

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

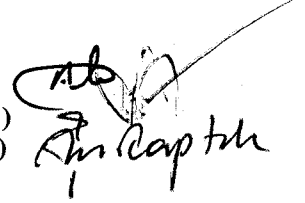
**Al₂O₃ TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ
KOMPOZİT ÜRETİMİ, MEKANİK VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİ İLE MİKROYAPI
KARAKTERİZASYONU**

Metalurji Yük.Müh.Sedat DENİZ

F.B.E. Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 01 Mart 2000
Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ahmet TOPUZ (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof.Dr. İbrahim UZMAN (KÜ)
: Prof.Dr. Yılmaz TAPTIK (İTÜ)



İSTANBUL, 2000

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	i
KISALTMA LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE UYGULAMA İMKANLARI	4
2.1 Aktarma Şaftı.....	5
2.2 Fren Diskleri.....	6
2.3 Motor Monblok Gövde ve Silindir Gömleği.....	8
2.4 Biyel Kolu ve Pistonlar.....	9
3. PARTİKÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER	12
3.1 Takviye Partikülün Seçimi.....	12
3.1.1 Uygulama.....	12
3.1.2 Üretim metodu.....	12
3.1.3 Maliyet.....	13
3.2 Matris Takviye Reaktivitesi.....	13
3.3 Kompozitin Mikroyapısı.....	21
3.3.1 Takviyenin dağılımı.....	21
3.4 Isıl İşlem Etkisi ve Tane Yapısı.....	24

4. ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	26
4.1 Toz Metalurjik Yöntem(TM)	28
4.2 Ergiyik Metal Yöntemleri	30
4.2.1 Karıştırma yöntemi	30
4.2.2 Yarı katı döküm	33
4.2.3 Basıncılı infiltrasyon tekniği	34
4.2.4 Basıncsız infiltrasyon yöntemi	35
4.2.5 Sprey çöktürme yöntemi	36
4.2.6 Gaz enjeksiyon yada katı reaksiyonları ile takviye faz oluşumu (in-situ) yöntemi	37
4.3 MMK'lerin Dökümü	38
4.4 MMK'lerde Tekrar Ergitme ve Gaz Giderme İşleminin Etkisi	40
5. ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	41
5.1 Elastiklik Modülü	41
5.2 Dayanım	44
5.3 Uzama	47
5.4 Kırılma Tokluğu	49
5.5 Yorulma	51
5.6 Sürünme	53
5.7 Aşınma Özellikleri	55
5.8 Termal Genleşme	57
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	58
6.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler	58
6.2 Kompozit Malzemenin Üretimi	59
6.3 Çekme Deneyi	62
6.4 Eğme Deneyi	64
6.5 Darbe Deneyi	74
6.6 Yoğunluk ve Porozite Ölçümleri	74
6.7 Aşınma Deneyi	77
6.8 Sertlik Deneyi	80
6.9 Mikroyapılar	81
7. SONUÇ ve ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	105

SİMGE LİSTESİ

A	Sabit
A'	Sabit
B	Sabit
b	Burger vektörü
c	Partikül konsantrasyonu
d	Partikül çapı/boyu
d ₀	Çap
D	Tane çapı
da/dn	Çatlak ilerleme hızı
D _k	Konteyner çapı
D _L	Kafes difüzitesi
E	Elastiklik modülü
E _c	Kompozitin elastiklik modülü
E _m	Matrisin elastiklik modülü
E _p	Partikülün elastiklik modülü
é	Sürünme hızı
ε _c	Mikroboşluk çekirdeklenme gerinimi
F	Kuvvet
F _{max}	Maksimum kuvvet
f _p	Partikül hacim oranı
f	Sehim
g	Yerçekimi ivmesi
G _m	Matrisin ağırlığı
G _p	Partikülün ağırlığı
K _{ic}	Kırılma tokluğu
ΔK	Gerilim şiddet faktör aralığı
L	Şaft boyu
l	Mesnetler arası mesafe
λ	Alt tane boyu
n	Gerilme sabitesi
N _c	Kritik devir sayısı
Q	Aktivasyon enerjisi
P	Porozite
R	Gaz sabitesi
R _e	Reynold sayısı
R ₀	Dış çap
R _i	İç çap
S	Sabit
s	Partikül boyut oranı
T	Mutlak sıcaklık
ρ	Yoğunluk
ρ _d	Deneysel yoğunluk

ρ_m	Matrisin yoğunluğu
ρ_p	Partikülün yoğunluğu
ρ_t	Teorik yoğunluk
δ	Çatlak ucu yarıçapı
δ	Sürünme gerilmesi
δ_o	Eşik gerilme
V_c	Partikül hızı
V_m	Matrisin hacim oranı
V_o	Stokes hızı
V_p	Partikül hacim oranı
Y_{sg}	Katı-gaz yüzey enerjisi
Y_{lg}	Sıvı gaz yüzey enerjisi
Y_{sl}	Katı-sıvı yüzey enerjisi
σ	Sürünme gerilimi
σ_c	Kompozitin akma dayanımı
$\sigma_{e \max}$	Eğme dayanımı
σ_m	Matrisin akma dayanımı
σ_y	Akma dayanımı



KISALTMA LİSTESİ

MMK	Metal Matrisli Kompozit
TM	Toz Metalurjik Yöntem
p	Partikül
Matris/takviye/xxp	Aluminum Association 'e göre metal matrisli kompozit malzeme gösterimi,xx: takviyenin yüzdesel hacim oranı, p: partikül.



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Çeşitli MMK'lerin performans / maliyet ilişkisi.....2
Şekil 2.1	6061/ Al ₂ O ₃ /20p MMK'ten imal edilen aktarma şaftı... ..6
Şekil 2.2	MMK'ten imal edilen çeşitli fren diskleri ve kampanalar.....7
Şekil 2.3	MMK' de üretilen monoblok motor gövdesi.....8
Şekil 2.4	Al ₂ O ₃ ve SiC takviyeli MMK malzemeden üretilen silindir gömlekleri.....9
Şekil 2.5	2080/SiC/15p kompozit malzemeden imal edilen biyel kolu.....10
Şekil 2.6	Al ₂ O ₃ + NiAl ₃ takviyeli kompozit pistonlar.....10
Şekil 3.1	Al-4Mg/Al ₂ O ₃ kompozit malzemede matris takviye arasındaki interaksiyon zonu.....14
Şekil 3.2	Al ₂ O ₃ kompozitte sıcaklığa bağlı olarak temas açısı.....16
Şekil 3.3	Katı-Sıvı-Gaz fazları arasındaki temas açısı.....17
Şekil 3.4	7075/SiC/15p kompozitinde ergime noktasının düşüşü.....18
Şekil 3.5	Al ₄ C ₃ reaksiyonun engellenmesi için sıcaklığa bağlı olarak gerekli Si-miktarı.....18
Şekil 3.6	Al-Mg oksitlerin Al-Mg alaşımlarındaki termodinamik stabilitesi... 19
Şekil 3.7	Partikül boyu ve döküm sıcaklığının sprial akışkanlığa etkisi.....20
Şekil 3.8	Al-Si alaşımlarında Gr-partiküllerin ötektik faz üzerindeki etkisi.....23
Şekil 3.9	Katılaştırma koşullarının partikül dağılımına etkisi.....23
Şekil 3.10	A356/SiC/15p-T4 malzemede, ekstrüzyon oranına artışına karşılık uzama değerinin değişimi.....24
Şekil 4.1	Toz metalurjik yöntem ile üretim aşamaları.....28
Şekil 4.2	Karıştırma metodunda kullanılan mekanik karıştırma sistemi.....31
Şekil 4.3	% 20 hacim oranı takviyeli,Al-Si matrisli a.(döküm), b.6061-matrisli ekstrüde edilmiş yapı.....31
Şekil 4.4	6061/Al ₂ O ₃ -SiO ₂ /20p kompozit,ekstrüzyondan sonraki küresel oksitli mikroyapısı.....32
Şekil 4.5	Yarı katı döküm metodu ile MMK üretim sistemi.....33
Şekil 4.6	357 alaşımın mikroyapısı.....33
Şekil 4.7	Al-Si5/Fe2/Al ₂ O ₃ /30p malzemenin x5.3 büyütmedeki mikroyapısı...34
Şekil 4.8	Basınçlı infiltrasyon yönteminin şematik görünümü.....34
Şekil 4.9	Saffil-Alümina takviyeli preform,sabit sıcaklıkta(700 ⁰ C) saf alüminyum infiltre edilmiş mikroyapısı.....35
Şekil 4.10	Sprey-atomizasyon ve çöktürme metodu.....36
Şekil 4.11	Sprey çöktürme ile üretilen Al ₂ O ₃ takviyeli MMK mikroyapısı (x100 büyütmede).....36
Şekil 4.12	Reaktif-gaz infiltrasyon yönteminin şematik görünümü.....38
Şekil 4.13	Merkezkaç döküm ile imal edilmiş yatak malzemesi.....39
Şekil 5.1	Elastiklik modülünün partikül hacim oranına göre değişimi.....42
Şekil 5.2	Al ₂ O ₃ takviyeli 2618 alaşımın,sıcaklığa bağlı olarak elastiklik modülünün değişimi.....43

Şekil 5.3	2014/ Al_2O_3 takviyeli malzemede elastiklik,modülünün takviye hacim oranına göre değişimi.....	44
Şekil 5.4	6061/ Al_2O_3 takviyeli malzemede, elastiklik modülünün takviye hacim oranına göre değişimi.....	44
Şekil 5.5	2014/ Al_2O_3 takviyeli malzemede, akma dayanımının takviye hacim oranına göre değişimi.....	45
Şekil 5.6	6061/ Al_2O_3 takviyeli malzemede, akma dayanımının takviye hacim oranına göre değişimi.....	46
Şekil 5.7	6061/ Al_2O_3 /15p-T6 malzemede yüksek sıcaklık dayanımı değerlerinin 6061-T6 alaşıma göre değişimi.....	47
Şekil 5.8	6061 matrili, SiC ve Al_2O_3 takviyeli malzemede, takviye hacim oranına göre uzama değerinin değişimi.....	48
Şekil 5.9	6061-T6 ve 6061/ Al_2O_3 /15p-T6, malzemelerde yorulma çatlak ilerleme hızı.....	51
Şekil 5.10	2014-T6 ve 2014/ Al_2O_3 /20p-T6, malzemede yorulma değerleri.....	52
Şekil 5.11	6061-T6 ve 6061/ Al_2O_3 takviyeli malzemelerde yorulma değerleri.....	53
Şekil 5.12	2618,-T6 ve 2618/ Al_2O_3 /20p-T6 malzemede yorulma değerleri.....	53
Şekil 5.13	A 356 -T6 ,A356/SiC/20p-T6 ve dökme demir malzemede aşınma değerlerinin karşılaştırılması.....	56
Şekil 5.14	2068, 2014 ve 6061 matrisli, Al_2O_3 takviyeli MMK malzemelerin abrazyon direnci test değerleri.....	56
Şekil 5.15	2014 ve 6061 matrisli MMK'lerde lineear termal genleşme katsayısının (CTE), sıcaklığa göre değişimi.....	57
Şekil 6.1	Deneyde kullanılan Etial 120(443) malzemenin x200 büyütmedeki döküm mikroyapısı.....	58
Şekil 6.2	Ergiyik karıştırma düzeneğinin şematik görünümü.....	59
Şekil 6.3	Dökümde elde edilen malzeme kesitinden alınan silindirik çekme numunesi.....	62
Şekil 6.4	Takviye hacim oranına göre çekme dayanımının değişimi.....	63
Şekil 6.5	Elastiklik modülünün takviye hacim oranına göre değişimi.....	73
Şekil 6.6	Kompozitlerin, Al_2O_3 partikül hacim oranı ile yoğunluk ve porozite değerlerinin değişimi.....	76
Şekil 6.7	Aşınma deneyi cihazının şematik görünümü.....	77
Şekil 6.8	Aşınma deneyi sonucu ,MMK malzemede elde edilen hacim kayıplarının, dökme demir malzemeye göre karşılaştırılması.....	79
Şekil 6.9	Farklı takviye hacim oranlarındaki kompozit malzemelerin , dökme demire göre ağırlıkça aşınma değerleri.....	79
Şekil 6.10	Kompozitin sertlik değerlerinin takviye hacim oranına göre değişimi.....	80
Şekil 6.11	%5 Al_2O_3 takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri(x100 büyütmede).....	88
Şekil 6.12	%5 Al_2O_3 takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri (x100 büyütmede).....	89

Şekil 6.13	%10 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri(x100 büyütmede).....	89
Şekil 6.14	%10 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri (x100 büyütmede).....	90
Şekil 6.15	%15 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri(x100 büyütmede).....	91
Şekil 6.16	%15 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri(x100 büyütmede).....	92
Şekil 6.17	%15 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitte SEM görüntüleri.....	93
Şekil 6.18	%15 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitte SEM görüntüleri.....	94
Şekil 6.19	%10 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitte SEM görüntüleri.....	95
Şekil 6.20	%10 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitte SEM görüntüleri.....	96
Şekil 6.21	%10 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitte tek bir partikül yüzeyinin SEM görüntüsü.....	96



ÇİZEĞE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1	MMK'ler için potansiyel otomotiv uygulamaları.....4
Çizelge 2.1	Fren disklerinde kullanılan dökme demir malzemeye karşın MMK malzeme özelliklerinin karşılaştırılması.....7
Çizelge 2.2	Silindir gömleği üretiminde kullanılan dökme demir malzemeye karşın MMK malzeme özelliklerinin karşılaştırılması.....9
Çizelge 3.1	Al ₂ O ₃ ve SiC takviye partiküllerin özellikleri13
Çizelge 5.1	2618/ Al ₂ O ₃ takviyeli alaşımda, E ₁ modülünün, yüksek sıcaklık değerleri...43
Çizelge 5.2	2014/ Al ₂ O ₃ takviyeli malzemede çekme dayanımı değerleri.....45
Çizelge 5.3	6061/ Al ₂ O ₃ takviyeli malzemede çekme dayanımı değerleri.....46
Çizelge 5.4	6061/ Al ₂ O ₃ /15p-T6 ve 6061-T6 malzemede yüksek sıcaklık dayanım değerleri.....47
Çizelge 5.5	Teorik ve deneysel kırılma tokluğu değerlerinin karşılaştırılması.....50
Çizelge 5.6	MMK malzemelerin kırılma tokluğu değerleri.....51
Çizelge 5.7	Çeşitli MMK malzemelerin aşınma dirençleri.....55
Çizelge 6.1	Etial 120(443) kimyasal bileşimi(%).....58
Çizelge 6.2	Etial 120(443) ve Al ₂ O ₃ yoğunluk değerleri.....58
Çizelge 6.3	Çekme deneyi sonuçları.....63
Çizelge 6.4	%5 Al ₂ O ₃ takviyeli numunelerde eğme deneyi sonuçları.....65
Çizelge 6.5	%10 Al ₂ O ₃ takviyeli numunelerde eğme deneyi sonuçları.....67
Çizelge 6.6	%15 Al ₂ O ₃ takviyeli numunelerde eğme deneyi sonuçları.....69
Çizelge 6.7	Eğme dayanımı değerlerinin takviye hacim oranına göre değişimi.....71
Çizelge 6.8	Üretilen kompozit malzemelerin elastiklik modülleri ve eğme dayanımı değerleri.....71
Çizelge 6.9	ASTM E-23 ' e ,kompozit malzemenin Charpy darbe değerleri.....74
Çizelge 6.10	Deneysel ve teorik yoğunluk ile porozite miktarları.....75
Çizelge 6.11	ASTM G-99 Pin on Disc. yöntemi ile elde edilen aşınma değerleri.....78
Çizelge 6.12	Kompozit malzemenin sertlik değerleri.....80
Çizelge 6.13	Görüntü analizörden alınan ,numunelerdeki(%5 Al ₂ O ₃) takviye partiküllerin boyutsal ölçüleri.....82
Çizelge 6.14	Görüntü analizörden alınan ,numunelerdeki(%10 Al ₂ O ₃) takviye partiküllerin boyutsal ölçüleri.....83
Çizelge 6.15	Görüntü analizörden alınan ,numunelerdeki(%15 Al ₂ O ₃) takviye partiküllerin boyutsal ölçüleri.....85
Çizelge 6.16	Görüntü analizörden alınan Al ₂ O ₃ partiküllerin % Alan değerleri.....87

ÖNSÖZ

Çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocamız Sn.Prof.Dr. Ahmet TOPUZ'a teşekkürlerimi sunarım. Aşınma deneyi çalışmalarında yardımcı olan Sn.Prof.Dr.MustafaÜrgene'e teşekkür ederim. Ayrıca tezin hazırlanması aşamalarında yardımcı olan değerli arkadaşım ve dostum Araştırma Görevlisi Sn.Ahmet Sağın'a ve deneysel çalışmalarında sürekli yardımcı olan Sn.Teknisyen Şevki Şahin ile tezin hazırlanmasında emeği geçen tüm arkadaş ve dostlara teşekkür ederim.

Ve, eğitim hayatı boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Aileme teşekkür ederim.



ÖZET

Partikül takviyeli, metal matrisli kompozitlere (MMK) son yıllarda, büyük ilgi gösterilmiştir. Seramik takviye partiküllerin, alüminyum alaşımlarına katılmasıyla, elastiklik modulünde, çekme, akma dayanımında, aşınma direncinde ve sertliğinde, takviye hacim oranlarına (V_p) bağlı olarak, belirgin artışlar sağlanmıştır. Ayrıca ısı iletkenlik ve ısı genleşme değerlerindeki uygunluk, birçok otomotiv uygulamada, MMK'leri çekiçi hale getirmektedir.

Genel olarak, yüksek performanslı kompozitler, çok pahalı olan sürekli fiber takviyeli olarak üretilirler. Oysaki seramik partikül takviyeli kompozitler daha düşük performans/maliyet oranı vermektedirler. Bu sebepten otomotiv sektörü için, en ilgi çekici olanlar, pahalı olmayan ve ergiyik metal yöntemi ile üretilen seramik partikül takviyeli kompozitlerdir.

Alüminyum matrisli kompozit üretiminde, ergiyik karıştırma (vorteks) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde, özellikle fren diski, hafif-jant ve bazı motor aksamı uygulamalarına alternatif olabilecek ETİAL120(443) matris alaşımlı Al_2O_3 partikül takviyeli MMK üretimi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, %5, %10 ve %15 takviye hacim oranlarında, matrise Al_2O_3 partiküller ilave edilerek kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

Kompozit üretimi, deneyler sonucu, optimum olarak tespit edilen, 800 °C ergiyik karıştırma sıcaklığı, 500 dev/dak karıştırma hızı ve 500 °C'de ön ısıtılmış takviye partikül sıcaklığı, koşullarında gerçekleştirilmiştir. Karıştırma safhasındaki, aşırı oksidasyon meyli ve homojen partikül dağılımındaki güçlükler, MMK malzeme üretiminde sınırlayıcı engeller olarak sayılabilir. Bu zorlukların giderilmesi ile ilgili öneriler tezin bilgi akışı içinde sunulmuştur.

Üretimi tamamlanan kompozit malzemelerin, mekanik ve fiziksel özelliklerin tespiti için çekme, eğme, darbe, yoğunluk, aşınma ve sertlik testleri ile mikroyapı ve tarama elektron mikroskobu ile kırılma yüzeyi incelemeleri yapılmıştır.

Testler sonucunda, aşınma çekme, eğme dayanımı, elastiklik modülü değerlerinde, takviye hacim oranı artışı ile yükselme, buna mukabil, darbe dayanımında azalma görülmüştür. Böylece üretilen kompozit malzemenin özellikleri itibari ile otomotiv sektöründe kullanımı mümkün olacağı belirlenmiştir.

ABSTRACT

In the recent years, there is special interest in the particle reinforced metal matrix composites (MMCs). By the addition of ceramic reinforcement particles in various volume fraction (V_p) to the aluminum alloys, possesses unique combination of properties not achievable in monolithic material; these properties may include high, elastic modulus, tensile strength, wear resistance, hardness and low coefficient of thermal expansion with high thermal conductivity which many of these properties are desirable for automotive applications.

The early work on composites considered continuous fiber reinforcement, it was soon apparent that the high cost of continuous fibers, would restrict their use. This led to the development of discontinuously reinforced composites, particularly Al_2O_3 and SiC particle reinforced composites which have low cost rates. Therefore the most attractive composites for automotive industry are particle reinforced MMCs produced by molten metal methods.

Molten metal mixing (vortex) method is used to manufacture Al-MMC. The objective of this work is to produce Al_2O_3 particle reinforced aluminum Etial 120(443-alloy) matrix composite particularly for disc rotors, wheels and some engine components applications in the automotive industry. With this goal, the composite is produced by addition of %5, 10 and 15 volume fraction Al_2O_3 reinforcement particles.

From early experimental works, optimum process conditions are determined as; molten metal mixing temperature at $800^\circ C$, mixer rotation at 500 r.p.m. and preheated temperature of Al_2O_3 particles at $500^\circ C$. During mixing stage, excessive metal oxidation and difficulties in uniform reinforcement distribution are main barriers faced for composite manufacturing. However, in the discussions of this study, suggestions made to overcome these matters.

Tensile, bending, impact, density, wear and hardness experimental tests are applied to determine mechanical and physical properties of the composite and examination done by optical and scanning electron microscope of fractured surfaces for microstructure characterization.

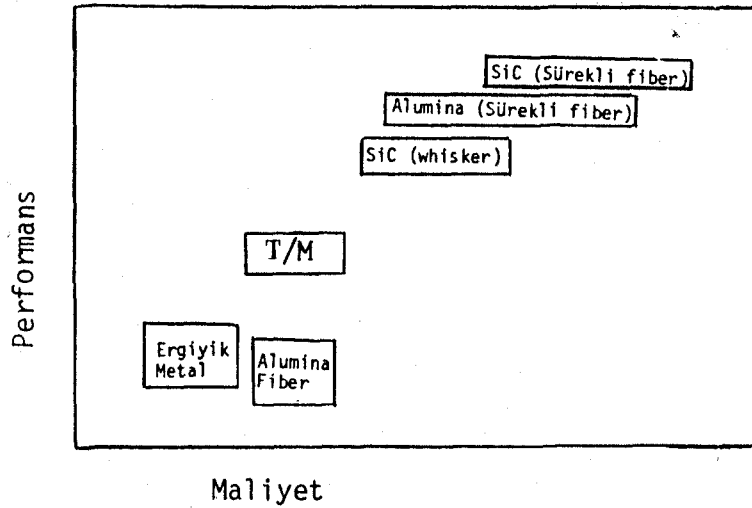
By the end of experimental tests, elastic modulus, tensile, bending strength and wear resistance increased with increasing particle reinforcement volume fraction (V_p), opposed to that impact strength decreased. Thus, with considering the properties of the manufactured composite, it seems to be a potential material for the automotive applications.

1. GİRİŞ

Günümüzde yeni malzemelere olan gereksinim gittikçe artmaktadır. Bu gereksinime dayanım/ ağırlık oranı yüksek olan yapı malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca dayanım yanında kullanılacağı alana göre yorulma, sürünme, darbe, korozyon, aşınma dayanımı ile ısı iletkenlik ve ısı genleşme diğer aranan özelliklerdir. Kuşkusuz tüm bu özelliklerin aynı malzemede aynı zamanda bulunması mümkün değildir. Bunun için birbirlerinin zayıf yönlerini gidererek istenilen özellikleri elde etmek amacıyla bir araya getirilen birden fazla malzemenin mikroyapıda birleşmesi ile kompozit malzemeler elde edilmiştir. Kompozit malzemeler, matris ile takviye olmak üzere iki kısımdan oluşur. Genel olarak ,kompozit malzemelerde matris sünek ,hafif ve düşük dayanımlı ,takviye ise rijit,yüksek dayanım ve sertliğe sahip olmaktadır. Matris malzemesi olarak ,metal, seramik ve polimer,takviye elemanı olarak genelde karbon,cam elyaf,grafit ve seramik partiküller kullanılmaktadır.

Metal matrisli kompozitler (MMK),metalin bir seramik ,karbon veya metalik katkı ile,sistematik karışımından elde edilen malzemelerdir. MMK 'ler sürekli ve süreksiz takviyeler içerirler ve monolitik malzemelerde elde edilemeyen mükemmel özellikler gösterirler. Malzemeye bağlı olarak bu özellikler,yüksek elastiklik modülü ,yüksek dayanım ve rijitlik ,sönümlenme ,yüksek aşınma direnci ve düşük ısı – genleşme katsayısıdır. Bu tür özellikler otomotiv endüstrisinde oldukça arzu edilirler ve bunlardan dolayı MMK'ler otomotiv üreticilerine,maliyetleri düşürmek ve performansı geliştirmek için iyi bir fırsat sunmaktadırlar.

Son yıllarda üzerine çalışılan başlıca sistem, Alüminyum-metal-matrisli kompozit sistemleridir. Takviye olarak Al_2O_3 , SiC, Gr, TiC, TiB_2 , Si_3N_4 gibi seramik bazlı malzemeler kullanılmaktadır. Genel olarak, yüksek performanslı kompozitler, çok pahalı olan sürekli fiber takviyeli olarak üretilirler. Diğer taraftan süreksiz fiber yada partikül takviyeli kompozitler daha düşük performans/maliyet oranı vermektedirler. Bu yüzden otomotiv endüstrisi için en ilgi çekici olanlar, pahalı olmayan ve ergiyik metal yöntemi ile üretilen partikül takviyeli kompozitlerdir. Şekil 1.1 'de MMK'lerin performans/maliyet ilişkisi görülmektedir.



Şekil 1.1 Çeşitli MMK' lerin performans / maliyet ilişkisi

Partikül takviyeli kompozitlerin en önemli özelliği ,takviyenin hacim oranı ve tipi , istenilen değerlerde değiştirilerek fiziksel ve mekanik özellikler rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Bu değişkenleri kullanarak bir uygulama için gerekli olan özellikleri içeren kompozit malzeme dizayn edilebilir.Birçok otomotiv parçası böylece güvenilir bir şekilde üretilebilir.

Takviye işlemi genelde kompozitin yoğunluğunu pek değiştirmemekte ve takviyesiz Al – alaşımına nazaran daha yüksek dayanımlı ve fiziksel / mekanik özellikleri geliştirilmiş bir malzeme elde edilmektedir.

Müteakip bölümlerde , partikül takviyeli Alüminyum-metal matrisli kompozitlerin , üretim ve katılaştırma yöntemleri ile birlikte takviye / matris ilişkisi ve sonucunda elde edilen fiziksel / mekanik özellikler açıklanmaya çalışılmıştır.

Araştırmalar genelde , düşük yoğunluk , geniş alaşım imkanı ,ısıtılabilirliği ve üretim esnekliğinden dolayı , Al-bazlı kompozitler ve takviye olarak temini kolay ve ucuz olan Al_2O_3 ,SiC ve Gr partiküller üzerine odaklandığından ,olaylar bu esaslara dayanılarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılmak üzere ,Etial 120 (443) alaşımı, Al_2O_3 seramik partikül katkısı ile kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir.Bu kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri ile mikroyapı karakterizasyonu yapılmıştır.

2. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE UYGULAMA İMKANLARI

MMK malzemelerin mükemmel özellikleri, otomotiv sektörünü bir çok yeni uygulama alanları bulmaya yöneltmiştir. Bazı uygulamalar aşağıda tanımlanmıştır.

MMK 'lerin otomotiv endüstrisinde başlıca uygulama imkanları çizelge 2.1 'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 MMK 'ler için potansiyel otomotiv uygulamaları

<u>Sistem</u>	<u>Parça</u>	<u>Kullanım Amacı</u>
Motor	Piston	Yüksek sıcaklık,yorulma, sürünme, aşınma
	Segman yatağı	Aşınma direnci, ağırlıkta azalma
	Sübab	Yüksek sıcaklık, yorulma, sürünme, aşınma
	Silindir Gömleği	Aşınma,sürtünme, ,ağırlıkta azalma
	Biyel Kolu	Rijitlik,ağırlıkta azalma
	Manifold	Yüksek sıcaklık, yorulma, sürtünme
Süspansiyon	Amortisör aksamı	Sönümleme, rijitlik
Aktarma Organları	Aktarma şaftı ve yardımcı aksam	Aşınma, ağırlıkta azalma, rijitlik, yorulma
	Jantlar	Ağırlıkta azalma
Muhafaza	Dişli kutusu ve yatakları	Aşınma, ağırlıkta azalma
	Diferansiyel yatağı	Aşınma, ağırlıkta azalma
Frenler	Fren diskleri ve kampanalar	Aşınma, ağırlıkta azalma

MMK'lerin otomotiv imalatçılarına sunduğu başlıca yararlar:

- a) Yakıt verimliliği
- b) Ağırlıkta azalma
- c) Hacim kazanımı
- d) Düşük emisyon
- e) Yüksek performans ve güç
- f) Düşük gürültü seviyesi
- g) Titreşimlerin azaltılması ve daha iyi sönümleme
- h) Bakım ve onarım masraflarının azalmasıdır

2.1 Aktarma Şaftı

Ticari araçlar için aktarma şaftı çekici bir uygulamadır. Genelde çelik malzemeden imal edilen şaft yerine Al-MMK kullanımının başlıca sebebi düşük ağırlıktır.

$$N_c = \frac{15\pi}{L^2} \sqrt{\left(\frac{E}{\rho}\right) \cdot g(R_0 + R_i)^2} \dots\dots\dots 2.1$$

N_c : Kritik devir sayısı

L : Şaft boyu

R_0 : Dış çap

R_i : İç çap

E : Elastiklik modülü

g : Yerçekimi ivmesi

ρ : Yoğunluk

2.1 denkleminde, $\frac{E}{\rho}$ oranı, kritik devri(N_c) etkileyecek tek malzeme özelliğidir. Kritik devri

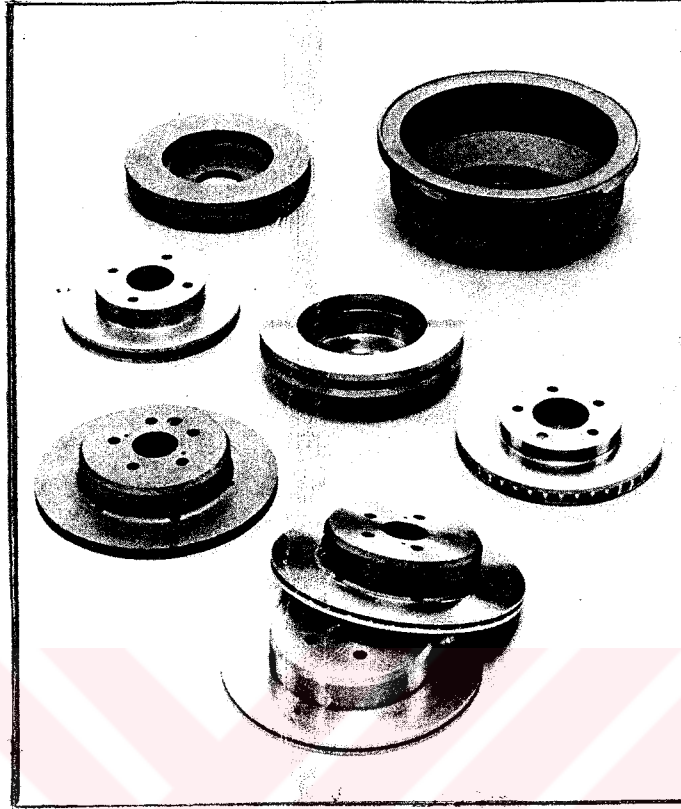
kontrol eden diğer bir etken ise L ve R 'dir. Bazı araçlar bazen daha uzun boylu şaft gerektirmektedir. Fakat bazı kısıtlamalar (ağırlık ve hacim) şaft çapı ve boyunun arttırılmasına izin vermemektedir.

Partikül takviyeli MMK malzemeden üretilen aktarma şaftı, kritik devrin (N_c) ve boyun (L) artmasına izin vermektedir. Çünkü 6061/ $Al_2O_3/20p$ gibi bir MMK'in elastiklik modülü, ($E=103$ GPa), tipik 1040 çelik malzemeden ($E=72$ GPa) belirgin bir şekilde yüksektir. Böylece hacim sabit tutularak şaft boyu arttırılabilir. 6061/ $Al_2O_3/20p$ MMK malzeme ile şaft boyu %8 kadar arttırılabilmekte ve kritik devirde ayrıca %14 artış sağlanabilmektedir. (Kesit alanı sabit kalmak şartı ile). Alternatif olarak şaftın çapı azaltılabilir ki bu da hacim ve ağırlıkta azalma demektir. (Allison ,1993).

2.2 Fren Diskleri

Fren disklerinin , MMK malzemeden imal edilmesinin başlıca avantajı , ağırlıkta azalmadır. Bu değer %50-60 değerindedir. Aynı zamanda atalet kuvvetini azaltmakta ve aracın yakıt tüketimini düşürmektedir. Hafif MMK disk, ivmeyi arttırarak frenleme mesafesini (durma mesafesini) azaltmaktadır. Fren ses seviyesi azalmakta aşınma en aza inmektedir. Bu sonuçlar 50.000 km 'lik fren dinamometre testinden sonra elde edilmiştir.

