

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

78166

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AA 2014 MATRİSLİ - B₄C PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Makina Müh. Aykut ÇANAĞCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“Makina Yüksek Mühendisi”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

TC YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
TEZ YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27.07.1998
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 02.09.1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

F. Arslan

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Aydın BIYIKLIOĞLU

A. Biyıklıoğlu

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hasan SOFUOĞLU

H. Sofuoğlu

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

A. Kadioğlu

Trabzon 1998

78166

ÖNSÖZ

AA2014 Matrisli-B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Üretmesini ve Özelliklerinin İncelenmesini içeren bu çalışma, K.T.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimleri Laboratuvarında kurulan deney düzeneğinde yapılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince tez danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi, gerekse çalışmaların yürütülmesi sırasında her türlü yardımı esirgemeyen, eleştiri ve teşvikleriyle beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Fazlı ARSLAN'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Çalışmam süresince her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen tüm bölümdeki teknisyen arkadaşlara teşekkür ederim.

Trabzon, Eylül 1998

Aykut ÇANAKÇI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII

1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kompozit Yapısı ve Sınıflandırılması	4
1.2.1. Kompozitlerin Yapısı	4
1.2.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması	6
1.2.2.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler	6
1.2.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler.....	8
1.2.2.3. Yapı Kompozitleri	9
1.3. Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Genel Kapsamlı İncelenmesi	10
1.3.1. Giriş	10
1.3.2. Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Sınıflandırılması	10
1.3.2.1. Küçük Parçacıklı Kompozitler	10
1.3.2.2. İri Parçacıklı Kompozitler	13
1.3.3. Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	13
1.3.3.1. Sıvı Faz Ortamında Üretim	14
1.3.3.1.1. Vortex Yöntemi	15
1.3.3.1.2. Sıvı Metal Emdirme Yöntemi.....	17
1.3.3.1.3. Sıvı Metal Oksidasyonu	18
1.3.3.1.4. Sıvı Metal İle Doğrudan Karıştırma Yöntemi.....	18

	<u>Sayfa No</u>
1.3.3.1.5. Kompozit Döküm Yöntemi(Compcasting)	19
1.3.3.2. Katı Faz Ortamında Üretim Yöntemleri	22
1.3.3.2.1. Toz Metalurjisi	22
1.3.3.2.2. Yüksek Enerjili-Hızlı Üretim Yöntemleri	23
1.3.3.2.3. SAP Tekniği	24
1.3.3.2.4. Mekanik Alaşımlama	25
1.3.3.3. İki Fazlı Üretim Yöntemleri	26
1.3.3.3.1. Osprey Yöntemi(Püskürterek Biriktirme Yöntemi)	26
1.3.3.3.2. Reodöküm	28
1.3.3.3.3. Çok Fazlı Malzemelerin Birlikte Çökeltilmesi	30
1.3.3.4. Diğer Üretim Yöntemleri	32
1.3.3.4.1. Birlikte Çöktürme	32
1.3.3.4.2. İç Oksitlenme (Internal Oksidation)	32
1.4. Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Özellikleri	33
1.4.1. Fiziksel ve Mekanik Özellikler	33
1.4.1.1. Fiziksel Özellikler	33
1.4.2. Oda Sıcaklığındaki Davranışlar	37
1.4.2.1. Çekme Özellikleri	37
1.4.2.2. Yorulma ve Kırılma Özellikleri	40
1.4.2.3. Yüksek Sıcaklık Davranışları	43
1.5. Metal Matris Kompozitler	45
1.5.1. Metal Matris Kompozitlerin Özellikleri	46
1.5.1.1. Genel Özellikler	46
1.5.1.2. Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri	50
1.5.1.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Uygulama Alanları	57
1.5.1.4. Süreksiz Katkılı Metal Matrisli Kompozitlerin Uygulama Alanları	59
1.5.1.4.1. Yapı Amaçlı Uygulamaları	59
1.5.1.4.2. Otomotiv Uygulamaları	62
1.5.1.4.3. Elektronik ve Optik Uygulamaları	64

	<u>Sayfa No</u>
1.6. Alüminyum-Seramik Takviyeli Kompozitlerin Özellikleri ve Hazırlanmaları	67
1.6.1. Alaşım Sistemlerinde Islatmanın Gerçekleştirilmesi	68
1.6.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarına Seramik Parçacıklarının Karışımını ve Dispersiyonunu Etkileyen Faktörler	72
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	73
2.1. Giriş	73
2.2. Kullanılan Malzemeler	73
2.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Alet ve Cihazlar	75
2.4. Deneylein Yapılışı	77
2.4.1. Parçacıklı Kompozit Üretimi	77
2.4.2. Kompozitteki Parçacık Oranının Tayini	79
2.4.3. Çekme Dayanımı ve Sertlik Ölçümleri	79
2.4.4. Metalografik İncelemeler	79
3. BULGULAR	80
3.1. Metalografik İncelemeler	80
3.2. Parçacık Hacim Oranının Çekme Dayanımına Etkisi	84
3.3. Parçacık Hacim Oranının Sertliğe Etkisi	89
4. İRDELEME	91
5. SONUÇLAR	94
6. ÖNERİLER	95
7. KAYNAKLAR	96
8. ÖZGEÇMİŞ	99

ÖZET

Bu çalışmada matris malzemesi olarak AA 2014 alüminyum alaşımı, parçacık olarak da bor karbür (B_4C) kullanılarak sıvı ortamda "Vortex" yöntemiyle parçacık takviyeli kompozit üretimi yapılarak mekanik özellikleri incelenmiştir.

Matris malzemesinin normal şartlarda parçacıkları ıslatması çok kötü olduğundan parçacıkların karıştırılması için $1000^{\circ}C$ gibi bu alaşımlar için çok yüksek olan sıcaklıklara ısıtmak gereklidir. Bu durumda ise aşırı oksitlenme ve gaz çözündürme sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada matrisin parçacıkları ıslatması için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde parçacıklar sıvı metale katılmadan önce ($\% 50 H_2SO_4 + \% 50 HF$) asit karışımında 5 dakika bekletilerek yüzeyi temizlenmekte ve $150^{\circ}C$ ' da 12-24 saat kurutulup $400^{\circ}C$ ' de 2 saat ön ısıtmaya tabii tutulduktan sonra $680^{\circ}C$ ' daki sıvı metale karıştırılmaktadır. Metalografik incelemeler yeni geliştirilen bu yöntemde parçacıkların matris içinde tutularak homojen bir şekilde karışması sağlandığını göstermiştir. Katılan parçacık hacim oranı $\%1.5$ ' den $\% 12$ ' ye kadar değiştirilerek, parçacık hacim oranının sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzamasına etkileri incelenmiştir. Parçacık hacim oranı arttıkça çekme dayanımı ve kopma uzamasının azaldığı gözlenmiştir. Bu durum parçacıkların iç yapıda inklüzyon gibi davranarak matrisin sürekliliğini bozması ve deformasyon sırasında parçacık-matris arayüzeyinde çatlak oluşumunun kolaylaştırılmasıyla açıklanmıştır. Sertlik ise $\%9$ parçacık oranına kadar yaklaşık ≈ 6 BSD kadar artmakta ve bu hacim oranının üzerinde ise, iç yapıda aşırı gözenek oluşumu nedeniyle azalmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Metal matrisli kompozitler, Parçacıklı kompozitler, Bor karbür, Vorteks yöntemi, Mekanik özellikler

SUMMARY

Manufacturing of AA 2014 Matrix-B₄C Particulate Composites and Investigating Properties

In this study metal matrix particulate reinforced composite was manufactured using AA2014 aluminum alloy matrix and B₄C particulate. Mechanical properties of manufactured composites such as hardness, tensile strength and elongation after fracture at different particulate volume ratios were also investigated.

It is very difficult to manufacture these composites because of bad wetting of liquid matrix of B₄C particles. It is necessary to heat the liquid matrix up to 1000°C in order to improve wetting properties. But this comparatively high temperature causes excessive oxidation and gas entrapment in liquid metal. A new method was developed in this study which is based on cleaning of particulate surfaces using an acid (% 50 HF +% 50 H₂SO₄) mixture before mixing with liquid alloy. B₄C particles were dried at 150 °C for 12 -24 hours and preheated to 400 °C before adding to liquid alloy at 680°C . The results of microscopic examinations showed the particles were held in the matrix and homogeneous mixture was obtained.

Particle volume ratios were changed between % 1.5 to % 12 and the relations between particle volume ratios hardness and tensile strength and elongation after fracture were investigated. The test results showed that tensile strengths and elongations were decreasing with increasing particle content. This was attributed to ease of crack formation B₄C/matrix interfaces. Hardness test results indicated that hardness was increasing with particle volume ratio up to % 9. But it was decreasing again because of excessive porosity formation.

Key words : Metal matrix composites, Particulate composites, Boron carbide, Vortex method, Mechanical properties

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Kompozit malzemenin yapısı	5
Şekil 2.	Ara yüzey oluşumu	5
Şekil 3.	Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	6
Şekil 4.	Elyaf takviyeli malzemelerde elyafların kompozit içerisindeki dizilişi	7
Şekil 5.	Farklı yapıdaki kompozitlerin karşılaştırılması	8
Şekil 6.	Matrisin parçacığı ıslatması	12
Şekil 7.	Vortex yönteminin şematik şekli	15
Şekil 8.	Sıvı metal ile doğrudan karıştırma yöntemi	19
Şekil 9.	Alaşımın sıvı bölgesinde ısıtılıp; sıvı+kıta bölgesine indirerek faz oranlarının belirlenmesi	20
Şekil 10.	Karıştırma işlemi	20
Şekil 11.	Kıta+sıvı karışım içerisinde parçacık katılması	21
Şekil 12.	Basınçlı döküm	21
Şekil 13.	Toz metalurjisi üretim yönteminin şematik diyagramı.....	22
Şekil 14.	Yüksek enerjili-hızlı işlemin şematik gösterimi	24
Şekil 15.	SAP tekniğinin uygulama safhaları	25
Şekil 16.	Mekanik alaşımlama ile üretim yöntemi	26
Şekil 17.	a) Püskürterek biriktirme yöntemi, b) SiC parçacıklarının teğetsel enjeksiyonu c) SiC parçacıklarının merkezden enjeksiyonu	27
Şekil 18.	Reodöküm yöntemi	29
Şekil 19.	a) Püskürtme atomizasyonu ve çökeltme cihazı b) Parçacık iletiminde kullanılan akışkan yatağı	31
Şekil 20.	Takviye parçacıklarının katılma işlemi şematik görünüşü	31
Şekil 21.	AgCd alaşımında iç oksitlenmenin oluşumu	33

Şekil 22. SiC(●), BC ₄ (▲) veya AlN (■) takviyeli Al ve Mg matrisli karma malzemelerin ölçülen α değerleri.(-) Karışım Kuralı, (...) Kerner Modeli, (...) Turner Modeli	35
Şekil 23. Bakır matris içine dağılmış Tungsten kompozitte Tungsten hacim oranı ile elastik modülün değişimi	37
Şekil 24. a) SiC/6061 Al karma malzemelerin elastiklik modülüne takviye oranını etkisi b) %20 SiC takviyeli ; a- 7075 Al, b- 2124 Al, c- 6061 Al, d- 5083 Al matrisli karma malzemelerin gerilme-uzama davranışlarına Al matrislerin etkileri. c) T6 Temper SiC/Al karma malzemelerin gerilme-uzama eğrileri	39
Şekil 25. SiC takviyeli 6061 Alüminyum için S/NN eğrileri	40
Şekil 26. SiC takviyeli MB 78 için R= 0.1'de gerilme şiddet aralığı (K) ile yorulma çatlağı büyüme hızı	41
Şekil 27. T=750C ^o , σ = 150MPa'da %13 SiC _p -2014 Al için sürünme eğrileri	42
Şekil 28. T=923 C ^o , σ = 141 MPa için %30 SiC _p -6061 Al'un sürünme eğrileri	42
Şekil 29. Takviyesiz (□), % 20SiC _p takviyeli(●) ve %25 SiC _w takviyeli(O) 6061 Al matris alaşımının bir gerilme fonksiyonu olan minimum sürünme hızları	44
Şekil 30. Çeşitli kompozitlerin maliyet-performans ilişkileri	44
Şekil 31. Çeşitli katkıları içeren Al ve Mg bazlı kompozitlerin özgül özelliklerinin karşılaştırılması	45
Şekil 32. Katı üzerine düşen sıvının şematik diyagramı ve ıslatmanın iyi olmadığı sistemde ıslatma açısı ve arayüzey zorlamalarının gösterimi	50
Şekil 33. Çeşitli katkıları içeren Al ve Mg bazlı kompozitlerin özgül özelliklerinin karşılaştırılması	53
Şekil 34. Alüminyum-B ₄ C sisteminde ıslatma açısının sıcaklık ve zamanın fonksiyonu olarak değişimi	69

Şekil 35. Katı üzerine düşen sıvının şematik diyagramı ve ıslatmanın iyi olmadığı sistemde ıslatma açısı ve ara yüzey zorlamalarının gösterimi	70
Şekil 36. Katının sıvı içerisine daldırılarak ıslatılması	71
Şekil 37. Bor karbürün X-ışınları difraksiyon spektrumu	74
Şekil 38. Karıştırıcı ve pervane kanatçıklarının yapısı	76
Şekil 39. Kullanılan kalıbın şekli	76
Şekil 40. Deney düzeneğinin şematik görünüşü	77
Şekil 41. Yüzey işlemi uygulanmış B ₄ C kullanılarak üretilen kompozitlerin iç yapıları	81
Şekil 42. Yüzey işlemi uygulanmış B ₄ C parçacıklarından üretilen kompozitleri optik mikroskopta çekilen iç yapıları	83
Şekil 43. Yüzey işlemi uygulanan B ₄ C kullanılarak üretilen kompozitlerin iç yapıları (SEM)	85
Şekil 44. Parçacık-matris ara yüzeyleri	87
Şekil 45. B ₄ C parçacık takviyeli kompozit malzemenin çekme dayanımını parçacık hacim oranı ile değişimi	88
Şekil 46. Kopma uzamasının parçacık hacim oranı ile değişimi	88
Şekil 47. Sertliğin parçacık hacim oranı ile değişimi	90

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa no</u>
Tablo 1. Temel mühendislik malzemelerinin bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri	2
Tablo 2. Dispersiyonla mukavemeti artırılmış kompozitlere örnekler	13
Tablo 3. Katkı malzemesi olarak en çok kullanılan sürekli fiberlerin mekanik özellikleri	47
Tablo 4. Süreksiz katkı malzemelerinin kullanılabilirliğini etkileyen bazı özellikler	48
Tablo 5. MMK'lerde en yaygın olarak kullanılan matris alaşımlarının mekanik özellikleri	51
Tablo 6. Sürekli fiber katkılı bazı MMK'lerin mekanik özellikleri.....	52
Tablo 7. Seçilmiş bazı malzemelerin özgül özellikleri	53
Tablo 8. Süreksiz katkılı çeşitli Al-alaşımı veya Mg-alaşımı bazı MMK'lerin mekanik özellikleri	54
Tablo 9. Metal matrisli kompozitlerin ABD'deki pazar payları(Milyon ABDdoları).....	58
Tablo 10. Süreksiz katkılı MMK uygulamaları	60
Tablo 11. Kullanılan bazı parçacıkların ana karakteristikleri.....	67
Tablo 12. Deneylerde kullanılan Etial 21 (AA2014) alaşımının bileşimi.....	73
Tablo 13. Magnezyum katılan numunelerden elde edilen sonuçlar.....	80
Tablo 14. Çekme deneyi sonuçları.....	84
Tablo 15. Parçacık hacim oranı ile sertliğin değişimi.....	89

SEMBOLLER DİZİNİ

A°	: Parçacık boyutu ($1A^{\circ}=10^{-7}mm=10^{-4}\mu m$)
PVC	: Polivinilklorür
μm	: Parçacık boyutu ($10^{-3}mm$)
θ	: Temas açısı
SAP	: Sintered Alüminium powder (Sinterlenmiş alüminyum toz)
TD	: Mukavemeti arttırılmış
$^{\circ}C$: Muklak sıcaklık
T_e	:Ergime sıcaklığı
T_k	: Katılma sıcaklığı
MJs^{-1}	: Darbe enerjisi
MO	: Metal oksit
M	: Metal
MMK	: Metal matrisli kompozitler
α	: Isıl genleşme katsayısı
V	: Hacim
μ	: Kayma modülü
K	: Fazın kütle modülü (matris veya takviye elemanı)
E	: Elastiklik modülü
ρ	: Yoğunluk
ϵ	: Uzama(%)
λ	: Geometrik olarak kayma mesafesi
γ	: Kaymada boyut değişimi
σ_a	: Akma gerilmesi
τ_a	: Kayma gerilmesi
b	: Burgers vektörü
ν	: Poisson oranı
L	: Dislokasyon çapı
d_i	: Kayma düzlemindeki parçacıkların ortalama çapı
C	: Malzeme sabiti

n	: dislokasyon sayısı
r	: Dislokasyon eğrilik yarıçapı
$\dot{\epsilon}$: Sürünme hızı (s^{-1})
A	: Yapıya ve sıcaklığa bağlı bir sabit
R	: Gaz sabiti
n	: Gerilme üssü
TM	: Toz metalurjisi
T6	: Suni yaşlandırma uygulanmış
F	: İmal edilmiş durumda
T4	: Doğal yaşlandırılmış
T8	: Çözündürmeden sonra soğuk işlenmiş ve suni yaşlandırılmış
T5	: Sıcak işlemde sonra suni yaşlandırılmış
T7	: Çözündürme işleminden sonra aşırı yaşlandırma ile stabilize edilmiş
SKA	: Süreksiz katkılı alüminyum
SKAK	: Süreksiz katkılı alüminyum kompozitler
B ₄ C	: Bor karbür

Alt İndisler:

k.e.	: kısa elyaf
w	: whiskers
p	: parçacık
m	: matris
t	: takviye
f	: fiber
e	: elyaf

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kimyasal bileşimi ve özellikleri farklı olan iki veya daha fazla malzemenin özelliklerini tek malzemede toplamak veya yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelere kompozit malzemeler adı verilir.

Günlük konuşmalarda veya sözlük anlamda kullanılan kompozit terimi, çeşitli parça veya elementlerden oluşan malzemeleri tanımlar. Bu düşünceden hareket edildiğinde pek çok malzemenin kompozit grubu içerisinde yer alması mümkün görünmektedir. Ancak bu durumda, alaşımlar gibi klasik mühendislik malzemeleri ile gerçek anlamda kompozit malzemelerin birbirinden ayırt edilmesinin zorlaşacağı veya imkansız hale geleceği açıktır. Tanımlamadaki farklılıklar, kompozit malzemeyi oluşturan yapı bileşenlerinin farklı boyutlarda tanımlanmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin yapı bileşenleri element düzeyinde düşünüldüğünde, iki veya daha fazla sayıda farklı atomdan oluşan malzemeler kompozittir. Buna göre saf haldeki metallerin dışında kalan tüm alaşımlar, bileşikler, polimerler kompozittir. Diğer taraftan, yapı bileşenleri mikro yapısal düzeyde düşünüldüğünde, iki veya daha fazla sayıda farklı kristal, molekül veya fazdan oluşan tüm malzemeler kompozittir, sadece tek fazlı alaşımlar bu grubun dışında kalırlar[1]. Atomsal veya molekül düzeyde birleştirilen malzemeler (örneğin alaşımlar) makroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmazlar[2].

Mühendislik malzemelerinin değişik uygulamalarda belirli özelliklere sahip olması istenir. Bunlar; çekme, basma, eğme, akma, sürünme, yorulma mukavemeti, sertlik, tokluk, rijitlik, aşınma direnci gibi mekanik özellikler, elektriksel iletkenlik/ yalıtkanlık, ısı iletkenlik/ yalıtkanlık, manyetik özellikler, yoğunluk, gibi fiziksel özelliklerle, kararlılık, korozyon direnci gibi kimyasal özelliklerdir. Malzeme seçimi, dizaynında önem kazanan ve değişik tekniklerle ölçülebilen bu özelliklerin yanısıra malzemenin birim maliyeti, gerekli tonaj, kolay bulunabilirlik, işlenebilme ve şekillendirilebilme gibi diğer faktörler de mühendis ve işletmecilerin her zaman gözönünde bulundurdıkları faktörlerdir. Mühendislikte kullanılan temel mühendislik malzemelerin bazı fiziksel, kimyasal ve

mekanik özellikleri Tablo 1' de verilmiştir[1]. Bu özellikleri gözönüne alınarak, kompozit malzemelerin gelişimini ve önem kazanmalarını haklı çıkaracak nedenler daha iyi açıklanabilir.

Tablo 1. Temel mühendislik malzemelerin bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri [1].

Malzeme Grubu \ Özellikler	Yoğunluk	Mukavemet	Tokluk	Isıl Kararlılık	Şekillendirme	Birleştirme
Metaller	Orta-Yüksek	Orta	İyi	Orta	Orta	Orta
Seramikler	Düşük-Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Kötü	Kötü
Plastikler (Reçineler)	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	İyi	İyi

Kompozit malzemelerin üretilme amaçları şunlardır:

- 1- Mukavemeti yükseltmek.
- 2- Yorulma dayanımını yükseltmek.
- 3- Aşınma dayanımını artırmak.
- 4- Korozyon dayanımını iyileştirmek.
- 5- Kırılma tokluğunu iyileştirmek.
- 6- Yüksek sıcaklık özelliğini iyileştirmek(ısıl kararlılık).
- 7- Isıl ve elektrik iletkenliği iyileştirmek.
- 8- Akustik özellikleri (Ses özellikleri:Ses iletkenliği/ yalıtkanlığı) iyileştirmek.
- 9- Rijitlik.
- 10- Maliyeti azaltmak.
- 11- Ağırlığı azaltmak
- 12- Estetik görünümü iyileştirmek. v.b.

Özellikle son yıllarda günlük yaşantımızda ve değişik mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan malzemelerden biri plastiklerdir. Mutfak eşyası ve çocuk oyuncaklarından günlük giysilerimize, kara, hava ve deniz ulaşım araçlarının pek çok aksamlarına kadar geniş bir uygulama potansiyeline sahip olan plastik malzemeler düşük yoğunlukları, hammaddelerinin nisbeten ucuz olması, değişik kitle üretim teknikleriyle ve düşük bir

maliyetle şekillendirilebilmeleri ve ürünlerde arzu edilen renklerin kazandırılabilmesi gibi özellikleri ile karakterize edilirler. Kısaca PVC olarak tanınan polivinilklorür, teflon olarak bilinen politetrafloriretilen, naylon olarak tanıdığımız poliamidler, epoksi reçineleri, poliesterler bu tür malzemelere örnek olarak gösterilebilir. Plastik türü malzemelerin; mukavemet, rijitlik ve ergime sıcaklıklarının düşük olması kullanım alanlarını sınırlayan başlıca etkenlerdir.

Plastiklerin avantajlarından yararlanmak ve dezavantajlarını gidermek amacıyla kompozit olarak tasarlanmaları düşünülebilir. Bu amaçla, cam, grafit, mika, asbest veya metallere dayanarak yararlanılabilir. Örnek: Poliesterlerin cam fiberlerle takviye edilmesi.

Fiberler halinde üretilen cam yüksek mukavemet ve rijitliğe sahiptir. Ancak fiberlerin tek başlarına kullanım alanları ısı yalıtım uygulamaları dışında sınırlıdır. Poliester reçineleri-cam fiberlerle takviye edilmeleriyle, iki malzemenin faydalı özelliklerini tek bir malzemede toplanması mümkün olabilmektedir. Plastiklerin düşük yoğunluğu (hafifliği), cam fiberlerin yüksek mukavemeti, mukavemet/yoğunluk oranı (özgül mukavemet) yüksek olan bir malzemeyi meydana getirir. Epoksi reçineleri de cam fiberler ile veya grafit fiberlerle takviye edilebilir. Yüksek mukavemetli ve ısı dirençli grafit fiberlerle takviye edilmesiyle plastiklerin mukavemeti ve kullanım sıcaklığı artırılabilir. Bu örneklerde de görüldüğü üzere plastiklerin; mukavemet, rijitlik ve ısı dirençlerinin artırılması amaçlanmıştır. Diğer taraftan kimya endüstrisinde çeşitli reaktif veya çözeltilerin depolanmasında, taşınmasında çözeltilere karşı inert davranan, reaksiyona girmeyen ve vermeyen malzemelere ihtiyaç vardır. Paslanmaz çelikler bu tür uygulamalar için uygun özelliklere sahiptirler. Fakat, büyük bir depo gözönüne alındığında, bunun tamamen paslanmaz çelik saçtan yapılması maliyeti oldukça artıracaktır. Tamamen plastikten yapılan bir depo ise yeterli bir mukavemete sahip olmayabilir. Paslanmaz çeliğe göre çok daha ucuz olan düşük karbonlu saçlardan yapılan bir konstrüksiyon reaktiflerle temas eden yüzeyinin PVC gibi plastik bir malzeme ile kaplanması durumunda mukavemet ve kimyasal direnç özelliklerinin birlikte ekonomik olarak kazanılması mümkündür. Bu tür uygulamalarda kompozit malzemenin yapı bileşenlerinden biri olan plastik kimyasal kararlılığı, ucuzluğu ve hafifliği nedeniyle seçilirken; çelik saçlar, mukavemet ve rijitlik özellikleri nedeniyle tercih edilmiştir. Plastiklerin kompozit malzeme şeklinde kullanılmasına diğer bir örnek elektrik kablolarıdır. Bakır tellerin mükemmel elektrik iletkenliğine, plastiklerin ise mükemmel

elektrik yalıtım özelliğine sahip olduğu bilinmektedir. Kabloların, birbiriyle çelişen bu iki özelliğin bir arada olması istendiğinden bakır ile plastiğin kompozit malzeme şeklinde tasarlanması zorunluluğu ortaya çıkacağı açıktır.

Bazı uygulamalarda, malzemenin yüksek bir sertlik yanında yüksek tokluk özelliğine de sahip olması ve darbe enerjilerini de iyi absorbe etmesi istenir.

Alışlagelmiş mühendislik malzemelerinde bu özelliklerin birlikte kazanılması oldukça zordur. Yüksek sertlikteki malzemelerle, yumuşak, tok malzemelerin kompozit malzeme şeklinde tasarımları bu tür uygulamalar için de bir çözüm yolu olabilir. Zırhlı araçlar bunlara örnek olarak gösterilebilir. Yüksek sertlik ve mukavemetteki çelik saçlarla yumuşak, tok bir özelliğe sahip saçlar tabakalı şekilde birleştirilirse, yüksek sertlik ve mukavemetteki çelik saçlar zırhın delinmesini önlerken, içerideki yumuşak saçlar deforme olarak darbe enerjisini absorbe ederler.

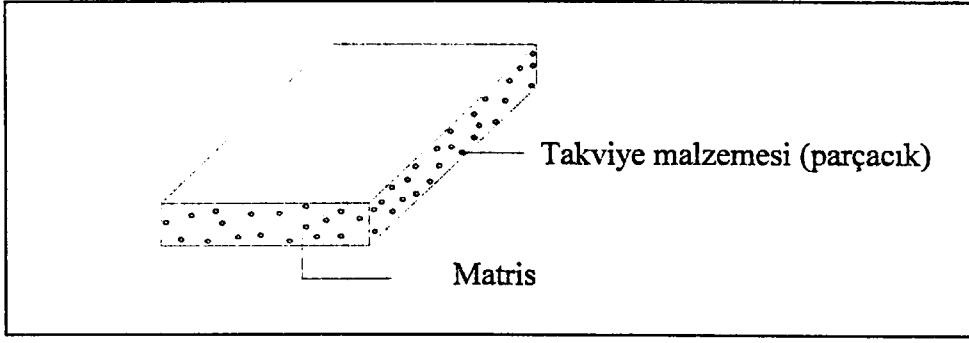
Yukarıda verilen örneklerden anlaşılacağı gibi kompozit malzemelere bir tür "ısmarlama malzeme" gözü ile bakılabilir. Belirli bir uygulama için amaca en uygun özelliklere sahip malzemeler uygun tekniklerle bir araya getirilirler. Yapı bileşenlerinin farklı karakteristik özellikleri kompozit malzeme yapısında bütünleşir. Bu nedenle kompozit malzemenin sahip olduğu özelliklerin tümünün tek bir yapı bileşeninde görülmesi mümkün değildir. Kompozit malzeme tasarımındaki amaç fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerden herhangi birinin veya birkaçının geliştirilmesine ve iyileştirilmesine yönelik olabilir.

1.2. Kompozitlerin Yapısı ve Sınıflandırılması

1.2.1. Kompozitlerin Yapısı

Kompozitler genellikle; a) Matris kısmı ,b) Takviye kısmı olarak iki ana kısımdan meydana gelir.

Takviye malzemesini içine alarak kompozit malzemeyi bir arada tutan ana yapıya matris denir (Şekil 1).



Şekil 1. Kompozit malzemenin yapısı

Matris kısmının görevleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Kuvvetleri takviye malzemelerine iletmek(elyaf, parçacık).
2. Takviye malzemesini (elyaf, parçacık) ortamın etkilerinden ve darbelerden korumak.
3. Kompozit malzemenin tokluğunu artırmak.

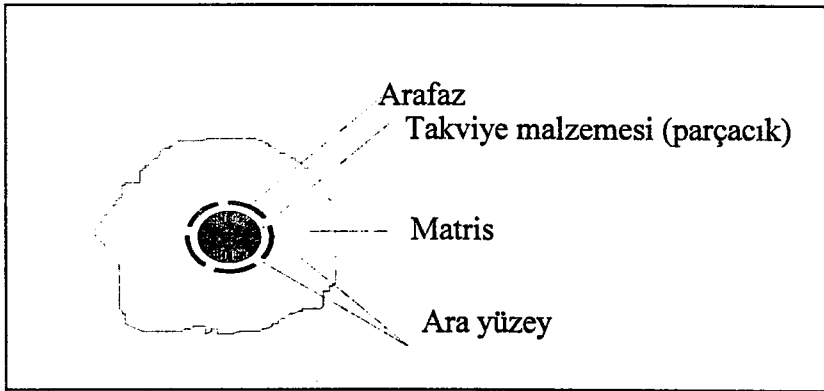
4. Kırılan elyaflardan çatlağın yayılmasını önlemek.

5. Mukavemete katkıda bulunmak.

6. Takviye elemanlarını bir arada tutmak (Bağlayıcı faz görevini yapmak).

Kompozit malzemelerde matris ile takviye malzemesi arasında olması istenen özellikler:

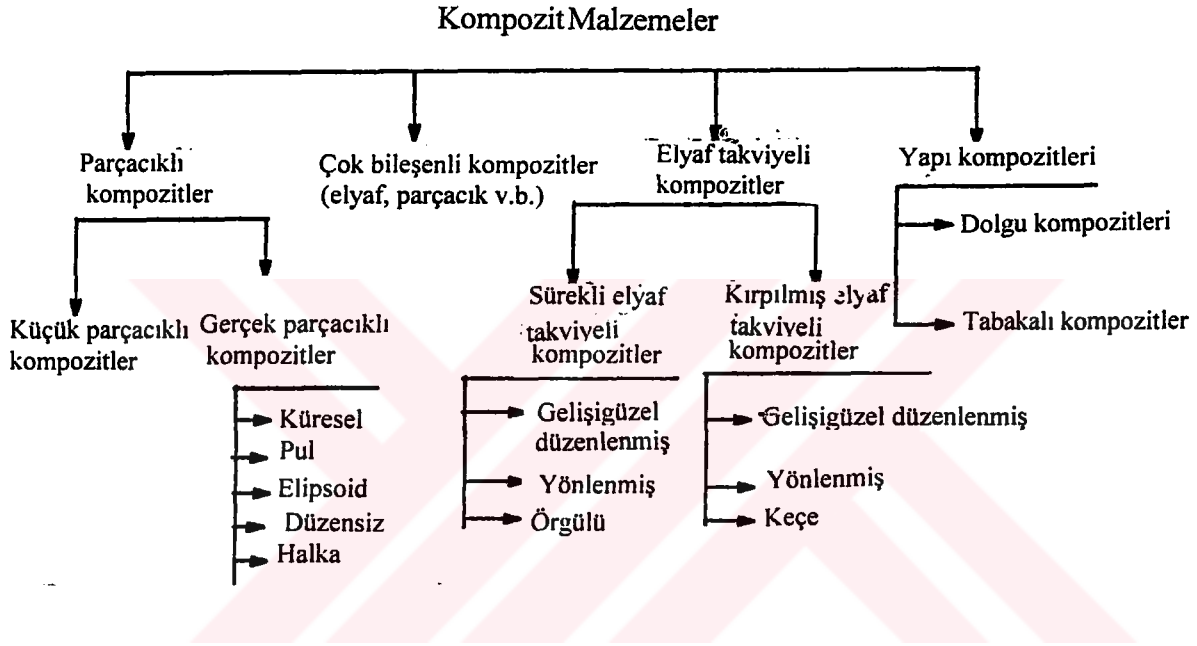
- a) Takviye malzemesi ve matris birbiri içerisinde çözünmemelidir.
- b) Matrisle takviye malzemesi birbiriyle bir iyi bağ oluşturmalıdır.
- c) Matris ile takviye malzemesi arasındaki ara yüzeyde çok az oranda çözünme olursa iyi bir bağ oluşmasına yardımcı olur (Şekil 2).



Şekil 2. Ara yüzeyi oluşumu.

