, arayüzey bağlarının oluşumunu engellemesine ve gaz boşluklarının oluşmasına neden olur. Bundan dolayı takviye elemanı seçimi, matris içerisinde yönlendirilme şekilleri ve hacim oranları, kompozitin fiziksel ve mekaniksel karakteristiklerini etkiler [3,11].

Metal matrisli kompozitler için kullanılan takviye elemanları; parçacıklar, sürekli ve süreksiz fiberler, wickersler ve benzerleridir. Seramik takviye elemanlarının seçilmesinde önemli faktörler vardır. Bunlar; elastik modül, gerilme dayanımı, yoğunluğu, ergime sıcaklığı, termal kararlılığı, ısıl genişleme katsayısı, boyut ve şekli, matris ile uyumluluk ve maliyettir[3,15].

Parçacık takviyeli MMK malzemelerin uygunluğu, takviye fazının mukavemeti, elastik modülü ve yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak ortaya çıkar. Takviye fazın matris ile kimyasal kararlılığı ve uyumu önemlidir [11].

MMK malzemelerde kullanılan bir çok takviye elemanı vardır. Bunlar çelik, çeşitli formlarda üretilen wickersler (SiC), fiber (SiC, Al₂O₃, grafit) veya partikül (SiC, Al₂O₃, TiB₂, WC, TiC, bor, karbon vb.)' dir [5,6,16,17]. Yoğunluğu alüminadan daha fazla olmasına rağmen, SiC düşük maliyetinden dolayı en çok kullanılan takviye elemanıdır [6]. Kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanları ve bazı özellikleri Çizelge 2.3' de verilmiştir [18].

Çizelge 2. 4. Takviye elemanları ve bazı önemli özellikleri [18].

| Partikül | Mukavemet (MPa) | Elastik Modül (GPa) | Yoğunluk (g / cm ³) |
|--------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Al ₂ O ₃ | 221 | 379 | 3.98 |
| AlN | 2069 | 310 | 3.26 |
| B ₄ C | 2579 | 448 | 2.52 |
| MgO | 4100 | 417 | 3.58 |
| SiC | 3100 | 324 | 3.2 |
| Si ₃ N ₄ | 4100 | 250 | 3,18 |
| TiC | 55 | 269 | 4.93 |
| ZrC | 90 | 359 | 6.73 |
| ZrO ₂ | 83 | 132 | 5,89 |

Son zamanlarda kullanılan diğere bir takviye malzemesi de intermetallerdir. En geniş kullanılan sistemler Ni-Al ve Fe-Al' dir. İntermetal bileşikler, aşınma, korozyon ve mekanik özelliklerde artışa neden olur [6].

Alümina, üstün mekanik özellikleri, iyi kimyasal denge ve yüksek sıcaklık karakteristikleri ile çok geniş kullanım alanına sahiptir. Alümina (Al_2O_3), çok kristalli, yaklaşık 0.02 mm çapında ve % 99' dan daha yüksek saflıkta üretilir, ancak üretimleri zordur. Ergime sıcaklıkları 2045 °C olup yüksek sıcaklık fonksiyonları için uygun özelliklere sahiptirler. Alümina fiberlerin çekme mukavemetleri 1400 kg/cm^2 , elastik modülü $3.87 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Bu fiberler vakumlu infiltrasyon tekniğiyle üretime daha uygundur [19].

Karbon ve grafit fiberler, düşük yoğunluklu, yüksek mukavemet ve elastik modüllü, yüksek ısı kararlılık ve elektrik dirençlerine sahip takviye elemanlarıdır. Bu özellikleri nedeni ile çok yaygın olarak kullanılırlar. Karbon ve grafit fiberler organik maddelerden üretildikleri için organik fiberler olarak adlandırılırlar. Karbon fiberlerin yoğunluğu daha düşük olup, daha iyi hafiflik özelliği sağlamaktadırlar. Alüminyum matrisli kompozitlerde bor ve karbon takviye elemanlarının kullanılması termal genişleme açısından mukavemete olumlu etki sağlamaktadır [8,9,21].

Bor, metal matrisler arasında en çok alüminyum matris ile birlikte kullanılır [22]. Bor, ticari olarak silisyum karbür (borsik) ve bor karbür (B_4C) olarak üretilir [20]. Bor, hem mikro kristal hem de amorf yapıdadır. Kristal yapılu bor, yaklaşık 1400 °C de üretilmesine rağmen, yüksek dayanımlı amorf şeklindeki yapı, tungsten telin 1250 °C' nin altındaki sıcaklıkta tutulmasıyla elde edilir [3].

Bor karbür (B_4C), çok sert, düşük yoğunluklu (2.52 g / cm^3), aşınmaya ve darbeye dayanıklı, nötron absorblama alanlarında belirli avantajlar gösteren kendi başına sinterlendiğinde yüksek yoğunluğa sahip mikro yapıya erişebilen çok yönlü bir bileşiktir [23]. Alüminyumun kolay elde edilebilir olması, düşük yoğunluklu olması ve uygun üretim şartları altında B_4C ile tepki oluşturması sebebiyle B_4C , alüminyum odaklıdır. Bu nedenle, düşük yoğunluklu B_4C -Al kompozit üretmek amacıyla yüksek rijitli ve sert B_4C ile sünek alüminyum birleştirilir [24].

Krom karbür, Al_2O_3 ve TiB_2 'ye, sertleştirmek amacıyla, onun yüksek young modüllü ve yüksek sıcaklık erozyon direncinden dolayı, başarıyla dahil edilmektedir [25]. Krom karbürün yüksek modüllünden dolayı 1000 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çok iyi erozyon

direnci gösterir. Bunun yanında yüksek elektrik iletkenliği, elektrik boşaltım makinası için izin verilen alt limitten ($10^{-2} \Omega \text{ cm}^{-1}$) daha iyidir [26].

2.5. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozitlerin üretim metodu; fibere, matrise, üretilecek kompozitin şekline, ürün kalitesine, maliyete ve istenilen mekanik özelliklere göre belirlenir. Üretim yöntemleri sıvı faz, katı faz ve reaksiyon üretim yöntemi olarak üçe ayrılmıştır [18,40]. Reaksiyonla MMK üretimi, sıvı ve katı üretim yöntemlerinin bir fonksiyonudur. Bu yüzden birçok araştırmacı sıvı ve katı faz üretim yöntemleri olarak ikiye ayırmıştır [19].

Katı faz üretim yöntemleri olarak toz metalurjisi, ekstrüzyon, difüzyonla bağlama, patlatma kaynağı sayılabilir. Sıvı faz üretim yöntemleri olarak da sıvı metal infiltrasyon, sıkıştırma döküm, basınçlı döküm, XD (reaksiyon) yöntemi ve sıvı karıştırma yöntemi olarak sayılabilir [41]. Sıvı faz üretim yöntemleri katı faz üretim yöntemlerinden daha avantajlıdır. Çünkü katı faz üretim yöntemleri daha uzun süre gerektirir. Üretim maliyeti açısından ve son şekle yakın parça üretimi açısından sıvı faz üretim yöntemleri daha çok tercih edilmektedir [18]. Buna karşılık sıvı faz üretim yöntemlerinde yetersiz ıslatma, gaz boşlukları, seramik parçacık çökmesi, topaklanma, tane sınırlarında birikme, homojen karışmama gibi problemlerle karşılaşmaktadır.

2.5.1. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

Sıvı faz yöntemleri ile kompozitler, seramik takviye elemanları (sürekli fiber, kısa fiber ve parçacık) ilave edilerek farklı tekniklerle üretilebilmektedir. Sıvı halinde üretim metodu kolay, hızlı ve ekonomik olmasından dolayı metal matrisli kompozitlerin üretiminde sıkça kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan sıvı halde üretim metotları ergimiş metal emdirme (sıvı infiltrasyon), basınçlı döküm yöntemi ve sıvı karıştırma döküm yöntemi (vortex) yöntemi üzerindedir [43,44].

2.5.1.1 Ergimiş Metal Emdirme (Sıvı İnfiltrasyon)

Bu yöntem, sürekli fiber ve kısa fiber MMK malzemelerin üretilmesinde kullanıldığı gibi, parçacık takviyeli MMK malzemelerin üretiminde de kullanılan bir yöntemdir [18]. Bu yöntemde bağlayıcı ile hazırlanmış ön şekil, bir kalıba yerleştirilir ve daha sonra basınçlı bir gaz ile bu kalıba sıvı metal emdirilir ve katılaşmaya bırakılır [45]. Burada fiber hacim oranının yüksek olması, ergimiş metalin emdirilmesini zorlaştırır. Fiberlerin yoğun olduğu durumlarda basınç altında veya vakum altında emdirilme işlemi daha etkili olmaktadır. Bu yöntem matrisin

fiberlerin arasına daha rahat girmesini ve açığa çıkan gazların da dışarıya atılmasını kolaylaştıracaktır [11].

Sıvı halde üretimin en büyük dezavantajları ısılatılabilirlik ve matrisin ergime sıcaklığı ile fiberlerin ergime sıcaklıklarının birbirine yakın olduğu durumlarda fiberlerde oluşan yapısal özelliklerdir. Sıvı matris, fiberleri iyi bir şekilde ısıtılamadığında fiber - matris arasında istenilen güçlü bir bağ oluşturulamaz. Bu problemi ortadan kaldırmanın tek yolu da fiberlerin başka bir malzeme ile kaplanmasıdır [3,11].

2.5.1.2. Basınçlı Döküm Yöntemi

Sıkıştırma döküm yöntemi her hangi bir metal ve kompozitin basınç altında katılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu yöntemle her tür takviye elemanı fazı kullanılarak MMK malzemesinin üretilmesinin mümkün olduğu ifade edilmektedir [18]. Bu yöntem, takviye elemanının bir kalıba yerleştirilmesi ve ısıtılmış bu kalıba ergiyik matris dökülüp hidrolik olarak sıkıştırma basamaklarından oluşmaktadır. Burada basınç altında katılma esnasında matris-seramik ara yüzey bağı mukavemetinin oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir [45].

Sıkıştırma döküm yönteminde kompozitin kalitesini etkileyen faktörler, kalıp ön sıcaklığı, basınç, sıkıştırma hızı ve yoğunluktur. Bağlayıcının aşırı miktarda kullanımı ve yüksek kalıp sıcaklığı kompozit özelliklerini düşüren dikkat edilmesi gerekli parametrelerdir [45]. Fiber ve matris arasındaki sürtünme kuvvetlerini yenmek için 50-150 MPa basınç uygulanması gerekir. Katılma süresince uygulanan basınç sayesinde ince taneli, gözeneksiz ve pürüzsüz yüzeye sahip bir kompozit elde edilebilmektedir [18].

2.5.1.3. Ergiyik Metal İçerisine Takviye Elemanlarının Karıştırılması (Vortex) Yöntemi

Partikül takviyeli MMK üretimi için çok değişik metotlar olmasına rağmen, bu metotlardan en kolay ve ucuz olanı seramik partiküllerin ergimiş sıvı metal içerisinde karıştırılması ve metal kalıplara dökülmesi işlemi olan vortex metodudur. Bu metotta, karıştırma işlemi, karıştırıcılar (çark) vasıtasıyla yapılır. Şekil 2.5'de bu yöntem şematik olarak görülmektedir [31,42].

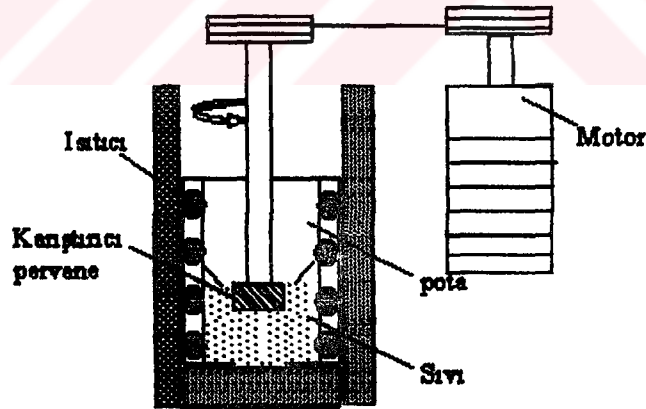
Genellikle MMK üretiminin katılma sentezi, metal matriks seçimi, bunu takiben takviye malzemesinin üretimi (eriyik içinde) ve bu eriyik içindeki uygun dağılımın sağlanmasıdır. Bir sonraki basamak döküm matriks içindeki süspansiyonun dağılımının seçimidir. Döküm metodu ile MMK hazırlanmasında pek çok dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bunlar:

1. Takviye malzemenin üniform olarak dağılımının zorluğu
2. Islatabilirlik
3. Metal matriksteki gözeneklilik
4. Takviye elemanı ile matriks arasındaki kimyasal reaksiyon

dikkat edilmesi gereken hususlardır.