Disklin fonksiyonunu etkileyen önemli bir faktör de ısı difüzyondur. Dökme demir diske nazaran ısı-iletkenlik 5-7 kat daha yüksektir. Bu da ortaya çıkan ısının bir an önce diskten geçerek dışarı atılmasını sağlamaktadır,(Şekil 2.2).(Allison ,1993)



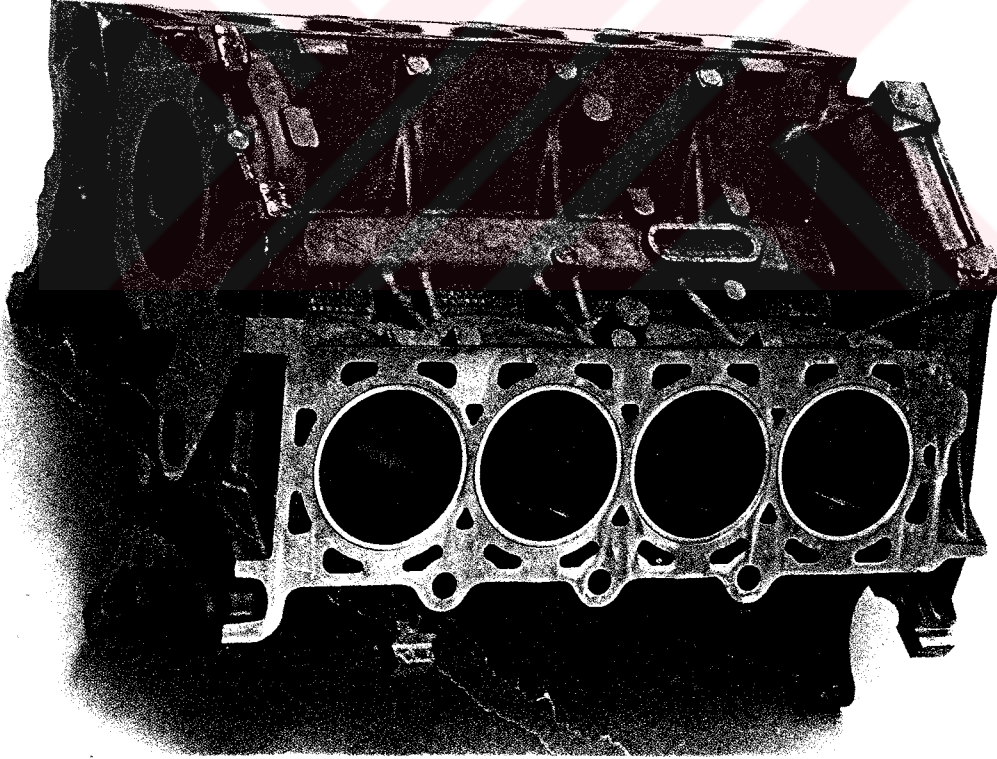
Şekil 2.2 MMK' den imal edilen fren diskleri ve kampanalar. (Duralcan, 1993)

Çizelge 2.2 Fren disklerinde kullanılan dökme demir malzemeye göre, MMK malzeme özelliklerinin karşılaştırılması. (Duralcan, 1993)

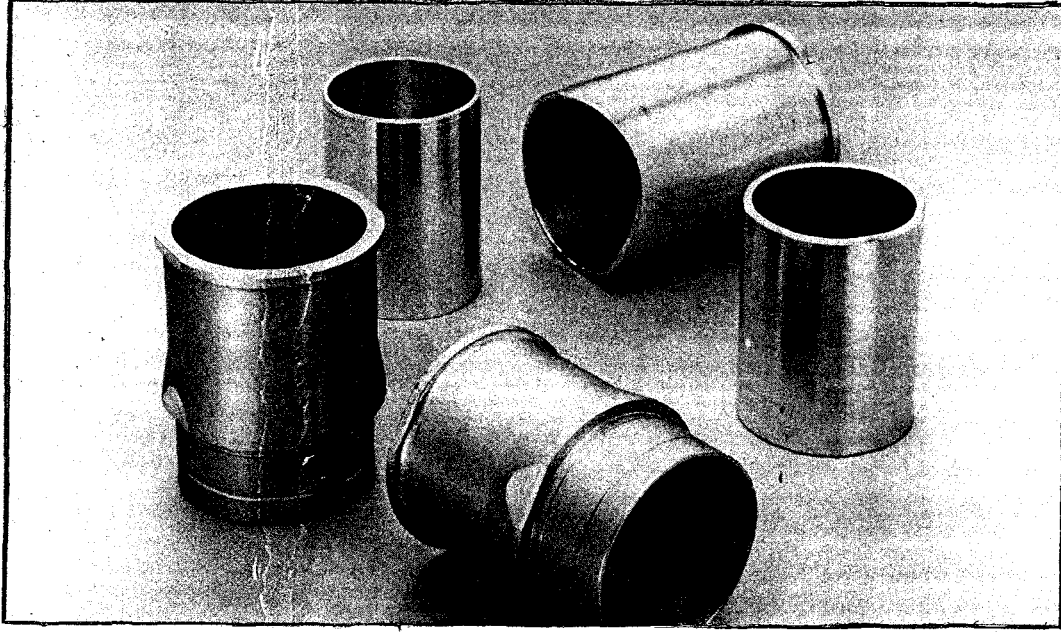
Malzeme/Özellik	Grade/30-35	6061/Al ₂ O ₃ /15p-T6	359/SiC/20p-T6
Elastik modül, E, (GPa)	89-118	97.2	98.6
Akma dayanımı, (MPa)	200-270	317	388
Yoğunluk (g/cm ³)	7.30	2.86	2.77
Aşınma kaybı (mm ³) ASTM-G-77'ye göre	0.0660	0.0174	0.0200
Termal iletkenlik cal/cm.s.K (22°C)	0.114	0.344	0.442
Termal genleşme katsayısı (10 ⁻⁶ /K) 50-100°C'de	12.25	19.8	17.5
Spesifik ısı cal/g.K (25°C)	0.096	0.200	0.200

2.3 Motor Monoblok Gövde ve Silindir Gömleği

Yüksek-Si oranlı Al-alayışmları (A319 ve A356) motor bloğu üretiminde kullanılmaktadır. Ancak bu alayışmlar silindir bölgesinde oldukca yüksek sıcaklıklara dayanamamakta ve aşınma dirençleri de düşüktür. Böyle bir uygulamada MMK kullanımı, ek olarak 3-5 kg ağırlıkta azalma avantajı sağlamaktadır. Ayrıca motorun çalışma verimini, ısı iletkenliğini artırmakta, boyut sabitliğinin ve rijitliğin daha iyi olması sonucu, motor sürtünmesi azalmaktadır. Silindir alanı, yüksek sıcaklıklara ve yanmış gazlara mağruz kaldığından burda, aşınma, yorulma ve sürünme gibi özellikler önem kazanır. şekil 2.3 ‘ te bu özelliklere cevap veren MMK’dan üretilmiş monoblok gövde görülmektedir. (Allison ,1993).



şekil 2.3 MMK malzemeden üretilen monoblok motor gövdesi.(Duralcan, 1993)



Şekil 2.4 Al_2O_3 ve SiC takviyeli MMK malzemeden üretilen silindir gömlekleri. (Duralcan, 1993)

Çizelge 2.3 Silindir gömleği üretiminde kullanılan dökme demir malzemeye göre MMK malzeme özelliklerinin karşılaştırılması. (Duralcan, 1993)

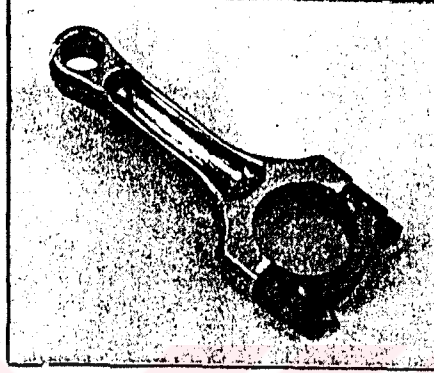
Malzeme/Özellik	Grade/ 30 - 35	6061/ Al_2O_3 /10p-T6	359/SiC/10p-T6
Elastik Modül, E (GPa)	89 - 118	81,4	73.0
Akma Dayanımı, (MPa)	200-270	296	283
Yoğunluk, g/cm^3	7.30	2.81	2.71
Aşınma kaybı, mm^3 ASTM G-77' ye göre	0.0660	0.0269	0.0245
Termal iletkenlik $\text{Cal/cm s.K (22}^\circ\text{C' de)}$	0.114	0.373	0.406
Termal Genleşme katsayısı, $10^{-6}/\text{K}$ $50-100^\circ\text{C' de}$	12.25	20.9	20.7
Spesifik ısı $\text{cal/g.K (25}^\circ\text{C' de)}$	0.096	0.207	0.210

2.4 Biyel Kolu ve Pistonlar

MMK 'ten imal edilen biyel kolu ve pistonların , en büyük yararı , ağırlığın azaltılmasıdır. 2.0 litre ve üzeri hacimli motorlarda , biyel / piston karşıt kütleleri dengesiz ve sakıncalı ikincil silkme kuvvetleri doğurur. Hafif biyel / piston mekanizmasının yararı bu ikincil kuvvetleri azaltmaktır. Ayrıca karşıt kuvvetler yüksek devirlerde sakıncalı olabilir .

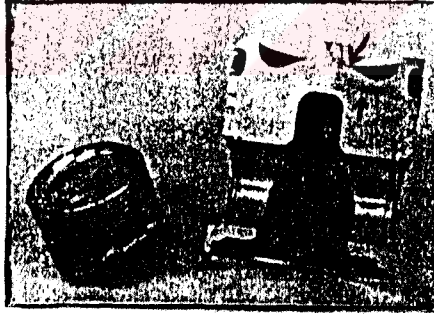
Biyel / piston mekanizmasının ağırlığını azaltarak bu sorunlar ortadan kaldırılabilir ve daha yüksek devirli motorlar imal edilebilir. Karşıt yüklerin azalması krank miline düşen ağırlıkları ve sürtünme kayıplarını azaltacaktır. Bu da motorun performansını arttıracak ve yakıt tüketimini düşürecektir.

Biyel kolu için dikkate alınması gereken özellik , 150 – 180 ° C ‘de yüksek devirli yorulma dayanımıdır. Şekil 2.5’ de 2080 / SiC / 15p MMK malzemede imal edilen biyel kolu görülmektedir.(Allison ,1993)



Şekil 2.5 2080 / SiC / 15p kompozit malzemeden imal edilen biyel kolu

Bu malzeme 150 – 180 ° C arasında ,170 MPa’lık bir yorulma dayanımı değeri vermektedir ki bu umut vericidir.Tamamı ya da kısmi takviye edilmiş MMK piston çalışmaları devam etmektedir.(Şekil 2.6)



Şekil 2.6 $Al_2O_3 + NiAl_3$ takviyeli kompozit pistonlar. Solda, düşük emisyonlu araçlar ve sağda dizel motorlar için kısmi takviye edilmiş pistonlar.

Yüksek devirli çalışma koşullarında , piston üst kısmı 250 – 350 ° C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşırken ,pim bölgesi 120 – 180 ° C arasındadır. Piston yorulma yüklerine , ısı – şoka ve yanmış gazlara dirençli olmalıdır. Ayrıca yeteri kadar aşınma direncinde ve düşük ısı – genleşme katsayısına sahip olmalıdır. Bu özellikleri karşılayacak MMK sistemleri , takviye tipi ve oranların ayarlanması ile mümkündür.(Allison ,1993)

3. PARTİKÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER

3.1 Takviye Partikülün Seçimi

MMK malzeme üretiminde başlıca kullanım gören partikül çeşitleri , Al_2O_3 ,SiC,Gr ,TiC ve ZrO_2 'tir.Takviye seçimini etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Uygulama

Eğer kompozit yapı uygulamalarında kullanılacak ise , elastiklik modülü , dayanım ve yoğunluk önem kazanır. Bu da düşük yoğunluklu ve yüksek modüllü takviye kullanımı gerektirir.

Partikül şekli de önemli olabilir. Köşeli ve dar açılı partiküller sünekliği azaltır. Isı uygulamalarında kullanılacak kompozitte , termal genleşme ve iletkenlik dikkate alınmalıdır,çünkü dayanıma etki ederler.

3.1.2 Üretim Metodu

Genel olarak iki temel yöntem mevcuttur:

- Toz metalurjik (TM), ve
- Ergiyik metal yöntemleri

Toz metalurjik yöntemde , homojen bir karışım elde edilmeye çalışılır. Harmanlamadan sonra aglomerat oluşumunu engellemek için , toz boyutları çok dikkatli seçilmelidir. SiC/Al kompozit üretiminde partikül boyut oranı 0,7 / 1 dir.Tipik Al-toz boyutları 20-40 μm 'dir ve takviyenin partikül boyutu 3 – 20 μm 'dir. Boyut oranı ise $< 5:1$ 'dir.(Lloyd,1994)

Ergiyik metal yöntemi ile üretilen kompozitler için farklı yorumlar mevcuttur .Bu proseslerin bazılarında , takviye seramik partiküller ergiyik matris ile uzun bir süre

temasta kalabilirler ve reaksiyona sebep olurlar. Takviyenin reaksiyona girmesi , kompozitin özelliklerini düşürür. Dolayısıyla takviye seçimi yapılırken ,matris alaşımı ,işlem süresi ve sıcaklık dikkate alınmalıdır.

Takviyenin partikül boyutu önemlidir çünkü daha büyük partiküllerin ergiyik içersine ilavesi kolaydır. Fakat büyük partiküller yığılmalara yol açarlar ve oldukça fazla segregasyonlu döküm yapısı oluştururlar.

İnce partiküller ise, ergiyik viskozitesini artırırlar ve döküm işlemini zorlaştırırlar. Birçok ergiyik metal prosesinde ideal kabul edilen 10 – 20 μm boyutlu seramik partiküller kullanılır.(Lloyd,1994)

3.1.3 Maliyet

Takviyenin partikül olarak kullanımının başlıca sebebi , kompozit maliyetini düşürmesidir. Takviyenin istenilen boyut ,miktar ve şekilde hazır olarak temini mümkün olmalıdır (yaklaşık 5.0 US\$ /Kg) .Bu düşünce ile iki tip takviye Al_2O_3 ve SiC ilgi görmektedir.

Çizelge 3.1 Al_2O_3 ve SiC takviye partiküllerin özellikleri. (Lloyd,1994)

Partikül	Al_2O_3	SiC
Elastik modülü (GPa)	380 –450	420-450
Yoğunluk (g/cm^3)	3.96	3.20
Termal genleşme katsayısı ($1/\text{K}$)	$7.0 * 10^{-6}$	$4.3 * 10^{-6}$
Termal iletkenlik ($\text{w}/\text{m.K}$)	5 – 10 (1000 ° C ‘de)	10 – 40 (1100 ° C ‘de)
Poisson oranı	0.25	0.17
Sertlik (HV)	2.100,0	2.400,0

3.2 Matris – Takviye Reaktivitesi

Özellik / performans ilişkisinin ve üretim yönteminin bakış açısından MMK ‘ler ele alındığında , matris ile takviye arayüzeyi , merkezi bir önem taşımaktadır. Matris ve takviye fazları arasındaki ıslatma özelliğini arttırmak önemli bir hedef ve amaç olmaktadır.

MMK malzemenin üretimindeki ana zorluk , takviye / metal arasındaki zayıf ıslatma ve bağlanmadır.

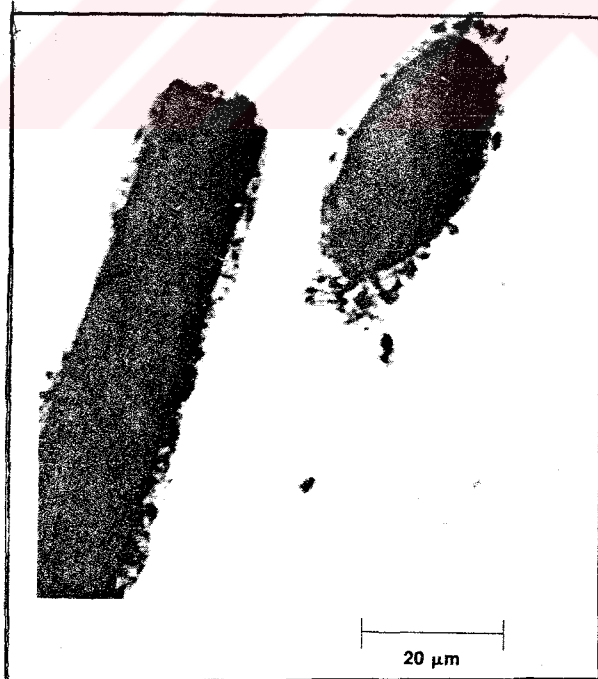
Islatma özelliğini geliştirmenin üç yolu mevcuttur (Rohatgi,1991,1992):

- 1) Takviyeye kaplama yapılması : Pahalı bir yoldur .
- 2) Kolay işlem ve düşük maliyetli üretim için , matrisin , Mg ,Ca ,Li veya Na ile düşük miktarlarda modifikasyonudur.
- 3) Takviye partikülleri ısıtma işlemine mağruz bırakmak.

Takviye yüzeyini tahrip etmeden , takviye / matris arayüzündeki reaksiyonlar dikkatlice kontrol edilerek , ıslatma özelliği geliştirilebilir. (Lloyd ,1994)

Kırılgan intermetalik bileşiklerin takviye yüzeyinde oluşması , takviyenin özelliğini kaybetmesine ve mukavemetinin azalmasına sebep olmaktadır. (Lloyd ,1994)

Arayüzeyde iyileştirilmiş ıslatma ve bağlanma , bazı sistemlerde , spinel , $MgAl_2O_4$ gibi oluşum sağlayan bir kimyasal reaksiyon ile elde edilebilir. Spinel arayüzeyde , kuvvetli bir bağlantı sağlar (Şekil 3.1) .(Rohatgi, 1992)



Şekil 3.1 Al – 4 Mg / Al_2O_3 kompozit malzemede matris / takviye arasındaki interaksiyon zonu, ($MgAl_2O_4$). (Rohatgi, 1992)

Bu arayüzey reaksiyon tabakasının homojen yapısı ve kalınlığı , ergiyik sıcaklığının , takviyenin ergiyik içerisine tam olarak yerleşme zamanı ve ergiyin karıştırma derecesinin , optimizasyonu ile kontrol edilebilir.(Rohatgi,1992)

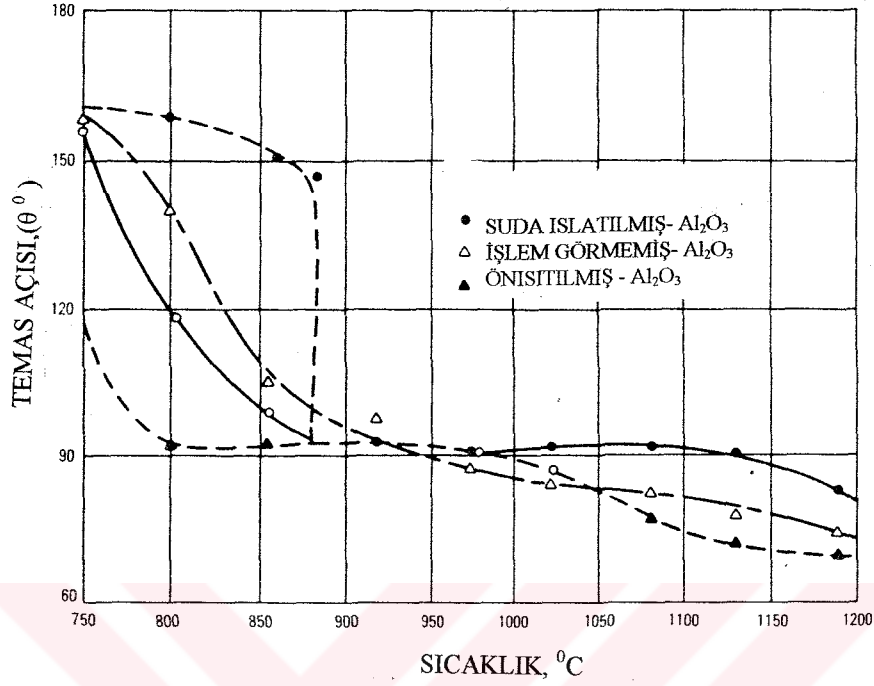
Seramik partiküllerin , ergiyik metal tarafından ıslatma özelliği , çeşitli değişkenler tarafından yönlendirilmektedir, (Rohatgi, 1992, Foltz 1997):

- Oluşum ısısı
- Stokiyometri
- Seramik fazdaki valans elektron konsantrasyonu
- Arayüzeydeki kimyasal reaksiyon
- Sıcaklık
- Temas süresi

Ergiyik ile seramik fazın adhezyonu , karbürlerin oluşum ısısının artması ile azalmaktadır. Stabil karbürlerin yüksek oluşum enerjisi kuvvetli interatomik bağlantılar gösterir , buna mukabilen ergiyik ile zayıf interaksiyon oluşturur. Bu olay , yüksek enerji seviyesi yaratır ve zayıf ıslatma ile sonuçlanır.

Yüksek valans elektron konsantrasyonu , genelde karbürlerde düşük stabilite yaratır ve bu ıslatma özelliğini arttırır.

Yüksek sıcaklık ve uzun temas süresi , metal / takviye arayüzeyinde oluşan reaksiyonlardan dolayı , ıslatma özelliğini geliştirir. Aynı zamanda seramik partiküllerin temas açısını da azaltır.(Şekil 3.2)



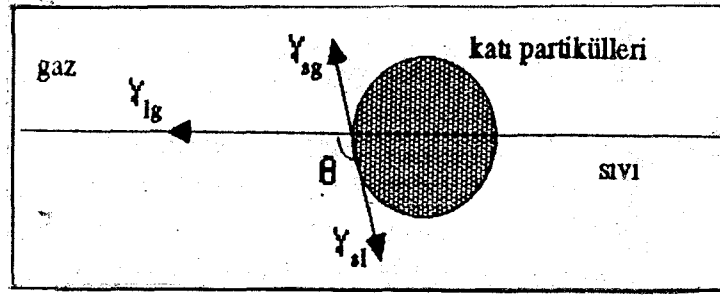
Şekil 3.2 Al₂O₃/Al kompozitte sıcaklığa bağlı olarak temas açısı.(Rohatgi,1992)

Takviye ile matris arasındaki, arayüzey bağ mukavemetinin kuvvetli olması, MMK malzemenin özelliklerinin de iyi olmasını sağlar. Bağ mukavemetini, dolayısıyla, sıvı-katı arayüzeyinde, ıslatmayı etkileyen temel faktör partikül dağılımıdır. Arayüzeyde partikül dağılımı homojen olmalıdır. Bunun için, partikül boyutunu ve katılma hızının yüksek olması, ayrıca arayüzeyde sıcaklık gradyanının düşük olması gerekir. Partikül aglomerasyonunu önlemek için sıvı matrisin karıştırılması gerekmektedir. (Akbulut vd.1993)

Matris ile takviye arayüzeyinde etkileşim iki şekilde olmaktadır:

- 1- Matris – takviye arasındaki mekansik kilitlenme,
- 2- Matris – takviye arasındaki kimyasal bağ oluşumu.

Mekanik kilitlenmede, arayüzey bağ mukavemetinin sıvının yüzey gerilimine galip gelmesi ile ıslatma meydana gelir. Islatma, takviyenin temas açısına bağlıdır, (Şekil 3.2). Islatmanın olabilmesi için temas açısı 90°C' den küçük olmalıdır, (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Katı – sıvı – gaz fazları arasındaki temas açısı (θ). (Akbulut vd., 1993)

Bir sıvı ve katının bulunduğu sistemlerde, Young eşitliğine göre,

$$Y_{sg} = Y_{lg} \cos \theta + Y_{sl} \quad \dots\dots\dots 3.1$$

Y_{sg} = Katı – gaz yüzey enerjisi

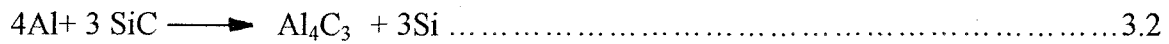
Y_{lg} = Sıvı – gaz yüzey enerjisi

Y_{sl} = Katı – sıvı yüzey enerjisi,

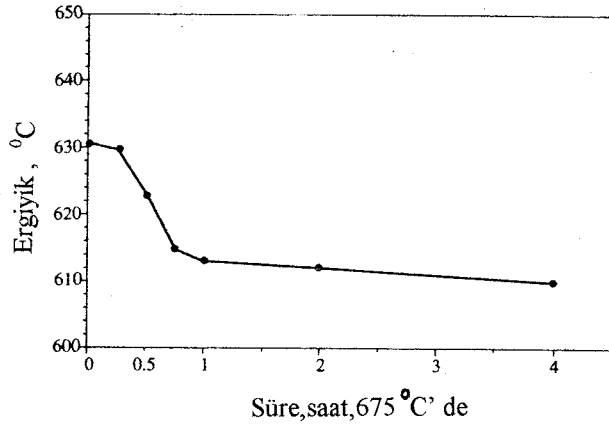
Temas açısının 90° ' den küçük olması için, $Y_{sg} > Y_{sl}$ olmalıdır. Temas açısının düşmesi, katının yüzey enerjisinin artmasına, katı – sıvı arayüzey enerjisinin düşmesine bağlıdır. (Akbulut vd., 1993)

Matris ve takviye arasındaki reaktivite , arayüzey dayanımına ve dolayısıyla , kompozit kırılmasına ve deformasyonuna belirgin bir etkisi vardır. Ancak takviye ve matris arasındaki reaksiyon , matris alaşımının metalurjisini de değiştirmektedir. Bu da ergime noktası ile dayanım gibi temel özellikleri etkilemektedir. (Lloyd, 1994)

Si – içermeyen Al-alaşımlarında , SiC metalin ergime noktasının üzerinde stabil değildir ve Al_4C_3 reaksiyonu oluşur.

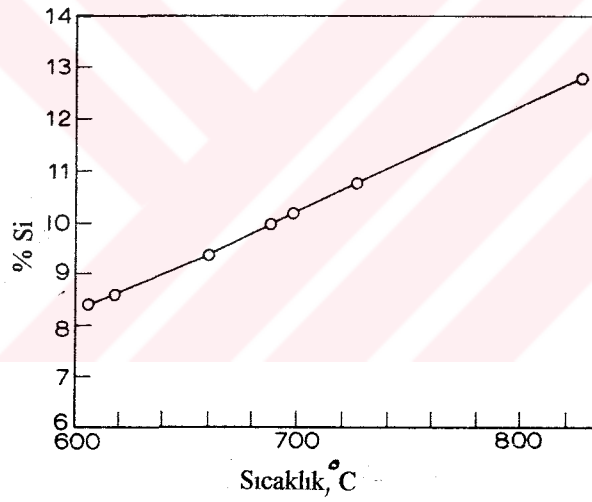


Matrisin Si – seviyesi yükselir ve zamanla ergime noktası düşer.(Şekil 3.4)



Şekil 3.4 7075/ SiC/15p*kompozitinde, ergime noktasının düşüşü, (Lloyd, 1994)

Al_4C_3 reaksiyonu , matris malzemesi olarak Si – alaşımlı malzeme kullanılarak önlenabilir.(Şekil 3.5)



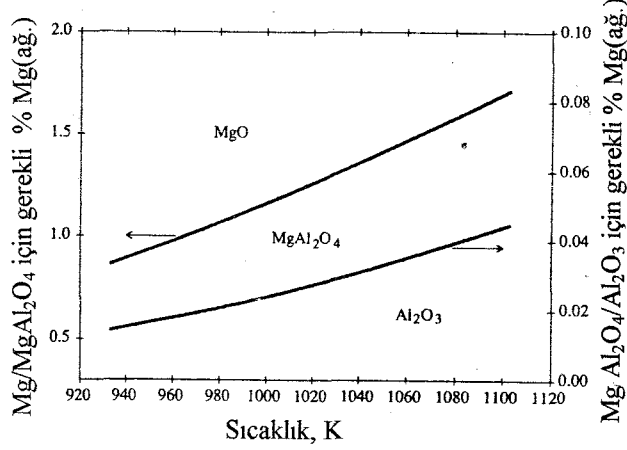
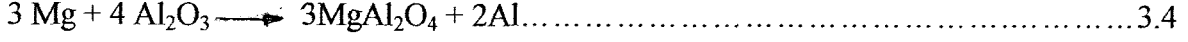
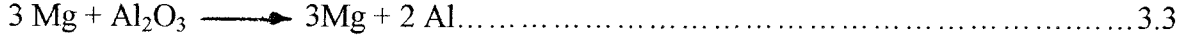
Şekil 3.5 Al_4C_3 reaksiyonunun engellenmesi için, sıcaklığa, bağlı olarak gerekli Si-miktarı (Lloyd, 1994)

Partikül ile matris arasında uzun temas gerektiren işlemlerde yüksek – Si alaşımlı matris tercih edilmelidir.

Toz metalurjik yöntemde ,katı – hal preslemede Al_4C_3 sorun değildir ,çünkü SiC ,katılaşma sıcaklığının altında stabildir . Ancak sıvı-gaz sinterlemesi devrede ise , reaksiyon oluşumu söz konusudur.

* 7075/ SiC/15p: Matris/ Takviye /Hacim oranı,
p:partikül, Aluminum Assaciation'e göre MMK malzeme gösterimi.

Al_2O_3 ,saf – Al içinde stabildir,fakat Al –Mg alaşımlarında ,Mg ile reaksiyona girer.



Şekil 3.6 Al-Mg oksitlerin , Al- Mg alaşımlarındaki termodinamik stabilitesi,(Lloyd, 1994)

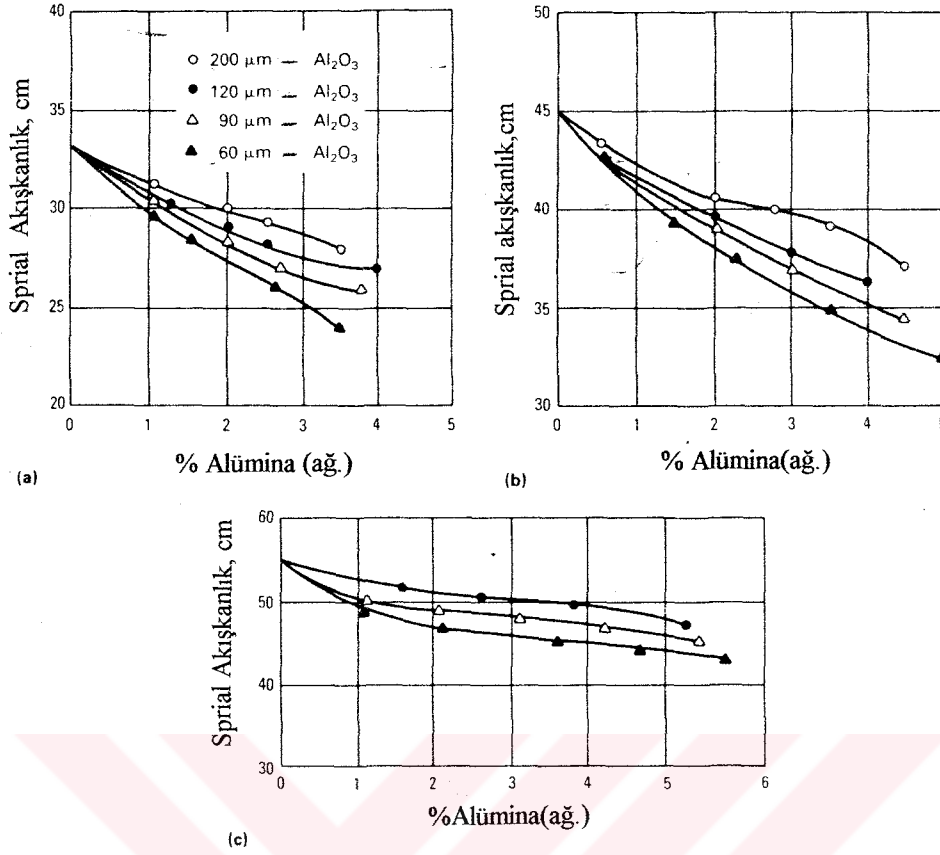
SiC katılaşma eğrisinin altında stabildir. Ancak Al_2O_3 değildir ve reaksiyon katı halde de devam eder. Al_2O_3 ,Al – Mg alaşımlarında stabil olmadığı görülmektedir.

Arzu edilmeyen Al_4C_3 uygun Si içerikli Al – alaşımın seçimi ile bertaraf edilir. Diğer bir yol ,yüzeyde SiO_2 tabakası oluşturarak, SiC yüzeyini oksitlemektir.

Al_2O_3 takviyesinde , spinel reaksiyon (MgAl_2O_4) düşük Mg – içerikli matris kullanımı ile azaltılabilir.