1.2.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozitler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Matris malzemesinin türüne göre metalik kompozitler, polimerik kompozitler, seramik kompozitler, v.b. yapılabildiği gibi; takviye bileşeninin şekline göre de elyaf takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitler, dolgu(kafes) kompozitler ve tabakalı kompozitler şeklinde de bir sınıflandırma yapılabilir. Mühendislik açısından en uygun sınıflandırma da takviye bileşeninin şekline göre yapılan sınıflandırmadır(Şekil 3).



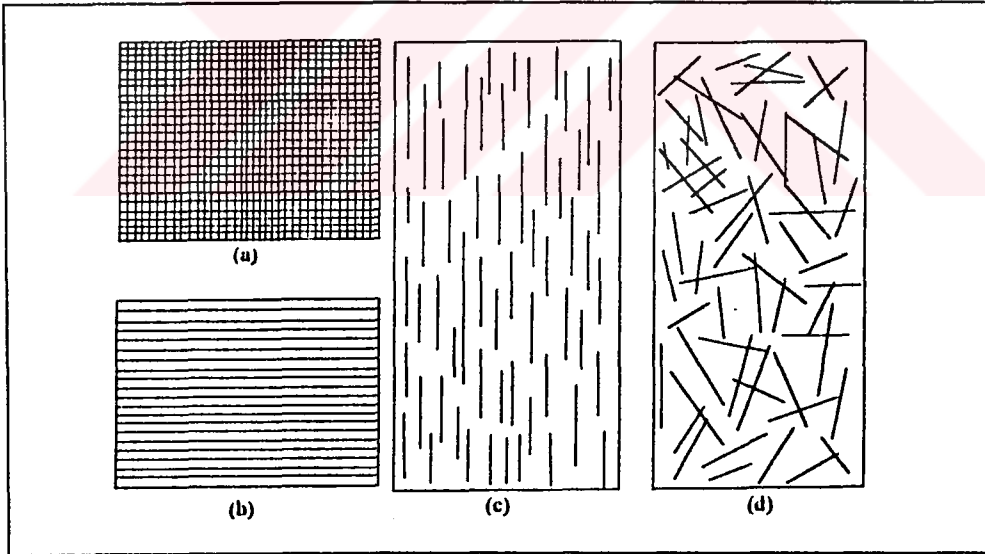
Şekil 3. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması[3].

1.2.2.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler

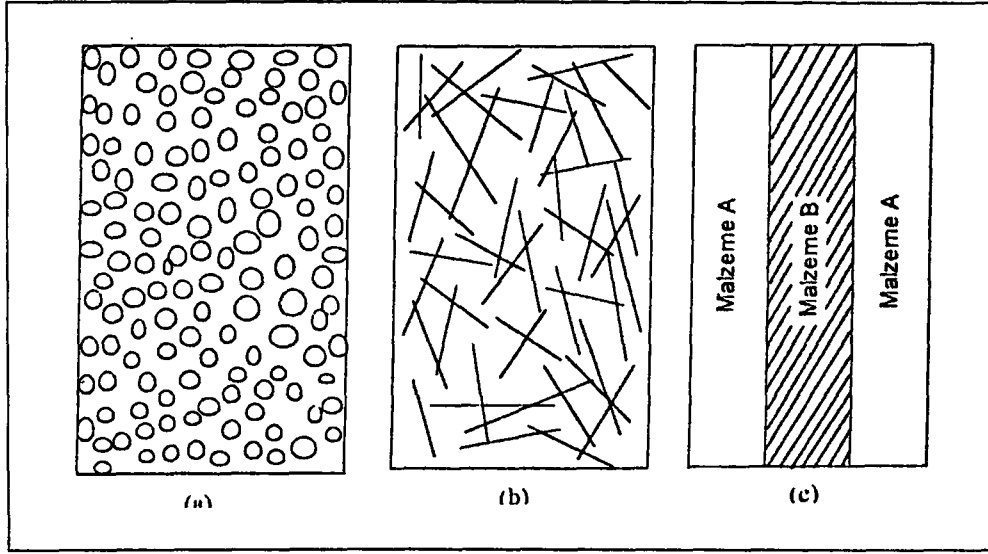
Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu elyaf şeklinde üretildiklerinden mukavemet ve rijitlikleri kütle halindeyken gösterdikleri değerlerin çok üstünde değerler olabilir. Örneğin karbon elyafların çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği ise 3 kat daha yüksektir. Elyafların bu özellikleri "whisker" olarak adlandırılan ve çapları 5-25 μm kadar olabilen küçük çaplı elyaflarda çok daha belirgin olarak görülebilir. Mukavemet ve rijitlikteki artışlar esas olarak yapı hatalarındaki azalma ile ilgilidir. Yüksek performanslı kompozit malzemelerin geliştirilmesi, yüksek mukavemet ve rijitliğe sahip

elyafların üretimleri ile gerçekleşmiştir. Günümüzde metalik, organik veya seramik esaslı elyaflardan yapılan kompozitler düşük performanslı ev eşyaları ve spor malzemelerinden, yüksek performanslı roket motorları ve uçak kanatlarına kadar değişen çeşitli uygulamalara sahiptirler[1].

Bu tür kompozit malzemeleri iki grupta inceleyebiliriz: Sürekli elyaf takviyeli kompozitler ve kırılmış elyaf takviyeli kompozitler. Hem sürekli elyaf takviyeliler, hem de kırılmış elyaf takviyeliler, elyafların düzenli ve geliş güzel bulunmaları açısından iki gruba ayrılırlar. Elyaf takviyeli kompozitlerde, iki ana yapıdan biri olan elyaf, oldukça yüksek mukavemetli ve rijittir. Yük hemen hemen elyaf tarafından taşınmaktadır. İkinci ana yapı bileşeni olan matris ise lifleri(elyaf) birbirine bağlama görevi görür ve yükü elyaflara iletir. Bu tür malzemelerin özellikleri açısından en önemli parametreler; elyaf yönlenmesi, elyaf hacim oranı ve elyaf-matris ara yüzey özellikleridir. Kullanılan matris malzemesi ve takviye elemanının çeşiti yanında, yukarıdaki üç parametre, elyaf takviyeli kompozit malzemelerin özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerdir[4].



Şekil 4. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyafların kompozit içerisindeki dizilişi a) Örgülü elyaf takviyeli, b) Sürekli elyaf takviyeli, c) Yönlenmiş süreksiz elyaf takviyeli, d) Gelişigüzel dağılmış süreksiz elyaf takviyeli kompozitler [4].



Şekil 5. Farklı yapıdaki kompozitlerin karşılaştırılması: a) Parçacık takviyeli kompozitler b) Elyaf takviyeli kompozitler c) Tabakalı kompozitler [5].

1.2.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler

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

Küçük parçacıklarla takviye edilmiş kompozitler, dispersiyonla kuvvetlendirilmiş kompozitler olarak da tanımlanmaktadır. Bunların yapısı, çökeltme sertleşmesi uygulanmış alaşımlara benzemekle beraber, aynı kategoride ele alınamaz. Alaşımlarda parçacık hacim oranı daha düşük, dağılım daha az üniform ve parçacıklar daha iridir. Bu nedenle, oda sıcaklığında alaşımlar daha yüksek dayanıma sahip iken, yüksek sıcaklıklarda kompozitler içerisindeki oksit partiküllerinin ısıl kararlılıklarının yüksek olması sebebiyle, matris içerisinde çözünmezler ve mukavemetlerini muhafaza ederler. Bu özelliklerinden dolayı, yüksek sıcaklık malzemesi olarak kullanılırlar. Bu tür kompozitlerde yük matris tarafından taşınır, küçük parçacıklar ise dislokasyonların hareketini engelleyerek, malzeme dayanımını artırır[1].

1.2.2.3.Yapı Kompozitleri

Yapı kompozitleri tabakalı ve dolgu kompozitleri olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Tabakalı kompozitler, farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşur. Tabakaları bir araya getirmekdeki amaç, değişik fiziksel, mekaniksel veya kimyasal özelliklerin kazanılmasına yönelik olabilir. Çok değişik kombinasyonlarla tabakalanmış kompozitlerin üretimi mümkündür. Metaller üzerine uygulanan metalik, organik veya seramik kaplamalar; cam-plastik-cam tabakalarından oluşan kompozitler, reçine emprenye edilmiş kağıt tabakaların birleştirilmesiyle elde edilen yapılar bu tür kompozitlere örnek olarak gösterilebilir. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, farklı elyaf yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır (Şekil5-c).

Dolgu tipindeki kompozitler, adından da anlaşılabilceği gibi, üç boyutlu dolgu maddesi ile doldurulması veya emprenye edilmesi ile oluşan malzemelerdir. Matris çeşitli geometrik şekillere sahip bir iskelet veya şebeke yapısındadır. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Bu tür kompozitler sandviç kompozitleri olarak da bilinirler. Optimum özelliklere sahip kompozitlerin üretimi için birbiri içinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir. Petek ve hücreli şekilli yapılarda bileşenler arasındaki bağ, gözenekli yapılara göre genellikle daha zayıftır. Petek ve hücreli şekilli metalik matrisler seramik veya polimerik matrislerle kombine edilebilir. Örneğin seramik dolgulu metal petekleri kısa periyotlarda çok hızlı ısı akışının meydana geldiği uygulamalar için oldukça faydalıdır. Hızlı ısınma koşullarında seramik yüzeyinde bir miktar ergime veya buharlaşma meydana gelse bile, birbirinden ayrılmış küçük kesitli seramik malzemenin ısıl şoklarla parçalanması önlenir. Dolgu malzemesi olarak elyaf takviyeli plastikler veya lastiklerde kullanılabilir.

1.3. Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Genel Kapsamlı İncelenmesi

1.3.1. Giriş

Parçacık takviyeli kompozitler, bir veya iki boyutlu makroskobik parçaların veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik parçaların matris fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Makroskobik veya mikroskobik boyutlu parçacıklar kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkilerler. Parçacık takviyeli kompozitlerde parçacıklar matris içerisinde tamamen rastgele dağılır ve bu nedenle malzeme izotropik özellik gösterir.

Parçacık seçiminde gözönünde bulundurulması gereken hususlar:

- 1- Parçacık sert ve kararlı bir oksit olmalı ve kaymaya karşı engel oluşturmalıdır.
- 2- Parçacık; optimum boyut, şekil, dağılım ve miktarda olmalıdır.
- 3- Parçacığın matris içindeki çözünürlüğü düşük olmalıdır. Ayrıca parçacıkla matris arasında kimyasal reaksiyon olmamalıdır. Örneğin Al_2O_3 -Alüminyum içerisinde çözünmemektedir. Fakat Cu_2O -Cu yüksek sıcaklıklarda çözünür. Bu nedenle Cu_2O uygun bir takviye edici değildir.
- 4- Parçacıkla matris arasında iyi bir bağ oluşmalıdır. Eğer parçacık matris içindeki az miktarda çözünürse iyi bir bağ oluşumuna yardımcı olur.

1.3.2. Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Sınıflandırılması

1.3.2.1. Küçük Parçacıklı Kompozitler

Parçacık boyutları çok küçüktür. Boyutları 100 \AA° - 2500 \AA° ($0.01 \mu\text{m}$ - $0.25 \mu\text{m}$) arasında olan takviye elemanı kullanılır. Genelde sert parçacıklar yumuşak bir matris tarafından tutulur. Küçük parçacıklar dislokasyon hareketini engelleyerek mukavemet artışını sağlarlar. Oda sıcaklığında dispersiyonla mukavemeti artırılmış kompozitlerin mukavemeti, çift fazlı metallerin mukavemetinden daha yüksek değildir. Fakat bu tür kompozitler yüksek sıcaklıklarda tane büyümesi ve yumuşaması gibi davranış gösterdiklerinden yüksek sıcaklıklarda mukavemetlerini korurlar. Bu nedenle bu tür

kompozitlerin sürünme dayanımı diğer metal alaşımlarından daha yüksektir.

Dispersiyonla mukavemetlendirmede prensip, sert karakterli bir kaç mikron boyutundaki parçacıkları sünek bir yapı içerisinde homojen bir şekilde dağıtmaktır. Disperse faz olarak genellikle yüksek ergime sıcaklıkları, ısıl kararlılıkları ve metalik sistemlerde düşük çözünürlükleri nedeniyle oksitler kullanılır.

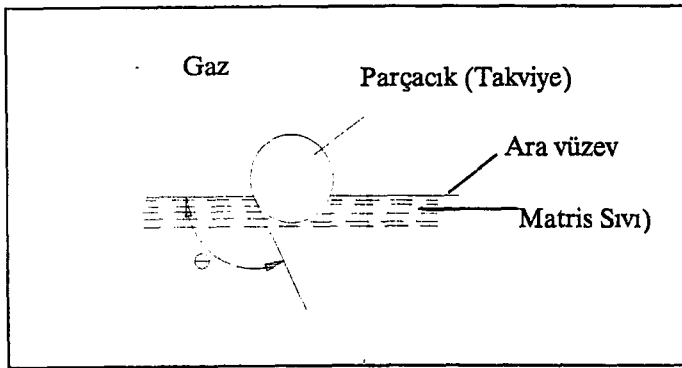
Dispersiyonla mukavemeti artırılmış alaşımlarla sermet kompozitleri(iri parçacıklı kompozitler) arasındaki fark, parçacıkların boyut ve hacim oranları ile ilgilidir. Dispersiyonla mukavemeti artırılmış alaşımlarda parçacık boyutu mikrometre düzeyinde olup hacim oranları %3-5'i aşmaz. Disperse olan fazın mukavemet üzerindeki etkisi esas olarak, dislokasyon hareketlerini önlemeleri şeklindedir. Parçacıkların boyutu, matris içerisinde dağılım homojenliği, parçacıklar arası mesafe ve matris-parçacık ara yüzey özellikleri kompozitin mukavemetini etkileyen faktörlerdir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için, disperse olan fazın matris içindeki çözünürlüğünün düşük olması, ergime sıcaklığı ve ısıl kararlılığın yüksek olması arzu edilir[1].

Küçük boyutlu parçacıkların dislokasyon hareketini engellemeleri sonucu yapının kazandığı kararlılık, mukavemet artışının esas mekanizmasını oluşturur. Bu mekanizmada matrisin deformasyon sertleşmesi de önemli bir etkiye sahiptir. Yapılan tanımlamalardan da anlaşılacağı gibi dispersiyonla mukavemeti artırılmış alaşımların yapı ve özelliklerini kontrol eden faktörler disperse olan fazın kendi özellikleri, yapı içerisindeki dağılım üniformluğu, matris-parçacık ara yüzey özellikleridir. Dispersiyonla takviye etmenin gerçekleşebilmesi için yapı içerisinde mikro ve makro düzeyde toplanmalar(segregasyon) olmadan, üniform bir dağılımın sağlanması gerekir.

Parçacıklar az veya çok eksenlidir. Bazen şekil oranı yüksek olmayan plakalar veya iğnesel şekilli parçacıklar yapıda yer alabilir. Parçacık boyutu hem kendi mukavemetini, hem de kompozit malzeme mukavemetini kontrol etmesi yönünden kritik bir öneme sahiptir. Küçük boyutlu parçacıkların dislokasyon hareketleri üzerindeki etkileri daha büyük olacaktır. Boyut büyüdüğünde, parçacıkların kendi yapılarında dislokasyon veya çatlak gibi yapı hatalarının ihtimali artacağından, kompozit malzemenin mukavemetinde düşme meydana gelir. Belirli bir hacim için parçacık boyutu küçüldüğünde parçacıklar arası mesafe de küçüleceğinden(aynı hacim oranı için) dislokasyon hareketleri daha etkili bir şekilde önlenecek ve kompozit malzeme mukavemeti artacaktır. Matris ile parçacıklar

arasındaki arayüzey özellikleri birçok yönden önem taşır. Yüksek enerjili bir arayüzeyin gerilme altında bozulma ihtimali düşük enerjili arayüze göre çok daha fazladır. Diğer taraftan yüksek arayüzey enerjisi, kompozit malzemenin yüksek sıcaklıklarda kullanım sırasında parçacıkların büyümesinde itici bir güç etkisi gösterir. Bu nedenle, ideal olarak, matrisin parçacıkları ıslatması, temas açısının (θ) düşük olması istenir(Şekil 6). Ancak, oksitlerle metallerin kristal yapıları arasındaki farklılıklar nedeniyle arayüzeyde iyi bir atomik uygunluğun gerçekleşmesi genellikle güçtür. Karbür ve nitrürler metaller arasında oksitlere göre daha iyi bir uygunluk sağlamakla beraber, karbür ve nitrürlerin kararlılıkları oksitlerden daha düşüktür. Bazı oksitler küçük boyutlarda olduklarından iyi bir atomik uygunluk ve düşük enerjili arayüzey elde edilebilir.Örneğin, bakır içerisinde iç oksitlenmeyle elde edilen ThO_2 ve MgO parçacıkları yaklaşık 300 \AA boyutunda olduklarında bakır kafesi(matris yapısı) ile uyumludurlar.Bu tür bir uyum iç oksitlenme tekniğinde olduğu gibi, parçacıklar doğrudan doğruya metal parçacıkları üzerinde oluştukları zaman elde edilir.

Metal-oksit dispersiyonlarının yanısıra metal-metal, metal-plastik, metal-seramik ve metal dışı-metal dışı dispersiyonları da vardır. Çelik ve bakır esaslı alaşımlar içerisinde kurşun, epoxy reçinesi içerisinde alüminyum, grafit içerisinde bakır dispersiyonları ile alüminyum oksit-zirkonyum oksit, grafit-zirkonyum karbür kompozitleri endüstrisinin çeşitli dallarında kullanılan kompozitlerdir [1].



Şekil 6. Matrisin parçacığı ıslatması[6].

Dispersiyonla mukavemeti artırılmış alaşımların üretiminde karşılaşılan bazı pratik

güçlükler nedeniyle endüstriyel olarak üretilen sistemlerin sayısı sınırlıdır. Al_2O_3 dispersiyonu ile mukavemeti artırılmış alüminyum(SAP alaşımı), ThO_2 dispersiyonu ile mukavemeti artırılmış nikel (TD Nikel) ve ThO_2 dispersiyonu ile mukavemeti artırılmış tungsten alaşımı bu kompozitlere örnek olarak gösterilebilir.

Tablo 2. Dispersiyonla mukavemeti artırılmış kompozitlere örnekler[2].

Sistem	Uygulama Alanı
Ag-CdO	Elektrik kontak malzemeleri
Al- Al_2O_3	Nükleer reaktör malzemelerinde
Be-BeO	Uzay sanayi ve nükleer reaktör malzemelerinde
Co- ThO_2, Y_2O_3	Sürünmeye dayanıklı magnetik malzeme yapımında
Ni-%20Cr- ThO_2	Türbin motoru parçaları
Pb-PbO	Pil ve akü malzemelerinde
Pt- ThO_2	Ampül içindeki tellerin(flaman) ve diğer elektrik malzemelerinin yapımında
W- ThO_2-ZrO_2	Flamanlar ve yüksek sıcaklıkta çalışan direnç malzemeleri(ısıtıcılar) yapımında

1.3.2.2. İri Parçacıklı Kompozitler

Bu tür kompozitler çok miktarlarda iri taneli parçacık içerir. Parçacıkların kayma clayını engellemesi söz konusu değildir. Bu kompozitler; mukavemeti yükseltmekten ziyade, olağan dışı özellikler elde etmek amacıyla üretilirler. İri parçacıklı kompozitlerde yük matris ve parçacık tarafından ortak taşınır. Dolgu maddelerinin katıldığı çoğu polimerik malzemeler iri parçacıklı kompozitlerdir. İri parçacıklı kompozitlere örnek olarak beton ve sermetler verilebilir.

1.3.3. Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Son yirmi yıl içinde parçacık takviyeli MMK' in yapı ve özelliklerini optimize eden

bir çok üretim tekniği geliştirilmiştir[5]. Parçacık takviyeli MMK'i üretmek için kullanılan bu metodlar, üretim sırasında metalik matrisin sahip olduğu sıcaklığına bağlı olarak gruplandırılabilirler. Buna göre üretim üç kategoriye ayrılabilir: a) sıvı faz ortamında üretim, b) katı fazda üretim, c) katı+sıvı faz ortamında üretim

1.3.3.1. Sıvı Faz Ortamında Üretim

Sıvı faz ortamında üretimde; seramik parçacıklar, döküm veya karıştırma yolu ile bir çok özel tekniğin kullanılması yoluyla sıvı metal içerisine katılmaktadır. Ancak daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi bir çok seramik malzeme eriyik metal alaşımları tarafından ıslatılamamaktadır. Bu durumda sıvı metale ilave ıslatma katkıları katılır ya da karışmadan önce seramik parçacıkların kaplanmaları gerekmektedir.

Seramik parçacıkların bir sıvı alaşım içerisine katılması için bir çok yaklaşım başarılı bir şekilde kullanılmıştır[6]. Bunlar sırası ile;

a- Bir püskürtme tabancası kullanarak tozların soy bir taşıyıcı içinde eriyik içerisine püskürtülmesi,

b-Kalıba doldurulurken sıvı metal akımına parçacıkların ilavesi,

c- Mekanik karıştırma ile oluşturulan bir vortex yolu ile eriyik içerisine parçacıkların ilavesi,

d- Karıştırma ile eriyik içerisine küçük briketlerin ilavesi (bu briketçikler temel alaşım tozu ve katı parçacıklar preslenerek yapılmaktadır.)

e-Merkezkaç ivme kullanılarak eriyikteki parçacıkların itilmesi,

Yukarıdaki verilen üretim yöntemlerinde, yüksek işlem sıcaklıkları (örneğin, Al-Al₂O₃ sistemi için T>900°C) gerekir ve işlemde yeni bir faz ve de matris seramik arasında güçlü bir bağ elde edilmektedir. Üretim sırasındaki karıştırma, kir tabakasını ve adsorbe edilmiş tabakaları bozar, dolayısıyla ara yüzeyin bağlanmasında yararlıdır.

Sıvı faz ortamında üretim çok geliştirilmiş ve bu yöntemle SiC veya Al-Al₂O₃ parçacıkları (3-150µm) çoğunlukla alüminyum esaslı matrislere katılmaktadır. Bu yöntemlerden ticari açıdan en geliştirilmiş olanı Dural yöntemidir. Bu yöntem; sıvı metalin karıştırılması ve parçacıkların sıvı metal içerisine eklenmesinden ibarettir. Buna vorteks yöntemi adı verilir.

tartılmış parçacıklar vorteksin en derin yerine belirli bir besleme hızı ile ilave edilirler. Parçacık ilavesi tamamlandıktan sonra karıştırma işlemine bir süre daha aynı hızda veya daha düşük hızda devam edilebilir. Daha sonra mekanik karıştırıcı durdurulur ve belirli bir döküm sıcaklığına gelindiğinde döküm işlemi gerçekleştirilir.

Vorteks yönteminde kullanılan parçacıklar bakır veya nikel kaplı olabilirler. Eğer metal kaplı parçacıklar kullanılmıyorsa parçacıkların bir ön ısıl işleminden geçirilmesi gerekmektedir.

Vorteks metodunda homojen bir dispersiyon sağlamak için aşağıdaki parametreler kontrol edilmelidir.

1. Sıvı metalin bileşimi ve sıcaklığı
2. Karıştırıcının derinliği ve hızı
3. Karıştırma süresi
4. İlave edilen parçacık miktarı
5. Parçacıkların ön ısıtma sıcaklığı
6. Son karıştırma ile döküm arasında geçen süre
7. Kalıp malzemesi ve kalınlığı

Vorteks yönteminde, sıvı alüminyum alaşımının sıcaklığı çalışılacak koşullara göre ayarlanır. Eğer karıştırma işlemi fırın dışında yapılacaksa sıvı metalin yaklaşık 800°C'ye (alüminyum ve alüminyum alaşımları için) kadar aşırı ısıtılması gerekir. Karıştırma işlemi fırın içerisinde yapılacaksa mümkün olan en düşük sıcaklıklarda, yani alaşımın ergime sıcaklığının hemen üzerinde çalışılmalıdır. Bununla beraber 650°C' ten düşük sıcaklıklarda karıştırma yapmak sıvı metalin yüksek viskozitesi nedeniyle oldukça zordur. Bu yüzden fırın içerisinde yapılacak karıştırma ve parçacıkların ilavesi işlemi için en uygun sıcaklık alaşımın ergime sıcaklığının yaklaşık 40-50 °C üzeri olarak bulunmuştur[8].

Karıştırıcı hızı sıvı metalde tatmin edici bir vorteks oluşturacak biçimde ayarlanmalıdır. Parçacıkların ilavesi bittikten sonra homojen bir parçacık dağılımı elde etmek için sıvı metal döküm sıcaklığına gelene kadar düşük hızlarda karıştırma işlemine devam edilmelidir. Pervane kanatlarının sıvı metale daldırma derinliğinin iyi bir vorteks oluşturacak şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Karıştırıcının yalpa yapması veya

uygun olmayan bir pervane kanadının kullanılması gibi arzu edilmeyen karıştırma şartları, ilave edilen parçacıkların geri çevrilme şansını artırır ve sonuç dökümde kötü bir parçacık dağılımına sebep olur.

Parçacık ilavesinden sonra yapılan uzun süreli karıştırma iyi bir parçacık dağılımı sağlar. Ancak özellikle 750°C' den yüksek sıcaklıklarda çok iyi kaplama yapılmış olsa dahi uzun süreli karıştırma, karıştırıcının kanatlarının aşınmasına yol açar. Bu yüzden ergimiş metalin miktarına ve cinsine bağlı olarak bir optimum karıştırma süresi tespit edilmelidir[8].

Kaplanmamış, ön ısıtıl işlem görmüş parçacıkların sıvı alüminyum içerisinde disperse olabilmesi özelliği üzerinde en önemli etkiye sahip alaşım elementi magnezyumdur. Bunun nedeni magnezyumun yüzey geriliminin $552.10^{-5} \text{ N.cm}^{-1}$, sıvı alüminyumun ki ise $825.10^{-5} \text{ N. Cm}^{-1}$ olmasıdır.

Son karıştırma ile döküm arasında geçen süre mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Çünkü sürenin uzun olması parçacıkların çökme ve yüzeye çıkması için yeterli sürenin oluşmasına sebep olur. Böylece homojen bir parçacık dağılımı oluşmaz.

Katılma hızının yüksek olması istenir. Çünkü katılmanın hızlı olması parçacıkların yüzmesi ve dibe çökmesini engelleyebilir.

Sıvı faz ortamında üretim ile etkin sonuçlar elde edilmesine rağmen bu yöntemin bazı zorlukları da mevcuttur. Bunlar; karıştırma sırasında parçacıkların bir araya toplanması(aglomerasyonu), parçacıkların çökmesi, metalik matristeki ikinci fazların segregasyonu, geniş ara yüzey reaksiyonları ve mekanik karıştırma sırasında parçacıkların kırılmasıdır.

Vorteks ile elde edilen karışımlar standart olarak yarı mamül kokil ingotlar halinde dökülürler, daha sonra ekstrüzyon, haddeleme veya dövme işlemlerinden geçirilirler. Islatmayı arttırmak ve alüminyum karbür oluşumunu azaltmak için karıştırma olayından önce parçacıklar yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeye tabi tutulurlar.

1.3.3.1.2. Sıvı Metal Emdirme Yöntemi

Sıvı metal emdirme yönteminde; ergitilmiş bir alaşım, basınç ortamı olarak hem soy gaz hem de mekanik ortam kullanarak seramik takviyeden oluşan gözenekli bir ön

şekil(parça) içine basılmaktadır. Matris ve takviyeyi birleştirmek için gerekli olan basınç seramik ön şekli dolduran sıvı matrisin vizkositesinden doğan sürtünme etkisinin bir fonksiyonudur. Sıvı alaşım ile seramik ön şeklin ıslatılması; alaşımın kompozisyonuna, seramik ön şeklin malzemesine, seramik yüzey işlemlerine, yüzey geometrisine, ara yüzey reaksiyonlarına, atmosfere, sıcaklığa ve zamana bağlıdır[7]. Bu yaklaşım, şu an halen Toyota dizel pistonlarının üretiminde kullanılmaktadır[7]. Bu işlemin dezavantajlarından bazıları şöyledir; takviye hasarı, iç yapı düzensizliği, kaba tane boyutu, takviye elyaf veya parçacıklar arasındaki temas ve istenmeyen ara yüzey reaksiyonlarıdır[7].

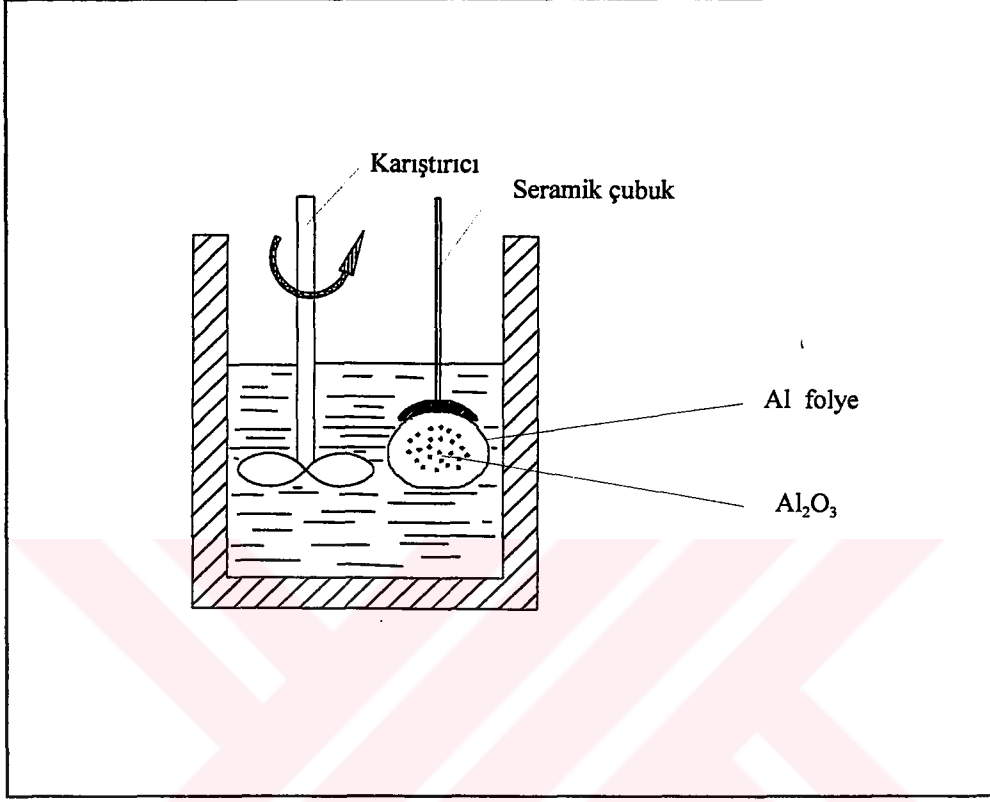
1.3.3.1.3. Sıvı Metal Oksidasyonu

Bu işlemde; presleme, püskürtme, kalıplama veya döküm gibi bir üretim teknikleri ile son ürün şekli verilmiş olan ürün seramik bir ön şekil, bir gaz fazı (çoğunlukla hava) ile oksidasyon reaksiyonuna girerken ergimiş bir alaşım ile sürekli olarak süzülmemektedir. Seramik ön şekil arasındaki ergimiş alaşımın yüksek sıcaklık oksidasyonu, oksidasyon reaksiyon ürünleri ve reaksiyona girmemiş olan metal alaşımın bir karışımı olan matris malzemesini üretmektedir. Bu işlemin en büyük avantajı; yoğun ve karmaşık şekilli karma malzemelerin üretilmesidir. Bu yöntem kullanılarak Alanx Product tarafından üretilen ve AlanCG893 olarak bilinen SiC dolgu çevresinde gelişen bir alümina-alüminyum matris alaşımı mükemmel bir aşınma direnci göstermektedir.

1.3.3.1.4. Sıvı Metal İle Doğrudan Karıştırma Yöntemi

Tozlar sıvı metale doğrudan katılarak karıştırılır. Tozların (parçacıkların) sıvı metale karışmasında bazı zorluklar vardır. Örnek: Yoğunluk farklılığı gibi. Bunun için karıştırma sıcaklığı, metalin katılma sıcaklığı üzerinde olması gerekir. Ayrıca katılan toz dibe kadar inmeli.

Tozları sıvı metalle karıştırmanın çeşitli yolları vardır. Bunlara örnek: sıvı alüminyum metal içine katılacak tozlar; folyelere sarıldıktan sonra sıvı metalin içine atılır. Folye eriyerek tozlar açığa çıkar. Oksitler genellikle metallere daha düşük yoğunlukta olduğundan karıştırılan oksitler kendiliğinden dibe çökmeyebilir. Bu nedenle kesinlikle



Şekil 8. Sıvı metal ile doğrudan karıştırma yöntemi [9].

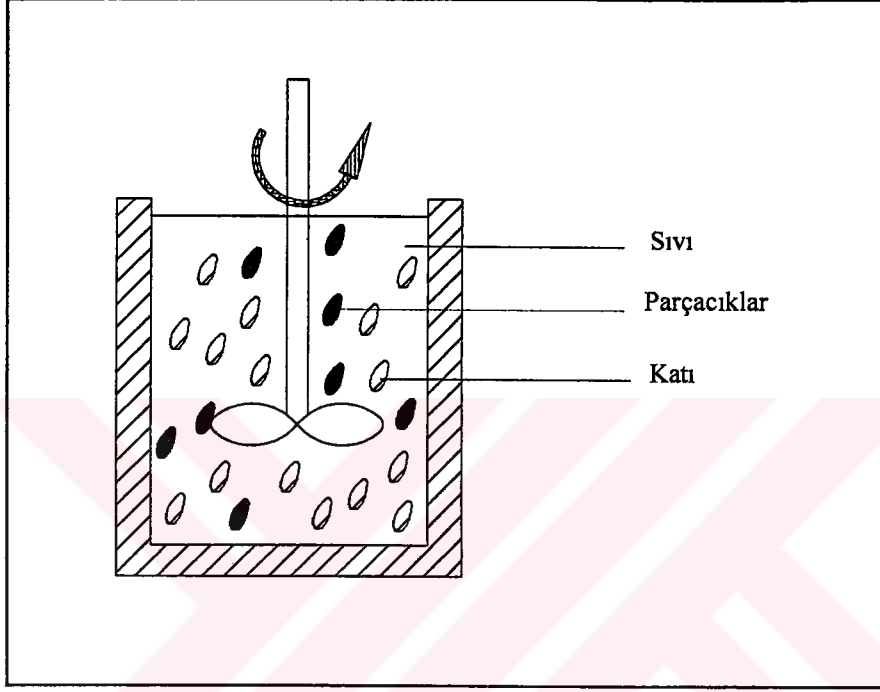
1.3.3.1.5. Kompozit Döküm Yöntemi (Compocasting)

Son yıllarda geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu döküm yönteminde alaşım sıvı bölgesinde ısıtılıp sıvı + katı bölgesine(%40katı + %60sıvı olacak sıcaklığa) indirilerek bu sıcaklıkta bunun içine parçacık katılarak karıştırılır.

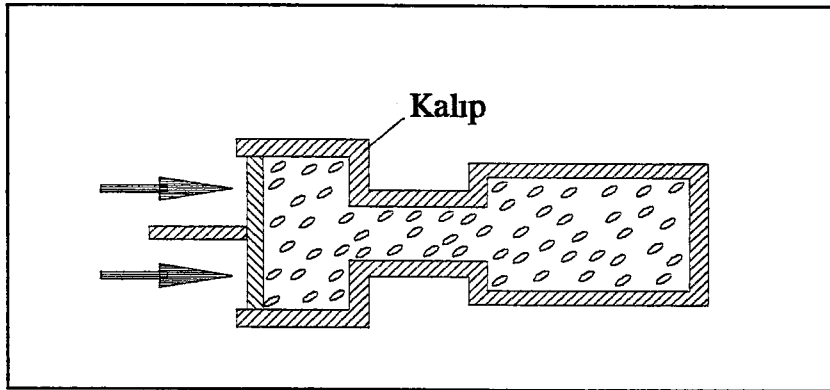
başlaması sağlar. Karıştırıcı yardımı ile dendritik yapının parçalanması sağlar. Burada % 40 katı + % 60 sıvı vardır. Çamurumsu bir yapı söz konusudur.

2-İçerisine takviye malzemesi katılır (Al_2O_3 , SiC, TiC,....vb.).

3-Elde edilen karışım, basınç altında şekillendirilebilir.



Şekil 11. Katı + sıvı karışım içerisinde parçacık katılması[9].



Şekil12. Basınçlı döküm[9].

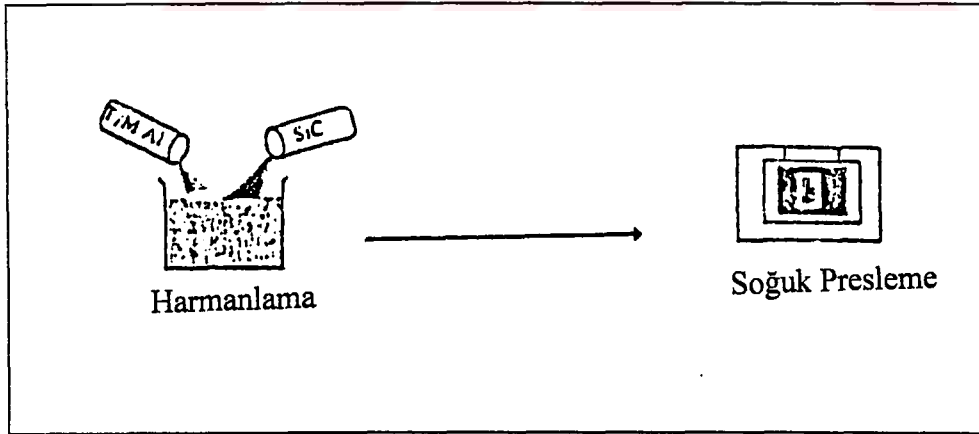
Parçacıklar yukarıdaki işlemler(şekil 9, şekil 10) yapılmadan direkt sıvı metal içerisine katılırsa parçacıklar dibe çöker veya yukarıya çıkar. İşlem parçacık katılmadan yapılırsa karıştırma döküm adını alır.

1.3.3.2. Katı Faz Ortamında Üretim Yöntemleri

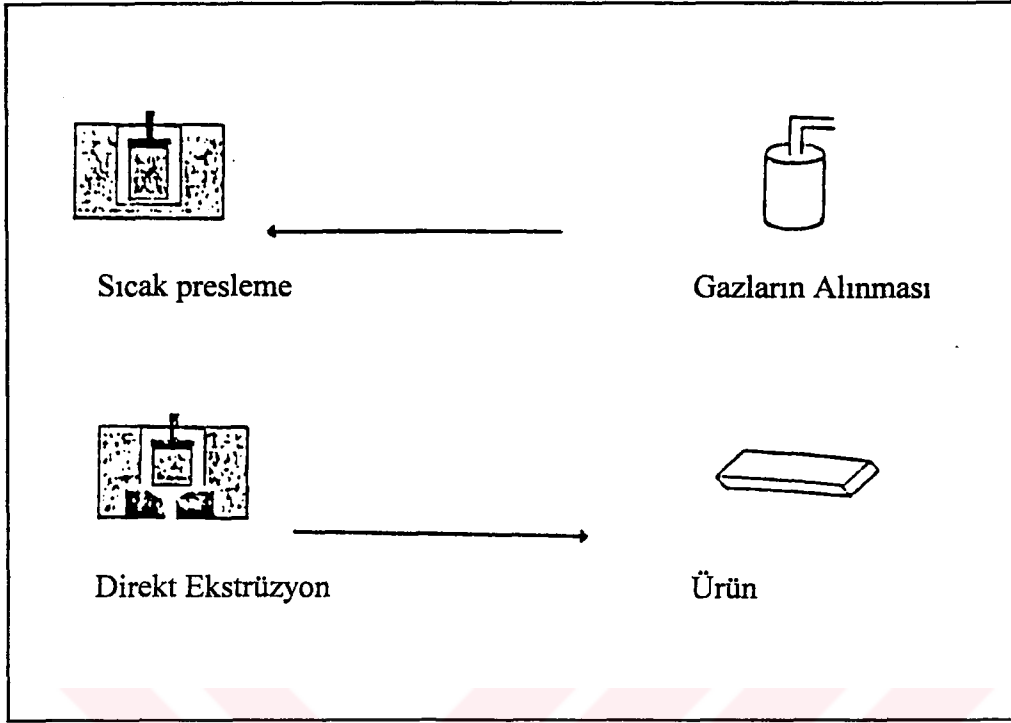
Harmanlanmış haldeki elemanter tozlardan parçacık takviyeli MMK'in üretimi; baştan son ürüne dek bir çok basamaktan oluşmaktadır. Bu tür üretim tekniklerinden olan toz metalurjisi ve yüksek enerjili hızlı işlemler aşağıda anlatılmaktadır.

1.3.3.2.1. Toz Metalurjisi

Katı faz işlemleri, Şekil 13' de gösterildiği gibi bir çok basamaktan oluşur. Bu basamaklar tozların elenmesi, takviye fazlarıyla harmanlanması, bu karışımın yaklaşık %75 yoğunluğa kadar sıkıştırılması, gazların alınması ile ekstrüzyon, dövme haddeleme, diğer plastik şekil verme yöntemleriyle şekillendirme işlemlerinden ibarettir. TM(Toz Metalurjisi) yöntemleri bir çok metal-seramik kombinasyonunda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.



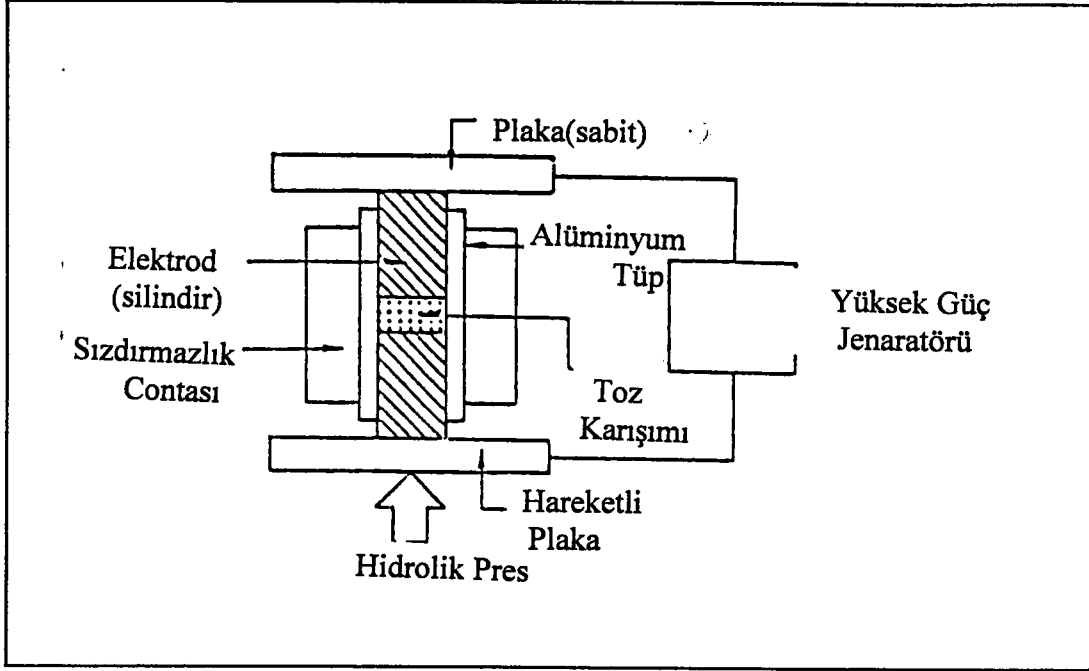
Şekil 13. Toz metalurjisi üretim yönteminin şematik diyagramı [7]



Şekil 13. Toz metalurjisi üretim yönteminin şematik diyagramı (devamı)[7].

1.3.3.2.2. Yüksek Enerjili- Hızlı Üretim Yöntemleri

İnce bir dağılım gösteren seramik parçacıkları içeren tozları birleştirmek için kullanılmakta olan bir diğer yaklaşımda yüksek enerjili-hızlı işlemlerdir. Bu yaklaşımda kısa bir zaman aralığında yüksek bir enerji uygulayarak bir metal-seramik karışımı oluşturulmaktadır. MMK'yı oluşturmak için mekanik elektriksel yüksek enerjili kaynakları kullanılmaktadır. Örneğin, tek kutuplu bir jeneratörden gelişen hızlı bir elektriksel boşalma ile toz karışımı ısıtılmakta ve Al-SiC MMK'ler oluşturulmaktadır. Yüksek enerjili-hızlı (1MJ s^{-1}) darbe, soğuk kalıp duvarına iletilen tozun hızla ısıtılmasına imkan vermektedir. Yüksek sıcaklıktaki zamanın kısa oluşu, standart toz üretim yöntemlerinde ortaya çıkan faz dönüşümleri ve iç yapının kabalaşma derecesini kontrol etmek için iyi bir fırsat sunmaktadır. Bu işlem Al-SiC ve $(\text{Ti}_3\text{Al}+\text{N}_6)\text{SiC}$, bakır-grafit, nikel-molibden-borit karma malzemelerin dökümünde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Şekil 14).



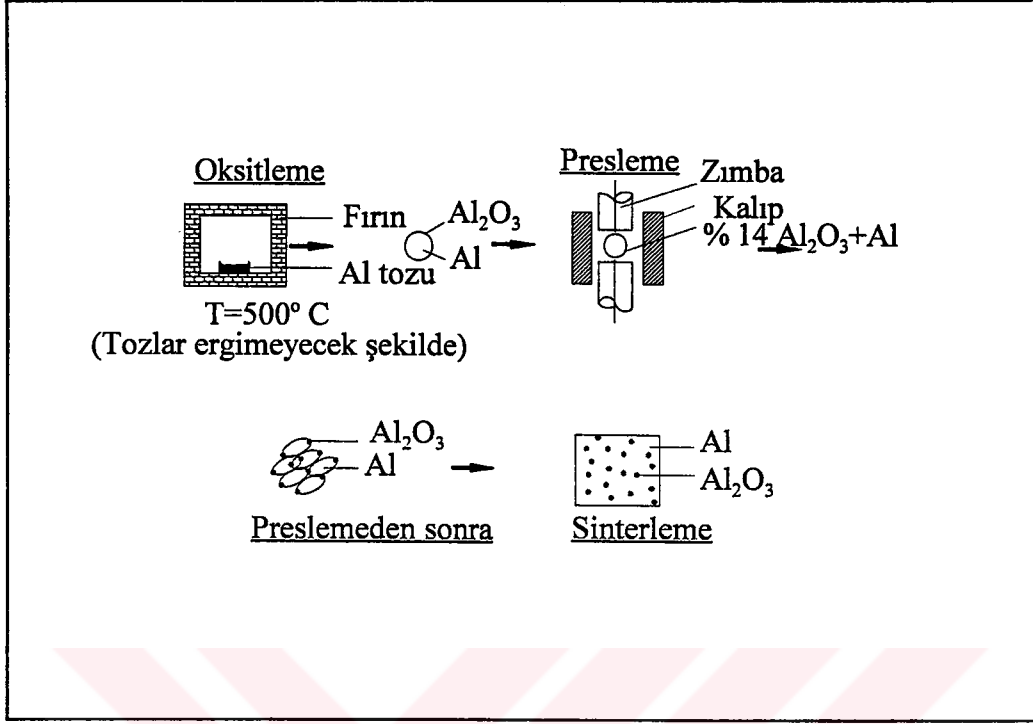
Şekil 14. Yüksek enerjili-hızlı işlemin şematik gösterimi[7].

Tek kutuplu Jeneratörlerin kullanıldığı bu yöntemin avantajları şunlardır:

- 1-İç oksidasyon zamanını düşüren çok hızlı bir işlem olması
- 2-Salınımlı olarak sağlanan yüksek ısıtma ve soğutma hızları
- 3- Tercihli ısıtma ve bölgesel eritme ile mikro-yapı kontrolü
- 4- Dövme benzeri bir yöntemin kullanılması ile gelişmiş mekanik özelliklere sahip yüksek yoğunluklu bir ürünün elde edilebilmesi

1.3.3.2.3. SAP Tekniği

Bu yöntem adını sinterlenmiş alüminyum toz (sintered Alumium powder) 'dan almaktadır. Al tozu fırında belli sıcaklıkta ısıtıldığında; Al tozlarının yüzeyinde ince bir oksit tabakası oluşur. Dah sonra bu tozlar; toz metalurjisi tekniği ile şekillendirilir. Şekillendirme sırasında yüzeydeki oksit filmi kırılarak parçalanıp dökülür. Sonra Al tozlar parça içinde temas edip kaynayabilir. Al_2O_3 'ler ise aralarda kalır. Bundan sonra ya sıcak persleme yada soğuk preslemeden sonra sinterleme yapılarak Al tozlarının birbirine iyice kaynaması sağlanır (Şekil 15).

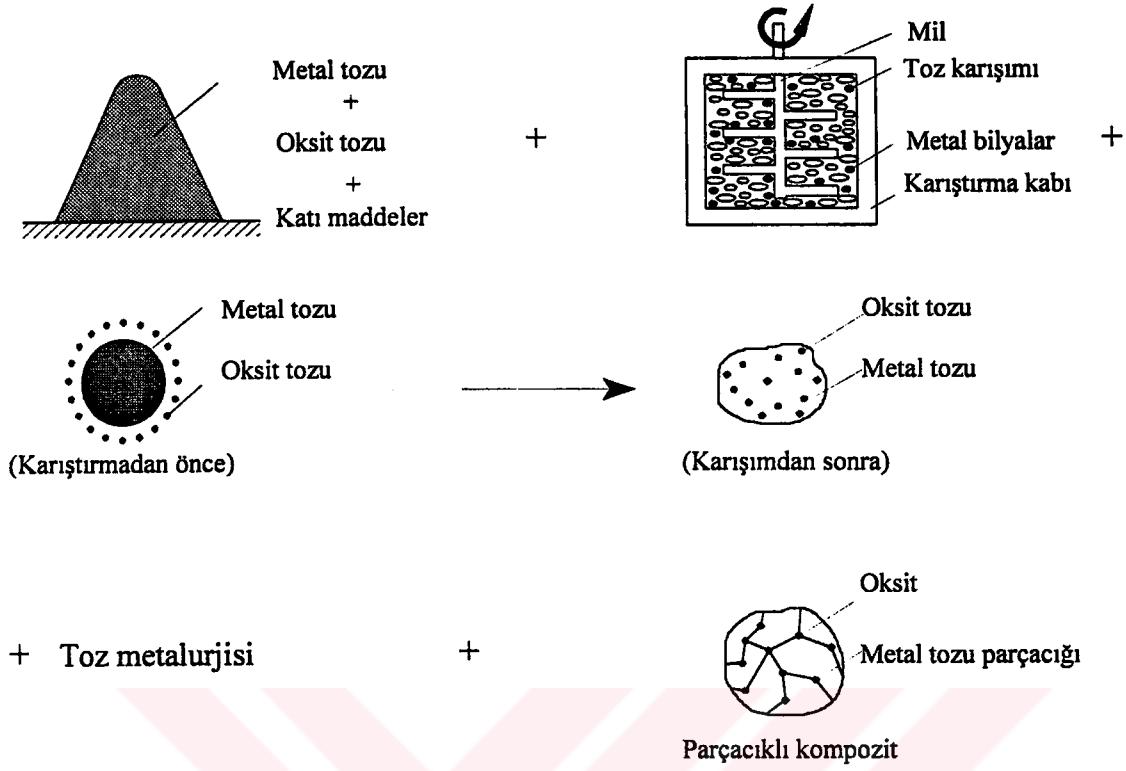


Şekil 15. SAP tekniğinin uygulama safhaları[9].

Bu teknik her metale uygulanmaz. Pahalı bir tekniktir. Al_2O_3 oranı fazla artırılamaz. Fakat Al miktarı istenildiği kadar artırılabilir.

1.3.3.2.4. Mekanik Alaşımlama Yöntemi

Metal tozları içine oksitlerin batması sağlanarak mekanik alaşımlama yapılır. Burada metal tozu ile oksit tozu karıştırılır. Elde edilen karışım özel bir düzenekte, metal bilyalar ile birlikte karıştırılır. Eğer istenmeyen bir oksitlenme olursa (oksitlenmeyi önlemek için) bunun içine özel bir sıvı; örneğin alkol konabilir. Karıştırma sırasında bilyalar daha sert olan oksit tozlarına daha yumuşak olan metal tozları içine batırılırlar. Bu şekilde elde edilen toz karışımı toz metallurjisi yöntemiyle şekillendirilerek parçacıklı kompozit üretimi sağlanır (Şekil16).



Şekil 16. Mekanik alaşımlama ile üretim yöntemi[9].

1.3.3.3. İki Fazlı Üretim Yöntemleri

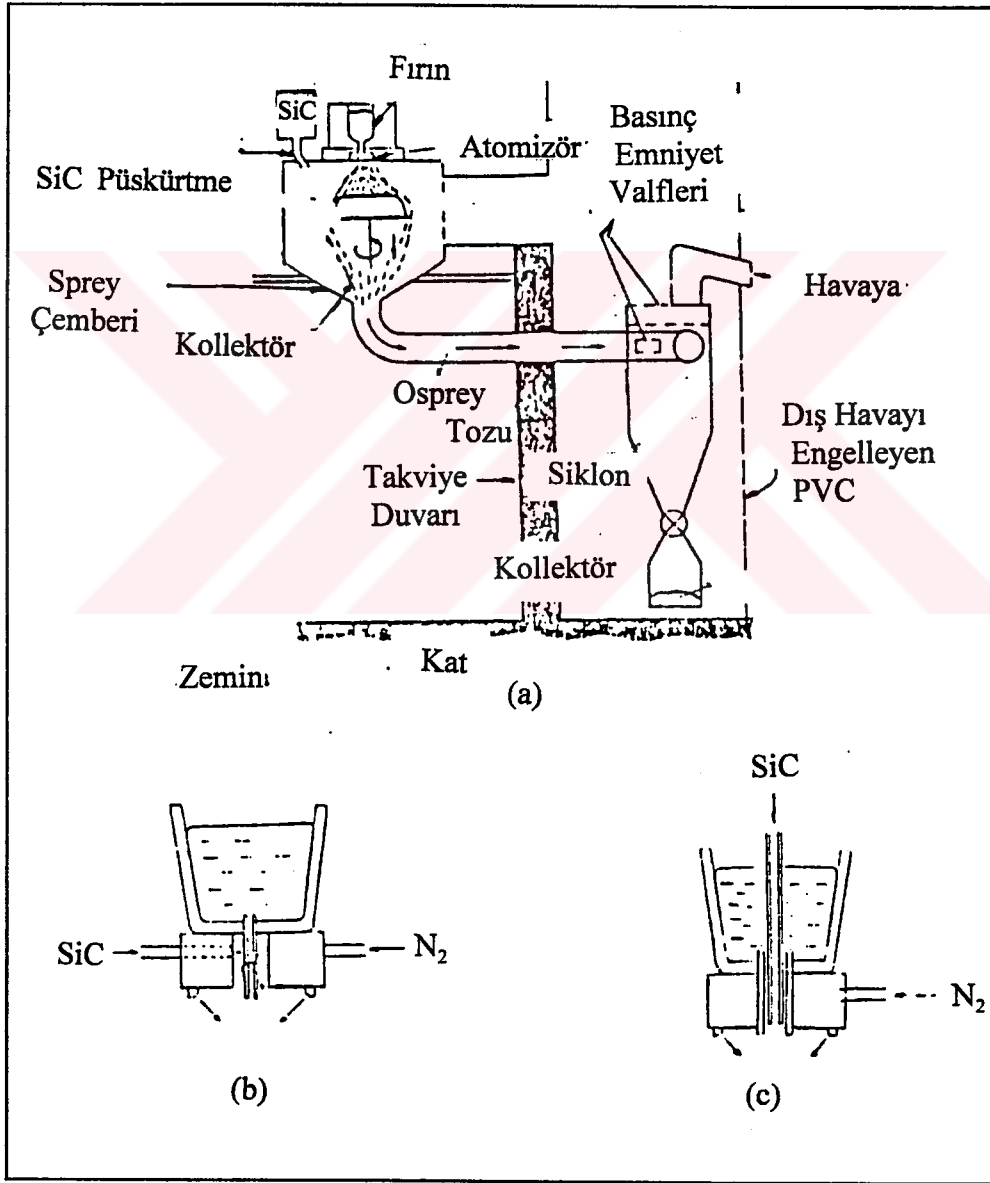
1.3.3.3.1. Osprey Yöntemi(Püskürterek Biriktirme Yöntemi)

Bu işlemde, soy gaz jeti tarafından gönderilen takviye parçacıkları ergitilmiş alaşımla karıştırılarak birlikte püskürtülmektedir. Püskürtülen karışım, bir zemin üstünde takviyeli metal matris olarak toplanmaktadır. Bu işlem, harmanlama ve birleştirme basamaklarını birleştirmekte ve böylece MMK'in üretiminde büyük bir kolaylık sağlamaktadır.

Henüz yeni olan bu yöntem hakkındaki mevcut bilgilerin ışığı altında, eğer daha yüksek püskürtme hızlarına ulaşılabilirse, özellikle son şekle yakın parçacık takviyeli alüminyum matrisli karma malzemelerin üretimlerinde büyük imkanlar sağlanması mümkündür. Bu yöntemin alüminyum dışındaki diğer matris malzemelerine de uygun olduğu görülmektedir[7].

Bir diğer adı da püskürterek biriktirme yöntemi olan bu yöntem, bilinen üretim yöntemlerinin ve toz metalurjisi ile hızlı katılaştırma teknolojilerinin avantajlarını birlikte sunmaktadır. Ancak püskürterek elde edilmiş yarı mamüldeki porozite (gözeneklilik) den dolayı daha sonra ekstrüzyon ve dövme gibi ek işlemleri gerektirmektedir.

Şekil 17 ' de püskürterek üretim teknolojisinin esası görülmektedir. Bir vakumlu elektrik fırınında alaşımın eritilmesi ile başlayan prosesinde sıvı metal akımı bir gaz atomizasyon ünitesinde ince matris tozlarına ayrılmaktadır. Özel bir parçacık enjektörü ile takviye parçacıkları yarı katı toz içine enjekte edilmektedir.



Şekil 17. a) Püskürterek biriktirme yöntemi, b) SiC parçacıklarının teğetsel enjeksiyonu c) SiC parçacıklarının merkezden enjeksiyonu [10].

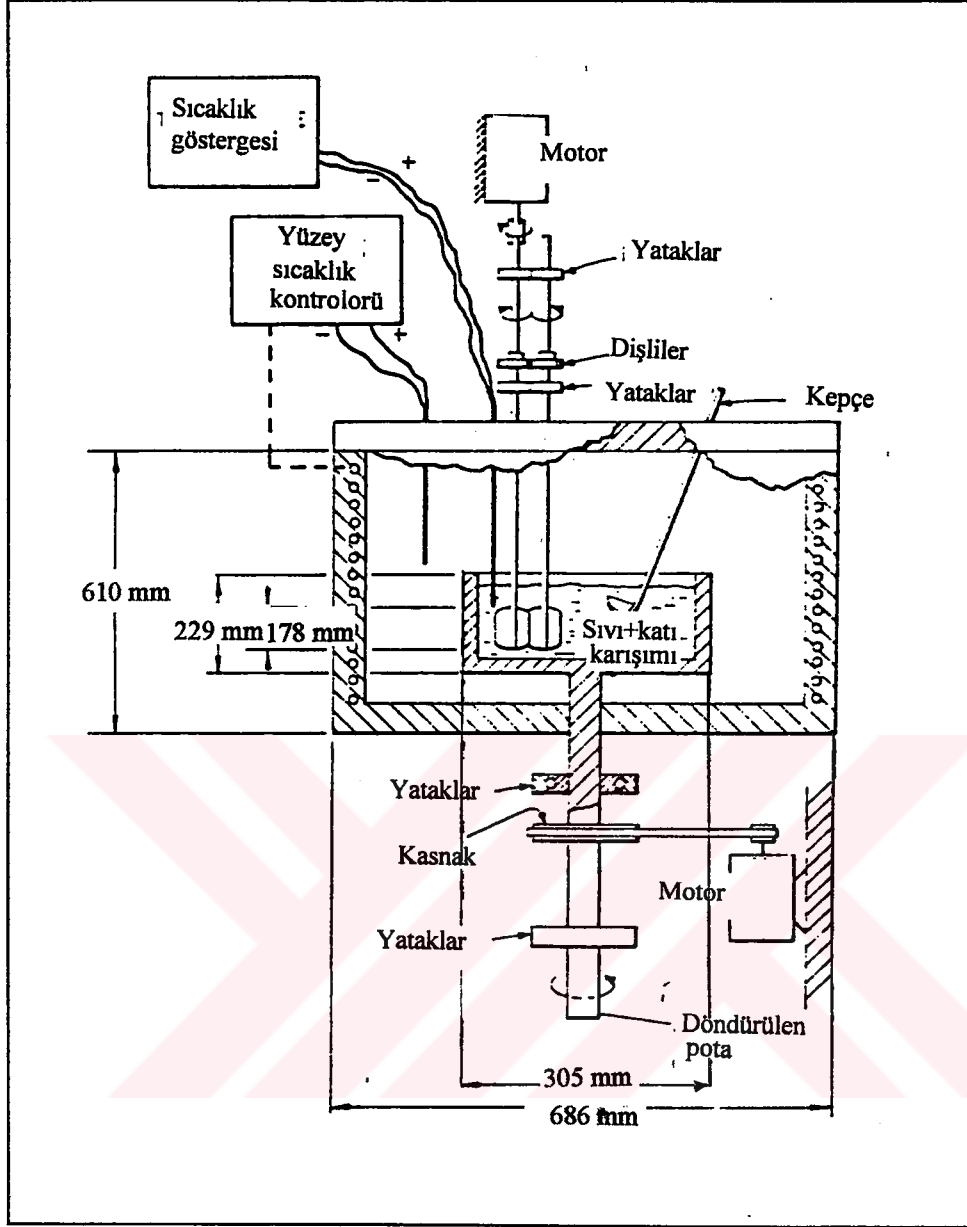
Dayanım arttırıcı fazın atomize haldeki bir sprej içerisine enjekte edilebilmesi için üç yöntem vardır. Bunlardan bir tanesi parçacık kaybını azaltan ilave parçacıkların teğetsel enjeksiyonu, sıvı akımı ve atomizasyon gazı arasında gerçekleştirilmektedir(Şekil 17 (b)). İkinci bir yöntem de parçacıkların atomize edilmiş sprej içerisine doğrudan enjekte edilmesidir. Diğer bir yöntemde dönel bir formdaki sıvı metale nozulun merkezindeki başka bir nozuldan parçacıkların doğrudan enjekte edilmesidir(Şekil 17 (c)). nc yöntemin gerçekleştirilmesi güçtür, düşük metal akış hızının olması kaydıyla ilk yöntem en kolaydır.

1.3.3.3.2. Reodöküm

Reodkmde, seramik parçacıkları solidüs-likidüs aralığındaki (katı-sıvı bölgesi) bir sıcaklıkta metal matrisine eklenerek düşük viskoziteli bir bulamaç haline getirene dek şiddetli bir Şekilde karıştırılmaktadırlar. Katılaşma sırasında Şiddetli bir karıştırma uygulandığı zaman bir çok metalik alaşımın sahip olduğu bulamaca benzeyen bir hale gelme özelliği bu yönteme avantaj sağlamaktadır. Katı hacim oranı %50 olan karışımlar için gözlenmiş olan bu davranış, karıştırma sırasında katı dendiritlerin kırılarak sıvı içerisinde duran küresel katı parçacıklara dönüşmesi sonucu meydana gelmektedir[7]. Bu yaklaşım alüminyum ve bakır esaslı alaşımların kalıba dökümlerinde kullanılmaktadır. Karıştırma sırasında matrisin bulamaç özellikleri katılaşma sırasında takviyelerin karışıma girmesini mümkün kılar.

Bu yöntem %30 ağırlık oranına kadar Al_2O_3 , SiC ve %21 ağırlık oranına kadar cam parçacıkları ile %40-45 arasında kısmen katılaştırılmış Al-%5Si-%2Fe alaşımının birleştirilmesinde başarılı bir Şekilde kullanılmıştır. Katılaşma sırasında kaba parçacıkların dışında parçacıkların büyük bir çoğunluğunun matrisin içerisinde homojen dağıldığı gözlenmiştir (Şekil 18).

Örneğin SiC parçacık takviyeli 6061 ve 2024 matrisli karma malzemelerin üretimleri ele alınırsa, bu matris alaşımlarının katı+sıvı sıcaklık aralıkları sırasıyla 673-595°C, 660-579°C 'dır.SiC parçacıkları sıvı metale eklenmeden önce 25 saat 1000°C sıcaklıkta oksitlendirilirler. Bu işlem, parçacıkların ağırlıklarında yaklaşık %4'lk artışlar sağlamakta ve parçacıklar ile alüminyum matris arasında meydana gelen alüminyum karbür oluşumu ile sonuçlanan reaksiyonları minimum düzeylere indirmektedir. Şekil 18'de



Şekil 18. Reodöküm Yöntemi[11].

gösterildiği gibi parçacıklar sıvı metalin karıştırılmasından doğan vortekse(girdap) eklenmektedirler. Ekleme sıcaklıkları 6061 için 650°C , 2024 için 630° 'dir. Sıvı metalin katılaşmaya başlamasından belirli bir süre sonra belirli bir basınçla dökülürler[11].

1.3.3.3. Çok Fazlı Malzemelerin Birlikte Çökeltilmesi

Bu işlemde, sıvı matris malzemesi yüksek hızla gaz atomizörleri yardımıyla ince dağılıma sahip zerrecikler haline getirilmektedir. Aynı zamanda, dayanım artırıcı fazlarda bir veya daha fazla jet tarafından önceden belirlenmiş uzaysal bir bölgede atomize haldeki serpintiye püskürtülürler(Şekil 19.). Böylece matrisle parçacıkların temas zamanı ve ısı tesirleri en düşük seviyeye indirilmekte ve ara yüzey reaksiyonları kontrol edilebilmektedir. Buna ilave olarak, işlem sırasında çevrenin oksidasyonunu minimuma düşürmek için tedbir alınmaktadır.

Bu işlem, bir alüminyum-lityum matrisin % 20 hacim -oranına kadar SiC parçacıkları ile birleştirilerek kullanılmasına imkan tanımaktadır[10].

Bu yöntem aşağıdaki nedenlerden dolayı cazip bir yöntemdir;

1-Bu teknoloji toz metalurjisinin bir çok dezavantajını ortadan kaldırırken, bir çok avantajını da elinde tutmaktadır.

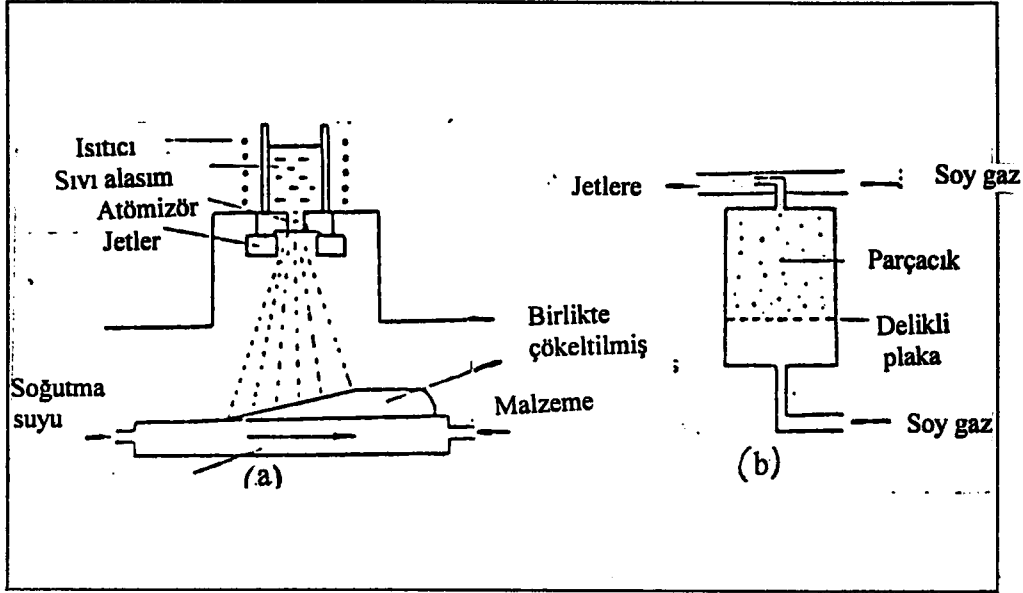
2-Püskürtülerek birlikte çökeltmiş malzemelerde hızlı soğuma ile sağlanan katılaşma bir çok avantaj sağlar. Bunlar ince taneli bir iç yapının oluşması, yüksek katı çözünürlüğü, dengede olmayan fazların veya makro segregasyonların oluşmamasıdır.

3-Püskürtülerek birlikte çökeltme işlemi düşük segregasyonlu ve yüksek hacim oranlı büyük parçacık takviyeli MMK'leri üretmek için kullanılan bir yöntemdir.

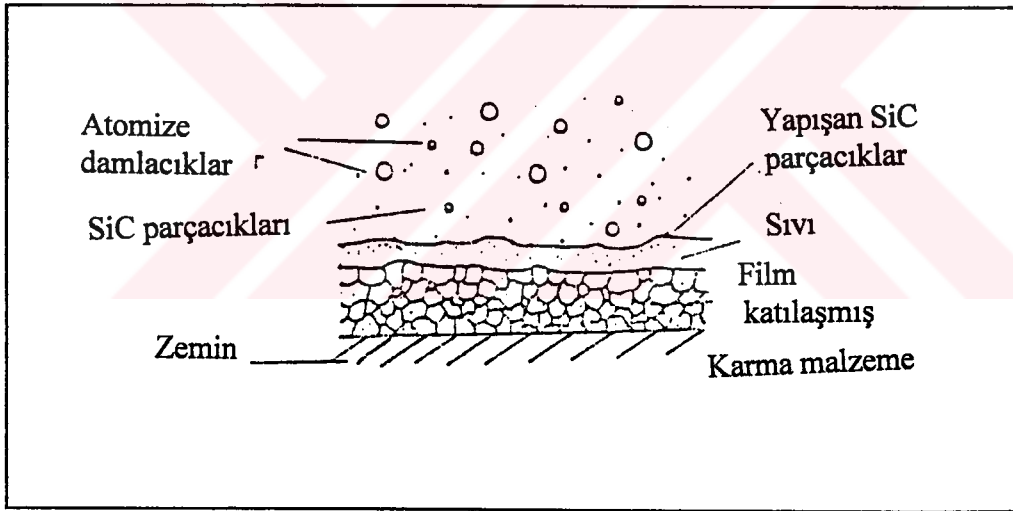
4-Püskürtme atomizasyonu ve birlikte çökeltme işlemleri, şekil verilmesi zor olan malzemelerin net bir şekilde(başka bir işlem gerektirmeden) üretimlerinde de kullanılmaktadırlar,

Şekil 19' da bir püskürtme atomizasyonu ve çökeltme cihazı görülmektedir. Sıvı haldeki alaşım bir soygaz atomizörüyle atomize edilir. Katılaşma ve sıvı film kalınlığı su ile kontrol edilmektedir. Enjeksiyon hızı ve dayanım artırıcı fazın hacim oranı özel olarak dizayn edilmiş bir akış yatağı ile ayarlanmaktadır(Şekil 19).

Püskürtme atomizasyonu ve birlikte çökeltme işlemi sıvı metal atomizasyonu, parçacıkların ve sıvı metal damlacıklarının karışımı, parçacıkların girişini, sıvı metal filminin oluşumunu ve katılaşmayı içermektedir.



Şekil 19 .a) Püskürtme atomizasyon ve çökeltme cihazı, b) Parçacık iletiminde kullanılan akışkan yatağı[12].



Şekil 20. Takviye parçacıklarının katılması işleminin şematik gösterimi[12].

Parçacıkların katılması işlemleri Şekil 20' de gösterilmektedir. Parçacıkların ve atomize hale getirilen sıvı metal, bir karma malzeme meydana getirmek için, sıvı metal bir filme sahip olan birlikte çökeltme tabakasına püskürtülürler. Parçacığın sıvı metale transferinde sürüklenme direnci, yüzey direnci ve yüzdürme direnci gibi üç ayrı etken rol oynar[12].

1.3.3.4. Diğer Üretim Yöntemleri

1.3.3.4.1. Birlikte Çöktürme

Çözünen ve çözen metaller kompleks bir tuz oluşturacak şekilde sulu çözeltilerle birlikte çöktürülürler. Çöken tuz karışımı kurutulup yakılarak oksit karışımı elde edilir. Bu karışıma uygulanan "Selektif(seçmeli) indirgeme" yöntemi ile oksitlerden biri metale indirgenir. Diğer oksit ise indirgenmeyerek iç yapıda takviye bileşeni olarak kalır. Daha sonra imal edilen bu metal + oksit toz karışımı, toz metalurjisi yöntemi ile şekillendirilir.

Metal oksitin Metale Indirgenmesi:



Her metal oksit H_2 ile indirgenebilir.

CO ile Indirgeme:



C ile Indirgeme:

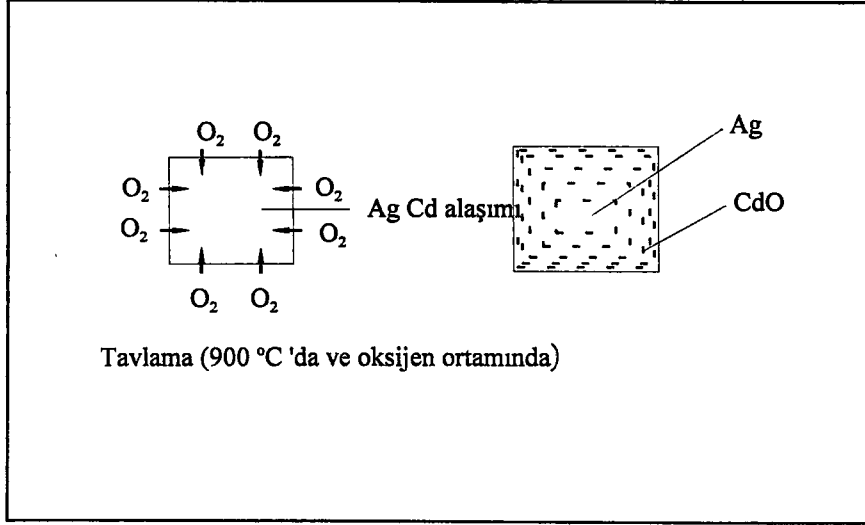


1.3.3.3.4.2. İç Oksitlenme (Internal Oxidation)

Bu yöntemde önce bir alaşım hazırlanır bu alaşım içerisinde, matris metali ile, oksidi oluşturacak metal bulunur. Örnek $Ag + CdO$ ' i elde etmek için, $Ag(\%90) + Cd(\%10)$ birlikte ergitilerek karıştırılır ve alaşım elde edilir.

Cd; aktif metal olduğundan Ag'den daha kolay oksitlenir. Çünkü serbest enerjisi daha düşüktür. Elde edilen alaşım yüksek sıcaklıkta fırında tavlınır. (Havada veya oksitleme ortamda)Bu durumda iç yapıya O_2 girer. O_2 Ag ile değil Cd ile reaksiyona girer. Sebebi; Cd 'nin serbest enerjisinin Ag 'nin serbest enerjisinden düşük olmasıdır. Bu durumda, Ag matris içinde CdO takviye elemanı elde edilir (Şekil 21). CdO'in oranı dıştan içe doğru

gidildikçe değişir. Genelde oluşan oksitlerin hacmi küçük olduğundan küçük boşluklar oluşur, yksek olduğunda ise bk boşluklar iç gerilmeler meydana gelir.



Şekil 21. AgCd alaşımında i oksitlenmenin oluşumu[9].

1.4. Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Özellikleri

1.4.1. Fiziksel Özellikler ve Mekanik Özellikler

Parçacık takviyeli MMK' ler monolitik alaşımlarda ulaşılamayan fiziksel ve mekanik Özelliklerin kombinasyonlarına sahip olan malzemelerin geliştirilmesi için Önemli imkanlar sunmaktadır. Matrislerin ve takviyelerin seçimindeki geniş olanaklar düşük yoğunluklu, yksek elastiklik modülüne ve ışıl iletkenliğe sahip MMK'in gelişimini sağlamaktadır.

Her ne kadar parçacık takviyeli MMK' ler yksek çekme dayanımı, sürünme, yorulma direnci, optimum süneklik ve kırılma davranışı gibi mekanik Özellikler gösterse de kullanılmaları henüz sınırlıdır[7].

1.4.1.1. Fiziksel Özellikler

Düşük yoğunluklu MMK'ler matris malzemesi olarak Al ve Mg gibi düşük yoğunluklu alaşımların seçilmesi ile kolaylıkla elde edilebilmektedirler. ışıl kararlılık ve

optimal dayanım/ yoğunluk oranını gerektiren yapılarda, nikel ve titanyum esaslı alaşımlar da kullanılabilir. Metal matrislerin çoğu nispeten yüksek ısı iletkenlik göstermektedir ve ısı uzama katsayıları takviyelerin çoğundan yüksektir.

Bir çok oksit ve karbür takviye sifira yakın ısı uzama katsayısı gösterdiklerinden dolayı, çok düşük ısı uzama katsayısı gösteren MMK'ler üretmek için yüksek hacim oranlarında kullanılabilirler(V_f %40)[7].

Bileşenlerin özelliklerinden MMK'lerin özelliklerinin tahmini hususunda çok sayıda matematik model mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılan ve en basit olanı "Karışımlar Kuralı" dır. Buradan MMK'lerin ısı uzama katsayıları, yoğunlukları, dayanımları, elastiklik modülleri ve diğer istenilen özellikler bileşenlerin hacim oranından hesaplanabilmektedir[7].

$$\beta_k = \beta_m V_m + \beta_t V_t \quad (4)$$

β aranılan özellik, V hacim oranı, k, m ve t indisleri sırasıyla karma malzeme, matris, ve takviyeyi göstermektedir. Karışımlar kuralı yaklaşımına örneğin en/boy oranı yüksek olan takviyelerin izotropik olmayan özellikleri ve ara yüzeylerde ısı engellerin etkilerini hesaba katan korelasyonlara sınırlamalar getirmektedir. Karma malzemenin ısı genleşme katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanabilir(Turner modeli)[7].

$$\alpha = \frac{\alpha_k V_m K_m + \alpha_t}{(V_m K_m + V_t K_t)} \quad (5)$$

α ısı genleşme katsayısını, K fazın kütle modülünü temsil etmektedir. Bu modelle bulunan α , karışımlar kuralı yaklaşımı ile bulunanıkinden çok daha düşüktür. Kerner modeli; matris ve izotropik, küreye yakın takviyeler arasındaki kayma gerilmelerinin etkilerini hesaba katan çok daha karmaşık bir modeldir[7].

$$\alpha_k = \alpha_m - V_t (\alpha_m - \alpha_t) A/B \quad (6)$$

Burada,

$$A = K_m (3K_t + 4\mu_m)^2 + (K_t - K_m) (16\mu_m^2 + 12\mu_m K_t) \quad (7)$$

$$B = (3K_t + 4\mu_m) [4V_t \mu_m (K_t - K_m) + 3K_m K_t + 4\mu_m K_t] \quad (8)$$

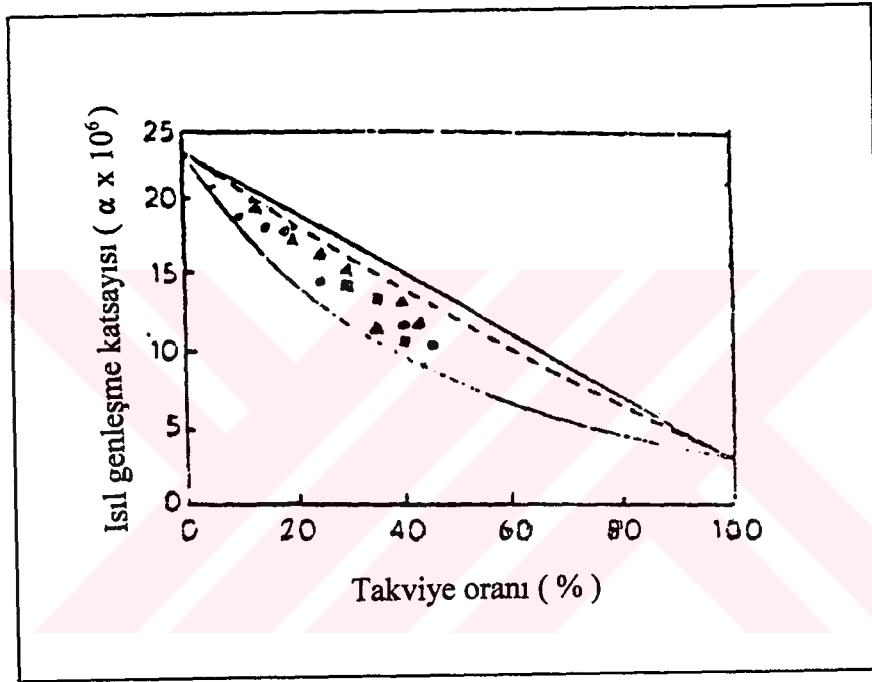
μ ; kayma modülüdür.

Kerner modelinden alınan sonuçlar "Karışımlar Kuralı" ve "Turner Modeli"nden alınan sonuçlar arasında bir yerde çıkmaktadır. SiC, B₄C veya AlN ile takviyeli alüminyum ve magnezyum matrisli karma malzemelerin ölçülmüş ısı uzama katsayıları Kerner ve Turner

modelleri ile tahmin edilen değerler arasında bir yere düşmektedir(Şekil 22). Bu termoplastik modellerin nispeten yaklaşık olarak (ısı genleşme katsayısı) tahminini sağlamaktadırlar.

Bir karma malzemenin ısı iletkenliği Rayleigh modeli ile hesaplanabilmektedir[7].

$$k_k = \frac{k_m[(+2V_t)(1-k_m/k_t)/(2k_m/k_t+1)]}{[(1-V_t)(1-k_m/k_t)/(k_m/k_t+1)]} \quad (9)$$



Şekil 22. SiC(●), B₄C (▲) veya AlN (■) takviyeli Al ve Mg matrisli karma malzemelerin ölçülen α değerleri.(-) Karışımlar Kuralı, (-,-) Kerner Modeli, (...) Turner Modeli[7].

Buradaki k ısı iletkenlik katsayısıdır. Ancak matris-takviye ara yüzeylerinden dolayı ısı engellerin etkileri Eşitlik (9)'da hesaba katılmamıştır.

Bir karma malzemenin elastiklik modülü Hashim Shtrikman modelinden hesaplanabilir [7].

$$E_k = \frac{E_m [E_m V_m + E_m (V_t + 1)]}{[E_t V_m + E_m (V_t + 1)]} \quad (10)$$

Buradaki E elastiklik modülüdür. Kalan terimler ise daha önceden tanımlanmıştır. Eşitlik (9) ve (10) kullanılarak elde edilmiş olan tahmini değerler deneysel olarak elde edilen değerlere iyi bir yakınlık göstermektedir.

MMK'lerin elastiklik modülleri ,eşitlik(10)'e göre öncelikle takviye miktarından etkilenmektedirler. Örneğin, 6061 Al matrisli karma malzemelerde elastiklik modülünün takviye miktarı ile arttığı anlaşılmıştır fakat takviye türünden bağımsız olduğu bulunmuştur. Isıl işlemler karma malzemelerin elastiklik modülleri üzerinde küçük bir etki yaratabilirler. T6-işlem halinin daha düşük elastiklik modülü gösterdiği bulunmuştur[13].

Bu tür kompozitlerin bazı özellikleri, bileşenlerinin hacimsal oranlarına bağlıdır. Bu nedenle bazı özellikler karışımlar kuralıyla bulunabilir.

Karışımlar Kuralı(Rule of Mixtures):

İri parçacıklı kompozitlerin özellikleri bileşenlerinin oranlarına bağlıdır. Karışımlar kuralı ile yoğunluk ve tahmini olarak elastiklik modülü gibi özellikler belirlenebilmektedir.

Yoğunluk:

$$\rho_k = \sum V_i \cdot \rho_i \quad (11)$$

ρ_k : Kompozitin yoğunluğu, V_i : bileşenlerin hacim oranı($V_i = V_1, V_2, \dots$), ρ_i : bileşenlerin yoğunlukları($\rho_i = \rho_1, \rho_2, \dots$)

Bu tür kompozitlerin sertlik ve mukavemet özellikleri karışım kuralı ile bulunamaz. Ancak Şekil 23' de görüldüğü gibi elastiklik modülü tahmini olarak belirlenebilir. Buna göre;

Elastiklik Modülü:

$$\text{Üst Sınır Eşitliği: } E_k = E_m \cdot V_m + V_p \cdot E_p \quad (12)$$

Ek: Kompozitin elastiklik modülü

Em: Matrisin elastiklik modülü

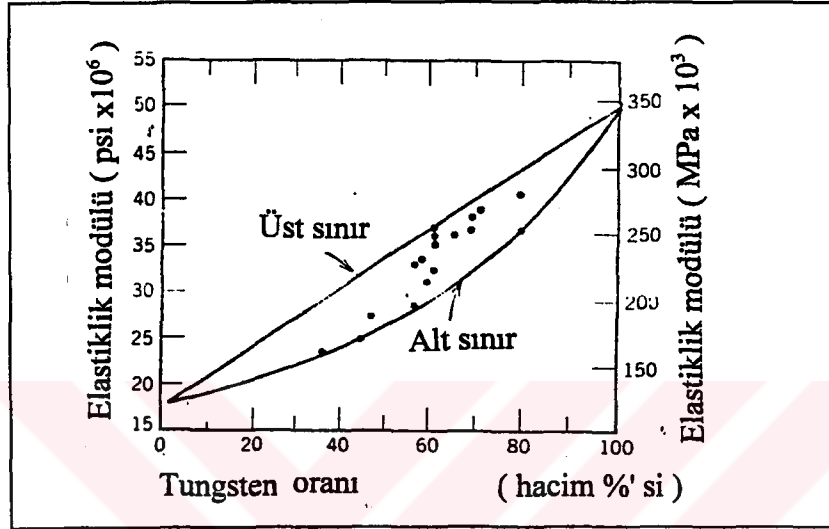
Ep: Parçacığın elastiklik modülü

Vm: Matrisin hacim oranı

Vp: Parçacığın hacim oranı

Alt Sınır Eşitliği: $E_k = E_m \cdot E_p / V_m \cdot E_p + V_p \cdot E_m$

(13)



Şekil 23. Bakır matris içine dağılmış Tungsten parçacıklı kompozitte Tungsten hacim oranı ile elastiklik modülünün değişimi[14].

1.4.2. Oda Sıcaklığındaki Davranışlar

1.4.2.1. Çekme Özellikleri

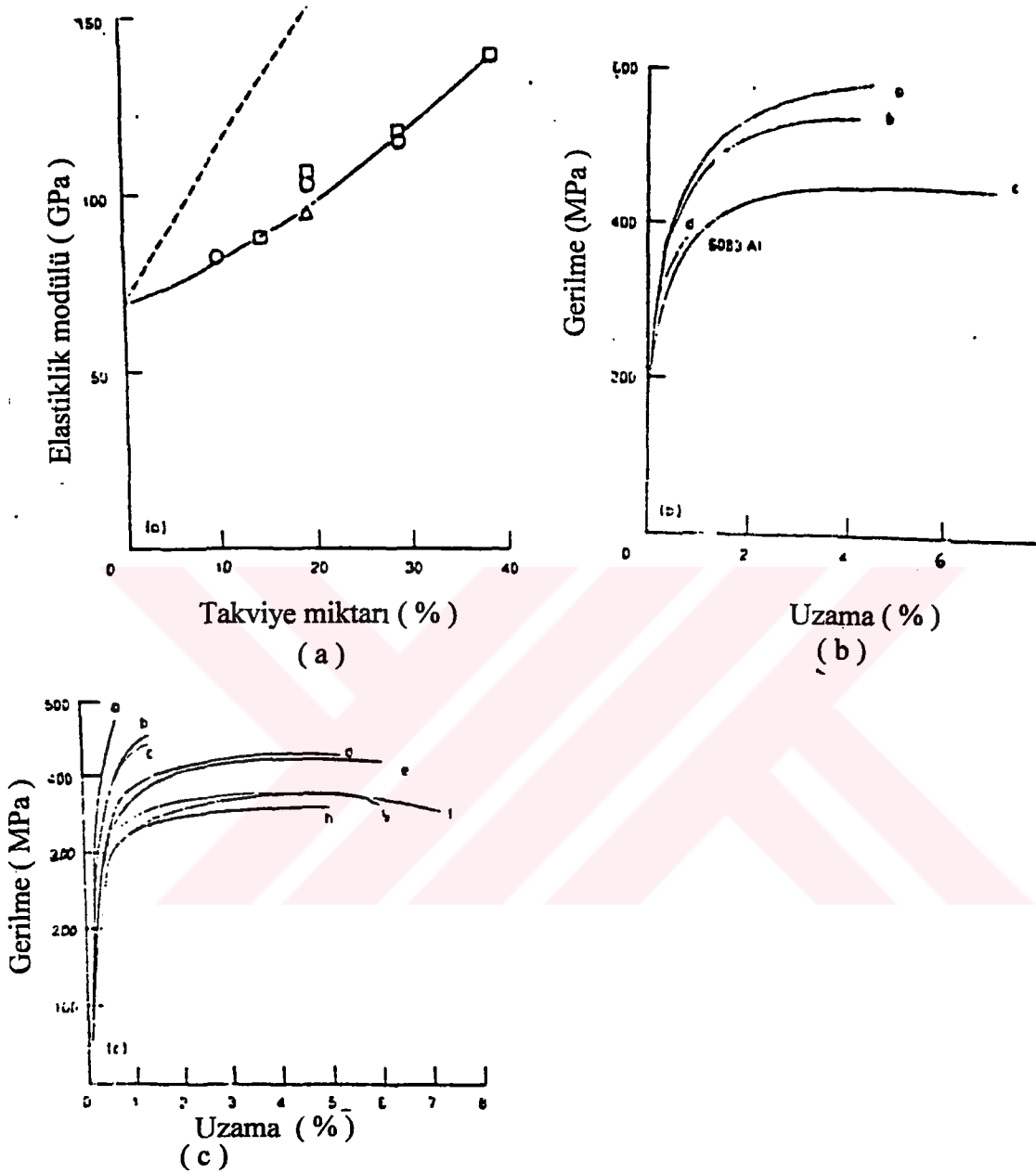
Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin akma ve çekme dayanımlarını artıran bir çok faktör vardır. Bu faktörler kompleks ve birbirleri ile ilişkilidir. Mesela, metal matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerini arttıran en önemli faktörlerden biri matristir. Metal matrisli kompozitlerde nispeten yüksek akma ve çekme dayanımı gösteren alaşımların kullanımı arttırılırsa da, deformasyon davranışları oldukça zayıf olur. Bundan başka, ısıl işlem elastikten plastik davranışa geçişi etkilemektedir; aşırı yaşlandırılmış MMK'ler biraz daha büyük miktarda elastik uzama gösterirler. Isıl işlem ile karma malzemelerin akma gerilmelerindeki artış, hem alaşım çökeltileri hemde takviyeler

ile dislokasyon etkileşiminin ilave etkilerinin bir göstergesi olmaktadır[7]. Artan parçacık hacim oranı ile elastiklik modülü ve dayanımın arttığı görülmektedir(Şekil 24). Ancak bununla beraber süneklikte önemli düşüşlerin olduğu görülmektedir.

MMK'lerin mekanik özellikleri, matris ve takviye arasındaki ısı uzama katsayılarındaki farklılıklarının oluşturduğu artık gerilmelerden de etkilenmektedirler. MMK'lerde artık gerilmeleri hesaplamak için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Örneğin, Eshelby, Mura-Taya ve Tanaka-Muri modelleri ile çekme ve basmadaki akma gerilmeleri bulunabilir[7].

Eshelby modeli incelenecek ve deneysel çalışmalar ile karşılaştırılacak olursa bazı ilginç noktalar göze çarpacaktır. Birincisi, teorik model basmada çekmedekinden daha yüksek olan bir akma gerilmesini bulmaktadır. Bu deneysel çalışmalarla uyusmaktadır. İkincisi, MMK'lerin akma gerilmesinin tahmin edilen değerleri hem çekme hem de basmada belirlenmiş olan deneysel değerlerden daha az olduğu anlaşılmıştır. Bu farklılıklar tavlınmış MMK'lerdeki yüksek dislokasyon yoğunluğundan doğmuştur. Üçüncüsü her ne kadar MMK'lerde ortalama artık gerilme nispeten düşük olsa da, matris-takviye ara yüzeyinde nispeten önemli basma gerilmeleri olabilir. İlave olarak, takviyelerin çevresindeki gerilme dağılımı dayanım arttırıcı fazların büyüklüklerine, dağılımlarına ve yüklemelerine bağlı olarak hem çekme hem de basma olabilir. Dördüncüsü, takviyeler arasındaki matris bölgesindeki artık gerilme, çekme olacaktır ve plastik deformasyon burada gerçekleştirilecektir çünkü takviye-matris ara yüzeyinde karşılaştırıldığı zaman daha az dislokasyon içermektedir.

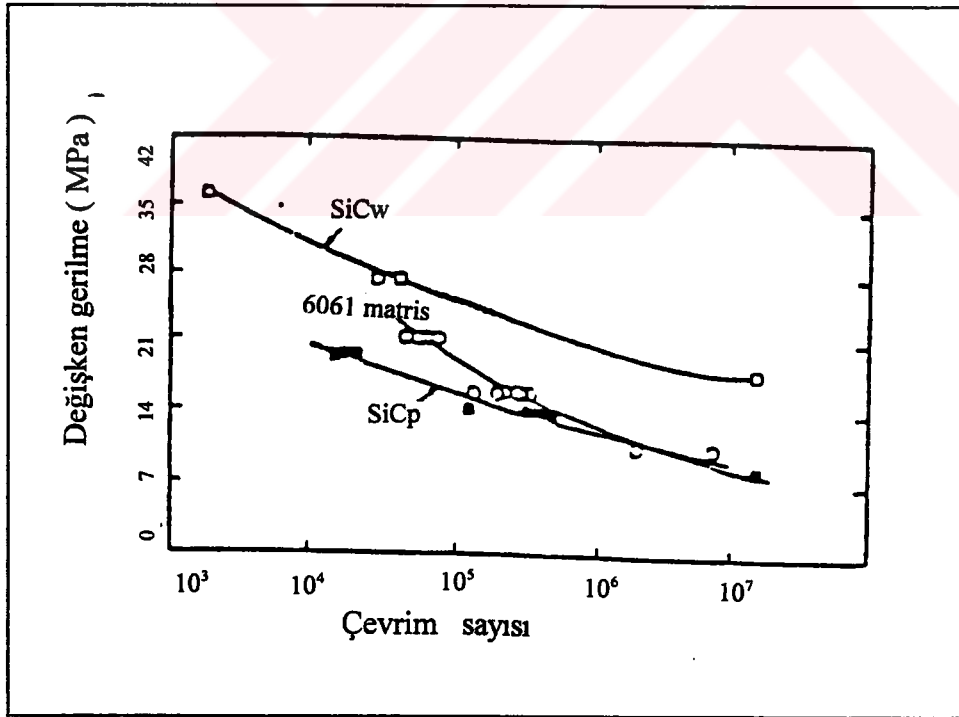
Ancak parçacık takviyeli MMK'lerde deformasyon ve kırılma mekanizmaları hakkında yeterli bilgi mevcut değildir. Örneğin, dayanım arttırıcı fazların boyut ve dağılımının kırılma tokluğuna bağlılığını etkileyen kritik faktörler henüz elde edilmemiştir. Oysa erime ve ara yüzey reaksiyonları hakkında yukarıda geçen bahisten etkin yük iletimini oluşturmak için çeşitli bazı bağların gerekeceği açıktır. Ancak zayıf bir bağın mı yoksa kuvvetli bir bağın mı tercih edilmesi gerektiği açık değildir. Örneğin, dinamik deformasyon sırasında, zayıf ara yüzeyler yorulma çatlaklarının durmasını sağlayabilir. Buna ilaveten matris kırılması, parçacık takviyeli MMK'in deformasyonunu kontrol etmektedir[7].



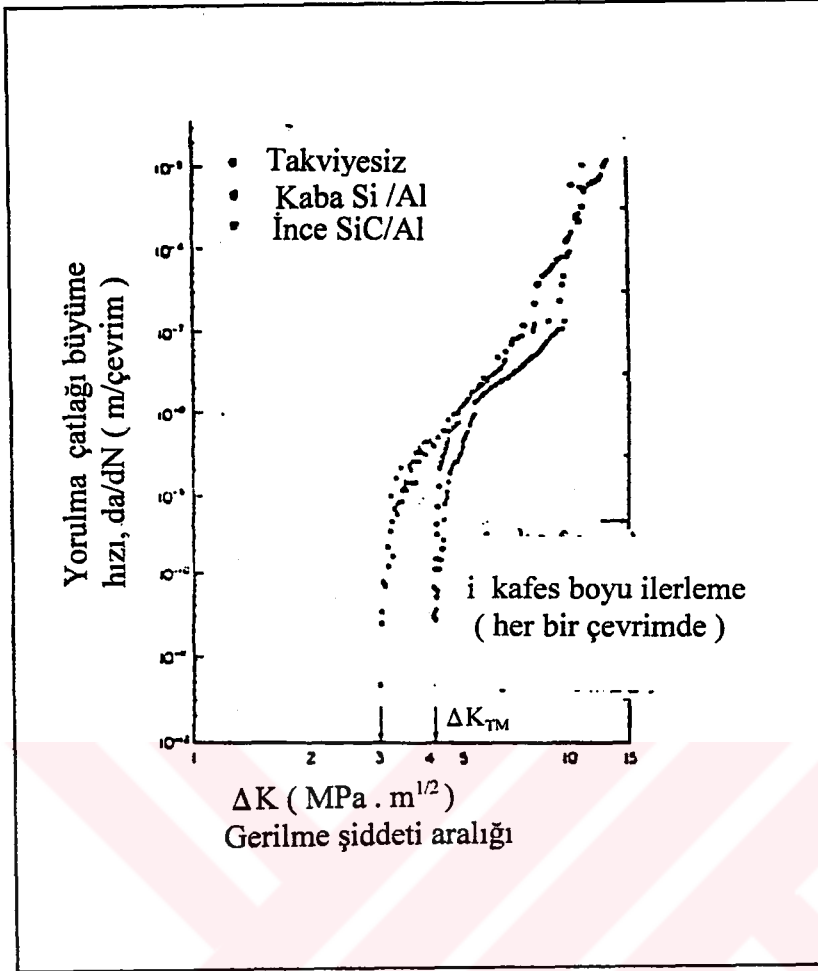
Şekil 24 .(a) SiC /6061 Al karma malzemelerin elastiklik modüllerine takviye oranlarının etkisi, SiCw(whiskers), SiCp (parçacık) SiCp(modül), eşuzama tipi davranış(---), (b)%20 SiC takviyeli a-7075 Al, b-2124Al, c-6061 Al, d-5083Al matrisli karma malzemelerin gerilme-uzama davranışlarına Al matrislerin etkileri, (c) T6 Temper SiC/Al karma malzemelerin gerilme-uzama eğrileri(a-%40 SiC, b-%30 SiC, c- %30 SiCp, d- % 20 SiCp, e- % 20 SiCw, f- % 10 SiCw [7].

1.4.2.2. Yorulma ve Kırılma Özellikleri

Sürekli takviyeli MMK'in yorulma ve kırılma dayanımlarını kontrol eden faktörler hakkında yeterli derecede bilgi mevcut değildir. Whisker takviyeli alüminyum karma malzemelerin uzun ömürlü yorulma davranışı, benzer takviyesiz alaşımlardan da parçacık takviyelilerden de çok yüksektir (Şekil 25). Yapılan iç yapı çalışmaları, takviyelerin yorulma çatlaklarının oluşumunda ve büyümesinde artışa sebep olabileceklerini göstermişlerdir. Bu sonuca takviyeli alüminyum alaşımlarının yorulma çatlak büyüme direnci hakkındaki mevcut bilgiler ışığı altında varılmıştır (Şekil 26' da gösterildiği gibi 6.4 mm kalınlıktaki parçacıklarla takviyeli 7000 serisi bir alüminyum alaşımı için değeri takviyesiz matrisine benzerdir veya daha düşüktür. Yüksek ΔK 'larda II. bölge içerisinde maksimum ulaşılmış yaşlandırılmış takviyeli 7000 serisinden alüminyum alaşımının çatlak büyümesi genellikle takviyesizlerinkinden daha fazladır (Şekil 27). II. bölgedeki yorulma çatlak büyüme hızı, kararsız çatlak ilerlemesinin meydana geldiği III. bölgeye kadar takviyeli alaşıma göre takviyesiz alaşımlarda düşüktür.



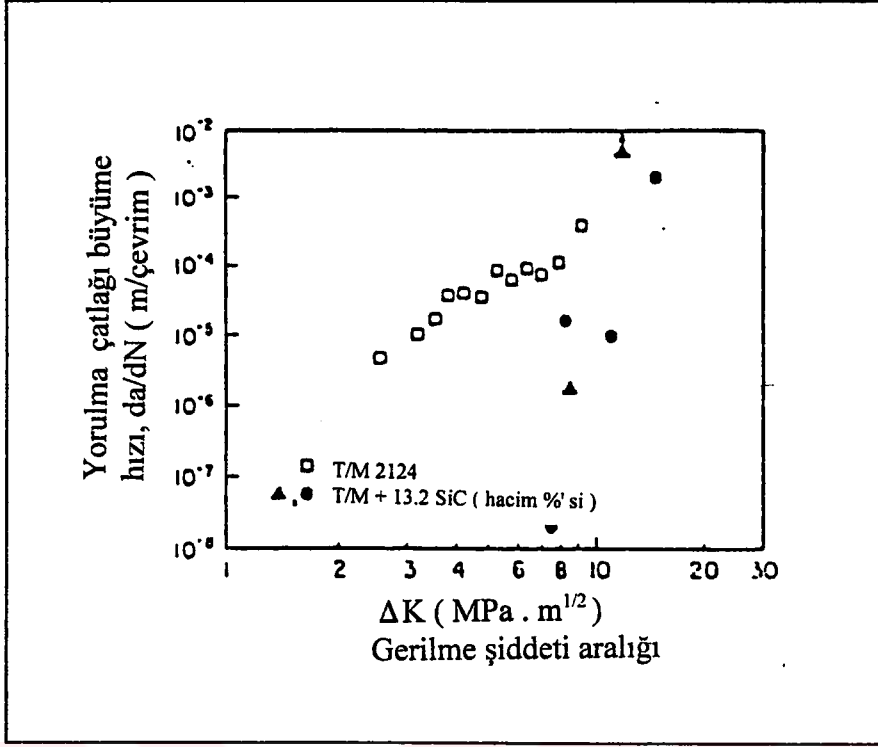
Şekil 25. SiC takviyeli 6061 Alüminyum için S/N eğrileri [7].



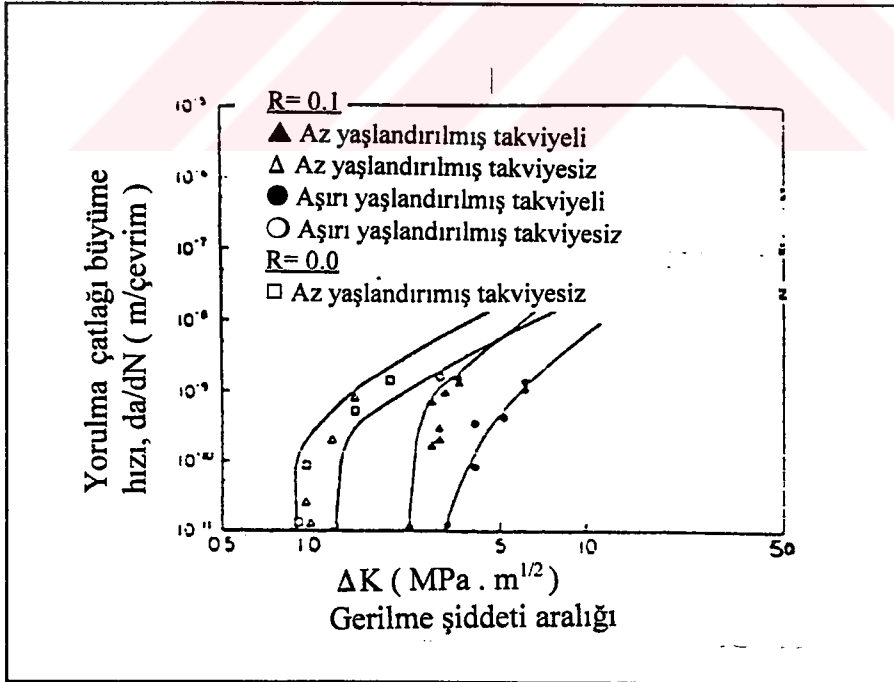
Şekil 26. SiC takviyeli MB78 için R=0.1'de gerilme şiddet aralığı (K) ile yorulma çatlak büyüme hızı [7].

K_{es} ısı işleme karşı duyarlıdır (Aşırı yaşlandırma ile K_{es} artar) (Şekil 28). Bu matrisin bir etkisidir, çünkü aynı davranışı takviyesiz alaşımlarda göstermektedir. Yapılan çalışmalar whisker-takviyeli alüminyum alaşımlı karma malzemelerde yorulma çatlak büyümesi ve kararsız çatlak ilerlemesi genellikle hem numunenin kalınlığına hem de uygulanmakta olan yayılı yükün yarattığı gerilmelere karşı duyarlı olduklarını göstermişlerdir.

Alüminyum matrisli karma malzemelerin kırılma tokluğu, sadece takviye miktarı, kalınlık veya yayılı yükün yarattığı gerilmelere bağlı değildir. Bunların dışında bu değer termomekanik işlemlerle de artmaktadır. Bu malzemelerin kırılma tokluklarına etkileyen faktörler iç ve dış etkiler olarak ikiye ayrılabilir. İç faktörler, matrisin ısı işleme, inklüzyonlar (genelde 0.1 μm 'den daha küçük boyutlu arası mesafeler, hacim oranı ve boyutlarıdır.



Şekil 27. SiC takviyeli 2124 Alüminyum için R=0.1'deki gerilme şiddet aralığı ile yorulma çatlak büyüme hızı arasındaki değişim[7].



Şekil 28. SiCw takviyeli 2124 için olan eşik değeri yakınındaki yorulma çatlak büyüme hızları[7].

Parçacıkların keskin köşelerdeki plastik deformasyonun artması ile gerilme yığılmaları oluşmakta ve sonra boşluklar meydana gelmektedir. Dış etkenler ise dağılım düzgünlüğünü, takviye boyutlarıdır[7].

1.4.2.3. Yüksek Sıcaklık Davranışları

Yüksek sıcaklık uygulamalarında parçacık takviyeli MMK'lerin kullanımı, sürünme davranışlarını etkileyen mekanizmalar hakkında temel bilgiler gerektirmektedir. Ancak parçacık takviyeli MMK'lerin yeterli çalışma ve bilgi mevcut değildir. Şekil 29. ile 30. arasında bazı çalışmaların sonuçları gösterilmektedir. Düşük hacim oranlı (%20'den az) parçacık takviyeli metal matrisli karma malzemeler esas itibari ile birincil ve ikincil sürünme bölgelerini göstermemektedirler, fakat sürünme ömrü büyük bir kısmında artan sürünme hızı ile karakterize edilmektedir. Daha yüksek hacim oranlılarda (%20' den daha büyük) birincil, ikincil ve üçüncül sürünme kısımları görülmektedir. Parçacık takviyeli MMK'ler, dispersoidlerin dislokasyon hareketlerine engel olduğu oksit dispersiyon sertleştirmeli alaşımlar ve çökeltme sertleştirmeli alaşımlardakine (nikel esaslı süper alaşımlar ve Al-Li alaşımları gibi) benzer olarak yüksek gerilme üsteli ve aktivasyon enerjisi gösterirler. Parçacık takviyeli MMK'lerin sürünme davranışları aşağıdaki ampirik formülle tanımlanabilir;

$$\dot{\epsilon}_{\min} = A\tau^n e^{-Q/RT} \quad (\text{Norton Kuralı}) \quad (14)$$

$\dot{\epsilon}_{\min}$: Minimum sürünme hızı (sn^{-1})

A : Yapıya ve sıcaklığa bağlı bir sabit

τ : Uygulanan kayma gerilmesi

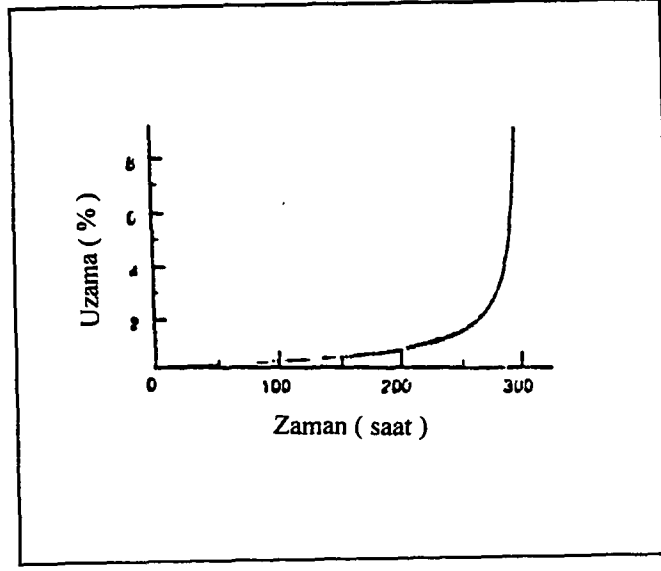
Q : Aktivasyon enerjisi

n : Gerilme üssü

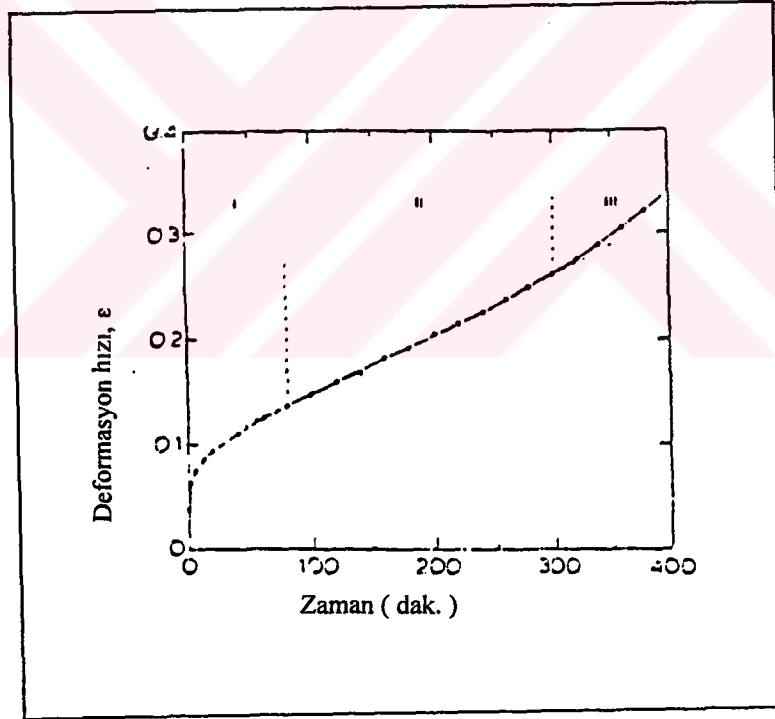
R : Gaz sabiti

T : Mutlak sıcaklık

Örneğin; % 20 2124 Al-SiCp sisteminde $n=9.5$ ve $Q= 400 \text{ kJmol}^{-1}$ dür.



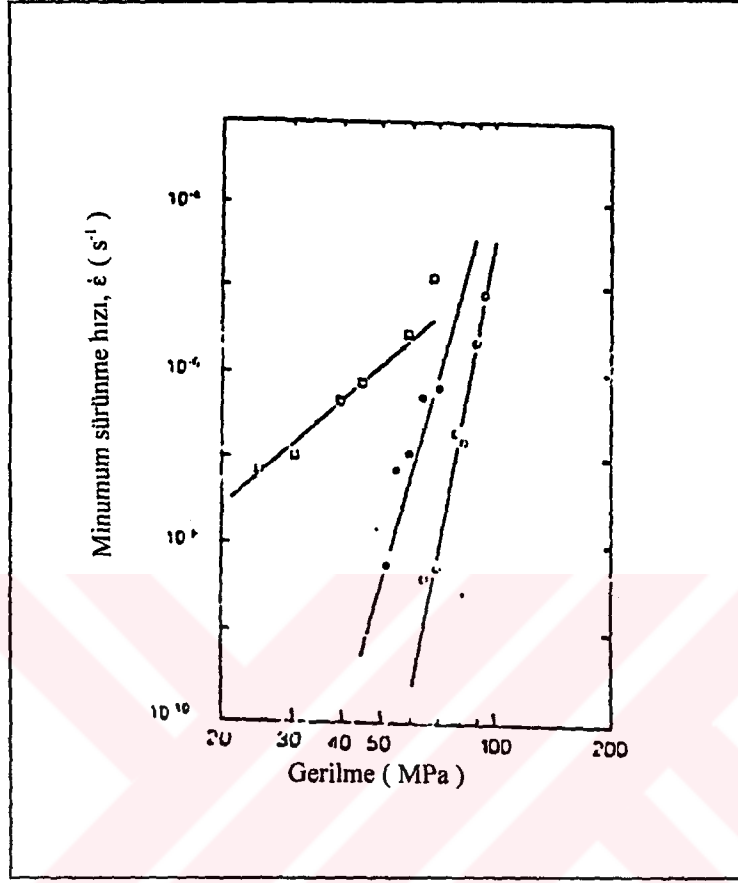
Şekil 29. $T=750^{\circ}\text{C}$, $\sigma= 150 \text{ MPa}$ 'da % 13 SiCp-2014 Al için sürünme eğrisi[7].



Şekil 30 . $T =923^{\circ}\text{C}$, $\sigma = 141 \text{ MPa}$ için % 30 SiCp-6061 Al'un sürünme eğrileri[7].

Ancak, oksit dispersiyon sertleşmeli alaşımlarda parçacık takviyeli MMK'lerin düşük sürünme hızlarında takviyesiz alaşımlarla ilgili alakası büyüktür, fakat yüksek deformasyon hızlarında takviyesiz alaşımlarla ilgili alakası büyüktür, fakat yüksek sürünme hızlarında

($\dot{\epsilon} > 10^{-4} \text{ sn}^{-1}$) bu alaka daha zayıftır. Bunun sebebi ise yüksek sıcaklıklarda dislokasyon hareketine engel teşkil eden çok kaba tanelerin bulunmasıdır.



Şekil 31. Takviyesiz (□), % 20 SiCp takviyeli (●) ve % 25 SiCw takviyeli (○) 6061 Al matris alaşımının bir gerilme fonksiyonu olan minimum sürünme hızları [7].

1.5. Metal Matrisli Kompozitler

Enerji, iletişim, ulaşım, havacılık, uzay gibi sivil ve askeri amaçlı sektörlerde halen çalışılan veya planlanan sistemlerdeki teknolojik gelişmeler, güvenlik ve ekonomik zorunluluklar ile kısmen de olsa çevresel kaygılarla halen elde edilebilen malzemelerin sınırlarının ötesinde özelliklere sahip yeni malzemelere olan ihtiyacı arttıracaktır.

Günümüzde bu alanlarda ortaya çıkan yeni malzemeler karbon-karbon ve metal matrisli kompozitlerdir. Bu malzemelerin yüksek teknoloji gerektiren askeri ve uzay uygulamaları nisbeten düşük hacimli, katma değeri yüksek ve oldukça pahalıdır. Ancak bu

malzemelerin, ulaşım ve enerji sektörlerinde daha büyük hacimde üretim ve düşük maliyet gerektiren otomobil, diğer motorlar ve elektromekanik sistemlerdeki uygulamaları ticari hale gelmiştir. Yakın dönemde önemli gelişmeler beklenmektedir. Sürekli gelişen kompozit üretim süreçleri ve alıştırım tasarımındaki gelişmelerle özellikle süreksiz(parçacık, kısa fiber, whiskers) katkılı metal matris kompozitler yakın gelecekte yüksek performans ve düşük maliyetleri ile önem kazanacaktır.

Bu kompozitler temel üretim teknikleri ile üretilebilmekte ve hem enerji hemde malzeme tasarrufu gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu bağlamda yatak malzemeleri, pistonlar, silindir gömleği ve hatta motor blokları gibi daha basit ve temel uygulamalar ile öncelikli olarak güneş enerjisi pilleri, yarı veya süper iletkenlerin de içinde bulunduğu enerji, barınma ve ulaşım sektöründe metal matrisli kompozitler özel bir yer edinmektedir.

Bu kompozit sistemleri şekillendirilmelerini, tahribatsız muayene metotlarının etkinliğini ve tasarımında en yüksek etkinlik için gerekli olan çeşitli yüklere karşı davranışlarının anlaşmasını engelleyen çok karmaşık bağımlılıklar içermektedir. Bu nedenle metal matris kompozitlerin(MMK) özelliklerinin ve performanslarının öngörülmesi ve tasarımı ile ilgili bilim alanları da önem kazanacaktır.

Ülkemizde belli bir organizasyona dayanmayan bu konuda bireysel çalışmalarla dünyadaki gelişmeler takip edilerek, bilgi birikimi sağlanmaktadır. TÜBİTAK ve çeşitli üniversitelerimizde yapılan birbirinden kopuk deneysel üretim çabaları ise en azından bu konuda süreçlerin uygulanması, bazı kompozit özelliklerinin araştırılması, sorunların tespiti ve çözümü yönünde deneyim kazanılmasını sağlamaktadır.

1.5.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Özellikleri

1.5.1.1. Genel Özellikler

Yapısal olarak MMK' ler tek bileşenli alaşımlarla başarılabilen gerekli özellikleri sağlamak üzere bir metal alaşımlı matris içinde sürekli veya süreksiz(kısa) fiber, whiskers(kılcal kristal) veya partikül şeklinde katkı (takviye) fazı içerir. Bu açıdan, günümüzde elde edilebilen MMK'ler başlıca üç gruptan birinde yer almaktadır.

Tablo 3. Katkı malzemesi olarak en çok kullanılan sürekli fiberlerin mekanik özellikleri[15,16].

Fiber Adı	Fiber Çapı [Mikron]	Rm [Mpa]	E [GPa]	Uzama [%]	Yoğunluk [gr/cm ³]
Al ₂ O ₃ (saffil)	3	2000	300	0.67	3.3
Sumika	17	1775	210	0.8	3.2
Al ₂ O ₃ (sf)	20	1380	379	0.36	3.9
Sürekli SiC(Nicalon)	10-15	2760	200	1.5	2.55
Karbon Esaslı P-55	10	2068	380	0.5	2.25
P-75	10	2068	517	0.42	2.25
P-100	10	2240	690	0.5	-
Bor	100-140	3600	400	-	2.50
E-Camı	3-20	3445	81	4.9	2.62
S-Camı	3-20	4585	89	5.7	2.50

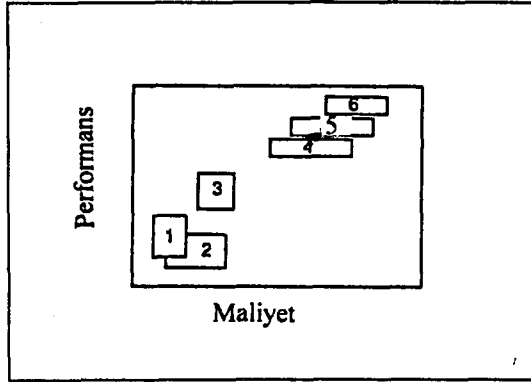
Tablo 4. Süreksiz katkı malzemelerinin kullanılabilirliğini etkileyen bazı özellikler[15,16].

	Elastisite Modülü [GPa]	Poisson Oranı ν	Hacim Modülü [GPa]	Isıl İletim Katsayısı [W/wK]	Isıl Genleşme Katsayısı [10/K]	Yoğunluk [g/cm³]
<i>Matris Alaşımları</i>						
Ti(metal)	100	0.36	–	0.041	8.3	4.51
6061Al(T6)	70.3	0.34	75.2	171	23.4	2.68
2124Al(T6)	72.3	0.34	77.7	152	23.0	2.75
ZK60AlMg	44.8	0.29	35.9	117	26.0	1.83
<i>Katkılar (Takviyeler)</i>						
Karbürler						
SiCw	400	0.20	221	120	3.4	3.21
SiCp	400	0.20	221	120	3.4	3.21
B₄C	448	0.21	255	39	3.5	2.52
Nitrürler						
AlN	345	0.25	228	150	3.3	3.26
Si₃N₄	207	0.27	152	28	1.5	3.18

Tablo 4.(Devam)

Oksitler						
Al_2O_3	379	0.25	255	30	7.0	3.98
SiO_2	73.1	0.17	36.6	1.4	<1	2.66
$LiO_2Al_2O_3$ -8 SiO_2	69.0	0.18	35.9	1.3	<1	2.39
Si	112.4	0.42	235	100	3.0	2.33
Cfiber (P100)(L)	690	-	-	400	-1.5	2.18
Cfiber (P100)(T)	-	-	-	-	30	2.18

Sıvı faz ortamında üretim yöntemleri daha uzun süre gerektiren katı faz üretim yöntemlerinden daha etkindir. Yukarıdaki yöntemlerden difüzyon bağlanması, TM, sıvı metal emdirilmesi, dövme döküm, birlikte çöktürme ve kompozit döküm endüstriyel olarak uygulanma olanağı bulmuştur. Bunların arasında kompozit döküm en ucuz maliyetli üretim yöntemi olurken, difüzyonla bağlama ise en pahalı üretim yöntemi olmaktadır. Şekil 32, logaritmik ölçekte çeşitli kompozit tipleri için kompozit performansı ile maliyet arasındaki ilişkiyi kalitatif olarak göstermektedir[16]. Genelde yüksek kaliteli kompozitler sürekli fiber katkılarla ve difüzyon yoluyla üretilmektedir ve daha pahalıdır. Maliyet performans yayılımının alt ucunda partikül katkılı döküm kompozitler yer almaktadır. Bu iki grub arasında performanslara sıvı metal emdirmeli veya TM teknikleri ile üretilen kompozitler gibi orta maliyetli MMK' ler yer almaktadır.



- 1-Sıvı metal-SKAK
- 2-Alümina fiberli-SKAK
- 3- Toz metalurji-SKAK
- 4- SiC(Whisker))
- 5- Alümina(sürekli)
- 6- SiC(sürekli)

Şekil 32. Çeşitli kompozitlerin maliyet - performans ilişkileri[16].

1.5.1.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Metal matrise sürekli katkıların ilave edilmesi ile elde edilen metal matrisli kompozitlerin özelliklerinin büyük bir kısmı karışımlar kuralına (KK) göre belirlenirken, süreksiz katkılı metal matrisli kompozitlerde bu söz konusu değildir, ancak bu kompozitlerde malzeme özellikleri katkı hacim oranı ile uyumlu değişim göstermektedir. Ayrıca daha öncede belirtildiği gibi metal matrisin cinsi, katkının türü, şekli, boyutu, boyut dağılımı, miktarı, uniform dağılması, kompozitin üretim yöntemi ve işlem parametreleri, mikroyapı içinde oluşan fazlar, matris ile katkının kimyasal uyumluluğu, ek olarak termomekanik ve ısı işleme tabi tutulması gibi bir çok etken metal matrisli kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesinde rol oynar. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde en çok kullanılan matris alaşımlarının, sürekli fiber katkılı MMK'lerin ve süreksiz katkılı MMK'lerin bazı mekanik özellikleri genel bir fikir vermesi bakımından Tablo 5, 6 ve 7' de verilmiştir[16]. Bu tablolardan da anlaşılacağı gibi tüm MMK'lerde elastisite modülü ile akma ve çekme dayanımları katkısız matrise oranla artmaktadır. Bu artış sürekli fiber katkılı MMK'lerde fiber özellikleri, kompozitin özelliklerini belirleyicidir ve metal matris yükün fiberlere iletimi görevini yapar. Süreksiz katkılı MMK'lerde de dispersiyonla sertleşmiş gibi bir yapıya sahip matris, kompozitin özelliklerinde önemli oranda belirleyicidir. Tablo 7' de aynı zamanda yukarıda değinilen etkenlerden matris alaşımı, katkı cinsi ve hacim oranı ile ısı işleminin MMK'in mekanik özelliklerine etkisi görülmektedir. Metal matris kompozitler;

yüksek elastisite modülü, yüksek akma ve çekme dayanımları gibi mekanik özellikleri yüksek sıcaklık şartlarında da korunurken, nisbeten düşük yoğunluk ve ısı genleşme katsayısı(IGK), yüksek elektrik ve ısı iletimi gibi istenilen şekilde ayarlanabilen fiziksel özelliklerin yanında mükemmel sürtünme davranışı ve aşınma direnci gibi tribolojik özellikleri ile sönümleme yeteneği ve çevresel etkilere direnç gibi özelliklere sahiptir.

Tablo 5. MMK'lerde en yaygın olarak kullanılan matris alaşımlarının mekanik özellikleri [16].

Matris Alaşımı	R_{p0,2} [MPa]	R_m [MPa]	ε [%]	E [GPa]
6061(T6)	275	310	20	69
2014(T6)	476	524	13	73
2124(T6)	325	470	12	72
2618(T6)	370	470	9	74
7075(T6)	505	570	10	72
8090(T6)	415	485	7	80
A356(T6)	205	280	6	76
A380(F)	160	320	3.5	72
AZ61	157	198	3	38
AZ91	168	311	21	49
Ti-6Al-4V	957	988	15	110

T6; Suni yaşlandırma uygulanmış, F; İmal edildiği durumda

Tablo 6. Sürekli fiber katkılı bazı MMK'lerin mekanik özellikleri [16].

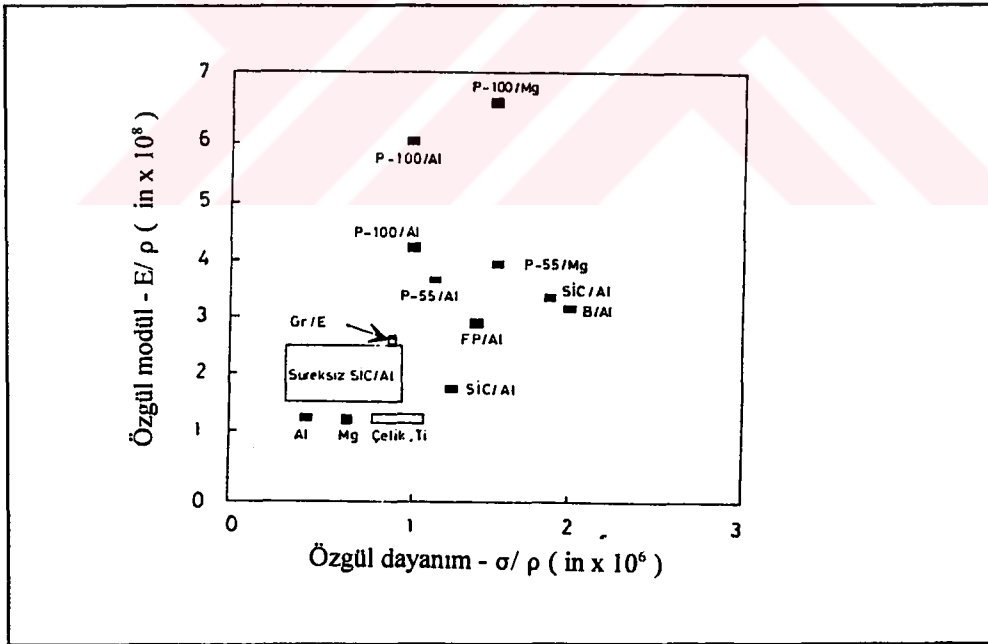
Kompozit	K[%]	R _m [MPa]	ε[%]	E[GPa]
Ti-6Al-54V/SiC	35	1690	0.96	186
6061/SiC	47	1462	0.89	204
Mg/SiC	37	1379	0.95	181
2024(F)Bor	45	1288	0.78	202
2024(T6)Bor	46	1459	0.81	221
6061(T6)Bor	51	1417	0.74	232

Metal matrisli kompozitlerin yüksek sıcaklık mukavemeti SiC fiber veya whiskerleri ile veya sürekli Bor SiC (SiC ile kaplı Bor) veya tungsten(w) fiberleri ile sağlanmaktadır. Karbon/Al- alaşımı gibi MMK'lerde yüksek rijitlik(dirençlilik) ile karbon fiberleri boyunca neredeyse sıfır olan ısı genleşme katsayısı nedeni ile çok düşük ısı genleşme göstermektedir.

Partikül katkılı MMK'lerde mekanik özellikler önemli oranda değişmez, fakat elastisite modülü ve tribolojik özellikleri dikkate değer gelişme gösterir. SiC, Al₂O₃, WC, TiC, Zr, SiO₂ ve B₄C gibi sert taneler örneğin Al alaşımlı matrisin aşınma direncini artırırken, grafit ve mika gibi katı ve nispeten yumuşak yağlayıcı partiküllerde sıvanma(sarma) özelliklerini iyileştirir. Tane şeklindeki katkılar aynı zamanda matris alaşımının iletkenliğinde ve sönümlenme kabiliyetinde yükselme sağlar. Katkı olarak kullanılan malzemelerin yoğunlukları genelde matris alaşımına yakındır. Bu nedenle MMK'in yoğunluğunu pek değiştirmemektedir. Bu ise MMK'lerin özgül özelliklerinin, katkı içermeyen karşılıklarına oranla çok üstün olması sonucunu vermektedir (Tablo 7).

Tablo 7. Seçilmiş bazı malzemelerin özgül özellikleri[16].

Malzeme	Özgül Modül (E/ρ) [$\times 10^7$ mm]	Özgül Yorulma Dayanımı (σ_y/ρ) [$\times 10^6$ mm]
2080/SiC/15p	3.5	7.6
6061/ Al_2O_3 /20p	3.5	3.8
6061	2.6	4.0
1040 çeliği	2.6	3.0
Ti-6Al-4V	2.5	7.0
Temper Dökme Demir	2.2	3.0



Şekil 33. Çeşitli katkıları içeren Al ve Mg bazlı kompozitlerin özgül özelliklerinin karşılaştırılması[17].

MMK'lerin önemli bir sakıncası da çok düşük süneklığe sahip olmalarıdır. Herhangi bir katkı ve sünekliliği yüksek bir matrisle oluşturulan MMK'in sünekliliği önemli oranda düşüktür. Bu ise MMK'lere ekstrüzyon, dövme ve haddeleme gibi yaygın yöntemlerle termomekanik işlemlerin uygulanmasını zorlaştırır. Son şekilli MMK parçaların üretiminde bu nedenle bazı güçlüklerle karşılaşılır ve bu gibi durumlarda talaşlı işlemlerle imalat zorunlu olur.

Tablo 8. Süreksiz katkıli çeşitli Al-alaşımı veya Mg-alaşımı bazı MMK'lerin mekanik özellikleri[16].

Kompozit	R _{po,2} [MPa]	R _m [MPa]	ε [%]	E [GPa]	Üretici Firma
Al-Mg-Si Alaşımaları					
6061/Al ₂ O ₃ /10p(T6)	296	338	7.5	81	Duralcan, Alcan
6061/Al ₂ O ₃ /15p(T6)	317	359	5.4	87	Duralcan, Alcan
6061/Al ₂ O ₃ /20p(T6)	359	379	2.1	98	Duralcan, Alcan
6061/Al ₂ O ₃ /20p(T6)	305	330	3.4	85	Comral85, Comalco
6061/SiC/15p(T6)	342	364	3.2	91	Cospray, Alcan
6061/SiC/15p(T4)	405	460	7.0	98	DWA
6061/SiC/20p/(T4)	420	500	5.0	105	DWA
6061/SiC/25P(T4)	430	515	4.0	115	DWA

Tablo 8.(Devam)

Kompozit	R_{po,2} [MPa]	R_m [MPa]	ε [%]	E [GPa]	Üretici Firma
Al-Cu Alaşımları					
2009/SiC/15W(T8)	484	633	6.4	105	Adv. Comp.
2014/Al ₂ O ₃ /10p(T6)	483	517	3.3	84	Duralcan, Alcan
2014/Al ₂ O ₃ /15p(T6)	476	503	2.3	92	Duralcan, Alcan
2014/Al ₂ O ₃ /20p(T6)	483	503	1.0	101	Duralcan, Alcan
2014/SiC/15p(T6)	466	493	2.0	100	Cospray, Alcan
2618/SiC/12P(T6)	460	532	3.0	98	Cospray, Alcan
2124/SiC/17.8P(T4)	400	610	5-7	100	BP
2124/SiC/20w(T6)	497	856	2.4	127	-
2124/SiC/25p(T4)	490	630	2-4	114	BP
2124/SiC/20p(T4)	405	560	7.0	105	DWA
Al-Zn-Mg Alaşımları					
7075/SiC/15p(T651)	556	601	3.0	95	Cospray, Alcan
7049/SiC/15p(T6)	598	643	2.0	90	Cospray, Alcan
7090/SiC/20p(T6)	665	735	2.0	105	DWA

Tablo 8.(Devam)

Kompozit	R _{po,2} [MPa]	R _m [MPa]	ε [%]	E [GPa]	Üretici Firma
Al-Li Alaşımları					
8090/SiC/13p(T4)	455	520	4.0	101	Cospray, Alcan
8090/SiC/13p(T6)	499	547	3.0	101	Cospray, Alcan
8090/SiC/17p(T4)	310	460	4-7	103	BP
8090/SiC/13p(T6)	450	540	3-4	103	BP
Al-Cu Alaşımları					
201/TiC/20p(T7)	420	-	2.0	105	XDTM, MartinMariet.
Al-Si Alaşımları					
356/SiC/10p(T61)	287	308	0.6	82	Duralcan, Alcan
356/SiC/15p(T61)	329	336	0.3	91	Duralcan, Alcan
356/SiC/20p(T61)	336	357	0.4	98	Duralcan, Alcan
380/SiC/10p(F)	245	332	1.0	95	Duralcan, Alcan
380/SiC/20p(F)	308	356	0.4	114	Duralcan, Alcan

Tablo 8.(Devam)

Kompozit	R _{po,2} [MPa]	R _m [MPa]	ε [%]	E [GPa]	Üretici Firma
Mg-Al-Zn Alaşımları					
ZK60A/SiC/20w(T5)	517	613	2.2	97	-
AZ91/SiC/9.4p	191	236	2.0	47.5	Dow
AZ91/SiC/15.1p	208	236	1.0	54	Dow
AZ91/SiC/20p	260	328	2.5	80	Dow

T4; Doğal yaşlandırılmış, T5; sıcak işlemden sonra suni yaşlandırılmış, T7; çözündürme işleminden sonra aşırı yaşlandırma ile stabilize edilmiş, T8; çözüldürmeden sonra soğuk işlenmiş ve suni yaşlandırılmış

1.5.1.3. Metal Matrisli Kompozitlerin Uygulama Alanları

Seksenli yılların başında belli sektörlerdeki gelişmeler ve özellikle gelişmiş motorlar ile havacılık ve uzay araçları ve yapılar için yüksek sıcaklık malzemelerine olan ihtiyaç ve uzay alıcıları gibi yüksek duyarlılık, değişken sıcaklıklarda boyutsal kararlılığa sahip malzemelere olan gereksinim sürekli fiber katkılı MMK'lere olan ilgiyi arttırmaktadır. MMK'ler bu teknolojik gelişmeleri mümkün kılan, tasarlandığı gibi düzenlenebilen özgün özelliklere sahiptir. MMK'lerin halen çok pahalı olmasına karşın, homojen metaller veya resin matrisli kompozitlerle karşılanamayan yüksek teknolojiye dayalı gereksinimler bu malzemelerle karşılanabilecektir. Halen dikkate değer birkaç MMK sistemi olduğundan ve öngörülen gereksinimleri karşılayacak gelişmeler nedeniyle MMK'lerin geleceğine umutla bakılmaktadır. Örneğin, ABD' de çoğu araştırma bazında ve askeri amaçlı olmak üzere 1988'de 20×10^6 dolar olan MMK pazarının 2000 yılına kadar yıllık ortalama % 20' lik bir artış göstereceği umulmaktadır. Bu yönde 1989 yılında yapılan bir projeksiyon çalışmasında MMK tiplerine göre ticari ve askeri amaçlı pazar paylarının dağılımı Tablo 9.'da görülmektedir[28]. ABD pazarında en büyük payı alüminyum bazlı MMK'ler almaktadır. Ancak, "National Aerospace Plane" programının devam etmesi halinde özellikle karbon veya

titanyum borid katkılı titanyum aluminidler gibi intermetalik MMK'ler 2000 yılına kadar alüminyum matrisli kompozitlerin pazar payına yaklaşacaktır. Bu dönemde üretilecek MMK'lerin çoğu askeri alanda kullanılacak ve ticari pazarın dört katı kadar olacaktır. Başka bir rapora göre de 1988'de 37×10^6 dolar olan dünya MMK pazarının 1998'de 450×10^6 dolar olacağı öngörülmektedir. Ayrıca MMK kullanan otomobil üreticileri de 1998'de 100×10^6 dolarlık bir kullanımın olacağını öngörmektedir.

Tablo 9. Metal matris kompozitlerin ABD'deki pazar payları (Milyon ABD Doları), 1988-2000 dönemi yıllık ortalama artış hızı (YOAH), National aerospace programı (NASP) [17].

MMK	Yıllar			YOAH[%]
	1988	1993	2000	
Alüminyum	12.0	27.4	61.4	14.6
Mağnezyum	2.0	7.0	14.2	17.7
Titanyum	1.0	2.0	10.0	21.1
Bakır	1.4	4.3	20.1	24.9
Intermetalik				
NASP3(dahil)	1.6	5.5	3.7	28.9
NASP(hariç)	1.6	5.5	16.3	21.3
In Situ	1.6	5.1	18.2	22.5
Diğer	0.4	2.6	5.0	23.4
Ticari	3.1	11.9	34.3	22.2
Savunma				
NASP(dahil)	16.9	42.0	128.3	18.4
NASP(hariç)	16.9	42.0	110.9	17.0
Tümü				
NASP(dahil)	20.0	53.9	162.6	19.1
NASP(hariç)	20.0	53.9	145.2	18.0

1.5.1.4. Süreksiz Katkılı Metal Matris Kompozitlerin Uygulama Alanları

1.5.1.4.1. Yapı Amaçlı Uygulamaları

Yaygın olarak kullanılan yapısal amaçlı metaller ve alaşımlarla karşılaştırıldığında MMK'ler çok daha yüksek özgül rijitlik ve özgül mukavemet değerleri göstermektedir. Bu nedenle yapısal amaçlı MMK'ler, ağırlık bakımından kritik uygulamalar için hem başlangıçta hem de işletme ömrü boyunca olan maliyetlerin düşürülmesi fırsatını vermektedir. Yapı amaçlı MMK'lerin gelişimindeki öncelikli sorun 0.6 cm kalınlığındaki levhalarda uzama ve kırılma tokluğunu sırasıyla %1.9 ve $11\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ değerlerinden %5 ve $44\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ değerlerine gelişmektedir. Elastisite modülü için 108GPa ve akma dayanımı için 552MPa değerleri korunurken hedeflenen süneklilik ve tokluk değerleri sağlanmaya çalışılmıştır[16]. Bu hedefler, çatlak başlangıç bölgeleri olarak davranan büyük sekonder metallerarası bileşkin ve inklüzyonların oluşumunu engelleyen üretim tekniklerinin ve daha iyi matris alaşımlarının geliştirilmesi ile başarılmıştır[16,17]. Amerikan Hava Kuvvetleri Uçuş Dinamiği Laboratuvarı, Lockheed Aeronatical Co., Georgia, Kaiser Aluminum and Chemical Systems Co., RMICo., ve Wyman-Gordon Co. gibi kuruluş şirketlerin araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda ACM şirketi, uçaklara uygun kalitede MMK levhaların ticari boyutta üretiminin ekonomik olduğunu göstermiştir. Hacimce %15 SiCw katkı 2xx alüminyum alaşımından 165cm genişliğinde, 630cm uzunluğunda ve 0.2cm kalınlığında levhalar üretilmiştir. Bu levhalar gelişmiş savaş uçaklarının gövde, kanat ve kuyruklarında kullanılabilir.

Askeri amaçlı yapı, örneğin güdümlü füze, uygulamalarında; parçalarda hafiflik, boyut kararlılığı ve gövdedeki parçaların birbirine tutturulmasında IGK'nin uyumluluğu gerekli olduğu için malzeme seçimi çok önemlidir. Cihaz yapımı için kullanılacak MMK'ler, örneğin atalet yönlendirme (Inertial guidance) sistemleri gibi hassas parçalar ve cihazlar için gerekli olan fiziksel ve mikromekanik özelliklerin mükemmel bir bileşimine sahip olmalıdır. Boyutça kararlı yapı elemanlarının en önemli tasarım parametresi olan mikroakma dayanımı (10^{-6}m/m kalıcı şekil değişimi için gerekli gerilme) çok olmalı, basmada mikro-sürünme dirençli ve izotropik olmalıdır. Bu tip yapı amaçlı kompozitler toz metalurji (TM) süreçleri ile üretilen Alüminyum alaşımlı matriste homojen dağıtılmış ince, ortalama çapı $3.5\mu\text{m}$ SiCp içerir. Mikroyapı içinde

homojen dağıtılmış katkı partikülleri, tane sınırı hareketlerini engelleyerek tane büyümesini sınırlar. Bu partiküller matris alaşımının yapısındaki ince tane dağılımının yüksek sıcaklıklarda bile korunmasına yardım eden ve çözünmeyen ikinci faz dağılımları gibi davranır. Bunlar aynı zamanda dislokasyon yığılmasına neden olarak etkin bir şekilde sürünme direncini artırır. Malzemenin izotropik olması da önemli bir özelliktir. İnce taneli (1µm çaplı) Al-alaşımaları yeteri kadar homojendir. Anizotropi genel olarak kristalografik yapı ile ilgilidir. Mg, Ti ve Be gibi sıkı düzenli hegzagonal metallerde gözlenirken, yüzey merkezli kübik Al'da karşılaşmaz. Hacimce %30 ve 3.5µm ortalama boyutlu SiCp 2124-T6 kompoziti (2124/SiC/3p), yalnızca berilyum I-220 alaşımından değil aynı zamanda daha iri (ortalama çapı 5µm) SiCp içeren kompozitten de üstün mikro sürünme direncine sahiptir. Ayrıca, bu kompozitin mikro akma dayanımı 5µm SiCp katkılı olanından %30 ve berilyumkinden üç kat daha fazladır.

Tablo 10. Süreksiz Katkılı MMK Uygulamaları[18].

Kompozit	Parça	Sağladığı Üstünlük	Üretici
Al-SiC(p)	Piston	Düşük ağırlık, yüksek dayanım ve aşınma direnci	Duralcan, Martin Marietta, Lanxide
	Fren diski, çap mastarı, silindir gömleği, pervane mili	Düşük ağırlık, yüksek aşınma direnci, ağırlık azaltılması ve yüksek özgül rijitlik	Duralcan, Lanxide, GKN
Al-SiC(w)	Bağlantı milleri, hareket iletim milleri	Gidip- gelen kütle hafifliği, yüksek özgül dayanım ve rijitlik, düşük IGK	Nissan
Mg-SiC(p)	Dişliçark, makara ve zırh	Düşük ağırlık, yüksek dayanım ve rijitlik	Dow Chemical

Tablo 10.(Devam)

Al- Al ₂ O ₃ (ke)	Piston segmanı Piston yanma yüzeyi	Aşınma direnci, yüksek çalışma sıcaklığı Gidip- gelen kütle hafifliği, yüksek sürünme ve yorulma direnci	Toyato T and N, JPL, Mahle
Al- Al ₂ O ₃ (se)	Biyel kolu	Gidip -gelen kütle hafifliği, yüksek dayanım	Dupont, Chrysler
Cu-grafit	Elektrik kontaktörleri, entegre vehibrid devre yapımı, yataklar	Düşük sürtünme ve aşınma, düşük IGK	HitachiLTD.
Al-grafit	Silindir gömleği, piston, yatak malzemesi	Düşük sürtünme, aşınma ve ağırlık	Associated Eng., CSIR, IISc.
Al-TiC(p)	Piston, biyel kolu	Düşük ağırlık ve aşınma	Martin Marietta
Al- Al ₂ O ₃ (e)- C(e)	Motor bloğu	Düşük ağırlık, geliştirilmiş dayanım ve aşınma direnci	Honda
Al-Al ₂ O ₃ - SiO ₂ -C	Silindir gömleği	Yüksek aşınmadirenci, düşük genleşme katsayısı, artan ömür, boyut küçültme	Honda

1.5.1.4.2. Otomotiv Uygulamaları

Metal matrisli kompozitler otomotiv endüstrisinde önemli bir konuma sahiptir. Yüksek özgül modülleri ve yorulma dayanımları, aşınma dirençleri ve ayarlanabilir ısı genleşme özelliklerinden bir kaçıdır. MMK'ler açısından bir başka önemli husus bilindiği gibi araç ağırlığındaki % 10'luk azalmanın beraberinde yakıt tüketiminde % 5.5'lik bir iyileşmeyi getirmesidir. Bu özellikler 2000'li yılların otomobilinde MMK'lerin yerini sağlamlaştırmaktadır. Süreksiz fiber, whisker veya partikül katkı MMK'lerin kullanım alanlarından örnekler, üretici firma, sağladığı yararlar ve kompozit bileşenleri Tablo10'da verilmiştir.

Tablo10'dan anlaşılacağı gibi otomotiv endüstrisinde sürekli veya süreksiz fiber, whisker veya partikül katkı MMK'lerde yaygın olara uygun özellikleri nedeniyle alüminyum kompoziti-SKA(Discontinuous Reinforced Aluminium) şeklinde tanımlanmaktadır. Yolcu ve yük taşıtlarında SKAK'lar öncelikle hafiflikleri ve kolayca balanslanmaları sebebiyle şaft olarak kullanım alanı bulmaktadır. Kritik şaft hızı(N_c);

$N_c = (15N/L^2) \cdot [(E/\rho) \cdot g \cdot (R_o + R_i)^2]^{1/2}$ olarak ifade edilir ve burada; L şaft uzunluğu, R_o ve R_i dış ve iç çapları, E elastisite modülü, ρ yoğunluk ve g yerçekimi ivmesidir. Buradan da anlaşılacağı gibi özgül modül (E/ρ) kritik hızı etkileyen tek malzeme özelliğidir. Kritik hızı kontrol eden geometrik değişkenler şaft uzunluğu ve çapıdır. Özgün modellerinin hem çelikten hem de alüminyumdan önemli miktarda yüksek olabilmesi nedeniyle SKAK'lardan daha uzun şaft üretmek mümkündür. Korozyon direnci, dayanım ve süneklik gibi bir takım unsurlar matris seçimi için ihtimalleri kısıtlamaktadır. Bu uygulama için 6XXX serisi Al alaşımları dikkate alınmaktadır. Örnek; 6161/Al₂O₃/20p kompoziti[16].

Otomotiv endüstrisinde SKAK'ların diğer bir yaygın kullanım alanı fren diskleri olup, öncelikli yararı % 50-60'lık ağırlık azalmasıdır. Dökme demirden bir fren diski 5.4 kg iken, SKAK olanı yalnızca 2.5 kg 'dır. Dolayısıyla 2.9 kg'lık kütle azalmasıyla birlikte atalet kuvvetlerinde azalmasıyla ek olarak % 50'lik etkin kütle azalmasına sebep olur ve yakıt verimliliğini artırır. Ayrıca ivmelenme artışı ve fren mesafesinin azalmasının yanında dökme demirden yapılmış olanlara oranla fren gürültüsü azalırken, daha homojen sürtünmeye sahiptir ve daha az aşınmaktadır. Fren diskinin ulaştığı sıcaklık önemli bir tasarım parametresidir. En çok karşılaşılan sıcaklıklar 300 °C ve altındaki sıcaklıklar iken 450 °C

gibi yüksek sıcaklıklara da rastlanılmaktadır. Bu sıcaklıklarda önemli miktarlarda termal yaşlanma, gerilme gevşemesi ve belki de ısı kaynaklı süper plastisite oluşabilir. Dökme demirlerle maliyet yönünden yarışabilmesi için A356 alaşımının matris olarak kullanıldığı SKAK fren diskleri sıvı faz üretim yöntemleri ile üretilebilir. Toplam araç ağırlığını azaltmak üzere tüm büyük otomobil üreticileri, dökme demir motor bloklarının yerine alüminyum motor bloğu teknolojilerini ya uygulamaya koymuşlardır ya da geliştirilmektedir. Ağırlık kazancı 15 ile 35 kg kadardır. A319 veya A356 gibi orta Si seviyeli Al-alaşımını bu bloklar için kullanılmaktadır. Ancak bu alaşımların aşınma davranışları zayıftır ve silindir bölgesindeki aşırı şartlara dayanamaz. Bu nedenle şirketlerin bir çoğu, en azından geçici olarak dökme demir silindir gömleklerinin kullanımı yoluna gitmişlerdir. SKAK silindir gömleklere ve ileri kompozit kaplamaları ek olarak 3-4.5 kg'lık ağırlık kazancı sağlar. Dahası bu düşük ağırlıklı seçenekler boyutsal kararlılık ve blok rijitliğini geliştirerek motordaki sürtünmeyi azaltıp ısı iletimini geliştirerek motorun verimini artırır. Silindir bölgesi 200°C'ye kadar aşırı sıcaklık ve yanma yüklenmelerine maruz kaldığından aşınma ve çizilme direnci, yorulma ve sürünme gibi özellikler de önemli olmaktadır. Çeşitli testler dökme demirlerle karşılaştırıldığında, %10-20 hacim oranında Al₂O₃ veya SiC katkılı SKAK silindir gömleklerinin kabul edilebilir özelliklere sahip olduğunu göstermektedir [17,18].

Hemen tüm büyük otomobil üreticileri biyel kolu için, hızlı katılaştırılmış Al-alaşımını, TM veya dövme titanyum ve MMK'ler gibi alternatif malzemelerin kullanımını dikkate almaktadır. Biyel kolu için öncelikli tasarım özelliği 150-180°C'de yüksek ömürlü yorulma dayanımıdır. Bu uygulama için uygun bir SKAK, TM süreçleri ile üretilmiş 2080/SiC/15p kompozitidir. Bu kompozit, belirtilen sıcaklıklarda yaklaşık 170 MPa'lık yorulma dayanımına sahiptir ve çelikler düşük olmasına rağmen bir çok uygulama için elverişli parçaların üretilebileceği sanılmaktadır [16].

Sürtünme karşıtı uygulamalarda kullanılan MMK'lerden biri de halen bu amaçla Hindistan, ABD, Avrupa ve Japonya'da üretilmekte olan döküm alüminyum-grafit(p) kompozitleridir. Pistonlar, silindir gömleği ve yataklarında döküm Al-Gr(p) kompozitinden yapılabileceği öteden beri bilinmektedir. Al-Gr(p) kompoziti piston ve silindir gömleklerinin içten yanmalı motorlarda kullanımının önemli miktarda yakıt kazancı sağlarken aynı zamanda bu parçalarda aşınmanın da azaldığı gösterilmiştir. Döküm Al-Gr(p) kompozitinden imal edilmiş fan yataklarının 1400d/dk. hızda 1500saatlik deneme sırasında sıcaklık yükselmesi

ve aşınma da önemli oranda azalmıştır. Al-Gr(p) kompozitleri çok pahalı ve ağır olan bronz ve babbitt metallerinden yapılmış yataklarla yer değiştirebilir. Günümüz yatak malzemesinden çoğu bakır veya kalay alaşımlı matris içinde kurşun gibi zehirleyici etkisi olan metaller içermektedir. Katı yağlayıcı olarak grafitin kullanıldığı MMK'lerin yatak malzemesi olarak kullanımı zehirleyici etki, ağırlık ve maliyet gibi kurşun kullanımından kaynaklanan sorunları ortadan kaldırır. Ayrıca Al ve Cu alaşımlarının sönümlenme kapasitesi içlerine grafit katıldığında önemli oranda artmaktadır. Japon Hitachi Ltd. tarafından yüksek sıcaklıklarda dökme demir de dahil olmak üzere titreşim sönümleyen alaşımlardan dikkate değer şekilde daha kararlı sönümlenme yeteneği olan Gradia adı altında grafit/Al veya Cu MMK'ler üretilmektedir[17].

1.5.1.4.3. Elektronik ve Optik Uygulamalar

Çok fonksiyonlu mikrodalga devre sistemlerinin(microwave integrated multifunction assemblies -MIMAS) tasarımı ve verimliliği, entegre ve hibrid devre yapımı için seçilen malzemenin fiziksel özelliklerinden kuvvetle etkilenir. Bu malzemelerdeki gelişmelere paralel olarak mikrodalga devresinin performansı gelişir. MIMA'larda kullanılan kart malzemesi, ısı yayan parçalardan ısının etkili bir şekilde uzaklaştırılması için çok iyi ısı iletimi göstermelidir. Aynı zamanda yüksek bükme ve kesme mukavemeti düşük kesitli elemanlar için gereklidir. Son olarak, aşırı sıcaklıklarda çalışma güvenilirliği için kart malzemesinin IGK'sı Al_2O_3 , Si ve GaAs gibi mikrodalga devre elemanlarının üretiminde kullanılan malzemelerinkine yakın olmalıdır. Isıl çevrim sırasında devre kartı ile parçaların bağlantı noktalarında IGK uyuşmaması nedeniyle parçalarda çatlak ve yorulma hasarı oluşur, bu sebeple IGK önemli bir parametredir[17].

Bu şartları etkin bir şekilde karşılayan geleneksel bir çok metal hafifliğin şart olduğu havacılık elektroniği uygulamalarında yüksek yoğunlukları nedeniyle kullanışsızdır. Genelde hafiflik, kontrollü IGK, iyi ısı iletimi ve korozyon direnci gibi gereksinimleri karşılayan malzemeler sızdırmaz gövde, ısı borularında ve elektronik eleman soğutucularında kullanım alanı bulacaktır. Hacimce %40 ile 59 arasında SiCp katkı Alüminyum alaşım matrisli metal matrisli kompozitleri bu amaçla geliştirilmiştir. Elektronik amaçlı kompozitlerinin IGK'sı, 6061 Alüminyum alaşımının IGK'sının yarısından daha az iken, standart devre elemanlarınkine yaklaşım göstermektedir.

MMK'lerin yoğunluğu Kovar'ının (düşük genleşmeli Fe-Ni alaşımları-ASTMF15) üçte biri iken ısı iletkenliği ise Kovar'ının on katına kadar yükselmektedir. Diğer taraftan Al-alaşımı matrisli, %55 hacim oranında SiC ve Si katkıları içeren TM süreçleri ile üretilmiş kompozitlerde hedeflenen sınırın altında yaklaşık olarak $8.5 \times 10^{-6}/K$ 'lik IGK değeri bulunmuştur. Üç bileşenli Al/SiC/Si kompozitleri gibi gerekli özelliklere sahip MMK'ler, askeri uçaklar ile uzay araçlarının artarak karmaşıklaşan elektronik sistemlerinde yeni malzemelere olan istemi karşılamaktadır. Bu kompozitlerden yapılan prototip soğutucular, ısı boruları ve mikro devre gövdeleri uzay sanayindeki birkaç büyük imalatçı tarafından değerlendirilmektedir[17].

Elektronik uygulamaları için MMK'lerin geliştirilmesinde sorun düşük yoğunluklu ve IGK'lı olduğu kadar yüksek ısı iletimli ve yüksek elastisite modülü kompozitlerin üretiminde uygun matris/katkı kombinasyonunu bulmaktır. MMK'lerin bileşenlerinden elektronik uygulamalar için aranan özelliklerin bir kısmı Tablo 4' de görülmektedir. Bu özellikleri taşıyan 6061 veya 2124 ve ZK60A gibi Al ve Mg alaşımları matris olarak kullanılmaktadır. Yine, düşük yoğunluk ve yüksek ısı iletimi korunurken kompozitin IGK'sını düşürecek şekilde özelliklerin özgün bileşimine sahip ve matris malzemesi ile uyumlu katkıları kullanılmaktadır. Elektronik devre gövdesi olarak MMK'lerdeki katkı malzemeleri bu açıdan ele alındığında;

-Karbürler; çok yüksek sertlik ve hacim modülü ile düşük IGK'ya sahip olup, Al ve Mg bazlı MMK'lerde en yaygın şekilde SiC katkıları kullanılmaktadır.

-Nitrürler; silisyum nitrürleri(Si_3N_4) alüminyum nitrürleri (AlN) düşük IGK'lı göreceli düşük yoğunluklu bileşiklerdir. Yüksek safılıktaki AlN yüksek ısı iletimine sahiptir, fakat sulu çözeltilerden etkilenmektedir. Si_3N_4 'de ergimiş alüminyum ile etkileşir ve bir kaplama ile korunmatıkça sıvı faz üretim metodları ile kompozit üretimine elverişsizdir.

-Oksitler; sıfıra yakın IGK'ya sahip oksitler aynı zamanda düşük hacim modülü ve ısı iletimine sahiptir. Silisyumca zengin oksitler ergimiş alüminyumla reaksiyona girerler.

Silisyum katkılı Al bazlı MMK'ler ticari olarak CMSH A-40 ismi altında, düşük IGK'lı malzemeler olarak elektronik uygulamalar için Sumimoto Electric Co. tarafından üretilmektedir. %30 hacim oranında çeşitli katkı fazları içeren 6061 alaşımlı kompozitlerin IGK değerleri karşılaştırıldığında; SiC veya B_4C katkılı kompozitlerin en düşük, AlN veya Si katkılı olanların %15-10 daha yüksek iken, düşük IGK'lı oksitler katkılı kompozitlerin

önemli oranda yüksek IGK'ya sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, matematiksel modellerle öngörüldüğü gibi katkı fazının yüksek hacim modülünün önemini açıkça ortaya koymaktadır. Oksitlerin çoğu diğerlerinden çok daha düşük hacim modülüne sahiptir.(Tablo 4.) Matristeki şekil değişiminin sınırlanmasında daha az etkindir, sonuçta kompozitin IGK'sı yüksek olmaktadır. Ayrıca kompozitin yüksek hacim modülü, baskı devreli kartların genişemesinin kontrolunda özel olarak tasarlanan elektronik eleman soğutucuları ve gövde uygulamalarında boyut kararlılığı için gereklidir[17].

DWA Composite Specialties'de elektronik uygulamalar için çeşitli tipte MMK'ler geliştirilmektedir. Bunlar artan maliyet sırasına göre: SiCp katkılı alüminyum, DWAL20; kısa fiber katkılı alüminyum; ve yüksek modüllü zift esaslı karbon fiberleri katkılı alüminyum veya magnezyumdur. Bu son kompozitler, hem baskılı devre kartlarında hem de alumina chip gibi seramik parçalara uyaçak şekilde ayarlanabilir. IGK'ları nedeniyle üstün özelliklere sahiptir. Uygulama gerektirmediği halde daha düşük maliyetli; %25, 40 veya 50 hacim oranında SiCp katkılı Al bazlı kompozitlerin 110-152 GPa 'lık elastisite modülü çelik, berilyum ve titanyumunkine eşdeğer ısı iletkenliği ve iyi aşınma direnci gibi titanyuma eşdeğer özgül mukavemet gösterir. Orta fiyatlı kısa fiber grafit katkılı MMK'lerin elastisite modülü 69 GPa olup, titanyumun yarısı yoğunluğa sahiptir. %45 hacim oranında kısa karbon fiberli 6061 Al kompozitin IGK'sı da titanyumunkine yakındır. Elektronik uygulamaların yanında MMK'ler optik sistemlerde de uygulama olanağı bulmaktadır. Kızılötesi dedektör sistemlerindeki gelişmeler, parlaklık ve geometrik hassasiyet gerektiren yüzeylere sahip yüksek performanslı aynalara bağlıdır. Üretim kolaylığı ve göreceli maliyet/performans avantaj optik amaçlı MMK'leri taktik tankları kızılötesi aynaları, ultra hafif(ULW) uzay teleskopları gibi aşırı termal çevrim -mekanik şok şartları altında işlenebilecek optik cihaz uygulamaları için en uygun seçenek haline getirmektedir. Ayrıca düşük IGK'ları ile birlikte MMK'lerin mükemmel ısı iletmeleri, geniş bir sıcaklık aralığında yansıtma yüzeylerinin boyutsal kararlılığı ve düzgünlüğünün korunmasına yardım eder[16].

Dod tarafından desteklene Arizona Üniversitesi, Optik Bilimler Merkezi'ndeki ULW-uzay teleskobu programının temel amacı en düşük maliyetle gerekli optik duyarlılığı ve yüksek performansı sağlayan en hafif fonksiyonel şekli belirlemektir. Yüksek katılık ve mikro- sürünme direncinin optimum bileşimi ile birlikte en azından nikel levha kaplı yansıtıcı yüzeylerinin IGK'sına sahip MMK ayna malzemesi yaklaşık olarak hacimce %30 SiCkatkısı

ile elde edilmiştir. İyi boyut kararlılığı, ayarlanabilir. IGK ve ağırlık avantajı ile hacimce %40 SiC katkılı hassas cihaz yapımına uygun 6061-T6 alaşımlı MMK'lerden kızılötesi görüntü tarama kılavuz sistemlerinin parçalarının yapımında kullanılması, AISI 416 paslanmaz çelik parçalara göre %62'lik ağırlık tasarrufu sağlanmaktadır[16].

1.6. Alüminyum-Seramik Parçacık Kompozitlerin Özellikleri ve Hazırlanmaları

Kullanılan bazı seramik ve diğer parçacıkların ana karakteristikleri Tablo 11' de verilmektedir.

Tablo 11. Kullanılan bazı parçacıkların ana karakteristikleri[19].

Parçacık	Boyut [μm]	Yoğunluk [g/cm^3]	Rm [GPa]	E [GPa]
Grafit	40-250	1.6-2.2	20	910
SiC	15-340	3.2	3	480
SiO ₂	53	2.3	4.7	70
MgO	40	2.7-3.6	-	-
Si ₃ N ₄	46	3.2	3-6	360
TiC	46	4.9	-	320
BN	46	2.25	0.8	100-500
Mika	180	-	-	170
ZrO ₂	75-180	5.65-6.15	0.14	210
B ₄ C	40-340	2.5	6.5	480
TiO ₂	20	3.9-4.3	-	-
Al ₂ O ₃	40-340	3.97	8	460
Cam	30-120	2.55	3.5	110
BeO	-	3	-	170-230

Seramik parçacıklı kompozitler genellikle klasik toz metalurjisi metodlarıyla üretilmektedirler. Yalnız yakın zamanda, bu kompozitlerin sıvı üretim teknikleriyle hazırlanmaları için teşebbüsler yapılmıştır. Sıvı üretim tekniklerinde katılaşmadan önce sıvı metal ile parçacıklar birleştirilirler. Sıvı metalurjisi teknikleriyle alüminyum - seramik parçacıklı kompozitlerin üretiminin birçok zorlukları aşağıda sıralanmıştır:

1. Klasik döküm uygulama sıcaklığında sıvı alüminyum ve seramik parçacıklar (oksitler ve karbürler) arasında ıslatma yetersizliği. Seramik parçacıklar sıvı metale uygulandığı zaman, yetersiz ıslatma sonucu seramik parçacıklar sıvı metal tarafından ıslatılmamaktadır.

2. Alüminyum ve seramik parçacıklar arasındaki farklı yoğunluk nedeniyle, katılaştan dökümlerde ve sıvı metaldeki dağılmış parçacıkların homojen dağılmaması.

Sıvı alüminyum ve seramik parçacıklar arasındaki ıslatmanın düzeltilmesi için birçok yaklaşım kullanılmaktadır [19].

a) Metal kaplanmış seramik parçacıklar istenmeyen hususlar olarak matris alaşımının kompozisyonunda bir değişikliğe sebep olur. Seramik parçacıkların metal kaplanması da istenilen bir çözümdür.

b) Parçacıklar henüz sıvı metale katılmadan önce alüminyum alaşımı yüzey aktif elementleri olarak magnezyum eklenmesi birkaç araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Bununla beraber matrisin kompozisyonunda (bileşiminde) küçük değişimler olabilir. Ayrıca magnezyum ilaveleriyle bazı uygulamalarda alüminyum-oksit parçacıklar etrafında istenmeyen magnezyum-oksitler teşekkül eder.

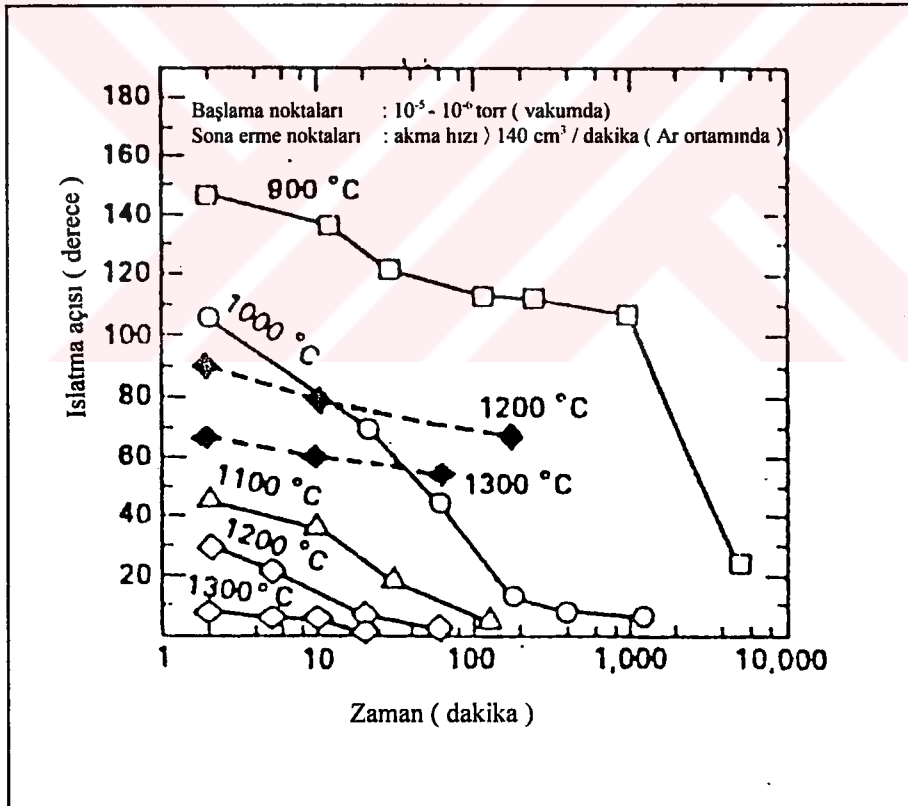
c) Kompozit döküm tekniği, alaşımların liküdüs-solidüs sıcaklığı arasında karıştırılması için istenilen özelliklere sahip ekipmanlar Flemings ve Mehrabian tarafından geliştirilmiştir.

d) Vakumda iyon bombardımanı ile temizlenen seramik parçacıkları sıvı alüminyumla karıştırılır ve vakumda kompozit hazırlanır.

1.6.1. Alaşım Sistemlerinde Islatmanın Gerçekleştirilmesi

Metal matrisli kompozitlerde takviye elemanlarının birinci fonksiyonu, uygulanan yükün büyük çoğunluğunu taşımasıdır. Halbuki matrisin birinci fonksiyonu, takviye

elemanlarıyla birleşmek, dışarıdan gelen yükleri takviye elemanlarına iletmek ve bu yükleri beraberce taşımaktır. Hasarsız bir şekilde yükün matristen takviye elemanlarına transferi ve dağıtılmasına müsaade edecek yeteri kadar güçlü bir ara yüzeyin meydana gelmesi için iyi bir ıslatmaya ihtiyaç vardır. Bununla beraber sıvı alüminyum alaşımlarının seramik malzemelerini ıslatmaları zayıftır. Örnek olarak ıslatma açıları 90° den büyük olanlarda iyi ıslatma olabilmesi için matris malzemesinin sıcaklığı yüksek olmalıdır. Bunun temel sebebi, genellikle oksitler tabiatta iyonik veya kovalent bağlıdır ve metalik türü malzemelerle bir arada olamazlar (bağ oluşturamazlar). Böyle sistemler için, pratik ve akılcı yöntem olarak görünen basınç uygulama, yalnız başına zayıf ıslatmayı yenemez. Kompozitlerin dökümünde parametrelerin en önemlisi uygun ıslatmadır[20]. Eğer Şekil 35'te görüldüğü gibi bir sıvının bir katı tabaka üzerine düşmesine dayanıyorsa, θ ; ıslatma açısı sıvının katıyı ıslatmasını karakterize eder.



Şekil 34. Alüminyum- B_4C sisteminde ıslatma açısının sıcaklık ve zamanın fonksiyonu olarak değişimi[20].

Aşağıda verildiği üzere yüzey enerjileri ve ıslatma açısı arasındaki temel ilişkisi;

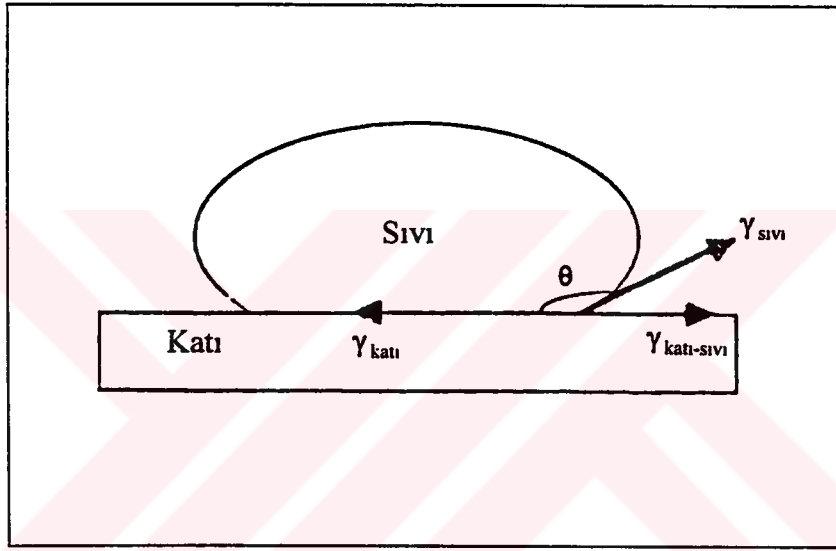
$$\gamma_{\text{kati}} = \gamma_{\text{kati-sıvı}} + \gamma_{\text{sıvı}} \cdot \cos\theta \quad (15)$$

Burada;

γ_{kati} = Katının yüzey enerjisi

$\gamma_{\text{kati-sıvı}}$ = Katı-sıvı arayüzeyi enerjisi

$\gamma_{\text{sıvı}}$ = Sıvı yüzey enerjisi



Şekil 35. Katı üzerine düşen sıvının şematik diyagramı ve ıslatmanın iyi olmadığı sistemde ıslatma açısı ve arayüzey zorlamalarının gösterimi[20].

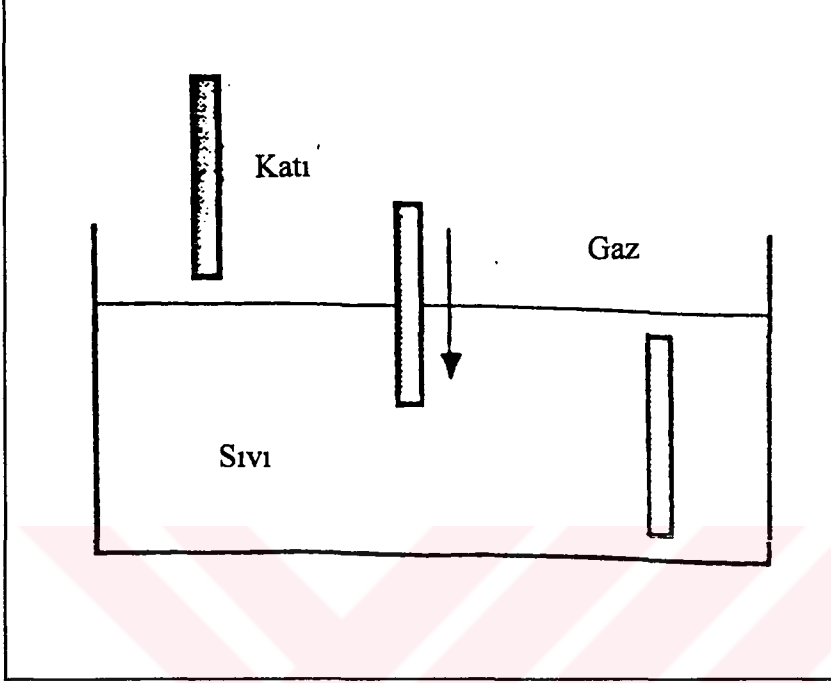
Yukarıda verilen (15) numaralı eşitlik, Young tarafından çıkarılmış fakat sık olarak Young - Dripenel eşitliği olarak ifade edilir. θ ıslatma açısı, sistemdeki ıslatmanın gerçekleşme mertebesini karakterize eder[20].

Şekil 35' de görüldüğü üzere bir katı, sıvı içerisine daldırıldığı zaman daldırma ıslatması oluşur[20]. Bunun sebep olduğu serbest enerji değişimi veya bu işi formüle eden W_i , aşağıda verilmektedir.

$$W_i = \gamma_{\text{kati-sıvı}} - \gamma_{\text{kati}} \quad (16)$$

$W_i < 0$ olduğu zaman ıslatma iyi,

$W_i > 0^0$ olduğu zaman katı, sıvı yüzeyinde kalır ve sıvı içerisine girmesi için zorlanmalıdır.



Şekil 36. Katının sıvı içerisine daldırılarak ıslatılması[20].

Bir takviye elemanın sıvı metal tarafından iyi bir şekilde ıslatılmasının başarılması, pratikte takviye ile metalin reaksiyona girme kapasitesini artırmakla veya alüminyum üzerindeki oksit tabakasının kuvvetliliğinin azaltılması ile gerçekleştirilebileceği sık sık görülmüştür. Çünkü metal matrisli kompozitler dengeli sistemde değildir. Metal matrisli kompozitte kimyasal potansiyelde adım adım artış olabilir. Bu da yüksek sıcaklık kullanımı ile veya üretim esnasında arayüzey reaksiyonlarına zorlama uygulayarak seramik arayüzeyi oluşturulur. Bundan dolayı birkaç araştırmacı, metal-seramik ıslatmasını iyileştirecek olan arayüzey reaksiyonlarını önermektedirler. Bu ıslatmayı çözüme teşebbüslerinin büyük bir bölümünü oluşturan çalışmalar, daha çok malzemelerin kimyasal yapıları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu teşebbüslerin tümü 3 farklı kategoride incelenebilir.

1. Takviyenin ön ısıl işlemi
2. Matrisin alaşım yapısının değiştirilmesi
3. Takviyenin kaplanması

Takviyenin ıslatılabilirliğini düzeltmek için, uygulanan kaplamalarda alaşım elementi ilaveleri gibi aynı kategoriler içerisinde de sınıflandırılabilir. Matris ile reaksiyonda olan kaplamalar, çok sayıda ve çok çeşitli takviyeler için çeşitli metalik kaplamalar içermektedir. Bu ifadelerin sonucu olarak takviyelerin ıslatılması teşebbüsleri için en az iki kategori vardır.

1. Takviyenin yüzeyi ya değiştirilebilir ya da matris ile arayüzeydeki reaksiyonlar çoğaltılabilir.
2. Metal yüzeyindeki oksit tabakası bozulmalıdır.

1.6.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarına Seramik Parçacıklarının Karışımını ve Dispersiyonunu Etkileyen Faktörler

Alüminyumda seramik parçacıkların dispersiyonunu ve karışımını etkileyen faktörler aşağıda verilmektedir[21,22]:

1. Isıl işlem sıcaklığı ve süresi
2. Parçacık boyutu ve şekli
3. Seramik parçacıkların sıvı metale katılma sıcaklığı
4. Seramik parçacıkların katılma miktarları
5. Katılan parçacığın akıtılma hızı
6. Sıvı metalden gaz giderme

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu çalışmada matris malzemesi olarak AA2014 (Etial 21) alüminyum alaşımı kullanılarak parçacık takviyeli kompozit üretimi incelenmiştir. Takviye parçacığı olarak B_4C , üretim yöntemi olarak da vorteks yöntemi kullanılmıştır. Parçacıklı kompozit üretiminde parçacığın homojen bir şekilde karıştırılabilmesi için önemli olan bazı parametreler incelendi. Kompozit malzemenin iç yapı (parçacık, matris, parçacık-matris arayüzeyi) taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) ve optik mikroskopla incelenerek, parçacık hacim oranının mekanik özelliklere (sertlik, çekme dayanımı) etkileri araştırıldı.

2.2. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada matris malzemesi olarak, Seydişehir Alüminyum Fabrikasının Etial21(AA2014) alüminyum alaşımı kullanıldı. Bu alaşımın spektral analizle belirlenen bileşimi Tablo 12'de verilmiştir. Bu alaşımın solidüs sıcaklığı $510^{\circ}C$, likidüs sıcaklığı ise $638^{\circ}C$ dir[23].

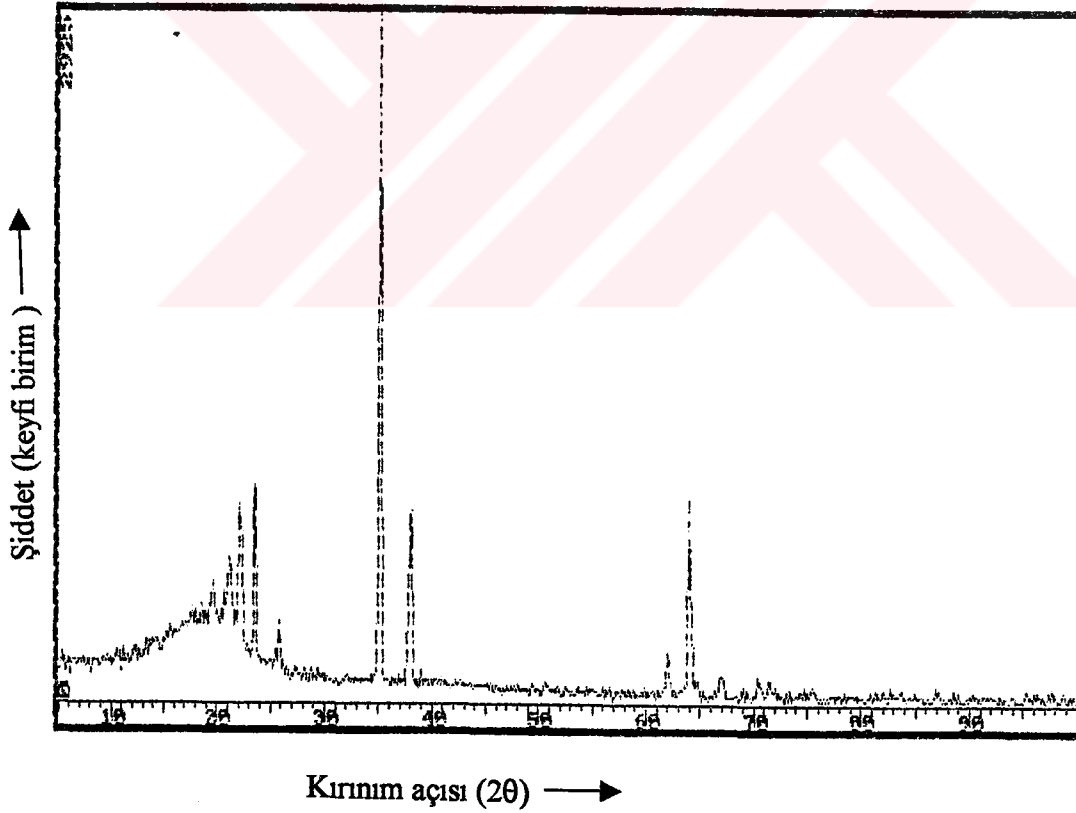
Tablo 12. Deneylerde kullanılan Etial21(AA2014) alaşımının bileşimi

Fe (%)	Cu (%)	Si (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)	Ti (%)	Cr (%)	Al (%)	Diğerleri (%)
0.269	5.57	0.955	0.656	0.742	0.006	0.019	0.002	91.70	0.08

Takviye parçacığı olarak bor karbür (B_4C) kullanıldı. Bor karbürün özellikleri Tablo 11'de verilmiştir. Bor karbür, elmas ve kubik bor nitrürden sonra en sert malzemedir [24]. Yüksek sertliği ve ergime noktasının yanısıra özellikle mukavemet/yoğunluk oranı yüksektir. Asit ve bazlarla kolaylıkla reaksiyona girmez.

Fakat HF-H₂SO₄, HF-HNO₃ ve HF-H₂SO₄-HNO₃ karışımlarında uzun sürede az oranda çözünme gösterir. Sıcak ortamlarda HNO₃-H₂SO₄-HClO₄ gibi asitlerle oksitlenebilir. Küçük boyutlu bor karbür tozları nemli havada az miktarda oksitlenebilir ve parçacık yüzeyinde zamana bağlı olarak B₂O₃, HBO₃ veya H₃BO₃ filmi oluşabilir [24]. Bor karbür numunelerinde kuru ve yaş hava ile yapılan oksidasyon çalışmalarında, oksidasyonun su buharı bulunan ortamlarda 250 °C ve kuru ortamlarda ise 450 °C'de başladığını ortaya koymuştur[24]. Bu çalışmada kullanılan B₄C, İ.T.Ü.Metalurji Mühendisliği Bölümünde üretilmiştir. B₄C'ün X-ışınları ile yapılan difraksiyonundan elde edilen difraksiyon sonuçları Şekil 37'de verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan bor karbür elendikten sonra -125+45 µm aralığındaki tozlar alınmış olup ortalama tane boyutu 85 µm dir.



Şekil 37. Bor karbürün X-Işınları difraksiyon spektrumu.

Sıvı alaşımın B₄C parçacıklarını ıslatma özelliğini artırmak amacıyla küçük parçalar halinde saf magnezyum, gaz giderici olarak da hegzakloreten(C₂Cl₆) tabletleri kullanıldı[25].

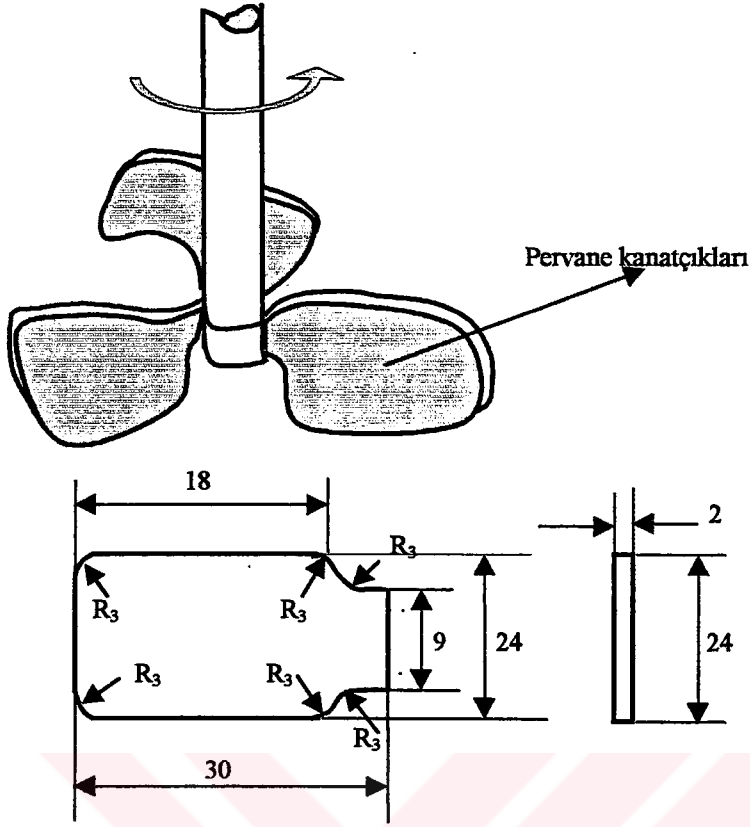
2.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Alet ve Cihazlar

Bu çalışmada kullanılan deney düzeneği Malzeme Bilimleri Anabilim Dalı laboratuvarında imal edilmiş olup Şekil 39' da verilmiştir. Alaşım, direnç teli ile ısıtılan grafit potada ergitilmiştir. Ergitme ve karıştırma sırasında sıcaklık kontrol ünitesi ile kontrol ($\pm 5^{\circ}C$) edilmiştir. Parçacıkların karıştırılmasında paslanmaz çelikten şaft ve pervane kanatçıkları kullanılmıştır. Pervane kanatçıklarının yapısı Şekil 38'de verilmiştir.

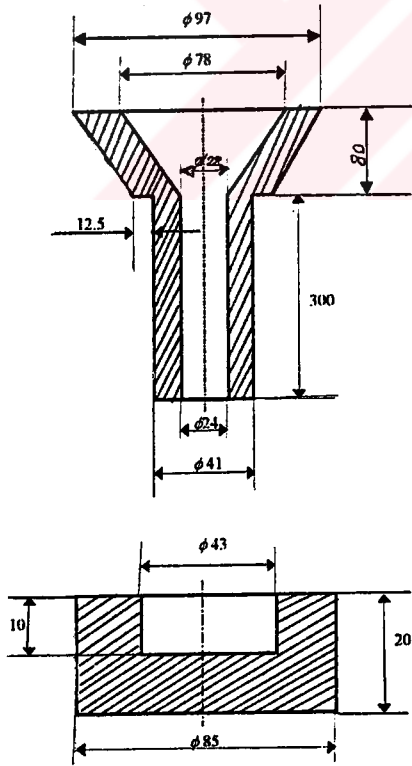
Sıvı metalin karıştırılmasında doğru akım elektrik motoru-hız kontrol ünitesi kullanılmıştır. Hız kontrol ünitesi takometre yardımıyla kalibre edilmiştir. Sıvı metale B₄C ilavesi, titreşimli doldurma aleti ile elle yapılmıştır.

Döküm işleminde 300 mm boyunda ve besleyicisi bulunan üst çapı 28 mm ve alt çapı 24 mm olan konik silindirik metal kalıp kullanılmıştır(Şekil 38). Parçacıkların belirli boyutlarda olmasını sağlamak için kırma ve elek sistemi kullanıldı.

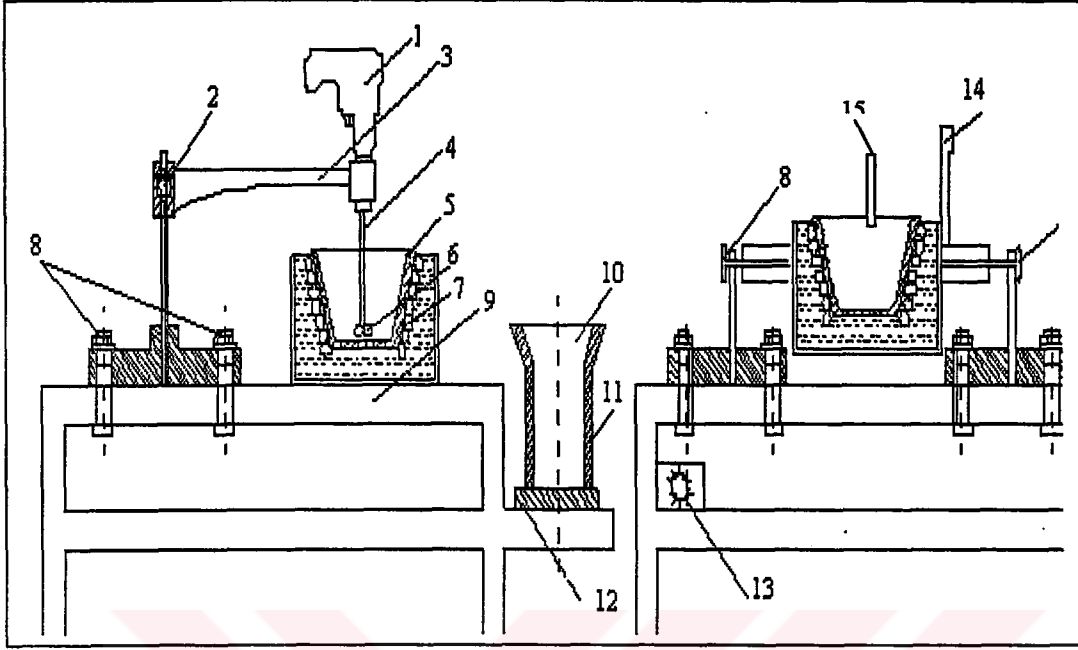
Parçacık karıştırma ve döküm sırasında sıvı metal sıcaklığı daldırmalı termokupl (Kromel-Alümel) ile kontrol edilmiştir. Parçacıkları katma öncesi tavlama için etüv fırını kullanılmıştır. Üretilen kompozitin iç yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve ışık mikroskobunda incelenmiştir.



Şekil 38. Karıştırıcı ve pervane kanatçıklarının yapısı.



Şekil 39. Kullanılan kalıbın şekli.



- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| 1. Motor | 8. Bağlantı civataları |
| 2. Hız kontrolörü | 9. Deney düzeneği masası |
| 3. Motor tutucusu | 10. Besleyici |
| 4. Şaft | 11. Metal kalıp |
| 5. Pota | 12. Kalıp altlığı |
| 6. Pervane | 13. Sıcaklık kontrolörü |
| 7. Elektrik ısıtıcıları | 14. Devirme kolu |
| | 15. Argeon gazı giriş borusu |

Şekil 40. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.

2.4. Deneylerin Yapılışı

2.4.1. Parçacıklı Kompozit Üretimi

Bu çalışmada uygulanan vorteks yönteminde matris malzemesi ergitilip belirli bir sıcaklığa ısıtıldıktan sonra, kanatçıklı özel pervane ile karıştırılıp vorteks oluşturularak parçacıklar azar azar ilave edilmektedir. Takviye parçacıkları katılmadan önce genellikle belirli bir sıcaklıkta tavlansak (150-200°C) nemi alınır. Katma öncesi de matris ve takviye malzemesine bağlı olarak 400-800°C arasında ön ısıtılarak katma işlemi yapılır[24]. Bunun amacı katma sırasında sıvı metalin sıcaklığını aşırı olarak

düşürmesini ve parçacığa temas eden sıvı metalin hemen katılaşıp ıslatmayı kötü yönde etkilenmesinin önlenmesidir.

Bu çalışmada önce parçacıklara özel bir yüzey işlemi yapmadan sadece ısı işlemi uygulanarak katma yöntemi uygulanmıştır. Bunun için parçacıklar katılma öncesi 600°C' da 8 saat tavlandıktan sonra katma yöntemi denenmiştir. Ancak sıvı alaşımın parçacıkları ıslatmasının kötü olması nedeniyle başarılı olmamıştır.

Islatmayı iyileştirmek için matris alaşımının bileşimine ilgili kaynaklarda önerildiği gibi magnezyum (% 1-1.5 Mg) katılarak denenmiş fakat yine başarılı sonuç alınamamıştır[20,26]. Alüminyumun bor karbürü ıslatmasının 1000°C' in üzerinde başladığı başka araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Ancak bu çalışmada kullanılan AA2014 alaşımının bileşiminin farklı olmasının ıslatmayı iyileştireceği beklenmiştir[20]. Parçacık sıcaklığının çok yüksek olması çok oksitlenme ve gaz çözündürme problemlerine yol açmaktadır.

Bu nedenle; bu çalışmada parçacık yüzeyine özel işlemler uygulanarak ıslatmayı iyileştirilmesi denenmiştir. Bu amaçla bor karbür parçacıkları üzerinde oluşan oksidin giderilmesi için çeşitli asit ortamlarında denemeler yapılmıştır. Sonuçta %50 HF+%50 H₂SO₄ karışımı denenmiş ve başarılı olmuştur. Bu çalışmada yapılan deneyler başarılı bulunan bu asit karışımından belli bir süre (5 dakika) dağlamaya göre düzenlenerek uygulanmıştır. Buna göre geliştirilen yöntemde parçacıklar yukarıdaki asit karışımında 5 dakika bekletildikten sonra süzülerek etil alkol içerisinde yıkanmıştır. Yıkanan parçacıklar saç kurutma makinasıyla ön kurutmaya tabi tutulmuştur. Bundan sonra parçacıklar etüv içerisinde 150° C' da parçacık miktarına göre 12-24 saat arasında kurutulmuştur. Parçacıklar sıvı alaşıma katılmadan önce ıslatmanın iyileştirilmesi ve sıvı metal sıcaklığını aşırı düşürmemek amacıyla 400°C' de 1 saat tavlannmıştır.

Parçacıklar sıvı alaşıma katılmadan önce sıvı banyo üzerindeki curuf alındıktan sonra metal ağırlığının %0.2-0.3 oranında hegzakloreten (C₂Cl₆) tabletleri katılarak gaz giderme işlemi yapılmıştır[26]. Gaz giderici tabletlerin sıvı metal banyo içerisine daldırılması için paslanmaz çelikten yapılmış ucunda çan şeklinde yüzeyi delikli kısım bulunan özel düzenek kullanılmıştır.

Parçacıkların katılması sırasında vorteks oluşturmak için sıvı banyonun belirli bir hızda karıştırılması gerekmektedir. Aşırı karıştırma hızlarında gaz çözündürme tehlikesi artmaktadır. Bu çalışmada 550d/dk karıştırma hızı kullanılmıştır. Karıştırma sırasında sıvı metalde tekrar gaz çözünmesini önlemek için sıvı metal yüzeyine sürekli

olarak Ar gazı üflenmiştir. Parçacık katma işlemine sıvı metal banyo sıcaklığı daldırılmalı termokupla ölçüldükten sonra 680°C' de başlanmıştır. Parçacık katılma hızı 0.05-0.1 kg/dk olarak alınmıştır. Parçacık katma işlemi bittikten sonra karıştırma hızı 300-350 d/dk' ya düşürülerek 5 dakika daha karıştırmaya devam edilmiştir. Sıvı metal sıcaklığı 660 °C iken karıştırma hızı tekrar 550 d/dk' ya çıkarılarak karıştırıcı dışarı alınmış ve döküm işlemine geçilmiştir. Bütün bu işlemler Ar gazı altında yapılmıştır.

2.4.2. Kompozitteki Parçacık Oranının Tayini

Matris malzemesine katılan parçacık oranı (hacim yüzdesi olarak) belirlenmesi metalografik olarak nokta sayma yöntemiyle yapılmıştır. Döküm numunesi içinde parçacıkların homojen olarak dağılıp dağılmadığını belirlemek amacıyla alt, orta ve üst kısımlardan numune ($\phi 24 \times 15$ mm) alınarak incelenmiştir.

2.4.3. Çekme Dayanımı ve Sertlik Ölçümleri

Çekme deneyleri; TS138 göre dış çapı 10mm olan çubuklardan hazırlanarak yapılmıştır. Deneyler Schenk-Trebel marka üniversal çekme makinasında (4 tonluk) gerçekleştirilmiştir.

Sertlik ölçümleri; Frank-Merkblatt marka üniversal sertlik ölçme cihazında Brinell yöntemine göre yapılmıştır. Ölçmelerde 2.5mm çaplı bilya uç ve 31.25 kp yük kullanılmıştır. Sertlik ölçme işlemleri dökülmüş durumdaki ve yaşlandırma sertleştirilmesi uygulanmış durumdaki numunelerde yapılmıştır. Yaşlandırma ısıl işleminde $\phi 24 \times 15$ mm boyutlarındaki parça 500 °C' da 2 saat tavlandıktan sonra suda soğutulmuş ve 150°C 7 gün süre ile yaşlandırılmıştır [27].

2.4.4. Metalografik İncelemeler

Üretilen kompozit malzemelerden kesilerek alınan numuneler mekanik yöntemle parlatıldıktan sonra optik ve taramalı elektron mikroskopunda (SEM) iç yapıları incelenmiştir. Bazı numuneler parlatıldıktan sonra 2mlt HF, 3mlt HCl, 5mlt HNO₃ ve 190mlt su bileşimindeki ayrıçta dağlanarak inceleme yapılmıştır.

3. BULGULAR

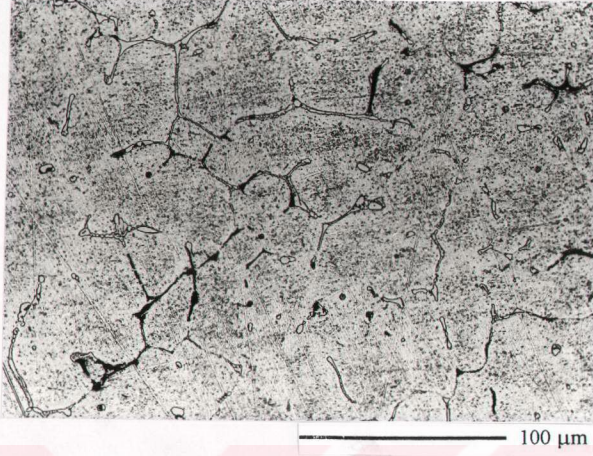
3.1. Metalografik İncelemeler

Asit karışımıyla yüzey işlemleri (2.4.1.' de anlatıldığı gibi parçacıkların asit karışımında bekletilmesinde çözünme işlemi çok yavaş olup yüzeydeki oksit parçacıklarının temizlenmesi ve yüzeyin aktif hale getirilmesi amaçlanmıştır.) uygulanmamış olan B₄C parçacıkları kullanılarak yapılan kompozit üretimi çalışmalarında katılan parçacıkların yüzeyde toplandığı görülmüştür. Kokil kalıba dökülerek üretilen parçalardan alınan numunelerde alt ve orta kısımlarındaki parçacık oranının çok az olduğu tesbit edilmiştir.

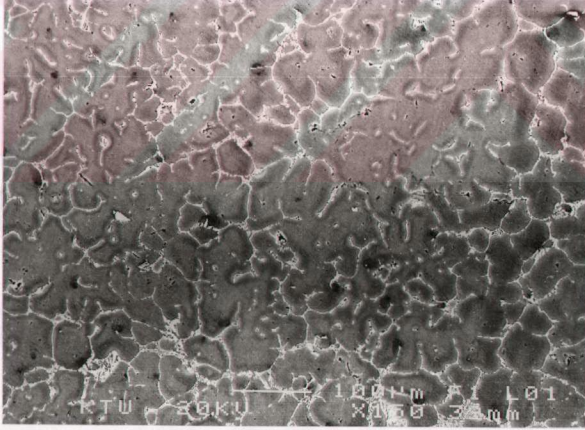
İslatmayı iyileştirmek amacıyla matris alaşımına magnezyum katılması denenmiştir[24,28]. Bu amaçla %1 ve %1.5 oranlarında magnezyum katılarak deneyler yapılmıştır. %1.5 magnezyum katılan numunelerde çok az oranda iyileşme belirtileri görülmekle birlikte yine tozların yüzeyde biriktiği tesbit edilmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 13 ve Şekil 41' de verilmiştir.

Tablo 13. Magnezyum katılan numunelerden elde edilen sonuçlar.

Deney No	% Hacim Oranı	% 1 Mg		
		Üst	Orta	Alt
1	1.5	2.8	0.7	0.6
		% 1.5 Mg		
2	1.5	2.1	1.0	0.8

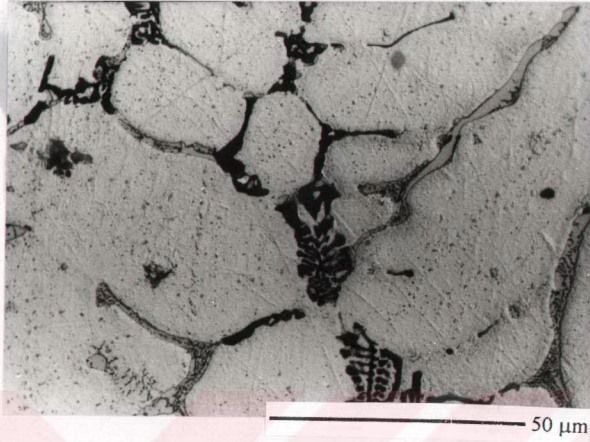


(a)

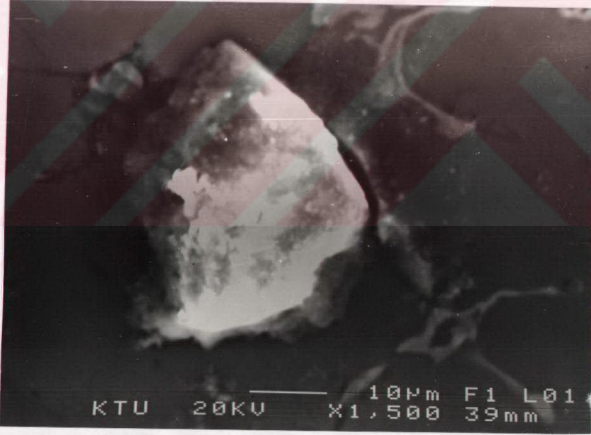


(b)

Şekil 41. Yüzey işlemleri uygulanmamış B₄C kullanılarak üretilen kompozitlerin iç yapıları. a) Etial 21(optik), b) Etial 21+ % 1.5 (SEM).



(c)

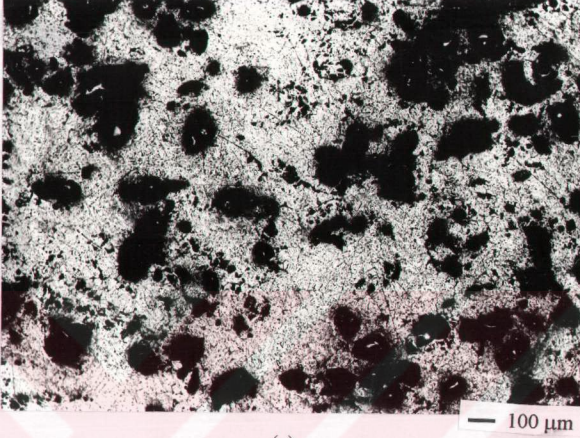


(d)

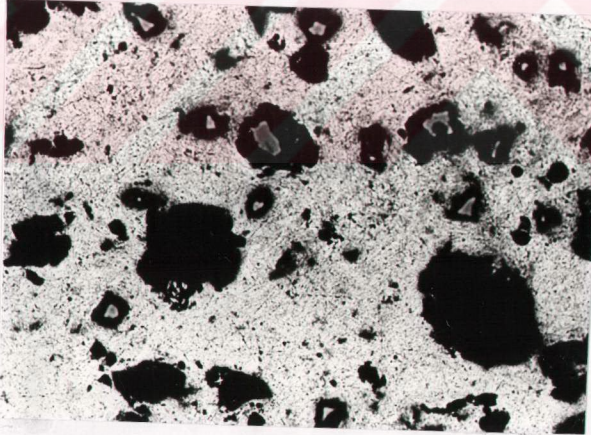
Şekil 41. (Devam) Yüzey işlemleri uygulanmamış B_4C kullanılarak üretilen kompozitlerin iç yapıları. c) Etial 21 +% 1 (yüzde ağırlık) Mg +% 1.5 B_4C (optik), d) Etial21+%1.5 Mg+%1.5 B_4C içeren numunede B_4C parçacığı (SEM) .

Şekil 41'de görüldüğü gibi B_4C parçacıkları matris tarafından ıslatılmamaktadır.

Asit karışımı ile yüzey işleme uygulandıktan sonra B_4C parçacıkları katılarak üretilen parçacıklı kompozitlerin metalografik yapıları Şekil 42' de verilmiştir. Dökülmüş numunelerin alt, orta ve üst kısımlarından numune alınarak yapılan incelemelerde parçacık dağılımının yaklaşık olarak homojen olduğu görülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 42. Yüzey işleme uygulanmış B_4C parçacıklarından üretilen kompozitlerin optik mikroskopta çekilen iç yapıları. a) % 9 B_4C , b) %12 B_4C .

Metalografik inceleme için yapılan parlatma işlemi sırasında matris ile parçacık arasındaki sertlik farkının çok yüksek olması nedeniyle parçacıklar aşınmayarak yüzeyde pürüzlülük oluşturan çıkıntılar şeklinde kalmıştır. Bu nedenle optik mikroskopta çekilen iç yapı fotoğraflarında net bir görüntü elde edilememiştir(Şekil 42).

Parçacık oranı artıkça bazı parçacıkların yer yer biraraya gelerek aglomerasyon (topaklanma) oluşturdıkları görülmüştür (Şekil 43 b ve c).

Parçacık-matris arayüzeyini incelemek için çekilen mikrograflar Şekil 44' de verilmiştir.

Şekil 44'den parçacık-matris arayüzeyleri incelendiğinde ıslatmanın iyi olduğu; matrisle parçacık arasında çözünme ve reaksiyon olmadığı açık bir şekilde görülmektedir.

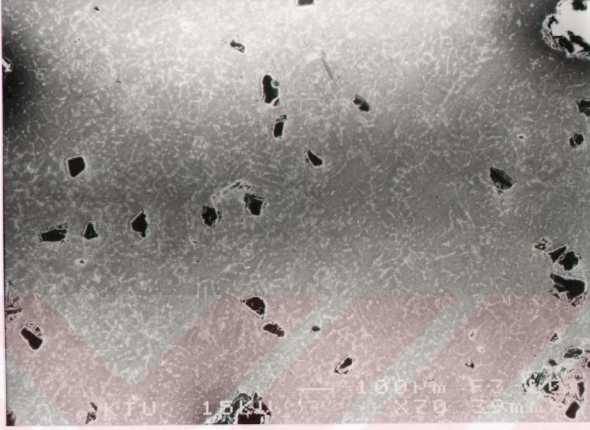
3.2. Parçacık Hacim Oranının Çekme Dayanımına Etkisi

Bu çalışmada üretilen kompozitlerden bölüm 2.4.' de anlatıldığı gibi hazırlanan numunelerle yapılan çekme deneylerinden elde edilen değerler Tablo 13' de ve Şekil 45' de verilmiştir.

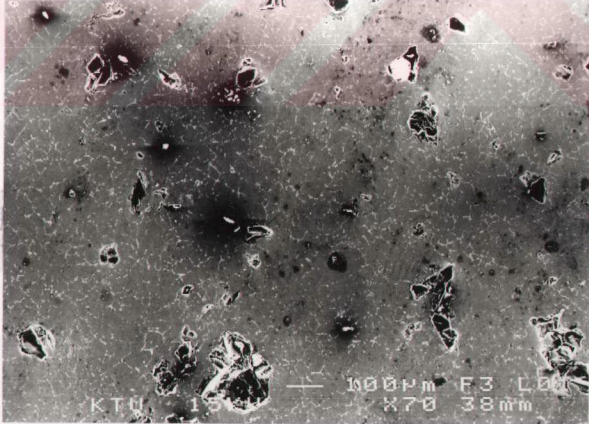
Tablo 14. Çekme deneyi sonuçları

Numune No	Parçacık Hacim Oranı [%]	σ_m [MPa]	Kopma uzaması [%]
1	0	116	5
2	1.5	78	4.5
3	2	63	4.25
4	3	75	4
5	6	57	3.375
6	9	56	2
7	12	58	1.25

Aynı yöntemde üretilen numunelerin taramalı elektron mikroskopunda çekilen mikrografları Şekil 43' de verilmiştir.

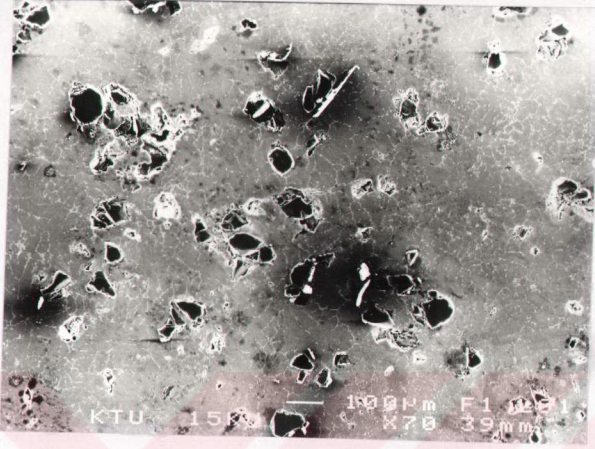


(a)

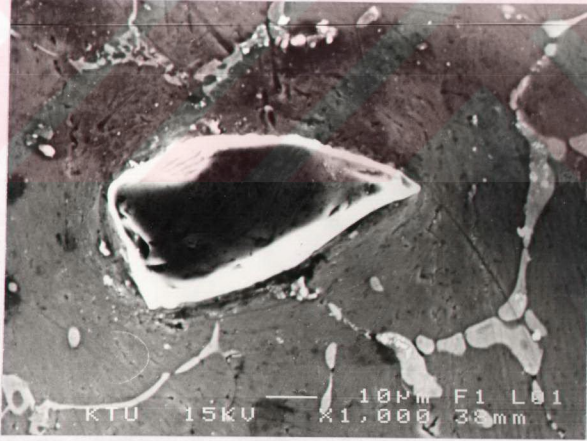


(b)

Şekil 43. Yüze işlemi uygulanan B_4C kullanılarak üretilen kompozitlerin iç yapıları (SEM). a) %6 B_4C , b) %9 B_4C .

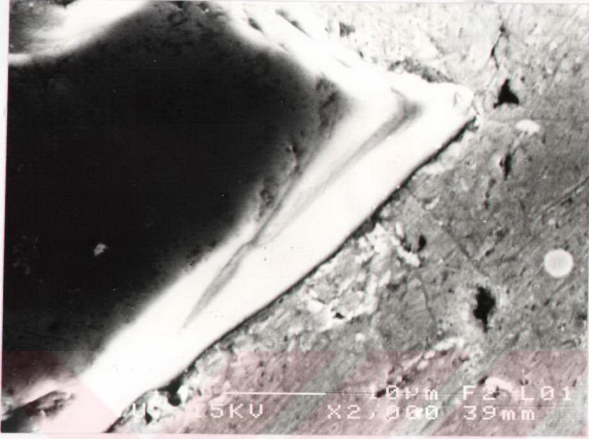


(c)

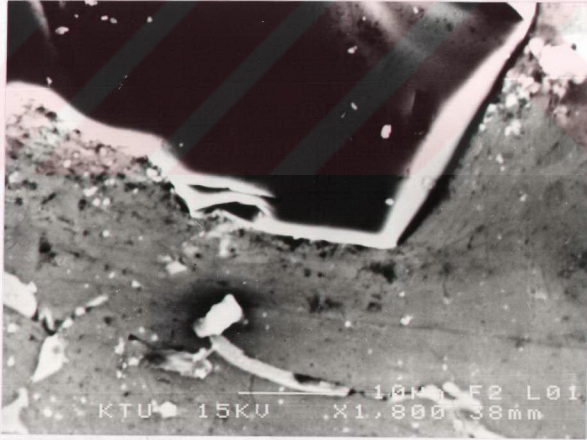


(d)

Şekil 43. (Devamı) Yüzey işlemi uygulanan B_4C kullanılarak üretilen kompozitlerin iç yapıları (SEM). c) % 12 B_4C , d) Matris içinde B_4C parçacığı

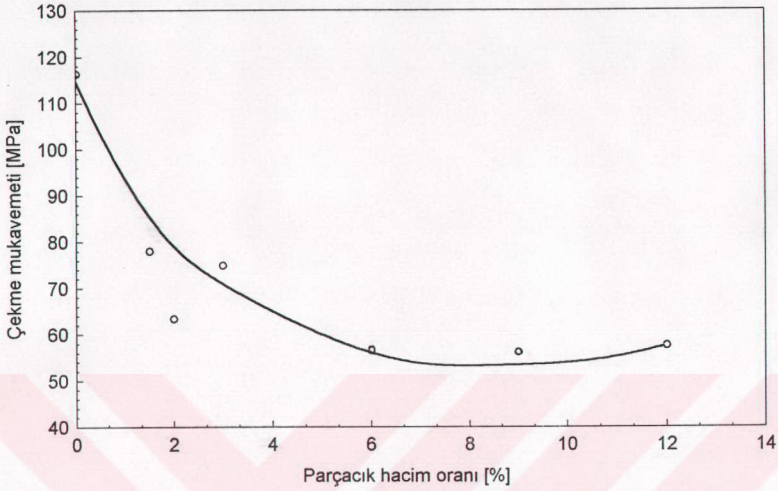


(a)

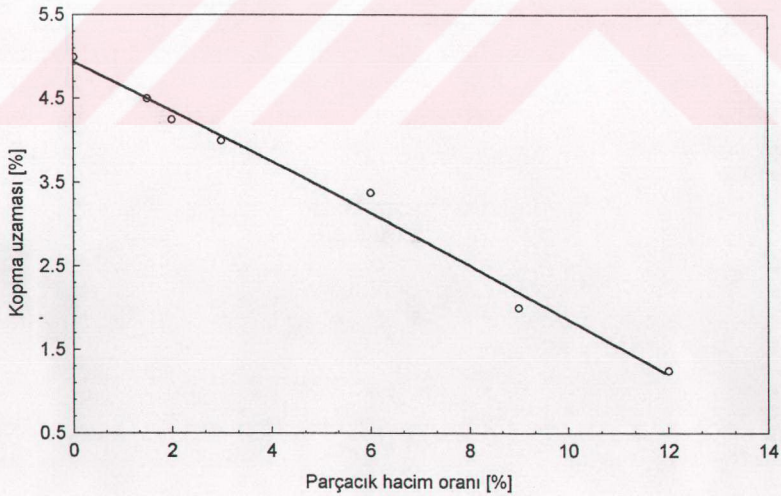


(b)

Şekil 44. Parçacık-matris arayüzeyleri. a) % 6 B₄C, b) %12 B₄C.



Şekil 45. BC_4 parçacık takviyeli kompozit malzemenin çekme dayanımının parçacık hacim oranıyla değişimi.



Şekil 46. Kopma uzamasının parçacık hacim oranı ile değişimi.

Şekil 45'de görüldüğü gibi parçacık hacim oranı arttıkça çekme dayanımı azalmaktadır. Bunun nedeni; iç yapıda bulunan B₄C' larının inklüzyon(kalıntı) gibi davranmalarıdır.Aynı durum benzer kompozitler için başka araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir[24,28].

Kopma uzaması değeri de artan parçacık hacim oranıyla azalmaktadır (Şekil 46).

3.3. Parçacık Hacim Oranının Sertliğe Etkisi

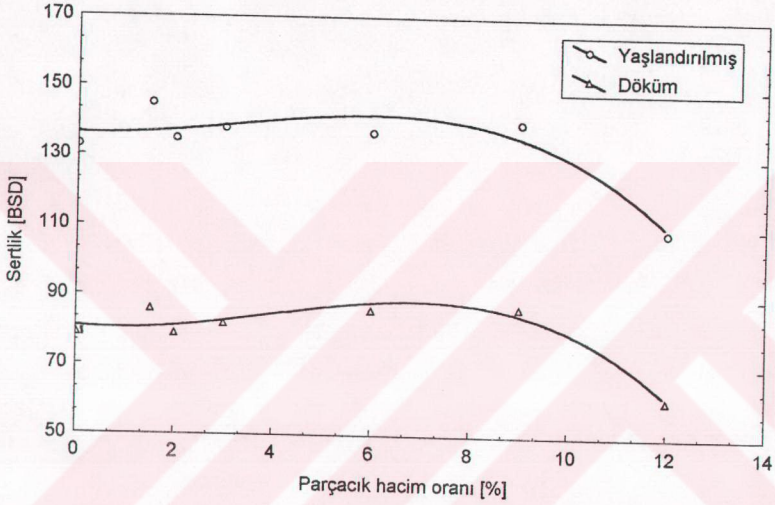
Bu çalışmada parçacık oranıyla sertlik değişimi dökülmüş durumdaki ve bölüm 2.4.3'de anlatıldığı gibi yaşlandırılmış numunelerde ölçülmüştür. Bulunan değerler Tablo 14 ve Şekil 47'de verilmiştir.

Tablo 15. Parçacık hacim oranı ile sertliğin değişimi.

Deney No	Parçacık Hacim Oranı [%]	Döküm Sonrası Sertlik Değeri [BSD]	Yaşlandırmadan Sonra Sertlik Değeri [BSD]
1	0	79	133
2	1.5	86	145
3	2	79	135
4	3	82	138
5	6	86	137
6	9	87	140
7	12	61	109

Genel olarak % 9 parçacık hacim oranına kadar sertlik değerleri artan parçacık hacim oranıyla artmaktadır. Dökülmüş numunelerde Brinell Serlik değeri 79 BSD'den 87 BSD'e, yaşlandırılmış numunelerde ise 133BSD'den 140 BSD' e artmıştır.Ancak % 12 B₄C içeren kompozitte sertlik değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Bu durum bu numunelerde parçacık matris arayüzeyinde çekirdeklenen aşırı gözenek oluşumuyla

açıklanabilir. İç yapıda aşırı gözenek bulunması numunenin yaşlandırma tavlama sırasında ısınmasını da yavaşlatmaktadır.



Şekil 47. Sertliğin parçacık hacim oranı ile değişimi.

4. İRDELEME

Bu çalışmada, metal matrisli parçacık takviyeli kompozit üretimi ve üretilen kompozitin özellikleri incelenmiştir. Matris malzemesi olarak yaşlandırma yöntemiyle sertleştirilebilen alüminyum alaşımı (Etial 21, AA2014), takviye parçacığı olarak da bor karbür (B₄C) kullanılmıştır. Bu tür kompozitlerin üretimi için değişik yöntemler (karıştırmalı döküm, vorteks yöntemi, kompozit döküm, toz metalurjisi,...) kullanılmaktadır. Bu çalışmada, takviye parçacıklarının sıvı matris malzemesine katılması için vorteks(girdap oluşturma) yöntemi kullanılmıştır.

Bu tür kompozitlerin aşınma dayanımı daha yüksek olmakta, nisbeten yüksek sıcaklıklarda sertlik ve mukavemetlerini korumaktadırlar. Ayrıca parçacık oranı ile genleşme katsayılarının ayarlama imkanı vardır. Bu tür kompozitlerin kullanılma yerlerine örnekler bölüm 1.5.1.4' de verilmiştir.

Parçacıklı kompozit üretiminde matris malzemesinin parçacık yüzeyini ıslatması çok önemlidir. Kötü ıslatma durumunda parçacıkların yoğunluğuna göre yüzeye atılması veya dibe çökmesi kaçınılmazdır [29]. Ayrıca parçacığın matris malzemesiyle reaksiyona girmemesi ve matris içerisinde çözünmemesi gerekir. Matris malzemesinin parçacığı ıslatmasını iyileştirmek için parçacık yüzeyine metal kaplama, matris malzemesine magnezyum gibi yüzey aktif elementleri ilavesi veya parçacıkların vakumda iyon bombardımanı ile temizlenmesi gibi yöntemler uygulanmaktadır[19].

Parçacıkların yüzeyinin kaplanması durumunda yüzeyi kaplanan parçacıklar matris bileşimini değiştirmektedirler. Bu durum bazı uygulamalar için sakınca teşkil etmektedir. Ayrıca parçacıkların yüzeyinin kaplanması ek bir maliyet getirmektedir[19].

Islatmayı iyileştirmek için matris malzemesine magnezyum ilavesi de matris bileşimini değiştirmektedir. Ayrıca bazı uygulamalarda magnezyum parçacıklarla reaksiyona girerek parçacık yüzeyinde mesela MgO oluşturmaktadır. Bu durum bazı uygulamalar için uygun değildir.

Bu çalışmada uygulanan vorteks yönteminde matris malzemesinin parçacık yüzeyini ıslatması çok önemlidir. Ayrıca karıştırma sırasında sıvı metal bileşimine gaz girmesi ve metalin aşırı oksitlenmesi söz konusudur. Sıvı metal içerisinde vorteks

oluşması için karıştırıcı kanatçıklarının uygun imal edilmesi ve karıştırma hızının belirli bir düzeyde olması gerekir. Sıvı matris malzemesinin karıştırıcı mili ve kanatçıkları ile reaksiyona girmemesi de önemlidir. Bu çalışmada karıştırıcı mili ve kanatçıkları paslanmaz çelikten imal edilmiş olup karıştırma sırasında sıvı metale gaz girişini önlemek için Argon gazı kullanılmıştır. Aynı yöntem başka araştırmacılar tarafından da uygulanmıştır[24].

Yapılan literatür araştırmasında bu çalışmada kullanılan matris malzemesi (AA2014) ile B_4C kompoziti üretimi konusunda yapılan çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak alüminyumun B_4C ' ü ıslatabilmesi için katma sıcaklığının $1000^{\circ}C$ üzerinde olması gerektiği Cornio ve Russel [20] tarafından belirlenmiştir.

Bu tür alaşımlar için $1000^{\circ}C$ döküm sıcaklığı aşırı oksitlenmeye ve aşırı oranda gaz çözünmesine yol açmaktadır. Bu çalışmada kullanılan alaşımın bileşimi farklı olduğundan ıslatmayı incelemek amacıyla parçacıklara $600^{\circ}C$ ' da ısıl işlem uygulayarak katma yöntemi denenmiştir. Ancak başarılı olmamıştır. B_4C parçacıklarının döküm yüzeyinde toplanması çalışılan şartlarda ıslatmanın kötü olduğunu göstermiştir. Bunun üzerine başka araştırmacılar tarafından da uygulanan matris malzemesine magnezyum katma yöntemi denenmiş[25,30]. Fakat çok az oranda iyileşme sağlanabilmiştir. Ayrıca karıştırıcı ve kanatçıklarda aşınmaya (erozyona) sebep olmuştur. Bu durumla başka araştırmacılar da karşılaşmıştır [30]. Bu nedenlerden dolayı bu uygulamadan da vazgeçilmiştir. ıslatma olayında parçacığın yüzey durumu çok önemlidir. Yüzeyde ıslatmayı zorlaştıracak oksitler, adsorbe edilmiş su ve diğer kirleticilerin bulunmaması gerekir.

Katma öncesi parçacıklar $400-800^{\circ}C$ arasında ön tavlama tabi tutulmaktadır [24]. Bazı araştırmacılar, katma öncesi parçacıkları alkol kullanarak temizlemişlerdir[31]. Bazı asit karışımlarının B_4C 'e çok az oranda etki ettiği bilinmektedir[24]. Bu noktadan hareket ederek katma önce parçacıkların yüzeyini temizlemekve yüzeyi aktif hale getirmek için çeşitli asit karışımları denenmiş sonunda % 50 HF + % 50 H_2SO_4 karışımında 5 dk. süreyle bekletildikten sonra etil alkol ile temizlenerek kurutulan parçacıklar kullanıldığında çok iyi karışım sağlandığı görülmüştür. Bu şekilde özel yüzey işlemleri uygulanmış parçacıkların matris tarafından iyi bir şekilde ıslatıldığı anlaşılmıştır. Bu yöntem ilk defa bu çalışmada uygulanmıştır.

Üretilen kompozitlerin metalografik incelenmesinde 300 mm boyundaki döküm numunesinin alt, orta ve üst kısmından alınan numuneler kullanılmıştır. Parçacık oranları daha önce de anlatıldığı gibi nokta sayma yöntemiyle (point counting) belirlenmiştir. Yapılan incelemeler parçacık oranının döküm numunesi içinde homojene yakın bir şekilde dağıldığını göstermiştir (şekil 43 a,b). Parçacık oranı arttıkça parçacık-matris ara yüzeylerinde boşluklar oluştuğu belirlenmiştir. Özellikle % 12 B₄C içeren numunede parçacıklar arası aglomerasyon (topaklanma) ile birlikte önemli miktarda gözenek oluştuğu gözlenmiştir (şekil 43 c). Bu durum Ray tarafından da Al-Al₂O₃ tür kompozitte de gözlenmiştir[32].

Üretilen kompozitlerin çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri artan parçacık hacim oranı ile azaldığı gözlenmiştir (şekil 45, 46). Parçacıklı kompozitlerde benzer bulgular başka araştırmacılar tarafından elde edilmiştir[24]. Bu durum parçacıkların matris içinde inklüzyon gibi davranmaları, parçacık-matris arayüzeyinde çatlak oluşumunun hızlanması ve bazı parçacıkların ortalarında boşluklar oluşturarak bir araya gelmiş olmaları ile açıklanmaktadır. Deformasyon sırasında takviye parçacıkları kırılmakta matristen ayrılmakta ve parçacık grupları içerisinde bulunan boşluklarda büyüterek birleşmektedir[28].

Parçacık hacim oranı % 9 değerine kadar arttıkça sertlik de artmaktadır. Bu artış dökülmüş ve yaşlandırma uygulanmış numunelerde yaklaşık aynı miktarda (≈ 6 BSD) olmuştur. Artan parçacık oranıyla sertlik artışı başka araştırmacılar tarafından da gözlenmiştir[19]. Ancak % 12 parçacık içeren kompozitlerde sertliğin düştüğü görülmüştür. Bu durum yukarıda açıklanan nedenlerle iç yapıda gözenek oluşumuyla açıklanmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yapılan incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. AA2014 alüminyum alaşımına B₄C parçacıkları katılarak parçacıklı kompozit üretiminde, matris metalinin özel yüzey işlemi görmemiş B₄C parçacıklarının ıslatması iyi değildir. Matris metaline % 1.5 magnezyum katılması da ıslatma özelliğinde de önemli bir iyileştirme sağlamamıştır.

2. Katma öncesi asit karışımında (% 50 HF + % 50 H₂SO₄) bekletilen B₄C parçacıkları AA2014 alaşımı tarafından iyi ıslatılmaktadır.

3. Parçacık hacim oranı arttıkça çekme dayanımı ve süneklik (kopma uzaması) değerleri azalmaktadır.

4. % 9 parçacık hacim oranına kadar parçacık oranı arttıkça sertlik de artmaktadır. Ancak bu oran üzerindeki değerlerde, gözenek oluşumu nedeniyle sertlikte düşme gözlenmiştir.

5. Parçacık oranı arttıkça iç yapıda parçacıkların aglomerasyonu (topaklanma) ve gözenek miktarı artmaktadır.

6. ÖNERİLER

1. Bu çalışmada uygulanan yöntemle üretilen kompozitlerin aşınma ve sürünme dayanımları incelenmelidir.
2. AA2014 alaşımının B₄C yüzeyini ıslatma ve ıslatma açıları (bu çalışmada uygulanan yüzey işleminden sonra) deneysel olarak incelenmelidir.
3. Parçacık büyüklüğünün kompozit üretimine etkileri incelenmelidir.

7. KAYNAKLAR

1. Demirkesen, E., Kompozit Malzemeler, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, 1.baskı, İstanbul, 1991.
2. Aran, A., Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990.
3. Callister, William D., Materials Science and Engineering, Second Edition, John Wiley & Sons Inc., Singapore, 1990.
4. Yaşar, İ., Sürekli Cam Elyaf Takviyeli ve Polyester Matrisli Kompozit Malzemelerde Elyaf Hacim Oranı ve Elyaf Yönlenmesinin Mekanik ve Tribolojik Özelliklere Etkisi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 1996.
5. Askeland, Donald R., The Science and Engineering of Materials, SI Edition, VNR International Co. Ltd., Hong Kong, 1988.
6. Rohatgi, P. K., Asthana, R., and Das, S., Int. Met. Rev. Vol. 31 (1986) pp. 115.
7. Hakanoğlu, İ. H., Parçacık Takviyeli Karma Malzemelerin Deformasyon Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1993.
8. Clegg, Dr. A. J., Cast Metal Matrix Composites, Metals Engineering, pp. 1991, 312-319.
9. German, R.M., Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation Princeton N.J., 1990.
10. Şen, Ş., Akbulut, H., Yılmaz, F., Osprey Yöntemi ile Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi, Metalurji Dergisi, 1997, 38-45.
11. Mehrabian, R., Riek, R. G., Flemings, M. C., Preparatin and Casting of Metal-Particulate Non-Metal Composites, Metallurgical Transactions, Volume 5, 1974, 1899-1905.
12. LI, H., Wang, J., Ding, G., HU, R., Shang, B., Proc. of ICCM-9, Madrid."SiC/Al Metal Matris Composites Using Atomozition and Co-Deposition."

13. Lavernia, E. J., U, W., Strengthening Behaviour of Particulate Reinforced MMCs, Scripta Metallur. et Material, Vol. 127, pp. 173-178, 1992.
14. Hull, D., An Introduction to Composites Materials, 6th Addition, Cambridge University Press, Camdridge, 1992.
15. ASTM Handbook Committee, Engineered Materials Handbook, Composites, Metals Park, Ohio, USA, 1988.
16. Cöcen, Ü., Önel, K., Metal Matrisli Kompozitler, Metalurji Dergisi, Cilt: 20, sayı: 104, s.18-31, 1996.
17. Unido; Advances in Materials Technology, Monitor, Metal Matrix Composites, n.17., Vienna, Austria, 1990.
18. Rohatgi, P., Cast Aluminium-Matrix Composites for Automotive Applications, JOM, , s. 10-15, 1991.
19. Surappa, M. K., et. al., Preparation and Properties of Cast Aluminium-Ceramic Particle Composites, Journal of Materials Science, 16, 938, 1981.
20. Oh, S.Y., Cornie, J. A., and Russel, K. C., Wetting of Ceramic Particulate with Liquid Aluminium Alloys, Part 2 study of wettability, Metallurgical Transaction A Vol. 20A, March 1989.
21. Mortensen, A., Interfacial Phenomena In The Solidification Proceeing of Metal-Matrix Composites, Material Science and Engineering A135, pp. 1-11, 1991.
22. Döküm ürünleri kataloğu, Etibank Seydişehir Alüminyum İşletmeleri A.Ş., Eskişehir, 1993.
23. Hoyt, L.S.(Editör), Metal Properties ASME Handbook First Edition Mc Graw Hill Book Co., 1954.
24. Demirci, H., Atik, H., Alüminyum Alaşımı-Al₂O₃ Kompozitlerinde Partikül Oranının Özelliklere Etkisi, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, s. 11-19., 1995
25. Degasal C3 (Alüminyum ve alaşımları için Exclorothane bazlı silindirik veya blok halinde gaz alma tableti), Tekno-metal Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, İstanbul, 1998.
26. Manumanth, G.S., Iron, G.A., Journal of Materials Science, Particle Incorporation by melt stirring for the production of metal-matrix composites, Department of Materials Science and Engineering Mc. Master University, 1280 Main Street West, Hamilton, Ontario, Canada L8S4L7., s.2459-2465, 1993

27. Tekin, E., Demirdişi Metaller ve Alaşımalarının Uygulamalı Optik Metalografisi, Segem(Sinai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü), Yayın No: 101, Ankara, 1982.
28. Akçakaya, R., Savaş, M. A. , Altıntaş, S., Alümina-Aluminyum Kompozitinin Döküm Yöntemiyle Üretilmesi, Doğa, s. 204-214, 1990.
29. Richardson, I.F., Casting of silicon carbide reinforced aluminium alloys, The Foundryman, November 1989.
30. Krishnan, B. P., Surappa, M.K., Rohatgi, P.K., The UPAL process : adirect method of preparing cast aluminium alloy-graphite particle composites,Journal of Materials Science 16, pp. 1209-1216, 1981.
31. Kayılı, M., The Production of glass particle reinforced aluminium composites by vortex method , Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü, Ankara, 1996.
32. Ray, S., Porosity in Foundry Composites Prepared by Vortex Method, Cast reinforced metal composites(proceeding of the international symposium on advances in cast reinforced metal composites), Held in conjunction with the 1988 world material congress ,Chicago, pp.77-80, USA, 1988.

ÖZGEÇMİŞ

Ayut ÇANAKÇI 28.05.1971' de Trabzon' da doğmuştur. İlk ve ortaokulu Akçaabat'ın Salacık Köyü' nde, Liseyi ise Akçaabat Lisesi' nde tamamlamıştır. 1990 yılında K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Bölümü' nü kazanmıştır. 1994 yılında Makina Mühendisi olarak mezun olmuştur. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü' nün açmış olduğu yüksek lisans sınavını kazanmıştır. 17.01.1996 tarihinde K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü' nün Makina Mühendisliği Anabilim Dalı' nda 50/d kadrosuna araştırma görevlisi olarak atanmıştır. Halen bu görevine devam etmektedir.