MMK'e optimum özellik kazandırmak için takviye elemanının matriks içinde üniform olarak dağılması gerekir ve malzemeler arası yapışma optimize edilmelidir. Gözeneklilik derecesi minimum olmalı ve takviye elemanı ile matriks alaşım arasındaki kimyasal reaksiyon önlenmelidir[61].

Vortex metoduyla iyi nitelikli MMK malzeme elde edebilmek için karıştırma hızı, karıştırıcı kabiliyeti, karıştırma sıcaklığı, karıştırma süresi, takviye hızı gibi işlem parametrelerinin hassas olarak kontrol edilebilmesi gerekmektedir [45]. Bu işlem basamakları esnasında ara yüzey bağı ve oluşan gözeneklilik çok önemli olup, kompozitin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Düşük partikül boyutu ve yüksek hacim oranlarında, özellikle partiküller etrafında gözenekler oluşmakta ve partikül yığılması görülmektedir. Öyle ki, gözeneklilik oranı %25-30' a kadar çıkabilmektedir[11].



Şekil 2.5 Ergiyik metal içerisine seramik parçacık karıştırma yönteminin şematik görünümü

Şekil 2.5'de üretim aşaması şematik olarak görülen bu metotta iki önemli problem görülmektedir. Birincisi, takviye elemanları genellikle sıvı metal tarafından ıslatılamamaktadır. İkincisi, partiküller sıvı metalin yoğunluğuna bağlı olarak sıvı metal içerisinde metalin yüzeyinde yüzmeye ya da dibe çökme eğilimi göstermektedirler.

Yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi bu yöntemin bir çok avantajı vardır. Bunlar son şekle yakın parça üretimi, ikincil işlemlerin uygulanabilmesi, geniş malzeme seçiminin olması, basit ve ucuz olmasıdır [40,41].

2.5.2. Katı faz üretim yöntemleri

Metal matrisli kompozitlerde katı halinde üretim tekniğinde değişik yöntemlerle yapılmaktadır. Bunlarda en yaygın olanları; toz metalurjisi ile üretim, haddelenerek difüzyon bağı oluşturma, sıcak presleme metodu vb. gibi üretim metotlarıdır [3].

2.5.2.1. Toz Metalurjisi Yöntemi

Bu yöntem genellikle seramik ve metalik esası malzemelere uygulanır. T/M yöntemiyle MMK üretiminde matris ve takviye elemanlarının tozları öncelikle karıştırılır ve istenen şekli verebilecek bir kalıbın içine boşaltılır. Daha sonra bu karışım tozlarını sıkıştırılabilmek amacıyla basınç uygulanır. Toz parçacıkları arasındaki birleşmeyi kolaylaştırmak amacıyla sıkıştırılmış toz karışımı yeterli miktarda katı hal difüzyonu oluşturacak şekilde ergime noktasının altında bir sıcaklıkta sinterlenir. Buna alternatif olarak, tozlar karıştırıldıktan sonra doğrudan sıcak preslenir. İzostatik sıcak presleme (HIP) olarak bilinen bu metot, yüksek yoğunluklu malzeme üretimi için daha uygundur. Bu sıkıştırılmış parça ekstrüzyon, haddeleme ve dövme gibi ikincil işlemlerin ardından MMK malzeme olarak kullanıma hazır hale getirilir [3]. Bu birleştirmenin, matris içerisindeki takviye elemanının homojen dağılımı, mekaniksel özelliklerde ve mikroyapıda düzelme ve yüksek verim ve düşük maliyet gibi birçok avantajı vardır [46]. Bu özelliklerinden dolayı toz metalurjisi yöntemi en etkili ve en ekonomik yöntemdir [6].

Toz metalurjisi ve ergiyik metodu karşılaştırıldığında, iyi bir matris partikül birleşmesi, matris yapının kontrol edilebilmesi, basit olmaları ve düşük üretim maliyetleri gibi önemli avantajları vardır [15].

2.6. Metal Matriks Kompozit Üretiminde Görülen Problemler

2.6.1 Takviye Malzemesinin Dağılımı

MMK prosesinde karşılaşılan problemlerin biri de takviye parçacıklarının erime veya döküm işlemi süresince toplanıp küme halinde yerleşmesidir. Bu durum erimiş metal alaşımı ile takviye parçacıkları arasındaki yoğunluk farkının bir sonucudur. Karıştırmanın bir sonucu olarak takviye elemanı dağılımı her aşamada gerçekleşir ve karıştırma sonrasına kadar devam eder. Katılaşmanın sonucu olarak; katılaşmadan önce dağılım sona erer. Matriks içindeki parçacıkların uygun dağılımını döküm oranı, döküm sıcaklığı v.s etkiler. Döküm prosesinin en

önemli yönlerinden biride erimiş matriks içine parçacıkların girme yöntemi olmasıdır. Karıştırma ve parçacıkların dağılımı için uygulanan tekniklerin bazıları aşağıdaki gibidir:

Bir enjeksiyon tabancası yardımı ile parçacıklar taşıyıcı gaz ile eriyik içerisine püskürtülür. Parçacıklar eriyik içinde hava kabarcıkları yardımıyla karıştırılır.

Erimiş metal üzerine çubuklar yardımıyla bastırılması yardımıyla parçacıklar dağıtılabilir.

Atomize olmuş erimiş metal ile parçacıkların spray döküm yöntemi ile püskürtülmesi sonucu dağıtılabilir.

Merkezcil kuvvet ile ince parçacıkların eriyik içinde dağıtılabilir.

Parçacıkların eriyik içinde yüksek yoğunluklu ve devamlı olan ses dalgaları ile karıştırılması yöntemi

gibi uygulamalar örnek olarak verilebilir[62].

2.6.2. İslatılabilirlik

Döküm yöntemi ile üretilen MMC'lerde diğer önemli bir problem de ıslatılabilirliktir. İslatılabilirlik, bir katı yüzey üzerinde sıvının yayılım kabiliyetini tanımlar. Bu da katı ve sıvı arasındaki temasın açıklanmasının ölçüsünü ifade eder. Partikül yüzeyi kimyasal yapısı , kirlilik dahil veya oksidasyon , erimiş yüzey ve oksit tabakası dikkate alınmalıdır. Basit anlamda ıslatmanın iyileştirilebilmesi için katının yüzey enerjisinin artırılması , sıvı matriks alaşım yüzey geriliminin azaltılması ve partikül-matriks ortak yüzeyde sıvı katı arayüzey enerjisinin azaltılmalıdır[63,64].

Pek çok yaklaşımda takviye parçacıkları ile bir erimiş matriks alaşımı arasındaki ıslatma, parçacıkların kaplanması dahil, erimiş matriks alaşım elementlerinin ilave edilmesi ile, parçacıkların davranışları ve eriyiğin ultrasonik yollarla ıslanması ile düzeltilebilir [65]. Metaller ile yüzey ıslatmayan nonmetalik parçacıkların yüzeyleri temizleme teknikleri ile her şeye rağmen ıslatma sağlayabilmektedir. Kaplama yardımıyla da bir metale ıslatılabilirlik kazandırılabilir.

Nikel ve bakır pek çok alaşım ile ıslatılabilmektedir ve düşük ergime noktasında kullanılmaktadır. Genelde bu kaplamalar uygulamada 3 amaç için kullanılır. Kullanımdaki hasarlardan takviye elemanını korumak, ıslatmayı iyileştirmek ve matriksin ilavesinden önce yayılımı iyileştirmektir. Kaplamanın çeşidi; kaplama ve matriks arası ve kaplama ile oksit

tabakası olarak ayrılır. Herhangi bir alaşım elementlerinin ilavesi ile metal matris alaşım değişebilir, sıvı matris ve partiküller arasında geçici bir tabaka oluşur. Bu geçici tabaka düşük ısılatma açısında oluşur, sıvının yüzey gerilimini azaltır ve partiküller etrafındaki yapı, hem partikül hem de matris alaşımı ile benzerdir.

Temiz bir yüzey eriyik partikül etkileşimine çok iyi fırsat verir. Erimiş alüminyuma uygulanan ultrasonik titreşimler alümina partiküllerin ısıtılabilirliğinin iyileştirilmesi yöntemlerindedir.

Mekanik kuvvet ile yüzey gerilimi, ısıtılabilirliğin iyileştirilmesi düzeltilebilmektedir. Güzel bir ısıtılabilirlik kazandırma yöntemi parçacık yüzeyleri etrafındaki gazın uzaklaştırılması gerekmektedir. Gaz tabakası uzaklaştırıldığında parçacıklar ısıtılır ve parçacıklar yüzeyden dibe doğru yönelirler[65].

2.6.3. Gözeneklilik

Gözenekliliğin hacmen oranı, boyutları ve MMK'in içindeki dağılımı; malzemelerin mekanik özelliklerinin kontrolünde önemli bir rol oynar. Kompozit kusurlarının bir çeşidi olan gözeneklilik korozyon direncine olumsuz bir etki yaratır. Gözeneklilik hacmi bundan dolayı min. olmalıdır. Gözeneklilik genelde aşağıdaki 3 nedenden oluşmaktadır.

- Karıştırma süresinde gazın sıkışması,
- Hidrojen oluşumu,
- Katılma süresinde oluşan çekme.

Yapılan çalışmalara göre karıştırma hızı, boyutları ve karıştırıcının boyutları gözenekliliğin gelişimine etki edecektir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki gözeneklilik seviyesinin azalması, uygulama sıcaklığının azalmasına bağlıdır. Karıştırıcı türbin, sıvı metalin %35 üst ,%65 alt seviyeden tutulması da tercih edilmelidir [66,67].

Gözeneklilik gibi yapısal hatalar parçacıkların kümeleşmesi, oksit oluşumu ve arayüzler arasındaki reaksiyonlar döküm teknolojisinin istenildiği gibi tatmin etmeyen bir yöntem olduğunu gösterir. Bir hacim oranında gözlenen gaz boşlukları çözünen hidrojene bağlıdır. Gözeneklilik döküm yönteminde partiküllerin içeriğine bağlı lineer olarak artış gösterir. Yapılan deneysel çalışmalarda su buharının oluşumu çoğu kez 200°C ve 600°C arasında ortaya çıkmaktadır[68].

Bu yüzden parçacıkların yüzeyinde absorbe edilmiş H₂O gazının serbest kalabilmesi için sabit 600°C sıcaklıkta işlem yapılması gerekir. Parçacıkların kümelenmesi ile sıkışan hava da gözenekliliğe neden olmaktadır[69].

Oksijen ve hidrojen hafif alaşım dökümde sıkıntı teşkil etmektedir. Alüminyum oksijene olan ilgisi nedeniyle su buharı etrafında indirgenen hidrojen kolaylıkla sıvı alüminyum içinde çözünür ve burada dayanıklı bir tabaka oluşur. Gözenekliliği minimize etmek için birçok yöntem vardır. Bunlar:

Vakum yaptırmak suretiyle

Eriyik içine gaz gönderilerek

Basınç altında döküm

Sıkıştırılarak döküm

Döküm sonrası haddeleme yöntemi

olarak sıralanmaktadır [70].

2.7. Metal Matrisli Kompozitlerin Uygulama Alanları

Otomotiv endüstrisinde Toyota tarafından geliştirilmiş seramik takviyeli dizel motor pistonları, MMK'lerin kullanılmasındaki ilk büyük başarıdır. Bu pistonlar sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiştir [47]. Honda, alüminyum bazlı MMK malzemedeki bir alüminyum silindir bloğu geliştirmiştir. Dökme demirden yapılanlara kıyasla kompozit malzemedeki yapılan bu silindir bloğunun ağırlığı %50 oranında azaltılmıştır. Burada sıkıştırma döküm yöntemi ile infiltre edilmiş hibrit (melez) alüminyum karbon fiber preformlar kullanılarak aynı zamanda aşınma direnci artırılmıştır [48,49].

