

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

106381

SIKIŞTIRMA DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN
SERAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ Al-Si ESASLI METAL
MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİ

Makine Müh. Tamer ÖZBEN

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN (YTÜ)

Prof. Mehmet Emin YURCU

Prof. Dr. Kutsal TÜLBENTCİ

İSTANBUL, 2001

106381
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. METAL MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK İNCELEMELERİ	7
2.1 Sürekli Fiber Takviyeli Kompozitler	8
2.1.1 Rijitlik	9
2.1.2 Mekanik Dayanım	10
2.1.3 Sürünme Dayanımı	10
2.1.4 Yoğunluk	11
2.1.5 Isıl Genleşme	11
2.1.6 Kırılma Tokluğu	12
2.1.7 Aşınma Direnci	13
2.1.8 Elektrik İletkenliği	13
2.1.9 Isıl İletkenlik	14
2.1.10 Korozyon ve Aşınma Direnci	14
2.2 Süreksiz Takviyeli Kompozitler	15
2.2.1 Dayanım	16
2.2.2 Süneklik	18
3. KOMPOZİT MALZEMELERİN UYGULAMA ALANLARI	20
3.1 Düşük Performanslı Kompozitler	20
3.2 Yüksek Performanslı Kompozitler	21
3.3 Metal Matrisli Kompozitler	24
3.4 Seramik-Seramik Kompozitler	26
4. KOMPOZİT MALZEME YAPI ELEMANLARI ve ÜRETİM YÖNTEMLERİ	27

4.1	Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	27
4.1.1	Polimer Matriksli Kompozitler	27
4.1.2	Seramik Matriksli Kompozitler	28
4.1.3.	Metal Matriksli Kompozitler	29
4.1.3.1	Metal Matriksli Kompozitlerde Kullanılan Takviyeler	32
4.2	Takviye Türleri	32
4.2.1	Fiber Kompozitler	32
4.2.2	Pul Kompozitler	33
4.2.3	Partikül Kompozitler	34
4.2.3.1	Sermetler	34
4.2.3.2	Dispersiyonla Kuvvetlendirilmiş Alaşımlar	36
4.2.4	Dolgu Kompozitler	37
4.2.5	Tabaka Yapılı Kompozitler	37
4.3	Matriks Malzemeleri ve Matriks-Takviye Arayüzeyi	38
4.4	MMK Malzemelerde Üretim Yöntemleri	40
4.4.1	Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	40
4.4.1.1	Sıkıştırma Döküm Yöntemi	41
4.4.1.2	Karıştırma Döküm	42
4.4.1.3	Metal Püskürtme	42
4.4.1.4	İn-situ Kompozit Malzemeler	43
4.4.2	Katı Hal Yöntemleri	43
4.4.2.1	Toz Metalürjisi	43
4.4.2.2	Folyoloların Sıcak Presleme ile Birleştirilmesi	44
4.4.2.3	Haddeleme	44
4.4.3	Diğer Yöntemler	44
5.	MATERYAL ve METOD	47
5.1	Materyal	
5.1.1	Matriks Alaşımı	47
5.1.2	Takviye Malzemesi	48
5.2	Metod	
5.2.1	Kompozit Malzemelerin Üretilmesi	49
5.2.2	Yoğunluğun Saptanması	50
5.2.3	Sertliğin Saptanması	50
5.2.4	Darbe Dayanımının Saptanması	50
5.2.5	Çekme Mukavemetinin Saptanması	51
5.2.6	Metalografik İncelemeler	51
6.	TARTIŞMA VE SONUÇ	52
6.1	Yoğunluk Değerleri	52
6.2	Sertlik Değerleri	53
6.3	Darbe Dayanımı Değerleri	56
6.4	Çekme Mukavemeti Değerleri	58
6.5	Metalografik İncelemeler	61
7.	SONUÇ	72
	KAYNAKLAR	77

EKLER.....	79
Ek 1 Deneysel çalışmada kullanılan çekme makinası	79
Ek 2 Deneysel çalışmada kullanılan çentik açma makinası.....	80
Ek 3 Kompozit malzeme üretim ve deneysel çalışma akış şeması.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	82



SİMGE LİSTESİ

σ_f	Fiber çekme mukavemeti
σ/ρ	Spesifik (özgül çekme) mukavemeti
γ	Arayüzeyde meydana gelen kuvvet
θ	İslatma açısı
V_m	Matriks hacim oranı
ε_m	Matriksteki uzama
ε_f	Fiberdeki uzama
k	Elektrik iletkenlik katsayısı
$1/k$	Isıl iletkenlik katsayısı
α	Isıl genleşme katsayısı
L	Fiber uzunluğu
L_k	Kritik fiber uzunluğu
ΔL	Fiber eksenine paralel yüzde uzama
Δh	Fiber eksenine dik yüzde uzama



KISALTMA LİSTESİ

APIC	Yüksek Basınçlı İnfiltrasyon Döküm
MMK	Metal Matriksli Kompozitler
SMMK	Süreksiz Takviyeli Metal Matriksli Kompozitler
KD	Kum Döküm
SD	Sıkıştırma Döküm
BD	Basınçlı Döküm
CTP	Cam Takviyeli Polimerler



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Metalik malzemeler ile bazı kompozit malzemelerin spesifik mukavemet değerlerinin sıcaklıkla değişiminin karşılaştırılması	7
Şekil 2.2	Fiber eksenine yönünde yüklenmiş kompozit	8
Şekil 2.3	Sürekli fiber kompozitlerin genel σ - ϵ diyagramı.....	9
Şekil 2.4	Bazı malzemeler ve kompozitlerin elastik modül ve yoğunluğa bağlı değişimleri.....	11
Şekil 2.5	Alüminyum matris içindeki hacimsel % SiC oranına bağlı olarak ısı genleşme katsayısının değişimi ve buna eşdeğer metal örnekleri	12
Şekil 2.6	Çatlağı durdurma mekanizması	13
Şekil 2.7	Çatlağı bölme mekanizması	13
Şekil 2.8	Sürekli fiberlerde çekme gerilmesinin boyuna göre değişimi	15
Şekil 2.9	Kompozit malzemeyi oluşturan yapı elemanlarının gerilme altındaki uzama davranışları	19
Şekil 4.1	Al_4C_3 oluşumu için gerekli Si oranları ve sıcaklık değişimi.....	30
Şekil 4.2	Partikül takviyeli kompozitler.....	34
Şekil 4.3	Dispersyonla kuvvetlendirilmiş kompozitler	35
Şekil 4.4	Kompozit bir malzemede arafaz ve arayüzeylerin görünümü	37
Şekil 4.4	Temas açısını ve arayüzey kuvvetlerini gösteren sıvı damlacığı metoduna göre ıslatma olayının şematik gösterimi	38
Şekil 5.1	Al-Si faz diyagramı.....	47
Şekil 5.2	Çentik darbe cihazına uygun standartlarda hazırlanmış yuvarlak kesitli çentik darbe numunesinin şematik görünümü.....	49
Şekil 5.3	Çekme cihazına uygun standartlarda hazırlanmış yuvarlak kesitli çekme numunesinin şematik görünümü.....	49
Şekil 6.1	Teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen kompozitlerin yoğunluk değişimleri	53
Şekil 6.2	Gravite döküm yöntemi ile elde edilen kompozit malzemelerin Brinell Sertlik değerleri.....	54
Şekil 6.3	Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen kompozit malzemelerin Brinell Sertlik değerleri.....	55
Şekil 6.4	Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş kompozit malzemelerin Brinell Sertlik değerleri.....	55
Şekil 6.5	Gravite döküm yöntemi ile elde edilen kompozit malzemelerin darbe dayanım değerleri.....	57
Şekil 6.6	Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen kompozit malzemelerin darbe dayanım değerleri.....	57
Şekil 6.7	Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş kompozit malzemelerin darbe dayanım değerleri.....	58
Şekil 6.8	Gravite döküm yöntemi ile elde edilen kompozit malzemelerin Çekme mukavemet değerleri	59
Şekil 6.9	Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen kompozit malzemelerin çekme mukavemet değerleri	60
Şekil 6.10	Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş kompozit malzemelerin çekme mukavemet değerleri	60

Şekil 6.11	Gravite döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	63
Şekil 6.12	Gravite döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	63
Şekil 6.13	Sıkıştırma döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	64
Şekil 6.14	Sıkıştırma döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	64
Şekil 6.15	Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	65
Şekil 6.16	Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	65
Şekil 6.17	Gravite döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	66
Şekil 6.18	Gravite döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	66
Şekil 6.19	Sıkıştırma döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	67
Şekil 6.20	Sıkıştırma döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	67
Şekil 6.21	Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	68
Şekil 6.22	Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	68
Şekil 6.23	Gravite döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	69
Şekil 6.24	Gravite döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	69
Şekil 6.25	Sıkıştırma döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	70
Şekil 6.26	Sıkıştırma döküm yöntem ile elde edilen ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	70
Şekil 6.27	Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	71
Şekil 6.28	Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı	71
Şekil 6.29	SEM'de çekilen % 10 SiC takviyeli gravite döküm yöntemi ile üretilen kompozit malzeme	74
Şekil 6.30	SEM'de çekilen % 15 SiC takviyeli gravite döküm yöntemi ile üretilen kompozit malzeme	74
Şekil 6.31	SEM'de çekilen % 15 SiC takviyeli sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen kompozit malzeme	75
Şekil 6.32	SEM'de çekilen % 10 SiC takviyeli gravite döküm yöntemi ile üretilen kompozit malzeme	75

Şekil 6.33	SEM'de çekilen % 15 SiC takviyeli dövülmüş kompozit malzeme	76
Şekil 6.34	SEM'de çekilen % 10 SiC takviyeli dövülmüş kompozit malzeme.....	76



ÖNSÖZ

Kompozitler, farklı özelliklere sahip malzemelerin farklı üretim tekniklerinin kullanılarak birleştirilmesi ile elde edilen ve bir çok uygulama alanı bulunan bir malzeme grubudur. Malzemelerin ve üretim tekniklerinin seçimi, amaca uygun malzeme elde etmekte en önemli aşamadır. Özellikle metal matriksli kompozitlerde, matriks malzemesinin üretim tekniğine uygun özellikler sergilemesi gerekir. Örneğin Al-Si alaşımı döküme çok uygundur. Ayrıca yine metal matriksli kompozitlerde matriks-takviye uyumu önemlidir. Takviye-matriks arasında oluşan iyi bir bağlanma sonucu dayanımı yüksek arayüzey bağı ve dolayısı ile mekanik özellikleri geliştirilmiş bir kompozit malzeme elde edilmektedir. Malzeme seçiminde kullanılan Al-Si matriks malzemesine uygun olduğu ve arayüzeylerde istenmeyen intermetalik bileşiklerin oluşumunda en az etkiye sahip takviye türlerinden biri silisyum karbürdür.

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre kıyaslandığında en büyük dezavantajı üretim maliyetinin yüksek olmasıdır. Sıkıştırma döküm gibi basınç kullanılarak elde edilen kompozitler üretim maliyeti sıralamasında düşük seviyelerde kabul edilebilecek durumdadır. Ayrıca bu tür üretim yöntemleri ile elde edilen kompozitlerde mekanik özelliklerde önemli iyileşmeler gözlenmektedir.

Bu çalışmaya başlamamda teşvik eden ve daha sonraki aşamalarda desteğini hiç esirgemeyen başta hocam, sayın Prof. Dr. Aysegül AKDOĞAN'a, malzeme üretiminde ve incelenmesinde bilgilerini paylaşan ODTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Ali KALKANLI'ya, desteklerinden dolayı Dicle Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanlığına ve Makina Müh. Bölümü öğretim elemanlarına, deneysel çalışmalar için laboratuvar imkanlarından yararlanma imkanı sağlayan Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığına, Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve teknisyenlerine ve tüm eğitim hayatım süresince bana büyük destek sağlayan aileme sonsuz teşekkür ederim.

ÖZET

Gelişen teknoloji, malzeme biliminde de yeni uygulamaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Şüphesiz bunda mevcut malzemelerin geliştirilmeleri yanı sıra, malzemelerin teknolojik yapılara uygun alaşımlar halinde kullanılmasının büyük katkısı olmaktadır. Kompozitler, otomotivden havacılığa, denizcilik sanayiinden sağlık sektörüne kadar birçok uygulamada yer almaktadır. Öte yandan uzay, havacılık ve otomotiv endüstrisindeki gelişmeler geleneksel malzemelerin performanslarını zorlamaktadır. Bu nedenle kompozitlere geleceğin malzemeleri gözüyle bakılmaktadır. Gelişen bu farklı teknolojilerdeki uygulamalara cevap verebilecek ve aynı zamanda üretim maliyetinden kaynaklanan sınırlamaları ortadan kaldırmak araştırmacılar için önemli bir amaçtır. Bu amaca hizmet edecek önemli parametreler kompozitlerin döküm yönteminin seçimi ve geliştirilmesi ile şekillendirilme kabiliyetleridir.

Al Si7 Mg2 alaşımlı metal matriks ve ağırlıkça % 5, 10, 15 oranlarında ve 30-60 µm boyut aralığında partikül silisyum karbür (SiC) kullanılarak kompozit malzeme üretilmiştir. Üretim yöntemi olarak gravite döküm ve sıkıştırma döküm yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca sıkıştırma döküm sonrası üretilen kompozit malzemelerin bir bölümü 400 °C'de 1 saat bekletilerek dövülmüştür. Farklı üretim yöntemlerine ve farklı takviye oranlarına sahip malzemelerin yoğunluk, sertlik, çekme mukavemeti, darbe dayanımı ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

Sıkıştırma döküm sonrası üretilen kompozitlerin çekme mukavemeti ve sertliklerinde önemli artışlar elde edilebilmektedir. Kompozitin basınç altında olması ve hızlı soğumanın söz konusu olduğu bu yöntemde gravite döküme göre daha ince taneli yapı elde edilmektedir. Bu yöntemin mekanik özelliklerin geliştirilmesinde en önemli etken, takviye-matriks arasındaki bağın dayanımının artmasıdır. Özellikle gravite döküm sonrası arayüzelerde oluşan makro boşluklar sıkıştırma döküm sonrası oldukça azalmıştır. Ayrıca arayüzey-takviye ve arayüzey-matriks arasında oluşması muhtemel mikro boşlukların meydana gelmesi sıkıştırma döküm yöntemi ile engellenebilmektedir. Ayrıca sert ve kırılğan yapılar sıkıştırma döküm sonrasında azalma gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, sıkıştırma döküm, metal matriks, silisyum karbür, partikül

ABSTRACT

Advanced technology causes new applications to be developed in the materials science. It is also noticed that technological structure of materials became available from alloying point. Composites are widely used in automotive, aerospace, naval and medical industries. Development in the aerospace and automotive industries have influenced and forced traditional materials performance. For this reason, it can be said that composites are the materials of the future. To overcome problems in the different advanced technological applications and restrictions in the production cost are the main aims of researches. Therefore important parameters in composites are to select and improve proper casting method, and forming possibility.

Al Si7 Mg2 aluminum alloy has been employed as a metal matrix, between the dimensions of 30-60 μm particulate silicon carbide (SiC) were used as reinforcement with % wt 5,10,15. AMC's have been fabricated by gravity and squeeze casting processes. After squeeze casting some composites are heated up to 400 °C and kept for one hour at this temperature and then these samples have been forged. Different production methods and various reinforcement rates were investigated from density, hardness, tensile stress, impact strength (charpy) and microstructures points.

Composites produced by squeeze casting method showed significant increase in tensile stress and hardness. Compare to gravity casting, grain size in composites under pressure and high cooling rate were small. The main factor to develop the mechanical properties of this casting method is to increase strength between reinforcement are matrix bond. Especially macrospace after gravity casting almost decreased after squeeze casting. Also possible porosity between interface-reinforcement and interface-matrix can be prevented by squeeze casting method. It has been observed that hard brittle intermetallic structure percentage decreased at squeeze casting.

Key Words: Composite, squeeze casting, metal matrix, silicon carbide, particle.

1. GİRİŞ

Mühendislikte kullanılan malzemeler genellikle metaller, seramikler ve polimer malzemelerdir. Bu üç grubun birbirlerine göre üstün olan özellikleri olmasına karşın metallerin tasarım ve uygulama aşamasında yanlış yapma riskinin en az olması nedeni ile kullanım alanları daha yaygındır. Mukavemet/ağırlık, mukavemet/yoğunluk gibi spesifik oranlarının klasik malzemelere göre çok daha yüksek olması kompozit malzemelerin otomotiv endüstrisinde de kullanılmasına yol açmıştır. Teknolojinin hızlı gelişmesinin getirdiği kaçınılmaz sonuçlardan biri olarak bu alanlarda kullanılan malzemelerin ihtiyaca cevap verebilmesi, makine ve malzeme mühendislerinin araştırmalarını hızlandırmasına neden olmuştur. Özellikle uzay ve hava endüstrisinde gerekli teknolojik özelliklere sahip malzemelerden en önemlilerinden biri olan kompozit malzemeler bu araştırmalara değer mekanik özellikler sergilemektedir.

Kompozit malzemeler metal, seramik ve polimer gibi iki veya daha fazla farklı malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemedeki toplamak, veya yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemelerdir. Atomsal veya moleküler düzeyde birleştirilen malzemeler (örneğin alaşımlar), makroskopik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmazlar.

Kompozitler matris malzemesine göre seramik, polimer ve metal matrisli kompozitler olarak gruplandırılmaktadır. Seramik matrisli kompozitlerin düşük tokluk değerleri, polimer matrisli kompozitlerin ise yüksek sıcaklıklardaki mukavemetsizliği, metal matrisli kompozitlere gösterilen ilgiyi arttırmaktadır.

Metal matrisli kompozitlerde, matris metali olarak bir çok metal ve alaşımlarının kullanılması mümkün olmakla beraber takviye malzemesi ile uygun birleşmelerin gerekliliği bu alanın daralmasına neden olmaktadır. Takviye malzemesi olarak fiber, partikül ve whisker şeklinde olabilen oksitler, nitrürler ve karbürler kullanılabilir. Matris elamanı ile takviye elamanının uygun seçilmesi kompozit malzemenin üretiminde çok önemli bir aşamadır. Bu seçimin matris ve takviye elamanının birleşme esnasında birbirlerinin özelliklerini ve sonuçta kompozit malzemenin özelliğini düşürmeyecek şekilde yapılması gerekmektedir. Bu uygunluğu üretim esnasında sağlamada karşılaşılan zorluklar kompozit malzemelerin üretim maliyetini yükseltmekte ve bu durum diğer malzemelerle olan rekabetini güçleştirmektedir.

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini tespit ederken geliştirilen yaklaşımlar ve

hesaplamalar, onu oluşturan malzeme bileşenlerinin mekanik özellikleri ile ilgilidir. Fakat bazı kompozit malzemelerin; üretim yöntemlerinden ve kullanılan takviye malzemelerin fiziksel, kimyasal özellikleri ile yapı içerisindeki süreklilikleri ve dağılımlarına göre farklı yaklaşımlar geliştirmek zorunda kalmaktadır.

Matrikste çok eksenli yüksek gerilmelerinin bulunması aynı zamanda, süreksiz metal matriksli kompozitlerde matriksin sünekliliğini azaltır. Embury, bu gerilmelerle matriksteki boşluk büyümesinin çok hızlı olması nedeniyle sünekliliği belirleyen etkenin boşluk oluşumu safhası olduğunu ileri sürmektedir (Cöcen, 1997).

Kompozitin sünekliliğini sınırlayan başka bir faktörde katkı fazı tanelerinin dağılımıdır. Birkaç istisna dışında çatlak daima tanelerin bol olduğu bölgelerde başlar ve tane dağılımı homojen olduğunda oldukça rasgele bir yol izler. Tanelerin hacim oranının yüksek olduğu bölgelerde tercihli boşluk oluşumu gözlenmiştir ki bu lokal plastik değişiminin sınırlanmasının önemini ortaya koymaktadır.

Belirli bir hacim oranında partikül boyutunun ya da partiküller arası boşluğun artması döküm ve dövülmüş kompozit malzemelerde mukavemet ve süneklilik artmaktadır. Daha küçük hacim oranlarında grafit takviyeli alüminyum alaşımlı dövülmüş kompozit, döküm kompozite göre daha iyi mukavemet ve süneklilik göstermektedir. Buna rağmen grafit partikül hacim oranlarında döküm kompozitleri daha iyi mukavemet ve süneklilik göstermektedir. Süreksiz takviyeli metal ve intermetalik matriksli kompozitlerde güçlendirme mekanizması, matriksin pekleşmesi ve temel yapının sağlamlığı ile açıklanabilir. Tartışılması gereken önemli bir sorun ise, arayüzeyin etkisinin varlığı ve özellikle güçlendirmenin yalnızca yük transferi ile açıklanamamasıdır (Ejiofor, 1997).

Üretim yöntemlerinden kaynaklanan iç yapı farklılıkları malzemenin özellikle çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve süneklilik gibi mekanik özelliklerin iyileştirilmesi ile doğrudan ilgilidir.

Sıkıştırma döküm kompozitleri, kum döküm kompozitlerine göre mikroyapı olarak oldukça farklı özellikler gösterirler. Bu farklılıklar takviye dağılımına ve ayrıca alaşım içindeki silisyum miktarına, dendrit hava boşluğuna, tane boyutuna ve poroziteye bağlıdır. Dendrit hava boşluğu, dendrit hücre boyutu ve segregasyon basınçlı dökümde oldukça azdır. Dendrit hava boşluğu basınçlı dökümde kum dökümüne göre yaklaşık üç kat daha azdır (Levondowski, 1992).

Tek başına silisyum ilavesi kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli bir değişiklik

yaratmamsına karşın, yaklaşık % 1.5 Mg ilave edilmesi ile çekme mukavemetinde yaklaşık % 10 artış, kırılma tokluğunda ise değişme olmadığını gözlemlemiştir. Mg ve Si karışımının birlikte ilavesi ile, kompozitin çekme mukavemetinde %25 artış görülmüş bununla birlikte kırılma tokluğunun Mg konsantrasyonuna bağlı olduğu tespit edilmiştir. %0.5 `ten daha az Mg ilavesi ile Si önceliğindeki karışımlarda kırılma tokluğunu azaltmaktadır. Mg miktarı %1.5 oranına yükseltildiğinde kırılma tokluğunda iyileşmeler olduğu hatta yükseldiği gözlenmiştir. Takviye partikül boyutunun azalması kompozitin çekme mukavemetini arttırmakta, kırılma tokluğunda ise partikül boyutunun artışı ile azalmalar gözlenmektedir (Slezenev, 1998).

Lloyd (1989), % 10 ve % 20 hacim oranlarında SiC içeren A356 alaşımının farklı sıcaklıklarda akıcılığını incelemiştir.. Alüminyum matriks ile SiC etkilenmesi ile;



oluşan reaksiyonda meydana gelen Al_4C_3 formları, alaşımın silisyum oranının ve matriksteki silisyum alaşımlarının artması ile eriyikte kararlı bir bileşik olarak oluşurlar.

Reaksiyon sonucu meydana gelen ürünler eriyiğin viskozitesinde büyük artışlara neden olur ki bu da eriyik akıcılığını önemli bir şekilde etkiler (Samuel,1992).

Karışık kompozitler ($Al\ Si_7\ Mg/SiC_p/Grafit_p$) ile yapılan bir çalışmada (Popescu vd., 2000), grafit partikül oranı azaltılırken, SiC ilavesi ile mukavemet ve sertlik karakteristiklerinin iyileştiği gözlemlenmektedir. Ayrıca uygulanan ısı işlemlerle mekanik özelliklerin geliştirilebilmesine önemli rol oynamaktadır.

Matriks malzemesi 2124Al alaşımı ve %25 SiC takviyeli kompozit malzemenin farklı sıcaklıklarda aşınma dayanımının incelenmesinde sisteme verilen enerjinin absorbe edilebilmesi aşınma oranı ve mekanizması bakımından geçiş sıcaklığı 100 °C belirleyici faktör olduğu tespit edilmiştir. 100 °C`den düşük sıcaklıklarda yaşlandırılmamış numuneler daha az aşınırken 100 °C`den sonraki yaşlandırılmış numunelerin daha az aşındığı tespit edilmiştir. 100 °C`den önce düşük sürtünme katsayısı ile orta şiddette abrasiv aşınma sergileyen numuneler 100 °C`den sonra hızla artan sürtünme katsayısı ile şiddetli adhesiv aşınmaya geçiş göstermektedir (Muratoğlu,1999).

Döküm ve dövme Al-SiC_p kompozitlerinin aşınma davranışının incelenmesi sonucunda 0.08 ve 5.28 MPa gerilme seviyesine kadar döküm ve dövme sonrasında kompozitlerin katkısız matriks alaşımına göre aşınma miktarında belirgin azalma olduğu tespit edilmiştir. Yüksek

gerilme seviyesinde ise (1MPa ve 2 MPa) bu durum ortadan kalkmaktadır. Dövme işleminin aşınma dayanımının artmasında olumlu etkisi olduğu tespit edilmiş ve nitekim dövme sonrasında kompozitlerin sertliği düşmesine rağmen döküm kompozitlerine göre aşınma dayanımında belirgin bir iyileşme olduğu görülmüştür (Özdemir,1999).

Uçaklar için istenilen en önemli malzeme özellikleri mukavemet ve yoğunluk olmuştur. Uçak tasarımcıları için en önemli özellikler uçaktaki kanat, gövde ve düşey kuyruk gibi kısımların değişik yükleme şartlarındaki mekanik davranışlarıdır. Örneğin üst kanatın yüzeyi, basma gerilmesine maruz kalarak ve yüksek akma dayanımı gerektirir. Çünkü kanat kalkış esnasında yukarı doğru esner ve bundan dolayı da üst kanat yüzeyi birçok uçuş esnasında basmaya maruz kalacak şekilde tasarlanmak zorundadır (Taminger, 1999).

İdeal olarak, tasarımcılar bir malzeme seçerken var olan özelliklerin en iyisini seçerler, fakat gerçekte ticari kaygıların da dikkate alınması gerekir. Uçak tasarımcıları, aday malzemelerini belirlemede karar verirken servis şartlarını da göz önüne almak zorundadırlar. Askeri uçaklarda fiyat uçağın performansına göre ikinci plandadır. Bu sebeple titanyum ve metal matriksli kompozitler, askeri uçaklarda uzun süre kullanılmıştır. Ticari uçaklarda ise rekabet pazarı söz konusu olduğundan ekonomik uygulanabilirlik esastır.

Kompozit malzemelerin farklı yapı elamanlarından oluşması, yüksek sıcaklıklardaki uygulamalarda farklı gerilmelerin oluşmasına sebep olur ve bu durum da ek tasarım problemleri yaratır. Bunun sebebi, termal gerilmeler (termal genişmeleri farklı olan elamanların genişmesi) ve termal enerji sebebiyle metalürjik değişimlerin oluşmasıdır.

Son yıllarda geliştirilen Advanced Pressure Infiltration Casting (APIC) yöntemi kompozit malzeme üretiminde önemli avantajlar sağlamıştır. Birincisi kullanılan alaşımların ıslatma kabiliyetlerini dikkate almadan geniş bir malzeme kullanımına olanak tanınmasıdır. İkincisi, kompozit malzemenin dökümü esnasında gerektiği kadar yüksek hacim oranında takviye elamanı kullanma imkanı vermesidir (Slezenev, 1998).

SiC, oda sıcaklığında sünek olan Al-Si alaşımının yüksek sıcaklıkta mukavemetinin ve sertliğinin artmasına sebep olduğu gibi, çevre şartlarına göre aşınma direncinin iyileşmesini sağlar. Diğer disperse elemanlarının tersine termal ve kimyasal uyumu, dayanımı ve mukavemetinin daha iyi olduğu ileri sürülebilir (Ejiofor, 1997).

Bir diğer araştırma, Ramani vd., (1993) tarafından gözlemlenmiştir; hacimce %20 ve %30 SiC/6061 kompozitlerinde porozite ve disperse fazın yüzde hacmi arasında lineer bir ilişkinin varlığından söz edilmektedir. Partikül takviyeli kompozitlerde kırılma başlangıcı kompozitin

ve matriksin özelliklerine bağlı olarak, tane kırılması, arayüzey–matriks hasarı ve inkulüzyon kırılması ile ilgilidir. Wu (1987) ve Weng (1998) benzer çalışmalarda Al-SiC kompozitlerinde elektron mikroskopunda anında yapılan çatlak ilerlemesi gözlemlerinde çatlağın yüklemmeden önce tanelerden mevcut çatlaklarda ilerlediğini bulmuştur.

Sünek alüminyum matriks ile sert kırılğan tane arasında var olan uyumsuzlukla birlikte takviye tanelerinin hemen civarında büyük gerilmelerin oluşumu buralarda tanelerin çatlmasına yol açan büyük gerilme konsantrasyonu ile sonuçlanır. Ve öncelikle hemen civarındaki matriks hasara uğrar. Gevrek katkının kırılması beraberinde onu çevreleyen matriksin hasara uğraması boşlukların oluşumunun sebebidir. İnce mikro boşlukların çok azı irileşir ve bir kısmı kırık yüzeylerinde görülebilen sığ çukurlardır.