Arayüzey reaksiyonların istenmeyen birkaç yan etkisi vardır. Al_4C_3 suda çözülmemektedir ve kompozitin korozyon özelliklerini azaltmaktadır. MgAl_2O_4 ,matrisin bileşimini değiştirmektedir.(Lloyd,1994)

Kompozitin döküm akışkanlığı da ayrıca önemlidir. Metalik ergiyik içersine partikül ilavesi, ergiyiği bulamaç gibi viskoz halde getirir ve bu da akışkanlığa etki eder. Döküm akışkanlığı sprial test ile belirlenmektedir. Test ,ergiyik bulamacın ,katılaşması oluşmadan önce , akacağı mesafenin ölçümüne dayanır. (Lloyd, 1994)



Şekil 3.7 Partikül boyu ve döküm sıcaklığının spiral akışkanlığa etkisi. (Al- 11,8 Si/ Al₂O₃ MMK için)
a.Döküm sıcaklığı ,680 °C,b.Döküm sıcaklığı,700 °C,c.Döküm sıcaklığı,740 °C.(Rohatgi,1992)

Teste etki eden faktörler , yüzey gerilimi , viskozite , aşırı ısıtma , soğutma hızı ve katılaşma hızıdır. Araştırmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir ,(Rohatgi,1992):

- Partikül hacim oranı artışı ile viskozite artar ,döküm akışkanlığı azalır. Kompozit bulamacın akışkanlığı , disperse olmuş partiküllerin hacim oranının değişmesine karşı aşırı hassastır ve partikül ilavesi ile keskin bir şekilde azalma gösterir.
- Partikül boyu küçüldükçe , viskozite artar.
- Arayüzey reaksiyonların artması ile viskozite artar. Arayüzey reaksiyonları arttıkça yüzey alanı artar. Yüzey alanı arttıkça , akışkanlık lineer olarak azalmaktadır.(Şekil 3.7)

Ergiyik kompozitin akışkanlığı aynı zamanda ,partiküllerin şekline , boyutuna ve ergiyik içindeki segregasyon durumuna da bağlıdır.

Sonuç olarak takviye reaktivitesi çok değişik açılardan , kompozitin davranışına etki etmektedir. Bu unsurlar ,hem kompozit üretiminde hem de kompozitin kullanımında dikkate alınması gerekmektedir.

3.3 Kompozitin Mikroyapısı

Mikroyapı görünüşündeki en önemli unsur takviye partiküllerin dağılımıdır ve bu dağılım üretim metodu ve takip eden imalat işlemlerine bağlıdır.

3.3.1 Takviyenin Dağılımı

Ergiyik metal karıştırma metodu ile üretilen kompozitlerde , takviye dağılımı çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Lloyd, 1994):

- a) Karıştırmanın sonucundaki dağılım
- b) Karıştırma işlemi sonrası ve katılaşma öncesindeki dağılım
- c) Katılaştırmanın sonucunda, yeniden dağılmış yapı.

Karıştırma işlemi esnasındaki dağılım , karıştırma yöntemine bağlı olacaktır. Gaz içermeyen ve mümkün olduğu kadar homojen bir dağılım üretmek zorunludur. Herhangi bir gaz girişi, partiküllerin etraflarında boşluklara sebebiyet verecektir.

Katılaşmadan önce ,yerçekiminden dolayı, partiküller segregasyon oluşturacaktır. Yüksek hacim oranlarında ve partikül boyutlarında , partikülün yerleşmesi engellenecektir. Yerleşme hızı (yada oranı), partikülün yoğunluğu ve boyutunun bir fonksiyonu olacaktır ve ayrıca partikül şekli de rol oynayacaktır.

Değişik şekil ve boyuttaki partiküllerin yerleşmesi ,değişik oranlarda olacaktır. Bu değişik oranlar aglomerasyon üretecektir,(Denklemler 3.5). (Lloyd, 1994)

$$V_c = V_0 (1-c)^p \dots\dots\dots 3.5$$

c : partikül konsantrasyonu

d : partikül çapı

D_k : konteyner çapı

$$p = 4.65 + 19.5 \cdot \frac{d}{D}, \quad (Re < 0.2) \text{ için}$$

$$p = (4.35 + 17.5 \cdot \frac{d}{D}) Re^{-0.03}, \quad (0.2 < Re < 1) \text{ için}$$

Re : Reynold sayısı

V_c : partikül hızı (yerleşme oranı)

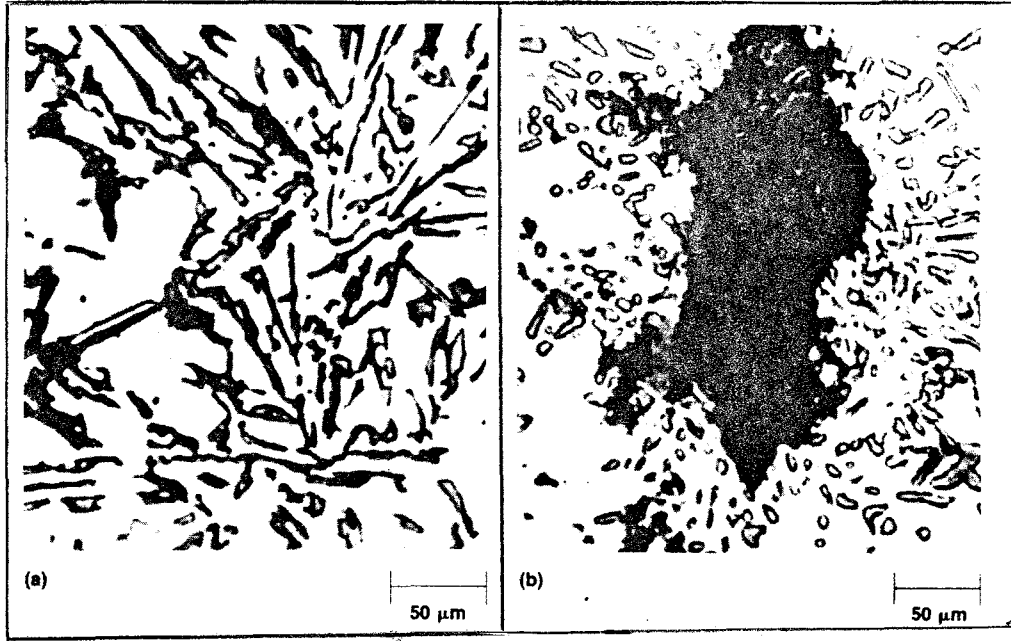
V_0 : Stokes Hızı

Takviye dağılımını etkileyen üçüncü faktör ,katılaşma prosesinin kendisidir. Ötektikaltı Al – alaşımlarında ,primer – Al ,süreksiz seramik fazdan (Al_2O_3 ,SiC,Gr.....) kaçınmakta ve partiküller arasındaki mesafede çekirdeklenmektedir.

Ancak özel yüzey modifikasyonu teknikleri kullanılarak partikül yüzeyinde heterojen bir çekirdeklenme başlatılabilir. Partiküller sıvı / katı arayüzey tarafından yakalanır ve katı için heterojen çekirdek olarak etki gösterirler. Eğer katılaşma çekirdeklenmesi oluşmaz ise takviye partikülleri sıvı / katı arayüzeyinden red edilerek , en son katılaştan dendritikler arası bölgeye yığılırlar.

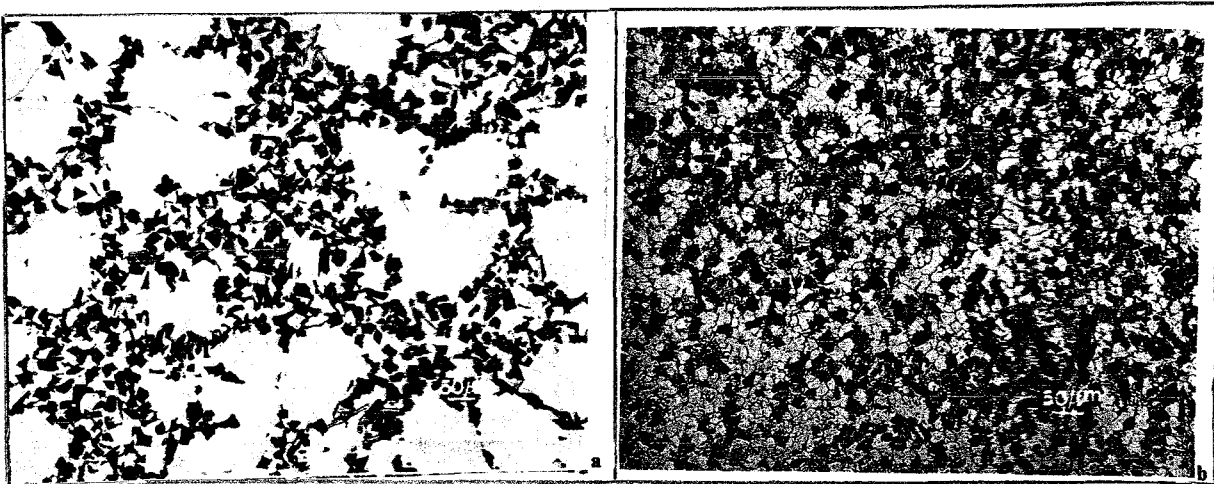
Ergiyikten kristalleşen primer – Al'un, partikül yüzeyinde çekirdeklenmemesinin sebebi , yüzey termodinamiği ve katılaştan arayüzeyler arasındaki sonsuz boşluklar içindeki termal alanlar ile baskı altındaki ikinci fazdır. Primer katı alfa-Al,ergiyikte çözüneni red etmektedir ve bu esnada süreksiz faz , difüzyonu ve metal akışını kısıtlamaktadır.

Süreksiz seramik faz ayrıca yapıyı modifiye etmekte ve inceltmektedir. Örneğin :Al – Si alaşımlarında ötektik – Si ,modifiye edilmekte , primer – Si ise, seramik fazın yüksek hacim oranlarında ve katılaşma esnasında , incelmektedir. (Şekil 3.8)



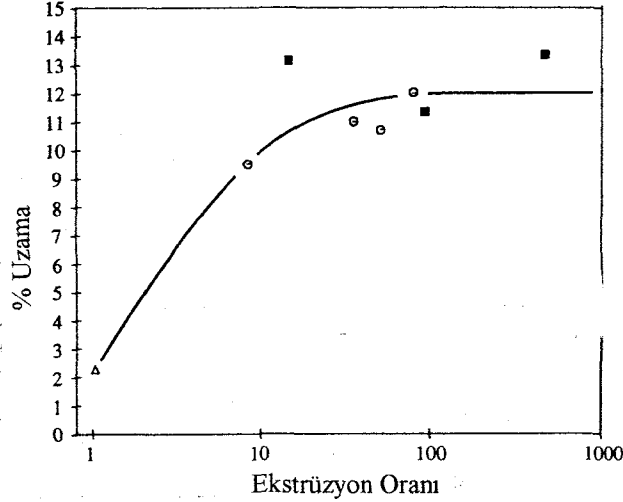
Şekil 3.8 Al – Si alaşımlarında Gr partikülün ötektik faz üzerindeki etkisi ,a. döküm alaşımında iğneye benzer ötektik – Si ,b. Gr – takviyeli döküm alaşımı ; ötektiğin modifikasyon şekli . (Rohatgi, 1992)

Partikül dağılımını ayrıca , soğutma hızı da etkilemektedir. Soğutma hızı yeteri kadar yüksek veya takviye hacim oranı yeteri kadar düşük ise , matris alaşımı , takviyeden etkilenmeden katılaşır.Yeteri kadar düşük soğutma hızlarında , takviye partikülleri arasındaki boşluklara göre karşılaştırıldığında , tane boyutu büyük olur . Bu olayda takviye , katı – fazın çekirdeklenmesini hızlandırmaktadır.



Şekil 3.9 Katılaştırma koşullarının partikül dağılımına etkisi,a.Düşük katılaşma hızı,gravite döküm b.Yüksek katılaşma hızı,pres enjeksiyon doküm. (Lloyd,1994)

Soğutma hızı daha da azaltılırsa ,mikrosegregasyon azalmakta , hatta mikrosegregasyonsuz bir yapı elde edilebilir.İkincil üretim işlemleri , ekstrüzyon ve haddeleme gibi , yapıyı belli oranlarda homojenize etmektedir.



Şekil 3.10 A356 /SiC / 15 p-T4 malzemedeki ekstrüzyon oranının artışına karşılık uzama değerinin değişimi. (Lloyd,1994)

3.4 Isıl İşlem Etkisi ve Tane Yapısı

Çökeltme sertleşmesi kompozit özelliklerini iyileştirmektedir. Yaşlandırma işlemine cevap veren bir çok MMK malzeme mevcuttur. Bazı çalışmalarda , düşük işlem sıcaklığında , yaşlanma kinetiğinin düşük olduğu görülmüştür. Yaşlanma etkisinin genelde , matris yapısı , üretim işlemi ve yaşlandırma sıcaklığına bağlı olduğu belirtilmiştir.

Hadde amaçlı kompozitlerde , rekristalizasyon,ısıl işlem esnasında oluşmaktadır. 1 μm 'den büyük partiküller bir deformasyon alanı oluştururlar ve bu yeniden kristalleşmiş bir çekirdek üretmeye yeterli olur. Ancak partiküller çok yakın yerleşmiş ise ,rekristalizasyon çekirdeklenmesi için alt tane büyümesi gerekeceğinden , bu yakın yerleşim bir engel teşkil edecek ve rekristalizasyon oluşmayacaktır.

Rekristalizasyon , $V_p/d > 0.1 \mu\text{m}$ olduğunda engellenecektir.

V_p : partikül hacim oranı

d : partikül boyu

V_p/d oranı 0.1 ‘den küçük bir çok ticari kompozit mevcuttur.

Yeniden kristalleşen kompozitin tane boyu , her bir (d) çaplı partikülün , dairesel bir (D) tanesi için , bir çekirdek olarak etki ettiğini düşünerek , hesaplanabilir. (Lloyd, 1994)

$$D = d [(1 - V_p) / V_p]^{1/3} \dots\dots\dots 3.6$$

$$\text{Sınırlı tane boyu ise } \frac{2d}{3V_p} \text{ ‘dir.}$$

% 20 hacimli ve 10 μm boyutlu partiküller için , $D \cong 15 \mu\text{m}$ ve sınırlı tane boyu $\cong 33 \mu\text{m}$ ‘dir. Yapılan bir deneysel çalışmada , 2014 / Al_2O_3 / 20p ,Al – Cu matrisli kompozitte , Al_2O_3 partiküllerin , çekirdeklenmeyi teşvik ettiği , rekristalizasyonu hızlandırdığı ve rekristalizasyon sıcaklığını düşürdüğü gözlenmiştir. Sonuçta eşeksenli tanenin büyüklüğü 15 μm olduğu ve kompozitin 500 ° C ‘de 150 saat , bekletilmesinden sonra ,tane boyunun sadece 17 μm ‘ye çıktığı gözlenmiştir. Bu deney yukardaki (3.6) eşitliğini doğrulamaktadır. Takviye partiküllerin yüksek hacim oranı , tane boyunu stabilize etmekte çok etkilidir.Akma dayanımı Hall – Petch eşitliğine göre , tane boyuna bağlıdır ve ince tane boyutlu kompozitlerin dayanımı daha yüksektir. (Lloyd, 1994)

4. ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Al – MMK 'lerin üretim ve döküm işlemi için temel gereksinim , seramik faz ile ergiyik alaşımın temas ve bağlanmanın sağlanmasıdır. Bu temelde iki yöntem ile elde edilir :

- Toz metalurjik yöntem ,ve
- Ergiyik karıştırma yöntemleridir

Başlıca ergiyik karıştırma ve partikül ilave teknikleri ise :

- Karıştırılan ergiyik içersine takviye partiküllerin ilavesi ,
- Takviye partikülün ve matris metalin önceden hazırlanmış palet ve briketlerin , yavaşça karıştırılan ergiyik içersine ilavesi ile ,
- Ultrasonik dalgalar ile çarkalama hareketi verilen ergiyik içersine takviyenin ilavesi. Kaviteasyon olayından dolayı meydana gelen basınç gradyanları ,takviye partiküllerin, ergiyik içinde homojen olarak karışmasını sağlar .
- Elektromagnetik olarak karıştırılan ergiyik içersine takviye ilavesi. Elektromagnetik karıştırmadan dolayı oluşan turbulans akışı , homojen bir dağılım sağlar.

Tüm tekniklerde , ıslanmayan takviye partiküllerini , ergiyik içersine transfer etmek ve homojen bir süspansiyon yaratmak için , dıştan bir kuvvet uygulama ihtiyacı olduğu görülmektedir.

Partikülün homojen dağılımı , ergiyik içersinde , katılaşmadan önce , çalkalanan kanallardaki , partikül hareketinin dinamiği tarafından kontrol edilmektedir.

Yayılmının kendi iç karışıklığından dolayı , döküm matriste spesifik bir partikül dağılımı için, başlangıçtaki proses koşulları optimize etmek güçtür. Görsel gözlemler bu durumda sistematik bir dizayn için en uygun bir rehber olmaktadır.

Elde edilen ergiyik / partikül karışımında oluşan bulamaç :

- Konvensiyonel döküm teknikleri ile , gravite döküm , enjeksiyonlu pres döküm , merkezkaç döküm gibi ,
- Yeni teknikler ile , sıkıştırılmalı döküm , spreycöktürme gibi, yöntemler ile dökümü yapılır.

Döküm yöntemi ve kalıp konfigürasyonu döküm kalitesi (partikül dağılımı ve dayanımı) için önemlidir. Çünkü ergiyik içinde , süspansiyon halindeki partiküller , fazlar tarafından hapsedilene kadar , yüzer bir harekete sahiptir.

Birçok Al – alaşımında hafif olan partiküller (Gr , poroz - Al_2O_3 gibi) dökümün üst kısımlarına doğru yığılırlar. Buna benzer, SiC , SiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 gibi partiküller , Al – alaşımlarından daha ağır olduklarından dökümün dip (taban) seviyesinde segregasyon oluştururlar.(Rohatgi, 1991,1992)

Fazların dağılımı , döküm öncesi ergiyik / partikül bulamacının kalitesine ve ayrıca aşağıdaki değişkenlere bağlıdır :

- Soğutma hızı
- Katılaşılan ergiyiğin viskozitesi
- Partikülün , şekil , boyut ve hacim oranı
- Partikül ve matrisin spesifik yoğunlukları
- Partikül ve matris alaşımının temel özellikleri
- Kristalleşen fazların kimyası ve morfolojisi , partiküller ile etkileşmesi , birincil – fazın partiküller üzerine çekirdeklenmesi , katılaşılan arayüzeylerde partiküllerin itilmesi ya da hapsedilmesi.
- Partiküllerin kümeleşmesi
- Katılama esnasında oluşan dış kuvvetler

Partikül takviyeli MMK ' lerin başlıca üretim yöntemleri :

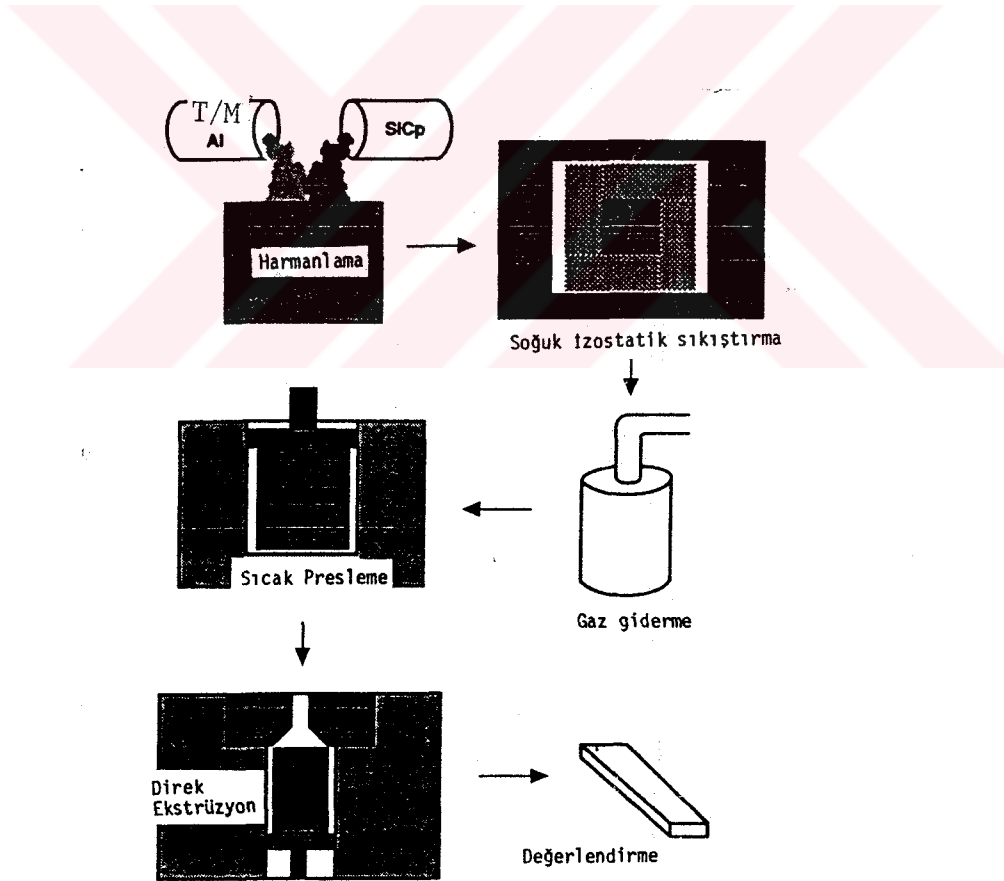
1. Toz – Metalurjik Yöntem (TM)

2. Ergiyik Metal Yöntemleri

- a) Karıştırma
- b) Yarı katı döküm
- c) Basınçlı infiltrasyon
- d) Basıncsız infiltrasyon
- e) Sprey – çöktürme
- f) Gaz enjeksiyon yada katı reaksiyonları ile takviye fazı oluşum(in-situ) yöntemi

4.1 Toz Metalurjik Yöntem (TM)

Şekil 4.1 'de toz metalurjik yöntem ile üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 4.1 Toz metalurjik yöntem ile üretim aşamaları,(Lloyd,1994)

Bu yöntemde, inert gaz altında atomize edilmiş Al-alışımı ve takviye partikül kuru olarak mikserde karıştırılır ve soğuk olarak sıkıştırılır. Gaz giderme işleminden sonra sıcak presleme ve takibinde talaşlı yada plastik şekil verme işlemi yapılır. Plastik şekil verme işlemi sonucunda son şekle yakın parça imal edilir. Tipik plastik şekil verme oranı 20:1 ve daha yüksektir.(Lloyd, 1994)

Matris metalin toz boyu genelde 20-40 μm 'dir. Başlangıç homojenitesini sağlamak için harmanlama işlemi önemlidir. Metal tozlar, hidrat oksitli film ile kaplı olabilir ve sıkıştırma işleminden önce, su moleküllerin, gaz-porozitesini ortadan kaldırmak için, ayrılması gerekir. Sıcak presleme ile kompozit %95 yoğunluk üzerinde pekiştirilir. Sıvı-faz sinterlemesinde yoğunlaştırmanın kinetiği daha yüksektir. Fakat bu bir dezavantajdır. Çünkü partikül ile metal arayüzeyinde daha fazla istenmeyen intermetalik reaksiyonlar oluşur.

Sıvı-faz sinterlemesi ayrıca hızlı katılaşan faz partiküllerin mikroyapısını da bozar ve ergiyik bölgelerde kaba ötektik intermetalik fazlar üretir.(Rohatgi, 1991, Lloyd, 1994)

Metal toz partikülleri arasındaki oksit filmi sıyrıp atmak ve iyi bir metal-metal teması ile devam eden birleşmeyi sağlamak için, yüksek ekstrüzyon oranları gereklidir. Ayrıca yüksek ekstrüzyon oranı homojen bir partikül dağılımı da sağlamaktadır. Ancak ekstrüzyon oranı ve sıcaklık, partikül kırılmasını engellemek için optimize edilmelidir.

Toz metalurjik yöntemin başlıca avantajları:

- Herhangi bir alaşım matris olarak kullanılabilir. Hızlı katılaşan malzemeler gibi, dengesiz alaşımlar matris olarak kullanılabilir. Bu özellik yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılacak kompozitler için önemlidir.
- Herhangi bir takviye kullanılabilir. Çünkü katı hal işlemi takviye ile matris arasındaki reaksiyonları en aza indirir.
- Yüksek hacim oranlı kompozit üretilir. Bu da elastiklik modüllerini yükseltir ve kompozitin termal genleşme katsayısını düşürür.

Yöntemin başlıca dezavantajı, tozların reaktif olması, patlama ihtimali doğurur. Yöntem aşamaları komplekstir. Üretilecek ürün formu ve şekli kısıtlıdır. Sonuçta, üretilen mamül pahalıdır. (Yaklaşık 100 US\$/Kg).

4.2 Ergiyik Metal Yöntemleri

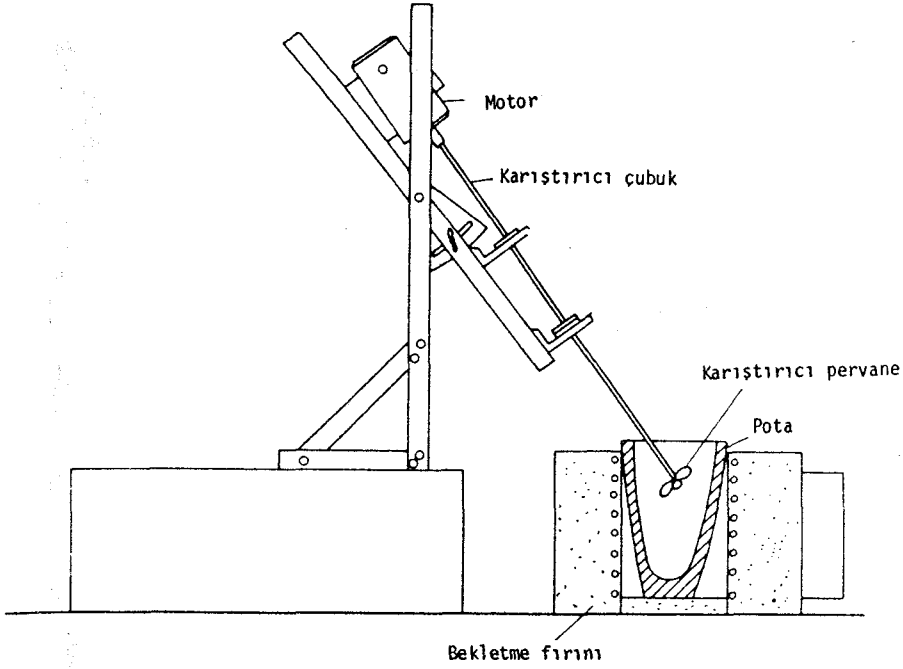
Önceleri seramik partiküllerin, ergiyik metale katılması sınırlıydı. Çünkü birçok metal seramik partikülleri ıslatmamaktaydı ve bu partiküllerin geri itilmesi ile sonuçlanmaktaydı.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, takviye partikül ile ergiyik-Al arasındaki temas açısı, başarılı bir katma işlemi için, 90°'nin altında olması gerektiğidir. Islatma açısı sabit damla metodu ile ölçülür. Bu metoda etki eden faktörler, oluşum ısısı , stokiometri , valans elektron konsantrasyonu, arayüzey reaksiyonları, sıcaklık ve zamandır.

Genel olarak ,800 °C 'nin altındaki sıcaklıklarda, ergiyik-Al seramik partikülleri ıslatmamaktadır. Islatma özelliğini geliştirmek için, çeşitli ergiyik metal metodları geliştirilmiştir :

4.2.1 Karıştırma Yöntemi

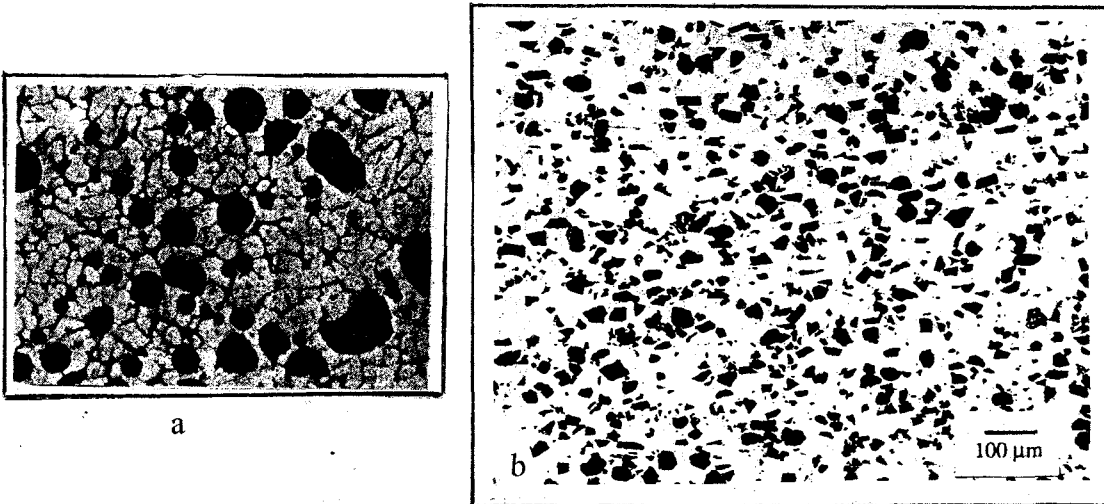
Yöntem mekanik bir pervane ile yaratılan vorteks etrafından takviye partiküllerin ergiyik metal içersine ilavesine dayanır. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 Karıştırma metodunda kullanılan mekanik karıştırma sistemi, (Rohatgi, 1992)

Yüzey aktifleştirici elementler, Mg gibi, ya da metal kaplı partiküllerin katılması, yonteme yardımcı olur.

Duralcan-U.S.A. firması tarafından geliştirilen proses ile, $10\mu\text{m}$ ve daha büyük boyutlu kaplamasız seramik partiküllerin kullanımı ile, konvansiyonel Al-alışımları ile %25 takviye hacim oranına kadar, MMK malzeme üretilebilir.

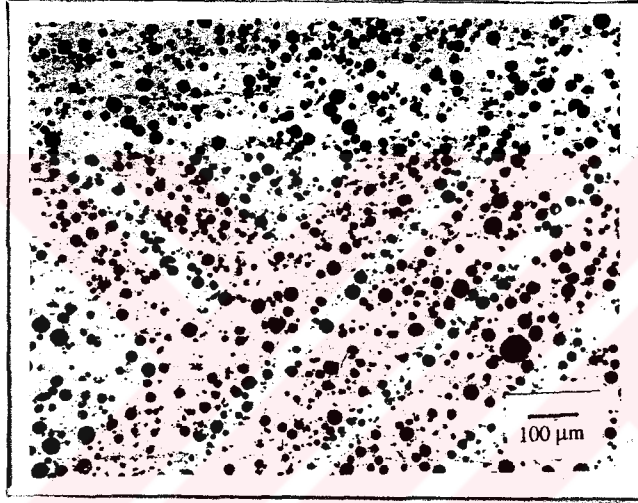


Şekil 4.3 % 20 Al_2O_3 hacim oranı takviyeli, a. Al-Si matrisli (döküm), b. 6061 matrisli ekstrüde edilmiş yapı, (Rohatgi, 1991, Lloyd, 1994)

Ergiyik karıştırma yönteminin çekici olmasının sebebi, tüm konvensiyonel metal imal ve işlem yöntemlerinin uygulanmasının mümkün oluşudur ve bu maliyetleri düşürmektedir. Bu yöntem ile üretilen MMK malzeme fiyatı 6.0 US\$/kg civarındadır. (Lloyd, 1994)

Karıştırma yönteminde, halen bazı problemler mevcuttur:

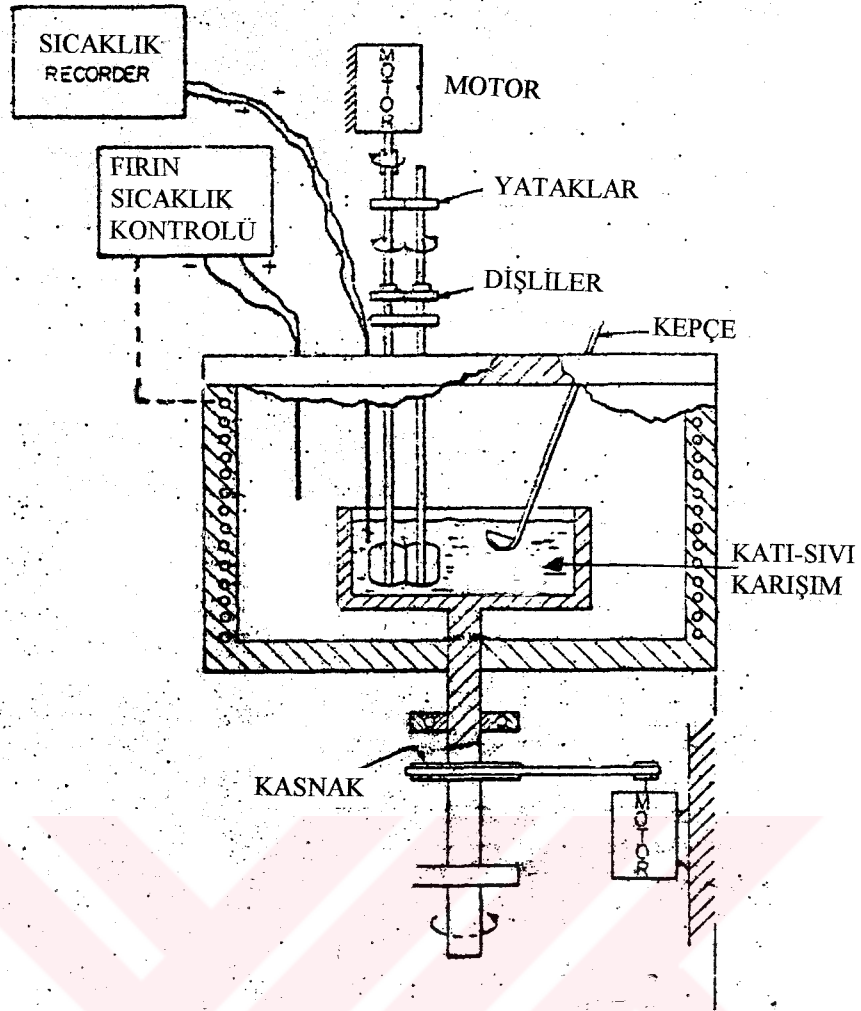
- Takviye ile ergiyik arasındaki reaktivite,
- Partikül segregasyonu,
- Takviye hacim oranı sınırlıdır. Partikül oranının artması ile ergiyik viskozitesi de artmaktadır.