% 20 Al₂O₃ parçacık takviyeli Duralcan 6061 Al matrisli kompozit malzemedeki yapılan şaft milleri, hem ağırlığı ve hem de daha önemli olan şaft milinin dinamik dengesini arttırmak için kullanılmıştır [48,50].

Son zamanlarda parçacık takviyeli MMK'ler demiryolu endüstrisinde de uygulanmaktadır. % 20 SiC parçacık takviyeli Al-Si alaşımli fren diskleri demiryolu araçlarında kullanılmaya başlanmıştır. Basınçlı infiltrasyon döküm yöntemiyle multiçip elektronik modüller üretilmektedir ve elektronik salmastra üretiminde, Al-SiC mikrodalga salmastra elemanları tercih edilmektedir [3].

Uçak veya motor parçaları, metal matris kompozitlerin en önemli kullanım alanlarından biridir. Metal fiber ile takviye edilmiş (örneğin tungsten veya seramik fiberler, SiC veya B₄N)

süper alaşımlar mukavemetlerini yüksek sıcaklıklarda da koruyabilmekte ve jet motorlarının daha üretken biçimde çalışabilmesini sağlamaktadırlar [3].

2.8. Alüminyum Matrisli Kompozitler ve Mekanik Özellikleri

Literatürlerde genellikle üç farklı tip Alüminyum Matrisli Kompozitler (AMK) bulunmaktadır. Alüminyum matris kompozitleri takviye fazına göre aşağıdaki gibi sıralanabilir[3].

1. Parçacık takviyeli AMK'ler,
2. Wisker (tek kristalli) veya süreksiz fiber (çok kristalli) takviyeli AMK'ler,
3. Sürekli fiber takviyeli AMK'ler.

Parçacık takviyeli sistemler, önemli rijitlik gelişimi yanında düşük maliyet sunmaktadır. Özellikleri oldukça izotropiktir. Mukavemet iyileştirilmesi dikkate alındığında, matrise göre çekme kabiliyeti ve kırılma tokluğu düşüktür [3].

Wisker takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli olanlara oranla daha yüksek maliyetlidir, fakat genelde daha yüksek mukavemete sahiptirler. Çok kristalli ince tabaka, parçacıklar veya kısa fiberler gibi süreksiz takviye elemanları ile mukayese edildiğinde wiskerler genellikle oldukça büyük çekme mukavemetine sahiptirler [51].

Sürekli fiberlerle takviye edilmiş MMK'ler, mukavemet ve rijitliğin iyi bir karışımına sahiptirler. Bununla birlikte başta sürekli fiber ve üretim maliyeti olmak üzere bu sistemlerin maliyeti oldukça yüksektir [52].

Silisyum karbür; nispeten yüksek modül, düşük yoğunluk ve ince tek kristal wisker halinde elde edilebilmesi nedeniyle ilgi çekmektedir [53]. Al_2O_3 , alüminyuma karşı kimyasal ilgisizliği ve oksidasyon direnci nedeniyle alüminyum alaşımları için çok cazip bir takviye elemanıdır [54].

Diğer takviyesiz alüminyum alaşımlarıyla kıyaslandığında; genellikle yüksek elastik modül (E), yüksek akma ve çekme mukavemetleri, yüksek sürünme direnci, düşük termal genişleme katsayısı, düşük yoğunluk, rijitlik ve yüksek mukavemet ve aşınma direnci gibi mekanik özellikler AMK' ler için bir avantaj olarak görülmekle beraber, düşük şekil alma kabiliyeti ve düşük yorulma direnci gibi özellikler dezavantajlarıdır. Bu özelliklerin çeşitliliği, geleneksel malzemelerde mevcut değildir [35,40].

3. KOMPOZİT MALZEMELERDE AŞINMA

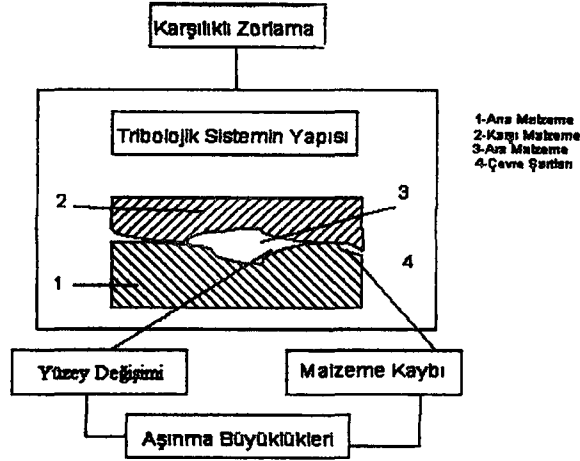
Teknikte aşınma denilince, katı cisimlerin yüzeylerinden çeşitli etkenlerle sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkması anlaşılmaktadır. Alman DIN normuna göre (DIN 50320–1979) aşınma, “Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyinden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulmasıdır” [55].

Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleşebilir. Bunlar bölgesel erimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel anlamda oluşan ayrılmadır. Uygulamada aşınma kapsamına, daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dahil edilmektedir.

Bir aşınma sisteminde;

1. Ana malzeme (Aşınan),
2. Karşı malzeme (Aşındıran),
3. Ara malzeme ,
4. Yük,
5. Hareket,

aşınmanın temel unsurlarıdır. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte “Tribolojik Sistem” olarak adlandırılır. Bir aşınma sisteminde ki önemli etkenlerden biri de çevre şartlarıdır. Sistem elemanlarının nem ve korozyon etkenlere maruz kalması aşınmayı hızlandırır [55]. Şekil 3.1’ de tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi yer almaktadır [56].



Şekil 3.1 Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi [56].

Aşınma, çeşitli yönleri ile korozyona benzer. Bu iki hasar tipi de zamanla kendiliğinden gelişir, her ikisinin de oluşumu önceden bir derecede bilinebilir, her ikisinin de çeşitli tipleri vardır. Aşınma da korozyon gibi bir yüzey olayı olduğundan, yüzeyi etkileyen her şey aşınma davranışını da etkiler.

Aşınma endüstrinin hemen hemen her alanında karşılaşılan önemli bir problemdir. Makine sanayiinde, makine parçalarının aşınması, maden sanayiinde madenlerin öğütülmesinde kullanılan bilyaların ve öğütme çubuklarının aşınması birkaç örnek olarak verilebilir. Aşınmanın yarattığı kayıpları minimum düzeye indirebilmek amacıyla sürekli araştırmalar yapılmaktadır. Aşınmaya maruz kalan parçalar, ekonomiklik değerleri de göz önüne alınarak aşınma direnci yüksek malzemelerden üretilmeye çalışılır [55].

Analizler, makine parçalarının bozulmalarının %75'inin, sürtünen yüzeylerin aşınması sonucu olduğunu göstermiştir. Bu durumda makinelerin ömürlerinin uzamasında önemli etkenlerden biri olarak, malzemelerin aşınma mukavemetlerinin artırılması sayılmalıdır [30].

Metallere ilave edilen seramik fazların yüksek mukavemet ve sertliklerinden dolayı başta aşınma olmak üzere metallerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin azımsanmayacak ölçülerde arttığı bilinmektedir [57].

Orta şiddetteki aşınmadan şiddetli aşınmaya doğru aşınma özelliklerindeki değişim çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler; sıcaklık, uygulanan yük, kayma hızı ve kayma veya aşınma mesafesi olarak sayılabilir [58].

Aşınma zorlamasının yüksek mertebeden olduğu ve/veya yağlamanın yeterli veya mümkün olmadığı durumlarda genellikle aşınma mukavemeti yüksek ve sürtünme katsayısı düşük malzemeler seçilmesi yoluna gidilir. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan malzeme gruplarından biride metal-seramik kompozitlerdir. Alüminyum alaşımlarına Al_2O_3 , SiC, SiO_2 gibi sert seramik partiküllerinin ilavesiyle elde edilen kompozit malzemelerin özellikle aşınma dayanımlarının arttığı bilinmekle birlikte belli fonksiyonlara sahip sürtünme çiftlerinin aşınma mukavemetlerinin artırılması ve kompozitlerden yararlanılmasındaki çalışmaların sistematik bir şekilde sürdürülmesi gerekmektedir [30,35].

Seramik parçacık katkılı metal matrisli kompozitler içerdikleri sert katkıdan dolayı aşınmaya dayanımlı malzemeler olarak düşünülmektedir. Bu tür kompozitlerin temel uygulama alanlarında piston parçacıkları, otomobil fren diskleri, uçak sanayi yer almaktadır [58].

Aşınma veya aşınma direnci, kayma yolu, kuvvet veya basınçla meydana gelen kütleli veya hacimsel kayıp olarak esas alınır. Aşınmayı karakterize eden test değişkenleri olarak kuvvet veya basınç, yüzey pürüzlülüğü veya sürtünme katsayısı, sıcaklık, kayma hızı, aşınma ortamı (kuru, yağlı, nemli, korozif, abrasiv) ve temas şekli sayılabilir [59].

3.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmaya etki eden faktörler genel olarak; ana malzemeye ve aşındırıcı malzemeye bağlı olarak 2 başlık altında toplanabilir. Bunlar;

1. Ana malzemeye bağlı faktörler:

- a. Malzemenin kristal yapısı
- b. Malzemenin sertliği
- c. Elastik modülü
- d. Deformasyon davranışı
- e. Yüzey pürüzlülüğü
- f. Malzemenin boyutu

2. Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi

a. Ortamın etkisi

- i. Sıcaklık
- ii. Nem
- iii. Atmosfer

b. Servis koşulları

- i. Uygulanan Yük
- ii. Hız
- iii. Kayma yolu

olmak üzere sıralanmaktadır.

3.2. Aşınma Mekanizmaları

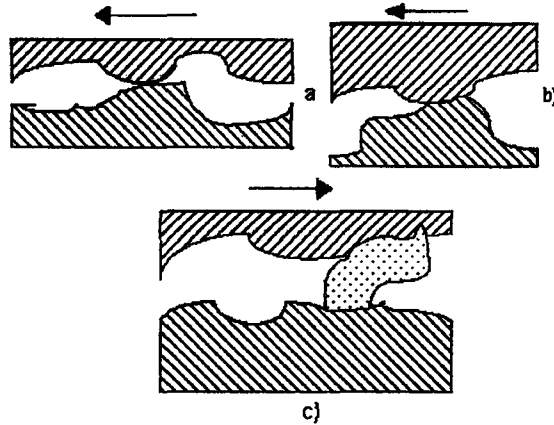
Aşınma; yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, hız, malzeme, ürünün yüzey bitirme işlemi ve sertlik gibi özelliklerin değiştirilmesinden etkilenmektedir. Birçok mekanizma adı altında incelenen aşınma genel olarak dört başlıkta toplanır [55]. Bunlar;

1. Adhesiv Aşınma
2. Abrasiv Aşınma
3. Oksidasyon Aşınması
4. Yorulma Aşınması' dır [55].

3.2.1 Adhesiv Aşınma

Yapışma aşınması olarak da bilinen adhesiv aşınma en yaygın olarak rastlanan aşınma türü olmasına rağmen genellikle hasarları hızlandırıcı etkide bulunmaz. Bu tür aşınma, iki malzemenin birbiri üzerinde hareket ederken yapışma ve kayması sonucunda küçük parçacıkların ayrılmasıyla oluşmaktadır.

İki ayrı metal yüzeyi basınç altında Şekil 4.2' de olduğu gibi bir araya getirildiği zaman, iki ayrı yüzeyde bulunan karşılıklı çıkıntılar gerek sürtünme neticesinde oluşan ısı, gerekse de soğuk kaynaklaşma etkisi nedeniyle birbiriyle bağ yaparlar. Meydana gelen bu bağ, birleşen çıkıntılarının diğer bölgelerindeki bağ yapısından daha kuvvetli olabilir. Yüzeylerin birbirine karşı olarak yaptığı hareketin devam etmesiyle birleşen iki çıkıntı, bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan kopacaktır. Bu kopma kaynak noktasında meydana gelmediği zaman, bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi meydana gelir. Bu prosesin çalışma koşullarında bir çok kere tekrarlanması ile, adhesiv aşınma kendisini hissettirecek boyutlara ulaşır [60].