Lloyd (1998), süreksiz katkılı kompozitlerdeki üç olası kırılma davranışını özetlemiştir. Birincisi matriks–takviye arayüzeyi kuvvetli ise ve dayanımı yüksek bir matriksle birlikte ise katkı fazı kırılma gerilmesine kadar yüklenecek ve çatlayacaktır. İkincisi arayüzey zayıf ise çatlak ara yüzeyde ilerleyecektir. Son olarak da matriks, ara yüzey ve katkı fazının dayanımından daha zayıf ise kırılma normal boşluk oluşumu ve büyümesiyle matriks içinde oluşacaktır.

Li (1991), kuantum kimyasını kullanılarak Al ve SiC arasındaki arayüzeyleri araştırmış ve arayüzeylerde kimyasal etkileşim olmadığından bağ dayanımının alüminyumun teorik dayanımından daha yüksek olduğu sonucunu çıkarmıştır. Nutt vd., (1995) boşlukların katkı matriks arayüzeyinde oluştuğunu gözleyerek hasar başlangıcının tamamen arayüzey bağlarının kompasından ziyade arayüzeyler yakınında gözenek nükleasyonu ve büyümesinin yer alabileceğini savunmaktadır.

Bu çalışmada amaç, farklı takviye oranlarına sahip kompozit malzemelerin, gravite döküm yöntemi ile sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen kompozit malzemeler ve basınçlı döküm sonrası 400 °C’de 1 saat süreyle tavlanan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırmaktır. Matriks malzemesi olarak, düşük yoğunluğa ve takviye malzemelerine uyumu gibi özelliklerinden, alüminyum seçilmiştir. Takviye malzemesi olarak da yüksek elastiklik modülünün yansira alüminyum ile birleşmesi esnasında, yapının özelliklerini olumsuz etkileyecek reaksiyonlar oluşturmaması sebebiyle silisyum karbür kullanılmıştır.

Matriks malzemesi olarak; Al-Si esaslı ETİAL-140 alaşımına %99.9 saflıkta alüminyum ilave edilerek ağırlıkça % 7 Si bulunan alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak partikül boyutunda ve üç farklı ağırlık oranında SiC partikülleri kullanılmıştır.

İndüksiyon ocağında ergitilen matriks malzemesine SiC konmadan önce ıslatma açısını düşürüp, ıslatma kabiliyetini arttıran Mg ilave edilerek N₂ gazı üflenmiş, katılaşına kadar grafit çubukla karıştırılan malzeme, takviye elamanı ilave edilerek kompozit malzeme hazırlanmıştır. Hazırlanan bu metal matrkсли kompozit malzemedden daha sonra gravite döküm ve sıkıştırma döküm yöntemleri kullanılarak kompozit malzeme elde edilmiştir. Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen kompozit malzemelerin bir bölümüne ise dövme işlemi uygulanmıştır.



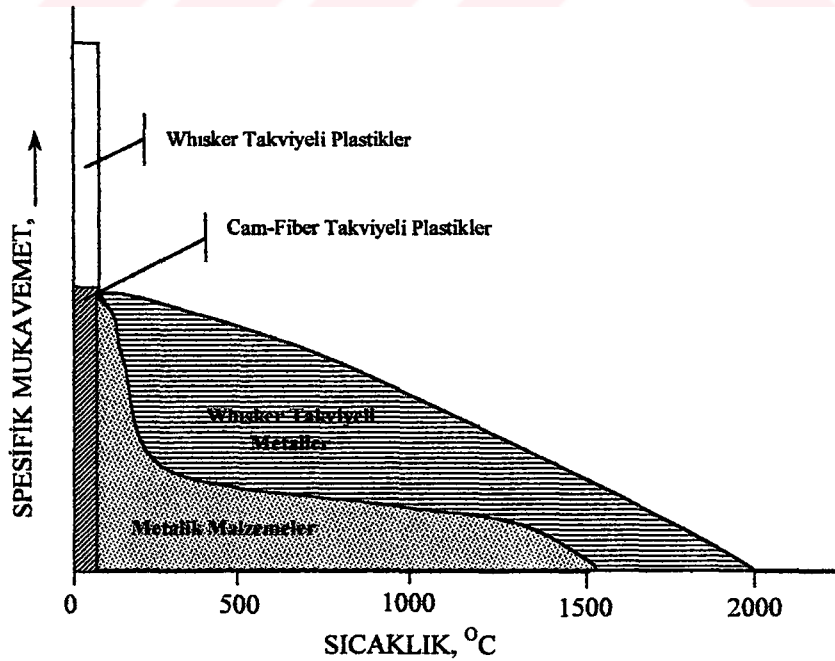
2. METAL MATRİKSİLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK İNCELEMELERİ

Kompozitlerin pek çoğunun heterojen ve anizotropik karakterde olması mekaniksel analizlerini güçleştirir. Kompozitlerin mekaniksel davranışları mikro mekaniksel ve makro mekaniksel analizlerle belirlenebilir.

Mikro mekaniksel analizlerde yapı bileşenlerinin kendi özelliklerinden hareket ederek ve aralarındaki karşılıklı etkileşimleri göz önünde tutarak kompozit malzeme özelliklerinin hangi sınırlar içerisinde değişeceği hesaplanmaya çalışılır. Bu tür analizler kompozit malzeme tasarımı açısından oldukça yararlıdır.

Makro mekaniksel analizlerde ise kompozit malzemenin uygulama şartlarındaki mekanik özelliklerinin değişimi ve davranışı incelenir. Örneğin dışarıdan uygulanan çekme gerilmelerinin oluşturacağı deformasyonlar, yapı bileşenlerinin ayrı ayrı deformasyonları yerine kompozitin deformasyonu cinsinden ifade edilmektedir.

Gerek mikro mekanik analizler gerekse makro mekanik analizlerle oluşturulan formülasyonlar sonucu hesaplanan değerler, birçok kabullerin ileri sürülmesiyle elde edilmiş değerlerdir. Bu yüzden aşağıda belirtilen durumlarda, deneysel olarak ölçülen değerlerle, hesaplanan değerler arasında oldukça büyük farklılıklar olabilmektedir.



Şekil 2.1 Metalik malzemeler ile bazı kompozit malzemelerin spesifik mukavemet değerlerinin sıcaklıkla değişiminin karşılaştırılması

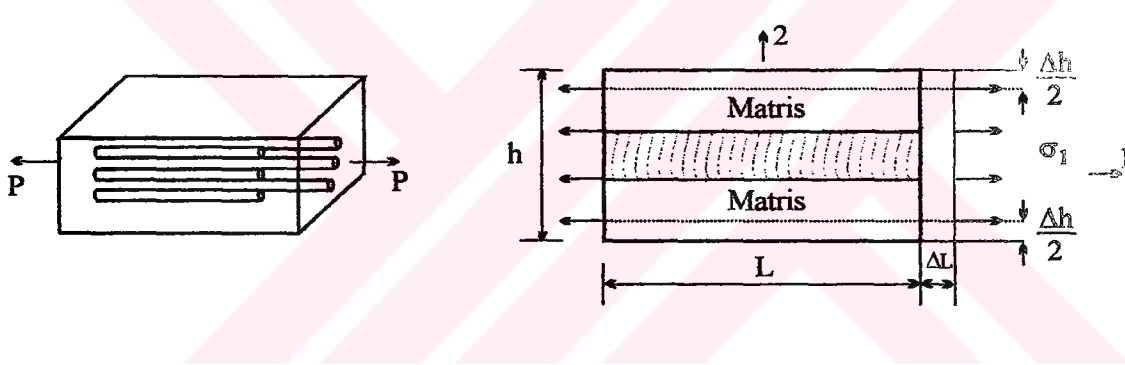
Bu duruma neden olarak;

- Kompozit malzemede kullanılan takviyelerin tümünün homojen yapı ve boyutta olmayışı
- Kompozit üretimi sırasında takviyelerde meydana gelen mekaniksel hatalar
- Takviye matriks ara yüzey bağının zayıf olması
- Takviyelerin matriks içerisinde düzgün homojen bir şekilde dağıtımlarındaki güçlükler.
- Bütün bunların yansira mekaniksel analizlerin basitleştirmek amacıyla yapılan bazı varsayımlarının gerçek durumla olan uyumsuzlukları

söylenebilir (Demirkesen,1991).

2.1 Sürekli Fiber Takviyeli Kompozitler

Gelişmiş fiber takviyeli kompozit malzemeler, her biri farklı doğrultuda takviye edilmiş çok sayıda tabakadan oluşur. Böyle bir malzemenin özelliği, çoğu metallerde olduğu gibi homojen ve izotrop malzemelerden çok farklıdır.



Şekil 2.2 Fiber ekseninde yüklenmiş kompozit.

1 ve 2 eksenleri kompozitin asal eksenleri olarak adlandırılır ve fiberlere paralel ve dik yönleri temsil eder.

1- yönünde bir yüklemde "eş deformasyon durumu" söz konusudur ve

$$\epsilon_1 = \epsilon_m = \epsilon_f = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.1)$$

$$\sigma_f = E_f \cdot \epsilon_1 \quad (2.2)$$

$$\sigma_m = E_m \cdot \epsilon_1 \quad (2.3)$$

Kompozit malzemedeki σ_1 gerilmesi matriks ve fiberlerdeki gerilmelerin toplamına eşittir.

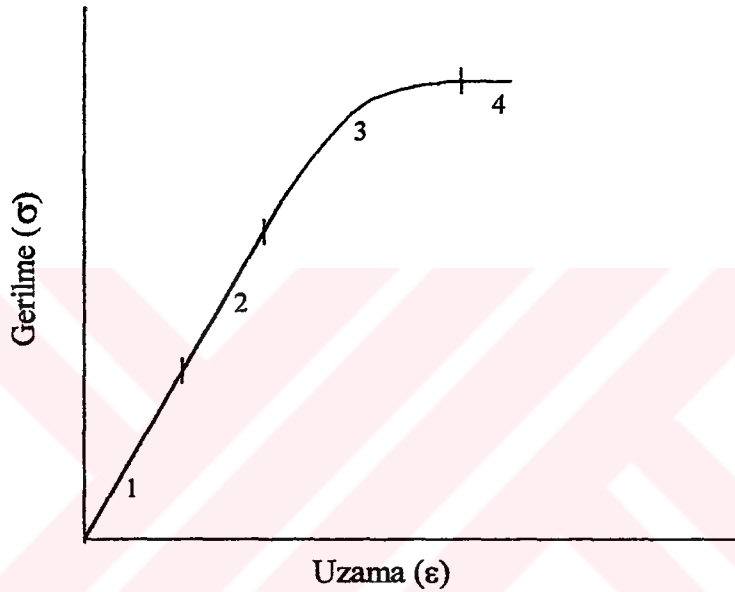
$$V_f + V_m = 1 \quad (2.4)$$

$$\sigma_1 = \sigma_f + \sigma_m \quad (2.5)$$

ve sonuçta aşağıdaki “karışımlar kuralı” olarak adlandırılan denklem elde edilir.

$$E_1 = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (2.6)$$

Sürekli fiberlerle tek yönlü olarak pekiştirilmiş kompozitlerin gerilme-deformasyon diyagramlarında fiber ve matriksin sünek veya gevrek davranmasına bağlı olarak en genel durumda 4 ayrı bölge görülebilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Sürekli fiber kompozitlerin genel σ - ϵ diyagramı

- 1.Bölge: Fiber ve matriksin elastik olarak deforme oldukları bölge.
- 2.Bölge: Fiberlerin elastik deformasyonunun devam ettiği, matriksin ise plastik deformasyon gösterdiği bölge.
- 3.Bölge: Her iki bölgenin de plastik deformasyon gösterdiği bölge.
- 4.Bölge: Fiberde kırılmanın başladığı ve bundan hemen sonra kompozitte kırılmanın meydana geldiği bölge.

2.1.1 Rijitlik

Rijitlik, mühendislik uygulamalarında çok önemli bir tasarım parametresidir. Aşırı elastik sapmanın önlenmesi veya buna karşı direncin artırılması oldukça zor bir olaydır. Özellikle küçük katkılarla ve mikro yapının kontrol edilmesi ile rijitliğin artırılması çok daha güçtür. Uzay araçlarının bazı parçalarının yapımında, kırılma ve toksit problemlerine rağmen

planda arandığı, transmisyon elamanları, hassas ölçü aletleri, bisiklet türü binek araçların gövdeleri, yat direkleri, sondaj tijler MMK malzemelerin uygulama alanlarıdır. Ekstrüzyon yöntemi ile Al-SiC_p ile üretilen 10 m uzunluğunda ve 45 cm çapında yelken direği, tek parçada imal edilebilmiştir. Uzay mekiklerinin % 60 bor fiber takviyeli alüminyum matriksli kompozit malzemedan imal edilen kargo bölümlerinin iskeleti, MMK malzemeler için kritik bir özgül rijitlik uygulaması olarak söylenebilir.

2.1.2 Mekanik dayanım

Takviye elemanları ile malzeme dayanımının, buna bağlı olarak akma sınırının, yorulma dayanımının yükseltilmesi bir çok tasarımda gerekli bir faktördür. Ancak bu mekanik özelliklerin iyileştirilmesi çoğu zaman kırılma tokluğunun azalmasına neden olur. Uçak iniş takımlarında yüksek dayanımlı, düşük tekrarlı yorulma direncine sahip alaşımlara (Ti-Al6-V4) alternatif olarak MMK malzemelerin kullanılması daha uygun olabilir.

2.1.3 Sürünme dayanımı

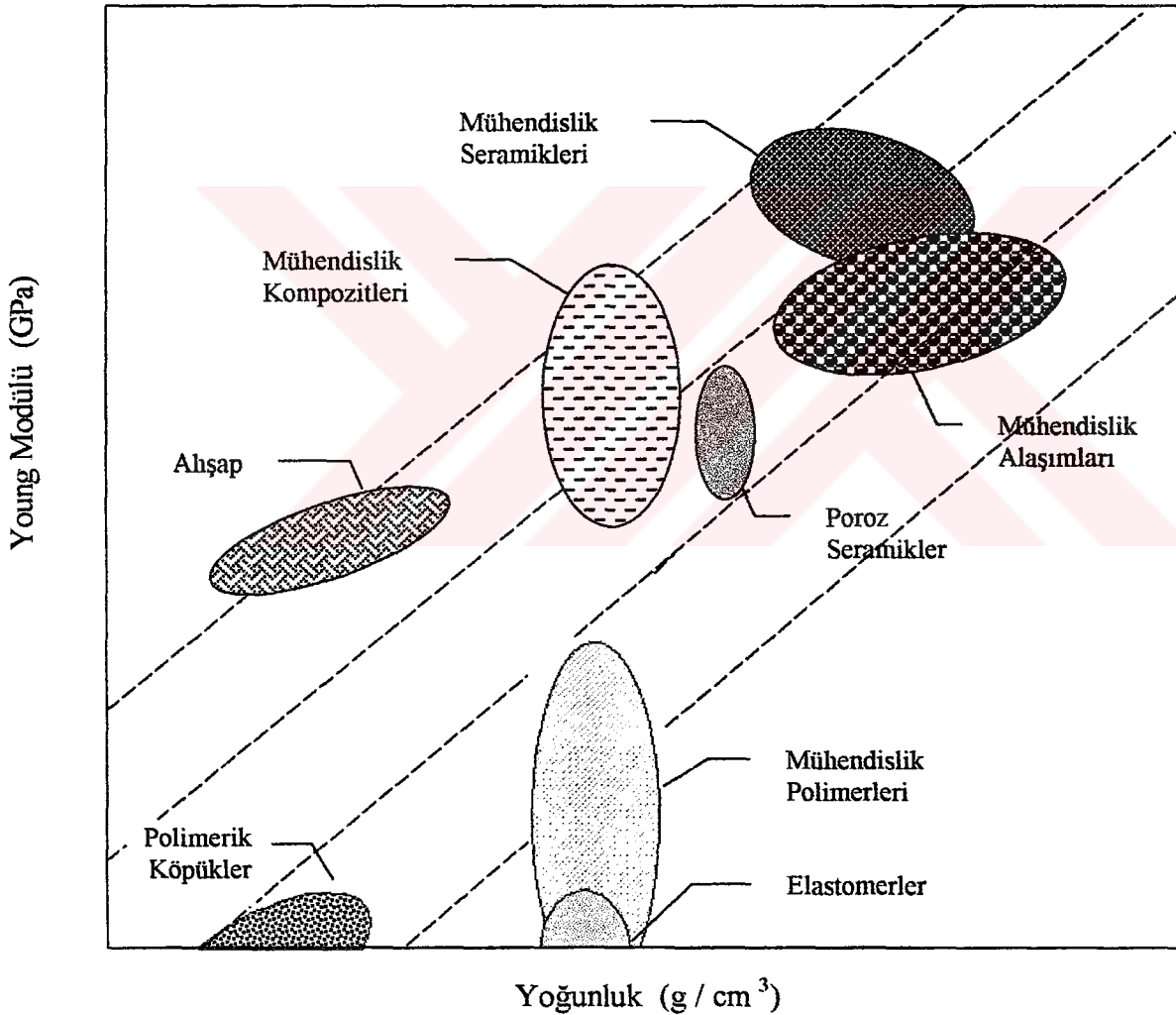
Sürekli fiberlerden imal edilen MMK malzemeler sürünme direncinin etkin olarak artırılması konusunda potansiyel oluşturmaktadır. Bu potansiyele bir örnek gaz türbinlerinin jet motorlarıdır. Titanyum matriksin sürekli seramik fiber takviyesi ile sürünme dirençleri ve rijitlikleri artırılarak MMK malzemelerin kullanımları cazip hale getirilebilecektir.

Çizelge 2.1 Bazı kompozit ve geleneksel malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Özgül Çekme Dayanımı (σ / ρ)	Özgül Elastiklik Modülü (E / ρ)
Alaşımsız Çelik	7.9	400	203	58	26
Alüminyum	2.8	84	71	30	25
Al Alaşımı 2024	2.8	247	69	88	88
SiC _p AKM	2.8	500	90	179	179
Ahşap (Kayın)	0.7	110	13	157	157
Kemik	1.8	38	26	75	75
Plastik Malzemeler	1.2	60	3	50	50
Bor-Epoksi KM	1.8	1600	224	889	889
Karbon - Epoksi KM	1.5	1650	140	1100	1100
Kevlar - Epoksi KM	1.4	1400	77	1000	1000
Cam - Epoksi KM	1.8	1150	42	639	639

2.1.4 Yoğunluk

Yoğunluk MMK malzemelerin uygulama alanları için cazip bir özelliktir. Bazı uygulamalarda takviye malzemesinin yapısına bağlı olarak yoğunluk artabilir ancak bu artış, dayanım ve rijitliğin artması ile dengelenir. Diğer bir çok uygulamada MMK malzemenin yoğunluğunun belirgin olarak düştüğü gözlenebilir. Dayanım, rijitlik gibi bir çok mekanik özelliklerden taviz vermeksizin daha hafif kompozit malzemelerin kullanılması ağırlık yönünden avantaj sağlar, ancak yüksek sıcaklıklarda ara yüzey reaksiyonlarını önlemek oldukça problemlidir. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi kompozitler spesifik elastik modülleri, malzemeler içinde önemli bir yere sahiptir.

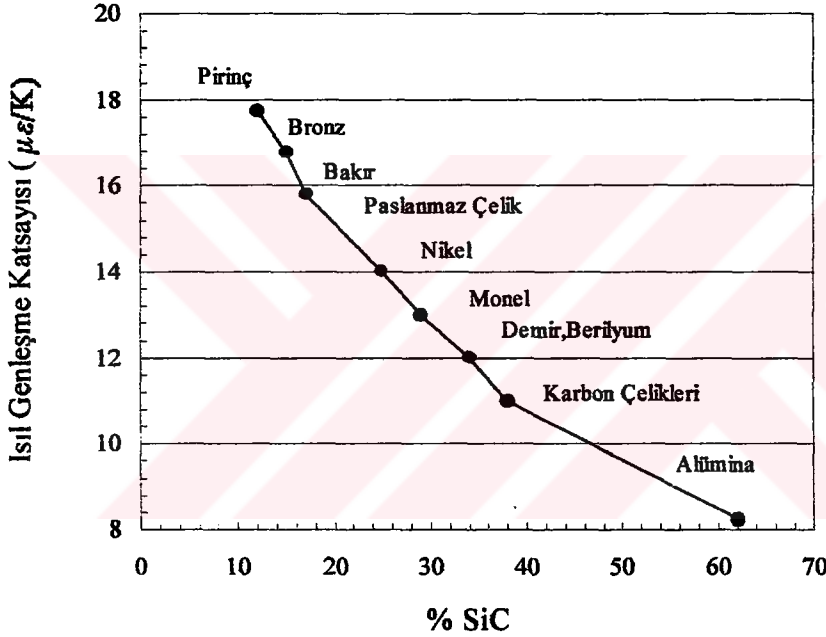


Şekil 2.4 Bazı malzemeler ve kompozitlerin elastik modül ve yoğunluğa bağlı değişimleri.

2.1.5 Isıl genişleme

Özellikle seramiklerin düşük ısıl genişleme katsayısına sahip olmalarından yararlanılarak, değişik ısıl genişleme katsayısına ve özelliklerine sahip kompozit malzemelerin üretimi

değişik ısı genleşme katsayısına ve özelliklerine sahip kompozit malzemelerin üretimi mümkün olur. Bu özelliklerden yararlanılarak değişik oranlarda kullanılan seramik takviye malzemeleri ile üretilen metal matrisli kompozit malzemeler, mikroelektronik parça imalatında, hassas ölçme cihazlarında ve düşük ısı genleşme özelliği aranan cihaz parçalarının imalinde kullanılırlar. Uydu anten dirckleri, dalga kılavuzu gibi cksncel rijitliğin öncemli olduğu yerlerde, çok düşük ısı genleşme katsayılı MMK malzemeler (Al-C_p) başarıyla kullanılmaktadır. Al-SiC_p MMK malzemelerinde, hacimsel % SiC takviyesinin ısı genleşme katsayısı üzerindeki etkisi ve buna eşdeğer çeşitli metalsel malzemelerin ısı genleşme katsayıları Şekil 2.5 de verilmiştir.



Şekil 2.5 Alüminyum matrisli içindeki hacimsel % SiC oranına bağlı olarak ısı genleşme katsayısının değişimi ve buna eşdeğer bazı metal örnekleri (Kolukısa, 1999)

2.1.6 Kırılma tokluğu

Tabakalaşmış kompozitlerde ara tabakaların mukavemeti kompozitin esas yapı bileşeninden daha düşük olduğunda veya tabakalar arası bağ zayıf olduğunda çatlak yayılmasına karşı direnç, monolitik malzemelere veya ara yüzey bağı kuvveti olan kompozitlere göre artar. Tokluğun bu şekilde artması iki mekanizma ile açıklanabilir. Şekil 2.6'te görüldüğü gibi çatlak durdurma mekanizmasında, tabaklara dik yönde ilerleyen bir çatlak, ara yüzeyde durdurulmakta ve çatlak ucundaki üç eksenli çekme gerilmesi ortadan kalkmaktadır.

Şekil 2.7’de görülen çatlağı bölme mekanizmasında ise çatlak yayılmasına karşı dirençteki artış, çatlağın ince tabakalar tarafından bölünmesi sonucu üçüncü boyutta plastik tabakalar tarafından bölünmesi sonucu üçüncü boyutta plastik deformasyonu sınırlayan koşulların ortadan kaldırılması ve ara yüzey tabakalarında plastik deformasyona izin verilmesi şeklinde açıklanabilir.



Şekil 2.6 Çatlağı durdurma mekanizması



Şekil 2.7 Çatlağı bölme mekanizması

2.1.7 Aşınma direnci

MMK malzemelerin uygulama amaçlarına uygun, aşınma hızının en az on kat azaltılabilmesi için, değişik aşınma şartlarına bağlı olarak çeşitli takviye malzemeleri kullanılır. Ayrıca maliyetlerin düşürülmesi, yeterli ısı iletkenliğinin sağlaması amacı ile sadece aşınan ve ya aşınma riski olan yüzeylere takviye uygulanabilir. Genelde aşınma direnci gereksinimi, tokluk, rijitlik, ısıya dayanıklılık ve iyi ısı iletimi gibi diğer özelliklerle birleştirilerek uygulanır.

2.1.8 Elektrik iletkenliği

Tabakalanmış yapıdaki metalik kompozitler korozyona dirençli tel ve kablolar, ısıtıcı elementler veya devre kesici termoelementler şeklinde kullanılabilirler. Bu tür uygulamalarda kompozit malzemenin elektriksel iletkenliği veya yalıtkanlığı önem taşır. Kaplama tabakasına paralel yöndeki iletkenlik karışımlar kuralına göre

$$k = k_1 v_1 + k_2 v_2 + \dots k_n v_n \quad (2.7)$$

bağıntısından belirlenebilir.

2.1.9 Isıl iletkenlik

Tabaka yapılı metalik kompozitlerin önemli uygulamalarından biri de, ısının tabakalara paralel olan herhangi bir yönde geçirilebilmesidir. Yüzey tabakaları, kompozit malzemeye gerekli mukavemet, korozyon ve aşınma direnci gibi özellikleri kazandıran, ısıl iletkenliği düşük olan malzemelerden oluşabilir. Ara tabakaların ısıl iletkenliği yüksek olduğunda bileşik tabaka, mukavemet, korozyon direnci ve ısıl iletkenlik özelliklerini birlikte kazanır.

Isı değiştiricileri, kimyasal proses kapları, laboratuvar eşyaları bu tür kompozitler için tipik uygulamalardandır. Tabakalara paralel yöndeki ısıl iletkenlik, elektrik iletkenliğine benzer şekilde;

$$k = k_1v_1 + k_2v_2 + \dots + k_nv_n \quad (2.8)$$

bağıntısı ile belirlenir.. k_1, k_2, \dots, k_n herhangi bileşenin ısıl iletim katsayısıdır.

Isı değiştiricileri gibi uygulamalarda, tabaka yüzeylerine dik yöndeki ısıl iletkenlik önemli olabilir. Bu yöndeki ısıl iletkenlik;

$$\frac{1}{k} = \frac{v_1}{k_1} + \frac{v_2}{k_2} + \dots + \frac{v_n}{k_n} \quad (2.9)$$

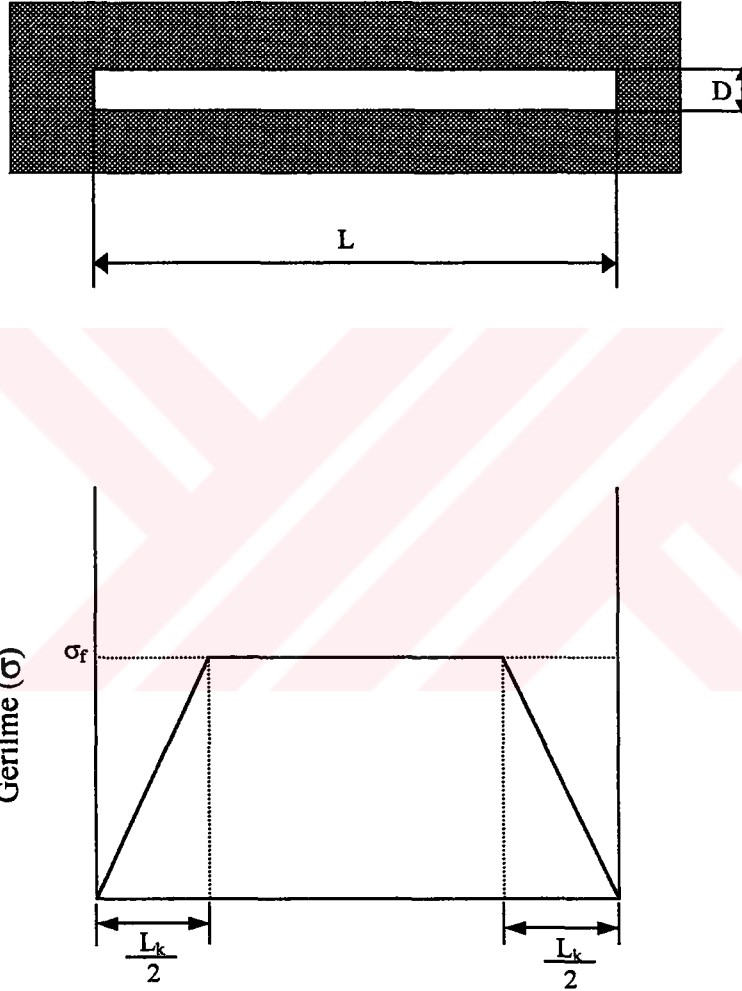
Tabakalar arası oksit ve benzeri ara yüzey bileşikleri oluştuğunda yukarıda belirlenen ısıl iletkenlik değerleri ile ilgili eşitliklerde sapmaların meydana geleceği açıktır.