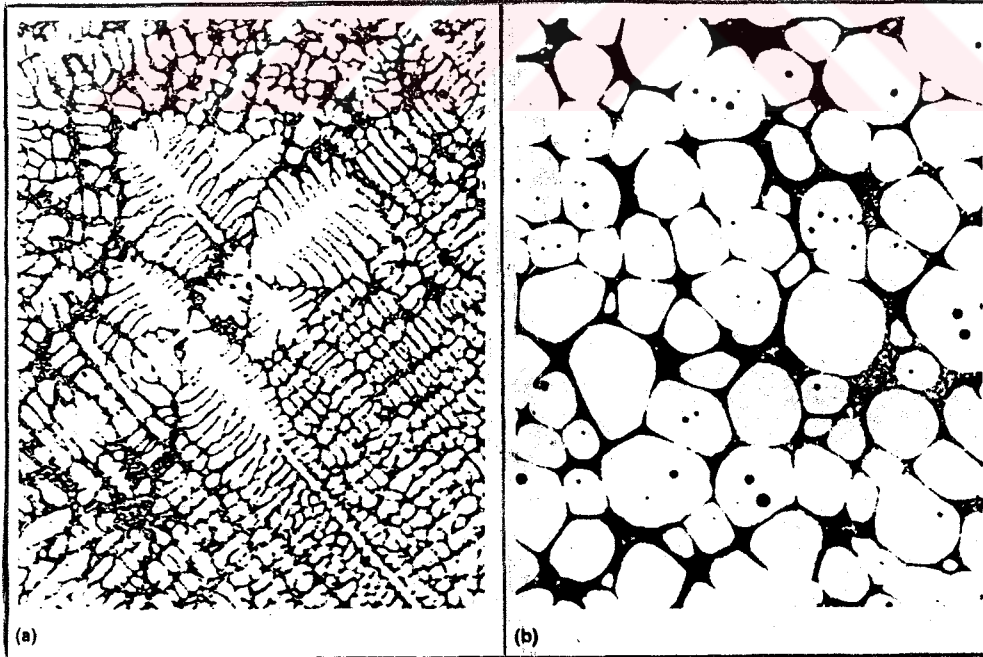
Şekil 4.4 6061/Al₂O₃-SiO₂/20p kompozit, ekstrüzyondan sonraki küresel oksitli mikroyapı. (Lloyd, 1994)

4.2.2 Yarı-Katı Döküm

Takviye partiküller (Al₂O₃, SiO₂ gibi), şiddetli çalkalanan yarı-katı bulamaç içine katılarak, kompozit imali gerçekleştirilir. Metalin ergime ve katılma sıcaklığı arasında tutulan alaşımın bulamacında oluşan önötektik faz arasında mekanik olarak takviye partiküller hapsedilmektedir. Mekanik çalkalama altında, bu tür alaşım tiksotropi özelliği gösterir (Şekil 4.6) ve viskozite, çalkalama hızı arttıkça azalır. Partiküllerin bulamaçta, kalma süresini arttırdıkça, ısıtma özelliği ve yüzeyde oluşan kimyasal reaksiyonlardan dolayı bağlanma artar. (Mehrabian vd. 1974)



Şekil 4.5 Yarı-Katı döküm metodu ile MMK üretim sistemi(Mehrabian,1974)



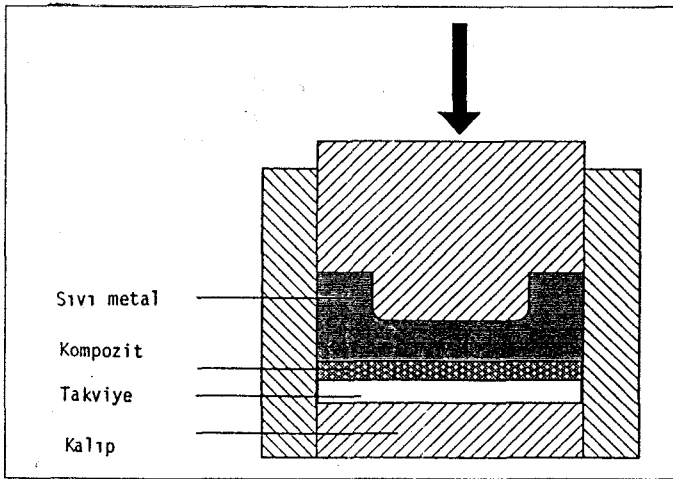
Şekil 4.6 357(Al-7Si-0.5Mg) alaşımın, a. konvensiyonel dökümdeki dendritik mikroyapısı, b. tiktotropik döküm esnasında oluşan dendritik olmayan yapı.(Metals Handbook,1997)



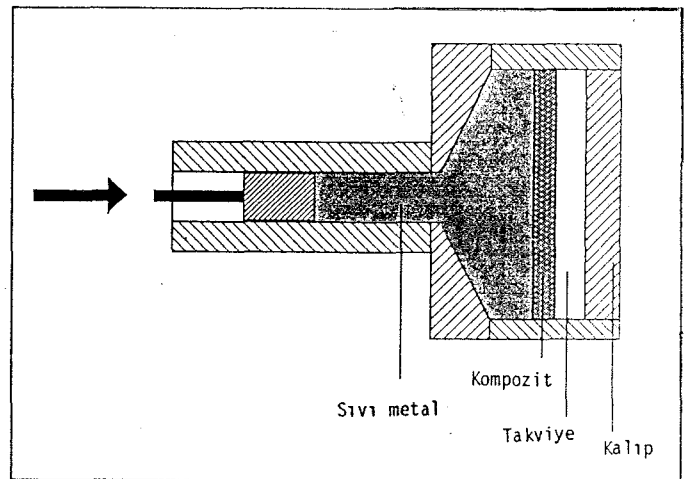
Şekil 4.7 Al-Si5-Fe2/ Al₂O₃ /30p (ağırlıkça), malzemenin ~x5,3 büyütmedeki mikroyapısı, Al₂O₃ partikül boyu 340 µm .(Mehrabian,1974)

4.2.3 Basınçlı İnfiltrasyon Tekniği

Takviye partiküllerden önceden hazırlanıp şekillendirilmiş preforma, ergiyik metalin basınçlı olarak infiltre edilmesi ile MMK malzeme üretimine dayanır. Burdaki işlemde bir "master kompozit" üretilir. Master kompozit %50 oranında takviye içerir. Daha sonra "master kompozit" ergiyik metal içerisine atılarak, karıştırma yardımıyla, seyreltme işlemi yapılır. (Ancak burada "master kompozitin" yüksek viskozitesinden dolayı ,dispersiyonu zordur). (Mortensen, 1993. a)



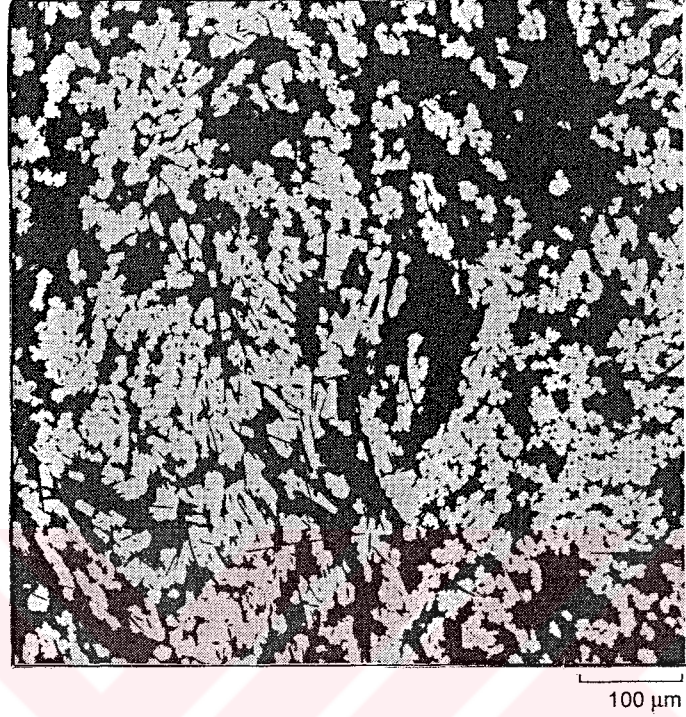
a



b

Şekil 4.8 Basınçlı İnfiltrasyon yönteminin şematik görünümü; a. Pres döküm, piston kalıbın şeklini almakta, b. Pres enjeksiyon döküm, piston ergiyik metali kalıbın içindeki preforma itmekte. (Mortensen, 1993 a)

Bu yöntem ile yüksek takviye hacim oranlı kompozit imal edilebilir ve master kompozit oldukça düşük poroziteye sahiptir.



Şekil 4.9 Saffil-Alümina takviyeli preforma, sabit sıcaklıkta (700°C) saf -Alüminyum infiltr edilmiş mikroyapı, uygulanan basınç 0.6MPa. (Mortensen, 1993a)

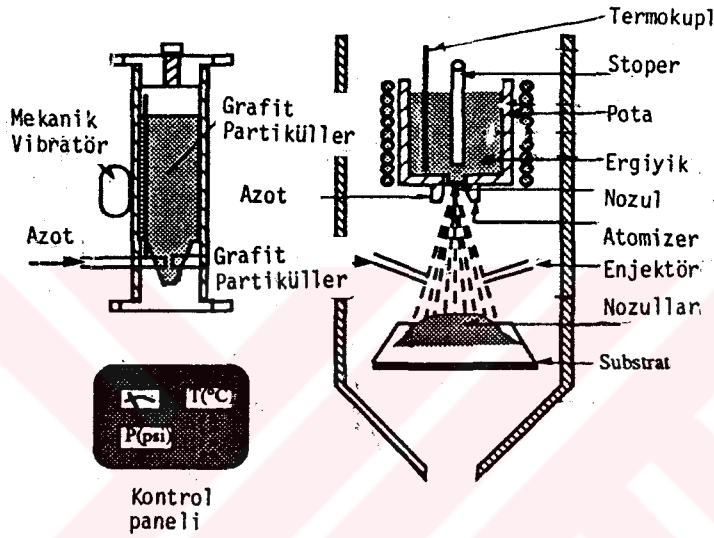
4.2.4 Basıncız İnfiltrasyon Yöntemi

Primex olarak isimlendirilen bu yöntem, takviye partiküllerden hazırlanmış preforma, azot atmosferinde, bir Al-alışımının basıncız olarak infiltrasyonuna dayanır. Alışım ve partiküller 800°-1000°C'ye ısıtılır. Partikül hacim oranı bu yöntemde %45-70 gibi yüksektir. Al_2O_3 ve SiC gibi partiküller, 1μm boyutta, çok ince olarak infiltrate edilebilir.

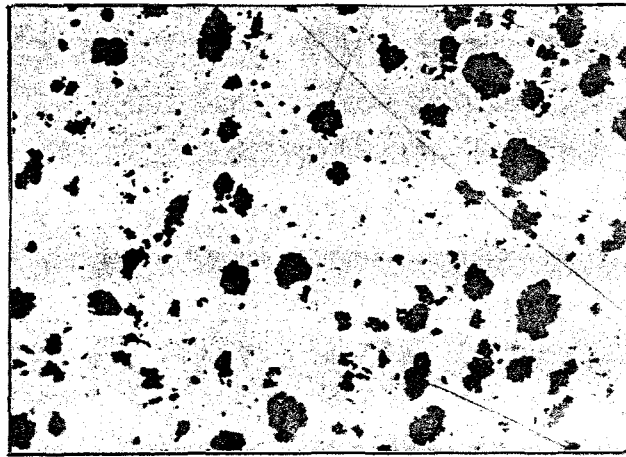
İşlem esnasında, alüminyum-nitrad bileşikleri oluşur ve kompozit özelliklerini etkiler. Bu yöntem ile yüksek hacim oranlı, son şekle yakın parça imali mümkündür. (Lloyd, 1994, Rohatgi, 1992)

4.2.5 Sprey Çöktürme Yöntemi

Atomize edilen metal, takviye ile birlikte, çöktürme yapılan yüzey üzerine spreylendirilerek, MMK malzeme elde edilmektedir. Oldukça hızlı katılacak bir prosesdir. Yöntemin avantajlı yönü, takviye ile ergiyik arasındaki temas süresi çok kısadır ve reaksiyon oluşumu çok sınırlıdır. Başlangıçta üretilen kompozit %95-98 yoğunluktadır ve tam yoğunluk elde etmek için ikinci bir işlem gereklidir. (Perez, 1993).



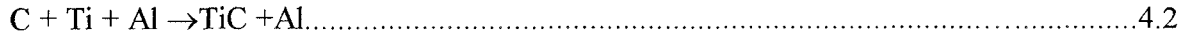
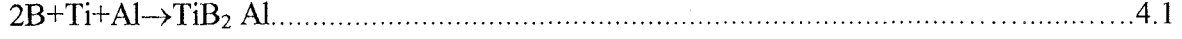
Şekil 4.10 Sprey-atomizasyon ve çöktürme metodu. (Perez, 1993)



Şekil 4.11 Sprey çöktürme ile üretilen, Al₂O₃ takviyeli MMK mikroyapısı (X100 büyütme). (Singer, 1991)

4.2.6 Gaz Enjeksiyon yada Katı Reaksiyonları ile Takviye Faz Oluşumu (in-situ) Yöntemi

Yöntem takviye partiküllerin ergiyik metal içinde tabii olarak üretimine dayanır. En önemli iki bileşik TiC ve TiB₂, takviye olarak kullanılır ve aşağıdaki reaksiyonlar ile oluşturulur.

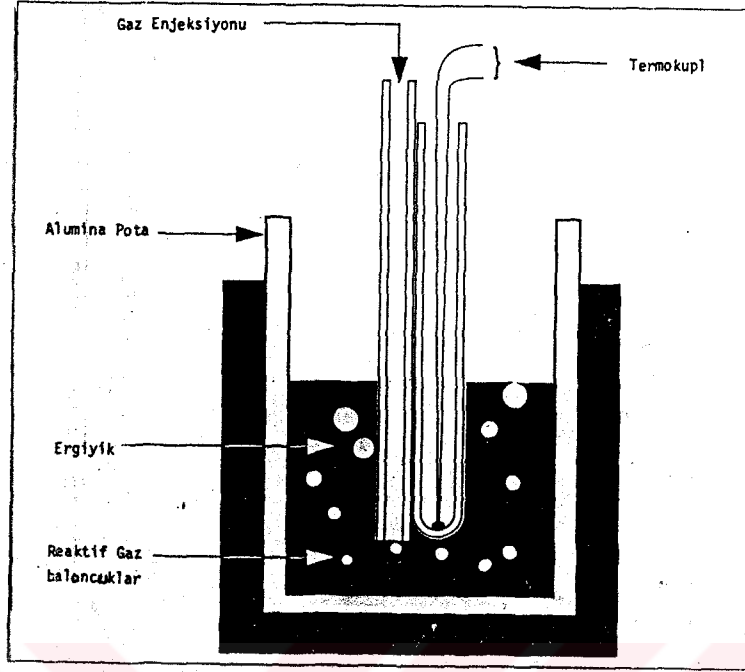


Ergiyik içinde üretilen takviye, tek kristal formdadır ve arayüzler oksit içermez. Proses parametrelerinin ayarlanması ile 0.2 ile 10 µm boyutlu takviye üretilebilir. Başlangıçta üretilen kompozit " master kompozit " olarak kullanılır ve daha sonra matris içinde seyreltilerek , arzu edilen kompozit alaşımı üretilir.

XD-prosesi, Al-ergiyik metal içersinde ekzotermik reaksiyon gösterecek ve takviye seramik fazın oluşmasını sağlayacak bileşiklerin atılmasını içerir. Al-Ti, Al-B ve C tozları, ergiyik içerisine atılarak karıştırılır. Yeteri kadar yüksek sıcaklara çıkılarak TiC veya TiB₂ oluşumu gerçekleştirilir.

Reaktif-gaz enjeksiyonu yönteminde, Al-Ti alaşımı ergiyik içerisine, direk olarak karbon taşıyıcı gaz enjektisi ile, takviye in-situ olarak oluşturulur.

Bu yöntemin en önemli avantajı, arayüzey dayanımının diğer yöntemlere nazaran yüksek olmasıdır. Çünkü takviye ile matris arayüzeyi doğaldır. (Sahoo, 1991b, Koczak, 1993).



Şekil 4. 12 Reaktif-gaz enjeksiyon yönteminin şematik görünümü. (Koczak, 1993)

4.3 MMK'lerin Dökümü

MMK 'lerin dökümünde kullanılan başlıca medotlar:

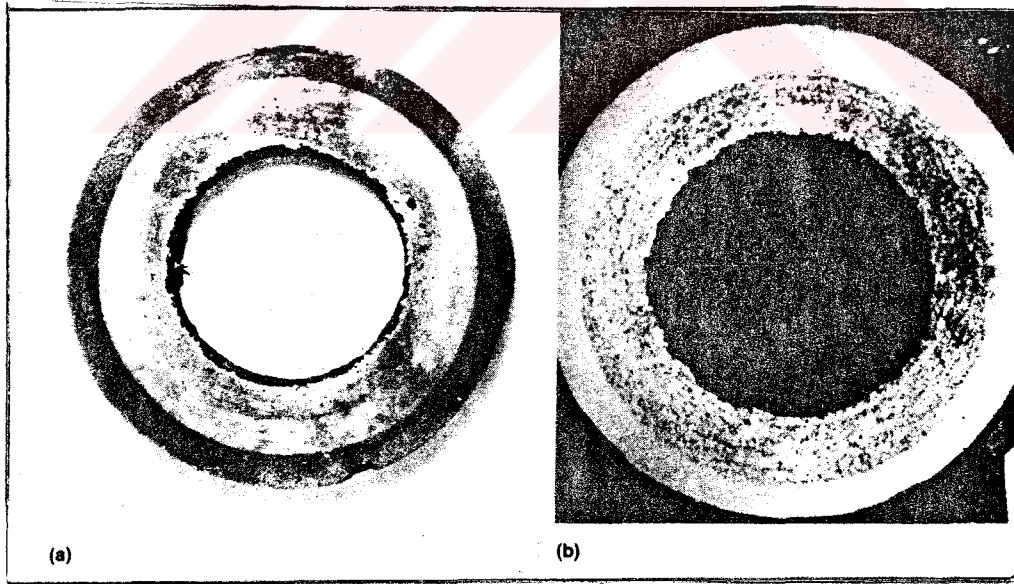
- Kum kalıba döküm
- Metal kalıba döküm
- Enjeksiyon pres döküm
- Merkezkaç döküm
- Sıkıştırılmalı dökümdür.

MMK 'in kum kalıbı dökümünde, düşük katılaşma hızı elde edilir. Döküm yüzeyine yakın yerlerde, yüksek takviye hacim oranlı yüzey oluşur. Aşınma direnci yada kendiliğinden yağlama gerektiren uygulamalarda, yöntem idealdir.

Metal kalıba dökümde elde edilen yüksek katılaşma hızı, daha homojen partikül dağılımı imkanı sağlar.

Çok sayıda ve daha karışık şekilli parça imalinde MMK'in pres enjeksiyon dökümü ile hızlı imalat mümkündür. Basınç değeri genelde 15MPa ve altındadır. Bu yöntem ile porozitesiz kompozit imali mümkündür. Arayüzeyde porozite çok azdır ve segregasyon minimumdur. Oldukça homojen partikül dağılımlı yapı elde edilebilir. Al-Si8-Mg0,75/Al₂O₃ takviyeli kompozitin basınçlı enjeksiyon dökümünde, kayda değer bir homojen partikül dağılımı görülmüş, oldukça iyi partikül-matris bağlanması sağlanmış ve yapı porozitesiz olarak gerçekleşmiştir.(Rohatgi 1991, 1992)

Merkezkaç dökümde, katılaşılan kompozitte, iki farklı zon oluşur, partikülce zengin ve az dağılımlı bölge. Eğer partiküller ergiyikten hafif (Gr. gibi) ise iç kısımlarda partiküllerce zengin dairesel bir yüzey oluşur, partiküller daha yoğun ise (SiC gibi) dış yüzeyde yığılmış olur. Bu da yatak uygulamalar için, yüksek partikül hacim oranlı yüzey üretim imkanı sağlar. Partikülce zengin bölgenin kalınlığı, döküm sıcaklığının ve dönme hızının artması ile azalmaktadır. Ağırlıkça %8'e kadar Gr ve %30'a kadar Zr partikülleri bu teknik ile seçilmiş yüzeylere teşkil ettirilebilir.(Şekil4.13)



Şekil 4.13 Merkezkaç döküm ile imal edilmiş yatak malzemesi. a. ZrO₂ partiküller dış yüzeyde yığılmış, b. Gr partiküller iç yüzeyde yığılmış .(Rohatgi, 1992)

Sıkıştırılmalı döküm yönteminde, önceden şekillendirilmiş takviye-preforma, ergiyik metalin tek yönlü basınçlı infiltrasyonu ile, MMK malzeme, son-şekline yakın olarak üretilir. Proses değişkenleri; takviyenin ön ısıtma sıcaklığı, takviye partiküller arası boşluk, infiltrasyon basıncı ve hızı, ile metalin aşırı-ısıtma sıcaklığıdır. Eğer metal yada takviye sıcaklığı düşük ise, zayıf infiltre edilmiş yada porozlu yapı elde edilir. Eğer sıcaklık çok yüksek ise, aşırı metal/takviye reaksiyonları döküm özelliklerini azaltacaktır. Eğer enjeksiyon hızı çok yüksek ise takviye performu infiltrasyon esnasında deforme olabilir.

Sıkıştırılmalı döküm ile üretilen parçalar, ince ve eşeksiz yapı gösterirler.(Hızlı ısı transferi ve büyük alt soğumalardan dolayı) .Basınç değerleri genelde 70 ile 200 MPa'dır.(Rohatgi,1992)

4.4 MMK 'lerde tekrar ergitme ve gaz-giderme işleminin etkisi

Al/Gr MMK'lerin ergitilmesi ve gaz giderilmesi üzerine yapılan araştırmalarda, tekrar ergitme ve N_2 ile gaz giderme işlemlerinde, kayda değer bir partikül kaybı görülmemiştir. Hatta üç-ergitme işleminden sonra grafit dağılımının homojenliği korunduğu gözlenmiştir.

Ancak klorin ve klorin-bazlı gazlar ile yapılan gaz gidermede (hexokloretilen ile) partikülün ergiyikten geri itilmesi ve dağılım bozukluğu görülmüştür. Bunun sebebi de klorinin, alüminyum ile grafit arasındaki ıslatma özelliğini bozduğundan dolayı kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Modifikasyon için kullanılan sodyum yada sodyum-bazlı bileşiklerin, Gr-ilavesinden önce, alaşıma katıldığı takdirde, Gr dağılımının etkilenmediği görülmüştür. Fakat Gr-ilavesinden sonra, Na, katılımı, klorin açığa çıkardığından dolayı, Gr partiküllerin ergiyikten geri itilmesine sebep olmaktadır.(Rohatgi,1992)

5. ALÜMİNYUM METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Düşük maliyetli, yüksek elastik modül ve dayanımlı, yüksek aşınma dirençli ve fabrikasyonu kolay oluşundan dolayı partikül takviyeli alüminyum alaşımları ticari olarak üretim aşamasına gelmişlerdir.

Bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen faktörleri anlamak oldukça önemlidir, çünkü takviye tipine, üretim metoduna, ilk üretimden takip eden imalat işlemlerine göre hassaslık gösterir. Bu yüzden en iyi özellikleri elde etmek için anahtar faktörleri mümkün olduğu kadar anlamak gerekir.

5.1 Elastiklik Modülü

Elastiklik modülü takviye hacim oranının artışı ile belirgin bir şekilde yükselir. Karışımlar kuralına göre :

$$E_c = V_p \cdot E_p + V_m \cdot E_m \dots \dots \dots 5.1$$

E_c, E_p ve E_m sırasıyla kompozitin, partikülün ve matrisin elastiklik modülleridir. V_p ve V_m partikül ve matrisin hacim oranlarıdır.

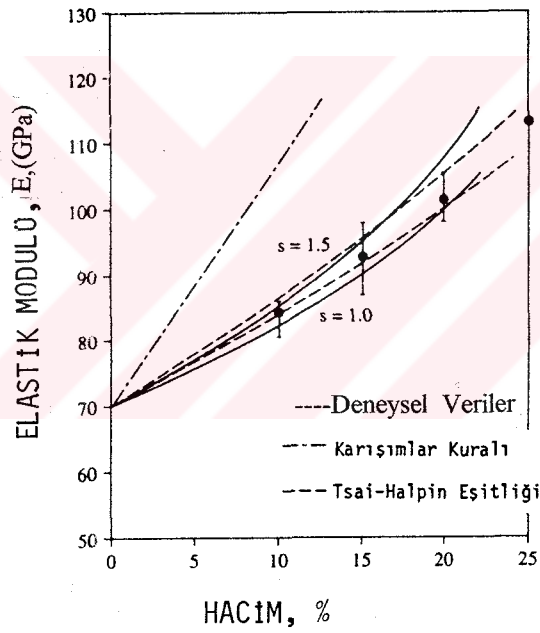
Karışımlar kuralı daha çok sürekli fiber takviyeli kompozitler için geçerlidir ve partikül takviyeliler için Halpin-Tsai eşitliği olarak modifiye edilmiştir.(Lloyd,1994)

$$E_c = \frac{E_m (1 + 2s \cdot q \cdot V_p)}{1 - q \cdot V_p} \quad \dots\dots\dots 5.2$$

$$q = \frac{(E_p/E_m - 1)}{(E_p/E_m) + 2s} \quad \dots\dots\dots 5.3$$

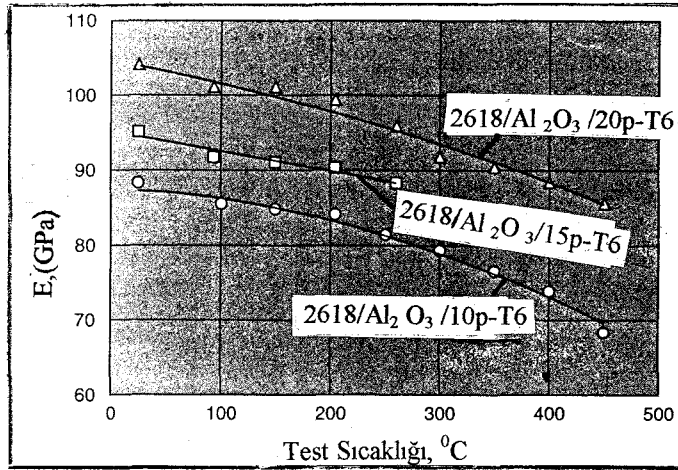
s = Partikülün boyut oranı(çap/boy)

Şekil 5.1 ' de görüldüğü gibi Halpin-Tsai eşitliği deneysel verilere göre iyi sonuç vermektedir.



Şekil 5.1 Elastiklik modulünün, partikül hacim oranına göre değişimi(Lloyd,1994)

Geliştirilmiş elastiklik modülü, yüksek sıcaklıklarda da bu özelliğini korumaktadır.

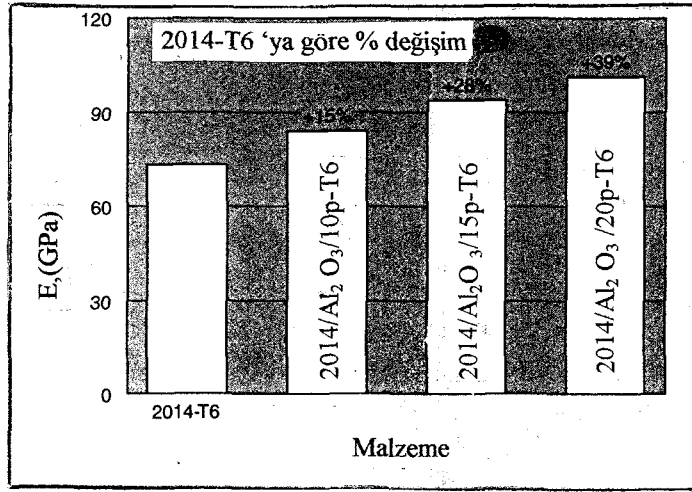


Şekil 5.2 Al₂O₃ takviyeli 2618 alaşımın sıcaklığa bağlı olarak, elastiklik modulünün değişimi. (Duralcan, 1993)

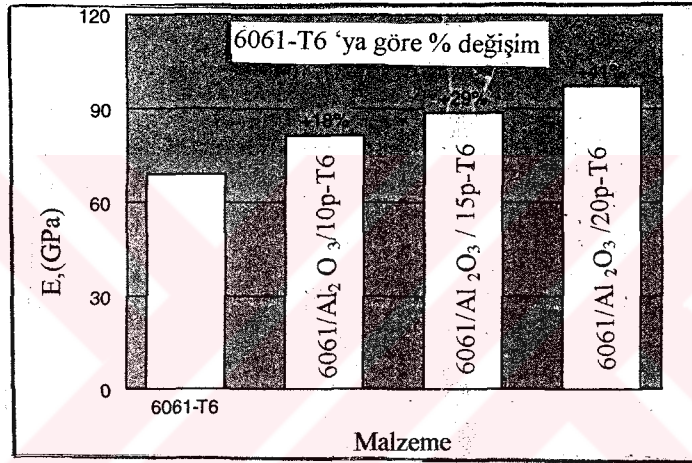
Çizelge 5.1 2618/ Al₂O₃ takviyeli alaşımda elastiklik modulün, yüksek sıcaklık değerleri* (Duralcan, 1993)

Test Sıcaklığı (° C)	Elastiklik Modulü (GPa)		
	2618/Al ₂ O ₃ /10p-T6	2618/Al ₂ O ₃ /15p-T6	2618/Al ₂ O ₃ /20p-T6
25	88.3	95.1	104
93	-	91.7	101
100	85.5	-	-
149	84.8	91.0	101
204	84.1	90.3	99.3
250	81.4	-	-
260	-	88.3	95.8
300	79.3	-	91.7
350	76.5	-	90.3
400	73.8	-	88.3
450	68.3	-	85.5

* Değerler yüksek sıcaklık strain-gage veya lazer-ultrason tekniği ile ölçülmüştür.



Şekil 5.3 2014/Al₂O₃ takviyeli malzemede elastiklik modülünün, takviye hacim oranına göre değişimi (Duralcan, 1993)



Şekil 5.4 6061 /Al₂O₃ takviyeli malzemede, elastiklik modülünün, takviye hacim oranına göre değişimi (Duralcan, 1993)

5.2 Dayanım

$$\sigma_c = (V_p \cdot \sigma_m \cdot s/4) + V_m \cdot \sigma_m \dots\dots\dots 5.4$$

eşitliği MMK'in dayanımını belirler. Burada,

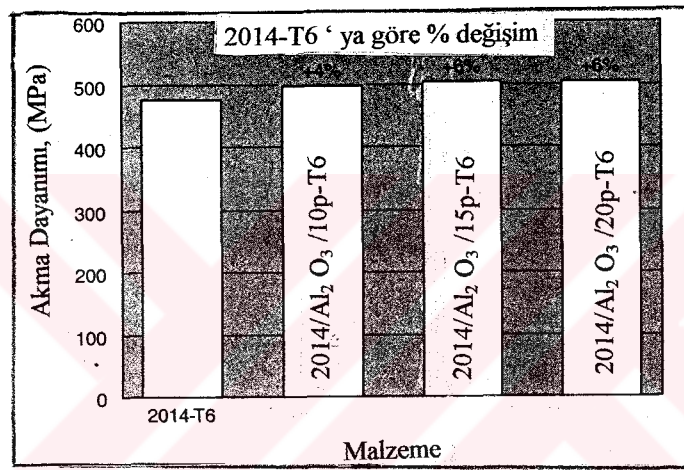
σ_c : Kompozitin akma dayanımı

σ_m : Matrisin akma dayanımı

s : Partikülün boyut oranıdır. Bu oran partikül takviyeli MMK'lerde tipik olarak 1-5:1'dir. Dayanıma en çok etki eden faktör, takviyenin hacim oranıdır, ve hacim oranı artışı ile dayanım artar, (Şekil 5.5 ve 5.6). Dayanım partikül boyuna çok az bağlıdır. Dayanım artışı, matrisin mikroyapısına da bağlıdır.

Aşırı yaşlandırılmış malzemede dayanım çok düşüktür. Yaşlandırma sertleşmesine tabi tutulmuş alaşımlar iç gerinimlere karşı daha hassastırlar ve gerinim artışı ile şekil verme oranı, hızlı bir azalma gösterir. Bu etki aynen kompozit malzemede de olur ve bu da dayanımın alaşım ve ısıtma işlem durumuna bağlı olduğunu gösterir.(Lloyd,1994)

Bir kompozitte, dayanım artışı elde etmenin yolu, gerilmeyi matrsten daha mukavemetli olan takviye partikülüne transfer edebilme yeteneğine bağlıdır. Bu da partikül ile matris arasında kuvvetli bir arayüzey bağlantısı ile olur.

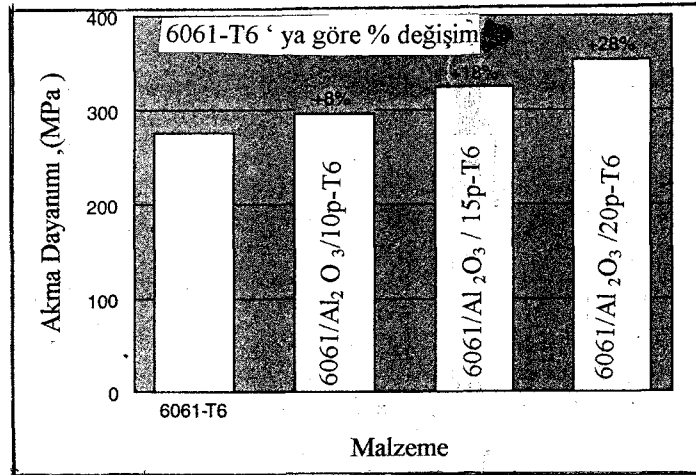


Şekil 5.5 2014/ Al₂O₃ takviyeli malzemede, akma dayanımının, takviye hacim oranına göre değişimi.(Duralcan,1993).

Çizelge 5.2 2014/ Al₂O₃ takviyeli malzemede, çekme dayanımı değerleri,*
Tipik ve(minimum) değerler. (Duralcan, 1993)

Malzeme	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı(MPa)	% Uzama	E(GPa)
2014-T6	524(469)	476(414)	13	73.1
2014/Al ₂ O ₃ /10p-T6	531(496)	496(455)	3	84.1
2014/Al ₂ O ₃ /15p-T6	531(496)	503(462)	2	93.8
2014/Al ₂ O ₃ /20p-T6	517(483)	503(462)	1	101.0

*Tüm ölçümler ekstrüde edilmiş çubuk malzemede yapılmıştır. (Ekstrüzyon oranı ~ 20:1). (Duralcan,1993)



Şekil 5.6 6061/Al₂O₃ takviyeli malzemede akma dayanımının, takviye hacim oranına göre değişimi. (Duralcan, 1993)

Çizelge 5.3 6061/Al₂O₃ takviyeli malzemede çekme dayanımı değerleri*, Tipik ve (minimum) değerler. (Duralcan, 1993)

Malzeme	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı(MPa)	% Uzama	E(GPa)
6061-T6	310(262)	276(241)	20	68.9
6061/Al ₂ O ₃ /10p-T6	352(324)	296(262)	10	81.4
6061/Al ₂ O ₃ /15p-T6	365(338)	324(290)	6	88.9
6061/Al ₂ O ₃ /20p-T6	372(345)	352(317)	4	97.2

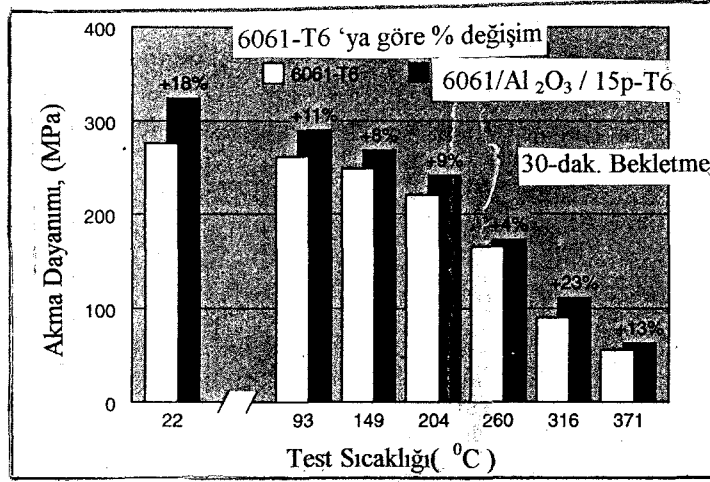
*Tüm ölçümler ekstrüde edilmiş çubuk malzemede yapılmıştır(Ekstrüzyon oranı ~ 20:1). (Duralcan, 1993)

Bağlanma zayıf ise, arayüzey, herhangi bir gerilimin partiküle transferinden önce, hasara uğrayacaktır ve herhangi bir dayanım artışı olmayacaktır. Kompozit gerçekte, takviyesiz matristen bile zayıf olacaktır. Çünkü yükü çeken efektif alan azalacaktır. Oluşan artık ısı gerilmeler ve partikül dağılımının homojen olmaması, erken bir plastisiteye yol açmakta ve düşük gerinim oranlarında, dayanım artışı olmamaktadır. (Lloyd, 1994)

Ticari açıdan bakıldığında, kompozitin yüksek sıcaklıklardaki dayanım davranışı da önemlidir. Partikül takviyesi, matrisin yüksek sıcaklıklarda modulünü geliştirmektedir. Fakat kompozitin dayanımı öncelikle matris alaşımının yüksek sıcaklıklardaki dayanımının kontrolündedir. Yine de bir artış, takviyesiz alaşıma göre söz konusudur. (Şekil 5.7)

Toz metalurjik yöntemde, hızlı katılaştıran alaşımlarının kullanımı ile, iyileştirilmiş yüksek sıcaklık dayanımı elde edilir. Diğer bir yol, normal katılaştıran matrislerde çok yüksek hacim oranlı takviye kullanımıdır. Basıncsız metal infiltrasyon yöntemi ile, %60'a yakın partikül

hacim oranı elde edilebilir. Burda yüksek sıcaklık dayanımı büyük bir avantajdır, fakat bu süneklikte bir kayıptır. (Lloyd ,1994)



Şekil 5.7 6061/Al₂O₃/15p-T6 malzemedeki yüksek sıcaklık dayanımı değerlerinin 6061-T6 alaşımına göre değişimi. (Duralcan, 1993)

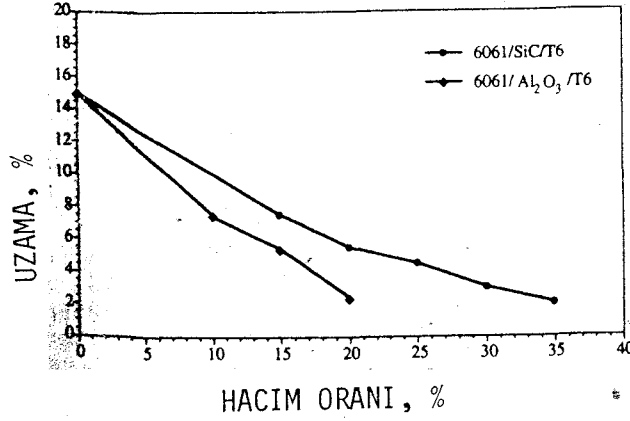
Çizelge 5.4 6061/Al₂O₃/15p-T6 ve 6061-T6 malzemedeki yüksek sıcaklık dayanım değerleri*. (Duralcan ,1993)

Sıcaklık(°C)	Çekme Dayanımı(MPa)		Akma Dayanımı (MPa)	
	6061-T6	6061/Al ₂ O ₃ /15p-T6	6061-T6	6061/Al ₂ O ₃ /15p-T6
22	310	365	276	324
93	283	331	262	290
149	262	303	248	269
204	228	262	221	241
260	172	179	165	172
316	97	117	90	110
371	59	69	55	62

* 6061-T6: Handbok değerleri, 6061/Al₂O₃/15p-T6:ortalama 4 adet numune, Bekletme süresi 30 dak.

5.3 Uzama

MMK'lerin mekanik özelliklerindeki ana sınırlama, sınırlı oran süneklik değeridir. Kopma uzaması,takviye ilavesi ile hızlı bir şekilde azalmaktadır. (Şekil.5.8)



Şekil 5.8 6061 matrisli SiC ve Al₂O₃ takviyeli malzemede, kopma uzamasının takviye hacim oranına göre değişimi. (Lloyd, 1994)

Isıl işlemleri gören alaşımlarda, yaşlandırma süresinin artışı ile, uzama yine azalmaktadır. Son çalışmalar hasarın partikül kırılması ve matris içindeki partikül yığılmaları arasında oluşan boşlukların, birlikte etkisi sonucu, oluştuğunu göstermektedir.

Çalışmalar partikül kırılmasını engellemek için, kaba partiküllerden kaçınılması gerektiğini göstermiştir. Partikül kırılmasını engellemek ve partiküle verimli bir şekilde yük transfer etmek için yüksek bir arayüzey mukavemeti gereklidir. Ayrıca partikül dağılımı da kompozitin uzamasına etki edecektir. Homojen bir dağılım kopma uzamasını arttıracaktır. (Şekil 3.10). Ekstrüde edilmiş malzemede, partikül dağılımı homojendir ve bu da % uzama değeri artırır. (Lloyd, 1994)

Belli bir hacim oranında, maksimum uzama elde etmek için gerekli özellikler:

- Homojen partikül dağılımı
- İnce (<10 µm), homojen partikül boyutu
- Yüksek arayüzey mukavemeti
- Kontrollü partikül şekli
- Sünek bir matris

5.4 Kırılma Tokluğu

Genelde takviye oranının artması ile tokluk düşmektedir. Bu düşüş %0 'dan %10 takviye değerine kadar oldukça belirgindir. Yüksek takviye hacim oranlarında ise bu düşüş çok azdır.

Kırılma tokluğu yaşlandırma derecesine pek bağlı değildir ve kaba partiküller yararlı olmaktadır. Tipik, $15-20 \text{ MNm}^{-3/2}$ değerleri, partikül takviyeli kompozitler için makul bir kırılma tokluğu değeridir. (Lloyd,1994)

Hahn ve Rosenfield, tarafından geliştirilen teoride, kırılma için kırılma tokluğu ile takviye hacim oranı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$K_{Ic} = [2 \cdot \sigma_y \cdot E \cdot (\pi/6)^{1/3} \cdot d]^{1/2} \cdot f_p^{-1/6} \quad \dots\dots\dots 5.5$$

K_{Ic} : Kırılma tokluğu

σ_y : Akma Dayanımı.

E : Elastiklik modülü

d : Partikül çapı

f_p : partikül hacmi oranı

Bu (5.5) eşitliğine göre, dayanım artışı, toklukta bir artış vereceğini göstermektedir. Partikül boyunun artışı, tokluğun artacağını gösterse de bu, bilim adamları tarafından doğrulanmaktadır.

Kompozitlerin kırılma tokluğunun hesaplanmasında kullanılan diğer bir model Krafft modelidir ve Thomason tarafından geliştirilmiştir.(Lloyd, 1994)

$$K_{Ic} = 2.58.(\delta.\sigma_y.E.\epsilon_c)^{1/2} \dots\dots\dots 5.6$$

δ : Çatlak ucu yarıçapı, tipik olarak 50 μ m

σ_y : Akma dayanımı

E : Elastiklik modülü

ϵ_c : Mikroboşluk çekirdeklenme gerinimi; normal ortalama gerinime, boş çekirdeklenen partiküllerin hacmi oranına ve partikül-matris arayüzey kuvvetine bağlıdır.

Çizelge 5.5' te 6061/Al₂O₃/15p ve 2014/Al₂O₃/15p MMK'ler için teorik ve deneysel, kırılma tokluğu değerlerin karşılaştırılması verilmektedir. Partiküllerin 10 μ m boyutlu ve homojen dağıldığı kabul edilerek ve çatlak ucu yarıçapı 50 μ m alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 5.5 Teorik ve deneysel kırılma tokluğu değerlerinin karşılaştırılması .(Lloyd ,1994)

Kompozit	σ_y MN m ⁻²	Uzama %	Kden. MN m ^{-3/2}	Ktr. MN m ^{-3/2}
Thomason eşitliği				
Al-Cu				
2014/Al ₂ O ₃ /15p				
3 h, 160°C	331	6	24.2	25.4
7 h, 160°C	441	2	21.7	12.0
16 h, 160°C	469	1	19.5	12.4
40 h, 160°C	420	1	19.0	11.7
48 h, 160°C	372	2	18.1	15.6
Al-Mg ₂ Si				
6061/Al ₂ O ₃ /15p				
1 h, 177°C	221	7	24.7	21.5
3 h, 177°C	317	5	23.2	21.8
10 h, 177°C	345	3	22.7	17.6
25 h, 177°C	331	3	21.5	17.2
100 h, 177°C	276	4	21.2	18.0
Hahn ve Rosenfield eşitliği				
Al-Cu				
2014/Al ₂ O ₃ /15p				
3 h, 160°C	331	6	24.2	31.1
Al-Mg ₂ Si				
6061/Al ₂ O ₃ /15p				
1 h, 177°C	221	7	24.7	24.8

Hahn ve Rosenfield eşitliğinden, yaşlandırmanın artışı ile toklukta bir artış izlemi söz konusu olmasına rağmen, deneysel verilerde bunun tersi elde edilmiştir. Ancak uzmanlar yine de, çekirdeklenme kontrollü kırılma, modelinde uzlaşmaktadır. Burada, partikül hacim oranının kontrolü ve dağılımı optimum kırılma tokluğu için önemli olacaktır. Ancak standart test deneylerine göre (ASTM E399 ve BS 5447) elde edilen sonuçların pek gerçeği yansıtmadığı ve bazen geçersiz olması gerektiği de bilim adamları tarafından

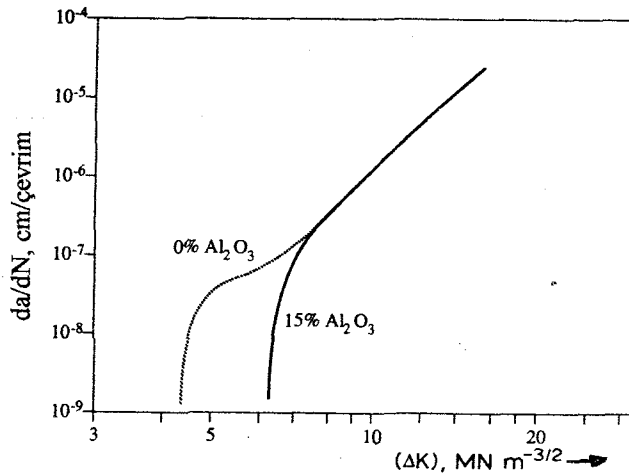
vurgulanmaktadır. Çünkü artık gerilmeler ve partikül dağılımının homojensizliği, çatlak ilerlemesinde aşırı bir sapmaya sebep olduğundan, testi geçersiz kılmaktadır.(Lloyd ,1994). Çizelge 5.6' da bazı kompozitlerin kırılma tokluğu değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.6 MMK malzemelerin kırılma tokluğu değerleri(ASTM E-399 'a göre).(Duralcan 1993)

Malzeme	K_{IC} ,MPa. m ^{1/2}
2014 – T6	25.3
2014 /Al ₂ O ₃ /10p –T6	18.0
2014 /Al ₂ O ₃ /15p –T6	18.8
6061-T6	29.7
6061/ Al ₂ O ₃ /10p-T6	24.1
6061/ Al ₂ O ₃ /15p-T6	22.0
6061/ Al ₂ O ₃ /20p- T6	21.5

5.5 Yorulma

Birçok uygulamada, periyodik yüklemelere karşı dayanım gereklidir. Kompozitin düşük sünekliliğinden dolayı, az tekrarlı yorulmanın takviyesiz alaşıma nazaran düşük olacağı tahmin edilmektedir. Ancak yüksek tekrarlı yorulma değerinin, yüksek elastiklik modulünden dolayı artacağı beklenmektedir. (Lloyd ,1994)



Şekil 5.9 6061 ve 6061/Al₂O₃/15p- T6 malzemede yorulma çatlak ilerleme hızı , (R=1). (Lloyd ,1994)

Kompozitler için yorulma çatlak ilerleme hızı genelde takviyesiz alaşımlar ile aynı değerdedir. (Şekil 5.9).

$$\frac{da}{dN} = B \Delta K^S \quad \dots\dots\dots 5.7$$

$$\frac{da}{dN} = \text{çatlak ilerleme hızı}$$

ΔK = Gerilim şiddet faktör aralığı

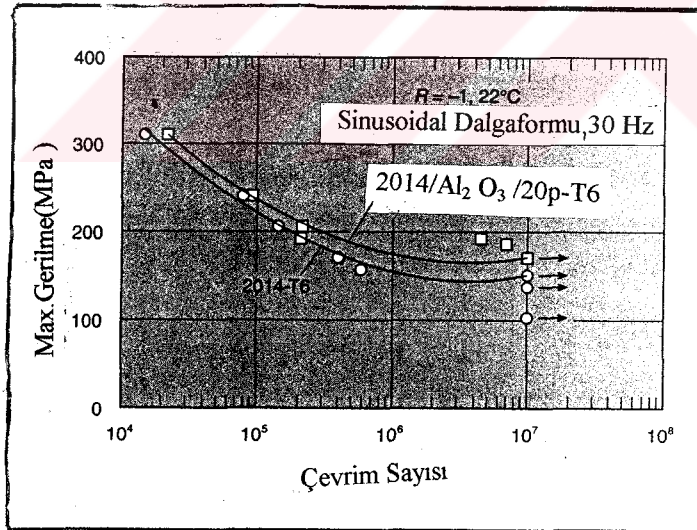
B ve S, sabitlerdir.

$$\ln B = -161,1 - 2,2 \cdot S \text{ 'dir.} \quad \dots\dots\dots 5.8$$

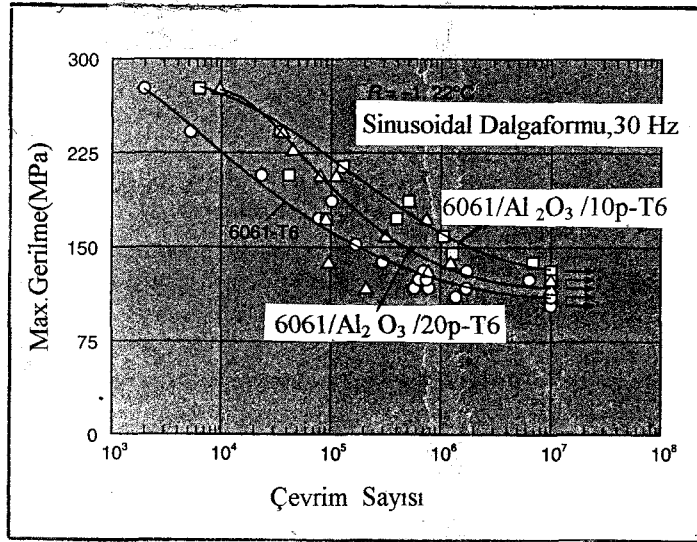
Takviyesiz alaşımlardan alınan ,

$\ln B = -0.143 - 0.375 \cdot S$, eşitliği yardımıyla, 5.8 eşitliği , $R = 0.1$ için geliştirilmiştir.

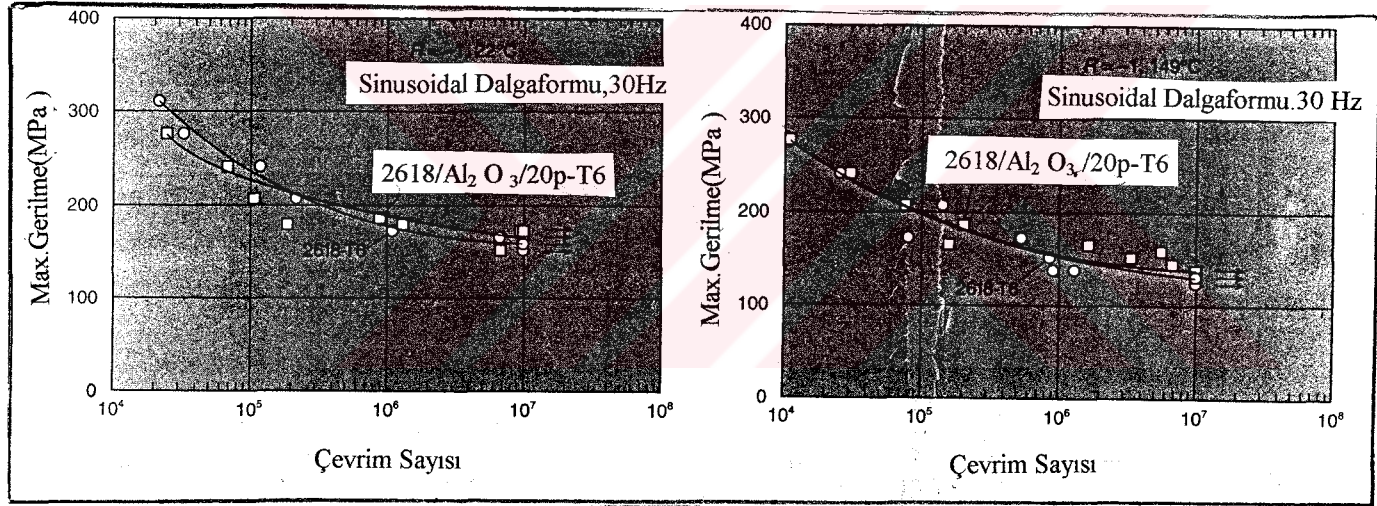
Partikül boyu, şekli, gibi özelliklerin yorulmayı ne şekilde etkilediğine dair yeteri kadar veri yoktur. Şekil (5.10, 5.11 ve 5.12)'de çeşitli kompozitlerin yorulma performansları gösterilmiştir.



Şekil 5.10 2014 – T6 ve 2014 / Al₂O₃/ 20p – T6 malzemelerde yorulma değerleri. (Duralcan ,1993)



Şekil 5.11 6061-T6 ve 6061/ Al_2O_3 - takviyeli malzemelerde yorulma değerleri .(Duralcan ,1993)



Şekil 5.12 2618-T6 ve 2618/ Al_2O_3 /20p-T6 malzemelerde yorulma değerleri ,a. 22°C' de b. 149°C' de

5.6 Sürünme

Yüksek sıcaklık uygulamaları için MMK'lerin, sürünme özellikleri önemlidir. Sabit sıcaklık için sürünme hızı :

$$\dot{\epsilon} = A \cdot \sigma^n \cdot \exp(-Q/RT) \dots\dots\dots 5.9$$

$\dot{\epsilon}$ = Sürünme hızı

A = Sabit

σ = Sürünme gerilimi

n = Gerilme sabitesi

Q = Aktivasyon enerjisi

R = Gaz sabitesi

T = Mutlak sıcaklık

Al/SiC/10p, 20p ve 30p malzemelerde ve 1.7 ile 14.5 μm boyutlu partiküller ile yapılan deneylerde, sürünme hızının, partikül hacim oranı artışı ile düştüğü görülmüştür. Ayrıca, eşik gerilme, δ_0 , hacim artış oranı ile artmıştır. %10 p (1.7 μm boyutlu) malzemede 14.5 MPa' den %30 p (1.7 μm boyutlu) malzemede 32.8 MPa 'ye kadar artmıştır. Test sıcaklığı 350 $^{\circ}\text{C}$.

Sonuçların analize edilmesi ile Sherbay tarafından aşağıdaki formülasyon tavsiye edilmiştir:

$$\dot{\epsilon} = \frac{A' D_L \lambda^3}{b^5} \left(\frac{\delta - \delta_0}{E} \right)^8 \dots\dots\dots 5.10$$

$\dot{\epsilon}$ = Sürünme hızı

A' = Sabit

D_L = Kafes difuzitesi

λ = Altane boyu

b = Burger vektörü

E = Elastiklik modülü

δ = Sürünme gerilmesi

δ_0 = Eşik gerilme

1.7 μm takviye boyutlu kompozitler için yukarıdaki eşitliğin deneysel veriler ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Fakat 14.5 μm boyutlu kaba partiküller için iyi sonuçlar alınamamıştır. Sonuç olarak, yüksek bir takviye hacim oranı ve ince partikül boyu, sürünme direncinde 350 $^{\circ}\text{C}$ ye kadar, belirgin bir artış olduğunu göstermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise, sürünme değerlerinin, matris ile aynı olduğu gözlenmiştir. (Lloyd, 1994)

5.7 Aşınma Özellikleri

Aşınma özellikleri üzerinde yapılan yoğun çalışmalarda MMK malzemeler düşük sürtünme ve düşük aşınma oranı göstermişlerdir. Genelde takviye partikül hacim oranı artışı ile, takviyesiz alaşıma nazaran, MMK malzemelerin aşınma performansları belirgin bir şekilde yükselmektedir.

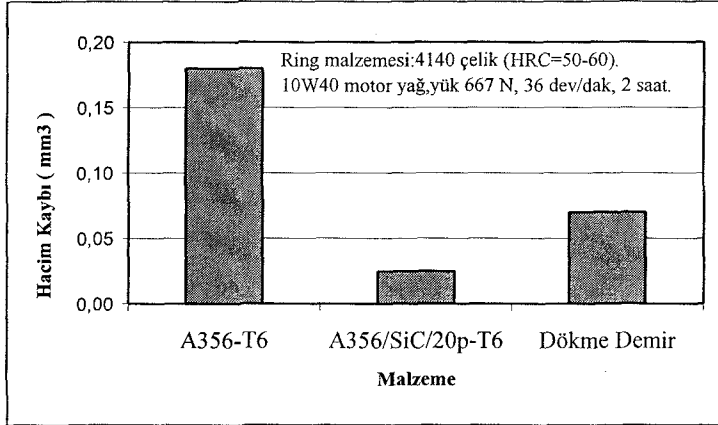
Çizelge 5.7 Çeşitli MMK malzemelerin aşınma dirençleri .(Duralcan, 1993)

Test Metodu	Malzeme	Hacim Kaybı (mm ³)	Aşınma Oranı (μ m/saat)	Sürtünme Katsayısı
ASTM-G-77 ^a	2618-T6	4.10	-	-
	2618/Al ₂ O ₃ /10p-T6	0.0215	-	-
	2618/Al ₂ O ₃ /20p-T6	0.0174	-	-
ASTM-G-77 ^a	2014-T6	11.2	-	-
	2014/Al ₂ O ₃ /10p-T6	0.0190	-	-
	2014/Al ₂ O ₃ /15p-T6	0.0098	-	-
	2014/Al ₂ O ₃ /20p-T6	0.0095	-	-
ASTM D-3702 ^b	2014-T6	-	8.4	0.49
	2014/Al ₂ O ₃ /10p-T6	-	0.79	0.40
	2014/Al ₂ O ₃ /20p-T6	-	c	0.36
ASTM-G-77 ^a	6061-T6	8.75	-	-
	6061/Al ₂ O ₃ /10p-T6	0.0269	-	-
	6061/Al ₂ O ₃ /15p-T6	0.0174	-	-
	6061/Al ₂ O ₃ /20p-T6	0.0149	-	-
ASTM D-3702 ^b	6061-T6	-	43	0.62
	6061/Al ₂ O ₃ /10p-T6	-	0.79	0.49
	6061/Al ₂ O ₃ /20p-T6	-	c	0.45

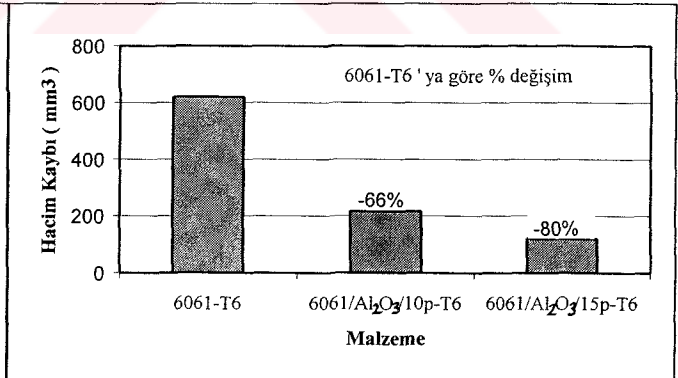
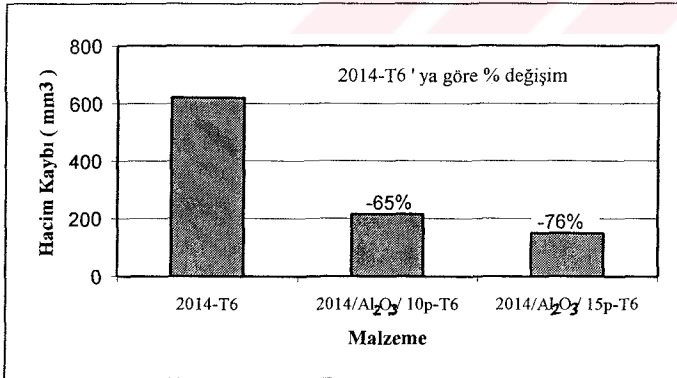
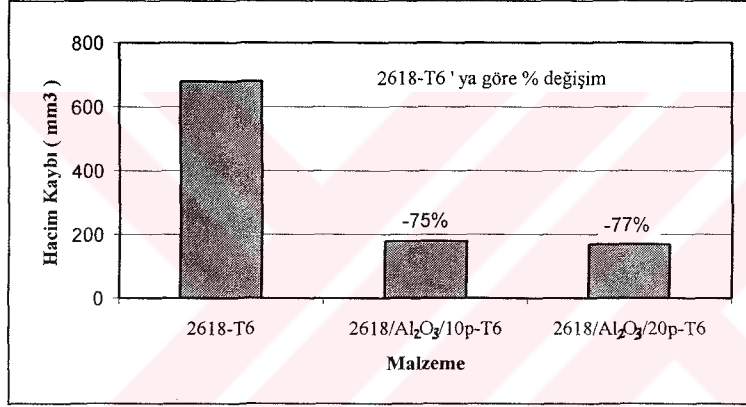
a Ring malzemesi: 4140-çelik (HRC=50-60). Test 10W40 motor yağı içinde, iki saat sürede ve 36 dev/dak. da 667-N 'luk yük ile yapılmıştır.

b Ring malzemesi: 1018-çelik (HRC=15-20). Test deiyonize suda, 4 saat süre ile 96 dev/dak. da 56.6 N'luk yük ile yapılmıştır

c Ölçülebilir aşınma yok.



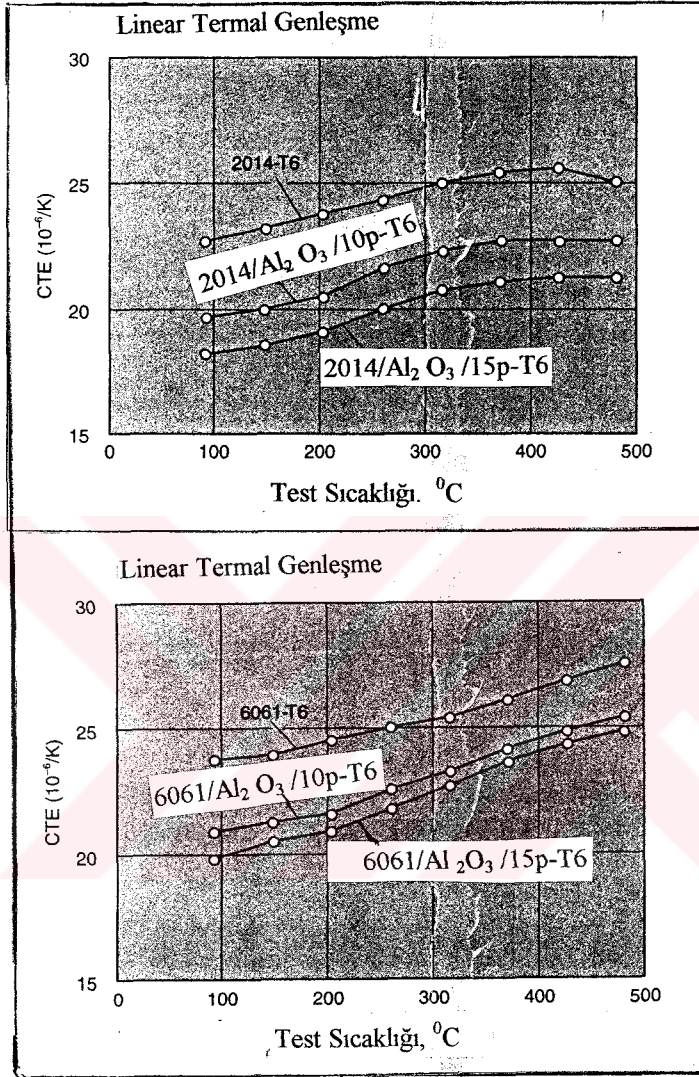
Şekil 5.13 A 356-T6 , A 356/SiC/20p-T6 ve Dökme Demir malzemelerde aşınma değerlerinin karşılaştırılması. (Duralcan,1993)



Şekil 5. 14 2168, 2014 ve 6061 matrisli, Al₂O₃ takviyeli MMK malzemelerin abrasyon direnci ve test değerleri. ASTM G-65, Prosedür-B 'ye göre, yük: 133 N, 23 cm çaplı-disk ve 2000 dönüş (1436m' ye eşdeğer abrasyon mesafesi). (Duralcan, 1993)

5.8 Termal Genleşme

MMK'lerin termal genleşme katsayıları genelde takviye hacim oranı artışı ile azalır. (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 2014 ve 6061 matrisli MMK'lerde linear termal genleşme katsayısının (CTE) sıcaklığa göre değişimi. (Duralcan 1993)

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Özetlenen bilgiler çerçevesinde, tezimizde, ergiyik karıştırma metodu ile, %5, % 10 ve %15 takviyeli hacim oranlarında Al_2O_3 – partikül takviyesi içeren, alüminyum metal matrisli kompozit malzeme, üretim koşullarının ve özelliklerinin tayini ile mikroyapı karakterizasyonu amaçlanmıştır.

6.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Matris malzemesi olarak, Etial 120(443) alaşımı kullanılmıştır. Alaşımın ,optik emisyon spektrometresinde belirlenen kimyasal bileşimi , çizelge 6.1’ de verilmiştir.

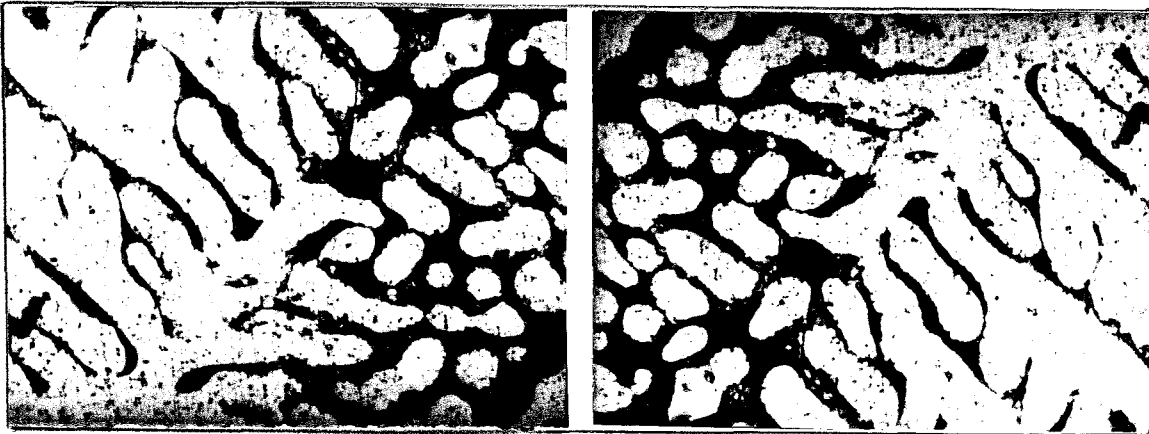
Çizelge 6.1. Etial 120 (443) kimyasal bileşimi (%)

Al	Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	In
92.80	0.00	0.128	6.39	0.195	0.00	0.255	0.007	0.178	0.010	0.035	0.00	0.002

Takviye partikülü olarak, MERCK firmasının Al_2O_3 - 90 malzemesi kullanılmıştır.

Çizelge 6.2. Etial 120(443) ve Al_2O_3 yoğunluk değerleri

Etial 120 (443)	2.68 g/cm ³
Al_2O_3 - partikül	3.96 g/cm ³



Şekil 6.1 Deneyde kullanılan Etial 120(443) malzemenin x200 büyütmedeki döküm mikroyapısı.
(dağlama aracı ,%0.5 HF)

Dizayn edilen sistemdeki ergitme ve ilave işlemleri esnasında kontrollü gaz atmosferi kullanılmamıştır. Gaz- giderme tane inceltme ya da dökümün modifikasyonu veya ısılatma özelliğini geliştiren herhangi bir katkı madde ilavesi yapılmamıştır. Burda doğal koşullarda Al_2O_3 takviyeli, kompozit malzeme üretimi ve özelliklerin tayini amaçlanmıştır.

Ergiyik metale ilavesi yapılan Al_2O_3 takviye partiküllerin hacim oranı hesaplamaları 6.1 eşitliği yardımı ile yapılmıştır:

$$\frac{V_p}{V_m} = \frac{G_p / \rho_p}{G_m / \rho_m} = \frac{G_p \cdot \rho_m}{G_m \cdot \rho_p} \quad \dots\dots\dots 6.1$$

Burda V_p ve V_m , partikül ve matrisin hacim oranları, G_p ve G_m partikül ve matrisin ağırlıkları, ρ_p ve ρ_m partikül ve matrisin yoğunluklarıdır.

Örnek olarak % 5 Al_2O_3 hacim oranlı kompozit eldesi için , 2.0 kg'lık matris alaşıma ağırlık olarak ilave edilmesi gereken partikül miktarı hesabı 6.1 eşitliği yardımıyla aşağıdaki gibi yapılmıştır:

$$\frac{0.05}{0.95} = \frac{G_p(\text{gr.}) \cdot 2.68(\text{g/cm}^3)}{2\,000(\text{gr.}) \cdot 3.96(\text{g/cm}^3)} \quad , \quad \text{Burdan } G_p \text{ değeri } , G_p = 156.0 \text{ gr. elde edilir.}$$

Aynı hesaplama tarzı ile, bu değerler %10 hacim oranı için $G_p = 328.0$ gr , ve %15 için $G_p = 522.0$ gr. bulunur.

2.0 kg' lık matris alaşımı, grafit potaya konularak, ergiyik en az 800°C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Fırın kapağı açılarak, seramik kaplı karıştırıcı pervane, potanın merkezine gelecek şekilde daldırılmış ve 500 devir/dak hızla dödürülerek ergiyik içinde vorteks oluşturulmuştur. 500°C' de 30-45 dakika ısıtılan Al₂O₃ partiküller seramik boru yardımıyla vorteksin ortasına 50-80 gr/dak. hızla verilmiştir. Partikülün ilavesi tamamlandıktan sonra, hamur zonundaki ergiyik karışım 1-2 dak. daha karıştırılarak partiküllerin mekanik zorlama ile matriste tutulmasına çalışılmıştır. Karıştırıcı ergiyikten çıkarılarak, döküm işlemine geçilmiştir. Dökümler, 20 mm çap ve 150 mm boyda silindirik parça elde edilecek , oda sıcaklığındaki kokil kalıplara yapılmış ve soğumayı takiben kalıplar açılarak kompozit malzeme havada soğumaya terk edilmiştir. Aynı işlem prosedürü 4. aşamalı olarak tamamlanarak her aşamada , %5, %10 ve %15 hacim oranlarında Al₂O₃ partikül takviyesi yapılarak kompozit malzeme imal edilmiştir. Üretilen kompozit malzemeden, numuneler alınarak, MMK malzemenin özellik tayinleri yapılmıştır. Testlerde kullanılan numunelere, herhangi bir ısıtım işlemi uygulanmamıştır. Tamamıyla kokil döküm olarak elde edilen numuneler teste tabi tutulmuştur.

Bu çalışmada yapılan ön denemeler sonucu:

- ergiyik metal sıcaklığının, 800°C 'de,
- karıştırıcı pervane hızının, 500 dev/dak' da,
- Al₂O₃- partikül sıcaklığının ,500 C' de olması,

Optimum üretim koşullarını oluşturduğu bulunmuş ve tüm deneyler bu şartlarda gerçekleştirilmiştir.

Ergiyik sıcaklığının düşük olması (600°C gibi), Al₂O₃ partiküllerini ıslatmakta ve belli bir ilaveden sonra ergiyikten geri itilmektedir. Ayrıca partikül ilavesi ile, sıcaklık düşmekte ve ergiyik viskoz hale gelerek karıştırıcı etrafında yığılmaktadır. Bu da partikül ilavesini engellemektedir. Aynı şekilde Al₂O₃ partiküllerin soğuk olarak ergiyik içersine lavesi, yeteri kadar ıslatma sağlamamaktadır. Partiküllerin en azından ergiyik sıcaklığına yakın önısıtmaya tabi tutulması ıslatma özelliğini geliştirdiği görülmüştür.

Pervane devir hızı, iyi bir çalkalama sağlamak için ayarlanmalıdır. Yüksek devirlerde, vorteks etrafında aşırı partikül yığılmaları oluşmakta ve etrafta aşırı viskoz bölge, ortada ise düşük viskoziteli bölge meydana gelmektedir. Bu da kompozit üretimini engellemektedir.

Ergitme ve partikül ilave işlemlerinde, gaz kontrollü atmosfer olmaması, aşırı ısıtılan ergiyik alaşımında oksidasyon sorununa yol açmıştır. Özellikle karıştırma işlemi esnasında oldukça artan oksidasyon, metal kaybı ve curuf oluşumuna neden olmuş, ıslatma özelliğini kötüleştirmiştir.

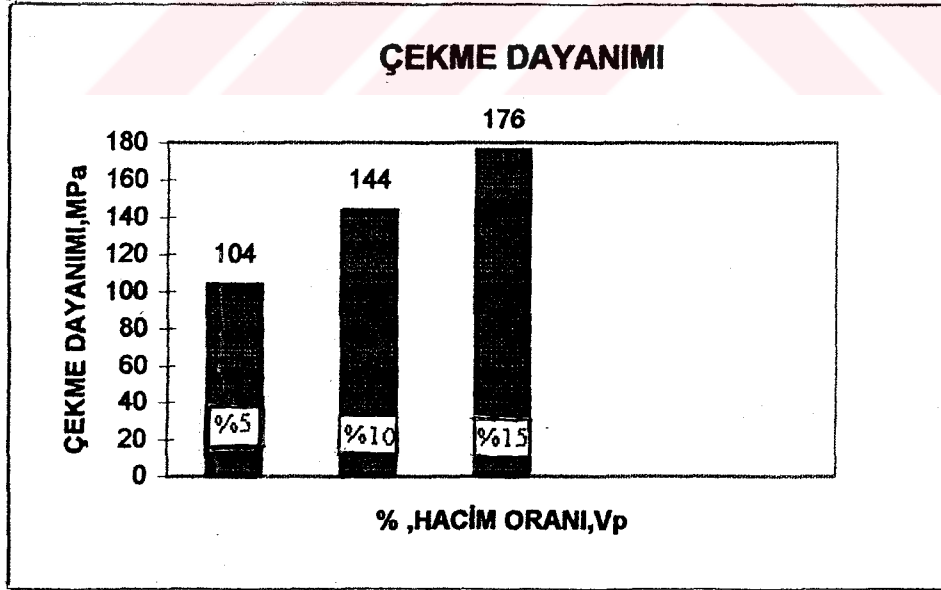
6.3 Çekme Deneyi

Üretilen kompozit malzemenin dökümü sonucu elde edilen $\varnothing 20$ mm x 150 mm 'lik silindirik çubuklardan, dairesel kesitli silindirik başlı çekme numuneleri hazırlanarak, çekme testi yapılmıştır. Dört üretim aşamasında, farklı Al_2O_3 - partikül takviye hacim oranına sahip numuneler, Mohr & Federhafif AG-Germany, cihazında, 8.0 cm/dak' lık gerinim hızı ile çekme işlemine tabii tutulmuşlardır. Sonuçlar çizelge 6.3' te verilmiştir.

Çizelge 6.3 Çekme Deneyi Sonuçları

Malzeme *	Çekme Dayanımı (MPa)				% Uzama**			
	I	II	III	IV***	I	II	III	IV***
443/Al ₂ O ₃ /5p	104	132	90	125	2.50	4.0	2.0	4.0
443/Al ₂ O ₃ /5p	104	130	95	101	2.50	4.0	2.0	3.0
443/Al ₂ O ₃ /5p	132	-	-	-	4.0	-	-	-
443/Al ₂ O ₃ /10p	128	144	113	135	3.75	4.75	2.50	4.0
443/Al ₂ O ₃ /10p	104	149	124	159	2.50	4.75	3.50	6.0
443/Al ₂ O ₃ /10p	144	-	-	-	5.0	-	-	-
443/Al ₂ O ₃ /15p	117	176	158	157	3.0	5.0	5.0	4.0
443/Al ₂ O ₃ /15p	158	171	140	160	5.0	5.0	4.50	6.0
443/Al ₂ O ₃ /15p	150	-	-	148	5.0	-	-	4.0

I, II, III, IV(ek deney): deney aşamaları, * Döküm halde, **L_o= 40 mm, ***d_o= 14.0mm, L_o=50.0 mm.



Şekil 6.4 Takviye hacim oranına göre, çekme dayanımının değişimi.

6.4 Eğme Deneyi

Farklı Al_2O_3 partikül-takviye hacim oranlarındaki kompozit malzemedan, $\varnothing 8.0$ mmx70 mm boyda hazırlanan numuneler, AVK-Hungary, cihazında eğme testine tabii tutulmuşlardır.

f (sehim) değerleri 0.01 mm hassasiyette tespit edilerek, kompozit malzemenin elastiklik modülleri (E) ve Eğme dayanımları ($\sigma_{e \max}$), denklem 6.1' ve 6.2' yardımıyla tayin edilmiştir:

$$E = \frac{4.F.l.^3}{3.\pi.f.d_0^4} \dots\dots\dots 6.2$$

E : Elastiklik modülü

F : Kuvvet

l : Mesnetler arası mesafe(deneyde 49 mm)

f : sehim

d_0 : çap.

$$\sigma_{e \max} = \frac{(F_{\max} . l)}{(\pi . d^3) / 32} \dots\dots\dots 6.3$$

$\sigma_{e \max}$ = Eğme dayanımı

$F_{\max}$ = Maksimum kuvvet

Çizelge 6.4,a. % 5 Al₂O₃ takviyeli numunelerde eğme deneyi sonuçları

F (kp)	f ₁ (mm)	E ₁ (Gpa)	f ₂ (mm)	E ₂ (GPa)
5	0	0	0.01	51.63
10	0.02	66.19	0.02	51.63
15	0.05	39.71	0.04	38.72
20	0.075	35.30	0.06	34.42
25	0.11	30.09	0.08	32.27
30	0.12	33.09	0.09	34.42
35	0.16	28.96	0.10	36.14
40	0.19	27.87	0.11	37.55
45	0.235	25.35	0.13	35.74
50	0.28	23.64	0.145	35.60

Çizelge 6.4 ,b. % 5 Al₂O₃ takviyeli numunelerde eğme deneyi sonuçları (ek deney)

F(kp)	f ₁ (mm)	E ₁ (Gpa)
20	0.06	52.08
25	0.07	55.80
30	0.08	54.68
35	0.10	54.68
40	0.11	56.81
45	-	-
50	0.13	60.09
55	0.14	61.38
60	0.15	62.50
65	0.16	63.47
70	0.17	64.34
75	0.19	61.38
80	0.20	62.50

Çizelge 6.5, a. %10 Al₂O₃ takviyeli numunelerde, eğme deneyi sonuçları

F(kp)	f ₁ (mm)	E ₁ (GPa)	f ₂ (mm)	E ₂ (GPa)
5	0.01	52.89	0	0
10	0.02	52.89	0.01	143.
15	0.03	52.91	0.01	214.
20	0.045	47.91	0.01	286.
25	0.06	44.08	0.01	357.
30	0.075	42.31	0.03	143.
35	0.10	37.0	0.04	125.
40	0.125	33.85	0.065	88.
45	0.15	31.73	0.09	71.54
50	0.19	27.83	0.11	65.04
55	-	-	0.15	52.46
60	-	-	0.18	47.69
65	-	-	0.22	42.37
70	-	-	0.27	37.19

Çizelge 6.5 , b. % 10 Al₂O₃ takviyeli numunelerde ,eğme deneyi sonuçları (ek deney)

F(kp)	f ₁ (mm)	E ₁ (GPa)	f ₂ (mm)	E ₂ (GPa)
20	-	-	0.04	78.12
25	-	-	0.055	71.02
30	-	-	0.065	72.11
35	0.07	78.12	0.075	72.92
40	0.08	78.12	0.09	69.04
45	0.09	78.12	0.10	70.31
50	0.10	74.40	0.11	71.02
55	0.12	71.61	0.12	71.62
60	0.13	72.11	0.13	72.11
65	0.15	59.74	0.14	72.54
70	-	-	0.15	72.51
75	-	-	0.17	68.53

Çizelge 6.6,a. %15 Al₂O₃ takviyeli numunelerde , eğme deneyi sonuçları

F(kp)	f ₁ (mm)	E ₁ (GPa)	f ₂ (mm)	E ₂ (GPa)
5	0.01	59.82	0.01	62.59
10	0.015	79.76	0.015	83.45
15	0.02	89.74	0.025	75.11
20	0.03	79.76	0.035	71.53
25	0.04	74.78	0.05	62.59
30	0.05	71.79	0.06	62.59
35	0.065	64.42	0.08	54.76
40	0.08	59.82	0.095	52.71
45	0.10	53.84	0.11	51.21
50	0.125	47.84	0.13	48.15

Çizelge 6.6 , b. % 15 Al₂O₃ takviyeli numunelerde ,eğme deneyi sonuçları (ek deney)

F(kp)	f ₁ (mm)	E ₁ (GPa)
25	0.04	80.12
30	0.05	76.92
35	0.055	81.58
40	0.06	85.47
45	0.07	82.41
50	0.08	80.12
55	0.085	72.95
60	0.09	85.47
65	0.095	87.71
70	0.10	89.74
75	0.12	80.13
80	0.14	73.26
85	0.155	66.17
90	0.17	67.87
95	0.18	67.66

Çizelge 6.7,a. Eğme dayanımı değerlerinin takviye hacim oranına göre değişimi

% Al ₂ O ₃	%5 ₁ *	%5 ₂	%10 ₁	%10 ₂	%15 ₁	%15 ₂
F _{max} (kp)	93	128	130	115	145	157
σ _{e max} (MPa)	240.03	274.19	278.47	314.58	358.84	375.54
d ₀ (çap,mm)	7.80	8.30	8.25	7.65	7.91	8.00

*Numune numarası

Çizelge 6.7,b. Eğme dayanımı değerlerinin takviye hacim oranına göre değişimi(ek deney)

% Al ₂ O ₃	% 5 ₁	% 5 ₂	% 10 ₁	%10 ₂	%15 ₁	%15 ₂
F _{max} (kp)	190	192	203	204	365	410
σ _{e max} (MPa)	176.62	185.37	183.79	183.44	272.36	305.49

Çizelge 6.8,a Üretilen kompozit malzemenin elastiklik modülleri ve eğme dayanımı değerleri

Malzeme *	E, (GPa)	σ _{e max} , (MPa)
443/ Al ₂ O ₃ / 5p-1**	36.03	240.03
443/ Al ₂ O ₃ / 5p-2	37.47	274.19
443 / Al ₂ O ₃ / 10p-1	52.89	278.47
443/ Al ₂ O ₃ / 10p-2	63.01	314.58
443 / Al ₂ O ₃ / 15p-1	76.69	358.84
443/ Al ₂ O ₃ / 15p-2	83.08	375.54

*Döküm halde, ** Numune numarası

Çizelge 6.8,b. Üretilen kompozit malzemenin elastiklik modülleri ve eğme dayanımı değerleri

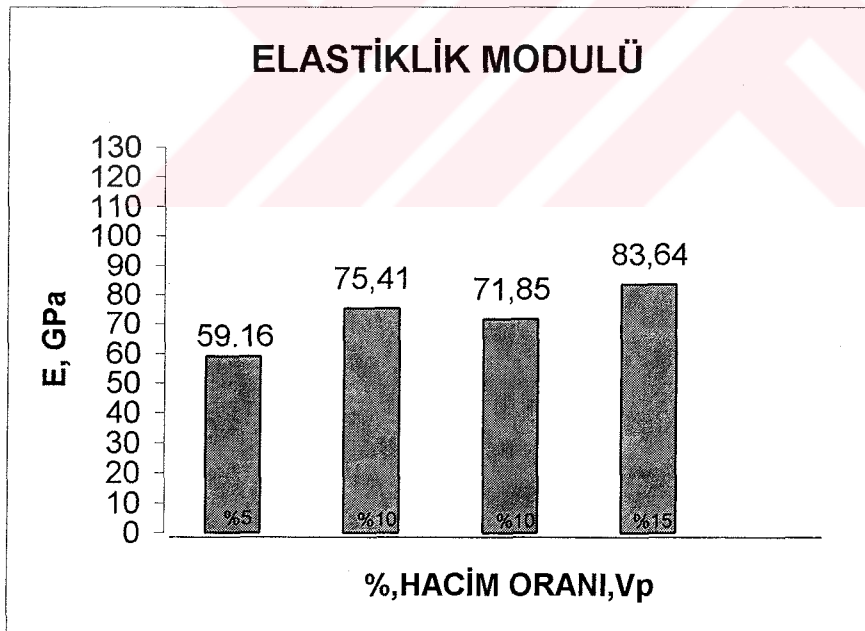
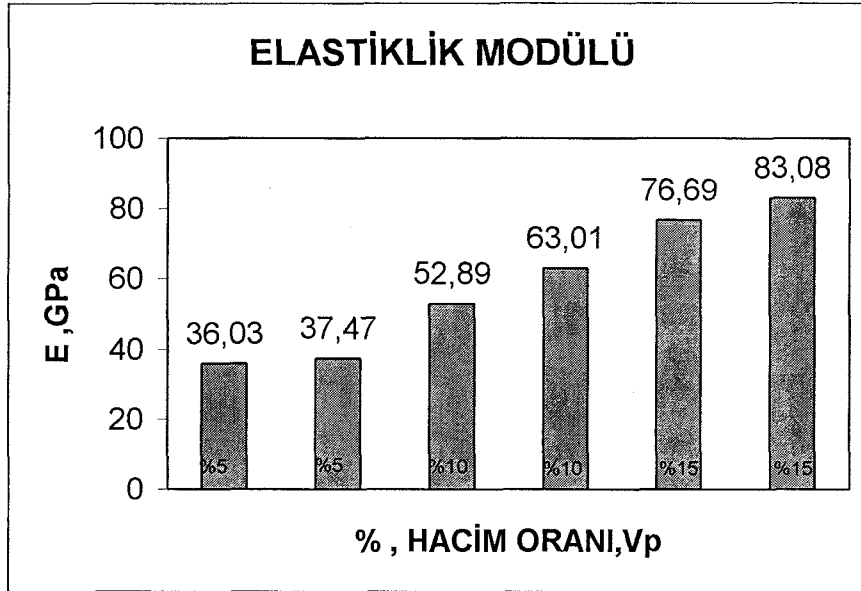
Malzeme	E (GPa)	$\sigma_{e \max}$ (MPa)
443 / Al ₂ O ₃ / 5p-1	59.16	176.62
443 / Al ₂ O ₃ / 5p-2	-	185.37
443 / Al ₂ O ₃ / 10p-1	75.41	183.79
443 / Al ₂ O ₃ / 10p-2	71.85	183.44
443 / Al ₂ O ₃ / 15p-1	83.64	272.36
443 / Al ₂ O ₃ / 15p-2	-	305.49

Ek deneyde elastiklik modülü ve eğme dayanımı değerlerinin tespiti için, 10.0(h) x 16.0(b) mm, (% 5p ve % 10p Al₂O₃ için) ve 10.0(h) x 20.0(b) mm(%15p Al₂O₃) kesitli çubuk numunesi kullanılmıştır.

Hesaplamalarda aşağıdaki formüller kullanılmıştır:

$$E = \frac{F \cdot L^3}{4 \cdot f \cdot b \cdot h^3} \quad (L = 100.0 \text{ mm}) \dots\dots\dots 6.4$$

$$\sigma_{e \max} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \dots\dots\dots 6.5$$



Şekil 6.5 Elastiklik modulünün, takviye hacim oranına göre değişimi.

6.5 Darbe Deneyi

% 15, %10 ve %15 Al_2O_3 – partikül takviyeli, numuneler (çentikli ve çentiksiz) Zwick-Charpy çentik darbe cihazında ,3.8 m/s çarpma hızında test edilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar çizelge 6.9.'da verilmiştir.

Çizelge 6.9 ASTM E-23'e göre, kompozit malzemenin Charpy darbe değerleri

Malzeme*	J / cm ² (çentiksiz)	J/cm ² (çentikli)
443 / $Al_2 O_3$ / 5p	2.08	0.75
443 / $Al_2 O_3$ / 5p	1.76	0.71
443 / $Al_2 O_3$ / 5p	3.08	0.68
443 / $Al_2 O_3$ / 10p	2.78	0.71
443 / $Al_2 O_3$ / 10p	2.23	0.69
443 / $Al_2 O_3$ / 10p	1.80	0.59
443 / $Al_2 O_3$ / 15p	2.34	0.36
443 / $Al_2 O_3$ / 15p	1.71	0.60
443 / $Al_2 O_3$ / 15p	1.93	0.48

* Döküm halde

6.6 Yoğunluk ve Porozite Ölçümleri

Farklı Al_2O_3 -partikül takviye hacim oranlarında elde edilen kompozit malzemenin yoğunlukları saf-su piknometre yöntemiyle tespit edilmiştir. Ağırlıklar 0.0001 gr hassasiyette ölçülerek, sonuçlar çizelge 6.6'da verilmiştir.% porozite(%p) değerleri 6.3 denklemi yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\% p = \frac{\rho_t - \rho_d}{\rho_d} * 100 \quad \dots\dots\dots 6.6$$

Burda sırasıyla, ρ_t , ρ_d teorik ve deneysel yoğunluklardır.

Çizelge 6.10 Deneysel ve teorik yoğunluklar ile porozite miktarları.

Malzeme *	Deneysel yoğunluk (g/cm ³)	Teorik yoğunluk (g/cm ³)	% Porozite
443/ Al ₂ O ₃ / 5p	2.5997	2.7440	5.5506
443 / Al ₂ O ₃ / 5p	2.5839	2.7440	6.1965
443/ Al ₂ O ₃ / 10p	2.6222	2.8080	7.0856
443/ Al ₂ O ₃ / 10p	2.6055	2.8080	7.7720
443/ Al ₂ O ₃ / 15p	2.6427	2.8720	8.6767
443/ Al ₂ O ₃ / 15p	2.6476	2.8720	8.4756

* Döküm halde

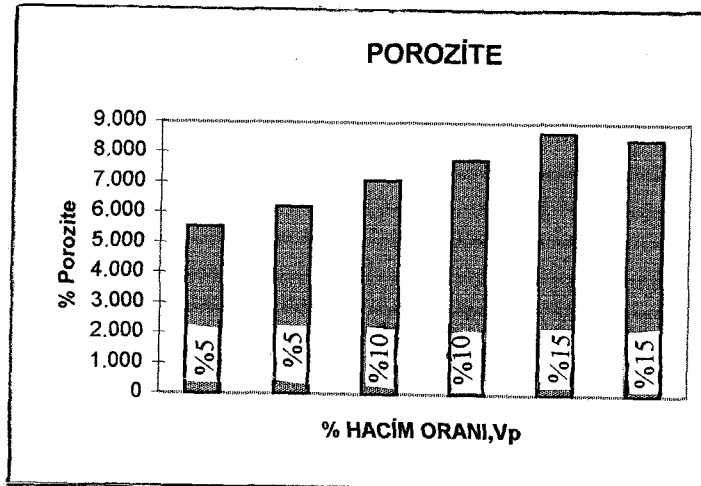
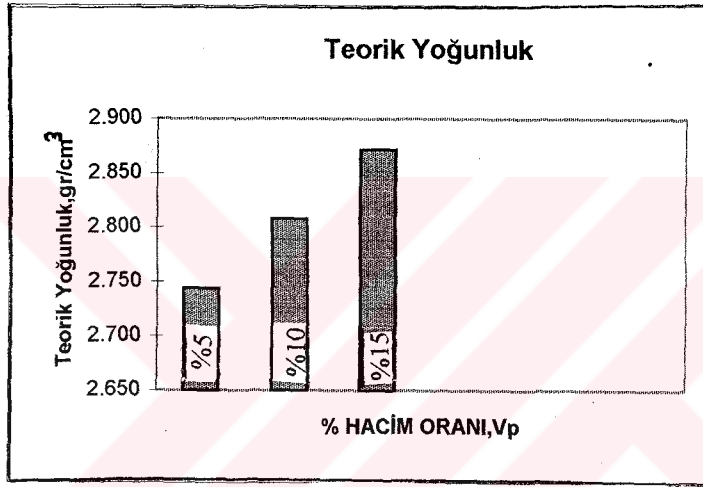
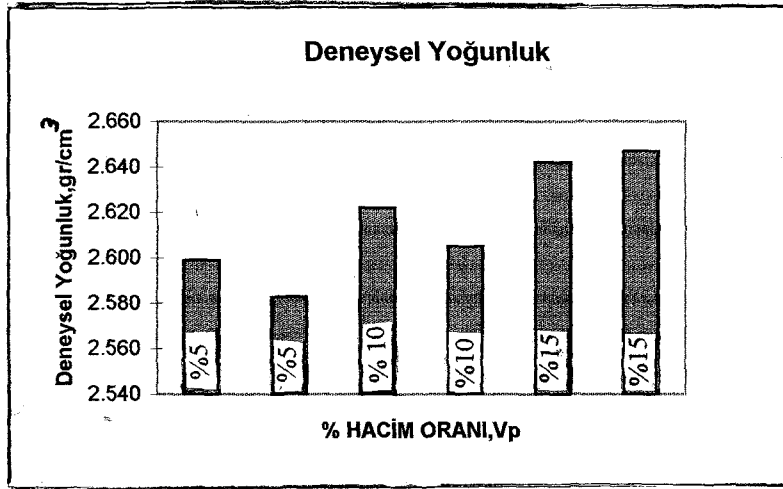
Teorik yoğunluklar karışımlar kuralında,

$$\rho_c = \rho_p \cdot V_p + (1 - V_p) \rho_m \quad \dots\dots\dots 6.7$$

formülasyonunda hesaplanmıştır.

ρ_c , ρ_p , ρ_m sırasıyla kompozit, partikül ve matrisin yoğunluklarıdır. V_p , partikül hacim oranıdır.

Karışımlar kuralından beklendiği gibi, partikül hacim oranı artışıyla teorik yoğunluk artmaktadır. Deneysel verilerde de aynı artış eylemi görülmektedir. Fakat artış hızı, teorik artış hızından düşüktür. Partikül hacim oran artışı ile porozite yüzdesi de artmaktadır.

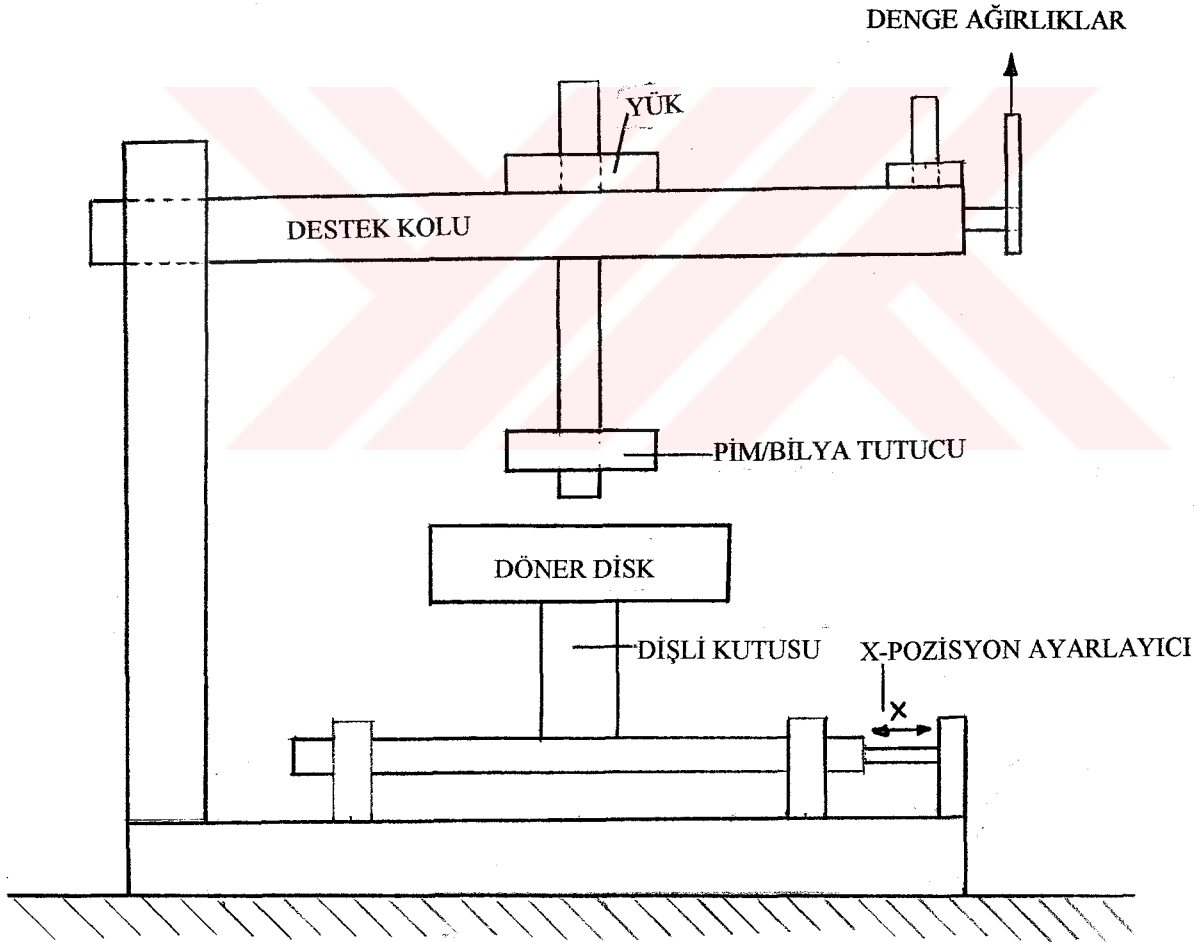


Şekil 6.6 Kompozitlerin, Al_2O_3 partikül hacim oranı ile yoğunluk ve porozite değerlerinin değişimi

6.7 Aşınma Deneyi

Üretilen Al_2O_3 partikül takviyeli MMK malzeme, pin on disk (ASTM G-99), disk üzerine pim aşınma yöntemi ile, GGL-20 Dökme Demir malzeme ile karşılaştırmalı olarak, aşınma testine tabii tutulmuştur.

Aşınma deneyleri, Plint&Partners TE 79 Model disk üzerine pim aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir.cihazın şematik görünümü Şekil 6.7 'de verilmiştir.



Şekil 6.7 Aşınma deneyi cihazının şematik görünümü

Aşınma deneyi koşulları aşağıda belirtilmiştir:

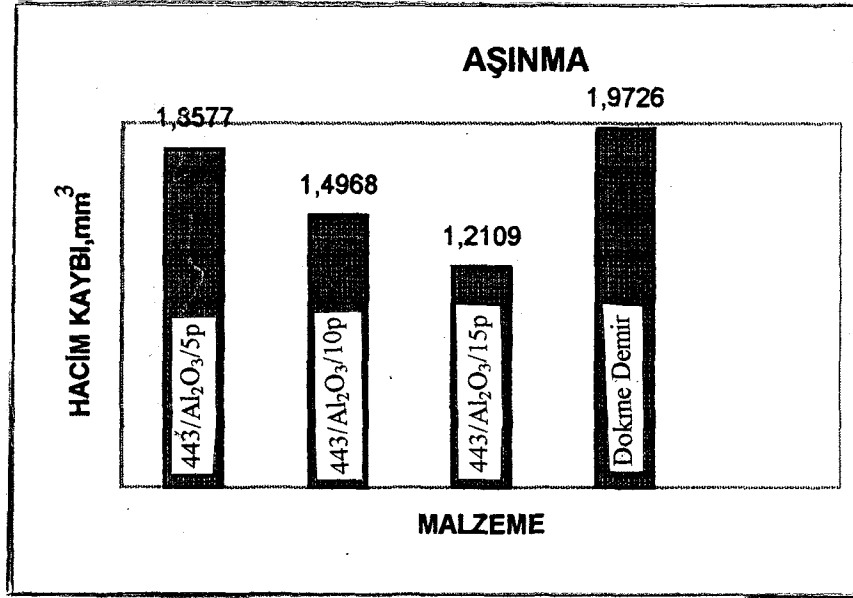
- Yük = 8N
- Diskin devri = 350 dev/dak.
- İz çapı = 20 mm
- Test süresi = 1800 sn
- Hız = 0,35 m/s
- Ortam sıcaklığı = 24⁰C
- Ortam rutubeti = % 35
- Pim aşınma mesafesi = 630 m
- Disk malzemesi = AISI 52.100 (100 Cr 61, 50-60 HRC)
- Test açık hava ortamında yapılmıştır ve herhangi bir yağlayıcı kullanılmamıştır.

Elde edilen aşınma deneyi sonuçları çizelge 6.11 'de verilmiştir.

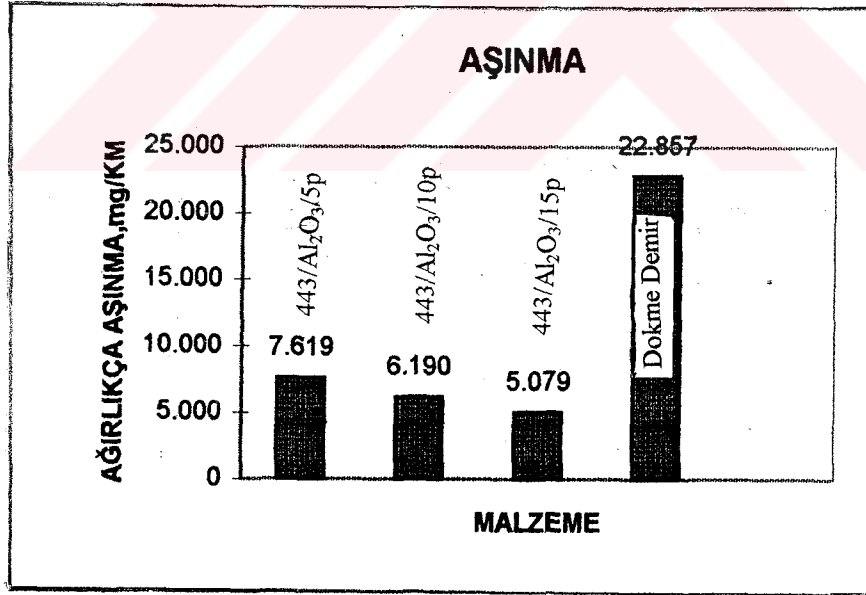
Çizelge 6.11 ASTM G-99 Pin on Disc,yöntemi ile elde edilen aşınma değerleri

Malzeme*	Hacim kaybı (mm ³)	Ağırlıkça aşınma kaybı mg/KM	Sürtünme katsayısı
443 / Al ₂ O ₃ / 5p	1.8577	7.619	0.46
443 / Al ₂ O ₃ / 10p	1.4968	6.190	0.38
443/ Al ₂ O ₃ / 15p	1.2109	5.079	0.35
GGL-20	1.9726	22.857	0.76

*Döküm halde



Şekil 6.8 Aşınma deneyi sonucu MMK malzemede elde edilen hacim kayıplarının, dökme demir malzemeye göre karşılaştırılması.



Şekil 6.9 Farklı takviyeli hacim oranlarındaki kompozit malzemelerin, dökme demire göre ağırlıkça aşınma değerleri.

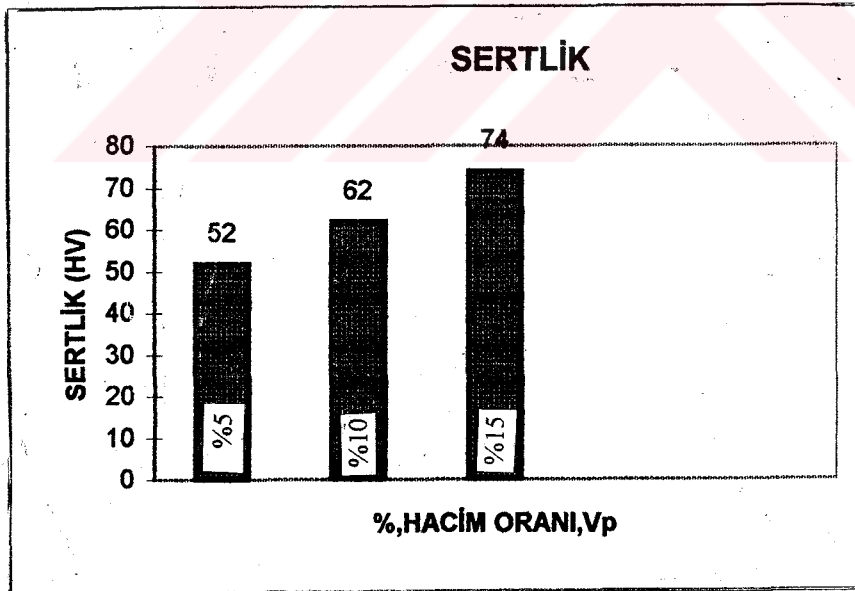
6.8 Sertlik Deneyi

Üretilen kompozit malzemeler, Vickers sertlik ölçme cihazı ile sertlik değerleri tespit edilmiştir. Değerler mikro sertlik olmayıp, yapının ortalama sertliğidir.

Çizelge 6.12 Kompozit malzemelerin sertlik değerleri

MALZEME *	SERTLİK, HV(10)
443/Al ₂ O ₃ /5p	52
443/Al ₂ O ₃ /10p	62
443/Al ₂ O ₃ /15p	74

*Ortalama 3- adet numune herbir takviye hacim oranı için test edilmiştir.



Şekil 6.10 Kompozitin sertlik değerlerinin takviye hacim oranına göre karşılaştırılması

6.9 Mikroyapılar

Farklı takviye hacim oranlarında üretilen kompozit malzemeler, ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenerek, mikroyapı filimleri çekilmiş ve görüntü-analizör cihazında takviye partiküllerin hacim oranları ve boyutları tespit edilmiştir.

Mikroyapı tayininde aşağıdaki cihazlar kullanılmıştır:

Görüntü Analizörü	: Leica Qwin C NE Leica Q500 IW
Işık Mikroskobu	: Leica DM LM
Video Printer	: Sony Digital Color Printer, V-D150C.
Taramalı Elektron Mikroskobu	: SEM, JOEL, JSM 5410 LV.

Kompozit malzemelerden numuneler alınarak, epoksi-reçine ile monte edilmiş ve sırasıyla 180-320-600-800 mesh' lik zımpara kademelerinden sonra, 7 μ m' lik elmas ile disklerde parlatılmışlardır.

SEM görüntüleri için, çekme testinde kullanılan silindirik çubukların kopan yüzeyleri alınarak, kırılma yüzeylerinin incelenmesi yapılmıştır.

Görüntü analizörden alınan sonuçlar ve ışık mikroskopundan alınan görüntüler ile, kompozit malzemenin SEM görüntüleri aşağıda mütakiben verilmiştir.

Çizelge 6.13 Görüntü analizörden alınan numunelerdeki (% 5 Al_2O_3), takviye partiküllerin boyutsal ölçüleri a.No:1(5%) ,b.No:2 (%5) ,c. No:3 (%5)

a

SAYI	ALAN (μm^2)	UZUNLUK (μm)	ÇEVRE (μm)
1	106.10	14.80	46.25
2	17.11	5.55	18.50
3	8302.99	142.45	514.30
4	16527.25	173.90	573.50
5	215.62	22.20	68.45
Toplam	25169.06	358.90	1221.00
Ortalama	5033.81	71.78	244.20
Std Dev	6564.32	71.43	245.93
Std Error	2935.65	31.95	109.98
Max	16527.25	173.90	573.50
Min	17.11	5.55	18.50

b

SAYI	ALAN (μm^2)	UZUNLUK (μm)	ÇEVRE (μm)
1	212.20	25.90	85.10
2	5985.95	114.70	410.70
3	260.11	29.60	85.10
4	1957.67	55.50	194.25
5	9860.22	125.80	466.20
6	27.38	7.40	22.20
7	3011.80	75.85	249.75
8	4986.58	86.95	297.85
9	37.65	9.25	27.75
Toplam	26339.56	530.95	1838.90
Ortalama	2926.62	58.99	204.32
Std Dev	3229.28	41.82	154.51
Std Error	1076.43	13.94	51.50
Max	9860.22	125.80	466.20
Min	27.38	7.40	22.20

c

SAYI	ALAN (μm^2)	UZUNLUK (μm)	ÇEVRE (μm)
1	11372.97	142.45	566.10
2	82.14	12.95	38.85
3	15575.80	153.55	536.50
4	4052.24	146.15	514.30
5	1933.71	129.50	384.80
6	8966.95	120.25	468.05
Toplam	41983.81	704.85	2508.60
Ortalama	6997.30	117.48	418.10
Std Dev	5458.16	48.00	179.17
Std Error	2228.29	19.60	73.15
Max	15575.80	153.55	566.10
Min	82.14	12.95	38.85

Çizelge 6.14 Görüntü analizörden alınan takviye partiküllerin(%10 Al₂O₃)boyutsal ölçüleri

a.No:4(%10),b.No:5(%10),c.No:6(%10)

SAYI	ALAN (μm^2)	UZUNLUK (μm)	ÇEVRE (μm)
1	82.14	12.95	38.85
2	681.08	40.70	123.95
3	239.58	22.20	64.75
4	164.28	18.50	53.65
5	1608.58	70.30	209.05
6	1214.99	61.05	196.10
7	222.46	20.35	61.05
8	201.93	18.50	57.35
9	82.14	12.95	38.85
10	349.10	31.45	85.10
11	256.69	22.20	64.75
12	804.29	44.40	155.40
13	188.24	22.20	59.20
14	133.48	16.65	48.10
15	475.73	37.00	112.85
16	5363.06	201.65	608.65
17	321.71	24.05	74.00
18	280.65	29.60	79.55
19	1389.54	57.35	175.75
20	270.38	27.75	81.40
21	2265.70	79.55	244.20
22	1067.82	51.80	160.95
23	7105.11	164.65	974.95
24	58.18	9.25	33.30
25	10014.24	329.30	1106.30
26	102.68	12.95	42.55
27	260.11	24.05	68.45
28	205.35	20.35	61.05
29	369.63	31.45	86.95
30	58.18	9.25	33.30
31	602.36	46.25	125.80
32	622.90	44.40	144.30
33	14114.39	284.90	1361.60
34	256.69	24.05	70.30
35	561.29	46.25	133.20
36	605.78	51.80	131.35
37	82.14	12.95	38.85
38	379.90	29.60	90.65
39	369.63	31.45	105.45
40	533.91	37.00	109.15
41	133.48	14.80	48.10
42	3347.21	136.90	432.90
43	208.77	22.20	61.05
44	75.29	11.10	37.00
45	318.29	25.90	83.25
46	937.77	53.65	168.35
47	126.63	16.65	46.25
48	82.14	12.95	38.85
49	571.56	40.70	112.85
50	681.08	49.95	153.55
Toplam *	60448.20	2517.85	8693.15
Ortalama	1208.96	50.36	173.86
Std Dev	2589.81	64.17	267.97
Std Error	366.25	9.08	37.90
Max	14114.39	329.30	1361.60
Min	58.18	9.25	33.30

a.

b

SAYI	ALAN (μm^2)	UZUNLUK (μm)	ÇEVRE (μm)
1	284.07	27.75	81.40
2	1718.10	86.95	268.25
3	249.84	24.05	66.60
4	29508.79	388.50	1692.75
5	1478.52	64.75	231.25
6	23214.82	238.65	817.70
7	7276.24	183.15	653.05
8	58.18	9.25	33.30
9	28061.08	342.25	1422.65
10	266.96	24.05	68.45
11	492.84	33.30	96.20
12	133.48	16.65	49.95
Toplam	92742.91	1439.30	5481.55
Ortalama	7728.58	119.94	456.80
Std Dev	11324.42	129.45	550.34
Std Error	3269.08	37.37	158.87
Max	29508.79	388.50	1692.75
Min	58.18	9.25	33.30

c

SAYI	ALAN (μm^2)	UZUNLUK (μm)	ÇEVRE (μm)
1	102.68	12.95	42.55
2	246.42	20.35	64.75
3	626.32	38.85	109.15
4	58.18	9.25	33.30
5	2782.49	96.20	308.95
6	256.69	22.20	68.45
7	21975.87	197.95	708.55
8	12728.28	146.15	497.65
9	24717.29	201.65	754.80
Toplam	63494.22	745.55	2588.15
Ortalama	7054.91	82.84	287.57
Std Dev	9523.20	75.55	277.75
Std Error	3174.40	25.18	92.58
Max	24717.29	201.65	754.80
Min	58.18	9.25	33.30

Çizelge 6.15 Görüntü analizörde alınan numunelerdeki ,takviye partiküllerin (%15 Al₂O₃) boyutsal ölçüleri,a.No:7(%15),b.No:8(%15),c.No:9(%15),d.No:10(%15).

a

SAYI	ALAN (μm^2)	UZUNLUK (μm)	ÇEVRE (μm)
1	5126.91	101.75	305.25
2	23444.13	233.10	771.45
3	58.18	9.25	33.30
4	106.10	12.95	42.55
5	5332.26	120.25	360.75
6	58.18	9.25	33.30
7	42466.38	368.15	1714.95
Toplam	76592.13	854.70	3261.55
Ortalama	10941.73	122.10	465.94
Std Dev	14974.77	125.73	566.17
Std Error	5659.93	47.52	213.99
Max	42466.38	368.15	1714.95
Min	58.18	9.25	33.30

b

SAYI	ALAN (μm^2)	UZUNLUK (μm)	ÇEVRE (μm)
1	359.36	29.60	86.95
2	2607.95	81.40	260.85
3	17673.79	223.85	1581.75
4	995.95	48.10	192.40
5	503.11	31.45	94.35
6	58.18	9.25	33.30
7	102.68	12.95	42.55
8	1560.66	53.65	166.50
9	21038.11	303.40	1702.00
10	2015.85	85.10	264.55
11	335.40	24.05	75.85
12	2631.90	109.15	325.60
13	12317.58	297.85	1250.60
14	2505.27	79.55	344.10
15	948.03	53.65	149.85
16	2234.89	101.75	308.95
Toplam	67888.71	1544.75	6880.15
Ortalama	4243.04	96.55	430.01
Std Dev	6386.17	91.84	534.70
Std Error	1596.54	22.96	133.67
Max	21038.11	303.40	1702.00
Min	58.18	9.25	33.30

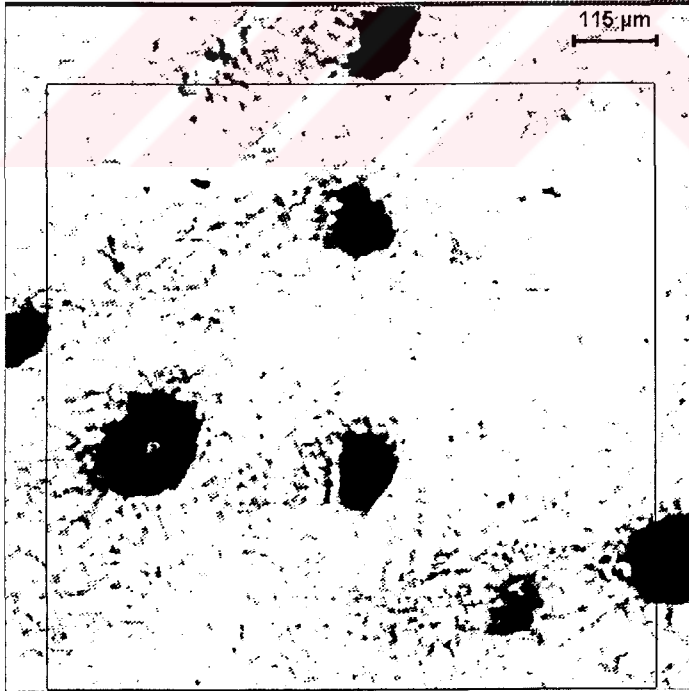
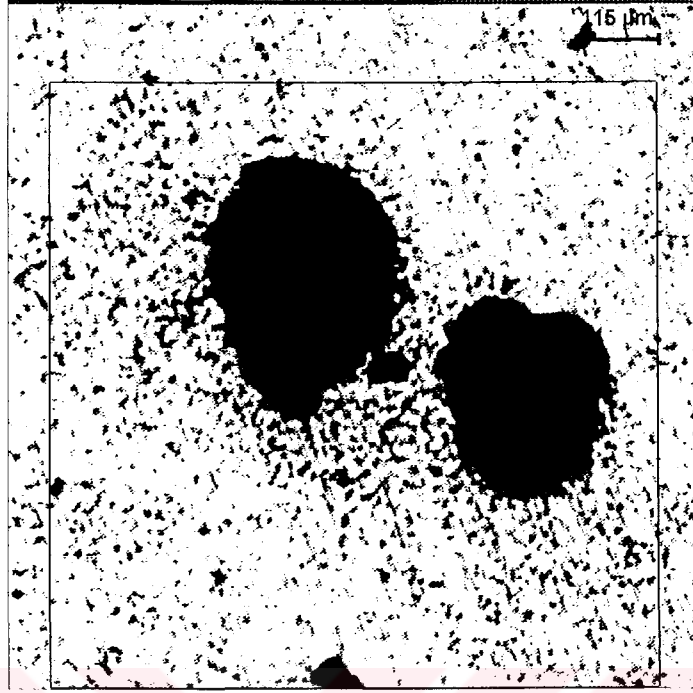
SAYI	ALAN (μm^2)	UZUNLUK (μm)	ÇEVRE (μm)
1	12683.79	151.70	651.20
2	26791.33	199.80	708.55
3	4072.78	88.80	271.95
4	58.18	9.25	33.30
5	140.32	16.65	49.95
6	12067.74	166.50	629.00
7	11304.52	135.05	453.25
8	16448.54	157.25	538.35
9	523.64	35.15	99.90
10	362.79	27.75	86.95
11	12529.77	138.75	506.90
Toplam	96983.38	1126.65	4029.30
Ortalama	8816.67	102.42	366.30
Std Dev	8210.70	65.87	251.02
Std Error	2475.62	19.86	75.69
Max	26791.33	199.80	708.55
Min	58.18	9.25	33.30

SAYI	ALAN (μm^2)	UZUNLUK (μm)	ÇEVRE (μm)
1	335.40	31.45	90.65
2	102.68	12.95	42.55
3	143.75	16.65	49.95
4	2707.20	94.35	347.80
5	24453.76	192.40	673.40
6	6992.17	105.45	357.05
7	34259.23	222.00	789.95
8	75.29	11.10	37.00
9	75.29	11.10	37.00
10	43914.10	342.25	1167.35
11	75.29	11.10	37.00
Toplam	113134.16	1050.80	3629.70
Ortalama	10284.92	95.53	329.97
Std Dev	15353.21	106.55	370.21
Std Error	4629.17	32.13	111.62
Max	43914.10	342.25	1167.35
Min	75.29	11.10	37.00

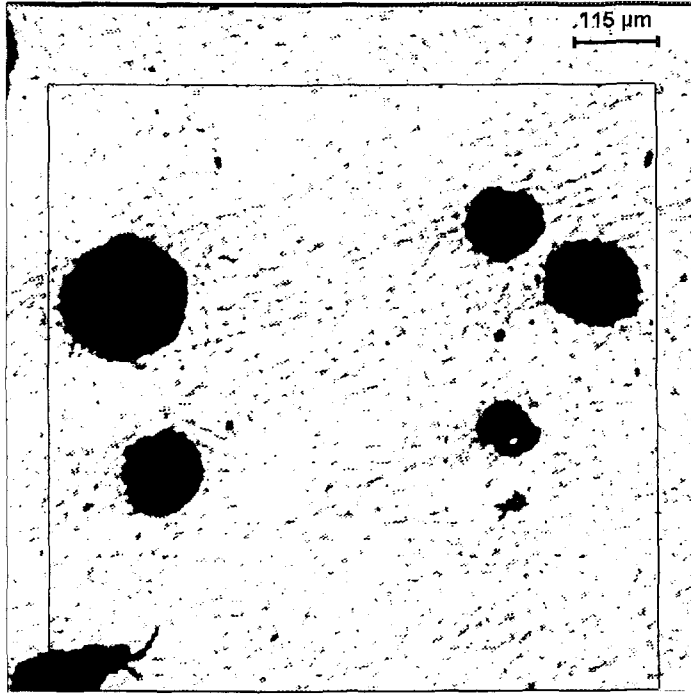
Çizelge 6.16 Görüntü Analizör sonuçları*,Al₂O₃ partiküllerin % alan değerleri.

No(%p)	ALAN(μm^2)	ÇEVRE(μm)	SAYILAN TANE	%ALAN
1(%5)	25.169	1.217	5.00	3.63
2(%5)	26.339	1.829	9.00	3.80
3(%5)	43.749	2.712	6.00	6.31
4(%10)	57.984	8.347	50.00	8.37
5(%10)	96.514	5.857	12.00	13.93
6(%10)	63.648	2.639	9.00	9.18
7(%15)	100.104	5.196	7.00	14.44
8(%15)	102.329	9.342	16.00	14.76
9(%15)	94.142	3.840	11.00	13.58
10(%15)	137.717	4.304	11.00	19.87

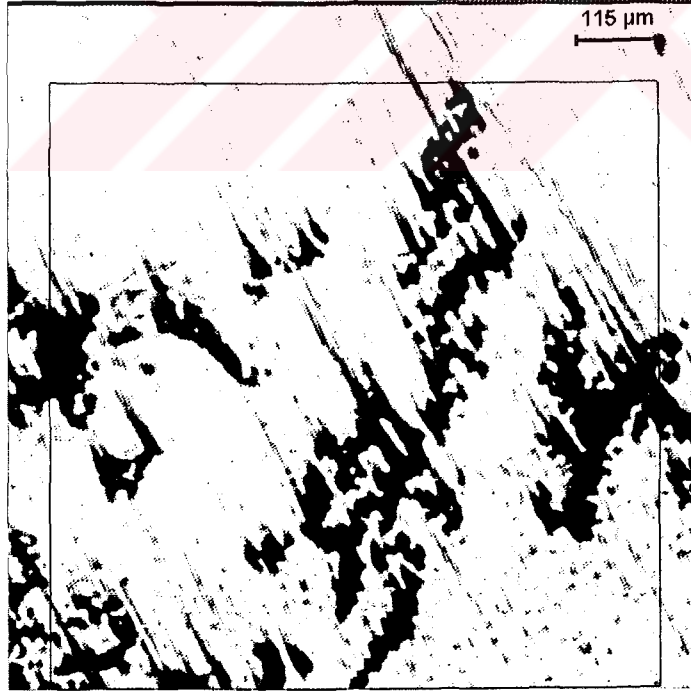
*No(%p): % takviye hacim oranına göre numune numarası,Alan: Takviye partiküllerin toplam alanı,
 Çevre: Takviye partiküllerin toplam çevresi,Sayılan Tane: Görüntülenen alan içindeki takviye
 partiküllerinin adedi.,% Alan: Takviye partiküllerinin toplam alanının,görüntülenen alana oranı.
 (Görüntülenen alan=699.498 μm^2)



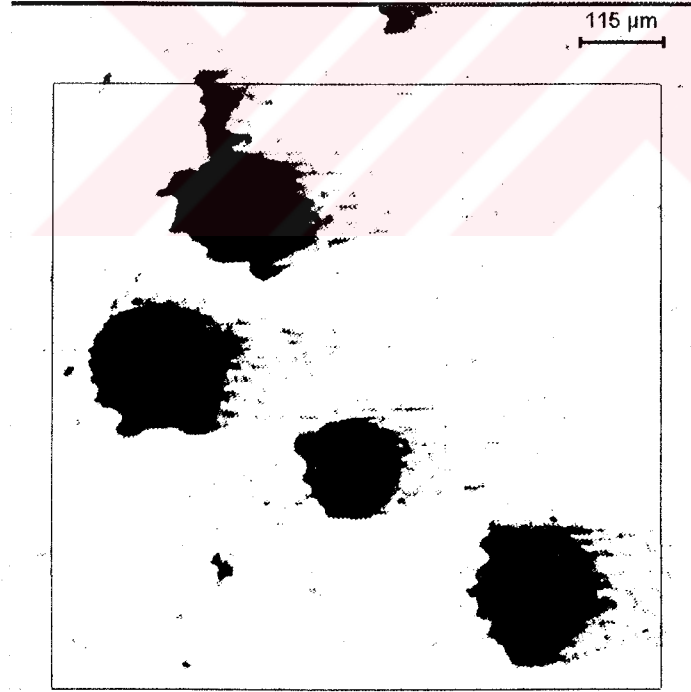
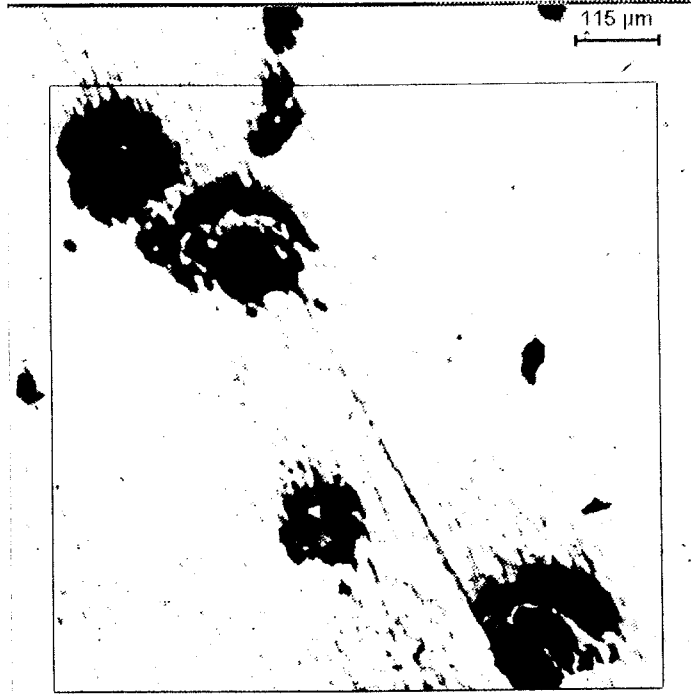
Şekil 6.11 %5 Al_2O_3 takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri, (x100) büyütme.



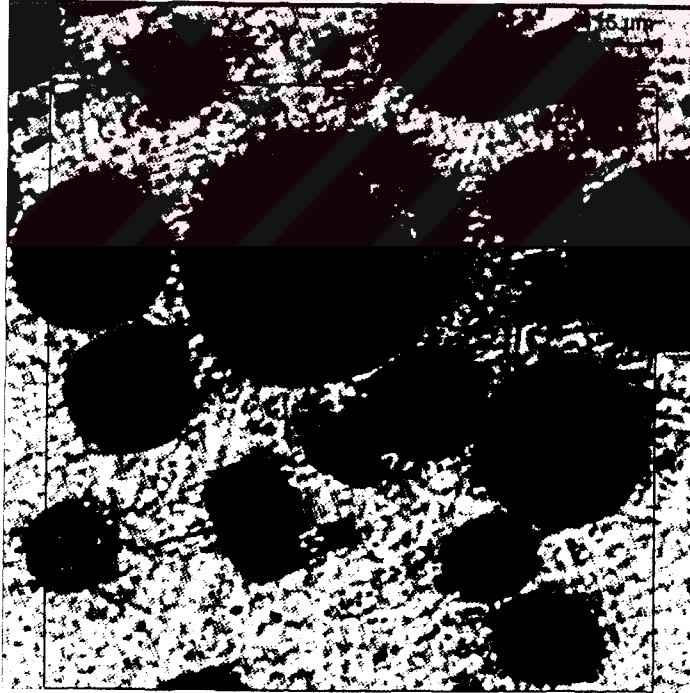
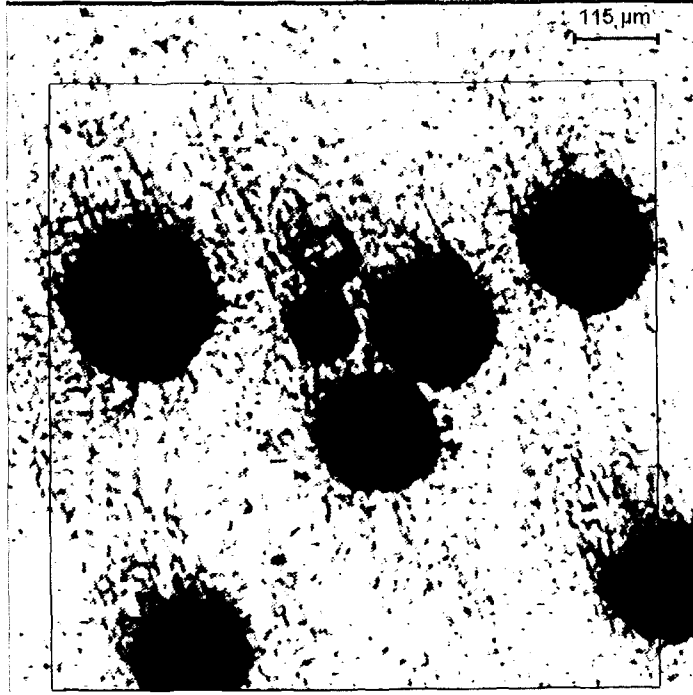
Şekil 6.12 %5 Al₂O₃ takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüsü,(x100) büyütmede.



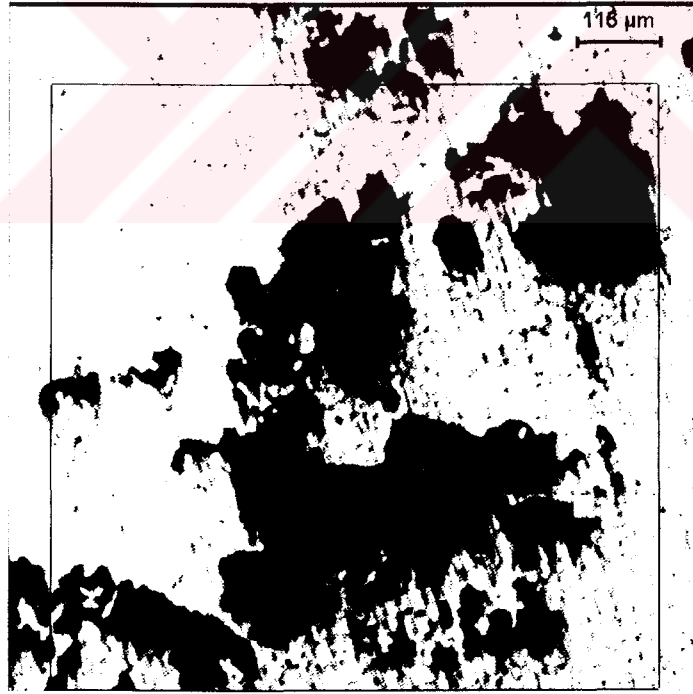
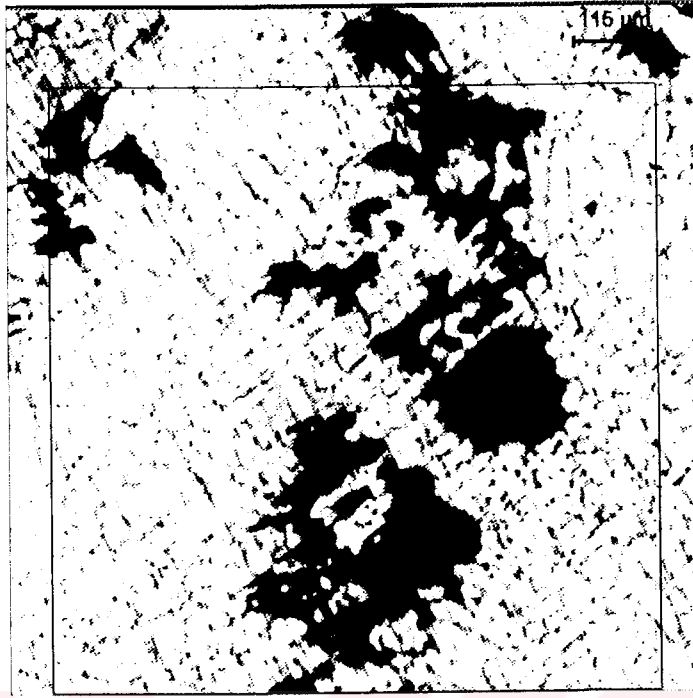
Şekil 6.13 %10 Al₂O₃ takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri,(x100) büyütmede.



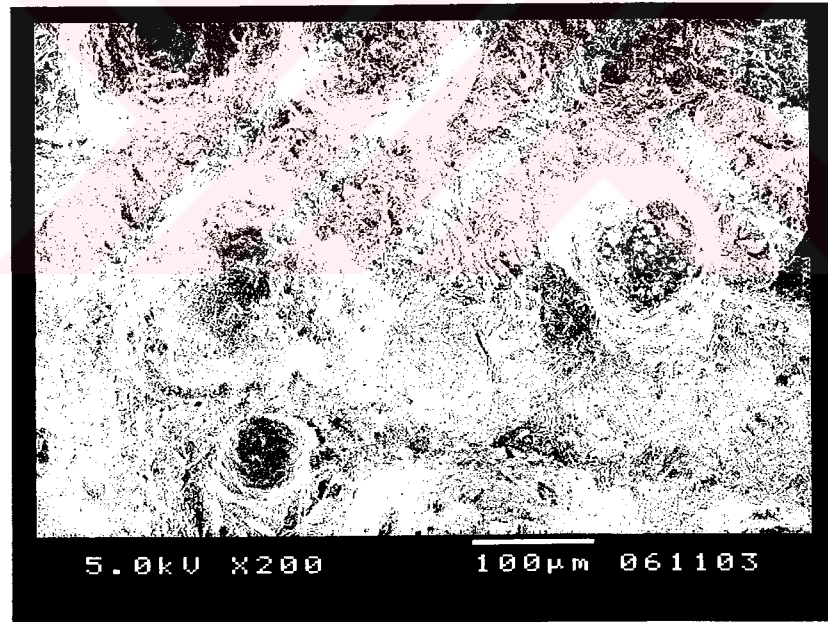
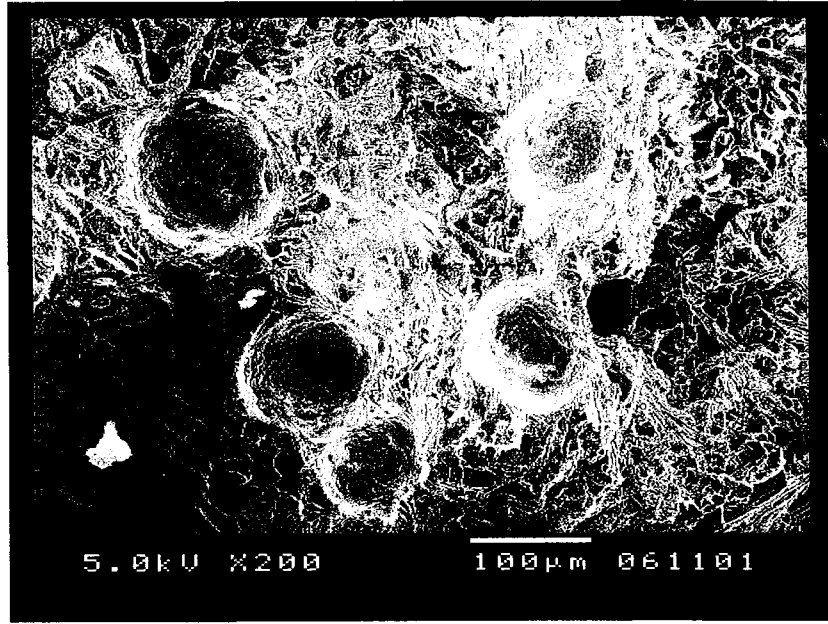
Şekil 6.14 %10 Al_2O_3 takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri,(x100) büyütmede.



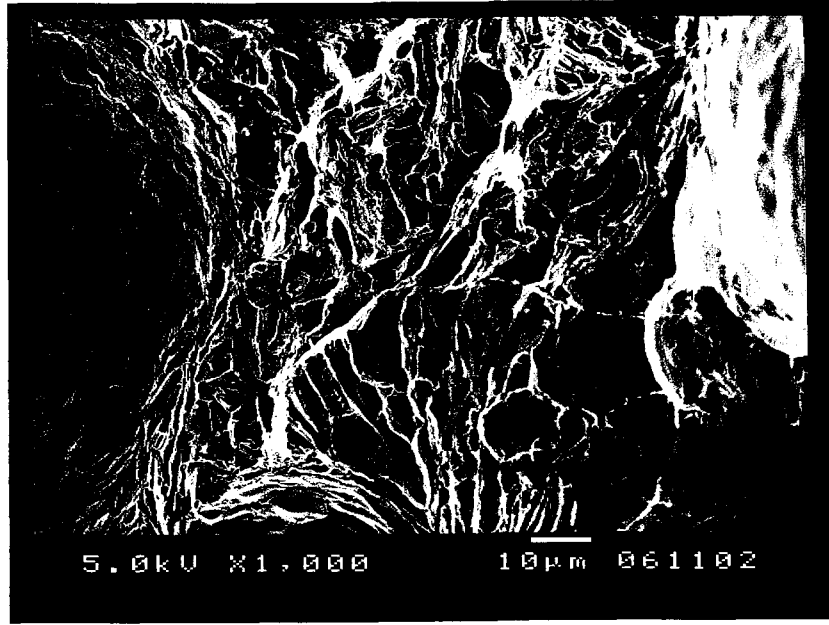
Şekil 6.15 %15 Al_2O_3 takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri,(x100) büyütmede.



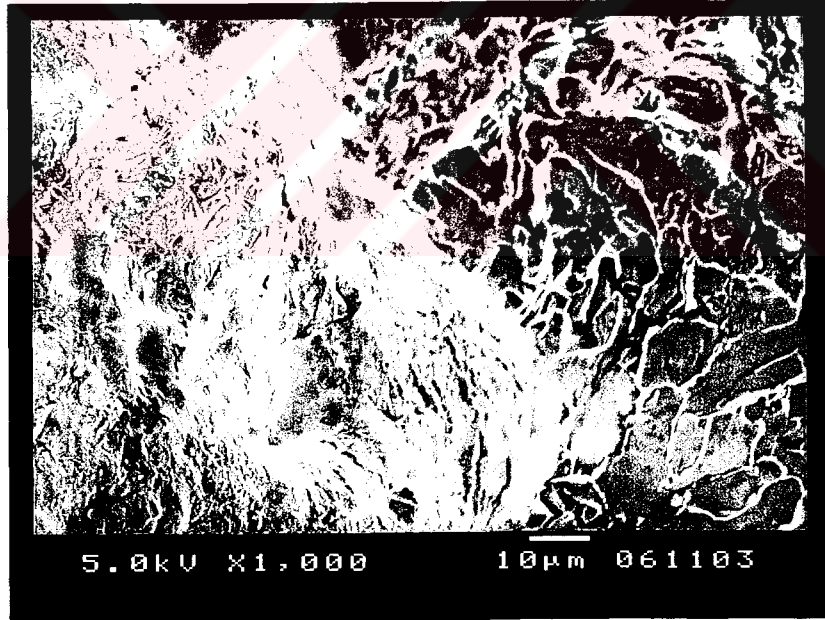
Şekil 6.16 %15 Al₂O₃ takviyeli kompozitte ışık mikroskobu görüntüleri,(x100) büyütmede.



Şekil 6.17 %15 Al_2O_3 takviyeli kompozitte SEM görüntüleri.

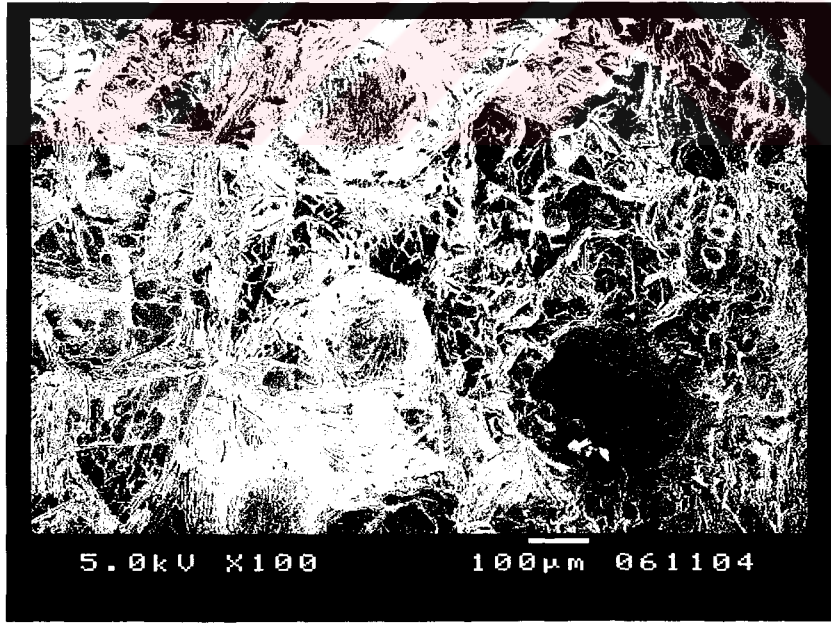
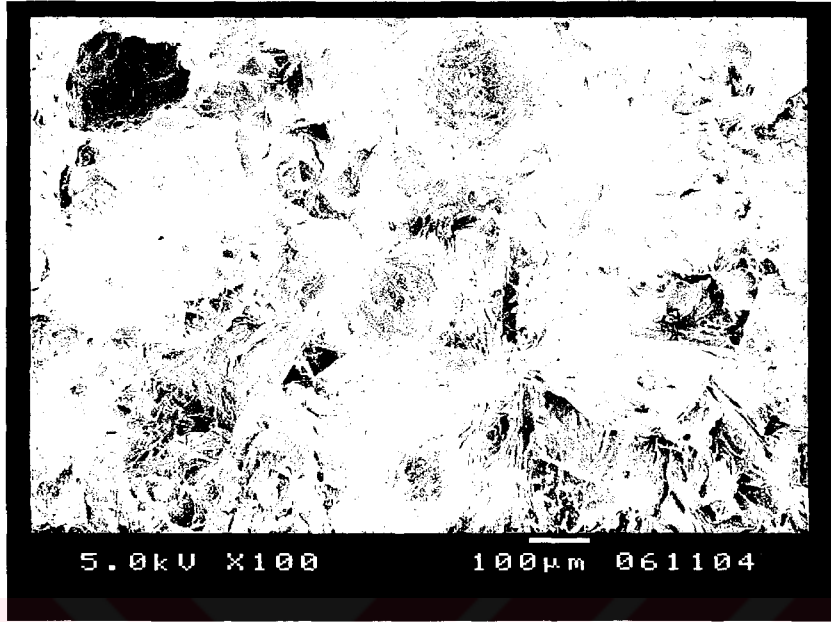


a

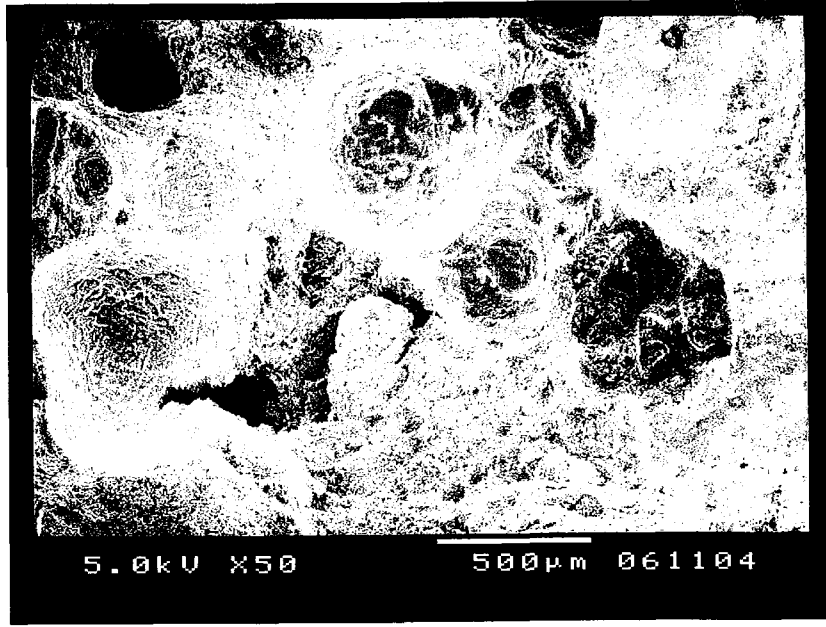


b

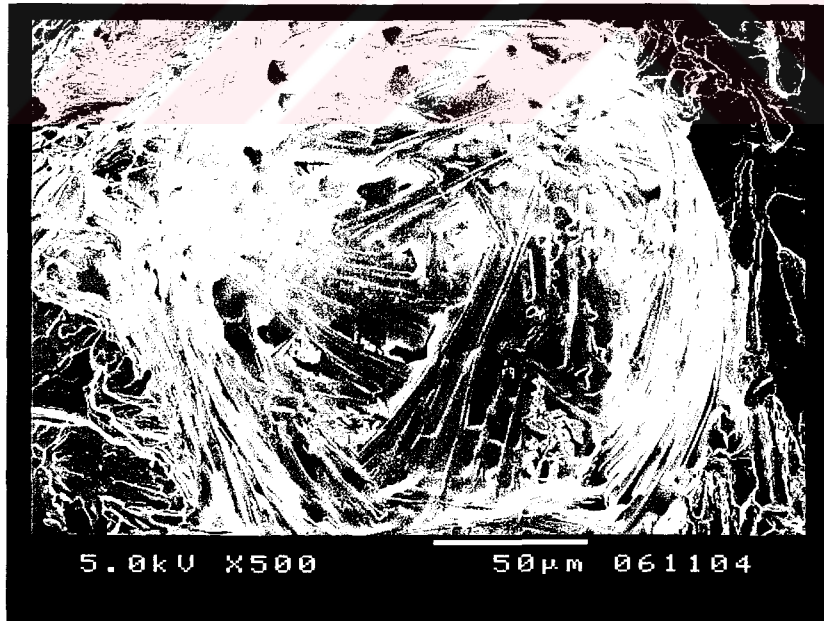
Şekil 6.18 % 15 Al_2O_3 takviyeli kompozitte a.partiküller arası ve arayüzey SEM görüntüsü, b. partikül yüzeyi SEM görüntüsü.



Şekil 6.19 %10 Al₂O₃ takviyeli kompozitte SEM görüntüleri.



Şekil 6.20 %5 Al_2O_3 takviyeli kompozitte SEM görüntüleri.



Şekil 6.21 % 10 Al_2O_3 takviyeli kompozitte , tek bir partikül yüzeyinin SEM görüntüsü.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Etial120(443) alüminyum matrisli Al_2O_3 partikül takviyeli kompozit malzeme, ergiyik karıştırma (vorteks) yöntemi ile üretilmiş, mekanik/fiziksel özellikler belirlenmiş ve mikroyapı karakterizasyonu yapılmıştır. Çalışmadan çıkan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

i) %5, %10 ve %15 Al_2O_3 takviye hacim oranlarında kompozit malzeme üretimi optimum olarak bulunan:

- 800 °C ergiyik karıştırma sıcaklığı,
- Karıştırıcı-pervane hızı 500 dev/dak,
- 500 °C ' de Al_2O_3 partikül ön ısıtılması koşullarında, elde edilmiştir.

ii) Üretilen kompozit malzemelerin yapılan çekme ve eğme deneyi sonuçlarında, Al_2O_3 partikül hacim oranı artışıyla, çekme ve eğme dayanımı ile elastiklik modülü değerlerinin arttığı, %15 Al_2O_3 hacim oranında maksimuma ulaştığı belirlenmiştir. Çekme dayanımı, 176 MPa, eğme dayanımı 375 MPa ve elastiklik modülü 83 GPa, değerlerine ulaşılmıştır. Yapılan ek deneyler sonucu yine Al_2O_3 partikül hacim oranı artışı ile çekme, eğme dayanımı ve elastiklik modülü değerlerine yükselme kaydedildiği görülmüştür.

iii) Üretilen kompozitin , darbe dayanımı Al_2O_3 hacim oranı artışı ile azalma göztermiştir. Darbe dayanımı % 5 hacim oranında 3.08 J/cm² değerinden %15 hacim oranında 1.71 J/cm² (çentiksiz numunelerde) değerine inmiştir. Kopma uzamsı değerleri ise genelde takviye partiküllerin ilavesi ile matris alaşımın (%8-10) değerinin altında gerçekleşmiştir.

iv) Al_2O_3 hacim oranı artışı ile kompozitin aşınma dayanımı artmış ve %15 takviye hacim oranlı kompozitte , dökme demir malzemeye (GGL/20) nazaran daha yüksek bir aşınma dayanımı elde edilmiştir.

- v) Yapı sertliği değerleri , Al_2O_3 hacim oranı artışı ile yükselmiş ve %15 hacim oranlı kompozitte 74 HV değerine ulaşılmıştır.Bu değer Etial 120 (443) matris alaşımı değerinden(42 HV) yüksektir.
- vi) Kompozit malzemenin yoğunluk değerleri , Al_2O_3 hacim oranı artışı ile yükselmiştir. (%5 için 2.58 g/cm^3 ‘den %15 için 2.64 g/cm^3 ‘ e).Karışımlar kuralına göre;
 $(\rho_c = \rho_p \cdot V_p + (1 - V_p) \cdot \rho_m)$, bulunan teorik yoğunluklar ile deneysel değerler karşılaştırıldığında uyum içersinde olduğu belirlenmiş fakat deneysel yoğunluklardaki artış hızı ,teorik artış hızından düşük kalmıştır. Al_2O_3 hacim oranı artışı ile, yapıdaki porozite miktarının artığı tespit edilmiş,%5 takviyeli kompozitte porozite %5 civarında gerçekleşirken,bu değer %15 takviye hacim oranında % 8 seviyesine yükselmiştir
- vii) Mikroyapı karakterizasyonu,işık ve tarama elektron mikroskobu ile görüntü analizör kullanılarak yapılmıştır.İncelemede , Al_2O_3 partiküllerin yapıda yeteri kadar homojen dağılmadığı ve segregasyonlu bölgeler oluşturduğu saptanmıştır.Görüntü analizör cihazı ile Al_2O_3 partiküllerin matris içersindeki boyutları ve alanları belirlenmiştir. Al_2O_3 partiküllerin incelenen alan oranları % 3.63 ila % 19.87 arasında bulunmuş ve bu değerlerin takviye hacim oranları ile uyum içersinde olduğu saptanmıştır.Kırılma yüzeylerinin , SEM görüntülerinde,kırılmanın genelde matris malzemesinde meydana geldiği belirlenmiştir.Partiküller arası mesafede gaz boşluklarının olduğu saptanmıştır.
- viii) Kompozit yapısının yüksek oranda porozite içermesi ve yeteri kadar homojen Al_2O_3 partikül dağılımının gerçekleşmemesi,mechanik dayanım değerlerinin artmasını engellemiştir.Ergiyik karıştırma esnasında oluşan aşırı oksidasyon meyli karıştırma süresinin kısıtlanmasına yol açmış ve dolayısıyla Al_2O_3 partiküllerin yapıda homojen dağılımını engellemiş ve yapının yüksek porozite içermesine neden olmuştur.

ix) Daha yüksek mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek için :

- 1- Homojen partikül dağılımının sağlanması için ,karıştırma işleminin, koruyucu atmosfer altında ,oksidasyon engellenecek şekilde yapılması ,
- 2- Porozitesiz yapı için gaz giderme işlemi,
- 3- Daha ince ve sünek yapı için , katkı madelerinin ilavesi ile ,yapının modifikasyonu,
- 4- Döküm sonrası,yapıyı bir miktar daha homojenize ettiğinden dolayı ,pres enjeksiyon döküm yönteminin kullanılması,
- 5- Al_2O_3 partiküllerin ,ıslatma özelliğini geliştirmek için ,temas açısının 90^0 ' nin altında olması ve bunu sağlamak için de partiküllerin yüksek sıcaklıklarda ön ısıtılması,
- 6- Karıştırılan ergiyik içinde oluşan vortekse , takviye partiküllerin ,ergiyik viskozitesinin kontrolü ve daha homojen dağılımı için , miktarı ölçülebilir bir partikül ilave ya da enjekte sistemi ile verilmesi,

gerekmektedir.

Tez çalışmamızda elde edilen sonuçların,bakış açısından, üretilen Al_2O_3 partikül takviyeli ,Etial 120 (443) matris alaşımlı kompozit,istenilen mekanik ve fiziksel özelliklerin sağlanması için ,gerekli olan imalat şartları sağlandığı takdirde,başta fren-diski ve hafif-jant gibi otomotiv uygulamalarında kullanımı mümkün olacaktır.Ancak burda kompozit malzeme,özellikle istenilen uygulama için (aşınma,rijitlik ve dayanım gibi) ,özellikle dizayn edilmeli ve takviye partikül hacim oranı , tipi,boyutu,üretim koşulları ve matris alaşım malzemesi gibi değişkenler dikkatlice seçilmelidir.

Ticari olarak, üretim aşamasına gelen,alüminyum MMK'lerden rekabet edebilir bir ürün için ,tüm faktörler(malzeme maliyetleri,talaşlı işlem,takım maliyeti,tekrar kullanım vs.) dikkate alınıp incelenmelidir.2000'li yılları otomobillerinde ,zorunlu olarak getirilen yeni emniyet unsurları,aracın ağırlığını arttırmakta , buna mukabilen düşük emisyonlu araç üretim zorunluluğu ,otomotiv sektörünü ,düşük yoğunluklu ve yüksek dayanımlı malzeme arayışına itmektedir.Dolayısıyla,maliyet/fayda ilişkisinde rekabet edebilir malzeme arayışlarında, Alüminyum matrisli partikül takviyeli kompozitler otomotiv sektörüne çekici olacaktır.



KAYNAKLAR

- Allison J.E. ve Cole G.S, (1993) "Metal Matrix Composites in the Automotive Industry: Opportunities and Challenges", JOM Jan. 1993, 19-24
- Akbulut H., Durman M ve Yılmaz F., (1993) "SiC Seramik Takviyeli Al-Si Esaslı Kompozitlerin Üretim ve Özelliklerin İncelenmesi", Uluslararası 7.Met.ve Malzeme Kongresi Bildirileri, Cilt-2", Ankara,1993, 1183-1194.
- Aytekin V., (1980), "Metalurji Termodinamiği", İ.T.Ü. İstanbul-1980
- Bayraktar Y., (1994) "Al-Si Alaşımların Modifikasyonu ve Takviyesi", Metalurji, Sayı: 92, Ekim 1994, 79-87.
- Bieler T.R., Mishra R.S. ve Mukherjee E., (1996), "High-Strain-Rate Superplasticity in Al-Matrix Composites", JOM Feb. 1996, 52-57.
- "Composites" (1987), ASTM Int. Handbook Vol.1., 1987-USA, 902.
- Davies C.H.J., Raghunathan N. ve Sheppard T., (1992), "Structure Property Relationships of SiC-Reinforced Al-Zn-Mg-Cu Alloy", Mater. Scien. and Tech., Vol.8-Nov.1992. 977-984.
- Dekock J.A. ve Chang Y.A., (1993), "The Stability of Interfaces in High-Temperature MMCs.", JOM March 1993, 21-23.
- Dikeç F., (1982), "Metalurji Termodinamiği", İ.T.Ü. İstanbul
- "Duralcan Aluminum Composites", (1993), Product Catalogue, Duralcan-San Diego-USA.
- Ferguson B.L., (1992), "Spray Deposition of Metal Powders" Metals Handbook, 9th Edt., Vol7, AMS-1992, USA, 530-532.
- Foltz J.V. ve Blackman C.M., (1997), "MMC's", Metals Handbook 10th Edt., Vol.2, AMS- 1997, USA, 903-912.
- Frank. A. , Clintock M.C. ve Argon A.S., (1996), "Mechanical Behaviour of Materials", 1996 - USA.
- Friler J.B., Argun A.S. ve Cornie J.A., (1993), "Strength and Toughness of Carbon Fiber Reinforced Al-Matrix Composites" Mater. Scien. And Eng., A162, 1993, 143-152.
- Geçkin E., (1992), "İleri Teknoloji Malzemeleri", İ.T.Ü.- İstanbul, 1992.
- Helvacıoğlu İ., (1994), "Sıvı Al-Rafinasyonu", Metalurji, Sayı:92, Ekim 1994, 68-73.

Hust S.L., (1954), "Metal Properties" ASME Handbook, McGraw-Hill Co.-London, 1954.

Jansson S., Beve H.E ve Evans A.G.,(1991), "Anisotropik Mechanical Properties of Ti-Alloy Composite Reinforced with SiC-Fibers", Metall. Transc. A, Vol.22A, 1991, 2975-2983.

Karagöz Ş., (1992), "Toz Metalurjisi Ders Notları", YTÜ.İstanbul, 1992.

Khatri S. ve Koczak M., (1993), "Formation of TiC in In-Situ Processed Composites via Solid-Gas, Solid-Liq. And Ligq- Gas Reactions in Molten Al-Si Alloy. "Mater. Scien. and Eng., A 162, 1993, 153-162.

Koczak M.J. ve Premkumar M.K., (1993) Emerging Teach. For the In-Situ Prod. Of MMCs," JOM Jan. 1993, 44-48.

Kunaz S.C., Akbulut H ve Durman M., (1993) Saffil Fiber Takviyeli Zn-Al Alaşımı. MMK'lerin, İnfiltrasyonu Yöntemi ile Üretimi ve İncelenmesi" Ulus 7.Met. ve Malz. Kon. Bil., Cilt2, 1993, 1155-1164.

Liu Y., Rohatgi P.K. ve Roy S., (1993), " Tribological Charac. Of Al-50 vl. Pct. Graphite Composite, Metall. Transc. A, Vol 24 A, Jan., 1993, 151- 159.

Lloyd D.J., (1994), " Particle Reinforced Al- and Mg-Matrix Composites", İnter. Mater Revius, 1994, vol. 39, No:1, 1-23.

Marie E., Verde C-, Lormad G ve Fougères R., (1994), "Study of Damage Mechanizms İn an OSPREY Al-Alloy SiCp Composite by SEM in Situ Tensite Test", Mater. Scien. And Eng., A196, 1995, 135-144.

"Malzeme Bilgisi ve Muayenesi", (1977), çev.Prf.Dr.M.Y. Gürleyik, K.T.Ü.Müh.Mim.Fak.1977

"Malzeme Bilgisi-2", (1978), Çev.Ş.Güleç ve A.Aras, TÜBİTAK-Gebze.1987.

"Malzemenin Yapı ve Özellikleri Cilt-2"(1986), İç Yapıların Termodinamiği, Çev.Prof.Dr.Onaran ve Doç.Dr.S.Atıntaş, İ.T.Ü., İstanbul, 1986, 45-60.

Margin C.G.E, Iscaacs J.A. ve Clark J-P., (1996), "MMCs for Automotive Ergine Applc.", JOM Feb. 1996, 49-51.

Mehrabian R., Riek R.G ve Flewings M.C., (1974), "Preparation and Casting of Metal particulate Non-Metal Composites", Metall. Transc., Vol 5, Aug. 1974, 1899-1905.

"Metals Handbook 9th Edt., Vol 7., (1992). "Atomization,AMS-1992-USA, 25-49.

"Metalurji Problemleri", (1978), Çev. Prof. Dr. Veli Aytekin, İ.T.Ü-İstanbul-1978.

- "Metals Handbook", 9th Edt., Vol.16, (1992), "Machinig of MMC_s, AMS-1992-USA.
- Mondolfo L.F., (1976), Al-Alloys, Structure & Properties", Butterworths-London-1976.
- Mortensen A., Michaud V.J. ve Flemings M.C., (1993a), "Pressure-Infiltration of processing of Reinforced Aluminum", JOM Jan. 1993, 36-43.
- Mortensen A., Michaud V.J. ve Flemings M.C., (1993b), "Reserching MMC_s at MIT Dept. Of M.S.E.", JOM Jan. 1993, 62-63
- Muscat D., Shanker K. Ve Drew A.L., (1992), "Al/TiC Composites Produced by Melt Infiltration", Mater. Scien. And. Eng., Vol. 8, 1992, 971-976.
- Perez R.J., Zhang.J., Güngör M.N. ve Lavarna E.J., (1993), "Damping Behaviour of 6061 Al/Gr MMC_s", Metall. Transc., Vol. 24A March 1993, 701-711.
- Peters S.T., (1998), "Handbook of Composites", 2nd Edt. , Chapman-Hall-USA-1998.
- Pillai U.T., Pai B.C., Kelukutly V.S. ve Satyanarayana Y., (1993), " Pressure Die Cast Gr-Dispersed Al-Si-Mg Alloy Matrix Composites", Mater. Scien. And Eng., A169, 1993, 93-98.
- Premkumar M.K. ve Chu M.G., (1993), " Synthesis of TiC_p and Their Segregation in In-Situ Processed Al-TiC Composites", Metall. Trans. Vol. 24A, Oct. 1993, 2358-2361.
- Rapp R.A ve Zhang X, (1991), "Thermodynamic Consideration of Grain Refinement of Al-Alloys by Ti and Carbon", Metall.Transc, vol.22a, Dec.1991, 3071-3075.
- Rohatgi P., (1991),"Cast MMC_s for Automotive Appl." JOM April 1991, 10-15.
- Rohatgi P., (1992)," Cast MMC_s", Metals Handbook, 9th. Edt., Vol. 15, Casting, AMS-1992, USA, 840-854.
- Sahoo P.ve Koczak M.J., (1991a),"Microstructure- Property Relat. Of in -situ Reacted TiC/Al-Cu MMC_s", Mater .Science. And Eng. A131, 1991, 69-76.
- Sahao P. ve Koczak M.I. (1991b),"Analysis of in-Situ From of TiC in Al-Alloys", Mater. Scien and Eng., A144, (1991), 37-44.
- Sato A. ve Mehrabian R., (1976), "Al-matrix composites: Fabrication and Properties",Metall.Tansc., Vol.7.B, Sep.1976, 443-451.
- Singer A.R.E., (1991), "MMCS Made by Spray Forming", Mater.Scien. and Eng., A135, 1991, 13-17.
- Spencer D.B., MehrabianR. ve Flemings M.C., (1972), "Rheological Behv. Of Sn-15 Pct Pb in the Cryst. Range", Metall.Trans., Vol. 3, July 1972, 1925-1932.

Svendsen L. ve Jarfors A., (1993), "Al-Ti-C Phase Diagram" Mater. Scien and Tech., vol.19, Nov.1993, 948-956.

Tükel N., (1984), "Malzeme Bilgisi", Y.T.Ü.İstanbul.1984.

Urquhart A.W., (1991), "Novel Reinforced Ceramics ad Metals: a Review of Lanxide's Composite Technologies", Mater. Scien.and Eng., A144, 1991, 75-82.

Valencia J.J., Lofvander I.P.A., MC Cullough. C ve Levi C.G., (1991). "In-Situ Grown Reintf For. Ti-Aluminades", Mater Science and Eng., A144, 1991, 51-36

Ward- Close C.M. ve Froes F.H, (1994), "Devep. in the Synthesis of Lightweight Metals", JOM.Jan. 1994, 28-31.

Williams, J.E., (1992) "Production of Al-Powder; Metals handbook. 9th Edt. Vol.7.AMS-1992, USA, 125-130.

Yılmaz F. ve Altıntaş S., (1993a), " Parçacık SiC takviyeli Al-esaslı Kompozitlerin Mikroyapı ve aşınma özellikleri; Ulus 7. Met. Ve Mal. Kong. Bldr.Kit.Cilt-2, Ankara-1993, 1121-1255.

Yılmaz F., Durman M. ve Akbulut H., (1993b), "Saffil fiber takviyeli Al-Si Metal Matrisli kompozitlerin üretimi ve özelliklerin incelenmesi" Ulus. 7.Met.ve Mal. Kon.Bild. Kit. Cilt-2, Ankara-1993, 1141-1154.

Yokohama.N., Sakai.N., Kawada M ve Dokiya M., (1991), "Chemical Pot. Diag. Of Al-Ti-C system", Metall .Transc A, Vol.22.A. Dec.1991, 3075-3076

Zhang J, Perez R.J ve Lavernia E.J. (1994), "Effect of SiC and Gr Part. on the Damping Behv. Of MMCs", Acta Metall. Mater, Vol.42, No:2,1994,395-409.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	01.11.1967
Doğum Yeri	Şumnu
Lise	1982-1986 Maçka Teknik Lisesi, Makine Bölümü
Lisans	1986-1990 Y.T.Ü. Müh. Fakültesi, Metalurji Bölümü
Lisans Tezi	Korozyona Dayanıklı Mikroalaşımli Çelikler-1990
Yüksek Lisans	1990-1995 Y.T.Ü., F.B.E. Metalurji Anabilim Dalı, Malzeme Programı
Yüksek Lisans Tezi	Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretimi-1995
Yabancı Dil	İngilizce
Çalıştığı Kurum	1993-1999 , IDC -Textron Ltd. 1999-Devam ediyor, Onurfix Montaj Sist. Ltd.