Şekil 3.2 Adhesiv aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi. a) İki çıkıntının buluşması ve bağ oluşumu. b) Bağın koparak bir yüzden diğerine malzeme transferinin oluşumu. c) Uzunmuş olan çıkıntının diğer yüzeydeki çıkıntıyla etkileşimi sonucunda da yüzeyde kırıntı oluşumu [60].

Adhesiv aşınma, özellikle birbiri ile kayma sürtünmesi yapan malzeme çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan teknik yüzeylerin, ancak küçük bir kısmı temas halindedir ve bu küçük temas yüzeylerindeki gerilmeler çok küçük yüklemelerde dahi akma dayanımı değerine ulaşırlar veya geçerler. Böylece, moleküler yapışma kuvvetleri etkisini gösterir. Bu nedenle bir parçadan diğerine parça geçişi, soğuk kaynaklaşma ve küçük parçacıkların kesilmesi olayları meydana gelir.

Adhesiv aşınma, şu önlemlerden bir tanesinin kullanılmasıyla azaltılabilir:

Yağlama: Adhesiv aşınma, sıcaklığın bölgesel olarak arttığı bölgelerde meydana geldiğinden, iyi bir yağlamanın yapılmasıyla hem yüzeyler arasındaki sürtünme azaltılabilir, hem de yağlayıcılar sistemden ısıyı uzaklaştırabilir. Neticede de, mikro-kaynak bölgelerinin oluşumu engellenmiş olur.

Birbirleri içerisinde çözünmeyen metaller kullanmak: Birbirleri içerisinde çözünmeyen iki metalin bir arada kullanılmasıyla, adhesiv aşınmayı meydana getiren mikro-kaynak prosesinin oluşumunun engellenmesi neticesinde, adhesiv aşınmanın meydana gelişini tamamen ortadan kaldırılabilir. Fakat bu yöntemin uygulanması pratikte çok sınırlıdır.

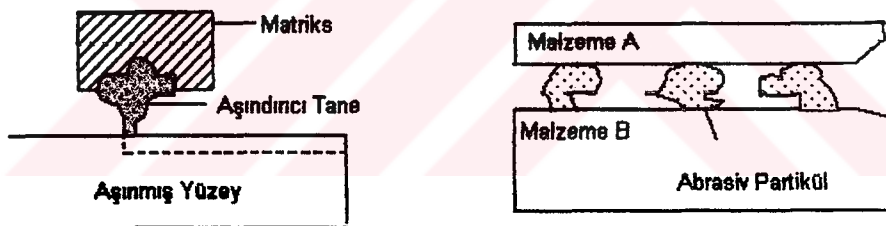
Düz yüzeyler kullanmak: Eğer birbiriyle etkileşen yüzeylerde soğuk kaynaşmayı meydana getirecek şekilde karşılaşacak çıkıntılar yok ise, adhesiv aşınma meydana

gelmeyecektir. Bu düz yüzeyler arasına yağlayıcıların da ilave edilmesiyle, yüzeyler birbirleri üzerinde temassız olarak kayarlar. Bu önlem, pratikte en çok kullanılan yöntemdir.

Metal- metal temasını önlemek: Adhesiv aşınmayı meydana getiren metal-metal temasını engellemek amacıyla metal yüzeylerinde kimyasal filmler oluşturmak, aşınmayı engeller. Örneğin bu amaca yönelik olarak yapılan fosfat kaplamalar, sistemdeki yağlayıcıların daha aktif olarak çalışmasına yardım eder. Fakat fosfat kaplama, eninde sonunda yenerek biter. Fosfat kaplama bu sayede aşınmayı tam olarak engelleyemese bile, aşınma zamanını artırır.

3.2.2. Abrasiv Aşınma

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak bilinen abrasiv aşınma sistemde hızlı hasara sebep olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasiv aşınma biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbirleriyle temas halindeyken kayması sırasında meydana gelir. Sert parçacıkların yumuşak metale batması aşınmaya neden olabilmektedir. Sert parçacıkların yumuşak metale batması aşınmaya neden olmakla birlikte, yüzeyden koparılan parçacıklar da aşınmaya neden olabilir [55]. Şekil 3.3' de abrasiv aşınma mekanizması görülmektedir.



Şekil 3.3 Abrasiv aşınma mekanizması [60].

Bu tip aşınmada sert ve keskin partiküller, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaş kaldırma etkileri gösterirler. Bu aşınma, iki elemanlı ve üç elemanlı olmak üzere ikiye ayrılır. (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).

Abrasiv aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı partikül ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basıncın büyüklüğüdür. Abrasiv aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden normal yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması açısından daha az iz bırakması sağlanır.

Abrasiv aşınmanın engellenmesinde, veya abrasiv aşınma hızının en aza indirilmesinde aşağıdaki yöntemlere başvurulabilir:

Yüzey sertliğini artırmak: Abrasiv aşınmanın engellenmesinde veya aşınma hızının azaltılmasında en etkili yol, malzeme yüzey sertliğinin artırılmasıdır. Ancak, bu yöntemin bazı malzemelere uygulanmasıyla, daha büyük problemlerle karşılaşılabilir. Örneğin, çeşitli tiplerdeki bıçaklarda ve bunlara benzer kesici takımlarda malzeme sertliğinin artırılması, körlenmeye karşı olan direnci arttıracaktır. Fakat bu durumda, malzemenin gevrek olarak kırılma riski de yükselecektir. [60].

Abrasiv parçacıkları uzaklaştırmak: Abrasiv aşınmaya sebebiyet veren sert partiküllerin sistemden uzaklaştırılması ile abrasiv aşınma engellenebilir. Bu nedenle, abrasiv aşınmanın meydana gelebileceği ortamlarda kullanılan hava, su ve yağlarda bulunan partiküller filtre edilerek sistemden uzaklaştırılmalıdır [60].

Aşınmış parçaları değiştirmek: Aşınmış parçaları değiştirmek, abrasiv aşınmaya uğrayacak parçanın kolay bir şekilde değiştirilmesine imkan verecek dizaynların yapılması ile, pratikte en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Ancak dizaynın parçanın zor değiştirilmesine sebebiyet verdiği (parçaya erişememe), değişen parçanın maliyetinin yüksek olması veya değişme zamanının uzun olduğu durumlarda bu yöntemin uygulanması mümkün değildir [60].

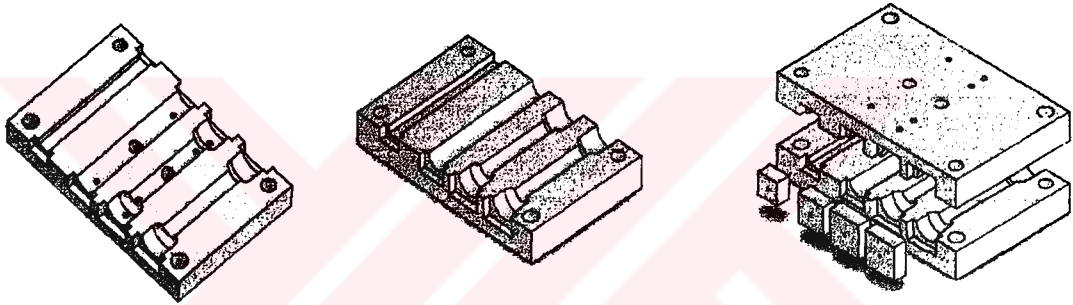
3.2.3. Oksidasyon Aşınması

Tribooksidasyon denilince ana malzeme ile karşı malzeme arasındaki tribolojik zorlanmalardan dolayı meydana gelen kimyasal reaksiyon anlaşılır. Malzeme yüzeyinin hava ile reaksiyona girerek oluşturduğu yüzey tabakaları (oksit tabakası) aşınmayı azaltmasına rağmen bu yüzey tabakalarının tribooksidasyon sonucu özelliklerinin değişmesi aşınmayı hızlandırmaktadır [55].

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Malzeme

Deney numunelerinin üretim safhasında, genellikle demir dışı metallerin dökümünde kullanılan kokil döküm yöntemi uygulanmıştır. Kullanılan kalıp açılıp kapanan iki parçadan oluşmaktadır (Şekil 4.1.). Kalıp kapandıktan sonra oluşan numune boşluklarına metal dökülüp havada soğuduktan sonra kalıp elle açılarak numuneler çıkarılmıştır. Kalıp geçirgen olmadığından ayrıca hava kanalları açılmasını zorunlu kılmıştır. Bu kanallar her numune için ayrı ayrı açılmıştır. Çıkan numunelerde döküm sonrası alüminyum çekmesine karşılık kalıp %5 çekme paylı olarak işlenmiştir.



Şekil 4.1 Deneysel çalışmada kullanılan kokil kalıp

Yapılan döküm işleminde ağırlıkça % bileşenleri Çizelge 4.1' de verilen E-Al 99.5 standardında alüminyum malzeme kullanılmıştır. Takviye elemanı spiral yay şeklinde olup dış çapı $\varnothing 5.5$ mm, adımı 7.5 mm ve SAE 6150 yay çeliğinden imal edilmiştir. Aşınma deneylerinde kullanılan aşındırıcı malzeme ise $\text{Ç } 1020$ 20x20 kare malzeme seçilmiş ve Şekil 4.2'de görüldüğü üzere şekillendirilmiştir.

Çizelge 4. 1. Deney numunesi olarak kullanılan E-Al 99.5 alüminyum malzemesi ağırlıkça % bileşenleri

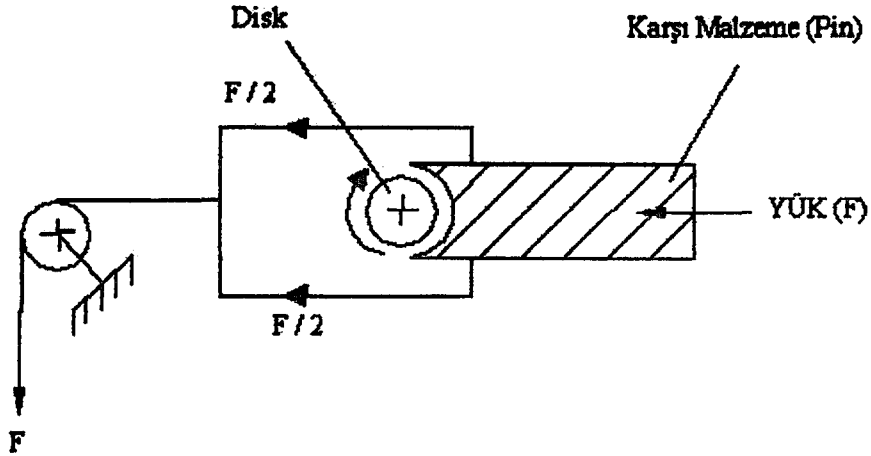
| Malzeme | Si (%) | Sn (%) | Pb(%) | Zn (%) | Fe(%) |
|-----------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Alüminyum | 10 | 2.5 | 1.3 | 0.9 | 0.35 |

4.2. Yöntem

Numune üretiminde kullanılan E-Al 99.5 standartına uygun alüminyum malzeme, sıcaklığı yaklaşık 700°C de eritilmiş ve önceden sıcaklığı 550°C'ye kadar çıkartılan kalıba döküm yapılmıştır. SAE 6150 yay çeliğinden imal edilen takviye elemanı döküm öncesi 400°C de yaklaşık 1 saat süreyle ön tavlama tabi tutulmuş olup daha sonra kalıp ile birlikte 550°C ye kadar tekrar ısıtılmıştır. Döküm esnasında ise takviye elemanında sıcaklıktan dolayı oluşabilecek genleşmeleri önleyebilmek için kalıpta bulunan yaya yaklaşık olarak 1 kg ağırlık , makara sistemi ile asılarak yayın ortalama 15 mm uzamasına imkan vermiştir. Kalıptan çıkan bütün numuneler hava soğutulmuş olup talaş kaldırma işlemi uygulanmıştır.