2.1.10 Korozyon direnci

Korozyon yüksek olan tabakalanmış kompozitler kimya mühendisliği, mimarlık ve evlerde kullanılan mutfak eşyaları gibi uygulamalar için ilgi çeken malzemelerdir. Kompozitin korozyon ve aşınma direncini, esas olarak yüzey tabakaları kontrol eder. Yüzey tabakaları, ara tabakalara göre anodik olduğunda, alttaki tabaka katodik olarak korunmuş olur. Alüminyum kaplı alüminyum alaşımları bu tür uygulamalara tipik bir örnek teşkil eder. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları korozyon direnci yüksek olan ticari aralıktaki alüminyum ile kaplandığında mukavemetli ve korozyona dayanımlı bir malzeme elde edilir. Ara tabakaları oluşturan alüminyum alaşımı, yüzeylerdeki arı alüminyum tabakaları tarafından korozyona karşı korunur.

2.2 Süreksiz Fiber Takviyeli Kompozitler

Mühendislik uygulamaları için geliştirilen kompozit malzemelerin çoğunda süreksiz takviyeler kullanılır. Takviye türlerinden biri olan fiberler, yapı içerisinde sürekli olarak uzamadıklarından fiberle matriks arasındaki bağ, orta kısımlara göre daha düşük oranlarda gerilme taşımaya rağmen fiber uçlarında hasara uğrar ve koparlar. Şekil 2.8'de süreksiz takviyeli bir yapı içerisinde fiber uzunluğuna göre gerilme dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Süreksiz fiberlerde çekme gerilmesinin boyuna göre değişimi (Demirkesen, 1991).

Şekil 2.8'de görüldüğü gibi fiberdeki gerilme, uçlarda düşük olup belirli bir mesafede maksimum değere ulaşmakta ve fiberin orta kısımlarında sabit kalmaktadır. Gerilmenin uç kısımlarda düşük olması nedeniyle mukavemet hesaplarında fiberin maksimum gerilmesi yerine ortalama gerilme alınması gerekir.

Süreksiz fiber kompozitlerde fiberler genellikle elastik davranış gösterirler. Metalik matrikslerde, akma deformasyonu genellikle fiberin kopma deformasyonunda düşüktür.

Kompozit malzemeye çekme yükü uygulandığında matriks ile fiber arasındaki difarensel yer değişimi fiber uçlarına yakın matrikste kayma gerilmeleri oluşturur.

Fiber boyu ve hacim oranı, belirli bir uygulama için malzemedeki beklenen özelliklere göre seçilmesi kompozit malzemedeki alınacak verim ile yakından ilgilidir. Yüksek mukavemet değerlerine ulaşmak için fiber hacim oranı yeterince yüksek, fiber boyu uzun olmalıdır. Tokluk özelliği yüksek olan kompozit malzeme elde edebilmek için ise fiberlerin kopmadan arayüzeyden sıyrılmaları için kısa boylu fiberler veya boyları L_k 'dan büyük ve küçük olan fiberlerin karışımları kullanılabilir. L_k boyunu uzatarak tokluğu artırmak için, kayma mukavemeti düşük matriksler seçileceği gibi, arayüzey kayma mukavemetini düşüren teknikler de uygulanabilir (Demirkesen, 1991).

Süreksiz katkılı metal matriksli kompozitler (SMMK) geleneksel metal ve alaşımlara oranla üstün mekanik özelliklerinin yanı sıra, sürekli gelişen temel üretim süreçleriyle ekonomik olarak üretilmeleri ve işlenebilmeleri nedeniyle de yapısal amaçlı uygulamalarda önem kazanmaktadır.

Diğer taraftan, metal matriksin cinsi, matriks ile katkı fazının kimyasal uyumluluğu, katkının cinsi, boyutu, boyut dağılımı, miktarı, homojen dağılması, matriks-katkı fazı ara yüzey özellikleri, kompozit üretim yöntemi ve parametreleri, mikroyapısı ve içinde bulunan fazlar, termomekanik ve ısıl işleme tabii tutulması gibi birçok etken MMK'lerin özelliklerinin belirlenmesine rol oynar.

2.2.1 Mekanik dayanım

Metal matrikste sürekli takviyelerin ilave edilmesi halinde elde edilen MMK'lerin özelliklerinin büyük bir kısmı karışım oranları kanununa göre belirlenirken, SMMK'lerde bu söz konusu değildir, ancak bu kompozitlerde malzeme özellikleri katkı hacim oranı ile uyumlu değişim göstermektedir. Ayrıca sürekli takviyeli MMK'lardan farklı olarak, süreksiz katkılı MMK'lerde metal matriks yalnızca yük iletici değil aynı zamanda yük taşıyıcıdır.

Kompozitlerin çekme dayanımını etkileyen iki ayrı faktörden bahsedilebilir. Birincisi, takviye fazını oluşturan tanelerin matriksle oluşturduğu ara yüzeydeki bağın sağlamlığı ile ilgilidir. Bu malzemenin yük iletimi yoluyla dayanımın artmasını sağlar. İkincisi ise tane/matriks ara yüzeyindeki plastik rahatlamının engellenmesidir.

Bu olayların dikkate alınmasıyla SMMK'lerde dayanımın artmasına katkıda bulunan çeşitli kaynakların varlığı tartışılır. Bunlar;

- Takviye fazının matriksin plastik akışını ve/veya matrikste dislokasyon hareketini sınırlaması.
- Matriks ve takviye fazları arasında yük paylaşımı kaynaklanan deformasyon sertleşmesi olarak dikkate alınır ve bu mekanizmalar sayesinde bir takım modeller geliştirilir.

SiC takviyeli alüminyum SMMK'lerinin çok sayıdaki çeşitlerinden elde edilen veriler, kompozitlerde gözlenen mukavemet değişimlerinin yük iletimi mekanizmasıyla uyumlu olarak izah edilmeyeceğini göstermektedir. Bu sonuç diğer parametrelerinde önemli rol oynadığını göstermektedir. Bu yüzden metal matriksli kompozitlerde, mukavemet değişimine, birbirinden bağımsız veya aynı anda etkiyen mekanizmalardan söz edilebilir.

SMMK'ler için ileri sürülen mekanizmalar;

Kompozit bileşenlerinin, her birinin özgün dayanımları dikkate alınarak ve bunların karışımlar kuralına göre dayanım artışını sağlama.

Matrikslerden çok daha yüksek dayanım özelliği gösteren takviye elemanlarına yük iletme kabiliyetinin göz önüne alınmasıyla, oluşturulabilecek arayüzey bağı

Plastik akmaya karşı dirençli kompozitin geliştirilmesinde, matriks alaşımının özelliklerinin dikkate alınması

Sünek bir matriks içinde slisyum karbür gibi sert ve kırılğan takviye elemanlarının bulunması dislokasyon yoğunluğunun artmasına neden olarak deformasyon sertleşmesi hızının önemli ölçüde artmasını sağlar.

Matriksin plastik akmasına karşı, takviye elemanına direnci sonucu, matriks içinde bir ortalama iç gerilme oluşur. bu şekil değişiminin sınırlandırılmasına yol açar. Dışarıdan bir yük uygulandığında matriks, rijit takviye elemanlarına bağlı olduğundan leteral olarak şekil değişimleri sınırlandırılmaktadır.

Matriks ve takviye elemanlarının termal genleşme katsayılarındaki uyumsuzluk ($\Delta T.G.K$) sonucu, soğuma sırasında katkı tanelerinin civarında ve yanında plastik şekil değişiminin olması ve matriks içinde termal gerilmelerin yayılması (Vogelsang tarafından 743 K'den 300 K'e soğuma sonucunda alüminyum matriks içinde yüksek dislokasyon yoğunluğu saptanmıştır.)

Takviye elemanlarının dağılımı da kompozit özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir.

2.2.2 Süneklik

Süreksiz takviyeli kompozit malzemelerin süneklik davranışı, diğer malzemelere ve hatta sürekli takviyeli kompozit malzemelere göre oldukça farklı özellikler sergiler. Bu farklılıklar gevrek, yüksek elastik modüle sahip ve matrikse göre farklı ısıl genleşme katsayısına sahip takviyelerin kullanılması ile açıklanabilir. Takviye malzemesinin bu özelliklerinin yanında kullanılan matriks malzemeleri de örneğin alüminyum, sünek, düşük elastiklik modülü gibi çok farklı özelliğe sahiptirler. Tüm bunlara ilaveten takviye ve matriks malzemesinin gerilme altında farklı kırılma davranışları sergilemesi, süreksiz takviyeli kompozit malzemelerin kırılma mekaniğinde oldukça fazla etkenin rol aldığı belirtilmektedir.

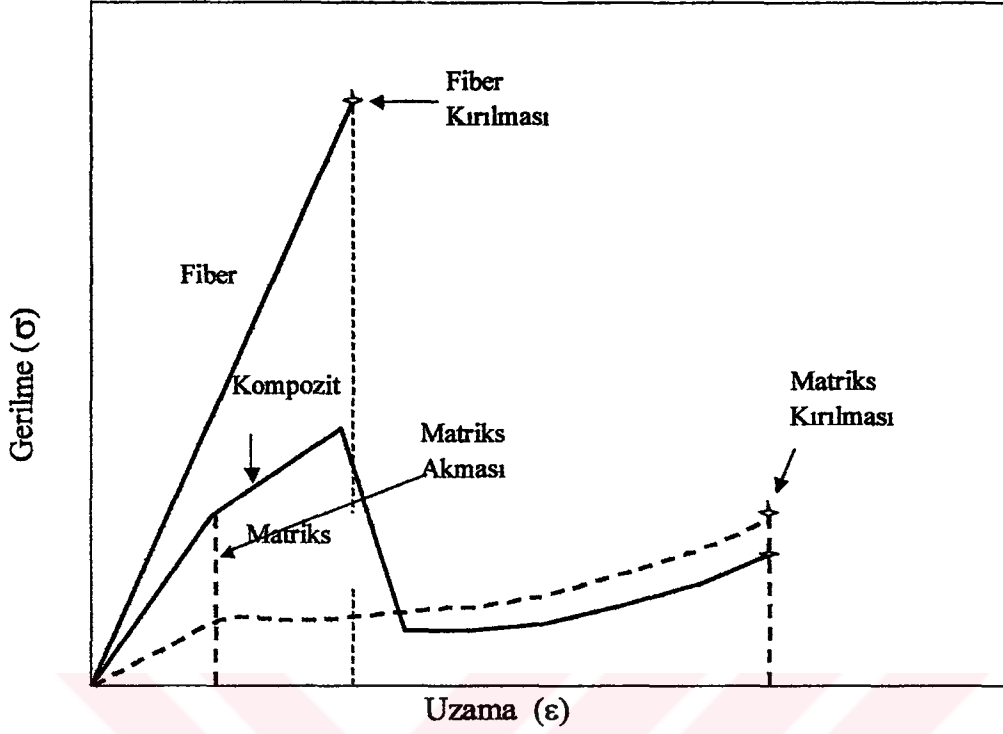
Kompozit malzemelerin ısıl işlem sonucunda iyileşmeler gözlenmesine rağmen şekillendirilebilirliği ve sünekliği sınırlıdır. Metal matriksli, özellikle süreksiz takviyeli kompozitlerde bu davranışa sebep olan mekanizmaları incelemek amacı ile çeşitli teorik ve deneysel araştırmalar yapılmıştır. Şekil 2.9'da kompozit bir malzemenin gerilme altındaki kırılma davranışını göstermektedir.

Takviyesiz alaşımlarda kırılmanın, boşluk oluşumu ve büyümesi ile ilgili olduğu ve boşlukların mikroyapıdaki iri bileşen tanelerinde olduğu bilinmektedir. Boşluk oluşumu için gerekli şart tanelerde tane-matriks ara yüzeyinde kritik bir normal gerilmenin oluşmasıdır (Cöcen,1997).

Matriks içerisinde yer alan sert ve kırılğan takviyeler, yük altında iken gerilmelerin kendi civarında yoğunlaşmasına sebep olmaktadır. Gerilmenin bu bölgede yoğunlaşması matriksin ve ara yüzeyin dayanımına bağlı olarak o bölgelerin deformasyon sonucu sertleşmesine sebep olmaktadır ve kırılğanlık artmaktadır.

Büyük takviye boyutuna sahip kompozit malzemenin matriks içerisinde yüklenmesi ki bu takviyenin kırılması ihtimalini artmasına da sebep olur, gerilme altında civar bölgelerinin (ara yüzeyin ve matriksin) daha fazla sertleşmesine dolayısıyla kırılğanlığın artmasına yol açar.

Takviye oranının artması ve homojensizlik, deformasyon gerilmesinin bölgeselleşmesine neden olan başka bir etkidir. Bu bölgelerde yoğunlaşan gerilmeler sonucu meydana gelen çatlaklar veya daha önceden var olan mikro çatlakların büyümesi kompozitlerin kırılma davranışını önemli ölçüde etkiler.



Şekil 2.9 Kompozit malzemeyi oluşturan yapı elemanlarının gerilme altındaki uzama davranışları (Giro, 1987)

Yüksek oranda SiC içeren bir kompozit malzemede kırık yüzey civarında dislokasyon yoğunluğunun arttığını ve kırık yüzeyinden mesafenin bir fonksiyonu olarak büyük bir hızla azaldığı gözlenmiştir (Cöcen, 1997).

3. KOMPOZİT MALZEMELERİN UYGULAMA ALANLARI

Kompozit malzemelerin çok farklı malzemelerin kombinasyonundan elde edilebilmeleri, uygulama alanlarının da genişlemesine sebep olmaktadır. Daha önceleri üretim maliyetinin yüksek olması sebebiyle bazı kompozit malzeme türleri uzay ve havacılık gibi maliyetin ikinci planda olduğu uygulamalarla sınırlı kalmıştır. Fakat günümüzde üretim tekniklerindeki gelişmeler ve yapı bileşenlerinin mekanik özelliklerinin daha iyi analiz edilmesi uygulama alanlarının da genişlemesine yol açmıştır.

Kompozit malzeme uygulamasının geçerli olduğu endüstriler, bu malzemelerden en yüksek performansı beklemektedirler. Ancak tüm uygulamalar için bu beklentiler gerçekleştirilmesi mümkün olmadığından bazı özelliklerden ödün verilerek de optimum verim alınabilmektedir. Örneğin; yüksek performanslı ve güvenliğin birinci planda olduğu roket parçaları, uçak gövde ve kanatları gibi uygulamalarda optimum yaklaşım, üretim maliyetinin düşük tutulmayacak şekilde olması gerekir. Daha düşük performanslı uygulamalar söz konusu olduğunda örneğin; otomobil sanayi, tekstil sanayi ve spor malzemeleri üretiminde ise yaklaşım, üretim hızı ve üretim maliyeti dikkate alınarak yapılmalıdır.

3.1 Düşük Performanslı Kompozitler

Günümüzde kompozit malzemeler, kullanılan matriks ve takviye elemanlarına göre çok farklı alanlarda uygulama alanı bulmaktadır. Düşük performanslı uygulamalarda daha çok polimer matriksli kompozitler tercih edilmesinde en büyük etken üretim maliyetidir.

Polimer matriksli kompozitlerin düşük sıcaklıklarda ve yüksek gerilmelere maruz kalmamasının yanı sıra üretim maliyetinin ucuz olması, kompozit malzemeleri diğer malzemelere göre oldukça avantajlı bir duruma getirmiştir. Örneğin otomotiv endüstrisinde kamyon ve otobüs karoseri ve iç donanımlarında yaygın kullanım alanı bulduğu gibi, demir yolu araçlarında, vagonlarda iç döşemede kullanılmaktadır. Tarım sektöründe sera, ilaçlama depoları, tahıl depolama siloları gibi uygulamalarda seri üretim imkanı, kolay ve ekonomik model değiştirme imkanı sağlamaktadır.

Ayrıca dikiş makinesi parçaları, televizyon kabinleri, mikser, saç kurutma makineleri gibi ev aletleri yapımında da başarıyla kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe ise cephe kaplamaları, büfeler, otobüs durakları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları, ondüla levha üretimi yapımında kullanılmaktadır. Üreticiye tasarım esnekliği ve kolaylığı, ucuz izolasyon,

montajda ve nakliyede kolaylık gibi imkanlar sağlar.

Elektrik ve elektronik sanayiinde, kullanım amacına göre yüksek elektrik izolasyonu ve mekanik dayanımı sayesinde oldukça sık kullanılan bir malzeme türüdür. Ayrıca ark söndürme ünitesi, orta gerilim izolatörleri gibi uygulamalarda, seri üretim, tek parça ve karmaşık biçimli ürün elde etme imkanlarını sunmaktadır.

Cam takviyeli kompozitlerde matris elemanı olarak en çok tercih edilen malzeme plastiklerdir.ancak kullanılan plastiklerin kimyasal davranışları reçinenin kontrolünde olduğunda seçimin iyi yapılması gerekmektedir. Uygun seçim yapıldığında elektrik endüstrisinde cam takviyeli kompozitler yüksek yalıtkanlık özellikleri sergilediklerinden tercih edilmektedir. Cam takviyeli kompozitlerden değişik amaçlı uygulamalarda kullanıldıklarından beklenen veya amaçlanan özelliklere göre farklı üretim teknikleri kullanılmaktadır. Çizelge 3.1'de polimer kompozit malzemelerin üretim yöntemlerine göre uygulama alanları göstermektedir. Çizelge 3.2'de ise cam takviyeli plastik kompozit malzemelerin sektörlere göre dağılımı gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 Polimer kompozit malzemelerin üretim yöntemlerine göre uygulama alanları

Üretim Yöntemi	Uygulama Alanları
Elyaf Sarma	Basınçlı tüpler, borular ve füze gövdeleri
Kapalı Kalıp	Oto gövdeleri,kaplar,kimyasal aletler elektrik aletleri,depolar
Püskürtme ve El Yatırma	Tekneler,silolar,oto karoser mobilya yüzme havuzları,banyo küvetleri
Profil Çekme	Çubuklar, borular,profiller yapı elemanları
Torba Kalıplama	Uçak parçaları,pervane kanatları

3.2 Yüksek Performanslı Kompozitler

Yüksek teknoloji kompozitleri, olarak da nitelendirilen bu tür malzemeler, uçak ve uzay endüstrisi gibi yerlerde kullanılan kompozit malzemelere için kullanılan bir terimdir. Yüksek teknoloji, kompozitleri genellikle polimer matris kullanılarak, yüksek mukavemetli polimer, metal veya seramik takviyelerle güçlendirilmiş kompozitlerdir. Tüm durumlarda, çok iyi mukavemet, peklilik ve düşük ağırlık istenmektedir. Bunun yanında sürünme ve yaşlanma

dirençlerinde önemli değerlere ulaşılmaktadır.

Çizelge 3.2 Polimer matrisli cam takviyeli kompozitlerin uygulamaların sektör dağılımı.

Sektörler	Uygulamadaki Payı %
Kara Taşımacılığı	33
Deniz Taşımacılığı	19
Yapı Sektörü	14
Korozyona dayanıklı ürünler	10
Ev Aletleri	6
Elektrik Tesisatı	5
Uçak ve Uzay Sanayi	2

İleri teknoloji kompozit malzemeleri modern uçaklarda yapı ve yüzey malzemesi olarak, yüksek özgül mukavemet özelliğinden yararlanılarak, son zamanlarda geliştirilen polietilen fiberler kullanımında geniş yer bulmasının yanında, karbon ve aramid fiberler polimer matrisler içerisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Özellikle yüksek gerilmelerin söz konusu olduğu ve bu gerilmeleri taşıyabilecek özellikte kompozit malzeme gerekli olduğunda karbon/epoksi kompozitleri bu ihtiyaca cevap verebilecek mekanik özellik sergilerler. Yorulma dayanımı bakımından, karbon takviyeli kompozit malzemeler metal malzemelerden daha üstün özellikler sergilerler. Statik dayanımı daha düşük olmasına rağmen, hem çentikli hem de çentiksiz parçalar için karbon takviyeli kompozit malzemelerin yorulma dayanımı oldukça dikkat çekicidir. Öte yandan bu kompozit malzemenin yoğunluğunun, alüminyumun yoğunluğunun yarısı, çelik yoğunluğunun ise beşte biri olduğu dikkate alınrsa, hafifliğin önemli olduğu uygulamalarda bu tür kompozit malzemelerin metallere göre üstün olduğu ortaya çıkmaktadır.

Karbon takviyeli reçine matrisli kompozit malzemelerde ısı veya elektriksel iletkenlikler elyaf yönünde çok iyi buna dik yönde ise çok düşüktür. Ayrıca metalsel malzemelerde yapılan birleştirmelerde dikkatli olmak gerekir çünkü iki malzemenin teması söz konusu olduğunda galvanik korozyon oluşumu meydana gelir. Önlem olarak yalıtkan tabakaların kullanılması veya katodik koruma uygulanması gerekir.

Bu tür kompozitlerin üstün olan bu özelliklerine rağmen günümüzde maliyetin birinci planda

olduğu uygulamalarda halen beklenen boyutta kullanılma imkanı bulamamasının en büyük nedeni üretim maliyetinin diğer malzemelere göre fazla olmasıdır. Çizelge 3.3’de kompozit malzemelerin diğer malzemelerle fiyat karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 Karbon CTP kompozitlerinin ve çeliğin fiyat bakımından karşılaştırılması.

Malzeme	Özgül çekme dayanımı	Özgül rijitlik	Özgül yorulma dayanımı	Brim fiyat dayanımı	Brim fiyat rijitliği	Brim fiyat yorulma dayanımı
Karbon	4,00	5,00	15,00	17,50	14,00	4,70
CTP	4,00	0,85	4,00	1,70	8,40	1,90
Çelik	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Karbon fiberlerin yüksek mukavemetinden dolayı kullanıldıkları alanlar aşağıda verilmiştir.

- Uçak kanatları.
- Flaplar.
- Dömenler.
- Stabilizerler.
- Helikopter panelleri.
- Otomobil ve denizcilik sanayiinde yapısal destek elemanları.
- Bisiklet pedalları.
- Raketler.
- Balıkçılıkta olta yapımı.
- Yarış arabaları kaportaları.
- Roketler, uzay araçları ve füzelerin yapısal elemanları.
- Çok yüksek hassasiyet gerektiren kalıp imalatı.

Bor elyaf takviyesinin çekme dayanımı, karbon elyafın çekme dayanımı ile aynıdır. Ancak basma dayanımı, karbon elyafın iki katıdır. Bor elyafın kullanımını sınırlayan en önemli etken diğer takviyelere göre üretim maliyetinin oldukça yüksek olmasıdır. Bu nedenle bor elyaf genellikle diğer takviyelerle birlikte kullanılırlar. Çizelge 3.4’de bor elyafın mukavemet özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4 Bor elyafın mukavemet değerleri

Bor elyaf	Oda sıcaklığı °C	175 °C
Çekme Mukavemeti (MPa)	1600	1260
Elastiklik Modülü (GPa)	224	196
Basma Dayanımı (MPa)	2480	770

Bor takviyeli kompozit malzemelerin en yaygın olarak kullanıldıkları alan spor malzemeleri üretimidir. Karbon elyafı ile üretilen bazı ürünlerde yüksek zorlama altında kalan karbonun yetersiz olduğu durumlarda kırılma çatlakları görülmesi önemli sorun olmaktadır. Spor malzemeleri dışında diğer bazı kullanım alanları şunlardır:

- Çok yüksek hızlı santrifüj gövdeleri.
- Tekerlekli sandalyeler.
- Yelken direkleri.

Özel bazı uygulamalarda, karışık kompozitler son dönemlerde denenmeye başlanmış ve umut vaat eden sonuçlar elde edilmiştir. Bu kompozitler iki veya daha fazla değişik tip takviyelerin kullanılması ile elde edilir. Örneğin Kevlar fiber, karbon fiberle birlikte kullanılarak, sert kompozitin tokluğu artırılır. Başka bir diğer uygulama ise cam fiber ile Kevlar birlikte kullanılarak kompozitin sertliğini arttırmak amaçlanır. Bu tür özel uygulamalarda fiberlerin miktarı ve yönlerinin kontrollü olarak yapılması gerekir.

3.3 Metal Matriksli Kompozitler

Metal veya seramik takviyelerle güçlendirilmiş bu tür kompozitler, ileri teknoloji kompozitlerine göre çok daha yüksek sıcaklıklarda kullanma imkanı verir. Bu duruma imkan veren matriks malzemesi olarak metal veya alaşımlarının kullanılması, yüksek sıcaklık direncine sahip olmasında rolü büyüktür. Özellikle düşük performanslı uygulamalar için metal matriksli kompozitler ucuz, kolay ve hızlı üretim tekniklerinin yetersiz kalması, polimer matriksli kompozit malzemelere göre bu alanlarda daha az kullanılmaktadır.

Matriks malzemesi olarak alüminyum, magnezyum gibi düşük yoğunluklu metaller kullanıldığı gibi bakır gibi elektrik iletkenliği iyi olan malzemeler de kullanılmaktadır.

Borsik fiberle takviye edilmiş alüminyum uçaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak

ileri teknoloji malzemelerine göre daha yüksek bir yoğunluğa sahip olması bu alanda kullanılmasına büyük engel teşkil etmektedir.

Metal matriks kompozitlerin önemli kullanım alanlarından bazıları uçak ve motor parçalarıdır. Metal fiber ile takviye edilmiş, örneğin tungsten veya seramik takviyeler, SiC veya B₄N, süperalaşım mukavemetlerini yüksek sıcaklıklarda da koruyabilmektedir. Bu özellikleri bu tür kompozitlerin jet motorlarının daha üretken biçimde çalışmalarını sağlamaktadır.

Metal matriksli kompozitlerin önemli kullanım alanlarından birisi füzyon reaktörlerinde süper iletken tel olarak kullanılmaktadır. İntermetalik bileşik Nb₃Sn, süperiletken bir özelliğe sahiptir. Nb₃Sn üretebilmek için saf Niobyum'un etrafı bakır ile sarılmış ve iki metal kompozit malzeme haline getirilmekte, daha sonra ise Niobyum – bakır kompozit tel kalay ile kaplanmaktadır. Kalay bakır içerisinde yayılarak Niobyum ile reaksiyona girer ve intermetalik bileşiği meydana getirir.

Bazı uygulamalarda öne çıkan özellikler şunlardır:

- Yüksek sıcaklık uygulamaları.
- Şekillendirilebilirlik ve ısıl işlemlerle iyileştirilme.
- Kaynak edilebilme yeteneği iyidir.
- Bazı ortamlarda iyi bir korozyona direnci.

3.4 Seramik - Seramik Kompozitler

Karbon- Karbon kompozitleri çok yüksek sıcaklık direnci gerektiren uzay ve uçak imalatında malzeme olarak kullanılmaktadır. Karbon- Karbon kompozitleri 3000 °C sıcaklıklarda bile kullanılabilir ve hatta yüksek sıcaklıklarda (sürünme) dayanım daha iyi olduğu ileri sürülmektedir. Karbon- Karbon kompozitleri polyacrylonitrile veya karbon kumaşın bir kalıp içerisine yerleştirilmesi, daha sonra kumaşın organik bir reçine ile, örneğin phenolic ile doyurulması ile elde edilir. Daha sonra parça silisyum karbür ile kaplanarak karbon- karbon kompozitin oksidasyona direnci artırılır.

Çizelge 3.5 MMK malzemelerin özellikleri ve uygulama alanları.

MATRİS	TAKVİYE ELEMANI	ARANAN ÖZELLİKLER	POTANSİYEL UYGULAMALAR
Al Alaşımları	Grafit	Rijitlik, dayanım, düşük yoğunluk	Uydu, güdümlü mermi, helikopter parçaları
	% 60 C (f)	Eksenel rijitlik, düşük yoğunluk aşınma direnci	Uzay teleskopu dalga klavuzu ve yapısal destek parçaları
	Bor	Rijitlik,yorulma dayanımı	Kompresör kanatları,yapısal destekler
	Alümina %5 AlO (w)	Düşük ısı genleşme,rijitlik,yüksek ısı iletkenliği Aşınma direnci,sıcak çalışma dayanımı	Füzyon güç reaktörlerinde süper iletken durdurucular Dizel motor pistonları
	%20 Al ₂ O ₃ (p) %12 Al ₂ O ₃ %9 C	Yüksek rijitlik,düşük yoğunluk,tokluk Aşınma direnci,sıcak çalışma dayanımı	Kardan mili,şaft Motor silindir blokları
Mg Alaşımları	Silisyum Karbür %20 SiC (p)	Sürünme dayanımı Aşınma direnci,yüksek yoğunluk iyi ısı iletimi	Yüksek sıcaklık motor parçaları Fren rotor diskleri
	%20 SiC (w)	Yüksek rijitlik,düşük yoğunluk iyi yorulma dayanımı	Bisilet kasaları
	Bor	Eksenel rijitlik, düşük yoğunluk	Anten yapıları
Ti Alaşımları	Grafit	Düşük yoğunluk,rijitlik,düşük ısı genleşme	Uydu Parçaları
	Alümina	Rijitlik,yorulma dayanımı, düşük yoğunluk	Helikopter transmisyon parçaları
	Bor	Yüksek sıcaklık dayanımı kırılma tokluğu	Jet motoru fan kanatları
Süper Alaşımlar	Silisyum Kaplı Bor	Rijitlik,sürünme dayanımı	Yüksek sıcaklık yapı elamanları
	%40 SiC (f)	Dayanım yüksek sıcaklık performansı rijitlik ,düşük yoğunluk	Uçak motor parçaları
Süper Alaşımlar	Molibden Tungsten	Dayanım yüksek sıcaklık performansı rijitlik ,düşük yoğunluk,sürünme dayanımı	Yüksek sıcaklık, motor parçaları

4. KOMPOZİT MALZEME YAPI ELEMANLARI VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

4.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Sınıflandırma matris malzemesine ve kullanılan takviye elamanlarının şekil ve dağılımına göre yapılabilir. Matris malzemesine göre üç ana gruba ayrılmaktadır.

- Polimer matrisli kompozit malzemeler.
- Seramik matrisli kompozit malzemeler.
- Metal matrisli kompozit malzemeler.

4.1.1 Polimer matrisli kompozitler

Polimerler, metal ve seramik malzemelere göre oldukça kompleks kimyasal bileşime sahip malzemelerdir. Matris olarak kullanıldıklarında polimerler, ucuz ve kolay çalışılabilir malzemelerdir, ama düşük modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahip olduklarından kullanım yerleri sınırlıdır.

Termoset ve termoplastik olarak iki gruba ayrılan polimer matrisler genelde sürekli fiberlerle kullanılırlar. En çok kullanılan Matris malzemesi epoksi reçineler, polyamidler (nylonlar), ve polyesterlerdir. Takviye malzemesi olarak cam, karbon ve organik fiberler tercih edilir, ayrıca polimer matrisli kompozitler havacılık alanında geniş bir kullanıma sahiptirler. F-14 ve F-15 uçaklarında dengeleyici olarak bor-epoksi, F-16 ve F/A-18 uçaklarında kanat yüzeyleri, hız frenleri ve kontrol yüzeylerinde karbon epoksi kompozitler kullanılmaktadır.

Polimer matrisli kompozitlerde çalışırken göz önüne alınması gereken en önemli faktörlerden ikisi sıcaklık ve nemdir. Özellikle bu iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinde, hidrotermal etkilerden dolayı düşüşler meydana gelmektedir.

Bir çok uygulamada tercih edilmelerinin başlıca nedenleri şunlardır:

- Oldukça düşük yoğunluğa sahiptirler.
- Kitle üretim teknikleri kolay, hızlı ve ekonomik olarak üretilebilirler.
- Atmosferik koşullara ve bir çok kimyasala dirençlidirler.
- Moleküler yapıları değiştirilerek ve katkı maddeleri kullanılarak niteliklerinin geliştirilmesi mümkündür.
- Çeşitli renklere üretilebilirler, dekoratiflerdir.

Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan pekiştiricilerden en yaygın olanları cam, karbon, grafit, kevlar, asbest, mika, SiC ve Al₂O₃ fiberleri ile diğer bazı katkı malzemeleridir.

kompozitlerin yaklaşık % 90'unda cam fiberler kullanılmaktadır. Elektrik camı olarak da bilinen E- camının elektrik ve ısı direnci oldukça yüksektir. Sürekli flamalar halinde standart tekstil camı olarak kullanılır. C-camı yüksek korozyon direnci istenen uygulamalarda kullanılan ve asitlere karşı dayanıklı bir cam türüdür. S-camının çekme mukavemeti elastiklik modülü yüksektir ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda da koruyabilir.

Aramid veya ticari adıyla kevlar fiberleri karbon, hidrojen, oksijen ve azottan oluşan aromatik bir organik bileşiktir. Uzun zincirli poliamid (nylon) plastiklerinden çekme işlemleriyle üretilirler. Diğer organik esaslı fiberlere göre çekme mukavemeti ve modülleri oldukça yüksektir. Yoğunlukları ve üretim maliteleri düşük, spesifik mukavemet ve modülleri yüksek pekiştiricilerdir. Kompozit malzeme teknolojisinde Kevlar 29 ve Kevlar 49 türü aramid fiberleri olarak adlandırılıp kullanılmaktadırlar.

Asbest fiberler bir grup silikat minerallerinin adıdır. Krizotil ($3\text{MgO}, 2\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$), amosit ($5.5\text{FeO}, 1.5\text{MgO}, 8\text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$), tremolit ($2\text{CaO}, 5\text{MgO}, 8\text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$), antofillit ($7\text{MgO}, 8\text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$), aktinolit ($2\text{CaO}, 4\text{MgO}, \text{FeO}, 8\text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$), Krosidolit ($\text{Na}_2\text{O}, \text{Fe}_2\text{O}_3, 3\text{FeO}, 8\text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$) bu grubun önemli üyelerindedir. Parantez içerisinde verilen temel bileşenlerin yanısıra diğer bazı oksitleri de değişik oranda içerirler.

Asbest fiberler kristalin yapıları, çap ve boyları yönünden cam fiberlerden farklılık gösterirler. Cam esaslı pekiştiricilerin amorf yapıda olmasına karşılık asbest fiberleri kristalin yapılarıdır. Bu nedenle rijitlikleri daha yüksektir. Asbest minerallerinden elde edilen pekiştiricilerin uzunlukları sınırlıdır ve süresiz fiber karakterindedirler.

Karışık fiberler (hibritler), termoset ve termoplastik reçinelerinin pekiştirilmesinde kullanılan grafit, bor, kevlar veya cam fiberlerinin kombinasyonlarından oluşan pekiştiricilerin birlikte kullanılması ile elde edilirler. Peğiştirici bileşenlerin faydalı özelliklerinin birlikte kazanılması kompozit malzeme özelliklerinin çok daha dengeli olmasını sağlar.

Plastiklerin pekiştirilmesinde cam, karbon, bor, kevlar fiberleri ve bunlardan elde edilen çeşitli tekstil ürünlerinin yanı sıra, daha az oranlarda olmak üzere talk, bazı oksitler, karbonatlar, silikatlar ve metal gibi inorganik malzemelerle polipropilen, akrilonitril, poliester, keten gibi organik esaslı pekiştiriciler veya dolgu malzemeleri kullanılır.

4.1.2 Seramik matrisli kompozitler

Seramik malzemeler çok sert, kırılğan ve düşük yoğunluğa sahiptirler. Yüksek sıcaklıklarda bile yüksek elastik özellikler gösterirler ama kimyasal olarak inerttirler. Ayrıca termal şok

bile yüksek elastik özellikler gösterirler ama kimyasal olarak inerttirler. Ayrıca termal şok direnci ve tokluğu düşük olan malzemelerdir. Dolayısı ile kullanım sırasında ani zorlanmalara karşı kolay hasar sergilediklerinden, kullanımı yerleri sınırlıdır. Seramik malzemelerin, seramik fiberlerle takviye edilmesi durumunda, mukavemet yükselmekte ve tokluklarında monolitik seramiklere göre 20 kata kadar arttırılabilmektedir. Alümina ve Zirkon esaslı seramik kompozitler üzerinde son yıllarda çalışmalar, bu malzemenin sadece roket başlığı, uzay araçları gibi uygulamaların yanı sıra insan vücudunda da kullanılmaya başlanmıştır. Seramik matrisli kompozitlerde proses parametreleri ile oynanarak mikro çatlaklar oluşturulur. Oluşturulan bu mikro çatlaklarla gerilme konsantrasyonlarının yoğunlaşması engellenir ve böylece gerilmeler absorbe edilir.

4.1.3 Metal matrisli kompozitler

MMK malzemeler günümüzde ticari olarak kullanılır hale getirilmesi, malzeme bilimi alanında son yıllarda gerçekleştirilen en büyük yeniliklerden biridir. İlk uygulamalar sürekli elyaf sarma tekniklerinin uygulanması ile elde edilen MMK malzemeler, bu yöntemin hem üretim gücüğü hem de yüksek maliyetle sonuçlanması araştırmacıları farklı tekniklere yöneltmiştir.

Partikül takviyeli MMK malzemeler yüksek elastik modül ve mukavemet, yüksek aşınma direnci, üretiminin diğer takviye türlerine göre kolay, çok çeşitli ve düşük maliyetli olarak yapılması sonucu bu konu üzerinde yapılan çalışmalarda önemli hale gelmişlerdir. Özellikle 1960 yıllarından itibaren nikel kaplı grafitler argon gazı ile matris içerisine başarılı bir şekilde enjekte edilmesi ile konu geliştirilmeye değer kazanmıştır. 1968'de Hindistan Teknoloji Enstitüsü vorteks metodunu ilk defa kullanmış ve Al-Al₂O₃ kompozitini dökmüştür. Bu çalışmalardan sonra Rooke Üniversitesin'de yapılan çalışmalarda, sıvı-katı aralığında yarıkatı malzemeye partikül ilavesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. MMK malzemelerin metal ve diğer malzemelere göre sahip oldukları üstün özellikler şunlardır:

- Yüksek elastik modülüne sahiptirler.
- Yüksek mukavemet (çekme, basma, aşınma, sürünme ve kayma) özellikleri gösterirler.
- Yüksek sıcaklıklarda çalışırlar.
- Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve modül özelliklerini birlikte taşırlar.
- Tekrar üretilebilir özelliklere sahiptirler.
- Düşük yoğunluk değerlerine sahip malzemelerle çalışılabilir.
- Sıcaklık değişiklikleri veya termal şoka karşı düşük hassasiyet gösterirler.
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik özellikleri mevcuttur.

Metal matrisli kompozit malzemeler genel olarak seramik takviye malzemelerinin yanı sıra refrakter metalsel malzemelerde kullanılması, bu tür malzemelerin yüksek sıcaklıkta kullanılması imkanı verir. Ancak metal malzemelerin polimer malzemelere göre yüksek ergime sıcaklıklarına sahip olması kompozit malzeme üretimi esnasında bu sıcaklıkta takviye ile oluşan reaksiyonlar dikkate değer yapıların oluşumuna neden olurlar.

MMK malzemelerin yüksek dayanım, elastik modül, tokluk ve darbe dayanımı, sertlik aşınma direnci ve ısı dayanımı gibi mekanik ve fiziksel özelliklerinin istenilen düzeyde olması metal matrislerin özellikleri ile ilgili olduğu kadar takviye malzemelerin yapısına, dağılımına şekline ve karışım oranlarına da bağlıdır.

Matris metali olarak kesin bir ayırım yapmanın mümkün olmamakla birlikte, kullanılacak takviye elamanına uygunluğu ve üretim yönteminden gelen kısıtlamalar, matris malzemesi olarak bazı malzemeleri öne çıkartmıştır. Alüminyum, Bakır, Magnezyum, Titanyum gibi değişik özelliklerdeki malzemeler saf olarak kullanıldığı gibi yaygın olarak alaşımları ile birlikte kullanılmaktadır. Ayrıca takviye malzemesi ile matris malzemesinin uygunluğu, matris malzemesinin ıslatması, oluşan reaksiyonlar sonucu meydana gelen arayüzeyin mekanik özellikleri, seçim yapılırken ne kadar hassas olunması gerektiği konusunda temel fikri vermektedir.

Ara yüzeyde oluşan bu süreksiz tabakalar, kompozitin deformasyonu sırasında çatlak oluşturan bölgeler olarak davranırlar. MMK malzemelerde ara yüzey bağ mukavemetini arttırmak için;

- Islanabilirliği arttırmak.
- Kimyasal etkileşimleri kontrol etmek.
- Oksit oluşumunu minimuma indirmek gerekmektedir.

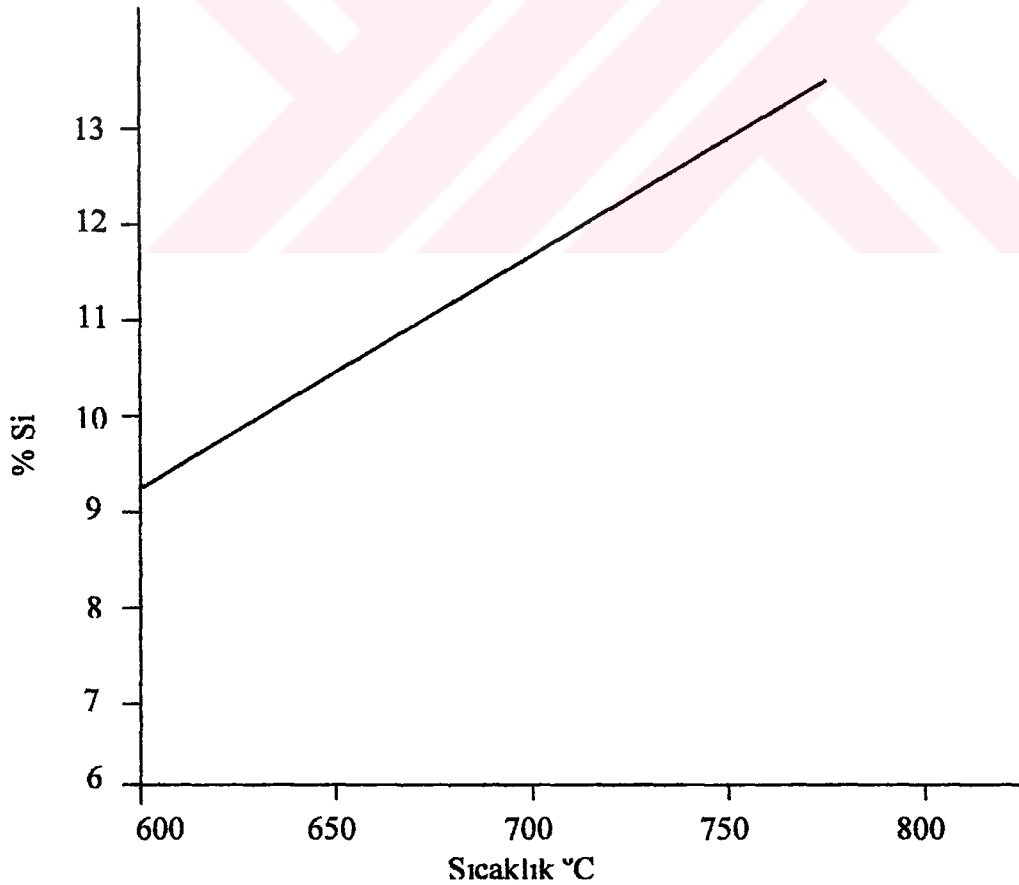
Metal seramik sistemlerinde, kompozitin tüm özellikleri büyük ölçüde metal-seramik ara yüzeyinin özelliklerine bağlıdır. Ara yüzey, element konsantrasyonlarının kristal yapısının, atomik düzenin, elastik modülün, yoğunluğun ve termal genleşme katsayısının bir taraftan diğerine değiştiği iki boyutlu süreksiz bir alandır. Atomik düzen ele alındığında uyumlu ve uyumsuz ara yüzeylerin oluşması söz konusudur. Uyumlu bir ara yüzey, her iki kristalinde ara yüzeyde benzer latisler tarafından paylaşılmasıdır.

Matris-takviye arayüzeyinde, ıslatabilirlik kavramı önem kazanmaktadır. ıslatmanın meydana gelebilmesi için arayüzey bağ mukavemetinin sıvının yüzey gerilimine galip gelmesi gerekmektedir.

Ara yüzey bağ mukavemetini dolaysı ile sıvı katı ara yüzeyinde ıslanmayı etkileyen temel faktör partikül dağılımıdır. Ara yüzeyde partikül dağılımının homojen olması için partikül boyutunun, sıvının viskozitesinin ve katılma hızının yüksek olması gerekir. Ayrıca sıvı matris alaşımı seramik partikül arasındaki yoğunluk farkının ve ara yüzeyde sıcaklık gradyanının da düşük olması gerekir. Bunların yansısı, partiküllerin eş eksenli olması partikül aglomerasyonunu önlemek için, sıvı matrisin karıştırılması gerekmektedir.

Metalik matrisleri uygun takviyelerle kuvvetlendirerek yüksek performanslı kompozit malzemelerin üretimi, günümüz teknolojisinde büyük önem kazanmıştır. Metalik malzemelerin üzerinde yapılan çalışmalar özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılacak mukavemetli, rijit malzemelerin geliştirilmesi yönünde yoğunlaşmıştır.

Düşük yoğunluk ve iyi süneklik davranışının yanı sıra takviye elemanları ile güçlendirilmesi sonucunda rijitlik, dayanım, yorulma ve aşınma direncindeki artışlar alüminyum matrisli kompozit malzemelerin kullanımını cazip hale getirmiştir.



Şekil 4.1 Al_4C_3 oluşumu için gerekli Si oranları ve sıcaklık değişimi (Llyod,1988).

Özellikle kompozit mekaniğinin çok daha iyi tanınması ile geliştirilen yeni tekniklerle

maliyetinin daha makul seviyelere çekilmesi bu malzemelerin otomotiv sanayiinde çok daha geniş kullanım alanı bulacağı ileri sürülebilir.

4.1.3.1 Metal matrisli kompozitlerde kullanılan takviyeler

Metal matrisli kompozitlerde bileşenlerin kimyasal uygunluğu kritik bir öneme sahiptir. Bazı kompozitlerde iki faz üretim sıcaklığında termodinamik olarak dengededir. Denge koşulları altında yönlü katılaştırılmış ötektik kompozitler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Diğer kompozit sistemlerinde kimyasal uygunluk, bileşenler arasındaki kimyasal reaksiyonlar, arayüzeyde diffüzyon bağlarının oluşumu ve ergimiş matrisin katkıları ıslatma özelliği ile ilgilidir. Bazı metalik sistemlerde yüksek sıcaklıklarda bileşenler arasındaki reaksiyonla, özellikleri olumsuz şekilde etkileyen arabileşikler oluşur. Bu tür reaksiyonlar bileşenlerin reaksiyon serbest enerjileri arasındaki farka bağlıdır. Bu farkın büyük olması sadece üretim aşamasında değil, aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda kullanım sırasında da arabileşiklerin oluşması açısından önemlidir.

Üretim ve yüksek sıcaklıklarda kullanım sırasında birbiri ile reaksiyona girmeyen, özellikleri düşüren arayüzey reaksiyonları göstermeyen ve kuvvetli arayüzey bağları oluşturan yapı bileşenlerin kimyasal uygunluk özelliğine sahip olduğu kabul edilir (Demirkesen, 1991).

4.2 Takviye Türleri

Metalik kompozitlerde kullanılacak takviyelerin belirli özelliklere sahip olması gerekir;

Yoğunluk: Yüksek performanslı kompozitlerde spesifik mukavemet (mukavemet/yoğunluk) ve spesifik modülün (modül/yoğunluk) yüksek olması istenir. Özellikle uçak ve uzay araçları için düşük yoğunluklu, yüksek mukavemet ve modüllü pekiştiricilerin kullanılması kritik bir önem taşır.

Üretim Kolaylığı: Yüksek modüllü veya yüksek mukavemetli bazı malzemelerin fiber veya whisker şeklinde üretimleri zordur ve özel tekniklerin uygulanmasını gerektirdiğinden pahalıdır.

Isıl Direnç ve Isıl Kararlılık: Metalik kompozitler genellikle yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirilmişlerdir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda mukavemetlerini koruma özellikleri, oda sıcaklığındaki mekaniksel özelliklerinden daha çok önemlidir.

Kimyasal Uygunluk: Takviye elemanlarının metalik matris ile iyi bir ara yüzey bağı oluşturması, matris içerisinde çözünmemesi veya reaksiyona girmemesi gerekir.

4.2.1 Fiber kompozitler

Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu fiber şeklinde üretildiklerinde mukavemet ve rijitlikleri kütle halinde gösterdikleri değerlerin çok üstünde değer alabilir. Örneğin karbon fiberlerin çekme mukavemeti kitle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği ise 3 kat daha yüksektir. Fiberlerin bu özellikler “whisker” olarak adlandırılan 5-25 μ kadar olabilen küçük çapta fiberlerde daha çok belirgin halde görülür. Mukavemet ve rijitlikteki artışlar esas olarak yapı hatalarındaki azalmalar ile ilgilidir. Çapları 0.15 mm’den 0.03 mm’ye kadar değişebilen çok daha küçük çaplı whiskerlerin sahip oldukları bu özellik malzeme bilimcilerin ve mühendislerin ilgisini çekmiş ve bu tür malzemelerden mukavemet artırıcı işlemlerde yararlanma düşüncesi doğmuştur.

Yüksek performanslı kompozit malzemelerin geliştirilmesi, yüksek mukavemet ve rijitliğe sahip fiberlerin üretilmesiyle gerçekleşmiştir. Günümüzde metalik, organik veya seramik esaslı fiberlerden yapılan kompozitler, ev eşyaları, spor malzemeleri gibi düşük performanslı uygulamalarda kullanılmasının yanı sıra roket motorları ve uçak kanatları gibi yüksek performanslı uygulamaları da mevcuttur.

Fiberler yapı içerisinde bir uçtan diğer uca kadar uzanan sürekli olabileceği gibi, uzun fiberlerin kesilmesi ile elde edilen süreksiz fiberler, çeşitli dokuma ve örgüler şeklinde de kullanılmaya elverişlidirler.

4.2.2 Pul Kompozitler

Kompozit malzeme terminolojisinde küçük boyutlu, genişlik/kalınlık oranı yüksek olan film veya düz levhasal şekilli partiküller pul, bunların uygun bir matris veya bağlayıcı faz ile oluşturdukları yapılarda pul kompozitler olarak adlandırılır. Matris içinde yer alan pulların konsantrasyonları düşük olabileceği gibi birbiri ile temas etmelerini sağlayacak derecede yüksek değerlerde de olabilir. Düzlemsel yapıya sahip pullarla sıkı bir paketlenme elde edilebilir. Pulların birbirine paralel sıralanmaları durumunda kompozit malzeme, pul düzlemi içinde her eşit mekaniksel özellikler gösterir. Bu tür bir sıralanma yüksek pul konsantrasyonlarında gerçekleştirilirse, labirent şekilli bir iç yapı elde edilir. Böyle bir yapı sıvıların veya gazların malzeme içine geçişi için önemli bir engel teşkil eder. Ancak pratikte pulların paralel sıralanmalarını sağlamak oldukça güçtür. Pul kompozitlerin mekaniksel ve fiziksel özellikleri pulların paralel sıralanmasını ve konsantrasyonuna bağlı olarak önemli ölçülerde değişebilir. Düşük konsantrasyonlarda pul düzlemine dik yönlere mekaniksel özellikler düşük olmakla beraber, pul konsantrasyonu arttırılıp düzlemler arası mesafe

küçültüldüğünde matrisin serbestçe deforme olması sınırlandırılır. Kompozit malzemenin ısı ve elektriksel iletkenlik veya yalıtkanlık gibi fiziksel özellikleri de pul konsantrasyonuna göre değişir. Örneğin metalik bir matris içerisinde birbiri ile temas edecek oranda cam veya mika pulları yer aldığı ısı ve elektriksel direnç artarken, polimerik matris içindeki alüminyum veya gümüş pulları ısı ve elektriksel iletkenliği artırır. Pullar fiber yapıya pekiştiricilere göre daha ucuz olmakla birlikte pul şeklinde üretilen malzemelerin sayısı oldukça sınırlıdır. Ayrıca pulların şekil ve boyutlarının kontrolü de zordur. Örneğin mika pullarının üretiminde madencilik aşamasından başlayarak özel hazırlama tekniklerinin uygulanması gerekir. Yapay olarak üretilen cam pullarda ise pul kenarlarında çatlak ve çentiklerin oluşmaması için özel bir dikkat gerekir. Pul malzemesi olarak en çok kullanılan cam, mika ve bazı metallerdir. Plastiklerin pekiştirilmesinde kullanılan cam pullar, cam fiberlere göre bazı üstünlüklere sahiptirler. Bunlar;

- Pullar kendi düzlemleri içinde büküldüklerinde eğme rijitlikleri daha yüksektir.
- Pul düzlemi içinde üniform mekaniksel özellikler gösterirler.
- Düzlemsel şekilleri nedeniyle daha yüksek hacim oranlarında kullanılabilirler.
- Pul üretimi fiber ve kumaş üretimine göre daha ucuzdur.
- Pul kompozitlerin labirent şeklindeki yapıları nedeniyle nem, buhar ve sıvıların yapıya girmeleri daha zordur.

4.2.3 Partikül kompozitler

Partikül kompozitler, bir veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik partiküllerin matris fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Makroskobik veya mikroskobik boyutlu partiküller kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkiler. Partikül takviyeli kompozitleri fiber ve pil kompozitlerden ayırt eden karakteristik özellikleri, partiküllerin, matris içerisinde tamamen rasgele dağılması ve bu nedenle malzemenin izotropik özellik göstermesidir. Partikül takviyeli kompozitler, sermetler ve dispersiyonla sertleştirilmiş alaşımlar şeklinde iki grup içinde toplanabilir.

4.2.3.1 Sermetler

Sermetler, seramik ve metal fazların karışımından oluşurlar. Seramikler genel olarak yüksek sıcaklık dirençleri, yüksek ergime sıcaklıkları, ısı kararlılıkları ve elastik davranışları ile karakterize edilirler. Metaller ise genelde sünek malzemelerdir. Bu iki bileşenin kombinasyonu ile faydalı özelliklerini birlikte kazanmak mümkündür. Mikroskobik yapıları incelendiğinde matris (veya bağlayıcı) içinde dağılması seramik partikülleri seçilir. Matrisin hacim oranı %30'a kadar çıkabilir. Bazı sermet sistemlerinde bileşenlerin birbiri içerisinde kısmen çözünmesi sonucu arayüzey bağı oluşur. Diğer taraftan, oksit esaslı bazı seramiklerde

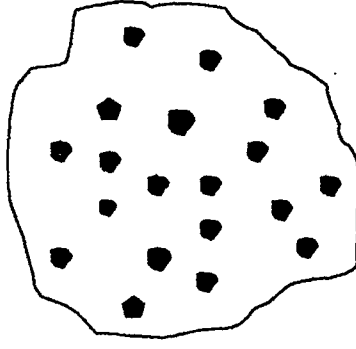
metaller arasında genellikle zayıf bir bağlanma görülür. Bu durumda sisteme, yapı bileşenlerinin her ikisi ile katı eriyik oluşturan katkı maddeleri ilave edilerek arayüzey bağını kuvvetlenmesi sağlanır. Örneğin nikel-magnezyum oksit sermetine titanyum nitür ilave edildiğinde, metal ile oksit fazın arasında arayüzey tabakası oluşturan titanyum nitür bağlayıcı bir faz etkisi gösterir.

Sermet kompozitleri oksit veya karbür esaslı olabilirler. Özellikleri metal ve seramik bileşenlerinin kimyasal bileşenlere ve hacimsel oranlarına bağlı olarak geniş sınırlar içerisinde değişebilirler. Oksit esaslı sermetlerde metal veya seramik fazdan herhangi biri partikül diğeri matris bileşenini oluşturabilir.

Çizelge 4.1 Al-SiC_p komozitlerinin metalografik karakterizasyonu (Pitchumani, 1994).

Matriks Alaşımı	SiC _p Hacim oranı (%)	Primer İntermetalik Bileşik	İntermetalğin Hacim oranı (%)	Porozite Hacmi (cm ³ /100gr)
Al 2124	0	CuAl ₂	7.4 ± 2.1	0
Al 2124	25	CuAl ₂	4.4 ± 2.8	0
Al 2124	25	CuAl ₂	10 ± 3.9	0
Al 2124	30	CuAl ₂	6.7 ± 3.7	1.4 ± 1.8
Al 6061	0	Mg ₂ Si	5.2 ± 2.2	0
Al 6061	20	Mg ₂ Si	15.5 ± 4.8	0
Al 6061	25	Mg ₂ Si	2.9 ± 2.2	0
Al 6061	30	Mg ₂ Si	1.2 ± 2.1	2.6 ± 2.3
Al 6061	40	Mg ₂ Si	3.3	0
Al 6061	55	Mg ₂ Si	8	0
Al 7091	0	MgZn ₂	6.9±2.6	0
Al 7091	10	MgZn ₂	6.9±2.8	0.5 ± 0.9
Al 7091	20	MgZn ₂	4.4±2.6	0
Al 7091	30	MgZn ₂	3.2±1.1	4.2±2.8

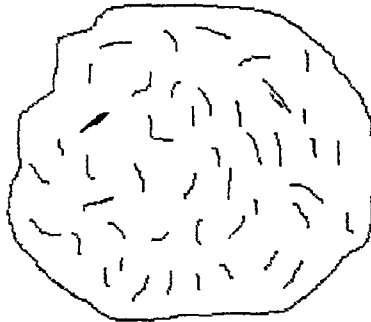
Karbür esaslı sermetler metalik bir bağlayıcı faz ile karbürlerin kombinasyonundan oluşurlar. Karbürler çok sert, gevrek, aşınmaya karşı yüksek direnç gösteren ergime sıcaklıkları yüksek malzemelerdir. Karbür partikülleri metalik bir yapı içerisinde yer aldıklarında bu özelliklerinin yanı sıra belirli ölçülerde tokluk özelliği gösteren kompozitler elde edilebilir. Bu tür kompozitler sert metallerin kesilmesi, delinmesi ve işlenmesi için ideal malzemelerdir. Silisyum karbür, tungsten karbür, krom karbür, titanyum karbür ve bor karbür en çok kullanılan karbür çeşitleridir.



Şekil 4.2 Partikül takviyeli kompozitler

4.2.3.2 Dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımlar

Dispersiyonla kuvvetlendirmede prensip sert, inert ve refrakter karakterli, birkaç mikron boyutundaki partikülleri 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. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de gösterildiği gibi dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımlarda sermet kompozitleri arasındaki fark, partiküllerin boyut ve hacim oranları ile ilgilidir. Dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımlarda partikül boyutu mikrometre boyutunda olup hacim oranları %3-5’i aşmaz. Disperste olan fazın mukavemet üzerindeki etkisi esas olarak, dislokasyon hareketlerini önleme şeklindedir. Partiküllerin boyutu, matris içerisinde dağılım homojenliği, partiküller arası mesafe ve matris-partikül arayüzey kompozit performansını etkileyen faktörlerdir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için, disperse olan fazın matris içerisindeki çözünürlüğünün düşük olması ergime sıcaklığı ve ısıl kararlılığın yüksek olması arzu edilir.



Şekil 4.3 Dispersiyonla kuvvetlendirilmiş kompozitler.

Dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımların üretiminde karşılaşılan bazı pratik güçlükler

nedeniyle endüstriyel olarak üretilen sistemlerin sayısı sınırlıdır. Al_2O_3 dispersiyonu ile kuvvetlendirilmiş alüminyum alaşımı, ThO_2 dispersiyonu ile kuvvetlendirilmiş nikel (TD nikel) ve ThO_2 dispersiyonu ile kuvvetlendirilmiş tungsten alaşımı bu tür kompozitler örnek olarak gösterilebilir.

Metal-oksit dispersiyonunun yanı sıra metal-metal, metal-plastik, metal-seramik ve metal dışı –metal dışı dispersiyonlar da vardır. Çelik ve bakır esaslı alaşımlar içerisinde kurşun, epoxy reçinesi içerisinde alüminyum, grafit içerisinde bakır dispersiyonları ile, alüminyumoksit-zirkonyumoksit, grafit-zirkonyum karbür kompozitleri endüstrinin çeşitli dallarında kullanılan kompozitlerdir.

4.2.4 Dolgu kompozitleri

Dolgu tipindeki kompozitler, adından anlaşılacağı gibi üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin yine üç boyutlu dolgu malzemesi ile doldurulması veya emprenye edilmesi ile oluşan malzemelerdir. Matris çeşitli geometrilere sahip bir iskelet veya şebeke yapısına sahiptir. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Bu tür kompozitler sandviç kompozitler olarak bilinirler. Optimum özelliklere sahip kompozitlerin üretimi için birbiri içerisinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir.

4.2.5 Tabaka yapılı kompozitler

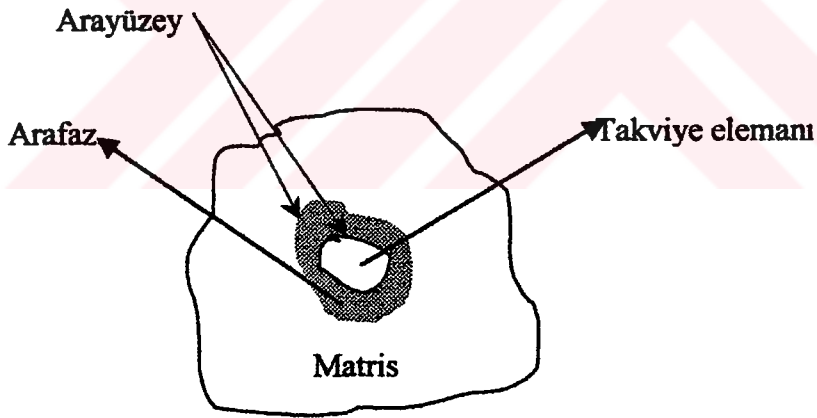
Tabaka yapılı kompozitler, farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşurlar. Tabakaları bir araya getirmedeki amaç, değişik fiziksel, mekaniksel, kimyasal özelliklerinin kazanılmasına yönelik olabilir. Çok değişik kombinasyonlarla tabakalanmış kompozitlerin üretimi mümkündür. Metaller üzerinde uygulanan metalik, organik veya seramik kaplamalar; cam-plastik-cam tabakalarından oluşan kompozitler, kağıt üzerine kaplanmış kompozitleri, reçine emprenye edilmiş kağıt tabakalarından oluşan kompozitler, farklı fiber yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle elde edilen yapılar bu tür kompozitlere örnek olarak gösterilebilirler. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert metallerle birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır.

4.3 Matris malzemeleri ve matris-takviye arayüzeyi

Matris metali olarak kesin bir ayırım yapmanın mümkün olmamakla birlikte, kullanılacak takviye elamanına uygunluğu ve üretim yönteminden gelen kısıtlamalar, matris malzemesi olarak bazı malzemeleri öne çıkartmıştır. Alüminyum, Bakır, Magnezyum, Titanyum gibi değişik özelliklerdeki malzemeler saf olarak kullanıldığı gibi yaygın olarak alaşımları ile birlikte kullanılmaktadır. Ayrıca takviye malzemesi ile matris malzemesinin uygunluğu, matris malzemesinin ıslatması, oluşan reaksiyonlar sonucu meydana gelen arayüzeyin mekanik özellikleri, seçim yapılırken ne kadar hassas olunması gerektiği konusunda temel fikri vermektedir.

Ara yüzeyde oluşan bu süreksiz tabakalar, kompozitin deformasyonu sırasında çatlak oluşturan bölgeler olarak davranırlar. MMK malzemelerde ara yüzey bağ mukavemetini arttırmak için;

- Islanabilirliği arttırmak
- Kimyasal etkileşimleri kontrol etmek
- Oksit oluşumunu minimuma indirmek gerekmektedir.

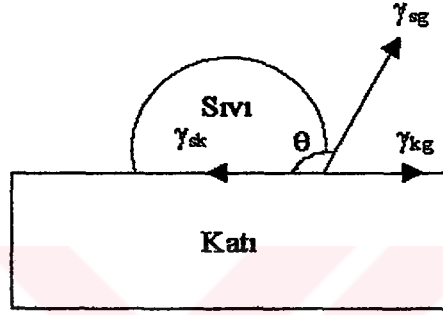


Şekil 4.4 Kompozit bir malzemede arafaz ve arayüzeylerin görünümü (Demirkesen, 1991)

Metal seramik sistemlerinde, kompozitin tüm özellikleri büyük ölçüde metal-seramik ara yüzeyinin özelliklerine bağlıdır. Arayüzey, element konsantrasyonlarının kristal yapısının, atomik düzenin, elastik modülün, yoğunluğun ve termal genleşme katsayısının bir taraftan diğerine değiştiği iki boyutlu süreksiz bir alandır. Atomik düzen ele alındığında uyumlu ve uyumsuz ara yüzeylerin oluşması söz konusudur. Uyumlu bir ara yüzey, her iki kristalinde ara yüzeyde benzer kafesler tarafından paylaşılmasıdır. Bu arayüzeyin her iki tarafına da birbirine karşılık gelen atom grupları olması anlamına gelir. Genel olarak zorlanmamış kristaller

arasında kusursuz bir atomik bir düzen oluşmaz. Bunun yanında ara yüzeyde uyumluluk, daima kristalin elastik deformasyonu ile ilgilidir.

Matriks-takviye ara yüzeyinde, ıslatabilirlik kavramı önem kazanmaktadır. ıslatmanın meydana gelebilmesi için ara yüzey bağ mukavemetinin sıvının yüzey gerilimine galip gelmesi gerekmektedir. ıslatılabilirlik, temas açısı θ ölçülerek belirlenebilir. Şekil 4.5'te katı bir malzemeye sıvı metalin damlatılması sonucunda bu damlacığın ortaya çıkarmış olduğu geometri ve oluşan ara yüzey kuvvetleri verilmektedir.



Şekil 4.5 Temas açısını ve arayüzey kuvvetlerini gösteren sıvı damlacığı metoduna göre ıslatma olayının şematik gösterimi

İdeal bir ıslanma için, temas açısının (θ) sıfır olması, yani yüzeyi tamamen kaplaması gerekmektedir. Etkin bir ıslanma için ise katı-sıvı arayüzey enerjisinin düşük olması, sıvı-katı yüzey geriliminin düşmesi ve temas açısının 90° 'den düşük olması gerekmektedir. Benzer şekilde, temas açısının 180° olması halinde ıslatma olmayacaktır. Şekil 4.5'teki denge şartlarında Thomas-Young eşitliği kullanılmaktadır.

$$\gamma_{kg} = \gamma_{ks} + \gamma_{sg} \cdot \cos \theta \quad (4.1)$$

veya

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\gamma_{kg} - \gamma_{ks}}{\gamma_{sg}} \quad (4.2)$$

Arayüzey bağ mukavemetini dolayısı ile sıvı katı ara yüzeyinde ıslanmayı etkileyen temel faktör partikül dağılımıdır. Arayüzeyde partikül dağılımının homojen olması için partikül boyutunun, sıvının viskozitesinin ve katılaşma hızının yüksek olması gerekir. Ayrıca sıvı

faktör partikül dağılımıdır. Arayüzeyde partikül dağılımının homojen olması için partikül boyutunun, sıvının viskozitesinin ve katılma hızının yüksek olması gerekir. Ayrıca sıvı matris almasını seramik partikül arasındaki yoğunluk farkının ve arayüzeyde sıcaklık gradyanının da düşük olması gerekir. Bunların yanı sıra, partiküllerin eş eksenli olması partikül aglomerasyonu önlemek için, sıvı matrisin karıştırılması gerekmektedir.

Kompozit malzemelerin özellikleri, katı-sıvı-gaz fazları arasındaki enerji dengelerine ve dolayısıyla ısıtılabilirlik açısının büyüklüğüne bağlı olduğundan ısıtma açısının düşürülmesi için çeşitli ön işlemler yapılmaktadır. Esas amaç arayüzey bağ mukavemetini arttırmaktır, ve bu takviye malzemesi, matris ve matris/takviye arayüzey özelliklerine bağlıdır. Kompozit malzemelerde arayüzey karakteristiğini, sıcaklık, difüzyon, kalıntı gerilmelerin etkilediği göz önünde tutulmalıdır. Arayüzeyin iki boyutlu bir bölge olarak düşünülmesinin yanı sıra, bu bölgelerde oluşan kompozisyona bağlı metallere birleşikler karşılıklı difüzyon etkileşimleri sonucu değişen arayüzey geometrisi ve boyutları, morfolojisi, fiziksel, kimyasal, mekanik ve termal özelliklerde kompozit malzemenin kalitesini önemli derecede etkilemektedir.

4. 4 MMK Malzemelerde Üretim Yöntemleri

MMK malzemelerin üretimi için değişik yöntemler geliştirilmiş ve araştırmalar devam etmektedir. Genel olarak bu yöntemler, yapıyı oluşturan malzemelerin üretimi ve şekillendirme işlemleri olarak ayrılabilir. Bu nedenle her üretim tekniğinin bileşen yapısı, büyüklüğü ve buna bağlı içyapı özellikleri ile ilgili kendine özgü sınırlamaları vardır. Temelde üç grupta incelenebilir;

- Sıvı faz yöntemleri
- Katı faz döküm yöntemleri
- Reaksiyon (in-situ) yöntemleri

4.4.1 Sıvı faz üretim yöntemleri

Sıvı faz üretim yöntemleri geleneksel döküm yöntemlerinin kompozit malzemeler üzerine uygulanması ile geliştirilen yöntemlerdir. Değişik yöntemlerin uygulandığı bu yöntemde matris, seramik takviye ile temas sağlandığında, kısmen ve ya tamamen eriyik durumdadır. Bu durum, matris ile takviye malzemesi arasında iyi bir temas sağlandığından ara yüzey bağları kuvvetli olur, ancak sıcaklık basınç, temas süresi gibi değişkenlerin kontrol edilememesi halinde, ara yüzey reaksiyonları oluşabileceği için, kırılmalı bir yapı ile karşılaşılabilir. Buna rağmen yöntemin, aşağıda verilen genel avantajlarından dolayı, ticari

bakımdan daha uygun bir yöntem olmasına yol açmıştır.

MMK malzemelerin dökümü sırasında meydana gelen temel olaylar sıvı metalle seramik partikülün teması ve bağların oluşmasıdır. Bu olaylar seramik fazın sıvı metale karıştırılması ile ya da basınçlı dökümle başarılabilir. Seramik fazın bir çok metal tarafından düşük ıslatma kabiliyeti, döküm sırasında temel sorun oluşturur. Islatılabilirliğin suni olarak arttırılması ve ya yüzey enerjisinin dışardan uygulanacak kuvvetin yenilmesiyle aşılabılır.

- Basit ve ucuz olması
- Kompleks ve şekilli parçaların mekanik işlemeye tabi tutulmadan elde edilmesi
- Çeşitli metal matris ve fiberler için uygun olması
- Sık ihtiyaç duyulan kompleks parçaların üretim kolaylığı.

Çizelge 4.2 Takviye şekline bağlı olarak tavsiye edilen üretim yöntemleri (Kolukısa, 1999).

ÜRETİM YÖNTEMİ	TAKVİYE MALZEME TİPİ				
	Sürekli Fiberler		Süreksiz Fiberler		
	Tek Lifli	Çok Lifli	Kısa Fiber	Whisker	Partikül
İnfiltrasyon	B	A	A	A	B
Sprey-Yığma	A	A	C	C	A
Karıştırma Döküm	C	C	B	B	A
Toz Metalurjisi	C	C	A	A	A
Sıcak Presleme	B	A	C	C	C
Difüzyon Bağı	A	C	C	C	C

A - Geçerli uygulama

B - Yaygın olarak kullanılan

C - Pratik değil

4.4.1.1 Sıkıştırma döküm yöntemi

MMK malzemelerin üretilmesinde sıkıştırma döküm tekniğinin, pratik ve geleceği olan yöntemlerden birisi olduğu bildirilmektedir. Sıkıştırma döküm yöntemi, katılaşma sistemine genelde hidrolik pistonla basınç uygulanmasıdır. Eriyiğin yeteri derecede hızlı soğutulması sağlandığı takdirde ince taneli içyapı elde etme olasılığı artmakta ve sıvı metalin uygun süreksizlikte ve ortamlarda yapılması halinde, porozite çok düşük seviyelere indirilebilir. En önemli avantajlarından biri katılaşma sürecinde basıncın kesintisiz uygulanması ile dendrit büyüme düzenini bozarak tipik % 5 kendini çekme boşluğunu kompanse etmesidir.

Döküm tekniği açısından ve elde edilen ince taneli yapı nedeniyle bu yöntem kompozit

metalın basınç altında takviye türünden ödün vermeden sıkıştırılması esasına dayanmaktadır. Bu işlemin ardından sıvı metal üzerine basınç uygulanmaktadır. Görece yüksek bu basınç (70-100 Mpa) takviye malzemesi ile matris arasında oluşan bağ mukavemetini arttırmaktadır. Oluşan bu yüksek mukavemetten dolayı da otomotiv, uçak ve yüksek mukavemet gerektiren yapılarda geniş kullanım alanları bulmaktadır.

Uygulanan basıncın, takviye ve matris arasındaki sürtünme kuvvetlerini yenmesi gerekmektedir. Metal matrisler ve seramik takviyeler için bu basınç 70-100 MPa arasındadır. Basıncın sürekli olması, ince taneli yapı elde edilmesi, iyi bir yüzey kalitesi ve düşük porozite avantajlarının olmasının yanı sıra parça boyutu sınırlayıcı bir faktördür. Diğer bir dezavantaj ise takviye malzemesin basınç esnasında kırılma ihtimalinin daha yüksek olmasıdır.

4.4.1.2 Karıştırma döküm

Kompozit malzeme üretim yöntemleri içinde en kolay ve ucuz olan bir üretim yöntemidir. Takviye malzemesi olarak SiC, Al₂O₃, mika, cam, grafit, TiC ve MgO gibi fiber yada partikül şeklindeki güçlendiriciler kullanılır. Katı durumdaki güçlendiriciler eriyik haldeki metale katılarak karıştırılır ve katılaşıma kadar beklenir. Ancak bu yöntemin en büyük dezavantajı takviyelerin yeterince iyi ıslatılmaması, arayüzey mukavemetinin çok düşük seviyelerde olma ihtimali ve porozite miktarının fazla oluşu gibi kompozit malzemesi için çok önemli mekanik özelliklerin olumsuzluğudur. Bu yüzden bu yöntemle üretilen malzemeler ekstrüzyon ve haddeleme gibi son şekil verme işleminden geçirilmeli yada basınçlı döküm için hammadde olarak kullanılmaktadır.

4.4.1.3 Metal püskürtme

Bu yöntemde takviyesiz metaller için geliştirilmiş püskürtme yöntemlerinde, püskürtülen metalin içine takviyeler enjekte edilmektedir. Alcan firması bu yöntemle 10 kg / dak hızla 200 kg'a varan ingotlar üretmektedir. Bu yöntemde tekrar bir ergitilme söz konusu değilse, matris ile takviyelerin temas süreleri kısa olduğundan arayüzeyde genellikle reaksiyon oluşmaz ve değişik takviye/matris çiftleri için kullanılabilir. Malzeme % 5 oranında gözenek içerdiğinden ikinci şekillendirme yapılması gereklidir. Püskürtme yöntemi toz metalurjisi tekniğinden daha ucuz, döküm tekniğinden daha pahalıdır. Bu yöntemin kullanılması ile matris metalinin, takviye malzeme üzerine püskürtülmesi ile tabakalar halinde malzeme elde edilmesidir. Örneğin alüminyum matris, silisyum karbür kaplı bor elyaf üzerine başarıyla püskürtülebilirler ve daha sonra bu tabakalar sıcak presleme ile birleştirilebilirler.

püskürtülebilirler ve daha sonra bu tabakalar sıcak presleme ile birleştirilebilirler.

4.4.1.4 İn-situ kompozit malzemeler

Metal alaşımlarının kontrollü yada yönlü katılaştırılması tekniğine dayanılarak geliştirilen bir yöntemdir. Belirli geometrik düzene sahip iç yapıların elde edilmesi, ötektiklerin normalde eş sıcaklıklarda katılarak iki fazlı yapı oluşturması prensibine dayanır. Ötektik alaşımlar, yönlendirilmiş katılma ile fazın biri matris daha sert ve gevrek olan diğeri ise levha veya çubuk biçimindeki takviye olmak üzere katılaştırılabilirler. Bu teknikle üretilen kompozitler mükemmel bir kimyasal ve ısıl kararlılığa sahiptir. Bu kararlılık fazlar arasındaki ara yüzey enerjisinin minimum olmasından kaynaklandığı kabul edilmektedir (Aran,1997).

İn-situ kompozitler özellikle türbin kanatçıkları gibi yüksek sıcaklıklarda çalışan parçalarda kullanılırlar. Yüksek sıcaklık malzemeleri olarak önceleri Fe, Ni veya Co esaslı Cr, Mo ve W gibi alaşım elementleri içeren süper alaşımlar kullanılmaktaydı. Ancak bu malzemelerde zamanla ikinci faz çökelp özellikler değiştiğinden parçaların kullanım sıcaklık ve süreleri sınırlı olmaktadır. Ötektikler yönlendirilerek yapılan yeniden katılaştırmada ise fazlar etkileyen gerilmeye paralel olarak katılaştırıldığından gerilmeye dik faz sınırları bulunmaz. İn-situ kompozitlerinin üstünlüğü tek bir işlemle elde edilmeleri, iç yapılarının arayüzey reaksiyonları sonucu ve takviye kusurları gibi mekanik özellikleri olumsuzlaştıran yapıların bulunmayışıdır.

Çizelge 4.3 Alüminyum-Silisyum döküm alaşımlarının kimyasal bileşimleri (Ejiofor, 1997)

Alaşım	Üretim Yöntemi	Element (% Ağırlık)					
		Si	Cu	Mg	Fe	Zn	Diğerleri
350 Serisi	KD/SD	3-7	0.2-1.25	0.35-0.55	0.06-0.2	0.1-0.35	
380 Serisi	BD	8.5-10	2.0-3.5	0.1-0.3	1.3	3.0	0.3 Sn
390 Serisi	BD	7.5	4.5	0.55	1.3	0.1	0.1 Mg
400 Serisi	KD/SD/BD	5.25	0.1-0.3	0.05-0.1	0.8-2.0	0.5	

4.4.2 Katı faz yöntemleri

Metal matrisi sıvılaştırmadan kompozit malzeme üretmek mümkündür. Aşağıda bu üretim tekniklerinden önemli olanlarından kısaca bahsedilmektedir.

4.4.2.1 Toz metalürjisi

Takviyelerin erimiş metal ile ıslatılmaları genellikle güç olduğundan ve bazı malzemeler için

başlayan bu işlemde genellikle presleme yöntemiyle % 90 yoğunluğa varan bir ön biçim oluşturulur. Bu şekilde hazırlanan malzeme vakumlanır, yüksek sıcaklıkta sinterlenerek katı hal bağı hazırlanır. Daha sonra ekstrüzyon gibi bir yöntemle biçimlendirilerek gözenekler giderilir ve tozların yüzeyindeki oksit filmi kırılarak metal-metal teması artırılır. Bu arda kümeleşmiş takviyeler daha homojen olarak dağıtılmış olur. Ancak bu şekillendirme esnasında elyaf takviyeler kırılabilir ve yönlendirilerek anizotropi oluşabilir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan toz metalürji tekniğinin özellikleri şunlardır:

- Her türlü matris alaşımı ve takviye türü için uygulanabilir.
- Katı hal yayınması sırasında arayüzeydeki reaksiyonlar en alt düzeyde oluşur.
- Yüksek hacim oranlarında takviye katmak mümkündür.
- Yöntem çok sayıda işlem gerektirdiğinden pahalı bir uygulamadır (100 \$ /kg).

4.4.2.2 Folyoların sıcak presleme ile birleştirilmesi

Bu yöntemde lifler alüminyum, magnezyum ve titanyum gibi metal folyoların arasına yerleştirilerek, yüzeye püskürtülen ve daha sonra presleme sırasında yanarak uzaklaşan bir bağlayıcı ile konumlarından kaymamaları sağlanır. Bu şekilde hazırlanan kompozit malzeme istenilen boyutta kesilerek sıcak preslenir.

Bu yöntemde birleştirme bazen vakum ortamında yapılır. Paslanmaz çelik, bor ve silisyum karbür gibi elyaf, titanyum ve alüminyum gibi matrisle birlikte kullanılabilir. Gerekli yüzey işlemlerden sonra, lifler istenilen aralıklarda ve yönlerde metal sacların üzerinde düzenlenir. Tabakalar halinde hazırlanan bu malzemeler bir metal kaba yerleştirilir, sızdırmazlık sağlanır ve vakuma alınır. Sonra tümü ısıtılarak yayınma ile birleşmenin sağlanması için preslenir. Plazma püskürtme, sıcak haddeme ve buhar yoğunlaştırma ile elde edilmiş levha halindeki ön biçimler de ısı ve basınç altında yayınma ile birleştirilebilir (Aran, 1997).

4.4.2.3 Haddeme

Metal bantlar ve elyaf birlikte sürekli bant olarak haddelenir. Temas süresi kısa olmasına rağmen sıcaklık ve basınç etkisiyle yayınma bağı sağlanır. Daha sonra bu şekilde elde edilen tabakalar üstüste konularak malzemenin kalınlığı artırılabilir. Haddeme yönünde yüksek mukavemet değerlerine ulaşmak mümkündür.

4.4.3 Diğer yöntemler

Buhar Fazından Çökeltme: Buhar fazına alınan matris takviye ve malzeme üzerine çökertilir. Alçak sıcaklıkta yapılması önemli bir avantajdır. Yüksek elyaf yoğunluğu elde edilebilir, ama

bir yöntemdir. Örneğin titanyum için kullanılır ve sürekli olarak bir vakum odasından geçirilen elyafın üzerine metal buharları çökertilir. Metal buharı çubuk şeklindeki matris metalinin ucuna yüksek enerjili bir elektron ışını göndererek elde edilir. Kaplanmış elyaf bir demet halinde toplanarak sıcak presleme ile birleştirilebilir. Bu şekilde % 80'e varan hacim oranları ve homojen bir dağılım elde edilmektedir.

Çizelge 4.4 Takviye çeşitlerinin karakteristik özellikleri (Giro, 1987).

TÜR	BİLEŞİM	BOYUT (μm)	YOĞUNLUK (g/cm^3)	ÇEKME DYANIMI (Gpa)	E (Gpa)	
PARTİKÜL	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	3,0-6,0	360	
	TiC	46	4,9	0	320	
	BN	46	2,225	0,8	100-500	
	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	
FİBER	Karbon T 300	2,5 (l) 7,8 (d)	1,75	3,45	230	
	SiC Nicalon	1-6 (l) 10-15 (d)	2,55	3	195	
	Al ₂ O ₃ FP	3-6 (l) 15-25 (d)	3,96	1,7	380	
	Al ₂ O ₃ Saffil	0.1-1 (l) 15-25 (d)	3,3	2	300	
	WHISKER	SiC (Tokai)	50-200(1) 0,1-1(d)	3,2	3.0-14	400-700
		SiC (Arco)	50(1) 0,2-1(d)	3,2	13	700
Al ₂ O ₃		100(1) 2(d)	3,97	15	2275	
l (mm); fiber uzunluğu		d (μm); fiber çapı				

Elektrolitik Yöntem: Elektroliz banyosuna katot olarak görev yapan bir mandrel daldırılır. Mandrale sarılmış elyafın arasına çökelen matris metali kompozit malzemeyi oluşturur. Bo,

silisyum karbür ve volfram gibi elyaf türleri bu yöntemle örneğin nikel bir matrise gömülebilir. İşlem düşük sıcaklıkta yapıldığından elyafın özellikleri bozulmaz (Aran, 1997).



5. MATERYAL VE METOD

5.1 Materyal

Kompozit malzemeler yüksek performans gerektiren uygulama alanlarının yanı sıra daha düşük performanslı alanlarda da örneğin otomotiv endüstrisinde kullanma isteği, araştırmacıları, kompozit malzeme üretim maliyetini, bu tür endüstriler için daha makul seviyelere indirecek çalışmalara yöneltmiştir. Çünkü bu tür alanlar ticari kaygıların ön planda olduğu ve rekabetin endüstrideki gelişmeyi belirlediği alanlardır.

Malzeme ve makine mühendisleri, kompozit malzeme tasarım ve üretim proseslerinde maliyet etkisini göz önünde tutarak ve kullanıma sunulan kompozit malzemelerin, rekabet gücünü arttıracak düzeyde yüksek mukavemet değerlerine sahip olmasını amaçlamaktadırlar.

Kompozit malzeme tasarım ve üretiminde, matriks alaşımını ve takviye elemanının uygun seçilmesi malzemenin iyi mekanik özelliklere sahip olması bakımından oldukça önemlidir. Çünkü malzemenin gerilme altındayken göstereceği dayanım, matriks ve takviye elemanlarının oluşturacağı arayüzle yakından ilgilidir.

Bu çalışmada, Al Si7 Mg2 matriks alaşımlı döküm malzemesine, partikül boyutunda ve ağırlıkça % 5,10 ve 15 oranlarında silisyum karbür (SiC) ilave edilmiştir. Gravite döküm ve sıkıştırma döküm yöntemleri kullanılarak üretilen kompozit malzemenin yoğunluk, sertlik, darbe dayanımı ve çekme dayanımı gibi özelliklerinin araştırılmasının yanı sıra optik mikroskopta metalografik incelemeleri yapılmıştır. Ayrıca aynı araştırma ve incelemeler, sıkıştırma döküm sonrası 400 ° C 'de 1 saat tavlandıktan sonra dövülen kompozit malzeme için de yapılmıştır.

5.1.1 Matriks Alaşımı

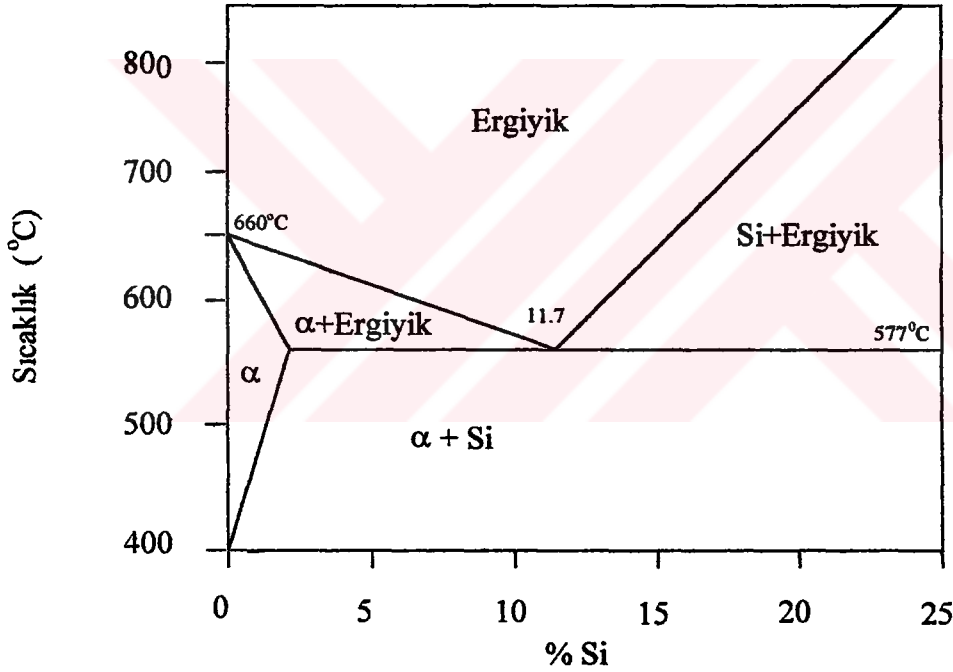
Kübik yüzey merkezli olan alüminyum kristal kafes yapısına ancak çok küçük oranlarda alaşım elementi alabilir. Bu element oranlarının daha yüksek olması durumunda alüminyum atomlarından ve alaşım elementlerinin çözünmeyen kısmından sert ve kırılğan kristal çeşitleri oluşur. Bu oran şekillendirilmek istenen döküm malzemeler için % 3-8 oranındadır. Ancak Al-Si alaşımı istisnai bir durum oluşturur ve % 11,7' de ötektik noktaya sahip olur. Çizelge 5.1'de matriks malzemesinin kimyasal kompozisyonu gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 Al Si7 Mg2 matriks alaşımasının kimyasal bileşimi.

Alüminyum	Si	Mg	Fe	Mn	Zn	Ni	Co	Cu	Ti
Kalan	7	2	0.56	0.35	0.116	0.074	0.122	0.10	0.086

Döküm alaşımı olarak kullanılan Al-Si alaşımı kolay şekillendirilebilir, ince cidarlı ve kompleks parçaların dökümlerine elverişli bir alaşımdır. Mg ilavesi ile matriks alaşımının mukavemetini arttırmak ve korozyona karşı direncini geliştirmek amaçlanmıştır.

Matriks alaşımı olarak sıkıştırma döküme uygun Al-Si alaşımı kullanılmıştır. Ayrıca matriks alaşımı ile takviye elemanı arasındaki yüzey enerjisini düşürerek (ıslatma açısını düşürerek) iyi bir bağ oluşturmasını sağlamak ve böylelikle dayanımı yüksek bir arayüzey bağı oluşturmak için % 2 ilave edilmiştir.



Şekil 5.1 Al-Si faz diyagramı

5.1.2 Takviye Malzemesi

Takviye malzemesi olarak matriks alaşımı ile iyi bir arayüzey bağı oluşturan ve kolay elde edilebilir, partikül boyutunda silisyum karbür (SiC) kullanılmıştır. Partiküller 30-60 µm boyutu elde edilebilecek şekilde eleklerden geçirilmiştir. Ancak bu aralıkta bulunan 50-60 µm boyutlu partikülleri oranı, 30-45 µm boyutlu partikül oranına göre oranı daha düşük seçilmiştir. Farklı boyutlarda partikül kullanılmasının sebebi; daha büyük boyutlu

partiküllerin homojen karışım elde etmeye yardımcı olması, küçük partiküllerin daha fazla oranda kullanılması ise dayanım artışına yardımcı olmaktadır.

Takviye malzemesi olarak kullanılan SiC_p 'nin yoğunluğu 2,8 gr/cm³ olup, kompozit malzemenin spesifik mukavemet değerleri için önemli avantajlar sağlamaktadır.

İki döküm yönteminde de ve sonuçta dövme kompozit malzemede ağılıkça % 5, 10 ve 15 oranında silisyum karbür matris malzemesine ilave edilmiştir.

5.2 Metod

5.2.1 Kompozit malzemelerin üretilmesi

Üretimin ilk aşamasında matris malzemesinin elde edilmesi için, ETIAL-140 alaşımına Si oranını % 7'ye düşürecek oranda % 99.9 saflıkta alüminyum ilave edildi. Silisyum oranının ötektik nokta % 11.7'den çekilmesindeki temel amaç katılaşma aralığını genişleterek, takviyelerin matris alaşımı tarafından ısıtılması için yeterli bir süre tanımaktır. Takviyeleri ısıtma kabiliyetini arttırabilmek için % 2 Mg ilave edilmiştir.

Matris alaşımının ergitilmesi sağlandıktan sonra içyapıda istenmeyen yapıların oluşumunu engellemek için yaklaşık 550 °C'de cüruf alınmış, 2 KW gücünde ve 1000 °C'ye çıkabilen indüksiyon ocağı fırınının kullanıldığı ergitme işleminde, takviyelerin (SiC) ilavesi ile oksidasyonu önlemek için koruyucu gaz olarak azot üflenmiştir. Takviye ilavesi yaklaşık 15gr/dak hızla yapılmıştır. Bu aşamada malzeme sıvı- katı aralığında olup, grafit bir çubukla karıştırılmaktadır. Karıştırma işlemi, partikül dağılımının homojen olmasına yardım etmek amacı ile karıştırıcı indüksiyon ocağı içerisinde yukarı-aşağı hareket ettirilmiştir. Partikül ilavesinden sonra, fırına verilen güç kesilerek eriyiğin sıvı-katı aralığına getirilmiş ve takviye-matris arayüzeyi oluşumunun başlanması sağlanmıştır.

Elde edilen kompozitin bir kısmı gravite döküm yöntemi kullanılarak dökümü gerçekleştirilmiştir.

Diğer kısmı ise karıştırma işlemi eriyik hamur haline gelene kadar ve mekanik zorlama ile devam edildikten sonra kompozit malzemenin bir kısmı sıcaklığı 750 °C'ye çıkarılarak metal kalıp içine yerleştirilmiş 100 MPa'lık basınç sürekli ve malzeme katılaşmaya kadar uygulanarak sıkıştırma döküm yöntemiyle kompozit malzeme elde edilmiştir. Geri kalan malzeme ise gravite döküm yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

Sıkıştırma döküm sonrası elde edilen kompozit numuneler, 400 °C'de 1 saat tavlansak

mekanik ve metalografik incelemeye hazırlanmıştır.

5.2.1 Yoğunluğun Saptanması

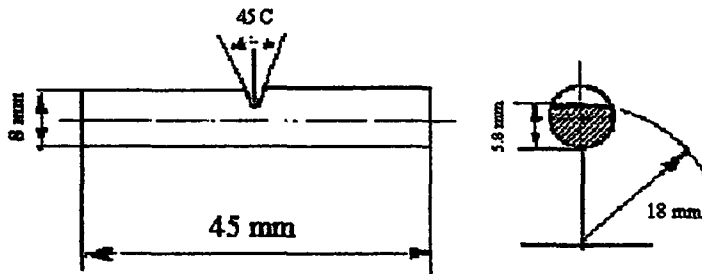
MMK malzemelerin yoğunluk ölçümleri, her numuneden 8 adet küp şeklinde parça alınmış ve bu parçalar 320, 400, 600 ve 800 meshlik zımpara kademelerinden geçirilmiştir. Zımparalama kademelerinden sonra numune yüzeyleri temizlenerek krutulmuştur. Yoğunluk ölçümleri 0.0001 gram hassasiyetli, 4 saniye tepki süresine ve 125 gr tartım alanına sahip Precisa 125 A/ SCS model cihazında yapılmıştır. Archimet Prensibi kullanılarak su içerisindeki ağırlık ve yoğunlukları ölçülmüştür. Her numune için elde edilen yoğunluk değerinin ortalaması alınarak numunelerin yoğunluğu belirlenmiştir.

5.2.2 Sertliğin Saptanması

Kompozit malzemelerden alınan numunelerin sertlik değerleri, Wilson Rocwell Hardness Tester cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Yüzeyleri temizlenen ve ölçüm için hazırlanan her numune üzerinden 10 adet ölçüm yapılarak ve bulunan değerlerin ortalaması alınarak malzemenin sertlik değeri olarak bildirilmiştir.

5.2.3 Darbe Dayanımının Saptanması

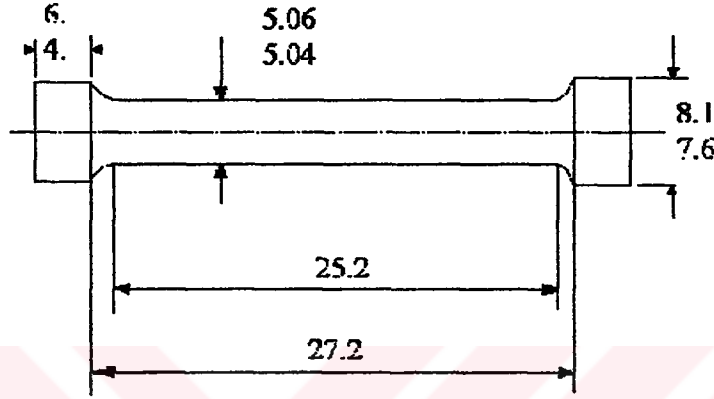
Çentik darbe deneyi için kompozit malzemeden alınan numuneler, Balanced Impact Machine cihazına uygun standartlara göre hazırlanmıştır. Şekil 5.2'de şematik olarak gösterilen numunelerden her takviye oranı için üç ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması malzemelerin darbe dayanımı olarak bildirilmiştir.



Şekil 5.2 Çentik darbe cihazına uygun standartlarda hazırlanmış yuvarlak kesitli darbe numunesinin şematik görünümü.

5.2.4 Çekme Mukavemetinin Saptanması

Çekme deneyi için kompozit malzemelerden alınan numuneler, Mondsnto Tensometer Type "W" cihazına uygun standartlara göre hazırlanmıştır. Şekil 5.3'de şematik olarak gösterilen numunelerden her takviye oranı için 3 ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması malzemelerin çekme mukavemetleri olarak bildirilmiştir.



Şekil 5.3 Çekme cihazına uygun standartlarda hazırlanmış yuvarlak kesitli çekme numunelerinin şematik görünümü.

5.2.5 Metalografik İncelemeler

Bakalite alınan kompozit numunelerin yüzeyi, zımparalama esnasında kopan partiküller tarafından aşındırmaması ve yüzeyde farklı oluşumlara engel olmak için işlem, sulu ortamda ve 320, 400, 600 ve 800 meshlik zımparalar kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra 6 μm parlatma cihazından geçirilen numuneler kurutulularak, yüzeyi temizlenmiş ve optik mikroskopta incelenmeye ve fotoğraf çekimine hazırlanmıştır.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Al Si7 Mg2 alaşımına, ağırlıkça % 5, 10, 15 oranlarında SiC_p takviye edilerek, gravite döküm, sıkıştırma döküm ve sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş kompozit malzemelerin yoğunluk, sertlik, metalografik inceleme, çekme mukavemeti ve darbe dayanımı ile ilgili bulgular aşağıda bildirildiği gibi tartışılmıştır:

6.1 Yoğunluk Değerleri

Al Si7 Mg2 matriks alaşımının yoğunluğu 2,65 gr/cm³, takviye malzemesi SiC_p'nin yoğunluğu ise 2.80 gr/cm³ olduğundan, takviye oranının artması ile karışımlar kuralma göre hesaplanan kompozit malzemenin teorik yoğunluk değerleri beklenildiği gibi yüksektir. Bu yükselme takviye elemanı ile matriks elemanı arasındaki yoğunluk farkı ile açıklanabilir.

Diğer kompozitlerin aksine gravite döküm yöntemi ile elde edilen numunelerin yoğunluğu, teorik yoğunluktan daha düşük olduğu ölçülmüştür. Bunun sebebi ki üretim yöntemi ile ilgilidir, yavaş soğuma sonucu çekirdek oluşumu esnasında meydana gelen dendritlerin büyümesi poroziteye sebep olmaktadır. Meydana gelen boşluklar da malzeme yoğunluğunun daha düşük elde edilmesine sebep olmaktadır. Ayrıca basınç altında olmadan metal matriks ile takviye elemanını iyi bir arayüzey oluşturamaması ile bu bölgelerde meydana gelen boşluklar, düşük yoğunluk değerlerinin ölçülmesine sebep olmaktadır.

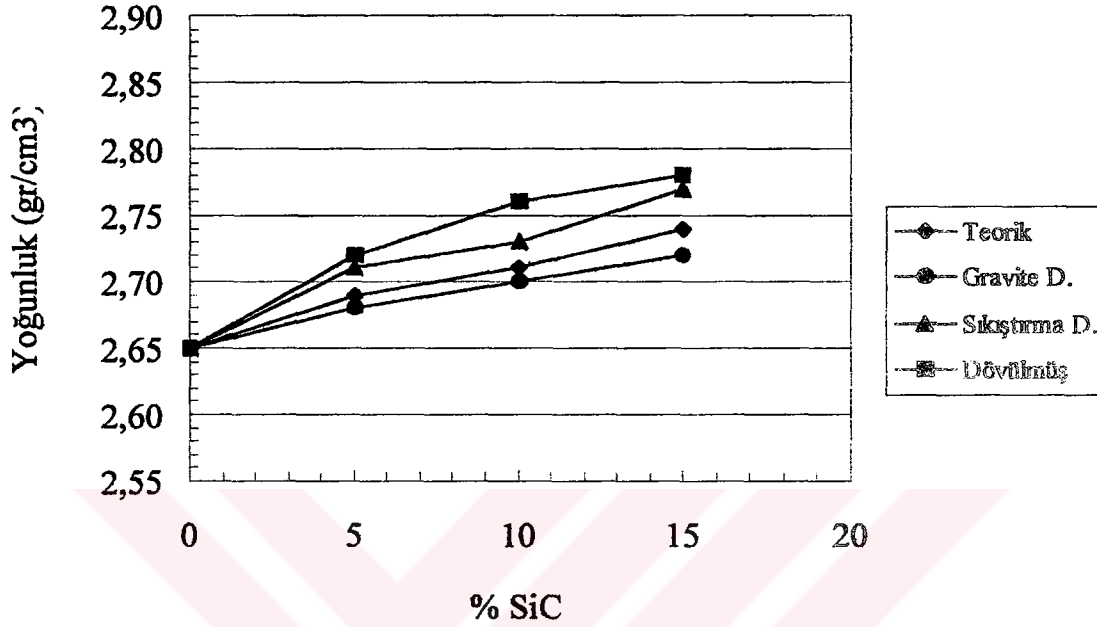
Kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri aşağıda Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen kompozitlerin yoğunluk değerleri

Takviye Türü (% Ağırlık)	YOĞUNLUK (g/cm ³)			
	Teorik Yoğunluk	Gravite Döküm	Sıkıştırma Döküm	Dövme
% 5 SiC _p	2,69	2,68	2,71	2,72
% 10 SiC _p	2,71	2,70	2,73	2,76
% 15 SiC _p	2,74	2,72	2,77	2,78

Sıkıştırma döküm sonrası bu boşlukların oluşması için yeterli zaman olmaması ve uygulanan basınç sayesinde partikül iyi ıslatılması ile civarlarında boşluk olmaması kompozit malzeme yoğunluğunda yükselmeye sebep olmaktadır. Bu durum, dövülmüş kompozit malzemedeki

daha da belirginleşmektedir. Sıkıştırma döküm ve dövme işlemi sonrasında kompozit malzemelerdeki yoğunluk artışı, bu şartlarda porozitenin yaklaşık % 0.05-0.3 değerlerine düşmesi ile açıklanabilir.



Şekil 6.1 Teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen kompozitlerin yoğunluk değişimleri

6.2 Sertlik Değerleri

Tüm kompozitlerde sertlik, artan takviye miktarının artması ile orantılı olarak yükselmiştir. Al Si7 Mg alaşımli matriks malzemesinin Brinell Sertlik değeri 65 olduğu dikkate alındığında Tablo 6.2'de görüldüğü gibi sertlik değerlerinde maksimum yükselme, yaklaşık % 48'lik bir artış ile sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen % 15 SiC_p takviyeli kompozitte olduğu belirlenmiştir.

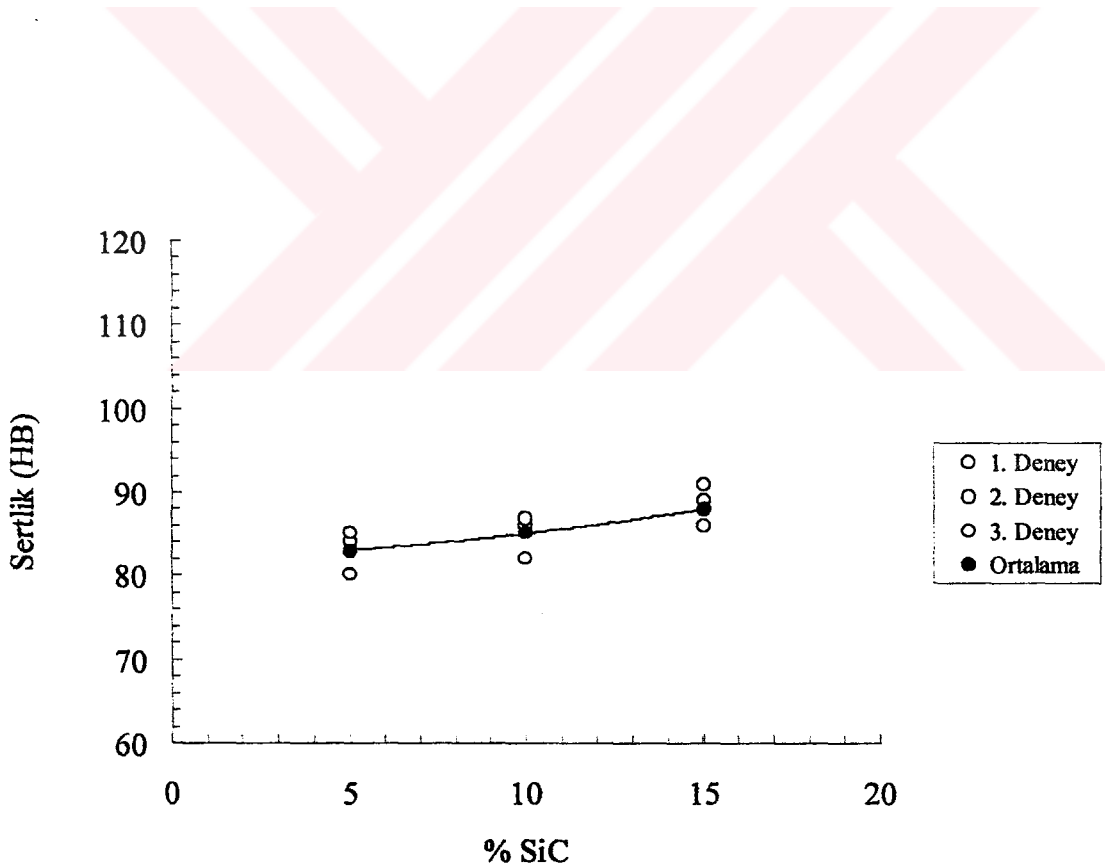
Çizelge 6.2 Üretilen kompozit malzemelerin Brinell Sertlik değerleri

Takviye Türü (% Ağırlık)	SERTLİK (HB)		
	Gravite Döküm	Sıkıştırma Döküm	Dövme
% 5 SiC _p	83	85	61
% 10 SiC _p	85	93	64
% 15 SiC _p	88	96	68

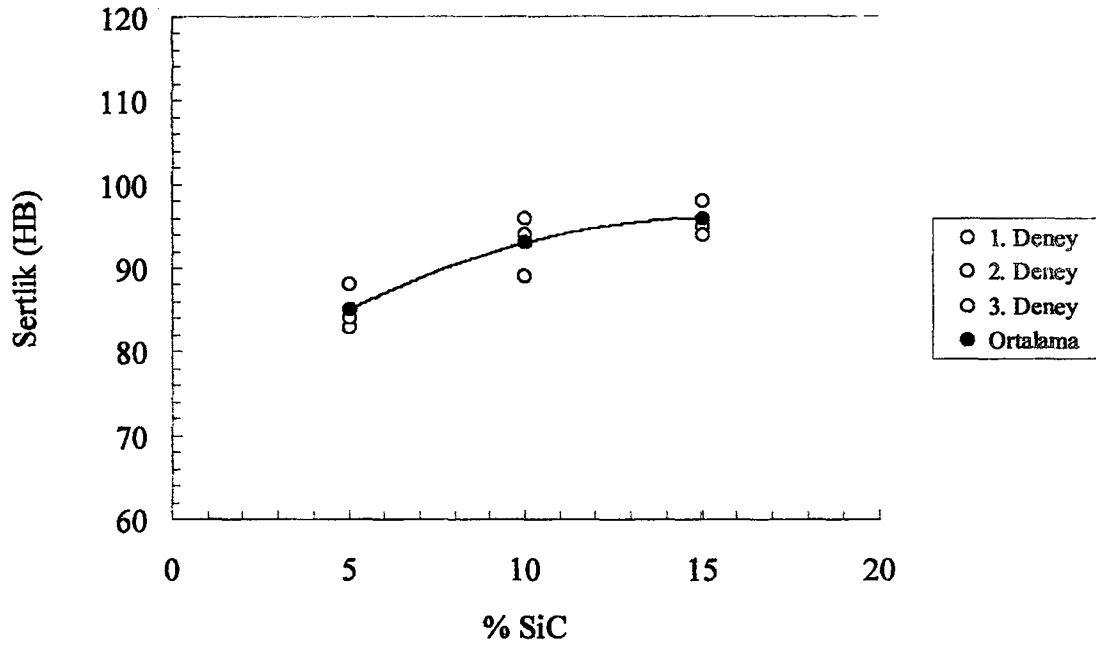
Bu durum kompozit malzeme üretim amaçlarına uygun bir sonuçtur çünkü sıkıştırma döküm yönteminde kullanılan basınç ve yine üretim yönteminden kaynaklanan hızlı soğuma, ince taneli iç yapı oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca oldukça yüksek sertliğe sahip (2480 Knoop Sertliği) SiC_p oranı küçük taneli kompozit malzeme ile bir arada olması diğer mekanik özelliklerinin yanı sıra sertlik değerlerinin de yükselmesinde önemli rol oynamaktadır.

Matriks malzemesine göre sertlik düşüşü ise % 5 SiC_p takviyeli, sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş kompozit malzemede olduğu belirlenmiştir. Yaklaşık % 7 oranında bir sertlik düşüşünün belirlendiği bu kompozit malzemede, 400 °C'de 1 saat süre ile tavlanan kompozit malzemenin tane yapısının dövme işleminden dolayı uzayıp irileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

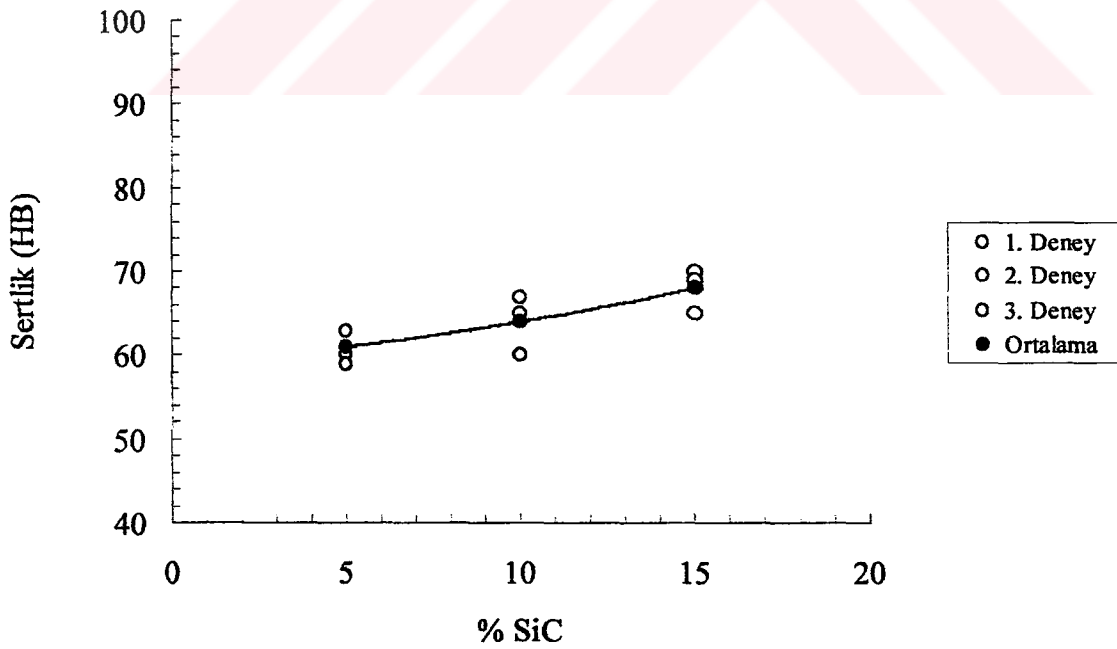
Şekil 6.2'de gravite döküm yöntemiyle elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin takviye oranına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.2 Gravite döküm yöntemiyle elde edilen kompozit malzemelerin Brinell Sertlik değerleri



Şekil 6.3 Sıkıştırma döküm yöntemiyle elde edilen kompozit malzemelerin Brinell Sertlik değerleri



Şekil 6.4 Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş kompozit malzemelerin Brinell Sertlik değerleri

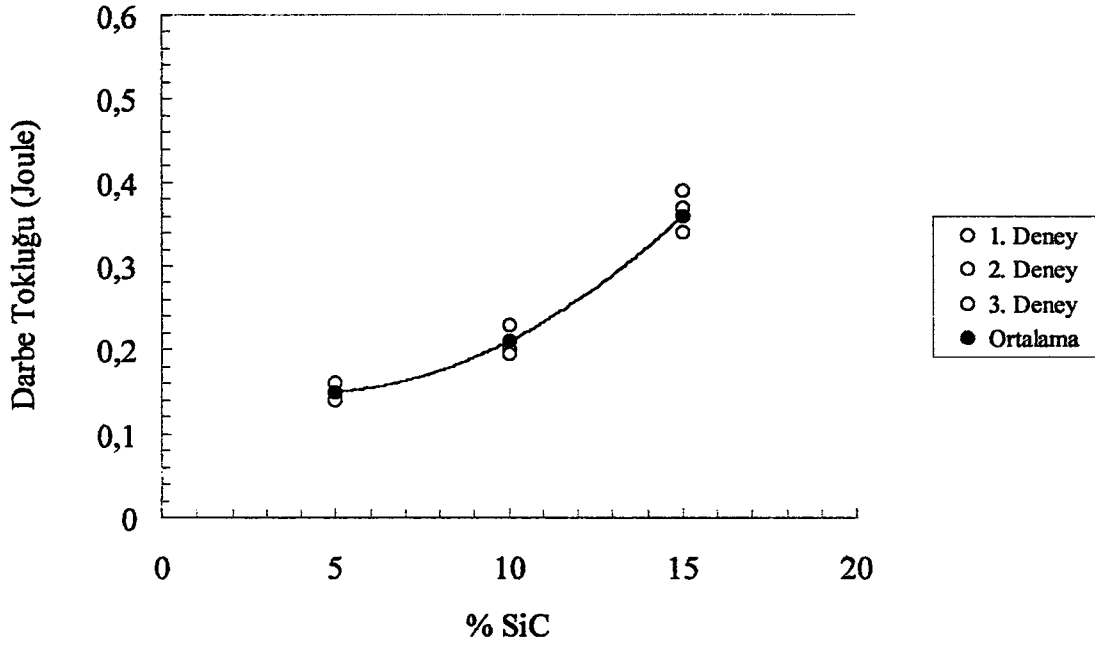
6.3 Darbe Dayanımı Değerleri

Kompozit malzemelerin darbe dayanımı, takviye malzemesinin çok gevrek bir yapıya sahip olmasından dolayı düşüktür. Özellikle takviye elemanı ile matriks malzemesi arayüzeyinde oluşan oldukça kırılğan olan intermetalik bileşiklerin varlığı, kompozit malzemenin darbe dayanımının düşmesine neden olur. Ayrıca partikül boyutundaki takviyelerin büyüklüğü, matriks içerisindeki dağılımı ve köşeli olması kompozit malzemenin düşük dayanımlı bir özellik göstermesine yardımcı olur. Yavaş soğumadan dolayı oluşan dendrit hava boşluğu da kırılğan bir yapının oluşumunu önemli bir etkendir.

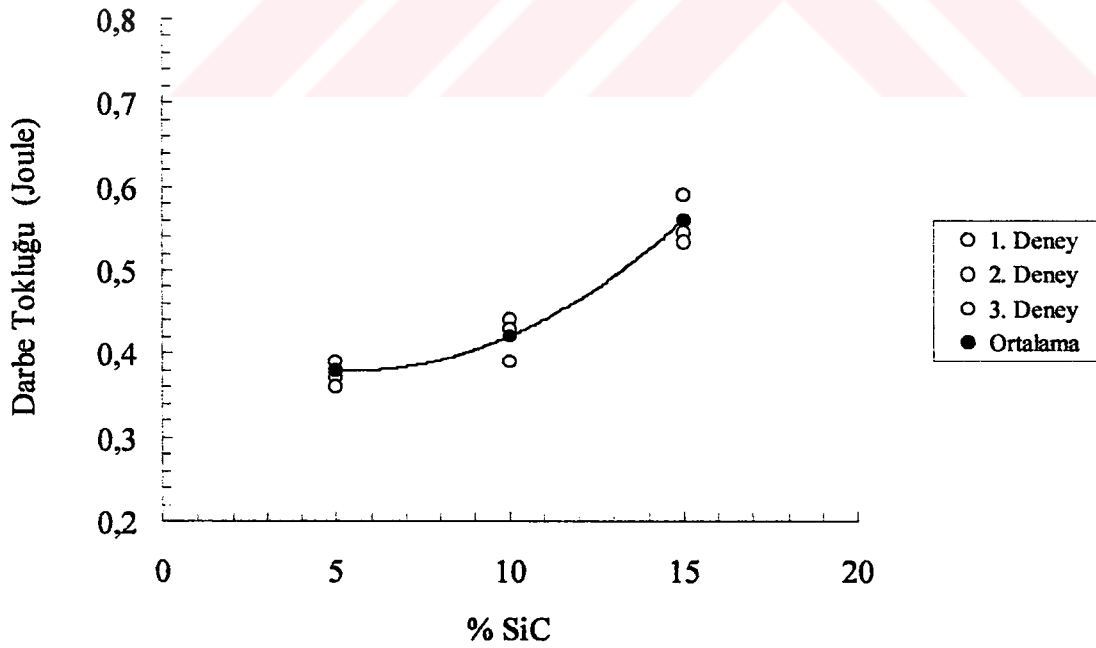
Matriks alaşımı sünek bir yapıya sahip olmasına rağmen tüm kompozit malzemeleri darbe dayanımının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle gravite dökümde görülen düşük dayanım değerleri, matriks-silisyum karbür arayüzeyinde iyi bir ıslatmanın meydana gelmemesi ve oluşan boşluklar ile açıklanabilir. Ayrıca yavaş soğuma esnasında kompozit malzemede, katı eriyikten oluşan Mg_2Si primer intermetalikleri yapının çentik darbe dayanımını oldukça düşürmektedir.

Çizelge 6.3 Üretilen kompozit malzemelerin darbe dayanım değerleri

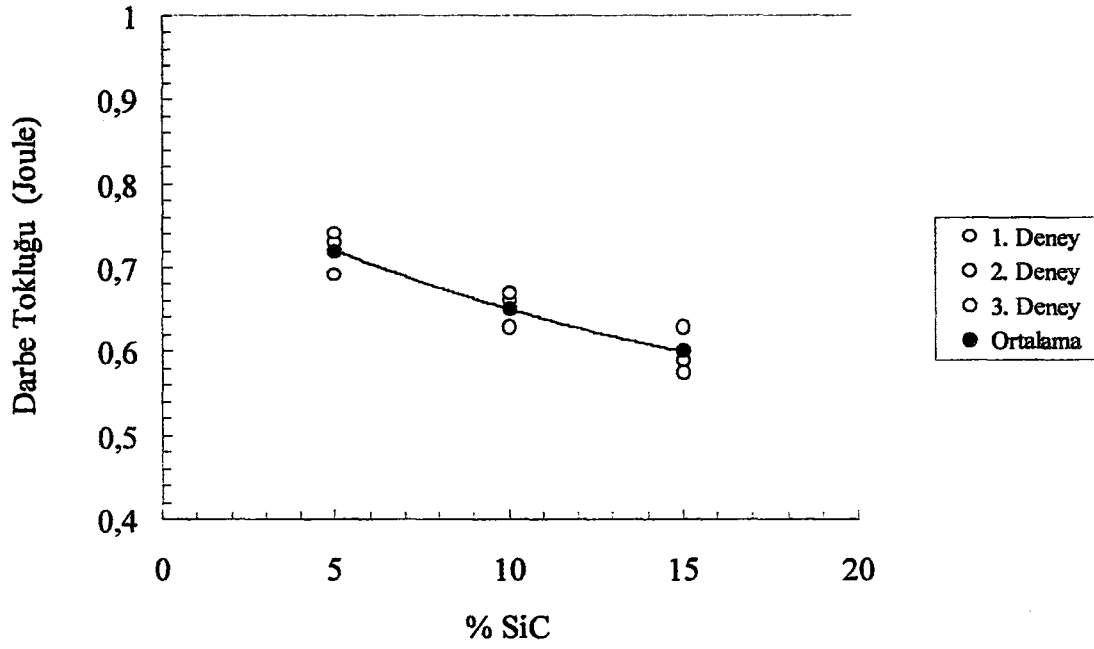
Takviye Türü (% Ağırlık)	DARBE TOKLUĞU (Joule)		
	Gravite Döküm	Sıkıştırma Döküm	Dövme
% 5 SiCp	0,12	0,38	0,72
% 10 SiCp	0,18	0,42	0,65
% 15 SiCp	0,36	0,56	0,60



Şekil 6.5 Gravite döküm yöntemiyle elde edilen kompozit malzemelerin darbe dayanım değerleri



Şekil 6.6 Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen kompozit malzemelerin darbe dayanım değerleri



Şekil 6.7 Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş kompozit malzemelerin darbe dayanım değerleri

6.4 Çekme Mukavemeti Değerleri

Al Si7 Mg alaşımının çekme mukavemeti kum döküm yönteminde 140 MPa, metal kalıp döküm de ise çekme mukavemeti 180 MPa'dır (Elsevier Materials Selector).

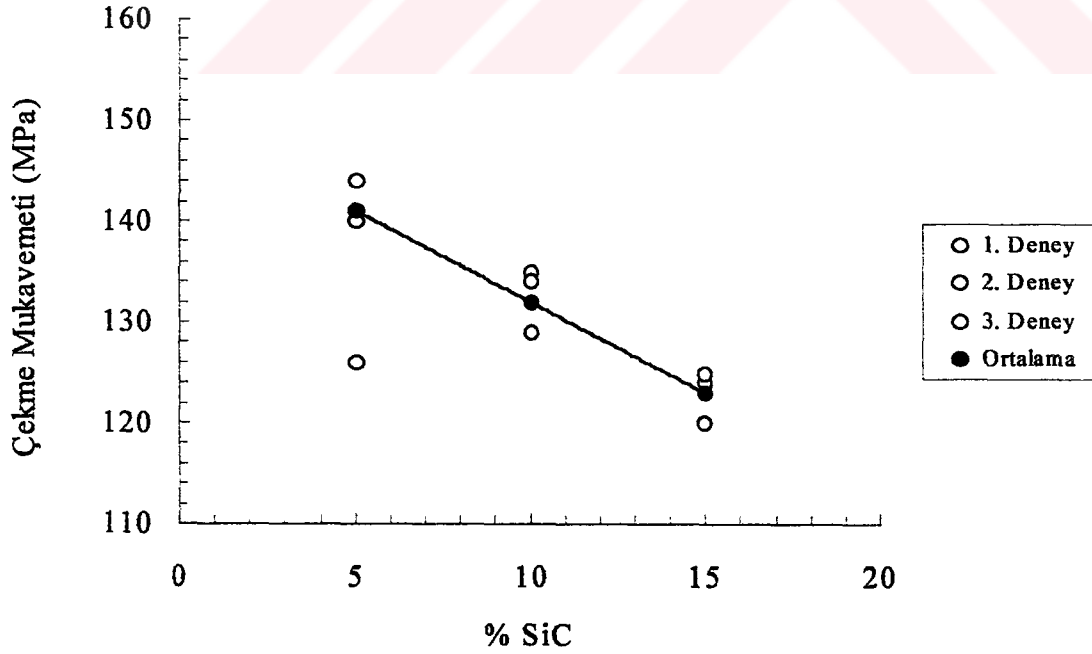
Gravite döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerin % 0.2 akma mukavemeti, kırılmanın erken safhada gerçekleşmesi sebebiyle ölçülememiştir.

Gravite döküm yöntemi ile elde edilen %5 SiC_p takviyeli kompozit malzemenin çekme mukavemeti matris malzemesine göre yaklaşık % 4 kadar yükselmesine rağmen, daha sonra artan takviye oranı ile % 10 SiC_p takviyeli kompozitte yaklaşık % 4.8, % 15 SiC_p takviyeli kompozitte ise yaklaşık %16.5 oranlarında azalma gözlemlenmiştir. Gravite döküm yönteminde, mikro büzölmeler ve gaz boşlukları sebebiyle poroziteler meydana gelmektedir. Ayrıca zayıf matris-takviye bağlanması sonucu dayanımı düşük arayüzey ve buna bağlı olarak artan takviye oranı ile arayüzeyde oluşması muhtemel makro gözenekler, gerekli yük iletimini sağlayamaz ve kompozitin çekme mukavemetinin düşmesine neden olmaktadır.

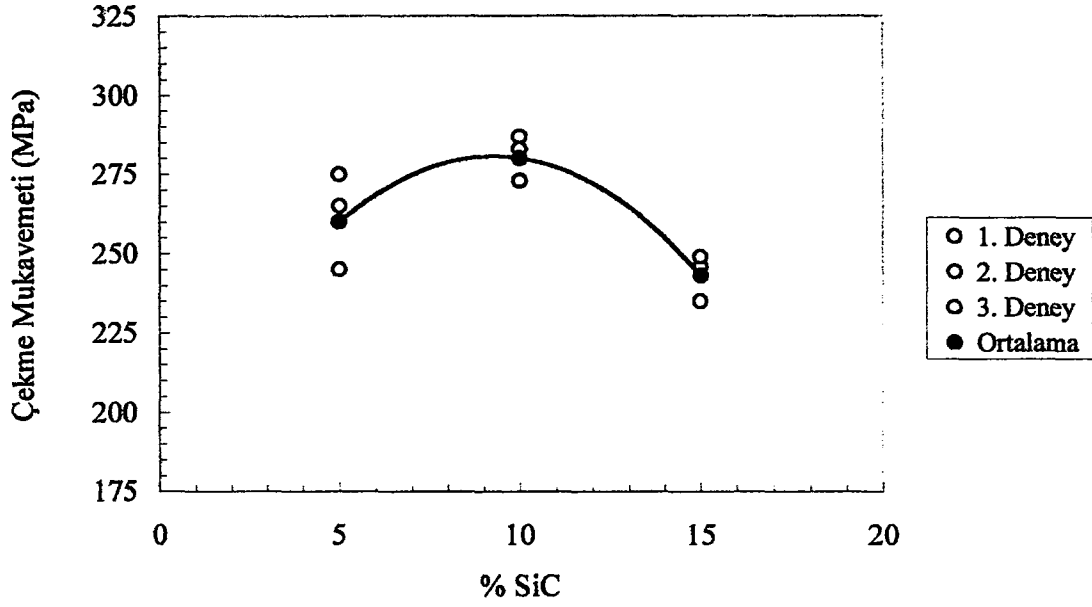
Çizelge 6.4 Üretilen kompozit malzemelerin çekme mukavemeti değerleri

Takviye Türü (% Ağırlık)	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)		
	Gravite Döküm	Sıkıştırma Döküm	Dövme
% 5 SiC _p	145	260	188
% 10 SiC _p	132	281	191
% 15 SiC _p	117	233	197

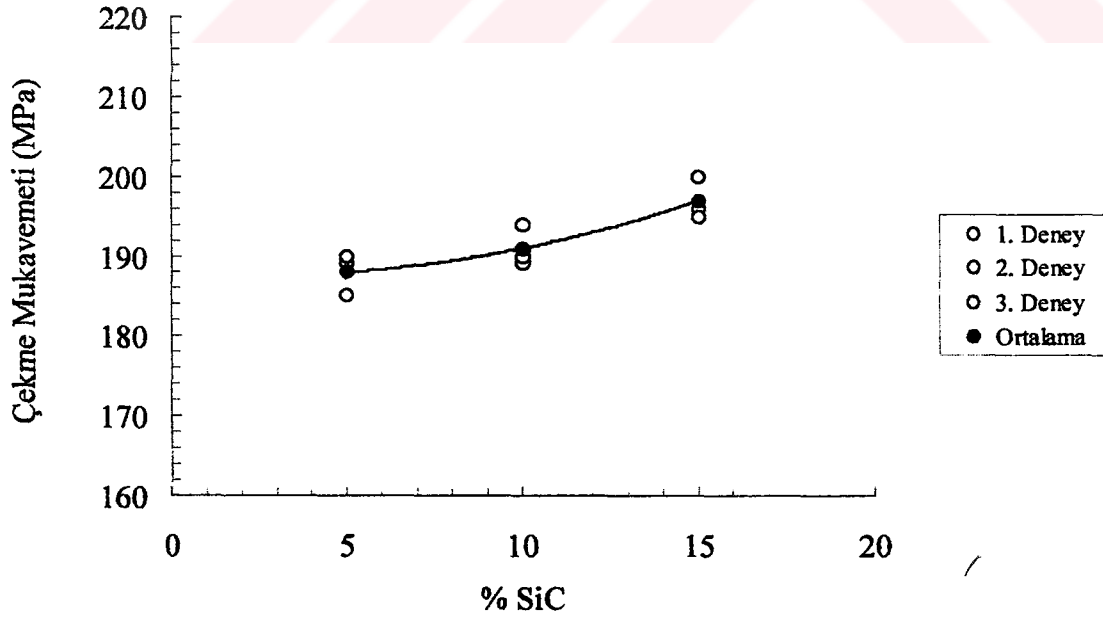
Sıkıştırma döküm sonrası, var olan bu olumsuzlukların giderilmesi örneğin porozitenin yaklaşık % 0.3 değerlerine düşmesi ve makro gözeneklerin kaybolması sebebi ile çekme mukavemetinde önemli yükselmeler belirlenmiştir. Özellikle % 10 SiC_p takviyeli kompozit malzemede kum döküm matris malzemesine göre % 100, metal döküm matris malzemesine göre % 56 oranlarında yükselme belirlenmiştir.



Şekil 6.8 Gravite döküm yöntemiyle elde edilen kompozit malzemelerin çekme mukavemeti değerleri



Şekil 6.9 Sıkıştırma döküm yöntemiyle elde edilen kompozit malzemelerin çekme mukavemeti değerleri



Şekil 6.10 Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş kompozit malzemelerin çekme mukavemeti değerleri

6.5 Metalografik İncelemeler

Aşağıdaki şekillerde gravite döküm, sıkıştırma döküm, sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş yöntemler kullanılarak ve partikül boyutunda %5,10,15 silisyum karbür (SiC) ile takviyelendirerek üretilen kompozit malzemelerin, ışık mikroskopunda elde edilen mikroyapı görüntüleri gösterilmektedir.. Beyaz bölgeler matriks malzemesi Al Si7 Mg2 alaşımını, gri bölgeler ötektik silisyum fazı, siyah parçacıklar ise silisyum karbürü göstermektedir.

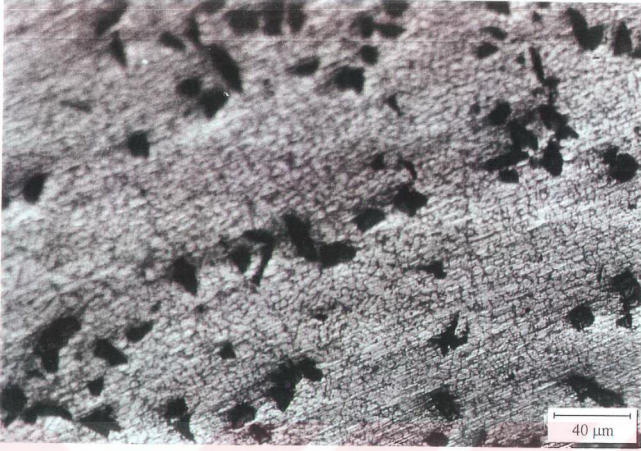
Metalografik çalışmalar sonucu elde edilen mikroyapılar üretim yöntemleri ve takviye oranlarına göre sınıflandırılmışlardır. Her üç yöntem ve herbir takviye oranı için iki farklı büyütme yapılarak görüntü elde edilmiştir.

Şekil 6.11 ve Şekil 6.12 % 5 SiC takviyeli ve gravite döküm kompozitinden alınan görüntülerdir. Düşük takviye oranı, karıştırma esnasında homojen dağılımı zorlaştıran önemli bir neden olmaktadır. Ancak bu yöntemden kaynaklanan arayüzey bağ kuvvetinin zayıflığı, takviye oranı arttıkça, takviye-matriks arasında boşluk oluşumunun artmasına ve dolaysı ile mukavemet değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Şekil 6.13 ve Şekil 6.14 % 5 SiC takviyeli sıkıştırma döküm kompozitinden elde edilen görüntülerdir. Söz konusu bu yöntemde kullanılan basınç, takviye – matriks arayüzeyinde boşluk oluşumunu engellemiş ve ötektik silisyumun belirgin oluşumu ve dengeli dağılımı görülmektedir. Ancak, silisyum ötektiğinin partikül civarlarında tercihli olarak meydana geldiği ileri sürülebilir. Şekil 6.15 ve Şekil .16 % 5 SiC takviyeli dövülmüş kompozitten elde edilen mikroyapı görüntüleridir. 400 °C’de 1 saat bekletilerek ve daha sonra dövülmüş kompozitler ile diğer üretim yöntemlerle elde edilen kompozitler arasındaki belirgin fark, matriks içerisinde oldukça sert ve kırılma arametal bir bileşik olan Mg₂Si oluşumundaki gözlenen artıştır. Bu arametal bileşiklerin oluşumunun, silisyum ötektiği civarında dolaysı ile partikül oranının yoğun olduğu bölgelerde olması dikkat çekicidir. Söz konusu bu durum, takviye – matriks arayüzeyinin, mikroyapı ve mekanik özelliklerinde önemli değişiklikler meydana getirebileceği ileri sürülebilir.

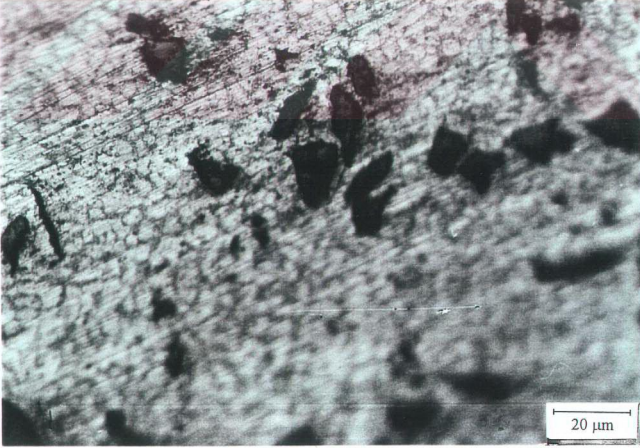
Şekil 6.17 ve Şekil 6.18, % 10 SiC takviyeli gravite döküm kompozitlerinden elde edilen mikroyapı görüntüleridir. Takviye dağılımı yer yer düzgün olmakla beraber bir kısım bölgelerde ise partiküllerin birleştiği gözlemlenmektedir. Ayrıca takviye oranını artması beraberinde takviye – matriks arayüzeyinde boşluk oluşumunun da artması söz konusudur. Bu homojen olmayan dağılımın yanısıra kırılma yüzeyinin, gevrek kırılma özellikleri gösterdiği ve yeterli bir arayüzey bağının sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.19 ve Şekil 6.20 % 10 SiC takviyeli sıkıştırma döküm kompozitinin mikrofotografıdır. Dağılımın düzgün olmasının yanısıra kırılma yüzeyinin incelenmesinde; makro gözlemlerin

kaybolduğu ve mikro düzeydeki boşlukların da büyük ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.30'da gösterilen ve SEM de elde edilen görüntülerden de anlaşılacağı gibi sıkıştırma döküm kompozitlerinde siyah olarak görülen Mg_2Si arametal bileşiği çok ince bir ağ şeklinde matriks içerisinde düzgün bir dağılım sergilemektedir. Şekil 6.21 ve Şekil 6.22 % 10 SiC takviyeli dövülmüş kompozitin mikroyapı görüntüleridir. Sıcak dövmeden dolayı tanelerin incelişmesi söz konusudur. Ayrıca bu kompozitlerin Şekil 6.31 de SEM'de elde edilen görüntülerinde % 10 SiC takviyeli sıkıştırma döküm kompozitinde olduğu gibi Mg_2Si arametal bileşikler ağ şeklinde değil de küresel parçacıklar şeklinde gözlemlenmektedir. Parçacık şeklindeki bu ara metal bileşikler ötektik silisyum ve takviye elemanı civarında daha yoğun şekilde ortaya çıkmaktadır.

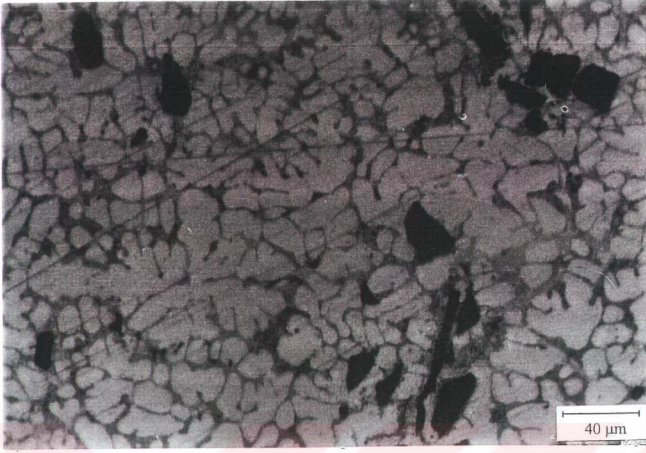
Şekil 6.23 ve Şekil 6.24 % 15 SiC takviyeli gravite döküm kompozitin mikroyapı fotoğraflarıdır. Artan takviye oranı ile birlikte, takviye partiküllerinin birleşmesini arttırmaktadır. Ayrıca dallantı şeklinde ortaya çıkan Mg_2Si arametal bileşiği oranı artmıştır. Bu kümeleşme ve arametal bileşikler, matriks içerisindeki homojensizliği arttırmakta ve kompozit mukavemet değerlerinin amaçlanan değerlerden oldukça uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Şekil 6.25 ve Şekil 6.26 % 15 SiC takviyeli sıkıştırma döküm kompozitinin mikroyapı fotoğraflarını göstermektedir. Takviye oranının artması düzgün dağılımı zorlaştırmasının yanısıra sıkıştırma döküm esnasında kullanılan basınç takviyelerin çatlamasına hatta bazı bölgelerde parçalanmasına neden olmaktadır. Şekil 6.32'de gösterilen bu çatlaklar ve partikül parçalanmaları matriks içerisinde boşluk oluşumuna neden olmakta ve kompozitin yük taşıma kabiliyetini oldukça zayıflatmaktadır. Şekil 6.27 ve Şekil 6.28 % 15 SiC takviyeli dövülmüş kompozitin mikroyapı fotoğraflarını göstermektedir. Takviyelerde çatlak oluşumu ve parçalanması gibi durum bu tür kompozitlerde daha da belirginleşmektedir. Yine diğer dövülmüş kompozitlerde karşılaşılan arametal bileşiklerin küreselleşmesi, partikül ve ötektik silisyum civarlarında yoğunlaşması bu orandaki kompozit için daha fazla gözlemlenmiştir.



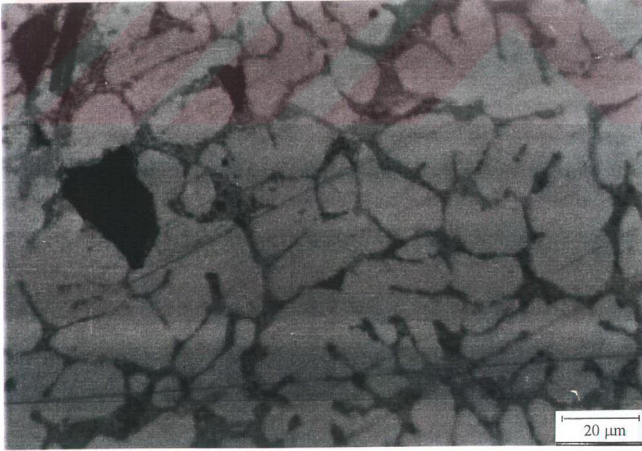
Şekil 6.11 Gravite döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



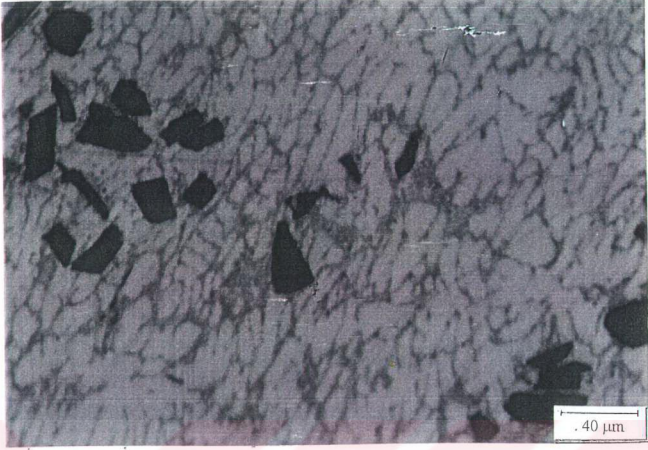
Şekil 6.12 Gravite döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



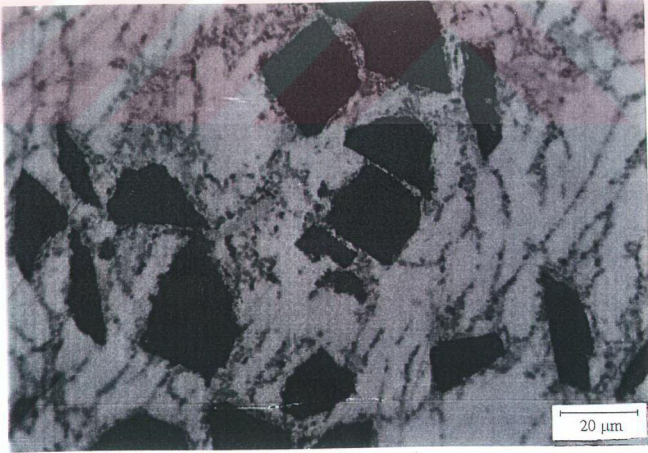
Şekil 6.13 Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



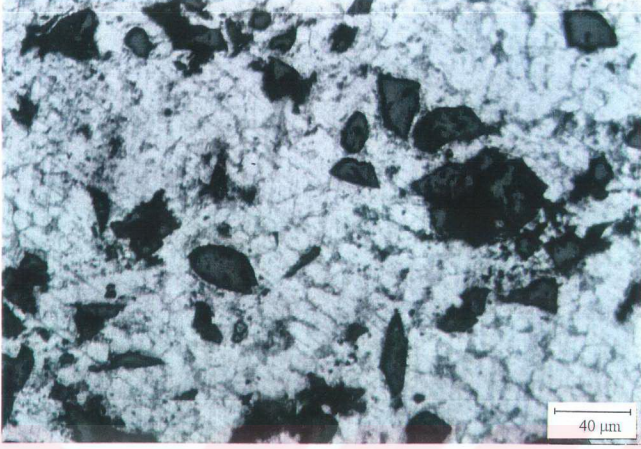
Şekil 6.14 Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



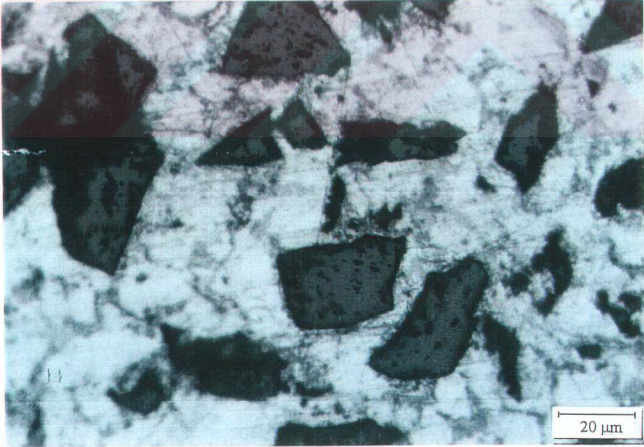
Şekil 6.15 Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



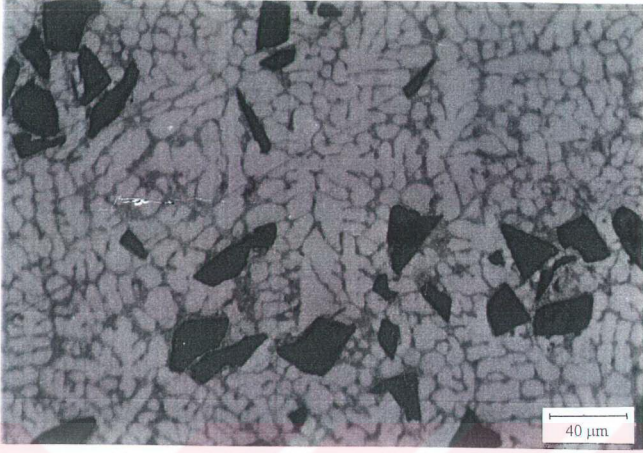
Şekil 6.16 Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



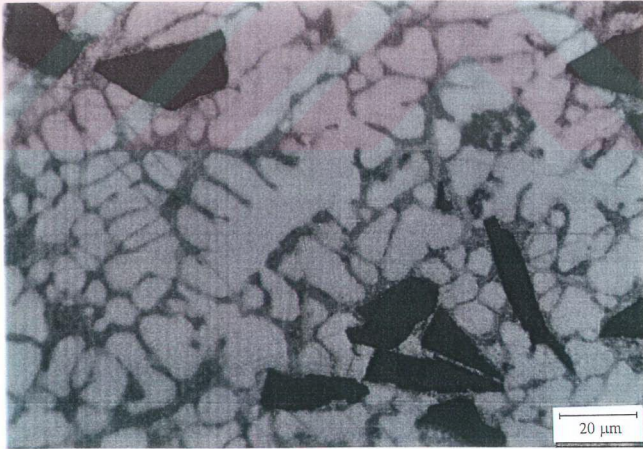
Şekil 6.17 Gravite döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça %10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



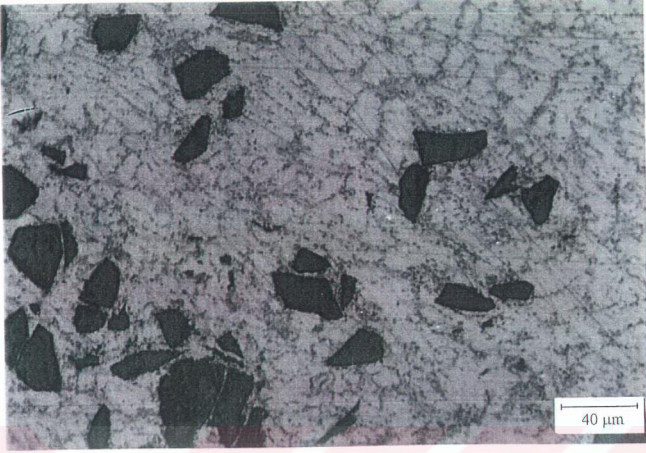
Şekil 6.18 Gravite döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



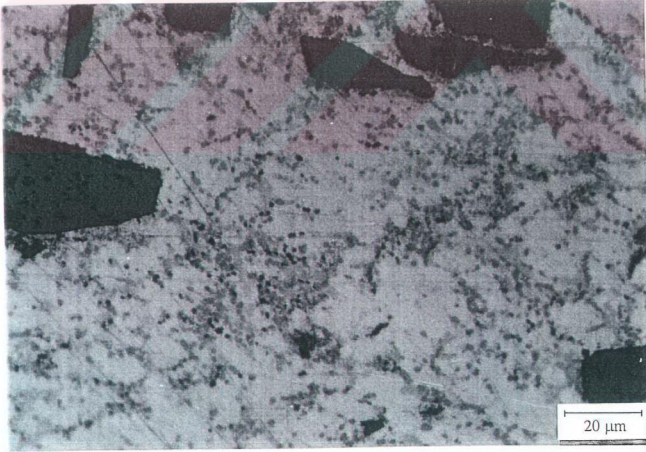
Şekil 6.19 Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



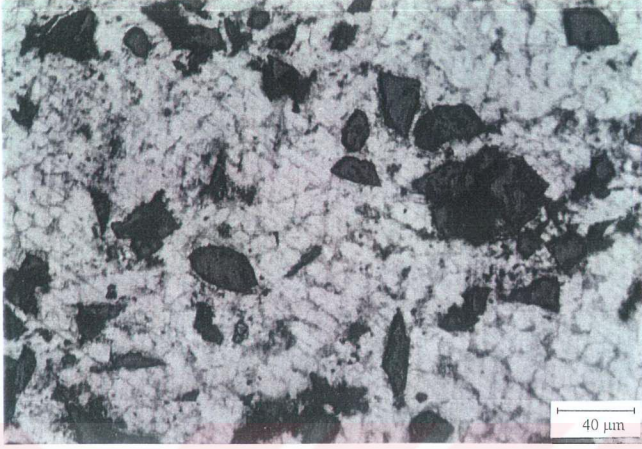
Şekil 6.20 Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7Mg2 alaşımı.



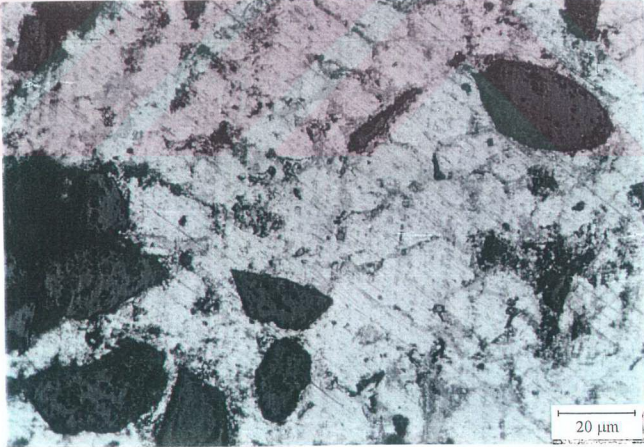
Şekil 6.21 Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



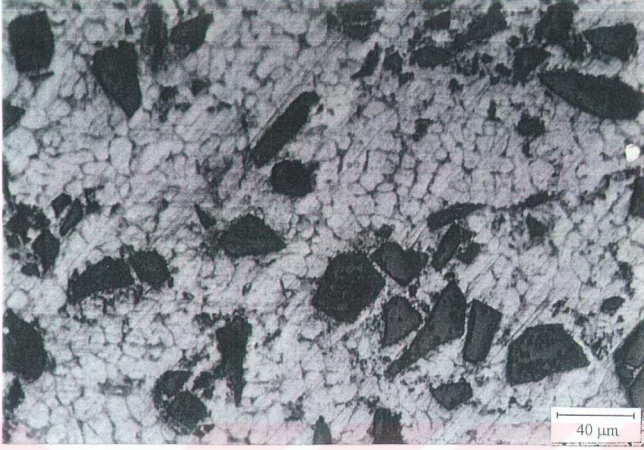
Şekil 6.22 Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 10 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



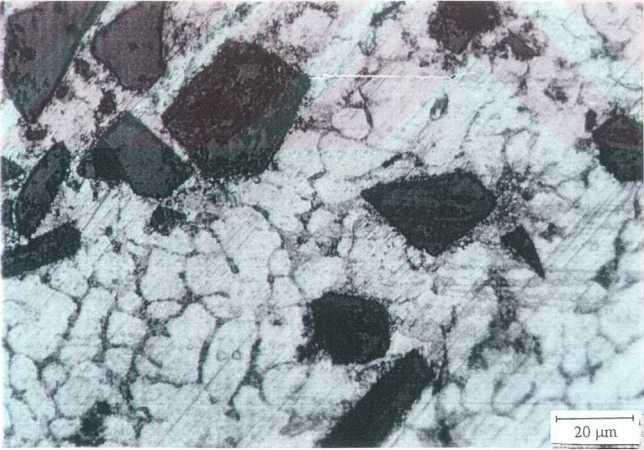
Şekil 6.23 Gravite döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



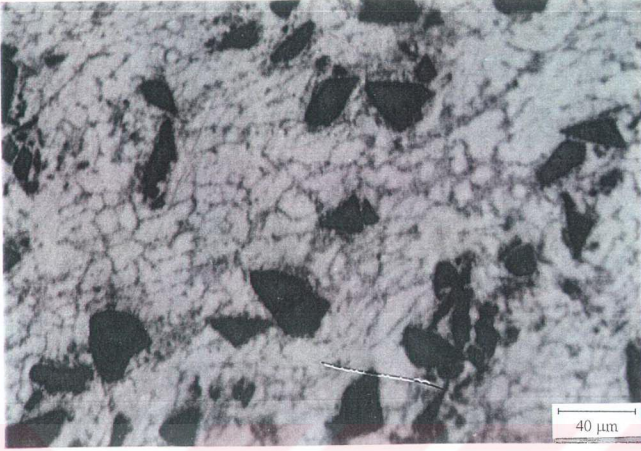
Şekil 6.24 Gravite döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



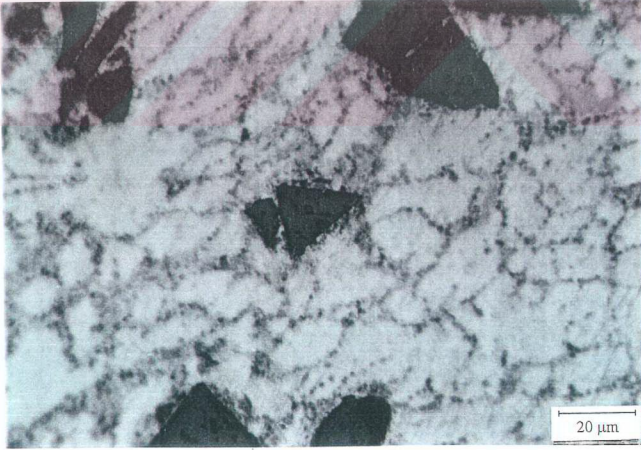
Şekil 6.25 Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7Mg2 alaşımı.



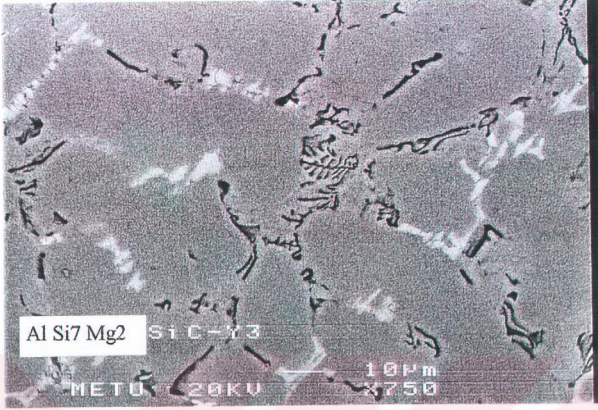
Şekil 6.26 Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7Mg2 alaşımı.



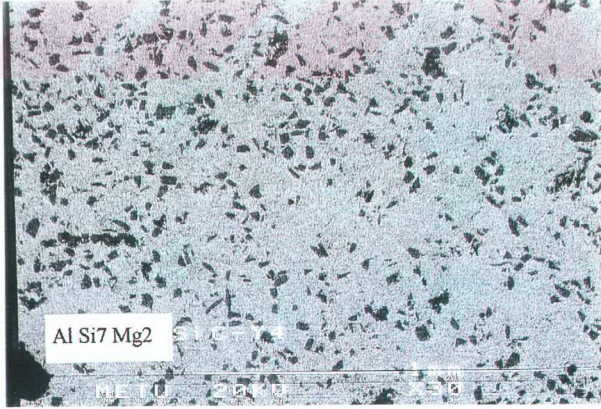
Şekil 6.27 Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



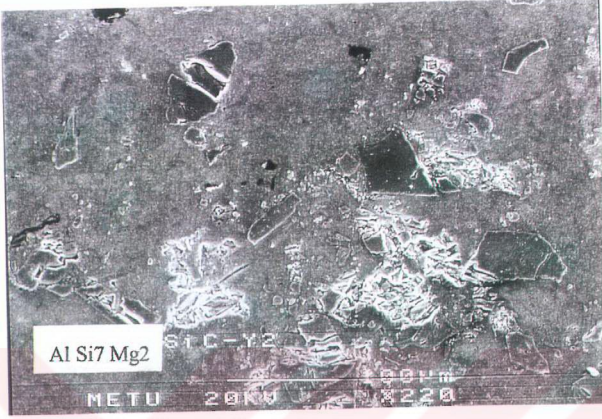
Şekil 6.28 Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş ve ağırlıkça % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 alaşımı.



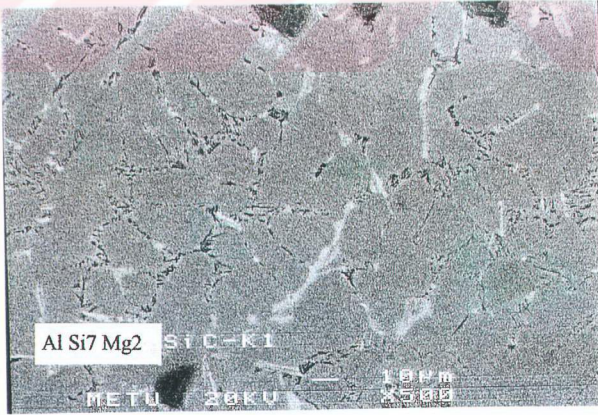
Şekil 6.29 SEM'de çekilen ve % 10 SiC takviyeli gravite döküm yöntemiyle üretilen kompozit malzeme



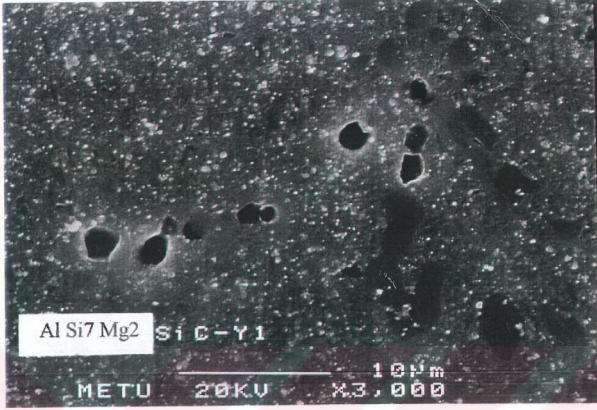
Şekil 6.30 SEM'de çekilen ve % 15 SiC takviyeli gravite döküm yöntemiyle üretilen kompozit malzeme



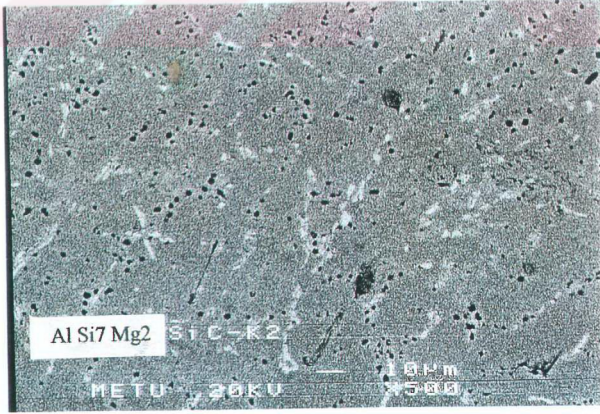
Şekil 6.31 SEM'de çekilen ve % 15 SiC takviyeli sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen kompozit malzeme



Şekil 6.32 SEM'de çekilen ve % 10 SiC takviyeli sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen kompozit malzeme



Şekil 6.33 SEM’de çekilen ve % 15 SiC takviyeli dövülmüş kompozit malzeme



Şekil 6.34 SEM’de çekilen ve % 10 SiC takviyeli dövülmüş kompozit malzeme

7. SONUÇ

Amaca ve kullanım yerine göre yapı elemanlarının seçimi, takviye-matriks birleşmesi ve özelliklerinin geliştirilmesini sağlayacak üretim yönteminin belirlenmesi, uygulanacak ısıtma işlemlerin ve plastik şekillendirilebilirlik oranlarının tespiti, metal matriksli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini tahmin etmede ve belirlemede gerek tasarım gerekse üretim mühendisliği bakımından çok önemli aşamalardır.

Gravite döküm kompozit üretiminde sıkıştırma döküm kompozit dökümüne göre daha yavaş bir soğuma hızından söz edilebilir. Yavaş soğuma sonucunda katılma esnasında en son soğuyan ötektik bölgelere takviye parçacıklarının itilmesi söz konusu olmaktadır. Partiküllerin kümeleşmesine neden olan bu durum, matriks içerisinde düzgün olmayan bir dağılımın ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu döküm yönteminde herhangi bir basınç kullanılmaması, takviye- matriks arayüzey bağının yeterince sağlanmaması ve arayüzeyin yük iletimi görevini yerine getirememesiyle sonuçlanmaktadır. Şekil 6.8'de görüldüğü gibi, takviye oranının artması ile çekme mukavemet değerleri düşmektedir. Bunun nedeni; SiC partikülleri oranının artması ile birlikte, bunların çevresindeki O_2 , H_2 ve N_2 gaz miktarlarında da meydana gelen artıştır. SiC partikülleri arasındaki mesafenin azalması yani partiküllerin kümeleşmesi de mukavemet değerlerinin düşmesine yardımcı olmaktadır. Bu dezavantajları ortadan kaldırılmadan üretilen gravite döküm kompozit malzemeler bazı uygulamalar için cazip olmayan mekanik özellikler sergileyebileceklerdir.

Sıkıştırma döküm yönteminde ise soğuma daha hızlı olmaktadır. Partiküllerin düzgün dağılımı amacı ile eriyiğin karıştırılması sonrasında soğuma esnasında partiküllerin yer değiştirmesi pek mümkün olmamaktadır. Sıkıştırma döküm kompozitlerin kırılma yüzeyleri incelenmesinde, gravite dökümüne göre çok daha az gözeneklere görülmektedir. Bu durum kullanılan basınç ile açıklanabilir ki basınç kullanılmadan takviye-matriks arayüzey bağını yeterince dayanıklı yapmak mümkün olamamaktadır. Takviye-matriks arasındaki gaz boşluklarının azalması, özellikle Şekil 6.9'da görülen % 10 SiC takviyeli kompozitte çekme mukavemetinin artmasında önemli rol oynamaktadır. Sıkıştırma döküm kompozitlerinde porozite oldukça düşük seviyelere (% 0.06) indirilebilmektedir. Gravite dökümünde de görülen ancak sıkıştırma dökümünde matriks içerisinde ince bir ağ gibi dağılan Mg_2Si arametal bileşiği mekanik özelliklere etkisi bakımından önemlidir. Bu arametal bileşikler oldukça sert ve kırılğan özelliklere sahiptir ve gravite döküm kompozitlerinde matriks içerisinde yüksek oranda ve dallantı şeklinde bulunmaktadır. Sıkıştırma döküm kompozitlerinde ise bu arametal

bileşiklerin ince ağ şeklinde matris içerisinde dengeli dağılımı mukavemet değerlerinin iyileşmesinde önemli rol oynamaktadır.

Sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş kompozitlerde ise sıkıştırma döküm kompozitine göre sadece darbe dayanım değerinin yükseldiği belirlenmiştir. Sertlik ve çekme mukavemeti değerleri düşmüştür. Sertlik değerinin düşmesinde, tavlama ile oluşan rekristalizasyon sonucunda dilokasyon yoğunluğunda meydana gelen azalma etkili olmaktadır. Isıtma ve dövme sırasında, önceden mevcut olan gerilmeler azalır ve matris yapısında yumuşama gözlemlenebilir. Yeniden oluşan ve küresel biçimindeki Mg_2Si çökeltilerin çok küçük boyutlarda olması sertlik değerlerinin düşmesinde etkili olabilmektedir.

KAYNAKLAR

Aran, A., (1991), "Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler", İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı No: 1420, İstanbul.

Aran, A., (1997), "Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Alanında Yeni Gelişmeler" Mamkon'97 Kongresi, 4-6 Haziran 1997, İstanbul.

Arsenault, R.J., (1997), "Interfaces in Metal and Intermetallic Matrix Composites", Composites, Vol.25 No.7.

Askeland, D.R., "The Science and Engineering of Materials", University of Missouri-Rolla Vol. 2, No: 128, ISBN 975-591-106-5.

Cöcen, Ü., (1997), "Sürekli Katkılı Metal Matrisli Kompozitler Bölüm 1: Dayanım", Metalurji, Vol.21, Sayı 108, ISSN 1300-4824.

Demirkesen, E., (1991), "Kompozit Malzemeler", İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fakültesi, Yayın No: 3/1991, İstanbul.

Elsevier Materials Selector, Vol.2, UK.

Ejiofor, J.U. ve Reddy, R.G., (1997), "Developments In The Processing and Properties of Particulate Al-Si Composites", JOM Journal of The Materials Society", Vol.49 pp.31-37

Gibson, R.F., (1994), Principles of Composite Material Mechanics, McGraw-Hill, Inc., New York.

Giroto, F.A., Quenisset, J.M. ve Naslain, R. (1987), "Discontinuously-Reinforced Aluminium Matrix Composites", Composite Science and Technology, Vol.30 pp.155-184.

Kolukısa, S., (1999), "Uçucu Kül İçeren Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi, Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu", Y.T.Ü., Doktora Tezi, İstanbul.

Lewondowski, J.J. ve Altınışoğlu, A., (1992), "Effect of Casting Conditions and Deformation Processing on A356 Aluminium and A356-Vol.% SiC Composites", Journal of Composite Materials", Vol.26, No14.

Lloyd, D.J., (1998), "The Solidification Micro Structure of Particulate Reinforced Aluminium/SiC Composites", Composite Science and Technology, Vol.35, pp.159-179

Muratoğlu, M., Aksoy, M. ve Haksever, A., (1999), "SiC Katkılı 2124 Alüminyum Kompozitinin Aşınmasında Çalışma Sıcaklığının Aşınma Davranışına Etkisi", MMO Bilim Günleri Sempozyumu, 5-6-7 Mayıs 1999, Denizli.

Özdemir, İ., Cöcen, Ü. ve Önel, K., (1999), "Döküm ve Dövme Al-SiC_p Kompozitlerinde Aşınma", MMO Bilim Günler Sempozyumu, 5-6-7 Mayıs 1999, Denizli.

Pitchumani, R., Liaw, P.K. ve Yao, S.C., (1994), "An Eddy Current Technique for The Mesurment of Constituent Volume Fraction in a Three-Phase Metal Matrix Composite", Journals of Composite Materials Vol.28, No.18.

Popescu, G., Moldavan, P. ve Bunea, D., (2000), "Researches Concerning Characterization of Hybrid Composites AlSiMg/SiC_(p)/Graphite _(p)", 10th. International Metalurgy and Materials Congress, 24-28 Mayıs 2000, İstanbul.

Samuel, A.M., Liu, H. ve Samuel, F.H., (1992), "On The Castability of Al-Si/SiC Particle-reinforced Metal Matrix Composites: Factors Affecting Fluidity and Soundness", Composite Science and Technology Vol. 49 pp.1-12.

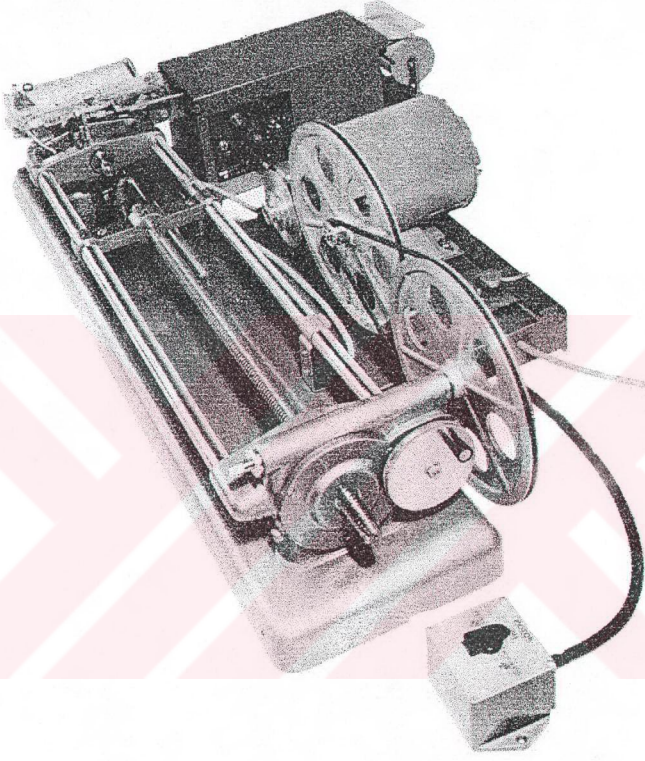
Slezenev, M.L., Slezenev, I.L., Cornie, J.A., Argon, A.S. ve Mason, P.R., (1998), "Effect of Composite Particle Size and Heat Treatment on The Mecahanical Properties of Al-4.5wt.%Cu Based Alumina Particulate Reinforced Composites", Presented At The Sea International Congress and Exposition, February 23-26, Detroit.

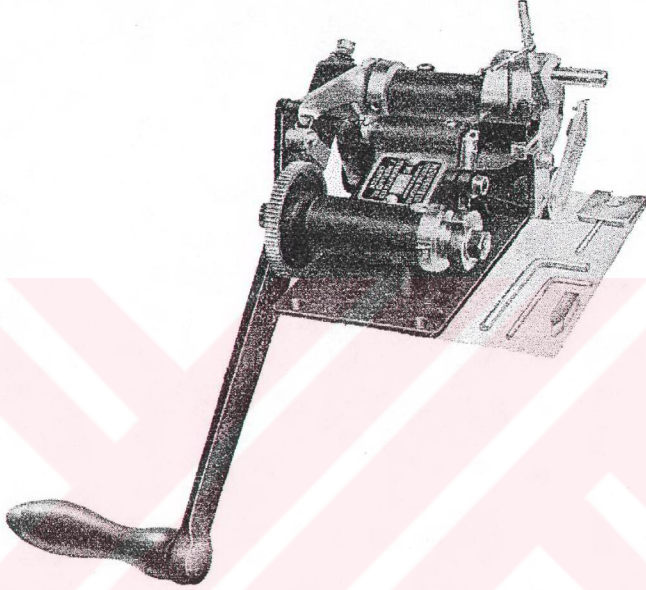
Srivatsan, T.S., ve Parkash A., (1994), "Quasi Statik Fracture of Aluminium Alloy Metal Matrix Composite", Composite Science and Technology, Vol. 35, pp.142-149.

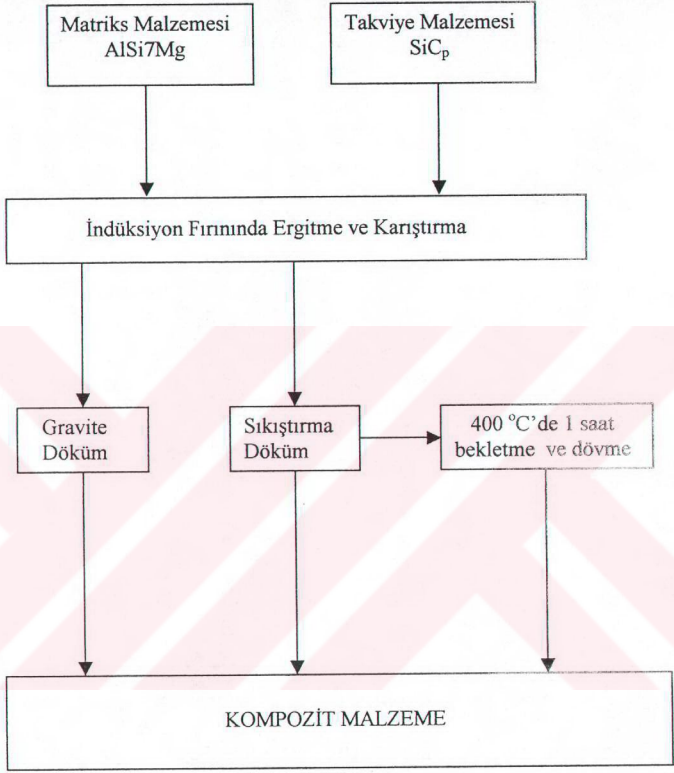
Taminger, K.M.B., (1999), "Analysis of Creep Behavior and Parametric Models for 2124 Al and 2124 Al + SiC_w Composite", Master of Science In Materials and Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Etker

Ek1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Çekme Makinası



Ek 2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Çentik Açma Makinası

Ek.3 Kompoit malzeme üretim akış şeması

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	14. 03. 1971	
Doğum Yeri	Diyarbakır	
Lise	1985-1988	Ergani Lisesi
Lisans	1991-1996	Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü