

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AlMg₃/SiCp KOMPOZİTLERİNİN BASMA DAYANIMI ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Onur TOPRAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Nilhan Ürkmez TAŞKIN

2010
EDİRNE

ÖZET

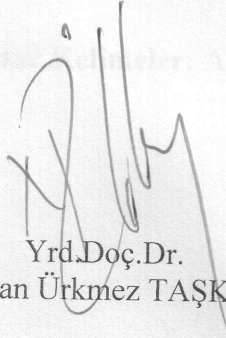
T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AlMg₃/SiCp KOMPOZİTLERİNİN BASMA DAYANIMI ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Onur TOPRAK

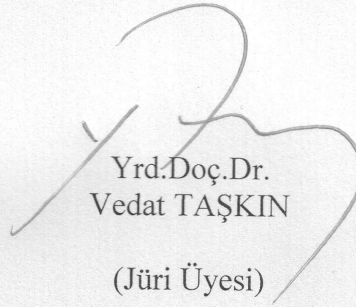
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 01.02.2010 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.



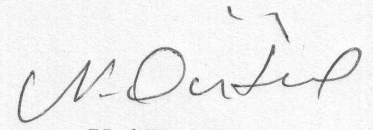
Yrd.Doç.Dr.
Nilhan Ürkmez TAŞKIN

(Danışman)



Yrd.Doç.Dr.
Vedat TAŞKIN

(Jüri Üyesi)



Yrd.Doç.Dr.
Nurşen ÖNTÜRK

(Jüri Üyesi)

ÖZET

AlMg3 alüminyum alaşımı ısı ile sertleştirilemeyen bir alaşım olduğundan dayanım ve sertlik özellikleri soğuk plastik şekillendirme ile artırılabilir. Yüksek dayanıma sahip, plastik şekil değiştirme özelliği ve kaynak edilebilirliği yüksek olan bu alaşım SiCp ile takviye edilerek daha üstün özellikte malzemeler elde edilebilir. Bu çalışmada, koruyucu argon gazı atmosferi altında yarı katı karıştırma tekniği ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş kompozit malzemeler kullanılmıştır. Soğuk biçimlendirme uygulanmış ve uygulanmamış olarak iki grup halinde incelenen farklı hacimsel takviye oranlarına sahip AlMg3/SiCp kompozitlerinin basma yükleri karşısındaki davranışları araştırılmıştır. Basma deneylerinde, malzemelerin basma dayanımlarının matris içerisindeki takviye hacimsel oranları ile doğrusal olarak arttığı, kompozit malzemelere uygulanan soğuk biçimlendirme işlemleri sonucunda da takviye ilavesi ile kazanılan dayanım artışına ek artışlar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, SiC, Metal Matrisli Kompozitler, Basma Dayanımı

ABSTRACT

AlMg3 aluminium alloy, which can't harden by heat treatment; can have better strength and better hardness by cold rolling. Also this alloy has high strength, high plastic strain and good welding ability. By adding SiCp particle reinforcement to this alloy much more superior materials can be obtained. In this study, the composites which were produced by employing the squeeze casting method after semi-solid stirring under protective argon gas atmosphere, are used. The composites are separated into two groups as cold-rolled and as cast and then compressive behaviour of AlMg3/SiCp composites which have varied volume fractions of particle reinforcement under compressive loads, are investigated. Consequently; after compression tests, the compressive strength of materials are increased linearly with the increasement of volume fraction of reinforcement in the matrix alloy and by applying cold-rolling treatment to composite materials, much more strength increasement occurred additive to increasement of volume fraction of reinforcement.

Key Words: Aluminium, SiC, Metal Matrix Composites, Compressive Strength

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve tecrübelerini bana aktaran ve yol gösteren değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Nilhan Ürkmez TAŞKIN'a ve Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Basma deneyi numunelerinin kesiminde gerekli özveriyi gösterdikleri için Ayhan Diri nezdinde tüm Ali Diri Mühendislik çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmamda benden yardımlarını esirgemeyen, tüm DSİ XI. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmamın her safhasında beni teşvik eden ve desteğini hep yanımda hissettiğim arkadaşım Anıl DERELİ'ye ayrıca teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen Anneme, Babama ve Ablama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
SİMGE LİSTESİ	x
KISALTMA LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER	5
2.1 Matris Malzemeleri	7
2.2 Takviye Malzemeleri	7
2.3 Metal Matrisli Kompozitlerde Arayüzeyler	9
2.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	11
2.4.1 Sıkıştırma Döküm Tekniği	11
2.5 Döküm Kalitesini Etkileyen Parametreler	12
2.5.1 Döküm Sıcaklığı	12
2.5.2 Takviye Boyutu	12
2.5.3 Porozite ve Oksit İçeriği	13
2.5.4 Takviye Dağılımı	15
2.5.5 Sıkıştırma Basıncı ve Süresi	15
3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	17
3.1 Bazı Elementlerin Mekanik Özelliklere Etkisi	17
3.2 Takviye Türünün Mekanik Özelliklere Etkisi	19
3.3 Takviye Oranının Mekanik Özelliklere Etkisi	21
3.4 Süneklik	21
3.5 Parçacık Takviyeli Malzemelerin Mekanik Davranışının Hesaplanmasında Kullanılan Bazı Modeller	22
3.5.1 Hashin-Shtrikman Sınırları	23
3.5.2 Mori-Tanaka Yöntemi	24
3.5.3 Self Consistent Metodu	25
3.5.4 Tsai-Halpin Eşitlikleri	26
3.6 İkincil İşlemlerin Mekanik Özelliklere Etkisi	27
3.6.1 Plastik Deformasyon Davranışının Hesaplanması	27
3.6.2 Haddeleme	29
4. LİTERATÜR TARAMASI	30
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	36
5.1 AlMg ₃ /SiCp Kompozitlerinin Mekanik ve Mikroyapı Özellikleri	36
5.2 Basma Deneyleri	41
5.2.1 Basma Deneyi Numunelerinin Hazırlanması	42
5.2.2 Basma Deneylerinin Yapılışı	43
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	45
6.1 Takviyesiz Matris Malzemesi Çekme ve Basma Testi Sonuçları	45
6.2 Kompozit Malzemelerin Basma Deneyi Sonuçları	47

6.3 Şekil Değişirme Uygulanarak Sertleştirilmiş Kompozit Malzemelerin Basma Testi Sonuçları	53
7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Takviye malzemesinin geometrisine göre MMK'ların sınıflandırılması	6
Şekil 5.1 AA5754 / %20SiCp kompozit malzemesinin SEM fotoğrafları	38
Şekil 5.2 Matris malzemesinin sertlik değerlerinin takviye oranları ile değişimi.....	39
Şekil 5.3 Farklı takviye ve ezme oranlarında kompozit malzemelerin çekme dayanımları	40
Şekil 5.4 Basma numunelerinin hazırlandığı Mitsubishi RA-90 EDM tezgahı ...	41
Şekil 5.5 Standart ölçülerde kesilmiş basma numuneleri.....	42
Şekil 5.6 Basma aparatları.....	44
Şekil 6.1 AlMg3-H11 alaşımının basma testi öncesi ve sonrası.....	45
Şekil 6.2 Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş takviyesiz AlMg3 alaşımı	46
Şekil 6.3 AlMg3-H11 alaşımı ile bu çalışmada hazırlanan ısıtma işlem görmemiş AlMg3 alaşımının basma testi sonuçlarının karşılaştırma grafikleri.....	46
Şekil 6.4 AlMg3 alaşımının çekme testinde elde edilen gerilme-gerinim eğrisi	46
Şekil 6.5 Kompozit numunelerin basma testi sonucunda elde edilen gerilme-gerinim eğrileri	48
Şekil 6.6 Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş %5 SiCp takviyeli kompozit numune.....	48
Şekil 6.7 Şekil değiştirme uygulanmış kompozit numunelerin basma testi sonucunda elde edilen gerilme-gerinim eğrileri.....	49
Şekil 6.8 Farklı oranlarda SiCp ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin basma testi grafikleri	52
Şekil 6.9 Farklı oranlarda SiCp ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin bir arada çizilmiş basma grafikleri	53
Şekil 6.10 Ezme uygulanmış ve uygulanmamış kompozitlerin birlikte çizdirilmiş basma testi grafikleri	56
Şekil 6.11 Şekil değiştirmiş ve farklı oranlarda takviye edilmiş kompozitlerin basma testi sonucu elde edilen gerilme gerinim eğrileri	56
Şekil 6.12 Takviye oranlarının artışı ile akma gerilmelerinde meydana gelen değişim .	57
Şekil 6.13 Şekil değiştirme uygulanmış ve uygulanmamış kompozit malzemelerin akma dayanım değerlerinin takviye oranları ile değişimi	58
Şekil 6.14 Farklı takviye oranlarındaki kompozit numunelerin basma sonrasındaki kırılma yüzeyleri	60

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 MMK malzemelerin özellikleri ve uygulama alanları	3
Çizelge 2.1 Alüminyum esaslı MMK’larda kullanılan bazı takviye malzemelerinin tane boyutu ve konsantrasyon aralıkları.....	13
Çizelge 3.1 Biçimlenebilir ve dökme alüminyum alaşımları.....	18
Çizelge 3.2 Takviye tipinin etkisi	20
Çizelge 3.3 SiC takviyeli Al8089 alaşımlı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri	21
Çizelge 5.1 AlMg3 alaşımının fiziksel özellikleri	36
Çizelge 5.2 AlMg3 alaşımının kimyasal bileşimi	37
Çizelge 5.3 Takviye malzemesi olarak kullanılan seramik parçacıkların fiziksel özellikleri ..	37
Çizelge 5.4 Takviye malzemesi olarak kullanılan SiC’nin kimyasal bileşimi	37
Çizelge 5.5 Deney numunelerinin yoğunluk değerlerinin takviye oranlarına göre değişimi	38
Çizelge 5.6 Deney numunelerinin teorik ve ölçülen özgül ağırlıkları ile porozite oranları	39
Çizelge 5.7 Kompozit malzemelerin yüzey sertliklerinde meydana gelen artışlar	40
Çizelge 5.8 Numunelerin kodlanması	43
Çizelge 6.1 Farklı takviye oranlarındaki kompozit malzemelerde akma dayanımı değerlerinin şekil değişimine bağlı olarak değişmesi	58

SİMGE LİSTESİ

A_f	Deformasyon Süresince Anlık Kesit Alanı
A_i	İlk kesit alanı
E_L	Boyuna Elastiklik Modülü
F	Anlık Yük
f	Fiber
G	Kayma Modülü
h_f	Deformasyon Süresince Yükseklik
h_i	İlk Yükseklik
K	Hacimsel Elastisite Modülü
K	Test Makinasının Sertlik Değeri
L	Uygulanan Yük
m	Matris
p	Partikül
S	Mühendislik Gerilimi
t	Zaman
V	Hacimsel Oran
V_f	Deformasyon Süresince Anlık Hacim
V_i	İlk Hacim
w	Whisker
v_{CR}	Test Makinasının Çene Hızı
δ	Numunenin Yer Değiřtirmesi
δ_m	Test Makinasının çenelerinin yer Değiştirmesi
ϵ	Gerçek Gerinim
ϵ_f	Kırılıncaya Kadar Olan Gerinim
σ	Gerçek Gerilim

KISALTMA LİSTESİ

MMK	Metal Matrisli Kompozit Malzemeler
HS	Hashin-Shtrikman Sınırları
SCM	Self Consistent Metodu
W_{17P_3}	%17 SiC_w ve %3 SiC_p İçeren Al 2024 Kompoziti
W_{20}	%20 SiC_w İçeren Al 2024 Kompoziti
AMC 8	%8 SiC Takviye İçeren Al-Li Alaşım Matrisli Kompozit
AMC 12	%12 SiC Takviye İçeren Al-Li Alaşım Matrisli Kompozit
AMC 18	%18 SiC Takviye İçeren Al-Li Alaşım Matrisli Kompozit
EDM	Tel Erozyon İşleme (Electrical Discharge Machining)
H11	1/8 Oranında Soğuk Plastik Şekillendirme İle Sertleştirme

1. GİRİŞ

Mühendislik tasarımlarında etkinlik ve ekonomiklik sağlamanın en önemli yolu kullanım yerinin gerektirdiği özelliklere uygun malzeme kullanmaktır. Enerji, iletişim, ulaşım, havacılık, uzay gibi sivil ve askeri amaçlı sektörlerde teknolojik gelişmeler doğrultusunda sürekli üstün özelliklere sahip yeni malzemelere ihtiyaç vardır. Bu üstün özellikli yeni malzemeler; iki ya da daha fazla sayıda aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulur.

Eski Orta Doğu Uygarlıklarında daha üstün özelliklere sahip tuğlalar elde etmek için kil ve kamışın karıştırılması ile elde edilen kompozit malzemeler, günümüzde uzay ve havacılık gibi üstün teknoloji gerektiren alanlarda istenen özelliklerin birinin veya birkaçının geliştirilmesi amacıyla üretilmektedirler. Bu özellikler şöyle sıralanabilir:

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı
- Yorulma dayanımı
- Aşınma ve korozyon direnci
- Kırılma tokluğu
- Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık
- Isı iletkenliği veya ısı direnç
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç
- Akustik iletkenlik, sönümlenme kapasitesi
- Yüksek rijitlik
- Düşük ağırlık
- Görünüm

Kompozit malzemelerin üretilmesinde çok farklı malzemelerin kullanılması, uygulama alanlarının da genişlemesini sağlamıştır. Başlangıçta, üretim maliyetlerinin çok yüksek olmaları nedeniyle, sadece uzay ve havacılıktaki gibi maliyetin fazla dikkate alınmadığı

uygulamalarda kullanılmışlardır. Fakat üretim yöntemlerindeki gelişmeler ve kompozit malzeme özelliklerinin daha iyi analiz edilebilmesi, uygulama alanlarının artmasını sağlamıştır.

Tek bileşenli malzemelerde başarısız olan gerekli ve istenen özellikleri sağlamak üzere en az biri metal, diğeri takviye malzemesi olan iki veya daha fazla farklı malzemenin birleşimi ile elde edilen Metal Matrisli Kompozit (MMK) malzemeler, mühendislik malzemelerinin gelişim süreci içerisinde yer alan en önemli buluşlardan birisidir. Özellikle SiC ve Al₂O₃ gibi malzemelerin alüminyum matrise sürekli veya süreksiz takviye edilmesiyle kazanılan dayanım artışları sebebiyle alüminyum bazlı MMK'lar hem endüstriyel hem de akademik araştırmalarda önemli bir yere sahip olmuştur.

Günümüzde birçok sektörde kullanım alanı bulan Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanlarına göre mekanik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Malzemeler kullanım yerlerine göre çeşitli yüklemelerin etkisi altında kalırlar. Basma yükleri; çelik bina ve betonarme köprü destekleri gibi ve aynı zamanda malzemelerin haddelenmesi ve dövülmesi gibi çok çeşitli malzeme uygulamalarında karşımıza çıkar. Malzemelerin bu yüklere tepkisinin tanımlanması için bu malzemelerin basma davranışlarını ölçen testlerin yapılması gerekmektedir. Bu testlerin sonuçları tasarım veya üretim hesapları için doğru girdi parametrelerini sağlarlar. (Kuhn, ASTM)

Belli şartlar altında basma testleri, diğeri test metodlarına göre birtakım avantajlara sahiptir. Malzeme davranışlarını belirlemede ağırlıklı olarak çekme testi uygulanmasına rağmen, çekme kuvvetleri etkisi altında deformasyon miktarı boyun vermeyle sınırlıdır. Malzemelerin deformasyon işlemi süresince büyük plastik şekil değişimi altındaki davranışlarını anlamak için ölçümler, boyun verme sınırlarının ötesinde yapılmalıdır.

Çizelge1.1 MMK malzemelerin özellikleri ve uygulama alanları (Özben, 2001)

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	Düşük ısıl genleşme, rijitlik, yüksek ısı iletkenliği	Füzyon güç reaktörlerinde süper iletken durdurucular
	%5 AlO (w)	Aşınma direnci, sıcak çalışma dayanımı	Dizel motor pistonları
	%20 Al ₂ O ₃ (p)	Yüksek rijitlik, düşük yoğunluk, tokluk	Kardan mili, şaft
	Silisyum Karbür	Sürünme dayanımı	Yüksek sıcaklık motor parçaları
	%20 SiC (p)	Aşınma direnci, yüksek yoğunluk, iyi ısı iletimi	Fren rotor diskleri
	%20 SiC (w)	Yüksek rijitlik, düşük yoğunluk, iyi yorulma dayanımı	Bisiklet kasaları
Mg Alaşımları	Bor	Eksenel rijitlik, düşük yoğunluk	Anten yapıları
	Grafit	Düşük yoğunluk, rijitlik, düşük ısıl genleşme	Uydu parçaları
	Alümina	Rijitlik, yorulma dayanımı, düşük yoğunluk	Helikopter transmisyon parçaları
Ti Alaşımları	Bor	Yüksek sıcaklık dayanımı, kırılma tokluğu	Jet motoru fan kanatları
	Silisyum Kaplı Bor	Rijitlik, sürünme dayanımı	Yüksek sıcaklık yapı elemanları
	%40 SiC (f)	Yüksek sıcaklık dayanımı, rijitlik, düşük yoğunluk	Uçak motor parçaları
Süper Alaşımlar	Molibden Tungsten	Yüksek sıcaklık dayanımı, rijitlik, düşük yoğunluk, sürünme dayanımı	Yüksek sıcaklık, motor parçaları

Basma testleri bu sınırı aşmakta kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca basma deneyinde kullanılan test numunelerin çekme test numunelerine nazaran daha basit şekilli olmasından dolayı çekme numunesinin elde edilmesinin zor olduğu birçok durumlarda basma numunesi kullanılır. Özetle izotropik çok taneli kristal malzemeler için basma ve çekme davranışların özdeş olması beklendiği halde anizotropik malzemelerin çekme ve basmadaki davranışları büyük farklılıklar gösterir. (Kuhn, ASTM)

Bu tez çalışmasında ilk olarak, ileri malzemeler grubuna giren metal matrisli kompozit malzemelerin (MMK) endüstriyel anlamda öneminden ve geliştirilme nedenlerinden bahsedilmiştir. Daha sonra üretim yöntemleri, mekanik özellikleri ve dayanım artışı sağlanması için uygulanan ikincil işlemlerden bahsedilmiştir. Yapılan literatür çalışmasında, son yıllarda MMK malzemelerinde meydana gelen gelişmeler ve bu konuda yapılan çalışmaların özetlenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışma kısmında farklı hacimsel takviye oranlarına sahip yarı-katı karıştırma ve sıkıştırma döküm yöntemlerinin birlikte uygulanmasıyla üretilmiş ve soğuk haddelenmiş kompozit malzemelerin basma yükü altındaki davranışları incelenmiş ve sonuçları grafik olarak verilmiştir. Tartışma kısmında MMK'ların kalitesi üzerinde etkili olan parametreler değerlendirilmiş ve geliştirilmesinin malzeme üreticileri ve kullanıcıları açısından gerekliliği vurgulanmıştır.

2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

MMK'lar, istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin birleşimiyle elde edilen yeni malzemelerdir. MMK'ların geliştirilerek ticari olarak kullanılabilir hale getirilmesi, malzeme bilimi alanında son yıllarda gerçekleştirilen en büyük yeniliklerden biridir. MMK'ların kullanımıyla, malzemenin sahip olduğu özelliklerden fedakarlık etmeden %50'ye varan ağırlık tasarrufları sağlanabilmektedir. Ancak bu malzemelerin kullanımının hızla yaygınlaşmasını engelleyen en önemli faktör maliyetleridir. Buna rağmen son 20 yıl içinde, yüksek dayanım ve hafifliğin ön planda olduğu, fiyatın ise ikincil önemde kaldığı uygulamalarda MMK'lar hızlı bir gelişim göstermiştir. (Aran, 1997)

MMK'larda yaygın olarak kullanılan matris malzemesi düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlardır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarında tercih edilmektedir. Genellikle MMK üretiminde Al, Mg, Zn, Cu, Ti ve Ni gibi malzemeler ve bunların alaşımları matris olarak kullanılırken; silisyum karbür (SiC), bor (B), grafit, alüminyum oksit (Al_2O_3), tungsten ve molibden gibi değişik takviye türleri kullanılmaktadır.

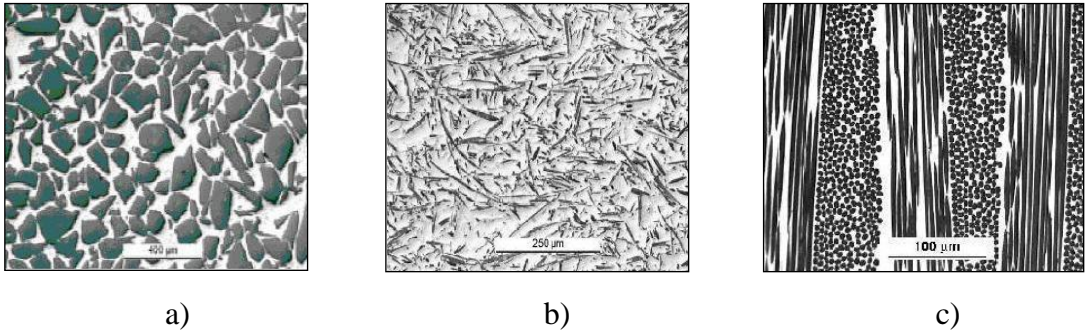
Genel olarak bakıldığında MMK'ların, metallere göre üstün olan özellikleri şunlardır;

- Geleneksel üretim yöntemlerinin basit modifiyelerle kullanılabilmesi,
- İstenen özelliklerin önceden belirlenebilmesi,
- Yüksek özgül modül,
- Yüksek özgül mukavemet,
- Daha iyi yorulma dayanımı,
- Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilme ve düşük sürünme oranı gibi yüksek sıcaklık özellikleri,
- Düşük termal genleşme katsayısı,
- Daha iyi aşınma direnci.

MMK'ların dezavantajları olarak ise şu maddeler sayılabilir;

- Sürekli fiber takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda zor ve karmaşık üretim prosesleri,
- Geleneksel üretim yöntemlerinde kullanılan takımların kullanılamaması sebebi ile takım maliyetinde artış,
- Metallerde göre sünekliğin azalması,
- Yüksek maliyetli üretim sistemi ve teçhizat,
- Yeni gelişen bir teknoloji olması nedeniyle firmaların ve üreticilerin deneyimsiz oluşudur.

MMK'ların, takviye elemanlarına göre değişik şekillerde sınıflandırılmaları mümkündür. Sürekli ve süreksiz takviyeli olarak iki gruba ayrılabilirken, uzun elyaf, kısa elyaf/whisker ve parçacık takviyeli olmak üzere üç ana gruba ayrılabilirler. Takviye boy/çap oranı esas alınarak yapılan bu sınıflandırmada büyük boy/çap oranına sahip takviyeler sürekli (uzun elyaflar, filamentler, vb.), küçük boy/çap oranına sahip takviyeler süreksiz (kırpılmış elyaflar, parçacıklar, whiskerlar, vb.) olarak adlandırılırlar. (Çiftçi, 2003; Ürkmez, 2004)



Şekil 2.1 Takviye malzemesinin geometrisine göre MMK'lar

a) partikül takviyeli, b) süreksiz elyaf veya whisker takviyeli, c) sürekli elyaf takviyeli

2.1 Matris Malzemeleri

Kompozit malzemelerde matris, bağlayıcı eleman olarak görev yapmaktadır. Matrisin asıl fonksiyonu, yükü takviye malzemesine iletme ve dağıtmaktır. Ayrıca takviye malzemesini ortamın etkilerinden ve darbelerden korumak, kompozit malzemenin tokluğunu arttırmak, kırılan elyaflardan çatlağın yayılmasını önlemek, mukavemete katkıda bulunmak ve takviye elemanlarını bir arada tutmak da matrisin görevidir. (Aran,1997)

MMK uygulamalarında pek çok farklı metal ve metal alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. MMK'larda matris olarak alüminyum ve alaşımları;

- Düşük özgül ağırlık,
- Döküm ve deformasyon işlemlerine uygunluk,
- Nispeten düşük işlem maliyeti,
- Yüksek korozyon direnci,
- Nispeten kolay sağlanabilen ısı ve elektrik iletkenliği,

gibi fonksiyonel özelliklerinin çok daha iyi olmasından ötürü günümüzde en yaygın kullanılan matris malzemeleridir. (Ürkmez, 2004)

2.2 Takviye Malzemeleri

Kompozit malzemelerde iki ya da daha fazla sayıda farklı faza sahip malzemeler bir araya geldiğinde, malzemedeki beklenen özelliklerin gerçekleşebilmesi için fazlar arasında belirli fiziksel ve kimyasal uyumun olması gerekir. Matris ile takviye elemanı arasındaki fiziksel uyum, süneklik ve ısı genleşme özellikleri ile ilgilidir. Kimyasal uyum ise, ara yüzey bağı ve ara yüzey reaksiyonları açısından önem taşır. Takviye elemanı ve matrisin ısı genleşme katsayıları arasındaki uyum, kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması yönünden önemlidir. (Nadibo, 1993)

Takviye elemanı, kompoziti oluşturan en önemli elemanlardan biri olup, kompozit üzerine gelen yükün büyük bir bölümünü taşımaktadır. Yükün takviye elemanına

iletilmesi için ara yüzey bağının güçlü olması gerekir. Takviye elemanlarının ıslanamaması durumunda ara yüzey bağlarının oluşumunu engellemesine ve hava boşluklarının oluşmasına neden olur. Bundan dolayı takviye elemanı seçimi, matris içerisinde yönlendirilme şekilleri ve hacim oranları, kompozitin fiziksel ve mekaniksel karakteristiklerini etkiler. (Nadibo, 1993; Lloyd, 1994)

Takviye malzemesi olarak, değişik kimyasal kompozisyonlarda ve yapıda, seramikten grafitte veya karbondan metale, pek çok malzeme çeşidi kullanılmaktadır. Takviye malzemeleri, L/D (çap/boy) oranı yaklaşık 1 olan parçacıklar, yaklaşık 50 olan kırılmış elyaf veya whiskerler ve 100 den büyük olan sürekli elyaflar olarak başlıca üç gruba ayrılmaktadır. (Zhang, X., 2006; Ürkmez, 2004)

Takviye elemanlarının seçimi kompozit için çok önemli olduğundan, takviye elemanlarının özelliklerinin de çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Elyaf; yoğunluk, üretim kolaylığı, ısıl direnç, kimyasal uyumluluk gibi kriterlere göre seçilmektedir. Özellikle uzay ve uçak sanayinde düşük yoğunluklu, yüksek mukavemete sahip takviye elemanlarının kullanılması kaçınılmazdır. Yüksek mukavemete sahip bu takviye elemanlarının bazılarının elyaf veya whiskers şeklinde üretilmeleri zordur ve özel tekniklerin uygulanması gerektiğinden ekonomik değildir. Bunun yanında, metalik kompozitler genellikle yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirildiklerinden yüksek sıcaklıklarda elyafların mukavemetlerini koruma özellikleri, oda sıcaklığındaki mekaniksel özelliklerinden daha önemlidir. Takviye elemanının metalik matris ile iyi bir ara yüzey bağı oluşturması, matris içerisinde istenmeyen reaksiyonların oluşmaması gerekir (Mori, 1973).

Parçacık takviyeli kompozit malzemelerin diğer takviye şekillerine göre en önemli avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Üretimin hacmi büyüdükçe maliyet önemli olduğundan, sürekli veya kırılmış elyafa göre daha ucuz maliyetlerle elde edilebilirler,
- Döküm ve toz metalurjisi gibi üretim teknikleri ve bunu takiben haddeme, dövme ve ekstrüzyon gibi ikincil işlemler uygulanabilir,

- Takviye edilmemiş metalden daha yüksek kullanım sıcaklığına sahiptirler,
- Daha yüksek mukavemet ve modüle sahiptirler,
- Artan ısı kararlılık gösterirler,
- Elyaf takviyeli kompozitlere göre daha izotropik özellikleri vardır. (Ürkmez, 2004)

2.3 Metal Matrisli Kompozitlerde Arayüzeyler

Arayüzey; bir veya daha fazla malzeme parametresinde süreksizliğin olduğu iki boyutlu bir bölgedir. Önemli süreksizlikler arasında elastik modül, kimyasal potansiyel ve ısı genleşme katsayısı gibi termodinamik parametreler bulunmaktadır. Kompozitlerde arayüzey bölgeleri, çok geniş bir alan işgal etmelerinden ve matris ile takviye arasında termodinamik denge oluşturmadıklarından dolayı, büyük önem taşımaktadır. (Aktaş, 2005)

Matris ve takviye fazı arasındaki bağ özelliğini kontrol edebilmek çok önemlidir. Bu kontrolü gerçekleştirebilmek için, herhangi bir kompozit sistemde mümkün bağ tipi veya tiplerinden hangisinin veya hangilerinin sistemi kontrol ettiğini anlamak şarttır. Temel olarak bağ çeşitlerini iki ana gruba ayırmak mümkündür.

a) Mekanik Bağ

b) Kimyasal Bağ

İki yüzey arasında mekanik kilitleme ile oluşan bağın kompozit özelliklerini önemli derecede iyileştirdiği belirtilmektedir. Takviye yüzeyinde matris fazının çekirdeklenmesi, takviyenin matris ile çevrelenmesine yol açar. Bu tür bağlanma, kimyasal veya fiziksel yöntemlerle takviye yüzeyinde işlem yaparak yüzeyin pürüzlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Mekanik bağlanma, takviye-matris arayüzeyinde kimyasal etkileşimin olmadığı veya kontrol edilemediği malzemelerde tercih edilmektedir. Mekanik bağın kontrollü kimyasal reaksiyonlarla oluşan bağlarla desteklenmesi durumunda çok daha iyi özellikler ortaya çıkmaktadır. (Vaucher, 2000)

MMK sistemleri, çoğu zaman termodinamik olarak dengesiz sistemlerdir. Belirli sıcaklık ve sürede, belirli kinetik şartlarda farklı fazların ara yüzeylerinde difüzyon ve/veya kimyasal reaksiyon meydana gelmektedir. Reaksiyon bağı olarak adlandırılan bu tür reaksiyonlar ile meydana gelmiş ara yüzey oluşumları, genellikle kompoziti oluşturan fazlardan farklı özelliklere sahiptirler. Ara yüzeyde güçlü bir bağın oluşumu için istenen ara yüzey reaksiyonları kontrollü olarak gerçekleştirilmelidir. İstenenden daha fazla reaksiyon ürünü ara yüzeyin kabalaşmasına ve dolayısı ile de kompozit malzemenin istenen özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olabilmektedir. Örneğin, Al-SiC sisteminde; Al_4C_3 ve Al_4SiC_4 çökelti veya sürekli tabaka olarak oluşabilir.



Al_4C_3 ; Al/SiC kompozitlerin kullanılabilirliği ve mekanik özellikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir, oldukça gevrek bir fazdır. Bu istenmeyen reaksiyon ürününün oluşumunun engellenmesi gerekir. (Dikici, 2004)

Ergimiş metaldeki Mg, parçacık yüzeyinden oksijenin uzaklaştırılmasına yardım eder. Yüksek miktarda Mg daha çok parçacığın ergiyik içerisine nüfuzunu sağlar. Al alaşımı matrisli kompozitlerde Mg sadece alaşımlandırma ve yüzey geriliminin azaltılmasına katkıda bulunmakla kalmayıp aynı zamanda daha iyi ıslanabilirlik ve dağılıma da yardımcı olur. Güçlü bir oksijen uzaklaştırıcısı olarak Mg, takviye elemanı yüzeyindeki oksijenle etkileşir, gaz katmanını inceltir ve dolayısıyla ıslanabilirliği iyileştirir ve topaklanma eğilimini azaltır. Bununla birlikte, Mg miktarının belirli bir değeri geçtikten sonra matris içerisinde kaba çökelti ve düşük ergime sıcaklığına sahip inklüzyonlar oluşturduğu ve gözenek miktarını artırarak kompozitin mekanik özelliklerini kötüleştirdiği belirtilmiştir. (Sukumaran vd., 1995)

2.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

MMK'lar geleneksel üretim yöntemlerinin kullanılması ile üretilmektedir. Katı, sıvı ve yarı katı halden üretim mümkün olup, takviye edilecek malzeme boyut ve türüne göre ek işlemler veya yöntemler modifiye edilerek üretim gerçekleştirilmektedir.

MMK lerin üretim yöntemleri genelde iki ana grupta toplanır.

1-Katı faz üretim yöntemleri

- a) Difüzyon bağlanması
- b) Sıcak haddeleme
- c) Ekstrüzyon
- d) Toz metalürjisi (TM) teknikleri

2- Sıvı faz üretim yöntemleri

- a) Basınçlı veya basınçsız olarak ön şekil verilmiş iskelet yapıya ergimiş metal emdirilmesi
- b) Sıkıştırma döküm
- c) Basınçlı döküm
- d) Savurma döküm
- e) Hassas döküm
- f) Plazma sprey
- g) Kimyasal veya plazma ile buhar kaplama (CVD, PVD ve Elektrodepozisyon).

3- Yarı-Katı üretim yöntemleri

Rheocasting ve Compocasting Döküm Tekniği

2.4.1. Sıkıştırma Döküm Tekniği

Sıkıştırma döküm yöntemi; metal bir kalıp içerisine yerleştirilen, ön ısıtma yapılmış, seramik elyaf veya başka bir takviye malzemesinden oluşmuş ön şekle, kuvvet yardımıyla sıvı metalin emdirilmesi ve böylece sıkıştırılan sıvı metale yüksek basınç uygulanarak katılaştırılması işlemidir. Bu yöntem, takviyeli ve takviyesiz, yüksek hassasiyetli mühendislik parçalarının üretilmesinde kullanılmaktadır. C, SiC, Al₂O₃ ve paslanmaz çelik elyaf gibi çoğu takviye malzemesi, sıvı metalle uygun bir şekilde ıslanmadıkları için, sıvı metal emdirme yöntemiyle kompozit malzeme üretimi zordur. Buna karşılık, sıkıştırma döküm tekniğinde sıvı metal, elyaf demetlerinden oluşan ön

şekil içerisine kuvvet yardımıyla emdirilir; bu arada absorbe olmuş ve sıkışmış gazlar da atılır.

70-100 MPa'lık basınçların uygulanmasıyla, katılaşma süresinin çok kısa tutulması nedeniyle, matris ile takviye malzemesi ara yüzeyinde reaksiyon meydana gelmemesi, boşluksuz ve yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin elde edilmesini sağlar. Bu da birçok türde takviye ile kompozit malzeme üretimine olanak sağlar. Yüksek basınç uygulaması nedeniyle parça boyutunda sınırlandırılması ve takviye malzemesinin hasara uğraması bu yöntemin en büyük dezavantajı olmakla birlikte, pratik kullanımda sıkıştırma döküm yöntemi, kısa zamanda, karmaşık şekilli MMK parça üretimi için en verimli yöntemdir. Al_2O_3/Al , C/Mg , $SiCw/Al$, Si_3N_4W/Al kompozit malzemeleri, bu yöntemle kolaylıkla üretilebilirler.

2.5 Döküm Kalitesini Etkileyen Parametreler

2.5.1 Döküm Sıcaklığı

Döküm kalitesi ve kalıp ömrü açısından bakıldığında eriyiğin kalıp boşluğuna döküldüğü sıcaklık çok önemlidir. Çok düşük döküm sıcaklığı; kalıp doldurulmasında yetersiz akıcılıkta eriyiğe neden olur ve bu da kalıbın tam olarak doldurulamamasına ve döküm yüzeylerinde soğuk katlantılara neden olur. Çok yüksek döküm sıcaklığı; sıvı metalin işleme arayüzeyleri arasından çıkmasına neden olabilir ve bu da dökümde kalın kesitlerde çekinti gözenekliliğiyle sonuçlanabilir. İdeal döküm sıcaklığı alaşımın tam sıvılaşma sıcaklığına ve donma aralığına bağlıdır. Alüminyum alaşımları için döküm sıcaklığı genellikle tam sıvılaşma sıcaklığının $10\text{ }^{\circ}C$ ile $100\text{ }^{\circ}C$ yukarısında seçilir. (Yılmaz, 1991)

2.5.2 Takviye Boyutu

Kompozit içerisindeki kuvvetlendiricinin boyutu arttıkça üretim esnasında oluşabilecek kırılmaların ve çatlamların oranı artmaktadır. Üretim açısından düşünüldüğünde, örneğin toz metalurjisi ile üretim sırasında düzgün takviye dağılımı için takviye ile

metal tozlarının tane iriliği oranı optimum değerde olmalıdır. Sıvı metal proseslerinde ise takviyenin, matris malzemesine bağlanmasını sağlayacak, ancak aşırı reaksiyon oluşmayacak bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Karışım kolaylığı açısından iri takviye malzemesi seçilmesi gerekirken, yerçekimi etkisiyle çökelme nedeniyle ince parçacıklar tercih edilmeli, bununla beraber ince parçacıklar viskoziteyi aşırı derecede arttırdığından, akıcılık probleminin tedbirleri alınmalıdır. (Trowsdale vd., 1996; Lloyd, 1994)

Parçacık esaslı MMK'ların sergiledikleri mekanik özellikler, matris alaşıma eklenen kuvvetlendiricinin çap ve hacimsel oranlarına göre farklılık göstermektedir. Çizelgede MMK'larda sıkça kullanılan bazı kuvvetlendiricilerin tane boyutu ve hacimsel oran aralıkları verilmiştir. (Dikici, 2004)

Çizelge 2.1 Alüminyum esaslı MMK'larda kullanılan bazı takviye malzemelerinin tane boyutu ve konsantrasyon aralıkları (Dikici, 2004)

Takviye	Tane Boyutu	Konsantrasyon
Al ₂ O ₃ parçacıklar	3-200 µm	%3-30
SiC partikülleri	6-120 µm	%3-20
SiO ₂ (Silika)	5-53 µm	%5
TiC parçacıkları	46 µm	%15
Si ₃ N ₄ parçacıkları	40 µm	%10
ZrO ₂	5-80 µm	%4
TiO ₂	5-80 µm	%4

2.5.3 Porozite ve Oksit İçeriği

Geleneksel alaşımlarda olduğu gibi MMK'larda da gözenekler mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemekte ve bu etki geleneksel alaşımlardan daha fazla olmaktadır. Hidrojenin sıvı alüminyumda yüksek, katıda ise düşük çözünürlüğe sahip olması, katılaşma sonrası gaz boşluklarının oluşumuna sebebiyet vermektedir. Gaz boşluklarının oluşumunda, katılaşma sırasında uygulanan basınç, alaşımın kimyasal

bileşimi ve katılma aralığı, katılma veya soğuma hızı gibi faktörlerde etkili olmaktadır.

Düşük gözenek oranlarında maksimum çekme dayanımı hacimsel gözenek oranı ile doğru orantılıdır. Gözenek oranı artarken gözenekler çevresindeki homojen olmayan gerilme dağılımları üst üste gelmekte ve hasar gözenegin doğrusal olmayan bir fonksiyonu haline gelmektedir. MMK'larda çözülmüş gazlar ve çekme boşluklarından meydana gelen normal döküm gözeneklerin dışında üretim prosesinden kaynaklanan gözenekler söz konusudur.

Sıvı veya yarı katı karıştırma, artan gaz çözünürlüğüne neden olurken, oluşturulan vorteks gazın sıvı alaşım içerisine emilmesine neden olmakta, bu durumda karıştırıcı hızı ve içerisindeki pozisyonu önem kazanmaktadır. Bununla beraber bu proses parametrelerinin gözenegi azaltacak şekilde optimize edilmesi, sıvıya parçacık karıştırılmasını olumsuz yönde etkileyebilir. Döküm kompozitlerde poroziteler; takviyeden uzakta ve matris takviye sınırında olmak üzere iki tiptir. İkinci tip, düşük gerilmeler altında parçacığın matristen ayrılmasına neden olduğu için, oluşumu özellikle arzu edilmemektedir. Ayrıca parçacık yüzeyinde yapışık haldeki gaz, parçacığın yüzmesine neden olmaktadır. MMK'larda gözenekler, dökülen kompozitin beslenmesini etkileyen, uygun olmayan kalıp sıcaklığından ortaya çıkan çekme boşluğu sebebiyle olduğu kadar, mil ve pervanenin grafit kirlilikleri sıvıca yabancı partiküllerin inklizyonların bulunması, sıvı yüzeyinde oluşmuş oksitler, sıvıyı çevreleyen havadaki hidrojen gazı nedeniyle ortaya çıkabilmektedir. Öte yandan SiC takviyeli Al-Zn-Mg alaşımında takviye hacimsel oranı arttıkça gözenek oranı da artmaktadır. Bu artış kompozitlerin gözenek açısından geleneksel alaşımlara göre oldukça dezavantajlı konuma getirmektedir. Karıştırma sırasında oluşan vorteks etkisi ile sıvıya giren hava, artan viskozite sıvıdan atılamamaktadır. Bu gaz boşluklar çevresinde parçacık topaklanmasının meydana gelmesi kompozitin parçacık homojenliğini bozmaktadır. Ayrıca geleneksel gaz giderme yöntemleri kompozitte ıslatmanın bozulmasına ve takviye kaybına neden olmaktadır. Diğer taraftan inklizyonların mekanik özellikler üzerinde önemli olumsuz etkileri bulunmaktadır. (Ray, 1993; Samuel, 1993; Liu, 1993)

2.5.4 Takviye Dağılımı

Takviyenin yük taşıma kapasitesinden faydalanabilmek için düzgün takviye dağılımı zorunludur. Düzgün olmayan takviye dağılımı kümelenmelere ve poroziteyle birlikte sünekliğin, dayanımın ve tokluğun düşmesine neden olur. Düzgün olmayan takviye dağılımının nedenleri olarak;

- Takviyenin matris malzemesi ile karışmadan önce yetersiz dağılımı,
- Çökelme ve eriyiğin yüzey gerilimine bağlı olarak takviyenin erimiş metal içinde yetersiz dağılımı,
- Yarı-katı karıştırma ve toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş süreksiz takviyeli kompozit malzemelerin doğasında olan, takviyenin katı matris partikül sınırları ile sınırlandırılmasından ortaya çıkan düzgün olmayan takviye dağılımları sayılabilir. (McKimpson, 1989)

Partikül dağılımına katılma hızının etkisi büyüktür. Düşük katılma hızlarında dendrit hücre ebatları kullanılan SiC partikül ebatlarından daha geniş olabilir ve hücre sınırlarında partikül kümelenmeleri meydana gelebilir. Dendrit hücre ebatlarının SiC partikül ebatlarına eşit olduğu katılma hızlarında küçük taneler görülür ve düzgün partikül dağılımı elde edilir. Yüksek katılma hızlarında partiküller geometrik olarak birbirine yaklaşan katılma cepheleri tarafından yakalanır ve düzgün partikül dağılımı sağlanır. Düşük katılma hızlarında ise partiküllerin geometrik olarak birbirine yaklaşan katılma cepheleri tarafından daha az yakalanmasına bağlı olarak daha fazla partikül segregasyonları görülür. Kompozitteki partikül hacim oranının katılmış kompozitteki takviye partiküllerinin homojenliğine önemli bir etkisi yoktur. (Kolsgaard, 1993)

2.5.5 Sıkıştırma Basıncı ve Süresi

Demir ve demir olmayan metallerde büzülme ve gaz porozitesini gidermek için minimum 70 ila 105 MPa arasında basınç uygulamak gereklidir. Ancak; kalıbın dondurulması için yüksek basınç uygulanması ve porozite kontrolünü çoğunlukla döküm geometrisi belirler. Dökümün son safhası olan katılma kısmı porozite etkisine

çok duyarlıdır. Porozite giderme; yarı sıvı metalin katı kısımdan geçirilmesiyle giderilir. Bu metalin akışını engelleyen katı bir bölge olduğu zaman kabuktan katılaşmış bölge boyunca basınç uygulayarak katılaşmış kabukta bir miktar plastik deformasyon olmalıdır. Basınç seviyesini minimum gerekli seviyenin üzerine çıkarmak az ek yararlar sağlar. Bununla birlikte aşırı yüksek basınçların tane küçülmesine ve daha iyi özelliklere neden olduğu bildirilmiştir. Bu ek faydaların yüksek basınç kapasite gereksinimlerinden kaynaklanan maliyetler ile yüksek basınç ve yüksek sıcaklık nedeniyle kalıp ömrünün azalması etkenleriyle birlikte değerlendirilmesi gereklidir. Karıştırarak döküm teknolojisi; dökümde bütün büzülme ve gaz porozitesi belirtilerini gidermeye çok az uygun hacim basıncı kullanır. Bu basınç genellikle basit şekiller için 70 ile 105 Mpa ve karmaşık şekiller ve ince kesitler için 140 ile 240 MPa arasındadır. Karıştırarak dökümde şekil ve kesit kalınlığı; basınç altında tam katılaşma sağlamak için gerekli basınç uygulanma süresini etkiler. Minimum gerekli sürenin ötesinde daha uzun zaman gecikmeleri çok az yarar sağlayabilir. Fakat cidar kırılmasına ve döküm yüzeyindeki baskı kalıbının termal kasılmalarından dolayı geri çekilme zorluklarına neden olabilir. Basıncın maximum süresi genel kabul görmüş kurala göre; kesit kalınlığına bağlı olarak 1s/mm.'dir. (Yılmaz, 1991)

SiC partikül takviyeli Al matrisli kompozitlerde SiC partikül takviye oranı arttıkça porozitenin artmakta, aynı zamanda, hacimce aynı partikül takviye içeren kompozitlerde partikül boyutunun küçük olması porozite yüzdesini arttırmaktadır. Üretilen kompozit malzemelerin üretim sonrasında preslenmesi porozite değerlerini düşürmektedir. Alınan bütün tedbirlere rağmen, Al alaşımlı dökümlerde az da olsa porozite bulunmakta ve malzemenin kesit alanını küçülterek yorulma, çekme ve basma mukavemetlerini olumsuz etkilemektedir. (Özdin, 2006)

3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Mekanik özellikler genellikle kompoziti oluşturan bileşenlerin ayrı ayrı fiziksel özellikleri, takviyenin tipi, ebadı, hacimsel oranı ve takviye-matris arayüzünün özellikleriyle belirlenir. Matris ve takviyenin özellikleri arasındaki uyumsuzluk, örneğin SiC ve Al matrisin termal genleşme katsayıları arasındaki fark, dislokasyon yoğunluğunu direkt olarak etkileyebilir. Al-SiC katı hal reaksiyonuyla birleştirildiğinde SiC partikül ebadına ve hacimsel oranına bağlı kuvvetlendirme mekanizmasını etkileyebilir ve ısıl işlem uygulanmış durumdaki döküm kompozitten beklenen maksimum çekme gerilmesini değiştirebilir. Partikül ebadı ve hacimsel orana ek olarak SiC takviyenin matris içinde daha düzgün dağılımı mekanik özellikleri artırır. Isıl işlem uygulanabilir matrisli bir kompozitteki akış geriliminin artması, muhtemelen saf alaşım çökeltileri ve SiC takviyenin dislokasyon etkileşimlerinin ilave etkilerini gösterir. Bu; matriste örgü gerinimlerini (lattice strain) artırır, daha çok dislokasyon dolanımına neden olur, deformasyon için daha yüksek akış gerilimleri gerektirir ve sonuçta daha yüksek dayanımlar gözlenir. (Dombaycı, 1996)

3.1 Bazı Elementlerin Mekanik Özelliklere Etkisi

Alaşım elementlerinin ilk görevi yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi faydalı özellikleri kötü yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük akma sınırını yükseltmektir. Bu özelliği kazandıran elementler; manganez, magnezyum, silisyum, bakır ve çinko olup, düşük miktarlarda bile istenilen amaca ulaştırırlar. Kübik yüzey merkezli alüminyum kristal kafesi yapısı, ancak çok küçük oranlarda bu elementlerden alabilir. Yabancı atomlar kristal kafesi içerisinde kaymaya karşı direnci artırır; yani akma sınırını yükseltirler; şekil değiştirme kabiliyeti ise etkilenmez. (Şevik, 2004)

Çizelge 3.1 Biçimlenebilir ve dökme alüminyum alaşımları

ALAŞIMLARIN GÖSTERİLİŞLERİ		
Biçimlenebilir	Döküm	İçerdiği Alaşım Elementleri
1 XXX ^(*)	1XX ^(*)	----
2 XXX ^(**)	2 XX ^(**)	Cu
3 XXX ^(*)	-----	Mn
	3 XX ^(***)	Si+Mg; Si+Cu; Si+Cu+Mg
4 XXX ^(***)	4 XX ^(*)	Si
5 XXX ^(*)	5 XX ^(*)	Mg
6 XXX ^(**)	----	Mg+Si
7 XXX ^(**)	7 XX ^(**)	Zn
8 XXX ^(**)	----	Diğer
	8 XX ^(**)	Sn

- (*) Yaşlandırma serleştirmesi uygulanamaz
- (**) Yaşlandırma serleştirme uygulanabilir.
- (***) Magnezyum varsa yaşlandırma serleştirmesi uygulanabilir.
- (****) Bazılarına yaşlandırma serleştirmesi uygulanabilir.

Ticari saf alüminyuma yaklaşık %1,2 Mn ilavesiyle orta düzeyde dayanımlı ısıl işlem uygulanamayan bir alüminyum alaşımı elde edilir. Mangan ilavesi alüminyuma katı eriyik mukavemetleşmesi ve ince bir dağılım çökmesi ile mukavemet kazandırır. Bu alaşımlar orta düzeyde dayanım ve iyi şekillendirilebilirlik gerektiren genel amaçlar için kullanılır. (Smith, 2001)

İkili alüminyum-magnezyum alaşımları ısıl işlem uygulanamayan 5 xxx serileri için esas oluşturmaktadır. Magnezyum, alüminyumda önemli bir eriyebilirliğe sahip olmakla beraber katı eriyebilirlik sıcaklık düştükçe düşer, alüminyum magnezyum alaşımları %7 Mg'dan daha az konsantrasyonlarda kayda değer çökme sertleşmesi göstermezler. Buna karşın magnezyum katı eriyik mukavemetleşmesi ile birlikte ve yüksek sertleştirme özelliği sağlar. Al-Mg alaşımları iyi korozyon direncine sahiptir. Ancak söz konusu bu alaşımlar gerilmeli korozyona ve doğal yaşlanma sertleşmesine duyarlıdır.

Sıvı halde magnezyum oksidasyona eğilimli olup döküm esnasında özel koruma işlemleri gerektirir. Al-Si alaşımlarına göre Al- Mg alaşımlarının döküm özellikleri daha az uygundur.

Al-Si alaşımları (3XX ve 4XX serileri) döküm alüminyum alaşımları arasında çok iyi akıcılık özelliğine sahip olması nedeniyle en çok rağbet gören alaşımlardır. Silisyumun ana alaşım elementi olarak bulunduğu alüminyum alaşımları, yüksek akıcılık, döküm sırasında düşük çekme, iyi korozyon direnci, kaynak edilebilirlik ve düşük ısıl genişleme katsayısı gibi önemli avantajlara sahiptir. Bu alaşımlar ince kesitli ve kompleks şekilli parçaların döküm yolu ile elde edilmesi için oldukça uygundur. Akıcılık, MMK malzemelerin döküm yöntemleri ile üretiminde, matris kompozisyonlarının seçiminde oldukça önemli bir etkidir.

Bakır alüminyum için önemli bir alaşımdır, çünkü bakır iyi katı eriyik oluşturur ve uygun ısıl işleme oldukça yüksek dayanım sağlayabilir. (Şevik, 2004; Ürkmez, 2004)

3.2 Takviye Türünün Mekanik Özelliklere Etkisi

MMK'lar için kullanılan takviye elemanları; partiküller, sürekli ve süreksiz fiberler, whiskersler ve benzerleridir. Takviye elemanlarını seçimi kompozit için büyük önem arz ettiğinden, takviye elemanlarının özelliklerinin de çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

Fiberler; yoğunluk, üretim kolaylığı, ısıl direnç, kimyasal uyumluluk gibi kriterlere göre tetkik edilip seçilmektedir. Sürekli fiber takviyeli MMK malzemeler, takviye elemanın paralel yönde mükemmel mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen bu malzemelerin yüksek maliyeti yaygın olarak kullanılmalarını engellemektedir. Ayrıca, sürekli fiber takviyeli MMK malzemelerin fiber eksenine dik yönlerde anizotropik özelliklere sahiptirler. Sürekli fiber takviyeli MMK malzemelerin kullanılmaları yüksek maliyetleri nedeniyle, çoğunlukla askeri ve çok özel amaçlı uygulamalarla sınırlandırılmıştır.

Seramik parçacık takviyeli MMK'lar, yüksek özgül mukavemet ve özgül modül, aşınma dayanımı ile yüksek sıcaklık mukavemetine sahiptirler. Kompozitin dayanımı; partiküllerin büyüklüğüne, partiküller arası mesafeye ve matrisin özelliğine bağlıdır.

Partiküller yapı içerisinde homojen dağıldığında genellikle partikül hacminin artışı ile kompozitin dayanımı ve aşınma direnci de doğru orantılı olarak artar. Fakat artan takviye oranı ile porozite de artma gözlenir. Partikül takviyeli kompozitin diğer kompozitlerden farkı, döküm yolu ile imal edildiğinden, artan takviye elemanı ilavesi ile birlikte yapı içerisinde porozite vb. hatalar, ikincil bir işlem olan haddeleme veya basınçlı döküm ile giderilebilmektedir. Yani, partikül takviyeli MMK üretimi yapıldıktan sonra, ikincil bir işlem yapılabilmektedir. Bunun kompozit açısından önemi çok büyüktür. Çünkü ara reaksiyon esnasında oluşan bu boşluklar kompozitin dayanımını düşürmektedir. (Özdin, 2006)

Yapılarında hemen hemen kristal hataları olmayan whiskerlerin akma dayanımları teorik dayanımlarına yakındır. Bu nedenle, yüksek dayanımlı süreksiz takviyeli MMK malzeme üretmek için kullanılmıştır. Özellikle, whiskerin yüksek sıcaklıktaki özellikleri diğer elyaflardan iyi olduğu için whiskerlerle takviyeli MMK malzeme üretimi için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Plastik deformasyon tekniklerinin yanı sıra, toz metalurjisi tekniği ile metalik matrislerin SiC whiskersleriyle güçlendirilmeleri mümkündür. Kompleks şekilli parçalar sıcak izostatik presleme ile ekonomik bir şekilde üretilebilirler. Preslenmiş parçalar, minimum düzeyde bitirme işlemine ihtiyaç duyarlar. Kısaca SiC whiskerleriyle pekiştirilmiş metalik kompozitler, klasik şekillendirme tekniklerinin uygulanabildiği tek sistemdir. Bu whiskerlerle güçlendirilmiş alüminyumun işlenebilirlik özelliği, sürekli SiC, bor ve alümina fiberle güçlendirilmiş esaslı kompozitten daha iyidir. (Huda vd., 1993; Kök, 2000)

Çizelge 3.2 Takviye tipinin etkisi (Sriwatsan vd., 1993)

Matris	Takviye Tipi	Takviye Oranı (hacimce)	$\sigma_{çekme}$ (kg/mm²)	σ_{akma} (kg/mm²)
Al 5456	SiC, partikül	%8	46,7	25,8
	SiC, whisher	%8	51,2	28
	SiC, partikül	%20	56,2	33
	SiC, whisher	%20	64,7	38,7

Tablodan açıkça görüldüğü üzere whisker tipi takviyelerin mekanik özellikleri daha iyidir. (Sriwatsan vd., 1993) Kohara'nın yaptığı çalışmada SiC partikül takviyeli Al matrisli kompozit malzemelerin, SiC whisker takviyeli Al matrisli kompozit malzemeler kadar dayanıma sahip olmadığı belirlenmiştir. (Şahin, 2004)

3.3 Takviye Oranının Mekanik Özelliklere Etkisi

MMK'ların özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biri de takviyenin matris içerisindeki hacimsel oranıdır. Genellikle matris içerisindeki takviyenin hacimsel oranı arttığı zaman kompozitin sünekliği ve tokluğunun azalmasına rağmen dayanımı artmaktadır. Diğer yandan takviyenin hacimsel oranının artmasıyla mekanik özelliklerin düştüğü durumlarda vardır. Matris ve partiküller arasında güçlü bağlanmaların olması dayanımı arttırmaktadır. (Lee vd., 1993)

Çizelge 3.3 SiC takviyeli, Al8089 alaşımlı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri
(Aydın, 1997)

Matris	Takviye Oranı (hacimce)	$\sigma_{\max\text{çekme}}$ (MPa)	σ_{akma} (Mpa)	E (GPa)
Al 8009	SiC _p , %0	448	400	87,5
	SiC _p , %5	496	462	93,7
	SiC _p , %10	599	558	100,6

3.4 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 matrise göre farklı ısıl genişleme katsayısına sahip takviyelerin kullanılması ile açıklanabilir. Takviye malzemesinin bu özelliklerinin yanında kullanılan matris malzemeleri de örneğin alüminyum, sünek, düşük elastiklik modülü gibi çok farklı özelliğe sahiptirler. Tüm bunlara ilaveten takviye ve matris malzemenin gerilme altında farklı kırılma davranışları sergilemesi, süreksiz takviyeli kompozit malzemelerin kırılma mekaniğinde oldukça fazla etkinin rol aldığı belirtilmektedir.

Kompozit malzemelerde ısıtılma işlemi sonucunda iyileşmeler gözlenmesine rağmen şekillendirilebilirlikleri sınırlıdır. 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-matris ara yüzeyinde kritik bir normal gerilmenin oluşmasıdır.

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

Büyük takviye boyutuna sahip kompozit malzemenin matris içerisinde yüklenmesi ki bu takviyenin kırılması ihtimalini artmasına da sebep olur, gerilme altında civar bölgelerin (ara yüzeyin ve matrisin) daha fazla sertleşmesine dolayısıyla kırılma eğiliminin 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. (Özben, 2001)

3.5 Parçacık Takviyeli Malzemelerin Mekanik Davranışının Hesaplanmasında Kullanılan Bazı Modeller

Çok fazlı malzemeler alanındaki bilimsel çalışmalarda, bir taraftan mikro yapı ile özellikler arasındaki ilişkileri belirleyip istenilen özellikleri sağlayacak iç yapı parametrelerinin belirlenmesine çalışılırken, diğer taraftan da mühendislerin malzeme tasarımlarında kullanabileceği hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesine uğraşmaktadır. Takviyelerin geometrik olarak süreksiz olduğu çift fazlı içyapılarda geometrik etkileşim oldukça karmaşıktır. Fakat, kural olarak çift fazlı iç yapılarda, hacim oranına da bağlı olarak, yükün daha fazlasını rijit fazın taşıdığı, şekil değişiminin ise daha çok yumuşak fazla karşılandığı düşünülür. Fazlarda ne gerilme ne de genleme sabit olarak dağılmadığından, sabit gerilme veya sabit genleme kabulünden yola çıkan ve fazların paralel veya seri yükleme hallerinin kabul edilebileceği sürekli ve basit geometri olduğu durumlarda “karışımlar kuralı” gibi basit yaklaşımlar yetersiz

kalmaktadır. Burada plastik şekil değişimi ihmal edilebilen rijit ikinci fazlarla takviyeli, malzemelerin deformasyon davranışlarının belirlenmesine yönelik olan çalışmalarda elde edilmiş mevcut bilgiler üzerinde durulacaktır. MMK malzeme göz önüne alındığında genellikle takviye malzemesi olarak kullanılan seramik parçacıkların boyutları, şekilleri ve yapıdaki dağılımları hakkında çok hassas bir bilgiye sahip olunmadığından çeşitli mikro mekanik modeller geliştirilmiştir. Bu modeller elastik matris yapısını kuvvetlendirmek amacıyla, küresel takviye bileşenlerinin yapıda tesadüfi bir dağılım gösterdiği MMK'ların davranışlarının analizi için gerekli olan etkili elastiklik modülünün tahmininde kullanılmaktadır. Hashin-Strikman, Mori-Tanaka, self-consistent modeli ve Tsai-Halpin modeli bu modellerin en önemlileridir. (Yılmaz, 1995; Aboudi, 1991)

3.5.1 Hashin-Shtrikman Sınırları

Hashin ve Shtrikman'ın geliştirdiği bağıntılar, paralel ve seri yüklemelerin belirlediği sınırlara benzer, fakat daha dar bir aralığa sahip iki uç değer önerdiğinden dikkat çekicidir. Hashin ve Shtrikman doğrusal elastisite teorisindeki varyasyonel prensiplerden hareketle, malzemede depolanan enerjinin minimizasyonu yoluyla, hacimsel elastisite modülü ve kayma modülü için alt ve üst sınırları hesaplamaya yarayan şu formülleri önermişlerdir:

$$K_L = \left(K_m + \frac{V_p}{\left[\frac{1}{(K_p - K_m)} \right] + \left[\frac{3V_m}{(3K_m + 4G_m)} \right]} \right) \quad (3.1)$$

$$G_L = \left(G_m + \frac{V_p}{\left[\frac{1}{(G_p - G_m)} \right] + \left[\frac{6(K_m + 2G_m)V_m}{5(3K_m + 4G_m)G_m} \right]} \right) \quad (3.2)$$

$$K_U = \left(K_p + \frac{V_m}{\left[\frac{1}{(K_m - K_p)} \right] + \left[\frac{3V_p}{(3K_p + 4G_p)} \right]} \right) \quad (3.3)$$

$$G_U = G_p + \frac{V_m}{\left[\frac{1}{(G_m - G_p)} \right] + \left[\frac{6(K_p + 2G_p)V_p}{5(3K_p + 4G_p)G_p} \right]} \quad (3.4)$$

Burada K hacimsel elastisite modülünü, G kayma modülünü, (L) ve (U) indisi alt ve üst sınırları belirtmekte, (m) indisi matris, (p) indisi parçacığı, (V) ise hacim oranını göstermektedir. Elastiklik modülünü hesaplamak için;

$$E = \frac{9KG}{(3K+G)} \quad (3.5)$$

eşitliğinden yararlanılır. Matrisin takviyeden daha yumuşak olduğu durumlarda alt sınırlar, matrisin takviyeden daha sert olduğu durumlarda üst sınırlar geçerli olmaktadır. Elastik sabitlerin HS yöntemi ile alt ve üst sınırlarının belirlenmesi izotropik yapıdaki fazlar için oldukça kolay ve genel olarak geçerlidir. HS sınırları özellikle faz içerisinde random izotropik olarak dağılmış küresel parçacık ile %20'ye kadar hacimsel takviyeli kompozit malzemelerin elastik sabitlerinin alt ve üst sınırlarının belirlenmesinde oldukça isabetli sonuçlar vermektedir. Parçacıklar arası etkileşimler, büyük hacimsel takviye oranlarındaki kompozitler için ihmal edilmektedir. (Fan vd., 1992; Hashin vd., 1963; Doi vd., 1970; Ürkmez, 2004)

Parçacık takviyeli kompozit malzemelerin deneysel yöntemlerle elde edilen elastik sabitleri, eğer yapıda porozite yoksa genellikle HS sınırlarının arasında kalmaktadır. İncelenecek malzemenin elastik sabitleri HS alt sınırının altında bir değerde ise mikro yapı hataları içerdiği söylenebilir. Eğer HS sınırlarının üst sınırının üzerinde bir değerde ise, yapının parçacık takviye yerine lifli bir yapı özelliği sergilediği düşünülebilir. Sonuç olarak HS sınırları, elasto-plastik davranışın modellenmesinde temel kabul edilmektedir. (Ürkmez, 2004)

3.5.2 Mori-Tanaka Yöntemi

Mori ve Tanaka; Eshelby'nin sonsuz büyüklükteki elastik bir matris içine gömülmüş elipsoid biçimli bir ikinci faz düşünülerek, bu fazın içindeki ve dışındaki gerilme alanları formüle ettiği eşdeğer ikinci faz yöntemini, takviyeler arasındaki etkileşimi de dikkate alacak şekilde geliştirmişlerdir. Bu yöntemde etkili elastiklik modülünün hesaplanmasında takviye (seramik) bileşenine ait hacim oranı dağılımından yararlanan, çoğunlukla sürekli matris malzemesinin içinde süreksiz takviye malzemesinin olduğu

yapılar için bu model kullanılmaktadır. Bu teoride; elastik küresel takviye parçacıkların elastik matris malzemesi içinde izotropik olarak dağıldığı kabul edilmektedir. (Mori, 1973)

Mori Tanaka Modelinde, etkili modüllerin tespitinde kullanılan eşitlikler aşağıdaki gibidir.

$$V_p + V_m = 1 \quad (3.6)$$

$$v_k = (v_p - v_m)V_p + v_m \quad (3.7)$$

$$G_m = \frac{E_m}{2(1+v_m)} \quad (3.8)$$

$$G_p = \frac{E_p}{2(1+v_p)} \quad (3.9)$$

$$K_m = \frac{E_m}{3(1-2v_m)} \quad (3.10)$$

$$K_p = \frac{E_p}{3(1-2v_p)} \quad (3.11)$$

$$f_m = \frac{G_m(9K_m + 8G_m)}{6(K_m - 2G_m)} \quad (3.12)$$

$$\frac{G - G_m}{G_p - G_m} = \frac{V_p}{1 + (1 - V_p) \frac{G_p - G_m}{G_m - f_m}} \quad (3.13)$$

3.5.3 Self Consistent Metodu

Hill ve Budiansky sürekli faz içinde gömülü olan ikinci fazların biçimlerini de dikkate alan, ancak fazların geometrik dağılımlarını göz önünde bulundurmeyen “SCM (self consistent method)” adlı bir yaklaşım önermişlerdir. Bu metod aşağıdaki eşitlikleri önermektedir.

$$\frac{V_m K_m}{K_m + \frac{4}{3}G} + \frac{V_p K_p}{K_p + \frac{4}{3}G} = 5 \left(\frac{V_m G_p}{G - G_p} + \frac{V_p G_m}{G - G_m} \right) + 2 = 0 \quad (3.14)$$

$$K_k = \frac{1}{\frac{V_m}{K_m + \frac{4}{3}G} + \frac{V_p}{K_p + \frac{4}{3}G}} - \frac{4}{3}G \quad (3.15)$$

3.5.4 Tsai-Halpin Eşitlikleri

Tsai-Halpin, yönlendirilmiş süreksiz lifler içeren karma malzemelerin elastiklik modülünü hesaplayan;

$$E_L = E_m (1 + c_L n V_f) / (1 - n V_f) \quad (3.16)$$

$$c_L = 2s + 40V_f^{10} \quad (3.17)$$

$$n = (E_f/E_m - 1) / (E_f/E_m + c_L) \quad (3.18)$$

Eşitliklerini önermektedir. (E_L) boyuna elastiklik modülü, (f) ve (m) fiberi ve matrisi göstermektedir, (s) boy-en oranı, (c_L) ve (n) katsayılarıdır. Anlaşıldığı gibi, (s) katsayısı aracılığıyla takviye biçimi bir anlamda hesaplara katılmaktadır.

Yukarıda sıralanan yaklaşımlar için genel olarak şunlar söylenebilir:

- Çoğunlukla tek bir takviye biçimine bağlı kalındığından her zaman gerçekçi olmamaktadırlar.
- Takviye dağılım geometrisi ve buna bağlı olarak takviyelerin etrafındaki gerilme alanlarının birbirlerini etkilemesini dikkate almayan yöntemlerde, yapılan hesaplar yüksek hacim oranları için gerçekçi olmamaktadır.
- Bu iki sakınca gerçeğe yakın içyapı modelleri kullanılarak giderilmeye çalışıldığında, çeşitli varsayımlar içeren oldukça karmaşık ve uzun hesaplamalar ortaya çıkmaktadır. (Yılmaz, 1995)

3.6 İkincil İşlemlerin Mekanik Özelliklere Etkisi

3.6.1 Plastik Deformasyon Davranışının Hesaplanması

Plastik alanda malzemelerin mekanik davranışları Hooke kanunu gibi basit ifadelerle belirlenememekte ve birçok nedenle plastik deformasyonun matematik formülasyonu elastik davranışinkinden daha güç olmaktadır. Plastik genleme geri alınabilir bir şekil değişimi değildir. Elastik davranış gerilme ve genlemenin başlangıç ve son değerleri ile kesin olarak belirlenebilirken, plastik davranışta son duruma gelene kadar genlemenin izlediği yolun da dikkate alınması gerekir. Değişik elastik deformasyon seviyelerinde gerilme-genleme halleri birbirine benzerken, plastik deformasyonun her aşamasında yeni bir gerilme-genleme dengesinin yazılması gerekmektedir. (Dieter, 1988)

Plastisite teorilerinin geliştirilmesinde karşılaşılan ve yukarıda anılan bu güçlüklerin çok fazlı malzemeler için daha da artacağı açıktır. Daha öncede belirtildiği gibi, çift fazlı içyapılarda gerilme ve genlemenin homojen olarak dağılmaması, hesaplamalarda bu büyüklüklerin dikkate alınmasını zorlaştırmaktadır. Anılan engellerin aşılması için literatürde, düzgün dağılmadığı bilinen gerilme-genleme değerleri yerine, onların ortalama değerlerini ele alan yaklaşımlar yapılmaya çalışılmaktadır. Özellikle çift sünek yapılı içyapılarda denenen bu tür yaklaşımların gerçekçiliği bir yana, iç yapıda birçok faktörden etkilenen ortalama değerlerin doğru olarak belirlenmesi de ayrı bir güçlüktür. Fazların akma dayanımlarının oranına, daha sert fazın biçimine ve hacim oranına bağlı bir büyüklük olan ortalama genleme değerleri için bazı ampirik eşitlikler önerilmiştir. Bu eşitlikler yardımıyla fazların ortalama genlemeleri belirlendikten sonra, karma malzemenin gerilme-genleme davranışının hesaplanabileceği bağıntılar verilmektedir. Bu tür bir deformasyon teorisi çift fazlı çeliklerin geliştirilmesinde kullanılmıştır. (Tomoto, 1982; Poech, 1992; Ankem, 1986)

İki fazlı malzemelerin deformasyonunda genelde şu aşamalar söz konusudur:

- 1) Önce her iki faz da elastik şekil değiştirir.
- 2) Daha sonra yumuşak faz plastik şekil değiştirmeye başlar.

- 3) Her iki faz da plastik şekil değiştirir.
- 4) Fazlarda veya arayüzde hasar oluşumları başlar.

Çok fazlı içyapılarda; bileşenlerin gerilme-genleme davranışları arasındaki fark arttıkça ve içyapı geometrileri karmaşıklaştıkça, içyapıda yük altında oluşan gerilme ve genleme dağılımları da karmaşıklaşmaktadır. (Yılmaz, 1995)

Fazlarda gerilme ve genlemenin düzgün olarak dağılmamasının nedenleri;

- 1) Fazların farklı elasto-plastik özelliklere sahip olmaları,
- 2) Faz sınırlarının sürekliliğinin korunması için fazların birbirlerine olan kısıtlamalarından doğan üç eksenli gerilme halleri,
- 3) Fazlarda herhangi bir nedenden dolayı hacim değişimi olduğunda doğan iç gerilmeler, (Tomoto, 1982; Yılmaz, 1995)

Bu tür çalışmaların tümü her iki fazda da gerilme ve genlemenin düzensiz dağıldığını doğrulamaktadır. Son yıllarda metal matrisli süreksiz seramik takviyeler içeren MMK'larla ilgili araştırmalarda da sonlu elemanlar yöntemi sıkça kullanılmaktadır. MMK'lara ait çalışmalarda, karma malzemenin içyapısının sonlu elemanlar modeli oluşturulurken, malzemenin kesitini temsil eden iki boyutlu modellerden daha çok, birim hücre modelleri kullanılmaktadır. Birim hücre yaklaşımında, karma malzemenin en küçük hacmini oluşturduğu düşünülen birim hacimler düşünülmekte ve bu birim hacimlerin yanına gelmesi ile tüm malzemelerin oluşturulabileceği varsayılmaktadır. (Aradhya, 1991; Haoran, 1993; Yılmaz, 1995)

Birim hücre modeli yaklaşımına dayanan çalışmalar, iki boyutlu eksenel simetrik veya üç boyutlu modeller olmak üzere iki grupta ele alınabilir. İki boyutlu eksenel simetrik modeller çözüm için gereken bilgisayar kapasitesinden ve çözüm zamanından tasarruf için tercih edilmektedirler. (Yılmaz, 1995)

3.6.2 Haddeleme

Harrigan ve arkadaşları (1995), toz metalurjisi ile ürettikleri %15-30'luk SiC partikül takviyeli Al 6061 alaşım matrisli kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde sıcak haddelemenin etkilerini incelemişlerdir. Haddeleme ile kalınlıkta yaklaşık %80 gibi önemli bir redüksiyon sonrası, mekanik özelliklerin iyileştiğini ve bu durumun, metal-metal bağlarının iyileşmesinin bir sonucu olduğunu belirtmişlerdir. (Şahin, 2004)

Morelli ve arkadaşları (2001), çalışmalarında, %20 oranında, 5µm, 7µm, 23µm gibi farklı partikül boyutunda SiC ile takviye edilmiş Al-3,6Cu-1,9Mg-0,2Zr matrisli kompozit malzemeyi, toz metalurjisi ile üretmiş ve ekstrüzyon işlemi ile şekillendirmişlerdir. Daha sonra T6 ve T8 ısıt işlemleri uygulanmıştır. T8 ısıt işlemi ile daha ince taneli ve daha homojen dağılım meydana gelmiştir. Diğer yandan, T8 işleminde haddeleme aşamasının bir sonucu olarak, matriste homojen bir dislokasyon dağılımı elde edilmiştir. En büyük partikül boyutlu takviyeleri içeren kompozit malzemelerin haddelenmesinde ise, partikül kırılmaları meydana gelmiş, böylece dayanım değerleri, takviyesiz matriks alaşımından düşük çıkmıştır. (Şahin, 2004)

4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Ünlü (2008), Saf Al matrisli, SiC ve Al₂O₃ takviyeli, döküm yoluyla ve toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş kompozitlerin mekanik özelliklerinin üretim yöntemiyle ilişkisini incelemiştir. Döküm yoluyla elde ettiği numuneleri yarı-katı halde karıştırarak elde etmiştir. Toz metalurjisi yöntemiyle elde ettiği numuneleri 360 MPa basınç ve 600 °C sıcaklıkta 30 dakika sinterleme yoluyla elde etmiştir. Basma testleri sonucunda, ağırlıkça takviye oranı arttıkça basma mukavemeti değerlerinin düştüğü ve döküm yöntemiyle üretilen malzemelerin mukavemet değerlerinin toz metalurjisi yöntemiyle üretilen malzemelerden daha iyi olduğu bildirmiştir.

Tirtom ve arkadaşları (2007), SiC takviyeli Al (2024-O) matrisli MMK'ların şekil değiştirme hızlarının basma mekanik davranışına etkilerini deneysel ve sayısal olarak hesaplamışlardır. Sayısal hesaplamaları asimetrik sonlu eleman birim hücre modeli kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarında ise 30 µm ebatlarında, hacimsel olarak %15 SiC_p takviye içeren ve karıştırarak döküm yoluyla elde edilmiş MMK kullanmışlardır. Hesaplama yapılarak bulunan sonuçları ve deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Şekil değiştirme hızının artmasıyla basma dayanımlarının arttığını belirtmişlerdir. Hesaplama ve deneysel çalışma sonuçlarının farklı çıkmasının nedeni olarak; birim hücre modellerinde yapılan kabullerin etkili olduğunu kabul etmişlerdir.

Zhang ve arkadaşları (2006), hacimsel olarak %17 SiC_w ve %3 SiC_p içeren Al 2024 hibrid kompozitlerin (W₁₇P₃) ve sıkıştırarak döküm yoluyla elde edilmiş hacimsel olarak %20 SiC_w/2024Al (W₂₀) kompozitlerin 0,01 s⁻¹ deformasyon hızında 298 K'den 793 K'e değişen sıcaklık aralıklarında basma davranışları incelemiştir.

Gerilim-gerinim akış eğrilerindeki kademeli düşüşün nedenini dinamik yeniden kristalleşme, whisker kırılması ve whiskerların yönünün değişmesiyle whisker ve matris arasında yük transfer kabiliyetinin azalması olarak görmüşlerdir. 573 K sıcaklıkta $W_{17}P_3$ 'ün dayanımının W_{20} 'den yüksek olmasının nedenini Orowan dayanımı mekanizmasının dislokasyon hareketlerini engellemesinden kaynaklandığını düşünmüşlerdir. Bunun da dislokasyonların SiC nanopartikülleri etrafında birikmesiyle gerçekleştiğini söylemişlerdir. $W_{17}P_3$ kompozitinin dayanımının W_{20} kompozitinin dayanımından yüksek olmasının nedenini; SiC nanopartiküllerinin matrisin erime sıcaklığında tane büyümesini engellemesi olarak belirtmişlerdir.

Min ve arkadaşları (2006), 7xxx serisi Al matrisli kompozit malzemelerin sinterleme karakteristiklerini ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında 7xxx serisi AMB7775 (Al-7,0Zn-2,5Mg-1,0Cu) alüminyum alaşımı kullanmışlardır. Ağırlıkça %5 olacak şekilde SiC ilavesiyle elde ettikleri kompozitleri 620 °C sıcaklıkta kuru N_2 atmosferinde 10 dakikadan 240 dakikaya kadar değişen sinterleme sürelerinde, 100 °C/dakika ısı oranıyla sinterlemişlerdir. Basma deneylerini $v=1 \times 10^{-3}$ /s sabit deformasyon hızında, 20 mm çapında silindirik numuneler kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çökme sertleşmesini teyit için kompozitlere T6 ısıl işlemini 475 °C sıcaklıkta 60 dakika uygulamışlardır. Yaşlandırma işlemini ise 175 °C sıcaklıkta 24 saat uygulamışlardır. SiC takviyesiyle basma mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. T6 ısıl işlemi sonucu SiC takviyeli AMB7775 matrisli kompozitin basma mukavemetinin AMB7775 alaşımına oranla daha az değiştiği gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak; matrisin zayıf olduğunu ve Al matris ile SiC arasında büyük termal genişleme katsayısı farklılığından dolayı ara yüzeylerde ayrılmalar olduğunu belirtmişlerdir.

Bauri ve Surappa (2008), karıştırarak döküm yöntemiyle Al-Li-SiC_p kompozitleri üretmişlerdir. Oda sıcaklığında ekstrüzyon ve ısıl yaşlandırma uygulanmış 8090 serisi Al-Li alaşım matrisli, takviye malzemesi olarak ortalama 40µm ebatlarında, hacimce %8, %12, %18 SiC takviye içeren kompozitlerin basma dayanımlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında hacimsel olarak %8, %12, %18 SiC takviye içeren kompozitleri AMC 8, AMC 12 ve AMC 18 olarak ifade etmişlerdir. Basma deneylerini $v=1 \times 10^{-3}$ /s sabit deformasyon hızında oda sıcaklığında gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda, AMC

18'in takviyesiz Al'dan önemli bir farkı olmadığını ve dayanımının AMC 8 ve AMC 12'den daha düşük olduğunu görmüşlerdir. Bunu matris mikroyapısı ve ara yüzey bağları ile açıklamışlardır. AMC 18 kompozitindeki SiC kümelenmelerinin basma dayanımını düşürdüğü belirtmişlerdir.

(Mondal ve arkadaşları, 2006), hacimce %10, %15 ve %25 SiC partikülleri içeren; karıştırarak döküm yoluyla elde ettikleri Al 2024 matrisli kompozit malzemelerin değişik deformasyon hızlarındaki basma dayanımlarını incelemişlerdir. Basma deneylerini değişik deformasyon hızlarında yapmışlardır. Testlerden elde ettikleri mühendislik gerilim ve gerinimlerini; düzgün deformasyon şartları kabul ederek, gerçek gerilim ve gerinimlere dönüştürmüşlerdir. %25 SiC_p, Al 2024 kompozitinin en az deformasyona uğrayabildiğini, ayrıca akma gerilmesi ve maksimum gerilmenin gerinim hızına bağlı özgül bir değişim göstermediğini belirtmişlerdir. Takviye partiküllerin kırılma olasılığının partiküllerin ebatlarının büyümesi ve partikül kümelenmelerinin artmasıyla artacağını belirtmişlerdir. Partikül kırılmasının çoğunlukla partikül kümelenmelerinin hacimce çok yüksek olduğu bölgelerde olacağını ve bütün bunların kompozitin dayanımının düşmesine neden olacağını belirtmişlerdir.

Dod ve Petitcorps (1997), toz metalurjisi ve karıştırma döküm yoluyla ürettikleri Al-2124 matrisli MMK'ların soğuk şekillendirilebilirliğinin artırılması için uygun ısıl işlemlerin bulunmasına çalışmışlardır. Çalışmalarında, toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Al-2124/SiC_p (hacimce %17, 3 ile 13µm ebatlarında) kompoziti ve karıştırarak döküm yoluyla üretilmiş A356/SiC_p (hacimce %15, 16µm ebatlarında) kompoziti kullanmışlardır. Karıştırarak döküm yönteminde şekillendirebilirliğinin daha ucuz olmasının toz metalurjisi yöntemine göre büyük bir avantaj olduğunu vurgulamışlardır.

Farklı ısıl işlem koşullarının malzemelerin çekme ve basma davranışları üzerinde kuvvetli bir etkisi olduğu, T4 ısıl işleminin malzemenin çekme ve basmada daha yüksek dayanımlara sahip olmasını sağladığı gözlenmiştir. Aşırı yaşlandırmanın her iki deneyde de dayanımı düşürdüğünü vurgulamışlardır. Aşırı yaşlandırmanın basmada T4'e göre haddelenebilme özelliğini arttırdığını, çekmede ise azalttığını ve haddelenebilme özelliğinin basmada çekmeye göre her zaman daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Wagener ve Wolf (1995), toz metalurjisi işlemiyle sıcak ekstrüzyon metoduyla üretilmiş hacimce %15 ve %25 SiC_p içeren AA6082 ve AA230A kompozitlerini incelemişlerdir. %25 SiC_p içeren AA6082, %15 SiC_p içeren AA230A ve %25 SiC_p içeren AA230A kompozitlerinin haddelenebilirliğinin oda sıcaklığında %60 gerinimle sınırlı olduğu gözlenmiştir. Numunelere bundan daha fazla basılmasının dış kenarlarda eksenel çatlaklara yol açtığını belirtmişlerdir. %15 SiC_p içeren AA6082'nin %80 civarında haddelenebilirliğe sahip olduğu, AA230A kompozitinin ise daha fazla dayanıma sahip olduğu ve dayanımın takviye miktarının artmasıyla azaldığı gözlemiştir.

Şen (2005), deneysel çalışmalarında kullandığı kompozit malzemelerin tümünde matris malzemesi olarak AlSi12CuNiMg alüminyum alaşımı kullanmıştır. Takviye malzemesi olarak ise 60 µm boyutunda Al₂O₃, 90 µm boyutunda SiC ve 45 µm boyutunda TiO₂ tozları kullanmıştır. AlSi12CuNiMg alaşım matrisli kompozit malzemelerin basma dayanımlarının partikül takviyesi ile arttığını, kompozit içindeki ağırlıkça yüzdeleri aynı olan Al₂O₃, SiC ve TiO₂'den oluşan 3 ayrı numuneden silisyum karbür takviyesinin dayanımının en düşük olduğunu görmüştür. Bunun partikül elemanı ile matris malzemesi arasında iyi bir arayüzeyin sağlanamamasından kaynaklandığını belirtmiştir. Ahlatçı (2003), yaptığı çalışmada, hacimce % 60 SiC partikül takviyeli saf Al matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine ve aşınma direncine takviye boyutu ve matris bileşiminin etkisini incelemiştir. Kompozit malzemelerin mukavemetinin, matriste bulunan takviye boyutunun azalması ve Mg içeriğinin artması ile arttığını belirtmiştir. Bununla birlikte Si ile alaşımlandırmanın; mukavemeti belirgin olarak arttırmadığını vurgulamıştır. Saf Al matrisli kompozit malzemelerde takviye boyutunun artması ile tokluğun düşerken, sünekliğin arttığını ve matrisin alaşımlandırılmasının sünekliği ve tokluğu azalttığını belirtmiştir. Partikül boyutlarının ne kadar ince ise partiküller arası mesafenin o kadar dar ve soğuma sırasında termal genleşme katsayısındaki farklılıktan dolayı matriste oluşan deformasyon gradyanı o kadar büyük olduğunu vurgulamıştır. Kompozit matrisinde oluşan bu deformasyon gradyanının, daha fazla dislokasyon yoğunluğuna sebep olduğunu belirtmiştir.

Kırdök (1993), 2024, 1070 ve A413 alüminyum alaşımlarına 1-63 µm çapındaki SiC partiküllerinin ağırlıkça %5'den %15'e kadar ilavesiyle, karıştırarak döküm yöntemiyle

kompozit malzeme üretmiştir. Alaşımın yaşlandırma şartları, takviyede kullanılan malzeme, bu malzemenin hacimsel oranı ve parçacıkların boyutları gibi birçok mikro yapısal değişkenin, kompozitin mekanik ve tribolojik (aşınma ve sürtünme davranışı) özelliklerine etki edebileceğini belirtmiştir. Çalışma sonucunda, alüminyum alaşımlarına SiC partikül ilavesiyle sertlik, aşınma direnci, akma gerilmesi ve elastisite modülünün (E) arttığı, sürtünme katsayısı ve birim şekil değiştirmenin (ϵ) azaldığı Alüminyum alaşımlarına SiC takviyesiyle basma dayanımının arttığı gözlemiştir

Yıldırım (2004), toz metalurjisi yöntemiyle %10 ve %20 SiC takviyeli saf Al matrisli kompozit malzemeler üreterek statik ve dinamik yükler altındaki ezilme davranışlarını incelemiştir. Isıl işlem görmüş MMK numunelerine 1mm/dk çene hızı ve $1.7 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ deformasyon hızıyla %60 şekil değiştirinceye kadar statik basma yükü uygulamıştır. Test ettiği elastik-plastik kompozit sistemlerin gerçek gerilme-genleme eğrilerini eşit gerilme yöntemi kullanarak tahmin etmiştir. Numunelerin tipik bir elastik-plastik davranış gösterdiğini, lineer elastik bir bölge ve gerininin artmasıyla gerinim serleşmesi hızının azaldığı plastik deformasyon bölgesinin oluştuğunu belirtmiştir. SiC takviyesinin; akma gerilmesi ve gerinim serleşmesi hızını arttırdığını gözlemiştir.

Dombaycı (1996), AlSi5 matrisli, SiC takviyeli kompozit malzemeleri döküm yöntemiyle elde etmiştir. Elde ettiği döküm numunelerini özelliklerinin iyileştirilmesi için $530 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ekstrüzyon işlemine tabi tutmuştur. Ekstrüzyon işlemi mekanik özellikleri iyileştirmiştir. Basma deneyi numunesi olarak 8,5 mm çapında ve 8,5 mm yüksekliğinde ekstrüze edilmiş kompozit malzemeler kullanmıştır. Takviye miktarının artmasıyla basmada akma gerilmesinin arttığını belirtmiştir.

Wang ve arkadaşları (2000), %20 SiCw takviye içeren Al 6061 kompoziti karıştırma döküm metoduyla üretmişlerdir. Deformasyon sıcaklığı arttıkça hem kompozitin hem de alaşımın akış gerilimlerinin düştüğü gözlenmiştir. Deformasyon sıcaklığının alaşımın tam katılaşma sıcaklığından daha yüksek olduğu zaman kompozitin akış geriliminin alaşımdan çok az yüksek olduğunu ve benzer plastik şekil değiştirme kabiliyeti gösterdiğini belirtmiştir.

Xu ve Palmiere (1998), deformasyon işlemi süresince SiC partiküllerinin ebatlarının ve dağılımlarının değişiminin izlenerek termomekanik işlemlerin MMK'ların mikroyapı üzerindeki etkilerinin ölçülmesi için çalışmışlardır. Sıcaklığın MMK'ların akış davranışı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Sıcaklık yükseldikçe matris içinde dinamik toparlanma ve yeniden kristelleşme olduğundan akış gerilimlerinde düşmeler olduğu gözlenmiştir. Bunun sonucunda kompozitte deformasyon sıcaklığının artmasıyla sünekliğin de arttığını belirtmişlerdir. Yüksek deformasyon sıcaklıklarının ve deformasyon gerinimlerinin sonucunda; SiC partiküllerinin kırılmalarının ve alaşım matrisi içinde yeniden dağılımlarıyla; partiküllerin MMK içinde daha homojen dağılmasını sağlamışlardır.

Jiang ve arkadaşları (1995), toz metalurjisi metoduyla ürettikleri, 3 µm ebatlarında, hacimce %17 SiC partikül takviyeli Al 2124 alaşım matrisli kompozit malzemelerin soğuk şekillendirilebilirliğini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda farklı ısıl işlemlerin; malzemenin çekme ve basma davranışlarında güçlü bir etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır. Aşırı yaşlandırma ısıl işleminin çekme ve basma dayanımını düşürdüğünü belirtmişlerdir. MMK'ların soğuk şekillendirilebileceğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda çekme uzamasının bir malzemenin soğuk şekillendirilebilirliğinin belirlenmesinde yeterli olmadığını, MMK'ların soğuk şekillendirilebilirliğini etkileyen birçok faktörün olduğunu, mevcut çalışmada basma ve ısıl işlem etkilerinin incelendiğini belirtmişlerdir.

Doel ve arkadaşları (1996), SiC partikül takviyeli alüminyum MMK'ların mekanik özelliklerine partikül ebatlarının etkisi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında matris alaşımı olarak Al 7075 (ağırlıkça %5,6 Zn, %2,5 Mg, %1,6 Cu), takviye malzemesi olarak 5 µm, 13 µm ve 60 µm ebatlarında %15 hacim takviyeli SiC partikülleri kullanmışlardır. Akma gerilmesi, çekme dayanımı ve süneklik gibi mekanik özelliklerin partikül ebatlarının azalmasıyla iyileştiğini belirtmişlerdir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, takviye oranlarının ve soğuk haddelenmenin basma dayanımı özellikleri üzerine etkilerini araştırmak amacı ile değişik oranlarda SiC parçacıkları ile takviye edilmiş AlMg3 matrisli kompozit malzemeler kullanılmıştır. Deneysel çalışmada farklı takviye oranlarında üretilmiş ve farklı oranlarda haddelenmiş kompozit malzemelerden basma testi numuneleri standartlara uygun olarak çıkarılmış ve basma testleri gerçekleştirilmiştir.

5.1 AlMg3/SiCp Kompozitlerinin Mekanik ve Mikroyapı Özellikleri

Kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak seçilen AlMg3 alüminyum alaşımı ısı ile sertleştirilebilme özelliği olmayan, dayanımı yüksek bir alaşım olup, özellikle deniz suyuna karşı mükemmel korozyon dayanımı, çok iyi kaynak edilebilirliği ve iyi şekil verilebilme özelliği olan bir alaşımdır. AlMg3 alaşımının fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi sırasıyla Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 AlMg3 alaşımının fiziksel özellikleri

AlMg3’ün Fiziksel Özellikleri		
Özgül Ağırlık	2,66	g/cm ³
Elastiklik Modülü	68-72	GPa
Kayma Modülü	27	GPa
Ergime Aralığı	600-620	°C
Özgül Isı (273-373 ⁰ K)	0,97	
Lineer Genleşme Katsayısı (293-373 ⁰ K)	24x10 ⁻⁶	1/ ⁰ K
Termal İletkenlik (373-673 ⁰ K)	147-168	W/m ⁰ K
Direnç (293 ⁰ K)	0,049x10 ⁻⁶	Ωm

Çizelge 5.2 AlMg3 alaşımının kimyasal bileşimi

Mg	Si	Fe	Mn	Diğer(Toplam)
2,6-3,2	0,40	0,40	0,5	0,15

Takviye malzemesi olarak ORKLA firması tarafından üretilen, fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi sırası ile Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te verilen yaklaşık 12 mikron (500 Mesh) tane iriliğine sahip Green SiC tozları (GW Micro) kullanılmıştır. Ucuz ve kolay temin edilebilirliğinin yanında, yüksek dayanıma da sahip olan bu malzeme lepleme, parlatma işlemleri ile, teknik seramiklerde, yarı iletken teknolojisinde ve fotovoltaiik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 5.3 Takviye malzemesi olarak kullanılan seramik parçacıkların fiziksel özellikleri

Parçacık	Boyut	Özgül Ağırlık	Çekme Dayanımı	E-Modülü
Cinsi	(μm)	(g/cm^3)	(GPa)	(GPa)
SiC	15-340	3,2	3	480

Çizelge 5.4 Takviye malzemesi olarak kullanılan SiC'nin kimyasal bileşimi

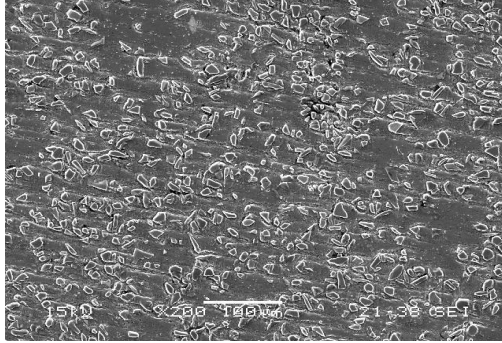
Ürün	Tane İriliği	%SiC	%Serbest C	%Si	%SO ₂	%Fe ₂ O ₃
GW Micro	F240-F800	99,5	0,10	0,10	0,10	0,05

Kompozit malzemeler yarı katı karıştırma ve arkasından sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir.

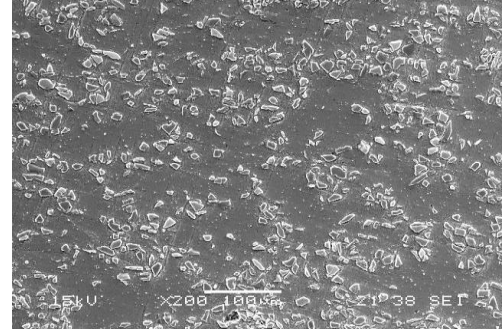
Haddelenmiş numuneler, her bir pasoda malzemeye % 1- 1.5 ezme uygulanarak hazırlanmıştır. Basma dayanımı özelliklerinin belirlenmesi için %0-5-10-15ve %20 takviyeli kompozit malzemeler ve %20 oranında haddelenmiş numuneler kullanılmıştır.

Kompozit malzemelerde homojen dağılım sağlanıp sağlanmadığı ve ezme işlemlerinin iç yapıda meydana getirdiği değişiklikler, porozite ve iç yapı kusurları oluşup oluşmadığı optik laboratuvar mikroskobu ve yarı kantitatif elemental analiz sistemine sahip, JOEL-FEG-SEM/INCA/EDS tarama elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir.

Şekil 5.1 a) ve b) de AlMg3/%20SiCp kompozit malzemesinin ezme uygulanmamış ve %20 ezme uygulanmış yapıların SEM fotoğrafları görülmektedir.



a)



b)

Şekil 5.1 AlMg3/%20SiCp kompozit malzemesinin a) ezme uygulanmamış b) %20 ezme uygulanmış mikroyapılarının SEM fotoğrafları (Ürkmez, 2004)

Kompozit numunelerin deneysel olarak yoğunluk ölçümleri, Arşimed prensibine göre yapılmış özgül ağırlık ve porozite ölçüm sonuçları Çizelge 5.5’de, numunelerin özgül ağırlıklarının ve porozite miktarlarının takviye oranı ile değişimi Çizelge 5.6’da verilmiştir.

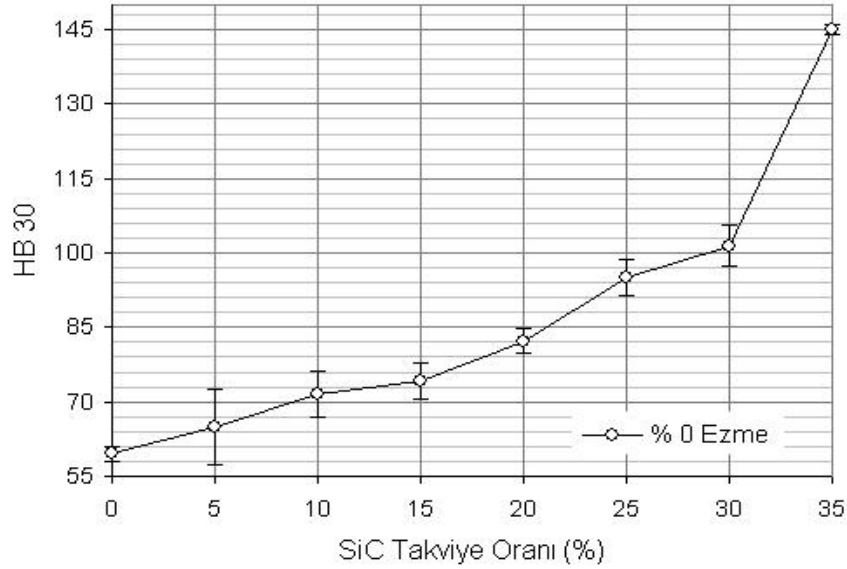
Çizelge 5.5 Deney numunelerinin yoğunluk değerlerinin takviye oranlarına göre değişimi (Ürkmez, 2004)

Takviye Oranı(%)	Yoğunluk (%)
0	98,5
5	98,8
10	98,9
15	99,3
20	98,8
25	96,6
30	94,4

Çizelge 5.6 Deney numunelerinin teorik ve ölçülen özgül ağırlıkları ile porozite oranları
(Ürkmez, 2004)

Malzeme	%SiC (Hacimce)	Teorik Özgül ağırlık (g/cm ³)	DeneySEL Özgül ağırlık (g/cm ³)	% Porozite
AA 5754	-	2,66	2,62	1,5
AA 5754 + % 5 SiC	5	2,69	2,65	1,2
AA 5754 + % 10 SiC	10	2,71	2,68	1,1
AA 5754 + % 15 SiC	15	2,74	2,72	0,8
AA 5754 + % 20 SiC	20	2,77	2,74	1,2
AA 5754 + % 25 SiC	25	2,79	2,70	3,4
AA 5754 + % 30 SiC	30	2,82	2,66	5,6

Brinell sertlik deneyleri, 62,5 kg yük altında 2,5 mm çaplı bilya kullanarak yapılmış ve Şekil 5.2’de matris malzemesi sertliğinin takviye hacim oranı ile değişimi verilmiştir.



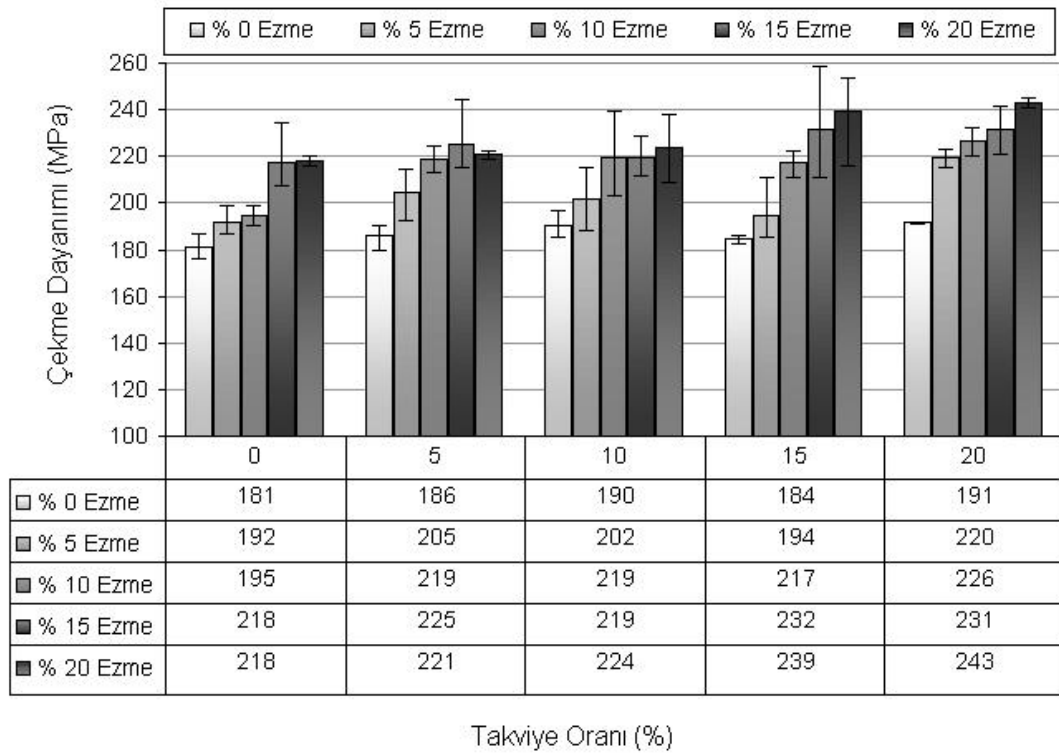
Şekil 5.2 Matris malzemesinin sertlik değerlerinin takviye oranları ile değişimi

Haddelenmiş numunelerde meydana gelen sertlik artımları da Çizelge 5.7 de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Kompozit malzemelerin yüzey sertliklerinde meydana gelen artışlar

Malzeme	Ezme Oranı (%)	Sertlik Artışı (%)
AA 5754	20	46
AA 5754 + % 5 SiC	20	36
AA 5754 + % 10 SiC	20	27
AA 5754 + % 15 SiC	20	34
AA 5754 + % 20 SiC	20	28

Kompozit malzemelerin farklı takviye ve ezme oranlarında çekme dayanımı değerlerinin değişimi Şekil 5.3' de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Farklı takviye ve ezme oranlarında kompozit malzemelerin çekme dayanımları (Ürkmez, 2004)

5.2 Basma Deneyleri

Basma deneylerinde kullanılan deney parçaları, genel olarak silindir biçimindedir. Özel durumlarda, dikdörtgen kesitli veya saçtan yapılmış deney parçası da kullanılabilir. Deney parçasının yüzeyleri düzgün, birbirine paralel ve uzunluk eksenine dik olmalıdır. Yan yüzeyleri çapak ve çentik gibi özürler bulunmayacak şekilde düzgün olarak işlenmelidir. Silindir biçimindeki deney parçaları kısa, orta ve uzun boy olmak üzere üç tiptir. Kısa deney parçalarında h yüksekliği d çapına eşittir. Orta deney parçalarında $h=3d$, uzun deney parçalarında ise $h=10d$ alınır. Deney parçasının çapı, alınan numunelerin boyutlarına ve kullanılan cihazın kapasitesine göre seçilir. (TSE-206)

Bu çalışmada; basma deneyi numuneleri 10mm çapında ve 10mm yüksekliğinde silindirik olarak Mitsubishi RA-90 CNC tel erozyon makinasında elektro deşarj imalat (Electrical Discharge Machining–EDM) yöntemiyle 0,25 mm çapında pirinç tel kullanılarak elde edilmiştir.



a)

b)

Şekil 5.4 Basma numunelerinin hazırlandığı Mitsubishi RA-90 EDM tezgahı

5.2.1 Basma Deneyi Numunelerinin Hazırlanması

AlMg3/SiCp kompozit malzemeler seramik partiküllerle takviye edildiklerinden dolayı malzemedeki geleneksel talaşlı şekil verme yöntemleri ile numune çıkarılması mümkün olmamıştır. Basma numuneleri özel imalat yöntemlerinden EDM yöntemi ile hazırlanmıştır. EDM ile kesme işlemi dielektrik sıvı içerisinde ortalama 3mm/dak hızla gerçekleştirilmiş, kesme işlemleri sırasında malzeme içinde bulunan takviye sebebiyle sık sık tel kopması problemi ile karşılaşılmasına rağmen 10 adet plakadan toplam 60 adet basma numunesi kesilerek çıkarılmıştır.



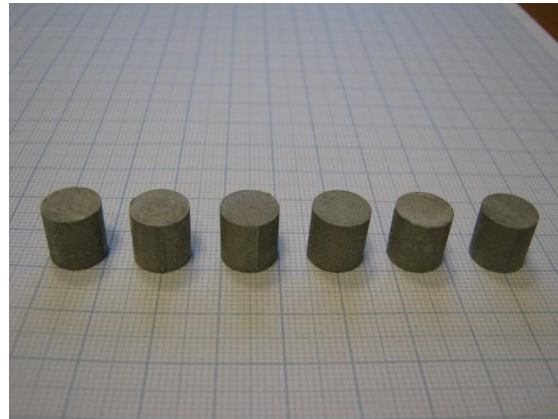
a)



b)



c)



d)

Şekil 5.5 a) Mitsubishi RA-90 CNC EDM tezgahında kompozit numunelerin yüzey paralelliğinin sağlanması, b) Numunelerin kesilerek istenilen boyutlara getirilmesi, c) Numunelerin çıkarıldığı kompozit plaka, d) Standart ölçülerde kesilmiş basma numuneleri

5.2.2 Basma Deneylelerinin Yapılışı

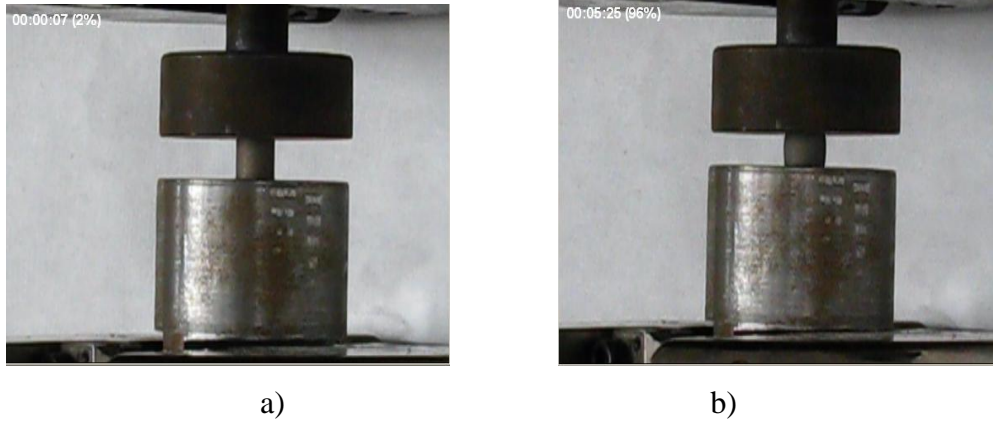
Basma deneyleleri Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi bünyesinde mevcut Instron 8501 test cihazında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin basma deneylelerinin yapılabilmesi için basma yüzeyleri iyi işlenmiş ve ısı işleme tabii tutularak sertleştirilmiş 2 adet aparat yapılmıştır.

Basma deneyleleri için hazırlanan numuneler aşağıdaki Çizelge 5.5’de gösterildiği şekilde kodlanmıştır. Kodlama işleminde takviye T harfi ile gösterilip takviye oranı yanına yazılmıştır. Haddelme işleminde E harfi ile gösterilip yanına oranları belirtilmiştir. Örneğin 6 nolu deneylede T10E20 olarak kodlanan numuneler %10 SiCp takviyeli ve %20 oranında haddelenmiş numunelerdir.

Çizelge 5.8 Numunelerin kodlanması

Deneyle No	Numune Grup Adı	Hacimsel Takviye Oranı %	Ezme Oranı %	Basma Numune Adedi
1	T00E00	0	0	6
2	T00E20	0	20	6
3	T05E00	5	0	6
4	T05E20	5	20	6
5	T10E00	10	0	6
6	T10E20	10	20	6
7	T15E00	15	0	6
8	T15E20	15	20	6
9	T20E00	20	0	6
10	T20E20	20	20	6

Basma deneyleleri 50 kN’luk Instron 8501 cihazında oda sıcaklığında iki adet sertleştirilmiş basma kafası arasında 1 mm/dak hızla gerçekleştirilmiştir. Basma işleminde malzeme çatlamaya başlayıncaya kadar, çatlamayan numunelerde test cihazının uygulayabildiği max kuvvete ulaşıncaya kadar devam ettirilmiştir. Bütün numunelere aynı şartlarda basma işleminde uygulanmıştır.



Şekil 5.6 Basma aparatları a) basma öncesi b) basma sonrası

Basma testi sonuçlarını karşılaştırabilmek amacı ile matris malzemesi olarak kullanılan AlMg3 alaşımından piyasadan H11 kalitesinde temin edilmiş ve standart numuneler çıkartılarak basma testi uygulanmıştır. Ayrıca aynı malzeme kompozit malzeme üretimi sırasında uygulanan prosedüre tabii tutularak üretilmiş ve aynı şartlarda basma testi uygulanmıştır. Daha sonra takviye oranlarının basma dayanımına etkisini ve haddeleme oranlarının basma dayanımına etkilerini gözlemek amacı ile deneyler yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Instron 8501 test cihazının orjinal software programı ile alınmış ve orijinal grafik çıktıları kullanılmıştır.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmada, test sonuçlarını karşılaştırabilmek ve daha iyi yorumlayabilmek amacı ile AlMg3 matris malzemesi H11 şartlarında satın alınmış ve kompozit malzemelere uygulanan işlemler ve basma deneyleri aynı şekilde uygulanmıştır. Sonuçlar kompozit malzemelerin basma deneyleri sonuçları ile karşılaştırmalı olarak grafiklerde verilmiştir.

6.1 Takviyesiz Matris Malzemesi Çekme ve Basma Testi Sonuçları

H11 şartlarındaki AlMg3 alaşımından 4 adet numune çıkarılarak çekme ve basma testleri uygulanmıştır (Şekil 6.1). AlMg3-H11 soğuk plastik şekillendirme ile sertleştirilmiş olduğundan üretildiği haldeki alaşımdan daha yüksek çekme dayanımı, akma dayanımı sertlik ve kopma dayanımına sahiptir. Çekme testi ve basma testi sonrası elde edilen grafikler Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de verilmiştir.

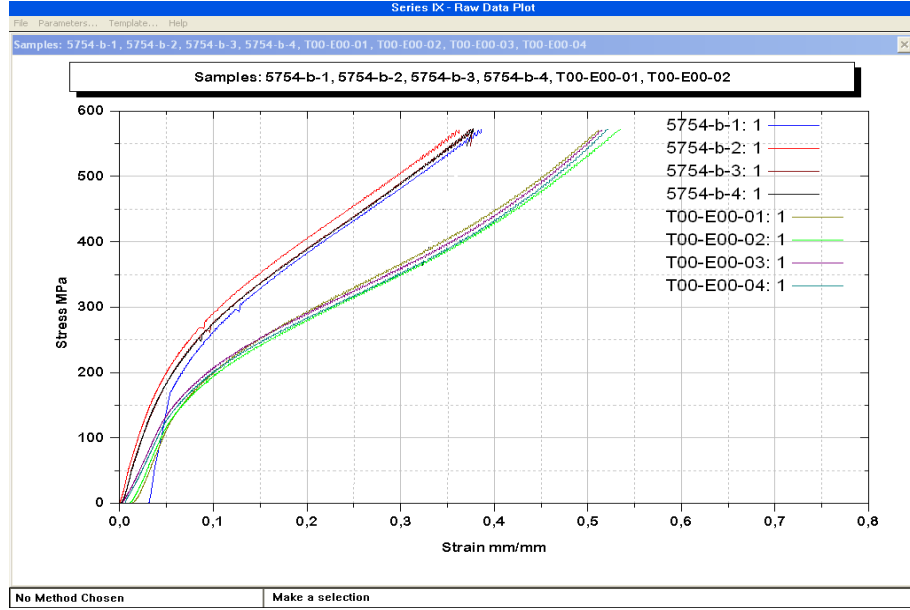


Şekil 6.1 AlMg3-H11 alaşımının basma testi öncesi ve sonrası

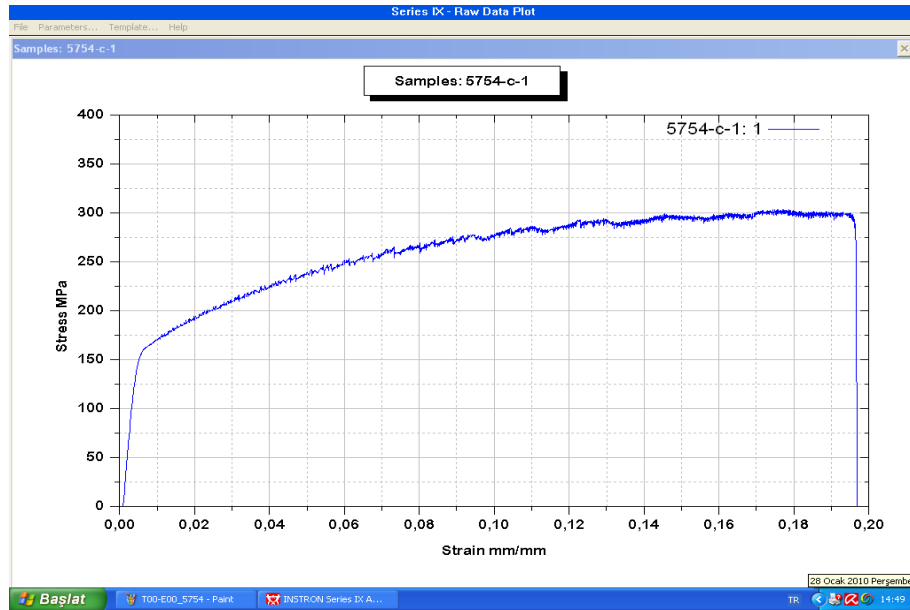
AlMg3-H11 numunelerinde (Şekil 6.1) basma işlemi ile % 50 şekil değişikliği uygulanmasına rağmen yüzeyde herhangi bir çatlama görülmemiştir. Malzeme sünek davranış özellikleri sergilemiş ve basma yüzeylerindeki sürtünme sebebiyle dış yüzeyde fıçılama gözlenmiştir. Şekil 6.2’de takviyesiz olarak sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş numune görülmektedir. Basma işlemi sonucunda yüzeylerde herhangi bir çatlama oluşmadan % 50 oranında şekil değiştirmiştir.



Şekil 6.2 Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş takviyesiz AlMg3 alaşımı



Şekil 6.3 AlMg3-H11 alaşımı ile bu çalışmada hazırlanan ısıl işlem görmemiş AlMg3 alaşımının basma testi sonuçlarının karşılaştırma grafikleri

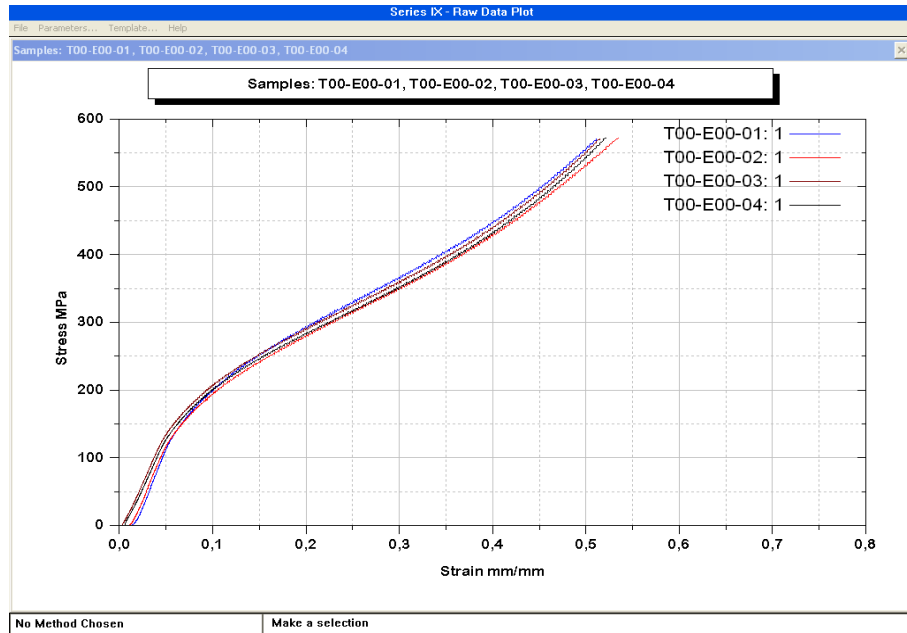


Şekil 6.4 AlMg3 alaşımının çekme testinde elde edilen gerilme-gerinim eğrisi

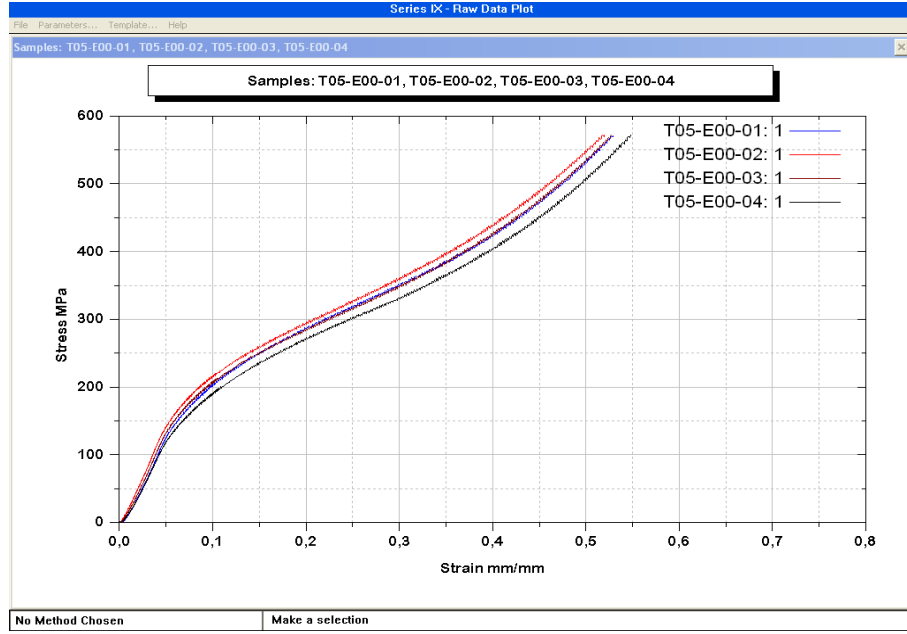
Her iki malzemenin basma testi sonucu elde edilen grafiklerde AlMg3-H11 şartlarındaki alüminyum alaşımının daha yüksek akma dayanımı ancak daha düşük uzama değerlerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6.3). 5754b ile gösterilen numuneler AlMg3-H11 şartlarındaki malzemeler olup; T00E00 ile gösterilen malzemeler ise sıkıştırma döküm ile elde edilen numuneleri göstermektedir.

AlMg3 alaşımının çekme testinde elde edilen gerilme-gerinim eğrisine (Şekil 6.4) bakıldığında, akma ve çekme gerilmesi değerlerinin basmaya nazaran daha düşük olduğu görülmektedir. Gevrek malzemeler içlerinde mevcut olan mikro çatlaklar nedeniyle çekme zorlamalarına karşı zayıftırlar. Çekme gerilmeleri çekme doğrultusuna dik çatlakları yaymaya zorlarlar. Bu tip malzemelerin çekme mukavemetleri düşüktür ve parçadan parçaya değişim gösterebilirler. Bununla beraber aynı malzemeler basınç etkisi altında oldukça yüksek mukavemet gösterebilirler. AlMg3 alaşımı şekil verme kabiliyeti yüksek sünek bir alaşım olmasına rağmen basma dayanımı değerleri çekme dayanımı değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

6.2. Kompozit Malzemelerin Basma Deneyi Sonuçları



a)



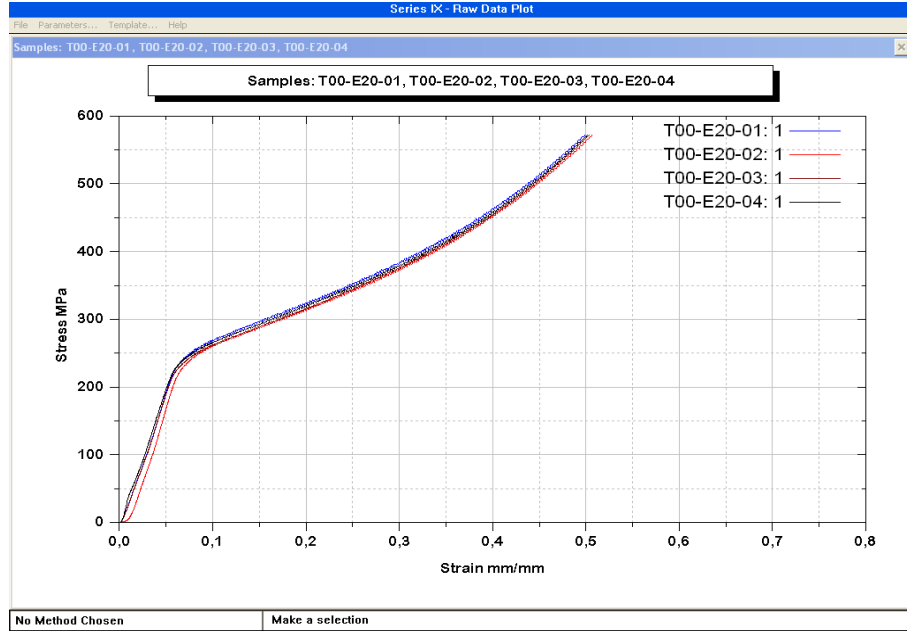
b)

Şekil 6.5 a) Takviyesiz, b) %5SiCp takviyeli kompozit numunelerin basma testi sonucunda elde edilen gerilme-gerinim eğrileri

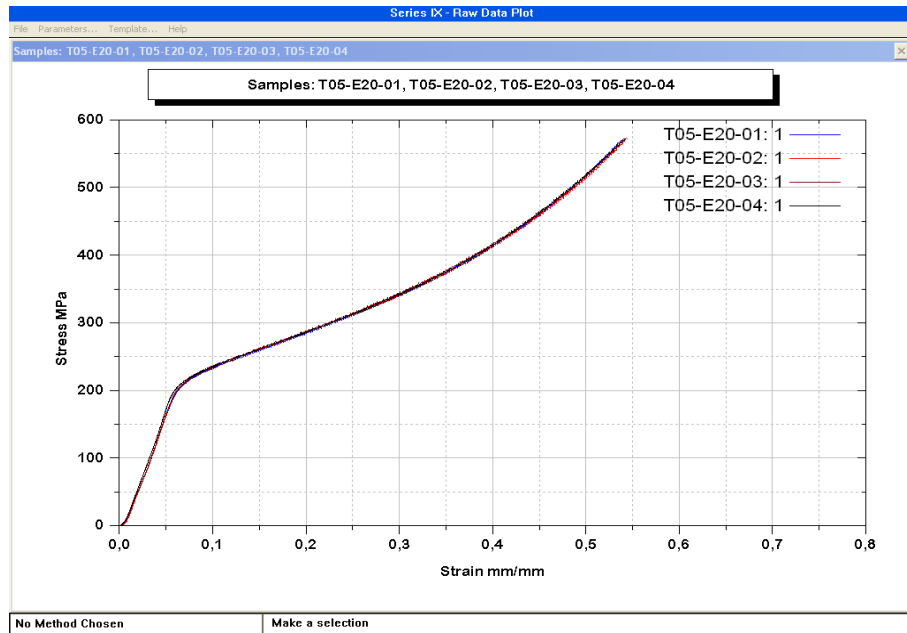
Bu çalışmada altı farklı takviye oranına sahip kompozit malzemelere basma testi uygulanmıştır. Deneyler sonucunda %5 SiCp takviyeli kompozit numuneler ile takviyesiz matris numuneleri Şekil 6.5 a) ve b) de görüldüğü gibi aynı basma yükü altında benzer davranış göstermişlerdir. Bu sonuçlar %5 takviye oranının akma ve basma dayanımı üzerinde fazla etkisi olmadığını göstermiştir. Şekil 6.6'da %5 SiCp takviyeli numunenin basma testi sonucunda fıçılama ile şekil değiştirdiği görülmektedir. Bu numunelerin yüzeyleri incelendiğinde takviyesiz matris alaşımında olduğu gibi gözle görülebilir herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.



Şekil 6.6 Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş %5 SiCp takviyeli kompozit numune



a)

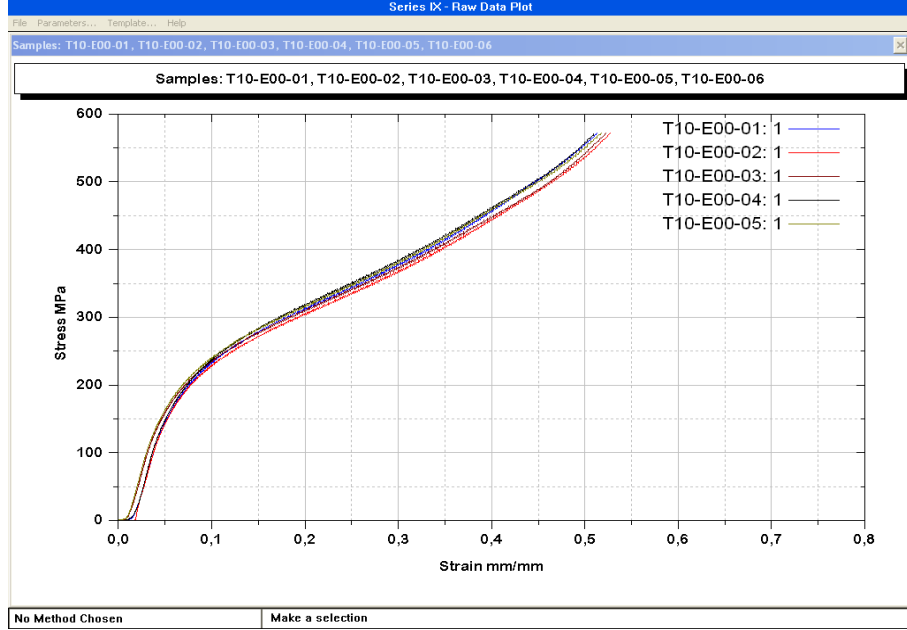


b)

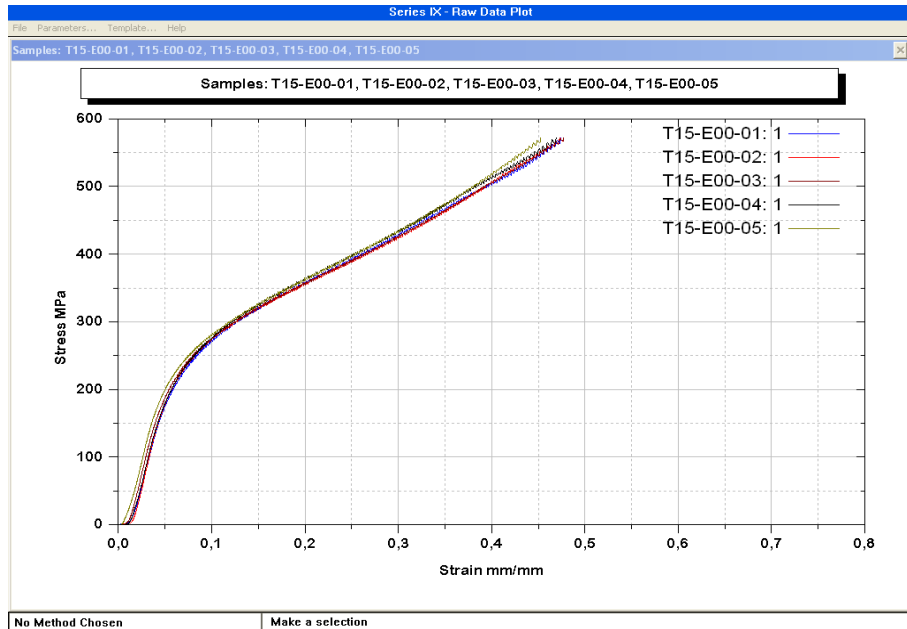
Şekil 6.7 a) Takviyesiz, b) %5 SiCp takviyeli, % 20 şekil değiştirme uygulanmış kompozit numunelerin basma testi sonucunda elde edilen gerilme- gerinim eğrileri

Haddeme ile %20 oranında şekil değiştirme uygulanmış %5 SiCp takviyeli kompozit malzemeler; basma yükleri altında aynı oranda şekil değiştirmiş takviyesiz malzemelerin davranışına benzer davranış göstermiştir. Basma grafiklerinden de görüldüğü gibi düşük takviye oranları; malzemenin basma yükleri karşısındaki

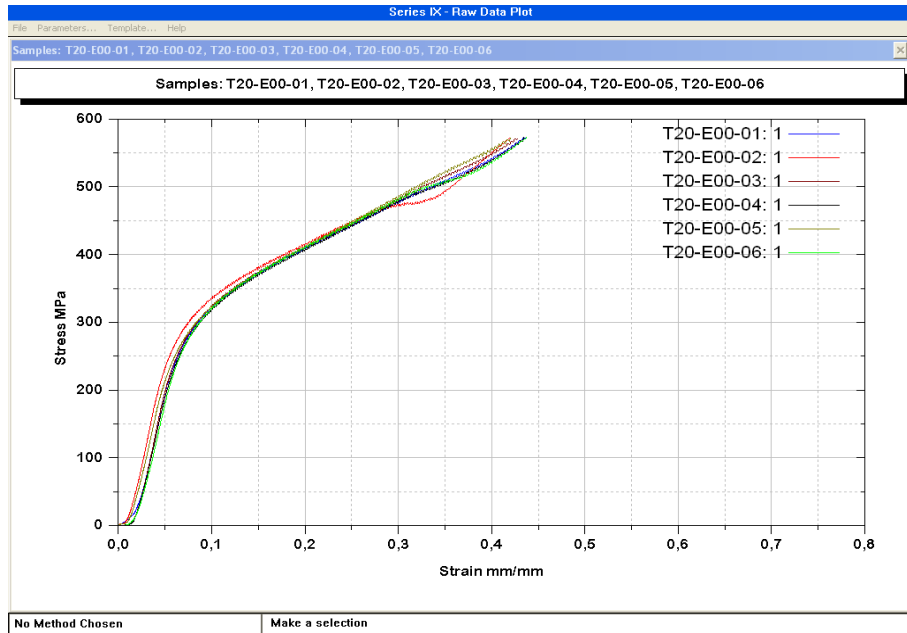
dayanımına önemli bir derecede etki yapmamaktadır. Aşağıdaki grafiklerde sırasıyla %10-15-20-25 ve %30 takviyeli kompozit malzemelerin basma testi grafikleri verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde, takviye oranları arttıkça basma yükleri altında öncelikle akma dayanımının arttığı gözlenmiştir.



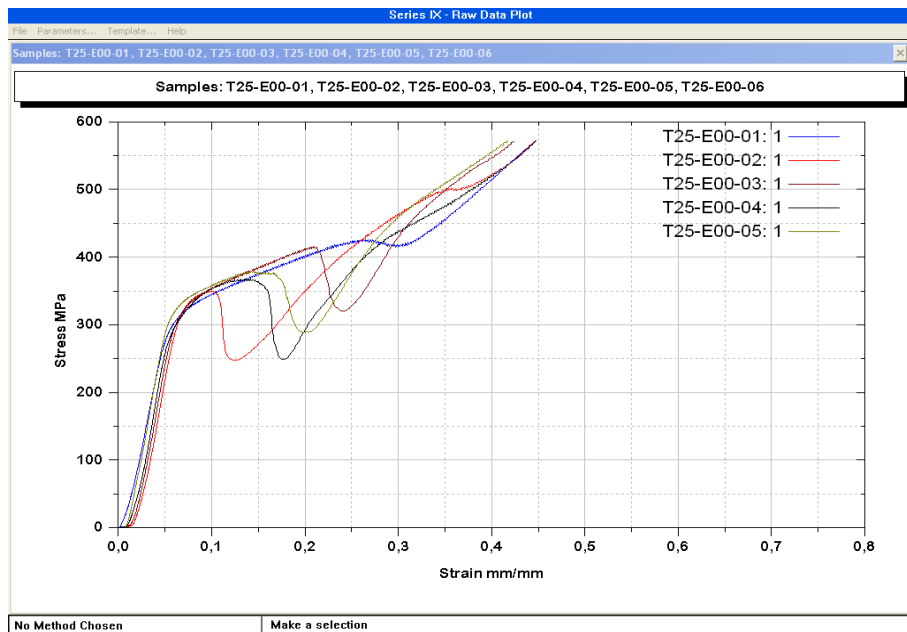
a)



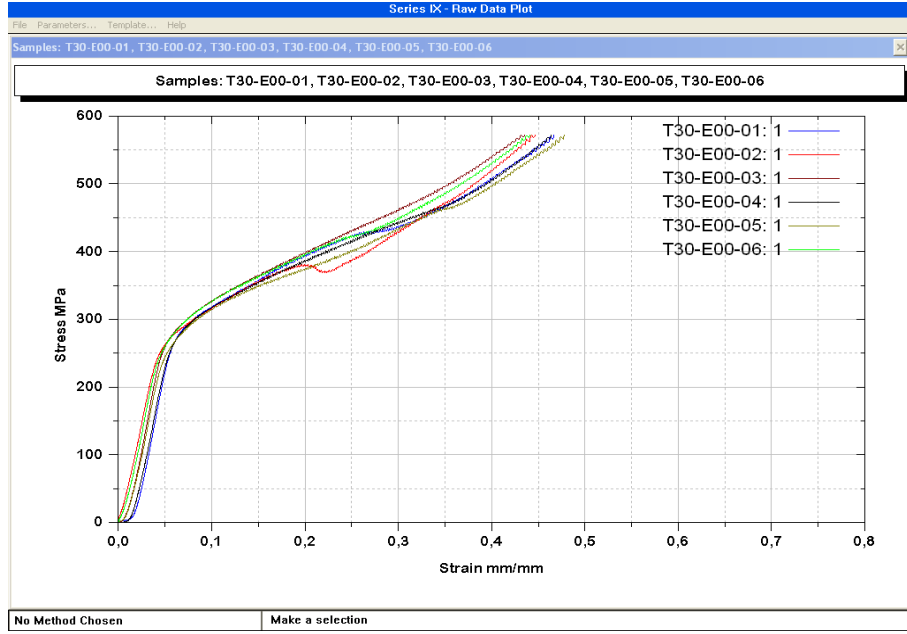
b)



c)



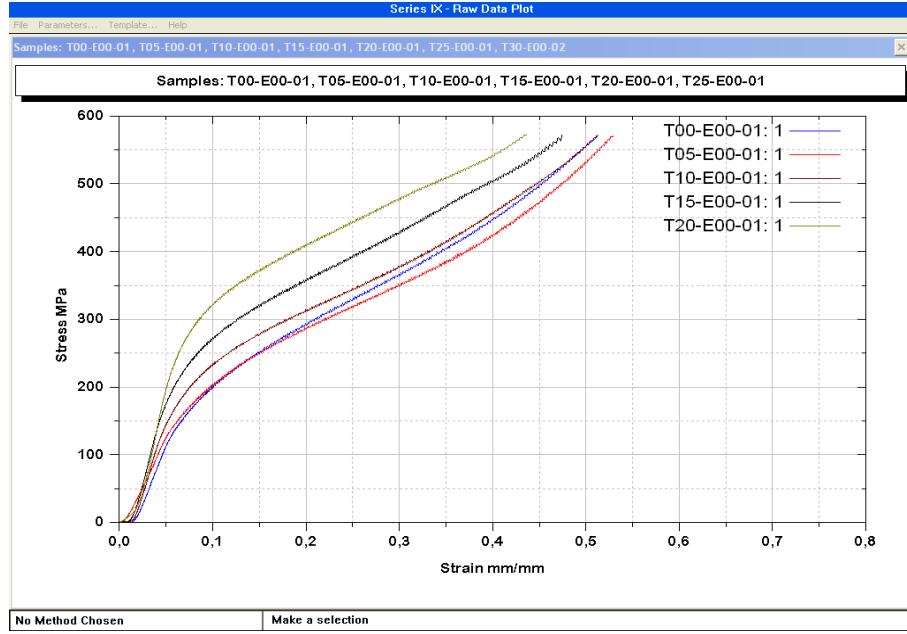
d)



e)

Şekil 6.8 Farklı oranlarda SiCp ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin basma testi grafikleri a) %10 SiCp, b) %15SiCp, c) %20 SiCp, d) %25 SiCp, e) %30 SiCp

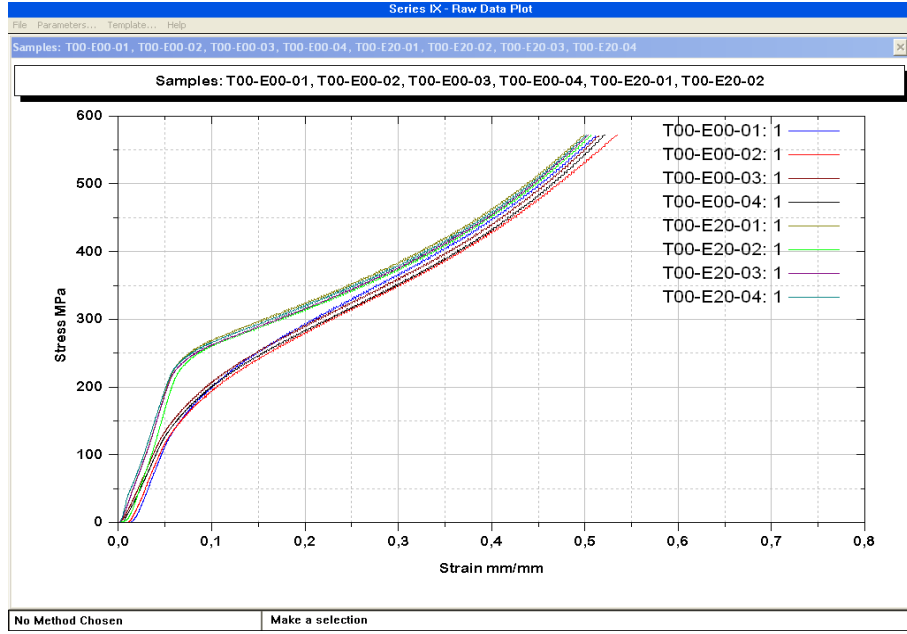
Ayrıca malzemelerin basma dayanımlarının ve elastikiyet modüllerinin arttığı gözlenmiştir. Takviye oranlarının artışı ile malzemelerin şekil değiştirme kabiliyetlerinde önemli oranda bir azalma görülmemiştir. Şekil 6.9'da takviye oranlarının artışı ile kompozit malzemelerin basma yükleri altındaki davranışlarını görmek amacı ile Şekil 6.8'de verilen grafiklerin ortalama değerini temsil eden eğriler üst üste çizdirilmiştir.



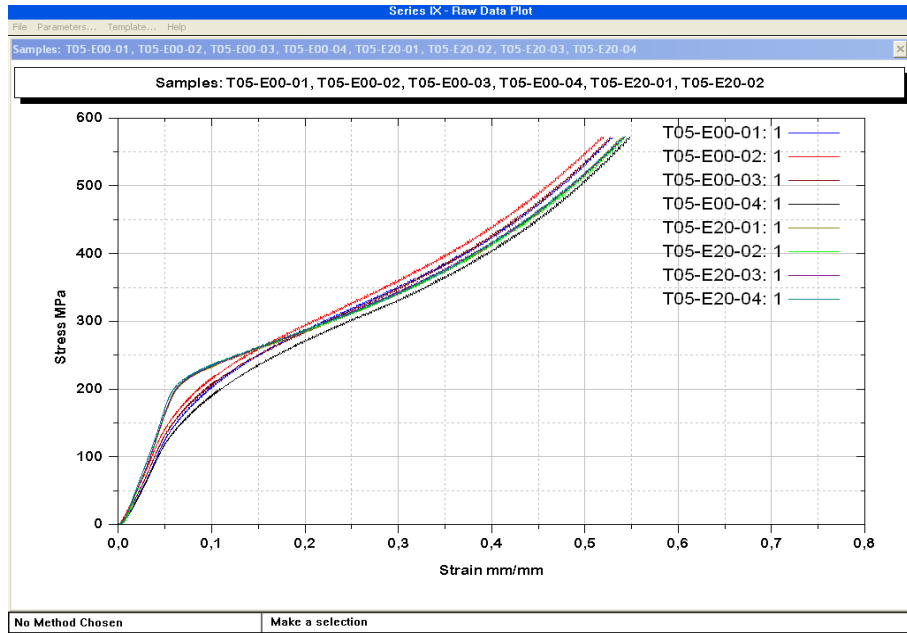
Şekil 6.9 Farklı oranlarda SiCp ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin bir arada çizilmiş basma grafikleri

6.3 Şekil Değişirme Uygulanarak Sertleştirilmiş Kompozit Malzemelerin Basma Testi Sonuçları

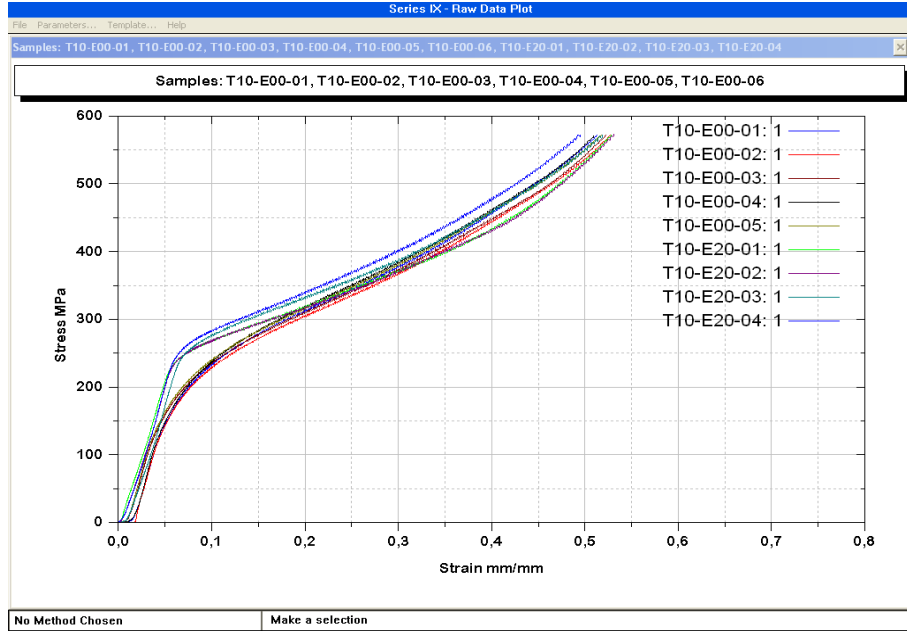
AlMg3 alaşımı ısı ile sertleştirilemeyen bir alaşım olduğundan piyasada soğuk şekil verme yöntemleri ile sertleştirilmiş olarak bulunmaktadır. Bu çalışmada farklı oranlarda SiCp ile takviye edilmiş olan kompozit malzemeler ayrıca haddeleme uygulanarak soğuk şekil verme yöntemi ile sertleştirilmiş ve mukavemetleri arttırılmıştır. Mukavemetleri arttırılmış olan bu malzemelerde şekil değişirme işleminin malzemelerin basma dayanım değerleri üzerine etkisini görmek için bir seri basma deneyi yapılmıştır. Basma deneyi sonuçları Şekil 6.10'da şekil değişimi uygulanmamış aynı takviye oranına sahip kompozitlerin basma grafikleri ile birlikte çizdirilerek şekil değişiminin etkisi karşılaştırılmıştır.



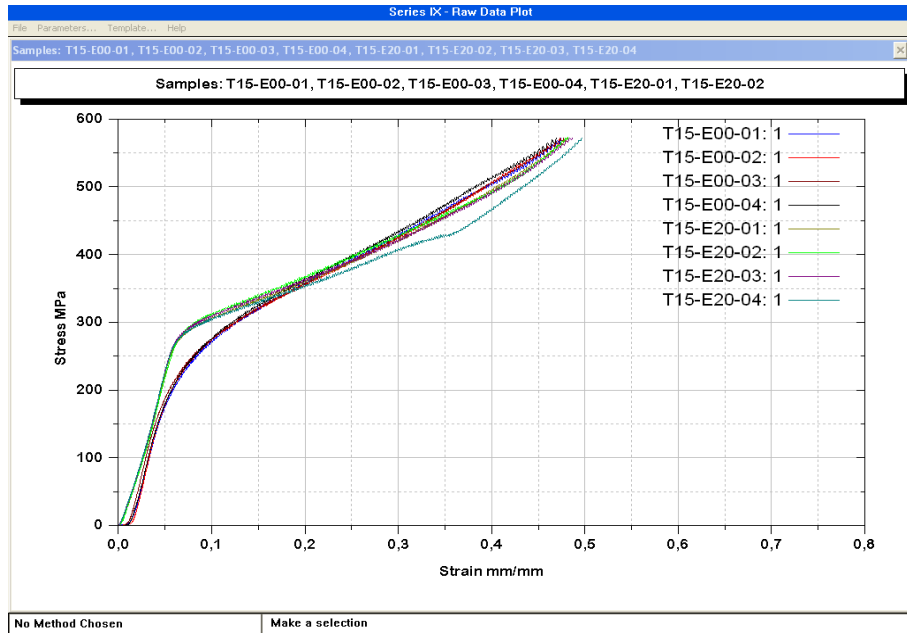
a) Takviyesiz matris malzemesi ve %20 ezme uygulanmış takviyesiz malzeme



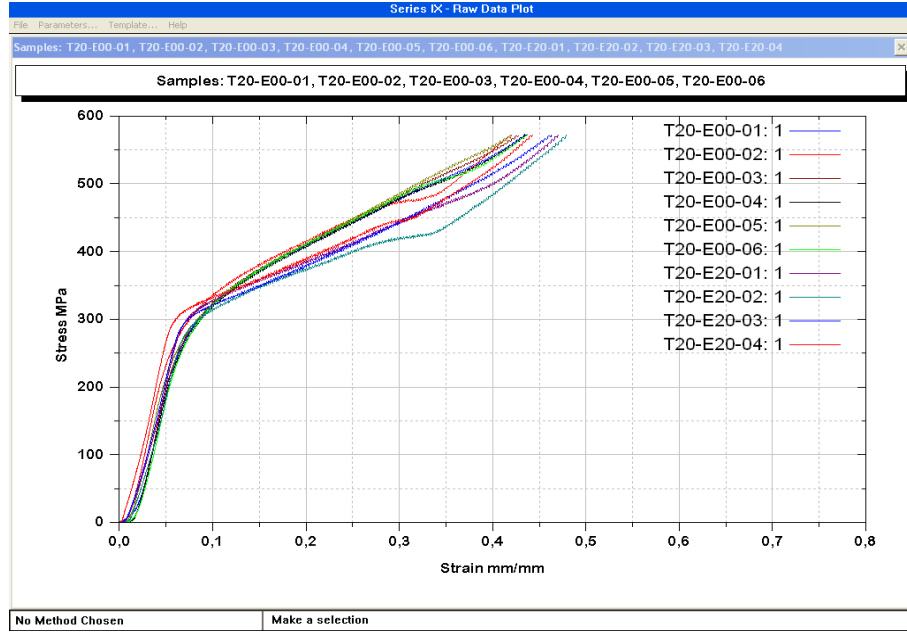
b) % 5SiCp takviyeli ezmesiz ve % 5SiCp takviyeli %20 ezmeli



c) % 10SiCp takviyeli ezmesiz ve % 10SiCp takviyeli %20 ezmeli

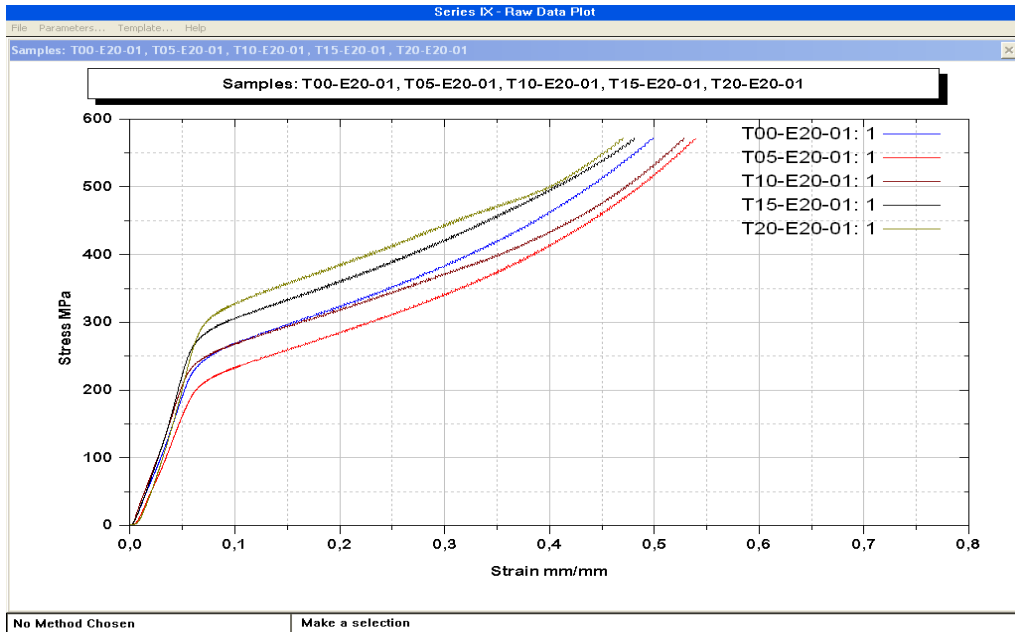


d) % 15SiCp takviyeli ezmesiz ve % 15SiCp takviyeli %20 ezmeli



e) % 20SiCp takviyeli ezmesiz ve % 20SiCp takviyeli %20 ezmeli

Şekil 6.10 a), b), c), d), e) Ezme uygulanmış ve uygulanmamış kompozitlerin birlikte çizdirilmiş basma testi grafikleri

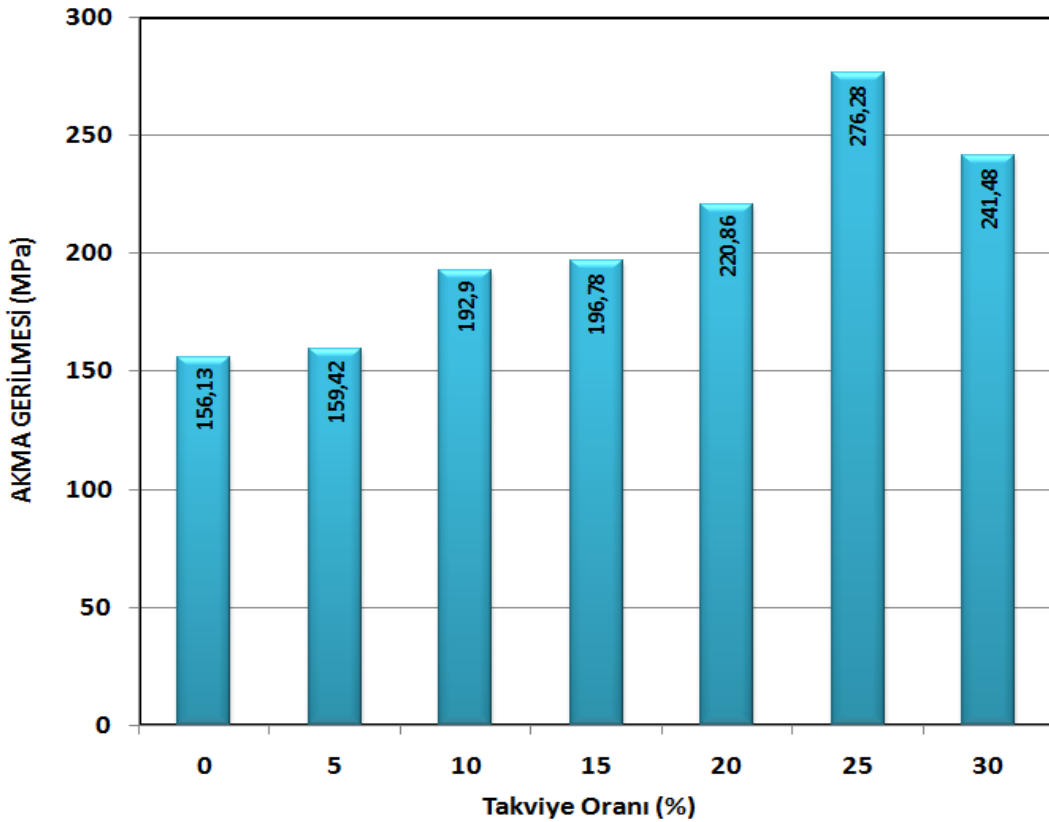


Şekil 6.11 %20 şekil değiştirmiş farklı oranlarda takviye edilmiş kompozitlerin basma testi sonucu elde edilen gerilme gerinim eğrileri

Şekil 6.10'da verilen grafiklerde şekil değiştirmenin basma davranışı üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Bütün takviye oranlarında malzemeye şekil değiştirme

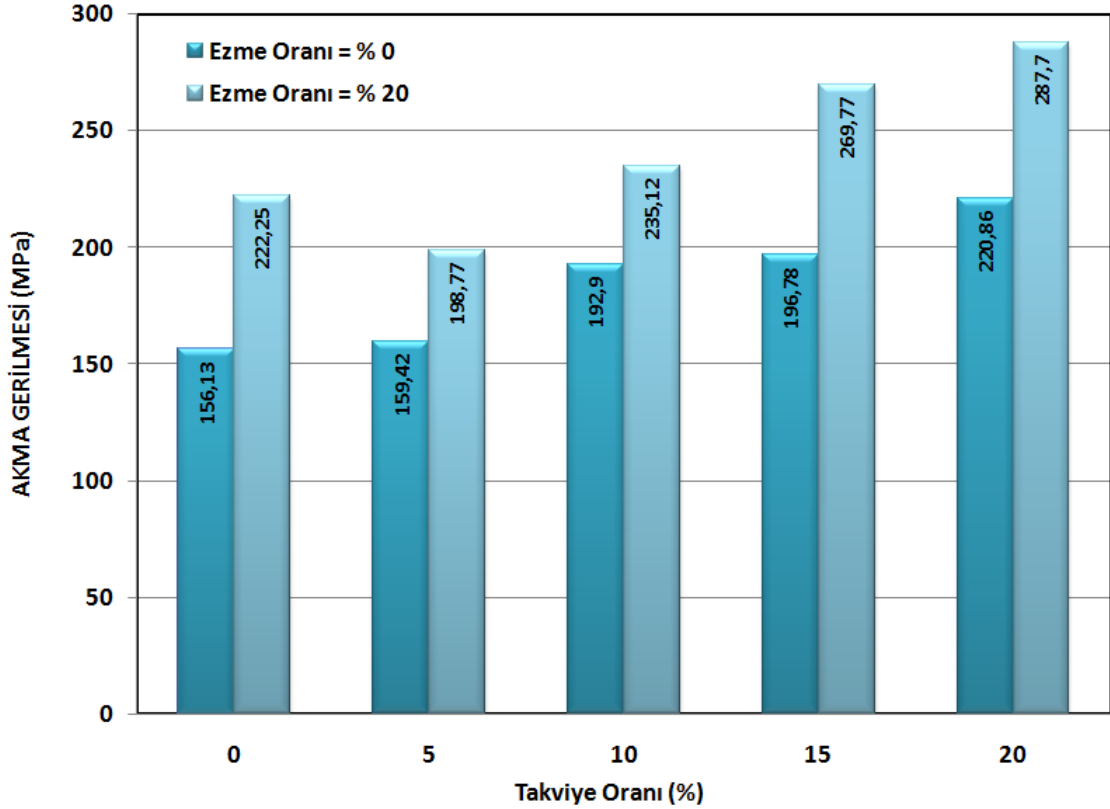
uygulandığında akma sınırları daha belirgin hale gelmiştir. Ayrıca akma dayanımı değerleri artmıştır. Şekil değiştirmenin gerilme–gerinim eğrisi boyunca başka önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Şekil 6.11’de grafikler toplu halde üst üste çizildiğinde akma dayanımı değerlerinin yükselmesinin sebebi olarak hem takviye oranlarının artması, hem de şekil değiştirme oranlarının artması gösterilebilir. Daha yüksek oranda takviyeli kompozit malzemelere %20 oranında şekil değiştirme uygulanamamıştır. Bu sebeple karşılaştırma yapma olanağı olmadığından basma numuneleri çıkarılmamıştır.

Şekil 6.12’de takviye oranlarının artışı ile akma gerilmelerinde meydana gelen değişim bar grafik halinde verilmiştir. Bu grafikler her bir takviye grubu için yapılan 6 deneyin ortalaması alınarak çizilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi takviye oranlarının artması kompozit malzemelerin akma dayanımı değerlerini yükseltmiştir.



Şekil 6.12 Takviye oranlarının artışı ile akma gerilmelerinde meydana gelen değişim

%30 takviyeli kompozit malzemenin akma gerilmesinde düşme meydana gelmiştir. Bunun sebebinin takviye oranlarının artışı ile malzemenin içerdiği porozite oranlarının yükselmesi olduğu düşünülmüştür.



Şekil 6.13 Şekil değiştirme uygulanmış ve uygulanmamış kompozit malzemelerin akma dayanım değerlerinin takviye oranları ile değişimi

Çizelge 6.1. Farklı takviye oranlarındaki kompozit malzemelerde akma dayanımı değerlerinin şekil değişimine bağlı olarak değişmesi

Takviye Oranı (%)	Akma Gerilmesi (MPa)	
	Ezme Oranı = % 0	Ezme Oranı = % 20
0	156.13 ± 9.73	222.25 ± 4.48
5	159.42 ± 6.84	198.77 ± 0.86
10	192.90 ± 4.27	235.12 ± 5.78
15	196.78 ± 1.12	269.77 ± 1.48
20	220.86 ± 2.91	287.70 ± 7.00
25	276.28 ± 8.86	-
30	241.48 ± 6.74	-

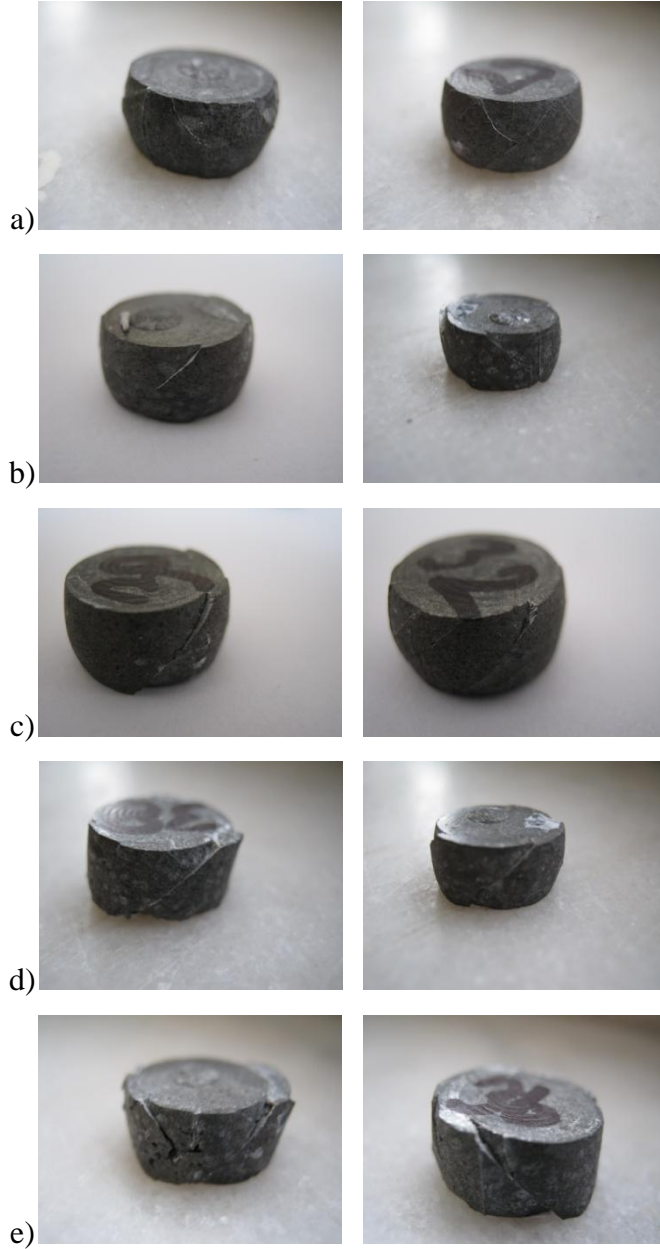
Şekil 6.13’de ve Çizelge 6.1.’de şekil değişimi ile sertleştirilmiş kompozit malzemelerin basma dayanımı değerlerinin şekil değişimi uygulanmamış kompozit malzemelerden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tek eksenli basma kuvvetinin etkisi altında yapılan ve burkulmaya maruz kalmayan numunelerde, malzemenin sünek ve gevrek oluşuna ve basmanın sürtünmeli ve sürtünmesiz oluşuna bağlı olarak farklı türden kırılmalar meydana gelmiştir. Bu çalışmada yapılan deneylerde basma yüzeylerinde sürtünmeyi azaltıcı herhangi bir işlem yapılmadığından basma sürtünmeli olarak uygulanmıştır.

Sünek metallerin sürtünmeli basmasında numunenin basma plakaları ile temas eden yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvvetleri numune uçlarının radyal doğrultuda genişlemesini engeller ve numune görünümü bir fiçi şeklini alır. Yapılan çalışmada takviyesiz ve %5 SiCp takviyeli kompozit malzemeler sünek metaller gibi davranmış ve basma testi sonucunda fiçilaşarak oldukça yüksek oranlarda şekil değiştirmiştir. (Şekil 6.2 ve Şekil 6.6) Buna karşılık gevrek malzemelerde basma sırasında oluşan kesme gerilmeleri ve sekonder çekme gerilmeleri, çatlamayı başlatarak veya mevcut çatlakları ilerleterek kırılmaya neden olurlar. Gevrek malzemelerde basma eksenine ile açı yapan düzlemlerde oluşan kesme kırılması çok rastlanan bir durumdur. Aynı zamanda gevrek malzemeler basma eksenine paralel düzlemlerde de kırılırlar. Bunun nedeni basma eksenine boyunca, deney parçasının üçte bir mesafelerinde kendiliğinden oluşan ve değeri eksenel basma gerilmesinin yarısına ulaşan sekonder çekme gerilmeleridir. Sürtünmeli basma halinde, numunede tabanı numune yüzeyinde olan ve tepesi numune iç bölgesinde olan basma eksenine ile eş eksenli sürtünme konileri oluşur, bunların içinde kalan malzeme şekil değiştirmez. Bu nedenle sürtünme konileri basma yükünü parçaya ileten rijid katmanlar olarak kabul edilir. Bu katmaların etkisi altında malzeme kama sınırlarından kesme yolu ile ayrılır. Böylece basma eksenine ile açı yapan düzlemlerde kırılma oluşur. (Eryürek, 1993)

Şekil 6.14’de sırası ile %10-15-20-25 ve 30 SiCp takviyeli kompozit numunelerin yüzeylerinde basma testi sonucunda oluşan kırılmalar ve şekil değişimleri verilmiştir. Bütün numuneler şekil değişimine uğrayarak sünek kırılmıştır. Ancak takviye miktarına

bağlı olarak kırılmanın derecesi artmıştır. Örneğin % 10 SiCp takviyeli kompozit numuneler in yüzeyinde %50 şekil değişimi sonucu ufak çatlaklar oluşurken, %30 takviyeli kompozit numunelerde %30 şekil değişimi derecesinden sonra parçalanmalar meydana gelmiştir. Ayrıca bütün yukarıda bahsedilen sürtünmeli basma da belirtilen basma eksenine eş eksenli sürtünme konileri oluşmuş ve malzeme bu konilerin sınırlarında kesme yolu ile ayrılmıştır.



Şekil 6.14 Farklı takviye oranlarındaki kompozit numunelerin basma sonrasındaki kırılma yüzeyleri a) %10SiCp b) %15SiCp c) %20SiCp d) %25SiCp e) %30SiCp

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

- 1- Alüminyum matrisli kompozit malzemelerde basma yükleri karşısında kırılmanın sünek yada gevrek olması matris malzemesinin sünek yada gevrek olmasına bağlıdır.
- 2- Alüminyum matrisli kompozit malzemeler soğuk olarak belli oranlarda biçimlendirilebilirler.
- 3- Alüminyum matris içindeki takviye hacim oranı arttıkça malzemenin süneklik özelliği azalır.
- 4- Alüminyum matris içindeki takviye hacim oranı arttıkça kompozit malzemenin akma dayanımı sertliği, elastikyet modülü ve basma dayanımı artar.
- 5- Soğuk şekil verme işlemi alüminyum matrisli kompozit malzemelerde takviye hacim oranları ile doğru orantılı olarak akma dayanımını ve elastiklik modülünü artırır.
- 6- Partikül takviyeli Kompozit malzemelerde dayanım artışı partikül ile matris arasındaki arayüzey bağlarının güçlü olması ile yakından alakalıdır. Dayanım temel olarak yükün matristen takviye ara yüzey yoluyla etkin biçimde iletilmesiyle oluşmaktadır.
- 7- Partikül takviyeli kompozit malzemelere bilindiğinin aksine önemli ölçüde kırılmadan soğuk plastik deformasyon uygulanabilir.
- 8- AlMg₃/SiCp kompozitlerinde basma dayanımı ve akma dayanımı değerleri çekme dayanımı değerlerinden oldukça yüksektir. Basma yüklerinin çekme yüklerine göre avantajı hidrostatik basma gerilimi bileşenlerinin malzemedeki mikro çatlakların büyümesini ve birleşmesini engellemesidir. Bu sebeple malzeme daha fazla şekil değiştirebilmektedir.

Düşük takviye oranlarında, düzgün olmayan takviye dağılımından dolayı, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinde düşüşler meydana gelmektedir. Yüksek takviye oranlarında da porozite probleminden dolayı mekanik özelliklerde düşüşler meydana gelmektedir. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için optimum takviye oranları belirlenmeli ve takviyenin matris içinde düzgün dağılımı sağlanmalıdır. Genel bir kabul olarak; uygun koşullar altında, matris içinde takviye oranının artmasıyla mekanik özelliklerin iyileşmesi beklenir. Bu çalışmada da; matris içinde artan SiCp takviye

ilavesiyle kompozit malzemelerin akma ve basma mukavemetlerinde artış gözlenmiştir. Daha önceki çalışmalarda haddeleme işlemi ile mekanik özelliklerin iyileştirildiği belirtilmiştir. (Harrigan vd., 1995; Morelli vd., 2001) Bu çalışmada da; haddeleme işlemi ile kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştiği gözlenmiştir. Bu sebeple, kompozit malzeme üretiminden sonra, kompozitin mekanik özelliklerini arttırmak için, ikincil işlem olarak haddeleme işleminin uygulanabileceğini söylemek mümkündür.

Bu çalışmada yapılan deneylerde basma yüzeylerinde sürtünmeyi azaltıcı herhangi bir işlem yapılmadığından basma sürtünmeli olarak uygulanmıştır. Daha sonraki çalışmalarda basma yüzeylerindeki sürtünmenin mekanik özelliklere etkisi araştırılabilir. Bu çalışmada; $h=d=10\text{mm}$ ebatlarında kısa deney numuneleri kullanılmış olup; ileriki çalışmalarda $h=3d$ ebatlarında orta deney numuneleri ve $h=10d$ ebatlarında uzun deney numuneleri kullanılarak kompozit malzemelerin mekanik özellikleri ve kırılma (burulma, fiçilaşma) özellikleri incelenebilir. Ayrıca bu çalışmada; kompozit malzemelerin %20 ezmedeki mekanik davranışları incelenmiştir. İleriki çalışmalarda, kompozit malzemelerin %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 ezmedeki mekanik özellikleri incelenebilir. Böylece ezme oranının mekanik özellikler üzerindeki etkisi ortaya çıkarılabilir. Bu çalışmada; elastisite modülü hesaplanmamıştır. İleriki çalışmalarda basmada elastisite modülü hesaplanabilir. Kompozit malzemelerin en küçük hacmini oluşturduğu düşünülen birim hücre modelleri kullanılarak, sonlu elemanlar yöntemiyle; mekanik özellikler araştırılabilir ve bulunan sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aboudi, J., 1991, "Mechanics of Composite Materials; A Unified Micromechanical Approach", Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam
- Ahlatçı, H., 2003, "Alüminyum-Silisyum Karbür Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Takviye Boyutunun ve Matris Bileşiminin Etkisi", İstanbul
- Aktaş, A.R., 2005, "Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Parçacık Dağılımının Deneysel İncelenmesi", Niğde
- Ankem, S., Margolin, H., 1986, "Modeling Deformation in Two Phase Alloys", J. Met., Vol. 38, pp. 25-29
- Aradhya, K.S. and Surappa, K., 1991, "Estimation of Mechanical Properties of 6061 Al-SiC Composites Using FEM", Scr. Metall., Vol. 25, pp. 817-822
- Aran, A., 1997, "Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Alanında Yeni Gelişmeler", İ.T.Ü. Makine Fakültesi 1. Makine Mühendisliği Kongresi, 368-372
- Aydın, Ş., 1997, "Toz Metallurjisi Yöntemleri İle Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri", Ankara
- Bauri, R., Surappa, M.K., 2008, "Processing and Compressive Strength of Al-Li-SiCp Composites Fabricated by a Compound Billet Technique", PROTEC-12138
- Çiftçi, İ., 2003, "Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması" Ankara
- Dieter, G., 1988, "Mechanical Metallurgy", McGraw-Hill, London
- Dikici, B., 2004, "SiC Partikül Takviyeli Al-Si-Mg Bazlı Metal Matris Kompozitlerin Korozyon Davranışları", Erzurum
- Dodd, B., Petitcorps, Y.L., 1997, "Cold Plastic Formability of Aluminium-Based MMCs", Key Engineering Materials Vols. 127-131 (1997) pp. 517-524
- Doi, H., Fujimara, Y., Miyake K., Oosawa, Y., 1970, "A Systematic Investigation of Elastic Moduli of WC-Co Alloys", Metall. Trans., Vol. 1, pp. 1417-1425
- Dombaycı, M., 1996, "Production and Characterization of Some Aluminium Based Composites", İzmir
- Eryürek, İ.B., 1993, "Hasar Analizi", Birsen Yayınevi, İstanbul

- Fan, Z., Tsahiroopoulos, P., Miodownik, A.P., 1992, "Prediction of Young's Modulus of Particulate Two Phase Composites", *Materials Science and Technology*, Vol. 8, pp. 922-929
- Haoran, C., and Qingsheng, Y., 1993, "A Micromechanical Analysis of Plastic Deformation for Short Fiber Reinforced Metal Matrix Composites" ICCM9, Spain
- Hashin, Z., Shtrikman, S., 1963, "A Variational Approach to the Theory of the Elastic Behaviour of Multiphase Materials", *J. Mech. Phys. Solids*, Vol. 11, pp. 127-137
- Huda, D., El Baradie M.A. and Hashmi, M.S.J., 1993, "Metal Matrix Composites: Materials Aspects, Part II", *Journal of Materials Processing Technology*, 37: 529-541
- Jiang, J., Kampus, Z., Dodd, B., 1995, "A Study on the Cold Plastic Formability and Fracture Behaviour of Particle Reinforced Metal Matrix Composites", *Key Engineering Materials Vols. 104-107 (1995)* pp. 665-672
- Kırdök, İ., 1993, "Mechanical and Tribological Properties of Aluminum-Based Particulate Metal-Matrix Composites", İzmir
- Kolsgaard A., Arnberg L., Brusethaug S., 1993, "Solidification Microstructures of AlSi7MgSiC Particulate Composite", *Material Science and Engineering, A* 173, pp. 243-250
- Kök, M., 2000, "Metal Matrisli (Al_2O_3 Takviyeli) Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Seramik Takımlarla İşlenebilirliğinin Araştırılması", Elazığ
- Kuhn, H.A., *ASTM Uniaxial Compression Testing*, Concurrent Technologies Corporation
- Lee, S., Moxcho, K., Kim, K.C. and Bongchol, W., 1993, "Adiabatic Shear Band Formation in Al-SiC_w Composites", *Metallurgical Transaction*, Vol. 24A, pp. 896
- Liu, H. and Samuel F.H., 1993, "Rycling an Al-Si-Mg/SiC/10p Composites", *AFS Transactions*, 93-82, pp. 873-878
- Lloyd, D.J., 1994, "Particle Reinforced Aluminium and Magnesium Matrix Composites" *International Materials Review*", Vol 39, No 1, pp. 1-22
- McKimpson M.G. and Scott T.E., 1989, "Processing and Properties of Metal Matrix Composites Containing Discontinuous Reinforcement", *Material Science and Engineering, A* 107, pp. 93-106
- Min, K., Lee, B., Chang, S., Kim, Y., 2006, "Mechanical Properties of Sintered 7xxx Series Al/SiCp Composites", *Materials Letters* 61 (2007) 2544-2546
- Mondal, D.P., Ganesh, N.V., Muneshwar, V.S., Das, S., Ramakrishnan, N., 2006, "Effect of SiC Concentration and Strain Rate on the Compressive Deformation

Behaviour of 2014Al-SiCp Composite”, Materials Science and Engineering A 433 (2006) 18–31

Mori, T., Tanaka, K., 1973, “Acta Met.”, Vol. 21, pp. 571-581

Nadibo, 1993, “Metal Matrix Composites- Sector Study”, The North American Defense Industrial Base Organization

Özben, T., 2001, “Sıkıştırma Döküm Yöntemiyle Üretilen Seramik Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri”, İstanbul

Özdin, K., 2006, “Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması”, Ankara

Poehch, M.H. and Fischmeister, H.F., 1992, “Deformation of Two Phase Materials: A Model Based on Strain Compatibility”, Acta. Metall. Mater., Vol. 40, pp. 487-494

Ray, S., 1993, “Review Synthesis of Cast Metal Matrix Particulate Composites” Material Science and Engineering, 28, pp. 5397-5413

Samuel, A.M. and Samuel F.H., 1993, “The Reduced Pressure Test as a Measuring Toll in the Evaluation of Porosity/Hydrogen Content in Al-7wt. Pct Si-10 Vol Pct SiC_p Metal Matrix Composite”, Metallurgical Transactions A, Vol 24A, pp. 1857-1868

Smith, F.W., Çeviri: Erdoğan M., 2001, “Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşımlar” Cilt 2, Nobel Kitabevi, Ankara

Sriwatsan, T.S. and Mattingly, J., 1993, “Influence of Heat Treatment on the Tensile Properties and Fracture Behaviour of an Aluminium Alloy-Ceramic Particle Composite”, Journal of Materials Science 28 ,611-620

Sukumaran, K., Pillai, S.G.K., Pillai, R.M., Kelukutty, V.S., Pai, B.C., Satyanarayana, K.G. and Ravikumar, K.K., 1995, “The Effects of Magnesium Additions on the Structure and Properties of Al-7 Si-10 SiC_p Composites”, Journal of Materials Science, 30: 1469-1472

Şahin, İ., 2004, “Silisyum Karbür Takviyeli Al-Si Matrisli Kompozit Malzemelerin Mikroyapılarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, İstanbul

Şen, O., 2005, “TiO₂ Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Manisa

Şevik, H., 2004, “Alümina Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Kompozitlerin Basınçlı Döküm Yöntemiyle Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi”, Sakarya

Tirtom, İ., Güden, M., Yıldız, H., 2007, “Simulation of the Strain Rate Sensitive Flow Behavior of SiC-Particulate Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites”, Computational Materials Science 42 (2008) 570–578

- Tomoto Y. and Tamura, I., 1982, "Mechanical Behaviour of Steels Consisting of Two Ductile Phases", Transactions ISIJ, Vol. 22, pp. 665-677
- Trowsdale, A.J., Noble, B., Haris, S.J., Gibbins, I.S.R., Thompson, G.E. and Wood G.C., 1996, "The Influence of Silicon Carbide Reinforcement on the Pitting Behaviour of Aluminium" Corrosion Science, 38 (2), 177-191
- Ünlü, B., 2008, "Investigation of Tribological and Mechanical Properties Al₂O₃-SiC Reinforced Al Composites Manufactured by Casting or P/M Method", Materials and Design 29 (2008) 2002-2008
- Ürkmez, N., 2004, "AlMg₃/SiC_p Kompozitlerinin Üretimi ve Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi", İstanbul
- Vaucher, S., Beffort, O., 2000, "Bonding and Interface Formation in Metal Matrix Composites", Vol. 9, EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research Thun Switzerland, www.empa.ch
- Wagener, H.W., Wolf, J., 1995, "Forming Parameters and Mechanical Properties of Cold Extruded MMCs of Aluminium Alloy Matrix", Key Engineering Materials Vols. 104-107 (1995) pp. 99-110
- Wang, G.S., Geng, L., Zheng, Z.Z., Wang, D.Z., Yao, C.K., 2000, "Investigation of Compression of SiCw/6061Al Composites Around the Solidus of the Matrix Alloy", Materials Chemistry and Physics 70 (2001) 164-167
- Xu, H., Palmiere, E.J., 1998, "Particulate Refinement and Redistribution During the Axisymmetric Compression of an Al/SiC_p Metal Matrix Composite", Composites: Part A 30 (1999) 203-211
- Yıldırım, U., 2004, "Investigation of Quasi – Static and Dynamic Mechanical Properties of Functionally Graded SiC-Particulate Reinforced Aluminium Metal Matrix Composites", İzmir
- Yılmaz, M., 1991, "The Microstructure and Mechanical Properties of a Particulate SiC Reinforced Aluminum Matrix Composite", İstanbul
- Yılmaz, Ş., 1995, "Al-SiC Metal Matrisli Karma Malzemelerin Deformasyon Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Parametrik Analizi", İstanbul
- Zhang, X., Geng, L., Xu, B., 2006, "Compressive Behaviour of Al-based Hybrid Composites Reinforced with SiC Whiskers and SiC Nanoparticles", Materials Chemistry and Physics 101 (2007) 242-24

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	17.07.1982
Doğum yeri	Uzunköprü
Lise	1997-2000 Edirne Süleyman Demirel Fen Lisesi
Lisans	2000-2005 Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2007- Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurumlar

2006-2007	Özel Şirket Makina Mühendisi
2007-	DSİ 11. Bölge Müdürlüğü Edirne-Makina Mühendisi