Aşınma daha öncede belirtildiği gibi karmaşık bir problemdir. Aşınma deneylerinin işletme şartlarında test edilmesi, değerlendirilmesi ve kontrolü güç olup maliyetleri de yüksektir. Bu deneyler yukarıda belirtilen nedenlerle ve değişkenlerin kontrolünün zorluğu nedeniyle laboratuvar şartlarında yapılmıştır. Numune üretimi ve aşınma testleri Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Laboratuvarı'nda, basma deneyleri ise Osmangazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri tekrarsız, basma deneyleri ise takviyeli ve takviyesiz numunelerden 3 tekrarlı olarak yapılmıştır.

Aşınma deneylerinde mekanizma olarak; ekseni etrafında dönen numunelerin Ç 1020 çelikten Şekil 4.2'de görüldüğü gibi işlenmiş karşı malzeme ile kuru adhesiv aşındırılması sağlanmıştır. Aşınma, kütleli kayıp esas alınarak, kayma süresine (kayma yoluna) göre değişimi tespit edilmiştir.



Şekil 4.2 Yatak Aşınması Şematik Gösterimi

Aşınma deneylerinde yatak aşınması mekanizması göz önüne alınmış olup bu mekanizmaya uygun olarak tasarım yapılmıştır. Bu deneylerde takviyeli ve takviyesiz olarak üretilen numuneler aşınma dirençlerinin tesbiti için, $\text{Ç } 1020$ malzeme ise karşı malzeme olarak kullanılmıştır.

Aşınma deneyleri sonuçlarını tespit edebilmek için torna tezgahından yararlanılmıştır. Torna tezgahının katerine $\text{Ç } 1020$ aşındırıcı malzeme serbest olarak tutturulmuş, deney numuneleri ise iki punta arasına alınmıştır. Aşındırıcı malzeme makara sistemi ile 20, 50 ve 100 N değerinde ağırlıklar asılarak aşındırıcının numunelere basınç yaptırılması sağlanmıştır. Böylece numuneler torna tezgahının en yüksek devri olan 710 d/d sabit devrinde farklı basınç yaratılarak aşınma sonuçları tespit edilmiştir. Aşınma deneyleri belirli zaman aralıklarındaki kütle kaybı esasına dayanılarak yapılmış, ağırlık kaybı numune özelliklerine ve uygulanan basınç değişkenlerine göre tespit edilmiştir. Numunelerin deney öncesi ve sonrası ağırlıklarındaki değişim, aşınma miktarını mg cinsinden vermektedir. Bu kütleli değişim maksimum 220 g tartabilen ve hassasiyeti 10^{-1} mg olan hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir.

Malzemelerin yüzeyinden içeriye doğru etkiyen dış kuvvetler basınç gerilmeleri oluşturur. Basma deneyinde küp veya silindir biçimindeki numuneler iki paralel tabla arasına yerleştirilir. Tablalara uygulanan kuvvetle oluşan şekil değiştirme ekstensometre yardımı ile ölçülür. Basınç kuvveti etkisinde parçanın boyu azalır ve yanal doğrultuda genişler. Başlangıçtaki şekil değiştirmeler elastik, yani tersinirdir ve gerilmelerle orantılıdır. Yük arttıkça orta bölgeler serbestçe genişler, uç kısımlarda ise tabla ile numune arasındaki sürtünme

kuvvetleri yanai genişlemeyi kısıtlar. Orta kısımlarda genişleme olurken, atomlar arası uzaklık artmaya zorlanır. Bu da yanai yönde çekme gerilmelerini doğurur. Akmadan sonra deney parçasının orta kısmı belirgin olarak genişler, uçlar sürtünme etkisiyle dar kalır, sonuçta fiçi biçimini alır.

Basınç etkisinde gerilme şekil değiştirme diyagramı, çekmedekinin orijine göre yaklaşık simetriği sayılır. Sünek malzemelerde basma deneyine gerek yoktur, çekme deneyi ile elde edilen sonuçlar yeterli bilgi verir. Gevrek malzemelerde ise çekme ve basınç mukavemetleri arasında büyük fark vardır. Değişik tür ve çok sayıda gevrek malzemeler üzerinde yapılan deneyler, basınç mukavemetinin çekme mukavemetinin yaklaşık 8 katı kadar olduğunu göstermiştir.

Özellikle hareket ve yük ileten makina elemanlarında kullanılan millere alternatif olması amacıyla üretilen takviyeli malzemenin, öncelikle aşınma davranışı ile basma dayanımına olan davranışı araştırılmıştır.

Basma deneyleri sonucunda elde edilen değerler tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizine tabi tutularak değerlendirilmiştir [71].

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

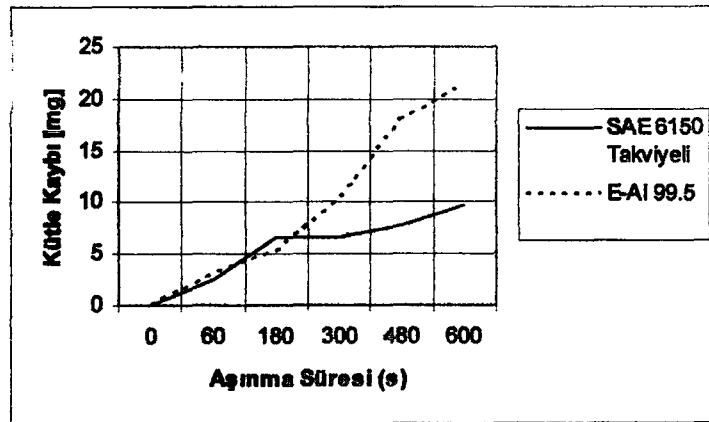
Aşınma deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi için uygulanan basınç ve kayma süresine bağlı olarak elde edilen aşınma miktarı her bir numune için tespit edilmiş ve grafiklere aktarılmıştır. Farklı yükler altında takviyeli ve takviyesiz alüminyum alaşımlarının aşınma deneyi sonuçları Çizelge 5.1’ de verilmiştir.

Çizelge 5. 1. Farklı yükler altında takviyeli ve takviyesiz alüminyum alaşımlarının aşınma deneyi sonuçları

| Malzeme | Yük [N] | Kütle Kaybı [mg] | | | | |
|-----------------------|---------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 60. Saniye Sonunda | 180. Saniye Sonunda | 300. Saniye Sonunda | 420. Saniye Sonunda | 600. Saniye Sonunda |
| E-Al 99.5 | 20 | 3.1 | 5.3 | 10.2 | 18.1 | 21.4 |
| SAE 6150 Takviyeli | 20 | 2.5 | 6.5 | 6.6 | 7.7 | 9.6 |
| Ortalama Kütle Kaybı | | 2.8 | 5.9 | 8.4 | 12.9 | 15.5 |
| E-Al 99.5 | 50 | 9.2 | 11.8 | 12.2 | 36.1 | 90 |
| SAE 6150 Takviyeli | 50 | 3.6 | 10.1 | 11.4 | 35.5 | 38 |
| Ortalama Kütle Kaybı | | 6.4 | 10.95 | 11.8 | 35.8 | 64 |
| E-Al 99.5 | 100 | 4.2 | 21.1 | 41.9 | 43.4 | 55.6 |
| SAE 6150 Takviyeli | 100 | 3.8 | 16.1 | 39.4 | 42.7 | 53.5 |
| Ortalama Kütle Kaybı | | 4 | 18.6 | 40.65 | 43.05 | 54.55 |
| Genel Ortalama | | 4.4 | 11.816 | 20.283 | 30.583 | 44.683 |

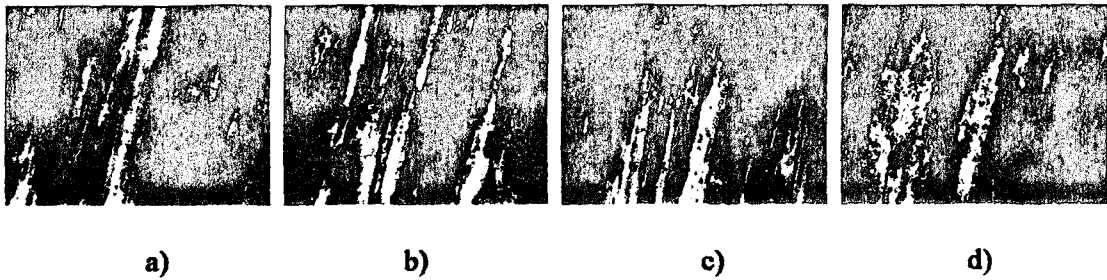
Çizelgede de görüldüğü gibi, süre uzadıkça ortalama kütle kaybı hızla artmaktadır. E-Al 99.5 malzemesindeki bu artış sürekli bir eğilim gösterirken takviyeli malzemede 180. saniyeden sonra kütle kaybı sabit bir düzeyde kalmıştır.

5.1 Aşınma Deneyi Sonuçları

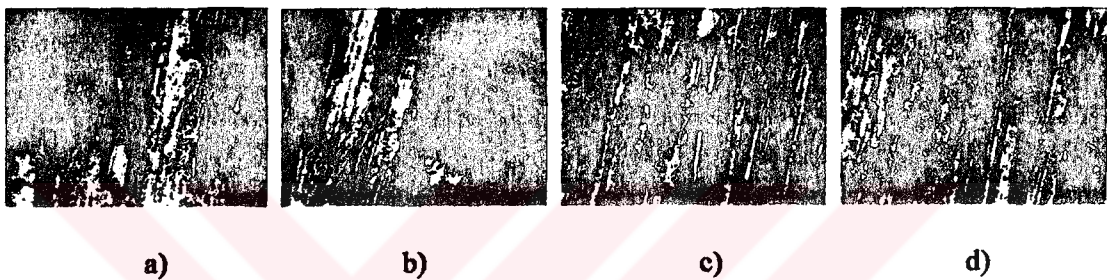


Şekil 5.1. 20 N yük altında 710 d/d hızla dönen numunenin aşınma grafiği

20 N yük altında aşınan numunelerin yapılan deney sonucu elde edilen aşınma değeri Şekil 5.1' den görüldüğü üzere başlangıçta hızlı, daha sonra yavaşlayan ve tekrar hızlanan bir aşınma görülmektedir. Özellikle aşınma süresinin artması ile takviyesiz olan numunede, takviyeli numuneye nazaran şiddetli bir aşınma görülmektedir (Şekil 5.1). Aşınmadaki görülen bu fark numunelerin aşınma yüzeylerinin ışık mikroskopundaki görüntüler ile desteklenmektedir (Şekil 5.2 ve Şekil 5.4).

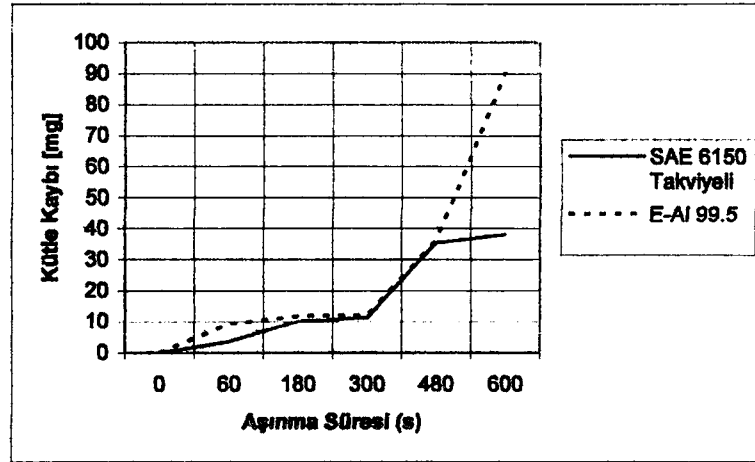


Şekil 5.2 20 N yük altında SAE 6150 takviyeli numunenin a) 1 dakika b) 3 dakika c) 7 dakika d) 10 dakika aşınma sonrası ışık mikroskobu altındaki 100x büyütmeye ile görüntüleri



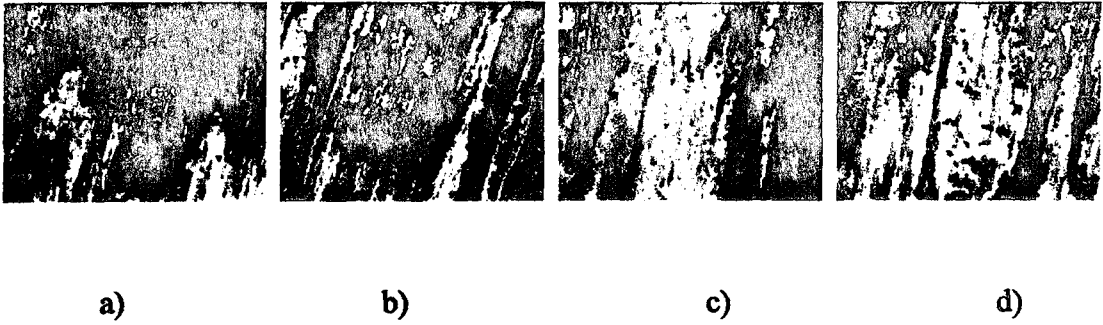
Şekil 5.3 20 N yük altında takviyesiz E-Al 99.5 numunenin a) 1 dakika b) 3 dakika c) 7 dakika d) 10 dakika aşınma sonrası ışık mikroskobu altındaki 100x büyütmeye ile görüntüleri

Şekillerden de görüldüğü üzere, ilk 1 dakika süre içinde takviyeli numunede koyu renkli bölgelerin yoğunlukta olduğu, yani atmosferik tabakaların henüz aşınmadığı görülmektedir. Takviyesiz numunelerde başlangıç aşamasında, yani ilk 180.saniyeye kadar, aşınma yüzeylerinin oluştuğunu, sürenin artmasıyla beraber (480- 600. saniye) derin yarıkların oluştuğu ve atmosferik yüzeyden partiküllerin ayrılarak yer değiştirdiği görülmüştür. Açık renkli yüzeyler metalik aşınmayı göstermektedir. Açık renkli bölgenin artması, aşınmanın şiddetini göstermektedir. Takviyeli numunelerde ise bu renk değişimleri takviyesiz numunelerde görüldüğü gibi olmayıp, halen atmosferik tabakaların bulunduğu bir aşınmanın takviyeli numunelere göre daha az gerçekleştiği ve şiddetli aşınma yerine, dengeli bir aşınma gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 5.4. 50 N yük altında 710 d/d hızla dönen numunenin aşınma grafiği

50 N' luk yük altında yapılan aşınma deneyinde, 20 N yük altında yapılan deneye benzer şekilde, önce artan bir aşınma, daha sonra yavaşlayan ve sürenin uzamasıyla şiddetli bir aşınmanın mevcut olduğu ve aşınma miktarının 4 kat kadar arttığı görülmektedir. Burada 480.saniyeden sonra kütle kaybı farkı büyümektedir. Aşınmış olan yüzey resimlerinin mikroskobik görüntüleri (Şekil 5.5 ve Şekil 5.6) de verilmiştir.

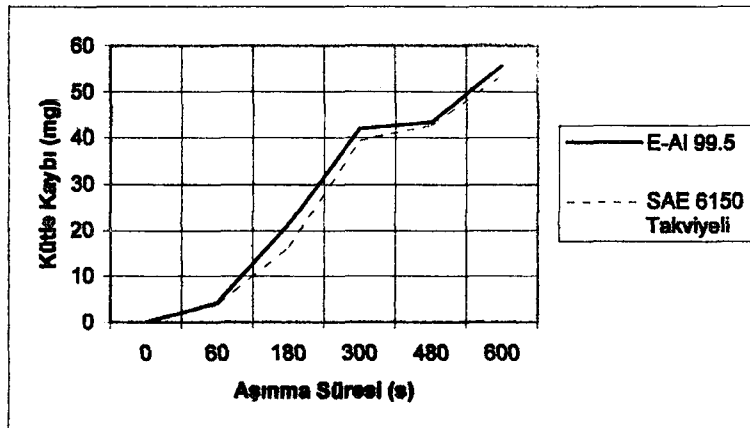


Şekil 5.5. 50 N yük altında SAE 6150 takviyeli numunelerin a)1 dakika , b)3 dakika , c) 7 dakika , d) 10 dakika sonunda oluşan aşınma yüzeylerinin ışık mikroskobu altında 100x büyütme ile görüntüleri



Şekil 5.6. 50 N yük altında takviyesiz E-Al 99.5 numunelerin a)1 dakika , b) 3 dakika , c)7 dakika , d)10 dakika sonunda oluşan aşınma yüzeylerinin ışık mikroskobu altında 100x büyütme ile görüntüleri

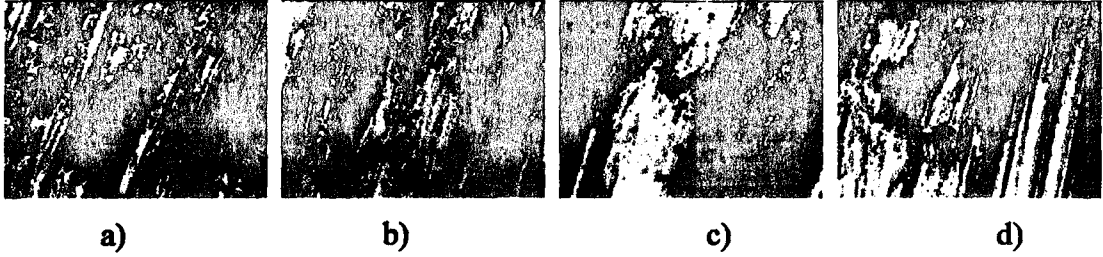
50 N yük altında yapılan aşınma deneylerinde, Şekil 5.5. ve Şekil 5.6' de de görüldüğü üzere 180. saniyeye kadar olan zaman diliminde takviyeli numunelerde atmosferik tabakaların nispeten korunduğu takviyesiz numunelerde ise atmosferik tabakaların parçalandığı ve yüzeyde sürüklendiği ve aşınma yüzeylerinin ortaya çıktığı görülmektedir. 480. ve 600. saniyelerde ise takviyesiz numunelerde adhesiv metalik yırtılmaların başladığı, derin çatlakların oluştuğu, kopan partiküllerin yer değiştirmek suretiyle numunenin yüzeyini çizdiği görülmektedir. Oysa takviyeli numunelerde görülen yırtılmalar, 600. saniyenin sonunda oluşmaya başladığı görülürken takviyesiz olan numunelerde ise 480. saniye sonunda görülmeye başlamıştır. Grafikten de anlaşıldığı üzere 300. saniye kayma süresi sonunda her iki numunede de atmosferik tabakaların etkili olduğu, başlangıç ya da alışma bölgesi, sürenin artmasıyla takviyeli malzemede dengeli aşınma söz konusu iken takviyesiz numunede şiddetli aşınma bölgesine girdiği görülmektedir.



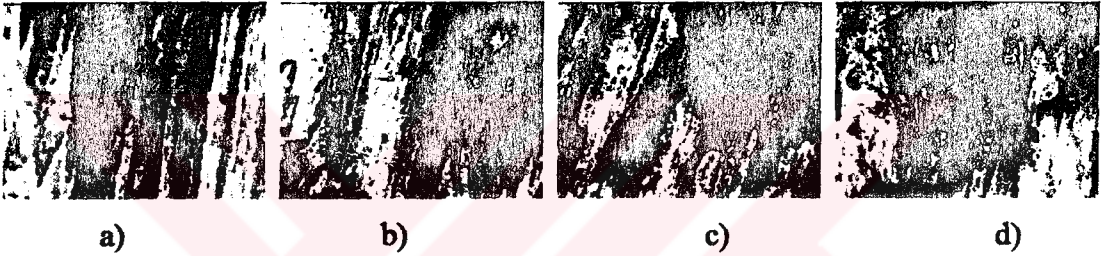
Şekil 5.7. 100 N yük altında 710 d/d hızla dönen numunenin aşınma grafiği

Şekil 5.7.' de görüldüğü gibi 100 N' luk yük altında yapılan deneylerde yine benzer bir aşınma modeli oluşmuş olup, önce hızlı, sonra yavaşlayan ve tekrar hızlanan bir aşınma gerçekleşmiştir. Yalnız burada görülen aşınma miktarları, 20 ve 50 N' luk yük altındaki aşınma deneylerin de olduğu gibi takviyeli ve takviyesiz numunelerde 600 s' nin üzerindeki zaman dilimlerinde büyük değişim göstermemiştir.

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'dan görüldüğü gibi, takviyeli ve takviyesiz numunelerde kayda değer bir farklılık görülmemiştir. Takviye elemanı aşırı yüklerde herhangi bir rol oynamamış ve üzerine gelen yüklerden dolayı oluşan kuvvetleri bertaraf edememiştir. Buna istinaden gözle görülür bir fark yaratmamıştır. Numuneler 1. dakikalık kayma süresine kadar başlangıç bölgesinde kalmışlar, 300. saniyenin sonuna kadar aşırı bir aşınma göstermişler ve 480. saniyeden itibaren aşırı aşınma bölgesine geçtikleri görülmektedir.



Şekil 5.8. 100 N yük altında SAE 6150 takviyeli numunelerin a)1 dakika , b) 3 dakika , c) 7 dakika , d)10 dakika sonunda oluşan aşınma yüzeylerinin ışık mikroskobu altında 100x büyütme ile görüntüleri

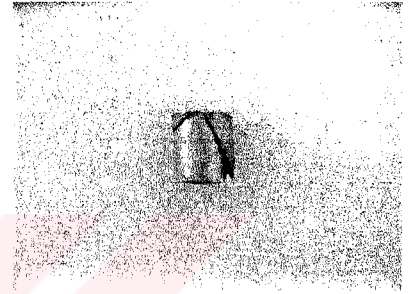
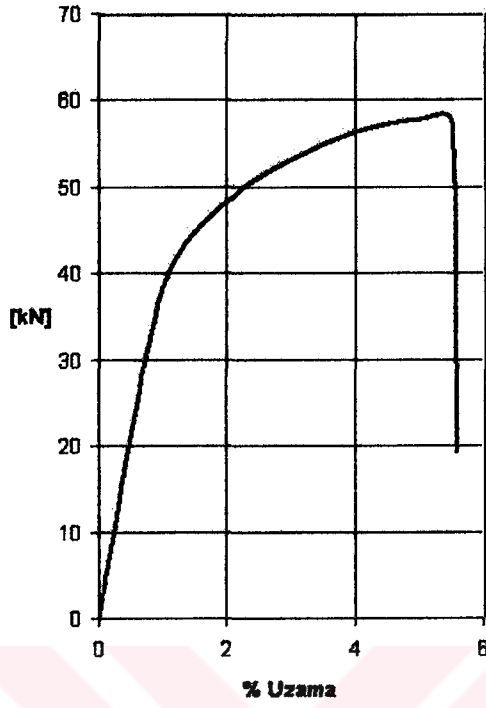


Şekil 5.9. 100 N yük altında takviyesiz E-Al 99.5 numunelerin a)1 dakika , b) 3 dakika , c) 7 dakika , d) 10 dakika sonunda oluşan aşınma yüzeylerinin ışık mikroskobu altında 100x büyütme ile görüntüleri

5.2. Basma Deneyi ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

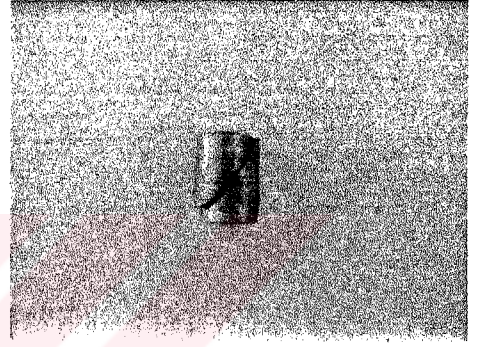
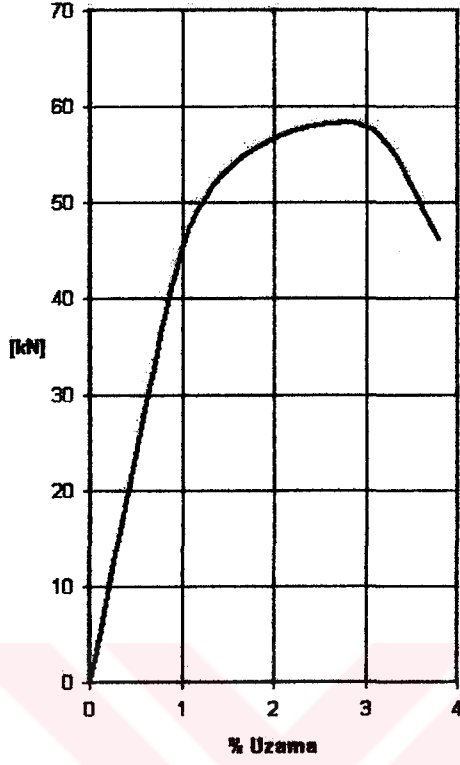
Basma deneyleri ; basma deneyi cihazında tespit edilmiş olup deney sonucu bulunan değerler ekstensometre ile ölçülmüştür. Deney numuneleri boyutları $h/d = 2$ oranında hazırlanmıştır. Alınan değerler, Kuvvet - % Uzama olarak grafike edilmiştir.

Basma deneylerinde, $h/d = 2$ olan numunelerin cihazın basma çenelerine yerleştirilip devamlı artan yük altında kırılma başladığı ana kadar olan % kısalma tespit edilmiştir. Değerler, ekstensometre ile ölçülmüş ve milimetrik kağıda analog ortamda aktarılmıştır. Bu değerler daha sonrada kN olarak dijital ortama aktarılmıştır.



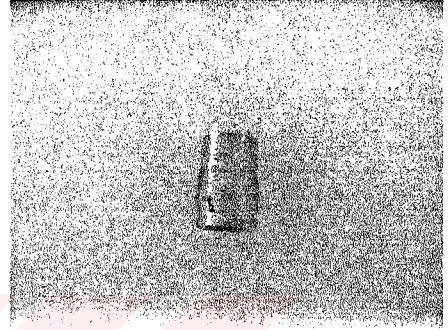
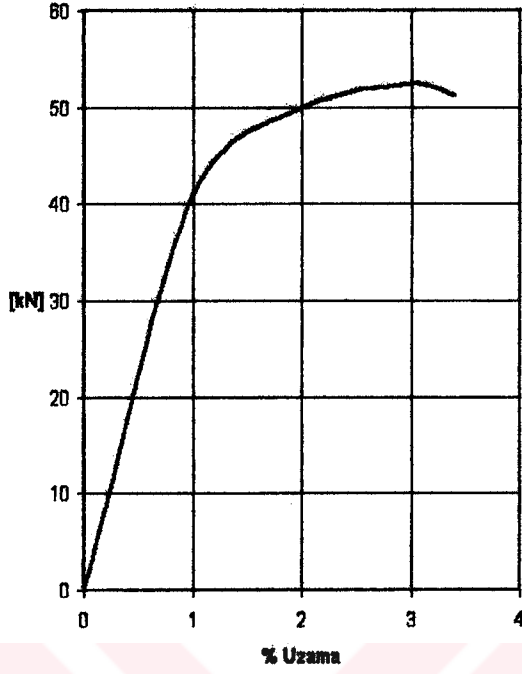
Şekil 5.10. E-Al 99.5 alüminyum malzemenin basma deneyinde kuvvet- %uzama grafiği ve kırılma şekli

Takviyesiz olarak üretilen deney numunesinin 57.5 kN ağırlıkta ve yaklaşık olarak % 5.5 kısılma sonucunda gevrek kırılma özelliği gösterdiği belirlenmiştir [Şekil 5.10].



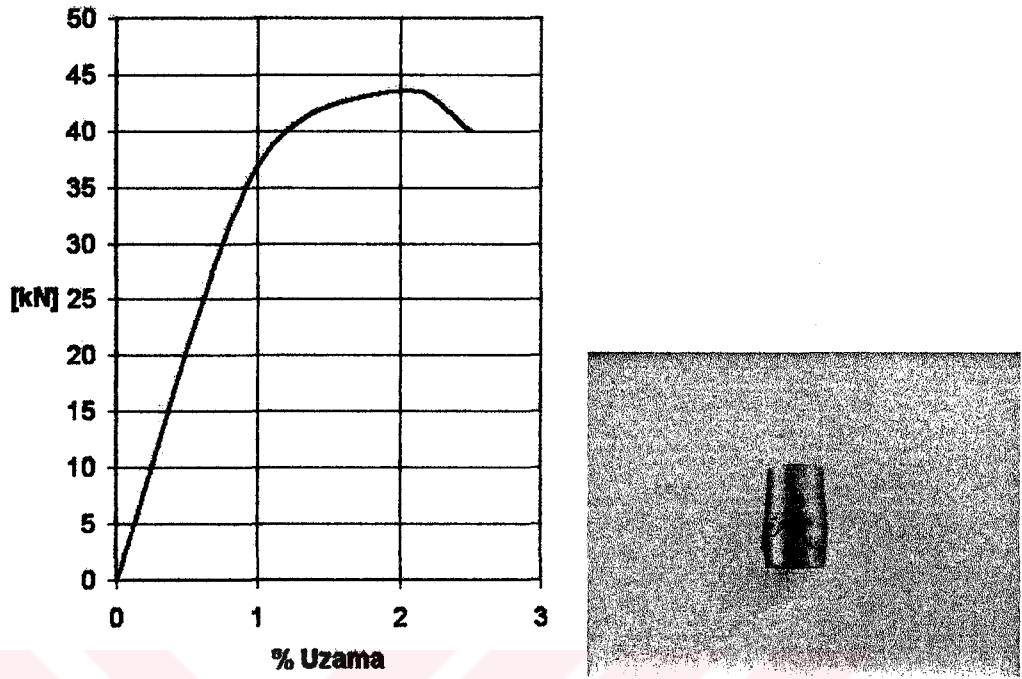
Şekil 5.11. E-Al 99.5 alüminyum malzemenin basma deneyi sonunda gerçekleşen kuvvet- %uzama grafiği ve kırılma şekli

Takviyesiz olarak üretilen Şekil 5.11' deki E-Al 99.5 alüminyum numunenin Şekil 5.10' daki numuneye göre yakın sonuçlar vermiş 58 kN yük altında % 3.75 kısılma ile gevrek kırılma özelliği göstermiştir.



Şekil 5.12. SAE 6150 takviyeli alüminyum malzemenin basma deneyi sonunda gerçekleşen kuvvet- %uzama grafiği ve kırılma şekli

Takviyeli olarak üretilen deney numunesinin takviyesiz olarak üretilen numunelerden daha düşük yüklerde kırıldığı ortaya çıkmıştır [Şekil 5.12].



Şekil 5.13. SAE 6150 takviyeli alüminyum malzemenin basma deneyi sonunda gerçekleşen kuvvet- %uzama grafiği ve kırılma şekli

Takviyeli olarak üretilen 2. numunenin de takviyesiz olarak üretilen numunelere göre daha düşük bir kuvvet altında kırıldığı ve % kısılmanın da azaldığı görülmüştür.

Yapılan çalışmalardan elde edilen basma deneyi sonuçlarına göre, takviyesiz olan numuneler yaklaşık olarak 45° açı altında kırılmış, fakat takviyeli olan numunelerde ise aynı durum gerçekleşmemiştir. Numunede bulunan takviye elemanı alüminyum matriks ile tam olarak ıslatıp yeterli bağ mukavemetini oluşturamamıştır. Yeterli bağ mukavemetinin oluşmaması malzeme içinde çentik etkisi yaratarak kırığın farklı açılarda meydana gelmesini sağlamıştır. Bu durum aynı zamanda malzemenin basma mukavemetinde de azalmalara neden olmuştur.

Çizelge 5.2' de takviyeli ve takviyesiz numunelerin her birinden 3 tekrarlı olmak üzere basma deneyine tabi tutulan numunelerin kopma kuvvetleri gösterilmiştir.

Çizelge 5. 2. Basma deneyinde elde edilen kopma kuvvetleri

| Malzeme | Kopma Kuvveti [kN] | | | |
|--------------------|--------------------|------|------|--------|
| | I | II | III | Ort |
| SAE 6150 Takviyeli | 52.5 | 43.5 | 39.5 | 45.166 |
| E-AI 99.5 | 57.5 | 58 | 54.5 | 56.666 |

Yapılan basma deneylerinde takviyesiz olarak üretilen deney numuneleri ortalama 56.666 kN yük altında kopma gösterirken, SAE 6150 takviyeli deney numunelerinde ise ortalama 45.166 kN yük altında kırılma gerçekleşmiştir. Bu durum takviye elemanının yeterince ıslatılmamasından kaynaklanmış olup çentik etkisi meydana getirmiştir ve kopma mukavemetinin azalmasına neden olmuştur.

Basma deneyi ile bulunan değerler tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur [71].

Çizelge 5. 3. Varyans analiz çizelgesi

| Varyasyon Kaynağı | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F Değeri | Olasılık α |
|-------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|-------------------|
| Tekerrür | 2 | 64.083 | 32.042 | 2.018 ns | 0.330 |
| Malzeme | 1 | 198.375 | 198.375 | 12.496* | 0.023 |
| Hata | 2 | 31.750 | 15.875 | - | - |
| Genel | 5 | 294.208 | - | - | - |

ns : Önemsiz

* : % 5 'te önemlidir.

Çizelge 5.3 'te görüldüğü üzere malzeme cinsi kopma mukavemeti değerleri üzerine %5 önem seviyesinde istatistiksel olarak önemli derecede etkili olmuştur. Yani, takviyeli malzemenin kopma kuvveti değerleri standart malzeme değerlerine göre önemli derecede düşük çıkmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

1. Takviye elemanının, yüzey tabakasını desteklediği dolayısı 20 N yük altında 180. saniyeden sonra, 50 N yükte 480. saniyeden sonra yüzey aşınma direncini arttırdığı görülmüştür. 100 N yük altında ise aşınma direncinde takviyeli ve takviyesiz numunelerde büyük bir fark yaratmamıştır.
2. Aşınma direncinin artması (aşınma kaybının azalması), aşınma mekanizmalarının değişmesi ile meydana gelmiş, takviye elemanı yüzeyde aşınmayı azaltmıştır. Takviyeli numunelerde dengeli bir aşınma olurken, takviyesiz numunelerde ise şiddetli metal/metal aşınmaları oluşmuştur.
3. Takviyeli numunelerde basmaya karşı dayanımın artması beklenirken azalma görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarda takviyesiz numunelerde ortalama 56.666 kN yükte kırılma başlarken, takviyeli numunelerde ise ortalama 45.166 kN yük altında kırılma meydana gelmiştir.
4. Basmaya karşı görülen direncin azalmasının nedeni, alüminyumun yayı ıslatamaması ve bu nedenle çentik etkisi yaratmasıdır.

6.2. Öneriler

1. Kullanılan kokil kalıp yay takviyeli numunelerin üretiminde yeterli olamamaktadır.
2. Kalıbın yeniden tasarlanması ve aynı zamanda döküm işlemi de çok noktadan yapılması sağlanmalıdır. Gerek ön tavlama gerekse kalıp ile beraber, 400 ila 500 °C ye kadar sıcaklıklarda takviye elemanının çarpılmalarını önleyebilecek şekilde, kalıbın yeniden tasarlanması gerekmektedir.
3. Takviye elemanı olarak kullanılacak malzemelerin yüzeylerinin, matriks ile bağ yapabilmesi açısından çeşitli solventlerle temizlenmesi veya kaplama işlemine tabi tutulması gerekmektedir.
4. Basma değerlerinin iyileştirilmesi için matriks ve takviye elemanının uygun seçilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Akoral, E., 2003, Toz metalürjisi yöntemi ile Al-SiC kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi, Doktora tezi Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] Ray, S., 1993, Review synthesis of cast metal matrix particulate composites, Journal Of Materials Science, 28, 5397-5413.
- [3] Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A. and Lavernia, E. J., 1991, Particulate reinforced metal matrix composites-a review, Journal Of Materials Science, 26, 1137-1156.
- [4] Ögel, B., 1997, Kompozit malzemelerde son gelişmeler ve ileriye dönük beklentiler, 9. Uluslar arası metalürji ve malzeme Kongresi, 639-649, İstanbul.
- [5] Hiçyılmaz, N., Aydın Ş. ve Sarıtaş, S., 1999, Toz metalürjisi ile üretilmiş alüminyum esaslı tanecikli kompozitlerin mekanik özellikleri, Uluslar arası katılımlı 2. Ulusal toz metalürjisi konferansı, 621-629, ODTÜ, Ankara.
- [6] Akbulut, H., 1994, Alumina fiber takviyeli Al-Si metal matrisli kompozitlerin üretimi ve mikroyapı özellik ilişkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 12-43.
- [7] Bolay, K. ve Ögel, B., 1997, Al-Si ve Al-Cu-Si sistemlerinin sıvı faz sinterleme özellikleri, International Metallurgy and Materials Congress, İstanbul.
- [8] Lubin, G., Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold Co., 196, 1982.
- [9] Kök, M., Metal Matrisli (Al_2O_3 takviyeli) Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Seramik Takımlarla İşlenebilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2000.
- [10] Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 2000
- [11] Sur, G., Alüminyum esaslı kompozitlerin üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 12-28, 2002, Ankara.
- [12] Buytoz, S., Yıldırım, M., 2002, Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri, 9. Denizli Malzeme Sempozyumu, s: 349-357, 8-10 Mayıs, Denizli.
- [13] Taya, M. and Arsenault R. J., 1988, Metal Matrix Composites-Thermal and Mechanical Behaviour, Pergamon Press, New York.
- [14] Aydın, M., 2003, SiC Parçacık Takviyeli 7075 Alüminyum Alaşım Matrisli Kompozit Malzemelerin Difüzyon Kaynağı, Doktora tezi Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [15] İzçiler, M., Muratoğlu, M., 2003, Wear behaviour of SiC reinforced 2124 Al alloy composite in RWAT system, Journal of Materials Processing Technology, 132, 67-72.

- [16] J.M. , C.E.da Costa, F. Velasco, "P/M aluminum composites: an overview matrix".
- [17] Arık H, 2004, Production and characterization of in situ Al_4C_3 reinforced aluminium-based composite produced by mechanical alloying technique, *Materials and Desing*, 25, 31-40.
- [18] Özçatalbaş Y, 2003, Investigation of the machinability behaviour of Al_4C_3 reinforced Al-Based composite produced by mechanical alloying technique, *Composites Science and Technology*, 63, 53-61.
- [19] Şahin. Y., Kök, M., ve Çelik, H. , 2002, Tool wear and surface roughness of Al_2O_3 particle-reinforced aluminium alloy composites, *Journal of Materials Technology*, 128, 280-291.
- [20] Altan, E., Kryak, M. ve Çakır, O., 2002, Metal matrisli Kompozitlerin İşlenebilirliği, 9. Denizli Malzeme Sempozyumu, 341-348, Denizli.
- [21] Demirkesen, E., 1991, Kompozit Malzemeler, İTÜ Kimya-Metalürji Fakültesi Yayınları, İstanbul, 56-78.
- [22] Şahin, Y., 1994, The Mechanical and Wear Behaviour of B(SiC) Fibre-Reinforced Composite Materials, Ph. D. Thesis, The University of Aston, Birmingham, United Kingdom.
- [23] Erdoğan, M., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayın Dağıtım, Cilt: 2, Ankara, 1998.
- [24] J. L. Huang, H. D. Lin, C. A. Jeng, DS. F. Lii, 2000, Crack growth resistance of Cr_3C_2/Al_2O_3 composites, *Materials Science and Engineering, A* 279, 81-86.
- [25] Lindross, V. K. And Talvitie, M. J., 1995, Recent advances in metal matrix composites, *Journal Of Materials Processing Technology*, 53, 273-284.
- [26] K. B. Lee, H. S. Sim, S. Y. Cho, H. Kwon, 2001, Reaction products of Al-Mg/ B_4C composite fabricated by pressureless infiltration technique, *Materials Science and Engineering, A* 302, 227-234.
- [27] G. Arslan, F. Kara, S. Turan, 2003, Quantitative X-ray diffraction analysis of reactive infiltrated boron carbide-aluminium composites, *Journal of the European Ceramic Society*, 23, 1243-1255.
- [28] Jeng, C. A., Huang, J. L., Lin, J. F., 2003, Sliding wear and fracture mechanisms of injection molded Cr_3C_2/Al_2O_3 Composite", *Ceramics International*, 29, 213-221.
- [29] J.L. Huang, J.J. Huang, C.A. Jeng, A.K. Li, 1999, Investigation of Al_2O_3/Cr_3C_2 composites prepared by pressureless sintering:3, *Ceramics International*, 25, 141-144.
- [30] C.A.Jeng, J.L.Huang, S.Y.Lee, B.H.Hwang, 2002, Erosion damage and surface residual stress of Al_2O_3/Cr_3C_2 composite, *Materials Chemistry and Physic*, 78, 278-287.

- [31] C.L. Chen, W. Cheng, J. Wei, 2002, Sintering behavior and mechanical properties of nano-sized $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ composites prepared by MOCVI process, *Journal of the European Society*, 22, 2883-2892.
- [32] Ralph, B., Yuen, H. C. and Lee, W. B., 1997, The processing of metal matrix composites-an overview, *Journal of Materials Processing Technology*, 63, 339-353.
- [33] Akbulut, H., Durman, M. ve Yılmaz, F., 1993, SiC parçacık takviyeli Al-Si Metal matris kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi, 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Ankara, Cilt 2, 1183-1194.
- [34] V. Songmene, M. Balazinski, 1999, Machinability of graphitic metal matrix composites as a function of reinforcing particles, *Annals of the CIRP*, Vol: 48/1, 77-81.
- [35] Demirci, H., Atik, E., 1995, Alüminyum Alaşımı- Al_2O_3 Kompozitlerinde Partikül Oranının Mekanik Özellikler Etkisi, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Sayfa: 11-19, 12-14 Nisan, Denizli.
- [36] Rohatgi, P., 1992, Cast metal matrix composites, *ASM Handbook*, Metals Park, Ohio, Vol:15, 840-854
- [37] Zhou, W. and Xu, Z. M., 1997, Casting of SiC reinforced metal matrix composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 63, 358-363.
- [38] M.H. Lee, J.H. Kim, J.S. Park, J.C. Kim, W.T. Kim, D.H. Kim, 2004, Fabrication of Ni-Ta metallic glass reinforced Al-based alloy matrix composites by infiltration casting process, *Scripta Materialia*, 50, 1367-1371.
- [39] Ma, T., Yamaura, H., Koss, D. A. and Voigt, R. C., 2003, Dry sliding wear behavior of cast SiC-reinforced Al MMCs, *Materials Science and Engineering, A* 360, 116-125.
- [40] A. Mana, B. Bhattacharayya, 2003, A study on machinability of Al/SiC-MMC, *Journal of Materials Processing Technology*, 140, 711-716.
- [41] McLean, A., Soda, H., Xia, Q., Pramanicki, A.K., Ohno, A., Motoyasu, G., Shimizu, T., Gedeon, S.A. and North, T., SiC Particulate Reinforced Aluminium Matrix Composite Rods and Wires Produced by a New Continuous Casting Route, *Composites Part A*, 28A, 154-162, 1997.
- [42] Gül, F., 1998, SiC takviyeli Al-Si alaşımı kompozitlerin aşınma davranışı, *Z.K.Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, Karabük, Yıl 1, Sayı 2, 63-73.
- [43] C.B. Lin, Y.W. Hung, W. C. Lui, S.W. Kang, 2001, Machining and fluidity of 356Al/SiC_(p) composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 110, 152-159.
- [44] Önel, K., 1995, Süreksiz SiC Katkılı Alüminyum Matrisli Kompozitler (1. Bölüm), *Metalurji Dergisi*, 46-53.

- [45] Gül, F. ve İnem, B., 1997, Döküm yoluyla SiC takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi, Savunma Sanayiindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu, 5-6 Haziran Kara Harp Okulu, Ankara, 999-1005.
- [46] Ögel, B. ve Kaya, G., 1999, Al-SiC kompozitlerin konvensiyonel sıcak presleme yöntemi ile üretilmesi, Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, ODTÜ, Ankara, 631-636.
- [47] Campell, G. T., Raman, R. And Fields, R., 2002, Optimum press and sinter processing for Al/SiC composites, Powder Metallurgy Aluminum and Light Alloys for Automotive Applications, November 2-3, Troy Michigan.
- [48] Surappa, M. K. and Rohatgi, P. K., 1981, Preparation and properties of cast Aluminium-ceramic particle composites, Journal of Materials Science, 16, 983-993.
- [49] Durante, S., Rutelli, G. And Rabezzana, F., 1997, Aluminium-based MMC Machining with Diamond-coated Cutting Tools, Surface and Coatings Technology, 94-95, 632-640.
- [50] Szczezanik, S., 1996, The forging of the Al-5% SiC composite obtained using P/M method, Advances Powder Metallurgy and Particulate Materials, Washington, 4, 14-15/14-24.
- [51] Gül, F., 1999, Seramik parçacık takviyeli kompozitlerin üretim yöntemleri ve özellikleri, M. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15, 101-114.
- [52] S. Cardinal, M. R'Mili, P. Merle., 1998, Improvement of high pressure infiltration behaviour of alumina platelet preforms: Manufacture and characterization of hybrid preforms, Composites, Part A, 1433-1441.
- [53] Ling, P. S. And Gupta, M., 2000, Recycling of aluminium based metal matrix composite using disintegrated melt deposition technique, Materials Science and Technology, 16, 568-574.
- [54] Razaghian, A., Yu, D. and Chandra, T., 1998, Fracture behaviour of a SiC particle reinforced Al alloy at high temperature, Composites Science and Technology, 58, 293-298.
- [55] K. Composite Hanada, Y. Murakosh, H. Negishi, T. Sano, 1997, Microstructure and mechanical properties of Al-Li/SiCp Produced by Extrusion processing, Journal of Materials Processing Technology, 63, 405-410.
- [56] Rohatgi, P., 1991, Cast Aluminium Matrix Composites for Automotive Applications, JOM., Vol. 43, 10-15.
- [57] Allison, J. E. and Cole, G. S., 1993, Metal-Matrix Composites in the Automotive Industry: Oppurtunities and Challenges, JOM., 19-24, Jan.
- [58] Kevorkijan, M. V., 1998, MMCs for Automotive Applications, The American Ceramic Society Bulletin, 53-59, Dec.
- [59] Clyne, T. W. and Withers, P. J., 1993, An Introduction to Metal Matrix Composites, Cambridge University Press, 479-480, Cambridge.

- [60] Altunpak, Y., 2002, Alumina Kısa Fiber Takviyeli Al Piston Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşlem Özellikleri ve İşlenebilirlik, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [61] D.M. Skibo, D.M. Schuster, L. Jolla, Process for preparation of composite materials containing nonmetallic particles in a metallic matrix, and composite materials made by, US Patent No. 4 786 467, 1988.
- [62] P.K. Rohatgi, R. Asthana, S. Das, *Int. Met. Rev.* 31 (1986) 115±139.
- [63] A. Mortensen, *Mechanical and Physical Behaviour of Metals and Ceramic Compounds*, Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1988, p. 141.
- [64] S. Ray, *Key Eng. Mater.* 104±107 (1995) 417±446.
- [65] J.V. Naidich, J.N. Chuvash, *J. Mater. Sci.* 18 (1983) 2071±2080.
- [66] P.K. Ghosh, S. Ray, *Indian J. Technol.* 26 (1988) 83.
- [67] N.H. Parker, *Mixing Chem. Eng.* (1964) 208.
- [68] P.K. Ghosh, S. Ray, *Trans. Jpn. Inst. Met.* 25 (1984) 440.
- [69] K. Miwa, T. Ohashi, Preparation of Fine SiC Particle Reinforced Al. Alloy Composites by Comocasting Process, in *Proc. of 5th Japan- US Conf. on Comp. Mater.*, Tama City, Tokyo, Jun 1990, pp. 355± 362.
- [70] A.M. Samuel, F.H. Samuel, *Key Eng. Mater.* 104±107 (1995) 65±98.
- [71] Işık A., 2005 Uygulamalı Mühendislik İstatistiği Ders Notları ,Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA.